

**Universität des Saarlandes**  
Institut für Sport- und Präventivmedizin

**Individualisiertes Monitoring des  
Ermüdungszustandes  
mittels Kreatinkinase und Harnstoff  
im professionellen Badminton**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt von  
Vanessa Norina Barth  
geb. am: 03.06.1993 in Tübingen

Juli 2022

## **Inhalt**

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	5
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	5
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	5
<b>1. Zusammenfassung</b> .....	6
<b>2. Einleitung</b> .....	8
<b>2.1 Definitionen der Begriffe Erholung und Ermüdung</b> .....	8
2.1.1 Erholung .....	8
2.1.2 Ermüdung .....	9
<b>2.2 Trainingszyklen und Anforderungsprofil im Badminton</b> .....	10
2.2.1 Trainingszyklen .....	10
2.2.2 Anforderungsprofil .....	11
<b>2.3 Monitoring</b> .....	12
2.3.1 Anforderungsprofil an ein Monitoringverfahren .....	12
2.3.2 Indikatoren des Ermüdungszustandes .....	13
2.3.2.1 Wahl eines geeigneten Monitoringverfahrens .....	14
2.3.3 Monitoring mittels Kreatinkinase und Harnstoff .....	14
2.3.3.1 CK .....	14
2.3.4.2 Harnstoff .....	15
2.3.5 Referenzwerte .....	15
2.3.5.1 Cut-off-Werte .....	16
2.3.6 Individualisiertes Monitoring .....	16
2.3.6.1 Biologischer Athletenpass .....	16
2.3.6.2 Individualisierungs-Algorithmus .....	16
<b>2.4 Forschungsdefizit</b> .....	17
2.4.1 Badmintonspezifische Trainingsstudien .....	18
2.4.2 Individualisierte CK- und Harnstoffwerte im Badminton .....	19
2.4.3 Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus .....	19
<b>2.5 Studienziele und Hypothesen</b> .....	19

2.5.1 Studienziel 1: Eignung der Parameter CK und Harnstoff für eine Individualisierung	19
2.5.2 Studienziel 2: Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus	19
2.5.3 Hypothesen	20
<b>3. Methodik</b>	20
<b>3.1 Studiendesign</b>	20
3.1.1 Probanden	20
3.1.2 Zeitlicher Rahmen	21
3.1.3 Blutentnahmen	21
3.1.4 Fragebogen	22
<b>3.2 Messmethodik</b>	23
3.2.1 Anthropometrische Daten	23
3.2.2 Blutentnahmen und Bestimmung der CK- und Harnstoffwerte	24
<b>3.3 Berechnung von Kenngrößen</b>	24
3.3.1 Gruppenbasierte Cut-off-Werte	24
3.3.2 Individualisierte Cut-off-Werte	24
3.3.3 Fehlerraten	25
<b>3.4 Statistische Analyse</b>	25
<b>4. Ergebnisse</b>	26
<b>4.1 CK- und Harnstoff-Mittelwerte</b>	26
<b>4.3 Gruppenbasierte Cut-off-Werte</b>	27
<b>4.4 Individualisierte Cut-off-Werte</b>	27
4.4.1 Nicht-klassifizierbare Werte	28
<b>4.5 Fehlerraten</b>	28
4.5.1 Graphische Darstellung	29
<b>5. Diskussion</b>	30
<b>5.1 Ergebnisdiskussion</b>	30
5.1.1 Eignung von CK und Harnstoff	30
5.1.1.1 Gruppenbasierte Mittelwertunterschiede	30
5.1.1.2 Interindividuelle Variabilität	30

5.1.2 Nutzen der Individualisierung.....	31
5.1.2.1 Niedrigere Fehlerraten .....	31
5.1.2.2 Präzision auch bei niedriger Effektstärke .....	31
5.1.2.3 Individueller Nutzen bei stark abweichenden Normwerten .....	31
5.1.2.4 Intuitive Visualisierung .....	32
<b>5.2 Methodenkritik .....</b>	<b>32</b>
5.2.1 Nicht-klassifizierbare Werte .....	32
5.2.2 Einfluss von Umweltfaktoren .....	32
5.2.3 Praktische Umsetzung venöser Blutentnahmen .....	33
<b>5.3 Grenzen und Perspektiven .....</b>	<b>33</b>
5.3.1 Leistungsverbesserung und Verletzungsprävention.....	33
<b>5.4 Schlussfolgerung.....</b>	<b>34</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>35</b>
<b>7. Publikation.....</b>	<b>37</b>
<b>8. Danksagung.....</b>	<b>38</b>
<b>9. Anhang.....</b>	<b>39</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 Ermüdungskontinuum entlang der Zeitachse. ....	10
Abbildung 2 Belastung während eines Badmintonspiels. ....	12
Abbildung 3 Die Funktion der CK. ....	14
Abbildung 4 Entstehung und Ausscheidung von Harnstoff. ....	15
Abbildung 5 Studiendesign. ....	21
Abbildung 6 Fragebogen. ....	23
Abbildung 7 Individualisierungs-Prozess. ....	24
Abbildung 8 Log-Normalverteilung der Parameter. ....	26
Abbildung 9 Intra- und interindividuelle Variabilität. ....	27
Abbildung 10 Individualisierte Cut-off-Werte von Spieler 11. ....	28
Abbildung 11 Visualisierung der Cut-off-Werte. ....	29

