

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Thema der Abschlussarbeit

„Ernährungsstrategien im Rahmen der Rehabilitation von Leistungssportlern“

Art der Abschlussarbeit

Bachelor of Science

im Studiengang

Ökotrophologie

vorgelegt von

Michaela Grzywatz



Abgabe in Hamburg am 25.11.2020

1. Gutachter: Prof. Dr. Anja Carlsohn, HAW Hamburg
2. Gutachter: Prof. Dr. Birgit Käthe Peters, HAW Hamburg

Vorwort

Ich möchte meinen Betreuerinnen Frau Prof. Dr. Anja Carlsohn und Frau Prof. Dr. Birgit Käthe Peters für die investierte Zeit und die Unterstützung im Rahmen meiner Abschlussarbeit danken. Zudem haben Ihr Engagement und die Motivation innerhalb der Lehrveranstaltungen, einen enormen Anteil an meinem Wissenszuwachs und der Motivation für neue Projekte. Zudem gilt ein großer Dank meiner Familie und Freunden, die mich in den letzten Jahren immer wieder ermutigt haben, weiter zu machen.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	III
ZUSAMMENFASSUNG	- 2 -
1.EINLEITUNG	- 4 -
2. METHODE	- 5 -
3. THEORETISCHER HINTERGRUND	- 10 -
3.1 Ernährung und Sport	- 10 -
3.2 Definition Rehabilitation	- 11 -
3.3 Definition Leistungssportler	- 11 -
3.4 Ernährungsanforderungen bei gesunden Leistungssportlern	- 12 -
3.4.1 Energiebedarf	- 13 -
3.4.2 Proteinzufuhr	- 13 -
3.4.3 Kohlenhydratzufuhr	- 14 -
3.4.4 Fettzufuhr	- 14 -
3.4.5 Vitamine und Mineralstoffe	- 15 -
3.5 Sportverletzungen	- 17 -
3.5.1 Definition Sportverletzung	- 17 -
3.5.2 Muskel- Sehnen- und Bänderverletzungen	- 18 -
3.5.3 Knochenfraktur vs. Knochenfissur	- 18 -
3.5.4 Knorpel- und Gelenkverletzungen	- 19 -
3.6 Verletzungsstadien	- 19 -
3.6.1 Wundheilungsphasen	- 20 -
4. ERGEBNISSE	- 21 -
4.1 Übersicht der Rechercheergebnisse nach dem PICOR-Schema	- 21 -
4.2 Erläuterungen und Zusammenhänge der Ergebnisse	- 28 -
4.2.1 Energiezufuhr	- 29 -
4.2.2 Proteinzufuhr	- 29 -
4.2.3 Kollagen	- 31 -
4.2.4 Kreatin - Monohydrat	- 31 -
4.2.5 Komplexe Kohlenhydrate	- 32 -
4.2.6 Essentielle Fettsäuren	- 33 -
4.2.7 Vitamin D	- 33 -
4.2.8 Vitamin A, C, E	- 34 -
4.2.9 Verzichtsempfehlung	- 35 -
5.DISKUSSION	- 35 -
6.SCHLUSSFOLGERUNG	- 37 -
LITERATURVERZEICHNIS	IV
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	VIII

Abkürzungsverzeichnis

KG	Körpergewicht
Kg	Kilogramm
DGE	Deutsche Gesellschaft für Ernährung
d	Tag
HMB	β -hydroxy- β -Methylbutyrat
SAFA	Gesättigte Fettsäuren
MUFA	Einfach gesättigte Fettsäuren
PUFA	Mehrfach ungesättigte Fettsäuren
h	Stunde

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Flow Chart	- 9 -
Abbildung 2 Knochenfissur vs. Knochenfraktur (Jürgens, 2014)	- 18 -
Abbildung 3 Klassifikation Gelenkverletzungen (Fritz U. Niethard, 2009, S. 312)	- 19 -
Abbildung 4: Mögliche Ernährungsmaßnahmen bei Verletzungen während der Immobilisation und Rehabilitation (modifiziert nach Berhardi, Jeukendrop, 2015, Tipton, 2013, Wall et al, 2014)	- 28 -
Abbildung 5 Vitamine und ihre Wirkung bei Verletzungen (Abbie E. Smith-Ryan, 2020)	- 34 -
Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien	-10 -
Tabelle 2: Sammlung der Schlagworte	-11 -
Tabelle 3: 1. Versuch Schlagwortkombinationen	-11 -
Tabelle 4: 2. Versuch Schlagwortkombinationen	-12 -
Tabelle 5: Manuelle Suche - Google Scholar	-12-
Tabelle 5: Manuelle Suche - Pubmed	-13 -
Tabelle 6: Lebensmittelquellen der Fettsäurefraktionen	-20 -
Tabelle 7: Zufuhrwerte für Vitamine B1, B2 und Niacin in Abhängigkeit von der Energiezufuhr für SportlerInnen	-21 -
Tabelle 8: Die Phasen des Wundheilungsprozesses des Weichteilgewebes	-25 -
Tabelle 9: PICOR-Tabelle Case Reports	-26 -
Tabelle 1: PICOR Tabelle – Energiezufuhr	-28 -
Tabelle 11: PICOR Tabelle - Proteinzufuhr	- 29 -
Tabelle 12: PICOR Tabelle - Kreatinsupplementierung	-29 -
Tabelle 13: PICOR Tabelle - Fortsetzung Kreatinsupplementierung	-30 -
Tabelle 14: PICOR Tabelle - Sonstige	-31 -

Zusammenfassung

Das Ziel der folgenden Bachelorarbeit ist es, anhand einer systematischen Literaturrecherche, eine Übersicht des aktuellen Status Quo der Wissenschaft, zu aktuell vorliegenden und praktisch anwendbaren Ernährungsstrategien im Rahmen der Rehabilitation von Leistungssportlern, während bzw. nach Verletzungen, zu schaffen. Die Arbeit gibt Teileinblicke in die wissenschaftlichen Grundlagen der Ernährungsphysiologie und grundlegenden biologischen Prozesse, sodass der Nutzen und die Wirkungen von Mikro- und Makronährstoffen im Zusammenhang mit Verletzungsprozessen verdeutlicht werden. Zudem werden mögliche Unterschiede und Problematiken zwischen der grundlegenden Sporternährung und der Ernährung bei verletzten Sportlern aufgezeigt. Das Hauptaugenmerk liegt auf Ernährungsstrategien bei Verletzungen im Leistungssport bei Erwachsenen zwischen 19 – 44 Jahre. Dabei werden bereits angewandte Strategien gesichtet und erläutert, jedoch auch festgestellt, dass die Studienanzahl derzeit sehr gering ist. Im Laufe der Arbeit wird deutlich, dass die Betrachtung von Verletzungsfolgen wie Immobilisation und Muskelverlust erforderlich und der explizite Bezug in Studien zu verletzten Sportlern derzeit überwiegend nicht gegeben ist. Zudem wurde während der Recherche ersichtlich, dass eine Differenzierung der verschiedenen Phasen innerhalb der Rehabilitation und des Heilungsprozesses sinnvoll ist, da das breite Spektrum der Ernährung vielseitige Einsatzmöglichkeiten mit sich bringt, jedoch falsch angewendet, zu keinem Nutzen, gegebenenfalls sogar zur Verzögerungen des gewünschten Erfolgs führen kann. Sowohl die Kontrolle der Energie-, als auch der Protein-, Fett- und Kohlenhydratzufuhr sowie Mikronährstoffzufuhr spielen innerhalb der Rehabilitation eine Rolle und sollten detailliert in Zukunft durch weitere wissenschaftliche Studien betrachtet werden, um den Sportlern einen gewissen Leitfaden, den es bisher noch nicht konkret und auf alle Verletzungen anwendbar gibt, an die Hand geben zu können.

Abstract:

The purpose of the following bachelor thesis is to provide an overview of the current status quo of science, based on a systematic literature search, on currently available and practically applicable nutritional strategies in the context of the rehabilitation of competitive athletes during and after injuries. The thesis provides partial insights into the scientific basis of nutritional physiology and basic biological processes, so that the benefits and effects of micro- and macronutrients in connection with injury processes are clarified. In addition, possible differences and problems between basic sports nutrition and nutrition in injured athletes are highlighted. The main focus is on nutritional strategies for injuries in competitive sports in adults aged 19 - 44 years. Already applied strategies are seen and explained, but it is also noted that the number of studies is currently very low. In the course of the work it becomes clear that the consideration of injury consequences such as immobilization and muscle loss is necessary and the explicit reference in studies to injured sportsmen is not given at present predominantly. In addition, during the research it became clear that a differentiation of the different phases within the rehabilitation and healing process is useful, since the broad spectrum of nutrition offers a wide range of possible applications, but if applied incorrectly, it can lead to no benefit, and possibly even delay the desired success. The control of energy, protein, fat, carbohydrate and micronutrient intake is an important part of rehabilitation and should be investigated in detail in the future by further scientific studies in order to provide the athletes with a certain guideline, which is not yet available and applicable to all injuries.

1. Einleitung

Viele SportlerInnen richten ihr Leben voll und ganz in Richtung der Leistungserbringung innerhalb einer Sportart aus. Dabei kommt es häufig nicht darauf an, ob der Lebensunterhalt mit dem Sport verdient wird, oder der Sport generell einen sehr hohen Stellenwert im Leben hat. Seit vielen Jahren nimmt der deutsche Spitzensport eine führende Position im Weltsport ein, sodass der Bund bereits in Form des Bundesministeriums des Innern jährlich mehr als 130 Millionen Euro zur Förderung des Leistungssports investiert. Diese fließen überwiegend in Stützpunkt- und Leistungszentren sowie Leistungskonzepte innerhalb ganz Deutschlands. (Der Deutsche Olympische Sportbund, 2020) Dies führt grundlegend dazu, dass sich die Sportler auf das Erreichen kleinerer, aber auch größerer Ziele konzentrieren können. Selbstverständlich fließen besagte Gelder auch in präventive Maßnahmen, wie regelmäßige ärztliche Kontrollen, allerdings kommt es trotzdem, gerade im Leistungssport, immer wieder zu Verletzungen. Rund 1,25 Millionen der 23 Millionen Bundesbürger, die außerhalb der Schule Sport treiben verletzen sich jährlich so schwer, dass sie ärztlich versorgt werden müssen. Gut 53% der Sportverletzungen lassen sich dem Vereinssport zuordnen (Henke, Gläser, & Heck, 2000), wobei nicht weiter differenziert ist, ob es sich um Freizeit- und Breitensport oder Leistungssport handelt. Dennoch können diese Verletzungen jeglicher Art, eine große Herausforderung an physische, aber auch mentale Ressourcen eines Athleten/einer Athletin sein. Zudem können erhebliche Behandlungs- und Therapiekosten entstehen, sodass kostengünstige Methoden, die positive Effekte auf den Heilungsprozess haben, eine Entlastung des Budgets zur Folge haben könnten. Außerdem gibt es keine einheitliche Definition für den Begriff „LeistungssportlerInnen“, sodass SportlerInnen aus Rand- und nicht-olympischen Sportarten, die möglicherweise den gleichen Trainingsaufwand wie SportlerInnen aus Sportarten olympischer Disziplinen betreiben, aus verschiedenen Förderungen herausfallen und entsprechend auf kassenärztliche Versorgungsleistungen angewiesen sind. In diesem Zusammenhang wären günstige therapeutische Strategien, die von den klassischen konservativen abweichen oder sie ergänzen, eine gute Möglichkeit für verletzte SportlerInnen, schnell in ihren Sport zurückkehren zu können.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird der aktuelle wissenschaftliche Stand von Ernährungsstrategien betrachtet, die bereits Anwendung im Rehabilitationsprozess verletzter Sportler haben, oder möglicherweise Chancen für die Zukunft bieten. Die aktuelle Studienlage gibt zwar schon einige Informationen im präventiven Bereich der Ernährungsstrategien zur Verletzungsvorsorge, im Bereich der Nachsorge hingegen, gibt es bisher nur wenige Ansatzpunkte innerhalb der Ernährung, die unterstützend angewendet werden. Die folgende Arbeit liefert Antworten zu den Fragen: „Gibt es bereits Ernährungsstrategien in der Rehabilitation von Leistungssportlern die Anwendung finden?“ und „Welche Ansatzpunkte werden in diesen beschrieben bzw. konkretisiert?“. Zudem werden im ersten Teil der Arbeit, Grundlagen von biologischen Prozessen, beispielsweise des Wundheilungsprozesses und die verschiedenen Verletzungsstadien beschrieben, um die Ergebnisse der

systematischen Literaturrecherche im zweiten Teil der Arbeit darzustellen, verständlich zu machen und auf mögliche (neue) Ansatzpunkte übertragen zu können.

2. Methode

Als Grundlage für die Recherche themenrelevanter Studien und Berichte diente die Literaturlatenbank Pubmed. Im Allgemeinen erfolgte die Literaturrecherche systematisch und im folgenden Schema: Zunächst erfolgt die Eingrenzung hinsichtlich der Ein- und Ausschlusskriterien für die Recherche (siehe Tabelle 1). Dabei wird beispielsweise eine Differenzierung der Verletzungsarten berücksichtigt und in zwei Kategorien: 1. Knochen- und Knorpelschäden sowie 2. Muskel-, Sehnen- und Bänderverletzungen aufgeteilt. Zudem sind Studien mit Probanden im Kindes-, Jugendlichen- oder Seniorenalter ausgeschlossen. Auch Studien und Berichte zum Thema der Prävention von Sportverletzungen sind explizit ausgeschlossen. Eingeschlossen sind randomisierte kontrollierte Studien, Systematische Reviews, Meta-Analysen, Fallberichte, klinische Studien und Reviews die sich mit erwachsenen Sportlern im Alter zwischen 19-44 Jahre befassen, die unter einer akuten, oder zurückliegenden Verletzung leiden und den Weg zurück zum Sport bestreiten.

Einschlusskriterien		Ausschlusskriterien	
E1: Publikationstyp	Systematische Reviews, Meta-Analysen, RCT-Studien, Case reports, Clinical Trial, Review, Journal-Article	A1: Publikationstyp	Editorial, Kommentar, Brief, Fallserien n<10
E2: Publikationszeitpunkt	1.1.2000-27.10.2020	A2: Outcome	Beobachtungszeitraum <14 Tage
E3: Demografie	Erwachsene zwischen 19-44 Jahre	A3: Demografie	Kinder & Jugendliche
E4: Population	Sportler mit akuten oder retrospektiven Sportverletzungen	A4: Demografie	alte Menschen
E5: Verletzung	Muskel-, Sehnen-, & Bänderverletzungen	A5: Population	Studien zu Personen mit Infektionskrankheiten
E6: Verletzung	Knochen- und Knorpelschäden	A6: Population	Studien zu Personen mit psychischen Erkrankungen
E7: Sprache	Deutsch und Englisch	A7: Studienart	Studien zum Thema Ernährungs- und Verletzungsprävention

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien

Im Anschluss folgte die Sammlung von Schlagwörtern, die im Zusammenhang mit der zu untersuchenden Thematik stehen könnten. (siehe Tab.2 auf Seite 6: Sammlung der Schlagworte)

Tabelle 3: Sammlung der Schlagworte

Nummerierung	Schlagwort	Trefferzahl	Datum
#1	nutrition	624175	26.10.2020
#2	in sport	343,026	27.10.2020
#3	Athlete	319925	26.10.2020
#4	Injury	1 543 302	26.10.2020
#5	Rehabilitation	649,170	27.10.2020
#6	Return to play	8360	26.10.2020
#7	competitive	269162	26.10.2020
#8	recovery	525,114	27.10.2020
#9	Competitive athlete	19141	27.10.2020
#10	Supplementation	152,322	27.10.2020
#11	strategy	1,108,823	27.10.2020
#12	Nutrition strategy	36,070	27.10.2020
#13	Recovery	525180	28.10.2020
#14	muscle	1122858	28.10.2020
#15	bones	646296	28.10.2020
#16	tendons	90463	28.10.2020
#17	ligaments	88138	28.10.2020
#18	Injured athlete	7099	28.10.2020

Anhand der gewählten Schlagworte folgte der erste Versuch der Schlagwortkombinationen (Tab. 3).

