

## L-Carnitin: Bedeutung für die Schweinezucht

Dr. M. Baumgartner (Basel) und Dr. S. Jacobs (Cuxhaven)

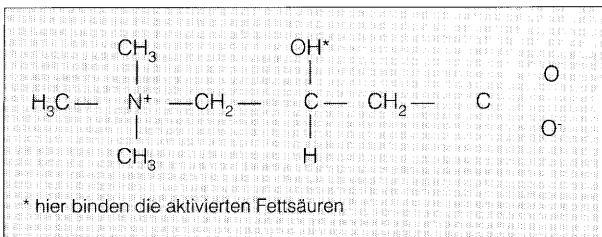
### Einführung

Erst vor kurzer Zeit ist man in der Tierernährung auf eine interessante natürliche Verbindung aufmerksam geworden: das L-Carnitin. In der Humanmedizin und im Leistungssport hingegen hat die Substanz inzwischen einen festen Platz eingenommen (Neumann 1996). Es ist denkbar, daß sich das L-Carnitin auch für die Nutztierhaltung zu einem wertvollen Supplement entwickelt. Das enorme wissenschaftliche Interesse an der Substanz widerspiegelt sich nicht zuletzt darin, daß die Carnitinliteratur explosionsartig anwächst. Sie umfaßt heute schon mehr als 6000 wissenschaftliche Publikationen. Nachfolgend soll auf einige Funktionen von L-Carnitin hingewiesen werden, welche für die Reproduktion und die Aufzucht von Ferkeln von Interesse sind.

### Chemische Eigenschaften von L-Carnitin

Das vitaminähnliche L-Carnitin wurde zu Beginn dieses Jahrhunderts als natürlicher Bestandteil von Muskelgewebe entdeckt. Chemisch handelt es sich um ein Aminosäurederivat mit dem Namen  $\beta$ -Hydroxy- $\gamma$ -trimethylaminobutyrat (siehe Abb. 1) mit einem Molekulargewicht von 161. Es liegt damit im Bereich von B-Vitaminen. In chemisch reiner Form fällt L-Carnitin als weißes Pulver an mit hoher Wasserlöslichkeit. Es zeichnet sich durch hohe Thermostabilität aus; sein Schmelzpunkt beträgt über 210°C.

**Abbildung 1: L-Carnitin ( $\beta$ -Hydroxy- $\gamma$ -trimethylaminobutyrat)**

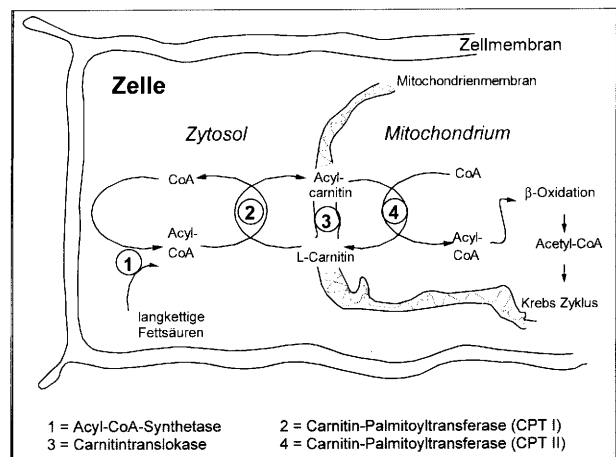


### Biologische Funktion

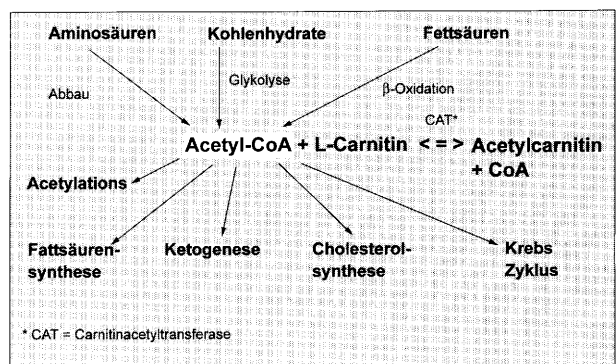
L-Carnitin übt in den Zellen von Mensch und Tier eine Schlüsselfunktion in der Energiebereitstellung aus (Di Lisa et al 1995; Scholte et al. 1996; Siliprandi et al. 1994). Als Co-Faktor katalysiert L-Carnitin die Durchschleusung von aktivierten Fettsäuren durch die Mitochondrienmembran (siehe Abb. 2).

