

## 2 Physiologische Grundlagen, Wachstum, Schlachtkörperzusammensetzung sowie Fleisch- und Fettqualität (M. Henning und U. Baulain)

Die Qualität von Schweinefleisch wird durch die Schlachtkörperzusammensetzung und die Beschaffenheit von Muskel- und Fettgewebe bestimmt. Bei Ersterer ist vor allem der Muskelfleischanteil von Interesse, der bei den üblichen Schlachtgewichten in enger Beziehung zum Fettgewebeanteil steht. Nach den derzeitigen Marktwünschen sollte innerhalb des Schlachtgewichtsbereichs von 82 - 105 kg der **Muskelfleischanteil** um 58 % betragen. Daneben können bei bestimmten Abrechnungssystemen auch der Fleischanteil und die Gewichte der wertvollen Teilstücke (Schinken, Lachs, Schulter) sowie der Fleischanteil im Bauch von Bedeutung sein. Diese Merkmale sind durch das genetisch vorgegebene Fleisch-/Fettansatzvermögen der Tiere, die Fütterungsintensität und das Mastendgewicht gut steuerbar.

Schweinefleisch sollte aus Verbrauchersicht folgende Eigenschaften aufweisen:

- rosa bis rote Farbe
- geringer Saftverlust sowohl beim Lagern als auch beim Erhitzen
- im zubereiteten Zustand zart, saftig und artspezifisch aromatisch
- weißes, oxidationsstabiles Fettgewebe von kerniger Konsistenz

Unerwünschte Ausprägungen lassen sich verschiedenen physiologisch und biochemisch charakterisierbaren Qualitätszuständen zuordnen. Zum Verständnis dieser Zusammenhänge werden zunächst die Entwicklung und die Struktur des Muskelfleisches sowie einige muskelphysiologische Vorgänge beschrieben. Danach folgen Aufbau und Funktion des Fettgewebes, weil dieses ebenfalls im hohen Maße zur Qualität des Schlachtkörpers beiträgt. Zudem werden diverse Einflussfaktoren auf die Schlachtkörperzusammensetzung und die Gewebebeschaffenheit beschrieben.

### 2.1 Anatomie und Funktion von Muskulatur und Fettgewebe

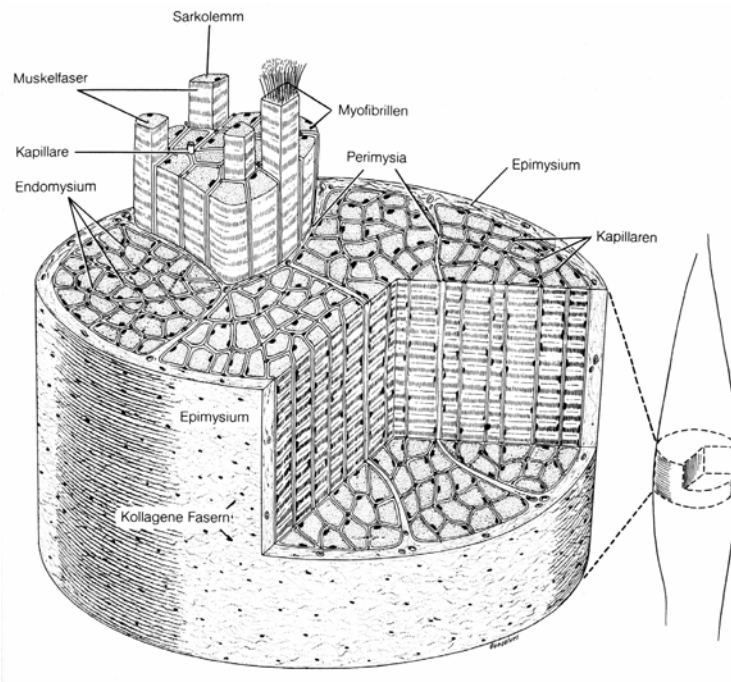
#### Aufbau und Funktion der quergestreiften Muskulatur

Unter Fleisch im engeren Sinn versteht man Muskelfleisch (mit oder ohne Knochen, Fett- und Bindegewebe). Das Muskelfleisch entsteht aus der sogenannten quergestreiften oder Skelettmuskulatur. Diese Muskeln sind für die aktiven Körperbewegungen (zum Beispiel der *Musculus semimembranosus* in der Schenkelinnenseite oder *Musculus triceps brachii* in der Schulter) zuständig oder besitzen Haltefunktionen wie der *Musculus longissimus dorsi* (langer Rücken- oder Kotelettmuskel) oder der *Musculus psoas major*, auch Lendenmuskel oder Filet. Ein Skelettmuskel besteht aus Muskelfasern, die in Längsrichtung angeordnet und jeweils einzeln und in Bündeln von bindegewebigen Hüllen, den sogenannten Faszien oder dem Epimysium (Abb. 2.1), umschlossen sind. Diese Hüllen verschmelzen am Ende der Muskeln zu Sehnen und haften mit diesen am Skelett an.

Die Muskelfasern setzen sich aus einzelnen Myofibrillen zusammen (s.u.). Die Querstreifen werden bei der Betrachtung der Muskulatur unter dem Lichtmikroskop sichtbar und entstehen durch die Anordnung der Myofibrillen (Muskelzellen). Die Myofibrillen bestehen aus Aktomyosin, welches bei der Muskelarbeit (Kontraktion) eine wesentliche Rolle spielt. Aktomyosin kommt als Aktin und Myosin getrennt in den Untereinheiten der Myofibrillen, den Myofilamenten, vor. Aktin- und Myosinfilamente greifen während der Kontraktion unter Einwirkung von ATP (AdenosinTriPhosphat) ineinander und spalten eine Phosphatverbindung vom ATP ab ( $\rightarrow$  zu AdenosinDiPhosphat = ADP). Bei der Resynthese des ATP erschaffen sie wieder. Dazu wird Energie von den Muskelzellen aus Glykogen, dem Kohlenhydratspeicher in der Muskulatur, gewonnen, indem Glucose anaerob (ohne

Sauerstoffbeteiligung) zu Milchsäure abgebaut oder aerob (mit Sauerstoff) zu  $\text{CO}_2$  (Kohlendioxid) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) verbrannt wird. So wird ATP als chemische Energie gewonnen. Der sauerstoffreiche (aerobe) Weg der Energiegewinnung ist allerdings ungleich effizienter als der anaerobe:

*aerob*             $\Rightarrow$      *aus 1 Mol Glukose entstehen 38 Mol ATP*  
*anaerob*         $\Rightarrow$      *aus 1 Mol Glukose entstehen 2 Mol ATP*



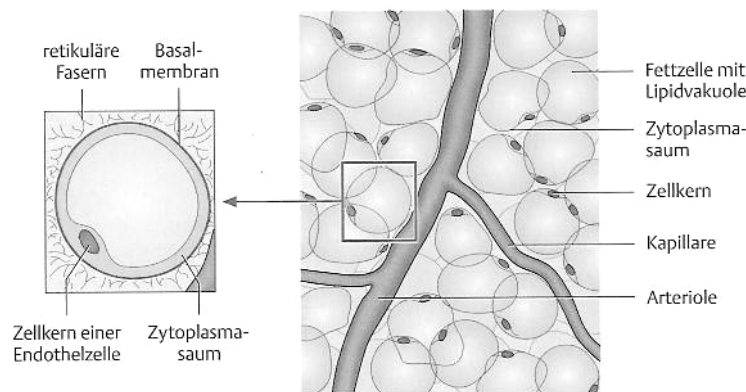
**Abb. 2.1: Aufbau der Skelettmuskulatur (Junqueira und Carneiro, 1986)**

Fibrillenarme, aber myoglobinreiche (Myoglobin = sauerstofftragender Muskelfarbstoff) Fasern kontrahieren langsam, sind zu Dauerleistungen fähig und daher überwiegend in den Bewegungsmuskeln zu finden. Sie haben durch ihren hohen Anteil von Myoglobin eine dunkelrote Färbung (Typ Ib Fasern). Fibrillenreiche Fasern sehen hell aus (weiße Typ IIa Muskelfasern), sind zu rascher Kontraktion fähig, ermüden aber schnell, da sie auf anaerobe Energiegewinnung (ohne Sauerstoffbeteiligung) angewiesen sind. Dabei fällt durch den Abbau von Glykogen Milchsäure an, die im lebenden Organismus durch den Blutstrom in die Leber zurückgeführt und dort wieder zu Glykogen umgebaut wird.

Nach der Schlachtung verbleibt die Milchsäure im Muskel, was durch den pH-Wert erfasst werden kann. Das entstehende saure Milieu stabilisiert sich etwa innerhalb der ersten 6 - 8 Stunden post mortem (nach Eintritt des Todes) und bildet einen natürlichen Haltbarkeitsschutz. Während der pH-Wert im lebenden Muskel durch Puffersysteme im Blut auf 7.0 - 7.2 konstant gehalten wird, ist die Geschwindigkeit des Glykogenabbaus post mortem und damit die Zeit zum Erreichen des End-pH-Wertes von 5.4 - 5.6 entscheidend für das Wasserbindungs- oder Saffthaltevermögen des Fleisches. Eine zu schnelle Anreicherung mit Milchsäure (gekennzeichnet durch das Erreichen des End-pH-Wertes innerhalb einer Stunde nach dem Schlachten) führt zu gesteigerten Durchlässigkeiten der Muskelzellmembranen und damit zum Austritt von Zellinhalt in die Zellzwischenräume (Perimysium), und wir haben es mit einem verminderten Saffhalte- oder Wasserbindungsvermögen zu tun. Durch Zuschnitt und Erhitzen des Fleisches kommt es dann zu den unerwünscht hohen Substanzverlusten.

## Fettgewebe

Für die Schlachtkörperbewertung und als Nahrungsmittel spielt das Fettgewebe des Schweines eine wichtige Rolle. Das sogenannte Depofett ist unter der Haut/Schwarte (subkutan), zwischen den Muskeln (intermuskulär) sowie innerhalb einzelner Muskeln zwischen den Muskelfaserbündeln (intramuskulär) zu finden und dient als Energiespeicher oder Polster (Nieren-Beckenfett oder Flomen). Weitere Funktionsfette sind als Bestandteile der Zellstruktur in Form von Lipoproteinen oder Phospholipiden in fast allen Körperzellen zu finden. Das Fettgewebe ist sehr stoffwechselaktiv und an der Hydrierung und Dehydrierung von Fettsäuren sowie an der Bildung von Fetten aus Kohlenhydraten und Protein beteiligt. Fettgewebe kann als ein spezialisiertes Bindegewebe angesehen werden, und es ist stark vaskularisiert, d.h. mit Blutgefäßen durchzogen (s.u. die Arteriole und die Kapillare). Das Fett wird in den Zellen in kleinen Tropfen abgelagert, die zusammenfließen bis der gesamte Zellleib mit Fett ausgefüllt und der Zellkern an den Rand gedrückt ist (Loeffler, 2002).