Tabelle 4:1. Versuch Schlagwortkombinationen

1. Versuch	Schlagwortkombinationen	
	nutrition AND athlete OR competitive athlete	35796
	(nutrition) AND (athlete) OR (competitive athlete) AND (injury)	6501
	(nutrition) AND (athlete) OR (competitive athlete) AND (injury) AND (return to play)	848
	(nutrition) AND (athlete) OR (competitive athlete) AND (injury) AND (return to play) OR (rehabilitation)	649657
	(nutrition) AND (athlete) OR (competitive athlete) AND (injury) AND (return to play) AND (rehabilitation)	361
	(nutrition) AND (athlete) OR (competitive athlete) AND (injury) AND (return to play) AND (rehabilitation) AND (sport)	358
	1990 – 2020	355
Filter:	Humans	290
	Adult: 19+ years	162
	Adult: 19-44 years	162
	RCT	9
	Systematic Review	14
	Meta-Analysis	15
	Review	24

Während des Titelscreenings und teilweise Abstract Screenings des ersten Versuchs, stellte sich ein fehlender Ernährungsbezug heraus, sodass eine erneute Suche mit anderen Schlagwortkombinationen und einem weiteren Filter folgt. Dabei wurde festgelegt, dass „nutritional“ oder „nutrition“ im Titel oder Abstract vorkommen müssen (siehe Tab. 4: 2. Versuch Schlagwortkombination). Diese Suche ergibt 20 Literaturstellen und nach Titel- und Abstractscreening wurde ein Ernährungsbezug festgestellt.

Tabelle 5:2. Versuch Schlagwortkombinationen

1.Versuch	Schlagwortkombinationen	
	Nutritional [Title/Abstract] OR (nutrition [Title/Abstract])	291603
	Nutritional [Title/Abstract] OR (nutrition [Title/Abstract]) AND (athlete)	6912
	(nutritional [Title/Abstract]) OR (nutrition[Title/Abstract])) AND (athlete)) AND (injury)	522
	(nutritional[Title/Abstract] OR (nutrition[Title/Abstract])) AND (athlete)) AND (injury)) AND (return to play) Publikationszeitpunkt: 1.1.2000-28.10.2020 <i>Case Reports, Clinical Trial, Journal Article, Meta-Analysis, Randomized Controlled Trial, Review, Systematic Review</i>	20

Im Zusammenhang mit dem Titel- und Abstract Screening, wurde jedoch auch der fehlende Zusammenhang zu möglichen Supplementierungen festgestellt und eine manuelle Suche bei Google Scholar (siehe Tab. 5) und Pubmed (siehe Tab.6 S.8) eingeleitet und damit fünf weitere Quellen gesichtet. Die Suchkriterien für Google Scholar sind „nutrition, injuries, rehabilitation, sports“, „Beliebige Zeit“ und „nach Relevanz sortieren“. Durch das Titelscreening der ersten Seite konnten vier weitere mögliche Literaturquellen gesichtet werden. Insgesamt ergeben sich aus der manuellen Suche neun weitere Quellen zur Sichtung.

Tabelle 5 Manuelle Suche- Google Scholar

International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine (2017); Journal of the International Society of Sports Nutrition
Role of sports psychology and sports nutrition in return to play from musculoskeletal injuries in professional soccer: an interdisciplinary approach (2020); Rollo et al.
Nutritional support for exercise induced injuries (2015); Sports Medicine; Kevin D. Tipton
Nutritional support for acute exercise-induced injuries (2010); Annals of nutrition and metabolism; Kevin D Tipton

Tabelle 6: Manuelle Suche- Pubmed

Manuelle Suche			
Pub Med	<p>creatine supplementation [Title/Abstract] AND injury</p> <p><i>Filters applied: Case Reports, Clinical Trial, Journal Article, Meta-Analysis, Randomized Controlled Trial, Review, Systematic Review, Humans, Adult: 19-44 years</i></p>	12 Treffer	<p>Titel und Abstractscreening</p> <p>Creatine Supplementierung und Verletzungszusammenhang</p> <p>Quelle an 8. Stelle</p> <p>The effect of creatine supplementation on strength recovery after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial (2004); Am J Sports Med.; Timothy Tyler et al.</p>
Pub Med	<p>Supplementation AND Collagen AND injury</p>	4 Treffer	<p>Titel und Abstractscreening</p> <p>Quelle an 2. Stelle</p> <p>Oral Supplementation of Specific Collagen Peptides Combined with Calf-Strengthening Exercises Enhances Function and Reduces Pain in Achilles Tendinopathy Patients (2019); Nutrients; Stephan Praet et al.</p>
Pub Med	<p>injured athlete AND nutrition</p> <p>Filters applied: Review, Randomized Controlled Trial</p>	13 Treffer	<p>Titel und Abstract-Screening</p> <p>Quelle an 1., 2. und 12. Stelle</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: nutritional considerations and exercise mimetics (2015); Benjamin Wall, James Morton, Luc van Loon 2. Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries (2015); Sports Med.; Kevin D Tipton 12. Creatine Supplementation Supports the Rehabilitation of Adolescent Fin Swimmers in Tendon Overuse Injury Cases (2018) J Sports Sci Med; Imre Juhasz, Judit Plachy Kopkane, Pal Hajdu, Gabor Szalay, Bence Kopper, Jozsef Tihanyi

Die weitere Vorgehensweise und Entwicklung der verfügbaren Literaturstellen können in der folgenden Abbildung (Abb.1 Flow Chart) betrachtet werden. In Form eines Flow Charts, werden die Kriterien und Gründe für das ausschließen der einzelnen Literaturstellen ersichtlich.

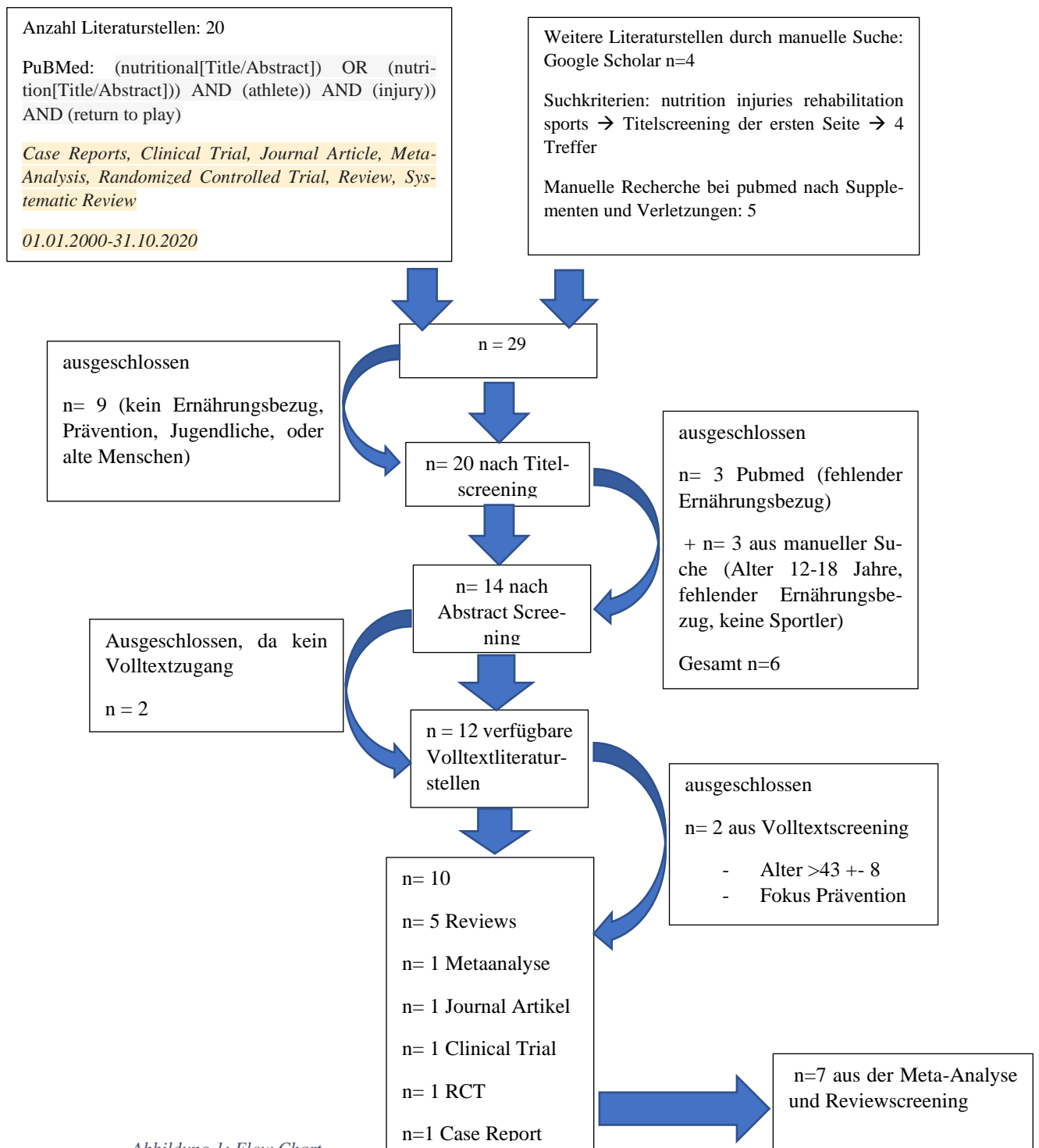


Abbildung 1: Flow Chart

Ein limitierender Faktor der Literaturrecherche ist der fehlende Zugriff auf zwei Volltexte, sodass letztendlich noch zwölf Volltexte zur Verfügung stehen. Zwei Arbeiten fallen raus, da im Rahmen

des Volltextscreenings, die Nichteinhaltung des Populationsaspekts „Erwachsene zwischen 19-44 Jahre“ festgestellt wird, oder sich der Schwerpunkt der Literaturquelle auf die Prävention bei Leistungssportlern bezieht. Während des weiteren Textscreenings wurde deutlich, dass der Hauptfaktor „verletzte Sportler“ in vielen Studien keine Beachtung erfährt, sodass ein Screening der Meta-Analyse und Reviews aus der Suche erfolgt. Sowohl im Rahmen der Meta-Analyse, als auch der Reviews wurde deutlich, dass hier im Wesentlichen Ergebnisse aus Studien verwendet werden, die sich mit Symptomen bzw. Folgen durch Verletzungen und dessen Zusammenhänge mit der Ernährung befassen und weniger mit allgemeinen Ernährungsstrategien im Zusammenhang mit der Rehabilitation sowie dem Weg „Zurück zum Spiel“. Die zusätzlich verwendeten Studien aus der Meta-Analyse und den Reviews sind im Flow Chart im letzten Schritt dokumentiert („n=7 aus der Meta-Analyse und Reviewscreening“), da auch deren Ergebnisse teilweise in diese Arbeit einfließen, um die möglichen Ansatzpunkte und Möglichkeiten verdeutlichen zu können. Die Ergebnisse der vier Studien aus der Pubmed-Suche, sowie der Studien aus der Sekundäranalyse, die sich mit Faktoren beschäftigen, die auf verletzte Sportler übertragbar sein könnten, sind in Form einer PICOR-Tabelle dokumentiert und zusammengefasst. (siehe Kapitel 4.1)

3. Theoretischer Hintergrund

Im Rahmen dieser Arbeit müssen Eingrenzungen und Definitionen über die Zielgruppe und die Rahmenbedingungen getroffen werden. Da teilweise keine allgemeingültigen Definitionen vorliegen, fließt hier zeitweise das eigene Verständnis der Begriffe ein und ist für die vollständige Arbeit sowie für die Ergebnisinterpretation von Bedeutung. Zudem fließen Grundlagen aus der Fachliteratur zu biologischen Prozessen ein, um die Verbindung zwischen der Ernährung und Verletzungen herstellen zu können. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Studien werden dargestellt, beschrieben und im Rahmen der Diskussion hinterfragt.

3.1 Ernährung und Sport

Sport und körperliche Aktivität stellen neben der Ernährung die Grundlage eines gesunden Lebensstils dar. Dabei stehen beide Bereiche in einem engen Austausch miteinander. Sowohl die aktive Bewegung als auch die Ernährung spielen eine große Rolle in Stoffwechselprozessen, dem Hormonhaushalt, der mentalen Gesundheit, aber auch der körperlichen Leistungsfähigkeit. Unbestritten beeinflusst die Ernährung die Leistungsfähigkeit, Belastbarkeit sowie die Gesundheit von Sportlern. Die Bedürfnisse dieser sind dabei differenziert zu betrachten. Ein Freizeit- und Breitensportler, der sich gezielt auf Wettkämpfe unter profiähnlichen Bedingungen vorbereitet, hat genau wie ein Profisportler, der seinen Lebensunterhalt mit dem Sport verdient, den Anspruch an die Ernährung leistungsfördernd bzw. -unterstützend zu wirken. (Friedrich, 2015, S. 19) Das Hauptaugenmerk muss jedoch nicht immer auf die Leistungssteigerung gelegt sein, häufig spielt die Gewichtsreduktion, sowohl im Freizeit- und Breitensport sowie Leistungssport eine Rolle. Dahingehend ist die

Kalorienzufuhr der Schlüsselfaktor und sollte an die körperliche Aktivität und den Energieverbrauch, ohne Einbußen innerhalb der Nährstoffversorgung zu verzeichnen, angepasst sein. Der Energieverbrauch und entsprechend auch Energiebedarf kann im Rahmen von Verletzungen jedoch schwanken, sodass dahingehend in einem späteren Kapitel Bezug genommen wird. Auch auf die Wirkung verschiedener Nährstoffe aus der Nahrung auf den menschlichen Organismus, insbesondere während Sportverletzungen, wird im Verlauf der Arbeit näher eingegangen und die sowohl negativen als auch positiven Aspekte aufgezeigt.

3.2 Definition Rehabilitation

Im Zusammenhang mit Sportverletzungen ist eine Betreuung im Rahmen einer Rehabilitation unumgänglich. Eine allgemeingültige Definition und Eingrenzung für die Rehabilitation verletzter Leistungssportler gibt es derzeit nicht, sodass die Einordnung nur übertragen in das allgemeine Verständnis erfolgt.

Das Bundesministerium für Gesundheit definiert die Rehabilitation folgendermaßen:

„Das Ziel: Im Alltagsleben so gut wie möglich wieder zurechtkommen – die aus gesundheitlichen Gründen bedrohte oder beeinträchtigte Teilhabe der Patientinnen und Patienten soll durch rehabilitationsmedizinische Versorgung wiederhergestellt, verbessert oder vor Verschlimmerung bewahrt werden. Die Maßnahmen helfen dabei, Leistungsfähigkeit wiederherzustellen. (...) Neben frühzeitiger und regelmäßiger medizinischer Behandlung können auch bei kranken Menschen eine gezielte Ernährung oder zum Beispiel eine individuell abgestimmte Bewegungstherapie und entsprechende Entspannungsübungen den Krankheitsverlauf positiv beeinflussen. (...)“ (Bundesministerium für Gesundheit, 2008)

Übertragen auf den (Leistungs-)Sportler und die Sportrehabilitation, lässt sich diese als Rückführung und Wiederherstellung der ursprünglichen vollen Leistungsfähigkeit verstehen. Dabei fließen motorische, anatomische, aber auch psychische Ansatzpunkte, im Anschluss einer Verletzung oder Krankheit ein. Das Ziel der Rehabilitation ist es nicht, eine Leistungssteigerung des Niveaus zu erzielen, welches vor der Verletzung bzw. Krankheit vorlag. Es wird ein multidisziplinärer Ansatz betrachtet, sodass neben frühzeitigen medizinischen Behandlungen, auch eine individuell angepasste Ernährung zum Einsatz kommen kann.

3.3 Definition Leistungssportler

Auch in Bezug auf die einzelnen Leistungsniveaus der verschiedenen Sportarten und Athleten gibt es derzeit keine allgemein geltende Definition. In verschiedenen Arbeiten wird jedoch zwischen Freizeit- und Breitensport sowie Leistungssport unterschieden. Eine definitorische Abgrenzung für den Leistungssport liefert die Deutsche Petánque Jugend, folgendermaßen:

„Unter Leistungssport versteht man die intensive Art Sport auszuüben mit dem Ziel, im Wettkampf eine hohe Leistung zu erreichen. Leistungssport unterscheidet sich vom Breitensport grundsätzlich durch einen erheblich höheren Zeitaufwand (trainingsintensiv) und die Fokussierung auf den sportlichen Erfolg (wettkampforientiert).“ (Wormer, 2016)

Der Leistungssport erhält auch im Bundesministerium des Innern, eine gesonderte Stellung und wird separat gefördert. Eine allgemeingültige Definition bezüglich des Leistungs-/Spitzensports ist jedoch nicht zu finden. Die Förderung erfolgt innerhalb olympischer und nicht-olympischer Sportarten, bei Athleten, die Mitglied eines Vereins und Kaders auf Bundesebene sind.

