

Franz J. Schneider

Zur Bedeutung der Ernährung für das Gehirn als „Generator und Rezeptor“ im (Leistungs-) Sport

Teil 5: Die Makronährstoffe und ihre Bedeutung für Struktur und Funktion des Gehirns – Proteine

Denaturierung von Proteinen

Denaturierung bedeutet das Zerstören der natürlichen Tertiärstruktur eines Proteins. Das Protein verliert dabei seine biologische Funktion, da diese insbesondere von der Tertiärstruktur bestimmt wird. Die Primärstruktur – die Aminosäurekette also – bleibt jedoch erhalten. Proteine können durch Temperaturveränderungen wie Hitze und Frost, extreme pH-Werte, durch Harnstoff, organische Lösungsmittel wie z.B. Alkohol, durch Detergentien (Tenside), Metallionen, mechanische Einwirkungen, hydrostatischen Druck oder durch Strahlung denaturiert werden.

Eine Denaturierung ist jedoch nicht immer irreversibel und mit einem Funktionsverlust verbunden. Im sauren Milieu des Magens werden aufgenommene Proteine ebenfalls denaturiert. Durch die damit verbundene Auffaltung der Proteinstruktur können eiweißspaltende Enzyme leichter ihre Wirkung entfalten und das Protein aufspalten, was in einer verbesserten Verdaulichkeit der Proteine resultiert. So bewirkt längeres Erhitzen von Fleisch nicht nur durch die Denaturierung, sondern auch durch den Kollagenabbau im Bindegewebe und die damit verbundene Gewebelockerung eine bessere Verdaulichkeit. Enzyme verlieren durch Denaturierung ihre biokatalytischen Fähigkeiten; Inaktivierung durch Erhitzen wirkt deshalb konservierend (Westphal et al., 2003; Franzke, 1996; Horn et al., 2002).

Bei thermischen Belastungen von Eiweißen z.B. in Röst- oder Grillprozessen ist mit einer Konfigurationsumkehr der nativen L-Aminosäuren zu rechnen. Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist anzumerken, dass die D-Aminosäuren kaum metabolisiert werden und zudem neurotoxisch sein können (Westphal et al., 2003). Der Organismus baut während der Translation ausschließlich L-Aminosäuren in den Peptidverband ein. D-Aminosäuren stören den Translationsvorgang (Rehner & Daniel, 2002).

Kollath (o.J., nach Mutter, 2001) soll bei Tierfütterungen nachgewiesen haben, dass die übliche Extraktion des Kaseins (ein Eiweißbestandteil der Milch) bei 74° Celsius zu einer solchen Denaturierung des Eiweißes führt, dass die Versuchstiere innerhalb von 4 bis 6 Wochen starben. Die biologische Funktion des denaturierten Eiweißes ist gestört. Bei der Fütterung mit Kasein, das durch schonende Extraktion bei 34° Celsius gewonnen wurde, konnten die Tiere

bei sonst gleicher Diätzusammensetzung jahrelang am Leben erhalten werden. Ab einer Temperaturgrenze von 43° Celsius wird Eiweiß denaturiert. Proteine haben eine höhere Qualität, wenn sie unerhitzt (nicht über 43° Celsius, also nativ) gegessen werden. In dieser Form wird weniger als ein Drittel der gekochten (= denaturierten) Eiweißmenge benötigt (Mutter, 2001).

Nichtenzymatische Bräunungsreaktionen

Eine lebensmitteltypische nichtenzymatische Bräunung stellt die Maillard-Reaktion dar. Sie tritt beim Erhitzen von proteinhaltigen Lebensmitteln auf und führt über verschiedene Zwischenstufen zur Bildung von braunen, pigmentartigen Substanzen (Melanoiden). Die Maillard-Reaktion geht häufig mit ernährungsphysiologischen oder geschmacklichen Verbesserungen der Lebensmittel, einer Erhöhung der Verdaulichkeit usw. einher (z.B. beim Backen, Rösten), sie tritt aber auch bei Vorgängen auf, die zu einer Geschmackverschlechterung führen (z.B. bei übermäßiger Sterilisation von Fleisch- oder Milchprodukten) (Westphal et al., 2003; Franzke, 1996).

