

Universität Potsdam
Humanwissenschaftliche Fakultät
Gesundheitswissenschaften
Professur Sportmedizin und Sportorthopädie

Gesundheitsmonitoring im Langstreckenmotorsport

Eine Analyse von Athletenprofilen, häufigen Beschwerden und deren Ableitung für präventive Trainingsprogramme im Quer- und Längsschnitt.

Inauguraldissertation
Zur Erlangung des akademischen Grades
„doctor philosophiae“
(Dr. phil.)

Eingereicht bei der Humanwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

vorgelegt von
Josefine Stoll

2018

Erstgutachter: Prof. Dr. Frank Mayer

Zweitgutachter: Prof. Dr. Tim Meyer

Disputation: 03.12.2018

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus4-420880
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-420880>

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract	3
2. Einleitung	5
2.1. Theoretischer Hintergrund	10
2.2. Methode der systematischen Literaturrecherche	11
2.3. Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche	12
2.4. Forschungsparadigma und Fragestellungen	31
3. Untersuchungsgut und Methoden	35
3.1. Probanden	35
3.2. Saisonverlauf im Langstreckenmotorsport	39
3.3. Gesundheitsuntersuchungen (GU I + II)	40
3.4. Ärztlich- medizinische Rennbetreuung	43
3.5. körperliche Leistungsfähigkeit.....	43
3.6 Datenmanagement, Datenanalyse und Statistik.....	45
4. Ergebnisse	47
4.1. Befunde der Gesundheitsuntersuchungen (GU I + II) im Längsschnitt (2003-2017) 47	
4.2. Analyse der ärztlichen Rennbetreuung (2015, 2016)	53
4.3. Analyse der körperlichen Leistungsfähigkeit bei jährlicher Erfassung (2003-2017) ...	59
4.3.1. Ausdauerleistungsfähigkeit	59
4.3.2 Kraftleistungsfähigkeit	62
4.3.3. Sensomotorische Leistungsfähigkeit und Reaktionsfähigkeit	67
5. Diskussion	70
6. Zusammenfassung	85
7. Literaturverzeichnis	91
8. Anhang	103
Abkürzungen	111
Abbildungsverzeichnis	112
Tabellenverzeichnis	115
Anerkennung	116
Erklärung	117

1. Abstract

Professionelle GT Langstreckenmotorsportler (Rennfahrer) müssen den hohen motorischen und kognitiven Ansprüchen ohne Verlust der Performance während eines Rennens entgegenwirken können. Sie müssen stets, bei hoher Geschwindigkeit fokussiert und konzentriert auf ihr Auto, die Rennstrecke und ihre Gegner reagieren können. Darüber hinaus sind Rennfahrer zusätzlich durch die notwendige Kommunikation im Auto mit den Ingenieuren und Mechanikern in der Boxengasse gefordert. Daten über die tatsächliche Beanspruchung und häufig auftretende Beschwerden und/oder Verletzung von Profisportlern liegen kaum vor. Für eine möglichst gute Performance im Auto während eines Rennens ist es notwendig neben der körperlichen Beanspruchung auch die häufigen Krankheitsbilder zu kennen. Auf Basis dessen kann eine optimale Prävention oder notwendige Therapie zur möglichst schnellen Reintegration in den Sport abgeleitet und entwickelt werden. Die vorliegende Arbeit befasst sich durch ein regelmäßiges Gesundheitsmonitoring mit der Erfassung häufiger Beschwerden und oder Verletzungen im GT Langstreckenmotorsport zur Ableitung eines präventiven (trainingstherapeutischen) und therapeutischen Konzeptes. Darüber hinaus, soll über die Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit der Athleten, auf Basis der Beanspruchung im Rennfahrzeug ein mögliches Trainingskonzept in Abhängigkeit der Saison entwickelt werden.

Insgesamt wurden über 15 Jahre (2003-2017) 37 männliche Athleten aus dem GT Langstreckenmotorsport 353mal im Rahmen eines Gesundheitsmonitorings untersucht. Dabei wurden Athleten maximal 14 Jahre und mindestens 1 Jahr sportmedizinisch betreut. Diese 2x im Jahr stattfindende Untersuchung beinhaltete im Wesentlichen eine sportmedizinische Untersuchung zur Einschätzung der Tauglichkeit für den Sport und die Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Über das Gesundheitsmonitoring hinaus erfolgte die Betreuung zusätzlich an der Rennstrecke zur weiteren Erfassung der Beschwerden, Erkrankungen und Verletzungen der Athleten während ihrer sportartspezifischen Belastung. Zusammengefasst zeigen die Athleten geringe

Prävalenzen und Inzidenzen der Krankheitsbilder bzw. Beschwerden. Ein Unterschied der Prävalenzen zeigt sich zwischen den Gesundheitsuntersuchungen und der Betreuung an der Rennstrecke. Die häufigsten Beschwerdebilder zeigen sich aus Orthopädie und Innerer Medizin. So sind Infekte der oberen Atemwege sowie Allergien neben Beschwerden der unteren Extremität und der Wirbelsäule am häufigsten. Demzufolge werden vorrangig physio- und trainingstherapeutische Konsequenzen abgeleitet. Eine medikamentöse Therapie erfolgt im Wesentlichen während der Rennbetreuung. Zur Reduktion der orthopädischen und internistischen Beschwerden sollten präventive Maßnahmen mehr betont werden. Die körperliche Leistungsfähigkeit zeigt im Wesentlichen über die Untersuchungsjahre eine stabile Performance für die Ausdauer-, Kraft und sensomotorische Leistungsfähigkeit. Die Ausdauerleistungsfähigkeit kann in Abhängigkeit der Sportartspezifik mit einer guten bis sehr guten Ausprägung definiert werden. Die Kraftleistungsfähigkeit und die sensomotorische Leistungsfähigkeit lassen sportartspezifische Unterschiede zu und sollte körperrgewichtbezogen betrachtet werden.

Ein sportmedizinisches und trainingstherapeutisches Konzept müsste demnach eine regelmäßige ärztlich-medizinische Untersuchung mit dem Fokus der Orthopädie, Inneren Medizin und Hals- Nasen-Ohren-Kunde beinhalten. Darüber hinaus sollte eine regelmäßige Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit zur möglichst effektiven Ableitung von Trainingsinhalten oder Präventionsmaßnahmen berücksichtigt werden. Auf Grundlage der hohen Reisetätigkeit und der ganzjährigen Saison könnte ein 1-2x jährlich stattfindendes Trainingslager, im Sinne eines Grundlagen- und Aufbautrainings zur Optimierung der Leistungsfähigkeit beitragen, das Konzept komplementieren. Zudem scheint eine ärztliche Rennbetreuung notwendig.

2. Einleitung

Seit Beginn der Automobile im späten 19. Jahrhundert genieße Autorennen und damit der Rennsport eine zunehmende Beliebtheit (WEC-Magazin, Walz 2017). Von Anfang an wurden dabei die Rennen zur Überprüfung der Konstruktion unter Extrembelastung des Fahrzeuges genutzt. Der Ursprung des Motorsports liegt allerdings wohl im Rally - ähnlichen Rennen zwischen Großstädten innerhalb Europas. Zu den damals bekanntesten Rennereignissen galten „Paris-Wien“, „Paris-Berlin“ und andere Traditionsrennen zwischen Großstädten. In der Geschichte des Motorsports spielt und spielte die Gefahr für Fahrer und Zuschauer bis heute eine nicht unwesentliche Rolle. So galt zur damaligen Zeit das im Jahr 1903 ausgetragene Rennen von Paris nach Madrid wohl als das bis dato tragischste, bei dem 12 Menschen ihr Leben verloren. Trotz des großen Risikos verlor der Motorsport dennoch nicht an Attraktivität. Konsequenter Weise wurde beschlossen den Sport sicherer zu gestalten. So führte der Französische Automobilclub (ACO) Rundkurse für die Durchführung von Rennen ein. Somit entstand in der Stadt Le Mans der bis heute wohl prestigereichste Rundkurs der Welt und im Jahr 1923 fanden auf diesem Rundkurs erstmals die „24 Heures du Mans“ statt. Bis heute gilt dieses Rennen als der Saisonhöhepunkt im Langstreckenmotorsport und geht seit 2012 in die Wertung um den Weltmeistertitel ein.

Langstreckenmotorsport gehört seit 1941 zur „Königsklasse“ im Automobilsport und vereint Prototypen (z.B. Le Mans Prototypen LMP1 und LMP2) und Sportwagen (z.B. Grand Turismo [GT]) in einer Rennserie. Prototypen werden dabei ausschließlich für den Motorsport gebaut und halten sich lediglich an das vorgegebene Reglement der jeweiligen Rennserie. Sportwagen hingegen werden charakterisiert durch, mit straßenzugelassenen Sportwagen homologisierte Konstruktionen. Das bedeutet, dass sie auf einem Serienfahrzeug mit Straßenzulassung basieren. Unterschiedlichste Marken (z.B. Ferrari, Mercedes, Porsche) machen sich hauptsächlich durch den Einsatz im Motorsport die Entwicklung und Konstruktionsüberprüfung ihrer Serienfahrzeuge auch heute noch zunutze.

Die aktuell bekanntesten Rennserien aus dem Langstreckenmotorsport sind die „*Federation Internationale de L'Automobile World Endurance Championship*“ (FIA WEC), welche seit 2012 ausgetragen wird und die „*International Motor Sport Association*

WeatherTech SportsCar Championship“ (IWSC), die seit 2013 in Nordamerika (USA, Kanada) absolviert wird. Dabei werden die Rennen nach ihrer Dauer in ≤6h, 12h und 24h unterteilt. Je nach Dauer eines Rennens wird die Besetzung im Rennwagen definiert. So sind es bei Rennen bis zu 6h 1-2 Fahrer¹ und ab 12h 2- 3 Fahrer, die das Rennen absolvieren. Während eines Rennens ist immer ein Fahrer im Fahrzeug, je nach Taktik, Ablauf und Rennsituation wechseln die Fahrer während eines Boxenstopps, nach einem entsprechenden Rennabschnitt (Stint). Dabei muss nicht jeder Boxenstopp mit einem Fahrerwechsel einhergehen. Die Regularien sehen aber eine maximale Zeit eines Fahrers im Fahrzeug vor. So darf in der WEC bei 6h Rennen ein Fahrer höchstens 4,5h fahren und muss mindestens 40 Minuten gefahren sein. Bei 24h Rennen ist definiert, dass alle Piloten mindestens 6h gefahren sein müssen, dürfen innerhalb dieser 6h aber nur 4h durchgängig gefahren sein. Für Rennen unter hohen Außentemperaturen (ab 32°C) ist geregelt, dass ein Fahrer höchstens 80 Minuten im Fahrzeug sein darf. Die Ruhezeit für diesen Piloten muss mindestens 30 Minuten betragen, bevor er wieder fahren darf (Regularien WEC 2018).

Die physische Belastung eines professionellen Rennfahrers ist bislang nicht ausreichend untersucht. Dieses Forschungsdefizit ist vornehmlich auf die geringe Beachtung aus Sportmedizin und Sportwissenschaft zurückzuführen (Baur 2006, Raschner 2012, Potkanowicz 2013). Dabei sollte vor allem auf Grund des gewünschten Outcomes nicht nur das Auto, sondern die Fahrer-Auto-Einheit als Gegenstand der Leistungsfähigkeit betrachtet werden. Denn nur wenn der Fahrer sein Optimum an Leistungsfähigkeit abrufen kann, kann das Leistungsvermögen eines Rennfahrzeuges ebenso optimal genutzt werden. Dabei sollten vor allem im Langstreckenmotorsport verschiedenste Belastungsaspekte für den Piloten berücksichtigt werden. Der Zusammenhang der geforderten Belastungen in der Sportart Motorsport und deren Trainierbarkeit sind von hoher Relevanz (Potkanowicz 2013, Baur 2006, Backman 2005, Ebben 2012, Raschner 2012). Ein hoher Fitnesslevel eines Fahrers reduziert das Gesundheitsrisiko und liefert bessere Performanz im Auto. Neben der Dauer eines Rennens, spielen das Abrufen von Höchstleistungen während der Nacht und z.B. unter schlechten Wetterbedingungen ebenfalls eine übergeordnete Rolle im Sinne der Form der Beanspruchung durch den

¹ In der folgenden Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit ausschließlich die männliche Form verwendet. Sie bezieht sich auf Personen allen Geschlechts.

Sport bzw. auf Fahrer und Fahrzeug wirkende Umwelteinflüsse. Im Mittelpunkt steht dabei die wiederkehrende Belastbarkeit aus Sicht der Ausdauerleistungsfähigkeit, der Kraft, der posturalen Kontrolle und der einfachen sowie komplexen Reaktionsfähigkeit. Für die Ausdauer lässt sich aufgrund der Länge der Belastung im Auto, aber auch einer möglichst hohen Regenerationsfähigkeit vor allem die Notwendigkeit einer ausgeprägten Grundlagenausdauer ableiten. Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist damit einer der Schlüsselfaktoren für die Performance im Auto (physischer Stress) und der Regenerationsfähigkeit zwischen anspruchsvollen Rennphasen und Einsätzen während eines Rennens. Zudem wirkt sich eine hohe Grundlagenausdauer günstig auf die Infektanfälligkeit aus, welche vor allem durch häufiges Reisen in unterschiedliche Klima- und Zeitzonen erhöht ist (Scherr 2017, Berg 2007).

Bei der Entwicklung der Kraftleistungsfähigkeit müssen sowohl die hohen und intermittierend wirkenden G-Kräfte, Pedalkräfte bei Bremsvorgängen und Griffkräfte beim Lenken als auch die hohe isometrische Belastung auf den Rumpf und die Wirbelsäule in Betrachtung gezogen werden. Nicht zuletzt die andauernd wirkenden Mikrovibrationen im Fahrzeug stellen eine Herausforderung an die muskuläre Wirbelsäulenstabilisation dar (Seidel 2005, Battié 2002, Bovenzi 1999). Unter Berücksichtigung dieser Belastungsstruktur im Hochleistungsmotorsport sollten vorrangig die intramuskuläre Koordination und die willkürliche Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur zur Entwicklung der Muskelkraft Berücksichtigung finden. Dabei sind sowohl die maximale Rekrutierung (vorrangig bei allen Bremsvorgängen mit Kräften um 700-1000N), als auch Frequenzierung und Synchronisation der Muskelfasern (z.B. für möglichst späte, schnellkräftige Einleitung von Bremsvorgängen) von Bedeutung. Beim Krafttraining der intramuskulären Koordination geht es demnach im Wesentlichen um die Verbesserung der Kraftbildungsgeschwindigkeit (Hohmann 2003, Borysiuk 2018, Suchomel 2018, Brandon 2015) und weniger um die Muskelquerschnittszunahme.

Die posturale Kontrolle ist die Fähigkeit, die Körperhaltung in unterschiedlichen Positionen aufrecht bzw. in Position zu halten (Taube 2013, Mayer 2007) und damit zur Gelenkstabilität beizutragen. Dabei beeinflusst sie zum Beispiel die Rumpfstabilität während des Fahrens, welche die Stabilität der „Mitte“ und die Mobilität nach distal unterstützen soll (Wirth 2018). Darüber hinaus werden die Position und Bewegungen

des Rumpfes über dem Becken zur Kontrolle und der Übertragung der Kraft einzelner Segmente kontrolliert (Kibler 2006). Zudem steht die Wirbelsäulenstabilisation im direkten Zusammenhang mit der Verletzungsrate der unteren Extremität (Hewett 2001, 2011, 2017). So scheint eine hohe Rumpfstabilisation die Verletzungsrate zu reduzieren. Im Rahmen dieser Erkenntnisse konnten bereits verschiedene Arbeiten eine Reduktion der Erst- und Zweit- sowie Mehrfachverletzungen durch ein Training der Balancefähigkeit, Kraft, Flexibilität, Agilität, Plymetrie sowie der Rumpfstabilisation nachweisen (Hewett 2001, Myklebust 2003, Petersen 2005, Steffen 2008, Pasanen 2009, Kiani 2010, Söderman 2000, Padua 2018). Zusätzlich kann ein möglichst kurzer Weg (Postural Sway) der posturalen Kontrolle von Vorteil für die Reaktionsfähigkeit und der damit verbundenen Präzession beim Bremsvorgang in Verbindung mit der intramuskulären Koordination sein. Zudem wirkt sich eine sehr gute posturale Kontrolle positiv auf die Stabilisation der Wirbelsäule in der sitzenden Position beim Wirken der G-Kräfte in allen Achsen aus (Baur 2010, Klarica 2001, Backman 2006).

Ein Training zur Optimierung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Motorsport sollte somit ein sportartspezifisches bzw. sportartrelevantes Krafttraining, ein sensomotorisches Training, mit Betonung der posturalen Kontrolle als auch ein Koordinations- und Ausdauertraining beinhalten. Die Implementierung im Aufbautraining innerhalb der Preseason (vgl. Abb 19) und die kontinuierliche Durchführung während der gesamten Saison sind dabei entscheidend. In Bezug auf die Verbesserung der Ausdauer ist dabei nicht so sehr die Intensität (Laufleistung) von Bedeutung, als vielmehr der nahezu gleichbleibende Umfang zur Aufrechterhaltung der vorhandenen Ausdauerleistungsfähigkeit. Sensomotorische und koordinative Trainingsinhalte sollten vor allem zur Prävention typischer Überlastungsreaktionen oder Beschwerden eingesetzt werden. Dabei kann auf den Einsatz von multimodalen Inhalten zurückgegriffen werden. Hier sollte das Hauptaugenmerk auf die Wirbelsäule sowie die untere Extremität gelegt werden. Krafttrainingsinhalte sollten im Sinne der Verbesserung der intramuskulären Koordination der unteren Extremität, vor allem auf Grund der notwendigen posturalen Kontrolle, der möglichst schnellen Kontraktionsfähigkeit und der Körpergewichtskontrolle integraler Trainingsbestandteil sein. Durch Optimierung der intramuskulären Koordination kommt es zwar zu einer

Verbesserung der Muskelkraft und Maximalkontraktion, aber nicht zu einer Dicken- und damit verbunden Massezunahme der Muskulatur (Dickhuth 2007, Hohmann 2003, Suchomel 2018). Damit wird das Körpergewicht, welches eine zentrale Rolle im Motorsport spielt, durch ein Krafttraining nicht beeinflusst.

Um den Gesundheitszustand der Fahrer zu erfassen und gezielte (präventive und ggf. therapeutische) Trainingsempfehlungen geben zu können, ist ein regelmäßiges Monitoring athletenspezifischer Beschwerden sowie Häufigkeiten und Art von Verletzungen und Belastungen sinnvoll. Darüber hinaus sollte regelmäßig die körperliche Fitness von für die Sportart relevanten Fähigkeiten erfasst werden. Die Kombination aus einem längsschnittlichen Gesundheitsmonitoring, einer Erfassung aktueller Beschwerden und einer Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit entsprechend dem Profil der Sportart bilden somit die Grundlage für eine gut funktionierende und professionelle sportmedizinische Versorgung (Dijkstra 2014, Kuster 2007, Almquist 2008, Lawless 2014, Kibler 2012). Dabei sind sowohl das Gesundheitsscreening zur Einschätzung der Tauglichkeit für den Leistungssport, als auch die Betreuung der Athleten an der Rennstrecke selbst von entscheidender Bedeutung. Auf Basis der Kenntnis regelmäßig erfasster Gesundheitsdaten kann schnell auf Überlastungsreaktionen oder Verletzungen, sowohl während der unterschiedlichen Rennen als auch saisonübergreifend, reagiert werden.

Unter Berücksichtigung der interdisziplinären Anforderungen, einer ganzjährigen, weltweit laufenden Saison und der breiten Anforderungen der Sportart sollte ein multidisziplinäres (Sportmedizin) Team aufgebaut werden. Dieses wird sinnvoller Weise im Spitzensport von einem Sportmediziner geleitet. Zusätzlich sollten weitere Spezialisten anderer Fachdisziplinen (z.B. Kardiologie, innere Medizin) sowie Therapeuten (Sport- und Physiotherapie), (Sport-)Wissenschaftler (Biomechanik, Ernährung, Physiologie) und Trainer (z.B. Athletiktrainer) dem Team angehören. Für eine schnelle und möglichst barrierefreie Kommunikation empfiehlt sich eine klare medizinische Infrastruktur, ein digitales Gesundheitsmonitorings- bzw. -dokumentationssystem (z.B. webbasierte Datenerfassung und -kommunikation). Somit kann jedes Teammitglied weltweit unter Berücksichtigung des Datenschutzes auf aktuelle Gesundheitsdaten zurückgreifen und ist damit schnell über den

Gesundheitszustand eines Athleten informiert. Dabei sollten die Richtlinien der Schweigepflicht und des Datenschutzes eingehalten werden (Dijkstra 2014, Bjornboe 2011, Howard 2014). Grundsätzlich empfiehlt sich für den Ablauf einer Saison, in Anlehnung an die Trainingsphasen, auch im Langstreckenmotorsport die Unterteilung in drei Phasen (Kibler 2012). Basis der Wettkampfsaison ist die Saisonvorbereitung, innerhalb derer die Gesundheitsuntersuchungen aller Athleten stattfinden sollten und damit die Tauglichkeitsüberprüfung bzw. bei Notwendigkeit weitere Diagnostik oder Therapie vor dem ersten Wettkampf abgeschlossen ist. Während der Saison muss dann die Gesundheit und Fitness der Athleten aufrecht erhalten werden und die Versorgung an der Rennstrecke gewährleistet sein. Innerhalb der Nachbereitungsphase, am Ende der Saison empfiehlt sich eine (regelmäßige und wissenschaftlich basierte) Evaluation der Verletzungs- und Krankheitsrate um gegebenenfalls Änderungen innerhalb der nächsten Vorbereitungsphase vornehmen zu können.

2.1. Theoretischer Hintergrund

In verschiedensten Untersuchungen wird häufig ein physischer Stress bzw. eine hohe physische Belastung konstatiert. Die physiologische Beanspruchung eines Rennfahrers im Auto ist unumstritten und wird mit der von Athleten aus anderen Sportarten verglichen (Baur 2006, Raschner 2013, Klarica 2001, Minoyama 2004, Yamakoshi 2010, Backman 2005, Ebben 2012). Vorangegangene Arbeiten konnten zeigen, dass die Beanspruchung im Auto vor allem während eines Rennens aber auch in unterschiedlichen Fahrsituationen (z.B. Entwicklungstests, Reifentests) hoch ist (Potkanowicz 2013, Owen 2015, Raschner 2013, Backman 2005, Jacobs 2002). Sowohl die kardiovaskuläre als auch die neuromuskuläre Beanspruchung des Stütz- und Bewegungsapparates ist dabei relevant (Baur 2010, Raschner 2013, Potkanowicz 2013, Yamakoshi 2010). Allerdings ist die derzeit vorliegende Datenbasis mit Hinblick auf die physische Beanspruchung und die daraus resultierende Belastungsnormative eines Rennfahrers gering. Somit erfolgt als Basis dieser Analyse zur Einschätzung der physischen Beanspruchung im Motorsport und deren notwendigen Kompensationen zunächst eine systematische Literaturrecherche. Hauptfokus der Recherche war die Erfassung der derzeit verfügbaren Publikation zur physischen Beanspruchung, häufigen

Verletzungen und mögliche präventive und therapeutische Ansätze im Langstreckenmotorsport.

2.2. Methode der systematischen Literaturrecherche

Für die systematische Literaturanalyse wurde Pubmed genutzt. Die Suche erfolgte nach standardisierten Vorgaben und definierter Suchwörter und deren Kombinationen. Als Hilfestellung bei der Vorgehensweise wurde nach „PICO“ (Population/Patient/Problem, Intervention, Comparison, Outcome) vorgegangen. Als Population wurden alle Motorsportler, egal welcher Klasse (z.B. open-wheel oder Rally) oder Art (Auto, Motorrad) definiert. Als Exposition wurden jegliche Formen der physischen Belastung und Beanspruchung im Motorsport wie zum Beispiel Kraftleistungsfähigkeit, Ausdauerleistungsfähigkeit, körperliche Aktivität, Reaktion oder Sensomotorik untersucht mit dem Fokus der Auswirkungen der Belastung durch den Sport.

Eine Vergleichsgruppe wurde bei dieser Analyse nicht definiert. Als Outcome sollten vor allem die notwendigen Kompensationsmöglichkeiten der Beanspruchungen zur Definition der Leistungsfähigkeit im Motorsport dienen. Daraus abgeleitet standen die definierten Leistungsfähigkeiten sowie Fitness, Belastung, Regeneration im Mittelpunkt des Interesses. Darüber hinaus wurden Verletzungen oder Überlastungen durch den Sport erfasst. Daraus wurden folgende Suchwort(e)-(Kombinationen) abgeleitet:

Race car driver; race car AND performance AND injuries; race car driver AND performance AND injuries; motorcycle athlete AND performance AND injuries; motorcyclists AND performance AND injuries; professional car driver AND performance; auto racing AND performance; race car AND strength; race car AND balance; race car driver AND training; race car driver AND reaction time; race car driver AND endurance; race car driver AND stress; race car driver AND fitness.

In der Literaturdatenbank wurde mit einer zeitlichen Eingrenzung der letzten 15 Jahre nach englischen sowie deutschen Publikationen zum Thema gesucht. Dabei wurden ausschließlich „human studies“ eingeschlossen. Ausgeschlossen wurden alle Publikationen die sich mit Verletzungen durch Unfälle während eines Rennens oder mit Kenngrößen im/am Fahrzeug befassten (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien der systematischen Literaturrecherche.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> - Beiderlei Geschlecht - jegliche Art und Klasse im Motorsport - Beanspruchung im Motorsport (Auto, Motorrad) - Leistungsfähigkeit (Kraft, Ausdauer, Reaktion, Sensomotorik) im Motorsport - Verletzungen/ Beschwerden im Motorsport - Englische/ deutsche Sprache 	<ul style="list-style-type: none"> - Untersuchung älter als 15 Jahre - Unfälle auf der Rennstrecke - Keine Motorsportler - Kenngrößen des Fahrzeugs

2.3. Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche

Die Literatursuche in Pubmed ergab insgesamt 85 Treffer, wobei es sich bei 48 Treffern um Duplikate handelte. Von den 37 verbleibenden Treffern erfüllten 25 die definierten Einschlusskriterien. Nach sorgfältigem Titel- sowie Abstractscreening wurden 24 Artikel eingeschlossen. Beim anschließenden Volltextscreening standen 9 Artikel nicht als Volltext zur Verfügung. Zusätzlich wurden vier Veröffentlichungen älter als 15 Jahre über Sekundärliteratur, welche als bedeutsam deklariert wurde, eingeschlossen. Zur letztendlichen Analyse standen somit 20 Artikel zur Verfügung (vgl. Abb. 1). Bei den vorliegenden Artikeln handelte es sich sowohl um Originalarbeiten als auch Übersichtsarbeiten und Short Reports.

Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche

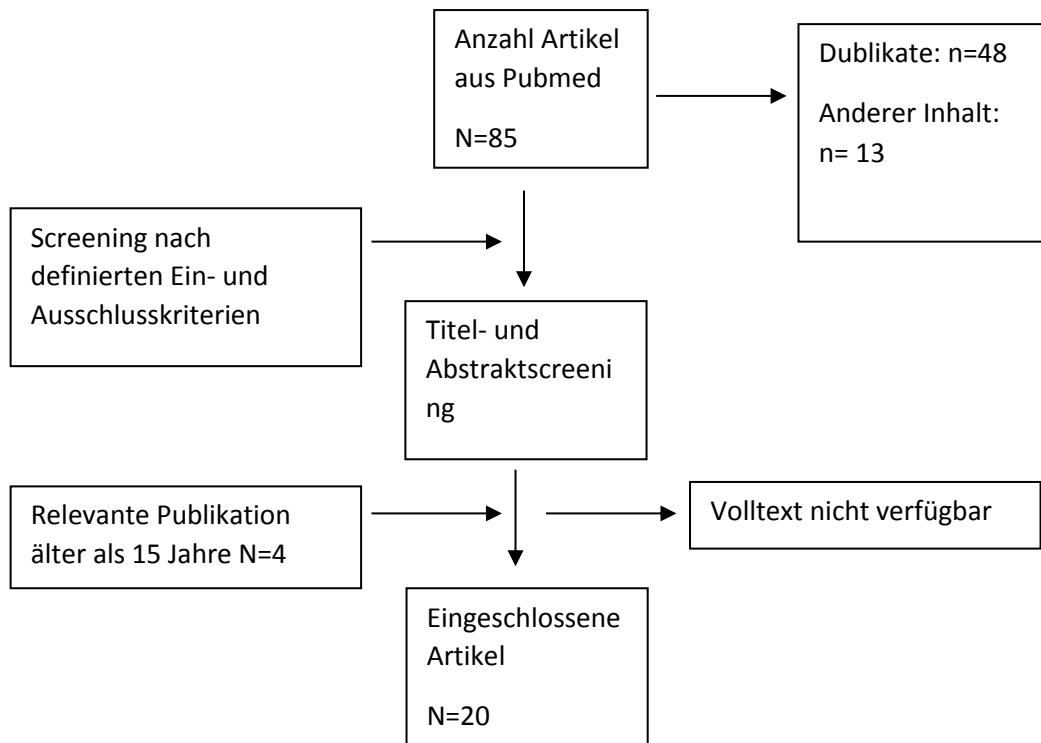


Abbildung 1: Study Flow Chart der systematischen Literaturanalyse zur Definition der Belastung im Langstreckenmotorsport.

Bei allen eingeschlossenen Studien wurden ausschließlich männliche Probanden aus unterschiedlichen Rennserien und Motorsportarten untersucht. Dabei handelte es sich vornehmlich um Auto- bzw. Motorradsport. Beim Autosport wurden vorrangig Klassen im Bereich „open-wheel“, Stock-Car und Sportwagen untersucht.

„Open-wheel“ beinhaltet Fahrzeuge, die ihre Reifen außerhalb der Karosserie haben und lediglich einen, in der Mitte angeordneten Sitz aufzeigen. Die bekanntesten Rennserien kommen aus dem Formelsport. Stock-Car und andere Sportwagen (z.B. „Grand Turismo“ [GT]) sind Serienfahrzeuge, die überwiegend zwei Sitze aufweisen bzw. dafür ausgelegt sind und in Anlehnung an Straßenfahrzeuge gebaut werden.

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst und nach Sportart, untersuchtem Aspekt sowie deren Outcome sortiert und dargestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Literaturrecherche mit Schwerpunkt auf der physischen Belastung/Beanspruchung und häufige Verletzungen/Beschwerden durch Motorsport (Hf max = maximale Herzfrequenz).

Publikation	Sportart/Probanden [N]	Schwerpunkt	Outcome
D'Artibale (2008)	Motorrad N=34	Physische Beanspruchung	<ul style="list-style-type: none"> - Herzfrequenz (Hf) $\geq 90\%$ der maximalen Hf; - Anstieg Laktat
Raschner (2013)	Open-wheel N=9/9 <small>Profi/Nachwuchs</small>	physische Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> - Profifahrer zeigten höhere Bein kraft/Griffkraft und bessere Schnelligkeit als Nachwuchsfahrer
Beaune (2010)	open-wheel N=5	Physische Beanspruchung	<ul style="list-style-type: none"> - Motorsportler haben vergleichbare MET (Metabolisches Äquivalent) mit anderen Sportarten
Carlson (2014)	Stock Car N=8	Physische Belastung	<ul style="list-style-type: none"> - Anstieg der Körpertemperatur - 80% Hfmax - 0,71% Dehydratation
Konttinen (2008)	Motorcross N _{Profis} =7 N _{Amateure} =5	Physische Beanspruchung	<ul style="list-style-type: none"> - $\geq 90\%$ Hfmax - VO₂ ist geringer als bei einem üblichen Fahrradtest - muskuläre Aktivität schwankte zwischen 24-45% vom Maximum

Yamakoshi (2010)	Kart N=11	Physische Beanspruchung	<ul style="list-style-type: none"> - Anstieg aller Parameter (G-Kräfte, Hf, Blutdruck, Körpertemperatur, Rundenzeit) - hohe physische Beanspruchung
Jacobs (2002)	open-wheel N=7	Physische Beanspruchung	<ul style="list-style-type: none"> - 79 – 45 % der VO_{2max} - 76 – 81-% der Hfmax
Ebben (2012)	Stock Car N=40	Physische Belastung, Verletzungen, Konditionierung	<ul style="list-style-type: none"> - Oberkörperkraft wichtigster Aspekt - unterer Rücken, Rumpf und Kopf die häufigste Lokalisation für Verletzungen - Laufen als effizientestes Ausdauertraining
Potkanowicz (2013)	Auto allgemein	Definition eines Athletenprofils im Motorsport: Physische Belastung Entwicklung von sportartspezifischen Trainingsinhalten	<p>Belastungen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> - kardiovaskulär (bis zu 90% Hfmax) - vornehmlich hohe isometrische Belastung (Nacken-, Abdominal- und Beinmuskulatur) - Laktatanstieg durch muskuläre Belastung - hohe Brems- und Lenkkräfte mit hohen Wiederholungszahlen - hohe G-Kräfte - hohe Anforderung an Thermoregulation
Klarica (2001)	Auto allgemein	Performance im Auto	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Anspruch an motorischer und kognitiven Belastung - hoher Anspruch an Herz-Kreislaufsystem - nicht selten im Bereich der Dehydratation

Walker (2001)	Rally	Training bei Wärme/ Fahrsimulation	<ul style="list-style-type: none"> - alle Variablen verbesserten sich signifikant über die Dauer/Anzahl der Simulationen im Auto - Performance kann über Wärme- und Fahrsimulation trainiert werden.
Backman (2005)	open-wheel/Rallyfahrer N _{open-wheel} =9 N _{Rally} =9 N _{Kontrolle} =10	Neuromuskuläre Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> - „Open-wheel-“ und Rallyfahrern unterschieden sich voneinander - beide zeigen bessere Werte als Kontrollgruppe
Baur (2006)	Langstrecken- motorsport N _{Fahrer} =8 N _{Kontrolle} =10	Neuromuskuläre Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> - kürzere Reaktionszeiten - kein Unterschied in Kraft und Balance
Yanagida (2016)	Sportwagen (GT) N=15	Einfluss von Außentemperatur (im Cockpit) und Geschwindigkeit auf Herzfrequenz	<ul style="list-style-type: none"> - 85% Hfmax - kein Zusammenhang zwischen Temperatur und Herzfrequenzanstieg - Korrelation zwischen Herzfrequenzanstieg und der Durchschnittsgeschwindigkeit während des Rennens
Del Rosso (2016)	Rally N=9	Einfluss von Fitness und Körperzusammensetzung auf die Stressreaktion im Auto	<ul style="list-style-type: none"> - signifikanter Anstieg fast aller Parameter (kardiovaskulär, hormonell, metabolisch) - Ralleysport ist psycho-physisch anspruchsvoll - entsprechendes Training notwendig

Durand (2015)	Kart N=8	Physische Anpassung an 24h Team Kart Rennen	<ul style="list-style-type: none"> - 82% Hfmax - 300kcal/gefahrene 45 min bedeuten 70 Schläge/min Hf-erhöhung - 5,6 MET
Wertman (2016)	NASCAR N=19	Verletzungen der oberen Extremität	<ul style="list-style-type: none"> - Neuropathien am Hand- und Ellenbogengelenk
Harlen (1996)	Sportwagen, Stock Car	Verletzungen im Motorsport (Rennbetreuung)	<ul style="list-style-type: none"> - überwiegend Verbrennungen, Blasen, dekompensierter Hitzestress, Rhinitis - 2,77 Verletzung/Rennen - Training und „physical education“ reduzieren Verletzungen/Erkrankungen
Mansfield (2001)	Rally N _{Profi} =13 N _{Amateure} =105	Muskuloskeletale Beschwerden	<ul style="list-style-type: none"> - Beschwerden vornehmlich bei Fahrern die mehr als 10 Tage im Jahre Belastung ausgesetzt waren (N=90) - LWS, HWS, Schulter, BWS häufigste Lokalisationen
Minoyama (2004)	N _{„Open-wheel“ Auto} =1030 N _{Sportwagen} =1577	Verletzungen über 4 Jahre im Motorsport	<ul style="list-style-type: none"> - Prellungen der unteren Extremität (open-wheel) - Verstauchungen des Nackens (Sportwagen) - Anzahl an Concussion vergleichbar mit denen aus anderen Sportarten

Physische Beanspruchung im Motorsport

Bezüglich des Aspekts der physischen Beanspruchung konnten vorangegangene Untersuchungen eine hohe kardiovaskuläre Beanspruchung aufgrund von physischem und psychoemotionalem Stress bei Rennfahrern während sportartspezifischer Belastungen im Rennfahrzeug aufzeigen (Raschner2013, Minomaya 2004, D'Artibale 2008, Jacobs 2000, Del Rosso2016). Es fand sich z.B. bei professionellen Motorradfahrern ein Anstieg der Herzfrequenz bis zu 90% der maximalen Herzfrequenz während eines Rennens (D'Artibale 2008, Potkanowicz 2013, Schwabberger 1987, Yanagida 2016). Ähnliche Ergebnisse konnten bei Stock- Car Fahrern auf der Rennstrecke ermittelt werden (vgl. Carlson 2014). Hier zeigten sich im Mittel 80% der altersabhängig vorhergesagten maximalen Herzfrequenz. Auch Del Rosso und Kollegen erfassten während eines Rally-Rennens im Mittel aller Fahrer 88% der maximalen Herzfrequenz. Vor allem die ständigen Situationswechsel (z.B. Rennstreckenbeschaffenheit, Verkehr) im Rennen als auch die hohen Temperaturen werden dabei als Ursachen genannt. Unterschiede in der Art des Motorsports konnten sich nicht finden. Auch die Ergebnisse im Motoradsport zeigen ähnliche Belastungen (vgl. Konttinen 2008). Dabei werden vor allem der hohe psychoemotionale Stress und die anhaltende isometrische Muskelarbeit als Ursachen benannt.