In dieser Arbeit wird der Leistungssportler folgendermaßen definiert:

„Unter einem Leistungssportler versteht man einen Athleten, der eine Sportart bzw. eine olympische oder nicht-olympische Disziplin, in einem Maße ausübt, in dem das primäre Ziel auf das Erreichen einer hohen Leistung in einem Wettkampf ausgelegt ist. Der Sportler investiert einen erheblich höheren Zeitaufwand in der Vorbereitung auf die Wettkämpfe als Freizeitsportler und es liegt die Fokussierung auf den sportlichen Erfolg vor. Der Sport spielt im Leben des Athleten eine übergeordnete Rolle.“ (eigene Definition)

3.4 Ernährungsanforderungen bei gesunden Leistungssportlern

Grundsätzlich dient die Nahrung zur Wiederauffüllung der verbrauchten Energiespeicher. Primär ist es die körperliche Belastung, die die Verbrennung von Kohlenhydraten (Glykogen, Glucose u.a.), Fetten (Fettsäuren, Glycerin) und Eiweißen (Aminosäuren) zur Folge hat, um dem Körper ausreichend Energie zur Verfügung stellen zu können. Je anspruchsvoller und intensiver die körperliche Belastung ausfällt, desto wichtiger ist es, die Bedeutung und Wirkung von Nährstoffen zu kennen. Dabei dienen die Kohlenhydrate und Fette der Energiegewinnung, wobei sie sich gegenseitig vertreten können und die Fettverbrennung von den Kohlenhydraten abhängig ist. Wenn nicht genügend Glucose vorhanden ist, verbrennen auch keine Fette. Bei Kohlenhydraten handelt es sich um einen sauerstoffhaltigen Energiespender (aerob), wodurch die Energie schnell zur Verfügung steht. Um die wichtigen Kohlenhydrate zu schützen und auf den Fettenergiespeicher zurückzugreifen, für welchen deutlich mehr Sauerstoff (das 16-fache) benötigt wird, ist eine gute aerobe Grundlagenausdauer von Vorteil. Eiweiß dient nur im geringen Maße der Energiegewinnung und steht in erster Linie als Ersatz bzw. für den Neuaufbau von eiweißhaltigen Substanzen in Form von Muskelfasern, Enzymen und Hormonen, aber auch im Aufbau des Immunsystems zur Verfügung. Neben den energieliefernden Makronährstoffen spielt auch die Verfügbarkeit von Vitaminen, Mineralstoffen, Spurenelementen sowie Wasser eine wichtige Rolle. Ohne diese Mikronährstoffe kann es unter anderem zu Einschränkungen bei der Freisetzung der Energie aus den energieliefernden Nährstoffen und anderen essenziell wichtigen biologischen Prozessen kommen. (Friedrich, 2015, S. 35 ff)

3.4.1 Energiebedarf

Wie viel Energie letztendlich benötigt wird, hängt von der Dauer und Intensität sowie der Größe der eingesetzten Muskelmasse und dem Trainingszustand des Leistungssportlers/der Leistungssportlerin ab. (Konopka, 2009, S. 41 f) Trainierte SportlerInnen verbrauchen im Verhältnis zu einem untrainierten Menschen für die gleiche Leistung weniger Energie, weil insgesamt eine bessere Stoffwechselökonomie durch eine geringere Herz- und Atemarbeit zu vermuten ist. Der Energiebedarf pro Tag eines Leistungssportlers/einer Leistungssportlerin, der/die am Tag 1-2 Trainingseinheiten absolviert, ist entsprechend trotzdem höher als der eines „Nicht Sport treibenden Menschen“. Allgemein entspricht der tägliche Energiebedarf dem Energieverbrauch pro 24 Stunden. Die Variabilität des Trainingspensums und der Wettkampfvorbereitung, die den Energieverbrauch beeinflussen, führen zu einem Energiebedarf bei den meisten SportlerInnen zwischen 1500 kcal und 6000 kcal pro Tag. (Stellingwerff T, 2011) Der Energieverbrauch kann mit Hilfe unterschiedlicher Methoden gemessen bzw. geschätzt werden. Die unter Laborbedingungen am häufigsten durchgeführte Methode, ist die indirekte Kalorimetrie. Anhand dieser wird die Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe in Liter pro Minute gemessen und mit Hilfe der Formel nach Weir die Energie (kcal/min) berechnet.

Formel nach Weir: $\text{Energie (kcal/min)} = 3,9 \times \text{VO}_2(\text{L/min}) + 1,1 \times \text{VCO}_2(\text{L/min})$

Es können mit der indirekten Kalorimetrie der Ruheenergieverbrauch, der Grundumsatz und der Gesamtenergieverbrauch ermittelt werden. Der Ruheenergiebedarf stellt die Basis zur Berechnung des Energieverbrauchs verschiedener Aktivitäten dar. In der Vergangenheit wurden mithilfe mobiler Spirometrie zahlreiche Werte des Energieverbrauchs verschiedener Aktivitäten im Feld gemessen und die Werte in Form des metabolischen Äquivalents (MET) auf die Sportarten übertragen. Das MET entspricht dem Energieverbrauch in Ruhe und ist definiert als 1 kcal pro kg Körpergewicht pro Stunde. Im Zusammenhang mit der Spirometrie Messung muss berücksichtigt werden, dass es aufgrund der zusätzlichen Bildung von CO₂ bei zunehmender Belastung zu Ungenauigkeiten bei den, über die indirekte Kalorimetrie gemessenen Werten des Energieverbrauchs kommen kann. Eine Orientierung an den Werten ist dennoch möglich. Eine Anpassung der Energiezufuhr stellt einen zentralen Anhaltspunkt in der Sporternährung, dessen Bedeutung im Zusammenhang mit Sportverletzungen in einem späteren Kapitel betrachtet wird. (Braun H, 2019)

3.4.2 Proteinzufuhr

Proteine bzw. Aminosäuren sind essenziell für die Synthese körpereigener Strukturen wie Muskeln, Sehnen, Bänder und Knochen. Zudem dienen sie auch der Bildung von Enzymen und für den Aufbau des gesamten Immunsystems. Eine bedarfsgerechte und qualitativ hochwertige Zufuhr insbesondere für Sportler ist entsprechend von großer Bedeutung. Der Eiweißbedarf ist in der Literatur derzeit noch teilweise widersprüchlich und hängt ebenso wie die Energiezufuhr von der Trainingsintensität, dem Trainingsziel und der ausgeübten Sportart ab. (Konopka, 2009, S. 74) Entsprechend geht man nicht mehr von einer fixen Kennzahl aus, sondern von einer möglichen Anpassung der Proteinzufuhr.

Die DGE empfiehlt bei gesunden Erwachsenen im Alter zwischen 19-65 Jahren eine Proteinzufuhr von 0,8 g/kg Körpergewicht. (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2020) Zudem sollte das Trainingsvolumina mind. 5 Stunden pro Woche betragen, um eine Anpassung der Proteinzufuhr vorzunehmen. (European Food Safety Authority (EFSA), 2015) Die DGE beschreibt in ihrem Positionspapier, dass in einer Meta-Analyse von Morton et al. darauf hingewiesen wird, dass in Studien keine weitere Zunahme der fettfreien Masse durch Dosierungen über 1,6 g/kg KG erzielt wurden bzw. nachweisbar waren. (Daniel König, 2020) Zwar deuten einzelne Studienergebnisse im Zusammenhang mit Extremsportlern im Ausdauer- sowie im Kraftsportbereich an, dass eine Proteinsupplementierung von bis zu 3 g/kg KG Vorteile haben kann (Jager R K. C., 2017), allerdings kann bisher nicht ausgeschlossen werden, dass eine Proteinzufuhr über 2 g/kg KG/Tag langfristig einen schädlichen Effekt auf die Nierenfunktion hat. (Kalantar-Zadeh K, 2020)

3.4.3 Kohlenhydratzufuhr

Kohlenhydrate dienen in erster Linie als wichtige Energiequelle für SportlerInnen, da sie einen sehr günstigen energetischen Wirkungsgrad aufweisen und sowohl aerob als auch anaerob verstoffwechselt werden können. Entsprechend spielen die Kohlenhydrate im Zusammenhang mit dem Ausdauersport eine übergeordnete Rolle. (Berg A, 2006) Die Kohlenhydratzufuhr steht in Abhängigkeit von Belastungsdauer und -intensität, sodass Ausdauersportlern die Zufuhr von 6-12 g Kohlenhydrate/kg KG/Tag empfohlen wird. (Burke LM, 1985) Es wird im Positionspapier der DGE zwischen der Kohlenhydratzufuhr während der Vorbelastungsphase, der körperlichen Belastung und der unmittelbaren Nachbelastungsphase differenziert, wobei auch innerhalb dieser verschiedenen Phasen, je nach Intensität, Unterschiede bei den Zufuhrempfehlungen vorhanden sind. Vor allem bei einem kurzen Intervallen zwischen wiederholten Belastungen, sollte im Rahmen der Nachbelastungsphase (die ersten 2 bis 4 Stunden) eine Zufuhr von 1-1,2 g/kg KG/h durch Kohlenhydrate mit einem hohen glykämischen Index erfolgen. Bei längeren Zeitspannen genügen 6-10 g/kg KG/d, um die Glykogenspeicher wieder aufzufüllen. (König D, 2019) Auch im Zusammenhang der Kohlenhydrate sollte berücksichtigt werden, dass eine Erhöhung des prozentualen Anteils der Kohlenhydrate nur dann sinnvoll ist, wenn das Trainings- und Leistungsspensum dieses erfordert. Im Regelfall weicht die Ernährung gesunder Leistungssportler nicht gravierend von der eines gesunden Menschen zwischen 19-65 Jahren ab.

3.4.4 Fettzufuhr

Bezüglich der Menge und Qualität der Fettzufuhr im Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit von gesunden Leistungssportlern, gibt es derzeit wenige Erkenntnisse, sodass im Wesentlichen dieselben Empfehlungen gelten wie für die gesunde Allgemeinbevölkerung. Eine konkrete absolute Zufuhrempfehlung in g/kg KG/d gibt es nicht. Es gilt lediglich die Richtlinie, dass die Fettzufuhr nicht niedriger als 20% und nicht mehr als 30 % der Tagesgesamtenergie ausmachen sollte. Dabei sollte jedoch der Anteil der Fettsäurefraktionen berücksichtigt zu werden:

- 7-10 % gesättigte Fettsäuren der als Fett zugeführten Energie
- 7% mehrfach ungesättigte Fettsäuren (Summe aus n-3- und n-6-Fettsäuren) der als Fett zugeführten Energie bzw. bis 10 %, wenn die Energiezufuhr aus gesättigten Fettsäuren 10 % der Gesamtenergiezufuhr überschreitet
- Die Differenz zum Gesamtfettanteil wird durch einfach ungesättigte Fettsäuren gedeckt
- Der Anteil der trans-Fettsäuren sollte weniger als 1% der aus Fett zugeführten Energie betragen (Schek A, 2019)

Zudem gibt es konkrete Empfehlungen für die Zufuhr essenzieller Fettsäuren, die im menschlichen Körper nicht gebildet werden können. 1,5 % der aus Fett zugeführten Energie sollten bei gesunden Jugendlichen und Erwachsenen durch Linolsäure (ω -6-Fettsäuren) und 0,5 % durch α -Linolensäure (ω -3) zugeführt werden. (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017) Nahrungsmittel wie der Seefisch, Lein-, Raps- und Walnussöl können zu einer Erhöhung der ω -3-Fettsäuren und somit Verringerung sogenannter Entzündungsmediatoren führen. Die Lebensmittelquellen der verschiedenen Fettsäurefraktionen können in Tabelle 6 betrachtet werden.

Tabelle 7: Lebensmittelquellen der Fettsäurefraktionen

Fettsäuren	Lebensmittel
Trans-Fettsäuren	Vorwiegend in verarbeiteten Lebensmitteln; Frittieröl, Backwaren, Zwieback, Cracker, Kartoffelchips, Fertig-Instantuppen
Gesättigte Fettsäuren	Kokosfett, Butter, Speck, Saucen, Eigelb, Schmalz, Speck, Sahne, Palmöl, Nuss-Nougatcreme
Einfach ungesättigte Fettsäuren	Rapsöl; Cashewkerne, Haselnussöl, Avocado, Kürbiskerne
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	
Linolsäure	Sojaöl, Sonnenblumen- und Kürbiskerne
Alpha-Linolsäure	Leinöl, Walnüsse und Walnussöl, Rapsöl
Eicosapentaensäure	Hering, Sprotte, Thunfisch, Lachs
Docohexaensäure	Thunfisch, Sprotte, Lachs Makrele

(Schek A, 2019)

3.4.5 Vitamine und Mineralstoffe

Normalerweise ist der Mikronährstoffbedarf bei SportlerInnen problemlos durch eine ausgewogene Ernährung zu decken. Allerdings sind Eisen, Calcium und Natrium bei besonderen Situationen, beispielsweise Langzeitausdauerbelastungen oder Gewichtsreduktion, als kritische Mikronährstoffe bei gesunden SportlerInnen identifiziert worden. Auch Vitamin D wird jahreszeitenabhängig als kritisch beurteilt. Die bedarfsgerechte Zufuhr orientiert sich in Abhängigkeit der Sportart, an der Intensität und dem Umfang der Belastung, aber auch an individuellen Faktoren wie Schweißrate und Schweißzusammensetzung sowie dem Ernährungsverhalten. Im Positionspapier der DGE wird zwischen sportassoziierten Mikronährstoffverlusten (z.B. über den Schweiß), sportbedingte Mehrbedarfe (z.B. im Rahmen der Trainingsadaptation) und kritische Versorgungsphasen (z.B. durch Energiereduktion

während Gewichtsabnahme) differenziert. (Carlsohn A, 2019) Beim Schweißverlust spielt Natrium eine gesonderte Rolle, da bei einem großen Anteil der deutschen Bevölkerung jedoch eine deutlich über dem Referenzwert liegende Zufuhr festgestellt wurde (Johner SA, 2015), ist der sportassoziierte Natriumverlust nicht weiter als kritisch zu beurteilen und eher als Vorteil zu betrachten. Allerdings gibt es sogenannte „Salty Sweater“, bei denen es zu einer erhöhte Natriumausscheidung kommen und zu einer Hyponatriämie führen kann. Symptome wie Übelkeit, Kopfschmerzen oder sinkende Leistungsfähigkeit können die Folge sein. Zur Vermeidung einer sportinduzierten Hyponatriämie während Langzeitausdauerbelastungen sollten nach aktuellen Empfehlungen moderate Flüssigkeitsmengen mit einem Natriumgehalt von 400 – 1100 mg/L konsumiert werden. (Carlsohn A, 2019) Da Natrium über die normale Ernährung ausreichend aufgenommen wird, ist eine Verwendung natriureicher Getränke und Snacks nicht notwendig. (Johner SA, 2015)

Ein sportassoziiertes Mehrbedarft ist aufgrund des erhöhten Energieumsatzes u.a. bei Thiamin (Vit. B₁), Riboflavin (Vit. B₂) und Niacin zu verzeichnen. Auch dieser Mehrbedarf kann in der Regel durch eine bedarfsgerechte Ernährung, mit der höheren Verzehrmenge dieser Nährstoffe, gedeckt werden. Die von der Deutschen Gesellschaft herausgegebenen D-A-CH- Referenzwerte orientieren sich am Richtwert der erhöhten Energiezufuhr von Athleten. (siehe Tab. 8)

Tabelle 8: Zufuhrwerte für Vitamine B₁, B₂ und Niacin in Abhängigkeit von der Energiezufuhr für SportlerInnen

Vitamin	D-A-CH Referenzwerte für 25-<51-jährige Männer/Frauen	Berechnung für AthletInnen mit 60 kg Körpergewicht und Energiezufuhr von z. B. 2 000 kcal/Tag	Berechnung für AthletInnen mit 70 kg Körpergewicht und Energiezufuhr von z. B. 2 500 kcal/Tag	Berechnung für AthletInnen mit 80 kg Körpergewicht und Energiezufuhr von z. B. 3 500 kcal/Tag
Vitamin B ₁ [mg/d]	1,2/1,0	1,1	1,4	1,9
Vitamin B ₂ [mg/d]	1,4/1,1	1,2	1,5	2,1
Niacin [mg/d]	15/12	13,2	16,5	23,1

(Berechnungen nach DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017) ((Carlsohn A, 2019)

Weiter ist eine bedarfsdeckende Versorgung mit antioxidativ wirksamen Nährstoffen wie Vitamin C, Vitamin E und β -Carotin für SportlerInnen notwendig, um gegen die erhöhte Produktion „Freier Radikale“ wirken zu können. Die Versorgung ist nach derzeitigem Kenntnisstand durch eine ausgewogene und antioxidanzienreiche Ernährung möglich. (Carlsohn A, 2019) Eine aus individuellen Gründen vorgenommene Supplementation sollte Tageshöchstdosen in Nahrungsergänzungsmitteln von 30 mg Vitamin E und 250 mg Vitamin C nicht überschreiten. (Weißborn A, 2018)

Die Vitamin D Versorgung ist bei SportlerInnen jahreszeitenabhängig als nicht ausreichend zu beurteilen. (Larson-Meyer DE, 2010) Die Wichtigkeit des Vitamin D, ist insbesondere im

