

Alexandra Schek

## Mediterrane Kost auch für Leistungssportler?!

Neben (regel)mäßiger Bewegung wirkt eine vernünftige Ernährungsweise protektiv gegen die sogenannten Zivilisationskrankheiten. Darüber hinaus trägt das Einhalten bestimmter Ernährungsrichtlinien zu einer Verbesserung der sportlichen Leistung bei, wohingegen Fast food diese beeinträchtigt. Bleibt zu definieren, was unter vernünftiger Ernährung zu verstehen ist, und welche speziellen Ernährungsrichtlinien während intensiven Belastungen und bei der Wett-

kampfvorbereitung (carbohydrate vs. fat loading) zu beachten sind. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf den Einfluss des Kohlenhydrat- und Fettverzehr auf die Leistung. Es soll verdeutlicht werden, dass es nicht nur, wie jahrzehntelang diskutiert, um die Frage geht, wie groß der jeweilige Anteil dieser Nährstoffe an der Energiezufuhr sein soll, sondern auch darum, welche Fette bzw. Kohlenhydrate zu bevorzugen sind. Quantität und Qualität, lautet die Devise. In diesem

Zusammenhang wird die Rolle der verschiedenen Fettsäurearten ebenso erläutert wie das Konzept von Glykämischem Index bzw. Glykämischer Last. Der Beitrag schließt mit einem „mediterranen Ernährungskreis“, der die optimale Lebensmittel-Zusammenstellung für Leistungssportler im Training zeigt, aber auch für Breiten- und Nichtsportler geeignet ist.

Eingegangen: 23.7.2003

### 1. Fette, Kohlenhydrate und Gesundheit

Um die Bevölkerung vor den *ernährungsmitbedingten Krankheiten* zu schützen, die die 10 häufigsten Todesursachen in Deutschland darstellen – Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, bösartige Neubildungen und Typ 2-Diabetes mellitus (Statistisches Bundesamt, 2003) – und nicht selten mit Übergewicht assoziiert sind, plädiert die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) seit über 40 Jahren (Oberritter, 2000) für eine Beschränkung der Fettzufuhr auf 30 Energieprozent (en%) und der Cholesterinzufuhr auf 300 mg. In neuerer Zeit wird zusätzlich ein Verhältnis von ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren von 2 zu 1 sowie ein Verhältnis von  $\omega$ 6- zu  $\omega$ 3-Fettsäuren von 5 zu 1 empfohlen. Gesteigert werden soll der Verzehr pflanzlicher Lebensmittel mit komplexen Kohlenhydraten und Ballaststoffen. Rotes Fleisch und Alkohol dagegen sollen gemieden oder nur in geringen Mengen genossen werden (DGE, 2000b, S. 330f.). Ähnliche Anweisungen formulierte bis zum Jahr 2000 auch die American Heart Association (AHA; Krauss et al., 2000). In der Tat ging die Fettzufuhr in Deutschland in den letzten 20 Jahren von rund 40 auf 36 en% zurück (DGE, 2000, S. 44f.), was für eine verbesserte Übereinstimmung des Ernährungsverhaltens mit den -empfehlungen spricht (Sell et al., 2003), und in den USA sogar von 42 auf 34 en% (Ludwig, 2000). Nicht so die sogenannten Zivilisationskrankheiten: Weltweit nimmt das Aufkommen an Adipositas, kardiovaskulären Erkrankungen, Krebs, Typ 2-Diabetes und Metabolischem Syndrom (engl. syndrom X), das durch Übergewicht, Bluthochdruck, Hyperlipidämie und Insulinresistenz gekennzeichnet ist

(Krauss et al., 2000), stetig zu (Chopra et al., 2002), wobei der Grundstein dafür oft bereits im Kindesalter gelegt wird (Ebbeling et al., 2002; Sondike et al., 2003). Da sich der Fettanteil in der Kost zugunsten des Kohlenhydratanteils vermindert hat, ergibt sich fast zwingend die Frage, ob die Ursache für die genannte Morbiditäts-/Mortalitäts-Entwicklung in eben dieser Verschiebung der Nährstoffrelation zu suchen ist, zumal in demselben Zeitraum der Stellenwert der leicht resorbierbaren Kohlenhydrate zugenommen hat (Willett, 1998b). In einer aktuellen *Meta-Analyse* (Mensink et al., 2003) auf der Basis von 60 kontrollierten Studien wurde berechnet, dass sich der Ersatz von 10 en% gemischtem Fett in einer durchschnittlichen US-amerikanischen Kost durch 10 en% Kohlenhydrate ungünstiger auf das Verhältnis von gesamttem zu HDL-Cholesterin im Serum auswirkt als der isoenergetische Ersatz durch ein bestimmtes Fett. Im Gegensatz zu Butter, Margarine und Schokolade würden sich Cocos-, Palmkernfett und Mayonnaise, besonders aber Raps-, Soja- und Olivenöl sogar positiv auf diesen Marker für kardiovaskuläre Erkrankungen auswirken. Bereits ein Jahrzehnt zuvor hatten Mensink und Katan (1992) auf der Basis einer Meta-Analyse von 27 kontrollierten Studien berechnet, dass der Ersatz von ungesättigten, aber auch gesättigten Fettsäuren durch Kohlenhydrate das kardiovaskuläre Erkrankungsrisiko erhöht, weil es zu einem Anstieg der Triglyceridkonzentration im Plasma bei gleichzeitiger Abnahme der HDL-Konzentration kommt. Katan (1998) leitet daraus die Empfehlung ab, den Fettgehalt der Nahrung bei 35 anstatt bei 30 en% anzusetzen und gesättigte durch ungesättigte Fettsäuren zu ersetzen. Außerdem weist er darauf hin, dass es in Bezug auf die HDL-senkende Wirkung einer fettarmen Kost keinen wesentlichen Unterschied macht, ob die Kohlenhydrate in einfacher oder komplexer Form vorliegen. Hinsichtlich der glykämischen Kontrolle zeigte eine unlängst an Typ 2-Diabetikern durchgeführte Stu-

die (Hays et al., 2002), dass diese durch eine Verminderung des Stärkeverzehr zugunsten gesättigter Fettsäuren im Rahmen einer Diät mit insgesamt relativ niedrigem Anteil an Kohlenhydraten und hohem Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren verbessert wird, ohne dass ein negativer Effekt auf die Blutfettwerte zu beobachten gewesen wäre. *Ketogene Diäten*<sup>1</sup>, die bis zu 65 Prozent der Energie in Form von Fett liefern, wirken sich nicht negativ oder sogar positiv auf das Fettprofil und die glykämische Kontrolle aus, was teilweise auf die mit dieser Kostform einhergehende willkürliche Reduktion der Energiezufuhr bzw. die damit einhergehende Gewichtsabnahme zurückzuführen ist. In Kurzzeit-Studien (6 Wochen) an Gesunden (Sharman et al., 2002; Volek et al., 2002) nahmen die Nüchternkonzentrationen an Triglyceriden und Insulin ebenso nachweislich ab wie in Langzeitstudien (6 bis 12 Monate) an Übergewichtigen (Foster et al., 2003; Samaha et al., 2003). Andere Autoren fanden keine Unterschiede im Einfluss auf das Fettprofil nach einer fettreichen im Vergleich zu einer fettarmen Diät (3 bis 6 Monate) bei Erwachsenen (Brehm et al., 2003) bzw. Jugendlichen (Sondike et al., 2003). Eine Meta-Analyse von 107 kontrollierten Studien kommt zu dem Ergebnis, dass sich kohlenhydratarmer Kostformen nicht negativ auf Blutfette, Nüchtern-Glucose/-Insulin ab wie in Langzeitstudien und dass die Reduzierung von Übergewicht vom Umfang und von der Dauer der Energie-restriktion abhängt, nicht jedoch vom Kohlenhydrat- oder Fettgehalt der Diät (Bravata et al., 2003). Es scheint, dass weder ein niedriger Fettgehalt ein Kriterium für den Erfolg einer Reduktionsdiät ist (Willett, 1998a) noch ein hoher Fettgehalt ein unabhängiger Risikofaktor für eine Gewichtszunahme (Ebbeling et al., 2002). Somit dürfte kein Zusammenhang zwischen Fettverzehr und Körperfett bestehen (Willett, 1998c; Worm, 2002), was an anderer Stelle jedoch behauptet wird (DGE, 2000a, S. 144).

<sup>1</sup> Ketogene Diäten haben den Nachteil, dass sie zu z. T. erheblichen Elektrolytverlusten (Kalium, Calcium, Magnesium) im Urin führen.

<sup>2</sup> Der Beitrag von Schneider in dieser Ausgabe von „Leistungssport“ beschäftigt sich u. a. mit den ernährungswissenschaftlichen Grundlagen zum Thema Fettsäuren.

Wie in Abb. 1 schematisch dargestellt, gibt es Ähnlichkeiten in der *Stoffwechsel-Wirkung* bestimmter mit der Nahrung zugeführter Fette bzw. Kohlenhydrate. Lebensmittel mit hohem Anteil an leicht resorbierbaren Kohlenhydraten („hoher GI“, s.u.) führen langfristig nicht nur zu Insulinresistenz, sondern auch zu Dyslipidämie. Und gesättigte Fettsäuren, Cholesterin und ein hohes  $\omega 6$ - zu  $\omega 3$ -Fettsäure-Verhältnis begünstigen gleichermaßen die Entwicklung von Hyperlipidämie und Insulinresistenz.

Um das Flussdiagramm in Abb. 1 auf einen Nenner zu bringen: Fast food und Inaktivität fördern direkt und indirekt (über die Begünstigung von Übergewicht) das Auftreten der Zivilisationskrankheiten (Hu et al., 2000a), wohingegen sportliche Betätigung dieser Entwicklung direkt und indirekt (über die Vermeidung von Übergewicht) entgegenwirkt (Hu et al., 2000b). Moderate sportliche Aktivität mehrmals pro Woche schützt vor Herz-Kreislauf-Krankheiten (Liu et al., 2000c) und verbessert die Insulinsensitivität (Helge et al., 1998; Khaw et al., 2001). Dagegen dürften extreme sportliche Belastungen als Risikofaktor zu bewerten sein, da der damit einhergehende oxidative Stress (Horvath et al., 2000a) – besonders bei hohen Ozonwerten (Sommerhitze!) – zu Läsionen an den Blutgefäßen führen kann, wodurch

einerseits atherosklerotischen Veränderungen Vorschub geleistet und andererseits die Insulinsensitivität negativ beeinflusst würde (s.u.).

