

Glykogenresynthese nach Belastung

Student Paper

Author(s):

Mettler, Samuel

Publication date:

2002

Permanent link:

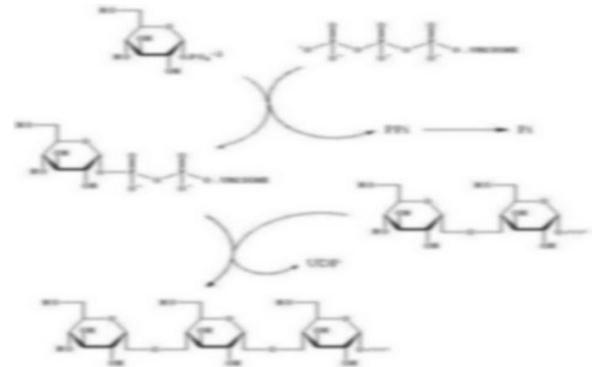
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004434935>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted



Glykogenresynthese nach Belastung



Samuel Mettler 2002

**Bewegungs- und Sportwissenschaften
Dozent: Dr. sc. nat. Paolo Colombani
6. Semester**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	2
3. Diskussion	
3.1. Theorie – heutiger Wissensstand	
3.1.1. Verhalten der Glykogenspeicher	3
3.1.2. Zeitpunkt der CHO-Aufnahme	4
3.1.3. Maximale Resynthesegeschwindigkeit	5
3.1.4. Der Glykämische Index	8
3.2. Kohlenhydrate in der Praxis	
3.2.1. Allgemeine Richtlinien zur Kohlenhydratmenge	11
3.2.2. Interaktion mit anderen Makronährstoffen – Tägliche CHO-Zufuhr	11
3.2.3. Formen der CHO-Aufnahme und Praktische Probleme	12
3.2.4. Intravenöse Glukoseversorgung	13
3.2.5. Carboloadung	14
3.3. Bedürfnisse in einigen ausgewählten Sportarten	
3.3.1. Langstreckenlauf und Radsport	15
3.3.2. Sprint	16
3.3.3. Mannschaftssportarten und Tennis	18
3.4. Ernährungsvorschläge	
3.4.1. Konkrete Möglichkeiten	20
3.4.2. Lebensmittel mit tiefem GI und niederer Energiedichte	22
3.5. Schlussfolgerung	23
4. Literaturverzeichnis	24

1. Zusammenfassung

Glykogen ist je nach Belastungsintensität und -dauer der wichtigste Energiespeicher des Muskels, und in vielen Situationen ist es leistungslimitierend, wenn die Glykogenvorräte zu klein sind. Die Fragestellung lautete daher, wie die Glykogenspeicher nach verschiedenen Belastungen möglichst optimal regeneriert werden können und welches die beeinflussenden Faktoren auf die Regeneration sind.

Die Glykogenresynthese ist von diversen Faktoren abhängig. Eine ausreichende Menge Kohlenhydrate ist eine Voraussetzung für eine schnelle Resynthese. Das Verhalten der Glykogenspeicher verändert sich aber über die Zeit, so dass auch das Timing der Kohlenhydrataufnahme eine wichtige Rolle spielt, und zwar vor allem dann, wenn die Glykogenspeicher innert kürzester Zeit regeneriert werden sollen. Über längere Zeiträume ist weniger das Timing, sondern die absolute Kohlenhydratmenge pro Tag der Schlüsselfaktor, wobei auch der Glykämische Index der verwendeten Kohlenhydrate wichtig ist. Andere Makronährstoffe spielen ebenfalls in die Glykogenresynthese hinein. Hauptsächlich Proteine können eine insulinotrophe Wirkung haben und damit die Glykogenspeicherraten vor allem kurzfristig erhöhen.

Verschiedene Sportarten haben verschiedene Bedürfnisse und andere Belastungen bezüglich Intensität und Dauer oder Trainings- und Wettkampfrhythmus. Daraus ergeben sich auch andere Prioritäten und Empfehlungen für einen Langstreckenläufer oder einen Sprinter. Und nicht für alle Sportarten ist eine maximal verfügbare Glykogenmenge wirklich leistungslimitierend.

2. Einleitung

Glykogen ist der Glukosespeicher der Muskulatur. In vielen Sportarten wirkt sich der Glykogenvorrat je nach Dauer und Intensität der Belastung leistungslimitierend aus. Es liegt deshalb im Interesse jedes Sportlers, sowohl nach Trainings wie nach Wettkämpfen und besonders in Wettkampfzyklen nach jeder Belastung die Glykogenspeicher möglichst schnell wieder aufzufüllen.

In einem ersten Teil dieser Arbeit wird der heutige Wissensstand auf diesem Gebiet aufgearbeitet, wobei auch bereits auf einige praktische Gesichtspunkte verwiesen wird. Seit der Einführung der Muskelbiopsie in den 60er Jahren ist es möglich geworden, Studien zur Glykogenspeicherung durchzuführen. Auf diesem Gebiet wurde dann auch sehr viel geforscht und bis heute ist sehr viel bekannt geworden, auch wenn viele Fragen noch nicht beantwortet sind. Glykogen ist hauptsächlich in der Muskulatur und der Leber gespeichert. Weil hauptsächlich die Glykogenspeicher der Muskulatur leistungslimitierend sind, befassten sich auch die meisten Studien mit dem Muskelglykogen. Auf diesem theoretischen Hintergrund werden anschliessend einige praktische Bedürfnisse und Probleme verschiedener Sportarten diskutiert. Diese Arbeit konzentriert sich zwar auf das Glykogen und darauf, wie es möglichst schnell resynthetisiert werden kann, aber es werden auch immer wieder Links zu anderen Ernährungs- und Verhaltensgesichtspunkten aufgezeigt. Denn Glykogenresynthese ist nur ein – allerdings wichtiger – Aspekt der Regeneration, und manchmal stehen Optimierungen in einem Gebiet Einbussen auf anderen gegenüber.

Sportler, die häufig trainieren, befinden sich meistens gleichzeitig in der Erholung von der letzten und in der Vorbereitung für die nächste Belastung, weshalb diese zwei Situationen manchmal gar nicht auseinander gehalten werden können.

Die zentrale Fragestellung geht darum, wie schnell Glykogen im Optimalfall resynthetisiert werden kann und welche Faktoren einen Einfluss darauf haben. Es wird der Frage nachgegangen, ob es überhaupt eine maximale Speicherrate gibt und durch welche Nährstoffzusammensetzung und –menge diese allenfalls erreicht werden kann. Die Eigenschaften der Glykogenresynthese sind nämlich genauso von der Zeit abhängig, wie von der Menge und Art der Kohlenhydrate oder der Anwesenheit von Mikro- sowie anderer Makronährstoffe.

3. Diskussion

3.1. Theorie – heutiger Wissensstand

3.1.1. Verhalten der Glykogenspeicher

Im Körper gibt es zwei wichtige Glykogenspeicher; die Muskulatur einerseits und die Leber andererseits, wobei die beiden Speicher unterschiedliche Funktionen haben.

Das Leberglykogen ist zeitlich gesehen viel labiler als das Muskelglykogen, das zudem in der Muskelzelle immobilisiert ist. Bereits über Nacht kann das Glykogen in der Leber aufgebraucht werden, um den Blutglukosespiegel aufrechtzuerhalten und andere Organe, v.a. das zentrale Nervensystem, mit Glukose zu versorgen. Auch bei längeren Pausen zwischen Mahlzeiten wird auf das Leberglykogen zurückgegriffen. Dafür reicht bereits eine kohlenhydratreiche Mahlzeit aus, um es wieder aufzufüllen. Nach Belastungen hat die Glykogenresynthese in der Muskulatur Vorrang gegenüber der Leber (Hawley & Burke 1998). Selbst ohne dass Kohlenhydrate (CHO) zugeführt werden, wird mit niedriger Rate (1-2 mmol/kg wet weight (ww) of muscle / h) Muskelglykogen aufgebaut (Burke 2000a). Obwohl das Muskelglykogen der Hauptenergiespeicher für physische Leistungen ist, kann eine Entleerung des Leberglykogens zu einer Hypoglykämie und damit auch zu Müdigkeit führen (Ivy 2000). Im Weiteren wird aber trotzdem hauptsächlich die Muskulatur betrachtet.

Die maximalen Speicherraten im Muskel liegen über die ersten 12 Stunden bei 5-10 mmol/kg ww/h (Burke 2000a). Die höchste Syntheserate wird in den ersten Stunden nach der Belastung erreicht. Dabei hat die Intensität der vorangegangenen Belastung sowie die Restmenge an Glykogen einen Einfluss auf die Resynthesegeschwindigkeit. Nach stark laktaziden Belastungen können bis 25 mmol/kg ww/h erreicht werden (Robergs 1991), wobei hier zusätzlich aus Laktat Glukose zurückgewonnen wird. Allerdings ist der Beitrag des Laktats nur zu Beginn bedeutend: bis zu 20 mmol/kg ww/h in den ersten zehn Minuten (Bangsbo et al 1991). Nach vollständiger Regeneration liegt der Beitrag des Laktats aber unter 10 % (Bangsbo et al 1997).

Der Beginn der Regeneration ist durch eine Phase sehr schneller Glykogenresynthese gekennzeichnet (sofern genügend CHO aufgenommen werden), wobei die Glukoseaufnahme in die Muskelfaser und die Glykogenresynthese für rund eine Stunde insulinunabhängig erfolgen. Anschliessend folgt eine zweite Phase, in der die Glukoseaufnahme und die Glykogenspeicherung von der Insulinkonzentration im Blut abhängig sind (Ivy 2000). Diese wiederum hängt von der Nahrungsmenge und -zusammensetzung ab (vgl. folgende Kapitel).