Die Maillard-Reaktion führt zu einer meist irreversiblen Schädigung der essentiellen Aminosäure Lysin. Dadurch kann eine erhebliche Verminderung des ernährungsphysiologischen Werts eintreten. Für Verbindungen der so genannten zweiten Reaktionsphase aus gebratenen, gekochten oder gebackenen Lebensmitteln ist eine mutagene Wirkung u.a. im Ames-Test¹ nachgewiesen worden. Die Menge der mutagenen Produkte nimmt mit steigender Temperatur und Erhitzungszeit zu. Die Maillard-Moleküle haben teilweise eine ähnliche Struktur wie hirnaktive Substanzen. Manche wirken suchterzeugend. Bei den Nahrungsbestandteilen Kasein (besonders in Kuhmilch enthalten) und Gluten (im Getreide) ist dieser Mechanismus besonders ausgeprägt. In diesen beiden Eiweißarten kommen dem Morphinium ähnliche Aminosäuresequenzen, so genannte Kaseo- bzw. Gluteo-Morphine, vor (Mutter, 2001).

Die hitzeinduzierte Bildung von Lysinoalanin und Lanthionin¹ ist besonders in Lebensmitteln mit cystinreichen Proteinen (Milch, Eiklar) zu erwarten, da die mit der Spaltung der Disulfidbrücke einhergehende Dehydroalaninbildung die Voraussetzung zur Entstehung der neuen Verbindung ist (Franzke, 1996).

Reaktionen mit anderen Lebensmittelinhaltsstoffen

Verschiedene Reaktionen der Eiweiße mit anderen Lebensmittelkomponenten oder -zusatzstoffen bzw. mit vorhandenen Lösungsmitteln (zur Extraktion von Proteinen) sind nach Westphal et al. (2003) in der Regel mit einer abnehmenden Verdaulichkeit und Bioverfügbarkeit der Proteine verbunden. Wird z.B. Mehl mit Stickstofftrichlorid behandelt, wird das Methionin der Getreideproteine zu einer toxischen Verbindung derivatisiert. Methylbromid als Schädlingsbekämpfungsmittel reagiert sowohl mit der NH₂-Funktion des Lysins als auch mit der Imino-Funktion des Histamins der Getreideproteine. Bekannt ist die Bildung von Nitrosaminen an N-Gruppen von Peptiden, Proteinen und biogenen Aminen, wenn pökelgesalzene Produkte stark erhitzt werden (Grillen, Rössten, Braten). Tenside erweisen sich ebenfalls als starke Denaturierungsmittel. Schließlich sind Wechselwirkungen von Metallkationen mit den Eiweißen zu nennen. Bekannt ist die verbrückende Eigenschaft von Schwermetallionen (z.B. Kupfer, Quecksilber) (Westphal et al., 2003).

Ähnlich bedenklich wie die „versteckten Fette“ und „raffinierten Zucker“ dürfte die umfassende Proteinanreicherung (Kasein, Kaseinate, Molkenproteine) in Nahrungsmitteln z.B. folgender Lebensmittelgruppen sein: Backwaren, Milchprodukten, Getränke, Desserts, Süß- und Fleischwaren (Westphal et al., 2003).

¹ Der Ames-Test dient zum Nachweis des mutagenen Effekts verschiedener Substanzen.

² Lysinoalanin ist ein unerwünschtes Folgeprodukt bei der Erhitzung proteinreicher, v.a. kaseinhaltiger Lebensmittel und kann zu histopathologischen Veränderungen und einer Reduzierung der Aufnahme von Spurenelementen führen. Lanthionin ist ein Oxidationsprodukt des Cysteins (Römpp Lexikon Chemie, 1998).