Knochenstoffwechsel und durch seine Wirkung innerhalb der Skelettmuskulatur zu finden. (Wolman R, 2013) Die Vitamin D-Versorgung erfolgt zu 90 % aus der UV- Exposition und zu 10% aus der Nahrung, sodass die Bedarfsdeckung der empfohlenen Werte zwischen 80 und 125 nmol/L insbesondere bei Athleten aus Hallensportarten schwierig ist. (Carlsohn A S.-R. F., 2013) (Thomas DT E. K., 2016)

Ein gesteigerter Eisenbedarf ist die Folge einer erhöhten Vaskularisierung (Gefäßeinsprossung) und Erhöhung der Erythrozyten- sowie Hämoglobinkonzentration durch sportliches Training. (Beard J, 2000) Der Bedarf von AthletInnen liegt schätzungsweise 70 % höher als bei Nicht-SportlerInnen. (Thomas DT E. K., 2016) Insbesondere AusdauersportlerInnen, VegetarierInnen oder SportlerInnen mit restriktiver Energiezufuhr sind bezüglich eines Eisenmangels gefährdet. (Carlsohn, 2011) Allerdings ist dieses Risiko bei einer ausgewogenen Lebensmittelzusammenstellung und regelmäßigem Screening als unproblematisch und überschaubar einzustufen. (Großhauser, 2014)

3.5 Sportverletzungen

Um die Verbindung zwischen Sportverletzungen und der Ernährung sowie Ansatzpunkte der verschiedenen Studien grundlegend nachvollziehen zu können, sind weitere Definitionen, Abgrenzungen und ein grober Überblick bezüglich der verschiedenen Verletzungsarten notwendig. Laut einer Studie aus 2008 erlitten 59,9% der Befragten (n=208) eine Luxation (Verrenkung), Distorsion (Verstauchung) oder eine Bandverletzung. 17,5 % erlitten eine Fraktur und 12,3 % hatten offene Wunden bzw. oberflächliche Verletzungen. Die übrigen Befragten litten an inneren Verletzungen, Verbrennungen oder Commotio cerebri (ugs. Gehirnerschütterung). (Seither, 2008, S. 48) Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den erstgenannten Verletzungsarten. Zudem erhalten die Muskelverletzungen eine gesonderte Stellung, da diese und der Zusammenhang mit der Wirkung von Proteinen und Nahrungsergänzungsmitteln auf die Muskulatur in verschiedenen Studien konkret thematisiert werden. Des Weiteren sind Sehnen, Bänder, Knorpel und Knochen muskuloskelettale Gewebe, deren Struktur von ihrer kollagenreichen extrazellulären Matrix abhängig sind. Die Menge und Vernetzung des Kollagens leiten zusammen mit den Mineralstoffen und der Menge des Wassers im Gewebe, die Funktion der Matrix. Eine schlechte Struktur der Matrix, durch beispielsweise schlechte Ernährung oder Erkrankungen kann bei einer mechanisch normalen Beanspruchung zu schwerwiegenden Verletzungen des Gewebes führen. Aufgrund hoher Belastungen der Leistungssportler, sind diese einem erhöhten Risiko für Muskel-Skelett-Verletzungen ausgesetzt. (Gregory Shaw, 2017)

3.5.1 Definition Sportverletzung

„Als Sportverletzung werden Verletzungen bezeichnet, die sich Freizeit- und Leistungssportler während der Ausübung ihrer sportlichen Tätigkeit zuziehen. Es handelt sich dabei um einmalige, akut auftretende Traumen, die meist zum abrupten Abbruch eines dynamischen Bewegungsablaufs führen. Häufig vorkommende Verletzungsformen sind Prellungen, Verstauchungen sowie Zerrungen.“ (Fritz U. Niethard, 2009, S. 330)

Abzugrenzen von einer Sportverletzung sind sogenannte Sportschäden, unter denen man im Allgemeinen chronische Folgen von Überbelastung, durch eine längerfristig ausgeübte sportliche Aktivität versteht. Prinzipiell sind diese den sogenannten Verschleißerscheinungen zuzuordnen. (Fritz U. Niethard, 2009, S. 332)

3.5.2 Muskel- Sehnen- und Bänderverletzungen

Zu den häufigsten Verletzungen gehören Muskelverletzungen. Direkte äußere Gewalteinwirkung, oder auch indirekte Verletzungen durch Überbelastung (Zerrungen), führen zu einem Zerreißen von kleinen Blutgefäßen und der Ausbildung eines Hämatoms. Die damit verbundenen Schmerzen führen zu einer Bewegungseinschränkung der betroffenen Extremität. (Fritz U. Niethard, 2009, S. 195)

Neben Muskelverletzungen kann es zu sogenannten Sehnenrupturen kommen, die im Normalfall jedoch erst im Zusammenhang mit der altersbedingten Degeneration stehen. Bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen sind Sehnen besonders kräftig und reißen nur selten. (Fritz U. Niethard, 2009, S. 204) Allerdings führt die enorme körperliche Beanspruchung von Leistungssportlern möglicherweise zu einem erhöhten Risiko für belastungsbedingte Sehnenrupturen. Durch eine starke Anspannung des Sehngewebes handelt es sich bei der Achillessehnenruptur durch Sprung- und Laufbewegung um eine typische Sportverletzung. (Fritz U. Niethard, 2009, S. 319)

Die Bänder des menschlichen Bewegungsapparates sind aus straffem kollagenem Bindegewebe aufgebaut. Kommt es zu einer sogenannten Läsion, meist durch ein Trauma ausgelöst, spricht man von einer Bänderverletzung. Ein ausgedehntes Band muss sich nicht zwangsläufig vollständig zurückbilden und kann gegebenenfalls zu einer bleibenden Instabilität führen. Kommt es zu einem vollständigen Abriss des Bandes, spricht man von einer Bandruptur.

3.5.3 Knochenfraktur vs. Knochenfissur

Wenn die Elastizitätsgrenze eines Knochens durch eine Belastung vollständig überschritten und die Knochenkontinuität vollständig unterbrochen wird, spricht man von einer sogenannten Knochenfraktur (Abb.2. „Querfraktur“). Handelt es sich jedoch nur um eine Art Spaltbildung ohne vollständige Kontinuitätsunterbrechung, wird von einer Fissur gesprochen. (siehe Abb. 2 „Knochenfissur“) (Fritz U. Niethard, 2009, S. 288)

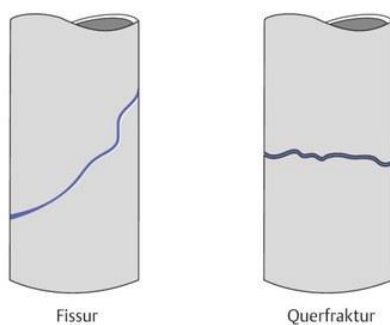


Abbildung 2 Knochenfissur vs. Knochenfraktur (Jürgens, 2014)

3.5.4 Knorpel- und Gelenkverletzungen

Stumpfe Gewalteinwirkungen sind überwiegend die Ursache für die Entstehung von Gelenkverletzungen. Ein Gelenk setzt sich aus mehreren Strukturen zusammen, wodurch es sich häufig um Kombinationsverletzungen verschiedener Strukturen handelt. In der Abbildung 3 sind die verschiedenen Strukturen und Gelenkverletzungen dargestellt. Es wird zwischen Gelenkflächenverletzungen, Verletzungen der Binnenstrukturen sowie Kapselbandverletzungen unterschieden. Eine vollständige Dislokation der Gelenkflächen wird auch Luxation genannt. (Fritz U. Niethard, 2009, S. 312) Da es sich häufig um Kombinationsverletzungen handelt, sind die Einschränkungen und der Heilungsprozess häufig länger als bei anderen Verletzungen. Beispiel: Riss des vorderen Kreuzbandes in Verbindung mit einer Verletzung des Meniskus.

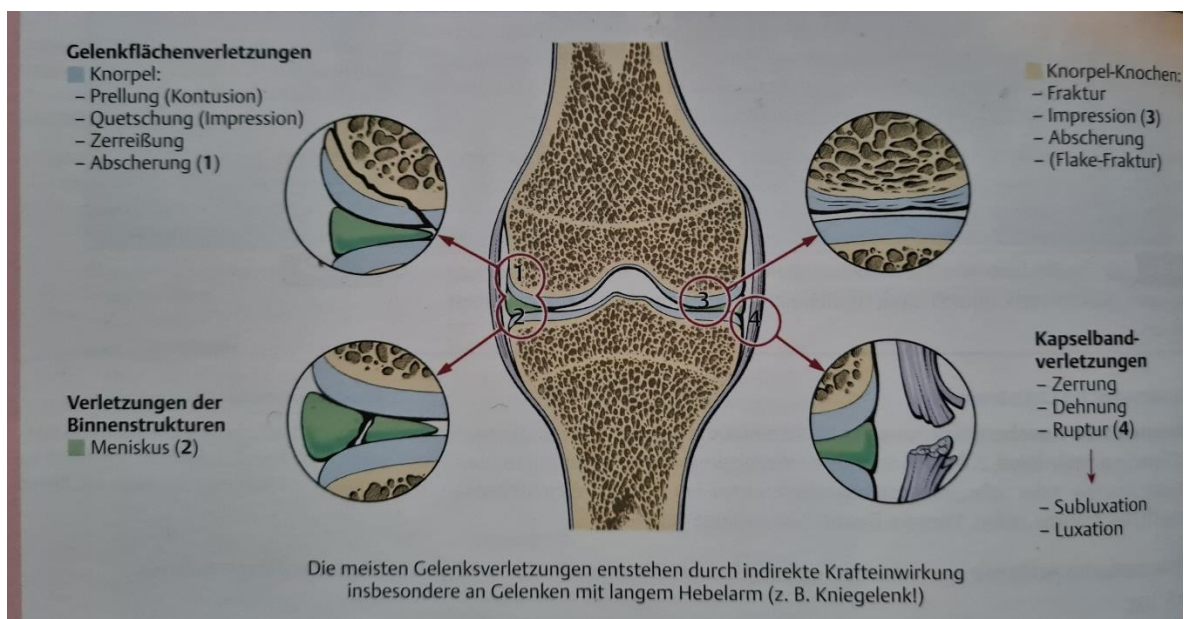


Abbildung 3 Klassifikation Gelenkverletzungen (Fritz U. Niethard, 2009, S. 312)

3.6 Verletzungsstadien

Je nach Größe und Schwere einer Verletzung kann es zu unterschiedlich stark ausgeprägten Folgen kommen. Durch die Ruhigstellung der verletzten Extremitäten kommt es häufig zu einem Verlust der Muskelmasse, -kraft und auch -funktion. In dieser Phase, die sich als Heilungs- und Wiederherstellungsphase betiteln lässt, ist die Immobilisierung und Atrophie (Verkümmerung/Verkleinerung der Muskelmasse) nicht unüblich. Die zweite Phase setzt sich deshalb die Vergrößerung (Hypertrophie) des zuvor verletzten Gewebes und die Mobilisierung der betroffenen Extremität als Ziel. (Abel, 2016, S. 62) Im Anschluss dieser beiden Phasen lässt sich die Maximierung der Muskelmasse als drittes Stadium beschreiben, wobei diese Phase nicht ausschließlich in dem Bereich der Verletzung einzuordnen ist, sondern häufig einen großen Bestandteil der Prävention darstellt. Die Dauer der Wiederherstellung von Kraft und Funktion nach verletzungsbedingter Ruhigstellung dauert in der Regel deutlich länger als die Dauer, in der Muskelkraft und -funktion verloren gehen. (Tipton, 2010)

Im Rahmen der Arbeit wird unter anderem betrachtet, ob sich die Studienergebnisse auf die verschiedenen Phasen gleichermaßen anwenden lassen.

3.6.1 Wundheilungsphasen

Im unmittelbaren Anschluss einer Verletzung, erfolgt eine Wundheilungsreaktion, die sich in 4 Phasen unterteilen lässt. (siehe Tab. 9) Um die möglichen Ansatzpunkte der Studien nachvollziehen zu können ist es hilfreich, die einzelnen Phasen näher zu erläutern. Dabei findet eine Unterscheidung zwischen dem Weichteilgewebe (Bindegewebe, Muskelgewebe, Sehnen und Fettgewebe) und dem Knochen statt.

Tabelle 9: Die Phasen des Wundheilungsprozesses des Weichteilgewebes

Phase	Zeitdauer	
1. Entzündungsphase	0.-5. Tag	Durch die Gewebs- und Gefäßverletzungen im Wundgebiet tritt Blut aus und es kommt zur Freisetzung sogenannter Entzündungsmediatoren. In Folge eines veränderten Gefäßtonus kommt es zu einer Vasodilation (Gefäßerweiterung) und einer reaktiven Hyperämie. Im Anschluss der Ödembildung kommt es zur eigentlichen Entzündungsreaktion. Während dieser kommt es zum Abbau durch Proteo-, Fibrino- und Lipolyse von nekrotischen (abgestorbenen) Gewebe. Die Entzündungsphase wird zusätzlich noch in eine vaskuläre (1.-2.Tag) und in eine zelluläre (2.-5. Tag) Phase unterteilt.
2. Proliferationsphase	5.-21. Tag	In dieser Phase kommt es zur Einwanderung von Fibroblasten, einer Neubildung von Kapillaren und zu einer Steigerung der Kollagensynthese.
3. Konsolidierungsphase	21.-60.Tag	auch Wiederherstellungsphase genannt - es kommt zur Wiederherstellung und zunehmenden Qualitätsverbesserung des Gewebes.
4. Remodulierungsphase	Ab ca. 60. Tag	Ab dem 60. Tag erfolgt weiterhin die Qualitätsverbesserung des neugebildeten Gewebes bis hin zur vollständigen Ausheilung.

(Seidenspinner, 2005)

Die beschriebenen Phasen, entsprechen der Reparatur des Weichteilgewebes, die Reparatur eines Knochens unterscheidet sich dahingehend etwas. Die erste Phase (die Entzündungsphase) ähnelt dabei allerdings noch der einer Weichteilverletzung. Der anfänglichen Verletzung folgt dann eine

schnelle Bildung von Osteoblasten, woraufhin sich im Anschluss ein knorpeliger Kallus bildet, der zur Stabilisierung der Frakturstelle sorgt. Der Kallus ist zunächst unvollständig und eher weich. In dieser Phase spielt die Kollagensynthese eine wichtige Rolle. Anschließend beginnen sogenannte Chondrozyten zu wachsen und Proteasen bauen das Kollagen ab, sodass die Mineralisierung folgen. Dann beginnt die Angiogenese mit der Bildung neuer Gefäße, die dann in den neuen Knochen infiltrieren. Durch eine koordinierte Osteoblastenaktivität wird der Knochen dann so umgebaut, dass er der ursprünglichen Knochenstruktur entspricht. Sowie die Knochen-, als auch die Weichteilgewebereparatur benötigen für alle diese Prozesse viel Energie. (Barnes GL, 1999)

4. Ergebnisse

4.1 Übersicht der Rechercheergebnisse nach dem PICOR-Schema

Die Ernährung im Rahmen der Rehabilitation von Verletzungen bei Leistungssportlern spielt neben üblichen Maßnahmen wie Eis, Massage, Wärme, Elektrostimulation und Akkupunktur eine eher untergeordnete Rolle und wird im Regenerations- und Heilungsprozess häufig unterschätzt. (Abel, 2016, S. 62) Die Empfehlungen der Ernährung für gesunde und unverletzte Sportler (siehe Kapitel 3.4) bilden die Grundlage für eine optimale Versorgung der Athleten und zur Vermeidung von Unterernährung sowie Verletzungen. Ob bereits mögliche Ansätze zur Anpassung der Energie-, Makro- und Mikronährstoffzufuhr innerhalb der Rehabilitation von Leistungssportlern Anwendung finden wird im Folgenden in Form strukturierter PICOR-Tabellen (siehe Tab. 9 - 12) zusammengefasst und anschließend näher erläutert. Die verschiedenen Studien gliedern sich nach den Thematiken „Case Reports“, die sich mit dem allgemeinen Weg „Return to Play“ befassen, der „Energiezufuhr“, „Proteinzufuhr und Kreatinsupplementierung. Abschließend sind in Tabelle 13 drei weitere Studien aufgeführt, in denen es um Alkoholkonsum, ω -3-Supplementierung und der Zufuhr von Gelatine im Zusammenhang mit Verletzungen und Wundheilung geht. Aufgrund der schmalen Verfügbarkeit von themenspezifischen Studien, fließen teilweise Ergebnisse aus Studien mit ein, dessen Ergebnisse auf die Problematiken im Heilungsprozess von Sportlern übertragbar sein könnten. Zudem befindet sich im Anschluss der PICOR-Tabellen ein Schema, welches die Anwendungsmöglichkeiten und Ergebnisse auf 2 Phasen „Immobilisation“ und „Rehabilitation“ überträgt. (siehe Abb. 3)