Nicht minder wichtig ist seine Funktion als Puffersubstanz zur zwischenzeitlichen Speicherung bzw. den Abtransport von aktivierten kurzkettigen Fettsäuren in/aus Zellorganellen und Zytosol (siehe Abb. 3). Dadurch steigt die Verfügbarkeit von freiem CoA in den Zellen, welches für einen optimalen Ablauf metabolischer Prozesse unerlässlich ist. Die Verbrennung von Fettsäuren wird favorisiert (Böhles et al. 1983; Owen et al. 1996). Im Ergebnis wird die Energie des Futters bzw. der Körperreserven effizienter ausgenutzt.

**Abbildung 2: Das L-Carnitin-Carriersystem zum Transport langkettiger Fettsäuren durch die Mitochondrienmembran an den Ort der  $\beta$ -Oxidation: Die Acyl-CoA-Synthetase aktiviert Fettsäuren; es entsteht Acyl-CoA. Schließlich transferiert die CPT I die aktivierte Fettsäure (Acylrest) auf das L-Carnitin. Es entsteht Acylcarnitin. Die Carnitintranslokase transportiert das Acylcarnitin in die Mitochondrien hinein; in der Gegenrichtung wird L-Carnitin hinausgeschleust. Die CPT II überträgt die Fettsäure wiederum auf CoA. Die Fettsäure ist bereit für die energetische Nutzung.**



**Abbildung 3: Pufferfunktion von L-Carnitin: Speicherung von Acetylresten in Form von Acetylcarnitin unter gleichzeitiger Freisetzung von CoA. Das Enzym CAT transferiert den Acetylrest auf L-Carnitin.**



L-Carnitin ist im Organismus an zahlreichen weiteren biochemischen Prozessen direkt oder indirekt beteiligt. Namentlich betrifft dies die Synthese und den Schutz von Zellmembranen (Uhlenbruck 1996). Leckere Zellmembranen reduzieren das Wasserrückhaltevermögen, steigern den Energieverbrauch zur Aufrechterhaltung der elektrochemischen Potentiale und beeinträchtigen die Syntheseleistungen der Zellen.

Es wurde ferner nachgewiesen, daß L-Carnitin den Aufbau und die Erhaltung der Immunkompetenz aktiv fördert (Antikörperbildung und Phagozytoseaktivität) (Uhlenbruck 1996) und Nervenzellen vor den toxischen Einwirkungen durch Ammoniak schützt (Felipo et al. 1994).

Des weiteren ist L-Carnitin essentiell für Spermatogenese und Spermienmotilität (Jeulin et al. 1988 und 1994). Gewisse Fruchtbarkeitsprobleme sind direkt mit der L-Carnitinausstattung der Nebenhoden bzw. Spermatozoen korreliert. Insbesondere die Spermienmotilität hängt direkt von der Menge an Acetylcarnitin ab, welches in den Spermienzellen eingelagert ist. Die energiereiche Verbindung Acetylcarnitin dient den Spermien nach der Insemination als erste Energiequelle für die Fortbewegung.

Andere pathologische Folgen einer L-Carnitinunterversorgung zeichnen sich erst andeutungsweise ab. So hat man bei Hunden festgestellt, daß bei L-Carnitinemangel die Albuminkonzentration im Blutplasma absinkt (Neu, pers. Mitteilung). Albumine sind wesentlich für die Aufrechterhaltung des osmotischen Druckes in Blutgefäßen. Ein Abfall der Konzentration dieser Proteine erhöht das Risiko für Ödeme.