Franz J. Schneider

Zur Bedeutung der Ernährung für das Gehirn als „Generator und Rezeptor“ im (Leistungs-) Sport

Teil 5: Die Makronährstoffe und ihre Bedeutung für Struktur und Funktion des Gehirns – Proteine

Anmerkungen

¹ Die Bezeichnung Protein leitet sich vom griechischen proteios = erstrangig ab.

² Nach Butterworth (1999) liegt die Ammoniakkonzentration im arteriellen Blut normalerweise jedoch im Bereich von 0,01 bis 0,02 mmol/L.

³ Als Neurotrophe wird eine Gruppe von Substanzen bezeichnet, die während der Entwicklung die Ausbildung des Nervensystems unterstützen, das Überleben und die Differenzierung von Neuronen ermöglichen und auch bei Regenerationsprozessen und möglicherweise bei der Vermeidung von Degeneration wirksam sind (Hanke, 2001)

⁴ Cyclo-Adenosinmonophosphat dient als Second messenger bei der Signalvermittlung v.a. hydrophiler Hormone (u.a. Adrenalin, Noradrenalin) (Psychohygiene, 2001).

Literatur

- Albers, R. W., Siegel, G. J. (1999). Membrane Transport. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 95-118). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Albright, C. D., Mar, M. H., Friedrich, C. B., Brown, E. C., Zeisel, S. H. (2001). Maternal choline availability alters the localization of p15Ink4B and p27Kip1 cyclin-dependent kinase inhibitors in the developing fetal rat brain hippocampus. *Developmental neuroscience* 23, 2, 100-106.
- Almeida, S. S., Duntas, L. H., Dye, L., Nunes, M. L., Prasa, C., Rocha, J. B., Wainwright, P., Zaia, C. T., Guedes, R. C. (2002). Nutrition and brain function: a multidisciplinary virtual symposium. *Nutritional neuroscience* 5, 5, 311-320.
- Almeida, S. S., Tonkiss, J., Galler, J. R. (1996). Malnutrition and reactivity to drugs acting in the central nervous system. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 20, 3, 389-402.
- Avraham, Y., Hao, S., Mendelson, S., Bonne, O., Berry, E. M. (2001). Diet restriction in mice causes a decrease in hippocampal choline uptake and muscarinic receptors that is restored by administration of tyrosine: interaction between cholinergic and adrenergic receptors influencing cognitive function. *Nutritional neuroscience* 4, 2, 153-167.
- Avraham, Y., Bonne, O., Berry, E. M. (1996). Behavioral and neurochemical alterations caused by diet restriction – the effect of tyrosine administration in mice. *Brain Research* 732, 133-144.
- Beatty, J. (2001). *The Human Brain. Essentials of Behavioral Neuroscience*. Thousand Oaks et al.: Sage Publications, Inc.
- Bendich, A., Deckerbaum, R. J. (Eds.) (2001). *Preventive Nutrition: The Comprehensive Guide for Health Professionals* (pp. 221-243). Totowa: Humana Press.
- Bickel, U., Yoshikawa, T., Partridge, W. M. (2001). Delivery of peptides and proteins through the blood-brain barrier. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 46, 1-3, 247-279.
- Biesalski, H. K., Fürst, P., Kasper, H., Kluthe, R., Pöler, W., Puchstein, C., Stähelin, H. B. (Hrsg.). (1999). *Ernährungsmedizin*. Stuttgart: Thieme.
- Blickan, R. (2001). Motorische Systeme bei Vertebraten. In Dudel, J., Menzel, R., Schmidt, R. F., *Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition* (pp. 191-213). Berlin u. a.: Springer.
- Blomstrand, E. (2001). Amino acids and central fatigue. *Amino acids* 20, 1, 25-34.