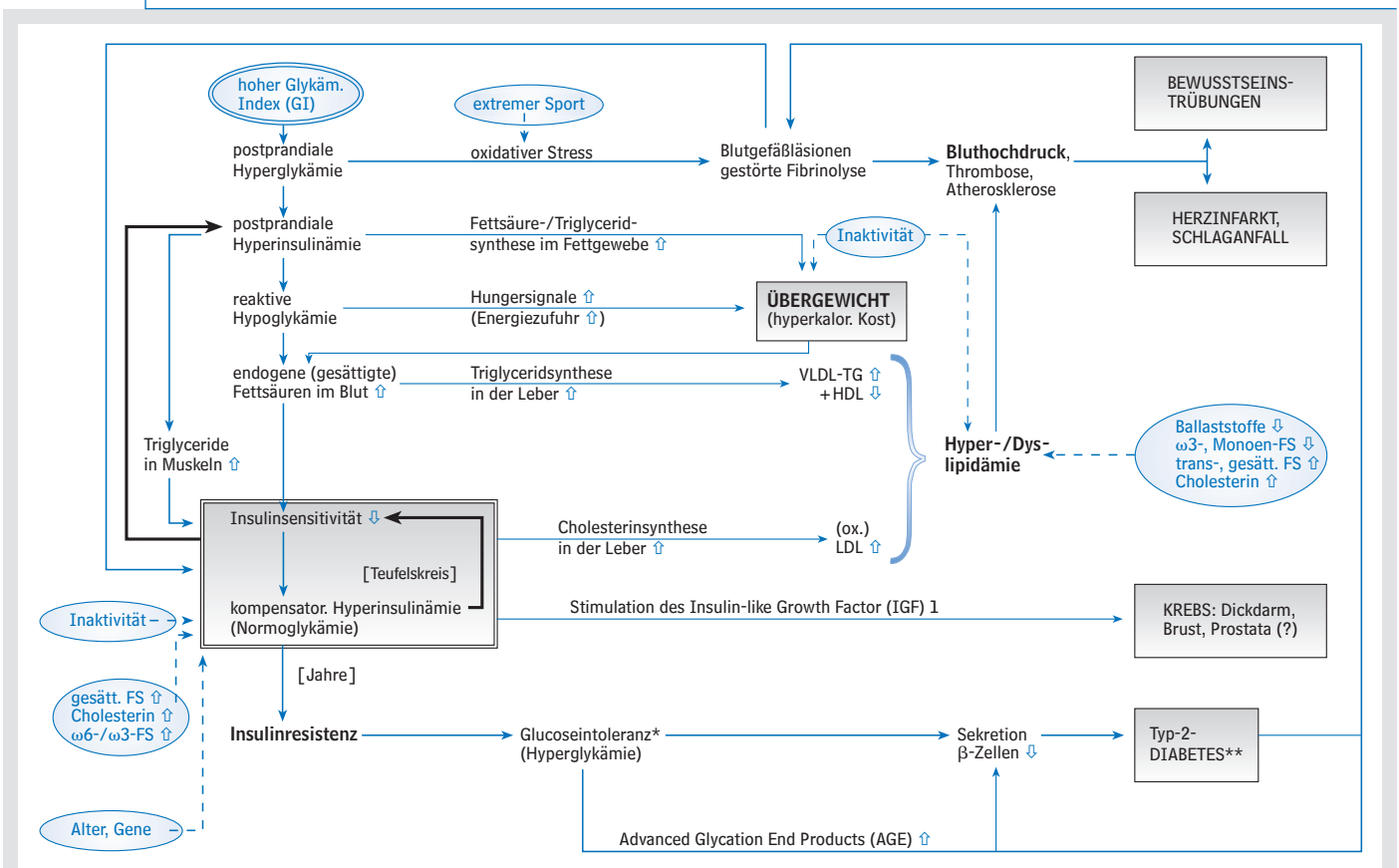
### Fettsäureverhältnis<sup>2</sup>

Eine Restriktion der Zufuhr von gesättigten Fettsäuren und Cholesterin mit der Nahrung reduziert zwar die Konzentrationen an Triglyceriden und Gesamt- bzw. LDL-Cholesterin im Blut, bietet aber keinen nachweisbaren Schutz vor kardiovaskulären Erkrankungen (Liu et al., 2001), vermutlich weil es gleichzeitig zu einer Abnahme der HDL-Konzentration kommt (Katan, 1998). Eine Erhöhung der Zufuhr an einfach ungesättigten und bestimmten mehrfach ungesättigten Fettsäuren auf Kosten von gesättigten und trans-Fettsäuren dagegen verbessert das Fettprofil, ohne sich negativ auf das HDL-Cholesterin auszuwirken. Im Gegenteil, die HDL-Konzentration steigt durch diese Maßnahme sogar an (Hu et al., 1999a). In den letzten Jahren häufen sich die Beweise, dass neben einer Verminderung des Verhältnisses von *gesättigten zu ungesättigten Fettsäuren* auch eine Verminderung des  $\omega 6$ - zu  $\omega 3$ -Fettsäurenverhältnisses in der Kost das Risiko der Entstehung von Herz-Kreislauf-Krankheiten zu reduzieren vermag (Hu et al., 1999b). So

wohl pflanzliche (Lorgeril et al., 1994, 1999; Singh et al., 1992, 2002) als auch tierische (Leaf et al., 2003; Oomen et al., 2000; Siscovick et al., 2003)  $\omega 3$ -Fettsäuren wirken gesundheitsprotektiv (anti-arrhythmisch). Besonders reich an Eicosapentaensäure (EHA; C20:5 $\omega 3$ ) und Docosahexaensäure (DHA; C20:6 $\omega 3$ ) sind die fetten (jodreichen) Seefische Makrele, Hering, Thunfisch und Dornhai sowie die fetten Süßwasserfische Aal, Lachs und Wels, reich an  $\alpha$ -Linolensäure (ALA; C18:3 $\omega 3$ ) die Öle aus Perilla, Lein, Raps, Walnüssen und Soja (Souci et al., 2000). Oliven- und Rapsöl sind gute Quellen für einfach ungesättigte Fettsäuren, die sich ebenfalls günstig auf die Blutfette auswirken (Reduktion der Triglyceridkonzentration). Negative Wirkungen haben die *trans-Fettsäuren*, die in geringen Mengen im Fett von Wiederkäuerfleisch und -Milch vorkommen, vor allem aber bei der industriellen Fetthärtung (Hydrogenierung ungesättigter Fettsäuren aus Pflanzenölen) entstehen. Besonders hohe Gehalte an trans-Fettsäuren haben Fast food, Fritiergut und Gebäck (Zock & Katan, 1997). Außerdem sind sie der Hauptbestandteil von CLA-Präparaten (Scheek, 2002a).

Eine Erhöhung der Zufuhr von  $\omega 3$ -Fettsäuren verbessert die Insulinsensitivität, während eine hohe Zufuhr, aber auch eine vermehrte kör-

Abb. 1 Wirkung von „Fast food“ und (In-)Aktivität auf die Entstehung der sog. Zivilisationskrankheiten



Blau: die wichtigsten Einflussfaktoren im Einzelnen.

Fettgedruckt: die Komponenten des Metabolischen Syndroms.

\* Relatives Insulindefizit (Blutglucose 2 h nach oralem Glucosetoleranztest: > 200 mg/dl).

\*\* Absolutes Insulindefizit (dito, außerdem Nüchternblutglucose: > 125 mg/dl).

pereigene Synthese von gesättigten Fettsäuren, wie sie bei hyperkalorischer Ernährung auftritt (Morris et al., 2003), sie verschlechtert. Die Insulinsensitivität korreliert mit der Membranfluidität. Diese wird durch  $\omega$ 3-Fettsäuren gesteigert, durch gesättigte Fettsäuren und Cholesterin dagegen verringert. Eine starre Membran behindert die Bindung von Insulin an die entsprechenden Rezeptoren (Helge et al., 1998).

## Glykämischer Index und Glykämische Last

Es ist seit langem bekannt, dass der Verzehr leicht resorbierbarer Kohlenhydrate den Blutzuckerspiegel starken Schwankungen aussetzt, was langfristig zu Insulinresistenz (Virkamäki et al., 1999) bzw. einem manifesten Typ 2-Diabetes führen kann (Salmeron et al., 1997a, b). Darüber hinaus bewirken wiederholte starke Auslenkungen des Blutzuckerspiegels aber auch eine Erhöhung des Triglyceridspiegels, v.a. in Form von VLDL (Schwarz et al., 2003), bei gleichzeitiger Abnahme der HDL-Konzentration (Frost et al., 1999) und möglicher Erhöhung der LDL-Konzentration (Liu & Willett, 2002), wodurch die Entstehung von Herzinfarkt und Schlaganfall gefördert wird (Liu et al., 2000b). Erst im Zuge der Untersuchung der zugrunde liegenden biochemischen Mechanismen wurde jedoch klar, dass leicht resorbierbar nicht mit zuckerreich gleichzusetzen ist. Die Unterteilung in einfache Kohlenhydrate wie Mono-, Di- und Oligo-Saccharide und komplexe Kohlenhydrate wie Stärke und Nicht-Stärke-Polysaccharide wird den physiologischen Wirkungen nicht gerecht (Augustin et al., 2002; Liu et al., 2000a; Ludwig, 2002). Nicht nur zucker-, sondern auch stärkereiche Lebensmittel können, bedingt durch schnelle Verdauung und Resorption im Dünndarm, ein starkes Anfluten von Glucose im Blut sowie eine entsprechend hohe Ausschüttung von Insulin aus den  $\beta$ -Zellen des Pankreas zur Folge haben (Abb. 1). Die postprandiale Hyperglykämie erhöht – wie hochintensive Belastungen – die oxidative Stresswirkung auf Blutgefäße und Blutbestandteile (Augustin et al., 2002), wodurch es zu endothelialen Funktionsstörungen und vorübergehender Hyperkoagulation kommen kann, die wiederum Insulinsensitivitätsminderungen (Pinkney et al., 1997), Blutdruckerhöhungen (Liu et al., 2000b), Thromboseeignung (Lefebvre & Scheen, 1998), atherosklerotische Veränderungen (Liu et al., 2001) und Bewusstseinsstörungen (Kalmijn et al., 1995) begünstigen. Die postprandiale Hyperinsulinämie bewirkt eine rasche Aufnahme der Glucose in die peripheren Gewebe, wo sie oxidiert und/oder (als Glycogen oder Fett) gespeichert wird, sowie eine Unterdrückung der Gluconeogenese in der Leber, sodass es nach ca. drei Stunden zu einer reaktiven Hypoglykämie, d.h. Unterzucker, kommt (Willett et al., 2002). Dies wiederum löst Hunger aus – der eine gesteigerte willkürliche Energiezufuhr und damit die Entstehung von Übergewicht begünstigt (Ludwig et al., 1999a) – und ist Signal für eine gesteigerte Sekretion

gegenregulierender Hormone wie Glucagon, Adrenalin, Cortisol und Wachstumshormon, was in einer verstärkten Abgabe von Glucose aus der Leber und Fettsäuren aus dem Fettgewebe resultiert. Die mehrstündige Erhöhung der Konzentration an freien Fettsäuren im Blut (Jenkins et al., 1990) hat einerseits eine Steigerung der Triglyceridsynthese in der Leber (Parks & Hellerstein, 2000) mit anschließender vermehrter Abgabe von VLDL an die Peripherie (Schwarz et al., 2003) und andererseits eine Hemmung der Glucoseaufnahme in die Muskeln (Dresner et al., 1999) zur Folge. Diese Reduktion der Insulinsensitivität des Muskelgewebes wird noch durch die in Folge der postprandialen Hyperinsulinämie gesteigerte Malonyl-CoA- bzw. Triglyceridbildung in den Muskelzellen verstärkt (Rasmussen et al., 2002). Die verminderte Insulinsensitivität wiederum hat eine kompensatorische Hyperinsulinämie zur Folge, die neben einer erhöhten Cholesterinsynthese in der Leber (Augustin et al., 2002) zu einer down-Regulation der Insulin-Rezeptoren führt (Kasper, 1996, S. 249f.), wodurch eine weitere Steigerung der Insulin-Ausschüttung erforderlich wird (Liu & Willett, 2002), ein Teufelskreis, der nach Jahren in die Insulinresistenz und in eine Erschöpfung der  $\beta$ -Zellen des Pankreas mündet (Virkamäki et al., 1999). Durch Sauerstoffradikale und Advanced Glycation End Products (AGE), wie sie im durch Hyperglykämie gekennzeichneten Zustand der Glucoseintoleranz vermehrt entstehen, kann es überdies zu einer Zerstörung der  $\beta$ -Zellen kommen (Liu et al., 2002; Ludwig & Ebbeling, 2001), sodass aus einem relativen Insulindefizit (Prädiabetes) schließlich ein absolutes Insulindefizit (manifestes Diabetes) wird. Des Weiteren können die Radikale und die AGE Läsionen an den Blutgefäßen hervorrufen bzw. verstärken (Ludwig & Ebbeling, 2001), was bei bestehender Hyper- oder Dyslipidämie (Liu et al., 2001; Frost et al., 1999) die Manifestation von Makro- und Mikroangiopathien zur Folge hat (Ludwig & Ebbeling, 2001). Daneben ist nicht ausgeschlossen, dass leicht resorbierbare Kohlenhydrate durch Stimulierung des Insulin-like Growth Factor (IGF) I die Entstehung von kolorektalem, Brust- und Prostata-Krebs fördern (Augustin et al., 2002). Zwei Übersichtsarbeiten (Augustin et al., 2002; Ludwig, 2002) fassen die Ergebnisse epidemiologischer und klinischer Studien zur Pathophysiologie zusammen. Lebensmittel mit hohem Anteil an leicht resorbierbaren Kohlenhydraten haben einen hohen *Glykämischen Index (GI)*. Der GI ist eine Kennzahl, die ausdrückt, um wie viel und wie schnell 50 g Kohlenhydrate in einem Lebensmittel den Blutzuckerspiegel erhöhen im Vergleich zu 50 g Glucose oder 50 g Kohlenhydraten in Weißbrot (Wolever et al., 1991).

