

Das Fettzahl-konforme Schwein: die MUFA:PUFA Norm

G. BEE, Agroscope Liebefeld-Posieux, Eidgenössische Forschungsanstalt für Nutztiere und Milchwirtschaft (ALP), CH-1725 Posieux

Einleitung

Der Fettgewebsqualität des Schlachtschweins wird in der Schweiz seitens der Fleischverarbeitungsindustrie sowie auch (gezwungenermassen wegen der Preisbindung) seitens der Futtermittelindustrie und der Schweineproduzenten seit mehr als 16 Jahren grosse Beachtung geschenkt. Sowohl als Instrument zur Qualitätssicherung als auch als Kriterium für den Auszahlungspreis hat sich die Erfassung der Fettqualität basierend auf der Fettzahl etabliert. Bei der Einführung der Fettzahl als Qualitätsmerkmal war die Forderung ausschlaggebend, dass für die Herstellung von qualitativ hochwertigen Fleischwaren der Rohstoff Fett hohen Anforderungen hinsichtlich der Konsistenz und der Oxidationsstabilität genügen muss. Beide Merkmale werden massgeblich durch die Fettsäurezusammensetzung des Fettgewebes beeinflusst. Allgemein geht ein zunehmender Anteil an ungesättigten Fettsäuren im Depotfett mit einer weicheren Konsistenz einher und führt in der Regel zu erhöhter Oxidationsanfälligkeit des Fettes. Die durch Prof. A. L. Prabucki konzipierte Fettzahl ermöglicht innerhalb einer angemessenen Frist nach der Schlachtung im Körperfett die Erfassung des Anteils an ungesättigten Fettsäuren bzw. der Anzahl an Doppelbindungen der eingelagerten Fettsäuren (HÄUSER und PRABUCKI, 1990). SCHEEDER et al. (1999) zeigten, dass die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse unter Einhaltung der festgelegten Regeln bei der Probennahme und der Bestimmungsmethode zuverlässig und reproduzierbar sind. Innerhalb kurzer Zeit nach der Einführung der Fettzahl in den Schlachthöfen konnte eine markante Verbesserung hinsichtlich der gewünschten Fettqualität bei Schlachtschweinen seitens der Fleischverarbeitenden Industrie festgestellt werden (SCHEEDER et al., 1999). Dass dies gelang, ist der gemeinsame Verdienst von Produzenten, Futtermittelindustrie sowie Zuchtorganisationen, die enorme Anstrengungen unternommen haben, um den geforderten Gegebenheiten gerecht zu werden. Damit wurde das Fettzahl-konforme Mastschwein geschaffen, das hauptsächlich darauf ausgerichtet ist, den Anforderungen an die Verarbeitungsqualität zu genügen. Ohne weiter darauf einzugehen, sei hier aber erwähnt, dass die gezielte Verminderung des Anteils ungesättigter Fettsäuren im Depotfett, was auch einen gleichgerichteten Einfluss auf das inter- und intramuskuläre Fett zur Folge hat, aus Sicht der Humanernährung nicht den gewünschten Bedürfnissen entspricht (AZAIN, 2004; WOOD et al., 2004). Es sei deshalb die Frage erlaubt, ob das Fettzahl-konforme Schwein das einzig richtige Schwein ist.

Im Unterschied zum Muskelgewebe wird beim Schwein die Zusammensetzung des Depotfettes in einem viel stärkeren Mass durch das Futter bzw. das Futterfett beeinflusst. Nicht nur die Aufnahme der mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) ist eng mit der im Fettgewebe eingelagerten Menge an PUFA korreliert, sondern auch die Regulierung der *de novo* Synthese von gesättigten Fettsäuren (SFA) und einfach ungesättigten Fettsäuren (MUFA). Neben diesem direkten Einfluss des Futters hängt die Fettsäurezusammensetzung des Fettgewebes direkt von der Menge des angesetzten Fettes ab, die ihrerseits durch das genetische Potenzial, das Geschlecht, die Wachstumsintensität sowie durch exogene Einflüsse wie die Umgebungstemperatur und die Bewegungsaktivität bestimmt wird. Im Folgenden werden verschiedene dieser Faktoren und deren Beziehungen zueinander aufgezeigt und deren Einfluss auf die Fettsäurezusammensetzung und letztendlich auf die Fettzahl beschrieben.

Charakteristik des Fettgewebes

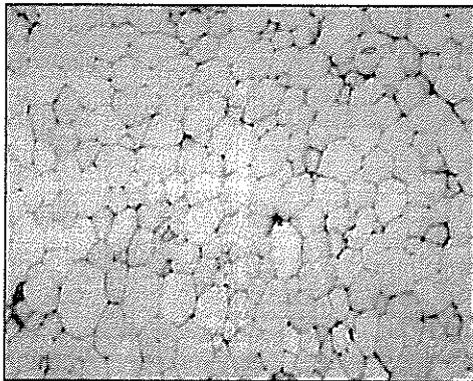


Abbildung 1. Histologischer Querschnitt durch das Auflagenfett eines Mastschweins.

Das Fettgewebe dient dem Tier hauptsächlich als Energiespeicher. Es besteht aus Fettzellen (Abbildung 1), die von einem Bindegewebsnetz umgeben sind. Je nach Gewebe weisen adulte Fettzellen einen Durchmesser von 25 – 150 µm auf. Zusammengesetzt ist das Fettgewebe hauptsächlich aus Fett (75 – 90%), das mehrheitlich in Form von Triacylglyceriden vorliegt (Abbildung 2), aus Wasser (5 – 25%) und aus einer geringen Menge an Proteinen (Proteine des Bindegewebes und Proteine von zellulären Strukturen) (NÜRNBERG et al., 1998). Diese Zusammensetzung kann zwischen dem Auflagenfett, dem Nierenfett sowie dem inter- und intramuskulärem Fett variieren.

Herkunft der im Fettgewebe eingelagerten Fettsäuren

Die Fettsäuren im Fettgewebe stammen einerseits aus dem Futterfett und andererseits werden sie im Gewebe selbst neu synthetisiert (*de novo* Fettsynthese). Die über das Futter aufgenommenen Fette gelangen beim Schwein meist unverändert in den Dünndarm, wo sie durch die Pankreaslipase zu β -Monoacylglycerine und freien Fettsäuren gespalten werden. Anschliessend werden sie in die Dünndarmmucosa resorbiert, wo wieder Triacylglycerine synthetisiert werden.

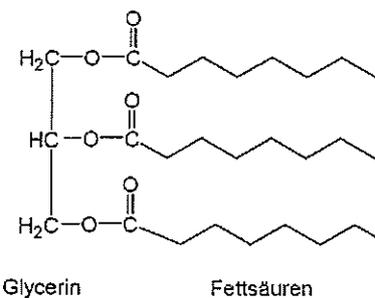


Abbildung 2. Allgemeine Darstellung eines Triacylglycerides.

