

<sup>1</sup>Universität Kaposvár, Fakultät für Tierwissenschaften, Institut für Diagnostik und Onkoradiologie, Ungarn

<sup>2</sup>Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Forschungsbereich Muskelbiologie und Wachstum, Dummerstorf, Deutschland

<sup>3</sup>Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Forschungsbereich Genetik und Biometrie, Dummerstorf, Deutschland

GABRIELLA HOLLÓ<sup>1</sup>, GERD NUERNBERG<sup>3</sup>, PÉTER BOGNER<sup>1</sup>, GYULA KOTEK<sup>1</sup>,  
KARIN NUERNBERG<sup>2\*</sup>, ISTVAN HOLLÓ<sup>1</sup>, JÁNOS SEREGI<sup>1</sup>, KLAUS ENDER<sup>2</sup> and  
IMRE REPA<sup>1</sup>

## **Der Einfluss der Fütterung auf die Zusammensetzung verschiedener Fettdepots von Jungbullen der Rassen Ungarisches Grauvieh und Holstein Friesian**

### **2. Mitteilung: <sup>1</sup>H- Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Untersuchungen**

#### **Abstract**

Title of the paper: **Effect of feeding on the fatty acid composition of different fatty tissues of Hungarian Grey and Holstein Friesian bulls. II. <sup>1</sup>H-Nuclear Magnetic Resonance (NMR) investigations**

In this attempt the relaxation times using <sup>1</sup>H-NMR spectroscopy from three different (subcutaneous, perinephric and internal fat) fat depots of Hungarian Grey and Holstein Friesian extensive or intensive fattened young bulls were measured. The relaxation properties were compared with the analysis of fatty acid composition. The different diets and the sample location have a higher influence on the relaxation times than the breed. In fat samples from extensive groups the T<sub>1</sub>-relaxation time was longer, while the T<sub>2</sub>-relaxation time was significantly shorter in intensive fed groups. The T<sub>2</sub>-relaxation time, as well as the relaxation time of T<sub>21</sub>- und T<sub>22</sub>-components were the shortest in extensive fed animals, while the proportion of T<sub>21</sub>-component was the highest in kidney fat, furthermore the difference was statistics proved. The T<sub>2</sub>-relaxation time showed a close negative relationship with the ratio of saturated fatty acids (SFA). The ratio of v<sub>21</sub> and v<sub>22</sub> depends on chemical composition of fat samples. In fat tissues with a high SFA percentage caused a higher proportion of v<sub>21</sub>. It is suggested that differences in fatty acid composition of fat samples caused also alteration in the relaxation time.

Key Words: fat depots, <sup>1</sup>H- Nuclear Magnetic Resonance (NMR), bulls, Hungarian Grey, Holstein-Friesian

#### **Zusammenfassung**

In diesem Experiment wurde die Relaxationszeit mit Hilfe der <sup>1</sup>H-NMR Spektroskopie von drei verschiedenen (subkutanen, Nieren-, und Innenfett) Fettdepots von Ungarischen Grauvieh und Holstein Friesian Jungbullen gemessen, die entweder extensiv oder intensiv gemästet wurden. Beziehungen zwischen den Relaxationseigenschaften und den Fettsäureparametern wurden ermittelt. Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung der verschiedenen Depotfette rufen Änderungen der Relaxationszeiten hervor. Die unterschiedliche Fütterung und die Fettgewebeart hatten einen stärkeren Effekt auf die Relaxationszeiten als der Einflussfaktor Rasse. In den Fettdepots der extensiven Gruppen waren die T<sub>1</sub>-Relaxationszeit länger und die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit signifikant kürzer im Vergleich zu den intensiv gefütterten Gruppen. Die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit sowie die Relaxationszeit der T<sub>21</sub> und T<sub>22</sub> Komponenten waren am kürzesten im Fett der extensiv gefütterten Jungbullen, während die T<sub>21</sub> Komponente im Nierenfett signifikant länger war. Die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit zeigte einen engen negativen Zusammenhang zum Anteil der gesättigten Fettsäuren (SFA). Das Verhältnis von v<sub>21</sub> zu v<sub>22</sub> hängt von der chemischen Zusammensetzung der Fettproben ab. Je mehr SFA im Fett enthalten sind, desto größer ist der Anteil der v<sub>21</sub>.

Schlüsselwörter: Fettdepots, <sup>1</sup>H- Nuclear Magnetic Resonance (NMR), Bullen, Ungarisches Grauvieh, Holstein Friesian

## Einleitung

### *Grundlagen der NMR Spektroskopie*

Der Kernspin ist das Mass für die Eigenrotation des Atomkerns, dass heißt, der Atomkern als ganzer trägt eine positive Ladung. Die Eigenschaft des Kernspins besitzen alle Atomkerne mit ungerader Protonen- und Neutronenzahl. Die im Körper vorkommenden Elemente mit dieser Eigenschaft sind Wasserstoff ( $^1\text{H}$ ), Stickstoff ( $^{14}\text{N}$ ), Phosphor ( $^{31}\text{P}$ ), Kohlenstoff ( $^{13}\text{C}$ ) und Natrium ( $^{23}\text{Na}$ ). Das Wasserstoffatom ( $^1\text{H}$ ) ist das in biologischen Systemen am häufigsten vorkommende Isotop mit einem Kernspin.

Im magnetfeldfreien Raum sind die einzelnen Kernspins und damit die magnetischen Momente in alle Raumrichtungen verteilt. Die Kernmagnete richten sich zum äußeren Magnetfeld aus und befinden sich dann in einem thermischen Gleichgewicht. Durch die Zufuhr von einem Hochfrequenzimpuls werden die energiearmen Protonen auf das höhere Energieniveau gebracht. Die Rückkehr (Relaxation) ins thermische Gleichgewicht erfolgt unter Aussendung elektromagnetischer Strahlung. Dieses Resonanzsignal stellt das eigentliche NMR-Signal dar, das anschließend weiter verarbeitet wird. Zwei unabhängige Prozesse bestimmen die Einstellung des Gleichgewichts:

1. Spin-Gitter-Relaxation: Bis zum Erreichen des Magnetisierungsgleichgewichts  $M_0$  tauschen die Spins Energie mit dem umgebenden Gitter aus. Quantitativen Modellen liegt hierbei die longitudinale Relaxationszeit  $T_1$  zu Grunde.
2. Spin-Spin-Relaxation: Zwischen den Spins selbst wird Energie ausgetauscht. Der dominante Parameter  $T_2$  heißt transversale Relaxationszeit. Das mit  $1/T_2$  abfallende Resonanzsignal wird als freier Induktionszerfall bezeichnet.

Die Relaxationszeiten sind gewebeabhängig, da sie von der chemischen und physikalischen Umgebung der relaxierenden Atomkerne bestimmt werden. Die Signalintensitäten sind abhängig von der Protonendichte, der natürlichen Häufigkeit des beobachteten Isotops und der Flussgeschwindigkeit der Körperflüssigkeiten *in vivo*.