$$GI = \frac{\text{Fläche unter Blutzucker-Zeit-Kurve nach Test-Lebensmittel}}{\text{Fläche unter Blutzucker-Zeit-Kurve nach Referenz-Lebensmittel}} \cdot 100$$

Eine Berechnung des GI auf der Basis von Daten zur Lebensmittelzusammensetzung ist nicht möglich (Augustin et al., 2002; Wolever

et al., 1991), denn er wird nicht nur von der Zusammensetzung des Lebensmittels (Gehalt an Kohlenhydraten, Ballaststoffen, Fett, Proteinen, an nutritiven Bestandteilen) beeinflusst, sondern maßgeblich auch von der Art und dem Ausmaß der Verarbeitung, d.h. von Partikelgröße, Textur, Viskosität, Retrogradierung u.ä. Die Tatsache, dass die experimentell ermittelten Werte interindividuell schwanken, sollte nicht zu Kritik des Konzepts veranlassen, denn die Rangfolge der Lebensmittel ist einheitlich (Liu & Willett, 2002; Ludwig, 2002; Wolever et al., 1991). Tab. 1 listet häufig verzehrte Lebensmittel mit hohem, mittlerem und niedrigem GI auf. Zum Vergleich: der GI von Haushaltszucker liegt bei 65. Der GI einer Mahlzeit entspricht dem nach Kohlenhydratgehalt der einzelnen Komponenten gewichteten Mittel der Einzel-GI (Wolever et al., 1991). In Studien an Sportlern findet der GI der Testnahrung zunehmend Berücksichtigung (s. 3. Abschnitt).

Da die Fläche unter der Blutglucose-Zeit-Kurve nicht nur durch die Geschwindigkeit der Glucoseresorption, sondern auch durch die resorbierbare Kohlenhydratmenge beeinflusst wird, hat sich in der Praxis die Berechnung der *Glykämischen Last (GL)* bewährt (Salmeron et al., 1997; Liu et al., 2001; Willett et al., 2002).

$$GL = \frac{GI \cdot \text{Kohlenhydratgehalt pro Portion}}{100}$$

Gemäß Liu et al. (2000a) ist eine GL von mehr als 89 pro 1000 kcal mit einem erhöhten kardiovaskulären und Diabetes-Risiko assoziiert. Wie aus Tab. 1 zu ersehen ist, überschreiten alle Lebensmittel mit hohem GI (z.B. Bonbons, Sportlergetränke, Kartoffeln, helles Brot) diesen Grenzwert. Polierter Reis, Teigwaren, reife Bananen und Limonaden, die einen mittleren GI haben, überschreiten ihn ebenfalls, wenn auch im Fall der Nudeln und der Bananen verhältnismäßig geringfügig. Die übrigen Lebensmittel mit mittlerem GI (z.B. Müsli, Vollkornbrot, Orangensaft, Schokolade) und alle Lebensmittel mit niedrigem GI (z.B. Obst, Gemüse (saft), Hülsenfrüchte, Milch (Produkte), Nüsse) haben eine niedrige GL.

Eine Reduktion der GL, die täglich auf den Körper einwirkt, kann, ebenso wie regelmäßige sportliche Betätigung (Bowden & McMurray, 2003), metabolische Vorteile haben im Sinn einer verbesserten glykämischen Kontrolle, eines Schutzes vor erhöhten Blutfetten und einer Stabilisierung des Körpergewichts (Burke, 1998b; Frost et al., 1998). Personen über 60 Jahre und/oder mit einem BMI über 25 kg/m<sup>2</sup> profitieren nachgewiesenermaßen von dieser Maßnahme (Tavani et al., 2003). Für Sportler dürfte eine Berücksichtigung der GL insofern interessant sein, als niedrigere Werte mit einer höheren Aktivität der muskulären Lipoproteinlipase, d.h. mit einer Stimulierung der Aufnahme von Fettsäuren aus VLDL-Triglyceriden in die Muskelzellen, assoziiert zu sein scheinen (Starling et al., 1997). Prinzipiell eignet sich das Konzept der GL sehr gut als Basis für lebensmittelbezogene Ernährungsempfehlungen (s. 5. Abschnitt).

## 2. Kohlenhydrate, Fette und Wettkampfvorbereitung

Regelmäßiges Ausdauertraining verbessert die Kapazität der Muskeln, Fettsäuren und Glucose zu oxidieren sowie Glycogen und Triglyceride einzulagern, wobei an dieser Adaptation zahlreiche Faktoren beteiligt sind, wie z.B. hormonelle Anpassungen, Kapillarisation und Mitochondriendichte (Brouns & van der Vusse, 1998; Schek, 1997). Die Fettsäuren, die bei höherem Trainiertheitsgrad vermehrt oxidiert werden, stammen nicht aus Fettgewebe, sondern aus VLDL- und möglicherweise aus intramuskulären Triglyceriden (Mittendorfer & Klein, 2003). Generell liefern das Fettgewebe und die Lipidtröpfchen in und um die Muskulatur zu je etwa 50 Prozent die während einer Belastung verbrauchten Fettsäuren (Mittendorfer & Klein, 2003).

Carbohydrate Loading (CL) zielt darauf ab, die Konzentrationen an Muskel- und Leberglycogen und damit die Glucoseverfügbarkeit in der arbeitenden Muskulatur über das ursprüngliche Maß hinaus zu steigern. Die erste sogenannte Kohlenhydrat-Superkompensation wurde bereits 1967 von Bergström et al. beschrieben (vgl. Kiens, 2001). Die Autoren wiesen einen leistungssteigernden Effekt nach, was in den Folgejahr(zehnt)en möglicherweise zu einer grundsätzlichen Überbewertung der Kohlenhydrate in der Ernährung des Ausdauersportlers geführt hat.

Fat Loading (FL) soll die Konzentrationen an intramuskulären Triglyceriden, VLDL-Triglyceriden und freien Fettsäuren im Blut erhöhen mit dem Ziel, mehr Fettsäuren für die Energiebereitstellung heranzuziehen und dadurch Glycogen einzusparen. Immerhin konnte, was bereits an Ratten demonstriert worden war (Tossa et al., 2002), inzwischen für den Menschen bestätigt werden: Eine 5-tägige fettreiche Kost (> 65 en%) hat im Vergleich zu einer kohlenhydratreichen Kost (> 70 en%) eine gesteigerte Oxidation von Fettsäuren in der Muskulatur zur Folge (Cameron-Smith et al., 2003), wobei die zusätzlich oxidierten Fettsäuren überwiegend aus VLDL- (Helge et al., 2001; Schrauwen, 2000) und zu einem kleineren Teil aus intramuskulären Triglyceriden (Schrauwen et al., 2000) sowie dem Pool freier Fettsäuren im Blut (Helge et al., 2001) zu stammen scheinen. Der Triglyceridgehalt der Muskulatur ist nach fettreicher Kost erhöht (Helge, 2002; Hoppeler et al., 1999).

### Carbohydrate Loading

Wie in der Übersicht von Hawley et al. (1997) beschrieben, gibt es zahlreiche Studien, die belegen, dass Carbohydrate Loading (CL) die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessert.

Ein stetig ansteigender Kohlenhydratverzehr von 8 auf 10 g/kg KG in den drei Tagen vor einem Ausdauerereignis führt bei gleichzeitiger kontinuierlicher Reduktion von Trainingsumfang und -intensität zu einer überproportionalen Steigerung des Glycogengehalts in der belasteten Muskulatur, d.h. zu einer Steigerung

über den Ausgangswert hinaus (Sherman, 1989). Diese sogenannte „tapering“-Methode der Kohlenhydrat-Superkompensation hat gegenüber der traditionellen Methode mit muskelglycogenentleerender Trainingseinheit und Ruhetag (Sherman et al., 1981) den Vorteil, dass sie mental keine negativen Auswirkungen hat. Ein Nachteil beider Methoden ist jedoch, dass sie relativ viel Zeit in Anspruch nehmen. Ein *neuer Ansatz* besteht daher in einer erschöpfenden Belastung bei (supra)maximaler Intensität (ca. 3 min), gefolgt von einem Kohlenhydratverzehr von 10 g/kg KG in Form von Lebensmitteln mit hohem GI innerhalb der darauffolgenden 24 Stunden (Fairchild et al., 2002). Die Autoren wiesen in allen Muskelfasertypen eine Erhöhung der Ausgangsglycogen-

konzentration um durchschnittlich 73 Prozent nach.

Ein unlängst veröffentlichter Artikel von Burke et al. (2000b) wirft die Frage auf, ob die beobachteten Leistungssteigerungen tatsächlich auf die vermehrte muskuläre Glycogeneinlagerung zurückzuführen sind oder auf psychische Effekte. Im Gegensatz zu den anderen Arbeitsgruppen, die den Einfluss von CL auf die Leistung untersucht hatten, wendeten sie erstmals ein doppelblindes placebo-kontrolliertes Cross-over-Versuchsdesign an. Die Probanden absolvierten zweimal im Abstand von einer Woche ein 100 km-Zeitfahren, in das vier 4 km- und fünf 1 km-Sprints „eingestreut“ waren, nachdem sie während drei Tagen entweder 9 oder 6 g Kohlenhydrate/kg KG bekommen hatten.

TAB. 1

Lebensmittel	Kohlenhydratdichte in g pro 100 g	Portionsgröße in g bzw. ml	Kohlenhydratgehalt in g pro Portion	Glykämischer Index <sup>1)</sup>	Glykämische Last <sup>2)</sup>	Energiedichte in kcal pro Portion
<b>hoher Glykämischer Index (&gt; 65)</b>						
Bonbons <sup>3)</sup>	≈ 80	50 (1/4 Tüte)	40	≈ 80	<b>32,0</b>	≈ 200
Sportlergetränke	8	180 (1 Glas)	15	78	<b>11,7</b>	60
Kartoffeln, gekocht	15	140 (1 Stück)	20	76	<b>15,2</b>	100
Weizenbrot	50	60 (1 Scheibe)	30	70	<b>21,0</b>	140
Roggenbrot	50	60 (1 Scheibe)	30	69	<b>20,7</b>	135
<b>mittlerer Glykämischer Index</b>						
Polierter Reis	78 (trocken)	50 (1 Beilage)	40	64	<b>25,6</b>	170
Cola	11	180 (1 Glas)	20	63	<b>12,6</b>	80
Müsliflocken	63 (trocken)	50 (1 Portion)	30	56	<b>16,8</b>	200
Banane, reif	18	110 (1 Stück)	20	52	<b>10,4</b>	100
Orangensaft	9	180 (1 Glas)	15	50	<b>7,5</b>	85
Macaroni, Linguine	73 (trocken)	55 (1 Beilage)	40	48	<b>19,2</b>	190
Milkschokolade <sup>4)</sup>	50	40 (1 Riegel)	20	43	<b>8,6</b>	215
Pumpernickel	41	50 (2 Scheiben)	20	41	<b>8,2</b>	95
<b>niedriger Glykämischer Index (&lt; 40)</b>						
Apfelsaft	11	180 (1 Glas)	20	39	<b>7,8</b>	90
Tomatensaft	3	180 (1 Glas)	5	38	<b>1,9</b>	30
Apfel	13	160 (1 Stück)	20	37	<b>7,4</b>	85
Joghurt <sup>4)</sup>	4	200 (1 Becher)	8	36	<b>2,8</b>	140
Birne	12	160 (1 Stück)	20	33	<b>6,6</b>	90
Karotten, gekocht	5	200 (3 Stück)	10	32	<b>3,2</b>	50
Aprikosen, getr.	48	40 (1/4 Tüte)	20	29	<b>6,2</b>	95
Kidneybohnen	40 (trocken)	50 (1 Beilage)	20	28	<b>5,8</b>	130
Vollmilch <sup>4)</sup>	5	190 (1 Glas)	10	27	<b>2,7</b>	125
Karotten, roh	5	200 (3 Stück)	10	16	<b>1,6</b>	50
Erdnüsse <sup>4)</sup>	17	30 (1 Snack)	5	14	<b>0,7</b>	180
Kohlgemüse <sup>4)</sup>	3	200 (1 Beilage)	5	nicht messbar	<b>&lt;0,1</b>	60

Berechnung der Glykämischen Last auf der Basis des Glykämischen Index.