Potkanowicz et al. konnten in Ihrer Übersichtsarbeit eine zunehmende schwieriger aufrecht zu erhaltende Thermoregulation als zusätzliche Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems konstatieren. Dabei ist ein Körpertemperaturanstieg von nur 1 °C mit einem Herzfrequenzanstieg von 25 Schlägen pro Minute einhergehend. Darüber hinaus wird in der Mehrzahl der Arbeiten über die Temperaturbelastung und die damit verbundene Gefahr der Dehydratation und der damit einhergehenden Reduktion der Konzentrations- und Regenerationsfähigkeit als Einflussfaktor diskutiert. Der Einfluss der Temperaturbelastung auf die Herzfrequenz und dementsprechend auf die Leistungsfähigkeit durch Dehydratation wird daher als bedeutsam eingestuft. Weiter wird der Einfluss der Dehydratation im Auto die Reduktion der maximalen Sauerstoffaufnahme mit folgender Abnahme der aeroben Kapazität betont. Ein durch Dehydration verursachter z.B. 4%iger Körpergewichtsverlust reduziert die physische Leistungsfähigkeit um bis zu 20-30% (Potkanowicz 2013, Armstrong 2000, Dickhuth et al

2007). In eigenen unveröffentlichten Untersuchungen bei der die Herzfrequenz, das Körpergewicht und die Körpertemperatur während eines 24h Rennens aufgezeichnet wurden, konnte im Durchschnitt eine Herzfrequenz an der individuelle anaerobe Schwelle (IAS) über die 24h der Aufzeichnung gezeigt werden. In einzelnen Rennabschnitten fanden sich Werte über der IAS entsprechend einer hochintensiven Belastung. Für das Körpergewicht zeigten sich Reduktionen von bis zu 5kg (entsprechend 7% der Körpermasse) im Sinne des Flüssigkeitsverlustes und der damit einhergehenden Leistungseinbuße (Armstrong 2000, Walker 2001). Die Körpertemperatur blieb über die 24h nahezu konstant und im Normbereich.

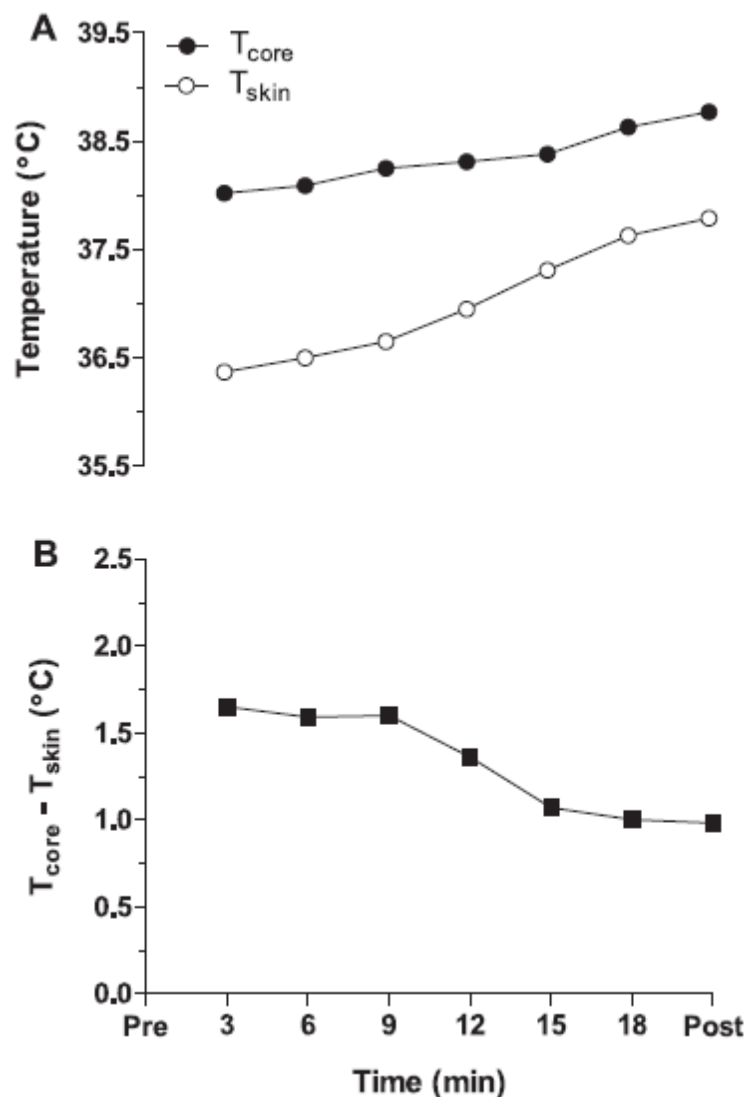


Abbildung 2: Carlson et al 2014. Thermoregulation während eines Stock-Car-Rennens. A) T_{core} und T_{skin} und B) $T_{core} - T_{skin}$ gradient. * signifikanter Unterschied zwischen pre- und post- Rennen ($p < 0,05$), $MW \pm SD$.

In der Arbeit von Carlson et al. konnte ein statistisch signifikanter Anstieg der Körper- und Hauttemperatur gezeigt werden, welcher vor allem als zusätzliche kardiovaskuläre Belastung diskutiert wird und mit einem weiteren Anstieg der Herzfrequenz einhergeht. Durch den Anstieg der Umgebungstemperatur und den Anstieg der Körpertemperatur durch körperliche Belastung kann es bei Übersteigerung der metabolischen Wärmeabgabe zu nicht kompensierbarem Hitzestress kommen (vgl. Nieß 2007). Zudem fördert eine erhöhte Umgebungstemperatur die Ermüdung bei körperlicher Beanspruchung. Durch Dehydration auf Grund von Schweißverlust verringert sich das Plasmavolumen und begünstigt zudem den Anstieg der kardiovaskulären Belastung (Dickhuth et al 2007, Cheung 2004, Coris 2004). In Relation zu einem Ausbelastungstest auf dem Fahrrad, konnten mehrere Arbeiten eine hohe kardiovaskuläre Beanspruchung während eines Motorradrennens nachweisen (vgl. Tab. 3 und Abb. 2). Dabei bewegte sich die Herzfrequenz um 98% der maximal gemessenen Herzfrequenz. Die Sauerstoffaufnahme zeigte vergleichbar hohe Relationen. Profifahrer unterschieden sich nicht von Hobbyfahrern.

Bezüglich der Belastungszeit im Motorsport konnte aufgezeigt werden, dass die Sauerstoffaufnahme, die Ventilation und die Laktatkonzentration sinken, dabei die Herzfrequenz aber nahezu konstant bleibt, allerdings eine hohe individuelle Variabilität in der Gruppe der A-Level Fahrer offensichtlich ist. Die Respirationsfrequenz steigt über den gesamten Belastungszeitraum im Fahrzeug kontinuierlich an. Jacobs et al. konnten eine ähnlich hohe Belastung bei „open-wheel“-Fahrern nachweisen. Dabei wurde die Belastung im Auto mit einem Belastungstest auf dem Laufband verglichen. Hier zeigten sich im Mittel 79% der maximalen Sauerstoffaufnahme und 81% der maximalen Herzfrequenz. Zusammengefasst zeigt die Mehrzahl der Studien, dass die kardiovaskuläre und die metabolische Belastung mit der anderer Sportarten, motorisiert oder nicht, vergleichbar ist. Vergleichbare Ergebnisse zu anderen hochintensiven Sportarten wie z.B. Basketball, Fußball oder Baseball sind beschrieben (Häkkinen 1991, Potkanowicz 2013, Konttinen 2008). Die maximale Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz während eines Rennens oder Testeinsätzen sind analog zu anderen Sportarten während eines Wettkampfes. Demzufolge sollten professionelle

Motorsportler ebenfalls als Athleten mit einer hohen physiologischen Belastung eingestuft werden.

Tabelle 3. Kontinen et al 2008. Sauerstoffaufnahme (VO₂) Ventilation (VE), Respirationsfrequenz (RF), Laktat (LA) und Herzfrequenz (HR) während drei Rennabschnitte (insgesamt 30 Minuten jeweils 10 Minuten als Abschnitt) der Gruppe A-Level Fahrer (A) und Hobby-Fahrer (H) im Verhältnis zum Ausbelastungstest auf einem Fahrrad.

	VO ₂ , %	VE, %	RF, %	LA, %	HR, %
First third A	86 ± 10	66 ± 5	98 ± 13	29 ± 8	96 ± 7
Second third A	75 ± 7	64 ± 5	103 ± 14	32 ± 11	97 ± 7
Third third A	69 ± 6	62 ± 7	106 ± 16	31 ± 6	96 ± 7
First third H	94 ± 25	74 ± 12	109 ± 19	41 ± 7	98 ± 2
Second third H	89 ± 21	72 ± 11	121 ± 21	36 ± 7	98 ± 3
Third third H	82 ± 20	67 ± 11	121 ± 15	32 ± 6	97 ± 5

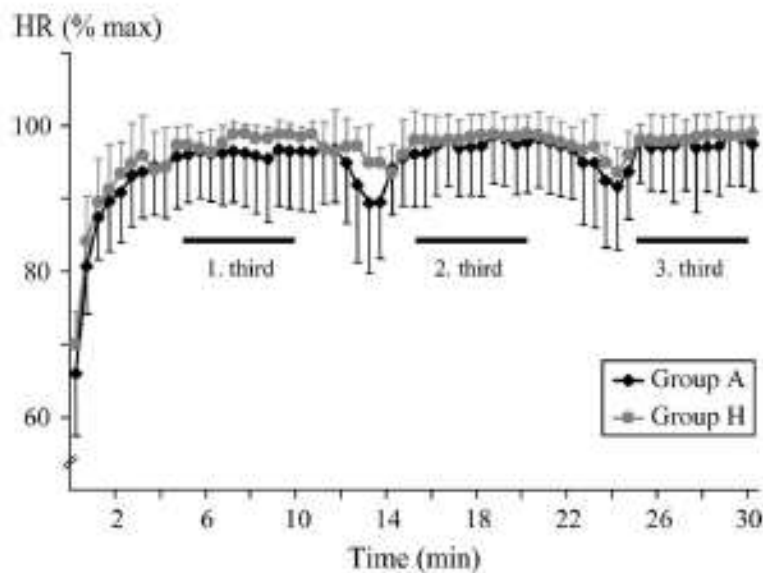


Abbildung 3: Kontinen et al 2008. Durchschnittsherzfrequenz einzelner Rennabschnitte relativ zum Maximum der Gruppen A-Level Fahrer (A) und Hobby- Fahrer (H) im Motorradsport.

Die Belastungsdauer im Auto liegt im Motorsport häufig zwischen 20-60 Minuten, kann aber vor allem bei Langstreckenrennen auf bis zu 180 Minuten ansteigen und sich in regelmäßigen Abständen innerhalb des Rennens wiederholen. Die lange Belastungsdauer, eine anhaltend und immer wiederkehrende hohe Belastungsintensität sind somit Kennzeichen eines Rennens.

Dabei lässt sich in Abhängigkeit der Belastungsdauer Folgendes zusammenfassen:

- Kurze Dauer (20-60 Minute) – bis zu 100% der maximalen Herzfrequenz (Hfmax)

- Mittler Dauer – bis zu 90% Hfmax
- Lange Dauer - 82% Hfmax

Eine gut ausgeprägte Kompensationsfähigkeit für diese Belastungen eines jeden Rennfahrers setzt eine adäquate Ausdauerleistungsfähigkeit als Grundbaustein voraus. Diese sollte demnach ein Hauptaspekt des (grundsätzlichen multimodalen) Trainings eines Motorsportlers sein (Ebben 20012, Baur 2006). Weitere Belastungsnormative eines Rennfahrers ergeben sich über die hohe Geschwindigkeit des Autos sowie dem multifaktoriellen Anspruch und der anhaltenden und kontinuierlichen Anforderung an die Leistungsfähigkeit (z.B. Belastungsdauer, Belastungsumfang, Tages-/Nachtzeit, Rennstreckenbeschaffenheit, Verkehr an der Rennstrecke).

Neben der kardiovaskulären und der metabolischen Belastung im Auto spielt die muskuloskeletale Beanspruchung eine zentrale Rolle im Langstreckenmotorsport. Überlastungsreaktionen des Stütz- und Bewegungsapparates werden dabei zunehmend auf Grund von zu geringer Stabilität und einer hohen Rate an Mikrovibrationen und plötzlichen mechanischen Belastungen, so genannten „Shocks“ (Baur 2006, Mansfield 2001) diskutiert. Zusätzlich münden diese muskuloskeletale Beschwerden nicht selten in repetitiven oder chronischen Belastungen über die gesamte Rennsaison und bedürfen einer langen Rehabilitationsphase mit zum Teil eingeschränkter Belastbarkeit im Sport (Baur 2006, 2010; Mansfield 2001). Der Mechanismus der Mikrovibrationen ist im Motorsport vergleichbar mit dem anderer Arbeitsbelastungen (z.B. Zugführer, Kraftfahrer, Traktorfahrer). Als Konsequenz treten häufig untere Rückenschmerzen auf (Mansfield 2001, Baur 2006, Bovenzi 1998, Burton 1987, Videman 2000). Zudem müssen hohe G-Kräfte während der Bremsvorgänge bzw. als Fliehkräfte in Kurven kompensiert werden. Dabei wirken in Abhängigkeit der Beschaffenheit des Autos und der Rennstrecke bis zu rund 5 G auf den Körper (Potkanowicz 2013, Minoyama 2004, Backmann 2005, Baur 2006). Diese hohe und häufig als Perturbationen auftretende Anforderung an den Stütz- und Bewegungsapparat verlangt vor allem eine ausgeprägte (neuro)muskuläre Stabilisationsfähigkeit der Rumpfmuskulatur. In wieweit die intern an der Wirbelsäule wirkenden Gravitationskräfte noch deutlich höher einzustufen sind bzw. auf Grund veränderten Fahrverhaltens wirken ist nicht abschließend geklärt. Klärung

könnten hier lediglich Modellierungen der Wirbelsäulenkräfte unter Motorsport spezifischen Belastungen bringen, was jedoch derzeit (noch) nicht möglich ist.

In verschiedenen Arbeiten zu Belastungen im Motorsport spielt demzufolge die Erfassung der Kraftleistungsfähigkeit eine ebenso große Rolle wie die der Ausdauerleistungsfähigkeit und der Belastung des Herz- Kreislaufsystems (Baur 2006, Baur 2010, Raschner 2013, Konttinen 2008, Backmann 2005). Während eines Bremsvorganges in einem GT-Fahrzeug muss ein Fahrer zwischen 600 bis 700N in maximal kurzer Zeit auf das Bremspedal geben (Baur 2006). Dieser Vorgang wiederholt sich je nach Rennstrecke rund 12-15 Mal pro Runde. Hierbei muss durchschnittlich das Einfache des Körpergewichts eines Rennfahrers pro Bremsvorgang produziert werden. Entscheidend ist somit die plötzliche Präsenz der maximalen Kraftleistungsfähigkeit, der intramuskulären Koordination der jeweils belasteten Muskelgruppe sowie wiederkehrende Bewegungsanforderung. Daher ist neben der isometrischen Arbeitsweise besonders des Rumpfes auch die intramuskuläre Koordination vornehmlich der unteren Extremität bedeutsam. Die Notwendigkeit einer ausgeprägten isometrischen Kraftleistungsfähigkeit der Nacken-, Rumpf- und Beinmuskulatur zur Stabilisation im Auto wurde erstmals 1972 (Falkner) veröffentlicht. Bei der Betrachtung spezifischer Muskelgruppen bezogen auf die isometrische Kraftleistungsfähigkeit konnte eine vergleichbare Kraft mit Athleten aus anderen Sportarten aufgezeigt werden (Ebben 2012). So konnten in einer Arbeit von Backman et al. zum Teil höhere Werte für die Rumpfflexion und -extension im Vergleich mit anderen Sportarten ermittelt werden. Die untersuchten „Rally“- und „Open-Wheel“-Fahrer zeigten gleiche Werte wie ebenfalls untersuchte Ringer und 30- 40% höhere Werte im Vergleich zu Basketballern und Tennisspielern (Backman 2005, Häkkinen 1991, Sward 1990). Der hohe Anspruch der isometrischen Arbeitsweise der Nacken-, Rumpf- und Beinmuskulatur ist vor allem für das dauerhafte aufrechterhalten der Position im Auto und der Durchführung der sportartspezifischen Bewegungen notwendig (Potkanowicz 2013) und erhebt zudem einen hohen Anspruch an die posturale Kontrolle. Darüber hinaus sind Perturbationen, Mikrobewegungen und Bewegungen bei Brems- und Beschleunigungsvorgängen aktiv-dynamisch zu kompensieren. So müssen die wirkenden G-Kräfte (positiv und negativ) und die entsprechende Gegenbewegung jeweils ausbalanciert werden um den gesamten

Körper in derselben Position zu halten. Hinzu kommt das mehr oder weniger statische bzw. mikrodynamische Halten der Zusatzlast des Helmes (durchschnittlich 6,5kg) und des HANS-Systems (Potkanowicz 2013). Über die Erfassung der isometrischen Kraftleistungsfähigkeit eines Rennfahrers hinaus existieren nur wenige Informationen über eine sportartspezifisch relevante Kraftleistungsfähigkeit des Rumpfes bzw. der Extremitäten. Aussagekräftige Studien, die sich mit der maximalen konzentrischen oder exzentrischen Kraftleistungsfähigkeit, der posturalen Kontrolle oder gar der Reaktionsfähigkeit beschäftigen, liegen kaum vor. In einer Untersuchung von Baur et al. aus dem Jahr 2006 zeigt dabei deutlich, dass die Kraftleistungsfähigkeit von Motorsportlern aus dem Langstreckenbereich vergleichbar mit der einer Gruppe alters- und gewichtsgemachter, aktiver Probanden ist. So zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen bezogen auf die isokinetisch konzentrisch und exzentrisch erfasste Kraft der Beinstrecker in einer Beinpresse. Beide Gruppen leisteten konzentrisch eine Kraft im Mittel von 1500N einbeinig. Bei einem durchschnittlichen Körpergewicht von 70kg, entspricht dies einer Kraftleistungsfähigkeit von mehr als dem Doppelten des Körpergewichtes. Zudem konnte für die rotatorische Armkraft (isokinetisch; sitzend an einem Lenkrad) ebenfalls kein sportartspezifischer Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt werden (vgl. Abb 4).

Test	Mean	SD	95% Confidence limits	
			Lower	Upper
Leg extensor force (N)				
Concentric				
Controls	1561	161	1412	1709
Drivers	1517	285	1253	1781
Eccentric				
Controls	2072	477	1631	2513
Drivers	2271	466	1840	2702
Arm strength (N.m)				
Concentric				
Controls	75	9	66	84
Drivers	80	11	70	90
Eccentric				
Controls	117	17	102	133
Drivers	114	16	98	129
Arm endurance* (s)				
Controls	94	26	61	127
Drivers	78	27	54	100
*Isometric, threshold of 30 N.m.				

Abbildung 4: Baur et al 2006. Kraftleistungsfähigkeit im Vergleich Profifahrer und altersgemachte Kontrollgruppe. Dargestellt als Mittelwert, Standardabweichung und 95%- Konfidenzintervall.

Andere Untersuchungen zeigten, dass sich die isometrische Kraftleistungsfähigkeit von Motorsportlern nicht von der aus anderen Sportarten unterscheidet (Potkanowicz 2013, de Winter 2012, Häkkinen 1991). Bei der Erfassung der maximalen willkürlichen Kontraktion (MVC) der Beinextension konnte in der Arbeit von Konttinen et al (Abb 5) ein signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppe der Hobbyfahrer (H) gezeigt werden. Innerhalb der Gruppe der Profifahrer konnten keine Unterschiede gezeigt werden. Die „Rate of force development“ unterschied sich nicht. So unterschied sich die Kraft-Zeitkurve der Hobbyfahrer nach 100ms im Vergleich von „vor“ zu „nach“ dem Fahren.

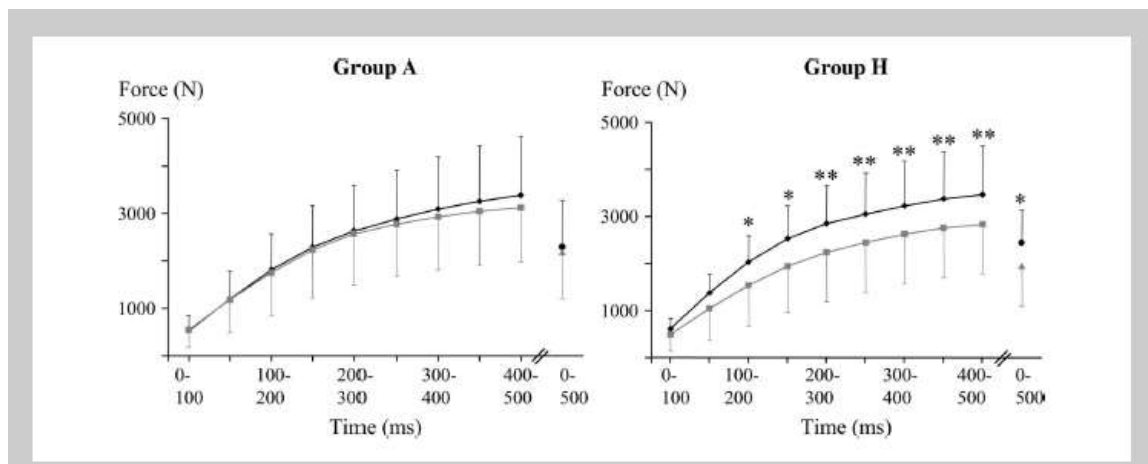


Abbildung 5:Konttinen et al 2008. Kraft- Zeit-Verlauf der MVC (Beinextension) vor und nach dem fahren.

Für die isometrische Kraftleistungsfähigkeit zeigen sich im Vergleich zwischen „open-wheel“- bzw. Rallyfahrern und einer Kontrollgruppe ebenfalls kaum Unterschiede. Lediglich für die Lateralflexion und die Rotation der Halswirbelsäule konnten Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. So scheinen die „open-wheel“-Fahrer eine ausgeprägtere isometrische Kraft für die beiden genannten Bewegungsformen der Halswirbelsäule zu haben (vgl. Tab 4).

Tabelle 4. Backman et al 2006. Mittelwerte und Standardabweichungen der isometrischen Krafttests und Kraftausdauertests für den Rumpf/ Halswirbelsäule (Extension/ Flexion; Rotation, Lateralflexion), der unteren Extremität (Beinextension, Plantarflexion) und der oberen Extremität (Flexion/ Extension).

	Open-wheel (n = 9)	Rally (n = 9)	Control (n = 10)	p Value
Trunk force				
Flexion (N)	876 (168)	890 (186)	880 (175)	ns
Extension (N)	918 (197)	1,103 (234)	950 (118)	0.047*
Leg extension (N)	4,111 (1,555)	3,858 (805)	3,610 (822)	ns
Plantar flexion (N)	2,501 (595)	3,109 (803)	2,474 (595)	0.045*; 0.032†
Grip strength				
Right (N)	741 (115)	888 (118)	717 (111)	0.012*; 0.003†
Left (N)	642 (88)	795 (135)	609 (74)	0.004*; 0.001†
Shoulder				
Flexion (N)	215 (23)	233 (41)	201 (22)	0.026‡
Extension (N)	346 (60)	389 (82)	373 (25)	ns
Extension endurance (s)	87 (33)	86 (28)	82 (20)	ns
Neck				
Rotation right (Nm)	15.9 (3.5)	17.5 (2.6)	13.7 (4.8)	ns
Rotation left (Nm)	14.8 (4.8)	15.8 (2.6)	13.4 (4.1)	ns
Flexion (N)	215 (82)	216 (66)	176 (41)	ns
Extension (N)	330 (68)	298 (56)	285 (33)	ns
Lateral flexion, right (N)	283 (62)	236 (37)	234 (37)	0.038‡
Lateral flexion, left (N)	273 (46)	246 (56)	222 (49)	0.042‡

* p value for open-wheel to rally drivers

† p value for rally drivers to controls

‡ p value for open-wheel driver to controls.

Darüber hinaus sind nur wenige Daten verfügbar, die die Reaktionsfähigkeit von Rennfahrern untersuchen. Lediglich eine aktuelle Untersuchung konnte kürzere Reaktionszeiten im Vergleich zur Kontrollgruppe (vgl. Abb 6) aber keinen Unterschied bezogen auf die Posturale Stabilisation nachweisen (Baur 2006). Dabei wird wiederholt die Notwendigkeit einer schnellen Reaktionsfähigkeit auf Grund der hohen Geschwindigkeiten, der häufig wechselnden Rennsituationen (Verkehr, Unfälle) und dem Anspruch der Rennstrecke (Streckenbeschaffenheit, Kurven, Geraden) betont. Die Erfassung der multiplen Reaktion und/oder Antizipation ist wichtig zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit bei heiklen Rennsituationen.

Test	Mean	SD	95% Confidence limits	
			Lower	Upper
RT reaction time (ms)				
Controls	370.4	28.9	349.7	391.1
Drivers	330.8	20.3	313.8	347.7
RT motor reaction time (ms)				
Controls	120.7	24.0	102.2	139.1
Drivers	104.1	24.5	83.6	124.7
DT reaction time (ms)				
Controls	649.0	57.4	607.9	690.1
Drivers	637.5	48.0	597.3	677.6
DT correct reactions				
Controls	532.7	7.7	527.2	538.2
Drivers	530.3	10.4	521.5	538.9
DT false reactions				
Controls	14.9	15.2	4.0	25.8
Drivers	12.9	6.2	7.7	18.1
DT overall reactions				
Controls	547.6	9.3	540.9	554.3
Drivers	543.1	14.3	531.2	555.1
Postural stability (cm)				
Controls	87.7	54.6	48.6	126.8
Drivers	70.0	46.5	31.1	108.9

Abbildung 6:Baur et al 2006. Wiener Reaktionstest (RT: Reaktionszeit, mittlere motorische Zeit) und Determinationstest (DT: Reaktionszeit, „korrekt reagiert“, „falsch reagiert“) sowie „Center of Pressure“ im Einbeinstand über 15s im Vergleich beider Gruppen (Profifahrer; Kontrollgruppe).

In entscheidenden Rennsituationen die „richtige“ Handlung zu vollziehen ist im Rennsport essentiell. In einer jüngeren Untersuchung von Raschner et al. (2013) konnten diesbezüglich keine Unterschiede bezogen auf die multiple Reaktionsfähigkeit oder Antizipation im Vergleich von Nachwuchsfahrern zu Profifahrern nachgewiesen werden. Dabei unterschieden sich die Fahrer in ihrer Fahrerfahrung im Durchschnitt um 5 Jahre (Profifahrer: im Mittel 7,3 Jahre open-wheel Erfahrung; Nachwuchsfahrer: im Mittel 2,4 Jahre). Betrachtet man beide Untersuchungen bezogen auf die Reaktionszeit scheinen sich Rennfahrer zwar klar von Nicht-Rennfahrern zu unterscheiden. Die Rennerfahrung scheint dabei aber keine Rolle zu spielen. Bei Betrachtung der untersuchten posturalen Stabilität zur Einschätzung der sensomotorischen Leistungsfähigkeit zeigten sich dennoch keine Unterschiede zwischen den untersuchten Fahrern.

Zur Prävention muskuloskeletaler Verletzungen und der Aufrechterhaltung entscheidender fahrerspezifischer Anforderungen sind Koordination, kurze Reaktionszeiten, schnelle Antizipation sowie eine hohe sensomotorische und neuromuskuläre Kontrolle von hoher Bedeutung (Walker 2001). In Anbetracht des

Belastungsprofils eines Rennfahrers scheinen die Kraftleistungsfähigkeit sowie die sensomotorische Kapazität eine übergeordnete Rolle zu spielen und sollten fester Bestandteil des Trainings sein.

Schlafmangel ist ein häufig auftretendes Ereignis bei international agierenden Athleten. Im Motorsport betrifft dies nahezu alle Athleten, da aufgrund der weltweiten Rennserien im Langstreckensport häufige interkontinentale Flüge und daraus resultierende lange Reisezeiten nicht selten sind. Zudem sind die Schlafzeiten während Rennen über 10 Stunden, Nachttrainings und häufigen Fahrerwechseln gering. Untersuchungen konnten zeigen, dass Schlafmangel einen negativen Einfluss auf die körperliche Leistungsfähigkeit hat (Fullgaller 2015). Ein optimaler Trainingsplan sollte daher einen standardisierten Schlaf-Wach-Rhythmus gerade in den Disziplinen des Langstreckenmotorsports zur optimalen Vorbereitung beinhalten. Dies dient der Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit und einer Reduktion von Müdigkeit bzw. unzureichender Erholung (Meeusen 2013). Müdigkeit kann sich durch eine reduzierte Aufmerksamkeit, eine verringerte Antizipationsfähigkeit und Reaktion sowie eine geringere Wachsamkeit äußern (vgl. Abb.7), was gefährdende Situationen für den Rennfahrer nach sich ziehen kann.

Category	Fatigue effects
Physiological	Reduced psycho-physiological stimulation
Cognitive	Reduction in alertness and vigilance. Informed processing and decision-making takes longer.
Motor	Reaction time increases when critical event occurs. Control reactions are more variable and less effective. Reduced Preparedness to react.

Abbildung 7:Owen et al. 2015 nach von Jan 2005. Klassifikation der Ermüdung und deren Effekt.

In verschiedenen Untersuchungen wird für den Motorsport zudem der Zusammenhang zwischen effizienter Leistungserbringung und psycho-physiologischen Mechanismen, in verschiedenen (Renn)Studien als wichtig erachtet (Bortoli et al.). Das „Multi-action Plan“-Model nach Bortoli beschreibt dabei 4 Typen der Performance- und

Aufmerksamkeitskontrolle (vgl. Abb 8). Dabei scheinen sich die Klassifizierungen in Abhängigkeit ihrer Aufmerksamkeit (automatisch, fokussiert/bedacht, exzessiv, gering) und der resultierenden Performance (optimal, funktional, gestört) einzuteilen.

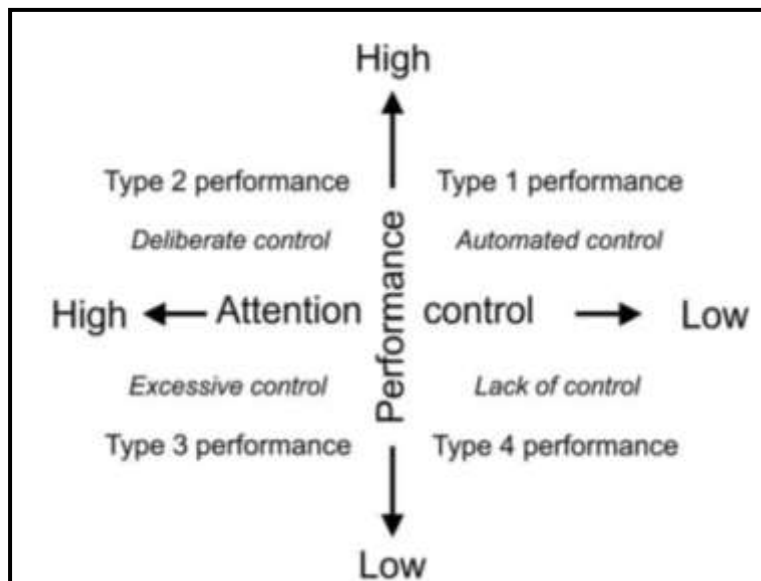


Abbildung 8: Filho et al. 2014 "Multi- action Plan (MAP)" zur Performance- und Aufmerksamkeitskontrolle (nach Bortoli 2012).

In der Arbeit von Filho et al (2014) konnte nach Kategorisierung der untersuchten Fahrer in das MAP-Modell aufgezeigt werden, dass Typ 1 (nicht-signifikant) höhere Herzfrequenzen während einer einstündigen Rennbelastung aufzeigten als Typ 4. Zusammenfassend zeigt demnach ein gesteigertes Trainingslevel eine geringere Reaktion des Herz-Kreislaufs und des Metabolismus auf physischen und psychischen Stress (Jacobs 2002, Filho 2014) im Motorsport.

In der Zusammenfassung aller Einflussfaktoren auf den Fahrer im Hochleistungsmotorsport ergibt sich ein multifaktorielles Modell, abhängig von der Belastung im Auto (vgl. Abb. 9). Diese Summe der Anforderungen macht es unverzichtbar ein reguläres und an die Sportart angepasstes Training zu implementieren und konsequent zu verfolgen. Dabei muss neben den sportlichen Beanspruchungen v.a. auch die hohe Reisebelastung (lange Flüge, unterschiedliche Zeit- und Klimazonen) berücksichtigt werden.

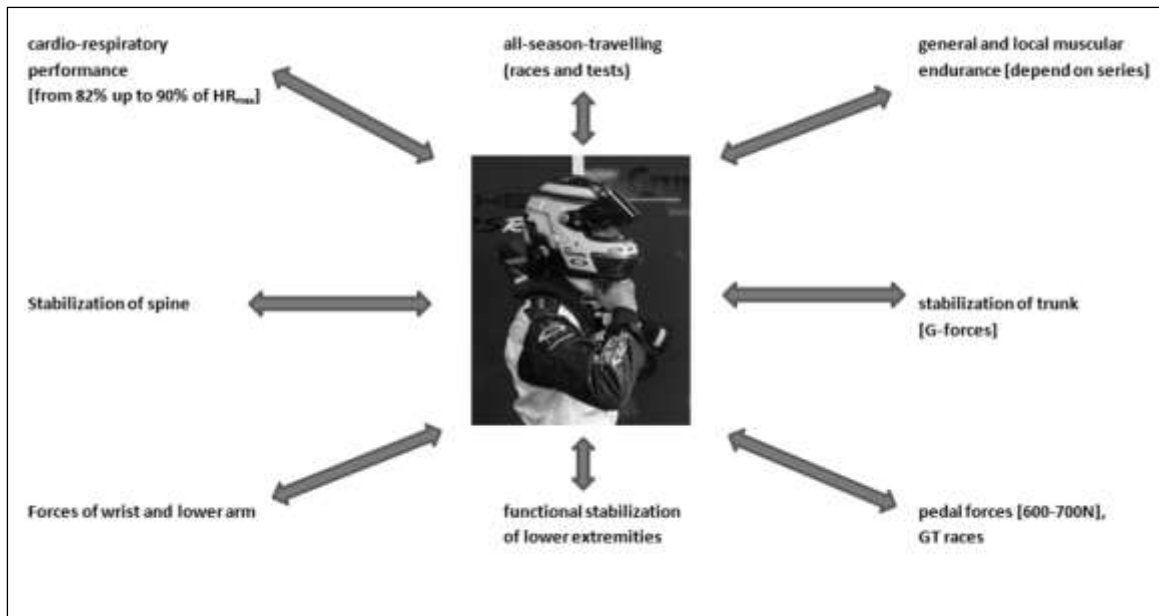


Abbildung 9: Einflussgrößen auf die „Performance“ eines Hochleistungsmotorsportlers.

Gesundheitsscreening

Zur Identifikation von Athleten mit substanziellem Risiko von Verletzungen und/oder Beschwerden, die Einschätzung eines notwendigen Therapiebedarfes sowie die Einführung von Präventionsstrategien, gelten jährliche Gesundheitsuntersuchungen bei Athleten als unumstrittener Standard (Mayer 2012, Carek 2003, 2001, Metz 2001). Sie werden vor allem vor bzw. zu Beginn einer Saison empfohlen. Über die Risikoabschätzung hinaus dient eine solche Untersuchung der evidenzbasierten Abschätzung bzw. Einschätzung für den Athleten, eine leistungssportorientierte Karriere zu absolvieren und kann als Basis für ein interdisziplinäres Arbeiten an Risikofaktoren dienen. Dabei gilt es vor allem ein multidisziplinäres, sportartkompetentes Team, bestehend aus Ärzten (vornehmlich Sportmediziner und andere Spezialisten), sowie Physiotherapeuten und Wissenschaftlern aus den Ernährungswissenschaften, der Biomechanik oder der Leistungsphysiologie aufzubauen. Dabei sollte vor allem auf eine klare Aufgabenverteilung, eindeutige, evidenzbasierte Entscheidungen, eine schnelle Kommunikation sowie die daraus resultierenden Konsequenzen für den Sportler Wert gelegt werden (Dijkstra 2014, Kuster 2007, Almquist 2008). Eine systematische Evaluation des Gesundheitszustandes von Spitzenathleten im Motorsport ist die Grundlage von Präventionsmaßnahmen und gegebenenfalls einer abzuleitenden Belastungsreduktion (Burkhart 2003) zur Risikominimierung für den Athleten. Die

Einschätzung der Gesundheit und der Leistungsfähigkeit kann darüber hinaus zur Abschätzung der Entwicklungsfähigkeit bei Athleten dienen. Inhaltlich gilt es dabei auf eine gründliche Anamnese (zum Beispiel von Vorverletzungen/Risikofaktoren) zu achten, da diese zur Abschätzung einer Prädisposition von Verletzung der klinischen Untersuchung vorzuziehen ist. Die Sensitivität liegt dafür bei 91,6% bezogen auf der Vorgeschichte (Anamnese) und bei 50,8% für eine klinische Untersuchung (Garrick 2004). Bislang erscheint die prognostische Effizienz von Zusatzuntersuchungen unklar. Dennoch werden in der Regel zusätzlich zur kardiovaskulären Risikoabschätzung regelmäßige Ruhe- sowie Belastungselektrokardiografien und Ultraschalluntersuchungen des Herzens empfohlen (Fishmann 2015, Finnoff 2016, Mitchell 2015). Eine gründliche orthopädisch-traumatologische Untersuchung mit gegebenenfalls weiterer bildgebender Diagnostik sollte ebenfalls Inhalt eines solchen Gesundheitsscreenings im Motorsport sein. Komplementiert werden Gesundheitsuntersuchungen im Rennsport mit Hör- und Sehtests sowie Blutlaboruntersuchungen (Pedraza 2013) und einer Erfassung anthropometrischer Daten.

2.4. Forschungsparadigma und Fragestellungen

Anhand der aufgezeigten Belastungsanforderung eines Motorsportathleten im Rennfahrzeug wird deutlich, dass die Belastung der Fahrer (im Fahrzeug und während des Trainingsprozesses außerhalb des Autos) mit der aus anderen Sportarten vergleichbar ist. Eine gute bis sehr gute aerobe Kapazität scheint notwendig um die entsprechende dauerhafte Herz-Kreislaufbeanspruchung zu kompensieren und eine schnelle Regeneration gewährleisten zu können. Die Anforderungsprofile im Sinne der wirkenden Kräfte, der hohen koordinativen Beanspruchung und notwendige physische Kompensation von Umwelteinflüssen im Rennfahrzeug sind mit verschiedenen Forschungsansätzen untersucht und belegt (Baur 2006, Baur 2010, Ebben 2012, Potkanowicz 2013, Owen 2015, Mansfield 2001, Backman 2005, Jacobs 2002, Raschner 2013, Yamakoshi 2010, Durand 2015, Konttinen 2008).