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 Bisherige badmintonspezifische Trainingsstudien. ....	18
Tabelle 2 Mikrozyklus während der Vorbereitungsphase. ....	22
Tabelle 3 Anthropometrische Daten. ....	23
Tabelle 4 Fehlermatrix Klassifikation. ....	25
Tabelle 5 Fehlerraten. ....	28

## **Abkürzungsverzeichnis**

ATP .....	Adenosintriphosphat
CK .....	Kreatinkinase
KEB .....	Kurzskala zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport

## 1. Zusammenfassung

Die Feinjustierung individueller Trainingsabläufe ist im Hochleistungssport von zentraler Bedeutung. Dies setzt jedoch voraus, dass Ermüdungszustände präzise erfasst werden. Im Konkreten geht es insbesondere darum, möglichst präzise beurteilen zu können, ob sich ein Athlet in einem erholten oder ermüdeten Zustand befindet. Selbst bei gleicher Trainingsbelastung unterscheiden sich Ermüdungszustände innerhalb einer homogenen Gruppe. Für eine Messung bedeutet dies, dass aufgrund der Variabilität innerhalb eines Individuums als auch zwischen Individuen weite Referenzbereiche entstehen. Dadurch kann die Beurteilung des Ermüdungszustandes im Einzelfall zu unpräzise sein.

Das Problem der unsicheren Beurteilung kann durch Individualisierung gelöst werden. Einen konkreten Ansatz zur individualisierten Erfassung des Ermüdungszustandes lieferte Hecksteden et al. (2017) mit dem Entwurf eines sogenannten Individualisierungs-Algorithmus. Das Prinzip dieses Algorithmus basiert auf dem Bayesianischen Verfahren, bei dem durch wiederholte Messungen eine schrittweise Annäherung an einen individuellen Referenzbereich, auch Cut-off-Wert genannt, entsteht. Somit lassen sich gruppenbasierte Referenzbereiche schrittweise präzisieren. In der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017) wurden wiederholt Blutwerte bei Leistungssportlern aus Ausdauer- und Mannschaftssportarten abgenommen. Unter anderem wurden die Parameter Kreatinkinase (CK) und Harnstoff untersucht. Mithilfe wiederholter Messungen wurden individualisierte Cut-off-Werte berechnet, anhand derer unbekannte Messwerte dem erholten oder ermüdeten Zustand zugeordnet wurden. Dabei konnte gezeigt werden, dass individualisierte Cut-off-Werte insbesondere für CK präziser sind als gruppenbasierte Cut-off-Werte.

Dass CK und Harnstoff Ermüdungszustände im Badminton abbilden, wurde bisher in nur wenigen Studien anhand gruppenbasierter Mittelwerte bestätigt. Inwiefern diese beiden Parameter für eine Individualisierung geeignet sind und ob sich der Individualisierungs-Algorithmus im professionellen Badminton anwenden lässt, wurde bisher noch nicht analysiert. Zudem gibt es für das professionelle Badminton noch keine Studie, die sich mit einem individualisierten Monitoring auseinandersetzt. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Eignung der Parameter CK und Harnstoff für eine Individualisierung im Badminton zu überprüfen. Gleichzeitig sollte die Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus geprüft werden.

Bei 17, ausschließlich männlichen, professionellen Badmintonspielern (Alter  $22 \pm 3$  Jahre,  $10 \pm 4$  Wettkampf-Spieljahre) wurden während der Vorbereitungsphase auf die Badminton-Weltmeisterschaft wiederholt venöse Blutentnahmen durchgeführt, wovon die Daten von 15 Spielern in die statistische Analyse einbezogen wurden. Der erholte Zustand wurde immer montags nach einem trainingsfreien Tag, der ermüdete Zustand immer freitags nach vier

konsekutiven Trainingstagen erfasst. Die individualisierten Cut-off-Werte wurden mithilfe eines von Hecksteden et al. (2017) konzipierten Spreadsheets berechnet, wobei eine Mindestanzahl von fünf Messwerten für den erholten, und fünf Messwerten für den ermüdeten Zustand notwendig waren. Messwerte oberhalb des Cut-off-Wertes wurden dem ermüdeten Zustand, Werte unterhalb des Cut-off-Wertes dem erholten Zustand zugeordnet. Diese Definition galt auch für den gruppenbasierten Cut-off-Wert, der sich aus dem Mittelwert aller Messwerte ergab. Eine Falsch-Zuordnung durch einen Cut-off-Wert wurde als falsch-positiv oder falsch-negativ definiert. Um die Präzision der gruppenbasierten und individualisierten Cut-off-Werten zu ermitteln, wurden die Fehlerraten mithilfe eines Fisher-Exakt-Tests verglichen.