### *Anwendungsmöglichkeiten der NMR Spektroskopie in der Tierforschung*

Seit der Entdeckung von PURCELL und BLOCH im Jahre 1946, dass die elektromagnetische Radiofrequenz mit dem magnetischen Feld eines Atomkerns interagieren kann, wurde die kernmagnetische Resonanz Spektroskopie (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) sehr schnell in der klinischen Medizin genutzt. In Ungarn kam die  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie in der Tierwissenschaft zum Beginn der 90er Jahre an der Universität von Kaposvár im Institut für Diagnostik und Onkoradiologie beim Schwein, Kaninchen und Karpfen (BERÉNYI et al., 1994; BOGNER et al., 1996; KOHN et al., 1998; VAJDA et al., 1999; HANCZ et al., 2003) zur Anwendung. Mit Hilfe der  $^{31}\text{P}$ -NMR-Spektroskopie als eine nicht invasive und nicht destruktive Methode, die von KALLWEIT et al. (1994), BAULEIN et al. (1996) und KOHN (1998) beschrieben wurde, ist es möglich im lebendem Organismus den Energiestoffwechsel von Muskelzellen zu beobachten.

Hühnerembryonen von zwei genetisch verschiedenen Linien wurden von LIRETTE et al. (1993) während der Brutzeit *in vivo* mit Hilfe der NMR-Tomography,  $^{31}\text{P}$ - und  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie untersucht. Das Verhältnis von ATP und AMP kann mittels NMR Spektroskopie bereits in der embryonalen Entwicklung bestimmt und zur Selektion auf fettarmes Fleisch genutzt werden. VILLÉ et al. (1997) haben Messungen des intramuskulären Fettgehaltes im *Musculus longissimus* von insgesamt 60 Schweinen verschiedener Linien *in vivo* sowohl mit Ultraschall als auch mit NMR Spektroskopie

vorgenommen. Gleichzeitig wurden Biopsieproben entnommen. Es konnte kein Unterschied zwischen den Methoden bezüglich des intramuskulären Fettgehaltes festgestellt werden.

Eine Reihe von Publikationen beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen NMR-Relaxationen von Wasser-Protonen und der Fleischqualität (CHANG et al. 1981; CURRIE et al., 1981; FJELKNER-MODIG und TORNBERG, 1986). Eine der wichtigsten Fleischqualitätsmerkmale ist die Wasserbindungskapazität.  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie ist eine Technik zur Untersuchung der Bewegung von Wasser-Protonen im Zusammenhang mit der Umgebung in biologischen Proben. Über die Analyse der unterschiedlichen Wasserfraktionen in der Skelettmuskulatur mit Hilfe der NMR-Spektroskopie berichten BELTON et al. (1972), HAZLEWOOD et al. (1974), PEARSON et al. (1974), CHANG et al. (1976) und BRÖNDUM et al. (2000). RENOUE und MONIN (1985) konnten nachweisen, dass die  $T_{21}$ -Relaxationszeit (schnell relaxierende Komponente) mit dem  $\text{pH}_{24}$ -Wert und dem Kochverlust korreliert. Zwischen der  $T_{22}$ -Relaxationszeit (langsam relaxierende Komponente) und dem post mortalen pH-Abfall konnte ebenfalls eine Beziehung gefunden werden. Einen Zusammenhang zwischen Wasserverlust und  $T_{22}$ -Relaxationszeit stellten TORNBERG et al. (1993) mit  $r=0,6$ , BRÖNDUM et al. (2000) mit  $r=0,72$  und BERTRAM et al. (2001a) mit  $r=0,77$  fest.

Die  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie bietet die Möglichkeit, den Metabolismus von Zellen und Gewebe zu untersuchen (MOON und RICHARDS, 1973; HOULT, 1974; GADIAN und RADDA, 1981; BÁRÁNY und GLONEK, 1982; RADDA, 1986; LAHUCKY et al., 2000). Im Gegensatz zu anderen Verfahren wird dabei nicht in das sensible Regulationssystem der Zelle eingegriffen. Besonders gut kann die  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie zur Untersuchung von Störungen im Muskelstoffwechsel angewendet werden (KOHN et al., 1998). Über Analysen der Muskelfaserstruktur mit Hilfe der  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie ist von MEYER et al. (1985), VOGEL et al. (1985), POLAK et al. (1988) UHRÍN und LIPTAJ (1990, 1991) sowie AZUMA et al. (1994) berichtet worden. Zur Ursachenforschung des Malignen Hyperthermie Syndroms (MHS) sind mehrere Veröffentlichungen erschienen (NELSON et al., 1974; GRONERT, 1980; BRENIG und BREM, 1992; SCHOLZ und HARDGE, 1994). Es ist bekannt, dass post mortem die differente Wasserbindungskapazität des Muskels der verschiedenen MHS-Genotypen sichtbar wird. MONIN und RENOUE (1989) haben MHS-positive Schweine mit Hilfe von NMR Spektroskopie Parametern identifizieren können. RENOUE et al. (1989) haben die  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie zur Selektion von Halothan empfindlichen Pietrain Schweinen entwickelt. Gegenüber der  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie gewährleistet die  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie eine höhere Empfindlichkeit, und sie ist auch billiger. LAHUCKY et al. (1993) haben einen engen Zusammenhang zwischen NMR Spektroskopie Parametern und der Fleischqualität gefunden. Durch  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie Untersuchungen von Muskelbiopsaten war eine Identifizierung von Halothan empfindlichen Tieren möglich. BERÉNYI et al. (1994) haben die  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie von Schweinemuskelproben vor der Schlachtung durchgeführt. Auf der Grundlage der Relaxationszeiten konnte eine Differenzierung von MHS und MHR Schweinen mit einem Bestimmtheitsmaß von 85 % im Vergleich zur post mortal ermittelten Fleischbeschaffenheit erfolgen. SCHOLZ et al. (1995) haben mit der  $^{31}\text{P}$ -NMR Spektroskopie *in vivo* und post mortem die Veränderungen der Phosphatgruppen des Muskelstoffwechsels, des pH-Wertes und der Körpertemperatur nach Halothan-Test bei 4-9 Wo-

chen alten Ferkeln untersucht. In einem weiteren Versuch von SCHOLZ et al. (1998) wurde der Stoffwechsel von Phosphat und Glycogen im Muskel mittels  $^{13}\text{C}$  und  $^{31}\text{P}$  Spektroskopie ebenfalls in Beziehung zum PSE-Status analysiert. WAHLGREN und TORNERG (1996) haben die Reifung von Rindfleisch (*Musculus longissimus*) durch Messungen der transversalen Relaxationszeit ( $T_2$ ) mittels  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie charakterisiert. Über einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen der  $T_{21}$ -Relaxationszeit und der Zartheit wurde berichtet. Die myofibrilläre Struktur verändert sich während der Reifung des Fleisches, und damit kann das intrazellulär gebundene Wasser austreten.