Bei Mensch und Tier konnte eine direkte ergogene Wirkung des L-Carnitins auf den Herzmuskel nachgewiesen werden (Neumann 1996; Neu 1995; Neu, pers. Mitteilung). Diese Befunde dürfen sicherlich bis zu einem gewissen Grade auch auf das Schwein übertragen werden. Es wird gegenwärtig untersucht, inwiefern eine L-Carnitinsupplementierung das Sudden death syndrom reduzieren hilft. Es soll auch darauf hingewiesen werden, daß die Funktion der Erythrozyten als Sauerstoffzulieferer von der L-Carnitinkonzentration abhängt.

Spezielle Erwähnung verdient im Hinblick auf die Züchtung die Versorgung der Föten und Neugeborenen mit L-Carnitin. Es konnte bei Modelltieren und beim Menschen gezeigt werden, daß sich die Versorgungslage der Mutter direkt auf die L-Carnitinausstattung der Neugeborenen auswirkt (Lohninger et al. 1996). L-Carnitin findet via Plazenta den Weg zum Fötus. L-Carnitin ist unter anderem unabdingbar für die Lungenreife. Föten mit einer guten L-Carnitinausstattung haben bei vorzeitiger Geburt die besseren Überlebenschancen (Lohninger 1996).

Nach der Geburt findet im neugeborenen Säuger ein fundamentaler Wechsel in der Energiegewinnung statt. Intrauterin dient vor allem Glucose als Energiequelle, während post partum Fettsäuren oxidiert werden. Dafür ist L-Carnitin unabdingbar. Neugeborene weisen noch eine sehr geringe Eigensynthese auf (Borum 1986). Sie entwickelt sich erst im Laufe der ersten Lebenswochen. Die Natur trägt diesem Umstand dadurch Rechnung, daß die Muttermilch zu Beginn der Laktation hohe L-Carnitingehalte aufweist. Das Kolostrum von Sauen enthält etwa 60 mg L-Carnitin pro Liter; im Verlaufe der Laktation sinkt dieser Gehalt auf ca. 25 mg/l ab.

**Bedeutung für das Schwein**

Die oben genannten Funktionen des L-Carnitins in Geweben und Organen haben, wie in Versuchen gezeigt werden konnte, praktische Auswirkungen auf das Ergebnis in der Schweinezucht. Nachfolgend soll für Eber, Zuchtsauen und Aufzuchtferkel der Nutzen einer L-Carnitinzulage aufgezeigt werden.

*Eber*

Eber sind bekanntlich hochsensible Tiere. Speziell während der Deckperiode sind sie einem enormen metabolischen Streß ausgesetzt. Eine L-Carnitinsupplementierung unterstützt die Prozesse der Energiegewinnung und hilft dadurch den Streß bewältigen. Es darf zudem vermutet werden, daß eine ausreichende L-Carnitinsupplementierung die Immunabwehr unterstützt und damit das Risiko für Erkrankungen abnimmt.

L-Carnitin fördert die Spermagenese hinsichtlich Spermavolumen, Spermienzahl und -qualität (Thielman 1996, Herfen et al. 1997). Überall wo Zellteilungen ablaufen, sind auf zellulärer Ebene hohe Energieumsetzungsraten zu beobachten. In den Spermienzellen kommt dem L-Carnitin zudem eine spezielle Bedeutung zu. Spermien enthalten sehr hohe Konzentrationen an Acetylcarnitin. Diese Verbindung dient den Spermien als erste und wichtige Energiequelle nach der Insemination. Die Fortbewegung (Motilität) der Spermien hängt ultimativ davon ab (Jeulin 1994).