**Abb. 2.2: Aufbau des Fettgewebes (Faller und Schünke, 2004)**

Fettzellen speichern Lipide, die durch Pinozytose (= Einschnürung) aus dem Blut aufgenommen oder aus Kohlenhydraten in den Zellen direkt gebildet werden. Auch in der Leber finden diese Umbauprozesse statt. Des Weiteren ist die Leber an der Regulation des Fettstoffwechsels beteiligt. Sie produziert die Gallenflüssigkeit, ein Sekret, das Gallensäuren enthält, die ihrerseits Verbindungen mit den Fettsäuren im Blut eingehen können, um die Fettverdauung zu ermöglichen.

## 2.2 Gewebewachstum

Die Basis jeglicher Fleischproduktion sind Wachstumsvorgänge bei Wild- und Haustieren. Während der Embryonalentwicklung findet bei allen Säugern die Erzeugung von Muskelzellen (= Fasern) statt, die als Hyperplasie bezeichnet wird. Nach der Geburt ist Wachstum im Muskelgewebe überwiegend durch Zellvergrößerungen (Hypertrophie) bestimmt, nur noch in geringem Umfang kommt es zu Zellneubildungen. Dies kann zum Beispiel nach Verletzungen und Schädigungen der Muskulatur notwendig werden und wird durch so genannte Satellitenzellen induziert, die unter der Basalmembran (Umhüllung einer Muskelfaser) liegen. Muskelwachstum bedeutet eine Vergrößerung des Muskelquerschnitts und die Verlängerung der Muskelfasern. Die Größe der Muskelfasern ist vom Alter, dem Genotyp und der Nährstoffversorgung des Tieres abhängig.

Bis zu welchem Zeitpunkt in der Entwicklung die Fettzellenanzahl sich verändert und bis wann und in welchem Umfang sich die Fettzellen vergrößern können, ist noch nicht vollständig geklärt. Auch hier sind Genotyp, Alter des Tieres und die Fütterungsintensität entscheidend für die Entwicklung der Fettdepots. Bekannt ist, dass das intramuskuläre Fett als letztes Depot im Verlauf des Wachstums angelegt wird.

## Genetische Einflüsse auf das Wachstum

Der nachhaltigste genetische Einfluss auf das Wachstum ist die **Rassezugehörigkeit**, wobei es innerhalb der Rassen und Linien unterschiedlich große genetische Varianzen gibt, die überhaupt erst einen Selektionsfortschritt ermöglichen. In den letzten 50 Jahren sind die durchschnittlichen Wachstumsleistungen, gemessen in täglichen Zunahmen, um etwa 150 g pro Tier und Tag gesteigert worden. Die Futtermittelverwertung wurde verbessert, sowie das Proteinansatzvermögen. Die Muskulatur heutiger Mastschweine ist im Vergleich zu früher erheblich hypertrophiert, d.h. wir haben es mit einer Vergrößerung des Muskelquerschnittes und auch der einzelnen Muskelfasern zu tun. Bei einigen Rassen war das physiologisch verträgliche Maß schon überschritten (Piétrauschweine sowie einige Landrassen), was in der Züchtung zu einer Korrektur der Zuchtziele zu Gunsten qualitativer und zu Lasten quantitativer Merkmale geführt hat. Dieser „Merkmalsantagonismus“ zwischen Fleischfülle und Fleischbeschaffenheit war das zentrale Thema der Tierzuchtforschung in den 70er und 80er Jahren.

Das **Geschlecht** eines Tieres bestimmt einen Teil des genetischen Wachstumspotenzials. Es nimmt Einfluss auf die Zuwachsleistung, die gewebliche Körperzusammensetzung sowie auf die Körperproportionen. Da Geschlechtshormone eine anabole (wachstumsfördernde) Wirkung haben, zeichnen sich die Schlachtkörper männlicher Tiere im Vergleich zu Kastraten durch einen höheren Muskelfleischanteil und eine geringere Verfettung aus. Doch selbst die geringe Verfettung ist beim Schwein ein Problem, da intakte männliche Tiere mit einem unangenehmen Geschlechtsgeruch, der durch das im Hoden produzierte Androstenon hervorgerufen wird, behaftet sind. Obwohl nur etwa 50% der Bevölkerung diesen Geschlechtsgeruch wahrnehmen, wäre die Ebermast für den deutschen Markt ein schwer kalkulierbares Risiko.

Das Wachstum der Börgen (kastrierte männliche Tiere) ist durch eine messbar stärkere Einlagerung von Fett in den intermuskulären und intramuskulären Bereichen gekennzeichnet. Es wird auch mehr Nieren-Becken-Fett, also Flomen gebildet, was zu einer geringeren Schlachtausbeute (= Ausschachtung in %) im Vergleich zum Eber führt. Trotzdem sind die Schlachtkörper der Börgen beim Handel sehr beliebt, da gut durchwachsene Teilstücke als Verarbeitungsware benötigt werden. Weibliche Tiere weisen bezüglich ihrer Muskel- und Fettwachstums ein mittleres Niveau zwischen den Ebern und den Börgen auf.

Die Wachstumsverläufe zwischen Muskulatur, Fettgewebe und Knochen verlaufen zunächst weitgehend parallel; etwa zum Eintritt der Pubertät, beim Schwein entspricht dies dem Schlachtalter von 5-6 Monaten, nimmt das Fettwachstum bei gleichbleibender Fütterungsintensität überproportional zu.

## Fütterungseinflüsse auf das Wachstum

Die Höhe der **Energiezufuhr** moduliert im Zusammenhang mit der Wachstumsintensität die anteilige Entwicklung der Gewebearten. Die Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung, wie sie für Mastschweine durch den Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) erarbeitet wurden, haben eine Optimierung der Körperzusammensetzung zum Ziel. Zur Nutzung des Wachstumspotenzials werden in der konventionellen Mast den Getreide-, Kartoffel- oder Molkebasisrationen Mineralstoffe, synthetische Aminosäuren sowie Spurenelemente zugesetzt, der bei den monogastrischen Schweinen eine unterschiedliche **Proteinzufuhr** unmittelbar den Aminosäurenstoffwechsel beeinflusst. Die Aminosäureaufnahme steht dabei in enger Beziehung zur gleichzeitigen Energieaufnahme, so dass Aminosäurebedarfsangaben auf die Energiezufuhr bezogen werden (Schwarz, 2000). Durch gezielten Einsatz von Aminosäuren in der Ration, wobei auch rasse-, kreuzungs- sowie geschlechtsspezifische Besonderheiten eine Rolle spielen, wird versucht, die Stickstoffausscheidung durch eine bessere Ausnutzung im Tier zu reduzieren.

Im **Ökologischen Landbau** gehört zu den Grundsätzen der Fütterung von Mastschweinen neben dem Verbot, freie Aminosäuren und bestimmte Eiweißfuttermittel (z.B. Fischmehle und Sojaextraktionsschrot) einzusetzen, auch das Gebot, den Tieren täglich Rau- oder Saft-

futter zur Verfügung zu stellen (Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau - AGÖL, 1996). Dahinter steckt auch die Annahme, dass das langsamer gewachsene Tiere gesünder seien und ein kräftiger gefärbtes, besser Saft haltendes und schmackhafteres Fleisch hervorbringen. Durch diese Maßnahmen wird z.T. bewusst auf eine maximale Ausnutzung der Wachstumskapazität von Schweinen verzichtet, da eine enge Verknüpfung zwischen Wachstumsintensität, Mastdauer und Futteraufwand für den Zuwachs besteht. Über den ökologischen Effekt ist zu diskutieren. Das höhere Alter der Tiere beim Erreichen des Mastendgewichtes kann einen positiven Effekt auf einen reduzierten Wassergehalt im Fleisch haben, und das nicht genutzte Proteinansatzvermögen kann zudem zu einem erhöhten Anteil von Fetteinlagerungen führen (Hoppenbrock et al., 1998).

## 2.3 Schlachtkörperqualität

### Definition

Unter Schlachtkörperqualität versteht man in erster Linie die Ausbildung des Schlachtkörpers mit seinen fleischtragenden Partien sowie den Grad der Verfettung. Es handelt sich hierbei jedoch um eine relative Größe, die im Wesentlichen durch die Anforderungen des Marktes (Abb. 2.3) geprägt wird. Das Hauptkriterium zur Beschreibung der Schlachtkörperqualität ist der **Muskelfleischanteil** (MFA), dessen Feststellung gesetzlich geregelt ist. Auf der Basis des Muskelfleischanteiles und des Schlachtkörpergewichtes erfolgt eine Einteilung in die Handelsklassen (EUROP). Diese Einteilung ist ein Ausdruck für die Bemühungen, die Anforderungen des Marktes durch Preisdifferenzierung dem Erzeuger gegenüber sichtbar zu machen.