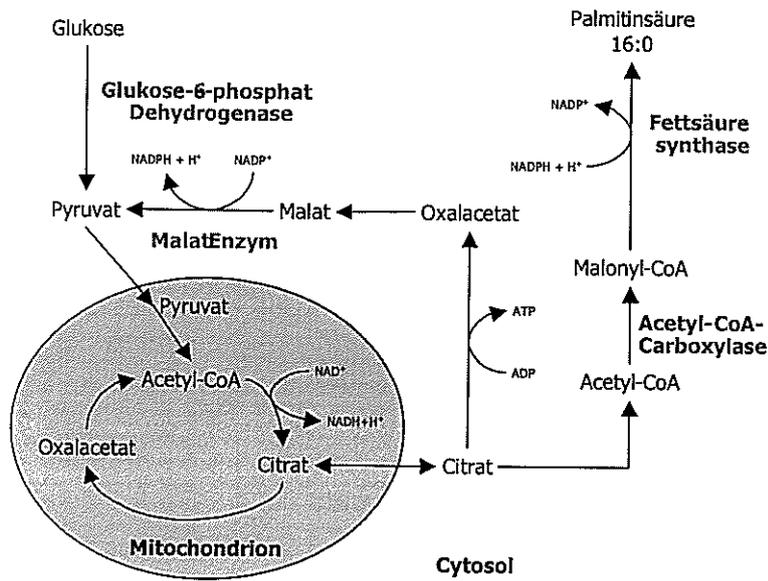


Abbildung 3. Schema der *de novo* Fettsynthese.

Eingebettet in Chylomikronen werden diese über das lymphatische System und das Blut zum Fettgewebe transportiert und durch Einwirkung des Enzyms Lipoproteinlipase dort eingelagert. Ein grosser Anteil der SFA wird im Fettgewebe selbst synthetisiert. Dabei dient Glukose (Glukoseabbau) als Vorläufer (Abbildung 3). Die im Fettgewebe eingelagerten bzw. über das Futter aufgenommenen Fettsäuren

beeinflussen die Aktivität verschiedener Enzyme der *de novo* Fettsynthese und bestimmen somit direkt den Anteil an SFA im Gewebe. Das Enzym $\Delta 9$ -Desaturase, dessen Aktivität ebenfalls durch im Fett vorhandene oder über das Futter zugeführte Fettsäuren bestimmt wird, ist verantwortlich für die Umwandlung von SFA (Palmitinsäure: 16:0 und Stearinsäure: 18:0) in MUFA (Palmitoleinsäure: 16:1n-7 und Ölsäure: 18:1n-9).

Entwicklung des Fettgewebes während des Wachstums

Beim neugeborenen Ferkel beträgt der Anteil des Fettgewebes rund 2% des Lebendgewichts (LE DIVIDICH et al., 1991). Dieser steigt dann rapide an und beträgt bei 25 und 100 kg rund 7 bzw. 13%

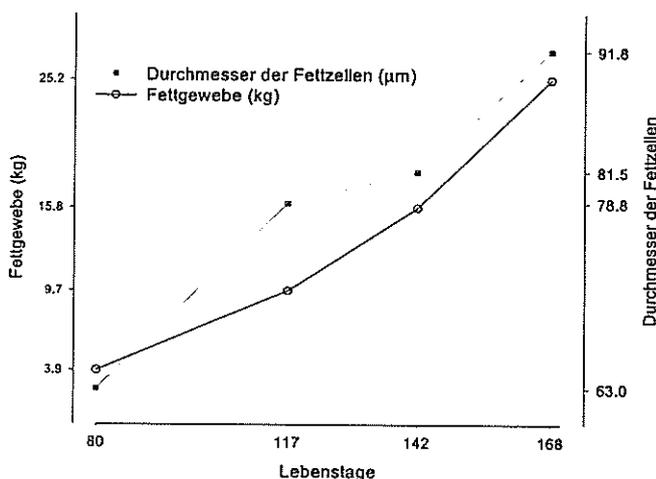


Abbildung 4. Morphologische Entwicklung des Fettgewebes sowie des Fettansatzes in Abhängigkeit des Alters beim Schwein (HENRY, 1977).

des Lebendgewichts. Die Entwicklung des Fettgewebes ist charakterisiert durch drei aufeinander folgende Phasen. 1) Hyperplasie: Zunahme der Anzahl Fettzellen zwischen dem 30. und 60. Lebenstag; 2) Hyperlasie und Hypertrophie: Zunahme der Anzahl sowie Vergrösserung der Fettzellen zwischen dem 60. und 135. Lebenstag; 3.) Hypertrophie: Vergrösserung der Fettzellen ab dem 135. Lebenstag (ANDERSON und KAUFFMAN, 1973).

Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass der Zuwachs des Fettgewebes beim Mast-schwein parallel zur Zunahme der Fettzellgrösse verläuft (HENRY, 1977) und somit hauptsächlich von der Aktivität der Fettsynthese abhängt. Besteht das Fettgewebe beim neugeborenen Ferkel noch zu mehr als 80% aus Wasser, so sinkt dieser innerhalb von 4 Wochen schon auf 20% ab, während der Lipidgehalt entsprechend ansteigt. Der

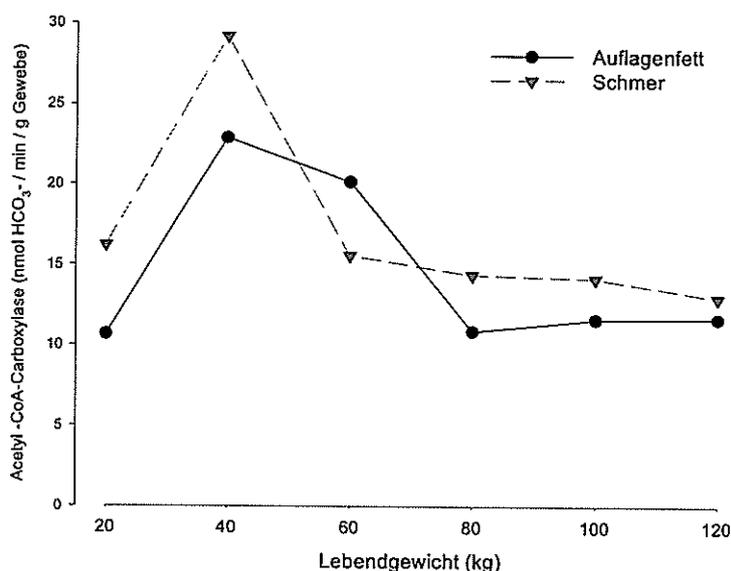


Abbildung 5. Aktivität der Acetyl-CoA-Carboxylase im Auflagenfett und Schmer von Schweinen im Lebendgewichtsbereich von 20 – 120 kg (MOUROT et al., 1995).

