

Auswirkungen des Fettsäuremusters von Futterpflanzen auf die Fettqualität von Milch und Fleisch

Von MARTIN GIERUS, INSA ALTER und FRIEDHELM TAUBE, Kiel

1 Einleitung und Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit soll eine Verbindung zwischen Pflanzenanbau und der Veredlung von Pflanzen, in Form von Milch und Fleisch, hergestellt werden. Im Gegensatz zu den Produkten von Wiederkäuern, haben Pflanzen einen hohen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Milch- und Fleischrinder wandeln die mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Pansen zu gesättigten Fettsäuren um. Die Betrachtung der Entstehungs- und Umwandlungsprozesse von Fettsäuren in Pflanze und Tier ist insofern von großer Bedeutung, als die Fettzusammensetzung und der Fettgehalt tierischer Produkte bereits durch die Erzeugung beeinflusst werden können. Der Einfluss von Haltung und Fütterung, insbesondere von Weide- bzw. Stallhaltung, stehen im Mittelpunkt dieser Arbeit. Es werden sowohl die Auswirkungen der Haltung und Fütterung von Rindern sowie die Produktqualität von Milch und Fleisch für die menschliche Ernährung thematisiert, als auch die verarbeitungstechnologischen Faktoren, die durch ein günstigeres Fettsäuremuster in Produkten entstehen. Daher soll ein Überblick über die Fettsäuresynthese in Futterpflanzen, die Bedeutung von Fettsäuren in Pflanzen, sowie die Verwertung der pflanzlichen Fette bei Wiederkäuern gegeben werden. Als weiterer Aspekt wird die Fettsäurezusammensetzung von importiertem Rindfleisch, insbesondere aus Südamerika, angesprochen, da dies einen zunehmenden Marktanteil in Deutschland erlangt. Es wird diskutiert, ob sich die Fettsäurezusammensetzung des aus Südamerika importierten Rindfleisches durch die extensivere Haltung, die Unterschiede in Fütterung und Genetik von heimischem Rindfleisch unterscheidet.

2 Bedeutung der Fettqualität von Milch und Fleisch für die menschliche Ernährung

Im Vordergrund steht der Gesundheitswert von Milch und Fleisch, denn dieser ist heute eines der wichtigsten Kriterien, nach dem sich Konsumenten für den Kauf eines Produktes entscheiden. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass nicht alle Fettsäuren, die in Milch und Fleisch enthalten sind, einen negativen Effekt auf die Gesundheit haben. Einerseits ist bekannt, dass Laurinsäure (C12:0), Myristinsäure (C14:0) und Palmitinsäure (C16:0) sich ungünstig auf den LDL (low density lipoprotein)-Plasmagehalt auswirken (19). Andererseits enthält das Fett in Milch und Fleisch auch Fettsäuren, die für den Menschen gesundheitsfördernd sind. Gemeint sind die konjugierten Linolsäuren [conjugated linoleic acid (CLA)]. Der CLA-Gehalt in Rindfleisch liegt bei ca. 4,3 mg/g Fett. In Schweinefleisch ist hingegen nur ca. 0,6 mg CLA/g Fett enthalten (8). In Pflanzen liegt der Gehalt an CLA nur bei 0,1 bis 0,7 mg/g Fett, denn Pflanzen sind im Gegensatz zu Wiederkäuern nicht in der Lage *trans*-Fettsäuren zu bilden (18). Die Milch und das Fleisch von Wiederkäuern sind daher die Hauptquellen für CLA in der Humanernährung. Es dürfte daher im Interesse des Verbrauchers sein, den Gehalt an CLA in den Produkten weiter zu steigern, bzw. Produkte

U.S. Copyright Clearance Center Code Statement:

0005-9080/09/8702-0214 \$ 2.50/0

auszuwählen, die einen höheren Anteil an CLA beinhalten. Die natürlichste Methode, die zu einer Erhöhung führt, ist die Weidehaltung (18).

Mit dem Anteil an ungesättigten Fettsäuren variiert allerdings die Beschaffenheit des Fettes. Bei vielen ungesättigten Fettsäuren ist der Schmelzpunkt niedrig, und damit auch die Konsistenz der Fette weicher. Insbesondere bei Fleisch ist diese Eigenschaft als nachteilig zu bewerten, denn obwohl dieses Fett für den Konsumenten aus ernährungsphysiologischer Sicht gesünder ist, wird es aufgrund der weichen Konsistenz gemieden, bzw. führt zu einer verkürzten Haltbarkeit, da das Fett leichter oxidiert.

3 Fettsäuren in Futterpflanzen

3.1 Funktionen der Fettsäuren

Bei Fettsäuren handelt es sich um charakteristische Verbindungen höherer Pflanzen. Im Gegensatz zum Tier dienen Fettsäuren den Pflanzen als Bausteine der Triacylglycerine nicht als Energiespeicher, sondern primär als Kohlenstoffspeicher. Außerdem sind sie Bausteine der polaren Glycerolipide, welche den Hauptbestandteil der Membranen bilden (12). Die meisten Membranlipide leiten sich vom Glycerin ab. Dieses Lipid verfügt im Gegensatz zu den Triacylglycerinen über eine polare Kopfgruppe, deren Struktur sehr unterschiedlich sein kann. Die häufigsten polaren Gruppen sind die Phospholipide und die Galaktolipide. Die Phospholipide, deren Kopfgruppe Phosphat enthält, werden vor allem in die Membranen der Mitochondrien und in die Plasmamembran eingebaut, während den Galaktolipiden, deren Kopfgruppe aus Zuckern besteht, in den Chloroplasten eine große Bedeutung zukommt. Diese Lipide sind Hauptbestandteil der Thylakoidmembranen (16). Die polaren Glycerolipide sind amphiphile Moleküle. In den polaren Glycerolipiden kommen fast ausschließlich Fettsäuren mit 16 oder 18 Kohlenstoffatomen vor, von denen wiederum der größte Teil ungesättigt ist und über ein bis drei Kohlenstoffdoppelbindungen verfügt.

Der hohe Anteil ungesättigter Fettsäuren in Pflanzen ist physiologisch begründet. Durch die *cis*-ständigen Kohlenstoffdoppelbindungen können sich die Fettsäuren nicht zu regelmäßigen Packungen zusammenlagern, wie dies bei gesättigten Fettsäuren erfolgt. Dieser Umstand hat großen Einfluss auf die Fluidität der Membran, welche durch den Anteil ungesättigter Fettsäuren in den Membranlipiden geprägt wird. Mit steigender Anzahl ungesättigter Fettsäuren in der Membran nimmt auch deren Fluidität zu. Auch der Schmelzpunkt der Fettsäuren sinkt mit steigender Anzahl an Doppelbindungen stark ab. Je kürzer die Fettsäureketten und je höher die Anzahl der Doppelbindungen sind, umso geringer ist der Schmelzpunkt. So ist es verständlich, dass viele Pflanzen während des Wachstums bei niedrigen Temperaturen hoch ungesättigte Fettsäuren in die Membran einbauen, denn dadurch bleiben die Membranen auch bei niedrigen Temperaturen durchlässig anstatt zu erstarren (2; 22). Dennoch ist die Fettsäurezusammensetzung der Membranen nicht maßgeblich für die Kältetoleranz von Futterpflanzen.

3.2 Biosynthese von Fettsäuren

Die Biosynthese von geradzahligen gesättigten Fettsäuren in den Pflanzen ist Aufgabe der Plastiden. Im grünen Blatt werden Fettsäuren in den Chloroplasten synthetisiert; in nicht grünen Blättern in den Leukoplasten und Chromoplasten und im reifenden Samen in den Proplastiden. Weil Fettsäuren in der Pflanze nicht über weite Strecken transportiert werden können, erfolgt die Fettsäuresynthese in jeder Zelle individuell. Das Ausgangsmaterial für die Synthese von Fettsäuren bildet der bei der CO₂-Assimilation fixierte Kohlenstoff in

den Chloroplasten. Der Aufbau erfolgt aus C2-Körpern, wobei Acetyl-CoA das Startermolekül darstellt, an das schrittweise Malonyl-CoA Einheiten addiert werden. So entstehen Fettsäuren mit bis zu 18 C-Atomen. Haben die Fettsäuren eine Länge von 12 C-, 16 C- oder 18 C-Atomen erreicht, so werden sie durch Thioesterasen vom Acylcarriertransport getrennt und in das Zytoplasma exportiert. Im Zytoplasma werden die Fettsäuren an das CoA gebunden. In dieser Form werden die Fettsäuren dann an den Membranen des endoplasmatischen Retikulums (ER) modifiziert. An den Membranen des ER befinden sich die Elongasen, deren Aufgabe darin besteht neue C2-Einheiten an die CoA gebundenen Fettsäuren zu binden (2; 23).

Aus der bisher beschriebenen Fettsäuresynthese sind allerdings nur gesättigte Fettsäuren hervorgegangen. Das Einfügen von Doppelbindungen wird als Desaturierung bezeichnet. Eine einzige Desaturierung kann schon in den Chloroplasten erfolgen. Gemeint ist die Desaturierung von der Stearinsäure (C18:0) zur Ölsäure (C18:1). Das Einfügen von Doppelbindungen erfolgt schrittweise durch Desaturasen, die integrale Membranproteine sind (23).