Nach Belastungen, die intensiv und lang genug waren, um die Glykogenspeicher stark zu entleeren, ist die Aktivität der Glykogensynthase, des geschwindigkeitsbestimmenden Enzyms des

Resyntheseweges, erhöht. In dieser Phase zeigt sie eine erhöhte Sensitivität auf Glukose-6-Phosphat. Zudem ist ihre Aktivität über Feedbackinhibierung stark durch die Restmenge an Glykogen kontrolliert (Ivy 2000). Werden die Glykogenreserven unter ca. 30 mmol/kg ww erschöpft, erfolgt die initiale Glykogenresynthese mit stark erhöhter Geschwindigkeit und insulinunabhängig (Price et al 1994). Bei dieser starken Entleerung wird auch die physische Leistungsfähigkeit eingeschränkt (Nicholas 2000).

Die Glykogensynthese braucht natürlich Substrat. So muss ständig Glukose-6-Phosphat nachgeliefert werden. Die Speichergeschwindigkeit ist deshalb auch von der Membranpermeabilität für Glukose abhängig, die wiederum von der Translokation des GLUT4-Proteins an die Plasmamembran abhängt. Diese Translokation wird sowohl durch Insulin wie durch die Muskelkontraktion über unabhängige Mechanismen stimuliert (Ivy 1987). Die insulinunabhängige Phase der Glykogenresynthese zeichnet sich durch diese kontraktionsinduzierte Erhöhung der Membranpermeabilität aus. Der Insulin ähnliche Effekt der Muskelkontraktion verliert seine Wirkung jedoch bald nach der Belastung (Ivy 2000). Aber es bleibt weiterhin eine erhöhte Sensitivität der Zelle für Insulin bestehen (Ivy & Kuo 1998), die so hoch sein kann, dass Glukoseaufnahme und Glykogenresynthese mit Insulinkonzentrationen erfolgen, die bei inaktiven Personen keinen Effekt haben und erst dann verschwindet, wenn Glykogensuperkompensation erreicht wird (Ivy 2000).

3.1.2. Zeitpunkt der CHO-Aufnahme

Die Glykogenresynthese ist in den ersten 24 Stunden nach der Belastung erhöht. Anschliessend verlangsamt sie sich (Burke 2000a). Die höchsten Speicherraten werden in den ersten Stunden erreicht. Die Gründe dafür wurden im vorhergehenden Kapitel besprochen. Die Aufnahme von CHO in dieser frühen Phase scheint diese Effekte durch Erhöhung des Blutzucker und Insulinpiegels noch zu verstärken (Burke 2000a). Eine entscheidende Rolle spielt das Timing, wie auch folgendes Beispiel zeigt: Ivy et al (1988) fanden eine Glykogenresynthese von 7.7 mmol/kg ww/h über die ersten zwei Stunden, wenn direkt nach der Belastung 2 g CHO/kg body mass (BM) zugeführt wurden. Für die Stunden drei und vier verringerte sich die Speicherrate auf 4.3 mmol/kg ww/h. Bei einer Verzögerung der CHO-Aufnahme um zwei Stunden wurden aber selbst unmittelbar nachher nicht einmal 4.3 mmol/kg ww/h erreicht!

Grundsätzlich ist das Timing bei kurzen Erholungszeiten bis etwa acht Stunden entscheidend. Über längere Zeiträume, zwölf Stunden oder mehr, ist weniger das Timing, sondern die totale CHO- und Energiemenge ausschlaggebend, wieviel Glykogen resynthetisiert wird (Burke

2000a). Das kann hauptsächlich mit der Feedbackinhibierung der sich füllenden Glykogenspeicher auf die Glykogensynthese begründet werden.

Wenn mehr als ein Training pro Tag absolviert wird oder bei Wettkämpfen mit mehreren Einsätzen pro Tag beträgt die Erholungszeit in der Regel weniger als acht Stunden, weshalb in diesen Situationen unbedingt auf eine sofortige CHO-Aufnahme zu achten ist. Doch auch bei nur einem Training pro Tag beträgt die Erholungszeit nicht 24 Stunden. Je nach Sportart dauert eine Trainingseinheit mehrere Stunden. Zudem kann während dem Schlafen nicht gegessen werden und weiter ist es nicht vorteilhaft, unmittelbar vor dem Schlafen riesige Mengen zu essen. Regeneration beinhaltet eben nicht nur Glykogenresynthese sondern unter anderem auch einen guten Schlaf. Vor allem bei Amateursportlern liegt das Training meistens am späten Nachmittag oder Abend. Diese Situation muss auch zur Empfehlung führen, möglichst schnell nach der Belastung zu essen. Vor allem wenn es sich um Sportarten mit einem sehr hohen Energieumsatz handelt, sollte einerseits die schnelle, insulinunabhängige Glykogenresynthesephase genützt werden, und andererseits wird die nötige CHO- und Energiemenge eher erreicht, wenn sofort Nahrung zugeführt wird.

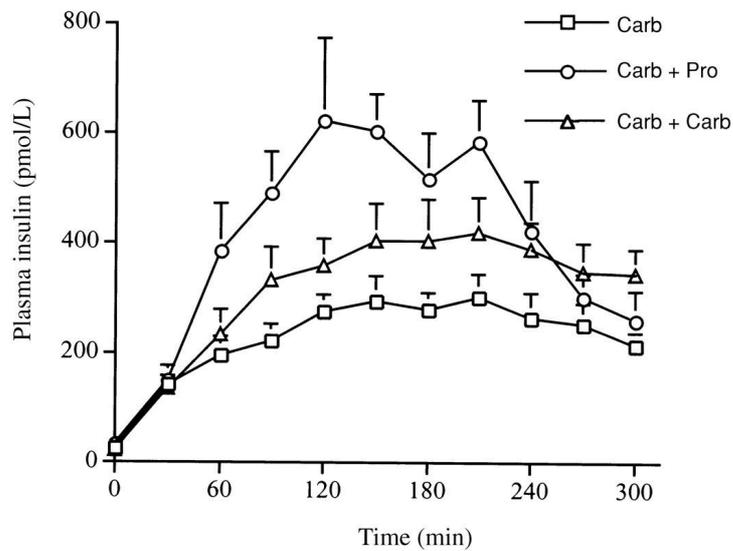
3.1.3. Maximale Resynthesegeschwindigkeit

Dieses Kapitel befasst sich mit den Möglichkeiten, die kurzfristige Glykogenspeicherung zu maximieren. Es stellt sich nämlich die Frage, wieviel CHO nun tatsächlich zugeführt werden sollen, um eine möglichst hohe Glykogenspeicherung in kurzer Zeit zu erreichen. Weiter steht die Frage im Raum, ob es so etwas wie eine Schwelle gibt, die nicht überschritten werden kann. Das hat wichtige praktische Konsequenzen, denn wenn die Glykogenspeicher möglichst schnell regeneriert werden sollen, möchte man weder zuwenig noch zuviel essen, denn das wäre wiederum nur eine unnötige Belastung. Bereits in den 80er Jahren wurde eine maximale Resyntheserate beschrieben, wonach eine Grenze erreicht zu sein schien, wenn alle zwei Stunden 0.7 bis 1.0 g CHO/kg BM aufgenommen wurde (Burke 2000a).

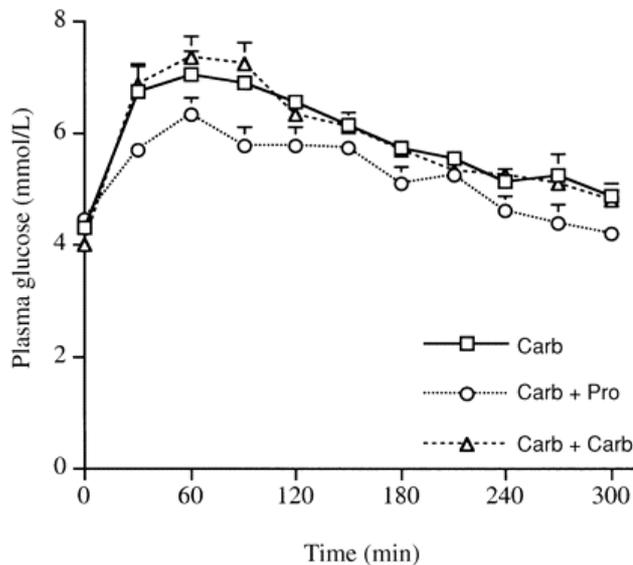
In letzter Zeit wurde aber der Effekt von Proteinen und gewissen Aminosäuren (AS) auf die Glykogenresynthese diskutiert. Van Loon et al (2000a) haben eine Korrelation zwischen der Plasmakonzentration von Leucin, Phenylalanin und Tyrosin (bei oraler Aufnahme) und der Insulinantwort gefunden. Eine Studie über die Glykogenresynthese (Van Loon et al 2000b) hat zu folgenden Ergebnissen geführt: Die Einnahmen von 0.8 g CHO/kg BM/h („Carb“), 0.8 g CHO/kg BM/h + 0.4 g Protein/kg BM/h (Weizenproteinhydrolysat + Leucin + Phenylalanin) („Carb+Pro“) und eine isoenergetische CHO-Gabe von 1.2 g CHO/kg BM/h („Carb+Carb“)

wurden über fünf Stunden gegeneinander verglichen, wobei die Nahrung in Intervallen von 30 Minuten eingenommen wurde. Die Insulinantwort (Grafik 1) und die Glykogenresynthese waren dabei bei „Carb+Pro“ sowie „Carb+Carb“ deutlich höher als bei „Carb“, obwohl die Blutglukoseantwort bei „Carb+Pro“ tiefer war als bei „Carb“ und „Carb+Carb“ (Grafik 2). Es konnte gefolgert werden, dass einerseits durch eine Erhöhung der CHO-Menge eine höhere Glykogensynthese erreicht wurde. Andererseits liess sich der gleiche Effekt erreichen, wenn weniger CHO, aber dafür zusätzlich Proteine aufgenommen wurden, was auf die höhere Insulinkonzentration und die damit verbesserte Glukoseaufnahme zurückgeführt wurde. Einen Einfluss durch Glukoneogenese mit den AS wurde als unwahrscheinlich betrachtet, da diese durch die hohe Insulinkonzentration gehemmt sei. Es soll hier noch angemerkt werden, dass von anderen Autoren auch mit Protein allein, ohne zusätzliche AS, eine Insulinreaktion beobachtet wurde (Van Hall et al 2000, Roy & Tarnopolsky 1998, Burke et al 1995).