Modifiziert nach Foster-Powell (2002) mit Hilfe von Souci et al. (2000).

<sup>1)</sup> GI mit Basis Glucose (Multiplikation mit 1,43 ergibt den GI mit Basis Weißbrot).

<sup>2)</sup> Fettgedruckte Werte kennzeichnen Lebensmittel, deren GL bezogen auf 1000 kcal 89 überschreitet.

<sup>3)</sup> Untersucht wurden Jelly Beans; der Wert dürfte in etwa auch für Karamellbonbons, Lakritz und Fruchtgummi gelten.

<sup>4)</sup> Lebensmittel mit niedrigem Kohlenhydratanteil (< 40 en%)

An den Testtagen erhielten sie jeweils ein Frühstück (2 g Kohlenhydraten/kg KG) und während der Belastungen ein Getränk (1 g Kohlenhydrate/kg KG/h). Nach der höheren Kohlenhydratzufuhr in den Tagen vor der Belastung war zwar die in den Muskeln gespeicherte Glycogenmenge erhöht, es zeigte sich jedoch kein Leistungsunterschied. Daraus könnte man schließen, dass die Erwartung einer Leistungssteigerung durch eine Ernährungsmaßnahme, die aus der Literatur als leistungsfördernd bekannt ist, bereits ausreicht, um die Leistung zu verbessern. Eine alternative Erklärung wäre, dass die Kohlenhydratzufuhr während der Belastung ein Absinken des Muskelglycogengehalts unter den leistungslimitierenden Bereich verhindert hat.

## Fettloading

Die zum Thema Fettloading (FL) durchgeführten Studien können in vier Gruppen eingeteilt werden:

- kurzfristiges FL ohne CL,
- langfristiges FL ohne CL,
- langfristiges FL mit CL und
- mittelfristiges FL mit CL.

Das FL (60 bis 70 en% Fett) über mehr als 5 Tage dient der Adaptation an größere Fettmengen, da diese langsamer erfolgt als die Adaptation an größere Kohlenhydratmengen, denn die Fettsäureoxidation ist schlechter reguliert als die Glucoseoxidation (Roy et al., 1998). Darauf folgendes, einwöchiges CL strebt Kohlenhydrat-Superkompensation an (Kiens, 2001). Ein- bis dreitägiges CL (70 bis 80 en% Kohlenhydrate) unter Ruhebedingungen dient der Wiederherstellung der Glycogenspeicher, die nach FL reduziert sind (Burke & Hawley, 2002).

*Kurzfristiges FL ohne CL* war bereits vor mehr als 30 Jahren Gegenstand einer Untersuchung an Sportlern. Bergström et al. (1967) zeigten, dass sich der Verzehr einer fettreichen Kost über 1 bis 3 Tage negativ auf die Ausdauerleistung auswirkt. 3 Tage sind für die Anpassung der Enzymsysteme an eine erhöhte Fettsäureverfügbarkeit zu kurz. Darüber hinaus geht eine solche Kost mit einer Abnahme der Glycogenreserven in Leber und Muskeln einher. Im Hinblick auf das Vorkommen von Zwischenspurts während länger dauernder Belastungen wählten Stepto et al. (2002) eine intervallartige hochintensive Belastungsform (86 %  $VO_{2peak}$ ). Sie wiesen nach, dass 3-tägiges FL den Grad der empfundenen Anstrengung erhöht, d.h. eine größere mentale Leistung erforderlich macht, um das Training zu absolvieren.

Mit dem Einfluss von *langfristigem FL ohne CL* auf die Ausdauerleistung beschäftigen sich eine ältere und fünf neuere Studien. Lambert et al. (1994) wiesen nach 2-wöchigem CL einen positiven Effekt nach, wobei das Versuchsdesign als praxisuntauglich eingestuft werden muss. Phinney et al. (1983) fanden nach 1-wöchigem FL bei einem Teilnehmer eine Leistungsverbesserung, bei den anderen dagegen keinen Effekt oder eine Verschlechterung. Diese Studie wirft die Frage auf, ob es „Responder“ und „Nicht-

Responder“ gibt. Cox et al. (1996), Goedecke et al. (1999), Pogliaghi & Veicsteinas (1999) sowie Pitsiladis & Maughan (1999) konnten nach 1- bis 12-wöchigem FL keine Leistungssteigerungen nachweisen, wobei die beiden letzten Autorenkollektive Untrainierte untersuchten bzw. eine hochintensive Belastungsform wählten. Es ist anzunehmen, dass der Vorteil der höheren Kapazität zur Fettsäureoxidation durch die verringerte Verfügbarkeit von Glycogen zunichte gemacht wird.

Die Auswirkungen von *langfristigem FL mit CL* untersuchten Helge et al. (1996) an Untrainierten, die ein 8-wöchiges Ausdauertrainingsprogramm absolvierten. Es zeigte sich, dass die Probandengruppe, die während der gesamten Zeit eine Kost mit 65 en% Kohlenhydraten verzehrt hatte, wesentlich stärkere Leistungsverbesserungen aufwies als diejenige, die sich nur während der 8. Woche in dieser Form ernährte und zuvor 62 en% Fett zugeführt hatte. Es könnte sein, dass ein mehr als 3-tägiges CL zwar die Glycogenreserven über den Ausgangswert ansteigen lässt, dabei aber gleichzeitig die Beschleunigung der Fettsäureoxidation zunichte macht. Darüber hinaus scheint auch eine stärkere mentale Beanspruchung als Einflussfaktor wahrscheinlich (Helge, 2002).

*Mittelfristiges FL mit CL* ist in letzter Zeit intensiv untersucht worden, wobei die Wirkung auf ein Zeitfahren (30 bis 60 min) im Anschluss an eine Ausdauerbelastung bei 65 bis 70 %  $VO_{2max}$  (2 bis 4 h) im Zentrum des Interesses stand. Während Lambert et al. (2001) eine signifikante Leistungsverbesserung (4 Prozent) ermitteln konnten, gelang dies in drei anderen Studien (Burke et al., 2000a, 2002; Carey et al., 2001) nicht, obwohl die Versuchsgruppen nach der Kohlenhydratladephase jeweils denselben (zum Teil sogar über dem Ausgangswert liegenden) Glycogengehalt in der Muskulatur aufwiesen wie die Kontrollgruppen. Im Unterschied zu den drei letztgenannten Studien betrug die Dauer des FL bei Lambert et al. (2001) 10 anstatt 5 oder 6 Tage, und die Kohlenhydratladephase 3 Tage anstatt 1 Tag. Es scheint, dass die (auch unter Kohlenhydratgaben vor und während Belastung bestehen bleibende) Beschleunigung der Fettsäureoxidation nicht oder nicht immer ausreicht, um die Leistung zu verbessern, obwohl real Glycogen eingespart wird. Oder aber es gibt tatsächlich „Responder“ und „Nicht-Responder“. Dies müsste in zukünftigen Studien geklärt werden.

Fazit: Beim derzeitigen Stand der Forschung ist es nicht angebracht, ein einwöchiges FL (65 en% Fett) mit anschließendem eintägigen CL (75 en% Kohlenhydrate) zu empfehlen. Gegen ein eintägiges CL (10 g Kohlenhydrate/kg KG) nach einer erschöpfenden hochintensiven Belastung oder ein dreitägiges CL (8 bis 10 g Kohlenhydrate/kg KG) mit „tapering“ des Trainingspensums ist dagegen nichts einzuwenden, auch nicht,

wenn der Effekt auf die Leistung tatsächlich psychischer Natur sein sollte. Es sei allerdings angemerkt, dass die Kohlenhydrat-Superkompensation eine Maßnahme ist, deren Anwendung nur in Ausnahmefällen Sinn macht (Horvath et al., 2000a), wie z.B. zur unmittelbaren Vorbereitung auf einen Marathon oder Triathlon.

## 3. Kohlenhydrate, Fette und intensive Belastungen in Training und Wettkampf

Unter intensiven Belastungen werden solche über 90 Minuten Dauer bei einer Intensität über 65 %  $VO_{2max}$  verstanden, wie sie nicht nur im Wettkampf, sondern auch im Training vorkommen. Nach dieser Zeit gehen die begrenzten Glycogenspeicher in Muskulatur und Leber allmählich zur Neige, sodass die Belastungsintensität nicht aufrechterhalten werden kann. Um den Zeitpunkt der Erschöpfung hinauszuzögern, bietet es sich an, Glucose von außen „nachzuschieben“. Eine andere Möglichkeit bestünde (zumindest theoretisch) darin, vermehrt Fettsäuren als Substrat anzubieten, um Glycogen zu sparen.

### Kohlenhydrate vor, während und nach der Belastung

Eine ausführliche Beschreibung der empfohlenen Kohlenhydratzufuhr im unmittelbaren Zusammenhang mit intensiven Belastungen findet sich bei Burke & Hawley (1999) sowie bei Schek (2002a). Im Folgenden stehen diejenigen Studien im Mittelpunkt, die den Einfluss des GI auf die Leistung berücksichtigt haben. Das Konzept des GI findet zunehmend Eingang in die Ernährungsrichtlinien für Leistungssportler (Burke et al., 1998b; Schek, 2002a).

Da eine mehrstündige Fastenperiode (z.B. über Nacht) mit einer Entleerung der Leberglycogenspeicher einhergeht, sollte der Tag nicht nüchtern begonnen werden. Vier Stunden vor der Belastung wird eine Zufuhr von 200 bis 300 g Kohlenhydraten in Form von Lebensmitteln mit mittlerem GI empfohlen. Die Kohlenhydrate werden verhältnismäßig schnell verdaut und resorbiert, ohne zu einer postprandialen Hyperinsulinämie zu führen. Da eine solche die Substratverfügbarkeit bei anschließender Belastung reduzieren würde (Insulin hemmt die Lipolyse und fördert die Glucoseoxidation, was an einem verminderten Fettsäure- und Glucosespiegel zu erkennen ist), wird von einigen Autoren besonders für die Zeit 30 bis 60 Minuten vor der Belastung vorgeschlagen, Lebensmittel mit hohem GI durch solche mit niedrigem GI zu ersetzen. Eine frühe Studie von Foster et al. (1979) hatte ergeben, dass eine Zufuhr von 75 g Glucose (hoher GI) 30 Minuten vor einer erschöpfenden Fahrradbelastung die Leistung verschlechterte. Thomas et al. (1991), die die Zeit bis zur Erschöpfung 60

Minuten nach dem Verzehr von entweder Linsen (niedriger GI) oder Kartoffeln (hoher GI) verglichen, kamen zu dem Schluss, dass die Linsen die Ausdauerleistung verbesserten. Keinen Unterschied dagegen fanden Stannard et al. (2000), die bei ähnlicher Versuchsanordnung Pasta (mittlerer GI) gegen Glucose (hoher GI) testeten. Drei weitere Studien (Febbraio et al., 2000; Febbraio & Stuart, 1996; Sparks et al., 1998), die anstelle der Belastungsdauer bis zur Erschöpfung, die nicht praxistypisch ist und außerdem einen hohen Variationskoeffizienten aufweist (McClellan et al., 1995), die Zeit zur Absolvierung einer vorgegebenen Leistung im Anschluss an eine länger dauernde submaximale Belastung heranzogen, machen deutlich, dass es in Bezug auf diesen Leistungsparameter keinen Unterschied macht, ob 45 Minuten vor der Belastung Kohlenhydrate bzw. Lebensmittel mit hohem oder niedrigem GI verzehrt werden. Es scheint, dass die stärkere Auslenkung des Glucose- und Insulinspiegels durch die Anpassungen des Stoffwechsels an die Bewegung, ganz sicher aber durch Kohlenhydratzufuhr während der Belastung (Burke et al., 1998a), relativiert wird. Andererseits ist nicht auszuschließen, dass es Sportler gibt, die empfindlich für extreme Blutzucker-/Insulinantworten sind. Immerhin haben in einer aktuellen Studie von Jentjens & Jeukendrup (2003) vier von acht Radsportlern im Verlauf einer 20-minütigen submaximalen Belastung auf die Zufuhr von 75 g Glucose (hoher GI) als Getränk, nicht aber auf die Zufuhr derselben Menge an Galactose (mittlerer GI) oder Trehalose (niedriger GI), mit Unterzuckerung reagiert, die sich auf das anschließende Zeitfahren allerdings nicht negativ auswirkte, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass andere Muskelfasern beansprucht wurden.