Die bisher publizierten Anwendungsmöglichkeiten der NMR-Technik in der Fleischqualitätsforschung lassen vermuten, dass auch die Fettzusammensetzung die unterschiedlichen Relaxationszeiten beeinflusst. In einem Experiment sind Mastbullen von zwei Rinderrassen unterschiedlich gefüttert worden, um bezüglich des Fettsäuremusters qualitativ hochwertiges Fleisch zu erzeugen (HOLLO et al., 2004; 2005). Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist die Beantwortung der Frage, welche Zusammenhänge zwischen der Fettsäurezusammensetzung verschiedener Fettdepots und den unterschiedlichen Relaxationszeiten bestehen, die mit Hilfe der  $^1\text{H}$ -NMR-Spektroskopie ermittelt wurden.

#### Material und Methoden

Das Experiment wurde mit je 20 Bullen der Rassen Ungarisches Grauvieh (UG) und Ungarische Holstein Friesian (UH) durchgeführt. Die detaillierten Fütterungs- und Haltungsbedingungen sowie die Mast- und Schlachtleistung wurden von HOLLO et al. (2004) beschrieben. Die Fettsäurezusammensetzung des *Musculus longissimus* und von drei Fettdepots des Schlachtkörpers (subkutanes Fett der Keule, Innenfett, Nierenfett) wurde in der 1. Mitteilung veröffentlicht (HOLLO et al., 2005). In dieser zweiten Mitteilung werden Ergebnisse der Untersuchungen mit der kernmagnetischen Resonanzspektroskopie dieser drei Fettgewebearten dargestellt. Dafür wurden 2-3 g Fett für die NMR Messungen entnommen. Die Proton-Relaxationszeiten wurden mit dem MINISPEC PC 140 (Bruker Co., Karlsruhe, Deutschland) NMR System (Operationsfrequenz: 40 MHz, 0,96 Tesla) gemessen (Abbildung 1).

Folgende Parameter der kernmagnetischen Resonanzspektroskopie wurden erfasst:

- Die longitudinale Relaxationszeit ( $T_1$ ) wurde mit der Inversion-recovery Methode (FARRAR and BECKER zit. bei RENO and MONIN, 1985) in 8 verschiedenen Zeitabschnitten zwischen  $180^\circ$  und  $90^\circ$  Pulse bestimmt.
- Die transversale Relaxationszeit ( $T_2$ ) wurde mit Hilfe der CPMG Sequenz-Methode gemessen (Echozeit 1 ms, die Anzahl der gemessenen Echos betrug 1000). Die monoexponentielle transversale Relaxationszeit ( $T_2$ ) wurde mit der Gleichung  $I_{(t)}/I_{(0)} = e^{-t/T_2}$  beschrieben, wobei  $I_{(0)}$  die Intensität in der 0-ten Minute und  $I_{(t)}$  die Intensität in der t-en Minute ist.
- Die schnelle ( $T_{21}$ ) bzw. die langsame Komponente ( $T_{22}$ ) der transversalen Relaxationszeit  $T_2$  wurden ermittelt. Diese Komponenten können aus der folgenden biexponentiellen Gleichung  $I_{(t)}/I_{(0)} = v_{21} \times e^{-t/T_{21}} + v_{22} \times e^{-t/T_{22}}$  in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt t geschätzt werden (RENO and MONIN, 1985; BERÉNYI et al., 1994; SEDIN et al., 2000).

- $V_{21}$  und  $v_{22}$  stellen Konstante für die relative Verteilung von zwei Protonen-Gruppen dar [ $v_{21} \% = (1-v_{22}) * 100$ ]. Die Summe von  $v_{21}$  und  $v_{22}$  ist 1.  $V_{21}$  und  $v_{22}$  wurden für jedes Fettgewebe aller Tiere bestimmt.

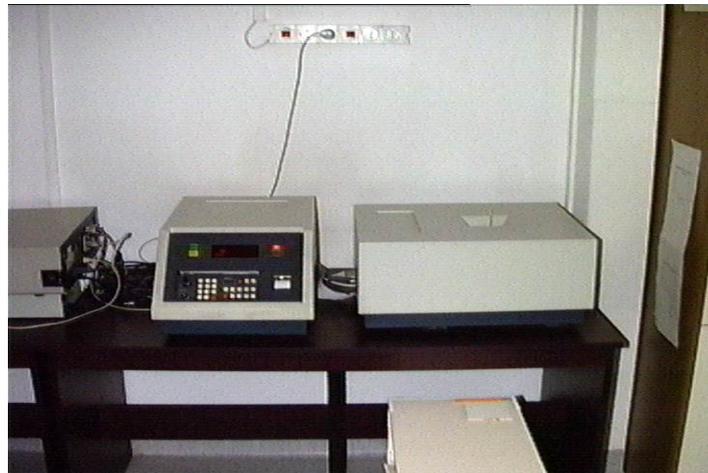


Abb. 1:  $^1\text{H}$ -NMR-Spektroskopie Gerät ( $^1\text{H}$ -NMR-spektroscopy device)

Der Wassergehalt der Fettproben wurde nach 48 Stunden Trocknung bei  $104\text{ }^\circ\text{C}$  durch Rückwaage ermittelt.

#### Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Daten der Relaxationszeitmessungen erfolgte mit einer dreifachen Varianzanalyse mit den fixen Faktoren Fütterung, Rasse und Fettgewebeart sowie den entsprechenden Interaktionen mit dem Programmpaket SAS (8.1.). Phänotypische Korrelationen zwischen den verschiedenen Relaxationszeiten und ausgewählten Parametern der Fettzusammensetzung der unterschiedlichen Fettgewebe wurden ermittelt. Die Tabellen enthalten die Mittelwerte Least Square Means (LSM) und die Standardfehler (SE). Alle statistischen Tests wurden für einen Signifikanzlevel von  $\alpha = 0,05$  durchgeführt.

#### Ergebnisse

In der Tabelle 1 sind neben dem Wassergehalt der Fettgewebe auch die Parameter der NMR Spektroskopie dargestellt. Die Fettgewebeart beeinflusst signifikant den Wassergehalt. Das Nierenfett hat den geringsten Wasseranteil. Es traten allerdings Wechselwirkungen zwischen der Rasse und der Fütterung sowie zwischen Fettgewebeart und Fütterung auf. So wiesen alle Bullen bei extensiver Fütterung im Nierenfett den niedrigsten Wassergehalt auf. Intensive Konzentratfütterung im Stall führte zu einer geringeren Wasserakkumulation im subkutanen Fett.

Die monoexponentielle  $T_1$ -Relaxationszeit variiert in den einzelnen Fettdepots und den Rassen nur zwischen  $0,22$ - $0,27$  sec und ist signifikant durch die Fütterung beeinflusst. Die Fettproben der extensiv gefütterten Bullen zeigten dabei eine um durchschnittlich  $0,02$  sec längere Relaxationszeit  $T_1$  als die der intensiven Gruppen.