Tabelle 10: PICOR-Tabelle Case Reports

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
1. Rehabilitation and nutrition protocols for optimising return to play from traditional ACL reconstruction in elite rugby union players: A case study <i>Gregory Shaw, Ben Serpell, Keith Baar, 2019 J Sports Science</i>				
Derzeit liegt der Schwerpunkt der Ernährung und Bewegung während der	2 Profi-Rugbyspieler Abriss des linken Kreuzbands und	Übungsprotokoll mit Schwerpunkt	Veränderungen der Körperzusammensetzung (Körpergewicht und fettfreie Masse)	Veränderung der Körperzusammensetzung in der frühen Rehabilitationsphase (P1 - 0,8 kg; P2 - 0,4 kg)

<p>Rehabilitationsphasen auf der Verringerung der mit der Immobilisierung verbundenen Muskelatrophie. In diesem Fallbericht wird ein Best-Practice-Rehabilitationsprogramm für das vordere Kreuzband (ACL) beschrieben</p>	<p>Reparatur dessen mit traditionellem Kniesehnentransplantat</p> <p>Supplementierung von Gelatine und Vitamin C</p> <p>34 Wochen strukturierten Rehabilitationsprogramm</p>	<p>kollagenem Gewebe</p>	<p>Beinkraft (Maximalkraft)</p> <p>Kniefunktion</p>	<p>Verringerte Fettfreie Masse der Beine (P1: verletzt - 0,8 kg, nicht verletzt - 0,6 kg) P2 -0,3 kg im verletzten Bein nach 17 Wochen</p> <p>Nach 24 Wochen beiden zur Ausgangskörperzusammensetzung und maximalen Beinkraft zurück</p> <p>Kniefunktion nach 30 Wochen vollständig wiederhergestellt</p> <p>Ernährungs- und Rehabilitationsprogramme können Auswirkung auf Nichtbenutzung im Muskel- und Bindegewebe minimieren und die Rückkehr zurück zum Spiel nach ACL-Verletzung unterstützen</p>
<p>2. A multidisciplinary approach to the rehabilitation of a collegiate football player following ankle fracture: A Case Report; Luis A Feigenbaum et al. International Journal of sports physical therapy ; 2016 Jun</p>				
<p>Aufzeigen eines multidisziplinären Ansatzes für die Rückkehr eines College-Footballspielers nach einem traumatischen Sprunggelenkbruch, der eine chirurgische Reparatur erfordert.</p>	<p>21-jähriger Running Back mit seitlich gebrochenem Knöchel</p> <p>Beratung durch Spezialisten der Sporternährung und Tests zur Körperzusammensetzung</p>	<p>Bewertungs- und Behandlungsansatz: leistungsbasierter Physiotherapie-Ergebnismessung, selbstberichtete funktionelle Fähigkeiten, Bewertungen der Körperzusammensetzung und Ernährungsberatung.</p>	<p>Körperzusammensetzung</p> <p>Comprehensive High-Level Activity Mobility Predictor-Sport (CHAMP-S), eine leistungsorientierte Ergebnismessung, der Selbstbericht über den Foot and Ankle Disability Index (FADI-ADL, FADI-S)</p> <p>Tests zur Körperzusammensetzung mittels Ganzkörper-Densitometrie (BOD POD®) durchgeführt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proband erfolgreich rehabilitiert, kehrte in seine Anfangsrolle zurück und wurde anschließend von einer National Football League (NFL) aufgestellt. - Die Mobilität auf hohem Niveau lag wieder über den Werten vor der Verletzung - erreichte 105% seines CHAMP-S-Ergebnisses der Vorsaison bei der Entlassung. - Abnahme Körperfettanteil (13,3% auf 11,9%) - Fettmasse (12,0 kg auf 11,0 kg). - fettfreie Körpermasse (78,1 kg auf 81,5 kg) - BMI veränderte sich von 29,8 kg/m² auf 30,6 kg/m².

Tabelle 11: PICOR Tabelle – Energiezufuhr

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
1. Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults (2010); J Nutr; Stefan Pasiakos et al.				
Nur wenige Studien befassen sich mit dem Einfluss von Energieentzug auf direkte Messungen des Energieumsatzes. Diese Studie befasst sich mit der Wirkung eines akuten Energiedefizits auf die fraktionierte Syntheserate (FSR)	N=12 8 Männer 4 Frauen 20 tägige 2 Phasen Diätinterventionsstudie (Gewichtserhaltung (WM) & Energiemangel (ED, ca. 80% Energie) Protein (1,5 g/kg KG /d Fett 30 % der Gesamtenergie	Messung FSR und intrazelluläres Signalprotein an Tag 10 unter Phenylalanin- bzw. Western Blot Techniken	Körpergewicht FSR Proteinkinase B und Phosphorylierung des eukaryotischen Initiationsfaktor 4E	Körpergewicht ED: – 1 kg (p<0,0001) Reduktion FSR um 19% (p<0,05) : ED 0.06 +- 0.01%/h ; WM 0,074 +- 0,01 %/h Proteinkinase B und eukaryotischer Initiationsfaktor 4E niedriger (p<0,05) Herunterregulation der FSR und der assoziierten synthetischen intrazellulären Signalproteinen bei moderatem Energiedefizit
2. Positive energy balance is associated with accelerated muscle atrophy and increased erythrocyte glutathione turnover during 5 wk of bed rest (2008); Gianni Biolo et al.; Am J Clin Nutr				
Körperliche Inaktivität führt häufig zu einer positiven Energiebilanz und einer Körperfettzunahme. Die Studie überprüft, ob eine erhöhte Energieaufnahme systemische Entzündungen und antioxidative Abwehrkräfte aktiviert sowie die Muskelatrophie beschleunigt	RCT N=19 männlich 5 Wochen Bettruhe Studie A: n=10 → Probanden konnten sich spontan an verringerten Energiebedarf anpassen Unterteilung in Gruppen mit höherer Energiebilanz (HEB) und niedriger Energiebilanz (LEB)	Vor und am Ende der 5 Wochen Studie B: n=9 aktivitätsangepasste Diät	Fettmasse durch bioelektrische Impedanzanalyse Fettfreie Masse Dicke des Vastus lateralis (Ultraschallbildgebung) Plasma Leptin, C reaktives Protein + Myeloperoxidase Glutathionsyntheserate in Erythrozyten	Fettfreie Masse und Dicke des Vastus lateralis bei HEB signifikant größer (P <0,03) (-3,8 +/- 0,4 kg bzw. -0,32 +/- 0,04 cm) LEB (-2,3 +/- 0,5 kg bzw. - 0,09 +/- 0,04 cm) Studie A: Plasma-leptin, c-reaktives Protein und Myeloperoxidase bei HEB größer (p<0,04) Glutathione-Synthese-Rate der Erythrozyten größer (p=0,03) in HEB ((70 +/- 19 zu 164 +/- 29%/d) als in LEB(A) (von 103 +/- 23 zu 84 +/- 27%/d) Positive Energiebilanz ist mit stärkerer Muskelatrophie und Aktivierung systemischer Entzündung verbunden

Tabelle 12: PICOR Tabelle – Proteinzufuhr

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
1. Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes; Samuel Mettler, Nigel Mitchell, Kevin D Tipton (2010), Med Sci Sports Exerc				
Eine reduzierte Energiezufuhr führt i.d.R zu einem Verlust der fettfreien Körpermasse.	<p>RCT n=20 junge Sportler mit gesundem Widerstandstraining</p> <p>Energieverbrauch einer Woche</p> <p>zweite Woche gemischte Diät (15% Protein, 100% Energie)</p> <p>gefolgt von hypoenergetischer Diät (60% der gewohnheitsmäßigen Energie) Aufnahme</p> <p>entweder 15% (ungefähr 1,0 g x kg (-1)) Protein (Kontrollgruppe, n = 10; CP) oder 35% (ungefähr 2,3 g x kg (-1)) Protein (Gruppe mit hohem Proteingehalt, n =10; HP) für 2 Wochen.</p>	<p>RCT n = 10 Sportler</p> <p>15% (ungefähr 1.0 g x kg (-1) Protein (Control group, n = 10; CP)</p>	<p>Energieverbrauch Gesamt-, Muskel- und Fettmasse</p> <p>Leistung (Squat-Jump, maximale isometrische Beinstreckung, Bankdrücken mit maximaler Wiederholung (1 U / min), Bankdrücken mit Muskelausdauer und 30-s-Wingate-Test)</p> <p>Nüchternblutproben (Glukose, nicht verestertes Fett) Säuren (NEFA), Glycerin, Harnstoff, Cortisol, freies Testosteron, freier insulinähnlicher Wachstumsfaktor 1 (IGF-1),</p>	<p>Gesamtverlust (-3,0 ± 0,4 und -1,5 ± 0,3 kg für CP bzw. HP, P = 0,036) und Verlust an magerer Körpermasse (-1,6 ± 0,3 und -0,3 ± 0,3 kg), P = 0,006) waren im CP signifikant größer als im HP.</p> <p>Fettabbau, Leistung und die meisten Blutparameter nicht beeinflusst</p> <p>Harnstoff war bei HP höher</p> <p>Die Müdigkeitsbewertungen und die "schlechter als normal" -Werte bei der täglichen Analyse der Lebensanforderungen für Sportler waren bei HP höher.</p>
2. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis (2013); José Areta et al.; J Physiol.				
Die Auswirkung spezifizischer Aufnahmemuster auf MPS über einen Zeitraum von 12 Stunden ist unbekannt	<p>Unterschiedliche Verteilungen Proteinzufuhr während 12 stündiger Erholung nach Widerstandstraining</p> <p>N=24 gesund trainierte Männer</p> <p>80 g Molkenprotein post Widerstandstraining</p>	<p>3 Gruppen (n=8/Gruppe)</p> <p>jeweils 8 × 10 g 1,5 h (PULS); 4 × 20 g alle 3 h (Zwischenprodukt: INT); oder 2 × 40 g alle 6 h (BOLUS)</p>	<p>anabole Reaktion im Skelettmuskel</p> <p>Muskelbiopsien in Ruhe nach 1, 4, 6, 7 und 12 Stunden nach dem Training</p> <p>Bewertung MPS nach dem Training und in Ruhe +Muskel mRNA Häufigkeit und Zellsignalisierung</p>	<p>MPS-Erhöhung bei allen während Ruhezeit von 1-12 h (88-148%), P<0,02)</p> <p>INT größer als PULSE und BOLUS (31-48%, p<0,02)</p> <p>Signalübertragung: BOLUS>INT>PULSE</p> <p>20 g Molkenprotein alle 3 h konsumiert → Stimulation MPS über den ganzen Tag</p>

3. Leucine attenuates skeletal muscle wasting via inhibition of ubiquitin ligases (2010); Igor Baptista et al.; Muscle Nerve				
Die Immobilisierung kann zu Reduktion der Muskelmasse führen. Die Studie befasst sich mit der Wirkung der Leucin Supplementierung auf das Ubiquitin-Proteasom-System (UPS) im Skelettmuskel von Ratten	Leucin-Supplementierungsprotokoll <ul style="list-style-type: none"> • Tierstudie 		Muskelmasse Querschnittsfläche Genexpression von E3-Ligasen Gehalt an ubiquitinierte Proteine Geschwindigkeit der Proteinsynthese	Leucin-Supplementierung schwächt Verlust der Soleus-Muskelmasse ab Verminderte Proteinsynthese wird nicht wiederhergestellt Schwächt Muskelschwund durch Minimierung der Genexpression von E3 Ligasen ab

Tabelle 13: PICOR-Tabelle Kreatinsupplementierung

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
1. The effect of creatine supplementation on strength recovery after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial Timothy F Tyler , Stephen J Nicholas, Elliott B Hershman, Beth W Glace, Michael J Mullaney, Malachy P McHugh (2004), American Journal Sport Medicine				
Untersuchung der Wirkung der Kreatinsupplementierung auf die Wiederherstellung der Muskelkraft nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes (ACL)	Clinical Trial Doppelblinde, prospektive und randomisierte klinische Studie. N=60 Sechzig Patienten wurden in Kreatin- oder Placebogruppen randomisiert	N= 30 Placebogruppe	Quadrizeps- und Kniesehnenstärke und -leistung wurden isokinetisch gemessen Hüftbeuger- Abduktoren- und Adduktorenkraft Messung vor der OP, 6 Wochen, 12 Wochen oder 6 Monate nach der OP Handdynamometer	Kein Nutzen Kreatinsupplementierung innerhalb der ersten 12 Wochen der Rehabilitation

Die Fortsetzung der Tabelle 12, die die Studien mit Bezug auf die Kreatinsupplementierung darstellt, erfolgt auf S.26 (Tab. 13).

Tabelle 14: Fortsetzung PICOR-Tabelle Kreatinsupplementierung

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
2. Effect of creatine supplementation during cast-induced immobilization on the preservation of muscle mass, strength, and endurance (2009); J Strength Cond Res.; Adam Johnston, Darren Burke, Lauren Mac Neil, Darren Candow				
Muskel- und Kraftverlust während Perioden körperlicher Inaktivität und Immobilisierung	RCT N=7 Gipsverband am Arm Kreatin-Supplementation Tag 15 – 21 Kreatin (4x5g/Tag)	Tag 1-7 Placebo (Maltodextrin 4 x 5 g / d) Entfernung Gips an Tag 8-14 und 22-29	Auswirkung der Kreatinsupplementierung auf die Muskelmasse oberer Extremitäten und die Muskelleistung nach der Immobilisierung Muskelmasse, Ellenbogenbeugstärke und -streckkraft, sowie Ausdauer	Muskelmasse: (Cr + 0,9% gegenüber PLA -3,7%, p <0,05) Ellenbeugstärke: Cr - 4,1%; PLA - 21,5%, p <0,05 Ausdauer: Cr -9,6% vs. PLA - 43%, p <0,05 Ellenbogenstreckkraft: Cr - 3,8% vs. PLA -18%, p <0,05 positive Wirkung

Tabelle 15: PICOR-Tabelle - Sonstige

Problem	Intervention	Comparison	Outcome	Results
1. Vitamin C-enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis – RCT Gregory Shaw, Ann Lee-Barthel, Megan Lr Ross, Bing Wang, Keith Baar Jan 2017, The American Journal of Clinical Nutrition				
Verletzungen des Bewegungsapparates sind die häufigste Beschwerde der aktiven Population. Diese Studie untersucht, ob eine Gelatineergänzung die Kollagensynthese erhöhen kann	8 gesunde „m“ Athleten - RCT 5 oder 15 g Vitamin C-angereicherte Gelatine oral verabreicht 1 h nach Supplementeinnahme 6 min Seilspringen Technisch hergestellte Bänder → 6 d mit Serum aus Proben behandelt, die vor oder 1 h nach dem Verzehr eines Placebos oder von 5 oder 15 g Gelatine entnommen wurden.	Placebokontrolle Blut wurde vor und 4, 24, 48 und 72 h nach dem ersten Übungskampf	Blutentnahme Aminosäuregehalt im Blut Größere Blutprobe 1 h vor und nach dem Verzehr von Gelatine Aminoterminales Propeptid des Kollagen I-Gehalt	↑ des zirkulierenden Glycin-, Prolin-, Hydroxyprolin- und Hydroxylysingehalt, → 1 h nach Verabreichung: Höhepunkt ↑ Kollagengehalt bei technischen Bändern eine verbesserte Mechanik Probanden, die 1 h vor dem Training 15 g Gelatine einnahmen, zeigten das doppelte aminoterminale Propeptid von Kollagen I in ihrem Blut, was auf eine erhöhte Kollagensynthese hinweist.