Die Athletenprofile oder gesundheitsrelevanten Charakteristika eines Hochleistungsmotorsportlers stehen dabei eher weniger im Fokus wissenschaftlicher Arbeiten. Weder häufige Beschwerden oder Pathologien noch Belastungsprofile sind

daher klar definiert. Nur vereinzelt liegen (wissenschaftlich analysierte) Daten aus Untersuchungen vor, die sich mit den akuten Verletzungen nach Unfällen und deren Verläufe beschäftigten (Chapman 1991, Hunter 1996, Klarica 2001, Moorhead 1992, Wertman 2016, Minoyama 2004). Eine Definition von Sportartspezifika, Daten zum Gesundheitsmonitoring, sportartspezifischen Präventions- oder Therapiestrategien oder Athletenprofilen liegen nur unzureichend vor. Häufig wird dies mit dem geringen Interesse der Sportwissenschaft und Sportmedizin an der Sportart begründet (Klarica 2001, Potkanowicz 2013). Dabei gilt die Sportart selbst als eine der profitabelsten überhaupt (Backman 2005, Raschner 2013). Die Notwendigkeit einer sportmedizinischen Betreuung, vornehmlich zur Vorbereitung der physischen und mentalen Belastbarkeit wird zwar gefordert, in Realität aber nur selten professionell und strukturiert umgesetzt (Klarica 2001). Die Integration sportmedizinischer und sportwissenschaftlicher Fragestellungen würde daher nicht nur dem Athleten im Einzelnen sondern dem gesamten Team im Rennsport einen differenzierteren Einblick ermöglichen. Die Verbindung zwischen Medizin und Hochleistungsmotorsport ist daher weit mehr als nur die akute Behandlung bei und nach einem Unfall an der Rennstrecke und sollte die Sportart sicherer, kompetitiver und umfassender für das gesamte Team machen (Küçükdurmaz 2012, Potkanowicz 2013).

Fast man all die bisher diskutierten Aspekte (Belastung im und am Auto) des Motorsports bezogen auf den Athleten zusammen, scheint die Entwicklung eines evidenzbasierten „Gesundheitskonzept mit daraus abgeleiteten Trainingsempfehlungen vorrangig zur Prävention unabdingbar. Es ist zu untersuchen in wieweit regelmäßige Gesundheitsuntersuchungen sowie eine ärztlich- medizinische Versorgung bei Test und Renneinsätzen die Basis für präventive Maßnahmen zur Gesunderhaltung und Aufrechterhaltung der Einsatzfähigkeit im Langstreckenmotorsport ermöglichen. Die daraus abgeleiteten müssen innerhalb der Saison integriert, periodisiert und zyklisiert werden. Ein mögliches multimodales Trainingskonzept sollte dabei, die Grundlagenausdauer (am ehesten selbständig umgesetzt durch Lauf- oder Fahrradbelastungen), die Optimierung der Kraftleistungsfähigkeit (Rumpfstabilisationstraining, Maximalkraft- und Schnellkrafttraining der unteren Extremität), die Sensomotorik (Stabilisationstraining, vornehmlich auf instabilen

Untergründen, plötzlich unerwarteten Perturbationen) und die Reaktionsfähigkeit als koordinative Komponente beinhalten.

Für eine systematische Analyse zum Gesundheitsmonitoring, zu Beschwerden und Überlastungsreaktionen während Renneinsätzen und den daraus abzuleitenden Konsequenzen für eine trainingstherapeutische Betreuung im Hochleistungsmotorsport sind demnach folgende Fragestellungen zu formulieren:

- F1: Welche gesundheitsrelevanter Merkmale und Befunde lassen sich bei Athleten im Langstreckenmotorsport anhand eines Gesundheitsmonitorings identifizieren? Inwieweit können sportartspezifische Beschwerden und gesundheitsrelevante Daten von Langstreckenmotorsportlern im Quer- und Längsschnitt erfasst werden?
- F2: Welche sportartspezifischen und sportartunabhängigen Beschwerden und Überlastungsreaktionen sind im Langstreckenmotorsport häufig? Welche Behandlungsmaßnahmen sind bei Renneinsätzen sinnvoll?
- F3: Welche Kenndaten der körperlichen Leistungsfähigkeit bezogen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, die Kraftleistungsfähigkeit des Rumpfes und der unteren Extremität sowie der sensomotorischen Fähigkeiten lassen sich im Quer- und Längsschnitt erfassen?
- F4: Lässt sich für den Langstreckenmotorsport ein auf Basis sportartspezifischer Daten begründetes Gesundheitsmonitoring entwickeln?
- F5: Welche Trainingsmaßnahmen sind in der sportmedizinischen Betreuung von Langstreckenmotorsportlern sinnvoll und wie sind diese umzusetzen?

Die Beantwortung der Fragestellungen F1 bis F3 erfolgt anhand von experimentell erhobenen Daten im Quer- und Längsschnitt über mehrere Jahre. Die Fragestellungen F4 und F5 werden auf Basis der experimentellen Datenerhebung

Forschungsparadigma und Fragestellungen

und der im Vorfeld durchgeführten systematischen Literaturrecherche im Rahmen der Diskussion bearbeitet.

3. Untersuchungsgut und Methoden

3.1. Probanden

Im Zeitraum von 2003 bis einschließlich 2017 wurden insgesamt 37 Profiatleten aus dem Hochleistungsmotorsport eines Teams im Längsschnitt betreut und in die wissenschaftliche Analyse eingeschlossen. Die sportmedizinische Betreuung umfasst ein jährlich zweimalig durchgeführtes Gesundheitsmonitoring auf Basis der Konzeption Sportmedizin des Deutschen Olympischen Sportbundes (DOSB) sowie die Betreuung vor Ort bei bedeutsamen Rennen mit einer Dauer von über 6 Stunden.

Es erfolgten insgesamt 353 Untersuchungen im Sinne eines Gesundheitsmonitorings. Hierbei handelte sich ausschließlich um männliche Profisportler aus dem GT-Sport. Die Anzahl der zu untersuchenden Athleten stieg kontinuierlich von 6 Sportlern in 2003 auf insgesamt 19 Sportler in der Saison 2017 an (vgl. Abb. 10). In der Addition der Untersuchungen über den Gesamtbeobachtungszeitraum wurden Athleten mindestens einmal und maximal dreißigmal untersucht. Daraus resultiert bei 2x jährlich stattfindenden Gesundheitsuntersuchungen eine Range der Betreuung von 1 bis zu 15 Jahren für die untersuchten Profifahrer.

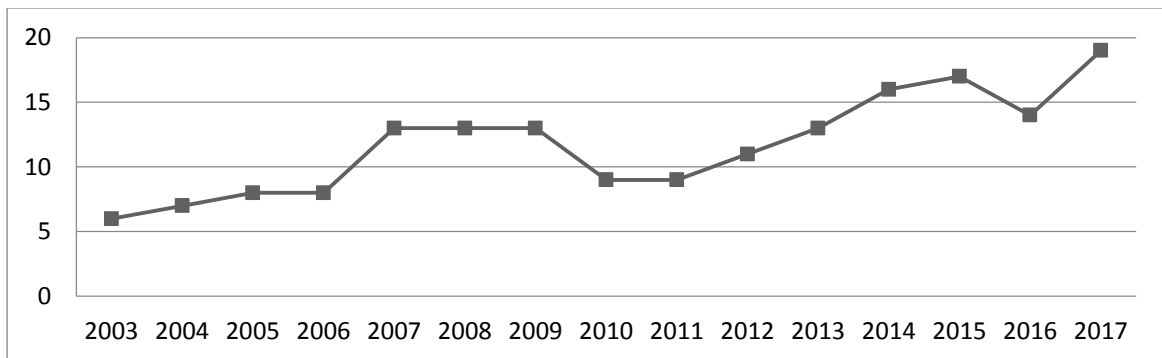


Abbildung 10: Anzahl der zu betreuenden Fahrer pro Jahr über den Gesamtbeobachtungszeitraum von 2003 bis 2017.

Zum jeweiligen Eintritt eines Fahrers in den professionellen Motorsport waren bereits im Mittel 9 Jahre Motorsportenerfahrung in unterschiedlichen Klassen (z.B. Kart, Formelsport, Sportwagen) vorhanden. Die Profikarriere begann somit durchschnittlich im Alter von 24 Jahren (Tab.5). Damit absolviert ein späterer Profifahrer durchschnittlich mit 15 Jahren das erste Mal ein Motorsportevent. Das notwendige Training zur Vorbereitung im Auto ist mit 6 ± 10 Trainingseinheiten pro Woche sehr interindividuell und nicht standardisiert.

Tabelle 5: Anthropometrie der Fahrer zum Eintritt in den professionellen Hochleistungsmotorsport (MW± SD).

Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [cm]	Ruhefrequenz [bpm]	TE/Wo	Dauer/ Einheit [min]	Trainingsjahre
24±5	69±6	178±5	61±10	6±10	63±14	9±6

Das Alter der Fahrer betrug im Schnitt 29 Jahre. Das Alter der Athleten nahm bis zur Saison 2009 (30± 6 Jahre) kontinuierlich zu und stagniert bzw. schwankt im Mittel nur geringfügig (um 1 Jahr). Die Altersstruktur der untersuchten Athleten ist demnach stabil und gleichbleibend (vgl. Abb. 11).

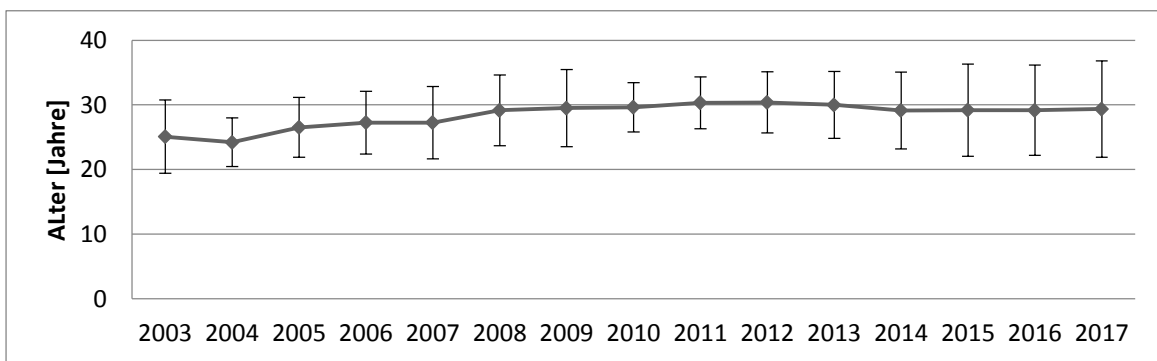


Abbildung 11: Altersentwicklung der untersuchten Athleten über 15 Jahre (2003-2017) als MW ± SD.

Bezüglich des Körpergewichts ist eine ähnliche Konstanz über den Untersuchungszeitraum zu verzeichnen. Im Mittel beträgt das Körpergewicht 70±6,4kg bei einer Körpergröße von 178±6,1cm und bleibt trotz zunehmenden Alters stabil. Ein ähnliches Bild zeigt sich demzufolge auch für den Body Mass Index (BMI). Lediglich zum Beginn der Datenerhebung ist eine Schwankung zu erkennen, die sich ab 2007 stabilisiert und anschließend lediglich im Jahr 2016 eine Schwankung nach oben verzeichnet.

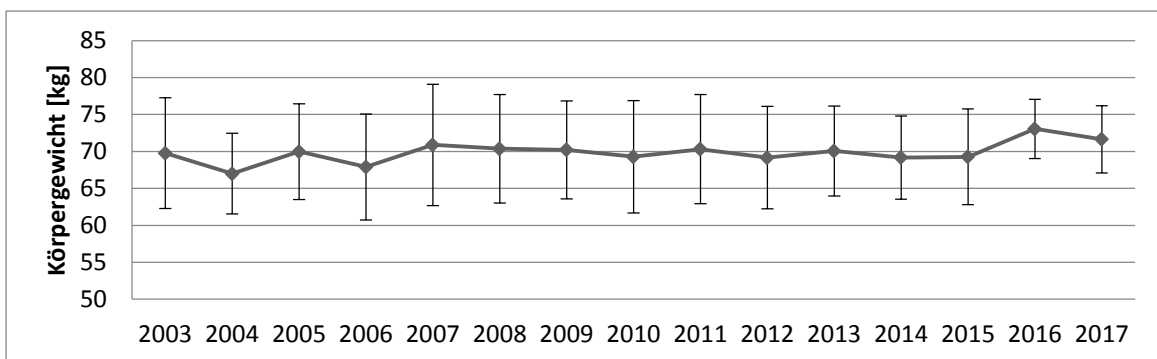


Abbildung 12: Längsschnitt Körpergewicht der Athleten über 15 Jahre als MW ± SD.

Untersuchungsgut und Methoden

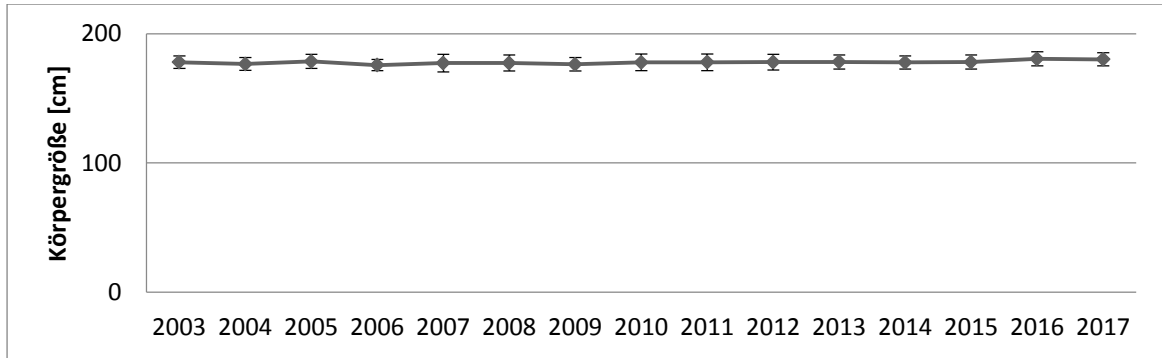


Abbildung 13: Längsschnitt Körpergröße der Athleten über 15 Jahre als MW \pm SD.

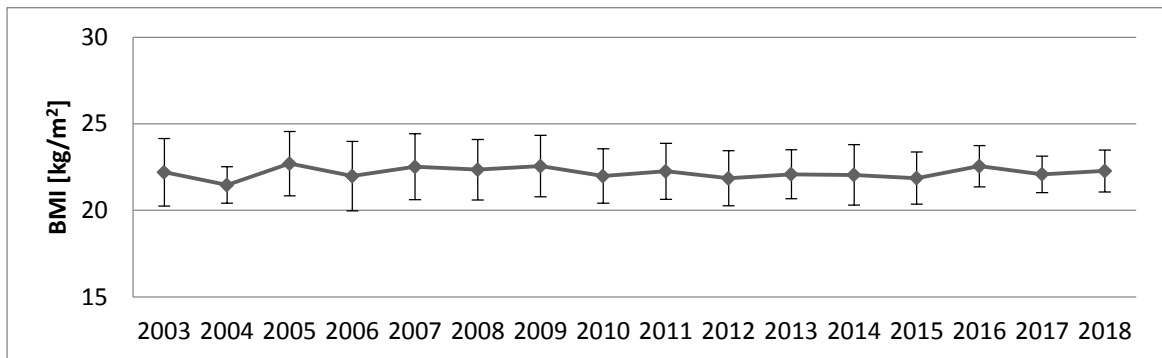


Abbildung 14: Längsschnitt Body Mass Index (BMI) der Athleten über 15 Jahre als MW \pm SD.

Für den 10-Jahres Längsschnitt der Körperfettmessung (2008-2017, Caliper) zeigt sich eine Reduktion von $18,3\% \pm 3,4\%$ auf $13,4\% \pm 2,0\%$ und einem Minimum von $12,1\% \pm 2,1\%$ im Jahr 2017. Es findet sich ein stabiles Niveau ab 2013. Mit Beginn der Saison 2012 wurde zusätzlich die fettfreie Masse ermittelt, welche einen Anstieg aufzeigt und damit (in Kombination mit der Betrachtung des Verlaufs des Körperfetts) auf eine Veränderung der Körperkomposition rückschließen lässt (vgl. Abb. 15-16).

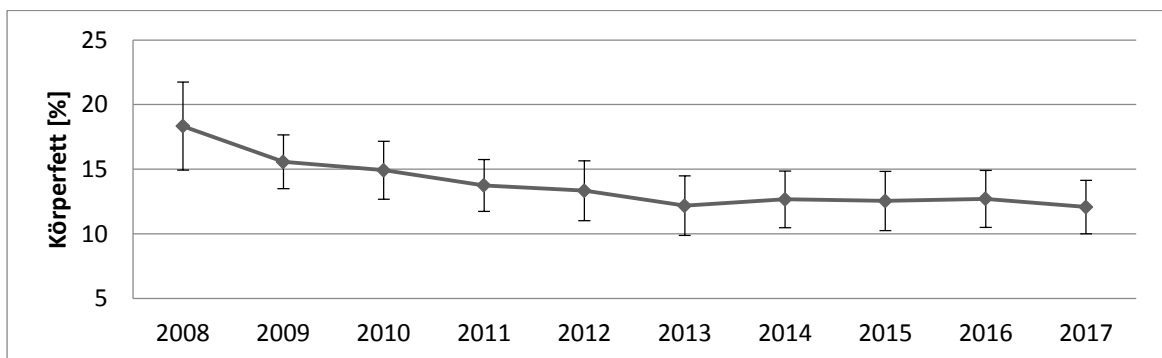


Abbildung 15: Längsschnitt prozentualer Körperfettanteil der Athleten über 10 Jahre als MW \pm SD.

Untersuchungsgut und Methoden

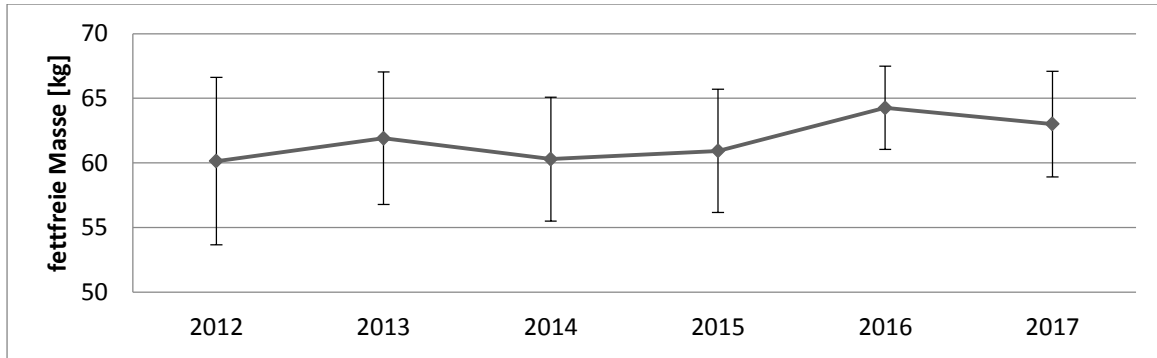


Abbildung 16: Längsschnitt fettfreie Masse der Athleten über 6 Jahre als MW \pm SD.

Für die anthropometrischen Messgrößen ergeben sich im Längsschnitt ein stabiles Körpergewicht, sowie BMI, eine Reduktion des Körperfettanteils und eine Zunahme der fettfreien Masse (vgl. Abb. 12-16).

Bezüglich der Trainingsanamnese zeigt sich neben einer insgesamt Umfangserhöhung ein individuell sehr hoher Unterschied (Abb. 17 und 18).

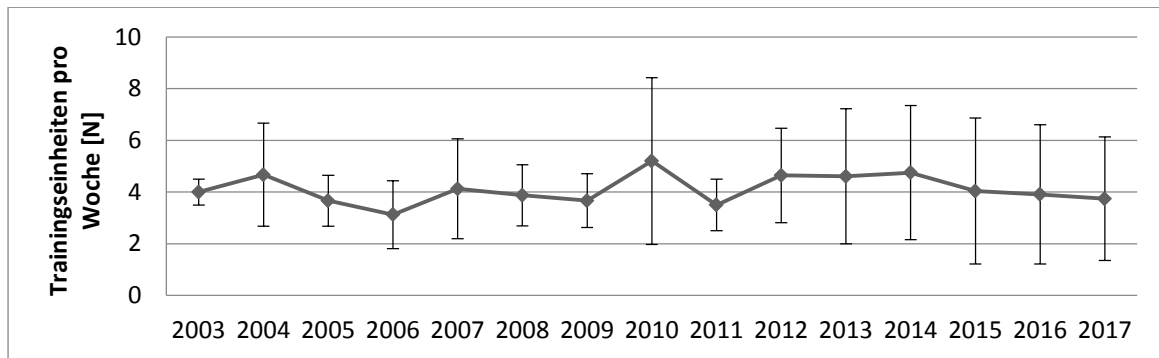


Abbildung 17: Längsschnitt der Anzahl an Trainingseinheiten pro Woche über 15 Jahre als MW \pm SD.

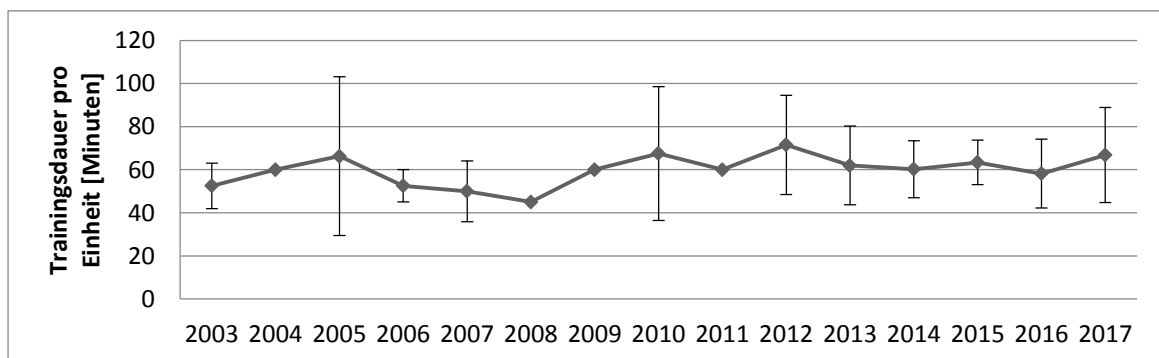


Abbildung 18: Längsschnitt Trainingsdauer pro Trainingseinheit in Minuten über 15 Jahre als MW \pm SD.

2008 wurden 4 Trainingseinheiten sportartunspezifisches (Training außerhalb des Rennwagens; Laufen, Rad fahren, „Core stability“, Krafttraining, ect.) Training pro Woche mit einer durchschnittlichen Dauer von 45 Minuten durchgeführt. In 2017 waren

es ebenfalls durchschnittlich 4 Trainingseinheiten, allerdings mit einer Dauer von 63 Minuten. Daraus ergibt sich eine Umfangserhöhung von 60 Minuten im sportartunspezifischen Training, was als Begründung für die Veränderung der Körperkomposition angeführt werden kann. Insgesamt zeigt sich im Mittel sehr stabiles aber interindividuell doch sehr variables Training an Umfang und Dauer. Die überwiegenden Inhalte waren ein Ausdauertraining mit dem Ziel der Verbesserung der Grundlagenausdauer, Krafttraining mit dem Ziel der Optimierung der Kraftleistungsfähigkeit im Bereich der intramuskulären Koordination, vornehmlich der unteren Extremität und der Stabilisation der Wirbelsäule und ein sensomotorisches Training mit dem Ziel der Verbesserung der posturalen Kontrolle sowohl der unteren Extremität als auch der Wirbelsäule.

3.2. Saisonverlauf im Langstreckenmotorsport

Zur Einschätzung der sportmedizinischen Tauglichkeit für die Sportart fanden mit Beginn 2003 jährlich zwei Gesundheitsuntersuchungen (GU) zentral an einem medizinischen Untersuchungszentrum des Deutschen Olympischen Sport Bundes (DOSB) statt. Die Untersuchung unterlag den Kriterien des Gesundheitsmonitorings im Spitzensport anhand der Vorgaben der Konzeption Sportmedizin des Deutschen Olympischen Sportbunds bzw. vergleichbarer internationaler Standards (Mayer 2012, Carek 2003, Mirabelli 2015). Die Untersuchungen fanden jeweils eingebettet in die jeweils laufende Saison zur Vorbereitung der Saison, meist im Dezember des Vorjahres und innerhalb der Saison kurz vor Wettkampfhöhepunkt (Juni, „24 Heures de Le Mans“) statt (vgl. Abb 19). Vor allem die erste Gesundheitsuntersuchung (GU I) diente neben der Tauglichkeitsuntersuchung für die Sportart Motorsport zusätzlich zur Einschätzung der allgemeinen Fitness (Ausdauer-, Kraft- und Sensomotorischeleistungsfähigkeit) mit dem Fokus der Leistungskenngrößen die theoretisch für die Sportart bedeutsam sind. Auf Basis der Daten und den Einschätzungen im Rahmen der Auswertung wurden individuelle Trainingsempfehlungen zur Vorbereitung auf die jeweilige Saison abgeleitet. Komplementiert wurde die Vorbereitung mit einem ersten Trainingslager meist im Februar eines jeden Jahres. Bis zur zweiten Gesundheitsuntersuchung (GU II), vorwiegend im Mai/Juni erfolgte ein selbstständig organisiertes Training. Zur zweiten Untersuchung wurde nochmals überprüft, ob medizinische Maßnahmen notwendig und

zusätzliche Trainingsempfehlungen zum Zweck der Complianceerhöhung abgeleitet werden mussten. Die übrige Saison erfolgte dann weiterhin ein überwiegend selbstständig durchgeführtes Training. Bei medizinischem oder trainings- (therapeutischen) Handlungsbedarf erfolgten individuelle Absprachen und Empfehlungen.

Parallel zu den Gesundheitsuntersuchungen fand eine Betreuung der Rennen vor Ort statt. Ärztlich betreut wurden nur längere Rennen mit einer Dauer von über 6 Stunden (24h Daytona, 12h Sebring, 24h Le Mans, 24h Nürburgring, 24h Spa, 10h Road Atlanta). Die Versorgung erfolgte jeweils durch einen Arzt, die Dokumentation der Befunde in eine webbasierte Datenbank (ProWebDB).

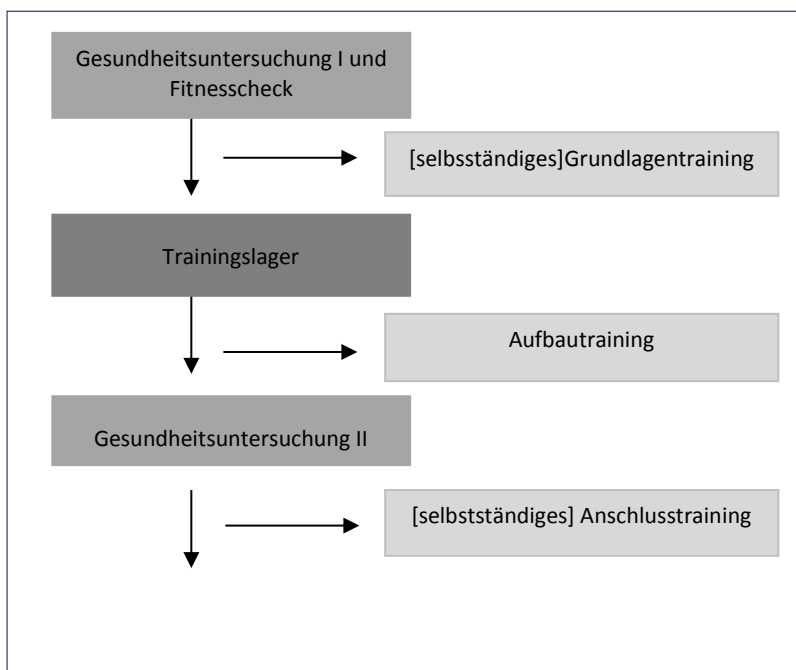


Abbildung 19: Saisonverlauf der sportmedizinischen Betreuung für GT Rennfahrer.

3.3. Gesundheitsuntersuchungen (GU I + II)

Basis beider Gesundheitsuntersuchungen waren eine ausführliche Anamnese (u.a. Vorgeschichte, Trainingsanamnese), eine klinische Untersuchung (internistisch-allgemeinmedizinisch, orthopädisch-traumatologisch) sowie - wenn notwendig – eine weiterführende bildgebende Diagnostik (u.a. MRT, Röntgen, Ultraschalluntersuchungen ect.). Erfasst wurden orthopädische, internistisch-allgemeinmedizinische und kardiologische Auf- bzw. Unauffälligkeiten. Bei Notwendigkeit der Befundabklärung wurden ggf. weiterer Fachdisziplinen (z.B. Radiologie, Kardiologie, Dermatologie,

Augenheilkunde, Allergologie) eingebunden. Zusätzlich erfolgte bei jeder Gesundheitsuntersuchung eine apparative Diagnostik (s.u.) Darüber hinaus erfolgte eine standardisierte Befunderhebung durch einen Physiotherapeuten und eine individuelle Ernährungsberatung. Je nach Befund der Untersuchungen wurde eine befund- und diagnosebezogene Therapie (Medikation, Physio- oder Trainingstherapie) eingeleitet bzw. präventive Empfehlungen abgeleitet.

Apparative Untersuchungen

Die Ruheuntersuchung umfasste ein 12 Kanal-Ruhe-EKG (Fa. Schiller) sowie die Erfassung anthropometrischer Größen (Körpergröße [cm], Körpergewicht [kg], fettfreie Masse [kg], Körperfett [%], BMI [kg/m^2]). Die Ermittlung des Körperfettanteils erfolgte über die 10 Punkt Methode ([cm] Wange-Ohr, Mundboden, Achselfalte, Rippe, Bauch, Beckenkamm, Schulterblatt, Triceps, Patella, Kniekehle, Darmbeinstachel, Biceps) nach Parizkova (Herm 2003; Parzikova 1974) mit einem Harpenden Skinfold Caliper. Anschließend wurde der Körperfettanteil anhand folgender Formel berechnet:

$$\text{Körperfettanteil} = 39,572 \times (\text{Summe aller Messpunkte Caliper}) - 61,25 .$$

Für die Berechnung der fettfreien Masse wurde folgende Formel genutzt.

$$\text{fettfreie Masse} = \left\{ \text{Gewicht} \times \left[\frac{100 - \text{Körperfettanteil}}{100} \right] + 6,1 \times [1,8 - (\text{Körpergewicht})] \right\} / \text{Körpergröße}^2 .$$

Darüber hinaus wurde die Ruheuntersuchung durch eine Lungenfunktionsprüfung, eine (nüchtern-) Blutentnahme (DOSB-Standard) und einen Sehtest (Binoptometer 4P, Oculus) komplementiert.

Anschließend fand eine Belastungsuntersuchung auf dem Laufband (hp cosmos Pulsar) zur Abschätzung der kardiovaskulären Belastbarkeit (12-Kanal Belastungs-Elektrokardiografie (12 Kanal-EKG), Schiller Cardiovit) und zur Bewertung der Ausdauerleistungsfähigkeit über die Berechnung der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) mittels Laktat-Leistungsdiagnostik statt. Die Laufbandergometrie wurde jeweils als Stufentest mit 3 Minuten Stufendauer, 8km/h Startgeschwindigkeit und eine Geschwindigkeitssteigerung pro Stufe um 2km/h bis zur subjektiven Ausbelastung durchgeführt. Dabei wurde die Herzfrequenz [bpm] pro Stufe über ein 12 Kanal-EKG

ermittelt. Zusätzlich wurde nach jeder Stufe zur Bestimmung der Laktatkonzentration [mmol], eine kapillare Blutentnahme am Ohrläppchen innerhalb eines 15 Sekunden Pausenfensters durchgeführt.

In den Jahren 2013 bis 2017 erfolgte die Laufbandbelastung als Spiroergometrie (Cortex Biophysik, Meta Max 3B). Dabei wurde die normierte maximale Sauerstoffaufnahme [ml/min/kg] zur weiteren Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt.

Neben der Laufbandergometrie erfolgte eine zusätzliche Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer (Lode Excalibur). Dieser Test wurde diente der Einschätzung der kardiovaskulären Belastbarkeit (12 Kanal-EKG, Schiller Cardiovit) unter Ausbelastung und der Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Fahrrad. Aus den Ergebnissen wurden weitere Trainingsempfehlungen abgeleitet. Die Fahrradergometrie wurde mit zwei unterschiedlichen Protokollen durchgeführt. Entweder erfolgte ein Stufenprotokoll mit einer Startlast von 50W, einer Stufendauer von 3 Minuten und einer Steigerung um weitere 50W bis zur subjektiven Ausbelastung oder es wurde ein Rampenprotokoll mit einem Start bei 20W und einer kontinuierlichen Steigerung pro Minute um weitere 20W durchgeführt. Das Rampenprotokoll wurde bei zusätzlicher Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max} ; [ml/min/kg]) als geeignetstes Protokoll (Scheer 2018, Marsh 2018) der Spiroergometrie auf dem Fahrrad angewendet.

Zusammengefasst erfolgten folgende Messungen: (*kursiv bei Bedarf*)

- Anamnese und Klinische Untersuchung
- Anthropometrie (Körpergröße, Körpergewicht, Körperfett, fettfreie Masse, BMI, Trainingsanamnese)
- Blutwerte (in Anlehnung an DOSB Standard)
- Urinstatus
- Ruhe-EKG (12 Kanäle)
- Ruhe-Blutdruck
- Ruheherzfrequenz
- Echokardiografie
- Röntgen, Sonografie, biomechanisch und neurologische Analysen

- Ergometrie (Fahrrad und/oder Laufband; EKG, Blutdruck, Laktat, Sauerstoffaufnahme)
- Ernährungsberatung (individuelle Anforderungen, Energiebedarf und –verbrauch, Schulung zum Thema Supplemente, Anti-Doping und Sportartspezifik)
- physiotherapeutischer Check-up (Funktionsuntersuchungen des Stütz- und Bewegungsapparates aller bedeutenden Gelenke, Muskeln und Sehnen) (siehe Anhang)
- Beratung und Durchführung individuell angepasster Trainingsprogramme zur Reduktion entsprechender Beschwerden und Überlastungen (z.B. Rumpfstabilisation: siehe Anhang)

3.4. Ärztlich- medizinische Rennbetreuung

An der Rennstrecke wurde eine ärztliche und physiotherapeutische Betreuung zur Versorgung vor Ort definiert (Free Practice, Qualifying, Race). Diese beinhaltete die Versorgung bei jeglichen präventiven sowie therapeutischen Fragestellungen des Athleten. Zu den Aufgaben des ärztlich- medizinischen Teams gehörte die medizinische Versorgung bei akuten Beschwerden und Überlastungsreaktionen. Für die physiotherapeutische Versorgung galt vor allem die Absicherung sowohl aus präventiver als auch therapeutischer Sicht. Eingeschlossen in die Analyse wurden Rennen mit einer Dauer über 6h Während des Rennens erfolgte eine symptombezogene Behandlung. Sämtliche Behandlungen bzw. Athletenkontakte, wurden digital in einem Dokumentationssystem (ProWebDB [eCRF] Neuwittenbek) aufgelistet und nach Vorstellungsart, -grund, Lokalisation, ggbf. Diagnostik, Diagnose sowie entsprechender Behandlungsbedarf (Medikamente, Physiotherapie, physikalische Therapie, andere), differenziert und aufgeschlüsselt (vgl. Anhang ProWeb DB). So konnte eine schnelle und weltweit einsetzbare Dokumentation und Kommunikation innerhalb des Medizinteam (Ärzte, Physiotherapeuten, Trainer) umgesetzt werden.

3.5. körperliche Leistungsfähigkeit

Die Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit diente der Einschätzung der körperlichen Fitness bzw. Belastbarkeit im Hinblick auf sportartspezifische Anforderungen oder gegebenenfalls zur Ableitung (konservativ) therapeutischer oder präventiver Empfehlungen. Erfasst wurden die Grundlagenausdauer, die Maximalkraft

der unteren Extremität und des Rumpfes, die sensomotorische Leistungsfähigkeit der unteren Extremität, sowie der Reaktionsfähigkeit bezogen auf die einfache und komplexe Reaktion.

Die Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit (vgl. Gesundheitsuntersuchung - Belastungsuntersuchung) diene aus trainingswissenschaftlicher Sicht der Einschätzung der Regenerationsfähigkeit an Hand der Ableitungen der Grundlagenausdauer sowie der IAS. Auf Basis dieser Parameter erfolgte dann die individualisierte Trainingsableitung zumeist mit Fokus auf die Optimierung der Grundlagenausdauer I und II. Die Grundlagenausdauer dient dabei als Maß der Ermüdungswiderstandsfähigkeit, als Basis der Ausdauerleistungsfähigkeit. Sie ist maßgeblich für die individuelle Regenerationsfähigkeit, die psychische Belastbarkeit, die Reaktionsfähigkeit sowie die Stabilisation des Immunsystems (Baum 1998, Halle 2008, Neal 2013, Seiler 2014) verantwortlich.

Die Einschätzung der Kraftleistungsfähigkeit wurde vornehmlich für den Rumpf und die untere Extremität vorgenommen. Die Messungen erfolgten im Rahmen einer isokinetischen Maximalkraftanalyse (Contrex Trunk Press, Legpress Physiomed) sowohl konzentrisch als auch exzentrisch. Alle Tests fanden nach einer kurzen Aufwärmphase am Gerät als 5-Wiederholungsmaximumstest (5RM), zunächst konzentrisch und nach einer Pause (>1 Minute) exzentrisch statt. Diese Tests sind reliabel und valide zur Bestimmung der Maximalkraft (Dvir 2004, Müller 2007, Müller 2012). Als Endmesswert wurde jeweils der Mittelwert der drei höchsten Drehmomente berechnet. Für die untere Extremität [N] wurde bei unilateralem Test die Startseite jeweils randomisiert. Die Tests erfolgten bei einer Geschwindigkeit von 0,3m/s. Für die Rumpfflexion und -extension [Nm] wurde eine Geschwindigkeit von 60°/s bei konzentrischer Belastung und 30°/s bei exzentrischer Belastung eingehalten.

Für die Bewertung der Sensomotorik wurden zwei zusätzliche Tests durchgeführt. Der Einbeinstandtest auf der Kraftmessplatte (Optima AMTI) diene zur Einschätzung der posturalen Kontrolle und der Balancefähigkeit. Dabei wurde die Startseite (re/li) randomisiert. Über 10s wurde der „Center of Pressure“ [mm] mit jeweils 3 Wiederholungen pro Seite berechnet. Für die Analyse wurde der Mittelwert aller Wiederholungen pro Seite herangezogen.

Der Drop Jump (DJ) von einem 30cm hohen Podest diente zur Erfassung der komplexen sensomotorischen Leistungsfähigkeit. Erfasst wurde dabei die Bodenkontaktzeit [ms]. Eine Kontaktzeit von bis zu 200ms galt als korrekt absolvierte Aufgabenstellung (Reflexantwort im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus). Alle Messwerte über 200ms hinaus wurden als „nicht erfüllte Aufgabe“ definiert und daher nicht mit in die Berechnungen einbezogen (Noyes 2005, Pedley 2017). Vergleichbar zum Einbeinstandtest wurden auch im Drop Jump 3 absolvierte Wiederholungen gemittelt. Die Ausführung erfolgte stehend auf einem Podest wobei ein Bein über die Bodenfläche der Kraftmessplatte hinausragte. Die Landung auf der Kraftmessplatte wurde direkt gefolgt von einem unverzüglich reaktiven, erneuten Absprung von der Kraftmessplatte mit beiden Beinen. Anschließend erfolgt die abschließende beidbeinige Landung.