In Abbildung 1 sind auf der linken Seite ungesättigte und unkonjugierte Fettsäuren sowie ein *cis*-Isomer aufgezeigt. Nach diesem Muster ist auch der überwiegende Teil der Fettsäuren in pflanzlichen Fetten aufgebaut. Dargestellt werden die ungesättigten Fettsäuren und *trans*-Isomere Formen, welche auf der rechten Seite der Abbildung 1 zu sehen sind, sind vor allem in den Produkten der Wiederkäuer nachzuweisen, dort entstehen sie durch Umwandlungsprozesse im Pansen bei zum Teil unvollständigen Hydrierungen mit Wasserstoff. Diese Produkte werden auch als konjugierte Linolsäuren bezeichnet (1; 18).

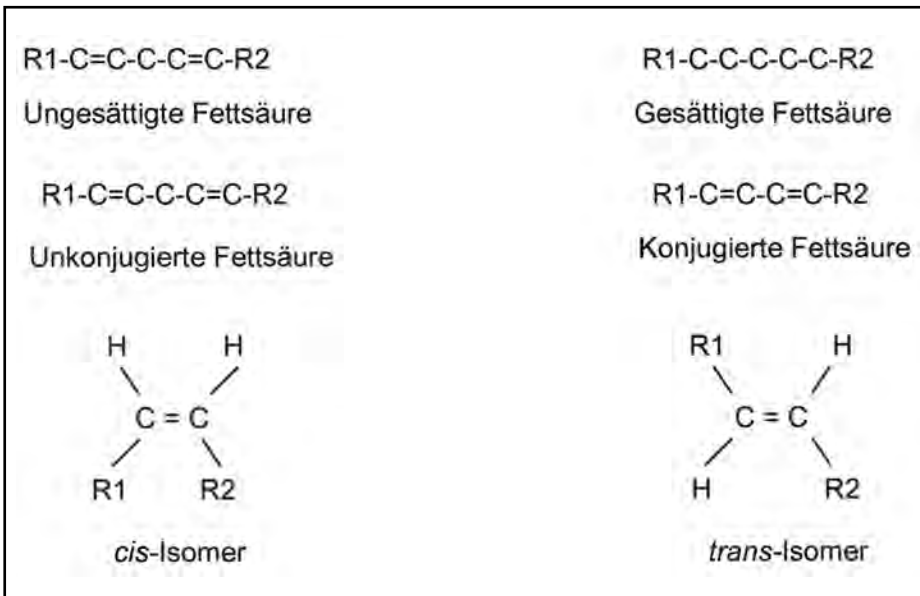


Abb. 1. Schematische Darstellung von Fettsäuren und deren räumliche Struktur

Quelle: (nach 1)

3.3 Fettsäuremuster verschiedener Futterpflanzen

Die Fettgehalte verschiedener Futterpflanzen liegen zwischen 1–5 % der Trockensubstanz (TS). Die anteilmäßig wichtigsten Fettsäuren in Futterpflanzen sind Palmitinsäure (C16:0), Linolsäure (C18:2) und α -Linolensäure (C18:3). Die Zusammensetzung kann in Abhängigkeit von der Pflanzenart und dem Schnitzeitpunkt sehr stark variieren (1; 5; 9). In aller Regel handelt es sich bei 50–75 % der Fettsäuren in Futterpflanzen um α -Linolensäuren, bei weiteren 16 % um Linolsäuren, weitere 16 % machen die Palmitinsäuren aus, welche damit die größte Gruppe der gesättigten Fettsäuren in Futterpflanzen darstellen. Andere Fettsäuren kommen nur in geringeren Anteilen vor (3).

Die Fettsäuremuster von Deutschem Weidelgras und Weißklee sind in Tabelle 1 beispielhaft aufgeführt (3). Für diesen Versuch wurden die Pflanzen in Gefäßen aufgezogen und die Ernten erfolgten im Abstand von jeweils drei Wochen. Die Ergebnisse lassen das oben beschriebene typische Fettsäuremuster der Pflanzen erkennen. So enthält Weißklee mit durchschnittlich 58,2 % α -Linolensäure am Gesamtfettsäuregehalt weniger von dieser Fettsäure als Deutsches Weidelgras mit durchschnittlich 67,1 %; dafür aber mit 18,4 % Linolsäure am Gesamtfettsäuregehalt etwa 5,4 %-Punkte mehr als Deutsches Weidelgras. Auch ist festzuhalten, dass der Gesamtfettsäuregehalt von Weißklee mit 3,1 bis 4,5 % etwas niedriger ist als der von Deutschem Weidelgras mit 4,0 bis 5,1 %. Nach CLAPHAM et al. (3) zeichnen sich Gräser durch einen, im Verhältnis zu anderen Futterpflanzen, geringen Gehalt an der gesättigten Fettsäure Palmitinsäure (C16:0) aus. Dieser liegt zwischen 13 und 15 % am Gesamtfettsäuregehalt.

Tabelle 1. Fettsäuremuster von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) und Weißklee (*Trifolium repens*) in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (in g/kg TS)

	Lolium perenne			Trifolium repens		
	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte	1. Ernte	2. Ernte	3. Ernte
Laurinsäure – C12:0	0,03	0,05	0,07	0,02	0,02	0,10
Myristinsäure – C14:0	0,62	0,62	0,61	0,42	0,42	0,51
Palmitinsäure – C16:0	6,99	6,35	5,91	6,52	5,62	4,85
Palmitoleinsäure – C16:1	0,94	0,74	0,56	1,01	0,75	0,59
Stearinsäure – C18:0	0,30	0,32	0,28	0,54	0,47	0,44
Ölsäure – C18:1	1,46	1,01	0,71	1,40	0,89	1,21
Linolsäure – C18:2	6,76	5,74	5,47	8,23	5,89	6,27
α-Linolensäure – C18:3	34,70	31,50	26,80	26,70	20,30	17,80

Quelle: (nach 3)

Unterschiede im Fettgehalt und in der Fettzusammensetzung zwischen verschiedenen Grasarten wurden bereits untersucht (5; 9). DEWHURST et al. (5) stellten in einem Versuch verschiedene Grasarten gegenüber, um zu beobachten wie sich ihr Fettsäuremuster in Abhängigkeit von Schnitzeitpunkt und Art voneinander unterscheiden. Alle Arten wurden im November, Juli und September geerntet. Es ist zu erkennen, dass die verschiedenen Grasarten Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung aufweisen (Tab. 2).

Tabelle 2. Effekt von Grasart und Schnittzeitpunkt auf den Gehalt an Fettsäuren bei unterschiedlichen Gräsern (in g/kg TS)

Fettsäure	Schnittzeitpunkt	<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Lolium multiflorum</i>	<i>Lolium perenne</i>	Art × Ernte
C16:0	November	4,61	6,61	5,73	***
	Juli	3,91	3,05	4,30	
	September	2,67	3,88	4,11	
C18:0	November	0,53	1,30	1,21	***
	Juli	0,92	0,94	1,01	
	September	0,32	0,73	0,78	
C18:1	November	0,71	1,83	1,64	*
	Juli	0,45	0,84	1,24	
	September	0,30	0,59	0,69	
C18:2	November	2,98	3,45	3,15	*
	Juli	2,85	2,26	2,90	
	September	2,09	2,48	2,71	
C18:3	November	11,53	15,28	11,09	***
	Juli	10,56	6,94	11,42	
	September	8,72	9,33	12,28	
Summe	November	21,62	29,80	24,09	***
	Juli	19,67	14,66	21,82	
	September	14,92	17,91	21,66	

* $P < 0,05$; *** $P < 0,001$

Quelle: (nach 5)

Des Weiteren ist ein saisonal bedingter Anstieg des Fettgehaltes zu erkennen. So ist der Fettgehalt in diesem Versuch mit 2,2% i. d. *Trockensubstanz* für *Dactylis glomerata*, 3,0% i. d. *Trockensubstanz* für *Lolium multiflorum* und 2,4% i. d. *Trockensubstanz* für *Lolium perenne* bei allen drei Gräsern im November am höchsten. ELGERSMA et al. (9) untersuchten die Fettsäurezusammensetzung verschiedener Deutsch-Weidelgras-Sorten und konnten im Gegensatz keine Unterschiede zwischen den Sorten beobachten.

Neben Gras und Graskonservaten, macht Maissilage in den meisten deutschen Milchviehherden einen erheblichen Anteil des Grundfutters aus. Die Maissilage hat sich sowohl bei der Verfütterung an Milchvieh, als auch an Masttiere als energiereiches Grundfutter durchgesetzt. Folglich sind nicht nur die Einflüsse einzelner Futterkomponenten, sondern auch die durch die Kombination von Gras bzw. Grassilage und Maissilage erhöhten Mengen an Stärke und Faser (Neutral-Detergenzienfaser, NDF) zu betrachten. Dies führt auch zu Veränderungen im Pansenmilieu. Der pH-Wert wird verändert sowie die Zusammensetzung der Pansenmikrobenpopulation, und somit die Verhältnisse der entstehenden flüchtigen Fettsäuren (30).