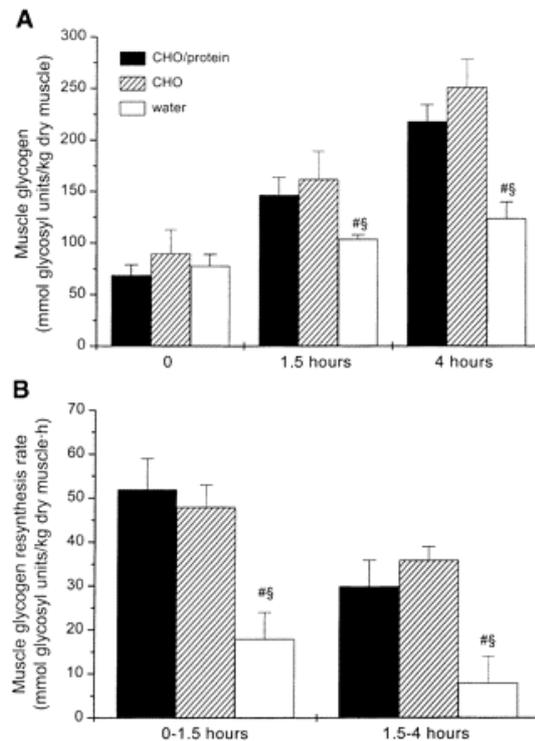
Die Arbeit von Van Loon et al (2000b) wurde durch Jentjens et al (2001) weitergeführt. Es wurden die gleichen CHO und insulinotrophe Protein/AS-Mischung verwendet und folgende Versuche gemacht: 1.2 g CHO/kg BM/h oder 1.2 g CHO/kg BM/h mit zusätzlich 0.4 g Protein/kg BM/h. In diesem Fall wurde durch das Protein wiederum eine höhere Insulinkonzentration erreicht, aber weder die Blutglukose noch die Glykogenresynthese unterschieden sich! Offenbar konnte bei dieser CHO-Menge keine zusätzliche Steigerung mehr erreicht werden. Es konnte gefolgert werden, dass Insulin nicht der limitierende Faktor ist, wenn genügend CHO aufgenommen wurden und dass man bei 1.2 g CHO/kg BM/h eine Grenze erreicht hatte. Van Loon et al sowie Jentjens et al haben neu in Abständen von 30 Minuten Nahrung zugeführt und nicht in Abständen von zwei Stunden, wie das früher meistens gemacht wurde. Es wurde vermutet, dass damit die Glukose- und Insulinkonzentration besser auf hohem Niveau gehalten werden konnte. Auch ältere Studien (Van Hall et al 2000, Zawadzki et al 1992) unterstützen rückblickend die Aussage, dass ab einer genügend hohen CHO-Aufnahme zusätzliche Proteine keinen Einfluss auf die Glykogenresynthese haben, währenddem mit Proteinen eine Steigerung der Resyntheserate zu erreichen ist, wenn kleinere CHO-Mengen erwünscht sind. Die Grenze scheint bei rund 1.0-1.2 g CHO/kg BM/h zu liegen. Neben den CHO auch Proteine aufzunehmen hat aber auch noch den Vorteil, dass damit Aminosäuretransporte, Proteinsynthese und Gewebereparaturen gefördert werden (Ivy 2001). Zudem hat Insulin auch noch auf andere Stoffwechselwege einen Einfluss. So kann es einen positiven Einfluss auf die Proteinsynthese haben und den Proteinabbau hemmen (Tarnopolsky 2000).



Grafik 1: Insulinkonzentration nach Einnahme von 0.8 g CHO/kg BM/h („Carb“), 0.8 g CHO/kg BM/h + 0.4 g Protein/kg BM/h (Weizenproteinhydrolysat + Leu + Phe) („Carb+Pro“) und eine isoenergetische CHO-Aufnahme von 1.2 g CHO/kg BM/h („Carb+Carb“). Aus Van Loon et al (2000b).



Grafik 2: Blutglukosekonzentration nach Einnahme von 0.8 g CHO/kg BM/h („Carb“), 0.8 g CHO/kg BM/h + 0.4 g Protein/kg BM/h (Weizenproteinhydrolysat + Leu + Phe) („Carb+Pro“) und eine isoenergetische CHO-Aufnahme von 1.2 g CHO/kg BM/h („Carb+Carb“). Obwohl bei „Carb+Pro“ etwas tiefere Blutglukosewerte resultieren (das Protein könnte die Magenentleerungsrate reduzieren), erfolgt wegen des höheren Insulinspiegels (Grafik 1) eine verbesserte Glykogenresynthese gegenüber „Carb“. Aus Van Loon et al (2000b).



Grafik 3: Glykogenkonzentration (A) und Glykogenresynthese (B) im M. vastus lateralis während vier Stunden Resynthese nach intensiver Belastung (Velo) aus der Studie von Van Hall et al (2000). Die Nahrung wurden in 15 Minuten Intervallen eingenommen. Es wurde 1.0 g CHO/kg BM/h plus noch 0.3 g Protein/kg BM/h in der „CHO/protein“-Probe verwendet. Sehr gut ersichtlich, dass die Glykogenresynthese in den ersten 1.5 h wesentlich schneller ist als in den nachfolgenden 2.5 h! (Achtung: alle Angaben in mmol/kg Trockenmasse). Da sich die CHO Zufuhr an der Speicherschwelle (vgl. Seite 6) befindet, bringt die zusätzliche Proteingabe keine Steigerung der Glykogenresynthese mit sich.

3.1.4. Der Glykämische Index

Die Glykogenspeicherung ist abhängig von der raschen Verfügbarkeit von Glukose sowie von der Insulinkonzentration, und diese Faktoren sind wiederum von der Magenentleerungsrate sowie von der Absorptionsgeschwindigkeit der Monosaccharide aus dem Darm ins Blut abhängig.

Traditionell wurden CHO-haltige Lebensmittel eingeteilt in solche mit „einfachen“ (Mono-, Di-, und Oligosaccharide) oder „komplexen“ CHO (Polysaccharide). Den „einfachen“ CHO wurde dabei eine starke und schnell ansteigende Blutglukoseantwort nachgesagt. Von Nahrungsmitteln mit „komplexen“ CHO sagte man, dass die Verdauung und Absorption zwar voll-

ständig (im Gegensatz zu den Nahrungsfasern) aber langsam sei, was eine schwache Anhebung des Blutzuckers zur Folge habe (Burke 2000b).

Dieses für Laien entworfene System umfasste aber viele fehlerhafte Annahmen und führte sowohl in der Ernährungswissenschaft wie in der Praxis zu Verwirrungen. Denn es besteht höchstens eine kleine Korrelation zwischen der Struktur der CHO und deren Einfluss auf die Blutglukosekonzentration (Burke 2000b). Zudem enthalten die meisten Lebensmittel sowohl „einfache“ wie „komplexe“ CHO. Diverse Nahrungsmittel mit vielen „einfachen“ Zuckern wie Früchte produzieren eine flache Blutzuckerkurve, währenddem solche mit vielen „komplexen“ CHO wie Brot oder Kartoffeln eine stärkere Blutglukoseantwort zur Folge haben als Saccharose (=Haushaltszucker).

Wegen dieser Probleme wurde der Glykämische Index (GI) durch Jenkins zu Beginn der 80-er Jahre eingeführt, womit die postprandiale Reaktion des Blutzuckers eines bestimmten Nahrungsmittels erfasst wurde. Der GI ist sowohl intra- wie interindividuell gut reproduzierbar (Burke 2000b) (Tabelle 1).

Faktoren wie Kochen und Verarbeitung, Präsenz von Fruktose oder Laktose, Verhältnis Amylose/Amylopektin, Vorhandensein von Protein, Fett, Phytaten oder Lecitin oder der Reifungsgrad von Früchten haben Einfluss auf den GI eines Lebensmittels (Burke 2000b). Verschiedene CHO scheinen unterschiedliche Effekte auf die Glykogenresynthese zu haben. Von Glukose und Saccharose wurde gezeigt, dass sie zu gleichen Speicherraten führen, während die Einnahme von Fruktose tiefere Werte bedingt (Burke 2000a).

In den Studien von Van Loon et al (2000) und Jentjens et al (2001) wurden CHO mit hohem GI verwendet. Bei einigen anderen, insbesondere älteren Studien ist es aber tatsächlich ein Problem, dass der GI der verwendeten Nahrungsmittel unklar bleibt, da entweder gar nicht erwähnt wurde, was für CHO verabreicht wurden, oder die ungenaue Klassifizierung in „einfache“ und „komplexe“ CHO zur Anwendung kam, ohne Insulin und Blutzucker zu messen. Das könnte ein Grund für teilweise widersprüchliche Ergebnisse von Studien sein, denn ein mittlerer bis hoher GI ist für eine schnelle Glykogenresynthese wichtig:

Burke et al (1993) haben über 24 Stunden Regeneration nach einer glykogenentleerenden Belastung für CHO mit hohem GI um 30 % höhere Speicherraten gefunden als für solche mit tiefem GI. Es wurden 10 g CHO/kg BM/24 h zugeführt, womit eine ausreichende Versorgung sichergestellt sein sollte. Die Speicherung bei hohem GI hat sich dabei auch nicht geändert, wenn dieselbe Menge über 24 Stunden auf vier grosse oder 16 kleine Mahlzeiten aufgeteilt wurde (Burke et al 1996). Es wurde vermutet, dass sich kein Unterschied fand, weil die Speicherschwelle erreicht war. Das bestätigt wiederum die Vermutung, dass über längere Sicht nur die totale CHO-Menge und eben der GI entscheidend sind. Die Kurzzeitresynthese wurde in dieser Studie nicht untersucht, obwohl dort Unterschiede vermutet wurden.