Wechsel von der fettreichen Sauenmilch hin zu einer kohlenhydratreichen Diät führt zu einem drastischen Anstieg der Fettsynthese. MOUROT et al. (1995) zeigten, dass die Syntheserate (am Beispiel der Aktivität der Acetyl-CoA-Carboxylase; vgl. Abbildung 3) bei einem Lebendgewicht zwischen 40 und 60 kg das Maximum erreicht (Abbildung 5).

Einfluss des Futters in der Trächtigkeit auf die pränatale Entwicklung des Fettgewebes der Foeten

Über den Einfluss der Fütterung der trächtigen und laktierenden Muttersau auf die pränatale Entwicklung des Fettgewebes der heranwachsenden Föten ist nur wenig bekannt. Es bestehen Hinweise, dass die Art sowie die Menge, der in der Trächtigkeit und Laktation eingesetzten Fette, die Entwicklung des Fettgewebes beeinflussen (GERFAULT et al., 1999; MOUROT, 2001; BOONE et al., 2001). Die Erhöhung des Fettgehaltes der Ration während der Trächtigkeit und Laktation von 2.5 auf 5%, erhöhte den Fettgehalt des Schlachtkörpers (1.2 vs. 1.5%) und der Leber (2.4 vs. 2.7%) der neugeborenen Ferkel. Am 7. Lebenstag wurden bei Nachkommen aus der 5% Fett Gruppe im Depotfett grössere Fettzellen jedoch in geringerer Anzahl festgestellt (Abbildung 6). Bei 100 kg Lebendgewicht war in der gleichen Gruppe die Anzahl der Fettzellen erhöht, wahrscheinlich als Folge der grösseren Anzahl an Präadipozyten (Vorläufer der adulten Fettzellen) am 7. Lebenstag. Die Durchmesser der adulten Fettzellen waren jedoch geringer. Der Fettgehalt des Schlachtkörpers bzw. die Menge an Auflagenfett wurde nicht verändert. Eine mögliche Erklärung

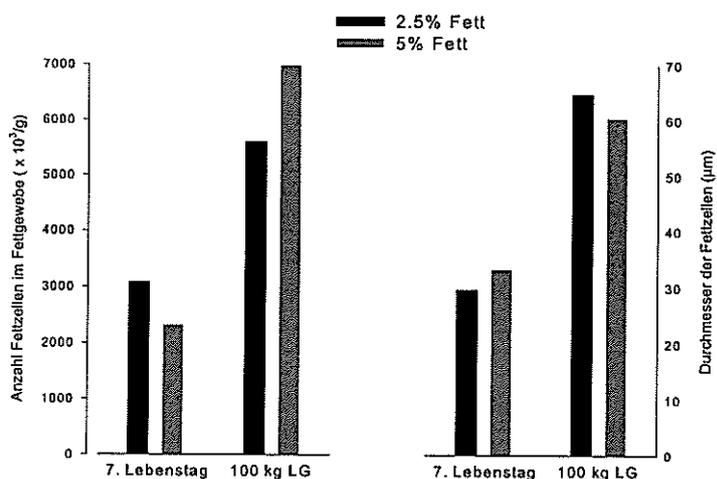


Abbildung 6. Anzahl und Durchmesser der Fettzellen im Auflagenfett am 7. Lebenstag und bei 100 kg Lebendgewicht von Nachkommen von Muttersauen, die während der Trächtigkeit und Laktation eine Ration mit einem Fettgehalt von 2.5 bzw. 5% Fett gefüttert wurden (MOUROT, 2001).

Schlachtschweins (GERFAULT et al., 1999; BOONE et al., 2001). In diesen Untersuchungen wurden drei verschiedene Fettzulagen verglichen, die sich bezüglich der Zusammensetzung der Fettsäuren deutlich unterschieden (*Kokosfett*: hoher Anteil an SFA; *Sonnenblumenöl*: hoher Anteil an PUFA; *Schweinefett*: ähnlicher Anteil an SFA und MUFA). Die Schlachtkörper neugeborener Ferkel von

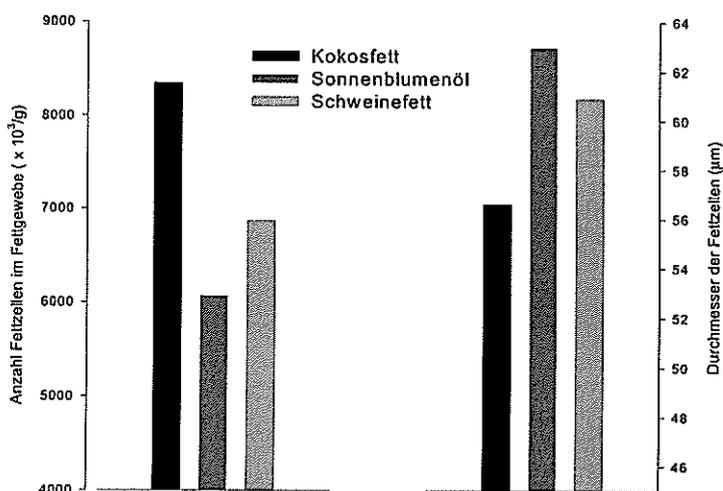


Abbildung 7. Anzahl und Durchmesser der Fettzellen im Depotfett bei 100 kg Lebendgewicht von Nachkommen von Muttersauen, die während der Trächtigkeit und Laktation eine Ration mit 5.5% Kokosfett, Sonnenblumenöl oder Schweinefett gefüttert wurden (GERFAULT et al., 1999; MOUROT, 2001).

könnte der Umstand sein, dass die Tiere in dieser Studie während der Mast rationiert gefüttert wurden. Unter *ad libitum* Bedingungen könnte möglicherweise ein erhöhter Fettansatz beobachtet werden.

Auch die Fettsäurezusammensetzung der Fettzulage des Trächtigkeits- und Laktationsfutters beeinflusst die pränatale Entwicklung des Fettgewebes der Föten sowie die Charakteristik des Fettgewebes des

Sauen, denen während der Trächtigkeit Sonnenblumenöl verfüttert wurde, waren fetter als jene der Schweinefett Variante. Bei einem Lebendgewicht von 100 kg wiesen die Nachkommen von Sauen der Kokosfett Gruppe deutlich mehr, dafür aber kleinere Fettzellen auf als Nachkommen von Sauen, die mit Sonnenblumenöl oder Schweinefett gefüttert wurden (Abbildung 7).

Der Fettansatz gemessen als Menge Auflagenfett bei der

Schlachtung der Mastschweine war aber nicht unterschiedlich. Diese Ergebnisse zeigen aber, dass der Menge sowie der Fettsäurezusammensetzung der Fettzulage bei der Fütterung der trächtigen Muttersau Beachtung geschenkt werden muss, da im Depotfett die Anzahl Fettzellen bzw. die Grösse der Fettzellen der Nachkommen damit beeinflusst werden kann. Dies könnte unter gewissen Umständen z.B. bei ad libitum Fütterung zu einem erhöhten Fettansatz führen.