Tabelle 3. Fettsäuremuster von Mais- und Grassilage (in % am Gesamtgehalt)

Fettsäure	Maissilage	Grassilage
Laurinsäure – C12:0	0,47	0,51
Myristinsäure – C14:0	1,40	4,94
Palmitinsäure – C16:0	18,84	19,29
Palmitoleinsäure – C16:1	0,32	2,49
Stearinsäure – C18:0	1,41	1,18
Ölsäure – C18:1	15,76	4,47
Linolsäure – C18:2	56,32	19,79
Linolensäure – C18:3	5,47	47,31

Quelle: (nach 24)

Wie Tabelle 3 zeigt, weisen die untersuchten Mais- und Grassilagen Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung auf. Unterschiedliche Fettsäurezusammensetzungen in Milch und Fleisch sind zu erwarten die nicht allein den Rationskomponenten zuzuschreiben sind, sondern auch von den Abbauprozessen und der -dynamik in den Vormägen beeinflusst werden (24). Im Vergleich zu Grassilagen und leguminosenhaltigen Mischungen weicht das Fettsäuremuster der Maispflanzen ab. Die Ursachen für diese deutlichen Unterschiede sind nicht nur im Alter der Pflanzen oder der Rationsgestaltung, sondern auch in der Physiologie der Pflanzen zu finden. Im Gegensatz zu den Gemengen werden die Maispflanzen als einjährige Nutzpflanzen im Herbst geerntet. Diese Pflanzen sind also im Normalfall nicht dem Frost ausgesetzt, was wiederum bedeutet, dass auch das Fett dieser Pflanzen keinen Minustemperaturen ausgesetzt wird und somit der Anteil an Fettsäuren mit einem niedrigen Schmelzpunkt abnimmt. Gras hingegen lagert gerade im Herbst verstärkt mehrfach ungesättigte Fettsäuren ein, um im Winter auch bei Frost zu überleben (24). Es ist außerdem festzuhalten, dass die Samen das Fettsäuremuster der Gesamtpflanzen maßgeblich beeinflussen. Fettspeichernde Samen enthalten nur C:18 Fettsäuren, die bis zur Stufe der Linolsäure desaturiert sind. Ausgenommen davon sind die Samen von Cruciferen, Leguminosen und Linacenen. Dessen Embryonen sind in der Lage, bereits in den ersten Reifestadien photosynthetisch aktive Chloroplasten mit einem hohen Gehalt an α -Linolensäure zu entwickeln (31).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Fettsäuremuster in den unterschiedlichen Futterpflanzen je nach Nutzungsintensität bzw. Auswahl der Art deutlich variieren kann. Es besteht dadurch die Möglichkeit, durch die Rationsgestaltung Einfluss auf die Fettsäurezusammensetzung des Futters zu nehmen.

4 Einflussfaktoren auf das Fettsäuremuster – Bewirtschaftung

4.1 Der Schnittzeitpunkt

Der Schnittzeitpunkt übt einen Einfluss auf das Fettsäuremuster der Futterpflanzen aus. So ist der Fettsäuregesamtgehalt, insbesondere der Anteil von α -Linolensäure (C18:3), während des vegetativen Wachstums besonders hoch. Ist das vegetative Wachstum abgeschlossen, so sinkt der Fettgehalt. Dies ist im Sommer, insbesondere zum Zeitpunkt der Blüte, der Fall. Im Herbst ist ein erneuter Anstieg des Fettgehaltes in den Pflanzen zu

beobachten (3). Nachgewiesen wurde dieser Effekt (5) unter anderem bei Deutschem Weidelgras, Knaulgras und Weißklee (Tab. 2).

Der schwankende Gehalt an Fettsäuren in den Pflanzen ist auf den sich verändernden Blattanteil an der Pflanze während des Jahres zurückzuführen. Bei einem hohen Blattanteil ist auch der Fettgehalt in der Pflanze hoch, während er bei einem niedrigen Blattanteil dementsprechend niedrig ist. Die Erklärung dafür ist, dass es sich bei den Blättern um photosynthetisch aktives Gewebe handelt, welches Chloroplasten enthält, aus denen die Fettsäuren in den Pflanzen stammen. Während des vegetativen Wachstums steigt der Blattanteil an der Gesamtpflanze. In diesem Abschnitt des Wachstums nimmt der Anteil an Stängeln an der Pflanze zu. Die Stängel enthalten nur wenige Fettsäuren, sodass der Fettgehalt in der Pflanze insgesamt abnimmt. Die niedrigeren Konzentrationen an Fettsäuren in den Pflanzen hängen mit einem zunehmenden Verdünnungseffekt, bedingt durch Wachstum, zusammen (3). Während des Pflanzenwachstums steigen auch die Konzentrationen an Zellulose, Hemizellulose und Lignin und tragen zu diesem Verdünnungseffekt bei (3).

Soll das Fettsäuremuster der Pflanzen über den ganzen Sommer auf einem konstant hohen Niveau gehalten werden, so gibt es die Möglichkeit durch gezieltes Management die Variation im Fettsäuremuster zu minimieren (3). Diese Strategie beruht darauf, bei den Pflanzen das vegetative Entwicklungsstadium durch eine regelmäßige Ernte der Pflanzen aufrechtzuerhalten. Wie in Tabelle 1 zu erkennen, ist bei der ersten Nutzung der Fettgehalt durchschnittlich am höchsten und nimmt mit jeder weiteren Ernte ab. Das gilt sowohl für Deutsches Weidelgras, als auch für Weißklee. Auch hier kann wieder der Bezug zum Blattanteil an der Gesamtpflanze bei Deutschem Weidelgras hergestellt werden, denn dieser ist für gewöhnlich beim ersten Aufwuchs am höchsten und nimmt mit jedem weiteren Aufwuchs ab. Zum Herbst hin, das heißt wenn eine Überwinterung bevorsteht, werden wieder verhältnismäßig mehr Fettsäuren in die Pflanzen eingelagert, wie anhand von Tabelle 2 veranschaulicht wird.

4.2 Futterkonservierung

Die Zusammensetzung des Fettsäuremusters von frischem Grünfutter ist eine andere als die von konserviertem Grünfutter. Dies spiegelt sich auch in den unterschiedlichen Zusammensetzungen der Fettsäuremuster in Milch und Fleisch wieder. Hier sind deutliche Unterschiede zu erkennen, wenn man die Milchfettzusammensetzung von Kühen aus der Weidehaltung mit denen aus der Stallhaltung vergleicht (19).

In einer Studie wurde die Fettsäurezusammensetzung von frischem Grünfutter und von Silage für drei verschiedene Futterpflanzenmischungen ermittelt (21). Bei den Mischungen handelte es sich um eine reine Gräsermischung, eine Klee/Gras-Mischung und eine Luzerne/Gras-Mischung, wobei hier die Ergebnisse des zweiten Schnitts aufgeführt sind (Tab. 4). Es werden die fünf Fettsäuren mit dem höchsten Anteil am Gesamtfettgehalt betrachtet. Die Ergebnisse des Versuches betrachtend kann zusammengefasst werden, dass es durchaus zu Verschiebungen des Fettsäuremusters während der Konservierung von Futter kommt, aber auch, dass diese von der Pflanzenart abhängig sind. Der Gesamtfettgehalt von frischem Grünfutter und Silage unterscheidet sich nur leicht, im Gegensatz zu dem von Heu. Bei Heu gehen bis zu 20% der Fettsäuren während der Konservierung verloren.

Tabelle 4. Vergleich der Fettsäurezusammensetzung von Grünfutter und Silage
(in g/kg TS)

Fettsäuren			Gräsermischung	Gras/Klee	Gras/ Luzerne
Palmitinsäure	C16:0	Grünfutter	2,09	2,25	2,39
		Silage	2,80	3,11	3,73
Stearinsäure	C18:0	Grünfutter	0,21	0,21	0,21
		Silage	0,21	0,26	0,31
Ölsäure	C18:1	Grünfutter	0,31	0,32	0,34
		Silage	0,39	0,42	0,39
Linolsäure	C18:2	Grünfutter	2,17	2,51	2,63
		Silage	2,72	3,11	2,90
Linolensäure	C18:3	Grünfutter	9,49	12,84	12,18
		Silage	10,20	10,74	7,89
Σ Fettsäuren	C8:0 – C24:1	Grünfutter	14,55	18,29	18,00
		Silage	16,89	18,53	16,23

Quelle: (nach 21)

Bei den in dem Versuch analysierten Proben der reinen Gräsermischung ist der Gesamtgehalt an Fettsäuren in siliertem Futter höher als in frischem Futter. Im Allgemeinen sind die Unterschiede im Fettgehalt zwischen frischen und konservierten bzw. getrockneten Produkten auf die stattfindenden Oxidationen zurückzuführen. Durch Lipolyse werden während der Trocknung Lipide abgebaut. Das Ergebnis sind höhere Fettgehalte in frischem Grünfutter als in Silage oder Heu. Die Gehalte in Heu sind in jedem Fall die niedrigsten. Die Aktivität mikrobieller Lipasen während der Anwelk- und anschließenden Gärphase ist allerdings von Pflanzenart zu Pflanzenart verschieden (6). Die aus dem Versuch gewonnenen Daten (vgl. Tab. 4) deuten darauf hin, dass die Lipasen der Luzerne eine höhere Aktivität aufweisen können, als die in Gras. Zu klären bleibt, inwiefern sich eine bestimmte Artenmischung, wie sie im Dauergrünland vorkommt, auf das Fettsäuremuster von konserviertem Futter auswirkt, da die meisten Studien sich auf einzelne Futterpflanzen konzentrieren.

5 Aufnahme pflanzlicher Fette durch den Wiederkäuer

Um zu klären, inwieweit das Fettsäuremuster der Futterpflanzen das Fettsäuremuster des Milchfettes und des Fleisches beeinflusst, muss zunächst der Abbau des Futters im Wiederkäuer und der Aufbau von Milchfett und intramuskulärem Fett erläutert werden.