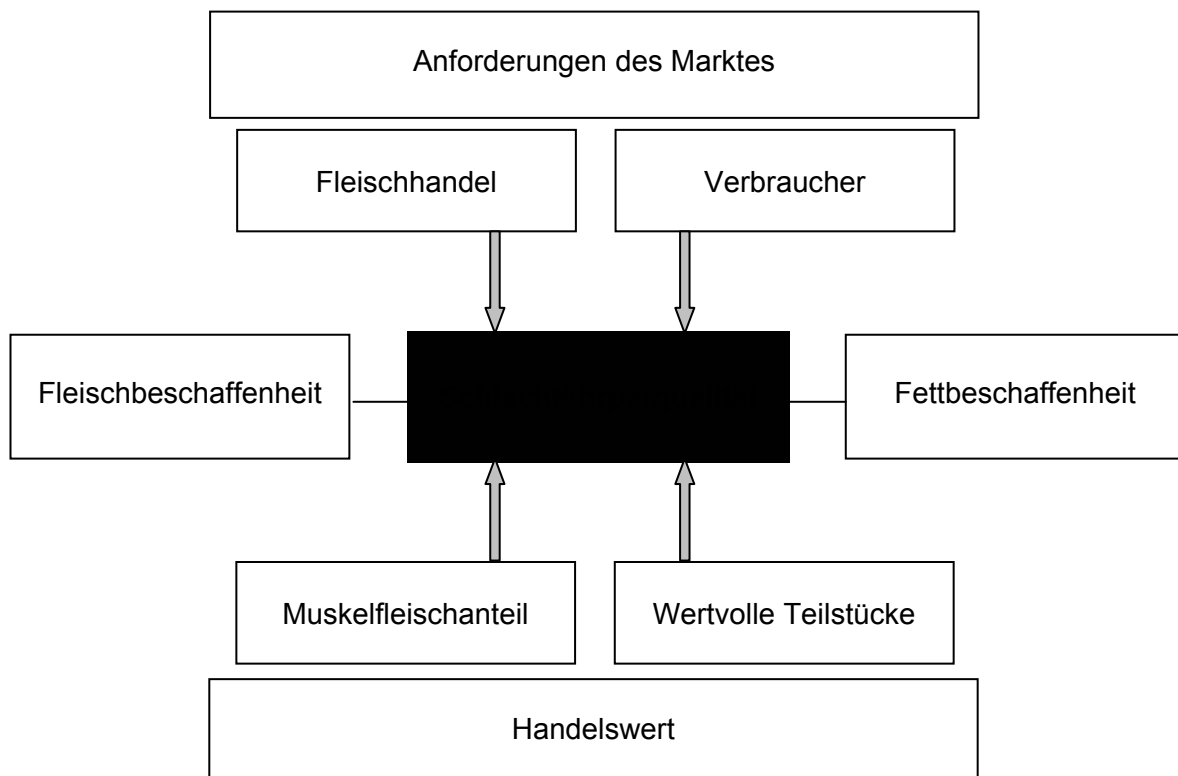


Abb. 2.3: Schema zum Begriff der Schlachtkörperqualität

Auch wenn die Einstufung von Schweineschlachtkörpern in die Handelsklassen klar definiert ist, wird der tatsächliche **Handelswert** damit nur unzureichend erfasst. Daher wurden am Markt spezielle Bewertungsverfahren entwickelt, die als Preismasken bezeichnet werden. Diese sollen für alle an der Vermarktung Beteiligten eine möglichst große Transparenz bei der Bezahlung ermöglichen; tatsächlich führt aber die Vielzahl von derartigen Preisgestaltungssystemen eher zu einer verminderten Markttransparenz. Für den Erzeuger ist es ausgesprochen schwierig, Vergleiche zwischen Vermarktern mit unterschiedlichen Preismasken zu ziehen.

## Einflussfaktoren auf die Schlachtkörperzusammensetzung /-qualität

Die Schlachtkörperzusammensetzung ist das Ergebnis von Wachstumsvorgängen im Tier und wird somit von denselben genetischen und umweltbedingten Faktoren beeinflusst, die bereits im Abschnitt über das postnatale Wachstum beschrieben wurden. Die folgende Darstellung (Abb. 2.4) soll diese Wechselbeziehungen nochmals verdeutlichen.

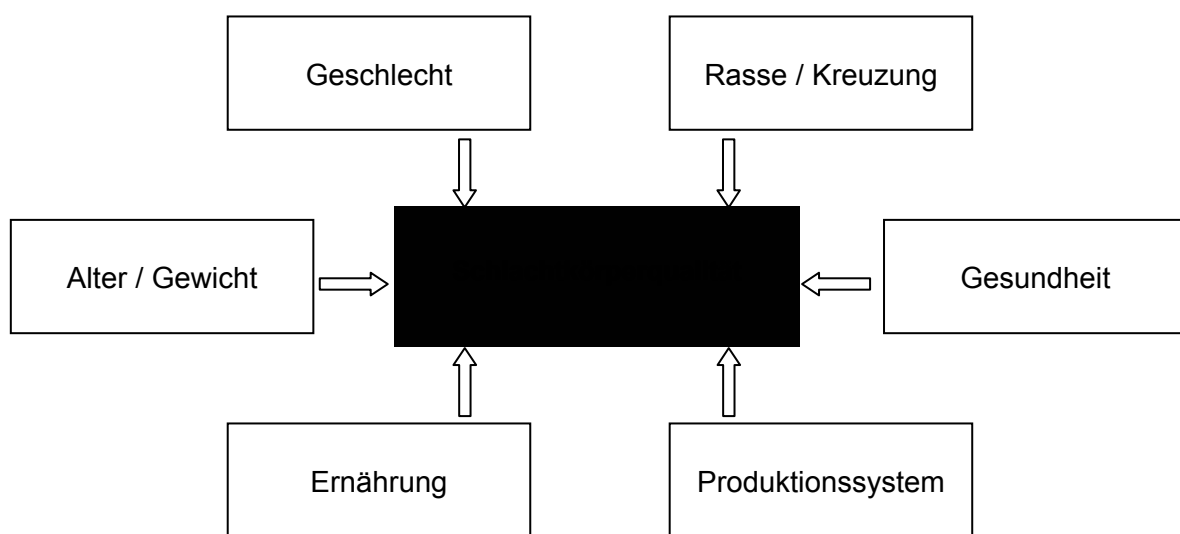


Abb. 2.4: Einflussfaktoren auf die Schlachtkörperzusammensetzung (-qualität)

## Bestimmung der Schlachtkörperzusammensetzung

Aus den zuvor dargestellten Zusammenhängen wird ersichtlich, dass die Kenntnis der geweblichen Zusammensetzung von Schlachtkörpern sowohl für die Züchtung als auch für die Vermarktung von Schweinen zentrale Bedeutung hat. Infolgedessen befassen sich auch Tierzucht- und Fleischforschung seit langem intensiv mit der dazugehörigen Thematik. Die genaueste direkte Erfassung der Körperzusammensetzung erfolgt über eine manuelle Vollzerlegung des Schlachtkörpers in die Fraktionen Muskel, Fett, Knochen, Schwarte und Rest. Der Muskelfleischanteil wird daraus als Anteil des Muskelgewebes am Schlachtkörper berechnet. Die sehr arbeitsaufwändige Vollzerlegung ist jedoch nur in Ausnahmefällen durchführbar, so dass Hilfsmerkmale herangezogen werden müssen, den Muskelfleischanteil zu schätzen. Je nach Einsatzgebiet müssen dabei Kriterien wie z. B. Praktikabilität, Objektivität und Genauigkeit und nicht zuletzt die Kosten der Merkmalerfassung beachtet werden.

## Vermarktung

In der Vermarktung von Schweinen werden heute in erster Linie Schlachtkörper bewertet; eine subjektive Lebendtierbeurteilung ist nur noch die Ausnahme. Die Bezahlung der Schlachtkörper erfolgt hauptsächlich anhand des Muskelfleischanteiles, der am Schlachtband mit Hilfe von halbautomatischen **Klassifizierungsgeräten**, den sog. Choirometern, geschätzt werden kann. Bei den amtlich zugelassenen Klassifizierungsgeräten unterscheidet

man Sondengeräte und Ultraschallgeräte. Unter den Sondengeräten, die mit Hilfe von optoelektronischen Einstichsonden die Speck- und Muskeldicke in Höhe der 2./3. letzten Rippe messen, sind das Fat-O-Meater (FOM) und das Hennessy-Grading-System (HGP4) am weitesten verbreitet (Littmann et al., 2006). Auf der Basis des Speck- und Fleischmaßes wird der Muskelfleischanteil über folgende seit dem 1.10.1997 amtlich gültige Schätzformel bestimmt:

$$\text{MFA [\%]} = 58,6688 - 0,82809 \cdot \text{Speckmaß} + 0,18306 \cdot \text{Fleischmaß}$$

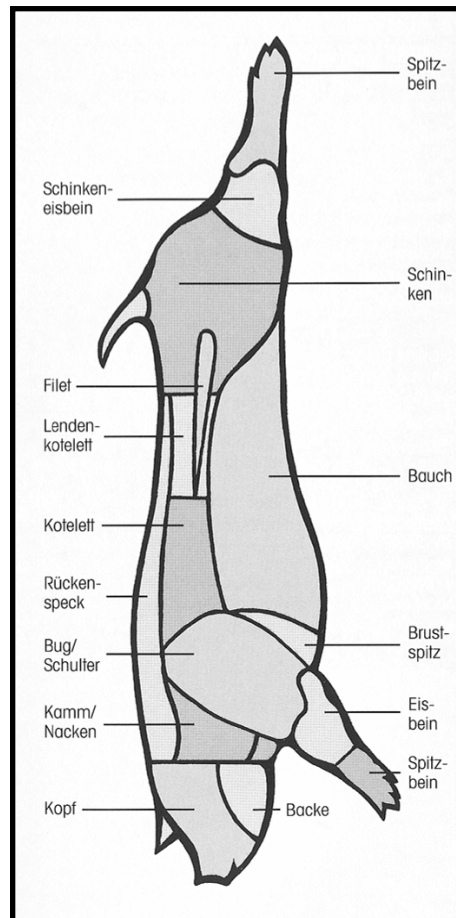
Als weiteres zugelassenes Verfahren der objektiven Schlachtkörperbewertung ist noch das sog. **Zwei-Punkt-Verfahren** (ZP) zu erwähnen, das in Schlachtstätten, an denen weniger als 200 Schlachtungen pro Woche erfolgen, angewendet werden darf. Hierzu werden an der Schlachthälfte die dünnste Fettauflage über dem Lendenmuskel und die dickste Stelle des Lendenmuskels mit Hilfe eines Lineals gemessen und dann in eine Schätzformel eingesetzt, um den Muskelfleischanteil zu bestimmen.

Eine wesentlich detailliertere Bewertung des Schlachtkörpers ist mit dem automatischen Klassifizierungssystem **AutoFOM** möglich, das unabhängig von einem Bediener sowohl den Muskelfleischanteil erfasst als auch Informationen über die wertvollen Teilstücke liefert. Ein Drittel aller Schweine wurde im Jahre 2005 in Deutschland bereits mit diesem in Dänemark entwickelten System klassifiziert, dessen Haupteinsatzgebiet der nordwest-deutsche Raum ist. Das Messprinzip beruht darauf, dass die Schweine zwischen Entborsten und Abflammen auf dem Rücken liegend über einen halbrunden Edelstahlbügel gezogen werden, in den 16 Ultraschallmessköpfe integriert sind. Im Abstand von 5 Millimetern werden pro Schlachtkörper ca. 200 Querschnittsbilder erzeugt, so dass sich bei 16 Schallköpfen insgesamt 3200 Einzelmessungen ergeben. Aus dieser großen Anzahl von Speck- und Fleischmaßen werden über spezielle mathematische Verfahren die für die Vermarktung notwendigen Kennzahlen berechnet. Direkt nach der Messung werden folgende Merkmale ermittelt:

1. Magerfleischanteil in Prozent des gesamten Schlachtkörpers
2. Magerfleischanteil in Prozent von Teilstücken (Betriebsschnittführung)
  - Schinken schier vom Schinken
  - Lachs schier vom Kotelett
  - Schulter schier von der Schulter
  - Magerfleischanteil vom Bauch
3. nach der Rückmeldung des 2-Hälftengewichtes werden die Teilstückergebnisse in kg ausgegeben
  - Schinken schier
  - Lachs schier
  - Schulter schier
  - Bauch

Bei der AutoFOM-Klassifizierung erfolgt die Bezahlung nach einem sog. Indexpunkt-Handelswertmodell (Westfleisch, 2004). Dabei werden die Teilstückergebnisse mit sog. Gewichtungsfaktoren multipliziert und zu einem Gesamtindex addiert. Der Erlös eines Schlachtkörpers ergibt sich durch Multiplikation dieses Index mit einem aus dem Markt abgeleiteten Preisfaktor. Aus einer Studie von Adam und Hartmann (2005) wird jedoch deutlich, dass die Abrechnungsmodelle nach AutoFOM zwischen den Schlachtstätten immer unterschiedlicher werden. Unterschiede in den Bewertungsfaktoren, Gewichts- und Systemgrenzen führen zum Teil zu erheblichen Differenzen in der Bewertung der Schlachtkörper und erschweren eine vergleichende Bewertung.