Faktoren, welche die Eigenschaft und die Qualität des Fettgewebes beeinflussen

Anatomische Lokalisation

Allgemein ist festzustellen, dass mit zunehmendem Gewicht (Alter) der Fettansatz ansteigt, was einhergeht mit einer Zunahme des Sättigungsgrades des Fettes (NÜRNBERG et al., 1998; KOUBA et al., 2003). Zwischen den einzelnen Fettgeweben bestehen markante Unterschiede in der grobchemischen Zusammensetzung. So weist das Auflagenfett weniger Lipide, dafür mehr Wasser und Proteine auf als der Schmer (WOOD et al., 1986). CAMARA et al. (1996) zeigten, dass der Fettgehalt des Aussenfettes geringer ist als derjenige des Innenfettes. Zudem ist die Aktivität der lipogenen Enzyme im Schmer höher als im Rückenspeck (MOUROT et al., 1995; BEE, 2001; BEE et al., 2002) und im Innenfett höher als im Aussenfett (MOUROT et al., 1995; CAMARA et al., 1996). Erwartungsgemäss treten Unterschiede in der Zusammensetzung der Fettsäuren auf. Der Schmer weist einen höheren Anteil an SFA auf als das Auflagenfett (e.g. WISEMAN und AGUNBIADE, 1998; BEE et al., 2002; GLÄSER et al., 2002) und im Auflagenfett ist die SFA Konzentration in der inneren Schicht höher als in der äusseren Schicht.

Fettansatz des Schlachtkörpers

Die während der Mast angesetzte Fettmenge beeinflusst ebenfalls die Zusammensetzung des Fettgewebes. Ein geringer Körperfettansatz ist gekennzeichnet durch einen höheren Wasser- und tieferen Fettgehalt des Fettgewebes (WOOD et al., 1986). Der Fettansatz ist einerseits vom genetischen Wachstumspotenzial des Schweins und/oder dem Geschlecht, dem Alter oder dem Schlachtgewicht abhängig. Andererseits spielen Produktionsfaktoren wie die Fütterungsintensität, die Futterzusammensetzung und die Haltungsbedingungen eine Rolle. Zugleich wird auch das Fettsäuremuster massgeblich durch die Menge an angesetztem Fett beeinflusst. Der Sättigungsgrad ist geringer bei mageren als bei fetteren Schlachtschweinen, weil die Menge der PUFA aus dem Futter in einer geringeren Fettmenge eingelagert werden.

Geschlecht

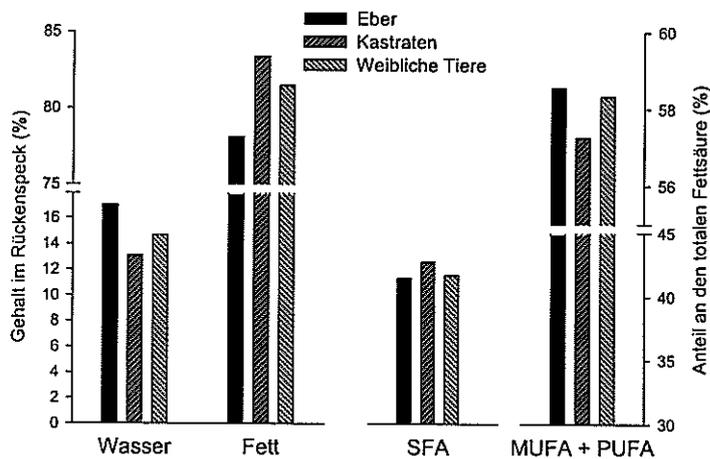


Abbildung 8. Fett- und Wassergehalt sowie Sättigungsgrad des Rückenspecks bei Ebern, Kastraten und weiblichen Tieren (BARTON-GADE, 1987).

Geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen sowohl im Fettansatz als auch in der grobchemischen Zusammensetzung des Fettgewebes. Eber sind bei gleichem Lebendgewicht magerer als Kastraten. Als Folge der Kastration ist die Nährstoffaufnahme erhöht und die Futtermittelverwertung verringert, was den Unterschied im Fettansatz zwischen Kastraten und Ebern erklärt (BONNEAU, 1988). Im Vergleich zu Kastraten ist bei Ebern im Fettgewebe der Wasser- und Proteingehalt höher

und der Fettgehalt geringer (BARTON-GADE, 1987; Abbildung 8). Erwartungsgemäss ist der Sättigungsgrad des Depotfettes bei Ebern geringer als bei Kastraten. Unterschiede bestehen auch zwischen weiblichen Tieren und Kastraten. Als Folge des geringeren Fettansatzes der weiblichen Tiere ist, bedingt durch den geringeren Anteil an SFA, der Sättigungsgrad geringer (BARTON-GADE, 1987; GLÄSER et al., 2002). Zudem ist der Lipidgehalt des Fettgewebes niedriger bei weiblichen Tieren als bei Kastraten (BARTON-GADE, 1987).

Fütterungsintensität

Die Fütterungsintensität während der Mast steht in enger Beziehung zur Zusammensetzung des Fettgewebes, da die Futterrestriktion einen direkten Einfluss auf den Fettansatz hat. Die Menge an Auflagenfett und Schmer nimmt proportional mit der verringerten Menge an aufgenommenem Futter ab (SEEWER et al., 1994) und führt gleichzeitig zu einem geringeren Fettgehalt des Fettgewebes (WOOD et al., 1986). Deshalb sinkt der Sättigungsgrad des Fettgewebes, je geringer die Fütterungsintensität ist. Dieser Effekt ist noch ausgeprägter, wenn ungesättigte Futterfette in der Ration eingesetzt werden (Abbildung 9). Eine Restriktion der angebotenen Futtermenge verringert die *de novo* Fettsynthese (BEE et al., 2002), wahrscheinlich als Folge des mangelnden Anfalls an Substrat (VERNON et al., 1999). Zudem kann, unabhängig von den eingesetzten Futterfetten, auch eine Erhöhung der Aktivität der $\Delta 9$ -Desaturase beobachtet werden, möglicherweise wegen des höheren Substratangebotes an Palmitin- und Stearinsäure vom Futter. Die erwähnte Studie hat ebenfalls gezeigt, dass die Einlagerung an PUFA nicht parallel zur aufgenommenen Menge an PUFA verläuft.