Tabelle 1  
Die Ergebnisse (LSM<sub>SE</sub>) der NMR-Spektroskopie (Results of NMR spectroscopy examination)

	UG						Signifikanz
	<i>extensiv</i>			<i>intensiv</i>			
	<i>Subkutan</i>	<i>Nierenfett</i>	<i>Innenfett</i>	<i>Subkutan</i>	<i>Nierenfett</i>	<i>Innenfett</i>	
<b>Wasser, %</b>	6,47 <sub>1,44</sub>	1,26 <sub>1,44</sub>	5,16 <sub>1,44</sub>	2,03 <sub>1,44</sub>	4,16 <sub>1,44</sub>	12,35 <sub>1,44</sub>	O, RxF, FxO
<b>T<sub>1</sub>, sec</b>	0,25 <sub>0,008</sub>	0,27 <sub>0,008</sub>	0,25 <sub>0,008</sub>	0,23 <sub>0,008</sub>	0,23 <sub>0,008</sub>	0,24 <sub>0,008</sub>	F, RxFxO
<b>T<sub>2</sub>, msec</b>	79,13 <sub>4,25</sub>	47,93 <sub>4,25</sub>	57,24 <sub>4,25</sub>	59,87 <sub>4,25</sub>	55,56 <sub>4,25</sub>	115,23 <sub>4,25</sub>	F,O, RxFxO, FxO, RxFxO
<b>T<sub>21</sub>(schnell), msec</b>	22,52 <sub>1,56</sub>	15,53 <sub>1,56</sub>	18,41 <sub>1,56</sub>	20,68 <sub>1,56</sub>	18,81 <sub>1,56</sub>	31,47 <sub>1,56</sub>	F,O, FxO, RxFxO
<b>v<sub>21</sub>, %</b>	24,42 <sub>3,35</sub>	36,75 <sub>3,35</sub>	38,94 <sub>3,35</sub>	35,52 <sub>3,35</sub>	34,97 <sub>3,35</sub>	17,78 <sub>3,35</sub>	F,O, FxO, RxFxO
<b>T<sub>22</sub>(langsam) msec</b>	93,02 <sub>5,76</sub>	66,43 <sub>5,76</sub>	76,75 <sub>5,76</sub>	79,52 <sub>5,76</sub>	74,40 <sub>5,76</sub>	127,85 <sub>5,76</sub>	F,O, RxFxO, FxO, RxFxO
<b>v<sub>22</sub>, %</b>	75,58 <sub>3,35</sub>	63,25 <sub>3,35</sub>	61,06 <sub>3,35</sub>	64,48 <sub>3,35</sub>	65,04 <sub>3,35</sub>	82,22 <sub>3,35</sub>	F,O, FxO, RxFxO
	UH						Signifikanz
	<i>extensiv</i>			<i>intensiv</i>			
	<i>Subkutan</i>	<i>Nierenfett</i>	<i>Innenfett</i>	<i>Subkutan</i>	<i>Nierenfett</i>	<i>Innenfett</i>	
<b>Wasser, %</b>	12,94 <sub>1,44</sub>	3,35 <sub>1,44</sub>	8,79 <sub>1,44</sub>	3,08 <sub>1,44</sub>	3,34 <sub>1,44</sub>	8,22 <sub>1,44</sub>	O, RxF, FxO
<b>T<sub>1</sub>, sec</b>	0,27 <sub>0,008</sub>	0,25 <sub>0,008</sub>	0,27 <sub>0,008</sub>	0,22 <sub>0,008</sub>	0,24 <sub>0,008</sub>	0,25 <sub>0,008</sub>	F, RxFxO
<b>T<sub>2</sub>, msec</b>	72,44 <sub>4,25</sub>	46,57 <sub>4,25</sub>	68,01 <sub>4,25</sub>	76,08 <sub>4,25</sub>	62,75 <sub>4,25</sub>	86,47 <sub>4,25</sub>	F,O, RxFxO, FxO, RxFxO
<b>T<sub>21</sub>(schnell), msec</b>	21,48 <sub>1,56</sub>	14,67 <sub>1,56</sub>	21,15 <sub>1,56</sub>	25,32 <sub>1,56</sub>	23,50 <sub>1,56</sub>	28,37 <sub>1,56</sub>	F,O, FxO, RxFxO
<b>v<sub>21</sub>, %</b>	33,26 <sub>3,35</sub>	44,06 <sub>3,35</sub>	35,84 <sub>3,35</sub>	26,93 <sub>3,35</sub>	38,50 <sub>3,35</sub>	27,70 <sub>3,35</sub>	F,O, FxO, RxFxO
<b>T<sub>22</sub>(langsam) msec</b>	90,64 <sub>5,76</sub>	76,53 <sub>5,76</sub>	88,49 <sub>5,76</sub>	91,87 <sub>5,76</sub>	87,02 <sub>5,76</sub>	104,41 <sub>5,76</sub>	F,O, RxFxO, FxO, RxFxO
<b>v<sub>22</sub>, %</b>	66,74 <sub>3,35</sub>	55,94 <sub>3,35</sub>	64,16 <sub>3,35</sub>	73,07 <sub>3,35</sub>	61,50 <sub>3,35</sub>	72,30 <sub>3,35</sub>	F,O, FxO, RxFxO

LSM<sub>SE</sub> – Last square means, Subscript standard error

F= signifikanter Einfluss der Fütterung; R= signifikanter Einfluss der Rasse; O= signifikanter Einfluss der Fettgewebeart, (P=0,05)

Auf die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit hatte nicht nur die unterschiedliche Fütterung, sondern auch die Fettgewebeart einen signifikanten Effekt. Die monoexponentielle T<sub>2</sub>-Relaxationszeit war in den intensiv gefütterten Gruppen erhöht. In den drei Fettgewebearten wies das Nierenfett die kürzeste T<sub>2</sub>-Relaxationszeit auf.

Auf Grund der NMR Spektroskopie Daten kann das Nierenfett von den zwei anderen Fettgeweben unterschieden werden (Abb. 3c). T<sub>21</sub>, v<sub>21</sub> und v<sub>22</sub> waren für das subkutane und das Innenfett annähernd gleich, während T<sub>22</sub> und T<sub>2</sub> im Innenfett die höchsten Werte lieferte.

In der Tabelle 2 sind die phänotypischen Korrelationen zwischen der Fettsäurezusammensetzung und den NMR Parametern dargestellt. Die T<sub>2</sub>-Relaxationszeiten weisen einen engen negativen Zusammenhang zu der Summe der gesättigten Fettsäuren auf. Eine positive Korrelation wurde zwischen der T<sub>2</sub> und den ungesättigten sowie den Monoenfettsäuren berechnet. Je mehr gesättigte Fettsäuren also im Fettgewebe deponiert sind, desto kürzer ist die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit. Auf der anderen Seite werden längere T<sub>2</sub>-Relaxationszeiten gemessen, wenn der Anteil der ungesättigten Fettsäuren in den Fettproben erhöht ist. Der Anteil der schnellen Komponenten (v<sub>21</sub>) steigt mit der Zunahme des relativen Gehaltes der gesättigten Fettsäuren, der Anteil der langsamen Komponenten zeigt dann einen Rückgang.