Die zusätzlichen Informationen über die Teilstücke erleichtern dem Schlachtbetrieb die Sortierung der Schlachtkörper und ermöglichen eine Optimierung bei der Vermarktung von Teilstücken. Abb. 2.5 zeigt diese Teilstücke schematisiert gemäß DLG-Schnittführung (nach Scheper und Scholz, 1985).



**Abb. 2.5: Schlachtkörperteilstücke nach DLG-Schnittführung**

Da bei der Bezahlung nach AutoFOM dem Schlachtgewicht als Vermarktungskriterium nicht mehr so große Bedeutung beikommt, sondern allein die Summe der Indexpunkte über den Erlös entscheidet, ist das Erkennen des optimalen Schlachtzeitpunktes für den Mäster deutlich schwieriger geworden. Daher wurden bereits Systeme entwickelt, die auf Basis der Videobildanalyse die Körperzusammensetzung der Mastschweine schätzen bzw. befinden sich in der Weiterentwicklung (Bockisch et al., 2004).

Wie zuvor beschrieben, wird der Erlös eines Mastschweines bei der Klassifizierung mit Hilfe von Sondengeräten durch den Muskelfleischanteil und das Schlachtgewicht und bei der Vermarktung nach AutoFOM durch den Handelswert bestimmt. Eine nicht zu vernachlässigende Größe ist die Schlachtausbeute oder **Ausschlachtung**, definiert als das Verhältnis von Schlachtkörper- zu Lebendgewicht vor der Schlachtung. Damit wird ersichtlich, dass die prozentuale Ausschlachtung vor allem vom Zeitpunkt der letzten Fütterung in Relation zur Lebendgewichtserfassung vor der Schlachtung abhängig ist. Dieses Merkmal weist in der Praxis eine sehr hohe Variation auf, da der Zeitpunkt der Lebendgewichtsfeststellung sehr unterschiedlich gehandhabt wird. Adam (2006) weist darauf hin, dass bei der Vermarktung nach FOM bei leichten und mittelschweren Schweinen eine bessere Ausschlachtung zu einer Erlösverbesserung führt, bei schweren Schweinen dagegen zu Abzügen. Bei der Vermarktung nach AutoFOM wächst der Erlös mit steigender Ausschlachtung in allen Gewichtsklassen.

## Aspekte der Züchtung

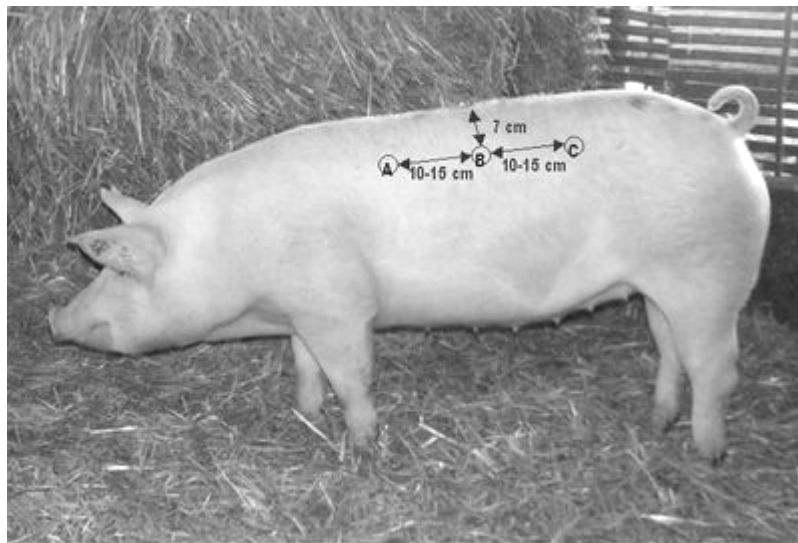
Voraussetzung einer züchterischen Verbesserung der Qualität von Schlachtkörpern ist eine möglichst exakte Bestimmung des Muskelfleischanteiles. Ein in der Schweinezucht seit langem anerkanntes und erprobtes Verfahren zur Bestimmung der Verfettung bzw. des Muskelfleischanteiles am lebenden Tier ist die **Ultraschall-Speckdickenmessung**, auch als Echolot-Speckdickenmessung bekannt. Mit diesem Verfahren werden in Deutschland jährlich mehr als 15.000 Eber und 100.000 Sauen im Rahmen der Eigenleistungsprüfung von den Zuchtorganisationen geprüft (Müller et al., 2002). Gehen die Ultraschall-Messwerte in die Zuchtwertschätzung ein, dürfen ausschließlich Geräte verwendet werden, die durch den Ausschuss für Leistungsprüfungen und Zuchtwertfeststellung beim Schwein (ALZ) zugelassen worden sind. Darüber hinaus muss die Messung an vorgegebenen Messstellen erfolgen. Die detaillierten Anforderungen finden sich in den entsprechenden Richtlinien für die Eigenleistungsprüfung auf Station und im Feld. Die korrekte Ultraschallmessung wird am lebenden Schwein an folgenden Messpositionen (Abb. 2.6) vorgenommen:

Maß B7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie in der Mitte des Tieres zwischen Schulter und Schinken

Maß A7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie 10 bzw. 15 cm vor Maß B7 in Abhängigkeit von Rasse und Gewicht

Maß C7: Speckdicke 7 cm seitlich der Rückenmittellinie 10 bzw. 15 cm hinter Maß B7 in Abhängigkeit von Rasse und Gewicht.

Die Muskeldicke wird dagegen nur im Messpunkt B7 erfasst.



**Abb. 2.6: Messpunkte für die Ultraschall-Speckdickenmessung in der Eber- Eigenleistungsprüfung (ZDS, 2005)**

Im Rahmen der Geschwister- und Nachkommenprüfung auf Station wird der Muskelfleischanteil seit 20 Jahren mit Hilfe der „**Bonner Formel**“ geschätzt, in die verschiedene am Schlachtkörper erhobene Fleisch- und Speckmaße eingehen (Schmitt, 1986). Der züchterische Fortschritt, die Anhebung des Schlachtkörpergewichtes in der Stationsprüfung sowie eine veränderte Schnittführung in der Zerlegung im Rahmen der Novellierung des Vieh- und Fleischgesetzes machten eine Anpassung dieser Formel notwendig (Tholen et al., 2004). Es existieren nunmehr getrennte Formeln für a) die sehr mageren Schweine der Vaterlinie Piétrain und b) für Mutterlinien (DE/DL) und Hybriden/Kreuzungen (vgl. auch Abschnitt 3.6).

Für eine optimale Schlachtkörperverwertung hat in den letzten Jahren auch die Qualität des Teilstückes Bauch immer größere Bedeutung erlangt. Um den besonderen Verhältnissen in diesem Teilstück gerecht zu werden, wurden von Tholen et al. (1998) spezielle Formeln zur

Bestimmung des Muskelfleischanteiles im Bauch entwickelt („Gruber Formel“), die getrennt nach Vatterassen, Mutterassen sowie Hybriden in der Leistungsprüfung angewendet werden.

## Forschung

Eine seit langem bedeutsame Aufgabe der Tierzucht- und der Fleischforschung sind die Entwicklung, Anpassung und Bewertung von Methoden, die nicht nur in der Forschung sondern auch für den praktischen Einsatz benötigt werden.

Die mit Abstand genauesten, aber auch aufwändigsten Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung am lebenden Tier und am Schlachtkörper sind die Röntgen-Computertomographie (CT) und die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT). Diese ursprünglich für die Humanmedizin entwickelten Techniken werden schon seit ca. 20 Jahren auch in der Forschung an landwirtschaftlichen Nutztieren und hier besonders beim Schwein eingesetzt. Diese bildgebenden Techniken ermöglichen eine zerstörungsfreie Messung und bieten damit vielfältige und außergewöhnliche Anwendungsmöglichkeiten.

So ist unter Verwendung spezieller Bildauswertungsmethoden eine sehr genaue Messung der geweblichen Zusammensetzung erreichbar. Aufgrund der klaren Differenzierung von Muskel- und Fettgewebe ist eine direkte Messung von Gewebevolumina möglich. CT und MRT können somit statt der sehr zeit- und arbeitsaufwändigen grobgeweblichen Zerlegung als Referenzmethode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung dienen. Eine Nutzung dieser Techniken als Referenz kann in Zukunft auch im Rahmen der Leistungsprüfungen zu einer schnelleren Anpassung von Schätzformeln zur Bestimmung des Fleischanteils oder Handelswertes von Schlachtkörpern führen und bei der Weiterentwicklung von Verfahren, die in der praktischen Tierzucht benötigt werden - wie z. B. Ultraschall und Videobildanalyse - hilfreich sein.