Die Reaktionsfähigkeit wurde über einen standardisierten Test (Wiener Test System, Schuhfried) durchgeführt. Hierbei wurden der Determinationstest und der Reaktionstest als Maß der einfachen und der komplexen Reaktion absolviert. Unterschieden wurde zwischen einer einfachen Reaktion, der multimodalen (Arm-Bein) und der komplexen (aufgabenorientiert innerhalb eines Zeitfensters) Reaktion. Der Determinationstest ist ein komplexer Mehrfachreiz-Mehrfachreaktionsversuch. Er die reaktive Belastbarkeit, Aufmerksamkeit und Reaktionsgeschwindigkeit. Bei diesem Test werden sowohl Farbreize als auch akustische Signale ausgegeben, auf die mittels Tasten und Fußpedal reagiert werden musste. Dabei wurden die Anzahl der richtig absolvierten Aufgaben und der Median der Reaktionszeit [ms] von Beginn der Reizdarstellung bis zur Betätigung einer Taste ermittelt. Beim Reaktionstest wurde die Reaktionszeit auf optische und akustische Reize erfasst. Gemessen wurde die mittlere Reaktionszeit [ms] als Maß der Reaktionsschnelligkeit bei relevanten Reizen und die mittlere motorische Zeit [ms] als Maß der Bewegungsschnelligkeit von geplanten Handlungsabläufen (vgl. SCHUHFRIED GmbH).

3.6 Datenmanagement, Datenanalyse und Statistik

Alle Daten wurden im Projekt „Hochleistungsmotorsport“ erfasst. Ziel des Projekts ist die Entwicklung und Umsetzung einer evidenzbasierten sportmedizinischen Betreuung mit regelmäßigem Monitoring des Gesundheitszustandes, zur Optimierung der Versorgung vor Ort (bei Rennen) und zur Ableitung, Planung und Durchführung

präventiver Maßnahmen. Vergleichbare Daten liegen derzeit nicht vor, so dass ein Konzept bei Beginn des Projekts (im Jahre 2002) neu entwickelt wurde.

Die Datenanalyse bezieht sich hier auf die Gesundheitsuntersuchungen in den Jahren 2003 bis 2017, sowie die Akutversorgung bei Rennen im Langstreckenmotorsport der Jahre 2015 und 2016. Zur Ableitung präventiver, trainingstherapeutischer Interventionen wird zusätzlich die körperliche Leistungsfähigkeit in den Bereichen Ausdauer, Kraft, Sensomotorik und Reaktionsfähigkeit analysiert.

Die Anzahl der zu analysierenden Datensätze in den Gesundheitsuntersuchungen variierte in den Jahren je nach Anzahl der Profirennensportler im Team. Die Dateneingabe erfolgte im Rahmen von 2 Grunduntersuchungen durch insgesamt 3 Untersucher). Die Datensätze der Rennsportbetreuung wurden von 2 Ärzten, nur bei langen Renneinsätzen über 6h dokumentiert. In 2015 wurden insgesamt 6 Rennen (26h Daytona, 12h Sebring, 24h Nürburgring, 24h Le Mans, 6h Watkins Glen, 10h Atlanta) und in 2016 ebenfalls 6 Rennen (24h Nürburgring, 24h Spa, 24h Daytona, 12h Sebring, 10h Atlanta, 24h Le Mans) in die Berechnung eingeschlossen.

Die Daten zur Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit wurden im Rahmen der Gesundheitsuntersuchungen erfasst. Die Protokolle der durchgeführten Untersuchungen (z.B. mit und ohne Spiroergometrie) waren nicht in allen Jahren identisch, so dass die Anzahl der eingeschlossenen Datensätze bzw. die für die Auswertung verfügbaren Methoden variierten.

Die statistische Analyse der Daten erfolgte deskriptiv mit Microsoft Office Excel (Microsoft Office 2007) und JMP 9.0. (JMP Statistical Software Package 9.0, SAS Institute). Nach Datenbankschließung und zweistufiger Plausibilitätskontrolle (Range-Check, Überprüfung des Übertragungsfehlers mit Originaldaten (<95%)) erfolgte die Testung auf Normalverteilung (Shapiro Wilk) der Daten. Im Anschluss erfolgt dann eine deskriptive Analyse mit Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen. Darüber hinaus wurden Häufigkeiten [%] berechnet. Die Datenanalyse erfolgte retrospektiv sowohl im Längsschnitt (2003-2017) als auch im Querschnitt jährlich. Die Analyse der Versorgung bei Renneinsätzen fand lediglich im Querschnitt in zwei aufeinander folgenden Jahren (2015,2016) statt.

4. Ergebnisse

4.1. Befunde der Gesundheitsuntersuchungen (GU I + II) im Längsschnitt (2003-2017)

Alle Befunde der Gesundheitsuntersuchungen wurden 2-mal jährlich erhoben (vor Beginn der Saison im November oder Dezember bzw. im Juni vor dem Jahreshöhepunkt (24h von Le Mans). Die Erfassung erfolgte analog der Konzeption Sportmedizin des Deutschen Olympischen Sportbundes (DOSB) statt. Wichtig war neben der Erfassung der bereits bekannten Krankheitsbilder vorrangig die Beurteilung, ob die Athleten Auffälligkeiten aufwiesen, welche möglicherweise eine Einschränkung der sportlichen Tauglichkeit bzw. eine Einschränkung der Belastbarkeit im Trainings- und Wettkampfprozess nach sich ziehen könnten. Differenziert wurde dabei zwischen anamnestischen Auffälligkeiten und Befunde bei der klinischen Untersuchung. Zudem wurde nach den Fachgebieten der Inneren Medizin bzw. Allgemeinmedizin, Kardiologie (bezüglich der Anamnese) und der Orthopädie (muskuloskelettale Auffälligkeiten) unterschieden. Darüber hinaus wurden die einzelnen Befunde der apparativen Diagnostik dokumentiert und gemeinsam mit Anamnese und Untersuchungsbefunde in Diagnosen zusammengefasst. Abschließend erfolgte die Beurteilung der Tauglichkeit für den Motorsport (uneingeschränkte Tauglichkeit, eingeschränkte Tauglichkeit)

Der Längsschnitt der Jahre 2003 bis 2017 zeigt eine insgesamt niedrige Prävalenz an internistisch-allgemeinmedizinischen und eine sehr geringe Prävalenz an kardialen anamnestischen Auffälligkeiten (Abb. 20). Inhaltlich handelt es sich bei den internistisch allgemeinmedizinischen Befunden um bekannte Allergien (Abb. 22), rezidivierende Infekte oder einzelne Krankheitsbilder wie eine Hämochromatose, oder eine chronisch-entzündliche Darmerkrankungen. Kardiale anamnestische Auffälligkeiten umfassen nahezu ausschließlich intermittierend auftretende Palpitationen sowie eine bekannte Extrasystolie.

Die Rate an orthopädisch auffälligen, anamnestischen Befunden schwankt über die Jahre zwischen 20 und 40%. Sie liegt damit rund 10-15% über der Prävalenz an internistisch allgemeinmedizinischen Auffälligkeiten. Häufiger handelt es sich bei den orthopädischen Auffälligkeiten um zurückliegende Verletzungen nach Unfällen im Kartsport (bereits vor Beginn der Motorsportkarriere) wie beispielweise Fehlstellungen nach Clavikulafrakturen, eine Instabilität des AC-Gelenkes nach ACG-Sprengung oder seltener

Wirbelsäulenfrakturen. Des Weiteren fanden sich Spondylolysen bzw. – listhesen und vorbestehenden untere Rückenbeschwerden.

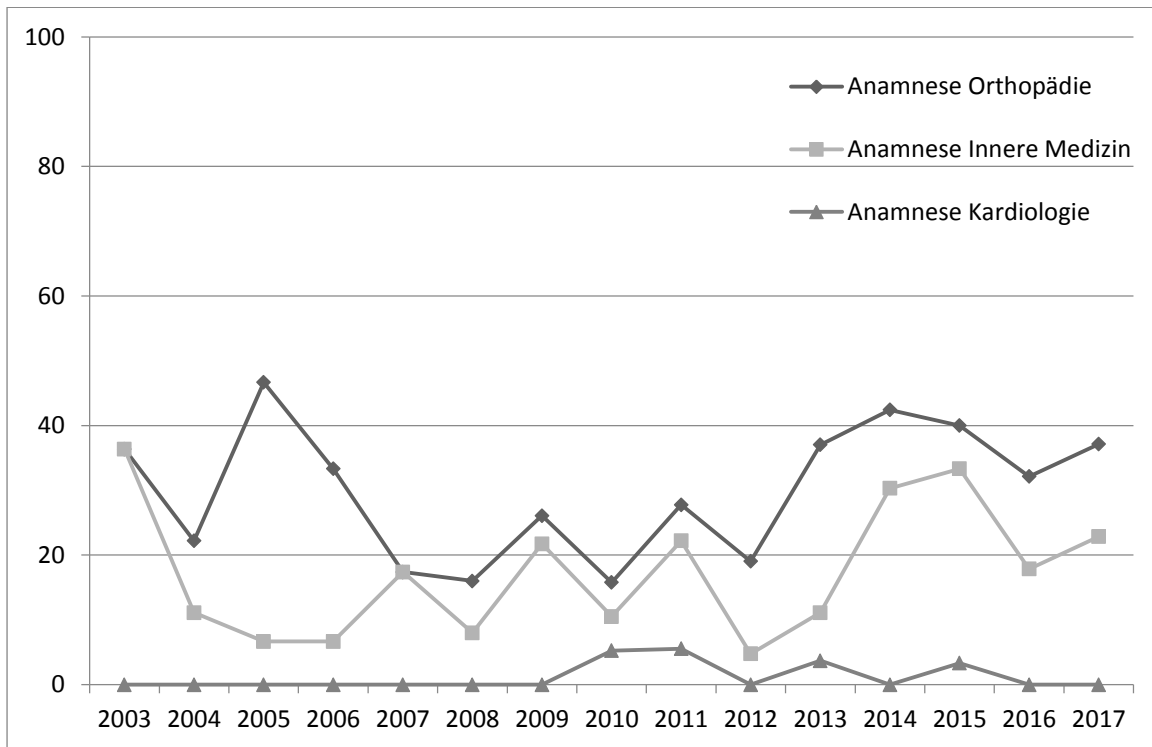


Abbildung 20: Prävalenz der anamnestischen Auffälligkeiten (prozentual) differenziert nach Fachgebieten (Innere Medizin, Orthopädie, Kardiologie) über den Beobachtungszeitraum von 2003- 2017.

Abb. 21 zeigt die Raten an auffälligen Untersuchungsbefunden während der klinischen Untersuchung. Auch hier fanden sich zu allen Untersuchungszeitpunkten orthopädische Auffälligkeiten (um 40%) deutlich häufiger als internistisch auffällige Befunde (rund 10-20%). Die orthopädisch auffälligen Befunde umfassten mehrheitlich die Sehnen der unteren Extremitäten (druckschmerzhafte Patella- und Achillessehnen), den lumbosakralen Übergang (Ventralisationschmerz L4-S1), Skoliosen und skoliotische Fehlhaltungen sowie Schmerzen im femoropatellaren Gleitlager. Klinisch äußerte sich dies mehrheitlich als Muskelhartspann, vorrangig der LWS. Internistisch-allgemeinmedizinisch auffällige klinische Befunde fanden sich v.a. im Bereich des Hals-Rachenraums (z.B. zerklüftete Tonsillen). Die Auskultation und Perkussion war mit Ausnahme einer Extrasystolie unauffällig. Die bekannten und im Verlauf ansteigende Zahl an Allergien waren bei der klinischen Untersuchung meist unauffällig. Allergische Symptome (u.a. Rhinitis) fanden sich saisonbedingt vereinzelt bei der Gesundheitsuntersuchung im Sommer. Die klinisch-neurologische Untersuchung war mit Ausnahme eines Befundes einer vorübergehend bestehende Kompression des N.

Ergebnisse

ischiadicus ebenfalls unauffällig (hier erfolgte eine weitere fachneurologische Abklärung).

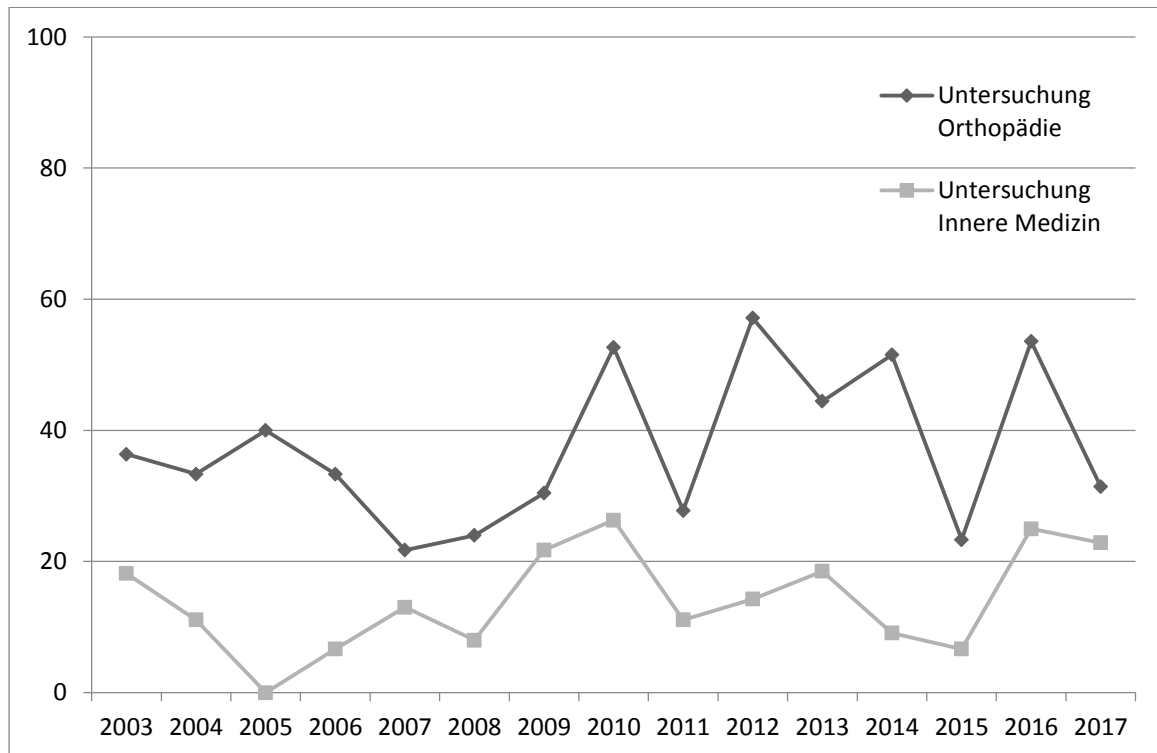


Abbildung 21: Prävalenz der auffälligen Untersuchungsbefunde (prozentual) differenziert nach Fachgebiet (Innere Medizin, Orthopädie) über den beobachtungszeitraum 2003-2017.

Im Rahmen der apparativen Diagnostik ergaben sich vereinzelt Einschränkungen des Visus in den letzten Untersuchungsjahren (Abb. 22). Darüber hinaus fanden sich bei zwei Athleten weiter abklärungsbedürftige Befunde im EKG (ventrikuläre Extrasystolie). Nach weiterer Diagnostik (Echokardiographie) ergab sich keine Einschränkung der Tauglichkeit für den Motorsport. Im Rahmen der Labordiagnostik fanden sich vereinzelt (je nach aktuellem Infekt) erhöhte Entzündungswerte. Bei 3 Athleten zeigte sich ein über mehrere Untersuchungen hinweg erhöhtes Ferritin >300. Bei einem Athleten führte dies zur Diagnose einer behandlungsbedürftigen Hämochromatose.

Die bildgebende Diagnostik bezog sich in der Mehrzahl der Fälle auf muskuloskeletale Befunde. Zu Beginn der Zugehörigkeit zum Rennsportteam wurden bei anamnestisch bekannten Rückenschmerzen Röntgenbilder der LWS angefertigt. Dabei ergaben sich zwei Spondylolisthesen Grad I nach Meyerding. Auffällig war im Verlauf eine zunehmende Anzahl an rezidivierenden Rückenschmerzen unter Belastung weshalb meist eine Bildgebung (LWS in zwei Ebenen) erfolgte. Mit Ausnahme der beschriebenen

Ergebnisse

Spondylolisthesen waren lediglich zwei weitere Fälle auffällig bei denen initiale degenerative Veränderungen im Sinne eine Spondylarthrose bzw. Osteochondrose befundet wurde. Zudem fand sich bei einem Athleten eine seit dem Wachstum bestehende Aufbaustörung L4. Bei Bedarf wurden zusätzlich MRT-Untersuchungen durchgeführt. Eine weitere therapeutische Konsequenz ergab sich dadurch allerdings nicht. In der Summe war somit von einer ansteigenden Zahl an unspezifischen Rückenbeschwerden auszugehen, die im Rahmen der sporttherapeutischen und physiotherapeutischen Betreuung als muskuläre Insuffizienz adressiert werden musste.

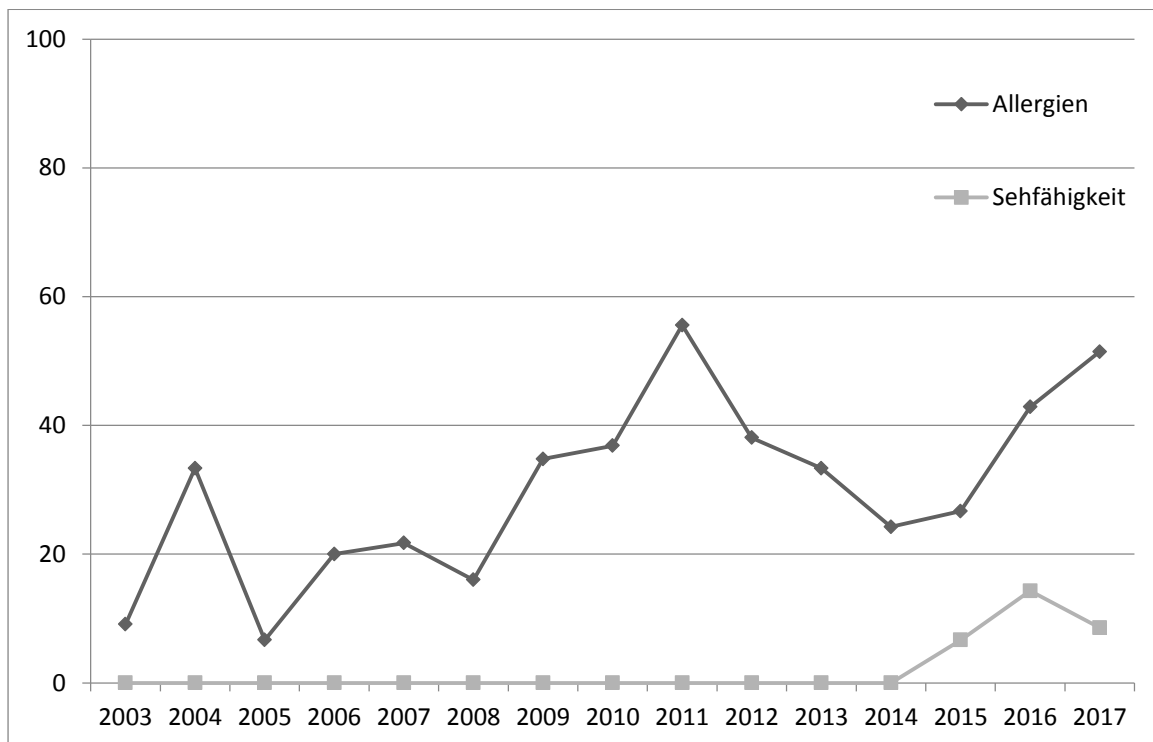


Abbildung 22: Prozentuale Häufigkeiten von Allergien und auffälligen Befunden im Sehtest bezogen auf die Gesamtanzahl der jährlich untersuchten Athleten über den beobachtungszeitraum von 2003-2017.

Die Summe der Befunde aus den Gesundheitsuntersuchungen führte zu etwa doppelt so vielen Befunden im muskuloskelettalen verglichen mit dem internistisch-allgemeinmedizinischen Bereich (Tab. 6). Auffällig ist die hohe Zahl an Infektionen, die hohe Zahl an Pathologien des lumbosakralen Übergangs (spezifische und unspezifische Rückenschmerzen, muskuläre Insuffizienz) sowie die im Motorsport nicht erwarteten Tendinopathien der oberen und unteren Extremität. Erwähnung finden sollte zudem die ansteigende Zahl an Allergien, meist mit Symptomen von Augen und Nase. Die übrigen in Tabelle 6 aufgeführten Diagnosen traten in geringerer Häufigkeit auf und

Ergebnisse

unterschieden sich nicht von erwarteten Häufigkeiten aus anderen Sportarten bzw. der Allgemeinbevölkerung.

Internistische Erkrankungen		
Allergien/Infekte	Allergien (symptomatisch)	8
	Wiederkehrende Infekte	23
Sonstiges	Kardiale Diagnosen	2
	Gastrointestinal	5
	Erbkrankheiten	4
Orthopädisch/Neurologische Erkrankungen		
Obere Extremität	Tendinopathien	4
	Instabilität	6
	Frakturen	5
Untere Extremität	Tendinopathien	5
	Instabilität/Bandläsion	7
	Frakturen	5
	Muskuläre Insuffizienz	10
Wirbelsäule/Rumpf	Instabilität	3
	Frakturen	5
	Chronisch unspezifischen Rückenschmerz (CURS)	11
	NPP/Prolaps/Aufbaustörung	6
	Muskuläre Insuffizienz	15

Tabelle 6: Zusammenfassung der wichtigsten Diagnosen mit Therapiebedarf bzw. der Notwendigkeit einer weiteren diagnostischen Abklärung. Ein Großteil der Pathologien war über mehrere Jahre auffällig. Die Mehrzahl führte vorübergehend zu einer Einschränkung der sportlichen Belastbarkeit.

Abgeleitet aus den Diagnosen wurden die Athleten im Nachgang der Grunduntersuchungen einer Therapie oder präventiven Interventionen zugeführt. Die Häufigkeit des Therapiebedarfs (internistisch oder orthopädisch) war insgesamt gering und lag in beiden Fachgebieten im Mittel unter 20% (orthopädisch etwas höher als internistisch). Die Art der Therapie bezog sich auf die jeweiligen Diagnosen und umfasste in der Mehrzahl der Fälle eine medikamentöse Behandlung bzw. bei muskuloskelettalen Beschwerden eine konservative Therapie vorrangig durch Physiotherapie oder Trainingstherapie (Abb. 23). Das Monitoring der Behandlung erfolgt entweder in Absprache mit den Hausärzten (bzw. am Heimatort befindliche Fachärzte) oder digital mit dem Zentrum der Betreuung in Potsdam. In wenigen Fällen wurden externe Kollegen anderer Fachrichtungen (u.a. HNO bei rezidivierenden Infekten der oberen Atemwege,

Ergebnisse

Gastroenterologie z.B. bei entzündlichen Darmerkrankungen, Hämatologie bei Hämochromatose) hinzugezogen.

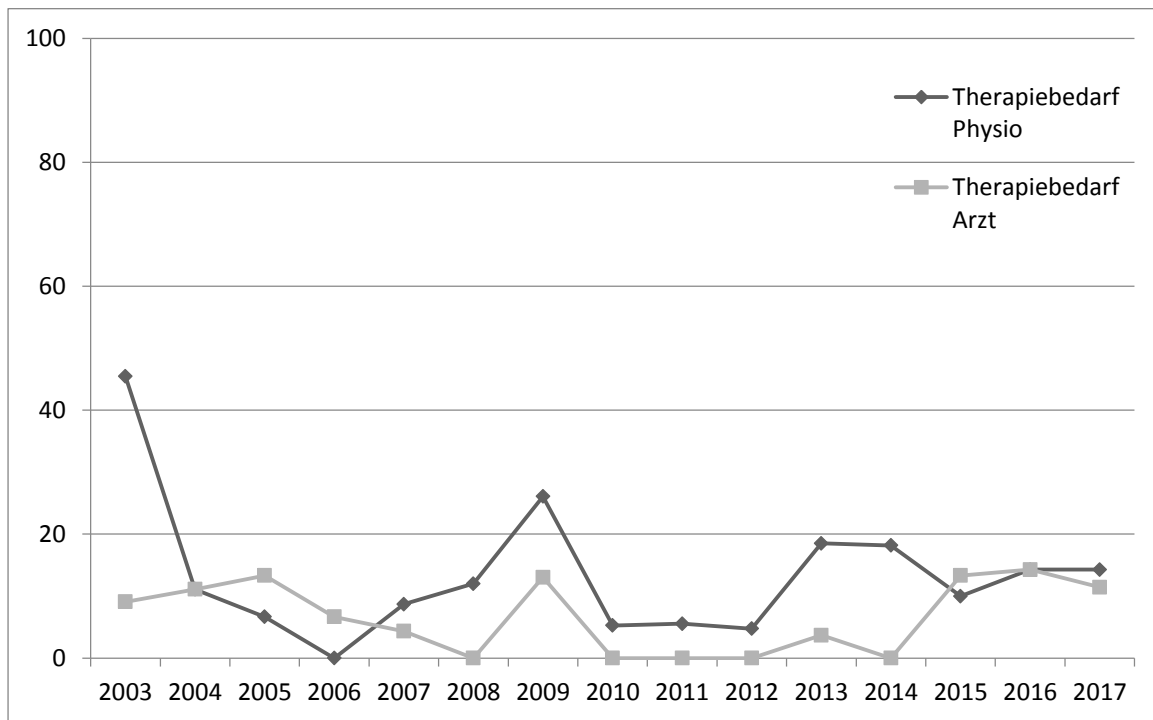


Abbildung 23: Prozentuale Häufigkeiten des physiotherapeutischen und ärztlichen Therapiebedarf bezogen auf die Gesamtanzahl der jährlich untersuchten Athleten über den Beobachtungszeitraum von 2003 – 2017.

Neben der diagnosespezifischen Therapie der einzelnen Krankheitsbilder wurden alle Athleten einem systematischen Präventionsprogramm zugeführt. Als Grundlage zur Infektprophylaxe führten alle Athleten ein aerobes Grundlagenausdauertraining entsprechend den Trainingsempfehlungen der Laufbad- oder Fahrradergometrie durch. Zusätzlich wurden Hygienemaßnahmen regelmäßig im Rahmen der Jahresgrunduntersuchungen geschult. Im muskuloskeletalen Bereich stand die Stabilisation des Rumpfes (Prävention von rezidivierenden Rückenschmerzen) sowie ein sensomotorisches Training der unteren Extremität und Einbindung validierter exzentrischer Trainingsmodule (Prävention von Tendinopathien) im Vordergrund (s. Anhang). Beide Trainingsprogramme wurden im Rahmen der Gesundheitsuntersuchungen regelmäßig geschult und trainiert. Die Athleten hatten folglich die Programme selbständig unabhängig vom Aufenthaltsort (z.B. zuhause oder an der Rennstrecke) durchzuführen.

4.2. Analyse der ärztlichen Rennbetreuung (2015, 2016)

Die Analyse der Akutbeschwerden der Motorsportler während Renneinsätzen erfolgte für die Jahre 2015 und 2016 anhand einer webbasierten Datenbank. Die Daten wurden von zwei betreuenden Ärzten jeweils mit Bezug zu den Renneinsätzen nach einem vorgegebenen Schema dokumentiert. Differenziert wurde dabei nach der Art, Lokalisation und Ursache der der Beschwerden. Zusätzlich wurden die Diagnosen und die daraus abgeleiteten therapeutischen Konsequenzen festgehalten. Da nur bei einer Renndauer von über 6 Stunden eine ärztliche Betreuung der Fahrer vor Ort durch das betreuende Zentrum gewährleistet wird, gingen für die beiden analysierten Jahre jeweils 6 Rennen in die Auswertung ein (26h Daytona, 12h Sebring, 24h Nürburgring, 24h Le Mans, 6h Watkins Glen, 10h Atlanta; 2016: 24h Nürburgring, 24h Spa, 24h Daytona, 12h Sebring, 10h Atlanta, 24h Le Mans).

Insgesamt waren im Jahr 2015 65 und im Jahr 2016 57 Vorstellungen während der Renneinsätze dokumentiert (Abb. 24). Der überwiegende Anteil davon waren neu aufgetretene Beschwerden während des Rennens (über 70% in beiden Jahren). Demzufolge waren rund ein Viertel der Konsultationen Wiedervorstellungen (bereits vorbestehende Pathologien oder Wiedervorstellungen während des Rennens). Die Verteilung auf internistische und orthopädische Beschwerdebilder hielt sich in etwa die Waage mit einem Verhältnis von 60:40% in beiden Jahren, einmal zu Gunsten der internistischen und einmal zu Gunsten der orthopädischen Beschwerden (Abb. 24). Auf die Frage, ob diese Beschwerden (Art, Lokalisation, Ursache) zum ersten Mal auftraten, oder ob sie bereits für den Athleten bekannt waren (also wiederkehrend), gaben rund 70% in 2015 und über 60% in 2016 an, dass es sich um erstmals auftretende Beschwerden handle.

In Abb. 25 sind die Ursachen der Beschwerden und Lokalisation dargestellt. Bezüglich der eindeutig zuzuordnenden Ursachen fanden sich in rund 25% der Fälle eine Infektion und in 20 % (2015) bzw. 10% (2016) der Fälle eine akute Überlastungsreaktion. Deutlich geringer war die Rate an akuten Verletzungen während der Einsätze (kleiner als 5% in beiden Jahren). Der überwiegende Anteil der Beschwerden ließ sich bei der aktuellen Vorstellung keiner eindeutigen Ursache zuordnen.

Ergebnisse

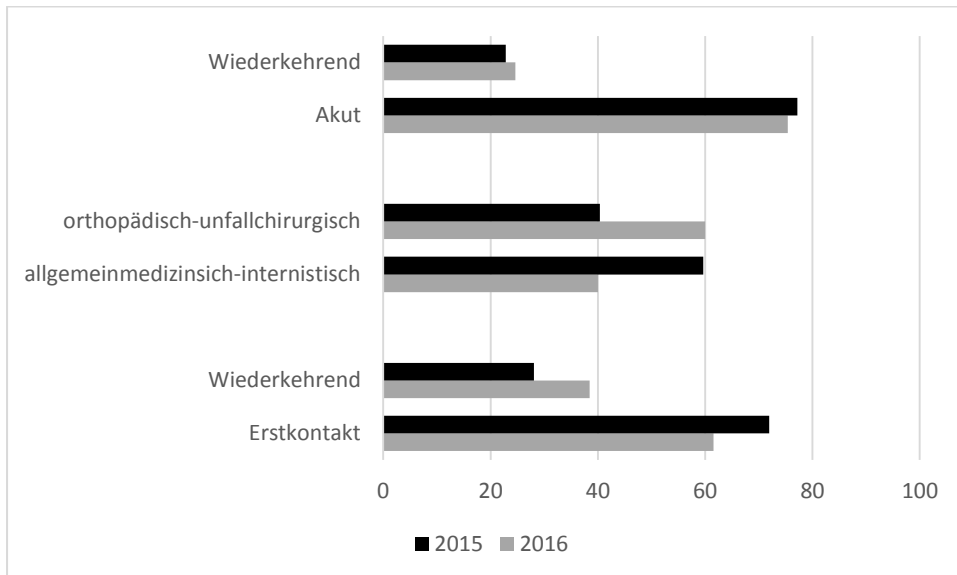
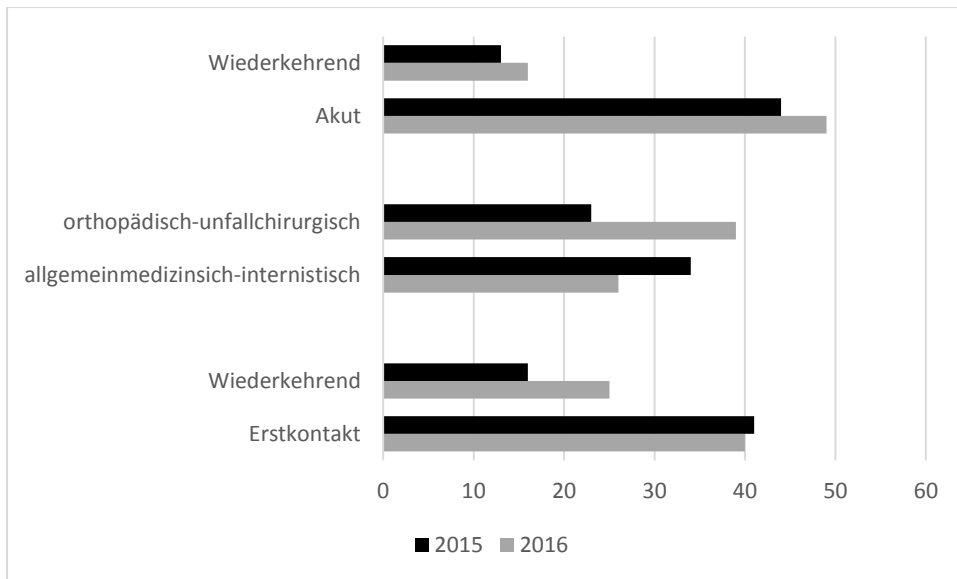


Abbildung 24: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) des Auftretens und der Fachgebietszuordnung von aktuellen Beschwerden im Motorsport während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

Bezüglich der Lokalisationen findet sich eine Häufung im Bereich Kopf und Hals (ca. ein Drittel der Beschwerdebilder, Abb. 25). Ein weiteres Drittel der Beschwerden ließ sich in beiden Jahren auf Wirbelsäule und Rumpf nachweisen, wobei die Wirbelsäule deutliche häufiger betroffen war (Abb. 25). Weniger häufig wären bei den Renneinsätzen Beschwerden der unteren Extremität (weniger als 10%). Pathologien der oberen Extremitäten traten in den beiden untersuchten Jahren nur selten auf.

Ergebnisse

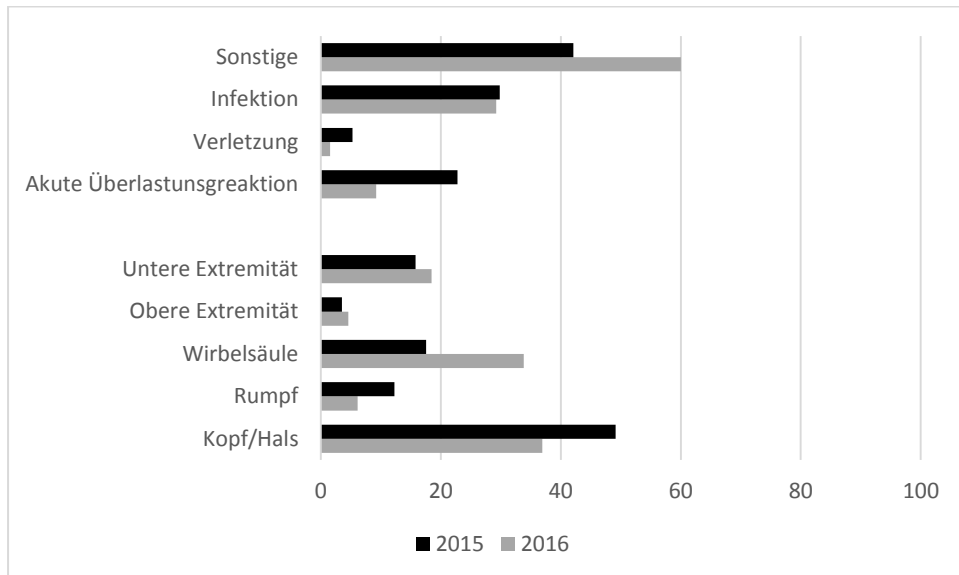
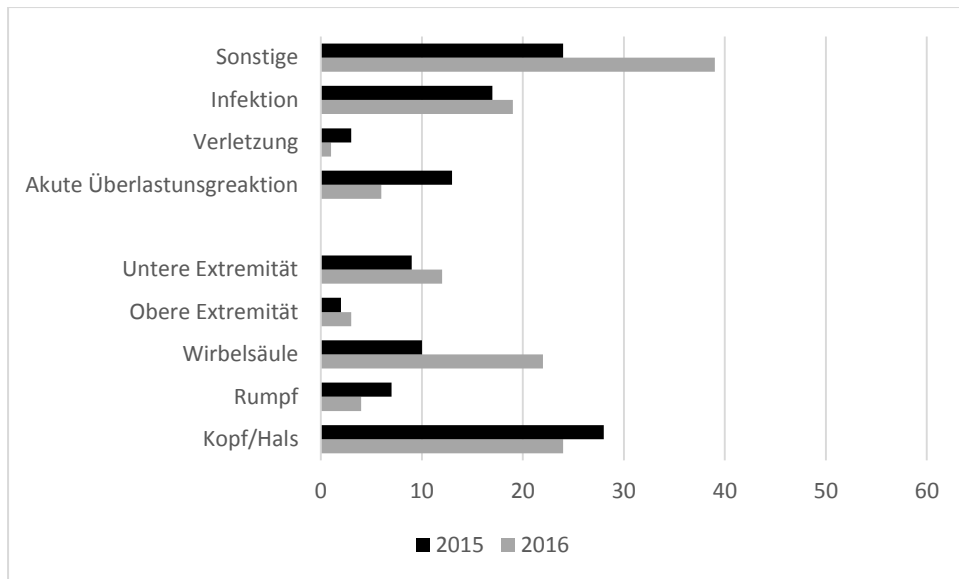


Abbildung 25: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) der Art und Lokalisation von aktuellen Beschwerden im Motorsport während der Rennensätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

Die Zuordnung der Diagnosen die während der Einsätze gestellt worden sind in Tab. 7 dargestellt. Auf internistisch-allgemeinmedizinischem Gebiet findet sich eine deutliche Häufung von Infektionen, insbesondere der oberen Atemwege, gefolgt von gastrointestinalen Infektionen (Tab. 7). Seltener traten allergische Reaktionen und Kopfschmerzen auf. Zusätzlich wurden einzelne Fälle von Beschwerden an Auge, Ohr und Zähnen bzw. weitere, eher allgemeine Symptome wie Schwindel und Unwohlsein erhoben.