3. Alcohol ingestion impairs maximal post-exercise rates of myofibrillar protein synthesis following a single bout of concurrent training (2014); PLoS One; Evelyn Parr, Donny camera, José Areta, Louise Burke, Stuart Phillips, John Hawley, Vernon Coffey				
Konsum großer Mengen Alkohol nach dem Training/Wettkampf	RCT N=8 3 experimentell Studien Widerstandsübungen 8x5 Wdh. Beinstrecker (80% max. 1 Wdh.) - 30 min, 63% peak power output - HIIT (10x 30s, 110%) 4 h post exercise: 500 mL whey protein (25g) + alcohol (1,5 g / kg KG), 12+- 2 standard drinks	Energy matched quantity of carbohydrates with alcohol (25 g Maltodextrin) Einnahme 2 h post exercise Muskelbiopsie 2 + 8 h post Training in Ruhe	Auswirkung von Alkohol auf Wiederherstellungsprozesse und Proteinumsatz im menschlichen Skelettmuskel (Geschwindigkeit der myofibrillären Proteinsynthese (MPS))	Blutalkoholkonzentration mit ALC-CHO während gesamter Genesung erhöht (p<0,05) Phosphorylierung mit ALC-Pro 2 h nach dem Training höher (p<0,05) MPS Raten steigen unter allen Bedingungen über die Ruhe Alkoholkonsum senkt MPS Rate nach gleichzeitigem Training
4. Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women (2011); Clin Sci (London) ; Gordon Smith et al.				
Die Studie befasst sich mit der Wirkung durch eine erhöhte Aufnahme langkettiger mehrfach ungesättigter n-3- Fettsäuren auf die Stimulation des Muskelroteinanabolismus.	N=8 25-45-jährige gesunde Probanden 8-wöchige LCn-3PUFA Supplementierung (4g Lovaza/Tag)	Verwendung stabiler Isotopen-markierte Tracertechniken Aktivierung von Elementen des Signalwegs mTOR unter basalen postabsorptiven Bedingungen während hyperinsulinämischer - hyperaminoazidämischer Klammer	Geschwindigkeit der MPS Proteinkonzentration RNA und DNA im Muskel	Keine Änderung der Fraktionssyntheserate des Basalmuskelproteins und Phosphorylierung des Basalsignalelements Anabole Reaktion auf die Infusion von Insulin und Aminosäuren größer (0,062 ± 0,004 auf 0,083 ± 0,007% / h) Phospho-mTOR und Phospho-p70S6K Spiegel stiegen um ~50% (p<0,05) LCn-3PUFAs mit anabolen Vorteilen bei gesunden jungen mittelalten Personen

In Abbildung 3 sind nun die wichtigsten Erkenntnisse der Studien auf zwei Phasen aufgeteilt dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich viele Maßnahmen auf beide Phasen beziehen, da diese weitestgehend auf die Kontrolle der ausreichenden Bedarfsdeckung abzielen. Lediglich die Proteinzufuhr kann sich zum Zeitpunkt einer möglichen Immobilisierung zur Rehabilitationsphase abgrenzen und bei Verletzungen von Sehnen und Bändern ist eine Supplementierung von Gelatine und Vitamin C möglich. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine moderate Aktivität während der Rehabilitation vorhanden ist und die Immobilisierung auch nicht zwangsläufig den kompletten Körper betrifft, sondern gegebenenfalls nur das verletzte Körperteil, bei dem es zu einem Muskelverlust kommen kann. (Abel, 2016)

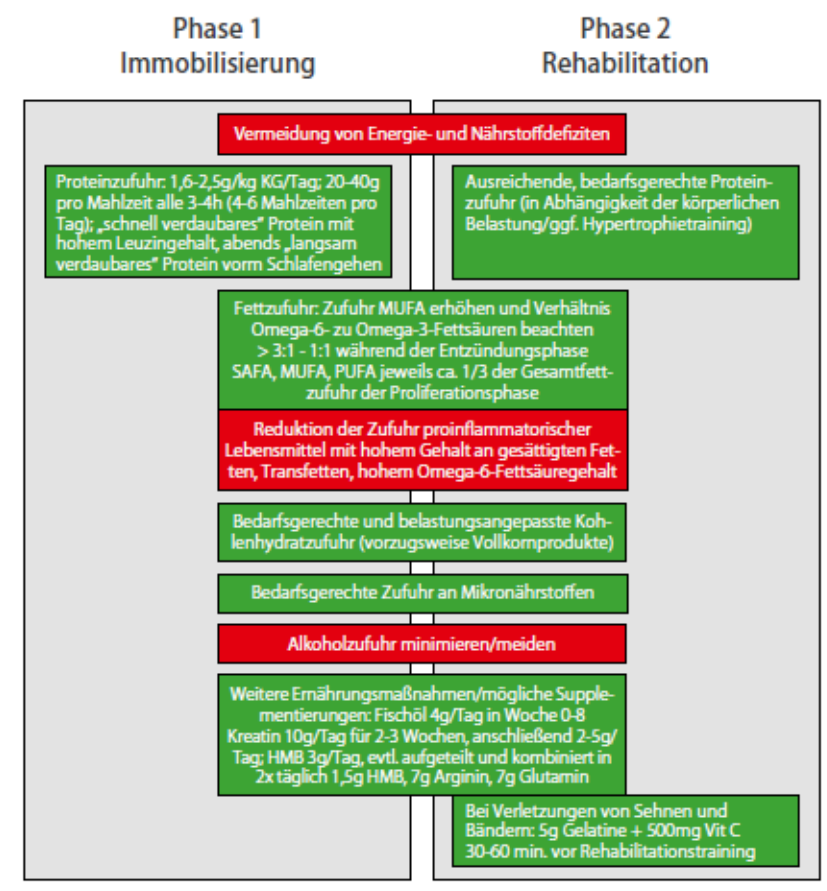


Abbildung 4: Mögliche Ernährungsmaßnahmen bei Verletzungen während der Immobilisation und Rehabilitation (modifiziert nach Berhardi, Jeukendrop, 2015, Tipton, 2013, Wall et al, 2014)

4.2 Erläuterungen und Zusammenhänge der Ergebnisse

In den folgenden Teilkapiteln werden die Ergebnisse näher erläutert und Zusammenhänge dargestellt. Es fließen Erkenntnisse aus den Studien, teilweise Verknüpfungen zu vergangenen Reviews und Informationen aus der Fachliteratur ein. Die Strukturierung der Kapitel erfolgt durch die Thematisierung der verschiedenen Nährstoffe und Faktoren innerhalb der verschiedenen Studien.

4.2.1 Energiezufuhr

Die Energiezufuhr ist einer der kritischsten Teile eines Ernährungsplans für die optimale Rehabilitation von Verletzungen eines Leistungssportlers. Die häufig auftretende Immobilisierung im Anschluss des Verletzungszeitpunktes führt zu einer verminderten Aktivität und somit zur Annahme der Reduktion der Energiezufuhr, um eine Gewichts- bzw. Körperfettzunahme zu vermeiden. Häufig ist der Energieverbrauch jedoch nicht so gering wie angenommen. (Tipton K. D., 2015) In diesem Zusammenhang wird häufig der 2-3fach höhere Energieaufwand außer Acht gelassen, der beispielsweise durch das Gehen mit Krücken entsteht. Auch die Schwere der Verletzung spielt eine Rolle bei der Anpassung der Energiezufuhr, da der Energieverbrauch, je schwerer die Verletzung ist, aufgrund der unterschiedlichen Intensität und Dauer des Wundheilungsprozesses ansteigt. (Frankenfield, 2006) Der Energieverbrauch kann nach Art und Schwere der Verletzung um 15-50% ansteigen. (Tipton K. D., 2015) Insbesondere die Tatsache, dass die Menge sowie die Art und Weise der Energiezufuhr, Einfluss auf die Muskelproteinsynthese und somit auch auf Muskelaufbau und -erhalt hat, spiegelt die Wichtigkeit der Überprüfung der optimalen Energiezufuhr wider. (Wolfe, 2006) In einer Studie wurde bereits vor einiger Zeit festgestellt, dass eine 80%ige Deckung der Tagesgesamtenergie zu einer Reduktion der Muskelproteinsynthese von 19% führt und somit der Muskelverlust unterstützt wird. (Stefan M Pasiakos, 2010) Aufgrund der genannten Punkte sollte eine genaue Abschätzung der Vor- und Nachteile einer erhöhten, oder reduzierten Energiezufuhr abgewogen werden, um gegebenenfalls eher eine gewisse Gewichtszunahme zu akzeptieren, dafür aber die Muskelproteinsynthese und die Wundheilung in ihren Prozessen nicht einzuschränken. (Tipton K. , 2010) Allerdings sollte auch bei der Erhöhung der Energiezufuhr, eine zu große positive Energiebilanz vermieden werden, da es Hinweise darauf gibt, dass diese während der Inaktivität einer Person zu einer Beschleunigung des Muskelverlusts führt. Grund dafür ist vermutlich die Aktivierung einer systematischen Entzündung. Dahingehend muss allerdings berücksichtigt werden, dass diese Daten aus einer Studie mit Personen stammen, die vollständig bettlägerig und inaktiv waren. (Biolo G, 2008) Auch eine verminderte Insulinsensitivität, ausgelöst durch überschüssige Energie bei verminderter Aktivität, kann die Folge sein und zu Veränderungen des Muskel- und Fettstoffwechsels führen. (Walhin JP, 2013) Möglicherweise ist die Energiezufuhr nicht der wichtigste zu berücksichtigende Faktor im Bereich der Ernährungsstrategien und die Überprüfung des genauen Energiebedarfs mit Hilfe von Techniken wie die indirekte Kalorimetrie nicht immer machbar und praktikabel. Dennoch ist es sinnvoll einen Anhaltspunkt zu haben, um dann genauer auf die Zusammensetzung der zugeführten Energie eingehen zu können und eine optimale Versorgung zu erzielen.

4.2.2 Proteinzufuhr

Während der Immobilität einer Verletzung geraten die Prozesse rund um das Muskelprotein aus dem Gleichgewicht. Die Ausgeglichenheit zwischen der Muskelproteinsynthese und dem -abbau ist elementar für den Erhalt und die Veränderung der Muskelmasse. Übersteigt der Muskelproteinabbau

die Rate der Muskelproteinsynthese ist die Rede von einem negativen Nettomuskelproteingleichgewicht. (Tipton, 2010) Das negative Gleichgewicht führt nicht nur zur Abnahme der Syntheserate, auch der Abbau nimmt ab, allerdings in einem geringeren Maße als die Synthese des Muskelproteins. Dadurch, dass die Abbaurate größer als die Syntheserate ist, kommt es zu der Verringerung der Muskelmasse und somit auch Muskelkraft und -funktion. Anhand dieser Wissensgrundlage zielen Ernährungsinterventionen im Zusammenhang mit Verletzungen häufig darauf ab, die Abnahme der Muskelproteinsynthese zu verringern. Als primärer Ansatzpunkt stellt dabei die Annahme, dass eine erhöhte Eiweißzufuhr zu einem erhöhten Eiweißumsatz führen kann. Dabei steht insbesondere eine erhöhte Aminosäureverfügbarkeit im Vordergrund, die eine Stimulation der Muskelproteinsynthese bewirken und ein positives Nettogleichgewicht zur Folge haben soll. Der hypermetabolische Bedarf an Aminosäuren würde allerdings ohne ernährungsphysiologische Unterstützung aus dem Katabolismus der Skelettmuskulatur gedeckt werden. (Demling, 2009) Eine erhöhte Proteinzufuhr führt allein jedoch während des Nichtgebrauchs verletzter Extremitäten, nicht zwangsläufig zur Erhöhung der Muskelproteinsynthese, da der immobilisierte Muskel über eine Art Resistenz gegenüber dem anabolen Reiz der Proteine hat. In diesem Zusammenhang gibt es erste Erkenntnisse, die mit der Aminosäure „Leucin“ zusammenhängen. (Lorenz HP, 2008) Leucin ist eine essenzielle Aminosäure, welche vom Körper nicht selbst synthetisiert werden kann und entsprechend über die Ernährung zugeführt werden muss. (Konopka, 2009, S. 68) Der Einsatz von Leucin soll die anabole Reizschwelle heruntersetzen und somit die Muskelproteinsynthese während der Immobilisierung der Extremitäten ermöglichen. Dieser Aspekt ist allerdings bisher nur in Rattenstudien (Baptista, 2010) und in Studien, die sich mit der Hemmung der anabolen Signalwege im Muskel bei älteren Menschen und der damit zusammenhängenden Reduktion der Muskelproteinsynthese befassen, nachgewiesen. (Cuthbertson D, 2005)

Der durch oxidativen Stress verursachte erhöhte Proteinbedarf beträgt ca. 80% Erhöhung gegenüber dem Ausgangswert. Entsprechend liegt die aktuelle Empfehlung bei verletzten Athleten bezüglich der Proteinaufnahme bei 1,6 g/kg Körpergewicht / Tag und sollte sich 2,0 bis 3,0 g/kg KG/ Tag nähern, wobei die Voraussetzung eine vorhandene körperliche Aktivität ist, da in einer anderen Studie eine Steigerung der Proteinzufuhr von 1,0 g/kg KG auf 1,6 g/kg KG/ Tag bei bettlägerigen Frauen keine Verringerung des Muskelverlusts bewirkt hat. (T A Trappe, 2007) Neben dem erhöhten Proteinbedarf spielt auch das Timing der Proteinzufuhr eine wichtige Rolle. Derzeit wird empfohlen 20 bis 40 g Nahrungsprotein pro Mahlzeit zu sich zu nehmen. Die Proteinzufuhr sollte innerhalb der ersten Stunde nach dem Aufstehen, alle 3 bis 4 Stunden über den Tag verteilt, zeitnah des Rehabilitationstrainings und vor dem Schlafen erfolgen. (Areta JL, 2013) Außerdem sollte pro Portion, aufgrund der ersten Erkenntnisse bezüglich des positiven Effekts auf die Muskelproteinsynthese, 3 g Leucin verzehrt werden. Insbesondere tierische Lebensmittel wie Huhn, Rindfleisch, Milch und Fisch liefern eine hohe Leucinkonzentration. Die ersten Erkenntnisse lassen zwar, auch übertragen

auf die Immobilisation bei verletzten Leistungssportler, positive Aspekte aufkommen, allerdings gibt es bisher noch keine Studien, die sich auf die Wirkung von Leucin im direkten Zusammenhang mit diesen und dem empfohlenen Einsatz innerhalb der Verletzungsstadien befasst.

4.2.3 Kollagen

Das Bindegewebsprotein Kollagen ist der Hauptbestandteil von Sehnen und Bändern. Eine Immobilisierung führt allerdings zu einer Verminderung der Kollagensynthese und somit zu Änderungen der mechanischen Eigenschaften von Sehnen und Bändern. Die Kollagensynthese ist allerdings grundlegend wichtig für die reibungslose Sehnenfunktion und den Heilungsprozess bei Sehnen- und Bänderverletzungen. (Tipton, 2010) Insbesondere während des Wundheilungsprozesses kommt es ab der Proliferationsphase zu einer erhöhten Kollagensynthese, sodass Untersuchungen hinsichtlich der Wirksamkeit zusätzlich verabreichtem Kollagen, bzw. kollagensynthesesteigernde Präparate gerechtfertigt sind.

Bisher ist über Ernährungseinflüsse auf den Sehnenstoffwechsel sowie die Kollagensynthese bei gesunden oder verletzten Menschen, sehr wenig bekannt. Die Knochenkollagensyntheserate reagiert durch eine Steigerung auf einen erhöhten Aminosäurespiegel, währenddessen die Kollagensyntheserate in Muskeln und Sehnen keine Reaktion zeigt. (J A Babraj, 2005) Dieses lässt zwar vermuten, dass eine verbesserte Kollagensynthese durch eine erhöhte bzw. kontrollierte Proteinzufuhr den Heilungsprozess bei Sehnen- und Bänderverletzungen unterstützen kann, die Wirksamkeit bei Sportlern ist allerdings noch nicht ausreichend belegt.

Eine australische Studie bezüglich der Erhöhung der Kollagensynthese im Zusammenhang mit der Gewebereparatur hat gezeigt, dass eine Supplementierung mit 5 oder 15 g Vitamin C angereicherter Gelatine eine Erhöhung des zirkulierenden Glycins, Prolin, Hydroxyprolin und Hydroxylysin bewirkt und 1h nach der Supplementierung den Höhepunkt erreicht. Synthetisch hergestellte Bänder wurden 6 Tage lang mit dem Serum der Probanden behandelt, welches vor oder 1h nach dem Verzehr eines Placebos oder des Vitamin C-Gelatine-Gemisch entnommen wurde. Die Bänder zeigten einen erhöhten Kollagengehalt und eine verbesserte Mechanik. Zudem wurde bei Probanden, die eine Stunde vor dem Training 15 g Gelatine einnahmen, das Doppelte des aminoterminalen Propetid vom Kollagen I festgestellt, welches für eine erhöhte Kollagensynthese spricht. (Gregory Shaw, 2017) Die Ergebnisse dieser Studie sprechen für eine vorteilhafte Rolle der Zugabe von Gelatine im Zusammenhang mit der Gewebereparatur und somit für eine Verkürzung des Zeitraums vom Verletzungszeitpunkts bis hin zur Rückkehr ins Spiel.