Nahrungsmittel mit mittlerem bis hohem GI haben vor allem auch praktische Vorteile. Denn die CHO sind schnell und gut verdaubar, währenddem Nahrungsmittel mit tiefem GI meist schlechter verdaulich sind, sättigender wirken und damit eine hohe Energieaufnahme verhindern. An dieser Stelle muss auf die unterschiedlichen Bedürfnisse des Sportlers und des Nichtsportlers hingewiesen werden. Der Sofasportler wählt mit Vorteil Nahrungsmittel mit tiefem GI, um seinen Blutzucker und sein Insulin in Schranken zu halten und damit auch das Risiko für Diabetes Typ II zu reduzieren. Gleichzeitig wird auch bei Sättigung weniger Energie aufgenommen. Der Sportler hingegen muss viele, schnell verdaubare und verfügbare CHO aufnehmen. Dabei verhindert die starke Sensitivitätserhöhung der Muskelzelle für Insulin durch die Belastung eine Diabetesentwicklung.

Tabelle 1: Der durchschnittliche Glykämische Index diverser Nahrungsmittel. Hier wurde Glukose als Referenzwert (=100) gewählt. In anderen Listen wird manchmal auch Weissbrot als Referenzwert genommen. Der Umrechnungsfaktor beträgt 0.7. Es ist gut ersichtlich, dass sich der GI keineswegs einfach so von den vorhandenen CHO ableiten lässt (vgl. Kapitel 3.1.4.). Auch gibt es Nahrungsmittel, wie z.B. Reis oder Früchte, bei denen der GI je nach Sorte oder Reifungsgrad andere Werte annehmen kann. Daneben spielt auch die Zubereitung der Speisen eine Rolle. Die Unterscheidung in hohen, mittleren und tiefen GI ist nicht klar definiert. Meistens wird alles mit Werten >70 als hoher GI, alles <50-55 als tiefer und die Werte dazwischen als mittlerer GI bezeichnet. (Quellen: Burke 2000a, Burke 2000b, Mendosa 2002, Foster-Powell et al 2002)

Maltose	105	Kartoffel, gekocht	63
Maltodextrin	105	Ice-Creme	61
Glukose	100	Reis, weiss, viel Amylose	58
Diverse Sportdrinks	70-95	Orangensaft	57
Reis-Pasta	92	Mango	55
Gatorade (Orange)	89	Popcorn	55
Reis, weiss, wenig Amylose	88	Kiwi	53
Kartoffeln, gebacken	85	Reife Banane (Schale braun)	52
Cornflakes	84	Schokolade	49
Reis Krispies	82	Bananecake mit Zucker	47
Cocopops (Kellogg's)	77	Laktose	46
Honig	73	Macaroni	45
Wassermelone	72	Karottensaft	45
Banane, gedünstet	71	Orange	43
Weissbrot	70	Pfirsich	42
Vollkornbrot (fast gleich wie Weissbrot!)	69	Spaghetti	41
Müsli Flakes (Cerealien)	68	Apfelsaft	41
Limonade	68	Apfel	36
Gnocchi	67	Yoghurt	33
Saccharose (Haushaltszucker)	65	Nutella (Ferrero)	32
Couscous	65	Unreife Banane	30
Rosinen	64	Milch	27
Macaroni mit Käse	64	Fruktose	20
Mars-Riegel	64	Erdnüsse	15

3.2. Kohlenhydrate in der Praxis

3.2.1. Allgemeine Richtlinien zur Kohlenhydratmenge

Grundsätzlich unterscheiden sich die Ernährungsrichtlinien für Sportler nicht gross von denen für Nichtsportler. Die erhöhte Menge, die der Sportler braucht, bringt grundsätzlich auch den Mehrbedarf der meisten Makro- und Mikronährstoffe mit sich. Im Folgenden wird jedoch ein Augenmerk auf die Problematik der CHO-Aufnahme gelegt.

Die typischen westlichen Ernährungsgewohnheiten stellen kaum eine genügende CHO-Versorgung sicher, um die Glykogenspeicherschwelle zu erreichen (Burke 2000a). Eine optimale Erholung wird deshalb meist nur über einen Essensplan erreicht. Vor allem bei viel reisenden Athleten wird die Planung sehr wichtig. Wie aus Abschnitt 3.1. hervorgeht, müssen vor allem Athleten, die mehr als ein Training pro Tag absolvieren, verstärkt auch das Timing der CHO-Aufnahme berücksichtigen.

Light-Produkte haben in der Sporternährung absolut nichts zu suchen, denn sie belasten nur den Verdauungstrakt ohne Energie zu liefern. Das will nur der Sofasportler.

3.2.2. Interaktion mit anderen Makronährstoffen – Tägliche CHO-Zufuhr

Die Aufnahme von reinen CHO entspricht nicht der Ernährungsrealität, wenn nicht gerade Sportgetränke verwendet werden, die nur CHO enthalten. So wird meistens eine Kombination von allen Makronährstoffen aufgenommen.

Die Interaktion mit Proteinen wurde schon unter 3.1.4. besprochen. Fette sind gute Geschmacksträger. Das trägt zu besserem Geschmack bei und kann damit die Nahrungsaufnahme erhöhen. Zusammen mit der hohen Energiedichte von Fett wird das um so wichtiger, je höher der Gesamtenergiebedarf ist. Burke et al (1995) haben gezeigt, dass die gleichzeitige Einnahme von Fett (in bescheidenen Mengen) oder Protein die Glykogenresynthese über 24 Stunden vermutlich nicht beeinträchtigt, falls die CHO-Einnahme hoch genug ist. Genau hier liegt aber das allgemeine Problem. Denn je mehr der Energiebedarf über Fett und Protein gedeckt wird, desto mehr geht das auf Kosten der CHO. Währenddem der Gesamtenergieverbrauch linear mit der aeroben Belastung ansteigt, muss der CHO-Bedarf eher als Absolutwert relativ zum Körpergewicht betrachtet werden (Hawley et al 2000). Aus diesem Grund ist der prozentuale CHO-Anteil in der Nahrung bei einem Ultraausdauersportler wesentlich kleiner (45-60 Energieprozent) als bei einem Athleten mit tiefem Gesamtenergieumsatz (65-70%) (Burke 2000a).

Vor allem Sportler mit niedrigem Gesamtenergieumsatz sind gefährdet, selbst bei hohem CHO-Anteil in der Nahrung nicht auf die erforderliche CHO-Menge für eine optimale Glykogenresynthese zu kommen. Der niederere Energieumsatz pro kg BM macht das Problem für Frauen noch heikler. Andererseits würde es für einen Ausdauersportler keinen Sinn machen, zu viele CHO essen zu wollen. Denn dadurch wird das Nahrungsvolumen so gross, dass er die nötige Energiezufuhr nicht mehr erreicht und zudem werden die Fette genauso zur Energiebereitstellung neben den CHO benötigt.

Tabelle 2 Empfohlene Menge CHO pro Tag je nach Situation (abgeändert nach Burke (2000a)) (vgl. auch 3.3.1.).

Situation	Empfohlene Menge CHO pro Tag
Tägliche Belastung von < 1 h mit niederer Intensität	5-7 g CHO/kg BM/d
Tägliche Ausdauerbelastung von 1-3 h bei mittlerer bis hoher Intensität	8-10 g CHO/kg BM/d
Ausdauersportler mit täglich >4-5 h mittel bis hochintensivem Trainingsprogramm	10-13 g oder mehr CHO/kg BM/d, wobei die zusätzlichen Mengen über 10g/kg BM/d CHO sind, die während dem Training eingenommen werden.

3.2.3. Formen der CHO-Aufnahme und Praktische Probleme

Feste und flüssige CHO-Aufnahme scheinen gleich effizient zu sein bezüglich Glykogenresynthese (Burke 2000a). Praktische Argumente stehen im Vordergrund. Es ist entscheidend, dass die Nahrung appetitanregend erscheint und gut schmeckt. Weiter sollte auf die Ernährungsgewohnheiten des Athleten Rücksicht genommen werden. Das sind Faktoren, die schlussendlich wichtig sind, damit die Nahrung gern und somit eher in ausreichender Menge aufgenommen wird. Unmittelbar nach einer Belastung können der flüssigen Nahrungsaufnahme allerdings einige wichtige Vorteile zugeschrieben werden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vorteile der flüssigen Nahrungsaufnahme gegenüber festen Speisen.

- Bei Müdigkeit und Appetitlosigkeit sind flüssige Nahrungsformen einfacher aufzunehmen und werden meist auch besser vertragen.
- Ein mindestens so wichtiger Faktor wie die Glykogenresynthese nach intensiven Belastungen ist die Rehydratation, weshalb die gleichzeitige Wasseraufnahme wichtig ist. Zudem können über die meisten Sportdrinks auch Elektrolyte wieder ausgeglichen werden. Umgekehrt gesehen sollte die Möglichkeit, bereits über Getränke CHO aufzunehmen, allgemein genutzt werden. So erreicht man den täglichen CHO-Bedarf eher. Diese Empfehlung gilt natürlich genau nicht für den Sofasportler.
- Die Wahrscheinlichkeit, bedeutende Mengen Fett zu enthalten, ist bei fester Nahrung grösser.