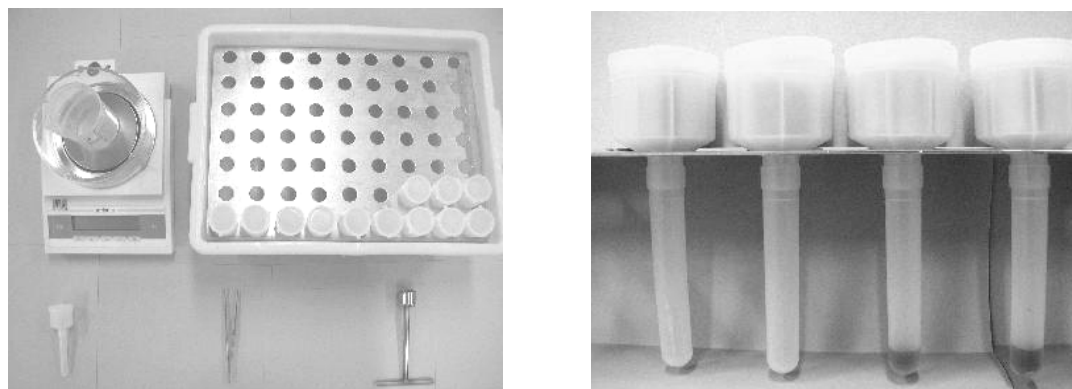
Über wiederholte in vivo Messungen derselben Probanden ist eine detaillierte Analyse des individuellen Wachstums von Geweben, Körperpartien, einzelnen Muskeln und Organen möglich. Bei dieser Vorgehensweise reicht eine deutliche geringere Anzahl von Tieren im Versuch aus als bei herkömmlichen Stufenschlachtungen mit anschließender grobgeweblicher Zerlegung von Geschwistern oder nicht verwandten Tieren.

## 2.4 Fleischbeschaffenheit

### Definition

Der viel strapazierte „Qualitätsbegriff“ sollte im Zusammenhang mit Schweinefleisch durch den Begriff „Fleischbeschaffenheit“ ersetzt werden. Die physikalische Beschaffenheit ist durch Messgrößen bestimmbar, die als Hilfsmerkmale für das Saffhalte- oder Wasserbindevermögen des Fleisches, welches für die Verarbeitung oder Zubereitung in der Küche das wichtigste Kriterium ist. Das direkte Maß wäre der Tropfsaftverlust (oder drip loss in %), zu dessen Ermittlung Zeit erforderlich ist, da man auf eine Fleischprobe oder ein Teilstück das die Schwerkraft wirken lassen muss.

Wasserbindevermögen kann auch mit der Filterpapierpressmethode nach Grau/Hamm ermittelt werden (Otto, 2005), die durch das notwendige planimetrische Vermessen des Saftsaumes aufwändigeren Untersuchungen vorbehalten ist. Dazu zählt auch die Ermittlung des Wasseraufnahmevermögens (Quellung), auch eine wichtige technologische Eigenschaft, die die Fähigkeit zur Aufnahme von Pökelflüssigkeiten charakterisiert. Hierzu muss eine Fleischprobe 6 Stunden in Wasser liegen und wird dann zurückgewogen (Kallweit, 1988). An einem ausgewählten Material wird derzeit in der LPA Haus Düsse die EZ-DripLoss Methode angewandt, bei der 2 runde Stanzproben aus dem Rückenmuskel (Kotelettscheibe an der 13./14. Rippe 24 Stunden post mortem entnommen) mit einem Durchmesser von 2 cm in Fleischsafttrichter eingelegt und dann nach weiteren 24 Stunden zurückgewogen (Otto et al., 2004).



**Abb. 2.7: Fleischsafttrichter zu Bestimmung des Tropfsaftverlustes (Christensen, 2003)**

Im Abschnitt 2.1 wurde auf die physikalisch-chemischen Veränderungen in der Muskulatur während der ersten Stunden nach dem Schlachten hingewiesen. Die letztmalig stattfindenden Energieabbauvorgänge (Abbau von phosphatreichen Verbindungen wie ATP und die Umwandlung von Glykogen in Milchsäure) sind direkt durch den pH-Wert-Abfall festzustellen. Die überstürzte oder normal ablaufenden Glykolyse führt zu einem schlechten oder besseren Safthaltevermögen durch die Durchlässigkeit der Zellwände. Die daraus entstehenden Fleischbeschaffheitsmängel wie PSE (pale = blass, soft = weich, exsudative = wässrig), DFD (dark = dunkel, firm = fest, dry = trocken)-Fleisch und der Hampshire-Typ (hoher pH<sub>1</sub>- und niedriger End-pH-Wert), lassen sich nach dem Erreichen des End-pH-Wertes mit dem Merkmal Leitfähigkeit gut erfassen. Eine gute Leitfähigkeit des Gewebes (hohe Werte) ist bei einem unerwünscht hohen Anteil an Flüssigkeit in den Interzellularräumen messbar (Übersicht 2.1). Die folgende Übersicht enthält Richtwerte zur ungefähren Abgrenzung der beschriebenen Fleischfehler.

**Übersicht 2.1: Richtwerte zur Bestimmung der Fleischbeschaffenheit mit Einstichsonden (Kallweit, 1990)**

Meßmethode	Meßstelle	PSE	Normal	DFD
pH <sub>1</sub>	Kotelett	< 5,6	> 5,8	--
pH <sub>24</sub>	Kotelett	--	< 5,8	> 6,0
pH <sub>1</sub>	Schinken	< 5,6	> 5,8	--
pH <sub>24</sub>	Schinken	--	< 5,8	> 6,1
LF <sub>1</sub>	Kotelett	> 8	< 5	--
LF <sub>1</sub>	Schinken	> 8	< 5	--
LF <sub>24</sub>	Kotelett	> 9	< 6	--
LF <sub>24</sub>	Schinken	> 9	< 6	--
RW*	Kotelett	> 30	< 30	

\* Reflektionswert des FOM-Klassifizierungsgerätes

Der pH (er gibt die Konzentration der freien Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>) an) kann sowohl zur Beschreibung des PSE- als auch des DFD Problems herangezogen werden. Innerhalb der ersten Stunde nach dem Schlachten zeigt er durch absinkende Werte die Geschwindigkeit des Glykogenabbaus zu Milchsäure an; nach 24 Stunden kann man sehen, ob der pH sein erwünschtes niedriges Niveau erreicht hat. Wenn bereits vor der Schlachtung im Tierkörper zuviel Glykogen abgebaut wurde, bleibt für die Milchsäurebildung nicht genug. Der pH erreicht nur Werte von 6,0 und höher, das bedeutet die Gefahr von leimigem, dunklen Fleisch, das eine geringere Haltbarkeit hat → DFD !! Hersteller von rohem Schinken sortieren schon Rohware ab 5,8 aus. Die Leitfähigkeitsmessung ist zur DFD-Erkennung nicht geeignet. Einen groben Hinweis auf PSE (besonders P = blass) kann der Reflektionswert

(Farbhelligkeit) der FOM-Sonde geben; Schlachtkörper mit Werten > 30 werden in einigen Betrieben gekennzeichnet und ggf. direkt für die Verarbeitung vorgesehen, wenn sich der PSE-Verdacht nach der Kühlung bestätigt. Zu diesem Zeitpunkt ist auch der Leitfähigkeitswert als Hilfsmerkmal zur „Früherkennung“ von möglichen Wasserbindungsproblemen am zuverlässigsten.

## Einflüsse auf die Fleischbeschaffenheit

### Genetische Faktoren

Stress vor dem Schlachten durch eine unsachgemäße Behandlung sowie Fehler bei der Betäubung der Schlachtschweine sind die häufigsten Ursachen für einen überstürzten Glykogenabbau. Stressanfällige Schweine neigen eher dazu als stressresistente. Auch in anderen Ländern wie in Frankreich und den USA werden die Bemühungen verstärkt, die Fleischqualität, und hier sind ein gutes Safthaltevermögen und die Farbstabilität gemeint, zu verbessern. Erhebliche Fortschritte werden erzielt, seit zwei Gene bekannt sind, die einzeln und auch additiv die Beschaffenheit negativ beeinflussen. Das MHS-Gen ist schon seit Beginn der 70er Jahre bekannt. Es wurde Europa weit und später auch in den USA in den Sauenlinien systematisch gegen dieses Gen selektiert. Dazu waren zunächst aufwendige Testverfahren nötig, die entweder das Maligne Hyperthermie Syndrom (MHS) auslösten (Halothan-Test), oder es wurden durch die Bestimmung muskelspezifischer Enzyme im Blut nach physischer oder pharmakologischer Belastung die anfälligen Tiere identifiziert (CK-Test). Das MHS-Gen stellt eine Mutation des Ryanodin-Rezeptors dar, das in den Zellmembranen der Muskelzellen zu einer Fehlregulation der  $Ca^{++}$ -Freisetzung aus dem sarkoplasmatischen Retikulum führt. Es kommt bei Belastung zu zahlreichen unkontrollierten Muskelkontraktionen, was Energieversorgungsprobleme in den Zellen nach sich zieht. Es entsteht ein Defizit von ATP, welches durch anaerobe Glycolyse ausgeglichen werden muss. Dabei wird vermehrt Laktat (Milchsäure) im Muskelgewebe angesammelt (Abschnitt 2.1.). Die daraus resultierende eine Azidose (Übersäuerung) induziert osmotische Veränderungen in den Zellen, die von Schwellungen und Degenerationen mit Austritt von muskelspezifischen Enzymen in den Extrazellularraum und damit ins Blutserum begleitet wird (Bickhardt, et al., 1972).

Die Sanierung der Mutterlinien galt lange Zeit als ausreichendes Instrument zur Sicherstellung der Stressresistenz und somit der (End-)Produktqualität, denn sowohl mischerbig (heterozygot(NP)-negative) als auch reinerbig (homozygot(NN))-negative Nachkommen sind relativ sichere Lieferanten von guter Fleischbeschaffenheit.

Bei genauerem Hinsehen erwiesen sich allerdings auch die Genträger (NP) als Endprodukte problematisch, was durch muskelphysiologische Untersuchungen mittels Magnet-Resonanz-Spektroskopie bestätigt wurde (Henning et al., 2000), so dass auch die Genträger konsequent aussortiert werden sollten. Ein weiteres inzwischen identifiziertes Gen ( $RN^-$ ) hat ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Verarbeitungseigenschaften von Schweinefleisch und ist bisher nur bei der Rasse Hampshire nachgewiesen worden.

Der Hampshirefaktor ( **$RN^-$  Gen**) ist gekennzeichnet durch einen verzögerten frühpostmortalen pH-Wert-Abfall, welcher durch eine hohe Glykogenspeicherkapazität in der Muskulatur bedingt ist. 24 Stunden p.m. sind dann im Fleisch auffallend niedrige pH-Werte zu finden, verbunden mit einem deutlich vermindertem Wasserbindevermögen und einer schlechten Kochpökeleigenschaft (schlechtes Aufnahmevermögen der Pökelflüssigkeit). Das dafür verantwortliche Gen beeinflusst vor allem den Energiestoffwechsel in den Muskelfasern des Typs IIa. Es zeigen sich erhöhte Enzymaktivitäten im Citratzyklus, was zu einer Gesamt-Zunahme des glykolytischen Potenzials in der „weißen Muskulatur“ führt. Das Glykogen und das Protein sind gleichwertige Bindungspartner für das im Muskel vorhandene Wasser, wodurch die an Glykogen gebundene Wassermenge zu- und die dem Protein anhaftende Wassermenge abnimmt. Durch Erhitzen wird die Restglykogenmenge umgewandelt, und das gebundene Wasser geht verloren. Die Auswirkungen des  $RN^-$  Gens wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen zunächst in Frankreich, dann in Deutschland und Dänemark beschrieben (Laube, 2000).