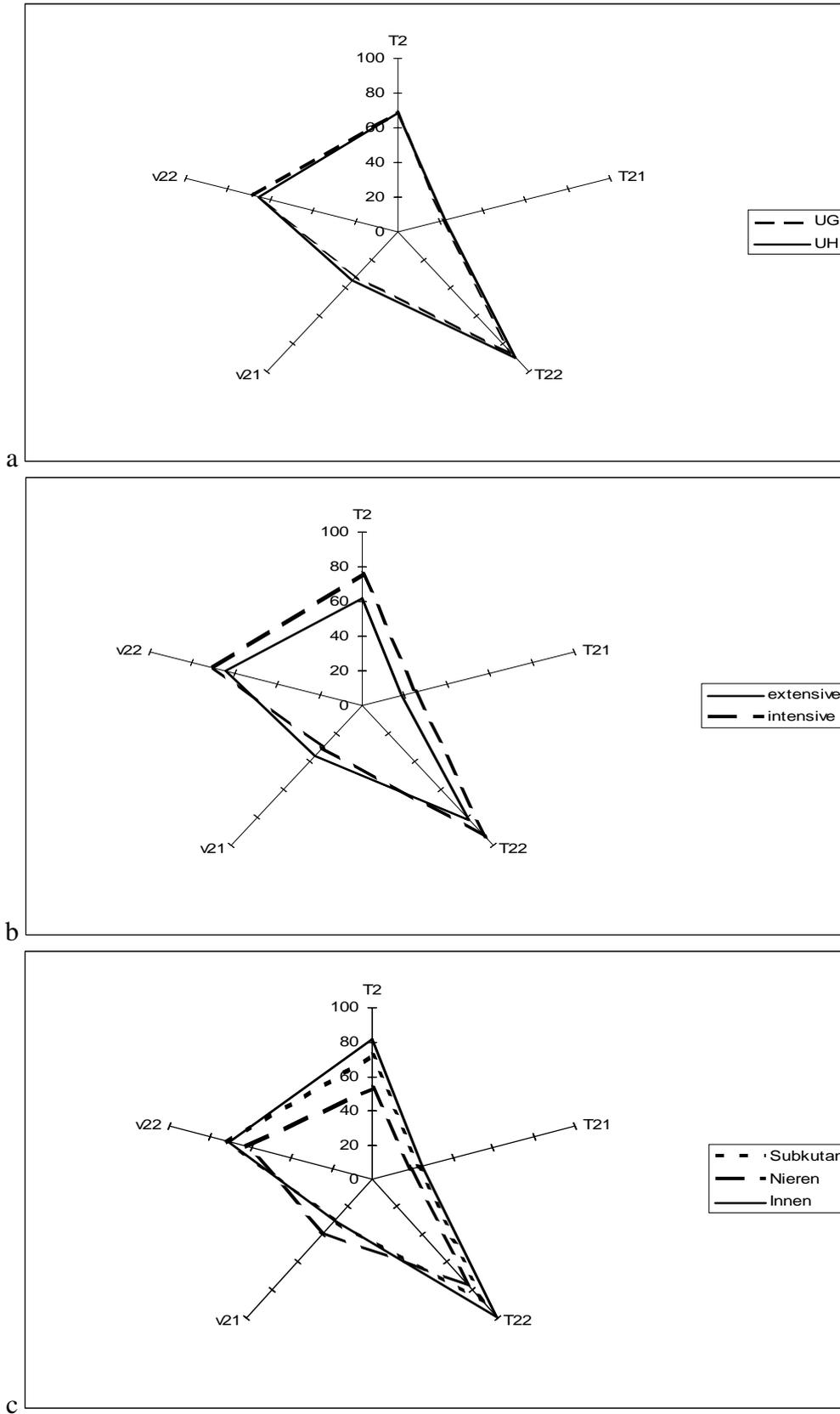


Abb. 3: Das Profile-Schema der verschiedenen NMR Parameter in Abhängigkeit von den Einflussfaktoren (a-Rasse; b-Fütterung; c-Fettgewebeart) (The profile scheme of different NMR parameters according to the different influence factors a-breed, b-feeding, c-fatty tissue)

Tabelle 2

Korrelationskoeffizienten (r) zwischen NMR Spektroskopie Untersuchung und der Fettsäurezusammensetzung der Fettdepots (n=120) (Correlation coefficients (r) between NMR spectroscopy examination and fatty acid composition of fat samples, n=120)

	SFA	MUFA	UFA
T <sub>1</sub> , sec	ns	ns	ns
T <sub>2</sub> , msec	-0,71	0,73	0,71
T <sub>21</sub> schnell, msec	-0,59	0,60	0,59
V <sub>21</sub> schnell, %	0,50	-0,51	-0,50
T <sub>22</sub> langsam, msec	-0,54	0,56	0,54

### Diskussion

Mit Hilfe der NMR Spektroskopie wurden die T<sub>1</sub>- und T<sub>2</sub>-Relaxationszeit gemessen. In biologischen Systemen liefern die Relaxationszeiten verhältnismässig komplexe und gleichzeitig spezifische Informationen, die unter anderem vom physikalischen, geordneten Zustand und dem Diffusionsverhältnis der Protonen sowie der Moleküle, die diese Protonen enthalten, beeinflusst werden. Die T<sub>1</sub>-Relaxationszeit wird durch den Wassergehalt der Proben verändert, während die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit von der Wechselwirkung zwischen den Wasser- und Makromolekülen (dominante Proteine) abhängig ist (BERTRAM und ANDERSEN, 2004). Mit dieser Methode kann man vor allem die verschiedenen Wasserfraktionen im Muskelgewebe, aber auch den physikalischen und chemischen Zustand der Fettgewebe sowie die Wechselwirkungen charakterisieren (BOGNER et al., 2005). Da bei allen drei Fettgewebearten der Wassergehalt niedrig ist, können die über <sup>1</sup>H-NMR Spektroskopie gemessenen Werte auf die Protonen der Wasserstoffatomkerne des Fettes zurückgeführt werden.

Die T<sub>1</sub>-Relaxationszeit des Fettgewebes ist kurz, weil es langsam bewegende Moleküle enthält und deshalb die Energieabgabe schnell erfolgt. Im Gegensatz dazu ist die T<sub>1</sub>-Relaxationszeit in Flüssigkeiten, die verhältnismässig schnell bewegende Moleküle enthalten, relativ lang. Die T<sub>2</sub>-Relaxationszeit wird auch vom Aggregatzustand der Materie beeinflusst. Sie ist in einem festen Aggregatzustand kürzer als in Flüssigkeiten, und besonders kurz in Geweben, die große Makromoleküle enthalten, wie zum Beispiel das Fettgewebe (KASTLER und PATAY, 1993).