Die numerische Anzahl der falsch-klassifizierten Messwerte lag bei der Zuordnung mittels individueller Cut-off-Werte niedriger als bei gruppenbasierten Cut-off-Werten. Für Harnstoff zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den individualisierten und gruppenbasierten Cut-off-Werten (falsch-erholt  $p = 0,007$ ; falsch-ermüdet  $p = 0,002$ ), wohingegen für CK keine statistisch signifikante Verbesserung durch den Individualisierungs-Algorithmus beobachtet werden konnte (falsch-erholt  $p = 0,275$ ; falsch-ermüdet  $p = 0,291$ ). Numerisch hingegen waren die Fehlerraten der CK niedriger als von Harnstoff.

Somit konnte bestätigt werden, dass individualisierte Cut-off-Werte präzisere Aussagen über den Ermüdungszustand eines Athleten zulassen. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass CK und Harnstoff für eine Individualisierung im professionellen Badminton geeignet sind, und der Individualisierungs-Algorithmus in andere Sportarten übertragbar ist.

Die vorliegende Arbeit wurde im Juni 2019 in der Fachzeitschrift „Frontiers in Physiology“ veröffentlicht (siehe Kapitel 7 Publikation).

## **2. Einleitung**

Trainingsstudien der letzten Jahre haben gezeigt, dass gleiche Trainingsreize innerhalb einer homogenen Gruppe zu unterschiedlichen Trainingsanpassungen führen (Bouchard & Rankinen, 2001; Hecksteden et al., 2015). Dementsprechend ist das Interesse, Trainingsabläufe zu individualisieren, zunehmend gestiegen. Dabei geht es vor allem darum, akkumulierende Ermüdungszustände und somit größer werdende Regenerationsdefizite möglichst präzise zu erfassen (T. Meyer, A. Ferrauti, M. Kellmann, & M. Pfeiffer, 2016). Gleichzeitig werden durch ein Monitoring auch diejenigen Athleten erkannt, die ausreichend erholt und somit voll trainierbar sind (T. Meyer et al., 2016). Das Ziel eines individualisierten Monitorings ist es, zu einem individualisierten Beurteilungsstandard des Ermüdungszustandes zu kommen (T. Meyer et al., 2016). Mit dem Wissen um den Ermüdungszustand eines Athleten können Trainingsmaßnahmen reevaluiert und individuell angepasst werden (Hecksteden et al., 2017; T. Meyer et al., 2016). Die Konsequenz in der praktischen Umsetzung können Trainingsmodifikationen oder -verzicht, gegebenenfalls aber auch eine Erhöhung der Trainingsbelastung sein (T. Meyer et al., 2016).

Gegenstand der vorliegenden Studie war es, die Eignung der Blutwerte Kreatinkinase (CK) und Harnstoff für die individualisierte Erfassung des Ermüdungszustandes im professionellen Badminton zu untersuchen. Gleichzeitig sollte die Übertragbarkeit des von Hecksteden et al. (2017) publizierten Individualisierung-Algorithmus im professionellen Badminton überprüft werden. Um den methodischen Hintergrund und die Durchführung der Studie nachvollziehen zu können, sollen zunächst die Begrifflichkeiten der Trainingswissenschaft definiert werden, um dann auf die Möglichkeiten von Monitoringverfahren und dem Prinzip eines individualisierten Monitorings zu kommen.

### **2.1 Definitionen der Begriffe Erholung und Ermüdung**

#### **2.1.1 Erholung**

„Erholung“ ist im engeren Sinne kein Zustand, sondern eher ein Kontinuum physischer und psychischer Prozesse (M. Kellmann, 2010). In erster Linie dient Erholung der Wiederherstellung körperlicher und geistiger Ressourcen (M. Kellmann & Gunther, 2000). Gleichzeitig stellt Erholung den Ausgangspunkt für eine nachfolgende Belastung, im Sinne einer Ermüdung, dar. Umgekehrt hängt die Dauer der Erholung unter anderem von der Intensität der vorangegangenen Belastung ab und kann durch verschiedene Interventionen qualitativ moduliert werden (Michael Kellmann et al., 2018; M. Kellmann & Gunther, 2000). Dazu gehören passive, aktive oder pro-aktive Interventionen wie beispielsweise die Anpassung der Ernährung, Massagen, Dehnen oder die Kaltwasserimmersion (Poppendieck, Faude, Wegmann, & Meyer, 2013; Simjanovic, Hooper, Leveritt, Kellmann, & Rynne, 2009).