### Haltungs-/Managementbedingungen

Im Öko-Landbau und z.B. beim Neuland Programm wird den Tieren mehr Bewegungsfreiheit gewährt als nach den Haltungsverordnungen vorgeschrieben, sei es durch ein größeres Platzangebot im Stall selbst oder durch Zugang zu einem Auslauf bzw. zu einer Weide. Durch die damit verbundene höhere körperliche Aktivität sollte es zu einem Training des Herz-/Kreislaufsystems, einer verbesserten Kapillarversorgung der Muskeln und letztlich zu einer erhöhten Leistungsfähigkeit des Muskelstoffwechsels kommen, Bedingungen, die der Entstehung von PSE-Fleisch entgegenwirken müssten.

So weit diesbezügliche Versuche vorliegen, waren jedoch gerade diese Auswirkungen nicht zu beobachten bzw. - wie z.B. bei Kreuzer et al. (1994) - auf Grund sich überlagernder Effekte der genetischen Herkunft nicht eindeutig zu interpretieren. Hier seien stellvertretend nur einige der inzwischen zahlreichen Arbeiten zitiert. Augustini et al. (1982) verglichen unter Verwendung stressempfindlicher, stark muskelbetonter Schweine eine Haltung auf Vollspaltenboden (0,6 m<sup>2</sup>/Tier) mit einer Haltung im Tieflaufstall auf Stroheinstreu (1,8 m<sup>2</sup>/Tier). Die Schlachtkörper aus der Tiefstallgruppe waren trotz gleicher Futterzuteilung stärker verfettet und wiesen auch einen etwas höheren intramuskulären Fettgehalt auf. In den untersuchten PSE-Kriterien zeigten sie jedoch tendenziell sogar ungünstigere Werte als die Schlachtkörper der auf engem Raum gehaltenen Vergleichsgruppe. In der sensorischen Bewertung gab es keine Unterschiede. Barton-Gade und Blaabjerg (1989) fanden bei im Auslauf gehaltenen Schweinen (25 m<sup>2</sup>/Tier + 0,5 m<sup>2</sup> Liegefläche unter Dach) deutlich geringere Anteile an DFD-Abweichungen als bei den im Stall gemästeten Kontrolltieren. Die Autoren führten dies auf eine bessere Kondition der Auslauftiere und auf deren ruhigeres Verhalten während der Bereitstellung am Schlachthof zurück. Aus Arbeiten über eine Beeinflussung der Fleischqualität durch die Haltungsbedingungen während der Mastperiode lässt sich zusammenfassend festhalten, dass bei Zugang zu großflächigem Auslauf die Futtermittelverwertung sinkt und der Schlachtkörper einen geringeren Fettgewebeanteil und somit einen höheren Muskelfleischanteil erhält. Damit verbunden ist ein geringerer intramuskulärer Fettgehalt, der sich für die sensorische Qualität allgemein eher als nachteilig erweist. Trotzdem werden in einigen Fällen – in Kombination mit einem geringeren Kollagengehalt – günstige Auswirkungen auf die Zartheit beobachtet, denen weiterhin unter Beachtung der genetischen Herkunft nachgegangen werden sollte. Eindeutige Effekte auf den PSE-Status sind nicht zu belegen. Bedingt durch die erhöhte motorische Aktivität kann es jedoch zu einer verstärkten Kohlenhydratanreicherung in den Muskelfasern kommen. Dies vermindert einerseits die Gefahr der Entstehung von DFD-Abweichungen, sie kann aber auch zu sehr niedrigen End-pH-Werten mit unerwünschten Folgen für die Wasserbindung führen. Abschließend lässt sich festhalten, dass bei den erwähnten Systemen – schon um der Forderung nach Auslaufhaltung besser entsprechen zu können - häufiger Robustrassen oder zumindest reinerbig MHS-negative Mastendprodukte gewählt werden, die durch Stressresistenz und geringere Neigung zu PSE Vorteile bieten. Solche Herkünfte weisen im statistischen Durchschnitt aber auch einen fetteren Schlachtkörper auf, der auch in Vermarktungsschienen des Öko-Landbaus geringer bezahlt wird, so dass ggf. doch auf muskelfleischreichere Tiere zurückgegriffen werden muss.

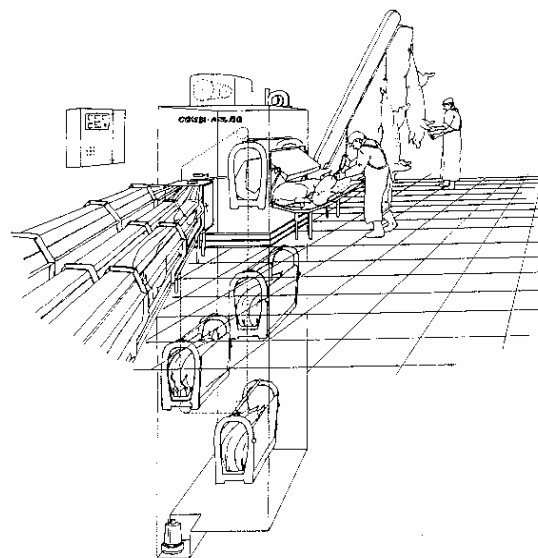
### Transport- und Schlachtbedingungen

Zu den Verantwortlichkeiten des Mastbetriebes zählen neben der Auswahl der möglichst stressstabilen Genetik und den geringen Einflussmöglichkeiten über die Tierhaltung, ein gutes Management in Hinsicht Verladung und Transport der Schlachttiere. In Markenfleischprogrammen, die eine sogenannte vertikale Integration der einzelnen Produktionsbereiche anstreben, sind für die neuralgischen Punkte auf dem Weg zur Qualitätsfleischerzeugung entsprechende Richtlinien entwickelt worden. Kurze Treibewege, gute Lichtverhältnisse, rutschfeste Böden und **Ruhe beim Ausstallen und Verladen** – die Empfehlungen zur Gestaltung der Verladung und des Transportes sind durch zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen und Erfahrungen aus der Praxis ausreichend beschrieben. Inzwischen sind zahlreiche Transporte unterwegs, die ausschließlich **geschlossene Mastgruppen** transportieren, entweder im Container oder in entsprechend abgetrennten Abteilen auf den Ladeflächen, und so aggressive Auseinandersetzungen der

Tiere weitgehend vermeiden. Die im Umgang mit Tieren sein und werden zu einer **ruhigen Fahrweise** angehalten. Die Fahrzeuge sind so ausgestaltet, dass für eine ausreichende **Belüftung** der Tiere gesorgt ist.

An den Schlachthöfen sind die Verhältnisse in den letzten Jahrzehnten den Erfordernissen für eine schonende Behandlung der Schlachtschweine angepasst worden. Dazu gehören **ausreichende Wartestallkapazitäten**, in denen die Tiere Zugang zu Sprühanlagen haben, die sie selbst in Funktion setzen können. Dadurch kann am ehesten ein beschleunigter Energiestoffwechsel, bei dem auch noch Wärme produziert wird, heruntergefahren werden. Ausruhzeiten von 1,5 bis 3 Stunden werden empfohlen. Der Zutrieb zur Betäubung sollte dann ebenfalls in Ruhe und ohne übermäßigen Zwang erfolgen.

Im der Tierschutzschlachtverordnung (TierSchlV 1995) werden die für Schweine zulässigen **Betäubungs- und Tötungsverfahren** beschrieben. Elektrobetäubung kann manuell oder automatisch erfolgen, wichtig ist, dass der Betäubungsstrom wirksam ist (Tierschutz !) und keine betäubungsbedingten Schäden am Schlachtkörper (Qualitätsmängel) entstehen. Es kann zu Knochenbrüchen, besonders im Bereich der Wirbelsäule, und zu punktförmigen Muskelblutungen kommen. Bei der Kohlendioxid(CO<sub>2</sub>)-Betäubung (Abb. 2.8) sind in erster Linie die CO<sub>2</sub>-Konzentration (> 80%) am Hauptexpositionspunkt sowie die Aufenthaltsdauer in der CO<sub>2</sub>-Atmosphäre von Bedeutung. Die Wirkung der Betäubung ist bei sehr aufgeregten Schweinen grundsätzlich schwächer, was zusätzlich für einen möglichst ruhigen Umgang mit den Tieren spricht. Der eigentliche Vorteil der CO<sub>2</sub>-Betäubung liegt in der Verminderung der Schlachtkörperschäden.



**Abb. 2.8: Schema einer CO<sub>2</sub>-Betäubungsanlage mit Gondeln und Entblutung im Hängen (nach Troeger, 1997)**

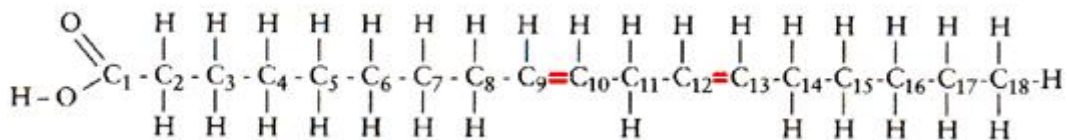
Elektrobetäubung und Gasanästhesie sind in der Regel reversibel, daher ist es wichtig, dass möglichst unmittelbar nach der Betäubung der Entblutungsstich erfolgt (20 bis 30 sec). Nach der Elektrobetäubung liegen die Schweine zumeist auf einem Plattenförderband. Der günstige Einfluss dieser **Entblutetechnik** beruht auf einer Einschränkung der „Muskelarbeit“ mit den entsprechenden Energieabbauvorgängen und der Stimulation der anaeroben Glykolyse, der Milchsäurebildung und dem überstürzten pH-Wertabfall (Troeger, 1997). Brüh- und Enthaarungsverfahren mit entsprechender Hitzeeinwirkung können die Oberflächenkeimbesiedlung des Schlachtkörpers erheblich vermindern. Das Entnehmen des Magen-Darm-Traktes stellt ein weiteres Kontaminationsrisiko dar, welches durch zunehmende Automatisierung verringert werden kann. Vor der Trennung der Schlachthälften wird das Geschlinge entnommen (Zunge, Speise- und Luftröhre, Lunge, Herz und Leber) sowie die Flomen, Nieren und das Zwerchfell bis auf den Zwerchfellpfeiler (Trichinenuntersuchung) entfernt.