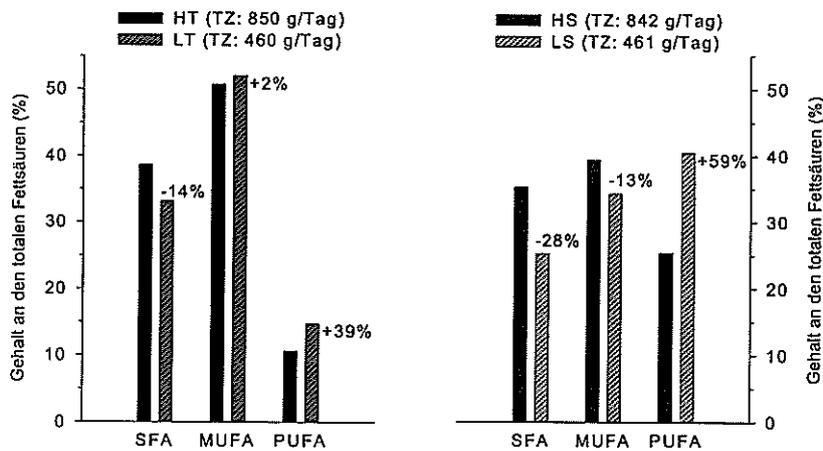


Abbildung 9. Veränderung der Fettsäurezusammensetzung der Rückenspeckaussenschicht von Schlachtschweinen in Abhängigkeit der Fütterungsintensität (FI) und der Fettzulage (HT: hohe FI + 5% Rindertalg; LT: tiefe FI + 5% Rindertalg; HS: hohe FI + 5% Sojaöl; LS: tiefe FI + 5% Sojaöl) (BEE et al., 2002).

Menge und Zusammensetzung des Futterfettes

Unter isoenergetischen Bedingungen hat die Erhöhung des Fettgehaltes der Ration beim Ferkel (4-8 Wochen) keinen Einfluss auf die *de novo* Fettsynthese. Werden hingegen in der Mast isoenergetische Rationen mit zunehmendem Fettgehalt eingesetzt, steigt der Körperfettansatz an während gleichzeitig die endogene Fettsynthese abnimmt (ALLEE et al., 1971). Dies lässt sich hauptsächlich mit der geringeren Substratzufuhr in Form von Kohlenhydraten erklären. Somit findet unter solchen Bedingungen im Fettgewebe eine vermehrte Einlagerung von SFA und MUFA aus dem Futter statt (AZAIN, 2004).

Allgemein bekannt ist, dass beim Schwein langkettige ungesättigte Futterfettsäuren massgeblich die Fettsäurezusammensetzung der Depotfette, wie auch des intermuskulären Fettes beeinflussen. Zwischen der über das Futter aufgenommenen und der im Körperfett eingelagerten Menge an PUFA bestehen sehr enge Beziehungen [$r = 0.70$ (AVERETTE GATLIN et al., 2002); $r = 0.90$ (WARNANTS et al., 1996); $r = 0.97$ (BEE und WENK, 1994)]. Die erhöhte Einlagerung von PUFA geht hauptsächlich auf Kosten einer verminderten Einlagerung an MUFA (BEE und WENK, 1994; GLÄSER et al., 2002). KOUBA und MOUROT (1998) und KOUBA et al. (2003) zeigten, dass Linol- sowie Linolensäure die Aktivität der $\Delta 9$ -Desaturase markant reduzieren, was die geringere MUFA Konzentration im Fettgewebe erklärt. Zudem beobachteten MOUROT et al. (1994), dass eine erhöhte Aufnahme an Linolensäure (1.5 vs. 2.5%) auch zu einer Erhöhung der *de novo* Fettsynthese führte, was sich durch einen höheren Körperfettansatz bemerkbar machte. Mastrationen mit einem hohen Gehalt an MUFA in Form von Ölsäure bewirken eine deutliche Reduktion der SFA Konzentration

Das deutet darauf hin, dass bei einer bestimmten PUFA Konzentration im Gewebe eine Sättigung erreicht ist. In einer Untersuchung von WARNANTS et al., (1999) konnte die Konzentration an Linolensäure im Depotfett trotz weiterer Zufuhr über das Futter nach 6 Wochen nicht weiter gesteigert werden.

im Fettgewebe (RHEE et al., 2001; GLÄSER et al., 2002). Zwei Mechanismen könnten dafür verantwortlich sein. Einerseits wurde vermutet, dass Ölsäure aus dem Futter zu Gunsten von Palmitin- und Stearinsäure im Triacylglycerin eingelagert wird und andererseits eine verstärkte Desaturierung von SFA stattfindet (GLÄSER et al., 2002).

Die Fettsäurezusammensetzung des Depotfettes reagiert innerhalb einer kurzen Zeitspanne auf eine Änderung in der Fettsäurezusammensetzung der Mastration (COURBOULAY und MOUROT, 1984; WISEMAN und AGUNBIADÉ 1998; WARNANTS et al., 1999; AVERETTE GATLIN et al., 2002). Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, dass die Gewebekonzentration an Linolsäure bei reduzierter Zufuhr über das Futter sehr rasch abnimmt. COURBOULAY und MOUROT (1984) schätzten aus ihren Versuchen eine tägliche Abnahme an Linolsäure von ca. 85 mg/g Depotfett, was 0.1% der im Gewebe vorhandenen Linolsäure ausmachte. Sie schlossen daraus, dass ab 70 kg Lebendgewicht

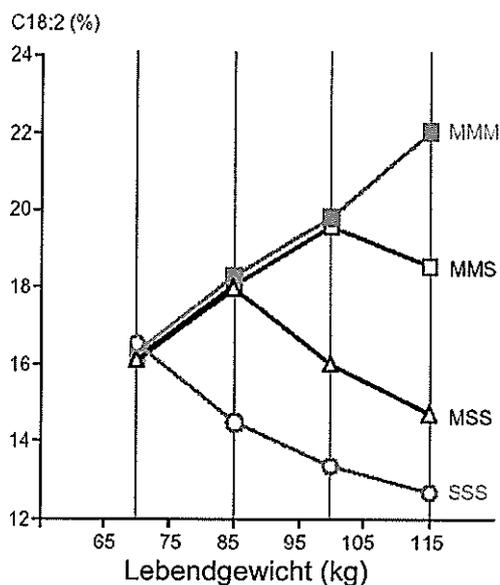


Abbildung 10. Abnahme der 18:2 Konzentration im Auflagenfett von Schlachtschweinen, denen zwischen 70–85, 85–100 und 100–115 kg Lebendgewicht ein 18:2 – reiches (Maisöl = M) oder 18:2 armes (Schweinefett = S) Futter verabreicht wurde (COURBOULAY und MOUROT, 1984).

eine Mastration reich an SFA verabreicht werden sollte, falls eine Linolsäurenkonzentration von < 15% der totalen Fettsäuren im Fettgewebe erwünscht wird.