Stellvertretend für Versuche mit Ebern soll nachfolgend über Ergebnisse aus einem Versuch, der in Zusammenarbeit mit der Industrielle Hogeschool CTL, Gent, durchgeführt wurde, berichtet werden (Tabelle 1). Es wurden Eber der holländischen Landrasse benutzt. Als Futterbasis diente ein kommerzielles Eberfutter. Die Versuchsgruppe erhielt 720 mg L-Carnitin pro Tier und Tag über das Futter. Die Versuchsdauer betrug 118 Tage. Die Eber wurden insgesamt 23mal deseminert. Das Sperma wurde nach praxisüblichen Kriterien zu Portionen für die KB aufgearbeitet.

In der Gruppe mit L-Carnitinzulage konnten im Vergleich zur Kontrollgruppe dank höherem Spermavolumen und nur minimal geringerer Spermienkonzentration pro Sprung 1,6 Portionen mehr für die KB hergestellt werden.

**Tabelle 1: Einfluß einer L-Carnitinsupplementierung auf die Spermproduktion von Ebern (Holländische Landrasse)**

Parameter	ohne L-Carnitin (Kontrolle)	mit L-Carnitin (720 mg/d)	Änderung gegenüber Kontrolle
Anzahl Eber	20	20	
Dauer der Studie (Tage)	118	118	
Anzahl Sprünge	23	23	
Spermavolumen pro Sprung (ml)	214 <sup>a</sup>	246 <sup>b</sup>	14,8%
Spermien Konzentration (10 <sup>9</sup> /ml)	4,7	4,5	- 4,2%
Anteil lebende Spermien (%)	75,6	75,3	
Anzahl Portionen pro Sprung	19,6	21,2	1,6
Anzahl Portionen pro Eber	451	488	37

a, b Mittelwerte mit unterschiedlichen Indizes sind signifikant verschieden voneinander. Quelle: Thielman 1996.

*Tragende und laktierende Sauen*

Ziel eines jeden Züchters ist es, die Fruchtbarkeit der Sauen auf hohem Niveau zu erhalten und die Nutzungsdauer der Zuchttiere nicht zu kompromittieren. Während der Trächtigkeit soll die Sau etwa 35 kg an Masse zulegen können (Föten plus Körperreserven der Sau). Während der Laktation dürften die Sauen nicht mehr als 15 kg an Körpersubstanz verlieren. Versuchsergebnisse deuten an, daß eine L-Carnitinsupplementierung dieses Unterfangen unterstützen kann.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß laktierende Sauen über die Milch große Mengen an L-Carnitin ausscheiden. Eine Hochleistungssau produziert während 4 Wochen Laktation etwa 300 Liter Milch. Bei einem mittleren L-Carnitingehalt von 30 mg/l entspricht dies einer L-Carnitinmenge von etwa 10 g (200 bis 400 mg pro Tag).

Es besteht eine bekannte Korrelation zwischen dem Geburtsgewicht des Ferkels und dessen Wachstumsgeschwindigkeit in den folgenden Lebensabschnitten. Dieser Wachstumsvorteil schlägt sich letztlich in einem früheren Erreichen der Schlachtreife nieder. In Versuchen konnte gezeigt werden, daß eine L-Carnitinzulage an tragende Sauen das Geburtsgewicht der Ferkel positiv beeinflusste (Musser et al. 1996). Die supplementierten Sauen wiesen höhere Plasmawerte für Insulin und IGF-I (Insulin like Growth Factor I) auf. Beide Wachstumsfaktoren spielen eine essentielle Rolle im Hinblick auf die Steigerung der Zahl der Muskelzellen im Fötus.

Wie oben dargelegt, sollten die Sauen während der Laktation möglichst nicht mehr als 15 kg Körpergewicht verlieren. Für die Praxis bieten sich zwei Strategien an:

- Einerseits kann L-Carnitin direkt an die Sauen verabreicht werden. In Versuchen konnte gezeigt werden, daß die L-Carnitinzulage zu einem höheren L-Carnitingehalt in der Milch führt. Die Saugferkel werden damit mit mehr L-Carnitin versorgt. Die Sauen verloren weniger Gewicht während der Laktation, was für die folgende Reproduktionsphase von Vorteil ist (Harmeyer 1995, Harmeyer und Schlumborn 1997).