Es gibt Probleme, die in der Praxis immer wieder auftreten und der schnellen und ausreichenden CHO-Versorgung im Weg stehen. Athleten müssen ihr Essen häufig zu definierten Zeiten zu sich nehmen, und besonders unter Müdigkeit und nach langen, intensiven Belastungen sollten häufig grössere Mengen gegessen werden, als der Appetit zulässt. Nachfolgend einige Überlegungen dazu in Tabelle 4.

Tabelle 4: Probleme in der Praxis

-
- Der Geschmack der Speisen und Getränke ist wichtig, damit gern gegessen und getrunken wird.
 - Süsse Nahrungsmittel und Getränke kommen unmittelbar nach Belastungen meistens gut an, wobei Süsses mit viel Fett auch wegen der Verträglichkeit vermieden werden sollte.
 - Häufig ist es schwierig, unmittelbar nach dem Training oder Wettkampf schnell an sinnvolle Nahrung zu gelangen. Kompakte und einfach zu konsumierende Nahrungsmittel sind deshalb gefragt. Sportgetränke oder -riegel, sowie selber vorbereitete Sachen sind gut, aber es ist wichtig, dass sie schon vorher bereitgelegt worden sind!
 - Bei fester Nahrung ist unbedingt auch auf eine genügende Flüssigkeitszufuhr zu achten.
 - Besonders reisende Athleten müssen sich ihre CHO-Versorgung gut organisieren, wobei häufig die Vorbereitung auf den Wettkampf im Detail geplant wird, aber die Phase danach eher dem Zufall überlassen bleibt. Genau diese Zeit stellt aber meistens schon die Vorbereitung auf die nächste Belastung, ob Training oder Wettkampf, dar!
 - Viele Vorkommnisse bei Wettkämpfen wie Siegerehrung, Dopingkontrolle, gesellschaftliche Verpflichtungen oder freundschaftliche Gespräche verzögern die CHO-Aufnahme. Liegen einfach zu konsumierende Nahrungsmittel bereit kann parallel dazu gegessen werden!
 - Die Regenerationszeit läuft ab dem Abbruch des Wettkampfes oder des Trainings. Das Cool Down, Stretching, Duschen usw. liegt bereits in der Regenerationsphase, was meistens ignoriert wird.
 - Ein Spaghettiplausch nach dem Training/Wettkampf ist eine gute Sache, aber meistens geht zu viel Zeit verloren bis man mit Essen beginnt. Wer schnell regenerieren möchte, wenn es noch längere Zeit dauert bis zum Essen, kann deshalb problemlos schon beim Auslaufen, je nach „Wartezeit“, bis zu 1 g CHO/kg BM (hoher GI!) in Form eines Regenerationsdrinks aufnehmen, ohne dass nachher bemerkbar weniger gegessen werden kann. In der folgenden Stunde sollte sowieso wieder rund 1 g CHO/kg BM aufgenommen werden. Steht das Essen unmittelbar nach dem Training bereit, sollte zuerst gegessen werden. Später kann immer noch ein Regenerationsdrink genommen werden. Beachte aber noch die Bemerkungen zu Pasta in Tabelle 6.
 - Nahrungsmittel mit hohem Fasergehalt, sowie rohe, unaufgeschlossene Lebensmittel bringen viel Volumen und wenig CHO und brauchen längere Essens- und vor allem Verdauungszeiten, womit eine genügende CHO-Aufnahme verhindert wird. Besonders in Wettkampfsituationen sind solche Lebensmittel unbedingt zu vermeiden (vgl. auch 3.4.2.).
 - Athleten mit grundsätzlich hohem CHO-Bedarf müssen auch im Alltag ihre Ernährung so einrichten, dass sie die erforderliche Tagesenergie zuführen. In zu wenigen Mahlzeiten zu viel zu essen ist auch unangenehm, und die Gefahr ist gross, dass man den Tagesbedarf nicht deckt (vgl. auch 3.3.1. und 3.4.2.).

3.2.4. Intravenöse Glukoseversorgung

Eine intravenöse (IV) Versorgung mit Glukose kann ein Weg sein, Athleten mit beeinträchtigtem Verdauungstrakt oder extrem hohem Energiebedarf mit CHO zu versorgen. Wenn (zu) kurze Regenerationszeiten zur Verfügung stehen, in denen zudem eine genügende normale Nah-

rungsaufnahme durch Schlaf verhindert wird, kann eine IV Glukoseversorgung auch über Nacht eine CHO-Versorgung für eine optimale Glykogenresynthese aufrechterhalten. Gleichzeitig kann auch rehydratisiert werden. Bei Events wie der Tour de France, wo die Athleten über Nacht regenerieren müssen, um täglich mehrstündige erschöpfende Leistungen zu erbringen, ist eine IV Glukoseversorgung eine Möglichkeit (Burke 2000a) oder sogar notwendig. Eine IV Versorgung birgt aber auch Risiken und benötigt ärztliche Kontrolle, weshalb ein Einsatz nicht für Jedermann zu jeder Zeit sinnvoll ist.

Einen extremen Versuch unternahmen Hansen et al (1999). Durch IV Versorgung mit Glukose und Insulin wurde die Blutglukose auf (unphysiologische) 20 mmol/l und Insulin auf seiner maximal wirksamen Konzentration hochgehalten. So wurde innert acht Stunden eine Glykogenresynthese erreicht, wie man sie normalerweise nur mit Glykogensuperkompensation über eine viel längere Zeit erreicht. Der Versuch musste allerdings aus ethischen Gründen abgebrochen werden.

3.2.5. Carboloadung

Der Begriff Carboloadung bzw. Glykogensuperkompensation wird heute für fast alles verwendet, das man macht, um sich für eine bevorstehende Leistung „aufzuladen“. Das Muskelgewebe von Untrainierten enthält etwa 80 mmol Glykogen/kg ww. Durch regelmässiges Ausdauertraining schwankt der Gehalt um 125 mmol/kg ww. Die maximalen Werte, die mit Carboloadung erreicht werden können, liegen leicht über 200 mmol/kg ww (Hawley et al 2000)

Die ursprüngliche Diät für Glykogensuperkompensation benötigt mindestens sechs Tage und sieht vor, zuerst drei Tage mit einer praktisch CHO-freien Diät und gleichzeitigem Training die Glykogenspeicher völlig zu entleeren, um sie anschliessend über drei Tage mit einer extrem CHO-reichen Diät wieder aufzuladen, wobei man über 200 mmol/kg ww erreicht (Ivy 2000). Diese extreme Diät hat aber etliche Nachteile, und zudem konnte gezeigt werden, dass mit einer moderateren Diät, bei der auf drei Tage Mischkost (50 % CHO) drei Tagen mit hoher CHO-Zufuhr (70 % CHO) mit gleichzeitig reduziertem Training folgen, die gleichen Resultate erreicht werden (Ivy 2000). Weiter belastet diese Diätform die Psyche und das Training in der Woche vor dem Wettkampf viel weniger.

Es muss aber beachtet werden, dass 1 g Glykogen mit 2,7 g Wasser gespeichert werden (Bangsbo 2000). Wer also nicht auf die zusätzlichen Speicher angewiesen ist, startet lieber mit etwas weniger Glykogen und damit auch weniger Gewicht. Wie sinnvoll Carboloadung für einzelne Sportarten ist, wird unter 3.3. besprochen.

3.3. Bedürfnisse in einigen ausgewählten Sportarten

3.3.1. Langstreckenlauf und Radsport

Ein wichtiges Merkmal eines Ausdauerathleten ist der sehr hohe Energieumsatz, der zwei bis drei mal so hoch sein kann wie bei einem Untrainierten. Wenn nicht genügend Energie nachgeführt wird, wirkt das langfristig leistungslimitierend. Der grosse Energiebedarf kann deshalb mit den gewöhnlichen Essgewohnheiten nicht gedeckt werden. So kann auch das ständige Essen dieser Athleten erklärt werden. Eine Gewohnheit, die den bierbäuchigen Sofasportler brutal ins Übergewicht laufen liesse. Vor allem Frauen sind gefährdet, den Energiebedarf nicht zu decken (Hawley et al 2000).

Für eine rasche Regeneration nach belastenden Trainings ist eine tägliche Menge von 8-10 g CHO/kg BM empfohlen (Hawley et al 2000) (Tabelle 2). Noch mehr CHO pro Tag zu essen, bringt keinen weiteren Nutzen für die Glykogenresynthese (Hawley et al 2000). Weitere Überlegungen dazu wurden unter Kapitel 3.2.2 angestellt.

Carboloading ist für die meisten Langstreckenläufer mit Belastungszeiten ab einer Stunde grundsätzlich ein Thema. Langstreckenläufer bestreiten relativ wenige Wettkämpfe, so dass eine gezielte Vorbereitung auf einen Event problemlos möglich ist. Kein Carboloading zu machen bedeutet schlussendlich nicht, wenig CHO zu essen, sondern eine konstant CHO-reiche Ernährung, so dass eine gute Erholung möglich ist und die Glykogenspeicher zwar voll, aber nicht unnötig überfüllt sind! Beispielsweise im Mittelstreckenbereich in der Leichtathletik ist Carboloading genauso wenig sinnvoll wie im Sprint (siehe 3.3.2.).

Im Gegensatz zum Langstreckenlauf gibt es im Radsport diverse Etappenrennen, in denen, anders als bei Eintagesrennen, ein Carboloading natürlich nicht möglich ist. Es muss täglich eine maximal mögliche CHO-Menge zugeführt werden. Bei Events wie der Tour de France ist zusätzlich eine IV Glukoseversorgung möglich (siehe 3.2.4.), ohne hier die Frage nach der Ethik zu stellen.