Umwelteinfluss

Die Umgebungstemperatur beeinflusst die Mastleistung und den Energiebedarf des Schweins. Bei gleicher Fütterungsintensität bewirkt das Absinken der Umgebungstemperatur unter die thermoneutrale Zone einen verminderten Fettansatz. Wird dem erhöhten Energiebedarf jedoch Rechnung getragen, so ist zwar kein Einfluss auf den totalen Fettansatz, jedoch aber auf die angesetzte Menge der einzelnen Fettdepots zu erwarten. LEFAUCHEUR et al. (1991) zeigten, dass mehr Auflagenfett im Bereich des Schinkens angesetzt wurde, während die Menge an Schmeer abnahm. Bei tiefer Umgebungstemperatur und zusätzlich erhöhter physischer Aktivität bedingt durch Weidehaltung, kann trotz *ad libitum* Fütterung

der erhöhte Energiebedarf nicht kompensiert werden, was trotz einer deutlich erhöhten Futteraufnahme einen geringeren Fettansatz zur Folge hat (BEE et al., 2004). Umgebungstemperaturen, die deutlich über der thermoneutralen Zone liegen, führen beim wachsenden Mastschwein zu einer verminderten Futteraufnahme, einem langsameren Wachstum

und einem verringerten Körperfettansatz (RINALDO und MOUROT, 2001; LIZARDO et al., 2002). Im Gegensatz zur Kälte bewirkt der Wärmestress eine verstärkte Einlagerung von Nierenfett und einen verringerten Ansatz an Auflagenfett, was möglicherweise ein adaptiver Prozess zur verbesserten Abgabe von Körperwärme ist (RINALDO et al., 2000; KOUBA et al., 2001).

Neben der temperaturbedingten Anpassung der angesetzten Fettmenge, ist auch die Einlagerung der Fettsäuren und somit das Fettsäuremuster des Gewebes betroffen. Allgemein ist mit ansteigender Umgebungstemperatur ein ansteigender PUFA- und abnehmender MUFA-Gehalt im Fettgewebe festzustellen (RINALDO und MOUROT, 2001; LEBRET et al., 2002). Die Abnahme des MUFA-Gehaltes und der gleichzeitig festgestellte höhere Gehalt an Palmitinsäure ist teilweise auf die temperaturbedingte Verminderung der $\Delta 9$ -Desaturaseaktivität zurückzuführen (KOUBA et al., 1999). Der Sättigungsgrad des Auflagenfettes und des Schmers nimmt bei tiefen Umgebungstemperaturen ab, bedingt durch die höhere Konzentration sowohl an MUFA wie auch an PUFA (BEE et al., 2004). Die höhere PUFA Konzentration im Gewebe ist teilweise mit der gesteigerten Aufnahme an PUFA sowie dem geringeren Fettansatz zu erklären. Zudem wird postuliert, dass bei tiefen Umgebungstemperaturen auch die PUFA Einlagerung verbessert wird, um die Viskosität und Fluidität der Zellmembranen zu gewährleisten (LEBRET und MOUROT, 1998).

Fütterungsnormen und Fettzahl

Aus den bisherigen Ausführungen wird ersichtlich, dass das Zusammenspiel verschiedener Faktoren den Fettansatz sowie die Zusammensetzung des Fettgewebes des Mastschweins und letztendlich dessen technologische, sensorische und ernährungsphysiologische Qualität beeinflussen können. Mit dem Ziel, eine optimale technologische Qualität hinsichtlich Konsistenz und Oxidationsstabilität zu erreichen, wurden verschiedene Empfehlungen für einen maximalen Gehalt an PUFA im Futter oder Rückenspeck bzw. den anzustrebenden Sättigungsgrad des Schweinefettes formuliert (vgl. WARNANTS et al., 1996; SCHEEDER et al., 2001). Dabei variieren die empfohlenen maximalen Konzentrationen zwischen 12 und 15% PUFA im Rückenspeck bzw. 12 – 21 g PUFA/kg Futter.

In der Schweiz drängte sich nach der Einführung der Fettzahl als Kriterium für den Auszahlungspreis auch die Einführung einer Fütterungsnorm für die Optimierung von Mastrationen auf. Aus den Versuchen von PERDIX und STOLL (1995) zeigte sich, dass bei einer PUFA Konzentration im Mastfutter von < 1.2 g/MJ VES (Verdauliche Energie Schwein) im Durchschnitt Fettzahlen von < 62 in der Aussenschicht des Auflagen-fetts (Depotfett mit der höchsten Fettzahl) erreicht wurden (Abbildung 11). Die Versuchsdaten zeigten aber, dass zwischen den Tieren bezüglich des Fettsäuremusters und somit der Fettzahl hohe Streuungen auftraten.

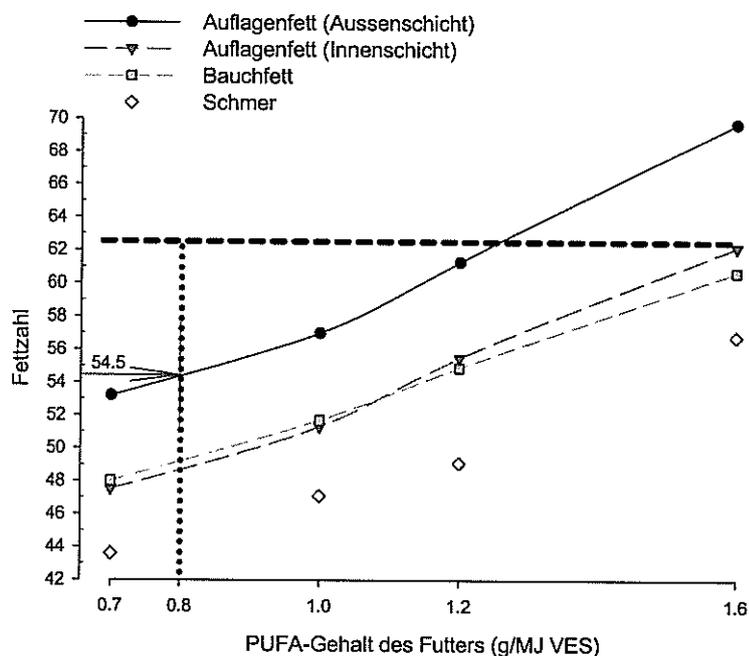


Abbildung 11 Einfluss unterschiedlicher PUFA-Gehalte des Mastfutters auf die Fettzahl in verschiedenen Depotfetten bei Mastschweinen (PERDIX und STOLL, 1995).

Die statistische Auswertung weiterer Mastversuche anhand von Regressionen ergab, dass 93% der Variabilität der Fettzahl des Auflagenfettes durch sechs Faktoren erklärt werden kann. Erwartungsgemäss war der bedeutendste Einflussfaktor der PUFA-Gehalt der Ration (Tabelle 1). Es zeigte sich, dass auch der MUFA-Gehalt des Futters massgeblich und zu einem geringeren Anteil auch das Alter und das Lebendgewicht der Tiere bei Mastbeginn, das

Schlachtgewicht, der prozentuale Anteil des Auflagenfettes sowie das Geschlecht die Fettzahl des Auflagenfettes beeinflussen (STOLL, 1999). Die Reststandardabweichung der Einzelwerte beläuft sich aber trotzdem im Bereich von 2 Einheiten Fettzahl.