- Andererseits kann das L-Carnitin via Prästarter direkt an die Ferkel verabreicht werden. Ein schmackhafter, energiereicher Prästarter entlastet die laktierenden Sauen vor allem in der 3. und 4. Laktationswoche. Sie bauen weniger Körpersubstanz ab, da die Ferkel weniger Milch konsumieren. Damit weisen die Sauen ebenfalls eine bessere Körperkondition im Hinblick auf die nächste Reproduktionsphase auf (Provimi 1997).

Die Befunde aus Versuchen mit L-Carnitinsupplementierung lassen sich wie folgt zusammenfassen (Fremaut et al. 1993; Harmeyer 1995; Harmeyer und Schlumborn 1997; Musser et al. 1996):

- bessere Körperkondition der Sauen am Ende der Trächtigkeit (höheres Gewicht, größere Fettreserven)
- höhere Geburtsgewichte der Ferkel
- schnelleres Wachstum der Ferkel
- weniger Ferkelverluste durch Erdrücken während der Laktation
- numerisch und gewichtsmäßig größere Würfe beim Absetzen
- weniger Gewichtsverlust bei den Sauen während der Laktation
- weniger Leertage

#### Verwaiste Saugferkel

Einen Sonderfall stellen verwaiste Saugferkel dar, die mit Milchersatzprodukten aufgezogen werden. Die Milch der Sau enthält natürlicherweise zwischen 25 und 60 mg L-Carnitin pro Liter. Milchaustauscher für verwaiste Saugferkel müßten demnach etwa 500 mg L-Carnitin enthalten unter der Annahme, daß 1 kg Milchaustauscher mit 8 l Wasser verdünnt wird.

Aerts und Fremaut (1996) reicherten den Milchaustauscher mit 600 mg L-Carnitin an. Die Ferkel der L-Carnitingruppe wuchsen rund 13% schneller als jene der Kontrollgruppe (Tabelle 2). Die Futterverwertung verbesserte sich um 10%.

**Tabelle 2: Einfluß einer L-Carnitanreicherung im Milchaustauscher auf Zuwachs, Futteraufnahme und Futterverwertung von 9 Tage alten Ferkeln**

Parameter	Behandlung		Mittel
	Kontrollgruppe	L-Carnitin gruppe	
Anzahl Ferkel	30	30	
Ausgangsgewicht (g)	3694	3718	3706
Endgewicht (g)	5759	6049	5901
Dauer des Versuches (d)	17,3	17,4	17,3
Zuwachs (g/d)	119	135	127
Trockenmasseaufnahme (g/d)	156	159	158
Trockenmasseverwertung	1,31	1,18	1,24

Quelle: Aerts und Fremaut (1996)

#### Absetzferkel

Speziell in der ersten Woche nach dem Absetzen sind die Ferkel einem erhöhten durch Umstallung und Futterwechsel bedingten Streß ausgesetzt. Mit Streß sind immer auch Leistungsdepressionen verbunden.

Auf drei Aufzuchtbetrieben in der Bretagne in Frankreich wurde das Futter der ersten 14 Tage nach dem Absetzen mit 30 mg/kg L-Carnitin angereichert (Pommier et al 1997). Insgesamt waren über 800 Absetzferkel im Versuch. Die L-Carnitinzulage verbesserte den Tageszuwachs um 3% (P = 0,03). Die Mortalität sank tendenziell ab (0,3% gegenüber 0,5% in der Kontrolle).

In verschiedenen Versuchen konnte gezeigt werden, daß eine L-Carnitinzulage über die gesamte Aufzuchtphase nach dem Absetzen bis zum Erreichen von etwa 25 kg Lebendgewicht das Wachstum der Ferkel zu beschleunigen vermag (Tabelle 3).