Das Thema Flüssigkeits- und Energieaufnahme während Belastungen ist zwar nicht das Hauptthema dieser Arbeit, doch schlussendlich hängt es trotzdem zusammen. Es geht dabei hauptsächlich um die Frage, ab welcher Belastungszeit die Energieaufnahme sinnvoll bzw. die Nichtaufnahme leistungslimitierend wird. Bis zu 45 Minuten Dauer und maximal möglicher Belastung bringt die Zufuhr von CHO praktisch nichts. Zwischen 45 und 90 Minuten gibt es widersprüchliche Meinungen, währendem bei über 90 Minuten dauernden Belastungen eine CHO-Supplementierung klar empfohlen wird (Jeukendrup 2000). Allerdings könnte die Aufnahme von CHO auch bei kürzeren Belastungszeiten einen glykogensparenden Effekt haben (Hawley et al 2000), was vor allem in Trainingszyklen die Ausgangslage für die Regeneration verbessert.

Es kann deshalb sinnvoll sein, ein CHO-haltiges Getränk zu verwenden, denn getrunken werden sollte auf alle Fälle, und wie bereits erwähnt ist es sinnvoll, das Trinken gleich auch zur CHO-Aufnahme zu nutzen. Sportgetränke enthalten optimal etwa 6-8 g CHO/100 ml (Hargreaves 2000), wobei wiederum die individuelle Verträglichkeit berücksichtigt werden sollte. Konzentrationen über 15 g/100ml sind während Belastungen problematisch (Jeukendrup 2000) und mehr als 1.0-1.3 g oral zugeführter CHO können pro Minute gar nicht oxidiert werden (Hargreaves 2000). Es bringt also nichts, noch mehr aufzunehmen. Wenn während mehrstündigen Belastungen bedeutende Mengen zusätzlicher CHO aufgenommen werden, können die zu den maximal 8-10 g CHO/kg BM/Tag, die für eine optimale Regeneration gebraucht werden, dazugezählt werden, da diese zusätzlichen CHO fortlaufend oxidiert werden. So können sich >12-13 g CHO/kg BM/Tag ergeben (Tabelle 2).

3.3.2. Sprint

Grundsätzlich geht es hier um die Frage, ob die initiale Glykogenmenge für den Sprinter einen limitierenden Faktor darstellt.

Im Gegensatz zum Ausdauersport ist der Sprint relativ schlecht erforscht. Sprint wird hier definiert als eine kurze, weniger als 60 Sekunden dauernde, maximal mögliche Belastung (Nicholas 2000). Dabei liegt der Energieverbrauch weit über VO_2max , so dass die laktazide und alaktazide anaerobe Energiebereitstellung wichtig ist. Solche Belastungen sind dabei in fast allen Sportarten anzutreffen. Im Folgenden wird aber vor allem der Sprint in der Leichtathletik angesprochen. Während den ersten 5-6 Sekunden eines maximalen Sprints wird das meiste Phosphokreatin verbraucht. Sobald es verbraucht ist und die Glykolyse der dominierende ATP-Lieferant ist, sinkt die maximale Leistung bzw. die Laufgeschwindigkeit, auch wenn das Laktat noch nicht Konzentrationen erreicht, die eine inhibierende Wirkung auf die Glykolyse oder andere Prozesse haben. Bei einem 100 m Sprint stammt 65-70 % der Energie aus der Glykolyse (Nicholas 2000).

Der maximale Speed kann vermutlich deshalb nicht aufrechterhalten werden, weil die Glykogenabbaugeschwindigkeit limitiert ist. Der Speedabfall gegen Ende eines 400 m Rennens ist hingegen auf die inhibierte Glykolyse zurückzuführen. Auch der Anstieg von Ammonium kann über 400 m oder bei repetitiven Kurzsprints zur Ermüdung beitragen (Nicholas 2000).

Es ist unbestritten, dass sehr tiefe Glykogenspeicher vor einem Sprint zu schlechteren Leistungen führen, andererseits bringen erhöhte Glykogenspeicher selbst über 400m keinen Vorteil (Nicholas 2000). Das Glykogen an sich ist nicht leistungslimitierend. Stark erhöhte Glykogen-

speicher können jedoch wegen des zusätzlich eingelagerten Wassers zu erheblichem Zusatzgewicht führen (siehe 3.2.5.). Trotzdem konnte gezeigt werden, dass eine inadäquate CHO-Aufnahme in den Tagen vor dem Wettkampf die Leistung negativ beeinflusst.

Bei einem einmaligen Test ist das Glykogen auch bei repetitiven Sprints nicht leistungslimitierend, sofern es nicht unter die kritische Konzentration von rund 30 mmol/kg ww fällt. Wiederholt man aber solche Tests nach wenigen Tagen, wird es wichtig, wieviele CHO in der Zwischenzeit gegessen wurden (Nicholas 2000). Dieser Fall entspricht auch vielmehr der Trainingsrealität eines Sprinters.

Obwohl andere Ermüdungsfaktoren wesentlicher sind als der Glykogenvorrat, muss für einen Sprinter eine hochprozentige CHO-Diät empfohlen werden, um eine kumulative Entleerung der Glykogenspeicher zu verhindern. Vor allem im Aufbautraining hat auch ein Sprinter einen erheblichen Energie- und CHO-Verbrauch, der unbedingt gedeckt werden muss. Gleichzeitig soll verhindert werden, dass zuviel Energie über Fett aufgenommen wird, das im Energiestoffwechsel des Sprinters nur geringfügig verbraucht wird. Ein eigentliches Carboloadung ist nicht sinnvoll. Vielmehr sollte ein Sprinter auf eine konstant hohe CHO-Zufuhr achten und einen möglichst idealen Ernährungsstatus aufrechterhalten. Besonders Frauen neigen dazu, bis zum Exzess „Kalorien“ zu zählen. Dieses Fehlverhalten begründet sich meist darin, den Körperfettanteil und deshalb die Energiezufuhr zu reduzieren. Leider wird dabei viel zu wenig beachtet, dass eigentlich der CHO-Anteil in der Nahrung möglichst hoch zu halten ist und sich die Einschränkung allein auf das Fett beziehen sollte. Würde konsequent auf eine sehr fettarme Diät geachtet, was auch einiges an Wissen benötigt, könnte der CHO-Anteil und damit das Nahrungsvolumen sogar gesteigert werden, währenddem die Gesamtenergiezufuhr abnehmen würde. Damit wäre eine gute CHO-Versorgung und Leistungsbereitschaft gewährleistet. Ein weiteres Argument für eine ausreichende CHO-Zufuhr ist auch folgende Tatsache (die auch für andere Sportarten mit ähnlichen Belastungen gilt):

Exzentrische Belastungen, sowie Kontakt-Muskelschäden führen zu einer reduzierten Glykogenspeicherung (Burke 2000a, Asp et al 1995), da sie kleine Muskelschäden nach sich ziehen, die sich negativ auf die GLUT4-Konzentration an der Plasmamembran auswirken, womit der Glukosetransport in die Muskulatur eingeschränkt ist (Asp et al 1995). Dieser Hemmung kann teilweise durch erhöhte CHO-Gaben über 24 Stunden kompensiert werden (Burke 2000a).

3.3.3. Mannschaftssportarten und Tennis

Teamsportarten wie Basketball, Fussball, Hockey oder Handball sind dadurch charakterisiert, dass unterschiedlichste Leistungsintensitäten, vom Stehen bis zum Sprinten, über einen grösseren Zeitraum hinweg erbracht werden müssen. Daraus ergeben sich verschiedenste Energiebereitstellungsformen – im Gegensatz zum reinen Sprinter oder Ausdauersportler. Zwar wird 98 % der Energie in einem Fussballspiel aerob bereitgestellt (Bangsbo 2000), aber trotzdem spielt auch die anaerobe Energiebereitstellung eine wichtige Rolle. Die Sauerstoffschuld, die in den unzähligen Antritten und Sprints eingegangen wird, wird in den anschliessenden Phasen niedriger Intensität wieder kompensiert. Die durchschnittliche Belastung während eines Fussballspiels liegt damit in der Grössenordnung von bis zu 70 % VO_2max (Bangsbo 1994). Das bedingt einen hohen Energieverbrauch, wobei Glykogen das wichtigste Substrat ist (Bangsbo 1994) und schlussendlich auch leistungslimitierend wird (Bangsbo 2000).

Mehr als in anderen Sportarten entscheiden schlussendlich noch weitere Faktoren neben der Ernährung über Sieg oder Niederlage. Aber eine Optimierung in diesem Bereich schafft ein höheres Potential, das ausgeschöpft werden kann. Die Leistung in Mannschaftssportarten kann durch erhöhte Glykogenspeicher verbessert werden, wobei sich die Leistungsunterschiede vor allem in der zweiten Belastungshälfte zeigen (Bangsbo 2000).

Die Glykogenspeicher können während eines Fussballmatchs um 75 % entleert werden und der tägliche Energieverbrauch eines Fussballers kann über 20 MJ liegen (Bangsbo 2000). Neben der genügenden CHO-Zufuhr muss auch der totale Energiebedarf gedeckt sein, um langfristig das Leistungspotential erbringen zu können. Auch in Mannschaftssportarten treten viele exzentrische Belastungen sowie durch Körperkontakt bedingte Muskelschäden auf, was den CHO-Bedarf ebenfalls steigert (siehe 3.3.2.). Damit eine Versorgung mit 8-10 g CHO/kg BM über 24 Stunden sichergestellt ist, sollte der CHO-Anteil bei mindestens 60 Energieprozenten liegen.