- Blomstrand, E., Celsing, F., Newsholme, E. A. (1988). Changes in plasma concentrations of aromatic branched-chain amino acids during sustained exercise in man and their possible role in fatigue. *Acta Physiol. Scand.* 133, 1, 115-121.
- Blomstrand, E., Hassmen, P., Ekblom, B., Newsholme, E. A. (1991). Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise-effects on performance and on plasma concentration of some amino acids. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63 (1991), 2, 83-88.
- Bomar, D. (2003). Aminosäuren modulieren das Immunsystem. *Zeitschrift für Umweltmedizin* 11, 2, 76-78.
- Brady, S., Colman, D. R., Brophy, P. (1999). Subcellular Organization of the Nervous System: Organelles and Their Functions. In Zigmond, M. J., Bloom, F. E., Landis, S. C., Roberts, J. L., Squire, L. R. (Eds.), *Fundamental Neuroscience* (pp. 71-106). San Diego u. a.: Academic Press.
- Brock, J. W., Ross, K., Prasad, C. (1998). Effects of High Dietary Protein on Coping Behavior, Memory Performance, and Sensory Discrimination in Rats. *Nutritional Neuroscience* 1, 305-314.
- Brock, J. W., Farooqui, S. M., Onaivi, E. S., Hamdi, A., Prasad, C. (1998). Dietary Protein and Central Monoamine Concentrations in the Rat. *Nutritional Neuroscience* 1, 69-76.
- Burke, L., Deakin, V. (Eds.) (2000). *Clinical Sports Nutrition*. Roseville u. a.: McGraw-Hill Book Company Australia.
- Butterfield, D. A., Koppal, T., Howard, B. et al. (1998). Structural and functional changes in proteins induced by free radical-mediated oxidative stress and protective action of the antioxidants N-tert-butyl-alpha-phenylnitron and vitamin E. *Ann. New York Acad. Science* Vol. 854, 448-462.
- Butterworth, R. F. (1999). Metabolic Encephalopathies. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 769-782). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Chauloff, F., Laude, D., Guezennec, Y., Elhozi, J. (1986). Motor activity increases tryptophan, 5-hydroxyindoleacetic acid, and homovanillic acid in ventricular cerebrospinal fluid of the conscious rat. *J. Neurochem.* 46, 4, 1313-1316.
- Datta, S., Patterson, E. H., Vincitore, M., Tonkiss, J., Morgane, P. J., Galler, J. R. (2000). Prenatal protein malnourished rats show changes in sleep/wake behavior as adults. *Journal of sleep research* 9, 1, 71-79.
- Davis, J. M. (1995). Central and peripheral factors in fatigue. *Journal of sports sciences* 13 (Spec. No), S49-53.
- Davis, J. M., Alderson, N. L., Welsh, R. S. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *Am. J. Clin. Nutr.* 72, Suppl., 573-578.
- DeLong, G. R. (1993). Effects of nutrition on brain development in humans. *The American journal of clinical nutrition* 57 (2 Suppl.), 286S-290S.
- Deutch, A. Y., Roth, R. H. (1999). Neurotransmitters. In Zigmond, M. J., Bloom, F. E., Landis, S. C., Roberts, J. L., Squire, L. R. (Eds.), *Fundamental Neuroscience* (pp. 193-234). San Diego u. a.: Academic Press.
- Dingledine, R., McBain, C. J. (1999). Glutamate and Aspartate. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 315-333). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Dorfman, L. (2000). *The Vegetarian Sports Nutrition Guide*. New York: John Wiley & Sons.
- Dracea, A. (2001). Mangez et guérissez: comment rendre votre corps invulnérable. Paris: France loisirs.