**Tabelle 3 Effekte einer L-Carnitinerganzung zu Absetzferkelfutter**

Ver- such Nr.	Rasse	natürl. L-Carnitin- gehalt mg/kg	L-Carnitin- zulage mg/kg	Alter bei Versuchs- beginn Wochen	Anfangs- gewicht kg	End- gewicht kg	Zuwachs g/d	Futter- ver- wertung
1	Landrasse x LW x Piétrain	<5	0	5	9,5	24	403 <sup>a</sup>	1,95 <sup>a</sup>
			20				452 <sup>b</sup>	1,77 <sup>b</sup>
			40				418 <sup>a</sup>	1,95 <sup>a</sup>
2	Landrasse x LW x Piétrain	<5	0	5	9	23	391 <sup>a</sup>	1,89 <sup>a</sup>
			20				416 <sup>b</sup>	1,59 <sup>b</sup>
			40				385 <sup>a</sup>	1,64 <sup>b</sup>
3	LW	12	0 40	5	8,6	22	456 <sup>a</sup> 512 <sup>b</sup>	1,41 <sup>a</sup> 1,37 <sup>a</sup>
4	Dalland	<5	0	4	7	22	417 <sup>a</sup>	1,75 <sup>a</sup>
			25				440 <sup>b</sup>	1,77 <sup>a</sup>
			50				452 <sup>b</sup>	1,66 <sup>a</sup>
5	Dalland	<5	0	4,5	8	23	423 <sup>a</sup>	1,73 <sup>a</sup>
			25				448 <sup>a</sup>	1,66 <sup>b</sup>
			50				451 <sup>a</sup>	1,65 <sup>b</sup>
6	LW	10	0	5,5	11	27	444 <sup>a</sup>	1,57 <sup>a</sup>
			25				434 <sup>a</sup>	1,54 <sup>a</sup>
			50				453 <sup>a</sup>	1,48 <sup>b</sup>

Versuchsnummern: 1: Piroutz, 1990 (Österreich), 2: Piroutz, 1990 (Österreich), 3: Pflirter, 1991 (Schweiz), 4: Daza, 1994 (Spanien), 5: Daza, 1995 (Spanien), 6: Jost, 1994 (Schweiz).

<sup>a, b</sup> Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben sind signifikant verschieden voneinander (p ≤ 0,05).

**Schlußfolgerungen**

Bei der heutigen Nutztierhaltung mit hoher Leistungsanforderung bei Reproduktion und Wachstum ist der Organismus auf eine ausreichende L-Carnitinausstattung angewiesen. In vielen Fällen vermag die körpereigene Synthese den Bedarf nicht zu decken. Eine Zufuhr über das Futter erscheint nützlich. Insbesondere bei Streß, Nährstoffimbalancen und Krankheitsdruck befähigt eine L-Carnitinzulage die Tiere, Energieengpässe mit geringerer Leistungseinbuße zu überstehen.

Als Bestandteil aller Organismen kommt L-Carnitin natürlicherweise in unterschiedlichen Konzentrationen in den Futtermitteln vor. Pflanzliche Futtermittelrohstoffe enthalten in der Regel sehr wenig L-Carnitin; Produkte tierischer Herkunft sind L-Carnitin-reicher. Pflanzliche und tierische Fette enthalten kein L-Carnitin.

*Dosierungsempfehlungen*

Im Hinblick auf die Supplementierung von Futter für Eber, Sauen und Ferkel werden folgende Dosierungen empfohlen. Die Tabelle 4 gibt Indikationen betreffend Mindestgehalte im Futter (natürlicher Gehalt plus L-Carnitin-zusatz). Es ist deshalb hilfreich, die natürlichen Gehalte in der Rezeptur vorgängig zu schätzen bzw. analytisch bestimmen zu lassen.