4.2.4 Kreatin - Monohydrat

Bei Kreatin handelt es sich um eine organische Verbindung, die vom menschlichen Körper teilweise aus den Aminosäuren Arginin, Methionin und Glycin synthetisiert werden kann. Zudem kann Kreatin auch durch den Verzehr von proteinreichen Lebensmitteln wie Rindfleisch und Fisch gewonnen

werden. (Branch, 2003) Als Speicherort für Kreatin dient die Skelettmuskulatur. Im Rahmen des Muskelaufbaus während des Krafttrainings hat Kreatin bereits häufiger Anwendung gefunden. (Hespele P, 2007) Ob Kreatin während der Immobilisierung eines verletzten Athleten positiven Einfluss auf die Verhinderung von Muskelverlust und Besserung des Heilungsprozesses hat, ist bisher noch nicht eindeutig. Eine klinische Studie, die den Effekt einer Kreatin-Supplementation im Zusammenhang mit der Kraftregeneration von Sportlern nach einer Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes untersucht hat, kam zu dem Ergebnis, dass die Athleten während der ersten 12 Wochen der Rehabilitation, von keinem Nutzen profitieren. (Timothy F Tyler, 2004) In einer später durchgeführten Studie wurde jedoch ein Nutzen der Kreatin-Supplementation bezüglich der Verringerung der Muskelmasse in den oberen Extremitäten festgestellt. Die Supplementierung erfolgte kurzzeitig von Beginn des 15.-21. Tages nach Verletzungseintritt. (Adam P W Johnston, 2009) Um den Nutzen und die Wirkung von Kreatin besser einschätzen und Anwendung bei verletzten Sportlern zu rechtfertigen sind weitere Studien erforderlich. Die vorliegenden Ergebnisse lassen die Vermutung aufkommen, dass obere und untere Extremitäten unterschiedlich reagieren. Bei der am häufigsten untersuchten Form von Kreatin handelt es sich um das Kreatin-Monohydrat, welches die effektivste und bioverfügbarste Form ist. (Jager R, 2011) Nach aktuellem Stand sind der Supplementation wenige bis keine Nebenwirkungen zuzuschreiben. Lediglich eine geringe Gewichtszunahme, welche nach ein bis zwei Tagen nach der Supplementation zurückging, sind keine unerwünschten Wirkungen bekannt. Nach Auftreten einer Verletzung mit Inbegriff der Immobilisierung wird nach aktuellem Stand eine Dosis von 20 g pro Tag, verteilt auf 4x 5g für 5 Tage oder eine tägliche 5 g Dosis empfohlen. (Kreider RB, 2017) Um die erhöhten Vorräte aufrechterhalten zu können, folgen 5 Tage lang 20 g pro Tag in 4 aufgeteilten Dosen sowie weitere 3 bis 5 g pro Tag im Anschluss. (Abbie E. Smith-Ryan, 2020)

4.2.5 Komplexe Kohlenhydrate

Kohlenhydrate dienen generell als wichtige und schnellste Energiequelle im menschlichen Organismus. Während der Genesung verletzter Sportler spielen sie zudem sowohl in der Immunologie, bei hormonellen Faktoren, als auch bei enzymatischen Prozessen eine große Rolle. (Demling, 2009) Außerdem wird den Kohlenhydraten eine proteinsparende Wirkung zugeschrieben, da eine kohlenhydratreiche Ernährung zu einer Reduzierung des Muskelproteinabbaus führt. 3 bis 5 g/kg Körpergewicht oder 55% der gesamten Kalorien während der Rehabilitation sollten in Form komplexer Kohlenhydrate verzehrt werden. (Thomas DT, 2016) Als Kohlenhydratquellen dienen dabei hauptsächlich Vollkornprodukte, Obst, Gemüse und Milchprodukte. Der Verzehr von komplexen Kohlenhydraten führt zu einer nachhaltigen Verfügbarkeit von Glukose, weshalb einfache Kohlenhydrate in Form von verarbeitetem und raffiniertem Zucker nur begrenzt verzehrt werden sollte. (Abbie E. Smith-Ryan, 2020)

4.2.6 Essenzielle Fettsäuren

Als essenzielle Fettsäuren gelten diejenigen, die nicht eigenständig vom Körper synthetisiert werden können und über die Nahrung zugeführt werden müssen. Dazu gehören die mehrfach ungesättigten Fettsäuren alpha-Linolensäure (ω -3-Fettsäure) und die Linolsäure (ω -6-Fettsäure). Im richtigen Verhältnis zu den ω -6-Fettsäuren stehend, wird den ω -3-Fettsäuren, insbesondere der Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure, eine entzündungshemmende Wirkung zugeschrieben. Unmittelbar nach Eintritt einer Verletzung erfolgt der Wundheilungsprozess in Form einer Entzündungsreaktion. Diese ist wichtig für einen normalen und schnellen Heilungsverlauf, weshalb eine frühzeitige Hemmung dieses Prozesses nicht gerechtfertigt ist. Kommt es allerdings zu einer langanhaltenden Entzündungsreaktion ist die Anpassung bzw. eine Kontrolle der Zufuhr von Fettsäuren möglich und ratsam. (Galland, 2010) Zudem dient das Fett als wichtige Energiequelle für die Wundheilung und Steigerung der Zellproliferation. 20 bis 25 % der Tagesgesamtenergie sollten im Rahmen eines Wundheilungsprozesses aus Fett stammen, das entspricht 0,8 bis 2 g/kg Körpergewicht pro Tag. (Demling, 2009) Des Weiteren erhöht die von gesunden Personen langfristige Aufnahme von 4g ω -3-Fettsäuren/Tag aus Fischöl die Empfindlichkeit gegenüber Aminosäuren und somit auch der Muskelproteinsynthese. (Gordon I Smith, 2011)

Bezüglich genauerer und allgemein anwendbarer Dosierungsstrategien im Zusammenhang mit verletzten Leistungssportlern fehlen derzeit noch weitreichende Erkenntnisse. Es gilt, dass eine tägliche Einnahme von 2 bis 4 g von Fischölergänzungen zu einer Reduzierung chronischer Entzündungen und zur Maximierung der Proteinsynthese führt. Hinsichtlich der Rahmenbedingungen und Nebenwirkungen, gibt es jedoch gegensätzliche Erkenntnisse, die das Blutungsrisiko betreffen. (Abbie E. Smith-Ryan, 2020)

4.2.7 Vitamin D

Vitamin D nimmt eine besondere Rolle bezüglich der Kalzium- und Knochenregulation, sowie der erworbenen und angeborenen Immunregulation sowie der Skelettmuskelfunktion ein. Aufgrund dieser vielseitigen Eigenschaften und Prozessbeteiligung ist eine Überprüfung des Einflusses von Vitamin D auf Sportverletzungen und deren Rehabilitation sinnvoll. Problematisch ist dabei, dass Forschungen und Empfehlungen bezüglich der Supplementierung zwar eine große Bedeutung haben, es jedoch noch nicht zu abschließenden und allgemeingültigen Erkenntnissen gekommen ist. Vitamin D kann Auswirkungen auf die Verhinderung von anfänglichen Entzündungen und oxidativem Stress haben und somit im Verlauf eines Heilungsprozesses positive Eigenschaften mitbringen. Insbesondere nach einer Knieoperation wurde eine längere Erholung durch einen niedrigeren Vitamin D Gehalt festgestellt. (Tyler Barker, 2011) Verfügt eine Person jedoch bereits über einen ausreichenden Vitamin D Spiegel, kann eine Supplementierung im Zusammenhang mit Knochenbrüchen einen negativen Einfluss haben, in dem das Eintreten der, für den Entzündungs- und Heilungsprozess notwendigen, Makrophagen reduziert bzw. verhindert wird. (Abbie E. Smith-Ryan, 2020) Aufgrund

dessen ist eine Kontrolle des Vitamin D-Spiegels zum Verletzungszeitpunkt gegebenenfalls ratsam, um einen zu niedrigen Vitamin D-Spiegel festzustellen, oder eine Überdosierung zu vermeiden. Die DGE gibt einen Referenzwert von 20µg Vitamin D pro Tag für sowohl Kinder und Jugendliche als auch Erwachsene an, um eine 25-Hydroxyvitamin-D-Serumkonzentration von 50 nmol/l sicherzustellen. (Deutsche Gesellschaft für Ernährung, 2017) Da Vitamin D hauptsächlich aus der Eigensynthese im Zusammenhang mit der Sonneneinstrahlung synthetisiert wird, stellt die Deckung des Vitamin D über die Nahrung eine enorme Herausforderung dar. Sollte trotz ausreichend externer Sonneneinstrahlung ein Vitamin D-Mangel festgestellt werden, sollte hier über die Verwendung von Nahrungsergänzungsmitteln nachgedacht werden, um insbesondere im Zusammenhang mit Verletzungen Verzögerungen des Heilungsprozesses zu vermeiden. (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V., 2020)

4.2.8 Vitamin A, C, E

Im Zusammenhang mit den erhöhten metabolischen Anforderungen während der Rehabilitation von Verletzungen und damit verbundenen Operationen gibt es erste Erkenntnisse, die für eine verstärkte Betonung der Mikronährstoffe, insbesondere für Vitamin A, Vitamin C und Vitamin E sprechen. Die genannten Vitamine nehmen eine wichtige Rolle bezüglich der Immunernährung für die Wiederherstellung von Verletzungen und die Wundheilung ein. (Anitra C Carr, 2017) (Q, 2014) Während eine Vitamin C-Supplementierung vorwiegend bei Patienten mit schwerem Stress oder Verletzungen Wirkung zeigt (Anitra C Carr, 2017), konnte durch Vitamin A bei ausreichender Versorgung, auch bei kleineren Verletzungen und Wunden eine verbesserte Heilung festgestellt werden. Vitamin E kann durch die Verringerung des oxidativen Stresses zu einer verkürzten Wundheilungszeit führen. (Q, 2014) In Abbildung 5 (siehe unten) sind die verschiedenen Hauptfunktionen und Wirkungen, die im Zusammenhang mit dem Wundheilungsprozess stehen sowie die entsprechenden nährstoffliefernden Lebensmittel und empfohlenen Tagesmengen aufgelistet. In erster Linie wird die Deckung der Vitamine über die Vollwerternährung empfohlen und nur im Falle eines Mangels zur Supplementierung durch Nahrungsergänzungsmittel geraten. Insgesamt liegen derzeit nur wenige Informationen über die Dosis und Häufigkeit der Einnahme vor, die für die Wirksamkeit der Ergänzungen erforderlich sind. (Institute of Medicine, 2005) Die Erkenntnis, dass eine Aufnahme über dem Normalwert zu keiner erhöhten Wirksamkeit führt, spricht weiterhin für eine Abwägung der Notwendigkeit von Nahrungsergänzungsmitteln. (Tipton K. D., 2015)

	Vitamin C	Vitamin A	Vitamin E
Main Functions	<ul style="list-style-type: none"> Stimulates collagen synthesis Facilitates wound healing Maintains bone 	<ul style="list-style-type: none"> Increases collagen deposition Proliferation of epithelial cells Decreases inflammation 	<ul style="list-style-type: none"> Modulates muscle proteolysis genes Functions as an antioxidant Enhances immune function
Good Sources	Kiwi 131 mg Grapefruit 94 mg Orange 93 mg Strawberries 85 mg Broccoli 51 mg	Sweet potato 961 µg Pumpkin 953 µg Squash 572 µg Carrots 534 µg Spinach 472 µg	Sunflower seeds 7.4 mg Almonds 7.3 mg Apricots 2.8 mg Whole avocado 2.7 mg Spinach 1.9 mg
Recommended Daily Amount	Males: 90 mg Females: 75 mg	Males: 900 µg Females: 700 µg	Males: 15mg Females: 15 mg

Abbildung 5 Vitamine und ihre Wirkung bei Verletzungen (Abbie E. Smith-Ryan, 2020)

4.2.9 Verzichtsempfehlung

Neben den Empfehlungen bezüglich des Verzehrs bestimmter Nährstoffe, gibt es vereinzelt auch Empfehlungen für Lebensmittel und Nährstoffe, die im Zusammenhang mit Wundheilungsprozessen und Verletzungen weniger verzehrt, gar vollständig vermieden werden sollten. Dabei spielt insbesondere Alkohol eine besondere Rolle, der gänzlich vermieden werden sollte. Alkoholkonsum beeinträchtigt sowohl die Muskelproteinsynthese als auch die Wundheilung, in dem die Entzündungsreaktion bei Verletzungen reduziert werden. (Parr EB, 2014) (Jung MK, 2011)

Ein zu hoher Verzehr von Kohlenhydraten (über 60 % der Tagesgesamtenenergie) kann zu einer Hyperglykämie führen und somit die Heilung von Verletzungen und die Immunfunktion beeinträchtigen. (Demling, 2009)

Des Weiteren kann ein ungünstiges Verhältnis von ω -6-Fettsäuren zu ω -3-Fettsäuren während des Wiederherstellungsprozesses zu entzündungsfördernden Eigenschaften führen, sodass die tägliche Zufuhr von ω -3-Fettsäuren auf 2 g pro Tag und von ω -6-Fettsäuren auf 10 g pro Tag begrenzt werden sollte. ω -6-Fettsäuren befinden sich überwiegend in verarbeitetem Fleisch, frittierten und fettigen Lebensmitteln sowie Pflanzenölen, sodass diese nur begrenzt verzehrt werden sollten. (EFSA-Gremium für diätetische Produkte, Ernährung und Allergien, 2010)

5. Diskussion

Ziel dieser Arbeit ist es mittels einer systematischen Literaturrecherche den Zusammenhang zwischen Ernährung und verletzten Sportlern herzustellen sowie bereits bestehende und in der Praxis angewandte Ernährungsstrategien im Rahmen der Rehabilitation zu beleuchten. Aufgrund der geringen Anzahl an Studien mit explizitem Bezug auf die Ernährung verletzter Sportler erfolgte der Einbezug einer Meta-Analyse (Evidenzgrad Ia). Grund dafür ist der häufig auffallend geringe Evidenzgrad der Studien, die sich aus der Basissuche ergeben haben. Lediglich eine randomisierte kontrollierte Studie (Evidenzgrad Ib) hat sich themenspezifisch ergeben. Alle anderen Studien weisen einen Evidenzgrad von Ic (Clinical Trial → nicht randomisiert/nicht kontrolliert) bis hin zu Evidenzgrad IV (nicht analytische Studien) auf. Durch die Meta-Analyse konnten sieben weitere Literaturquellen (5 x Evidenzgrad Ib und 2 x Evidenzgrad Ic) in die Arbeit einfließen, wobei es auch die Möglichkeit gegeben hätte, die Suchkriterien der Basissuche auch auf die Symptomaten und Folgen von Verletzungen anzupassen. Beispiele wären dahingehend der Einbezug der Immobilisation, Muskelproteinsynthese, Energiereduktion, Wundheilungsprozess oder auch Supplementierung von Nahrungsergänzungsmitteln. Diese Anpassung erfolgte nicht, da der Fokus der Suche auf die Ernährung verletzter Sportler im Allgemeinen liegt und der Gedanke zur Betrachtung der Verletzungsfolgen erst durch die Recherche dieser Arbeit entstanden ist.

Ein schwieriger Faktor bezüglich der Beurteilung der Ergebnisse aus der Recherche, ist das bisher noch nicht konkretisierte Verständnis des Rehabilitationsbegriffs. Es lässt sich nicht genauestens

festlegen, ab wann die Rehabilitation eines Leistungssportlers beginnt und wann gewisse Ernährungsstrategien angewendet werden könnte. Eine Immobilisation gewisser Körperteil, beispielsweise bei einer distalen Radiusfraktur (Knochenbruch des Radiusköpfchens im Handgelenk), führt nicht direkt zu einem vollständigen Aktivitätsverlust, sodass die Ergebnisse aus Studien mit gesunden Menschen, die einer vollständigen Bettlägerigkeit ausgesetzt sind, nicht zwangsläufig repräsentativ für verletzte Leistungssportler sind.

Da sich die ergänzenden Studien hauptsächlich mit der Beeinflussung verschiedener Ernährungsformen bei gesunden Sportlern befassen, wodurch sich gegebenenfalls Ansatz- und Übertragungsmöglichkeiten ergeben haben, wird der Schwerpunkt der Arbeit jedoch nicht einhundertprozentig getroffen. Dieses ist der größte zu kritisierendem Faktor, da eine Übertragung nicht 1:1 möglich ist. Es müsste zunächst ausgeschlossen werden, dass die verschiedenen Verletzungen gegebenenfalls keine Auswirkungen auf andere Prozesse des menschlichen Körpers haben. Die wenigen Studien aus der Basissuche befassen sich zwar mit verletzten Sportlern und ihrem Weg „return to play“, allerdings betrachten diese eine sehr geringe Stichprobengröße (n). Zudem standen nicht alle Volltexte frei zu Verfügung, wobei dieser Aspekt nur begrenzt kritisch zu betrachten ist, da es sich bei diesen Arbeiten um zwei Reviews handelt und nicht um Studien, die sich explizit mit einer Problemstellung befassen haben. Zusammenfassend sollte in zukünftige Arbeiten der Aspekt der Folgen von Verletzungen von Beginn an mit einfließen. Das Problem dahingehend ist allerdings, dass die verschiedenen Verletzungen konkreter eingegrenzt werden müssen, da vermutlich nicht jede Verletzung gleich verläuft und zu denselben Folgen führt. Eine individuelle Betrachtung der Verletzungsabläufe, -stadien und Rehabilitationsdauer, beispielsweise bei einem Kreuzbandriss gegenüber einem Knochenbruch, sollte grundlegend erfolgen um die Ernährung dahingehend anpassen zu können.