Schlachtkörper sind am Ende des Schlachtprozesses (max. 45 Minuten nach dem Betäuben) zwischen 36,5° und 42,5°C warm. Die Absenkung der Temperatur erfolgt in Kühlräumen oder Kühltunneln. Dadurch können evtl. beschleunigte post mortale Stoffwechselprozesse verlangsamt werden. Der Praxis wird empfohlen, Schweinefleisch in Schlachthälften in fünf Stunden auf ca. 20°C zu kühlen, um nach 18 bis 24 Stunden die laut Fleischhygieneverordnung vorgeschriebenen 7°C zu erreichen. Zerlegtes Fleisch sollte bis zur Zubereitung bei 0 bis maximal +5°C gehalten werden (Honikel, 1997).

## 2.5 Fettqualität

### Definition

Fette sind chemische Verbindungen aus Glycerin und Fettsäuren. Die Fettsäuren im Fettmolekül können gesättigt oder ungesättigt sein und unterschiedliche Kettenlängen aufweisen (kurz-, mittel-, langkettig). Gesättigte Fettsäuren (SFA = saturated fatty acids) enthalten ausschließlich Einfachbindungen. Die ungesättigten Fettsäuren weisen hingegen eine oder mehrere Doppelbindungen auf, man spricht von einfach (Ölsäure) oder mehrfach ungesättigten (Linolsäure, Linolensäure) Fettsäuren (PUFA = poly unsaturated fatty acids). Reich an Linolsäure sind z. B. die Samenöle von Sonnenblumen und Soja sowie die Keimöle von Weizen und Mais (Löbber, 2000).



**Abb. 2.9: Strukturformel der Linolsäure mit 2 Doppelbindungen (am 6. C-Atom von rechts, vom Methylende aus gezählt, daher eine ω-6-Fettsäure)**

Die Doppelbindungen der ungesättigten Fettsäuren sind „Angriffspunkte“ für Sauerstoff und andere Elemente (z. B. Jod). Die Fette oxidieren leicht, was die Verarbeitungsmöglichkeiten für rohe Dauerwaren einschränkt. Daher wird in der Schweiz mit Hilfe der Jodzahl die Fettqualität am Schlachtkörper bestimmt. Die Jodzahl gibt an, wie viel Gramm Jod von 100g eines Fettes gebunden werden. An jede Doppelbindung lagern sich zwei Atome Jod an (Loeffler, 2002). In der Schweiz wird die Jodzahl am Rückenspeck bestimmt und als Fettzahl in die Schlachtkörperbewertung einbezogen. Bei einem Wert > 62 muss der Erzeuger Preisabzüge hinnehmen (Gläser, 2000).

### Subkutanes und intermuskuläres Fett

Ein wichtiger Energiespeicher für das Schwein ist das Unterhautfettgewebe (subkutanes Fett). Bei nährstoffangepasster Ernährung bilden sich bei wachsenden Schweinen durch die Zunahme und das Auffüllen von Fettzellen zunächst unter der Haut und in den Bindegewebsschichten zwischen den Muskeln als Fettdepots aus. Sie werden im Verlauf des Wachstums als erste gebildet und in ihrer Fettsäurezusammensetzung stark durch das Futterfett beeinflusst. Das Wiederfinden des Futterfettes in den subkutanen Fettdepots setzt allerdings voraus, dass eine entsprechend dicke Fettauflage gebildet werden kann. Stammt der Schlachtkörper von einem Schwein mit einer hohen Wachstumskapazität für Magerfleisch, dazu gehören sowohl Rassen mit einem hohen Eiweißansatzvermögen, wie Piétrain oder Hampshire, als auch intakte männliche Tiere (Wood et al., 1973 und 1985, Villegas et al. 1973), so ist der Ansatz von gesättigten Fettsäuren herabgesetzt, selbst wenn sie im Futter ausreichend vorhanden sind. Sowohl in den inneren als auch den äußeren Schichten des Rückenspecks werden bei gleichen nutritiven Voraussetzungen z. B. beim Piétrain-schwein weniger gesättigte Fettsäuren eingelagert. Daher sind auch die Wasser- und Bindegewebsgehalte im Rückenspeck bei diesen Tieren höher. Im Gegensatz dazu haben die

Yorkshire (Edelschweine) bei gleichem Gewicht und Alter mehr Rückenspeck, und dieser hat einen höheren Anteil an gesättigten Fettsäuren und daher eine für die Verarbeitung günstigere Konsistenz. Auch der Vergleich von Hampshires mit Duroc-Kreuzungen und Yorkshires führte zu dem Ergebnis, dass die Hampshires in ihrem Rückenspeck einen höheren Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren hatten als die anderen, fetteren Schlachtkörper. Vergleiche zwischen Ebern und Kastraten der gleichen Kreuzung deuten auf diese Zusammenhänge ebenfalls hin, Messungen der Fettkonsistenz ergaben gleiche Werte bei gleichen Rückenspeckdicken, und jeweils ungünstigere Werte für die Eber, wenn die Schlachtkörper magerer waren. Wenn man also einen überdurchschnittlichen Magerfleischanteil im Schlachtkörper von z.B. > 56% haben möchte, kann nicht gleichzeitig der Rückenspeck, der in einer solchen Hälfte an der Rückenmitte gemessen ca. 20 mm (incl. Schwarte) betragen würde, einen hohen Anteil an gesättigten Fettsäuren besitzen. Dies ist nach den biologischen Gesetzmäßigkeiten und unabhängig von der Futtergrundlage unmöglich. Die Qualität der Fettgewebe wird weitestgehend durch das Fettsäurenmuster der darin enthaltenen Lipide bestimmt.

### **Intramuskuläres Fett (IMF)**

Unter intramuskulärem Fettgehalt wird im Allgemeinen der durch organische Lösungsmittel extrahierbare Anteil an Fett und Fettbegleitstoffen im schieren Muskelgewebe verstanden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den Membranlipiden (vor allem Phospholipide), deren Anteil weitgehend konstant bleibt (etwa 0,6-0,8 %), und dem in den Fettzellen des Perimysiums eingelagerten Depotfett (Triglyceride), dessen Anteil starken Schwankungen unterliegt. In welchem Ausmaß vor allem die Membranlipide bei der Bestimmung mitefassen werden, hängt jedoch davon ab, ob der Extraktion eine HCl-Behandlung der Fleischprobe vorgeschaltet wird und welches Lösungsmittel verwendet wird. Zu beachten ist weiterhin, dass auch innerhalb des Schlachtkörpers eine erhebliche Variation besteht (Fischer, 1994), so dass nur an der gleichen Messstelle ermittelte Werte vergleichbar sind.

Die Bemühungen, den intramuskulären Fettgehalt zu erhöhen, gehen etwa in die gleiche Richtung. Kurzfristig ist es notwendig, auf Rassen auszuweichen, die insgesamt einen höheren Fettanteil im Schlachtkörper haben und somit auch die günstigere Fettzusammensetzung liefern (z. B. Duroc oder Duroc-Kreuzungen). Hierfür gibt es aber von Seiten des Marktes gegenwärtig keine direkten Anreize.

### **Fütterungseinflüsse**

Futterfette liefern in erster Linie Energie und haben bei empfohlener Rationsgestaltung keine nachhaltige Wirkung auf den Fettstoffwechsel beim Schwein. Eine erhöhte Zufuhr von ungesättigten Fettsäuren (z. B. aus Sojaöl) kann die körpereigenen Fettsyntheseraten erhöhen, andere experimentell zugeführte Fette können den Insulin- und Glukosespiegel im Blut erniedrigen. Einflüsse auf den Muskelstoffwechsel und somit eine direkte Wirkung auf physikalische Fleischbeschaffenheitsparameter konnten nicht ermittelt werden (Choi, 1989).

Die Qualität der Fette beim Schwein ist zum einen abhängig von der Zufuhr von Fetten über das Futter, zum anderen ist sie aber auch genetisch bedingt. Am deutlichsten spiegeln sich die Futterfette im Fettsäurenmuster des Rückenspecks und im intramuskulären Fett wider, wohingegen das Nierenbeckenfett aufgrund seiner definierten Funktionen am stärksten genetisch beeinflusst ist (Kallweit et al., 1988). In seltenen Fällen kommen noch spezifische Geruchs-/Geschmacksabweichungen ein zu hoher Gehalt an Polyensäuren („PUFA“ = polyunsaturated fatty acid) im subkutanen und intramuskulären Fett wirkt sich qualitätsmindernd auf die Beschaffenheit des Fleisches sowie die Verwendbarkeit des gesamten Schlachtkörpers aus. Als Grenzwert für den Gehalt an Poly- also mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Fettgewebe vom Schwein wird ein Gehalt von max. 12 bis 15% vorgeschlagen (Stiebing et al., 1993), was bedeutet, dass der Maisanteil in der Mastration 50% nicht überschreiten sollte.

## 2.6 Gesundheitswert von Schweinefleisch bzw. -fett

Obwohl der Wert von tierischem Protein in der Humanernährung unumstritten ist, hält die Diskussion über die Fette unvermindert an. Sie führt trotz eines nachweislich geringen Anteil an intramuskulären Fett in einigen Ernährungsempfehlungen zum vollständigen Verzicht auf Schweinefleisch, weil neben dem Nährwert (positiv) der Gesundheitswert als negativ angesehen wird (Löbber et al., 2000) Dazu trägt nicht zuletzt ein große Vielfalt an Verarbeitungsprodukten aus Schweinefleisch bei, die in traditionellen Rezepturen sehr fett- und wenig ballaststoffreich der sind. Die Fleischforschung und -industrie bemühen sich daher um neue Rezepturen. Ein anderer Weg wäre die direkte Einflussnahme auf Fettsäurezusammensetzung über das Futterfett. Bei dem Fettsäuremuster der für die menschliche Ernährung verwendeten Fette werden aus diätetischen Gesichtspunkten (Schutz vor kardiovaskulären Erkrankungen) höhere Anteile an Polyensäuren im Allgemeinen (Verhältnis PUFA : SFA > 0,45) und an  $\omega$ -3-Fettsäuren im Besonderen (Verhältnis  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 < 4,0) gewünscht. Andererseits besteht bei vielseitiger Ernährung keine Notwendigkeit, z. B. n-3-Fettsäuren, die in hoher Konzentration u.a. in Seefisch (Fischöl), Leinöl oder Rapsöl vorkommen, maßgeblich aus Schweinefleisch zu beziehen, wo eine Anreicherung mit erheblichen Nachteilen für dessen Lagerstabilität und Verarbeitungsfähigkeit verbunden ist. Welche Fettqualität letztlich produziert werden sollte, hängt vom jeweiligen Verwendungszweck ab. Steht im **Frischfleischbereich** der Genusswert im Vordergrund, so wird ein Fett, das rasch oxidiert, abgelehnt. Daraus ergibt sich, dass der Polyensäureanteil zu begrenzen ist. Gegebenenfalls kann dem Schweinefett durch den Einsatz von Futtermitteln (z. B. Kokos- und Palmkernfett), die mittelkettige Fettsäuren (C:12 - Laurinsäure, C:14 – Myristinsäure) enthalten, eine als angenehm empfundene, leicht nussartige Aromanote mitgeteilt werden.