**Tabelle 4: Empfehlungen für den optimalen Gesamtgehalt an L-Carnitin in Futter für Tiere mit hoher Leistung**

	Mindestzufuhr bzw. Sollgehalt <sup>1</sup> an L-Carnitin in den Futtermitteln
Eber	250 - 500 mg pro Tier und Tag
Sauen (Trächtigkeit und Laktation)	200-300 mg pro Tier und Tag
Milchaustauscher für verwaiste Saugferkel	300 - 500 mg pro kg Austausch
Prästarter Futter	60 mg pro kg Futter
Starter Futter	30-50 mg pro kg Futter

<sup>1</sup> Der Sollgehalt setzt sich zusammen aus natürlichem Gehalt und zudosiertem L-Carnitin.

**Zusammenfassung**

Obwohl sich die Tierernahrung auf eine jahrzehntelange Forschung abstüzen kann, gibt es dennoch immer wieder neue Substanzen und Wirkstoffe, die den Eingang in die Praxis schaffen. L-Carnitin ist auf dem Wege dazu. L-Carnitin fungiert als natürlicher essentieller Cofaktor im Energiestoffwechsel, und er fördert die Integrität und die Funktion von Membranen und schützt Nervenzellen.

Der Bedarf des Tieres wird sowohl durch endogene Synthese wie durch die Zufuhr über die Futtermittel gedeckt. Besonders junge Tiere haben wegen eingeschränkter EIGENSYNTHE einen erhöhten Bedarf für exogenes L-Carnitin. Oft sind die natürlichen Gehalte des Futters nicht ausreichend, um den Bedarf zu decken.

Fruchtbarkeit und Reproduktion sind von einer hohen Energiebereitstellungsrate abhängig. In Fütterungsversuchen konnte die positive Wirkung einer L-Carnitinsupplementierung bei Ebern, tragenden und laktierenden Sauen und Absetzferkeln aufgezeigt werden.