Der T<sub>2</sub>-Relaxationsprozess im Muskelgewebe ist multifunktionell und kann in verschiedene exponentielle Komponenten getrennt werden (FUNG and POUN, 1981; BERTRAM et al., 2001<sub>b</sub>).

Der Wasser- und Fettgehalt der quergestreiften- und Herzmuskulatur wurde von SCHOLZ et al. (1990) an Hand der Relaxationszeiten mit Hilfe NMR Spektroskopie gemessen. Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem chemisch analysierten Fettgehalt des Herzens und dem Herzkammergewicht (r=0,62) sowie zur T<sub>2</sub>-Relaxationszeit (r=0,67). Mit der Erhöhung des Fettgehaltes des quergestreiften Muskels nimmt der Wassergehalt ab. Es wurde ein enger, negativer Zusammenhang zwischen T<sub>1</sub>-Relaxationszeit und Fettgehalt (r= -0,99) berechnet. Gleichzeitig besteht eine

positive Korrelation ( $r=0,96$ ) zwischen transversaler Relaxationszeit  $T_2$  und dem Fettgehalt des Muskels.

Der Wasser- und Fettgehalt von verschiedenen Muskeln wurde bei Puten (MITCHELL, 1991<sub>a</sub>), Schweinen (GEERS, 1995; VILLÉ, 1997) und Mäusen (MITCHELL, 1991<sub>b</sub>) mit Hilfe der  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie geschätzt. BERTRAM und ANDERSEN (2004) schlussfolgerten aus diesen Ergebnissen, dass NMR-Messungen nicht nur zur Schätzung des Fett- und Wassergehaltes im Schlachtkörper, sondern auch für Fleischprodukte genutzt werden können.

BEATTIE et al. (2006) wiesen nach, dass subkutanes Fettgewebe von verschiedenen Tierarten mit Hilfe der Raman-Spektroskopie unterschieden werden kann. Nach unseren Ergebnissen wurde der niedrigste Wassergehalt und die kürzeste  $T_2$ -Relaxationszeit im Nierenfett beobachtet. Die Relaxationseigenschaften der Fettdepots werden von der chemischen Zusammensetzung des Fettes bestimmt. SHEN et al. (2005) konnten zeigen, dass Öltropfen mit höheren Anteilen an ungesättigten Fettsäuren eine längere  $T_2$ -Relaxationszeit mit  $^1\text{H}$ -NMR Spektroskopie aufwiesen im Vergleich zu solchen mit mehr gesättigten Fettsäureanteilen. Scheinbar beeinflussen nicht nur die Molekülgröße, sondern auch die Anzahl der Doppelbindungen im Molekül die transversale Relaxationszeit  $T_2$ . Die extensive Fütterung führte zur Verlängerung der  $T_1$ -Relaxationszeit und zur Verkürzung der transversalen Relaxationszeit  $T_2$ . Die Fettsäureanalyse der einzelnen Fettdepots ergab signifikante Unterschiede in der relativen Zusammensetzung (HOLLÓ et al., 2005). Im Nierenfett ist der Anteil der SFA am höchsten (61-67%) und der Prozentgehalt der MUFA wesentlich niedriger. Im Vergleich zum subkutanen und Innenfett sind das 30-35% gegenüber 39-44%. Die Unterschiede in der relativen Fettsäurezusammensetzung rufen Veränderungen der Relaxationszeiten hervor. Die mono- und biexponentiellen  $T_2$ -Relaxationszeiten der einzelnen Fettdepots unterscheiden sich signifikant.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Rassen der Bullen keine Veränderungen der einzelnen Relaxationszeiten der drei unterschiedlichen Fettgewebearten hervorrufen. Die verschiedenen Fütterungssysteme bewirken Differenzen in den mit  $^1\text{H}$  NMR gemessenen Relaxationszeiten der einzelnen Fettdepots. Die intensive Konzentratfütterung im Stall vermindert die  $T_1$ -Relaxationszeit, während die  $T_2$  und  $T_{21}$  und  $T_{22}$  Komponenten sich erhöhen. Die Unterschiede in den  $T_2$ -Relaxationszeiten korrelieren mit der relativen Fettsäurezusammensetzung der Fettproben.

Die monoexponentielle  $T_2$ -Relaxationszeit zeigt einen stark positiven Zusammenhang mit dem Anteil der Monoen- sowie den ungesättigten Fettsäuren. Mit steigendem SFA-Anteil im Fettgewebe wird die transversale Relaxationszeit  $T_2$  kürzer. Die  $T_{21}$  und  $T_{22}$  Komponenten, biexponentiell aus den  $T_2$ -Relaxationszeiten ermittelt, werden ebenfalls mit der Erhöhung des Anteils gesättigter Fettsäuren kürzer und bei zunehmendem Gehalt an ungesättigten Fettsäuren länger. Die phänotypischen Korrelationen zeigen den Zusammenhang zwischen dem Fettsäuremuster und den einzelnen Relaxationszeiten.

### Literatur

AZUMA, N.; MANABE, F.; KAWAI, M.; KANAMORI; MIYAMOTO, H.:

Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance study of energy metabolism in intact slow- and fast-twitch muscles of rats J. Anim Sci. 72 (1994), 103-108

BAULEIN, U.; HENNING, M.; KALLWEIT, E.:

- Bestimmung der Körperzusammensetzung von Landschweinrassen unterschiedlichen Alters mittels MRI. Arch. Tierz., Dummerstorf **39** (1996), 431-440
- BARANY, M.; GLONEK, T.:  
Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance of contractile systems. Methods Enzymol. **85** (1982), 624
- BEATTIE, J.R.; BELL, S.E.J.; BORGGARD, C.; FEARON, A.; BEATTIE, A.; MOSS, B.W.:  
Discrimination of adipose tissue from different species using Raman spectroscopy. Proceeding of British Society of Anim. Sci., Annual Conference, York, March (2006), 24
- BELTON, P.S.; JACKSON, R.R.; PACKER, K.J.:  
Pulsed NMR studies of water in striated muscle. Biochim. Biophys. Acta **286** (1972), 16-25
- BENDALL, J. R.:  
Post-mortem changes in muscle. In: The Structure and Function of Muscle. G. H. Bourne (Ed.) 243. Academic Press, New York. (1973)
- BERTRAM, H.C.; ANDERSEN, H.J.; KARLSSON, A.H.:  
Comparative study of low-field NMR relaxations measurements and two traditional methods in the determination of water holding capacity of pork. Meat Sci. **57** (2001a), 125-132
- BERTRAM, H.C.; KARLSSON, A.H.; RASMUSSEN, M.; DONSTRUP, S.; PEDERSEN, O.D.; ANDERSEN, H.J.:  
The origin of bi-exponential T<sub>2</sub> relaxation in muscle myowater. J. Agric. Food Chem. **49** (2001b), 3092-3100
- BERTRAM, H.C.; ANDERSEN, H.J.:  
Application of NMR in meat scienc. Annual reports on NMR spectroscopy. **53** (2004), 158-195
- BRÖNDUM, J.; MUNCK, L.; HENKEL, P.; KARLSSON, A.; TORNBORG, E.; ENGELSEN, S. B.:  
Prediction of water-holding and composition of porcine meat with comparative spectroscopy. Meat Sci. **55** (2000), 177-185
- BERÉNYI, E.; BOGNER P.; MISETA M.; KÖVÉR GY.; HORN P.; WHEATLEY D.N.:  
Pre-slaughter characteristics of proton NMR relaxation parameters in malignant hyperthermia susceptible pigs. Sciences des Aliments. **14** (1994), 459-467
- BOGNER, P.; BERÉNYI, E.; MISETA, A.; HORN, P.; KELLERMAYER, M.; WHEATLEY, D.N.; JOLESZ, F.A.:  
Changes of NMR relaxation parameters of muscle tissue in malignant hyperthermia susceptible pigs. Acad. Radiol. **3** (1996), 26-30
- BOGNER, P.; BAJZIK, G.; GARAMVÖLGYI R.; LŐRINCZ, B.; REPA I.:  
Magnetic resonance imaging (MRI) and spectroscopy in veterinary and animal science. Állattenyésztés és Takarmányozás **54** (2005), 480-494
- BRENIG, B.; BREM, G.:  
Molecular cloning and analysis of the porcine "halothane" gene. Arch. Tierz., Dummerstorf **35** (1992), 129-135
- CHANG, D.C.; HAZLEWOOD, C.F.; WOESSNER, D.E.:  
The spin-lattice relaxation times of water associated with early post mortem changes in skeletal muscle. Biochim. Biophys. Acta **437** (1976), 253-258
- CHANG, D.C.; MISRA, L.K.; BEALL, P.T.; FANGUY, R.C.; HAZLEWOOD, C.F.:  
Nuclear magnetic resonance study of muscle water protons in muscular dystrophy of chickens. J. Cell Physiol. **107** (1981), 139-145
- CURRIE, R.W.; JORDAN, R.; WOLFE, F.H.:  
Changes in water structure in post mortem muscle as determined by NMR T1 values. J. Food Sci. **46** (1981), 822-823
- FINCH, E.D.; HARMON, J.F.; MULLER, B.H.:  
Pulsed NMR measurements of diffusion constant of water in muscle. Arch. Biochem. Biophys. **147** (1971), 299-310
- FJELKNER-MODIG, S.; TORNBORG, E.:  
Water distribution in porcine M. Longissimus dorsi in relation to sensory properties. Meat Sci. **17** (1986), 213-231
- FUNG, B.M.; PUON, P.S.:  
Nuclear magnetic resonance transverse relaxation in muscle water. Biophys. J. **33** (1981), 27-38
- GADIAN, D.G.; RADDA, G.K.:  
NMR studies of tissue metabolism. Annu. Rev. Biochem. **50** (1981), 69
- GEERS, R.; DECANNIERE, C.; VILLE, H.; van HECKE, P.; BODDCHAERTS, L.:  
Variability within intramuscular fat content of pigs as measured by gravimetry, FTIR and NMR spectroscopy. Meat Sci. **40** (1995), 373-378
- GRONERT, G.A.:  
Malignant hyperthermia. Anesthesiology, **53** (1980), 395-423
- HAZLEWOOD, C.F.; CHANG, D.C.; NICHOLS, B.L.; WOESSNER, D.E.:

- Nuclear magnetic resonance transverse relaxation times of water protons in skeletal muscle. *Biophys J.* **14** (1974), 583-606
- HANCZ, C.; MILITIS, G.; HORN, P.:  
In vivo measurements of total body lipid content of common carp by electrical conductivity. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **46** (2003), 397-402
- HOLLÓ, G.; NUERNBERG, K.; SEREGI, J.; HOLLÓ, I.; REPA, I.; ENDER, K.:  
Der Einfluss der Fütterung auf die Mast- und Schlachtleistung bei Jungbullen der Rassen Ungarisches Grauvieh und Holstein Friesian. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **47** (2004), 313-323
- HOLLÓ, G.; NUERNBERG, K.; SEREGI, J.; HOLLÓ, I.; REPA, I.; ENDER, K.:  
Der Einfluss der Fütterung auf die Zusammensetzung des intramuskulären Fettes des *Musculus longissimus* und verschiedener Fettdepots von Jungbullen der Rassen Ungarisches Grauvieh und Holstein Friesian. 1. Mitteilung: Fettsäurezusammensetzung. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **48** (2005), 537-546
- HOULT, D.I.; BUSBY, S.J.W.; GADIAN, D.G.; RADD, G.K.; RICHARDS, R.E.; SEELEY, P.J.:  
Observation of tissue metabolites using 31P nuclear magnetic resonance. *Nature* **252** (1974), 252-285
- KALLWEIT, E.; HENNING WESEMEIER, H.; SMIDT, D.; BAULAIN, U.:  
Einsatz der Magnet-Resonanz-Messung in der Tierzuchtforschung. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **37** (1994), 105-120
- KASTLER, B.; PATAY, Z.:  
MRI für Ärzte. *Folia Neuroradiologica Budapest - Udine* (1993)
- KOHN, G.; BAULEIN, U.; HENNING, M.; LAHUCKY, R.; LEIBFRITZ, D.; KALLWEIT, E.:  
In vivo und post mortem Untersuchungen des Muskelstoffwechsels von Schweinen mit unterschiedlichem MHS-Genotyp mit Hilfe der <sup>31</sup>P-NMR-Spektroskopie. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **41** (1998), 299-310
- LAHUCKY, R.; KRŠKA, P.; KÜCHENMEISTER, U.; NÜRNBERG, K.; LIPTAJ, T.; NÜRNBERG, G.; BAHNELKA, I.; DEMO, P.; KUHN, G.; ENDER, K.:  
Effect of vitamin E on changes in phosphorus compounds assessed by <sup>31</sup>P NMR spectroscopy and ATPase from post-mortem muscle samples and meat quality of pigs. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **43** (2000), 487-497
- LAHUCKY, R.; MOJTO, J.; POLTARSKY, J.; MIRI, A.; RENO, P.; TALMANT, A.; MONIN, G.:  
Evaluation of halothan sensitivity and prediction of post mortem muscle metabolism in pigs from a muscle biopsy using <sup>31</sup>P NMR spectroscopy. *Meat Sci.* **33** (1993), 373-384
- LIRETTE, A. TOWNER, RA. LIU, Z. JANZEN, EG. CHAMBRERS, JR. FAIRFULL, RW. MILLIGAN, LP. CROBER, DC.:  
In vivo nuclear magnetic resonance spectroscopy of chicken embryos from two broiler strains of varying fat content. *Poult. Sci.* **72** (1993), 1411-1420
- MEYER, R.A.; BROWN, T.R.; KUSHMERICK, M.J.:  
Phosphorus nuclear magnetic resonance of fast- and slow-twitch muscle. *Am. J. Physiol.* **248** (1985), 279
- MIRI, A.; TALMANT, A.; RENO, J.P.; MONIN, G.:  
31P NMR study of post mortem changes in pig muscle. *Meat Sci.* **31** (1992), 165-173
- MITCHELL, A.D.; WANG, P.C.; ROSEBROUGH, R.W.; ELSASSER, T.H.; SCHMIDT, W.F.:  
Assessment of body composition of poultry by nuclear magnetic resonance imaging and spectroscopy. *Poultry Sci.* **70** (1991a) 12, 2494-2500
- MITCHELL, A.D.; WANG, P.C.; ELSASSER, T.H.:  
Determination of fat and water content in vitro and in vivo by proton nuclear magnetic resonance. *J. Sci. Food Agric.*, **56** (1991b), 265-276
- MONIN, G. RENO, J.:  
Spectroscopy and meat quality. In: *Application of NMR techniques on the body composition of live animals* (Eds.: E. Kallweit, M. Henning, Groeneveld E.) Elsevier Applied Science, London, (1989), 121-133.
- MOON, R.B.; RICHARDS, J.H.:  
Determination of intracellular pH by 31P magnetic resonance. *J. Biol. Chem.* **248** (1973), 7276-7278
- NELSON, T.E.; JONES, E.W.; HENRICKSON, R.L.; FALK, S.N.; KERR, D.D.:  
Porcine malignant hyperthermia: observations on the occurrence of pale, soft, exudative musculature among susceptible pigs. *Am. J. vet. Res.* **35** (1974), 347-350
- PEARSON, R.T.; DUFF, I.D.; DERBYSHIRE, W.; BLANSHARD, J.M.V.:  
An NMR investigations of rigor in porcine muscle. *Biochim. Biophys. Acta*, **362** (1974), 188-200
- POLAK, J.F.; JOLESZ, F.A.; ADAMS D.F.:  
NMR of skeletal muscle: differences in relaxations parameters related to extracellular/intracellular fluid spaces. *Invest. Radiol.* **23** (1988), 107-112
- RADD, G.K.:  
The use of NMR spectroscopy for the understanding of disease. *Science* **233** (1986), 64-645
- RENO, J.P.; MONIN, G.:  
Nuclear magnetic resonance measurements on pork of various qualities. *Meat Sci.* **15** (1985), 225-233