Ergebnisse

		2015	2016
Internistische Erkrankungen			
Allergien/Infekte	akute Allergien (symptomatisch)	3	1
	akuter Infekt (HNO)	15	14
	akuter Infekt (gastrointestinal)	4	6
	grippaler Infekt	2	1
Sonstiges	Kopfschmerzen	3	5
	Auge/Ohr/Zähne	3	0
	Schwindel/Unwohlsein	1	3
Orthopädisch/Neurologische Erkrankungen			
Kopf	Kopfverletzung	0	2
Obere Extremität	Tendinopathien/Bursitiden	1	0
	Kontusion/Distorsion	3	1
	Frakturen	1	0
Untere Extremität	Tendinopathien/Bursitiden	3	5
	Kontusion/Distorsion	2	6
	Sonstige	4	4
Wirbelsäule/Rumpf	Akut HWS (Blockierung, Hartspann, Distorsion)	13	6
	Akut BWS (Blockierung, Hartspann)	5	2
	Akut LWS (Blockierung, Hartspann, Ischialgie)	2	4

Tabelle 7: Zusammenfassung der wichtigsten Diagnosen mit Therapiebedarf während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

Unter den muskuloskelettalen Beschwerdebildern waren insbesondere Krankheitsbilder der HWS häufig. Es folgten weitere Lokalisationen der Wirbelsäule (BWS und LWS). Im Wesentlichen handelte es sich dabei um funktionelle Störungen, die sich in akuten Blockierungen und Verspannungen der Muskulatur zusammenzufassen waren (Tab. 7). Wesentlich seltener stellten sich die Fahrer mit Beschwerden der unteren Extremität ärztlich vor. Hierbei traten vorrangig Tendinopathien (u.a. durch Bremsbelastungen im Auto) sowie Kontusionen durch (kleinere) Unfälle auf.

Die Therapie vor Ort bestand hauptsächlich aus einer medikamentösen Therapie oder der Indikation zur Physiotherapie (durch den begleitenden Physiotherapeuten vor Ort). Im Rahmen der Physiotherapie wurden insbesondere lokale Massagetechniken (hauptsächlich Querfriktionen nach Cyriax) oder Manualtherapie (v.a. bei Hypomobilitäten der Gelenke) angewandt (Abb. 26). Seltener wurde eine Trainingstherapie vor Ort eingesetzt. Dennoch waren die Athleten aufgefordert (insbesondere bei den Wirbelsäulenbefunden) ihre individuell angepassten

Ergebnisse

Trainingsprogramme zur Stabilisation des Rumpfes und zur sensomotorischen Optimierung selbständig auch während der Renneinsätze anzuwenden.

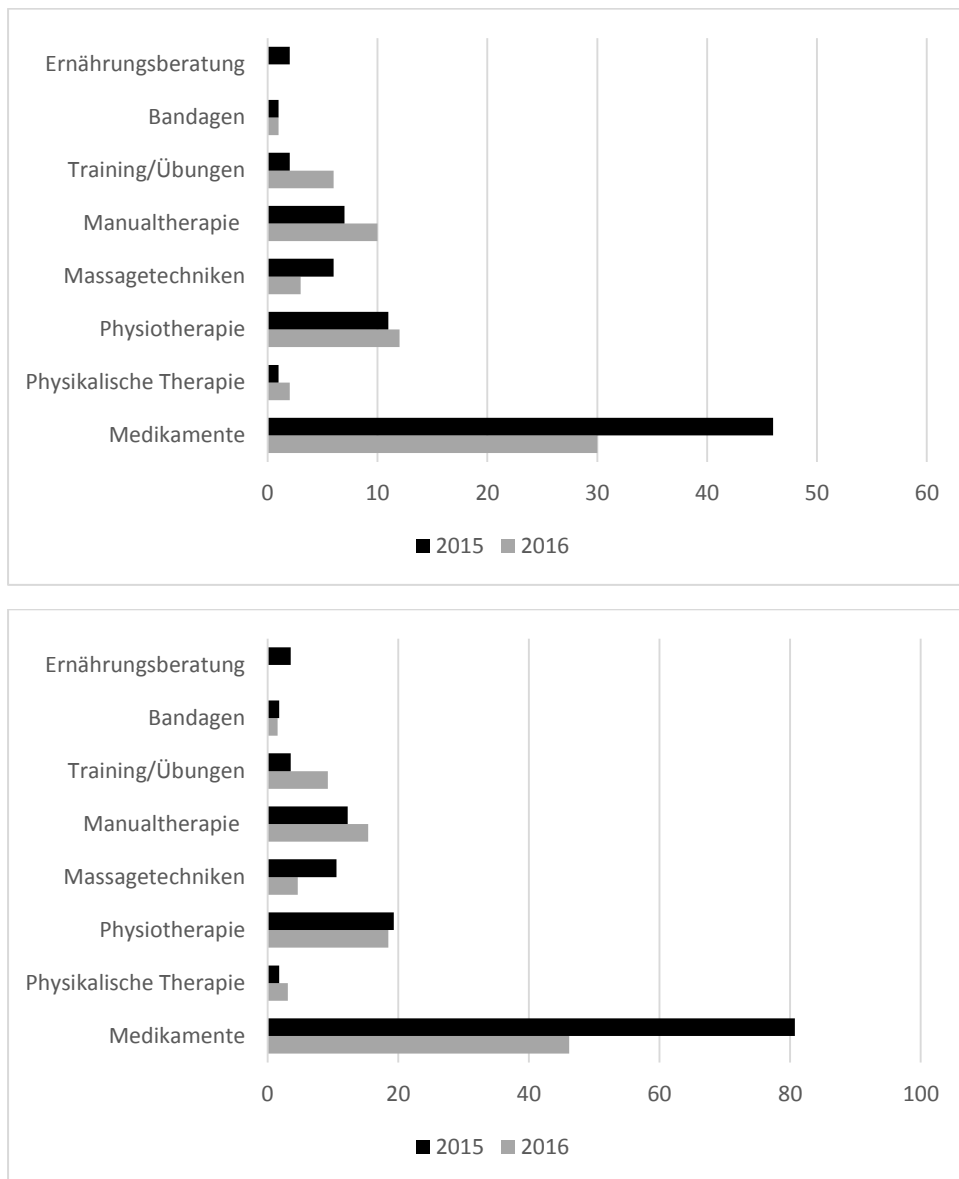


Abbildung 26: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) der durchgeführten Therapieformen während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

In der Mehrzahl der Fälle war die Tauglichkeit für den Motorsport durch die Krankheitsbilder während der Einsätze nicht eingeschränkt. Bei einer vorübergehenden Einschränkung handelte es sich meist um Infekte, die einer medikamentösen Therapie zugeführt wurden oder um muskuloskeletale Beschwerden die entweder medikamentös oder physiotherapeutisch behandelt wurden. Keine der Pathologien führte in den Jahren 2015 und 2016 zu einem Ausschluß vom Wettkampf (Rennen). 15-20% der Fälle wurden während eines Renneinsatzes mehrfach ärztlich behandelt. In

Ergebnisse

Einzelfällen erfolgte die Hinzuziehung von Kollegen weiterer Fachrichtungen vor Ort (Abb. 27).

Tabelle 8: Zusammenfassung der applizierten Medikation während der Akutbetreuung vor Ort für den analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

	2015	2016
Nichtsteroidale Antirheumatika	17	17
Paracetamol	4	3
Aspirin	0	0
Novalgin	4	5
Antibiotika	0	0
Nasentropfen	7	5
Augentropfen	0	2
Ohrentropfen	0	1
Salben	0	8
Antiallergika	0	2
Gastrointestinale Medikation	6	9
Halstabletten/ACC	7	9
Zink	4	3

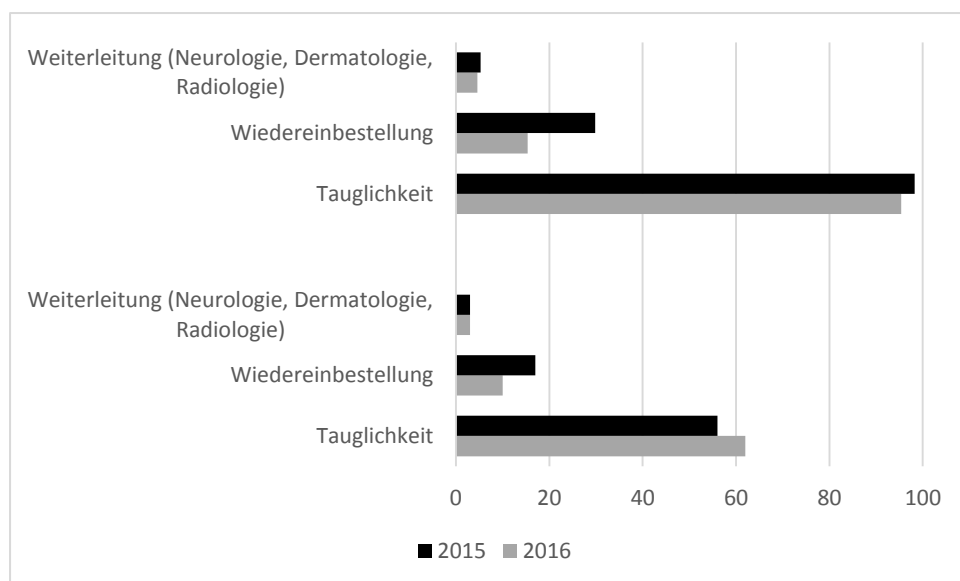


Abbildung 27: Absolute Zahlen (unten) und prozentuale Häufigkeiten (oben) der abgeleiteten Konsequenz nach Empfehlung weiterer Abklärung, notwendiger Wiedervorstellung und Tauglichkeit für den Motorsport der aktuellen Beschwerden während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).

4.3. Analyse der körperlichen Leistungsfähigkeit bei jährlicher Erfassung (2003-2017)

Die Daten der körperlichen Leistungsfähigkeit wurden im Rahmen der jährlichen Gesundheitsuntersuchungen erfasst. In Abhängigkeit der jeweiligen Datenerhebung liegen unterschiedlich lange Längsschnittdarstellungen der Ergebnisse vor. Sofern möglich erfolgte ein Längsschnitt über 15 Jahre (2003-2017). Auf Grund der Variabilität der Messsituation bzw. der Messprotokolle und die Hinzunahme unterschiedlicher Testsituationen zu einem späteren Zeitpunkt ist eine konsequente Darstellung aller Jahre nicht bei allen Messgrößen möglich.

4.3.1. Ausdauerleistungsfähigkeit

Für die Ausdauerleistungsfähigkeit wurden Belastungstests sowohl auf dem Fahrrad als auch auf dem Laufband absolviert. Zur Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Laufband (Stufenprotokoll $8\text{km}^{\text{h}^{-1}}/2\text{km}^{\text{h}^{-1}}/3'$) wurde die geleistete Geschwindigkeit auf dem Laufband einmal an der IAS (Abb. 28) und einmal maximal (Abb. 32) ermittelt. Hinzu kamen die maximale Sauerstoffaufnahme (Abb. 33: $\text{VO}_{2\text{max}}$ [ml/min/kg]) sowie die Laktatkonzentration [mmol] (Abb. 31) und Herzfrequenz [bpm] (Abb. 30) jeweils an der IAS. Die Geschwindigkeit an der IAS liegt im Mittel um 12 km/h (5:00/1000m) und steigt über die Jahre geringfügig bis zu einem Maximum in 2014 (>13km/h) an. Betrachtet man den Vergleich innerhalb der beiden jährlichen Gesundheitsuntersuchungen so findet sich im Wesentlichen kein Unterschied in Abhängigkeit des Messzeitpunktes innerhalb der Saison (vgl. Abb. 29).

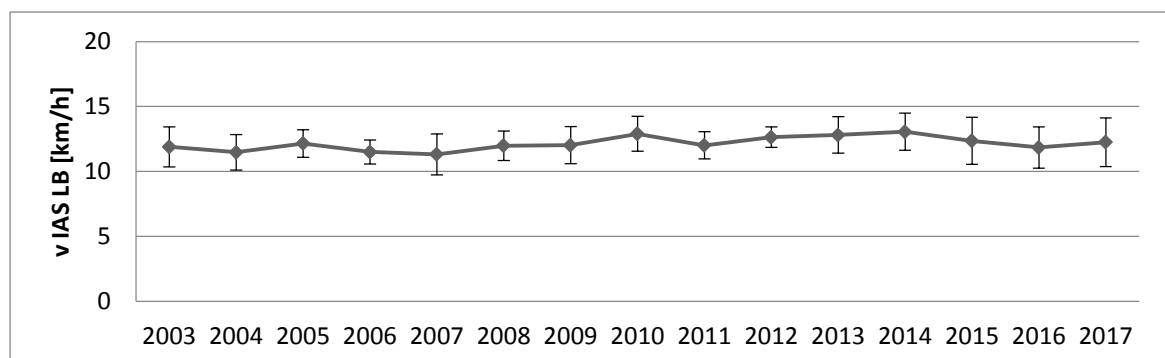


Abbildung 28: Geschwindigkeit an der IAS auf dem Laufband [vIAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2003-2017 (MW \pm SD).

Ergebnisse

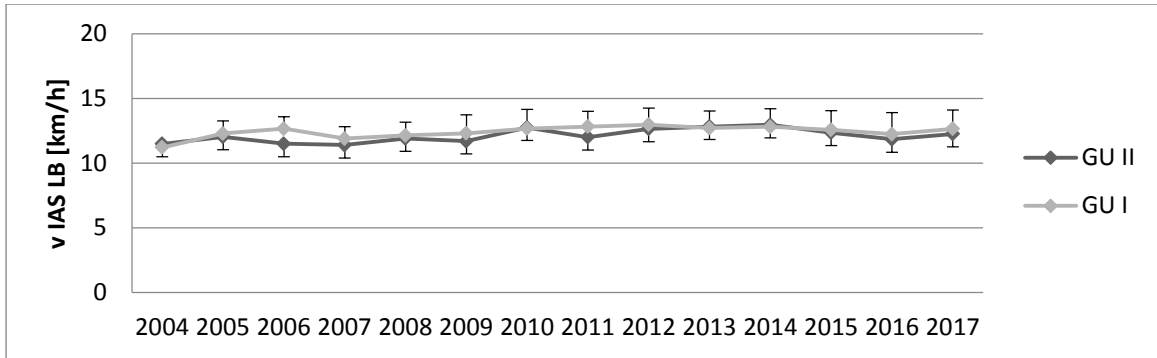


Abbildung 29: Geschwindigkeit an der IAS auf dem Laufband unterschieden nach GU I + II im Längsschnitt aller Fahrer von 2004-2017 (MW \pm SD).

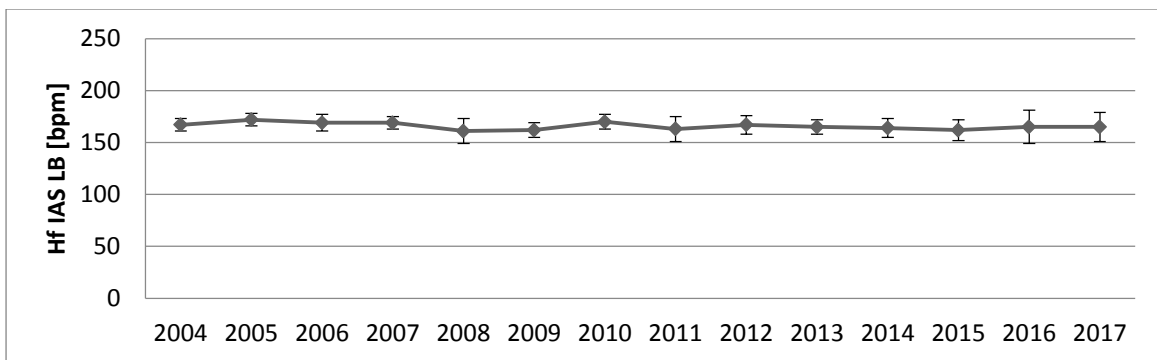


Abbildung 30: Herzfrequenz an der IAS auf dem Laufband [Hf IAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer 2004-2017 (MW \pm SD).

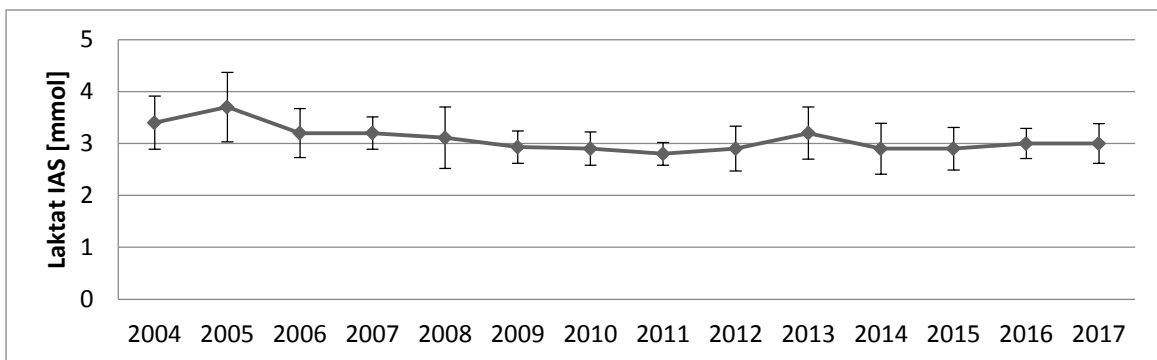


Abbildung 31: Laktatkonzentration an der IAS auf dem Laufband [Laktat IAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2004-2017 (MW \pm SD).

Die Herzfrequenz an der IAS ist im Längsschnittvergleich nahezu konstant und unterliegt nur geringen Schwankungen. Sie liegt bei etwa 160 Schlägen pro Minute [bpm]. Für die maximale gemessene Herzfrequenz zeigen sich vergleichbare Ergebnisse. So liegt diese über 190 bpm was einer Ausbelastung entspricht. Die Standardabweichung über die Jahre ist vergleichbar mit derjenigen der Herzfrequenz an der IAS.

Ergebnisse

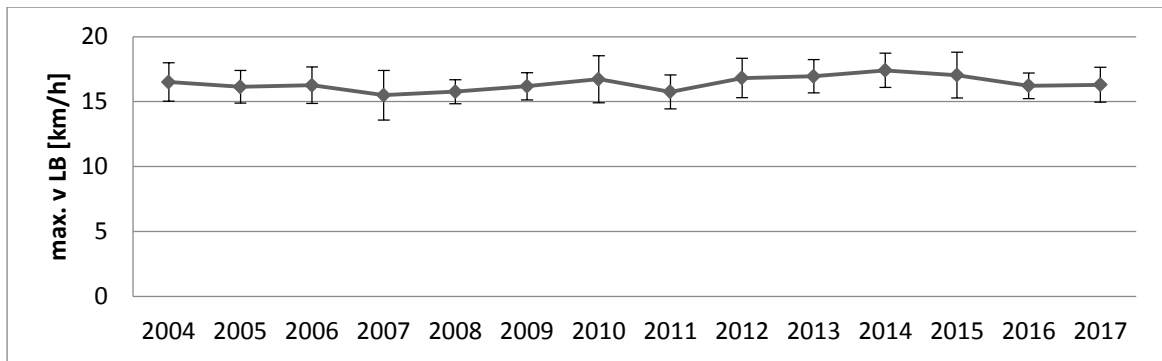


Abbildung 32: Maximal geleistete Geschwindigkeit auf dem Laufband [max. v LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2003-2017 (MW \pm SD).

Bei der Beurteilung der maximal absolvierten Geschwindigkeit zeigt sich im Wesentlichen ein Anstieg bis zum Jahr 2014 und vergleichbar mit der ermittelten Geschwindigkeit an der IAS eine dann geringfügige Reduktion. Für die erfasste maximale Sauerstoffaufnahme zeigt sich im Mittel ein stabiler Verlauf über die untersuchten Jahre um 50 ml/min/kg. Dies lässt auf eine durchschnittlich gute Ausdauerleistungsfähigkeit schließen (vgl. Dickhuth 2007) (Abb. 33).

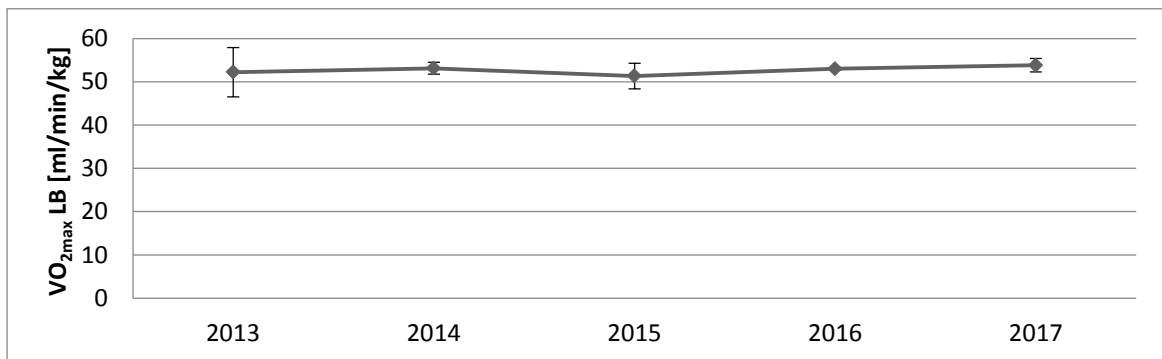


Abbildung 33: maximale Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband [VO_{2max} LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2013-2017 (MW \pm SD).

Für die weitere Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit auf dem Fahrradergometer (Stufenprotokoll 50W/50W/3') wurden sowohl die erbrachte Leistung an der IAS (IAS rel. P) als auch die maximal erreichte Leistung (Max. rel. P) betrachtet. Beide Parameter sind normiert auf das Körpergewicht dargestellt (vgl. Tab. 9). Die relative Leistung an der Schwelle bewegt sich um 2 Watt/kg. Die maximale Differenz über die Jahre betrug 24% vom höchsten (2015) zum geringsten (2014) Wert. Die maximale relative Leistung schwankt zwischen 3,59Watt/kg (Min.) und 4,42Watt/kg (Max.). In den Jahren 2009-2013 wurden andere Protokolle auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Die

Ergebnisse

Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist daher nicht möglich. Zur besseren Übersicht wurde daher auf die Darstellung dieser Ergebnisse verzichtet.

Tabelle 9: Erbrachte Leistung auf dem Fahrradergometer (Maximal (Max. rel. P)/Schwelle (IAS rel. P)) normiert auf das Körpergewicht für die Jahre 2003-2008 und 2014-2017 aller Fahrer (MW ± SD).

Jahr	Max. rel. P [Watt/KG]	IAS rel. P [Watt/kg]
2003	3,74±0,79	2,47±0,48
2004	4,06±0,56	2,48±0,18
2005	3,59±0,4	2,12±0,43
2006	3,59±0,66	2,11±0,3
2006	3,8±0,57	2,02±0,17
2008	3,56±0,65	1,96±0,41
2014	3,68±0,57	1,9±0,43
2015	4,42±0,54	2,5±0,3
2016	3,87±0,56	2,35±0,43
2017	3,75±0,97	2,18±0,54

4.3.2. Kraftleistungsfähigkeit

Bezüglich der Kraftleistungsfähigkeit ließ sich bei vergleichbarem Verfahren für die isokinetische Rumpfextension und –flexion der Längsschnitt von 2007-2017 und für die Beinextension der Verlauf von 2011-2017 analysieren. Zur Beurteilung der maximalen Kraftleistungsfähigkeit wurden jeweils die absoluten sowie die normierten Werte (auf das Körpergewicht) dargestellt.

Rumpfextension/-flexion

Die Rumpfextension zeigt Werte von 250Nm bis 315Nm. Dies entspricht einer Variabilität von 21% entsprechend einem klinisch relevanten Kraftunterschiedes. Es ist kein kontinuierlicher Anstieg über die Jahre erkennbar. In den Jahren 2008, 2011 und 2015 sind jeweils die höchsten Werte zu verzeichnen. Die prozentuale Veränderung über die Jahre betragen 22% (2007-2008), 2% (2008-2009), 2% (2009-2010), 7,6% (2010-

Ergebnisse

2011), 3,4% (1011-1012), 7,7% (2012-2013), 4,7% (2013-2014), 3% (2014-2015), 8% (2015-2016) und 6% (2016-2017). Die Rumpfflexionskraft zeigt einen deutlich stabileren Verlauf über die Jahre. Es wurden Werte von 155Nm (min.) bis 200Nm (max.) erreicht. Analog zur Extension ist hier ebenfalls kein kontinuierlicher Anstieg erkennbar. Die Schwankung ist gering und zeigt stabile Werte ab Untersuchungsjahr 2014. Die normierte Darstellung lässt keine größeren Gewichtsschwankungen erkennen, was auf das stabile Körpergewicht der Athleten zurückzuführen ist.

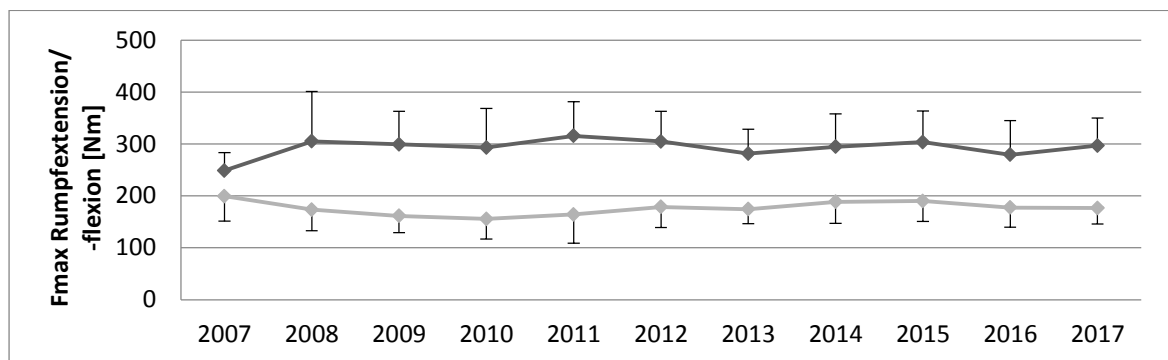


Abbildung 34: Längsschnitt der absoluten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Rumpfextension (dunkelgrau) und -Flexion (hellgrau) bei 60°/s der Athleten über 10 Jahre als MW ± SD

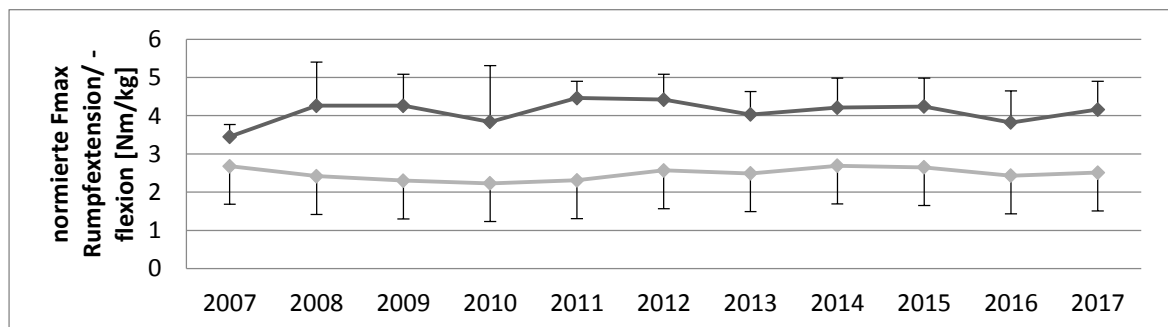


Abbildung 35: Längsschnitt der normiert gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Rumpfextension (dunkelgrau)/ -Flexion (hellgrau) bei 60°/s der Athleten über 10 Jahre als MW ± SD.

Beinextension

Es liegt keine klinisch relevante Seitendifferenz der Beinextensionskraft vor. Die Unterschiede bewegen sich zwischen 5 (max.) bis 0% (min) im Seitenvergleich.

Im Längsschnitt zeigt sich ein stabiler Verlauf, lediglich mit Saison 2016 ist eine Reduktion der Extensionskraft erkennbar. So reduzierte sich die Kraft von 2015 zu 2016 von 1300N auf 1050N um 24% über die Gruppe. Die Beinkraft entspricht damit knapp

Ergebnisse

dem doppelten des Körpergewichts, was als zufriedenstellend bis gut beurteilt werden kann.

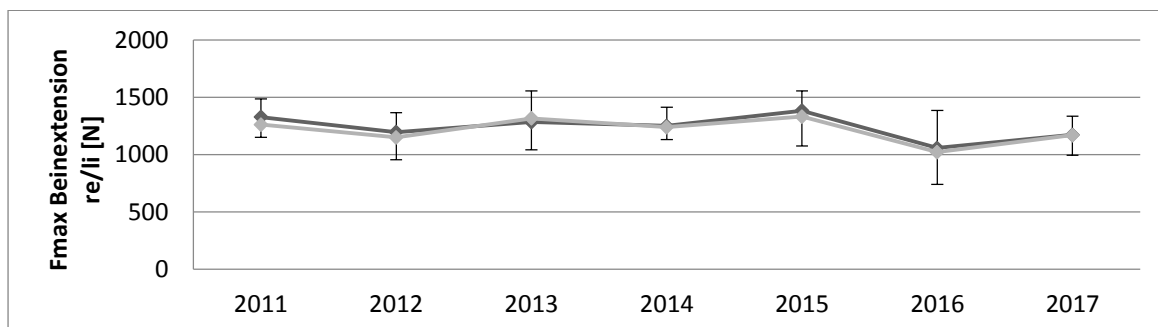


Abbildung 36: Längsschnitt der absolut gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Beinextension rechts (dunkelgrau) und links (hellgrau) bei 0,3m/s der Athleten über 6 Jahre als MW \pm SD.

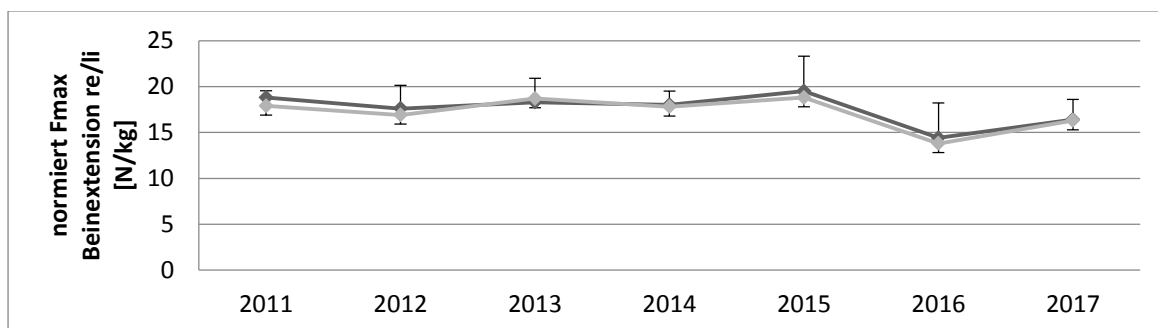


Abbildung 37: Längsschnitt der normiert gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Beinextension rechts (dunkelgrau) und links (hellgrau) bei 0,3m/s der Athleten über 7 Jahre als MW \pm SD.

Für die Jahre 2015 und 2016 sind die Ergebnisse der Kraftleistungsdiagnostik separat dargestellt (vgl. Tab. 11-13). Dargestellt sind, die absoluten Werte jeweils zum Zeitpunkt der Saisonvorbereitung im Rahmen der GU I. Darüber hinaus wurde zur Auswertung der Beinkraft zusätzlich die Seitendifferenz (absolut und prozentual) und das Vielfache des Körpergewichtes, sowie für die Rumpfkraft das Verhältnis (Ex/Flx) berechnet (Tab. 10-12).

Tabelle 10: isokinetische Maximalkraft der Beinextension konzentrisch für das rechte und linke Bein als Absolutwert (Fmax unilateral), als ein Vielfaches des Körpergewichtes und das Verhältnis re/li bzw. der prozentuale Unterschied re/li (MW ± SD).

Jahr	Anzahl [N]	Fmax unilateral kon re [N]	Fmax unilateral kon li [N]	Verhältnis kon re/li	Verhältnis re/li [%]	Vielfaches des KG; kon re [n- fache des KG]	Vielfaches des KG; kon li [n- fache des KG]
2015	13	1382,68 ± 224,16	1330,55 ± 308,99	1,03 ± 0,72	3,92	1,96 ± 0,24	1,89 ± 0,38
2016	10	1069,9 ± 382	1025,78 ± 333,66	1,04 ± 1,14	4,3	1,46 ± 0,52	1,4 ± 0,45

Tabelle 11: isokinetische Maximalkraft der Beinextension exzentrisch für das rechte und linke Bein dargestellt als Absolutwert (Fmax unilateral), als ein Vielfaches des Körpergewichtes und das Verhältnis re/li bzw. der prozentuale Unterschied re/li (MW ± SD).

Jahr	Anzahl [N]	Fmax unilateral exz re [N]	Fmax unilateral exz li [N]	Verhältnis exz re/li	Verhältnis exz re/li [%]	Vielfaches des KG; exz re [n- fache des KG]	Vielfaches des KG; exz li [n- fache des KG]
2015	13	2169,28 ± 607,04	2105,07 ± 436,72	1,03 ± 0,10	3,9	3,10 ± 0,79	2,99 ± 0,61
2016	10	1342 ± 628,14	1292,09 ± 616,07	1,03 ± 1,01	3,86	1,83 ± 0,85	1,76 ± 0,84

Tabelle 12: Isokinetische Maximalkraft [Fmax] der Rumpfextension/-flexion konzentrisch [kon] als Absolutwert [Nm] und das Verhältnis Fix/Ex (MW ± SD).

Jahr	Anzahl [N]	Fmax Ex kon [Nm]	Fmax Fix kon [Nm]	Verhältnis kon Ex/Fix
2015	13	303,38 ± 60,10	190,09 ± 39,49	0,63 ± 0,08
2016	10	274,52 ± 67,29	180,93 ± 37,83	0,66 ± 0,56

4.3.3. Sensomotorische Leistungsfähigkeit und Reaktionsfähigkeit

Zur Beurteilung der Einbeinstandstabilität wurde der „Center of Pressure“ (CoP) ermittelt. Es ist keine Seitendifferenz erkennbar. Im Längsschnitt reduziert sich der CoP um 23%. Das entspricht im Mittel einer Reduktion von 10cm von 2014 zu 2017. Die höhere Standardabweichung im Jahr 2016 zeigt einen höheren individuellen Unterschied der Athleten (Abb. 38).

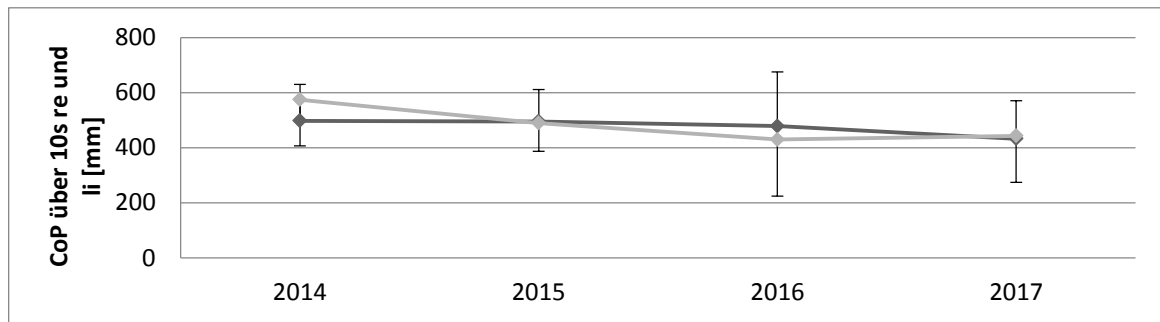


Abbildung 38: Center of Pressure (CoP) über 10s im Einbeinstand: li. dunkelgrau; re. hellgrau der Athleten von 2014-2017 (MW ± SD).

Für die komplexe sportmotorische Leistungsfähigkeit zeigt sich vor allem die eingeschränkte Fähigkeit der Absolvierung des DJ bei einer Bodenkontaktzeit von weniger als 200ms (Abb. 39). Bei der Darstellung der Einzelwerte für die Jahre 2015 und 2016 (vgl. Abb. 40-41) zeigt sich, dass lediglich 1 Athlet von 12 in 2015 und 4 von 10 im Jahr 2016 die Aufgabe mit einer Kontaktzeit von weniger als 200ms absolvierten. Zudem zeigen sich große individuelle Unterschiede vor allem für die Jahre 2015 und 2016 (Abb. 39).

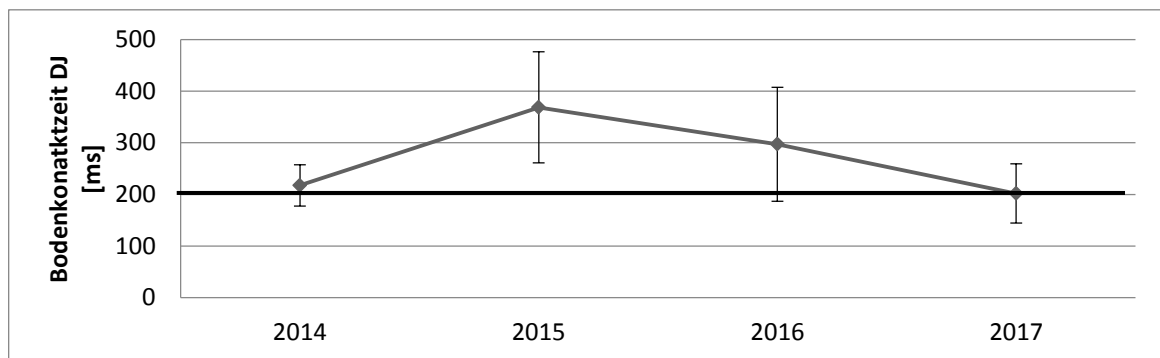


Abbildung 39: Bodenkontaktzeit des Drop Jumps von einem 30cm hohen Podest der Athleten von 2014-2017 (MW ± SD).

Ergebnisse

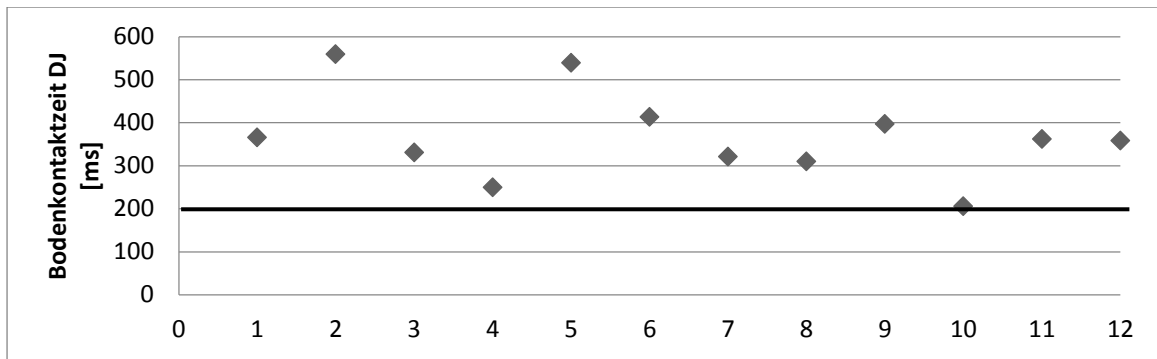


Abbildung 40: Bodenkontaktzeit (Einzelwerte) des DJ von einem 30cm hohem Podest aller Athleten im Jahr 2015 (schwarze Linie als Cut off des DJ).