- Dudel, J. (2001). Synaptische Erregung und Hemmung. In Dudel, J., Menzel, R., Schmidt, R. F., *Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition* (pp. 115-144). Berlin u. a.: Springer.
- Dudel, J., Menzel, R., Schmidt, R. F. (2001). *Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition*. Berlin u. a.: Springer.
- Eberwine, J. (1999). Transcription Factors in the Central Nervous System. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 523-534). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Farooqui, S. M., Brock, J. W., Onaivi, E. S., Hamdi, A., Prasad, C. (1994). Differential modulation of dopaminergic systems in the rat brain by dietary protein. *Neurochemical Research* 19, 2, 167-176.
- Fernstrom, J. D. (2000). Can nutrient supplements modify brain function? *The American journal of clinical nutrition* 71 (6 Suppl.), 1669S-1675S.
- Finkbeiner, S., Tavazoie, S. F., Maloratsky, A., Jacobs, K. M., Harris, K. M., Greenberg, M. E. (1997). CREB: a major mediator of neuronal neurotrophin responses. *Neuron* 19, 5, 1031-1047.
- Föcking, M., Höcker, I., Trapp, T. (2003). Chronic glucocorticoid receptor activation impairs CREB transcriptional activity in clonal neurons. *Biochem. Biophys. Res. Com.* 304, 720-723.
- Frazer, A., Hensler, J. G. (1999). Serotonin. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 263-292). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Franzke, C. (1996). *Allgemeines Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Hamburg: Behr.
- Fürst, P. (1999). Proteine. In Biesalski, H. K., Fürst, P., Kasper, H., Kluthe, R., Pöler, W., Puchstein, C., Stähelin, H. B. (Hrsg.), *Ernährungsmedizin* (pp. 91-110). Stuttgart: Thieme.
- Gibson, G. E., Blass, J. P. (1999). Nutrition and Brain Function. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 691-709). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Gilgun-Sherki, Y., Melamed, E., Offen, D. (2001). Oxidative stress induced neurodegenerative diseases: the need for antioxidants that penetrate the blood brain barrier. *Neuropharmacology* 40, 8, 959-975.
- Gropper, S. S. (2000). *The Biochemistry of Human Nutrition*. Belmont: Wadsworth/Thomson Learning.
- Hanke, W. (2001). Neurohormonelle Systeme der Vertebraten. In Dudel, J., Menzel, R., Schmidt, R. F., *Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition* (pp. 261-278). Berlin u. a.: Springer.
- Hawkins, R. D., Son, H., Arancio, O. (1998). Nitric oxide as a retrograde messenger during long-term potentiation in hippocampus. *Progress in brain research* Vol. 118, 155-172.
- Hof, P. R., Trapp, B. D., Vellis, J. de, Claudio, L., Colman, D. R. (1999). The Cellular Components of Nervous Tissue. In Zigmond, M. J. et al. (Eds.), *Fundamental Neuroscience* (pp. 41-70). San Diego u. a.: Academic Press.
- Hollmann, W., Hettinger, T. (2000). *Sportmedizin – Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart u. a.: Schattauer.
- Hollmann, W., Strüder, K. H. (1996). Gehirn und Sport. Einfluß von Aminosäuren und Neurotransmittern auf die zentrale Ermüdung. *F.I.T.-Wissenschaftsmagazin der Dt. Sporthochschule Köln* 2, 26-31.
- Hollmann, W., Strüder, K.H. (1998). Das menschliche Gehirn als Agitator und Rezeptor von muskulärer Arbeit. *Dt. Z. Sportmed.* 49, Sonderheft 1, 154-160.