Die Zufuhr von Kohlenhydraten *während der Belastung* erhöht die Glucoseverfügbarkeit und steigert das Leistungsvermögen. Da die maximale Oxidationsrate exogener Glucose bei 1 g/min liegt, wird eine Aufnahme in dieser Höhe als ausreichend erachtet. Lebensmittel bzw. Getränke mit hohem oder mittlerem GI gewährleisten einen schnellen Übergang der Glucose vom Dünndarm ins Blut und sind solchen mit niedrigem GI daher vorzuziehen. Vergleichende Untersuchungen gibt es nicht.

Im Fall mehrerer, kurz aufeinander folgender intensiver Trainings- oder Wettkampfeinheiten kommt der Kohlenhydratzufuhr *nach der Belastung* eine besondere Bedeutung im Sinn der Wiederauffüllung der Glycogenspeicher zu. Da zu Beginn der Erholungsphase die Durchlässigkeit der Muskelzellmembranen für Glucose und die Insulinsensitivität höher sind, empfiehlt sich eine Kohlenhydrataufnahme von 1 g/kg KG kurz nach Beendigung der Aktivität. Die Wiederauffüllung der Muskelglycogenspeicher innerhalb eines Tages ist bei einer Kohlenhydratzufuhr von 8 bis 10 g/kg KG gesichert. Da Insulin die Einlagerung von Glycogen fördert, indem es die Glucoseaufnahme in die Zelle und die Aktivität des Enzyms Glycogensynthase stimuliert, kann spekuliert werden, ob Lebensmittel mit hohem GI im Vergleich zu solchen mit

niedrigem GI zu bevorzugen sind. Eine frühe Studie (Blom et al., 1987) legte dar, dass Glucose (hoher GI) und Saccharose (mittlerer GI) die muskuläre Glycogenkonzentration nach 6-stündiger Erholungsphase stärker erhöhen als Fructose (niedriger GI). Eine neuere Studie bestätigte dieses Ergebnis (Burke et al., 1993): Der Verzehr von Lebensmitteln mit hohem GI erhöhte die Glycogenkonzentration im Muskel innerhalb von 24 Stunden nachhaltiger als der Verzehr von Lebensmitteln mit niedrigem GI. Dagegen machte es keinen Unterschied, ob dieselbe Kohlenhydratmenge aus Lebensmitteln mit hohem GI in demselben Zeitraum auf 4 große Mahlzeiten oder 16 kleine Mahlzeiten verteilt wurde (Burke et al., 1996). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die großen Mahlzeiten zu einer stärkeren Insulinantwort führen (hohe GL), lässt sich daraus schließen, dass die im Verlauf der Ruhephase zugeführte Kohlenhydratmenge eine größere Rolle für die Glycogeneinlagerung spielt als der GI des Kohlenhydratträgers. Empfohlen werden Lebensmittel mit hohem und mittlerem GI, aber auch solche mit niedrigem GI tragen natürlich zur gesamten Kohlenhydrataufnahme bei.

### Fette vor, während und nach der Belastung

Die Beobachtung, dass die Konzentration an freien Fettsäuren im Plasma ein die Geschwindigkeit der Fettsäureoxidation determinierender Faktor ist, hatte die versuchsweise Anwendung verschiedenster diätetischer Maßnahmen zur Folge (Brouns & van der Vusse, 1998). Hierzu gehören fettbetonte Diäten ebenso wie die Verabfolgung lang- und mittelkettiger Triglyceride vor und während Belastung. Darüber hinaus zählen auch der Einsatz von Coffein und Carnitin-Supplementen dazu, der bereits an anderer Stelle beschrieben ist (Hawley, 2002; Schek, 2002a).

Der Einfluss einer fettreichen Mahlzeit im Vergleich zu einer kohlenhydratreichen Mahlzeit oder Fasten vier Stunden *vor einer Belastung* von 90 Minuten Dauer mit 70 %  $\text{VO}_{2\text{max}}$  und nachfolgendem Zeitfahren über 10 km wurde an gut trainierten Fahrradfahrern untersucht (Whitley et al., 1998). Die Autoren fanden keine Leistungsunterschiede, obwohl sie gravierende Unterschiede in den Plasmakonzentrationen von Substraten und Hormonen nachweisen konnten. Hieraus schlossen sie, dass die Substratoxidation in der arbeitenden Muskulatur bemerkenswert resistent gegen eine durch diätetische Maßnahmen herbeigeführte Verschiebung des Substratangebots im Blut ist.

Für die Zeit 30 bis 60 Minuten vor sowie die *während einer Belastung* wurde die orale Zufuhr von lang- und mittelkettigen Triglyceriden vorgeschlagen. Beides ist jedoch nicht zu empfehlen (Jeukendrup, 1998). Langkettige Triglyceride verzögern die Magenentleerung, sodass die Fettsäuren nur langsam ins Blut gelangen. Mittelkettige Triglyceride, die diesen Nachteil zwar nicht haben und schnell oxidiert werden, tragen zur Energiebereitstellung nur geringfügig bei, da sie nur in geringen Mengen verzehrt werden können, ohne gastrointestinale Beschwerden zu verursachen.

Décombaz et al. (2001) zeigten an Untrainierten und Trainierten, dass *nach einer Belastung* im submaximalen Intensitätsbereich die Konzentration an intramuskulären Triglyceriden unter fettreicher Kost (55 en%) nach 30 Stunden um 30 bis 45 Prozent gegenüber dem Ausgangswert erhöht ist, wohingegen sie nach einer fettarmen Kost (15 en%) um 5 bis 17 Prozent geringer ausfällt (Décombaz et al., 2001). Beide Kostformen gewährleisteten ein Wiederauffüllen der Glycogenspeicher innerhalb eines Tages. Der Einfluss auf die Leistung wurde nicht untersucht. Starling et al. (1997) hatten zuvor gezeigt, dass der Verzehr einer fettreichen Kost (68 en%) im Vergleich zu dem einer kohlenhydratreichen Kost (83 en%) nach einer Ausdauerbelastung zwar innerhalb von 24 Stunden zu einem Anstieg des Triglyceridgehalts in der Muskulatur, aber auch zu einer Verschlechterung der Leistung im Zeitfahren führt. Daher wird von einer hohen Fettzufuhr in der Erholungsphase abgeraten.

**Fazit:** Von großer Bedeutung für alle sportlichen Aktivitäten, die länger als 90 Minuten dauern, ist die Zufuhr von Kohlenhydraten mit hohem bis mittlerem GI vor und während der Belastung. Fette sind in dieser Zeit zu meiden. In der Erholungsphase ist Kohlenhydraten der Vorzug zu geben.

## 4. Hauptnährstoffe im Training

Es ist allgemein akzeptiert, dass der Ausgleich eines Energie- oder Nährstoffmangels, wie er z.B. in Sportarten mit Anorexia athletica-Risiko häufiger zu beobachten ist (Schek, 2002a), die Leistung verbessern kann. In diesem Sinne zeigen zwei neuere Studien (Hoppeler et al., 1999; Horvath et al., 2000a), dass eine Erhöhung des Fettanteils in der Kost von 18 auf 41 bzw. von 16 auf 44 en% zu einer Verbesse-

Die Ausdauerleistungsfähigkeit führt, was zumindest teilweise auf die von einem defizitären (um 20 %) auf ein bedarfsdeckendes Maß gesteigerte Energieaufnahme zurückzuführen ist. Fette sind bekanntermaßen energiedichter als Kohlenhydrate und Proteine. Wie in der Studie von Horvath et al. (2000b) außerdem gezeigt wurde, ging die Erhöhung der Fettzufuhr (bei geringerer relativer, aber gleicher absoluter Kohlenhydratzufuhr) gleichermaßen mit einer gesteigerten Zufuhr an essentiellen Fettsäuren und einigen Mineralstoffen (Calcium, Eisen, Zink) einher. Ähnliches dürfte auch für die fettlöslichen Vitamine gelten. Aus den beschriebenen Untersuchungsergebnissen ziehen Pendergast et al. (2000) den Schluss, dass eine Kost mit extrem niedrigem Fettanteil, wie sie auf der Basis älterer Studienergebnisse im Zusammenhang mit der stimulierten Glycogenspeicherung grundsätzlich empfohlen wurde und von einigen Athleten noch heute praktiziert wird (Roltsch et al., 2002), die Ausdauerleistung ungünstig beeinflusst. Sie gehen ferner davon aus, dass eine Erhöhung des Fettanteils auf mindestens 30 en% nicht nur im Hinblick auf die Energiebedarfsdeckung und die ausreichende Zufuhr essentieller Nahrungsbestandteile vorteilhaft ist, sondern darüber hinaus möglicherweise mit positiven Wirkungen auf das Immunsystem assoziiert ist. Es ist bekannt, dass hoher oxidativer Stress, wie er im Sport vorkommen kann, eine Supprimierung der Immunfunktionen zur Folge hat, wohingegen Fette immunmodulierend zu wirken scheinen und möglicherweise die negativen Effekte intensiver Belastungen auf das Immunsystem verringern können (Venkatraman et al., 2000; Venkatraman & Pendergast, 2002). In mehreren experimentellen Studien haben Venkatraman et al. (1997, 1998, 2001) ermittelt, dass eine Zufuhr von 40 en% Fett die Leistung verbessert, ohne sich negativ auf verschiedenste Parameter der Immunfunktion auszuwirken. Demgegenüber berichten Pedersen et al. (2000) von einem ungünstigen Einfluss einer sehr hohen Fettzufuhr (62 en%) auf das Immunsystem. Dies erstaunt insofern nicht, als im Zusammenhang mit anderen Nähr- und Wirkstoffen schon mehrfach gezeigt wurde, dass extrem viel nicht besonders viel hilft, sondern unter Umständen sogar schadet. Dass eine (moderate) Erhöhung des Fettanteils in der Kost von Leistungssportlern zu verantworten ist, lassen auch die Studienergebnisse einer anderen Arbeitsgruppe erkennen. So zeigten Brown et al. (2000), dass 3 Monate einer fettbetonten Kost (50 en% Fett, 37 en% Kohlenhydrate) im Vergleich zu einer kohlenhydratreichen Kost (69 en% Kohlenhydrate, 15 en% Fett) die Knochendichte der im Ausdauertraining befindlichen Probanden erhöhte, ohne das Körpergewicht, die Magermasse oder den Fettanteil des Körpers zu beeinflussen. Bei vergleichbarer Versuchsanordnung hatten Cox et al. (1996) und Brown & Cox (1998) zuvor nachgewiesen, dass die fettbetonte Kost die Blutfettwerte der Athleten nicht negativ beeinflusst, während die kohlenhydratreiche Kost zu einem Anstieg der Konzentrationen an Triglyce-

riden und Gesamtcholesterin führte. Lambert et al. (2001) fanden nach 14-tägiger fettreicher (65 en%) versus fettlimitierter (30 en%) Kost keinen Unterschied zwischen Körpergewicht, Fettmasse und Lipidprofil. In Bezug auf die Insulinsensitivität ermittelten Staudacher et al. (2001) keinen Unterschied nach 1-wöchigem Verzehr einer fettreichen (69 en%) im Vergleich zu einer kohlenhydratreichen (70 en%) Diät.