5.1 Umsetzungen im Pansen

Die aufgenommenen Pflanzenteile gelangen zuerst in den Pansen der Milchkuh oder des Fleischrindes, wo sie um- und abgebaut werden. Als Erstes wird Fett, das in den Pansen gelangt, der Lipolyse unterzogen. Bei diesem Vorgang werden die Fettsäuren und das Glycerin durch bakterielle Enzyme voneinander getrennt. Das abgespaltene Glycerin kann von den Mikroorganismen energetisch genutzt werden; außerdem kann es zum Teil

an der Pansenwand absorbiert werden (29). Die freien Fettsäuren können in ihrer Form nicht von Mikroorganismen genutzt werden. Nur kurzkettige Fettsäuren werden im Pansen absorbiert. Andere Fettsäuren werden erst mit Wasserstoff abgesättigt. Hierbei ist hervorzuheben, dass das Milieu im Pansen anaerob und wasserstoffreich ist. Somit ist eine Biohydrogenierung von ungesättigten Fettsäuren von der Menge an gefüttertem Fett und dessen Anteil an gesättigten Fettsäuren abhängig. Ungesättigte Fettsäuren werden einer mikrobiellen Hydrierung unterzogen, was bedeutet, dass Wasserstoff angelagert wird und dadurch die Doppelbindungen beseitigt werden. Ca. 68–87% der ungesättigten Fettsäuren werden im Pansen hydrogeniert. Für die Hydrierung gibt es zwei Gruppen von Bakterien. Die eine Gruppe hydriert Linol- und α -Linolensäure zu *trans*-Vaccensäure; die andere Gruppe Bakterien hydriert *cis*- und *trans*- Isomere der ungesättigten Fettsäuren zu Stearinsäuren (4). Bei diesen Prozessen entstehen aus den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (polyunsaturated fatty acids = PUFA) neben gesättigten Fettsäuren (saturated fatty acids = SFA) auch die einfach ungesättigten Fettsäuren (monosaturated fatty acids = MUFA). Dass neben den gesättigten Fettsäuren auch einfach ungesättigte Fettsäuren entstehen liegt daran, dass bei der Hydrierung zum Teil die Positionen der Wasserstoffgruppen an den Doppelbindungen verändert werden. Auf diese Weise entsteht unter anderem aus Linolensäure die konjugierte Linolsäure. Dabei werden die in Pflanzen gehäuft vorkommenden *cis*-Isomere in *trans*-Isomere umgewandelt. Durch ein Zusammenrücken der isolierten Doppelbindungen entsteht eine Konjugation (siehe auch Abb. 1). Das Resultat dieses Vorgangs ist die konjugierte Linolsäure, auch CLA genannt. Den konjugierten Linolsäuren wird eine positive Wirkung auf die menschliche Gesundheit nachgesagt, weshalb ein hoher Gehalt an CLA in der Milch und im Fleisch durchaus erwünscht ist (17).

5.2 Auswirkungen auf den Milchfettgehalt und die -qualität

Ein Liter Milch enthält, wenn von Milch in ihrem rohen Zustand ausgegangen wird, im Durchschnitt etwa 4,1% Fett (2,5–5,5%). Milchfett besteht hauptsächlich aus Triacylglycerinen, Phospholipiden und Sterolen, wobei die Tryacylglycerine mit 98% den höchsten Anteil aufweisen. Der Anteil an Phospholipiden ist mit 0,5 bis 1,0% gering, während die Sterole in Milchfett lediglich 0,2 bis 0,5% ausmachen. Cholesterin ist das wichtigste Sterol in der Milch mit 100–200 mg/l. Die Zusammensetzung des Milchfettes variiert wenig zwischen den verschiedenen Milchviehrrassen. Unterschiede tauchen eher zwischen Tierarten auf.

Für einen Überblick über das Fettsäuremuster des Milchfettes lassen sich die Fettsäuren in vier Hauptgruppen einteilen. Bei der ersten Gruppe handelt es sich um die kurzkettigen Fettsäuren, mit vier bis zehn C-Atomen. Diese machen etwa 10–11% der Fettsäuren in Milch aus. Die zweite Gruppe sind die mittelkettigen, gesättigten Fettsäuren mit 12 bis 14 C-Atomen, welche 12–16% der Fettsäuren darstellen. Die langkettigen, gesättigten Fettsäuren mit 16 bis 20 C-Atomen repräsentieren die dritte Gruppe. Diese Gruppe hat mit 35–45% den höchsten Anteil an Fettsäuren im Fettsäuremuster des Milchfettes. In der vierten Gruppe sind dann wiederum langkettige Fettsäuren mit 16 bis 20 C-Atomen enthalten, die aber ungesättigt sind. Die ungesättigten, langkettigen Fettsäuren machen 25–35% der Fettsäuren aus (4). Bei der Beurteilung der Fettqualität von Milch (und Fleisch) sollte das Verhältnis von Omega-6- zu Omega-3-Fettsäuren beachtet werden. Das Verhältnis dieser beiden Fettsäuren sollte unter dem Gesichtspunkt einer gesunden Ernährung kleiner sein als 5:1 (11).

Der Nahrungsbrei passiert den Labmagen, bevor er in den Dünndarm gelangt, wo unter anderem die Fettsäuren (CLA und langkettige Fettsäuren) absorbiert werden. Fettsäuren, vor allem die Stearinsäuren (C18:0), können durch Desaturasen im Verdauungskanal und in der Milchdrüse teilweise desaturiert werden. Auf diese Weise gelangen also Fettsäuren

aus dem Futter in das Milchfett und in das Depotfett. Fettsäuren aus dem Futter machen allerdings maximal ein Drittel der Fettsäuren im Milchfett aus (4). Eine Energiemangelsituation kann insofern das Fettsäuremuster der Milch beeinflussen, als das die Fettsäuren nicht nur aus dem Futter, sondern dann auch aus dem abgebauten Depotfett des Tieres stammen.

In Tabelle 5 ist ein Referenzfettsäuremuster des Milchfettes aufgeführt (25), indem sich die von COLLOMB et al. (4) angeführten Verhältnisse widerspiegeln. Bei den Werten aus Tabelle 5 handelt es sich um Durchschnittswerte, von denen einzelne Untersuchungen durchaus abweichen können. Bis zu zwei Drittel der Fettsäuren im Milchfett werden im Eutergewebe de novo synthetisiert. Als Ausgangsmaterial für die Neusynthese von geradzahligem kurz- und mittelkettigen Fettsäuren dienen Acetyl-CoA und 3-Hydroxybutyrat, welche aus der Pansenwand absorbiert werden und aus dem Abbau von Kohlenhydraten im Pansen stammen. Aus der de novo Fettsynthese gehen gesättigte Fettsäuren mit vier bis 16 C-Atomen hervor (11). Die mittel- und langkettigen Fettsäuren des Milchfettes resultieren aus der Absorption und Verdauung der Nahrungsfette oder aus der Mobilisierung von Depotfett. Fettsäuren aus Depotfett werden gehäuft zu Beginn einer Laktation freigesetzt, da sich die Milchkuh zu diesem Zeitpunkt oft in einer negativen Energiebilanz befindet (11). Das Einschmelzen des Depotfetts erfolgt durch Lipasen. Die frei werdenden Fettsäuren können von der Milchdrüse aufgenommen und verestert werden.

Tabelle 5. Referenzfettsäuremuster des Milchfettes (in g/100 g Fett) und Ursprung der Fettsäuren

Fettsäure	Fett- gehalt	Spanne	De novo		
			Euter	Leber	Plasma
Buttersäure – C 4:0	3,32	2,0– 4,6	x	x	–
Capronsäure – C 6:0	2,34	1,5– 3,0	x	x	–
Caprylsäure – C 8:0	1,19	0,7– 1,9	x	x	–
Caprinsäure – C 10:0	2,81	1,7– 4,1	x	x	–
Laurinsäure – C12:0	3,39	2,0– 5,2	x	x	–
Myristinsäure – C14:0	11,41	8,9–14,4	x	x	–
Palmitinsäure – C16:0	29,53	19,9–41,1	x	x	x
Palmitoleinsäure – C16:1	3,38	2,0– 5,0	–	–	x
Stearinsäure – C18:0	9,84	6,2–17,8	–	–	x
Ölsäure – C18:1	27,39	17,2–37,0	–	–	x
Linolsäure – C18:2	2,78	1,9– 7,5	–	–	x
Linolensäure – C18:3	1,12	0,2– 2,7	–	–	x
>C20:0	0,40	0,1– 0,7	–	–	x

Quelle: (nach 25)

Im Milchfett sind auch mehrfach ungesättigte Fettsäuren zu finden. Diese können nicht von Mikroorganismen gebildet, sondern müssen mit dem Futter aufgenommen werden. Aufgrund der Hydrierung mehrfach ungesättigter Fettsäuren im Pansen ist der Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Milchfett gering. Es kann davon ausgegangen wer-

den, dass von den 500 g pro Tag aufgenommenen α -Linolensäuren aus dem Gras lediglich 25 g dem Abbau im Pansen entgehen (33).

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren, die in das Milchfett gelangen, werden zunächst absorbiert und von Lipoproteinen im Blut transportiert. Bei diesen Lipoproteinen handelt es sich um „High Density Lipoproteins (HDL)“, also um Lipoproteine hoher Dichte, welche in der Leber gebildet werden. Mithilfe der Lipoproteine gelangen die mehrfach ungesättigten Fettsäuren in die Milchdrüse.