Bei einem Speck für die **Dauerwarenherstellung** ist nun besonderer Wert auf niedrige Gehalte an Polyensäuren (z. B. < 12 %) zu legen. Die Konsistenz des Fettgewebes kann aber auch durch hohe Ölsäureanteile beeinträchtigt werden, wenngleich dies bei bestimmten Rohschinkenspezialitäten, wie z.B. dem spanischen „Jamon iberico“, bewusst in Kauf genommen, ja sogar als produkttypisch angesehen wird. Schließlich gelten hier auch mittelkettige Fettsäuren als unerwünscht, da sie im Verlaufe der Reifung Geschmacksabweichungen im Endprodukt verursachen können.

Bei beiden Verwertungsrichtungen erweisen sich die stark oxidationsbereiten Polyensäuren mit 3 und mehr Doppelbindungen als besonders problematisch. Da solche Fettsäuren in größeren Konzentrationen nur in wenigen Futtermitteln, wie Leinsamen, Leinöl, Seetierölen und schlecht entfetteten Fischmehlen, enthalten sind, lässt sich eine Anreicherung im Tierkörperfett leicht vermeiden. Zu dieser Gruppe gehört jedoch eine Reihe von  $\omega$ -3-Fettsäuren, denen im Bemühen um eine **gesunde Ernährung** wachsendes Interesse entgegengebracht wird. Deshalb kommen immer wieder Überlegungen auf, Schweinefett durch eine gezielte Anreicherung mit diesen Fettsäuren diätetisch wertvoller zu machen. Dies ist produktionstechnisch leicht zu realisieren. Allerdings kann es dann - insbesondere im Verlaufe einer Gefrierlagerung - nicht nur im Rückenspeck, sondern sogar im Magerfleisch zu massiven Aromaabweichungen kommen.

### Literatur

- Adam, F. (2006): Was bringen zusätzliche Ausschlachtungsprozente beim Schwein? Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, [www.landwirtschaftskammer.de](http://www.landwirtschaftskammer.de)
- Adam, F., Hartmann, F.-J. (2005) Maskenvielfalt für AutoFOM-Abrechnungen nimmt zu. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, [www.landwirtschaftskammer.de](http://www.landwirtschaftskammer.de)
- Augustini, Chr. (1982): Ursachen unerwünschter Fleischbeschaffenheit beim Schwein. In: Beiträge zum Schlachtwert von Schweinen. Kulmbacher Reihe. Band 3, S. 165 - 186

- Augustini, Chr., Fischer, K., Schön, L. (1982): Bewegungsfördernde Haltung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein. *Fleischwirtschaft* 62, S. 1161 - 1167
- Bickhardt, K., Chevalier, HJ., Giese, W., Reinhard, HJ. (1972): Akute Rückenmuskelnekrose und Belastungsmiopathie beim Schwein. *Fortschr. Der Vet.Med.* 18 Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg 111 S.
- Barton-Gade, PA., Bejerholm, C. (1990): Vorläufige Beobachtungen über das Verhalten und die Fleischqualität von Schweinen aus Auslaufhaltung. *Fleischwirtschaft* 70, S. 555
- Bockisch, FJ., Hesse, A., Henning, M., Baulain, U. (2004): Wie sieht es aus im Schwein? Neue Verfahrens- und Sensortechnik kann Schweinefleischproduktion optimieren. *Forschungsrep. Verbrauchersch. Ernähr. Landwirtsch.*(2), S. 38 - 41
- Choi Do Young (1989): Untersuchungen zum Einfluss eines spezifischen Fettsäurezusatzes auf Fleischbeschaffenheit und Körperfett beim Schwein. *Sonderheft 105 Landbauforschung Völkenrode* 139 S.
- Christensen, LB. (2003): Drip loss sampling in porcine M. longissimus dorsi. *Meat Science* 63 (4), S. 469 - 477
- Faller, A. (neu bearbeitet von Schünke, M.) (2004): *Der Körper des Menschen*. Thieme Verlag Stuttgart New York 826 S.
- Fischer, K. (1994): Zur Topographie des intramuskulären Fettgehaltes bei Rind und Schwein. *Mitteilungsblatt BAFF* 33, S. 112 - 120
- Gläser, KR. (2000): Untersuchungen zur Eignung der Fettzahl als Kriterium für die Einschätzung der Fettqualität von Mastschweinen unter dem Einfluss der Fütterung im Hinblick auf die Qualität von Verarbeitungsprodukten. *Diss. Agr. ETH Zürich/CH*
- Henning, M., Baulain, U., Kohn, G., Lahucky, R. (2000) : In vivo and post mortem changes of muscle phosphorus metabolites in pigs of different Malignant Hyperthermia Genotypes. In: *Quality of meat and fat in pigs as affected by genetics and nutrition*. EAAP Publication 100, S. 135 - 138
- Honikel, KO. (1997): Chemische und strukturelle Veränderungen nach dem Schlachten. In: *Handbuch Fleisch und Fleischwaren*. Behr's Verlag Hamburg Wirth/Barciaga/Krell Hrsgb.
- Junqueira, L. C., Carneiro, J. (1986): *Histologie: Lehrbuch der Cytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie des Menschen unter Berücksichtigung der Histophysiologie*. Springer, Berlin, Heidelberg 1986, 2. Aufl.
- Kallweit, E. (1988): *Fleisch* In: *Kallweit/Kielwein/Fries/Scholtyssek Qualität tierischer Nahrungsmittel*. Ulmer Verlag Stuttgart, S. 11 - 112
- Kallweit, E. (1990) Qualitätskriterien, -kontrollen und -garantien für Schweinefleisch. In: *Schweineproduktion*. Hrsgb. AMK Berlin Bauer/Ingwersen/Frohnmeyer/Petersen S. 51 - 57
- Kreuzer, M., Lange, M., Köhler, P., Jaturasitha, S. (1994): Schlachtkörper- und Fleischqualität in Markenfleischprogrammen beim Schwein unter Produktionsauflagen mit dem Ziel besonders artgemäßer Haltung bzw. einer günstigeren Körperfettkonsistenz. *Züchtungskunde* 2 (66), S. 136 - 151
- Laube, S. (2000): Die Eignung spezieller Schweinekreuzungen zur Qualitätsverbesserung von Markenschweinefleisch unter besonderer Berücksichtigung von MHS-Status, Hampshire-Faktor intramuskulärem Fettgehalt. *Diss. TiHo Hannover*
- Littmann, E., Götz, K.-U., Dodenhoff, J. (2006): *Schweinezucht und Schweineproduktion*. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, S. 137 - 143
- Löbber, R., Hanrieder, D., Berges, U., Beck, J. (2000): *Lebensmittel – Waren, Qualitäten, Trends*. Verlag Europa-Lebensmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co., Haan-Gruiten

- Loeffler, K. (2002): Anatomie und Physiologie der Haustiere. UTB Agrarwissenschaften Veterinärmedizin Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 456 S.
- Müller, S., Polten, S. (2002): Ultraschall-Speckdickenmessung am lebenden Tier im Rahmen der Eigenleistungsprüfung. SuS / ZDS-USV 2002
- Otto, G. (2005): Investigation on meat quality in pigs with special emphasis on drip loss. Schriftenreihe des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung der Universität Kiel, Heft 152
- Otto, G., Roehe, R., Looft, H., Thoelking, L., Kalm, E. (2004): Comparison of different methods for determination of drip loss and their relation to meat quality and carcass characteristics in pigs. Meat Science, 68 (3), S. 401 - 409
- Paulus, ED., Henning, M., Brandt, H., Kallweit, E., Glodek, P. (2000): Die Fleischleistung und der Markterlös von Schweinekreuzungen mit besonderen Qualitätseigenschaften im Vergleich zum heutigen Standard- und Markenschweineangebot. Züchtungskunde 72 (4), S. 290 - 307
- Schwarz, FJ. (2000): Ernährung und Fleischqualität. In: Qualitätsfleischerzeugung bei landwirtschaftlichen Nutztieren. DGfZ-Schriftenreihe 18, S. 41 - 57
- Scheper, J., Scholz, W. (1985): DLG-Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf. DLG-Verlag, Frankfurt, D 85
- Stiebing, A., Kühne, D., Rödel, W. (1993): Fettqualität: Einfluss auf die Lagerstabilität schnittfester Rohwurst. Fleischwirtschaft 73, S. 1169 - 1172
- Tholen, E., Wiese, M., Baulain, U., Höreth, R., Hoppenbrock, KH. (2004): Schätzung des Muskelfleischanteiles von stationär leistungsgeprüften Zuchtschweineherkünften. Fleischwirtschaft 84, S. 105 - 109
- Tholen, E., Peschke, W., Baulain, U., Schellander, K. (1998): Objektive Erfassung des Fleischanteils im Schweinebauch. 1. Mitteilung: Entwicklung von Schätzgleichungen aus Schlachtkörpermaßen. Züchtungskunde 70, S. 196 - 204
- Troeger, K. (1997): Schlachtung und Fleischgewinnung. In: In: Handbuch Fleisch und Fleischwaren. Behr's Verlag Hamburg Wirth/Barciaga/Krell Hrsgb.
- Westfleisch Spezial (2004): Mit AutoFOM in ein neues Zeitalter. [www.westfleisch.de](http://www.westfleisch.de)
- Wood, JD. (1973): The fatty acid composition of backfat from Piétrain and Large White pigs. Anim. Prod. 17, S. 281 - 285
- Wood, JD, Jones, RCD, Bayntun, JA, Dransfield, E. (1985): Backfat quality in boars and barrows at 90 kg liveweight. Anim. Prod. 40, S. 481 - 487
- Villegas, FJ., Hedrick, HB., Veum, TL., McFate, KL., Bailey, ME. (1973): Effect of diet and breed on fatty acid composition of porcine adipose tissue. J. Anim. Sci. 36, S. 663 - 666
- ZDS (2005): Richtlinie für die Durchführung der Eber-Eigenleistungsprüfung auf Fleischleistung in Prüfstationen (Stationsprüfung) vom 24.11.2005