## Hauptnährstoffe in Phasen moderater Trainingsbelastung

Wie die Nährstoffverteilung in der Kost nun konkret aussehen soll, ist im Wesentlichen eine Frage der Beanspruchung der Glycogenreserven. Die Geschwindigkeit der Glucoseoxidation wird maßgeblich von der Belastungsintensität beeinflusst, der Glycogenverbrauch hängt daneben auch von der Dauer der Belastung ab (Mittendorfer & Klein, 2003; Schek, 1997). Bei täglichen Belastungen unter 90 Minuten Dauer beträgt die Empfehlung für die Zufuhr von Kohlenhydraten 6 (5 bis 7) g/kg KG (Burke et al., 2001), die für Proteine 1,2 g/kg KG (Poortmans & Dellalieux, 2000). Unter Annahme eines Körpergewichts von 75 kg und eines Tagesenergiebedarfs von 3600 kcal (entsprechend einer Laufstrecke von 15 km), ergibt sich hieraus ein Kohlenhydratanteil von 50 en% und ein Proteinanteil von 10 en%. Die verbleibenden 40 en% dürften von Fetten geliefert werden, wobei diese Beispielsrechnung kein Muss darstellen soll (siehe nächster Absatz).

## Hauptnährstoffe in Phasen hoher Trainingsbelastung

Bei täglichen Belastungen von mehr als 90 Minuten Dauer mit einer Intensität über 65 %  $VO_{2max}$  sowie bei Trainingseinheiten mit Intensitäten über 85 %  $VO_{2max}$  wird eine Kohlenhydratzufuhr von 9 (8 bis 10) g/kg KG (Burke et al., 2001) und eine Proteinzufuhr von 1,6 g/kg KG (Tarnopolski et al., 1988) empfohlen. Unter Annahme eines Körpergewichts von 70 kg und eines Tagesenergiebedarfs von 4600 kcal (entsprechend einer Laufstrecke von 30 km) errechnet sich hieraus der erforderliche Anteil an Kohlenhydraten in der Kost zu 55 en% und der an Proteinen zu 10 en%. Die verbleibenden 35 en% dürften in Form von Fett aufgenommen werden.

Diese Aussage sollte jedoch nicht als Anweisung missverstanden werden. Es geht hier im Wesentlichen darum, klarzumachen, dass im Normalfall nicht mehr als 55 en% Kohlenhydrate verzehrt werden müssen, um einen günstigen Effekt auf die Leistung zu erzielen. Es spricht dagegen einiges dafür, den Fettanteil auf 30 en% zu reduzieren und den Proteinanteil entsprechend zu erhöhen (zur unterschiedlichen biologischen Wertigkeit pflanzlicher und tierischer Proteine siehe Schek, 2002a). Weniger als 30 en% sollte der Fettanteil nach Ansicht von Pendergast et al. (2000) nicht betragen. Nach Ansicht desselben Autorenkollektivs kann der Proteinanteil auf bis zu 20 en% erhöht werden. Durch eine Proteinzufuhr von bis zu

2,8 g/kg KG wird die Nierenfunktion nicht beeinträchtigt (Poortmans & Dellalieux, 2000; Layman, 2003).

In der Studie von Erp-Baart et al. (1989) an Eliteathletinnen und -athleten wurden nur im Laufen (18 Frauen; 55 en% Kohlenhydrate, 15 en% Proteine) und im Radsport (5 Männer; 63 en% Kohlenhydrate, 14 en% Proteine) die Zufuhrempfehlungen für Kohlenhydrate und Proteine erreicht bzw. überschritten. Bei den Radrennfahrern, die 3 Prozent der Energie in Form von Alkohol aufnahmen, fiel die Fettzufuhr mit 20 en% zu gering aus. Mit einer Kohlenhydratzufuhr von 50 bis 53 en% verfehlten die Radsportlerinnen (n = 21) und die Läufer (n = 56) die Empfehlung für die Kohlenhydratzufuhr knapp, ebenso die Triathleten (n = 22), die Ruderer (n = 18) und die Kunstturnerinnen (n = 11). Die Protein-Zufuhrempfehlung (14 bis 15 en%) wurde von den Kunstturnerinnen (n = 11), den Radsportlerinnen (n = 21), den Läuferinnen (n = 18), den Fußballspielern (n = 20) und den Hockeyspielern (n = 8) erreicht und von den Bodybuildern (n = 8; 2,5 g/kg KG/d) und den Bodybuilderinnen (n = 4; 2,0 g/kg KG/d) überschritten. Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse dieser Studie findet sich bei Schek (2002a).

Die in dieser Ausgabe von „Leistungssport“ publizierte Ernährungsanalyse von Athletinnen und Athleten am Olympiastützpunkt Frankfurt-Rhein-Main (Osterkamp-Baerens & Pogan, 2003) zeigt, dass sowohl bei der Energie- und Flüssigkeitszufuhr als auch beim Kohlenhydrat- und Eiweißverzehr Defizite bestanden. Nur die Volleyballer (n = 18) erreichten bzw. überschritten die Empfehlung für die Kohlenhydratzufuhr (57 en%). Relativ knapp verfehlt (53 en%) wurde sie von den in den Disziplinen Radsport (n = 17), Schwimmen (n = 5), Biathlon (n = 3) und Trampolin (n = 5) untersuchten Frauen. Die Empfehlungen für die Eiweißzufuhr (15 bis 16 en%) erreichten neben den Trampolinturnerinnen (n = 5) noch die Biathletinnen (n = 3) und Biathleten (n = 3). Der Fettverzehr aller Sportler lag zwischen 30 und 38 en%.

Die ebenfalls in dieser Ausgabe von „Leistungssport“ vorgestellte Ernährungsanalyse der Hockey-Damen-Nationalmannschaft (n = 12) bei der Champions Trophy 1999 (Osterkamp-Baerens & Schrey) macht deutlich, dass bei vergleichbarer, relativ günstiger Hauptnährstoff-Verteilung im Trainingslager (58 en% Kohlenhydrate, 29 en% Fette, 13 en% Proteine) und im Wettkampf (60 en% Kohlenhydrate, 27 en% Fette, 13 en% Proteine) die empfohlenen Zufuhrmengen (in absoluten Zahlen) im Wettkampf, v.a. bei Turnierende, sowohl für die Kohlenhydrate als auch für die Proteine nicht erreicht wurden. Dieser Befund ist auf den drastischen Rückgang der Energiezufuhr im Verlauf des Turniers (Ende: 1716 kcal/d; Anfang: 2184 kcal/d) im Vergleich zum Trainingslager (2808 kcal/d) zurückzuführen. Dass daneben auch der Flüssigkeitsbedarf gerade in der Wettkampfphase nicht gedeckt wurde, zeigt, dass in Zukunft noch verstärkt Überzeugungsarbeit seitens der Ernährungsberater, aber auch der

Psychologen (keine Gewichtsreduktionsdiäten vor Wettkämpfen!) geleistet werden muss.

**Fazit:** Es wird eine Hauptnährstoffverteilung von 50 bis 55 en% Kohlenhydraten, 10 bis 15 en% Proteinen und 30 en% Fetten empfohlen. Die verbleibenden Energieprozentante können beliebig auf die drei Nährstoffe verteilt werden.

## 5. Mediterrane Kost

Als „mediterran“ wird eine Ernährungsweise bezeichnet, die folgende *traditionelle Charakteristika* aufweist: Reichlich pflanzliche Nahrung (Obst, Gemüse, Hülsenfrüchte, Nüsse und Getreideprodukte, letztere vor allem aus dem vollen Korn), Olivenöl als wichtigste Fettquelle, moderater Verzehr tierischer Lebensmittel (Käse, Joghurt, Fisch, Eier, Geflügel, Fleisch), wenig Süßigkeiten, täglich ein Glas Wein zum Essen (Hu, 2003; Trichopoulou et al., 2003). Eine solche Kost verbessert nachweislich die klinische Prognose bei kardiovaskulären Erkrankungen, so das Resümee des Schlussreports der „Lyon Diet Heart Study“ (Lorgeril et al., 1999) und zweier aktueller Studien an 22 043 Griechen (Trichopoulou et al., 2003) bzw. an 1 000 Indern (Singh et al., 2002). Bei Befolgung der Regeln von DGE und AHA ist dies kaum zu erwarten, denn Cholesterinspiegel-Senkung ist nicht gleichbedeutend mit Krankheits-Prävention (Lorgeril et al., 1999). Als Reaktion auf den o.g. Schlussreport modifizierte die AHA ihre Richtlinien (Kris-Etherton et al., 2001): Es wurde eine „Mediterranean-style diet“ mit besonderer Berücksichtigung von  $\alpha$ -Linolensäure aus Ölen und trans-Fettsäure-amer Margarine definiert. In den neuen Richtlinien wurde die rigide Fett- und Cholesterinrestriktion allerdings ebenso beibehalten wie die Einteilung der Kohlenhydrate in einfache und komplexe, d.h., die GL der Lebensmittel blieb unberücksichtigt, was von Hu (2003) kritisiert wird.

Der in Abb. 2 vorgestellte „*mediterrane Ernährungskreis*“ beinhaltet die o.g. Charakteristika und trägt überdies dem Konzept der GL Rechnung. Er zeigt den täglichen anteiligen Verzehr von Lebensmitteln aus verschiedenen Lebensmittelgruppen, wobei die pflanzlichen im Außen- und die tierischen incl. Alkohol im Innenkreis angeordnet sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die Kreisform der aus den USA „importierten“ Pyramidenform (Ludwig, 2000) vorgezogen. Die Visualisierungsart hat keinen Einfluss auf das Verständnis bzw. die Wirksamkeit (Eissing & Lach, 2003).

Dem *Außenkreis* zufolge haben Obst, Gemüse (roh, gekocht und als Saft) und Hülsenfrüchte dieselbe Priorität wie Getreideprodukte und Kartoffeln, die grundsätzlich in möglichst wenig verarbeiteter Form verzehrt werden sollten. Denn dies garantiert eine niedrigere GL und eine geringere Aufnahme von unerwünschten Fettsäuren bei gleichzeitig höherer Zufuhr an gesundheitsförderlichen Stoffen (s.u.). Nüsse

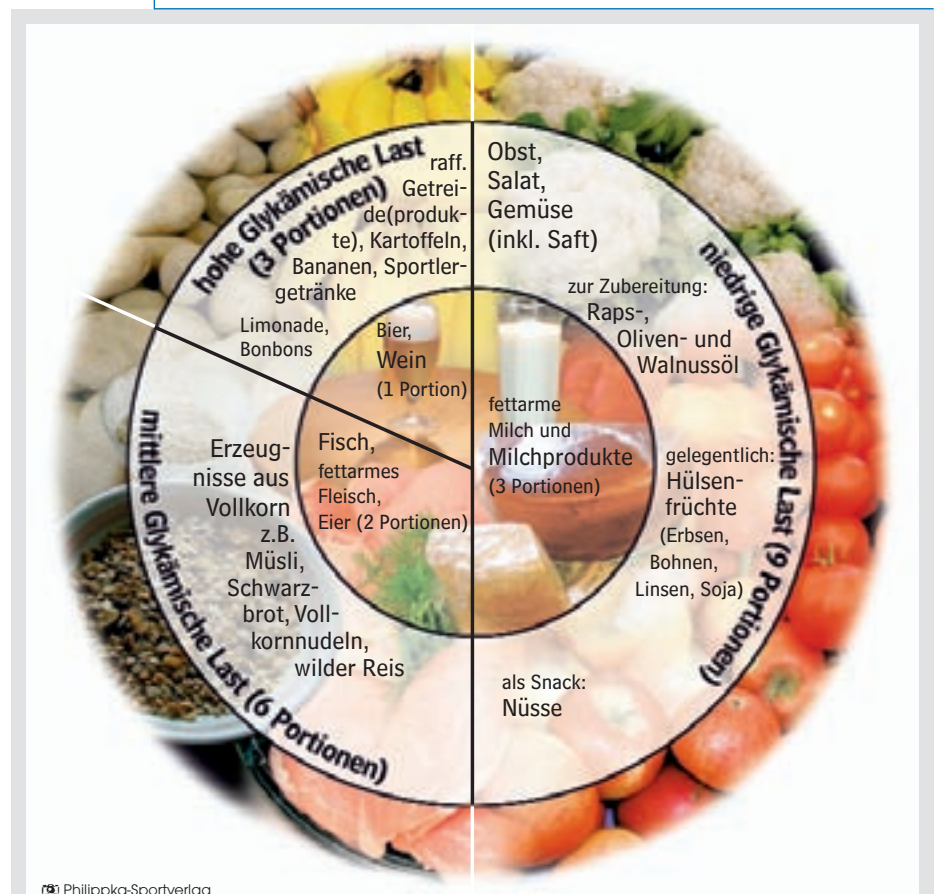
und Öle stehen beim Gemüse, weil sie wesentlich dazu beitragen, die geringere Energiedichte von Gemüse in Relation zu Getreide auszugleichen. Raps-, Oliven- und Walnussöl werden wegen ihres bereits erwähnten hohen Gehalts an  $\omega$ 3- und Monoen-Fettsäuren explizit erwähnt.