### Literaturverzeichnis

- Aerts J, Fremaut D. 1996. L-carnitine geeft een meerwaarde aan kunstmelk voor moederloze biggen. *Varkensbedrijf* 6(3): 28-29.
- Böhles H, Segerer H, Fekl W, Stehr K. 1983. Tierexperimentelle Untersuchungen über Veränderungen des Lipid- und Proteinstoffwechsels bei L-Carnitin-supplementierter totaler parenteraler Ernährung. *Infusionsther* 10: 24-31.
- Borum PR, Bennett SG. 1986. Carnitine as an essential nutrient. *J Am Coll Nutr* 5: 177-82.
- Daza A, Gutiérrez-Barquín MG, Gálvez JF. 1994. Efecto de la adición de L-Carnitina a una dieta de elevado nivel energético y rica en aceites de soja sobre los índices técnicos de lechones destetados. *Anaporc* 149: 28-41.
- Daza A, Gutiérrez-Barquín MG, Gálvez JF. 1994. The effect of L-Carnitine on technical results of weaning pigs. *Arch Zootec* 43: 207-214.
- Di Lisa F, Barbato R, Menabo R, Siliprandi N. 1995. Carnitine and carnitine esters in mitochondrial metabolism and function. *Dev Cardiovasc Med* 162: 21-38.
- Felipo V, Kosenko, E, Miñana MD, Marcaida G, Grisolia S. 1994. Molecular mechanism of acute ammonia toxicity and of its prevention by L-carnitine. *Adv Exp Med Biol* 368: 65-77.
- Fremaut DJ, De Raeymaecker G, Latré J, Aerts JV. 1993. Hebben lakterende zeugen een tekort aan L-carnitine? *Varkensbedrijf* 3(6): 20-23.
- Harmeyer J, Schlumborn C. 1997. Die physiologische Bedeutung von L-Carnitin und Effekte von Carnitinzulagen bei Haustieren. *Proc 6th Symp Vitamine und weitere Zusatzstoffe bei Mensch und Tier*, Sept 24-25, Friedrich Schiller University, Jena (Germany): in press.
- Harmeyer J. 1995. Wirkung einer Carnitinzulage bei Absetzferkeln und Saugferkeln (Mariensee). *Res report* (unpubl).
- Jeulin C, Dacheux JL, Soufir JC. 1994. Uptake and release of free L-carnitine by boar epididymal spermatozoa in vitro and subsequent acetylation rate. *J Reprod Fert* 100: 263-271.
- Jeulin C, Soufir JC, Marson J, Paquignon M, Dacheux JL. 1988. Acétylcarnitine et spermatozoïdes: Relation avec la maturation épидидymaire et la mobilité chez le vererrat et l'homme. *Reprod Nutr Dévelop* 28: 1317-28.
- Jost M, Bracher A. 1994. Ferkelfutter sparen mit L-Carnitin? *Agrarforschung* 1: 318-321.
- Lohninger A, Laschan C, Auer B, Linhart L, Salzer H. 1996. Tierexperimentelle und klinische Untersuchungen über die Bedeutung des Carnitins für den Stoffwechsel der Schwangeren und des Feten während der Prä- und Perinatalperiode. *Wien Klin Wschr* 108(2): 33-39.
- Lohninger A. 1996. Role of carnitine in pregnancy and effects of maternal carnitine administration on fetal rat lung surfactant content. In: *Carnitine - Pathochemical Basics and Clinical Applications*. Seim H, Löster H (Eds), Ponte Press Bochum, pp 157-166.
- Musser RE, Goodband RD, Owen KQ, Tokach MD, Nelsen JL, Blum SA, Civis CA. 1997. Effects of L-carnitine on gestating and lactating sow performance. *Res report Swine Day (Kansas State University)* in press.
- Neu H. 1995. Carnitin: Chemie, Funktion und klinische Bedeutung bei Herzerkrankungen (Kardiomyopathien) des Hundes - eine Literaturübersicht. *Kleintierpraxis* 40: 197-220.
- Neumann G. 1996. Effect of L-carnitine on athletic performance. In: *Carnitine - Pathochemical Basics and Clinical Applications*. Seim H, Löster H (Eds), Ponte Press Bochum, pp 61-71.
- Owen KQ, Ji H, Maxwell CV, Nelssen JL, Goodband RD, Tokach MD, Tremblay GC, Koo SI, Blum SA. 1996. Effect of dietary L-carnitine on growth, carcass characteristics, and metabolism of swine. *Swine Day (Kansas State University)*: 103-110.
- Pfirter HP. 1991. L-carnitine in piglets. *Res report* (unpubl).
- Piroutz R. 1991. Über die Wirkung von L-Carnitin in der Ferkelaufzucht. *Thesis, Universität Wien*, 58 pp.
- Pommier P, Kella A, Wessel-Robert S. 1997. Effect of L-carnitine on growth of weaned piglets under field conditions. *Poster IPVS congress*.
- Provimi. 1997. The benefits of Provilat. *Int Pig Topics* 12(2): 32.
- Scholte HR, Boonman AMC, Hussaarts-Odijk LM, Ross JD, Van Oudheusden LJ, Pereira, RR, Wallenburg HCS. 1996. New aspects of the biochemical regulation of the carnitine system and mitochondrial fatty acid oxidation. In: *Carnitine - Pathochemical Basics and Clinical Applications*. Eds Seim H, Löster H, Ponte Press Bochum, pp 11-31.
- Siliprandi N, Venerando R, Tassani V. 1994. The "carnitine system": recent aspects. *Adv Exp Med Biol* 368: 161-4.
- Thielman N. 1995. Vruchtbaarheid bij beren en L-carnitine. *Diss Industriële Hogeschool CTL, Ghent (Belgium)*.
- Uhlenbruck G. 1996. L-carnitine and the immune system: from the mode of metabolism to the modulation of membranes. In: *Carnitine - Pathochemical Basics and Clinical Applications*. Seim H, Löster H (Eds), Ponte Press Bochum, pp 47-60.