Die Recherche ergab einige Erkenntnisse über Einsatzmöglichkeiten von Ernährung. Aufgrund der Tatsache, dass es jedoch in der grundlegenden Sporternährung noch immer weiter entwickelnde Erkenntnisse gibt, ist es schwierig eine explizite Empfehlung, außerhalb der Kontrolle der grundlegend ausreichenden Nährstoffzufuhr und dem Energiebedarf, für verletzte Sportler auszusprechen. Die Forschungsfrage dieser Arbeit „Gibt es Ernährungsstrategien im Rahmen der Rehabilitation von Leistungssportlern?“ ist grundlegend erstmal negativ zu beantworten, da die grundlegenden Begrifflichkeiten und Rahmenbedingungen weiterer Definitionen erfordern, um einschätzen zu können, welche Phasen des Verletzungsprozesses tatsächlich in den Rehabilitationszeitraum fallen. Allerdings macht sich ein größer werdendes Interesse bemerkbar, welches dazu führt, dass die grundlegende Sporternährung, die sich derzeit auf die Ernährung verletzter Sportler übertragen lässt, genauer betrachtet wird und die ausreichende Nährstoffversorgung sowie deren Kontrolle vermehrt in den Fokus rückt. Die wenigen Studien zeigen letztendlich inwieweit sich eine moderate Grundversorgung positiv und eine defizitäre Versorgung negativ auf einen Heilungsprozess auswirken können. In Zukunft wäre eine Betrachtung von Nahrungsmitteln, die sich möglicherweise in anderen Kontexten mit positiven

Eigenschaften (beispielsweise anti-inflammatorisch) bemerkbar machen, interessant. Mögliche Themen wären dabei die Wirkung von Kurkuma oder Ingwer auf den Entzündungsprozess verschiedener Verletzungen.

Des Weiteren sollte generell die Eingrenzung der verschiedenen Verletzungen genauer erfolgen, um den Rehabilitationszeitraum genauer abstecken und verletzten Sportlern spezifische explizite Ernährungsempfehlungen mitgeben zu können. Allerdings wäre dazu auch eine konkrete Eingrenzung des Rehabilitationsbegriffs und der Einbezug nicht nur kranker, sondern auch verletzter Personen/Sportler notwendig, sowie eine konkrete Definition des Leistungssports, um in Ernährungsmaßnahmen möglicherweise gestaffelt auf das Pensum und die Rahmenbedingungen der Leistungssportler anpassen zu können. Zudem sollten die bereits ermittelten Ergebnisse nicht außer Acht gelassen werden und weiter in die Forschung einfließen, um diese zu bestätigen bzw. zu falsifizieren, damit die resultierenden Ernährungsstrategien in der Praxis angewendet oder gemieden werden können. Beispielsweise wurde bereits die Wirkung von Gelatine und Vitamin C auf die Kollagensynthese untersucht, weiterführend könnte nun betrachtet werden, ob diese Wirkung einen positiven Effekt auf die Dauer der Rückführung des Athleten „return to play“ hat, oder ob es Unterschiede in der Wirkung der verbesserten Kollagensynthese durch Nahrungsergänzungen bei Frakturen oder Fissuren gibt.

6. Schlussfolgerung

Das Feld der Ernährungsstrategien im Rahmen der Rehabilitation stößt bereits immer wieder auf Interesse und liefert bereits gute Ansätze, die überwiegend auf die Kontrolle der normalen Grundversorgung abzielen und nicht zwangsläufig auf eine Erhöhung verschiedener Nährstoffe hinauslaufen. Dabei spielen die äußeren Gegebenheiten und die Verfügbarkeit notwendiger Mikro- und Makronährstoffe, insbesondere in Bezug auf die Proteinbiosynthese eine übergeordnete Rolle. Einen Leitfaden, der sich auf alle verschiedenen Verletzungen anwenden lässt, gibt es bisher nicht. Zwar gehen alle muskuloskelettalen Verletzungen mit einem Wundheilungsprozess einher, jedoch können Schwere und Verlauf der Verletzungen sowie das mögliche Aktivitätsniveau enormen Einfluss auf die Ernährungsempfehlungen haben.

Insbesondere die Protein- und Energiezufuhr nehmen einen besonderen Stellenwert ein. Allerdings führt die undurchsichtige und teils kontroverse Studienlage, vor allem im Bereich der Proteine, schon im Rahmen der Sporternährung dazu, dass bezüglich der „Verletzungs-Ernährung“ keine abschließende Empfehlung und kein konkreter Leitfaden ausgesprochen werden kann. Entsprechend herrscht dort weiterer Forschungsbedarf, da die derzeitige Studienlage zwar Erkenntnisse zu Anwendungsbereichen, beispielsweise zur Verbesserung der Muskelproteinsynthese liefert, die meisten Daten allerdings auf Studien mit gesunden Menschen oder Tieren beruhen. Um die Möglichkeiten besser nutzen und einschätzen zu können, wäre der Bezug zu Athleten, die sich gerade auf dem Weg „Return to Play“ befinden, ratsam. Dadurch bilden sich Chancen und Möglichkeiten, die sich mit einem multidisziplinären Ansatz beschreiben lassen und möglicherweise konservative, teurere Maßnahmen mit

kostengünstigeren Maßnahmen verknüpfen lassen. Zudem erhält der Athlet Maßnahmen an die Hand, mit denen er selbst etwas bewegen kann, was möglicherweise einen positiven Einfluss auf die mentale Gesundheit haben kann.

Literaturverzeichnis

- Abbie E. Smith-Ryan, K. R. (2020). Nutritional Considerations and Strategies to Facilitate Injury Recovery and Rehabilitation. *Journal of Athletic Training*, 918-930. doi:<https://doi.org/10.4085/1062-6050-550-19>
- Abel, P. D. (2016). Ernährung bei Sportverletzungen. *Sportärztezeitung*, 62-67.
- Adam P W Johnston, D. G. (2009). Effect of creatine supplementation during cast-induced immobilization on the preservation of muscle mass, strength, and endurance. *J Strength Cond Res*, 116-120. doi:10.1519/jsc.0b013e31818efbcc
- Anitra C Carr, S. M. (2017). Vitamin C and Immune Function. *Nutrients*, 1211. doi:10.3390/nu9111211.
- Areta JL, B. L. (2013). Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *J Physiol*, 2319-2331. doi:10.1113/jphysiol.2012.244897
- Baptista, M. L. (2010). Leucine attenuates skeletal muscle wasting via inhibition of ubiquitin ligases. *Muscle & Nerve*, 41(6). doi:10.1002/mus.21578
- Barnes GL, K. P. (1999). Growth factor regulation of fracture repair. *J Bone Miner Res*, 1805-1815. doi:10.1359/jbmr.1999.14.11.1805
- Beard J, T. B. (2000). Iron status and exercise. *Am J Clin Nutr* , 594-597.
- Berg A, K. B. (2006). [Dietary modification. *MMW Fortschr Med*, 36-37.
- Biolo G, A. F. (2008). Positive energy balance is associated with accelerated muscle atrophy and increased erythrocyte glutathione turnover during 5 wk of bed rest. *American Journal Clinical Nutrition*, 950-958. doi:10.1093/ajcn/88.4.950
- Branch, J. (2003). Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 198-226. doi:10.1123/ijsnem.13.2.198
- Braun H, C. A. (2019). Energy needs in sports. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau international*, 146-153. doi:10.4455/eu.2019.040
- Brian T Feeley, S. K. (2008). Epidemiology of National Football League training camp injuries from 1998 to 2007. *Am J Sports Med*, 1597-1603. doi:10.1177/0363546508316021
- Bundesministerium für Gesundheit. (7. 2 2008). *Bundesgesundheitsministerium*. Von Online-Ratgeber Krankenversicherung - Vorsorge und Rehabilitation: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/rehabilitation.html> abgerufen 4.11.2020
- Burke LM, v. L. (1985). Postexercise. *J Appl Physiol*, 122:1055-1067.
- Carlsohn A, B. H. (2019). Minerals and vitamins in sports nutrition. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau*, 66(12) 250-257. doi: 10.4455/eu.2019.050
- Carlsohn A, S.-R. F. (2013). Vitamin-D-Status von Athleten mit hoher UV-Exposition im Training. *Ernährungs Umschau*, 174-176.
- Carlsohn, C. ., (2011). How much is too much? A case report of nutritional supplement use of a high-performance athlete. *Br J Nutr*, 1724-1728.

- Cuthbertson D, S. K. (2005). Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. *The FASEB Journal*, 19(3). doi:10.1096/fj.04-2640fje
- Daniel König, A. C. (7 2020). Proteinzufuhr im Sport. *Ernährungs Umschau*, S. 132-139.
- Demling, R. H. (2009). Nutrition, Anabolism, and the Wound Healing Process: An Overview. *Eplasty*.
- Der Deutsche Olympische Sportbund. (04. 11 2020). *Der Deutsche Olympische Sportbund*. Von Die Dachorganisation des Deutschen Sports : <https://www.teamdeutschland.de/dosb> abgerufen
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung. (2017). *D-A-CH Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr 2.Aufl.* Neustadt a. d. Weinstr. : Neuer Umschau Buchverlag.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. (2020). *Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V. Der Wissenschaft verpflichtet- Ihr Partner für Essen und Trinken* . Von Protein: <https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/protein/> abgerufen 4.11.2020
- EFSA-Gremium für diätetische Produkte, Ernährung und Allergien. (2010). Wissenschaftliches Gutachten zur tolerierbaren oberen Aufnahmemenge von Eicosapentaensäure (EPA), Docosahexaensäure (DHA) und Docosapentaensäure (DPA). *Eur Food Safe Autor J.*, 10 (7). doi:10.2903 / j.efsa.2012.2815
- European Food Safety Authority (EFSA). (2015). Scientific and technical assistance on food. *EFSA Supporting Publications* , 12(9):871E.
- Frankenfield, D. (2006). Energy expenditure and protein requirements after traumatic injury. *Nutr. Clin Pract.*, 21(5). doi:10.1177/0115426506021005430
- Friedrich, W. (2015). *Optimale Sporternährung*. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co.KG.
- Fritz U. Niethard, J. P. (2009). *Orthopädie und Unfallchirurgie*. Stuttgart : Georg Thieme Verlag KG.
- Galland. (2010). Diät und Entzündung. *Nutr Clin Pract*, 634-640. doi:10.1177 / 0884533610385703
- Gordon I Smith, P. A. (2011). Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. *Clin Sci (Lond)*, 267-278. doi:10.1042/CS20100597
- Gregory Shaw, A. L.-B. (Januar 2017). Vitamin C–enriched gelatin supplementation before intermittent activity augments collagen synthesis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, S. 136-143.
- Großhauser. (2014). Vegan und trotzdem Leistungssport? Worauf es ankommt! *Großhauser M*, 167-169.
- Hawkins RD, H. M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *Br J Sports Med*, 43-47. doi:10.1136/bjism.35.1.43
- Henke, D. r., Gläser, H., & Heck. (2000). *Sportverletzungen in Deutschland. Basisdaten, Epidemiologie, Prävention, Risikosparten, Ausblick*. Köln: Sport u. Buch Strauß (Verlag).
- Hespel P, D. W. (2007). Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Subcell Biochem*, 183-204. doi:10.1007/978-1-4020-6486-9_10
- Institute of Medicine. (2005). *Nutrient Composition of Rations for Short-Term, High-Intensity Combat Operations*. Washington,DC: National Academies Press.

- J A Babraj, D. J. (2005). Collagen synthesis in human musculoskeletal tissues and skin. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 289(5). doi:10.1152/ajpendo.00243.2005
- Jager R, K. C. (2017). International Society of Sports nutrition position stand: protein an exercise. *J Int Soc Sports Nutr*, 14:20.
- Jager R, P. M. (2011). Analysis of the efficacy, safety, and regulatory status of novel forms of creatine. *Amino Acids*, 1369-1383. doi:10.1007/s00726-011-0874-6
- Johner SA, T. M. (2015). Current daily salt intake in Germany:.. *Eur J Nutr*, 1109-1115.
- Jung MK, C. J. (2011). Alcohol exposure and mechanisms of tissue injury and repair. *Alcohol Clin Exp Res*, 392-399. doi:10.1111/j.1530-0277.2010.01356.x
- Jürgens, J. (21. 11 2014). *Thieme-via medici*. Von Kleine Knochenkunde- Wie erkenne ich eine Fraktur: <https://www.thieme.de/viamedici/klinik-faecher-radiologie-1545/a/kleine-knochenkunde-24492.htm?p=all> abgerufen 4.11.2020
- Kalantar-Zadeh K, K. H. (2020). High-protein diet is bad for kidney health: unleashing the taboo. *Nephrol Dial Transplant*, 35(1):1-4.
- König D, B. . (2019). Carbohydrates in sports nutrition. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau*, 228-235.
- Konopka, D. m. (2009). *Sporternährung*. München: BLV Buchverlag.
- Kreider RB, K. D. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *J Int Soc Sports Nutr*, 18. doi:10.1186/s12970-017-0173-z
- Larson-Meyer DE, W. K. (2010). Vitamin D and athletes. *Curr Sports Med Rep*, 220-226.
- Lorenz HP, L. M. (2008). Wounds: biology, pathology, and management. In B. P. Norton JA, *Surgery: Basic Science and Clinical Evidence* (S. 191-208). New York: Spring Publishing Company.
- Parr EB, C. D. (2014). Alcohol ingestion impairs maximal post-exercise rates of myofibrillar protein synthesis following a single bout of concurrent training. *PLoS One*, 9 (2). doi:10.1371/journal.pone.0088384
- Q, J. (2014). Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy. *Free Radic Biol Med*, 76-90. doi:10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.035
- Samuel Mettler, N. M. (2010). Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 42 (2). doi:10.1249/MSS.0b013e3181b2ef8e
- Schek A, B. H. (2019). Fats in sports nutrition. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau*, 181-189. doi:10.4455/eu.2019.042
- Seidenspinner, D. (2005). *Training in der Physiotherapie*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Seither, B. (2008). Sportverletzungen in Deutschland - Eine repräsentative Studie zu Epidemiologie und Risikofaktoren. München.

- Stefan M Pasiakos, L. M. (2010). Acute energy deprivation affects skeletal muscle protein synthesis and associated intracellular signaling proteins in physically active adults. *J Nutr*, 745-751. doi:10.3945/jn.109.118372
- Stellingwerff T, M. R. (2011). Nutrition for power sports: Middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *Journal of Sports Science*, 79-89. doi:[doi:10.1080/02640414.2011.589469]
- T A Trappe, N. A. (2007). Influence of concurrent exercise or nutrition countermeasures on thigh and calf muscle size and function during 60 days of bed rest in women. *Acta Physiol (Oxf)*, 147-159. doi:10.1111/j.1748-1716.2007.01728.x
- Thomas DT, E. K. (2016). American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 543-568.
- Thomas DT, E. K. (2016). American College of Sports Medicine joint position statement. nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 543-568. doi:10.1249/MSS.0000000000000852
- Timothy F Tyler, S. J. (2004). The effect of creatine supplementation on strength recovery after anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a randomized, placebo-controlled, double-blind trial. *American Journal Sport Medicine*, 383-388. doi:10.1177/0363546503261731
- Tipton, K. (2010). Nutrition for Acute Exercise-Induced Injuries. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 43-53. doi:https://doi.org/10.1159/000322703
- Tipton, K. D. (2015). Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries. *Sports Medicine Journal*, 93-104. doi:10.1007 / s40279-015-0398-4
- Tyler Barker, T. B. (2011). Low Vitamin D Impairs Strength Recovery After Anterior Cruciate Ligament Surgery. *Journal of Evidence-Based Integrative Medicine*, 201-209. doi:https://doi.org/10.1177/2156587211413768
- Walhin JP, R. J. (2013). Exercise counteracts the effects of short-term overfeeding and reduced physical activity independent of energy imbalance in healthy young men. *J Physiol.*, 6231-6243. doi:10.1113/jphysiol.2013.262709
- Weißborn A, B. N. (2018). Höchstmengen für Vitamine und Mineralstoffe in Nahrungsergänzungsmitteln. *J Consum Prot Food Saf*, 25-39.
- Wolfe, R. R. (2006). The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr.*, 84(3). doi:10.1093/ajcn/84.3.475
- Wolman R, W. M. (2013). Vitamin D status in professional ballet dancers: winter vs. summer. *J Sci Med Sport*, 388-391.
- Wormer, B. (09 2016). *DPJugend*. Von Leistungssport und Breitensport - Widerspruch und Abhängigkeit : <http://dpjugend.de/wp-content/uploads/2016/09/Leistungssport-und-Breitensport.pdf> abgerufen 4.11.2020

Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommenen Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.“

Bardowick, den 23.11.2020

Michaela Grzywatz