Die tierischen Lebensmittel und der Alkohol stehen gesondert in einem *Innenkreis*, weil sie in aller Regel nicht allein verzehrt werden und als Bestandteil einer Mahlzeit den GI derselben vermindern. Um die Zufuhr an gesättigten Fettsäuren und Cholesterin in Grenzen zu halten, ist es ratsam, die mageren Milchprodukt- und Fleischvarianten zu wählen. Genau anders herum verhält es sich beim Fisch. Hier sind, wie bereits erwähnt, die fetten Arten zu bevorzugen, weil sie mehr langkettige  $\omega$ 3-Fettsäuren (EPA, DHA) liefern als die Magerfische. Bis zu ein Ei darf pro Tag verzehrt werden, denn diese Menge scheint das kardiovaskuläre Erkrankungsrisiko nicht zu erhöhen (Hu et al., 1999c). Mit alkoholischen Getränken sollte bewusst umgegangen, d.h. nicht mehr als ein Glas pro Tag konsumiert werden, denn der

Schutzwirkung gegen koronare Herzkrankheit (Ajani et al., 2000) und Diabetes (Meyer et al., 2003) stehen die Möglichkeit einer Blutdruckerhöhung (Cushman et al., 1998) und das hohe Suchtpotenzial gegenüber.

Der Verzehr tierischer Lebensmittel, die bis zur „Agrarrevolution“ vor 10 000 Jahren der wichtigste Energie- und Proteinlieferant waren (Cordain et al., 2000; Richards, 2002), ist prinzipiell zu befürworten. Tierische Erzeugnisse liefern Vitamine (z.B. Cobalamin) und Mineralstoffe (z.B. Eisen), die mit veganischer Ernährungsweise nur unzureichend zugeführt werden können, und die Proteine tierischer Lebensmittel haben eine höhere biologische Wertigkeit als die pflanzlicher Lebensmittel. Mäßiger Verzehr tierischer Produkte scheint die Proteinsynthese zu begünstigen, ohne dass eine atherogene Wirkung befürchtet werden muss (Cordain et al., 2002). Wie erst kürzlich in einer Studie an Übergewichtigen demonstriert wurde (Farnsworth et al., 2003), geht eine hypokalorische, mit Fleisch, Geflügel und Milchprodukten angereicherte Diät, ohne die Calciumausscheidung im Urin zu erhöhen, sowohl mit

ABB. 2 **Mediterraner Ernährungskreis**



Anteiliger täglicher Verzehr von Lebensmitteln aus verschiedenen Lebensmittelgruppen.

Die Unterteilung nach der Glykämischen Last bezieht sich nur auf die äußeren Kreissegmente. Die im Innenkreis genannten Lebensmittel liefern so wenig Kohlenhydrate, dass ihr Einfluss auf den Blutzuckerspiegel vernachlässigbar ist (weshalb auch ihre Glykämischen Inzides mehrheitlich nicht untersucht wurden). Die Anzahl Portionen von der Größe einer Handvoll bezieht sich auf Personen mit überwiegend sitzender Beschäftigung (Svetkey et al., 1999). In Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Energieverbrauch müssen Sportler größere bzw. mehr Portionen verzehren.



einer Reduktion der glykämischen Antwort und der Triglyceridkonzentration im Blut als auch mit einer Erhaltung der Magermasse bei einem durchschnittlichen Gewichtsverlust von 2 kg pro Woche einher. Außerdem scheint die besonders in Milchprodukten reichlich vorkommende Aminosäure Leucin die Proteinsynthese im Muskel unter katabolen Bedingungen, wie sie bei Energierestriktion, aber auch nach intensiven Belastungen auftreten, zu stimulieren (Layman, 2003).

Obst, Gemüse und Hülsenfrüchte sind reich an lebensnotwendigen Vitaminen und Mineralstoffen, Ballaststoffen und sekundären Pflanzenstoffen. Auf der Basis von in-vitro-, tierexperimentellen, klinischen und epidemiologischen Studien werden den sekundären Pflanzenstoffen krebspräventive, aber auch andere gesundheitsförderliche Wirkungen zugesprochen (s. Schek, 2002b). Ballaststoffe reduzieren das Risiko der Entstehung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und verbessern die Insulinsensitivität (Ludwig et al., 1999b), weshalb 30 g pro Tag oder mehr davon verzehrt werden sollten. Außerdem vermindern Ballaststoffe das Krebsrisiko (Bingham et al., 2003). Vollkornzeugnisse sind wesentlich reicher an Ballaststoffen als Produkte aus stark verarbeitetem Getreide, was auch teilweise ihren niedrigeren GI ausmacht (Ludwig et al., 1999b). Gesteigerter Verzehr von Vollkorn- auf Kosten von raffinierten Getreideerzeugnissen reduziert nachweislich das Herzinfarkt- und Diabetes-Risiko (Liu et al., 2000a, b). Einen weiteren Schutz vor Myokardinfarkt bieten Nüsse wegen ihres hohen Gehalts an einfach ungesättigten Fettsäuren (Hu & Stamper, 1999).

Die für die Sportpraxis wichtigste Neuerung ist die geringere Gewichtung des (raffinierten) Getreides zugunsten von Obst, (rohem und ge-

koctem) Gemüse, Hülsenfrüchten, Nüssen und hochwertigen Ölen. Außer in Zeiten hoher Trainings- und Wettkampfbelastung ist ein Griechischer oder Nizza-Salat mit einer Scheibe Vollkornbrot als Beilage einem Teller Spaghetti mit Tomatensauce ebenso vorzuziehen wie ein Fleisch-/Fischfilet mit reichlich Rataouille und etwas wildem Reis oder Vollkornnudeln einem Risotto oder Pellkartoffeln mit Quark als Hauptgericht.

Im Trainingslager und bei der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung spricht selbstverständlich nichts gegen die altbewährte „Spaghetti-Party“; eine Mischung aus Weißmehl und Vollkorn wäre aber wünschenswert.

Da jedes Lebensmittel eine andere Nährstoffzusammensetzung hat, ist ein besonderer wichtiger Grundsatz, sich nicht einseitig zu ernähren, sondern die Lebensmittelauswahl möglichst vielfältig zu gestalten. Dann erübrigt sich auch der Einsatz von Supplementen. Der größte Pluspunkt der mediterranen Kost jedoch ist, dass sie hervorragend schmeckt. Sie sättigt, ist einfach zuzubereiten und preiswert (Lorgeril et al., 1999). Vielleicht ein erster Schritt in die Richtung, dass wieder mehr über's Essen und weniger über Ernährung gesprochen wird.

\*

## Literatur

- Augustin, L.S.; Franceschi, S.; Jenkins, D.J.A.; Kendall C.W.C. & La Vecchia, C. (2002). Glycemic index in chronic disease: a review. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 56, 1049-1071.
- Bravata, D.M.; Sanders, L.; Huang, J.; Krumholz, H.M.; Olkin, I.; Gardner, C.D. & Bravata, D.M. (2003). Efficacy and safety of low-carbohydrate diets. A systematic review. *JAMA*, 289, 1837-1850.

Burke, L.M.; Collier, G.R. & Hargreaves, M. (1998b). Glycemic index – a new tool in Sport Nutrition? *Int. J. Sport Nutr.*, 8, 401-415.

Burke, L.M. & Hawley, J.A. (2000). Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 1492-1498.

Foster-Powell, K.; Holt, S.H.A. & Brand-Miller, J.C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.*, 76, 5-56.

Hawley, J.A. (2002). Effect of increased fat availability on metabolism and exercise capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 1485-1491.

Kiens, B. (2001). Diet and training in the week before competition. *Can. J. Appl. Physiol.*, 26, Suppl., 56-63.

Liu, S.; Willett, W.C.; Stampfer, M.J.; Hu, F.B.; Franz, M.; Sampson, L.; Hennekens, C.H. & Manson J.E. (2000c). A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 71, 1455-1461.

Ludwig, D.S. (2002). The glycemic index. Physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. *JAMA*, 287, 2414-2423.

Mensink, R.P.; Zock, P.L.; Kester A.D.M. & Katan, M.B. (2003). Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.*, 77, 1146-1155.

Pendergast, D.R.; Leddy, J.J. & Venkatraman, J.T. (2000). A perspective on fat intake in athletes. *J. Am. Coll. Nutr.*, 19, 345-350.

Schek, A. (1997). *Modell zur Quantifizierung der Energiebereitstellung aus Fett und Kohlenhydraten in Abhängigkeit von der Belastungsintensität bei Ausdauersportlern mit unterschiedlichen Leistungsniveaus*. Gießen: Wissenschaftlicher Fachverlag.

Schek, A. (2002a). *Top-Leistung im Sport durch bedürfnisgerechte Ernährung*. Trainer-Bibliothek Bd. 36. Münster: Philippka-Sportverlag.

Worm, N. (2002). Macht Fett fett und fettarm schlank? *Dtsch. Med. Wochenschr.*, 127, 2743-2747.

Die vollständige Literaturliste kann auf der Internetseite [www.leistungssport.net](http://www.leistungssport.net) eingesehen (und ausgedruckt) werden.