Ein Mannschaftssportler befinden sich normalerweise gleichzeitig in der Regeneration vom letzten Match, in der Vorbereitung auf den Nächsten und muss gleichzeitig noch die Trainingsbelastung ertragen. Aus diesem Grund ist eine konstant hohe CHO-Aufnahme wichtig, damit die Glykogenspeicher fortlaufend wieder regenerieren können. Carboloadung kann eine leistungssteigernde Variante sein, wenn man, was wohl eher selten vorkommt, eine Woche lang in Ruhe Zeit hat, einen wichtigen Match vorzubereiten.

Die häufig sehr kurzen Erholungszeiten zwischen zwei Spielen, z.B. in der Eishockey-Nationalliga, erlaubt manchmal keine vollständige Glykogenresynthese. Dann dauert die Regenerationsphase praktisch bis zum nächsten Anpfiff. Dabei sollte die letzte grössere Mahlzeit drei bis vier Stunden vor dem Match sein, damit der Magen für die intensive Belastung wieder weitgehend leer ist. Diese Mahlzeit sollte CHO-reich sein und möglichst wenig Fett und Proteine

enthalten. Die CHO-Aufnahme 30-60 Minuten vor dem Match ist umstritten (Bangsbo 2000). Hier ist wohl die individuelle Reaktion eines Spielers entscheidend. Jemand, der aber zu einer starken Rebound-Hypoglykämie neigt, sollte in dieser Zeit auf CHO verzichten. Auf die Ernährungsvorbereitung auf eine Belastung kann hier aber nicht weiter eingegangen werden.

Die Situation während dem Match ist sehr verschieden. Währenddem ein Eishockeyspieler relativ kurze Eiszeiten hat und immer wieder die Gelegenheit hat, Wasser und CHO aufzunehmen, beschränkt sich diese Möglichkeit für einen Fussballer auf eine kurze Pause. In dieser Zeit sollte möglichst viel Flüssigkeit und CHO aufgenommen werden, ohne sich einen Wasserbauch einzuhandeln. Ein Eishockey- oder Tennisspieler kann sich dabei etwa an die Empfehlungen für einen Ausdauersportler (siehe 3.3.1.) halten.

Nach dem Match gelten grundsätzlich die Überlegungen aus dem Abschnitt 3.1. Da die Spiele meistens am Abend sind, muss unter anderem auch deshalb möglichst schnell mit der CHO-Aufnahme begonnen werden, um die kurzzeitige maximale Glykogenresynthese möglichst auszunutzen bis zum Schlafengehen. Zudem wird dadurch die Wahrscheinlichkeit erhöht, die total nötige CHO-Menge über den ganzen Tag zu erreichen. Dazu müssten eigentlich lediglich in der Kabine CHO-Drinks bereitgestellt werden, und auf der Heimreise sollte unbedingt im Mannschaftsbus gegessen werden, wozu wieder etwas Organisation nötig ist. Das Heimteam hat es dabei einfacher. Sehr wichtig ist auch wieder die Rehydratisierung.

3.4. Ernährungsvorschläge

3.4.1. Konkrete Möglichkeiten

Die Empfehlungen für die CHO-Menge, Timing usw. wurden im Kapitel 3.1. behandelt und im Abschnitt 3.2.3. wurde bereits auf einige praktische Probleme eingegangen. Jetzt geht es noch darum, einige konkrete Beispiele für sinnvolle Sportnahrung zu geben bzw. auszudrücken, was man sich beispielsweise unter 70 g CHO vorzustellen hat.

Sportdrinks enthalten meistens Saccharose und Maltodextrin als CHO-Komponenten. Diese haben einen hohen GI, was unbedingt zu beachten ist. Die zunehmende Verwendung von Fruktose muss vorsichtig betrachtet werden. In kleinen Mengen hat sie durchaus ihre Berechtigung, aber wenn sie als Hauptbestandteil der CHO eingesetzt wird, kann das nur noch marketingtechnisch erklärt werden.

Tabelle 5: Marken-Sportnahrung, die je 70 g CHO liefert. Eine Menge, die ein 70 kg schwerer Athlet unmittelbar nach einer Belastung aufnehmen sollte (vgl. Kapitel 3.1.)

-
- 103 g „Verofit Regeneration Drink“ (entspricht 1.5 Portionen). Enthält gleichzeitig noch 15 g Eiweiss pro Portion.
 - 3 „Verofit Riegel“. Liefert gleichzeitig noch viel Protein (41 g), was für die tägliche Proteinzufuhr unbedingt beachtet werden muss. Idealerweise mit anderen Nahrungsmitteln kombinieren.
 - „Sponser Isotonic“: 74 g Pulver (ergibt 960 ml Getränk)
 - „Sponser Magnesium Packs“: 85 g
 - „Sponser Energy Packs“: 86 g
 - 1½ Riegel „Sponser High Energy Bar 65 g“
 - 2 Riegel „Sponser Corn Power Plus 50 g“
 - „Sponser Carbo Energy“: 73 g Pulver
 - „Sponser Wight Plus“: 100 g Pulver, enthält gleichzeitig noch 20 g Protein.
 - „Isostar Fast Hydration“: 80 g Pulver, entspricht 1 Liter Getränk
 - „Isostar Isotonic“: 78 g Pulver, entspricht 0.92 Liter Getränk
 - „Isostar Long Energy“: 72 g Pulver
 - „Isostar Energiebarren“: 99-105 g, entspricht rund 2½ Riegel.
 - Einige Marken-Sportnahrungsprodukte enthalten zu viel Fruktose und sind nicht zu empfehlen.
 - Sportgetränke können grundsätzlich auch selber gemischt werden. Das kann sich auch preislich lohnen. Einen guten Sportdrink kann man sich aus Maltodextrin und Molkenprotein mischen.

Tabelle 6: Weitere, vor allem natürliche Nahrungsmittel, die (falls angegeben ebenfalls je 70 g) CHO liefern, sowie Kommentare zu einigen spezifischen Nahrungsmitteln. Sportnahrung (vgl. Tabelle 5) ist zwar gut und praktisch, aber wesentlich teurer und meist nicht nötig

- Ca. 90 g polierter Reis (ungekocht), entspricht ca. 360 g gekochtem, abgetropftem, poliertem Reis.
- Ca 150 g Weissbrot
- Oder ca. 120 g Weissbrot mit 20 g Honig und 10 g Butter
- Der mittlere bis hohe GI und die guten Verträglichkeiten machen Brot (Weiss- und Vollkornbrot), Reis und Kartoffeln zu empfehlenswerten Regenerationsnahrungsmitteln, die auch in grossen Mengen gegessen werden können.
- Ca. 80 g Mais-Cornflakes mit 2.5 dl (Mager)milch
- Farmer (nur die fettarmen), z.B. Lemon: 106 g, entspricht rund 5 Stengeln
- Weitere gute Möglichkeiten unmittelbar nach Belastungen sind: Biberli, Anisschnitten, Leckerli usw.
- Ca. 1 Liter Ice-Tea oder „Schweizer Alpenkräutertee“ (Migros)
- Sirup: Von Himbeersirup wird beispielsweise rund 4 dl Sirup (1:4 verdünnt) benötigt. Meistens ist jedoch eine höhere Verdünnung zu empfehlen.
- Fruchtsaftmischungen, die etwa 40 % Fruchtsaft enthalten und mit Zuckerwasser verdünnt sind liefern auch viel Zucker (ca. 7-8 dl benötigt). Vorsicht vor Zuckeraustauschstoffen (Light-Produkte), die keine Energie liefern. Das gilt auch für irgendwelche andere Light-Produkte.
- Fruchtsäfte sind gute CHO-Spender, allerdings mit eher tiefem GI: 7.7 dl Orangensaft, 6.1 dl Ananassaft oder 5.6 dl roter Johannisbeersaft. Für eine bessere Verträglichkeit können sie auch verdünnt werden.
- Von Apfelsaft oder Birnensaft muss vor allem unmittelbar nach Belastungen abgeraten werden, u.a. wegen dem hohen Fruktosegehalt und einer dehydrierenden Wirkung.
- Ca. 100 g Pasta (ungekocht). Es gilt zu beachten, dass Pasta einen eher tiefen GI haben! Allerdings können sie in grossen Mengen gegessen werden und sind allgemein gut verträglich, was in der Langzeitregeneration ein wichtiger Faktor ist. Neben dem GI ist nämlich wichtig, wieviele CHO in Form eines bestimmten Lebensmittels gegessen werden können. Aus diesem Aspekt ist Pasta durchaus zu empfehlen. Wer aber innert kürzester Zeit regenerieren möchte wählt besser eine CHO-Quelle mit höherem GI. Es muss ja nicht immer Pasta sein. Brot, Reis und Kartoffeln sind gute Alternativen mit hohem GI.
- Bananen sind eine beliebte Sportlernahrung und wohl einer der besten Beweise für den Placeboeffekt, denn alle konsumieren Bananen als ideale Sportnahrung. Aber um nur theoretisch 70 g CHO zu erreichen sind ca. 340 g essbarer Bananenanteil nötig. Mit Schale also über ½ kg. Zudem dürfen nur sehr reife Früchte (Schale braun und Frucht „matschig“) verwendet werden, sonst ist der GI viel zu tief, und die meisten vorhandenen CHO sind für den Mensch gar nicht verfügbar, womit eigentlich noch viel mehr Bananen gegessen werden müssten. Vor allem während Wettkämpfen werden meistens aus praktischen Gründen weniger reife Bananen (dazu zählen auch die, die gelb sind) verwendet, da sie weniger verquetschen. Da die Banane aber hauptsächlich den Magen mit Nahrungsfasern füllt ist sie als Wettkampf- und Sportnahrung abzulehnen! In der Regeneration sind sehr reife Früchte zu wählen, und dann gelten natürlich auch die Überlegungen unter 3.4.2., denn die Banane ist unbestritten ein gesundes, wertvolles Nahrungsmittel.
- Auch andere frische Früchte enthalten Zucker. Gleichzeitig liefern sie viele andere wertvolle Stoffe und enthalten praktisch kein Fett. Allerdings ist der GI von Früchten meistens eher am unteren Limit (es gibt auch Früchte mit hohem GI, wie die Wassermelone) und die Verträglichkeit direkt nach Belastungsende ist individuell sehr verschieden. Der hohe Anteil an resistenter Stärke kann eine hohe Energieaufnahme behindern. Auch hier gelten die Überlegungen unter 3.4.2.