Bei der Umsetzung von Versuchsergebnissen in Fütterungsempfehlungen müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden. Erstens wird in den Schlachthöfen die Qualität des Fettgewebes an Tiergruppen beurteilt wird. Zudem werden unter Versuchsbedingungen möglichst viele Faktoren (vgl. Tabelle 1) konstant gehalten, was unter Praxisbedingungen nicht der Fall sein wird. Demzufolge muss davon ausgegangen werden, dass die Streuung der Einzelwerte um ein Vielfaches grösser ist. Eine vorsichtige Schätzung ergibt eine Standardabweichung der Einzelwerte, die bis zu fünfmal höher (SD: 10) ist als diejenige, die aus den Versuchen resultiert (STOLL, 1999). Geht man davon aus, dass im Schlachthof ein Schlachtposten aus durchschnittlich 10 Tieren besteht, so beträgt die Streuung der Fettzahlmittelwerte demzufolge 3.2. Um mit genügender Sicherheit Fettzahlen zu erreichen, die geringer sind als 62, muss bei der Formulierung von Fütterungsnormen von einer durchschnittlichen Fettzahl von 54.5 ausgegangen werden. Aus Abbildung 11 wird ersichtlich, dass diese Bedingung bei einer Konzentration von 0.8 g PUFA/MJ VES im Mastfutter erfüllt ist.

Tabelle 1 Regressionskoeffizienten¹ und Standardabweichungen der Parameter, welche 93% der Streuung der Fettzahl erklären (STOLL, 1999).

Parameter	Regressions- koeffizienten	SD ²
PUFA (g/MJ VES ³)	15.61	0.30
MUFA (g/MJ VES ³)	14.42	0.10
Alter bei Mastbeginn (Tage)	0.13	5.00
Gewicht bei Mastbeginn (kg)	- 0.31	1.16
Warmes Schlachtgewicht (kg)	- 0.10	2.36
Auflagenfett (% kaltes Schlachtgewicht)	- 1.09	1.80
Geschlecht ⁴	- 0.55	0.50

¹ Intercept der Regessionsgleichung beträgt 50.51

² SD: Standardabweichung der einzelnen Parameter

³ VES: Verdauliche Energie Schwein

⁴ weibliche Tiere: 0; Kastraten: 1

Der vermehrte Einsatz von Fetten und der daraus resultierende höhere Fettgehalt der Mastrationen hat aber gezeigt, dass trotz Einhaltung der PUFA-Norm in den Schlachthöfen höhere Fettzahlen auftraten. Grund dafür ist, dass bei höheren Fettgehalten (> 3%), nicht nur der PUFA- sondern auch der MUFA-Gehalt des Futters ansteigt und somit, trotz Einhaltung der PUFA-Norm, die zu erwartende Fettzahl unterschätzt wird (STOLL, 1999). Deshalb drängte sich eine Erweiterung der PUFA-Norm unter Einbezug des MUFA-Gehalts auf. Die erweiterte Empfehlung – PUFA-MUFA Index ($PMI = PUFA \text{ (g/MJ VES)} + 1.3 \times MUFA \text{ (g/MJ VES)}$) - besagt, dass bei einem bestimmten PUFA-Gehalt (z.B. 1 g/MJ VES) ein maximaler Gehalt an MUFA (0.55 g/MJ VES) in der Ration nicht überschritten werden darf. In der überarbeiteten Version des „Gelben Buches (2004)“ wurde diesem Umstand Rechnung getragen und neben dem PUFA- auch der MUFA-Gehalt und der PMI der Futtermittel aufgeführt. Grosser Vorteil der neuen Fütterungsnorm ist, dass bei der Optimierung von Schweinemastrationen eine höhere Flexibilität bei der Auswahl der Futterkomponenten gegeben ist, da der PUFA-Gehalt nicht strikt 0.8 g/MJ VES sein muss.

Literatur

- AGROSCOPE LIEBEFELD-POSIEUX (ALP) (2004): Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Schweine. Ed. 3, Lehrmittelzentrale, Zollikofen, Switzerland. <http://www.alp.admin.ch/de/publikationen/gebu.php>
- ALLEE, G.L., BAKER, D.H. and LEVEILLE, G.A. (1971): Influence of level of dietary fat on adipose tissue lipogenesis and enzymatic activity in the pig. *J. Anim. Sci.* **33**: 1248-1254.
- ANDERSON, D.B. and KAUFFMAN, R.G. (1973): Cellular and enzymatic changes in porcine adipose tissue during growth. *J. Lipid Res.* **14**: 160-168.
- AVERETTE GATLIN, L., SEE, M.T., HANSEN, J.A., SUTTON, D. and ODLE, J. (2002): The effects of dietary fat sources, levels, and feeding intervals on pork fatty acid composition. *J. Anim. Sci.* **80**: 1606-1615.
- AZAIN, M.J. (2004): Role of fatty acids in adipocyte growth and development. *J. Anim. Sci.* **82**: 916-924.
- BARTON-GADE, P.A. (1987): Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livest. Prod. Sci.* **16**: 187-196.
- BEE, G. (2001): Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not de novo lipogenesis in finishing pigs. *Anim. Res.* **50**: 1-17.
- BEE, G., GEBERT, S. and MESSIKOMMER, R. (2002): Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. *J. Anim. Sci.* **80**: 1564-1574.
- BEE, G., GUEX, G. and HERZOG, W. (2004): Free-range rearing of pigs during the winter: Adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. *J. Anim. Sci.* **82**: 1206-1218.
- BEE, G. and WENK, C. (1994): Effect of soybean oil and beef tallow supplementation to pig diets on the fatty acid profile of body lipids. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **71**: 277-288.
- BONNEAU, M. (1988): Intérêts et limites de la production de porc mâle entier. *Prod. Anim.* **1**: 133-140.
- BOONE, C., CADORET, A., PERE, M.-C., ETIENNE, M. et MOUROT, J. (2001): Effets du taux et de la nature des lipides du régime de gestation et de lactation des truies sur le développement des tissus adipeux des porcelets. *Journées Rech. Porcine en France* **33**: 157-163.
- CAMARA, M., MOUROT, J. and FEVRIER, C. (1996): Influence of two dairy fats on lipid synthesis in the pig: comparative study of liver, muscle and the two backfat layers. *Ann. Nutr. Metab.* **40**: 287-295.
- COURBOULAY, V. and MOUROT, J. (1984): Use of diets rich in linoleic acid on pork fat quality: effect of duration of supply and clearance rate estimation of this fatty acid. Annual Meeting of the EAAP **46**: 301 (Abstr.).
- GERFAULT, V., MOUROT, J., ETIENNE, M. et MOUNIER, A. (1999): Influence de la nature des lipides dans le régime de gestation de la truie sur ses performances et la composition corporelle des porcelets à la naissance. *Journées Rech. Porcine en France* **31**: 191-197.
- GLÄSER, K.R., WENK, C. and SCHEEDER, M.R.L. (2002): Effect of dietary mono- and polyunsaturated fatty acids on the fatty acid composition of pigs' adipose tissues. *Arch. Anim. Nutr.* **56**: 51-65.