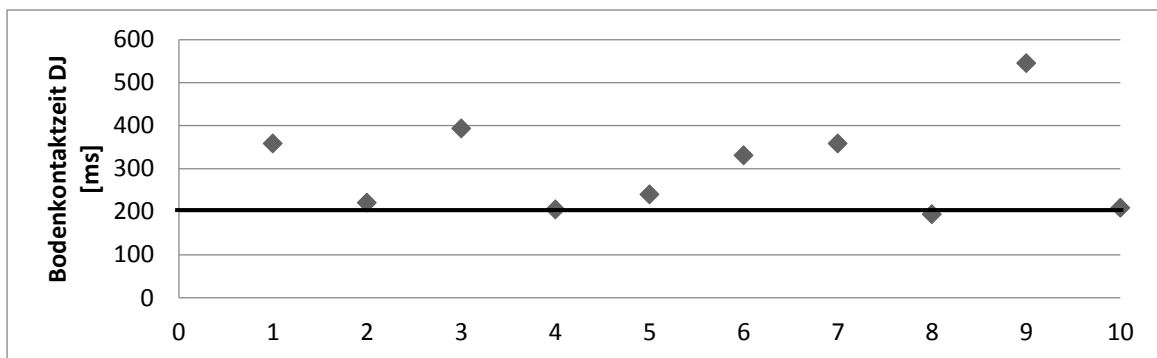


Abbildung 41: Bodenkontaktzeit (Einzelwerte) des DJ von einem 30cm hohem Podest aller Athleten im Jahr 2016 (schwarze Linie als Cut off des DJ).

Die Bodenkontaktzeit zeigt darüber hinaus eine hohe Range von bis zu 351ms (194-545ms) im Vergleich der Athleten.

Bezüglich der Messung der Reaktionszeit mit dem Wiener Testsystem zeigt sich sowohl in der mittleren motorischen Zeit als auch bei der mittleren Reaktionszeit ein stabiler Verlauf im Längsschnitt. Ein vergleichbar stabiles Bild zeigt sich bei den „richtig reagierten“ Reaktionen aus dem Determinationstest. Bei 16 vorgegebenen Reizen wurde am häufigsten im Jahr 2011 „nicht richtig reagiert“ ($15,33 \pm 1,15$) (vgl. Tab. 13).

Ergebnisse

Tabelle 13: "Richtig reagierte" Reaktionen, mittlere Reaktionszeit und mittlere motorische Zeit des Wiener Tests aller Athleten von 2011-2017 (MW \pm SD).

Jahr	DT: „richtig reagiert“ [16/16]	DT: mittlere Reaktionszeit [ms]	RT: mittlere motorische Zeit [ms]
2011	15,33 \pm 1,15	326,33 \pm 44,0	70,76 \pm 22,19
2012	16,00 \pm 0,0	323,50 \pm 6,36	110,5 \pm 21,92
2013	15,92 \pm 0,28	320,08 \pm 48,02	75,23 \pm 23,65
2014	15,71 \pm 0,83	312,64 \pm 37,21	74,64 \pm 22,72
2015	15,87 \pm 0,35	314,13 \pm 42,48	83,20 \pm 29,01
2016	15,64 \pm 0,63	319,93 \pm 43,41	77,57 \pm 22,18
2017	15,94 \pm 0,24	311,59 \pm 42,15	72,06 \pm 18,6

5. Diskussion

Die vorliegende Untersuchung sollte klären, in wieweit eine sinnvolle Betreuung von Athleten im Hochleistungsmotorsport auf Basis eines regelmäßigen Gesundheitsmanagements im Rahmen der Sportmedizin gelingt. Die bisher publizierte Datenbasis ist dafür nicht ausreichend und zeigt Einzelansätze aber keine systematische Analyse und Vorgehensweise. Grundlage der Arbeit war ein Transfer der „Konzeption Sportmedizin des Deutschen Olympischen Sportbundes (DOSB)“ innerhalb derer eine Kombination aus regelmäßigen Gesundheitsuntersuchungen und einer Betreuung vor Ort bei Training und Wettkämpfen als Standard definiert wurde. Darüber hinaus dienen verschiedene leistungsdiagnostische Methoden der Evaluation individueller Athletenprofile, welche schließlich im Rahmen der trainingstherapeutischen Behandlung sportartspezifischer Beschwerden und in der Prävention Berücksichtigung finden. Methodisch galt es somit ein für den Motorsport sinnvolles Konzept zu entwickeln welches regelmäßige Gesundheitsuntersuchungen mit Berücksichtigung eines sportmedizinischen Standards und eine Ausrichtung auf die Sportart gewährleistet. Dies erfolgte im Projekt über insgesamt 15 Jahre zweimalig pro Jahr. Darüber hinaus soll die sportmedizinische Betreuung bei Wettkämpfen (hier Langstreckenrennen) Berücksichtigung finden und analog der DOSB-Konzeption auch für den Motorsport umgesetzt werden. Für diese Arbeit ging dies exemplarisch für die Jahre 2015 und 2016 ein. Schließlich sollen leistungsdiagnostische Daten als Grundlage der Prävention (durch Training) und der sportartspezifischen Trainingstherapie analysiert werden.

Auf Basis der entwickelten Athletenprofile und der damit verbundenen Analyse der häufigsten Beschwerden und Verletzungen von professionellen Rennfahrern aus dem Langstreckenmotorsport lässt sich die Notwendigkeit eines regelmäßigen Gesundheitsmonitorings, im Sinne einer Gesundheitsuntersuchung und der Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit (auch für den professionellen Motorsport) ableiten. Keiner der untersuchten Fahrer musste zu irgendeinem Zeitpunkt als „nicht“ oder für einen längeren Zeitpunkt „eingeschränkt“ tauglich für die Ausführung der Sportart definiert werden. Dennoch zeigen vor allem die häufigen orthopädischen Auffälligkeiten in der Anamnese sowie der klinischen Untersuchung die Notwendigkeit eines strukturierten und standardisierten Gesundheitsmonitorings.

Mikrotraumata oder Überlastungen fanden sich als die – neben wiederkehrenden Infekten - vorrangig auffälligen Entitäten während der Gesundheitsuntersuchungen. Dies war für den Bereich des Motorsports unerwartet, da diese Pathologien bei Sportarten mit zyklischen oder häufig wiederkehrenden Belastungen beschrieben sind (Metzl 2001). Zu differenzieren ist hierbei allerdings, ob die beschriebenen Überlastungsbeschwerden auf die Belastung im Auto oder eher auf das begleitende individuelle Trainingsprogramm zurückzuführen ist. Die Befragung der Athleten konnte dabei zeigen, dass durchaus auch die v.a. längerfristig wirkenden Belastungen während eines Rennens oder eines Fahrzeugtests über 6 Stunden zu den auffälligen muskuloskelettalen Überlastungen beitragen. Somit scheint es einerseits sinnvoll diese motorsportspezifischen Pathologien (u.a. Wirbelsäulenbeschwerden, Tendinopathien) regelmäßig, standardisiert abzufragen und klinisch zu untersuchen, als auch über eine regelmäßige Kontrolle der auftretenden Symptome die Entwicklung zu beobachten und möglichst frühzeitig einen eventuellen Therapiebedarf abzuschätzen. Hierzu sind – analog zu anderen Sportarten geclusterte Untersuchungen (vor Beginn und im Verlauf der Saison geeignet (Cook 2011, Metzl 2001, Mayer 2012, Mirabelli 2015). Im Längsschnitt lässt sich darüber hinaus die sportartspezifische Vergleichbarkeit der auftretenden Befunde herstellen. So können z.B. Seitendifferenzen, Gelenkbeweglichkeiten oder Überlastungsreaktionen regelmäßig kontrolliert und verglichen werden. Dieses engmaschige Monitoring stellt schließlich eine sehr gute Basis zur gemeinsamen Bearbeitung von auftretenden Defiziten zur Verletzungsprophylaxe und Prävention dar. Vergleichbare Vorgehensweisen sind in olympischen Sportarten seit Langem etabliert und auch Pflicht für Teilnahme an internationalen Wettkämpfen (Tischer 2016, Mayer 2012, Mosterd 2018). Im (Hochleistungs-)Motorsport ist dieses konsequente und längsschnittliche Gesundheitsmonitoring bisher nur selten eingesetzt. Die regelmäßige, jährliche Untersuchung bezieht sich in aller Regel auf eine länderspezifisch definierte Lizenz mit Basisuntersuchungen im medizinischen Bereich (u.a. Sehtest, allgemeine klinisch Untersuchung). Sportartspezifische Profile und Belastungssituationen werden dabei nur selten berücksichtigt.

In verschiedenen Sportarten ist belegt, dass die Überprüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit eine gute Möglichkeit zur Definition prädiktiver Faktoren darstellt. Im

Falle einer sich entwickelnden Einschränkung oder Reduktion dieser Prädiktoren kann so frühzeitig reagiert werden. So werden unter anderem die posturale Kontrolle, die Kraftleistungsfähigkeit und die komplexe sensomotorische Leistungsfähigkeit (analysiert z.B. über einen Drop Jump) zur Einschätzung des Risikos einer Verletzung der unteren Extremität genutzt. Die Daten der Motorsportler konnten hierzu zeigen, dass diese Fähigkeit eher gering ausgeprägt ist, sofern die Aufgabe eines Drop Jumps überhaupt erfüllt werden konnte. In der Konsequenz müsste daher bei den untersuchten Motorsportlern eher von einem erhöhten Risiko für Beschwerden der unteren Extremität ausgegangen und im Präventionstraining über eine Optimierung der sensomotorischen Fähigkeiten adressiert werden. Analog dazu dienen die genannten Parameter im Verlauf bei Beschwerden zur Abschätzung der Wiedereingliederung in den Wettkampfsport (Thomas 2017, Edwards 2018, Noyes 2005, Padua 2018).

Auffällig bei den Gesundheitsuntersuchungen war eine beachtliche Rate an Wirbelsäulenbeschwerden. Aus vergangenen Untersuchungen an Athleten und der Allgemeinbevölkerung ist zur Risikoeinschätzung von unteren Rückenschmerzen bekannt, dass der Erfassung der posturalen Kontrolle und der Kraftleistungsfähigkeit der Rumpfextension eine hohe Bedeutung zukommt. So ist bekannt, dass Rückenschmerzpatienten eine reduzierte Kraft und posturale Kontrolle im Sinne einer eingeschränkten neuromuskulären Kontrolle aufweisen (Müller 2017, Hewett 2001, Cholewicki 1992). Diskutiert man hier die Bedeutung für den Langstreckenmotorsport ist festzustellen, dass eine regelmäßige Erfassung von Kraft und sensomotorischen Fähigkeiten sinnvoll ist, da rezidivierende Rückenbeschwerden sowohl im überjährigen Längsschnitt, als auch bei Renneinsätzen häufig sind. Die Ableitung präventiver (und rehabilitativer) Programm basierend auf einer Optimierung der neuromuskulären Kontrolle des Rumpfes scheint daher für den Bereich des Hochleistungsmotorsports zwingend notwendig.

Fasst man die auftretenden orthopädischen Beschwerden der Profifahrer zusammen, lassen sich dennoch nur geringe Prävalenzen und Inzidenzen von Verletzungen und Beschwerden erkennen. Zumeist handelt es sich um geringe Schweregrade mit dem Fokus auf Wirbelsäulenbeschwerden und Überlastungsreaktionen bzw. Verletzungen an der unteren Extremität. Hierbei handelt es sich überwiegend um unspezifischen

Rückenschmerz der Lendenwirbelsäule bei rezidivierenden Lumbago und Tendinopathien. Die therapeutischen Konsequenzen sollten daher im Sinne physiotherapeutischer, v.a. aber trainingstherapeutischer Inhalte im Fokus stehen. Es gilt als gesichert, dass eine „aktive“ (Trainings)Therapie (Krafttraining, Rumpfstabilisation etc.) einer passiven Therapie (z.B. Wärmebehandlung, Elektrotherapie, Ruhe) grundsätzlich, v.a. aber bei chronisch unspezifischen und rezidivierenden Rückenschmerzen vorzuziehen ist (Haydn 2010, Foster 2018, Haag 2018). Zur Behandlung von Tendinopathien gelten ebenfalls aktive Therapieinhalte als effizienteste Methoden. Gesichert für die im Motorsport häufigen Lokalisationen am Sprunggelenk (Achillessehne) und Kniegelenk (Patellarsehne) ist das exzentrische Training oder das „heavy slow resistance training“ (Kongsgaard 2009; 2010, Alfredson 1998, Stevens 2014, Habets 2017, van der Plas 2011, Beyer 2015, Lim 2018). Für die Jahresplanung und Betreuung bezogen auf die Risikominimierung der orthopädischen Beschwerden im Motorsport sind somit auf den Ergebnissen des Gesundheitsmonitorings basierende Trainingsprogramme zu fordern und einzuführen. Bezüglich der Prävention von Rückenbeschwerden wäre konsequenter Weise ein sensomotorisches Training mit und ohne Applikation von Störreizen zur Rumpfstabilisation sinnvoll (Niederer 2018, Engel 2018). Für die Prävention von Beschwerden und Verletzungen der unteren Extremität (vor allem Tendinopathien, Gelenkverletzungen) sollte auf ein statisches und dynamisches Balancetraining (u.a. Plyometrie) mit Richtungswechseln unter Last Wert gelegt werden (Fort 2016, Padua 2018, Soligard 2008, Myklebust 2003, Hagglund 2013). In der Durchführung sind Situationen Störreizen auf die Extremitäten unter isometrischer Stabilisation des Rumpfes (regelmäßige Position des Fahrers im Auto) zu bevorzugen. Eine weitere sportartspezifische Situation für auftretende sportartspezifische Beschwerden stellt der Fahrerwechsel dar (hohe sensomotorische und reaktive Beanspruchung unter Zeitdruck). Auch hier lassen sich dynamische Belastungen der Rumpfmuskulatur (konzentrisch-exzentrisch) sowie exzentrische Belastungen mit dem Ziel der genannten sportartspezifischen Beschwerden im Training imitieren (Positionswechsel unter Last und koordinative Aufgaben unter Restriktion des Raums und der visuellen Kontrolle z.B. mit Helm). Beide Schwerpunkte (Rückenbeschwerden und Überlastungsbeschwerden

der unteren Extremität (wie Tendinopathien sollten demnach für die Periodisierung des Trainings eines Wettkampfjahres (Saison) eine zentrale Bedeutung einnehmen.

Neben den muskuloskelettalen Beschwerden stehen sowohl bei den Gesundheitsuntersuchungen im Rahmen des Gesundheitsmonitorings, als auch als Diagnosen während der Wettkampfbetreuung Infekte der oberen Atemwege im Vordergrund. Dies unterscheidet sich im Wesentlichen nicht von häufigen allgemeinmedizinischen Beschwerden in anderen Sportarten (Keaney 2018, Gleeson 2017). Dennoch ist bezüglich des professionellen Langstreckenmotorsports zu betonen, dass eine nahezu ganzjährige Reisetätigkeit (mit z.T. über 50 interkontinentalen Flügen) ein hohes Infektionsrisiko birgt (u.a. Kontakt mit größeren Menschenmengen, Air Condition in Flugzeugen, Zeitzonen), welche durch präventive Maßnahmen adressiert werden muss. Neben der Aufklärung über häufige Infektionsrisiken und Hygienemaßnahmen spielen hierbei eine ausreichende Schlafmenge (in der Regel 8 Stunden) und ein hohes Niveau der Grundlagenausdauer eine wichtige Rolle (Dickhuth 2007, Keaney 2018, Gleeson 2017).

Auf Basis der hohen Reisetätigkeit sowie der ganzjährigen sportlichen Belastung ohne regelmäßige bzw. längerfristige Trainings- und Wettkampfpause ist neben der Vermittlung von gesundheitsfördernden Faktoren (Schlafverhalten, Ernährung, Regeneration) somit die Umsetzung eines Ausdauertrainings ausgesprochen wichtig. Um den vielschichtigen Belastungen des Motorsports gewachsen zu sein, ist eine stabile Grundlagenausdauer (GA I) zur Verkürzung der Regenerationszeiten, der Reduktion von Infektionen und einer optimalen Leistungsfähigkeit im Rennfahrzeug notwendig.

Für den Bereich des Gesundheitsmonitorings kann damit zusammenfassend gefolgert werden, dass die Umsetzung der Konzeption des DOSB ebenfalls sinnvoll ist. Umgesetzt in Form von regelmäßigen Gesundheitsuntersuchungen und einer Wettkampfbetreuung scheint dies auch für den Motorsport sinnvoll und sollte denselben Voraussetzungen (u.a. Leistung durch einen Arzt mit Zusatzbezeichnung Sportmedizin) folgen. Auch wenn der Motorsport in aller Regeln nicht vom Spitzenverband sondern von den Herstellern der Rennfahrzeuge (Werkssport) oder privater Rennteams organisiert wird, muss die Tauglichkeit regelmäßig beurteilt und im Team entsprechende Würdigung finden. Die Basis dafür liefern Grunduntersuchungen analog der Vorgehensweise im Deutschen

Spitzensport. Neben den präventiven Ableitungen für die Planung einer Motorsportsaison zur Reduktion von orthopädischen und internistischen Beschwerden sollte das medizinisch-ärztliche Team auf die hohen Anforderungen und Gefahren an der Rennstrecke vorbereitet sein (Hunter 1996, Chapman 1991). Es ist empfehlenswert, dass vor allem bei längeren Rennen ein Team zur ärztlichen und physiotherapeutischen Betreuung vor Ort ist. Die Analyse der Renneinsätze konnte die Notwendigkeit der Einleitung von sofortigen Maßnahmen (z.B. Infektprophylaxe, Allergiebehandlung, medikamentöse Behandlung, physiotherapeutische Maßnahmen) aufzeigen. So empfiehlt sich, trotz geringer Prävalenzen, Inzidenzen und geringen Schweregraden der Beschwerden ein regelmäßiges, standardisiertes Gesundheitsmonitoring sowie eine systematische Betreuung an der Rennstrecke. Somit kann eine Aufrechterhaltung der Gesundheit, als Basis der notwendigen Leistungsfähigkeit gewährleistet und überprüft werden.

Literatur bezüglich der Leistungsfähigkeit von Athleten im Langstreckenmotorsport bzw. deren Ableitung in mögliche trainingstherapeutische oder präventive Maßnahmen ist derzeit nur in geringem Ausmaß verfügbar. Die wenigen Arbeiten hierzu vergleichen zudem meist unterschiedliche Arten des Rennsports und arbeiten weniger mit gezielten sportmedizinisch begründeten Ansätzen für Trainingstherapie und Prävention. So wurden beispielweise bei Untersuchungen der Kraftleistungsfähigkeit verschiedener Klassen des Motorsports zwar Unterschiede der isokinetischen Kraftleistungsfähigkeit festgestellt, Konsequenzen für die Sportmedizin ergaben sich daraus allerdings nicht. (Backman 2006.)

Für die Analysen der Kraftleistungsfähigkeit muss berücksichtigt werden, dass im üblichen und standardisierten Testprotokoll lediglich ein geringer Aspekt der notwendigen Kraftleistungsfähigkeit im Rennfahrzeug abgebildet werden kann. Für die dargestellten Kraftwerte wurde ein standardisierter dynamischer isokinetischer Krafttest (konzentrisch und exzentrisch) verwendet, um eine möglichst hohe Genauigkeit der gemessenen Kraftleistungsfähigkeit zu erhalten. (Liemohn 2005, Peate 2007, Baur 2006, Baur 2010, Müller 2012, Müller 2007). Mit dem eingesetzten Maximalkrafttest können somit zwar zuverlässig und reliabel Rückschlüsse auf die Kraftleistungsfähigkeit der Athleten gezogen werden, allerdings ist durch den interpretierenden Untersuchung der

Transfer auf die Umsetzung und die Bedeutung im Fahrzeug zu berücksichtigen. Dennoch können die Ergebnisse des Krafttests zur Definition bzw. Einschätzung anderer Kraftkomponenten herangezogen werden, wodurch ein umfangreiches Bild auch für den Motorsport gelingen kann (Komi, 2003, Baur 2010). So können die maximale konzentrische und exzentrische Kraft ein Indikator für die Kraftausdauerleistungsfähigkeit, die maximale intramuskuläre Koordination und die sensomotorische Leistungsfähigkeit sein. Durch eine hohe Maximalkraft der unteren Extremität kann zudem eine Verbesserung der posturalen Kontrolle über einen optimierte „postural sway“ des Körperschwerpunktes erreicht werden. Zudem reduziert eine ausgeprägte Maximalkraft z.B. eine mögliche Überlastungsreaktionen der Sehnen der unteren Extremität (z.B. Achillessehne, Patellarsehne) und das Verletzungsrisiko einer schwerwiegenden Verletzung (z.B. fibulotalare Kapselbandruptur, vordere Kreuzbandruptur, etc.) (Soligard 2008). Schließlich gibt vor allem die exzentrische Kraftleistungsfähigkeit weiteren Aufschluss auf die Muskelfunktion (z.B. Kraft, „Rate of Force Development“) sowie die Morphologie (z.B. Querschnitt der Sehnen und Muskelfasern) und Architektur der Muskel-Sehnen Einheit (Douglas 2017, Suchomel 2018). Es kann daher durchaus diskutiert werden eine Messung der Maximalkraft (weil im Spitzensport etabliert und validiert) auch im Bereich des Langstreckenmotorsports zu etablieren. Aufgrund der sportartspezifischen Beschwerdemuster (u.a. rezidivierende Rückenschmerzen, Tendinopathien) empfiehlt sich eine Analyse der Rumpfmuskulatur und der Muskulatur der unteren Extremität. Die Daten können anschließend zielgerichtet und im Längsschnitt als VerlaufsvARIABLEN in die sportartspezifische Prävention und bei Bedarf auch in die Trainingstherapie von Beschwerden Eingang finden.

Aus methodischer Sicht ist fest zu stellen, dass Testsetups, welche die G-Kräfte während des Fahrens simulieren, bislang nicht existieren. Dennoch wird gefordert, dass dies Standard einer Testbatterie zur Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Motorsportlern sein sollte (Baur 2010). Für die Erfassung der Kraft des Rumpfes liegen mit Ausnahme einzelner Angaben zur Messung der isokinetischen Rumpfflexion/-extension und zu Teilen der Rotation keine hinreichend standardisierten und reliablen Testmöglichkeiten und –analysen vor (Baur 2010). Vor allem ist dabei die Darstellung der

Dreidimensionalität bei Belastungen des Rumpfes oder die Kraftleistungsfähigkeit der tieferen Muskelgruppen, welche maßgeblich für die Stabilität im Rennfahrzeug verantwortlich sind, nicht möglich (Baur 2010, Müller 2012). Da in der Literatur keine Unterschiede zwischen Motorsportlern und einer aktiven Kontrollgruppe gezeigt werden konnte und die Daten lediglich eine stabile Kraftleistungsfähigkeit zeigen, wird auch im Motorsport häufig über den Einsatz einer sportartangepassten sportmotorischen Überprüfung diskutiert. Untersuchungen aus anderen Sportarten zeigen, dass z.B. Funktionstests (z.B. Functional Movement Screen etc.) sportartspezifische Profile aufzeigen könnten (Pollen 2018, Campa 2018, Fauntroy 2018, Scudamore 2018, Zemkova 2018). Aus wissenschaftlich-methodischer Sicht sind diese Test derzeit allerdings umstritten. So wird die Aussagekraft häufig als eher gering bewertet, da insbesondere eine eingeschränkte Reliabilität und Validität der verschiedenen Funktionstests unter wissenschaftlichen Kriterien evidente Aussagen und Interpretationen nicht zuverlässig zulässt.

Grundsätzlich ist bei einer mittleren individuellen Schwelle von mehr als 12 km/h (5:00 pro km) von einer zufriedenstellenden Grundlagenausdauer der untersuchten Kohorte auszugehen. Zumindest ist somit ein differenziertes Training zur Prävention von Infekten und der Gewährleistung einer ausreichenden Regenerationsfähigkeit zwischen den Belastungen im Auto (z.B. bei 24h-Rennen) und im Verlauf einer mehrtägigen Rennwoche (mehrere freie Trainings, Qualifikation, Rennen) und zwischen den Renn- und Testeinsätzen (rund 25 Einsätze pro Jahr über meist 5-6 Tage und zusätzlichen Reisetagen) gewährleistet. Die eingesetzten Protokolle zur Erfassung der Ausdauerleistungsfähigkeit, mit dem Schwerpunkt der Berechnung der individuellen anaeroben Schwelle entsprechen dem derzeitigen Standard und können auch für den Bereich des Langstreckenmotorsports empfohlen werden. Allerdings berücksichtigen diese kaum das Beanspruchungsprofil im Rennfahrzeug, so dass eine Interpretation in Bezug auf die sportartspezifische Ausdauerleistungsfähigkeit schwierig ist. Die Belastung während des Stints im Auto wird wie bereits dargestellt multifaktoriell bestimmt, so dass vorrangig die muskuläre Beanspruchung (Rumpfstabilität, komplexe koordinative Anforderungen an die Extremitäten, Kompensation von Vibrationen), Hitze im Rennfahrzeug, Flüssigkeitsverlust und mentale Anforderungen die Belastung des Herz-

Kreislaufsystems definieren. Die Gesamtzeit der Beanspruchung des Herz-Kreislaufsystems beträgt so z.B. während eines 24h-Rennen meist 2 Stunden am Stück (Doppelstint mit Tankstopp bei einer möglichen Fahrzeit pro Tankfüllung von knapp 60 Minuten) und insgesamt 8-12 Stunden pro Fahrer je nach Aufstellung des Teams. Eine sportartspezifische Testung der Ausdauerleistungsfähigkeit fällt demnach schwer, da eine Simulation unter Laborbedingungen nur unzuverlässig gelingt (z.B. Belastung im Simulator deutlich different von der realen Situation im Fahrzeug) und eine Messung im Fahrzeug deutliche Unfallrisiken mit sich bringt. Einzelne (eigene und bisher nicht publizierte) Messungen der Herzfrequenz während der Belastung im Auto sowie, Flüssigkeitsverlust, Laktatkonzentration und Körpertemperatur am Ende eines Stints zeigen eine Beanspruchung um die (im Labor anhand eines Stufentests) berechnete individuelle anaerobe Schwelle.

Auf Basis der Anforderungen einer ganzjährigen Wettkampfsaison, der im Verlauf häufig auftretenden Beschwerden und der Belastung im Fahrzeug scheint ein Trainingskonzept mit Ausrichtung auf Trainingstherapie und Prävention bestehend aus den folgenden 3 Komponenten notwendig und sinnvoll (vgl. Abb. 42):

1. regelmäßiges, ganzjähriges Ausdauertraining mit dem Ziel der Verbesserung der (Grundlagenausdauer)
2. Krafttraining der unteren Extremität und des Rumpfes vorrangig mit dem Ziel der Beschwerdeprävention.
3. Sensomotorisches Training v.a. untere Extremität und Wirbelsäule. Optimierung der posturalen Kontrolle zur Kompensation von Störreizen und Vibrationen

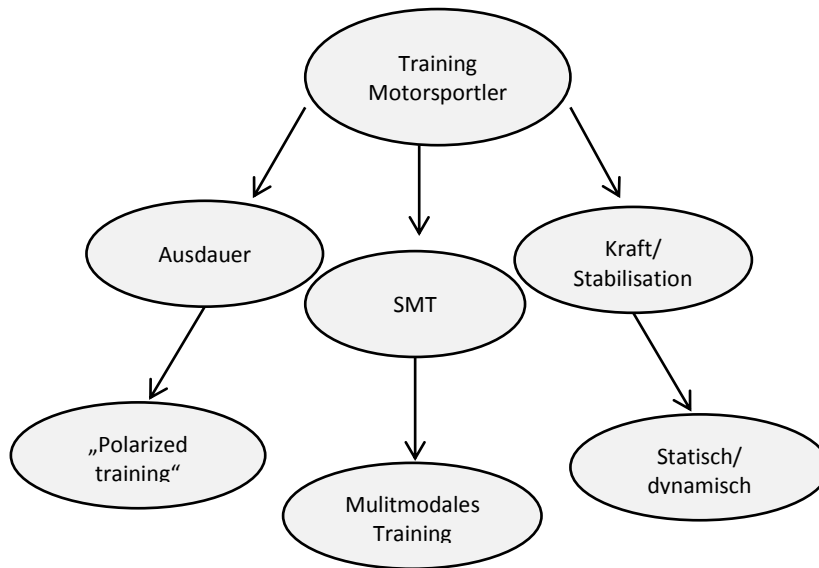


Abbildung 42: Trainingsinhalte eines Motorsportlers zur Optimierung seiner Belastungsfähigkeit im Rennfahrzeug.

Das Ausdauertraining sollte wie bereits diskutiert auf die Verbesserung der Belastungsfähigkeit ausgerichtet sein, Infekten vorbeugen und die Regenerationszeit nach einer Erkrankung oder Verletzung sowie nach einem Stints bzw. Wettkampf verkürzen (Vina 2012, Warburton 2006, Kujala 2009). Aus anderen, nicht motorisierten Sportarten ist bekannt, dass ein Ausdauertraining in verschiedene Makrozyklen, zur optimalen Vorbereitung auf Wettkämpfe periodisiert werden sollte (Seiler 2010, Lindsay 1996, Rønnestad 2013, Laursen 2002, García-Pinillos 2016). Im Bereich des Motorsports scheint ein Ausdauertraining entsprechend eines „polarized training“ sinnvoll. Dabei gilt es häufig auf geringe Intensitäten mit hohen Umfängen und seltener auf hohe Intensitäten und geringe Umfänge zu achten. (Stöggl 2014, Munoz 2014, Neal 2013). Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Sinne der Linksverschiebung der individuellen anaeroben Schwelle (Laktat, Herzfrequenz) und der maximalen aeroben Kapazität (VO_{2max} , max. Leistung) sollten im Vordergrund stehen. Dabei wird nicht nur die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessert, sondern auch die Regenerationszeit verkürzt und der Umgang mit der Trainingsbelastung verbessert (Seiler 2010, Neal 2013). So konnte in der Arbeit von Seiler et al. (2010) die kürzeste Regenerationszeit von Wettkampfbelastungen oder nach einer Erkrankung bei einem „gering-intensiven“ Training im Vergleich zu einem mittel- oder hoch-intensiven Training nachgewiesen werden. Neal et al. konnten bei einem 6-wöchigen Training eines „polarized training“ im Vergleich zu einem Schwellentraining eine statistisch signifikante Verbesserung der

Laktatschwelle und der maximalen Leistung auf dem Fahrrad bei professionellen Radsportlern nachweisen (vgl. Abb. 43).

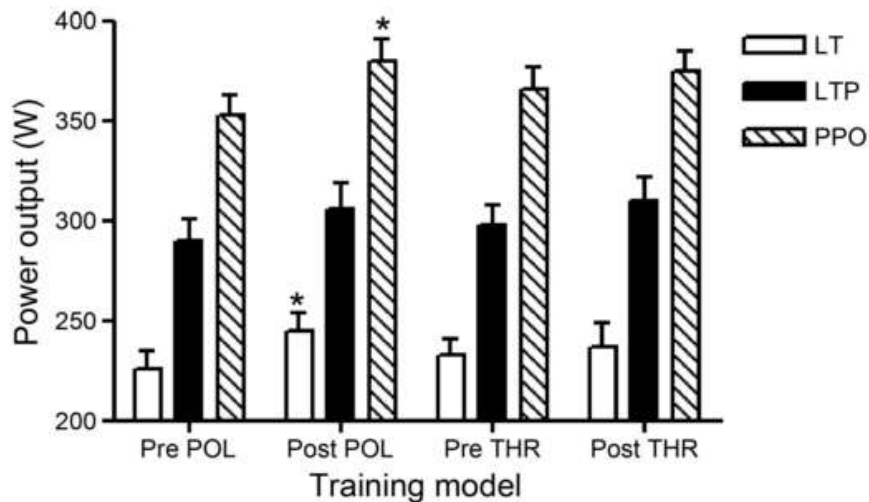
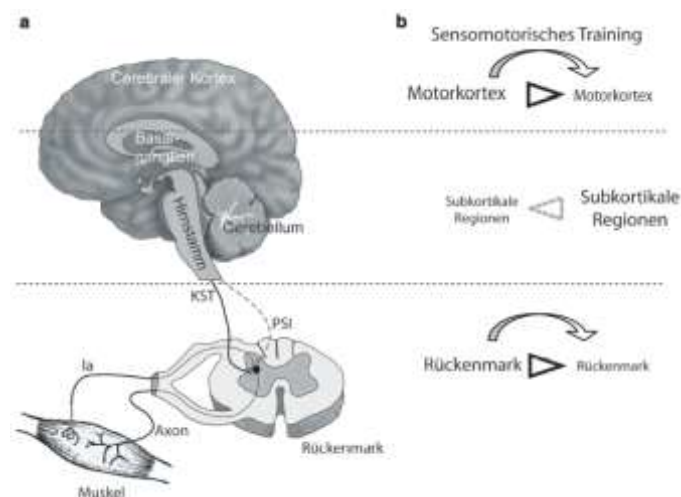


Abbildung 43: Mittelwert (\pm Standardfehler) der Leistung an der Laktatschwelle (LT), Laktat-Turnpoint (LTP) und maximalen Leistung (PPO) vor (Pre) und nach (Post) nach Wochen beider Trainingsinterventionen. POL „polarized“ Trainingsmodell; THR Schwellentraining. *Signifikanter Unterschied zum Vortest innerhalb der Trainingsmodelle. Neal et al. 2013.

Das sensorimotorische Training (SMT), im Sinne eines Gleichgewichtstrainings verbessert neben der posturalen Kontrolle, die Explosivkraft, das Sprungverhalten und fördert zudem die neuromuskuläre Regenerationsfähigkeit nach Verletzungen (Taube 2012, Kiers 2013, Taube 2013, 2008, Brandon 2015). Dabei wird als Mechanismus diskutiert, dass bei einer erhöhten präsynaptischen Inhibition einer Reduktion der spinalen Erregbarkeit entgegen zu wirken bzw. eine gezielte Bewegungskoordination zu ermöglichen. Zudem nimmt die kortikale Erregbarkeit (zentral hemmende Einflüsse) ebenso ab (vgl. Abb. 44). Die Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durch ein SMT wird demnach als Verbesserung der Bewegungskontrolle durch die subkortikalen Strukturen diskutiert (Taube 2013). In verschiedensten Untersuchungen konnte die präventive Wirkung von SMT prospektiv belegt werden (Zwolski 2017, Zemkova 2018, Fort-Vanmeerhaeghe 2016, Padua 2018, Wirth 2017, Taube 2012). Welcher tatsächliche Mechanismus dahinterliegt, ist allerdings abschließend nicht eindeutig geklärt. Dennoch konnte nachgewiesen werden konnte, dass z.B. professionelle Tänzer und Slackliner eine veränderte Funktion im Hippokampus (Lokalisation im Kortex für Lernprozesse)

aufzeigten als eine Kontrollgruppe (Taubе 2013, 2008, Hүfner 2011). Dabei wird vermutet, dass die Untersuchungsgruppe mit einer sehr gut ausgeprägten Gleichgewichtsfähigkeit „gelernt“ hat destabilisierende Einflüsse zu hemmen (Taubе 2013, 2008, Hүfner 2011). Andere Untersuchungen konnten wiederum zeigen, dass die Latenzzeit einer spinalen Reflexantwort bei einem Trauma zu lang ist um als Reflex protektiv wirken zu können (Gruber 2006, Thacker 1999). Diskutiert werden auch hier spinale Hemmmechanismen als grundlegender Mechanismus. Ein sensomotorisches Training mit dem Ziel der Reduktion spinaler und zentraler Hemmmechanismen scheint auch aus dieser Sicht sinnvoll und für den Motorsport. Insgesamt wird angenommen, dass Personen, die eine sehr gut ausgeprägte Gleichgewichtsfähigkeit durch Training aufzeigen, eher eine günstigere Bewegungsausführung zeigen und somit deutlich seltener in Bewegungs- bzw. Gelenkpositionen kommen, in denen das Risiko für ein



Trauma erhöht ist.

Abbildung 44: Taube 2013 Vereinfachte dargestellte neuronale Anpassungsreaktion nach Gleichgewichtstraining. a) Darstellung der Strukturen zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts b) Wirkmechanismus durch Gleichgewichtstraining. \blacktriangleright Hemmung durch Gleichgewichtstraining \blacktriangleleft Verbesserung der Bewegungskontrolle.

Auf die Integration eines SMT in den Trainingsprozess professioneller Rennfahrer sollte somit großer Wert gelegt werden. Eine ständig geforderte posturale Kontrolle im Auto und die insgesamt hohe Anforderung auf die Gleichgewichtsfähigkeit auf Grund der wirkenden G- Kräfte und Vibrationen ist hierfür als Begründung anzugeben. Sinnvoll scheint dabei im Sinne eines multimodalen Trainings zu arbeiten und sensomotorische Inhalte in das Trainingsprogramm zu integrieren. Die hohe Reisetätigkeit und unzureichende Trainingsbedingungen an den Rennstrecken verhindern ein

regelmäßiges, strukturiertes Training wie aus anderen Sportarten bekannt und üblich. Somit ist während der Reise und Renntage ein multimodales Training mit hoher Zeiteffizienz und geringer Gerätenutzung wichtig. Im Bereich des sensomotorischen Trainings gelingt dies gut nach entsprechender Schulung der Athleten. In Zeiten in denen die Athleten zuhause sind sollte strukturiert unter Nutzung professioneller Trainingsbedingungen (z.B. Olympiastützpunkte) gearbeitet werden.

Inhalte eines Rumpfstabilisationstrainings sowie dem Krafttraining können mit einem SMT gut kombiniert werden (vgl. Abb. 45 und Tab. 14). Die neuromuskuläre Adaptation durch ein Rumpfstabilisationstraining verbessert die Rekrutierung und Synchronisation der Muskelfasern und senkt die neuronalen inhibierenden Reflexe (vgl. Abb 45 Hibbs 2008). Zudem beeinflusst das Training die Hypertrophie des Muskels positiv (Hibbs 2008, Suchomel 2018).