- RENOU, J.P.; KOPP, J. ; GATELLIER, Ph. ; MONIN, G.:  
NMR relaxation of water protons in normal and malignant hyperthermia-susceptible pig muscle. *Meat Sci.* **26** (1989), 101-114
- SEDIN, G.; BOGNER, P.; BERÉNYI, E.; REPA, I.; NYÚL, Z.; SULYOK, E.:  
Lung water and proton magnetic resonance relaxation in preterm and term rabbit pups their relation to tissue hyaluronan. *Pediatric Research*, **48** (2000), 554-559
- SCHOLZ, T.D.; FLEAGLE, S.R.; PARRISH, F.C.; BREON, T.; SKORTON, D.J.:  
Effect of tissue fat and water content on nuclear magnetic resonance relaxation times of cardiac and skeletal muscle. In: *Magn. Reson. Imaging*, **8** (1990), 605-611
- SCHOLZ, A.; HARDGE, T.:  
Effect of MHS-genotype and breed on fattening performance, carcass value and meat quality. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **37** (1994), 245-256
- SCHOLZ, A.; MITCHELL, A. D.; WANG, P.C.; SONG, H.; YAN, Z.:  
Muscle metabolism and body composition of pigs with different ryanodine receptor genotypes studied by means of <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance spectroscopy and <sup>1</sup>H magnetic resonance imaging. *Arch. Tierz., Dummerstorf* **38** (1995), 539-552
- SCHOLZ, A.; MITCHELL, A.D.; SONG, H.; WANG, P.C.:  
In vivo muscle glycogen and phosphate metabolism in relation to body composition in young pigs of different genotypes studied by nuclear magnetic techniques. *6<sup>th</sup> World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Armidale, Australia*, **25** (1998), 125-129
- SHEN, Z.; UDABAGE, P.; BURGAR, I.; AUGUSTIN, M. A.:  
Characterization of fish oil-in-water emulsions using light-scattering, nuclear magnetic resonance, and gas-chromatography-headspace analyses. *J. American Oil Chemistry Society* **82** (2005), 797-802
- TORNBERG, E.; ANDERSSON, A.; GÖRANSSON, A.; von SETH, G.:  
Water and fat distribution in pork in relation to sensory properties. In: *Pork quality: genetic and metabolic factors*. E. Poulanne, Demeyer, D.I. Eds. CAB International 239. (1993)
- UHRIN, P.; LIPTAJ, T.:  
<sup>31</sup>P NMR study of phosphorus metabolites in fast and slow muscles. *Int. J. Biochem.* **22** (1990), 1133-1138
- UHRIN, P.; LIPTAJ, T.:  
<sup>31</sup>P NMR study of postmortem metabolism in porcine and bovine muscles. *Gen. Physiol. Biophys.* **10** (1991), 83-93
- VAJDA, Z.; BERÉNYI E.; BOGNER, P.; REPA, I.; DÓCZI, T.; SULYOK, E.:  
Brain Adaptation to water loading in rabbits as assessed by NMR relaxometry. *Pediatric Research*, **46** (1999), 450-454
- VILLÉ, H.; ROMBOUTS, G.; VAN HECKE, P.; PERREMANS, S.; MAES, G.; SPINCEMAILLE, G.; GEERS, R.:  
An evaluation of ultrasound and nuclear magnetic resonance spectroscopy to measure in vivo intramuscular fat content of longissimus muscle of pigs. *J. Anim. Sci.* **75** (1997), 2942-2949
- VOGEL, H. J., LUNDBERG, P. FABIANSSON, S. RUDERUS, H. TORNBERG, E.:  
Post-mortem energy metabolism in bovine muscles studied by non-invasive phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *Meat Sci.* **13** (1985), 1-18
- WAHLGREN, N. M.; TORNBERG, E.:  
Ageing of beef studied by using different instrumental techniques and sensory tenderness. *Proc. 42nd ICoMST, Lillehammer*, 1996

Eingegangen: 13.10.2006

Akzeptiert: 08.12.2006

Autor für Korrespondenz

Dr. KARIN NÜRNBERG

Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere

Forschungsbereich Muskelbiologie und Wachstum, Wilhelm-Stahl-Alle 2

18196 DUMMERSTORF, DEUTSCHLAND

E-Mail: [knuernbg@fhn-dummerstorf.de](mailto:knuernbg@fhn-dummerstorf.de)