- HÄUSER, A. und PRABUCKI, A.L. (1990): Ergebnisse eines screenings betreffend der Fettqualität bei Mastschweinen in schweizerischen Schlachthöfen. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **64**: 36 (Abstr.).
- HENRY, Y. (1977): Développement morphologique et métabolique du tissu adipeux chez le porc: influence de la sélection, de l'alimentation et du mode d'élevage. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys* **17**: 923-952.
- KOUBA, M., ENSER, M., WHITTINGTON, F.M., NUTE, G.R. and WOOD, J.D. (2003): Effect of a high-linolenic acid diet on lipogenic enzyme activities, fatty acid composition, and meat quality in the growing pig. *J. Anim. Sci.* **81**: 1967-1979.
- KOUBA, M., HERMIER, D. and LE DIVIDICH, J. (1999): Influence of a high ambient temperature on stearoyl-CoA-desaturase activity in the growing pig. *Comp Biochem. Physiol B Biochem. Mol. Biol.* **124**: 7-13.
- KOUBA, M., HERMIER, D. and LE DIVIDICH, J. (2001): Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. *J. Anim. Sci.* **79**: 81-87.
- KOUBA, M. and MOUROT, J. (1998): Effect of a high linoleic acid diet on $\Delta 9$ -desaturase activity, lipogenesis and lipid composition of pig subcutaneous adipose tissue. *Reprod. Nutr. Dev.* **38**: 31-37.
- LE DIVIDICH, J., ESNAULT, T., LYNCH, B., HOO-PARIS, R., CASTEX, C. and PEINIAU, J. (1991): Effect of colostral fat level on fat deposition and plasma metabolites in the newborn pig. *J. Anim. Sci.* **69**: 2480-2488.
- LEBRET, B., MASSABIE, P., GRANIER, R., JUIN, H., MOUROT, J. and CHEVILLON, P. (2002): Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Sci.* **62**: 447-455.
- LEBRET, B. and MOUROT, J. (1998): Characteristics and quality of pig adipose tissue. Effects of rearing factors. *Prod. Anim.* **11**: 131-143.
- LEFAUCHEUR, L., LE DIVIDICH, J., MOUROT, J., MONIN, G., ECOLAN, P. and KRAUSS, D. (1991): Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *J. Anim. Sci.* **69**: 2844-2854.
- LIZARDO, R., LE BELLEGO, L., NOBLET, J., VAN MILGEN, J. and MOUROT, J. (2002): Effet de la température d'élevage et de la nature du régime sur la composition en acides gras du tissu adipeux du porc. *Journées Rech. Porcine en France* **34**: 45-51.
- MOUROT, J. (2001): Development of subcutaneous and intramuscular adipose tissue and quantitative and qualitative factors of variation in the pig. *Prod. Anim.* **14**: 355-363.
- MOUROT, J., KOUBA, M. and PEINIAU, P. (1995): Comparative study of in vitro lipogenesis in various adipose tissues in the growing domestic pig (*Sus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol.* **111B**: 379-384.
- MOUROT, J., PEINIAU, P. and MOUNIER, A. (1994): Effets de l'acide linoléique alimentaire sur l'activité des enzymes de la lipogenèse dans les tissus adipeux chez le porc [Effects of dietary linoleic acid on lipogenesis enzyme activity in adipose tissue in the pig]. *Reprod. Nutr. Dev.* **34**: 213-220.
- NÜRNBERG, K., WEGNER, J. and ENDER, K. (1998): Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of farm animals. *Livest. Prod. Sci.* **56**: 145-156.
- PERDIX, M.F. und STOLL, P. (1995): Wie beeinflusst das Futter die Fettzahl der Schweine? *Agrarforschung* **2**: 21-24.

- RHEE, K.S., DAVIDSON, T.L., KNABE, D.A., CROSS, H.R., ZIPRIN, Y.A. and RHEE, K.C. (2001): Effect of dietary high-oleic sunflower oil on pork carcass traits and fatty acid profiles of raw tissues. *Meat Sci.* **24**: 249-260.
- RINALDO, D. and MOUROT, J. (2001): Effects of tropical climate and season on growth, chemical composition of muscle and adipose tissue and meat quality in pigs. *Animal Research* **50**: 507-521.
- RINALDO, D., LE DIVIDICH, J. and NOBLET, J. (2000): Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* **66**: 223-234.
- SCHEEDER, M.R.L., BOSSI, H. und WENK, C. (1999): Kritische Betrachtungen zur Fettzahl-Bestimmung. *Agrarforschung* **6**: 1-8.
- SCHEEDER, M.R.L., GLÄSER, K.R. und WENK, C. (2001): Einflüsse von Fütterung und Genetik auf Fleisch- und Fettqualität beim Schwein. 1. Betrachtung ausgewählter Aspekte der Qualitätsproduktion von Schweinefleisch. *Fleischwirtschaft* **5**: 95-99.
- SEEWER, G., PRABUCKI, A.L., AFFENTRANGER, P., GERWIG, C., KÜNZI, N. et SCHWÖRER, D. (1994): Etude du tissu adipeux chez les porcs charcutiers issus de trois croisements, alimentés selon différents niveaux d'intensité. *Journées Rech. Porcine en France* **26**: 169-174.
- STOLL, P. (1999): Füttern für eine gute Produktequalität - neue Forschungsergebnisse der RAP. *RAP-Tagung 1999*
- VERNON, R.G., BARBER, M.C. and TRAVERS, M.T. (1999): Present and future studies on lipogenesis in animals and human subjects. *Proc. Nutr. Soc.* **58**: 541-549.
- WARNANTS, N., VAN OECKEL, M.J. and BOUCQUE, C.V. (1996): Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids in pork tissues and its implications for the quality of the end products. *Meat Sci.* **44**: 125-144.
- WARNANTS, N., VAN OECKEL, M.J. and BOUCQUE, C.V. (1999): Incorporation of dietary polyunsaturated fatty acids into pork fatty tissues. *J. Anim. Sci.* **77**: 2478-2490.
- WISEMAN, J. and AGUNBIADE, J.A. (1998): The influence of changes in dietary fat and oils on fatty acid profiles of carcass fat in finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* **54**: 217-227.
- WOOD, J.D., BUXTON, P.J., WHITTINGTON, F.M. and ENSER, M. (1986): The chemical composition of fat tissues in the pig: effects of castration and feeding treatment. *Livest. Prod. Sci.* **15**: 73-82.
- WOOD, J.D., NUTE, G.R., RICHARDSON, R.I., WHITTINGTON, F.M., SOUTHWOOD, O., PLASTOW, G., MANSBRIDGE, R., DA COSTA, N. and CHANG, K.C. (2004): Effects of breed, diet and muscle on fat deposition and eating quality in pigs. *Meat Sci.* **67**: 651-667.