Allgemein werden aufgeschlossene, faserarme, verarbeitete sowie fettarme Lebensmittel kurz nach Belastungen besser vertragen als die Gegenteiligen. Reis und Brot sind stärkereiche natürliche Nahrungsmittel mit hohem GI. Alles Süsse wird gern gegessen, wobei auf versteckte Fette

geachtet werden muss. Grundsätzlich ist auch Pasta, trotz eher tiefem GI geeignet (vgl. Tabelle 6).

Wie im Theorieteil besprochen, kann Protein die Glykogenspeicherung beeinflussen. Einige Sportnahrungsmittel enthalten bereits Protein. Gleiches kann auch ein Stück (mageres) Fleisch beim anschließenden Essen erfüllen.

Es gibt viele Nahrungsmittel, die unmittelbar nach einer Belastung sinnvolle CHO-Spender sind. Genauso verschieden sind auch die individuellen Bedürfnisse, Verträglichkeiten, Geschmacksrichtungen usw.. Besonders die erste Phase der CHO-Aufnahme nach der Belastung scheitert häufig. Sei es aus organisatorischen Gründen oder wegen Verträglichkeitsproblemen der zur Verfügung stehenden Nahrung. Die Planung dieses Zeitraums ist deshalb sehr wichtig, um verträgliche Kost in einfach zu konsumierender Form bereit zu haben.

3.4.2. Lebensmittel mit tiefem GI und niederer Energiedichte

Gemüse, Salat, viele Früchte und weitere unbestritten gesunde Kost gehören in diese Kategorie, ohne hier weiter auf die wichtigen gesundheitlichen Aspekte dieser Nahrungsmittel einzugehen. Auch diese Lebensmittel gehören auf den Speisezettel. Allerdings nicht zu jeder Zeit. Wenn es notwendig ist, innert kurzer Zeit die Glykogenspeicher wieder aufzuladen, dann sind diese Lebensmittel zu vermeiden.

Es kann aber nicht das Ziel sein, deswegen einen ganzen Bereich von Lebensmitteln auszuschliessen. Die alltägliche Ernährung des Sportlers hat unbedingt noch andere Ziele, als eine maximale Glykogenresynthese zu erreichen. Wird ein Grossteil des Energiebedürfnisses über stärkehaltige Nahrungsmittel mit mittlerem bis hohem GI wie Brot, Reis, Kartoffeln, Sportnahrung usw. gedeckt, dann haben auch Gemüse ihren fixen Platz. Weil diese Speisen oft eine tiefe Energiedichte haben, müssen vor allem Sportler mit ausserordentlich hohem Gesamtenergiebedarf auf eine genügend hohe Anzahl Mahlzeiten achten, um genau für diese Lebensmittel auch noch Platz zu haben im Magen.

3.5. Schlussfolgerung

Eine optimale Glykogenresynthese ist ein entscheidender Aspekt der Regeneration und eine Voraussetzung, um das eigene Leistungspotential in der nachfolgenden Belastung maximal ausschöpfen zu können. Eine wichtige Rolle spielt dabei die CHO-Zufuhr, wobei nicht nur die Art und der GI der CHO, sondern auch das Timing der CHO-Aufnahme und die totale CHO-Menge über den ganzen Tag gesehen Faktoren sind, die beachtet werden müssen. Bei einer langen Erholungsphase ist hauptsächlich die tägliche CHO-Zufuhr entscheidend. Je kürzer aber die vorhandene Regenerationsphase zwischen zwei Belastungen ist, desto wichtiger werden die anderen Faktoren, und eine Planung der Nahrungsaufnahme nach der Belastung sollte nicht vergessen werden. Jeder Sportler hat andere individuelle Ansprüche und Gewohnheiten, und schlussendlich stellen auch die verschiedenen Sportarten unterschiedliche Bedingungen und Ansprüche an die Athleten und deren CHO-Versorgung.

In dieser Arbeit wurde ein äusserst wichtiger Aspekt der Sporternährung beleuchtet, wobei aber auch versucht wurde, die Verknüpfungen mit anderen Mosaiksteinen des sportlichen Erfolgs aufzuzeigen.

4. Literaturverzeichnis

- Asp S, Dugaard JR, Richter EA, 1995, Eccentric exercise decreases glucose transporter GLUT4 protein in human skeletal muscle, *J Physiol*, 482, 705-12
- Bangsbo J, Gollnick PD, Graham TE, Saltin B, 1991, Substrates for muscle glycogen synthesis in recovery from intense exercise in men, *J Physiol*, 434, 434-40
- Bangsbo J, 1994, Energy demands in competitive soccer, *J Sports Sci*, 12 Spec No, 5-12
- Bangsbo J, Madsen K, Kiens B, Richter EA, 1997, Muscle glycogen synthesis in recovery from intense exercise in humans, *Am J Physiol*, 273, 416-24
- Bangsbo J, 2000, Team Sports in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 44
- Burke LM, Collier GR, Hargreaves M, 1993, Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings, *J Appl Physiol*, 75, 1019-23
- Burke LM, Collier GR, Beasley SK, Davis PG, Fricker PA, Heeley P, Walder K, Hargreaves M, 1995, Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage, *J Appl Physiol*, 78, 2187-92
- Burke LM, Collier GR, Davis PG, Fricker PA, Sanigorski AJ, Hargreaves M, 1996, Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of frequency of carbohydrate feedings, *Am J Clin Nutr*, 64, 115-9
- Burke L, 2000a, Nutrition for recovery after competition and training in CLINICAL SPORTS NUTRITION, Burke L & Deakin V (eds.), McGraw-Hill, Roseville NSW, Kapitel 15
- Burke L, 2000b, Dietary Carbohydrates in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 5
- Foster-Powell K, HA Holt S, Brand-Miller J, 2002, International table of glycemic index and glycemic load values, *Am J Clin Nutr*, 76, 5-56
- Hansen BF, Asp S, Kiens B, Richter EA, 1999, Glycogen concentration in human skeletal muscle: effect of prolonged insulin and glucose infusion, *Scand J Med Sci Sports*, 9, 209-13
- Hargreaves M, 2000, Carbohydrate Replacement during Exercise in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 8
- Hawley J & Burke L, 1998, Eating for recovery in PEAK PERFORMANCE, Hawley J and Burke L, Allen & Unwin, St Leonards NSW, Australia, Kapitel 14
- Hawley JA, Schabort EJ, Noakes TD, 2000, Distance Running in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 42
- Ivy JL & Kuo CH, 1998, Regulation of GLUT4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise, *Acta Physiol Scand*, 162, 295-304
- Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF, 1988, Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion, *J Appl Physiol*, 64, 1480-5
- Ivy JL, 1987, The insulin-like effect of muscle contraction, *Exerc Sport Sci Rev*, 15, 29-51
- Ivy JL, 2000, Optimization of Glycogen Stores in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 7
- Ivy JL, 2001, Dietary strategies to promote glycogen synthesis after exercise, *Can J Appl Physiol*, 26, 236-45
- Jentjens RL, Van Loon LJ, Mann CH, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE, 2001, Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis, *J Appl Physiol*, 91, 839-46
- Jeukendrup AE, 2000, Cycling in NUTRITION IN SPORT, Ronald J.Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 43

Mendosa R, Glycemic Index Lists, <http://www.mendosa.com/gilists.htm>, Zugriffsdatum: 16. Mai 2002

Nicholas CW, 2000, Sprinting in NUTRITION IN SPORT, Ronald J. Maughan (ed.), Blackwell Science, Oxford, Kapitel 41

Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG, 1994, Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases, *J Appl Physiol*, 76, 104-11

Robergs RA, 1991, Nutrition and exercise determinants of postexercise glycogen synthesis, *Int J Sport Nutr*, 1, 307-37

Roy BD & Tarnopolsky MA, 1998, Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise, *J Appl Physiol*, 84, 890-6

Tarnopolsky M, 2000, Protein and amino acid needs for training and bulking up in CLINICAL SPORTS NUTRITION, Burke L & Deakin V (eds.), McGraw-Hill, Roseville NSW, Kapitel 5

Van Den Bergh AJ, Houtman S, Heerschap A, Rehrer NJ, Van Den Boogert HJ, Oeseburg B, Hopman MT, 1996, Muscle glycogen recovery after exercise during glucose and fructose intake monitored by ¹³C-NMR, *J Appl Physiol*, 81, 1495-500

Van Hall G, Shirreffs S, Calbet JA, 2000, Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: no effect of additional protein ingestion, *J Appl Physiol*, 88, 1631-6

Van Loon LJ, Kruijshoop M, Verhagen H, Saris WH, Wagenmakers AJ, 2000a, Ingestion of protein hydrolysate and amino acid – carbohydrate mixtures increases postexercise plasma insulin responses in men, *J Nutr*, 130, 2508-13

Van Loon LJ, Saris WH, Kruijshoop M, Wagenmakers AJ, 2000b, Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures, *Am J Clin Nutr*, 72, 106-11

Zawadzki KM, Yaspelkis BB 3rd, Ivy JL, 1992, Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise, *J Appl Physiol*, 72, 1854-9