\*

## Der Autor

Dr. oec. troph. Alexandra SCHEK

Anschrift: Mühlstr. 11, 35390 Gießen

# Ernährung – Aktuelles in Kürze

## Ernährung, Bluffettwerte und Ausdauerleistung

Den Einfluss einer kohlenhydratreichen im Vergleich zu einer fettbetonten Ernährungsweise auf den Triglycerid- und Cholesterinspiegel, die Lipoproteine LDL, HDL<sub>1</sub> und HDL<sub>2</sub>, die Apolipoproteine A<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> sowie die aerobe Leistungskapazität untersuchten C.M. Cox, R.C. Brown und J.I. Mann (1996): The effects of high-carbohydrate versus high-fat dietary advice on plasma lipids, lipoproteins, apolipoproteins, and performance in endurance trained cyclists, in: *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.*, 6, 227-233, an 34 Radrennfahrern (Alter: 17 bis 51 Jahre; BMI: im Mittel 24 kg/m<sup>2</sup>) mit relativ

hohem Leistungsniveau (VO<sub>2</sub>max: im Mittel 64 ml/min/kg KG; Strecke: wöchentlich 200 bis 300 Trainingskilometer (6 bis 10 Stunden) zuzüglich 40 bis 80 km Straßenrennen) über einen Zeitraum von 3 Monaten, eine Dauer, die auffällig lang ist in Relation zu anderen Studien. Die Probanden wurden in zwei Gruppen – high carbohydrate (HC) und high fat (HF) – eingeteilt und erhielten detaillierte Ernährungsinformationen (Listen mit zu bevorzugenden und zu meidenden Lebensmitteln, Speisepläne, Rezepte). Die mit Hilfe von 5-Tage-Ernährungsprotokollen berechnete durchschnittliche Energiezufuhr betrug bei Untersuchungsbeginn 11.657 ± 2.695 kJ/d (HC) bzw. 12.584 ± 3.060 kJ/d (HF) und nach 12 Wochen 11.781

± 2.491 kJ/d bzw. 15.501 ± 3.278 kJ/d. Der Energiebedarf wurde mit der Nahrung gedeckt, denn das Körpergewicht belief sich nach 12 Wochen unverändert auf 76,5 ± 6,5 kg (HC) bzw. 73,0 ± 6,5 kg (HF). Die HC-Gruppe steigerte den Kohlenhydratverzehr von 52,8 en% vorher auf 62,3 en% nachher auf Kosten der Fette (28,3 vs. 18,1 en%), während die Proteinzufuhr nahezu konstant blieb (15,0 vs. 15,8 en%). Die Verzehrsmenge an gesättigten Fetten reduzierte sich von 37,3 g/d auf 19,7 g/d. Bei der HF-Gruppe erhöhte sich der Fettanteil in der Kost von 34,9 auf 44,9 en%, während der Kohlenhydratanteil deutlich abnahm (46,0 vs. 38,7 en%) bei leichtem Rückgang der Proteinzufuhr (16,0 vs. 14,1 en%). Der Verzehr an ge-

sättigten Fetten stieg von 50,0 g/d auf 89,0 g/d an.

Trotz der drastischen Steigerung der Fettzufuhr und besonders der gesättigten Fettsäuren blieben die unter Ruhebedingungen zu erwartenden ungünstigen Auswirkungen auf die Blutfettwerte (Erhöhung des Triglycerid- und Cholesterinspiegels, im Speziellen der LDL-Fraktion) aus. Im Verlauf der Studie zeigten sich bei den untersuchten Blutparametern keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Innerhalb beider Gruppen jedoch nahmen aktivitätsbedingt die Plasmakonzentrationen an Gesamtcholesterin, LDL-Cholesterin und Apolipoprotein B signifikant ab, während die an Apolipoprotein A<sub>1</sub> zunahm. Triglyceride und HDL-Cholesterin blieben unverändert. Bei den Leistungsparametern (Maximalleistung und Zeit bis zur Erschöpfung) fanden sich keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von den beiden Kostformen.

Anhand dieser Ergebnisse kommen die Autoren zu folgendem Schluss: Eine Kost mit einem im Vergleich zu den gängigen Empfehlungen hohen Fettanteil (45 en%; hiervon 21 en% gesättigte Fette) und niedrigen Kohlenhydratanteil (40 en%) führt weder dazu, dass die günstigen Wirkungen regelmäßigen Ausdauertrainings auf die Blutfettwerte<sup>1</sup> aufgehoben werden, noch dazu, dass die sportliche Leistung in Training und Wettkampf beeinträchtigt wird. In absoluten Zahlen ausgedrückt, verzehrten die Probanden der HC-Gruppe pro Tag 550 g Kohlenhydrate bzw. 7,3 g/kg KG, während die in der HF-Gruppe auf 370 g bzw. 5,1 g/kg KG kamen. Diese Menge genügt bei einem Trainingsumfang von rund 10 Stunden pro Woche, um das verbrauchte Glycogen zu ersetzen. Man bedenke, dass die Glycogenspeicherkapazität der Muskulatur auf 500 g begrenzt ist.

Ein Fragebogen zur Bewertung der jeweils verzehrten Kostform, den die Teilnehmer im Anschluss an die Studie ausfüllten, machte deutlich, dass die kohlenhydratreiche Diät schwieriger einzuhalten war und als unbefriedigender empfunden wurde. Die fettbetonte Kost wurde vor allem wegen der größeren Lebensmittelauswahl positiver eingestuft. Subjektiv bewerteten die Probanden der HF-Gruppe ihre Leistung mit 7 von 10 Punkten, die HC-Gruppe dagegen mit 6 von 10 Punkten. Die Autoren fassen zusammen, dass im Leistungssport eine Kost mit moderatem Kohlenhydrat- und verhältnismäßig hohem Fettanteil eine Maßnahme ist, mit deren Hilfe der hohe Energiebedarf gedeckt werden kann, ohne dass der Athlet mit negativen Auswirkungen auf die Blutfettwerte oder die Ausdauerleistungsfähigkeit rechnen muss und ohne dass er auf große Mengen an Zucker, z.T. in Form von Getränken und Powergels, zurückgreifen muss, um den (überhöhten) Empfehlungen für die Kohlenhydratzufuhr nachzukommen.

<sup>1</sup> Wenn vermehrt gesättigte Fettsäuren aus der Nahrung zur Energiebereitstellung in die arbeitenden Muskeln aufgenommen werden, gelangen weniger Fettsäuren zur Leber, welche daraufhin die Sekretion von Apolipoprotein B – dem Hauptstrukturprotein des LDL – drosselt, worauf die LDL-Konzentration im Plasma sinkt.

## Sport, Ernährung und Plasma-Fettsäuren

Im Jahr 1999 veröffentlichten Lee, Blair und Jackson unter dem Titel „Cardiorespiratory fitness, body composition, and all-cause and cardiovascular disease mortality in men“ (Am. J. Clin. Nutr., 69 (3), 373-380) die Ergebnisse einer Follow-up-Studie an 21.925 Männern im Alter zwischen 30 und 83 Jahren. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass fitter, übergewichtige Männer ein geringeres Risiko haben, an Herz-Kreislauf- oder anderen Erkrankungen zu sterben, als unfitter, schlanke Männer!

Auf der Basis dieser Erkenntnis untersuchten D. König, S.B. Väisänen, C. Bouchard, M. Halle, T.A. Lakka, M.W. Baumstark, M. Alen, A. Berg und R. Rauramaa (2003): Cardiorespiratory fitness modifies the association between dietary fat intake and plasma fatty acids, in: Eur. J. Clin. Nutr., 57, 810-815 (doi:10.1038/sj.ejcn.1601613) an 127 mäßig übergewichtigen (BMI  $27,1 \pm 3,6$  kg/m<sup>2</sup>) finnischen Männern mittleren Alters ( $57,2 \pm 2,9$  Jahre) die Wechselwirkungen zwischen kardiorespiratorischer Fitness, Fettzufuhr mit der Nahrung und Fettsäuremuster im Plasma.

Im Vergleich zu der Gruppe mit dem geringsten Fitnessgrad (aerobe Schwelle < 12,43 ml/min/kg KG) nahm die Gruppe mit dem höchsten Fitnessgrad (aerobe Schwelle > 14,75 ml/min/kg KG) täglich 1346 kJ mehr zu sich ( $10.146 \pm 2.789$  vs.  $8.800 \pm 1.964$  kJ), während die Verteilung auf die energieliefernden Hauptnährstoffe vergleichbar war (rund 46 en% Kohlenhydrate, 34,5 en% Fette, 16,5 en% Proteine; Rest: Alkohol). Bei den Plasmakonzentrationen an einfach ungesättigten Fettsäuren wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet. Zwischen mehrfach ungesättigten und gesättigten Fettsäuren bestand generell eine negative Korrelation. (Ungesättigte Fettsäuren sind negativ, gesättigte Fettsäuren positiv assoziiert mit Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen wie LDL, VLDL und Insulin.)

In der Gruppe mit dem geringsten Fitnessgrad korrelierten sowohl der BMI ( $r = 0.516$ ) als auch die auf die Energiezufuhr bezogene Aufnahme an gesättigten Fettsäuren ( $r = 0.342$ ) positiv mit den gesättigten Fettsäuren im Plasma. In der Gruppe mit dem höchsten Fitnessgrad wurden signifikant niedrigere Konzentrationen an diesen Fettsäuren gefunden. Da die Zufuhr an gesättigten Fettsäuren in dieser Gruppe nicht verschieden von der in der Gruppe mit dem geringsten Fitnessgrad war (in absoluten Zahlen: 37,95 vs. 34,42 g/d; in relativen Zahlen: 14,1 vs. 14,7 en%), ist dieses Ergebnis weniger auf die Fettsäurezufuhr mit der Nahrung als auf die sportliche Betätigung zurückzuführen. Interessanterweise war die Konzentration an mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Gruppe mit dem höchsten Fitnessgrad positiv mit der Gesamtfettzufuhr (in en%) korreliert, wogegen sie bei der Gruppe mit dem niedrigsten Fitnessgrad positiv mit der Kohlenhydratzufuhr (in en%) korrelierte.

Die gesundheitsprotektiven Wirkungen des

Sports auf das Fettprofil im Blut erklären die Autoren mit einer verminderten Fettsäure- und Lipoproteinsynthese in der Leber, einer gesteigerten Lipoproteinlipase-Aktivität sowie dem vermehrten Verbrauch von Fettsäuren zur Energiebereitstellung im arbeitenden Muskel. (Konkret bedeutet dies: ein verstärkter Abbau von VLDL-Triglyceriden bei gleichzeitig verringerter Bildung.) Sie gehen davon aus, dass ein höherer Fitnessgrad die aus einer höheren Zufuhr an gesättigten Fettsäuren resultierende Zunahme der Konzentration an gesättigten Fettsäuren im Plasma – bzw. die Abnahme an mehrfach ungesättigten Fettsäuren – umzukehren oder mindestens zu neutralisieren vermag.

Zur endgültigen Klärung des Zusammenhangs zwischen Fettzufuhr mit der Nahrung und Fettsäuremuster im Plasma in Abhängigkeit vom Fitnessgrad empfehlen sie die Durchführung kontrollierter randomisierter Studien mit Männern und Frauen unterschiedlicher Altersgruppen.

Weder die Korrelation zwischen dem Fettverzehr und dem Plasmaspiegel an mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Gruppe mit dem höchsten Fitnessgrad ( $r = 0.323$ ), noch die zwischen dem Kohlenhydratverzehr und den mehrfach ungesättigten Fettsäuren in der Gruppe mit dem niedrigsten Fitnessgrad ( $r = 0.340$ ) war stark ausgeprägt. Da in beiden Gruppen die Fett- und Kohlenhydratzufuhr (in en%) annähernd gleich waren, ist anzunehmen, dass der Sport einen größeren Einfluss auf das Fettprofil im Plasma hat als die Ernährung. Dennoch wäre es interessant, in Folgestudien neben der Fettsäurenverteilung auch die Glykämische Last der Kost zu berücksichtigen, denn auch die Qualität der Kohlenhydrate wirkt sich auf die Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Diabetes mellitus und Metabolisches Syndrom aus. Als besonders ungünstig einzuschätzen ist nach Kopp (2003) eine „high-glycemic-index 'Western' nutrition with large amounts of sugar, refined cereals, potatoes, and 'fluffy' white rice“ (Metabolism, 52 (7), 840-844).

In Übereinstimmung mit dem in dieser Ausgabe von „Leistungssport“ erschienenen Artikel „Mediterrane Kost auch für Leistungssportler?“ lassen die Resultate der Studie von König et al. die Schlussfolgerung zu, dass eine Anpassung der Fettzufuhr an einen erhöhten Energieumsatz sicher nicht von Nachteil für die Gesundheit oder die sportliche Leistung eines Athleten ist. Im Gegenteil: An dieser Stelle sei noch einmal eindringlich vor einer „Fettphobie“ – auch unter Ernährungsberatern – gewarnt.

**Dr. Alexandra Schek**

In den Beitrag „Salat niçoise statt Müsli?“ des Trainers Digest der Ausgabe 4/2003 hat sich der Setzteufel eingeschlichen. Der dritte Absatz muss lauten: „Werden hoch-/mittelglykämische Lebensmittel in einer Mahlzeit mit niedrigglykämischen kombiniert, fällt der 'Ausschlag' der Blutzuckerkurve geringer aus.“