- Horn, F., Lindenmeier, G., Moc, I., Grillhöll, C., Berghold, S., Berghold, S., Schneider, N., Münster, B. (2002). *Biochemie des Menschen*. Stuttgart u. a.: Thieme.
- Hough, L. B. (1999). Histamine. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 293-313). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Huang, S. H., Jong, A. Y. (2001). Cellular mechanisms of microbial proteins contributing to invasion of the blood-brain barrier. *Cell Microbiol.* 3, 5, 277-287.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, Th. M. (2000). *Principals of Neural Science*. Columbus: McGraw Hill.
- Kasper, H. (2000). *Ernährungsmedizin und Diätetik*. München, Jena: Urban & Fischer.
- Klinke, R. (2001a). Erregungsübertragung in Zellverbänden. In Klinke, R., Silbernagel, S. (Hrsg.), *Lehrbuch der Physiologie* (pp. 61-80). Stuttgart: Thieme.
- Klinke, R. (2001b). Bauelemente des Nervensystems. In Klinke, R., Silbernagel, S. (Hrsg.), *Lehrbuch der Physiologie* (pp. 539-552). Stuttgart: Thieme.
- Klinke, R., Silbernagel, S. (Hrsg.) (2001). *Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Konopka, P. (2001). Sporternährung. Leistungsförderung durch vollwertige und bedarfsangepasste Ernährung. München: BLV.
- Kuhar, M. J., Couceyro, P. R., Lambert, P. D. (1999). Catecholamines. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 243-261). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Lamprecht, R. (1999). CREB: a message to remember. *Cell. Mol. Life Sci.* 55, 554-563.
- Landreth, G. E. (1999). Growth Factors. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 383-398). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Lattera, J., Keep, R., Betz, A. L., Goldstein, G. W. (1999). Blood-Brain-Cerebrospinal Fluid Barriers. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 671-689). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Lee, D. R., Semba, R., Kondo, H., Goto, S., Nakano, K. (1999). Decrease in the levels of NGF and BDNF in brains of mice fed a tryptophan-deficient diet. *Biosci., biotechnol., biochem.* 63, 2, 337-340.
- Lee, J., Duan, W., Long, J. M., Ingram, D. K., Mattson, M. P. (2000). Dietary Restriction Increases the Number of Newly Generated Neural Cells, and Induces BDNF Expression, in the Dentate Gyrus of Rats. *J. Mol. Neurosci.* 15, 2, 99-108.
- Lee, J., Seroogy, K. B., Mattson, M. P. (2002). Dietary restriction enhances neurotrophin expression and neurogenesis in the hippocampus of adult mice. *J. neurochem.* 80, 3, 539-547.
- Lemon, P. W. R. (1998). Effects of exercise on dietary protein requirements. *International Journal of Sports Nutrition* 8, 426-447.
- Lima, L., Obregon, F., Cubillos, S., Fazzino, F., Jaimes I. (2001). Taurine as a micronutrient in development and regeneration of the central nervous system. *Nutritional neuroscience* 4, 6, 439-443.
- Linden, J. M. (1999). Purinergic System. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 347-362). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Löffler, G., Petrides, P. E. (Hrsg.) (2003). *Biochemie und Pathobiochemie*. Berlin u. a.: Springer.
- Mayer, P., Stossier, H. (2000). *Gesund leben durch die Eiweiß-Abbau-Diät*. Heidelberg, Karl F. Haug-Verlag.
- McLean Bolton, M., Pittman A. J., Lo, D. C. (2000). Brain-derived neurotrophic factor differentially regulates excitatory and inhibitory synaptic transmission in hippocampal cultures. *J. neurosci.* 20, 9, 3221-3232.
- Meeusen, R., Piacentini, M. F., Kempnaers, F., Busschaert, B., De Schutter, G., Buyse, L., De Meirleir, K. (2001). Neurotransmitter im Gehirn während körperlicher Belastung. *Dt. Z. Sportmed.* 52, 12, 361-368.
- Metges, C. C., Barth C. A. (2000). Metabolic consequences of a high dietary-protein intake in adulthood: assessment of the available evidence. *The Journal of nutrition* 130, 4, 886-889.
- Molteni, R., Barnard, R. J., Ying, Z., Roberts, C. K., Gómez-Pinilla, F. (2002). A high-fat, refined sugar diet reduces hippocampal brain-derived neurotrophic factor, neuronal plasticity, and learning. *Neuroscience* 112, 4, 803-814.