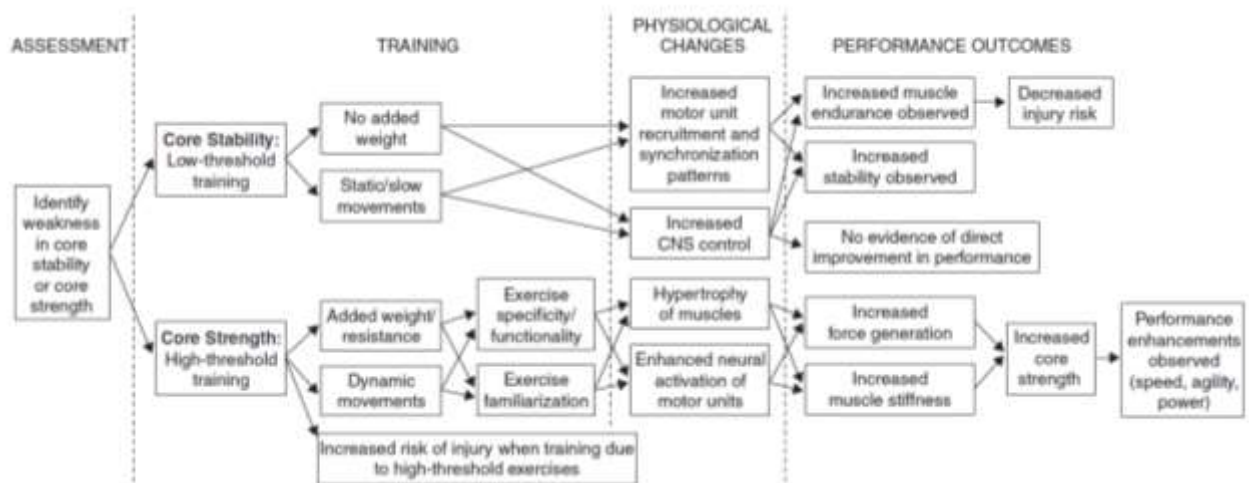


Abbildung 45: Rumpftraining und seine Beeinflussung auf die Leistungsfähigkeit: Prinzip eines Trainings mit geringer und hoher Last auf die Rumpfstabilität und Rumpfkraft. Hibbs et al. 2008.

Tabelle 14: Möglichkeiten des Widerstandstrainingsmethoden und deren Einfluss auf die Hypertrophie, Kraft und Power. Die Trainingsmethoden varrieren von + geringer Beeinflussung und +++++ hohe Beeinflussung, ^a meint geringe Datenlage vorliegend. Suchomel et al. 2018.

Resistance training method	Hypertrophy	Strength	Power
Bodyweight exercise	+	+	++
Machine-based exercise	++	++	++
Weightlifting derivatives	+++	+++	+++++
Plyometrics	+	++	++++
Eccentric training	+++++	+++++	++++
Potential complexes	^a	+++	+++++
Unilateral exercise	+++	++	+++
Bilateral exercise	++++	++++	+++
Variable resistance	+++++	++++	++++
Kettlebell training	++	++	+++
Ballistic training	++	+++	+++++

Ein ganzjähriges Betreuungskonzept der Trainingsmaßnahmen innerhalb der Wettkampfsaison im Langstreckenmotorsport sollte zunächst in der Vorbereitungsphase als Aufbautraining im Anschluss der Gesundheitsuntersuchung mit der Betonung eines kontrollierten Trainings zur Reduktion eines Verletzungsrisikos und der erhöhten Leistungsfähigkeit umgesetzt werden (Abb. 46). Am Ende der Vorbereitungsphase hat sich für den Motorsport ein (zumindest kurzer) Trainingslageraufenthalt bewährt. Hier sollten alle Inhalte mit Blick auf die anstehende Rennsaison aktualisiert, geschult und vermittelt werden. Darauf aufbauend muss, auf Grund der hohen Reisetätigkeiten, der unterschiedlichen Saisoninhalte und Rennserien in der Folge ein überwiegend selbstständiges individualisiertes Training absolviert werden. Während der Saison bietet sich ein weiterer Gesundheitscheck (z.B. vor dem Saisonhöhepunkt) an. Hier unterscheidet sich der Motorsport von anderen Sportarten, da Rennunfälle, Reisetätigkeit und ein hauptsächlich selbstständig durchgeführtes Training ein erneutes Monitoring zur Mitte der Saison als sinnvoll erscheinen lassen. Zur Erhöhung der Compliance und Adhärenz kann schließlich ein weiteres (kürzeres) Trainingslager mit dem Fokus des Anschlussstrainings und Überprüfung des selbstständigen Trainings innerhalb der Rennsaison sinnvoll sein und in die Saisonplanung integriert werden (Abb. 46). Darauf folgt bis zum Saisonende wiederum ein selbstständiges, individualisiertes

Training der Athleten. Hierbei wird der Fokus auf die 3 Hauptkomponenten des Trainings (Abb. 42) sowie die individuellen präventiven Aspekte gelegt.

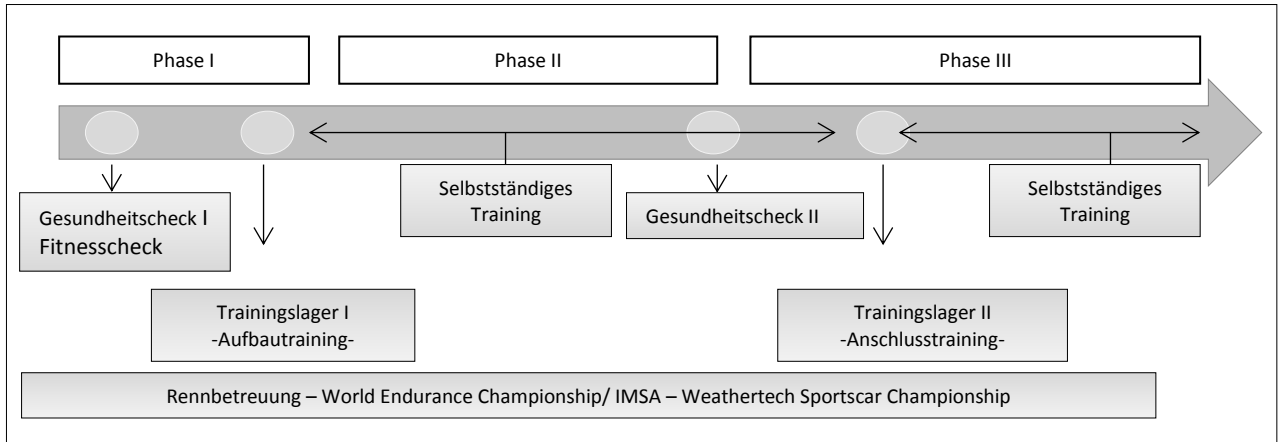


Abbildung 46: Beispiel eines ganzjährigen sportmedizinischen Betreuungs- und Trainingskonzeptes im Langstreckenmotorsport.

6. Zusammenfassung

Seit Beginn der Faszination für Automobile im späten 19. Jahrhundert üben Autorennen in unterschiedlichen Klassen eine hohe Anziehungskraft aus. Unterschiedliche Serien und Einzelrennen ließen nicht lange auf sich warten (WEC-Magazin, Walz 2017). In der Geschichte des Motorsports spielt die Gefahr im Sport selbst bis heute eine nicht unwesentliche Rolle, wird aber dennoch in Kauf genommen. Der Französische Automobilclub (ACO) führte Rundkurse für die Durchführung von Rennen ein. So wurde der Langstreckenmotorsport ab 1941 zur „Königsklasse“ im Automobilsport und vereint Prototypen und Sportwagen (z.B. Grand Turismo [GT]) in einer Rennserie. Die aktuell bekanntesten Rennserien aus dem Langstreckenmotorsport sind die „*Federation Internationale de L'Automobile World Endurance Championship*“ (FIA WEC), welche seit 2012 ausgetragen wird und die „*International Motor Sport Association WeatherTech SportsCar Championship*“ (IWSC), die seit 2013 in Nordamerika (USA, Kanada) absolviert wird. Dabei werden die Rennen nach ihrer Dauer in $\leq 6h$, 12h und 24h unterteilt.

Die physische Belastung eines professionellen Rennfahrers, die Notwendigkeit eines Gesundheitsmonitorings und eine standardisierte sportmedizinische Betreuung für den Langstreckenmotorsport sind bislang nicht ausreichend untersucht. Dieses Forschungsdefizit ist vornehmlich auf die geringe Beachtung aus Sportmedizin und Sportwissenschaft zurückzuführen (Baur 2006, Raschner 2012, Potkanowicz 2013). Dabei sollte vor allem auf Grund des gewünschten Outcomes nicht nur das Auto, sondern die „Fahrer-Auto-Einheit“ als Gegenstand der Leistungsfähigkeit und der sportmedizinischen Betreuung betrachtet werden. Denn nur wenn der Fahrer sein Optimum an Leistungsfähigkeit abrufen kann, kann das Leistungsvermögen eines Rennfahrzeuges optimal genutzt werden. Der Zusammenhang der geforderten Belastungen in der Sportart Motorsport und deren (gesundheitlich uneingeschränkte) Trainierbarkeit sind von hoher Relevanz (Potkanowicz 2013, Baur 2006, Backman 2005, Ebben 2012, Raschner 2012). Ein hohes Fitnesslevel eines Fahrers reduziert das Risiko von Verletzungen, Überlastungen und Infektionen und liefert eine bessere Performanz im Auto. Im Mittelpunkt dabei steht die wiederkehrende Belastbarkeit aus Sicht der Ausdauer, Kraft, posturalen Kontrolle und Reaktion.

Die Ausdauerleistungsfähigkeit ist eine der Schlüsselfaktoren für die Performance im Auto (physischer Stress) und der Regenerationsfähigkeit zwischen anspruchsvollen Rennphasen und Einsätzen während eines Rennens. Zudem definiert die Grundlagenausdauer die Infektanfälligkeit, welche vor allem durch häufiges Reisen in unterschiedliche Klima- und Zeitzonen erhöht ist (Scherr 2017, Berg 2007). Bei der Entwicklung der Kraftleistungsfähigkeit müssen sowohl die hohen und intermittierenden G-Kräfte, Pedalkräfte bei Bremsvorgängen, statische Haltearbeit, die Kompensation von Störreizen und Griffkräfte beim Lenken in Betrachtung gezogen werden. Zudem stellen die andauernd wirkenden Mikrovibrationen im Fahrzeug eine Herausforderung an die Wirbelsäulenstabilisation dar (Seidel 2005, Battié 2002, Bovenzi 1999). Die posturale Kontrolle spielt darüber hinaus eine wichtige Rolle zur Kraftleistungsentwicklung, Stabilisation und Balancefähigkeit im Auto (Baur 2010, Klarica 2001, Backman 2006). Die zusammenfassende physiologische Beanspruchung eines Rennfahrers im Auto wird mit der von Athleten aus anderen Sportarten verglichen (Baur 2006, Raschner 2013, Klarica 2001, Minoyama 2004, Yamakoshi 2010, Backman 2005, Ebben 2012). Zudem konnten vorangegangene Untersuchungen eine hohe kardiovaskuläre Beanspruchung aufgrund von physischem und psychoemotionalem Stress bei Rennfahrern während sportartspezifischer Belastungen im Rennfahrzeug aufzeigen (Raschner 2013, Minomaya 2004, D'Ártibale 2008, Jacobs 2000, Del Rosso 2016).

Um rezidivierende und akute Beschwerden und Überlastungsreaktion zu erfassen, (therapeutische und präventive) Konsequenzen ableiten zu können und Trainingsempfehlungen zur (Sportmedizinisch begründeten) Kompensation der Belastung im Fahrzeug geben zu können, ist ein regelmäßiges Gesundheitsmonitoring auch im Motorsport sinnvoll (Dijkstra 2014, Kuster 2007, Almquist 2008, Lawless 2014, Kibler 2012). Dabei sind sowohl das Gesundheitsscreening, zur Einschätzung der Tauglichkeit für den Leistungssport, als auch die Betreuung der Athleten an der Rennstrecke selbst sinnvoll. Die Anforderungsprofile im Sinne der wirkenden Kräfte, der hohen koordinativen Beanspruchung und notwendige physische Kompensation von Umwelteinflüsse im Rennfahrzeug sind mit verschiedenen Forschungsansätzen untersucht und belegt (Baur 2006, Baur 2010, Ebben 2012, Potkanowicz 2013, Owen 2015, Mansfield 2001, Backman 2005, Jacobs 2002, Raschner 2013, Yamakoshi 2010,

Durand 2015, Konttinen 2008). Allerdings werden weder häufige Beschwerden bzw. Pathologien noch Belastungsprofile klar definiert. Nur vereinzelt liegen Daten aus Untersuchungen vor, die sich mit den akuten Verletzungen nach Unfällen beschäftigen (Chapman 1991, Hunter 1996, Klarica 2001, Moorhead 1992, Wertman 2016, Minoyama 2004). Die Notwendigkeit einer standardisierten sportmedizinischen Betreuung, vornehmlich zur Vorbereitung der physischen und mentalen Belastbarkeit wird dabei als zielführend und massgeblich eingeschätzt (Klarica 2001). Die Verbindung zwischen (Sport)Medizin und Hochleistungsmotorsport ist weit mehr als nur die akute Behandlung bei einem Unfall an der Rennstrecke und sollte die Sportart sicherer, kompetitiver und umfassender für das gesamte Team machen (Küçükdurmaz 2012). Eine systematische Evaluation des Gesundheitszustandes von Spitzenathleten gilt demnach auch im Motorsport als die Grundlage von Prävention und Trainingstherapie (Burkhart 2003).

Fast man all diese Komponenten des Motorsports zusammen, scheint die Entwicklung eines bisher wenig umgesetzten, evidenzbasierten Gesundheitsmonitoring mit Ableitung validierter Strategien für Prävention und Trainingstherapie unabdingbar. Hierfür bilden regelmäßige Gesundheitsuntersuchungen sowie eine akute ärztlich- medizinische Versorgung der Renneinsätze die Grundlage. Abgeleitet aus diesen Daten sind präventive Programm und im Bedarfsfall trainingstherapeutische Konzepte zu entwickeln und umzusetzen Ein mögliches multimodales Trainingskonzept sollte dabei, die Grundlagenausdauer, die Kraft, die Sensomotorik und die Reaktionsfähigkeit als koordinative Komponente beinhalten.

Folgende Fragen sind daher durch die vorliegende Untersuchung zu bearbeiten:

- F1: Welche gesundheitsrelevanter Merkmale und Befunde lassen sich bei Athleten im Langstreckenmotorsport anhand eines Gesundheitsmonitorings identifizieren? Inwieweit können sportartspezifische Beschwerden und gesundheitsrelevante Daten von Langstreckenmotorsportlern im Quer- und Längsschnitt erfasst werden?
- F2: Welche sportartspezifischen und sportartunabhängigen Beschwerden und Überlastungsreaktionen sind im Langstreckenmotorsport häufig? Welche Behandlungsmaßnahmen sind bei Renneinsätzen sinnvoll?

Zusammenfassung

- F3: Welche Kenndaten der körperlichen Leistungsfähigkeit, bezogen auf die Ausdauerleistungsfähigkeit, die Krafterleistungsfähigkeit des Rumpfes und der unteren Extremität sowie der sensomotorischen Fähigkeiten, lassen sich im Quer- und Längsschnitt erfassen?
- F4: Lässt sich für den Langstreckenmotorsport ein auf Basis sportartspezifischer Daten begründetes Gesundheitsmonitoring entwickeln?
- F5: Welche Trainingsmaßnahmen sind in der sportmedizinischen Betreuung von Langstreckenmotorsportlern sinnvoll und wie sind diese umzusetzen?

Im Zeitraum von 2003 bis einschließlich 2017 wurden insgesamt 37 Profi-Athleten aus dem Hochleistungsmotorsport eines Teams insgesamt 353mal einer Gesundheitsuntersuchung nach Vorgaben des Deutschen Olympischen Sportbundes unterzogen. Es handelte sich ausschließlich um männliche Athleten. Dabei stieg die Anzahl der zu untersuchenden Athleten kontinuierlich von 6 in 2003 auf insgesamt 19 in der Saison 2017 an. Die Athleten wurden mindestens einmal und maximal neunundzwanzigmal untersucht. Daraus resultiert bei zweimal jährlich stattfindenden Gesundheitsuntersuchungen eine Range der Betreuung von 1 bis zu 15 Jahren für die untersuchten Profifahrer.

Zur Einschätzung der sportmedizinischen Tauglichkeit für die Sportart fanden mit Beginn 2003 jährlich zwei Gesundheitsuntersuchungen (GU) zentral an einem medizinischen Untersuchungszentrum des Deutschen Olympischen Sport Bundes (DOSB) statt. Diese unterlag den standardisierten Vorgaben eines Gesundheitsmonitorings im Spitzensport (Mayer 2012, Carek 2003, Mirabelli 2015). Darüber hinaus wurde an der Rennstrecke eine ärztliche und physiotherapeutische Betreuung zur Versorgung vor Ort definiert. Zu den Aufgaben des ärztlich-medizinischen Teams gehörten zumeist, allgemeinmedizinische, internistische sowie orthopädische Fragestellungen. Sämtliche Behandlungen bzw. Athletenkontakte wurden digital in einem webbasierten Dokumentationssystem (ProWebDB [eCRF]) aufgelistet und nach Vorstellungsart, -grund, Lokalisation, ggf. Diagnostik, Diagnose sowie Behandlungsbedarf differenziert und aufgeschlüsselt dokumentiert.

Über das Gesundheitsscreening hinaus erfolgten unterschiedliche Belastungstests und Funktionsuntersuchungen (Grundlagenausdauer, Maximalkraft der unteren Extremität und des Rumpfes, Sensomotorik der unteren Extremität, einfache und komplexe Reaktion).

Die Ergebnisse zeigen eine Prävalenz und Inzidenz an Beschwerden und Überlastungsreaktionen in den Gesundheitsuntersuchungen und vor Ort. Bei den Gesundheitsuntersuchungen fanden sich vorrangig Beschwerden des Stütz- und Bewegungsapparates. Dabei handelte es sich vornehmlich um rezidivierende Rückenbeschwerden der LWS, Skoliosen, Tendinopathien der unteren Extremität und Instabilitäten des oberen Sprunggelenkes. Demzufolge wurden vorrangig physio- und trainingstherapeutische Konsequenzen abgeleitet. Zudem wurden präventive Trainingsprogramm und Hygienemaßnahmen betont. An der Rennstrecke sind Infekte der oberen Atemwege im Zuge der hohen Reisetätigkeiten, der häufig wechselnden Klimazonen und der physischen Belastung häufig. Auf muskuloskelettalem Gebiet fanden sich mehrheitlich funktionelle Beschwerden der HWS, BWS und LWS. Die Behandlung vor Ort erfolgte in der Mehrzahl der Fälle durch Physiotherapie und Medikamente. Die Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit zeigte über den Untersuchungszeitraum eine zufriedenstellende Grundlagenausdauer mit einer individuellen anaeroben Schwelle von über 12km/h. Die Kraftleistungsfähigkeit und die sensomotorische Leistungsfähigkeit zeigten eine hohe Variabilität zwischen den Fahrern auf mittlerem Niveau. Bei insgesamt geringer Körpermasse der Mehrzahl der Fahrer sollten die Kenndaten körperrgewichtbezogen betrachtet werden.

Die Analyse der Daten zeigt, dass auch im Hochleistungsmotorsport ein differenziertes, standardisiertes und auf die Sportart abgestimmtes, sportmedizinisches Betreuungssystem notwendig ist. Auf Grundlage eines grundlegenden, regelmäßigen Gesundheitsmonitorings (auf Basis der Konzeption Sportmedizin des DOSB) empfiehlt sich eine Fokussierung auf die Fachgebiete Orthopädie, Inneren Medizin und Hals-Nasen-Ohren-Kunde mit Zusatzbezeichnung Sportmedizin. Dies betrifft sowohl die Grunduntersuchungen, als auch die Betreuung vor Ort. In der Therapie nehmen die Medikation von Beschwerden, physio- und trainingstherapeutische Maßnahmen und die Behandlung von Infekten eine zentrale Rolle ein.

Darüber hinaus sollte eine regelmäßige Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit zur effektiven Ableitung von Inhalten und Dosierungen in der Trainingstherapie oder Präventionsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Vergleichbar mit anderen Sportarten ist eine Ganzjahresplanung des Betreuungskonzepts sinnvoll. Nach einer grundlegenden Gesundheitsuntersuchung folgt eine Phase der Grundlagentrainings mit engerer Betreuung für eine kurze Zeit (in der Regel zwei Monate). Im Anschluss erfolgt das präventive selbstständig für den Athleten nach vorheriger Schulung und Einführung. Auf Grundlage der hohen Reisetätigkeit und der ganzjährigen Saison könnte ein 1-2x jährlich stattfindendes Trainingslager, im Sinne eines Grundlagen- und Aufbautrainings zur Optimierung der Leistungsfähigkeit beitragen und das Konzept komplementieren. Eine weitere Gesundheitsüberprüfung zur Mitte der Saison kann im Motorsport aufgrund des weltweiten Einsatzes, Test- und Rennunfällen und dem selbstständigen Training sinnvoll sein. Die Rennbetreuung vor entspricht – unter Berücksichtigung sportartspezifischer Beschwerdemuster – der sportmedizinischen Betreuung von Wettkämpfen anderer Sportarten. Sie sollte standardisiert und mit vollständiger Dokumentation aller Befunde erfolgen.

7. Literaturverzeichnis

1. Adams WM, Ferraro EM, Huggins RA, Casa DJ. Influence of body mass loss on changes in heart rate during exercise in the heat: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2014; 28(8):2380 - 2389. doi: 10.1519/JSC.0000000000000501.
2. Almquist J, Tamara C, McLeod V, Cavanna A, Jenkinson D, Lincoln A, Loud K, Peterson B, Portwood C, Reynolds J Woods T. Summary Statement: Appropriate Medical care for the Secondary School-Aged Athlete. *Journal of Athletic Training* 2008; 43(4):416 - 427.
3. Armstrong LE. *Performing in extreme environments.* Champaign: Human Kinetics; 2000.
4. Avery DM, Rodner CM, Edgar CM. Sports-related wrist and hand injuries: a review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2016 11:99. DOI 10.1186/s13018-016-0432-8.
5. Backman J, Häkkinen K, Ylinen J, Häkkinen A, Kyröläinen H. Neuromuscular performance characteristics of open-wheel and rally drivers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2005, 19(4), 777 - 784.
6. Baur H, Müller S, Hirschmüller A, Huber G, Mayer F. Reactivity, stability and strength performance capacity in motor sports. *Br J Sports Med* 2006; 000:1–6. doi: 10.1136/bjism.2006.025783.
7. Baur H, Müller S, Pilz F, Mayer P, Mayer F. Trunk extensor und flexor strength of longdistance race car drivers and physically active controls. *J Sports Sci.* 2010; 28(11):1183-1187.doi:10.1080/02640414.2010.484066.
8. Battie MC, Videman T, Gibbons LE, Manninen H, Gill K, Pope M, Kaprio J. Occupational driving and lumbar disc degeneration: a case-control study. *THE LANCET* Oct 15, 2002.
9. Beattie PF, Pinto M B, Nelson MK, Nelson R. Patient satisfaction with Outpatient physical Therapy: Instrument Validation. *PHYS THER.* 2002; 82:557 - 565.
10. Beaune B, Durand S, Mariot J-P. Open-wheel race car driving: energy cost for pilot. 24(11)/2927 – 2932 *Journal of Strength and Conditioning Research* 2010 National Strength and Conditioning Association.
11. Berg A, Schumacher YO. Blut und Immunsystem. In: Dickhuth H-H, Mayer F, Röcker K, Berg A. *Sportmedizin für Ärzte.* Deutscher Ärzte- Verlag Köln 2007.
12. Bernardi G, Cecchetti L, Handjaras G, Sani L, Gaglianese A, Ceccarelli R, Franzoni F, Galetta F, Santoro G, Goebel R, Ricciardi E, Pietrini P. It's not all in your car: functional and structural correlates of exceptional driving skills in professional racers. *Frontiers in Human Neuroscience* November 2014 Volume 8 Article 888.

13. Borysiuk Z, Waskiewicz Z, Piechota K, Pakosz P, Konieczny M, Blaszczyzyn M, Nikolaidis P, Rosemann T, Knechtle B. Coordination Aspects of an Effective Sprint Start. *Front. Physiol.* 2018; 9:1138. Doi: 10.3389/fphys.2018.01138.
14. Bovenzi M, Hulshof CTJ. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain. *Journal of Sound and Vibration* 1998; 215:595-612.
15. Brandon R, Howatson G, Strachan F, Hunter AM. Neuromuscular response differences to power vs. strength back squat exercise in elite athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2015; 25: 630-639. Doi: 10.1111/sms.12289.
16. Buchheit M, Laurens PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part II Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sport Med* 43:927-954, 2013.
17. Burton AK, Sandover J. Back pain in Grand Prix driver: a “found” experiment. *Appl Ergon* 1987; 18:3-8. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90064-0](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90064-0)
18. Carek PJ, Mainous A. The preparticipation physical examination for athletics: a systematic review of current recommendations. *BMJ* 2003; 327:E170.
19. Carek PJ, Hunter L. The preparticipation physical examination for athletics: a critical review of current recommendations. *J Med Liban Sep-Oct.* 2001 ; 49(5):292-7.
20. Carlson LA, Ferguson DP, Kenefick RW. Physiological strain of stock car drivers during competitive racing. *Journal of Thermal Biology* 44 2014, 20 – 26.
21. Cassel M, Weber J, Mayer F. Tendinopathien der unteren Extremität im Sport. Ätiologie, Diagnostik und Therapie. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 7 2012. Doi:<http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1314991>.
22. Casserley-Feeney SN, Phelan M, Duffy F, Roush S, Cairns MC, Hurley DA. Patient satisfaction with private physiotherapy for musculoskeletal pain. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2008, 9:50 doi:10.1186/1471-2474-9-50.
23. Chapman MA, Oni J. Motor racing accidents at Brands Hatch, 1988/9. *Br J Sports Med.* 1991; 25(3):121-123. doi:10.1136/bjism.25.3.121.
24. Cheung SS, Sleivert GG. Multiple triggers for hyperthermic fatigue and exhaustion. *Exerc Sport Sci Rev* 32(2004), 100 - 106.
25. Cholewicki J, McGill SM. Lumbar posterior ligament involvement during extremely heavy lifts estimated from fluoroscopic measurements. *J Biomech* 1992; 25: 17-28.
26. Coris EE, Ramirez AM, van Durme DJ. Heat illness in athletes. *Sports Med* 34 (2004), 34, 9 - 16.

27. D'Artibale E, Tessitore A, Caprianica L. Heart rate and blood lactate concentration of male road-race motorcyclists. *Journal of Sports Sciences*, May 2008; 26(7): 683 – 689.
28. De Winter JCF, De Groot S. The effects of control-display gain on performance of race car drivers in an isometric braking task. *The effects of control-display gain on performance of race car drivers in an isometric braking task. Journal of sport sciences*, December 2012; 30(16): 1747 - 1756.
29. Del Rosso S, Abreu L, Webb H, Zouhal H, Boullosa D. Stress markers during a rally car competition. *Journal of Strength and Conditioning Research 2015 National Strength and Conditioning Association*. 30(3)/605 – 614.
30. Dickhuth HH, Mayer F, Röcker K, Berg A. *Sportmedizin für Ärzte. Lehrbuch auf der Grundlage des Weiterbildungssystems der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP)*. Deutscher Ärzte Verlag GmbH 2007.
31. Dijkstra P, Pollock N, Chakraverty R, Alonso JM. Managing the health of the elite athlete: a new integrated performance health management and coaching model. *Br J Sports Med* 2014; 48: 523 - 531. Doi:10.1136/bjsports-2013-093222.
32. Douglas J, Pearson A, Ross A, McGuigan M. Chronic adaptations to eccentric training: A systematic review. *Sports Med* 2017 47:917 - 941 DOI 10.1007/s40279-016-0628-4.
33. Durand S, Ripamonti M, Rahmani A, Beaune B. Bioenergetical and cardiac adaptations of pilots to a 24h-team kart race. *J Strength Cond Res*. July 2014. doi:10.1519/JSC.0000000000000630.
34. Dvir Z. *Isokinetics. Muscle testing, Interpretation and Clinical Applications*. Second Edition 2004. Churchill Livingstone: Elsevier Limited.
35. Ebben WP, Suchomel TJ. Physical demands, injuries, and conditioning practices of stock car drivers. *Journal of Strength and Conditioning*. 2012 26(5)/1188 - 1198.
36. Edwards PK, Ebert JR, Joss B, Ackland T, Annaer P, Buelow J-U, Hewitt B. Patient characteristics and predictors of return to sport at 12 months after Anterior Cruciate Ligament reconstruction. The importance of patient age and postoperative rehabilitation. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 6(9), 2325967118797575. Doi: 10.1177/2325967118797575.
37. Edmonds W, Tenenbaum G, Mann D, Johnson M, Kamata A. The effect of biofeedback training on affective regulation and simulated car-racing performance: A multiple case study analysis. *Journal of Sports Sciences*, May 2008; 26(7): 761 – 773.
38. Engel T, Arampatzis A, Moreno Catalá M, Kopinski S, Mayer F. Perturbations in prevention and therapy of low back pain: a new approach. *Dtsch Z Sportmed*. 2018; 69: 247-254.

39. Engelhardt M, Dorr A, Sports Orthopaedics 2011 Official Manual of GOTS. Elsevier GmbH, Urban & Fischer.
40. Falkner F. Isometric exercise and racing driving. *Lancet* 1972; 300(791):1368 - 9.
41. Filho E, Di Fronso S, Mazzoni C, Robazza C, Bortoli L, Bertollo M. My heart is racing! Psychophysiological dynamics of skilled race-car drivers. *J Sports Sci.* 2015; 33(9):945 - 959. doi:10.1080/02640414.2014.977940.
42. Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodriguez D, Montalvo AM, Kiefer AW, Lloyd RS, Myer GD. Integrative neuromuscular training and injury prevention in youth athletes. Part I: Identifying Risk Factors. June National Strength and Conditioning Association 2016 Volume 38 number 3.
43. Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodriguez D, Montalvo AM, Kiefer AW, Lloyd RS, Myer GD. Integrative neuromuscular training in youth athletes. Part II: Strategies to prevent injuries and improve performance. National Strength and Conditioning Association August 2016 Volume 38 Number 4.
44. Foster NE, Anema JR, Cherkin D, Chou R, Cohen SP, Gross DP, Ferreira PH, Fritz JM, Koes BW, Peul W, Turner JA, Maher CG. Low back pain 2. Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *The Lancet.* Doi: 10.1016/So140-6736(18)30489-6.
45. Franz LW. Ergometrie Standards der Sportmedizin. Blutdruckverhalten während Ergometrie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2003. Jahrgang 54, Nr. 2.
46. Fullagar HHK, Skorski S, Duffield R, Hammes D, Coutts AJ, Meyer T. Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Med.* 2015; 45(2):161 - 186. doi:10.1007/s40279-014-0260-0.
47. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 43(7):1334 - 1359. doi:10.1249/MSS.0b013e318213fefb.
48. Garcia-Pinillos F, Camara-Perez JC, Soto-Hermoso VM, Latorre-Roman PA. A High Intensity interval training (HIIT)-based running plan improves athletic performance by improving muscle power. *Journal of strength and Conditioning research* 2016. 31(1)/146 - 153.
49. Garrick JG. Preparticipation orthopedic screening evaluation. *Clin J Sports Med* 2004 May; 14(3):123 - 6.
50. Gleeson M, Pyne DB, Elkington LJ, Hall ST, Attia JR, Oldmeadow C, Wood LG, Callister R. Developing a multi-component immune model for evaluating the risk of respiratory illness in athletes. *Exerc Immunol Rev.* 2017;23:52-64.

51. Granacher U, Lesinski M, Büsch D, Muehlbauer T, Prieske O, Puta C, Gollhofer A, Behm DG. Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: A conceptual model for long-term athlete development. *Front Physiol* 2016. 7:164. doi: 10.3389/fphys.2016.00164.
52. Haag T, Beck H, Korthals I, Handel M, Schneider C. The Evidence of physical activity and training for therapy of chronic non-specific back pain. *Dtsch Z Sportmed.* 2018; 69:255-261.
53. Hägglund M, Atroshi I, Wagner P, et al. Superior compliance with a neuromuscular training programme is associated with fewer ACL injuries and fewer acute knee injuries in female adolescent football players: secondary analysis of an RCT. *Br J Sports Med* 2013; 47: 974-979.
54. Häkkinen K. Force production characteristics of leg extensor, trunk flexor and extensor muscles in male and female basketball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 1991 Sep; 31(3):325 - 331.
55. Hartvigsen J, Hancock M, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, Hoy D, Karppinen J, Pransky G, Sieper J, Smeets RJ, Underwood M. Low back pain 1. What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet.* Doi: 10.1016/S0140-6736(18)30480-X.
56. Hayden J, van Tulder MW, Malmivaara A, Koes BW. Exercise therapy for treatment of non-specific low back pain (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2005, Issue 3. Art. No.: CD000335. Doi: 10.1002/14651858.CD000335.pub2.
57. Herm KP. Methoden der Körperfettbestimmung. *Standards der Sportmedizin.* *Dtsch Z Sportmed.* 54, Nr. (2003)
58. Hewett TE, Myer GD, Ford KR. Prevention of anterior cruciate ligament injuries. *Curr Womens Health Rep.* 2001 Dec; 1 (3): 218-24.
59. Hibbs AE, Thompson KG, French D, Wrigley A, Spears I. Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med.* 2008; 38(12):995 - 1008. doi:10.2165/00007256-200838120-00004.
60. Hohmann A, Lames M, Letzelter M. Einführung in die Trainingswissenschaft. 3. Auflage 2003. Limpert Verlag GmbH.
61. Howes C. Wrist injuries in sport. *Sports Med* 1994; 3:163 - 75.
62. Hrysomallis C. Neck muscular strength, training, performance and sport injury risk: A review. *Sports Med* 2016 46:1111 - 1124 DOI 10.1007/s40279-016-0490-4.
63. Hülsmüller T, Strüder HK, Mierau A. The athletes' visuomotor system – Cortical processes contributing to faster visuomotor reactions. *European Journal of Sport Science*, 2018 Vol. 18, No. 7, 955 - 964. Doi.org/10.1080/17461391.2018.1468484.

64. Jacobs PL, Olvey SE, Johnson BM, Cohn K. Physiological responses to high-speed, open-wheel racecar driving. *Med Sci Sports Exerc.* 2002; 34(12):2085 - 2090. doi:10.1249/01.MSS.0000039307.03564.3D.
65. Jančová J. Review article measuring the balance control system – Review. (64):129 - 137.
66. Keaney LC, Kilding AE, Merien F, Dulson DK. The impact of sport related stressors on immunity and illness risk in team-sport athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport* mAy15,2018. DOI: 10.1016/j.jsams.2018.05.014.
67. Kerkhoffs GM, van den Bekerom M, Elders LM, et al. Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: an evidence-based clinical guideline. *Br J Sports Med.* 2012; 46(12):854 - 860. doi:10.1136/bjsports-2011-090490.
68. Kiani A, Hellquist E, Ahlqvist K, Gedeberg R, Michaëlsson K, Byberg L. Prevention of soccer- related knee injuries in teenaged girls. *Arch Intern Med.* 2010 Jan 11; 170(1):43-9. Doi: 10.1001/archinternmed. 2009.289.
69. Kibler WB, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med.* 2006; 36(3):189 - 198. doi:10.2165/00007256-200636030-00001.
70. Kiers H, Van Dieën J, Dekkers H, Wittink H, Vanhees L. A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. *Sport Med.* 2013; 43(11):1171 - 1189. doi:10.1007/s40279-013-0082-5.
71. Klarica AJ. Performance in motor sports. Oct 2001, 35 (5) 290 - 291; DOI:10.1136/bjism.35.5.290.
72. Konttinen T, Kyröläinrn H, Häkkinen K. Cardio-respiratory and neuromuscular responses to motocross riding. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008, 1533 4287/22(1)/202 - 209.
73. Küçükumarz F. Driver as a high level athlete. In Doral MN, Tandogan RN, Mann G et al., editors *Sports injuries* . Berlin: Springer; 2012.p.1121 – 1123.
74. Kujala UM. Evidence on the effects of exercise therapy in the treatment of chronic disease. *Br J Sports Med.* 2009; 43(8):550 - 555. doi:10.1136/bjism.2009.059808.
75. Kuster T, Knitter D, Navitskis L. Accessibility of the team physician. *Clin Sports Med.* 2007 Apr; 26 (2): 149-60.
76. Larson AN, McIntosh AL. The Epidemiology of injury in ATV and Motocross Sports. In Heggie TW, Caine DJ: *Epidemiology of Injury in adventure and Extreme Sports.* Med Sport Sci. Basel, Karger, 2012, vol 58, pp 158 - 172.
77. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JA, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Medicine and Science in*

- Sports and Exercise 2002 Nov; 34(11):1801 – 1807 DOI: 10.1249/01.MSS.0000036691.95035.7D.
78. Laurens PB. Training for intense exercise performance: High- intensity or High-volume training? Scand J Med Sci Sports 20 (Suppl 2):1-10, 2010.
 79. Lawless CE, Asplund C, Asif IM, Courson R, Emery MS, Fuisz A, Kovacs RJ, Lawrence SM, Levine BD, Link MS, Martinez MW, Matherne GP, Olshansky B, Roberts WO, Salberg L, Vetter VL, Vogel RA, Whitehead J. Protecting the heart of the American Athlete. JACC Vol. 64, No. 20. 2014 2146-71. Doi: 10.1016/j.jacc.2014.08.027.
 80. Liemohn WP, Baumgartner TA, Gagnon LH. Measuring core stability. Journal of Strength and Conditioning Research, 19 (2005), 583-586.
 81. Lindsay FH, Hawley JA, Myburgh KH. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. Med Sci Sports Exerc 1996, 28, pp. 1427 - 1434.
 82. Mansfield NJ, Marshall JM. Symptoms of musculoskeletal disorders in stage rally drivers and co-drivers. Br J Sports Med. 2001; 35(5):314 - 320. doi:10.1136/bjism.35.5.314.
 83. Marsh CE. Validity of oxygen uptake cut-off criteria in plateau identification during horizontal treadmill running. J Sports Med Phys Fitness. 2018 Jan 4. Doi: 10.23736/S0022-4707.18.07952-5.
 84. Mayer F, Weber J, Cassel M. Konservative Orthopädie in der Sportmedizin. Epidemiologie, Diagnose, aktuelle Präventions- und Therapiekonzepte. Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 6/2001. Doi <http://dx.doi.org/10.1055/s-0030-125783>.
 85. Mayer F, Bonaventura K, Cassel M, Müller S, Weber J, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Baur H, Scharhag J. Medical results of preparticipation examination in adolescent athletes. Br J Sports Med 2012; 46:524 - 530. doi:10.1136/bjsports-2011-090966.
 86. Metzl JD. Preparticipation examination of adolescent athletes: Part 1. Pediatr. Rev. 2001; 22;199. DOI: 10.1542/pir.22-6-199.
 87. Meeusen R, Duclos M, Foster C et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the european college of sport science and the American College of Sports Medicine. Med Sci Sports Exerc. 2013; 45(1):186 - 205. doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a.
 88. Meinel K, Schnabel G. Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. 11. überarbeitete und erweiterte Auflage 2007. Meyer & Meyer Verlag.