Neben den Lipoproteinen gibt es noch eine weitere Transportform für die Fettsäuren (speziell Nahrungsfette) im Blut, die Plasmalipide. Zu den Plasmalipiden gehören Chylomikronen, VLDL (very low density Lipoprotein) und NEFA (non esterified fatty acid). Die Absorption der Fettsäuren erfolgt über in der Dünndarmwand gebildete Mizellen, wie z. B. Chylomikronen. Über den Lymphweg gelangen die Fettsäuren in den Blutkreislauf und können später unter Mitwirkung von Lipasen gespalten werden (11).

Der Einfluss verschiedener Futterpflanzen auf die Fettzusammensetzung der Milch variiert z. T. stark. In Tabelle 6 ist eine Gegenüberstellung des Fettsäuremusters von Milch sowie von Gras- und Maissilage dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die Verschiebungen in den Fettsäuremustern, die durch den ruminalen Fettabbau verursacht werden. Der Anteil der gesättigten Fettsäuren steigt von durchschnittlich 24,0 % bei Mais- und Grassilage auf 63,8 % in der Milch. Auch der Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren ist mit 33,4 % in der Milch deutlich höher als in den Futterpflanzen. Die mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind in den Silagen mit durchschnittlich 64 % etwa 25-mal so hoch wie die in der Milch. Zu erklären sind diese Unterschiede mit der Absättigung der ungesättigten Fettsäuren im Pansen (11).

Tabelle 6. Gegenüberstellung der Fettsäuremuster von Milch sowie Mais- und Grassilage in Bezug auf den Anteil an gesättigten, einfach ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren (in % des Gesamtfettgehaltes)

	Anteil gesättigte Fettsäuren in %	Anteil einfach ungesättigter Fettsäuren in %	Anteil mehrfach ungesättigter Fettsäuren in %	Quelle
Milch	63,83	33,40	2,78	25
Grassilage	25,92	6,96	67,10	24
Maissilage	22,12	16,08	61,79	24

Mit zunehmendem Grasanteil in der Ration, steigt die Aufnahme an α -Linolensäure, und damit der CLA-Gehalt in der Milch. Das Milchfett von einer auf frischem Grünfutter basierenden Fütterung weist eine weichere Konsistenz auf als jenes, das auf Grundlage von einer Maissilage oder mit einer totalen Mischration (TMR) produziert wurde. Die Differenzen haben ihre Ursache im unterschiedlichen Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (Linol- und α -Linolensäure) in den Futtermitteln. Da die mehrfach ungesättigten Fettsäuren nicht mikrobiell gebildet werden können, sondern mit dem Futter aufgenommen werden müssen, kommt es bei der Verfütterung von Silagen oder Heu, speziell im Winter zu einer härteren Konsistenz des Milchfetts (19). Den positiven Einfluss einer grasbetonten Ration stellten auch KELLY et al. (14) beim Vergleich von Milchfett von Kühen aus Weidehaltung, mit Milchfett von Kühen die mit einer mit TMR gefüttert wurden fest.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass das Fettsäuremuster der Milch mit steigendem Anteil an Grünfutter, bzw. Weidefutter, sich zugunsten des Anteils an mehrfach

ungesättigten Fettsäuren, darunter CLA, entwickelt. Es ist daher möglich, das Fettsäuremuster des Milchfettes durch Fütterungsmaßnahmen zu verändern. Der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren und CLA in der Milch nimmt mit steigenden Anteilen von Maissilage in der Ration und hohen Kraftfuttergaben ab. Dieser Zusammenhang wird auch in einer Zusammenstellung von WEISS (33) in Tabelle 7 deutlich.

Tabelle 7. Anteil an gesättigten Fettsäuren, Omega-3-Fettsäuren und CLA am Gesamtfettgehalt der Milch (in %)

	1/3 Weide	2/3 Weide	3/3 Weide	Hochleistungs-TMR
Gesättigte Fettsäuren	56,0	52,0	50,0	57,0
Omega-3-Fettsäuren	0,8	1,6	2,1	0,6
CLA	0,9	1,5	2,3	0,4

Quelle: (nach 33)

Studien, in denen die Fettsäuremuster in der Milch unter Vollweidehaltung untersucht wurden, sind allerdings auch kritisch zu betrachten. Eine Hochleistungskuh kann in reiner Weidehaltung nicht ausreichend ernährt werden. Unter diesen Bedingungen wird, wie bereits erläutert, Depotfett eingeschmolzen. Dies verändert das Fettsäuremuster der Milch auf Kosten der Gesundheit der Kuh.

5.3 Auswirkungen auf die Fettqualität des Fleisches

Fettqualität und Fettgehalt von Fleisch spielen in der menschlichen Ernährung und damit auch für den Handel eine immer größere Rolle. Verbraucher achten zunehmend auf eine gesunde und fettarme Ernährung. Weithin unbekannt und unbeachtet bleibt dabei allerdings die Qualität, also die Zusammensetzung des Fettes. Allgemein wird Rindfleisch von den Konsumenten als Produkt mit einem hohen Anteil an Fett, vor allem gesättigten Fettsäuren, beschrieben. Dabei ist dem Verbraucher oft nicht bekannt, dass der Fettgehalt von Rindfleisch meist niedrig ist, und dass es sich bei den Fettsäuren auch um eine günstige Fettsäurezusammensetzung, einschließlich Omega-3-Fettsäuren und CLA handelt (6).

Das Fettsäuremuster von Rindfleisch variiert jedoch sehr stark, da die Fettsäurezusammensetzung abhängig ist von der Tierart, der Rasse, dem Geschlecht des Tieres, dem Alter, besonders aber von der Fütterung. Der Fettgehalt von Fleisch setzt sich zusammen aus Depotfett, also dem Unterhautfettgewebe, dem intermuskulären und intramuskulären Fett. Des Weiteren werden Fette in Form von Phospholipiden in die Zellmembranen eingelagert. Der intramuskuläre Fettgehalt spielt für den Konsumenten die größte Rolle, denn dieser ist für die typische Marmorierung des Fleisches verantwortlich und hat großen Einfluss auf den Geschmack, das Aroma und die Zartheit des Fleisches.

Aufgrund der Umwandlung der Fettsäuren durch die Mikroben im Pansen lässt sich sowie beim Milchfett, die Fleischqualität nur bedingt durch die Fütterung beeinflussen. Dies bedeutet gleichzeitig auch, dass nur ein kleiner Teil der mit dem Futter aufgenommenen Fettsäuren unverändert im Muskelfett oder im subkutanen Fett eingelagert wird.

Es stellt sich also die Frage, inwieweit die Fettzusammensetzung im Fleisch durch die Fütterung beeinflusst werden kann. In einem Versuch (11) wurde beobachtet, dass sich der Gehalt an Omega-3-Fettsäuren im Muskelfett bei Tieren mit Weidegang, im Gegensatz zu Tieren die auf Kraftfutterbasis gemästet wurden, verdoppelte (Tab. 8). Auch hier kann das Fettsäuremuster von Gras verantwortlich für den hohen Omega-3-Gehalt im Fleisch der

Weidetiere gemacht werden, da es reich an α -Linolensäure (C18:3) ist. Mais und viele Kraftfutterkomponenten hingegen enthalten viel Linolsäure (C18:2).

Tabelle 8. Fettsäuregehalte von Holstein Bullen und Fleckviehbullen in Bezug auf Weide- und Stallmast (in mg/100 g Muskel)

	Dt. Holstein Bullen		Dt. Fleckvieh Bullen	
	Stallmast	Weidemast	Stallmast	Weidemast
Gesättigte Fettsäuren	1 506,0	1 047,0	1 126,4	685,8
Einfach ungesättigte Fettsäuren	1 490,0	852,9	1 060,2	533,9
Omega-3-Fettsäuren	28,1	65,1	20,5	57,3
Omega-6-Fettsäuren	181,7	124,7	167,7	115,1
Verhältnis Omega-6/Omega-3	6,5	1,9	8,4	2,0

Quelle: (nach 10)

Der Einfluss von Grassilage auf das Fettsäuremuster im Fleisch wurde in einem Versuch analysiert, dessen Ziel es war zu untersuchen, wie sich eine Endmast (von 440 kg bis zu 615 kg) basierend auf einer Maissilageration, gegenüber einer Endmast mit einer grasbetonten Ration bzw. einer Mischung von Gras- und Maissilage verhält (24). Über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet (167 Tage) nahmen die Tiere, deren Ration auf Maissilage basierte, 172 kg Gewicht zu. Die mit Grassilage gemästeten Tiere waren zum Ende des Versuches 146 kg schwerer als am Anfang und die Tiere, die eine Mischung aus Gras- und Maissilage erhielten nahmen im Durchschnitt 154 kg Gewicht zu. Die höchsten Zunahmen werden also bei einer reinen Maissilage-Kraftfuttermast erreicht (Tab. 9).