- Morgane, P. J., Austin-LaFrance, R., Bronzino, J., Tonkiss, J., Díaz-Cintra, S., Cintra, L., Kemper, T., Galler, J. R. (1993). Prenatal malnutrition and development of the brain. *Neuroscience and biobehavioral reviews* 17, 1, 91-128.
- Morell, P., Quarles, R. H. (1999). Myelin Formation, Structure and Biochemistry. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 69-93). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Morris, M. S., Jacques, P. F., Rosenberg, I. H., Selhub, J. (2001). Hyperhomocysteinemia associated with poor recall in the third National Health and Nutrition Examination Survey. *The American journal of clinical nutrition* 73, 5, 927-933.
- Mutter, J. (2001). *Amalgam. Risiko für die Menschheit. Weil der Stadt: Fit fürs Leben Verlag*.
- Nestler, E. J., Greengard, P. (1999). Serine and Threonine Phosphorylation. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 471-495). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Neumann, G. (1998). *Ernährung im Sport*. Aachen: Meyer und Meyer.
- Nicholls, J. g., Martin, A. R., Wallace, B. G., Fuchs, P. A. (2001). *From Neuron to Brain*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Olsen, R. W., DeLorey, T. M. (1999). GABA and Glycine. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 335-346). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Onaivi, E. S., Brock, J. W., Prasad, C. (1992). Dietary protein levels alter rat behavior. *Nutrition Research* 12, 1025-1039.
- Papes, F., Surpili, M. J., Langone, F., Trigo, J. R., Arruda, P. (2001). The essential amino acid lysine acts as precursor of glutamate in the mammalian central nervous system. *FEBS letters* 488, 1-2, 34-38.
- Pardridge, W. M. (Ed.) (1998). *Introduction to the blood-brain-barrier*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paterson, P. G., Lyon, A. W., Kamencic, H., Andersen, L. B., Jurlink, B. H. J. (2001). Sulfur Amino Acid Deficiency Depresses Brain Glutathione Concentration. *Nutritional Neuroscience* 4, 213-222.
- Petrides, P. E., Becker, C. M. (2003). Gehirn und Nervengewebe. In Löffler, G., Petrides, P. E. (Hrsg.), *Biochemie und Pathobiochemie* (pp. 1054-1074). Berlin u. a.: Springer.
- Ragozzino, M. E., Pal, S. N., Unick, K. E., Gold, P. E. (1998). Modulation of hippocampal acetylcholine release and spontaneous alternation scores by intrahippocampal glucose injections. *The Journal of neuroscience* 18, 4, 1595-1601.
- Ragozzino, M. E., Unick, K. E., Gold, P. E. (1996). Hippocampal acetylcholine release during memory testing in rats: Augmentation by glucose. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 4693-4698.
- Raine, A. (2002). Annotation: the role of prefrontal deficits, low autonomic arousal, and early health factors in the development of antisocial and aggressive behavior in children. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines* 43, 4, 417-434.
- Rehner, G., Daniel, H. (2002). *Biochemie der Ernährung*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Riedel, W. J., Klaassen, T., Deutz, N. E., van Someren, A., van Praag, H. M. (1999). Tryptophan depletion in normal volunteers produces selective impairment in memory consolidation. *Psychopharmacology* 141, 4, 362-369.
- Rough, C., Nicolaidis, S., Orsco, M. (2001). Effects of Pure Macronutrient Ingestion on Plasma Tryptophan and Large Neutral Amino Acids. *Nutritional Neuroscience* 4, 63-73.
- Schek, A. (2002). *Top-Leistung im Sport durch bedürfnisgerechte Ernährung*. Münster: philippka-Sportverlag.
- Schmidt, R. F., G. Thews (Hrsg.) (2000). *Physiologie des Menschen*. Berlin u. a.: Springer.
- Schmidt, R. F., Schaible, H.-G. (2001). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Berlin u. a.: Springer.
- Schneider, F. J. (2003). Zur Bedeutung der Ernährung für das Gehirn als „Generator und Rezeptor“ im (Leistungs-) Sport (Teil 4): Die Makronährstoffe und ihre Bedeutung für Struktur und Funktion des Gehirns – Lipide. *Leistungssport* 33, 5, 57-62.
- Shashoua, V. E. (1985). The role of brain extracellular proteins in neuroplasticity and learning. *Cell. Mol. Neurobiol.* 5, 1-2, 183-207.
- Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.) (1999). *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects*. Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Slater, G. (2000). *Practice Tips*. In Burke, L., Deakin, V. (Eds.), *Clinical Sports Nutrition* (pp. 113-117). Roseville u. a.: McGraw-Hill Book Company Australia.
- Smith, Q. R., Stoll, J. (1998). Blood-brain-barrier amino acid transport. In Pardridge, W. M. (Ed.), *Introduction to the blood-brain-barrier* (pp. 188-197). Cambridge: Cambridge University Press.
- Soto-Moyano, R., Fernandez, V., Sanhuesa, M., Belmar, J., Kusch, C., Perez, H., Ruiz, S., Hernandez, A. (1999). Effects of mild protein prenatal malnutrition and subsequent postnatal nutritional rehabilitation on noradrenaline release and neuronal density in the rat occipital cortex. *Brain research* 116, 1, 51-58.
- Souci, S. W., Fachmann, W., Kraut, H. (2000). *Die Zusammensetzung der Lebensmittel. Nährwert-Tabellen*. Stuttgart: medpharm.
- Stoney, C. M., Engebretson, T. O. (2000). Plasma homocysteine concentrations are positively associated with hostility and anger. *Life sciences* 66 (23), 2267-2275.
- Strüder, H. K., Hollmann, W., Platen, P., Wöstmann, R., Ferrauti, A., Weber, K. (1997). Effect of exercise intensity on free tryptophan to branched-chain amino acids ratio and plasma prolactin during endurance exercise. *Canadian J. appl. physiol.* 22, 3, 280-291.
- Tarnopolsky, M. A. (2000). Protein and amino acid needs for training and bulking up. In Burke, L., Deakin, V. (Eds.), *Clinical Sports Nutrition* (pp. 90-123). Roseville u. a.: McGraw-Hill Book Company Australia.
- Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., Atkinson, S. A. (1988). Influence of protein intake and training status on nitrogen balance and lean body mass. *Journal of Applied Physiology* 64, 187-193.
- Taylor, P., Brown, J. H. (1999). *Acetylcholine*. In Siegel, G. J., Agranoff, B. W., Albers, R. W., Fisher, S. K., Uhler, M. D. (Eds.), *Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular and Medical Aspects* (pp. 213-242). Philadelphia u. a.: Lippincott-Raven.
- Thews, G., E. Mutschler, P. Vaupel (1999). *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Thoenen, H. (1995). Neurotrophins and Neuronal Plasticity. *Science* 270, 5236, 593-598.
- von Bohlen und Halbach, O., Dermietzel, R., Ballantyne, D. J. (2002). *Neurotransmitters and Neuromodulators. Handbook of Receptors and Biological Effects*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Walton, M., Woodgate, A. M., Muravlev, A., Xu, R., Doring, M. J., Draganow, M. (1999). CREB phosphorylation promotes nerve cell survival. *J. neurochem.* 73, 5, 1836-1842.
- Weicker, H., Strüder, H. K. (2001). Influence of exercise on serotonergic neuromodulation in the brain. *Amino acids* 20, 1, 35-47.
- Wendt, L. (1995). *Gesund werden durch Abbau von Eiweißüberschüssen*. St. Georgen: Schnitzer.
- Wendt, T., Petri, H. (1993). *Eiweißfasten*. Heidelberg: Karl F. Haug-Verlag.
- Westphal, G., Gerber, G., Lipke, B. (2003). *Proteine – nutritive und funktionelle Eigenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wildman, R. E. C., Medeiros, D. M. (2000). *Advanced Human Nutrition*. Boca Raton, London, New York, Washington, D. C.: CRC Press.
- Young, S. N. (1991). The 1989 Borden Award Lecture. Some effects of dietary components (amino acids, carbohydrate, folic acid) on brain serotonin synthesis, mood, and behavior. *Can. J. physiol. Pharmacol.* 69, 7, 893-903.
- Zeisel, S. H., Blusztajn, J. K. (1994). Choline and human nutrition. *Annual review of nutrition* 14, 269-296.
- Zigmond, M. J., Bloom, F. E., Landis, S. C., Roberts, J. L., Squire, L. R. (Eds.) (1999). *Fundamental Neuroscience*. San Diego u. a.: Academic Press.
- Zimmermann, H. (2001). *Molekulare Funktionsträger der Nervenzelle*. In Dudel, J., Menzel, R., Schmidt, R. F. (Hrsg.), *Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition* (pp. 33-61). Berlin u. a.: Springer.