89. Minoyama O, Tsuchida H. Injuries in professional motor car racing drivers at a racing circuit between 1996 and 2000. *Br J Sports Med* 2004; 38:613 - 616. Doi: 10.1136/bjism.2003.007674.
90. Mirabelli MH, Devine MJ, Singh J, Mendoza M. The preparticipation sports evaluation. *American Family Physician* Volume 92, Number 5, September 1, 2015.
91. Moorhead RG, Laurence C. Health of a team competing in the 1990 World Solar Car Challenge. *Journal of the Royal-Society of Medicine* Volume 85 June 1992.
92. Mosterd A, Pre-participation screening of asymptomatic athletes. "Don't do stupid stuff". *Neth Hert J* (2018) 26:123-126. Doi: 10.1007/s12471-018-1075-7.
93. Mueller S, Stoll J, Mueller J, Mayer F. Validity of isokinetic trunk measurements with respect to healthy adults, athletes and low back patients. *Isokinetics and Exercise Science* 20 (2012) 255 - 266. DOI 10.3233/IES-2012-00482.
94. Müller S, Baur H, König T, Hirschmüller A, Mayer F. Reproducibility of isokinetic single- and multi-joint strength measurements in healthy and injured athletes. *Isokinetics and exercise science* 15 (2007) 295-302.
95. Mueller J, Engel T, Mueller S, Stoll J, Baur H, Mayer F. Effects of sudden walking perturbations on neuromuscular reflex activity and three-dimensional motion of the trunk in healthy controls and back pain symptomatic subjects. *PLOS ONE* 2017 12(3): e0174034. Doi.org/10.1371/journal.pone.01740434.
96. Muñoz I, Seiler S, Bautista J, España J, Larumbe E, Esteve-Lanao J. Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int J Sports Physiol Perform.* 2014; 9(2):265 - 272. doi:10.1123/IJSP.2012-0350.
97. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken IH, Skjølberg A, Olsen O-E, Vahr R. Prevention of Anterior Cruciate Ligament injuries in female team handball players: A prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* , Vol. 13, No. 2,2003.
98. Neal CM, Hunter AM, Brennan L et al. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J Appl Physiol.* 2013; 114(4):461 - 471. doi:10.1152/jappphysiol.00652.2012.
99. Niederer D, Vogt L, Banzer W. Physical activity, training and exercise in the prevention of low back pain: a focus review with special emphasis on motor control. *Dtsch Z Sportmed.* 2018; 69: 262-266.
100. Nieman DC, Gillitt ND, Shanely RA, Dew D, Meaney MP, Luo B. Vitamin D2 supplementation amplifies eccentric exercise-induced muscle damage in NASCAR Pit Crew Athletes. *Nutrients* 2014, 6, 63 - 75; doi:10.3390/nu6010063.

101. Nieß A. Thermoregulation und körperliche Aktivität. In Dickhuth HH, Mayer F, Röcker K, Berg A. Sportmedizin für Ärzte. Deutscher Ärzteverlage GmbH 2007.
102. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. The Drop Jump Screening Test. Difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine* Vol. 33, No. 2 Doi: 10.1177/O363546504266484.
103. Owen N, King H, Lamb M. Literature review of race driver fatigue measurement in endurance motorsport. 7th Asia-Pacific Congress on Sports Technology, APCST 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.07.260.
104. Padua DA, DiStefano LJ, Hewett TE, Garrett WE, Marshall SW, Golden GM, Schultz SJ, Sigward SM. National athletic trainers' association position statement: Prevention of anterior cruciate ligament injury. *Journal of Athletic Training* 2018; 53(1)5 - 19. doi: 10.4085/1062-6050-99-16.
105. Parzikova J. Particularities of lean body mass and fat development in growing boys related to their motor activity. *Acta paediatrica Belgium* 28 (1974) 233-243.
106. Pasanen K, Parkkari J, Pasanen m, Hiilloskorpi H, Mäkinen T, Järvinen M, Kannus P. Neuromuscular training and the risk of leg injuries in female floorball players: cluster randomised controlled study. *BMJ* 2008; 337; a295. Doi: 10.1136/bmj.a295.
107. Peate WF, Bates G, Lunda K, Francis S, Bellamy K. Core strength: A new model for injury prediction and prevention. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2 (3) 2007. doi: 10.1186/1745-6673-2-3.
108. Pedley JS, Llyod RS, Read P, Moore I, Oliver J. Drop jump: A technical model for scientific application. *Strength and Conditioning Journal*. Volume 39. Number 5. October 2017.
109. Pedraza J, Jardeleza JA. The preparticipation physical examination. *Prim Care Clin Office Pract* 40(2013) 791-799.
110. Petersen J, Hölmich P. Evidence based prevention of hamstring injuries in sport. *Br J Sports Med* 2005; 39: 319-323. Doi: 10.1136/bjism.2005.018549.
111. Pino EJ, Arias DE, Aqueveque P, Melin P, Curtis DW. Wireless pilot monitoring system for extreme race conditions. Conference Paper IEEE August 2012.
112. Potkanowicz ES, Mendel RW. The Case for Driver science in Motorsport: A review and recommendations. *Sports Med* April 2013 doi 10.1007/s40279-013-0040-2.
113. Raschner C, Platzer H-P, Patterson C. Physical characteristics of experienced and junior open-wheel car drivers. *Journal of Sports Sciences*, 2013 Vol. 31, No. 1, 58 65, doi.org/10.1080/02640414.2012.720703.

114. Rønnestad BR, Hansen J. Optimizing interval training at power output associated with peak oxygen uptake in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2016 Apr;30(4):999 – 1006
115. Roush SE, Sonstroem RJ. Development of the physical therapy outpatient satisfaction survey (PTOPS). *Physical Therapy* . Volume 79 . Number 2 . February 1999.
116. Scherr J. Bewegung und Erkrankungen des Immunsystems. In: *Körperliche Aktivität und Gesundheit. Präventive und therapeutische Ansätze der Bewegungs- und Sportmedizin.* Banzer W. Hrsg. Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2017 doi: 10.1007/978-3-662-50335-5.
117. Scherr V, Ramme K, Reinsperger C, Heitkamp H-C. VO2max Testing in Trail Runners: Is there a specific exercise test protocol? *Int J Sports Med* 2018; 39 (06): 456-461.
118. Schumacher YO, Mueller P, The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2002, 34 (6), pp. 1029 - 1036.
119. Schuster H-P, Trappe H-J. *EKG- Kurs für Isabel. 4. Überarbeitet und erweiterte Auflage.* 2001. Thieme- Verlag.
120. Schwaberg G. Heart rate, metabolic and hormonal responses to maximal psycho-emotional and physical stress in motor car racing drivers. *Int Arch Occup Environ Health.* 1987;59(6):579 - 604. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3316041>. Accessed July 17, 2015.
121. Scott M, Lephart FHF. Proprioception and neuromuscular control in joint stability. *Human Kinetics Pub Inc* Januar 2000.
122. Seidler H. On the relationship between whole-body vibration exposure and spinal health risk. *Industrial Health* 2005, 43,361 - 377.
123. Seiler S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform.* 2010; 5(3):276 - 291. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01117.x.
124. Söderman K, Werner S, Pietilä T, Engström B, Alfredson H. Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremities in female soccer players? A prospective randomized intervention study. *Knee Surg, Sports TRaumatol, Arthrosc* (2000) 8: 356-363. DOI: 10.1007/s001670000147.
125. Soligard T, Myklebust G, Steffen K, Holme I, Silvers H, Bizzini M, Junge A, Dvorak J Bahr R, Andersen TE. Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ* 2008; 337; a2469. Doi: 10.1136/bmj.a2469.

126. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol.* 1994; 76(3):1247 - 1255.
127. Steffen K, Myklebust G, Olsen OE, Holme I, Bahr R. Preventing injuries in female youth football – a cluster- randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports* 2008; 18: 605-614. Doi: 10.1111/j.1600-0838.2007.00703.x
128. Stöggl T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol.* 2014; 5 FEB. doi:10.3389/fphys.2014.00033.
129. Suchomel T J, Nimphius S, Bellon C R. The importance of muscular strength: training considerations. *Sports Med* 2018 48:765 - 785. Doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z.
130. Sward L, Scensson M, Zetterberg C. Isometric muscle strength and quantitative electromyography of back muscles in wrestlers and tennis players. *Am J Sport Med.* 1990; 8:382 - 386.
131. Taube W. Neurophysiological adaptations in response to balance training. *Dtsch Z Sportmed.* 2012; 63(9):273 - 277. doi:10.5960/dzsm.2012.030.
132. Taube W, Gruber M, Gollhofer A. Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta Physiol.* 2008; 193(2):101 - 116. doi:10.1111/j.1748-1716.2008.01850.x.
133. Thomas C, Kyriakidou I, Dos´Santos T, Jones PA. Differences in Vertical Jump force-time characteristics between stronger and weaker adolescent basketball players. *Sports* 2017, 5, 63; doi: 10.3390/sports5030063.
134. Tsopanakis C, Tsopanakis A. Stress hormonal factors, fatigue and antioxidant responses to prolonged speed driving. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 1998, Vol. 60 No. 3, pp. 747 – 751.
135. Videman T, Simonen R, Usenius J P., et al. The long-term effects of rally driving on spinal pathology. *Clin Biomech* 2000; 15:83 - 86.
136. Viña J, Sanchis-Gomar F, Martinez-Bello V, Gomez-Cabrera MC. Exercise acts as a drug; The pharmacological benefits of exercise. *Br J Pharmacol.* 2012; 167(1):1 - 12. doi:10.1111/j.1476-5381.2012.01970.x.
137. von Jan TKTSHJ, von Jan ZR. “Don’t sleep and drive- VW’s fatigue detection technology.” In *Proceedings of 19th International Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, Washington, DC. 2005.
138. Walker SM, Dawson B, Ackland TR. Performance in rally car drivers via heat acclimation and race simulation. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 128 2001 701 - 707.


139. Walker SM, Ackland TR, Dawson B. The combined effect of heat and carbon monoxide on the performance of motorsport athletes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 128 2001 709 - 718.
140. Walz J. *Geschichte des Motorsports. Von den Anfängen bis heute.* Delius Klasing und Co. KG, Bielefeld. 2. Auflage 2017.
141. Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Review health benefits of physical activity : the evidence. 2006.
142. Krause T. Die Geschichte der WEC. WEC- Magazin. Abgerufen von <https://wec-magazin.de/features/geschichte-der-wec/>. Zugriff: 22.09.2018 12:30 MEZ.
143. Wertman G, Gaston G, Heisel W. Upper extremity injuries in NASCAR Drivers and Pit Crew: An epidemiological study. *The Orthopaedic Journal of Sports Medicine* 2016 Feb 12 4(2), 2325967116629427 DOI: 10.1177/2325967116629427.
144. WEC- Regularien 2018. <https://bo.fiawec.com/assets/ressources/Pdf/2018/2018-2019%20FIA%20WEC%20Sporting%20Regulations.pdf>. Zugriff am 23.09.2018 7:40 MEZ.
145. Wirth K, Hartmann H, Mickel C, Szilvas E, Keiner M, Sander A. Core stability in athletes: A critical analysis of current guidelines. *Sports Med* 2017 47:401 - 414 DOI 10.1007/s40279-016-0597-7.
146. Wonisch M, Berent R, Klicpera M, Laimer H, Marko C, Pokan R, Schmidt P, Schwann H. Praxisleitlinie Ergometrie. *J Kardiol* 2008; 15 (Suppl A).
147. Yamakoshi T, Matsumura K, Yamakoshi Y, Hirose H, Rolfe P. Physiological measurements and analyses in motor sports: a preliminary study in racing kart athletes. *European Journal of Sport Science*, November 2010; 10(6): 397 - 406.
148. Yanagida R, Takahashi K, Miura M, Nomura M, Ogawa Y, Aoki K, Iwasaki KI. Speed ratio but cabin temperature positively correlated with increased heart rates among professional drivers during car races. *Environ Health Prev Med* 2016 21:439 - 445.
149. Zemkova E, Hamar D . Sport-specific assessment of the effectiveness of neuromuscular training in young athletes. *Front Physiol.* 2018 9:264. Doi: 10.3389/fphys.2018.00264.
150. Zwolski C, Quatman-Yates C, Paterno MV. Resistance training in youth: laying the foundation for injury prevention and physical literacy Sep – Oct 2017 CEU. DOI: 10.1177/1941738117704153.

8. Anhang

Ruhefunktionsuntersuchung

Dokumentation der Ruhefunktion u.a. zur Berechnung der anthropometrischen Messgrößen.

Hochschulambulanz der Universität Potsdam
 Zentrum für Sportmedizin, Freizeit-, Gesundheits- und Leistungssport
 Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. Mayer



Ruhefunktion

Patientenaufkleber

Anthropometrie

Datum: _____ Größe (cm): _____
 Uhrzeit: _____ Gewicht (kg): _____
 Medikamente: _____ BMI (kg/m²): _____

EKG und Blutdruck

Blutdruck (mmHg): _____
 Herzfrequenz (Schl./min): _____
 Rhythmus: _____
 Lagetyp: _____

Normalbefund

Hautfalte	mm
1. Wange-Ohr	
2. Mundboden	
3. Achselfalte	
4. Rippe	
5. Bauch	
6. Beckenkamm	
7. Schulterblatt*	
8. Triceps*	
9. Patella	
10. Kniekehle	
11. Darmbeinstachel*	
12. Biceps*	

Seh- und Hörtest

Brille Kontaktlinsen

Dioptrien (dpt): re: _____ li: _____
 Sehschärfe: re: _____ li: _____

Farbsehen: _____
 Hörtest: re: _____ li: _____

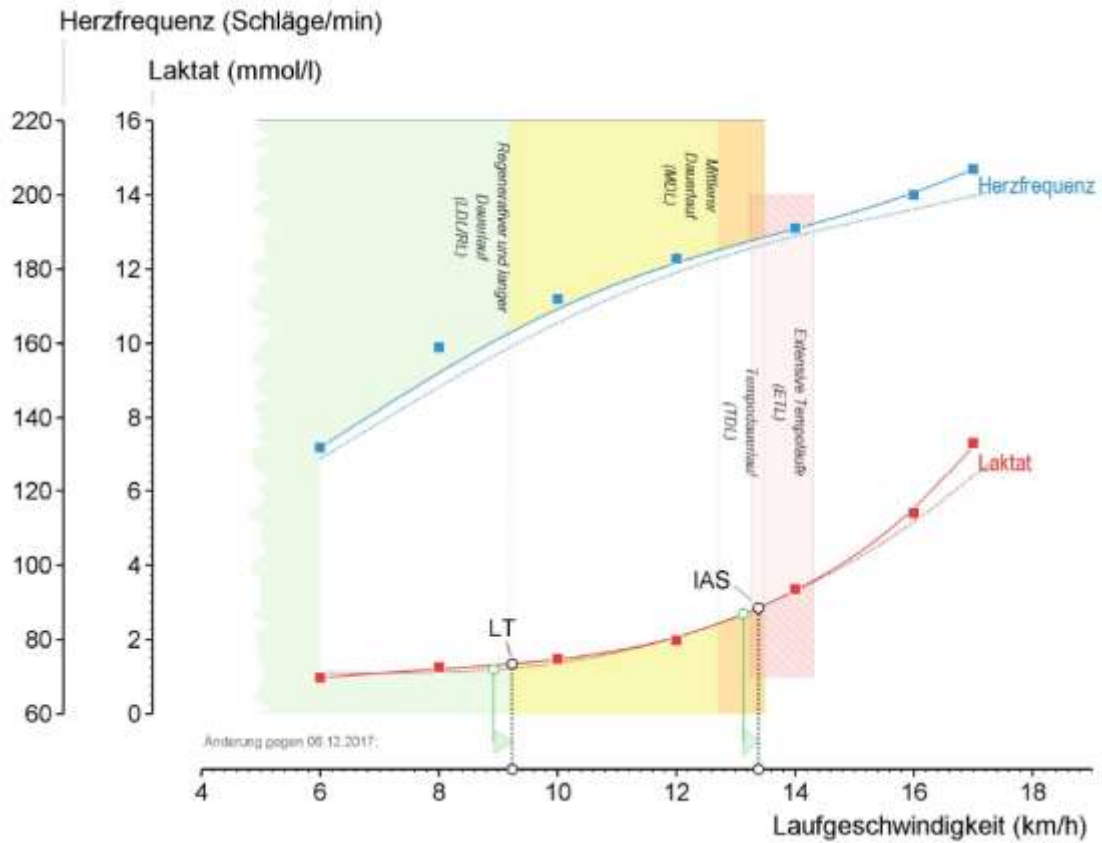
10-P.-Methode: _____ mm _____ %
 4-P.-Methode*: _____ mm _____ %
 Mittelwert: _____ %

Fettmasse: _____ kg
 Fettfreie Masse (FFM): _____ kg
 RNU nach Cunningham: _____ kcal/d

Anhang

Laktatleistungsdiagnostik einer Laufbandergometrie eines Profifahrers

Schwelldarstellung (IAS: Laktat, Herzfrequenz) in Abhängigkeit der gelaufenen Geschwindigkeit auf dem Laufband im Vergleich eines vergangenen Tests (gestrichelte Linie).



Trainingsempfehlungen "Rumpfstabilisation"

Beispiel eines Stabilisationstrainings für den Rumpf zur selbstständigen Durchführung. Dabei besteht der Fokus im Wesentlichen auf ein 4- Übungsprogramm [1-4] und differenzierte Ausführungsmöglichkeiten [I-V] in Abhängigkeit des Schwierigkeitsgrades.

Stabilization lumbar spine			
Exercise	Duration	Movement	Hint
1 Trunk rotation	3 sets 10 reps./side Break: 30"		- No pelvis-rotation
2 Rowing with trunk rotation	3 sets 10 reps./sight break: 30"		- No pelvis-rotation
3 Hip-abduction	3 sets 10 reps./sight Break: 30"		- Trunk is stable
4 Sustain on the sight - up/down the hip	3 sets 10 reps./sight Break: 30"		- Shoulder is stable

Stabilization lumbar spine				
	II	III	IV	V
1	Arm/Leg lift diagonal 	Sustain - trunk rotation 	combine II & III 	pushup
2	Rowing with trunk rotation on the ball of the foot 	Rowing with trunk rotation on one leg 	Rowing with trunk rotation on one leg 	Rowing with trunk rotation on the ball
3	Squats on the ball of the foot 	Squats with pelvis movement 	One leg squats 	One leg squats
4	sustain on the sight - one leg - pelvis up and down 	sustain on the sight - one leg - pelvis up and down 	sustain on the sight - bend/straight the upper leg and arm 	Combine II & IV

Anhang

Einsatzplanung Rennsaison des Medizinteams (Ärzte, Physiotherapeuten, Trainer)

Beispiel eines Einsatzplanes des Medizinteams einer Saison. Einteilung nach Gesundheitsuntersuchungen (GU I + II), Trainingslager (TL1 Aufbautraining; TL2 Anschlussstraining), Renn- und Testeinsätze. Farben stehen für ärztliche Verantwortung des „Einsatzes“ *gelb* als Kennzeichnung für „Arzt im Hintergrund“. Dargestellt sind beide hauptsächlich zu betreuenden Rennserien (FiA WEC; IWSC) sowie Tests und Einzelrennen mit medizinischem Betreuungsbedarf. Zu „Tests“ gehören Autotests (Dauerläufe) im Einzelnen, Reifentests und Entwicklungstests.

Einsatzplanung Medizinteam														
	Einsätze		Ärzte			Physiotherapeuten / Trainer								
	Inhalt/Ort	Verantwortlich	Arzt 1	Arzt 2	Arzt 3	PT 1	PT 2	PT 3	PT 4	PT 5	PT 6	PT 7	PT 8	Trainer
Training & GU	TL 1													
	TL 2													
	GU II													
	GU II													
Einzelrennen	12h Bathurst													
	24h Nürburgring													
	Test Day 24h Spa													
	24h Spa													
	10h Suzuka													
	8h Laguna seca													
GT [IWSC]	24 h Daytona													
	12 h Sebring													
	Long Beach													
	Mid-Ohio													
	Watkins Glen													
	Mosport													
	Lime Rock													
	Road America													
	Virginia													
	Laguna Seca													
GT [WEC]	Road Atlanta													
	R01 Spa													
	R02 Le Mans													
	R03 Silverstone													
	R04 Fuji													
	R05 Shanghai													
GT-Test	Prologue Paul Ricard													
	Le Mans Pretest													
	T01 Roar Daytona													
	T02 Sebring													
	T03 Laguna Seca													
	T04 Mid Ohio													
	T05 Monza													
	T06 Watkins Glen													
	T07 Road America													
	T08 Atlanta													
E-Test	T09 Atlanta													
	T10 Daytona													
	T01 Abu Dhabi													
	T02 Abu Dhabi													
	T04 Bahrain													
	T05 Aragon													
	T06 Paul Ricard													
T07 Oschersleben														
T08 Monza														
T10 Spa														
T11 Spa														

ProWebDB Dokumentationsdatenbank (eCRF)

Personal ID:

Date of birth: [dd.mm.yyyy]

Last Name:

First Name:

Examination date: [dd.mm.yyyy]

Name of Physician:

Anamnesis
Most common race series:

Further racing series:

Presenting problems:

Presenting cause:

Condition:

Localization:

Localization head/neck

Exact localization:

Additional remarks:

Localization trunk/thorax

Exact localization:

Additional remarks:

Localization spine/pelvis

Exact localization:

Additional remarks:

Localization upper extremity

Exact localization:

Additional remarks:

Localization lower extremity

Exact localization:

Additional remarks:

Localization others

Other localization:

Structure

Other structure:

Kind of condition

Condition:

Other condition:

Diagnostics Yes No

Imaging:

X-ray: Yes No

MRI: Yes No

CT scan: Yes No

Other imaging:

Laboratory: Yes No

Blood count: Yes No

CRP: Yes No

Blood sedimentation: Yes No

Electrolytes: Yes No

Kidney parameters: Yes No

Liver parameters: Yes No

Other laboratory:

Functional diagnostics: Yes No

ECG: Yes No

Resting ECG: Yes No

Anhang

Lung function: Yes No

Spiroergometry: Yes No

Other functional diagnostics:

Other diagnostics:

Diagnosis 1: ICD-10:

Diagnosis 2: ICD-10:

Diagnosis 3: ICD-10:

Diagnosis 4: ICD-10:

Therapy Yes No

Drugs:

Drug: Intake: [mg/day]

Drug: Intake: [mg/day]

Drug: Intake: [mg/day]

Other therapy

Applications: Yes No

Physical therapy: Yes No

Physiotherapy: Yes No

Electrotherapeutics: Yes No

Classical massage: Yes No

Ultrasonic therapy: Yes No

Particular massage techniques: Yes No

Thermotherapy/Cryotherapy: Yes No

Manuale therapy: Yes No

Others:

Others: Yes No

Athletic coaching: Yes No

Bandages/therapeutic appliances: Yes No

Bandages/therapeutic appliances:

Nutrition consultation: Yes No

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
z.B.	zum Beispiel
u.a.	unter anderem
vgl.	Vergleich
Min.	Minimum
Max.	Maximum
bspw.	Beispielsweise
s.u.	siehe unten

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Study Flow Chart der systematischen Literaturanalyse zur Definition der Belastung im Langstreckenmotorsport. 13

Abbildung 2: Carlson et al 2014. Thermoregulation während eines Stock-Car-Rennes. A) Tcore und Tskin und B Tcore-Tskin gradient. * signifikanter Unterschied zwischen pre- und post-Rennen ($p < 0,05$), MW \pm SD..... 19

Abbildung 3: Kontinnen et al 2008. Durchschnittsherzfrequenz einzelner Rennabschnitte relativ zum Maximum der Gruppen A-Level Fahrer (A) und Hobby- Fahrer (H) im Motorradsport..... 21

Abbildung 4: Baur et al 2006. Kraftleistungsfähigkeit im Vergleich Profifahrer und altersgematchte Kontrollgruppe. Dargestellt als Mittelwert, Standardabweichung und 95%-Konfidenzintervall..... 24

Abbildung 5: Konttinen et al 2008. Kraft- Zeit-Verlauf der MVC (Beinextension) vor und nach dem fahren..... 25

Abbildung 6: Baur et al 2006. Wiener Reaktionstest (RT: Reaktionszeit, mittlere motorische Zeit) und Determinationstest (DT: Reaktionszeit, „korrekt reagiert“, „falsch reagiert“) sowie „Center of Pressure“ im Einbeinstand über 15s im Vergleich beider Gruppen (Profifahrer; Kontrollgruppe). 27

Abbildung 7: Owen et al. 2015 nach von Jan 2005. Klassifikation der Ermüdung und deren Effekt. 28

Abbildung 8: Filho et al. 2014 "Multi- action Plan (MAP)" zur Performance- und Aufmerksamkeitskontrolle (nach Bortoli 2012)..... 29

Abbildung 9: Einflussgrößen auf die „Performance“ eines Hochleistungsmotorsportlers. 30

Abbildung 10: Anzahl der zu betreuenden Fahrer pro Jahr über den Gesamtbeobachtungszeitraum von 2003 bis 2017. 35

Abbildung 11: Altersentwicklung der untersuchten Athleten über 15 Jahre (2003-2017) als MW \pm SD. 36

Abbildung 12: Längsschnitt Körpergewicht der Athleten über 15 Jahre als MW \pm SD..... 36

Abbildung 13: Längsschnitt Körpergröße der Athleten über 15 Jahre als MW \pm SD..... 37

Abbildung 14: Längsschnitt Body Mass Index (BMI) der Athleten über 15 Jahre als MW \pm SD. ... 37

Abbildung 15: Längsschnitt prozentualer Körperfettanteil der Athleten über 10 Jahre als MW \pm SD. 37

Abbildung 16: Längsschnitt fettfreie Masse der Athleten über 6 Jahre als MW \pm SD..... 38

Abbildung 17: Längsschnitt der Anzahl an Trainingseinheiten pro Woche über 15 Jahre als MW \pm SD. 38

Abbildung 18: Längsschnitt Trainingsdauer pro Trainingseinheit in Minuten über 15 Jahre als MW \pm SD. 38

Abbildung 19: Saisonverlauf der sportmedizinischen Betreuung für GT Rennfahrer. 40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 20: Prävalenz der anamnestischen Auffälligkeiten (prozentual) differenziert nach Fachgebieten (Innere Medizin, Orthopädie, Kardiologie) über den Beobachtungszeitraum von 2003- 2017.....	48
Abbildung 21: Prävalenz der auffälligen Untersuchungsbefunde (prozentual) differenziert nach Fachgebiet (Innere Medizin, Orthopädie) über den beobachtungszeitraum 2003-2017.	49
Abbildung 22: Prozentuale Häufigkeiten von Allergien und auffälligen Befunden im Sehtest bezogen auf die Gesamtanzahl der jährlich untersuchten Athleten über den beobachtungszeitraum von 2003-2017.	50
Abbildung 23: Prozentuale Häufigkeiten des physiotherapeutischen und ärztlichen Therapiebedarf bezogen auf die Gesamtanzahl der jährlich untersuchten Athleten über den Beobachtungszeitraum von 2003 – 2017.....	52
Abbildung 24: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) des Auftretens und der Fachgebietszuordnung von aktuellen Beschwerden im Motorsport während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).....	54
Abbildung 25: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) der Art und Lokalisation von aktuellen Beschwerden im Motorsport während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).	55
Abbildung 26: Absolute Zahlen (oben) und prozentuale Häufigkeiten (unten) der durchgeführten Therapieformen während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).....	57
Abbildung 27: Absolute Zahlen (unten) und prozentuale Häufigkeiten (oben) der abgeleiteten Konsequenz nach Empfehlung weiterer Abklärung, notwendiger Wiedervorstellung und Tauglichkeit für den Motorsport der aktuellen Beschwerden während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016).	58
Abbildung 28: Geschwindigkeit an der IAS auf dem Laufband [vIAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2003-2017 (MW ± SD).....	59
Abbildung 29: Geschwindigkeit an der IAS auf dem Laufband unterschieden nach GU I + II im Längsschnitt aller Fahrer von 2004-2017 (MW ± SD).....	60
Abbildung 30: Herzfrequenz an der IAS auf dem Laufband [Hf IAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer 2004-2017 (MW ± SD).	60
Abbildung 31: Laktatkonzentration an der IAS auf dem Laufband [Laktat IAS LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2004-2017 (MW ± SD).....	60
Abbildung 32: Maximal geleistete Geschwindigkeit auf dem Laufband [max. v LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2003-2017 (MW ± SD).....	61
Abbildung 33: maximale Sauerstoffaufnahme auf dem Laufband [VO2max LB] im Längsschnitt aller Fahrer von 2013-2017 (MW ± SD).....	61
Abbildung 34: Längsschnitt der absoluten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Rumpfextension (dunkelgrau) und –Flexion (hellgrau) bei 60°/s der Athleten über 10 Jahre als MW ± SD.....	63
Abbildung 35: Längsschnitt der normiert gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Rumpfextension (dunkelgrau)/ -Flexion (hellgrau) bei 60°/s der Athleten über 10 Jahre als MW ± SD.....	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 36: Längsschnitt der absolut gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Beinextension rechts (dunkelgrau) und links (hellgrau) bei 0,3m/s der Athleten über 6 Jahre als MW \pm SD.	64
Abbildung 37: Längsschnitt der normiert gemittelten isokinetischen Maximalkraft (3RM) der Beinextension rechts (dunkelgrau) und links (hellgrau) bei 0,3m/s der Athleten über 7 Jahre als MW \pm SD.	64
Abbildung 38: Center of Pressure (CoP) über 10s im Einbeinstand: li. dunkelgrau; re. hellgrau der Athleten von 2014-2017 (MW \pm SD).	67
Abbildung 39: Bodenkontaktzeit des Drop Jumps von einem 30cm hohen Podest der Athleten von 2014-2017 (MW \pm SD).	67
Abbildung 40: Bodenkontaktzeit (Einzelwerte) des DJ von einem 30cm hohem Podest aller Athleten im Jahr 2015 (schwarze Linie als Cut off des DJ).	68
Abbildung 41: Bodenkontaktzeit (Einzelwerte) des DJ von einem 30cm hohem Podest aller Athleten im Jahr 2016 (schwarze Linie als Cut off des DJ).	68
Abbildung 42: Trainingsinhalte eines Motorsportlers zur Optimierung seiner Belastungsfähigkeit im Rennfahrzeug.	79
Abbildung 43: Mittelwert (\pm Standardfehler) der Leistung an der Laktatschwelle (LT), Laktat-Turnpoint (LTP) und maximale Leistung (PPO) vor (Pre) und nach (Post) nach Wochen beider Trainingsinterventionen. POL „polarized“ Trainingsmodel; THR Schwellentraining. *Signifikanter Unterschied zum Vortest innerhalb der Trainingsmodelle. Neal et al. 2013.	80
Abbildung 44: Taube 2013 Vereinfachte dargestellte neuronale Anpassungsreaktion nach Gleichgewichtstraining. a) Darstellung der Strukturen zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts b) Wirkmechanismus durch Gleichgewichtstraining. Hemmung durch Gleichgewichtstraining Verbesserung der Bewegungskontrolle.	81
Abbildung 45: Rumpftraining und seine Beeinflussung auf die Leistungsfähigkeit: Prinzip eines Trainings mit geringer und hoher Last auf die Rumpfstabilität und Rumpfkraft. Hibbs et al. 2008.	82
Abbildung 46: Beispiel eines ganzjährigen sportmedizinischen Betreuungs- und Trainingskonzeptes im Langstreckenmotorsport.	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien der systematischen Literaturrecherche. 12

Tabelle 2: Ergebnisse der Literaturrecherche mit Schwerpunkt auf der physischen Belastung/Beanspruchung und häufige Verletzungen/Beschwerden durch Motorsport (Hf max = maximale Herzfrequenz). 14

Tabelle 3. Konttinen et al 2008. Sauerstoffaufnahme (VO2) Ventilation (VE), Respirationsfrequenz (RF), Laktat (LA) und Herzfrequenz (HR) während drei Rennabschnitte (insgesamt 30 Minuten jeweils 10 Minuten als Abschnitt) der Gruppe A-Level Fahrer (A) und Hobby-Fahrer (H) im Verhältnis zum Ausbelastungstest auf einem Fahrrad. 21

Tabelle 4. Backman et al 2006. Mittelwerte und Standardabweichungen der isometrischen Krafttests und Kraftausdauerests für den Rumpf/ Halswirbelsäule (Extension/ Flexion; Rotation, Lateralflexion), der unteren Extremität (Beinextension, Plantarflexion) und der oberen Extremität (Flexion/ Extension). 26

Tabelle 5: Anthropometrie der Fahrer zum Eintritt in den professionellen Hochleistungsmotorsport (MW± SD). 36

Tabelle 6: Zusammenfassung der wichtigsten Diagnosen mit Therapiebedarf bzw. der Notwendigkeit einer weiteren diagnostischen Abklärung. Ein Großteil der Pathologien war über mehrere Jahre auffällig. Die Mehrzahl führte vorübergehend zu einer Einschränkung der sportlichen Belastbarkeit..... 51

Tabelle 7: Zusammenfassung der wichtigsten Diagnosen mit Therapiebedarf während der Renneinsätze im analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016)..... 56

Tabelle 8: Zusammenfassung der applizierten Medikation während der Akutbetreuung vor Ort für den analysierten Beobachtungszeitraum (2015 und 2016)..... 58

Tabelle 9: Erbrachte Leistung auf dem Fahrradergometer (Maximal (Max. rel. P)/Schwelle (IAS rel. P)) normiert auf das Körpergewicht für die Jahre 2003-2008 und 2014-2017 aller Fahrer (MW ± SD)..... 62

Tabelle 10:Isokinetische Maximalkraft der Beinextension konzentrisch für das rechte und linke Bein als Absolutwert (Fmax unilateral), als ein Vielfaches des Körpergewichtes und das Verhältnis re/ li bzw. der prozentuale Unterschied re/li (MW ± SD)..... 65

Tabelle 11: Isokinetische Maximalkraft der Beinextension exzentrisch für das rechte und linke Bein dargestellt als Absolutwert (Fmax unilateral), als ein Vielfaches des Körpergewichtes und das Verhältnis re/li bzw. der prozentuale Unterschied re/li (MW±SD). 65

Tabelle 12: Isokinetische Maximalkraft [Fmax] der Rumpfextension/-flexion konzentrisch [kon] als Absolutwert [Nm] und das Verhältnis Flx/Ex (MW ± SD)..... 66

Tabelle 13: "Richtig reagierte" Reaktionen, mittlere Reaktionszeit und mittlere motorische Zeit des Wiener Tests aller Athleten von 2011-2017 (MW ± SD)..... 69

Tabelle 14: Möglichkeiten des Widerstandstrainingsmethoden und deren Einfluss auf die Hypertrophie, Kraft und Power. Die Trainingsmethoden varriieren von + geringer Beeinflussung und +++++ hohe Beeinflussung, ^a meint geringe Datenlage vorliegend. Suchomel et al. 2018..... 83

Anerkennung

Als erstes möchte ich mich bei Herrn Prof. Frank Mayer bedanken der mir die Möglichkeit geben hat, eine Verbindung zwischen Praxis und „Wissenschaft“ herzustellen. Ich bin sehr dankbar für seine Unterstützung und die Möglichkeit an der Hochschulambulanz der Universität Potsdam zu promovieren und Teil des Teams sein zu dürfen. Sein ständiger Ansporn weiter und über den „Tellerrand“ zu denken ist immer wieder Motivation und Forderung zu gleich.

Weiterhin möchte ich allen Kollegen der Hochschulambulanz danken, ohne die ich beruflich heute nicht da wäre wo ich bin, ohne die dieses Projekt nicht umzusetzen gewesen wäre. Der ständige Austausch und die Möglichkeit zur Diskussion haben mich ständig vorwärts gebracht. Im speziellen möchte ich Ina Krägermann und Anika Schönefeld danken, die immer die „Tür“ offen stehen hatten und ohne die so manche Formalität untergegangen wäre.

Des Weiteren möchte ich der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG und allen Werksfahrern danke und deren Bereitschaft und Unterstützung an dieser Studie.

Darüber hinaus, möchte ich Steffen Müller, Friederike Scharhag- Rosenberger, Heiner Baur und Anja Carlsohn danken, die meine ersten Schritte, in die Welt der Wissenschaft elementar begleitet und geebnet haben. Vielen Dank an Juliane Müller und ihren ständigen Mut mit mir zu diskutieren. Viele Erfahrungen wären ohne dich nicht möglich gewesen und auch ich träume noch von unserer gemeinsamen Strandklinik. ☺

Nicht zu Letzt möchte ich meinen Eltern, Siegfried und Anette Weber sowie meinem Bruder Alex danken, die mich immer unterstützt und mich doch meinen Weg gehen lassen haben. Die mir aufgezeigt haben, was es heißt Verantwortung zu übernehmen und dennoch Rückhalt zu bekommen.

Ein letzter Dank geht an meinen wundervollen Mann Andreas, meine großartige Tochter Frieda und meine grandiose Freundin und „Schattenspenderin“ Katrin die immer an mich glauben, immer für mich da sind, immer kritisch an meiner Seite stehen und mir zeigen, was die Welt so bietet. Ohne euch wäre das Leben nur halb so aufregend, reibungsvoll und geistreich! Danke für eure „nahezu“ bedingungslose Liebe! ☺

Erklärung

im Rahmen der Promotionsordnung (§4 Satz 4 und 7) der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität Potsdam.

Ich erkläre hiermit, dass die vorliegende Arbeit mit dem Titel: *„Gesundheitsmonitoring im Langstreckenmotorsport. Eine Analyse von Athletenprofilen, häufigen Beschwerden und deren Ableitung für präventive Trainingsprogramme im Quer- und Längsschnitt.“* selbstständig und ohne unzulässige Hilfe Dritter verfasst wurde und bei der Abfassung nur die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel benutzt sowie alle wörtlichen oder inhaltlich übernommenen Stellen als solche gekennzeichnet wurden.

Die Dissertation wurde in der gegenwärtigen oder einer anderen Fassung bisher weder einer anderen Fakultät, noch einer wissenschaftlichen Hochschule zur Begutachtung im Rahmen eines Promotionsverfahrens vorgelegt.

Ort, Datum

Josefine Stoll