Tabelle 9. Fettsäuremuster des Fleisches aus einer grasbetonten, einer maisbetonten und einer 50:50 Gras-Mais Ration (in % des Fettgehaltes)

Fettsäure	Maissilage	50:50	Grassilage
Laurinsäure – C12:0	0,14	0,15	0,18
Myristinsäure – C14:0	3,38	3,49	3,54
Palmitinsäure – C16:0	35,96	34,69	36,88
Palmitoleinsäure – C16:1	5,05	3,40	4,04
Stearinsäure – C18:0	9,54	8,57	9,11
Ölsäure – C18:1	39,26	42,05	38,32
Linolsäure – C18:2	5,87	6,27	6,13
Linolensäure – C18:3	0,79	1,37	1,78

Quelle: (nach 24)

Über die Komponenten des Kraftfutters wird das Fettsäuremuster des Muskelfettes zusätzlich beeinflusst. Trotz des Kraftfuttereinsatzes spiegelt sich ein Unterschied zwischen grasbetonter und maisbetonter Ration im Fettsäuremuster des Muskelfettes wieder (24). Es stellte sich heraus, dass das Fleisch der Tiere die grasbetont gefüttert wurden bessere Qualitäten in Bezug auf Farbe, Fettoxidation und Vitamin E Gehalt aufwiesen. Wurde die Grassilage in der Endmastration durch Maissilage substituiert, zeigten sich für die oben genannten Qualitätsparameter Verschlechterungen (24). Diese Ergebnisse sind insbesondere für die Lagerfähigkeit einzelner Fleischpartien im Einzelhandel von Bedeutung.

Die Mastdauer wirkt sich auf das Fettsäuremuster nicht so stark aus, wie die Intensität der Fütterung. SAMI et al. (28) zeigten an einer Gruppe von Simmentaler Bullen, dass sich das Fettsäuremuster des Muskelfleisches bei extensiver Fütterung günstiger verhält als bei intensiver Fütterung. Dafür müssen die Tiere aber über einen längeren Zeitraum gemästet werden, um das gleiche Schlachtgewicht zu erreichen. Werden die Bullen hingegen intensiv über einen längeren Zeitraum gefüttert, so ist eine deutliche Abnahme des Anteils an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Muskelfett erkennbar.

Die Ergebnisse der Studien deuten darauf hin, dass in der Rindermast die Weidehaltung bzw. die Fütterung von Grassilage positive Auswirkungen auf die Fettzusammensetzung im Muskelfleisch hat. In der Praxis finden sich in Deutschland allerdings vor allem Mastbetriebe mit maisbetonten Rationen, was auf dessen höheren Energiegehalt und damit geringe Kosten zurückzuführen ist.

6 Fettsäurezusammensetzung von eingeführtem Rindfleisch

Mit Blick auf den aktuellen Rindfleischmarkt wird deutlich, dass schon jetzt, aber vor allem auch in der Zukunft, sehr viel Rindfleisch aus anderen Ländern, wie den südamerikanischen Staaten, Australien oder den USA importiert werden wird. Daher ist es wichtig zu betrachten, inwieweit sich die Qualität des importierten Rindfleisches von der Qualität des heimischen Rindfleisches unterscheidet.

Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung sind vor allem auf Umweltfaktoren zurückzuführen. In einer umfassenden Studie wurde ein direkter Vergleich von Rindfleisch aus verschiedenen Ländern vorgenommen (27). Dabei wurde das Rindfleisch aus den verschiedenen Regionen hinsichtlich seines Fettsäuremusters verglichen. Bei dem Versuch wurden Fleischproben von Blau-Weißen-Belgiern (BB), Limousin (Limo), irischen Rindern (Irish) und argentinischen Rindern (Argent) miteinander verglichen. Die Tiere wurden in ihrem Herkunftsland, nach den regional typischen Verfahren gemästet. Dieses Vorgehen ermöglicht einen Vergleich der Produkte in der Form, in der sie auch auf dem Markt miteinander konkurrieren. Die Rassen Blau-Weiße-Belgier und Limousin wurden in dem Versuch unter intensiven Bedingungen gemästet, d. h. mit einer maisbetonten Ration und hohen Kraftfuttergaben. Die anderen beiden Rassen wurden extensiv, d. h. unter Fütterung von Grassilage bzw. nur durch Beweidung gemästet. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse dieses Versuches als prozentuale Anteile von SFA, MUFA und PUFA am Gesamtfettgehalt dargestellt. Aus Tabelle 10 geht hervor, dass die beiden extensiv gehaltenen Rassen, also die irischen und die argentinischen Rinder, den höchsten Gehalt an gesättigten Fettsäuren und den niedrigsten Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, dafür aber mit 46,7% und 42,3% den höchsten Gehalt an einfach ungesättigten Fettsäuren aufweisen. Gleichzeitig ist aber beim Fleisch aus den extensiv gehaltenen Rassen (Irish und Argent) ein günstigeres Omega-6/Omega-3-Verhältnis zu beobachten.

Tabelle 10. Verhältnis von gesättigten, einfach ungesättigten und mehrfach ungesättigten Fettsäuren im *Musculus longissimus lumborum*, im intramuskulären Fett von Blau-Weißen Belgiern (BB), Limousins (Limo), irischen (Irish) und argentinischen (Argent) Rindern
(in % der gesamten Fettsäuren und in mg/100 g Muskel)

Fettsäuren	BB	Limo	Irish	Argent
	% gesamt Fettsäuren			
kurzkettige Fettsäuren	37,0 ^b	36,7 ^b	43,0 ^a	46,3 ^a
einfach ungesättigte Fettsäuren	35,5 ^a	40,3 ^{bc}	46,7 ^a	42,3 ^{ab}
mehrfach ungesättigte Fettsäuren	21,7 ^a	17,1 ^a	6,9 ^b	7,8 ^b
n-6/n-3	6,7 ^a	4,9 ^a	2,7 ^b	2,5 ^b
<i>cis</i> 9, <i>trans</i> 11 CLA	5,8 ^b	9,6 ^b	35,4 ^a	23,0 ^{ab}
	mg/100 g Muskel			
Summe	865 ^b	1 266 ^b	3 710 ^a	2 777 ^{ab}
kurzkettige Fettsäuren	338 ^c	506 ^{bc}	1 625 ^a	1 337 ^{ab}
einfach ungesättigte Fettsäuren	323 ^b	554 ^b	1 795 ^a	1 210 ^{ab}
mehrfach ungesättigte Fettsäuren	195	195	251	203

Quelle: (nach 27)

Es zeigt sich, dass irisches und argentinisches Rindfleisch bei den absoluten Konzentrationen in allen Fettsäureklassen höhere Gehalte aufweist (27). Die hohen Konzentrationen der Fettsäuren bezogen auf 100 g Muskelfleisch begründen sich sowohl aus den höheren Gesamtfettgehalten der beiden Rassen, der Fütterungsart und dem genetischen Hintergrund. Die Rassen Blau-Weiße-Belgier und Limousin wurden in der Vergangenheit gezielt auf einen niedrigen Fettgehalt gezüchtet, was sich in den hier dargestellten Ergebnissen widerspiegelt (27). Es wurde auch eine Akkumulation von Omega-3-Fettsäuren bei Grasfütterung nachgewiesen, die tendenziell bei argentinischem Rindfleisch abnimmt. Genetische Unterschiede sind zudem zwischen *Bos taurus*- und *Bos indicus*-Rassen und deren Kreuzungen belegt worden (26).

Neben genetisch- und fütterungsbedingten Unterschieden in der Fettsäurezusammensetzung von Fleisch sind besonders Umweltfaktoren, wie anfänglich erwähnt und in Tabelle 10 anschaulich dargestellt, zu berücksichtigen. KELLY et al. (15) untersuchten in Australien das Fettsäuremuster im Fleisch von 577 Rindern, die aus 7 unterschiedlichen genetischen Herkünften stammten und jeweils in Weide- oder intensiven Mastsystemen (mit Kraftfutterzusatz) an je zwei unterschiedlichen Standorten (tropisches bzw. gemäßigtes Klima) gemästet wurden. Bei den unter gemäßigten Bedingungen gemästeten Rindern war der Anteil an C18:1 *cis* 9 im Fett höher und der Anteil an C18:0 und C16:0 geringer, als bei den unter tropischen Bedingungen gemästeten Rinder. Insbesondere die Ölsäure (C18:1) wurde von der Wechselwirkung zwischen den Faktoren Fütterung (Weide oder Stall) und Standort stark beeinflusst. Die Rinder am tropischen Standort wiesen bei intensiver Mast deutlich höhere Anteile an C18:1 *trans* 11 (Vaccensäure) auf, als die anderen Gruppen. Bei einem vergleichbaren Schlachtgewicht waren die Rinder an den tropischen Standorten älter, fetter und das Fleisch hatte einen höheren Anteil an gesättigten Fettsäuren (C16:0, C18:0).

Es bleibt festzuhalten, dass sowohl die Mastintensität als auch der Standort (Umweltbedingungen) einen erheblichen Einfluss auf die Fettsäurezusammensetzung hat. Obwohl

bisher nur wenige Arbeiten vorliegen, die die Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung von Rindfleisch aus europäischen und südamerikanischen Produktionssystemen darstellen, zeigen andere Arbeiten (15) eine erhebliche Wirkung des Standortes auf die Fettsäurezusammensetzung. Bei extensiver Weidehaltung in Europa und in den Exportländern mögen zudem die botanische Zusammensetzung und das Fettsäuremuster der Weide einen Einfluss auf das Fettsäuremuster des Fleisches nehmen. Systematische Untersuchungen liegen allerdings nicht vor.

7 Strategien zur Modifizierung des Fettsäuremusters in Milch und Fleisch

Aus dem Vorangegangenen lässt sich schlussfolgern, dass sich das Fettsäuremuster von Milchfett und intramuskulärem Fett zugunsten der ungesättigten Fettsäuren wandelt, wenn der Anteil an Frischgras in der Ration steigt. Umgekehrt verhält es sich bei einem höheren Maisanteil an der Ration. Bei steigendem Mais- und Kraftfutteranteil verändert sich das Fettsäuremuster zugunsten der gesättigten Fettsäuren. Weiterhin kann auch über die Genetik und den Standort Einfluss auf den Gesamtfettgehalt in Milch und Fleisch genommen werden.

Werden die ungesättigten Fettsäuren aus den Pflanzen nicht im Pansen abgesättigt, so können sie in dieser Form auch in das Milchfett und in das Fettgewebe eingebaut werden. Um eine geringere Hydrierung im Pansen zu erreichen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es gibt die Möglichkeit die Hydrierung der Fettsäuren im Pansen zu reduzieren, indem Silagen mit einem höheren Anteil an Leguminosen, insbesondere Rotklee, verfüttert werden (7). Weiterhin wird in diesem Zusammenhang der Einsatz von pansengeschützten Fetten oder von fettreichen Kraftfutterkomponenten viel diskutiert. Hier gibt es eine Reihe von Versuchen und auch in der Praxis hat der Einsatz zum Teil schon Einzug gehalten. Fette in der Ration bringen vor allem einen weiteren großen Vorteil: sie heben die Energiekonzentration in der Ration deutlich an und sind zudem oft auch noch preislich günstige Energieträger (20). Die langkettigen Fettsäuren pansengeschützter Fette werden erst im Dünndarm absorbiert und gelangen von dort direkt als Milchfettsäure in die Milch (32). Ein sehr großer Effekt auf das Fettsäuremuster der Milch wurde beim Einsatz von Fischöl¹⁾, welches durch eine Formaldehyd-Behandlung vor dem Abbau im Pansen geschützt wurde, in der Ration erzielt (7). Diese Ergebnisse bestätigen sich auch in anderen Studien (11); allerdings treten in vielen Fällen sensorische Nachteile auf, die den Geschmack der Milch beeinträchtigen.

8 Fazit

Das Fettsäuremuster von Milch und Fleisch der Wiederkäuer weist ein für die menschliche Gesundheit günstiges Fettsäuremuster auf. Besonders deutlich wird dieser Effekt, wenn die Tiere auf der Weide gehalten wurden, oder ihre Ration einen hohen Grasanteil und nur einen geringen Kraftfutteranteil hatte. In Zeiten in denen der Verbraucher immer mehr auf eine artgerechte Tierhaltung sowie die Herkunft seiner Nahrungsmittel achtet, könnte die Weidehaltung von Milch- und Fleischrindern daher wieder neu belebt werden und eine Alternative zur reinen Stallhaltung darstellen. Der Weidehaltung sind in diesem Zusammenhang allerdings auch Grenzen gesetzt, wie z. B. die ausreichende energetische Versorgung, die für hochleistende Tiere nicht gewährleistet werden kann. Folglich fallen die täglichen Zunahmen beim Mastvieh beispielsweise bei solch einer Produktionsform geringer aus, als auf Basis von Maissilage und Kraftfutter.

Eine Möglichkeit das Fettsäuremuster in Futterpflanzen zu beeinflussen lässt sich durch ein gezieltes Management realisieren. Dabei müssen, insbesondere Gräser, regelmäßig in kurzen Intervallen geerntet werden und die Feldliegezeit sollte möglichst von kurzer Dauer sein. Somit werden im frischen Gras die höchsten Gehalte an günstigen Fettsäuren erreicht. Durch einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren gewinnt das Fett an Fluidität. Bei einer Verbesserung des Fettsäuremusters in Futterpflanzen, durch eine Erhöhung des Anteils an (mehrfach) ungesättigten Fettsäuren gilt es zu beachten, dass damit auch die Haltbarkeit des Produktes herabgesetzt wird. Um die Hydrierung der Fettsäuren im Pansen zu reduzieren, können Silagen mit einem höheren Anteil an Leguminosen, insbesondere Rotklee, verfüttert werden. Ein Einfluss der botanischen Zusammensetzung der Weide auf die Veränderung der Fettsäurezusammensetzung von Fleisch und Milch bleibt allerdings unklar, sowohl in Europa als auch im importierten Fleisch aus Südamerika.

Es bleibt festzuhalten, dass sich das Fettsäuremuster in der Milch und im Fleisch von Wiederkäuern nur bedingt durch die Fütterung und Umweltbedingungen beeinflussen lässt. Dennoch findet sich ein Teil der Fettsäuren, insbesondere der ungesättigten Fettsäuren aus dem Futter, in den Produkten von Wiederkäuern wieder, bzw. einige werden durch die Aktivität der Pansenmikroben synthetisiert.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit den Veränderungen der Fettsäurezusammensetzung im System Pflanze-Tier auseinander. Das Fettsäuremuster in Produkten tierischen Ursprungs ist von verschiedenen Aspekten in der Wertschöpfungskette der Lebensmittelproduktion abhängig. Nicht nur die Umweltbedingungen verändern das Fettsäuremuster von Futterpflanzen, auch die Bewirtschaftungsmaßnahmen (Schnitthäufigkeit der Bestände, Futterkonservierung), Haltung der Tiere (Weide/Stall), die Auswahl der Arten für Grünland und Futterbau, und letztlich die Rationsgestaltung in der Wiederkäuerernährung haben einen Einfluss. Wenige Informationen liegen allerdings über den Einfluss der Veränderung der Artenvielfalt von Weiden auf das Fettsäuremuster in Produkten tierischen Ursprungs vor. Die meisten Ergebnisse und Aussagen beruhen auf Beobachtungen der einzelnen Futterpflanzen. Im weiteren Verlauf innerhalb der Wertschöpfungskette werden im Verdauungstrakt von Wiederkäuern die wertvollen mehrfach ungesättigten Fettsäuren (konjugierte Linolensäure, CLA) synthetisiert. Diese bilden in der Humanernährung die Grundlage für eine gesunde Ernährung. Tierische Produkte aus der Wiederkäuerproduktion weisen zwar entscheidende Vorteile auf, der höhere Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren wirkt sich jedoch nachteilig auf die Haltbarkeit der Produkte aus. In diesem Zusammenhang sind die weichere Fettkonsistenz sowie die Anfälligkeit des Fettes zur Oxidation zu nennen.

Tierische Produkte als Importware, insbesondere Fleisch aus Südamerika, scheint an Bedeutung im europäischen Markt zu gewinnen. Im Hinblick auf das Fettsäuremuster wird in wenigen Arbeiten die Vermutung unterstützt, dass nicht nur die Fütterung der überwiegend auf Weide basierten Produktionssysteme einen Einfluss auf das Fettsäuremuster nimmt, sondern auch die Physiologie der Futterpflanze eine Rolle spielt. Aufgrund von klimatisch bedingten Unterschieden, werden im Vergleich zu gemäßigten Regionen weniger mehrfach ungesättigte Fettsäuren eingelagert. Als Konsequenz ist in aller Regel ein härteres Fett zu beobachten. Allerdings fehlen hierfür systematische Untersuchungen, die diese Vermutung bestätigen.

Summary

Fatty acid composition of forage plants: Consequences for the fat quality of milk and meat

The main objective the present work is to discuss changes in the fatty acid composition within the plant-animal production system and possibilities of influencing the fatty acid composition in milk and meat. The fatty acid composition in animal products is influenced by different aspects within the food production chain. It is not just environmental contrasts such as climatic conditions that alter the fatty acid composition of forages; grassland management practices (cutting frequency, forage conservation), animal husbandry (pasture/indoor feeding), the species composition of pasture-based production systems and the diet composition in the feeding of ruminants may also contribute to the different fatty acid composition. However, little is known about the relationship between species composition on grassland and the variation in fatty acid composition, as most work is done on single

species. Along the food production chain, ruminants contribute substantially to the proportion of polyunsaturated fatty acids (PUFA) in milk and meat. The formation of conjugated linolenic acid (CLA) is unique for ruminants and CLA is claimed to be related to good health in human nutrition. Although PUFA content is found in animal products, the higher content of PUFA leads to a softer consistency of fat and consequently to higher susceptibility of meat and milk fat to oxidation, shortening the retail life time span of these products.

Animal products, especially beef from South America, are being imported and make up a large part of the European meat market. With regard to the fatty acid composition, only a few works confirm the assumption that it is not just the pasture-based feeding that may influence the fatty acid composition. Tropical and subtropical climatic conditions in the production countries reduce the amount of PUFA. In consequence, the fat tends to be of a harder consistency. However, there are few studies supporting this observation.

Résumé

Les effets de la composition des acides gras de plantes fourragères sur la qualité de la matière grasse du lait et de la viande

Dans le présent document les modifications de la composition des acides gras dans le système «plante-animal» sont analysées. La composition des acides gras dans les produits d'origine animale dépend de différents éléments dans la chaîne de valeur de la production de denrées alimentaires. Ce ne sont pas seulement les conditions environnementales qui modifient la composition des acides gras de plantes fourragères mais les mesures de gestion (fréquence de coupe des plantes, conservation du fourrage), le type de détention des animaux (pâturage/stabulation), le choix des espèces pour les herbages et la culture fourragère et finalement aussi les caractéristiques des rations alimentaires données aux ruminants semblent également y jouer un rôle. Mais il n'y a que peu d'informations disponibles relatives au rapport qui existe entre le changement de la diversité des pâturages et la composition des acides gras dans les produits d'origine animale. La plupart des résultats et des conclusions basent sur des observations faites séparément pour chaque plante fourragère. Plus loin dans la chaîne de valeur, pendant leur processus de digestion, les ruminants produisent les acides gras poly-insaturés précieux (acide linoléique conjugué). Pour la nutrition humaine, ces derniers constituent la base pour une alimentation saine. Certes, les produits animaux de ruminants présentent des avantages importants mais le taux plus élevé d'acides gras poly-insaturés a des conséquences désavantageuses telle que la consistance plus molle de la matière grasse ainsi que la sensibilité à l'oxydation de la matière grasse pouvant diminuer la durée possible de conservation de la viande et du lait.

Apparemment, les produits animaux importés, notamment la viande en provenance de l'Amérique du Sud jouent un rôle croissant sur le marché européen. En ce qui concerne la composition des acides gras, un petit nombre de travaux de recherche soutiennent l'hypothèse que pour les systèmes de production basés principalement sur le pâturage, l'alimentation animale n'est pas le seul élément ayant des effets sur la composition des acides gras mais que la physiologie de la plante fourragère est également déterminante. À cause des conditions climatiques différentes, le taux d'acides gras poly-insaturés incorporé est moins élevé que dans les régions tempérées. En conséquence, la matière grasse est normalement plus dure. Cependant, il n'existe pas d'analyses systématiques confirmant cette hypothèse.

Literatur

1. BARNES, R. F.; NELSON, C. J.; MOORE K. J.; COLLINS, M., 2007: Forages- The Science of Grassland Agriculture: Volume 2, 6. Auflage, Blackwell Publishing, USA, 473 p.
2. BICKEL-SANDKÖTTER, S., 2001: Nutzpflanzen und ihre Inhaltsstoffe. Quelle und Meyer Verlag. Wiesbaden.
3. CLAPHAM, W. M.; FOSTER, J. G.; NEEL, J. P. S.; FEDDERS, J. M., 2005: Fatty acid composition of traditional and novel forages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 10068–10073.
4. COLLOMB, M.; EYER, H.; SIEBER, R., 2002: Chemische Struktur und Fettsäureverteilung des Milchfettes. *Agrarforschung* 9, 240–245.
5. DEWHURST, R. J.; SCOLLAN, N. D.; YOUELL, S. J.; TWEED, J. K. S.; HUMPHREYS M. O., 2001: Influence of species, cutting date and cutting interval on the fatty acid composition of grasses. *Grass and Forage Science* 56, 68–74.
6. —; LEE, M. R. F.; OUGHAM, H. J.; HUMPHREYS, M. O., 2003: Forage breeding and management to increase the beneficial fatty acid content of ruminant products. *Proceedings of the Nutrition Society* 62, 329–336.

7. –, 2005: Targets for milk fat research: nutrient, nuisance or nutraceutical? *Journal of Agricultural Science* 143, 359–367.
8. DHIMAN, T. R., 2000: Conjugated linoleic acid: A food for cancer prevention. *Feedstuffs* 72, 24–32.
9. ELGERSMA, A.; ELLEN, G.; VAN DER HORST, H.; MUUSE, B. G.; BOER, H.; TAMMINGA, S., 2003: Influence of cultivar and cutting date on the fatty acid composition of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Grass and Forage Science* 58, 323–331.
10. ENDER K.; NÜRNBERG, K., 2006: Qualität von der Weide. *Forschungsreport* 2/2006.
11. GRUMMER, R. R., 1991: Effect of feed on the composition of milk fat. *Journal of Dairy Science* 74, 3244–3257.
12. HELDT, H.-W., 1999: *Pflanzenbiochemie*; 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg, Berlin.
13. HOLLÓ, G.; NÜRNBERG, K.; REPA, I.; HOLLÓ, I.; SEREGI, J.; POHN, G.; ENDER, K., 2005: Einfluss der Fütterung auf die Zusammensetzung des intramuskulären Fettes des *Musculus longissimus* und verschiedener Fettdepots von Jungbullen der Rassen Ungarisches Grauvieh und Holstein Friesian. *Archiv Tierzucht* 48, 537–546.
14. KELLY, M. L.; KOLVER, E. S.; BAUMAN, D. E.; VAN AMBURGH, M. E.; MULLER, L. D., 1998: Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 81, 1630–1636.
15. –, TUME, R. K.; NEWMAN, S. A.; THOMPSON, J. M., 2001: Environmental effects on the fatty acid composition of subcutaneous beef fat. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41, 1023–1031.
16. KINDL, H., 1994: *Biochemie der Pflanzen*; 4. Auflage, Springer-Lehrbuch; Berlin, Heidelberg, New York.
17. KOCH, A.; SCHÖNE, F., 2003: Konjugierte Linolsäuren (CLA) im Milchfett und ihre Anreicherung über Fütterung – eine Bestandsaufnahme. *Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena*. 11 p.
18. LAWSON, R. E.; MOSS, A. R.; GIVENS, D. I., 2001: The role of dairy products in supplying conjugated linoleic acid to man's diet: a review. *Nutrition Research Reviews* 14, 153–172.
19. LOCK, A. L.; GARNSWORTHY, P. C., 2003: Seasonal variation in milk conjugated linoleic acid and Δ^9 -desaturase activity in dairy cows. *Livestock Production Science* 79, 47–59.
20. MAHLKOW-NERGE, K., 2003: Einsatz von Futterfetten – Sinnvoll oder unnötige Ausgabe?; *Kiel, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Milchpraxis* 3/2003 (41. Jahrgang).
21. MOREL, I.; WYSS, U.; COLLOMB, M., 2006: Grünfutter- oder Silagezusammensetzung und Milchinhaltsstoffe. *Agrarforschung* 13, 228–233.
22. MURATA, N.; ISHIZAKI-NISHIZAWA, O.; HIGASHI, S.; JAYASHI, H.; TASAKA, Y.; NISHIDA, I., 1992: Genetically engineered alteration in the chilling sensitivity of plants. *Nature* 356, 710–713.
23. OHLROGGE, J.; BROWSE, J., 1995: Lipid biosynthesis. *Plant Cell* 7, 957–970.
24. O'SULLIVAN, A.; O'SULLIVAN, K.; GALVIN, K.; MOLONEY, A. P.; TROY, D. J.; KERRY, J. P., 2002: Grass silage versus maize silage effects on retail packaged beef quality. *Journal of Animal Science* 80, 1556–1563.
25. PALMQUIST, D. L.; BEAULIEU, A. D., 1993: Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76, 1753–1771.
26. PERRY, D.; NICHOLLS, P. J.; THOMPSON, J. M., 1998: The effect of sire breed on the melting point and fatty acid composition of subcutaneous fat in steers. *Journal of Animal Science* 76, 87–95.
27. RAES, K.; BALCAEN, A.; DIRINCK, P.; DE WINNE, A.; CLAEYS, E.; DEMEYER, D.; DE SMET, S., 2003: Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science* 65, 1237–1246.
28. SAMI, A. S.; AUGUSTINI, C.; SCHWARZ, F. J., 2004: Effect of feeding intensity and time on feed on intramuscular fatty acid composition of Simmental Bulls. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 88, 179–187.
29. SCHRÖDER, A.; PIEPER B.; LICKFETT, J., 2000: Einsatz von pansengeschütztem Fett bei Hochleistungskühen aus Sicht der Beratung. *Handbuch der Tierischen Veredlung 407418*; Sonderdruck: Kamlage Verlag Osnabrück; www.dr-pieper.com/download/pansenfett.htm (Stand: 29.05.2008).
30. SHINGFIELD, K. J.; REYNOLDS, C. K.; LUPOLI, B.; TOIVONEN, V.; YURAWECZ, M. P.; DELMONTE, P.; GRINARI, J. M.; GRANDISON, A. S.; BEEVER, D. E., 2005: Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower and fish oil. *Animal Science* 80, 225–238.
31. THIES, W., 1971: Der Einfluss der Chloroplasten auf die Bildung von ungesättigten Fettsäuren in reifenden Rapsamen. *Interscience* 73, 710–715.
32. VOIGT, J.; KANITZ, W.; SCHNEIDER, F.; BECKER, F.; SCHÖNHUSEN, U.; METGES, C. C.; HAGEMEISTER, H.; PRECHT, D., 2005: Ernährung der Hochleistungsmilchkuh – Neue Herausforderungen an die Fütterung; *Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN), Dummerstorf; Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Kiel. Forschungsreport* 1/2005.

33. WEISS, D., 2005: Fettsäurezusammensetzung im Rinderschlachtkörper – Einflussmöglichkeiten durch die Fütterung; Freising. <http://www.chiemgau-inn-salzach.de/upload/pdf/projekte/omega3/FettsaeurezusammensetzungRindfleisch.pdf> (Zugriff am 29. 05. 2008).

Fußnoten

- ¹⁾ Derzeit ist nach § 18 des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuches in Deutschland u. a. das Verfüttern von Fischöl sowie von Mischfuttermitteln, die Fischöl enthalten, an Wiederkäuer verboten.

Dank

Die Autoren danken Frau Dr. ANNE SCHIBORRA für die kritische Überarbeitung des Manuskriptes.

Autorenanschrift: Dr. habil. MARTIN GIERUS, B. Sc. INSA ALTER, Prof. Dr. FRIEDHELM TAUBE, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/ Ökologischer Landbau, Christian Albrechts Universität zu Kiel, Hermann Rodewald Str. 9, 24118 Kiel, Deutschland
mgierus@email.uni-kiel.de