Die Regeneration geistiger Ressourcen kann beispielsweise durch Entspannungstechniken wie mentales Training gefördert werden und dadurch zum subjektiven Empfinden des Erholtseins beitragen (Michael Kellmann et al., 2018). Zudem hängt das Ausmaß des Regenerationsbedarfs von einer Vielzahl von Einflussfaktoren wie zum Beispiel Ernährung oder Stress außerhalb des Sports ab (M. Kellmann, 2010).

Unzureichende körperliche und/ oder geistige Erholung kann die Entstehung von psychischen Veränderungen in Form von Stimmungsschwankungen oder Burn-out begünstigen, was langfristig zu verminderter Leistungsfähigkeit und erhöhter Verletzungsanfälligkeit führen kann (Hottenrott, 2017; M. Kellmann, 2010; M. Kellmann & Gunther, 2000; Meeusen et al., 2013). Gleichzeitig kann jedoch auch ein „zu viel“ an Erholung sowie ständiges Training unterhalb der Belastbarkeitsgrenze (Unterforderung) eine Steigerung der Leistungsfähigkeit verhindern. Erholung ist somit ein bedeutsames Trainingselement (Meeusen et al., 2013; Rowbottom, Keast, & Morton, 1998).

### **2.1.2 Ermüdung**

Der Begriff „Ermüdung“ umfasst den Trainingsreiz als äußere Einwirkung (Belastung) als auch die dadurch entstehenden körperlichen und geistigen Reaktionen (Beanspruchung). Beanspruchung kann als individuelle Reaktion des Organismus auf physischer, psychischer und psycho-sozialer Ebene verstanden werden (Hohmann, 2010; Michael Kellmann et al., 2018).

Analog zum Begriff der Erholung kann auch Ermüdung sowohl Prozess verstanden werden als auch in Form eines akuten Ermüdungszustandes auftreten. In diesem Zusammenhang lassen sich die Begrifflichkeiten des funktionalen Overreaching (functional overreaching, FO), nicht-funktionalen Overreaching (non-functional overreaching, NFO) und Übertrainings (overtraining) voneinander abgrenzen (Michael Kellmann et al., 2018).

Funktionales Overreaching (FO) ist ein notwendiges Trainingselement, um Leistungssteigerung zu erzielen. Dabei wird der Trainingsumfang unter Reduktion der Erholungsphasen zeitlich begrenzt intensiviert (zum Beispiel während eines Trainingslagers oder außerhalb der Saison). Kurzfristig kommt es dadurch zu einer Leistungsminderung. Mit Beendigung des Trainings und nach einer adäquaten Erholungsphase kommt es jedoch zu einer Leistungssteigerung (Meeusen et al., 2013). Bleibt eine systematische Erholung nach einem Training oder einer FO-Sequenz aus, entwickelt sich langfristig ein Ungleichgewicht, was als nicht-funktionales Overreaching (NFO) oder Regenerationsmangel (underrecovery) bezeichnet wird (Michael Kellmann et al., 2018). Während ein Regenerationsmangel allgemein gefasst in vielen Lebensbereichen auftreten kann, ist das nicht-funktionale Overreaching trainingsspezifisch auf das Ausbleiben von Leistungssteigerung bezogen (Michael Kellmann

et al., 2018; Meeusen et al., 2013). Schließlich resultiert ein langanhaltendes NFO in einem Übertraining, oder auch Übertrainingssyndrom (overtraining syndrome, OTS). Charakteristischerweise kommt es zu vermehrten Muskelkrämpfen, erhöhter Schmerzempfindlichkeit und hormonellem Ungleichgewicht (Michael Kellmann et al., 2018; Meeusen et al., 2013). Außerdem können psychovegetative Begleiterscheinungen wie depressive Verstimmungen, Gefühlsschwankungen, Apathie, gestörter Schlafrythmus oder Gewichts- und Appetitverlust auftreten (Carfagno & Hendrix, 2014; Meeusen et al., 2013).

Zusammenfassend sind Erholung und Ermüdung sowohl akute Zustände als auch Prozesse, die multifaktoriell über die Zeit entstehen. Dabei ist die gezielte Ausnutzung des Ermüdungszustandes für das Outcome eines Trainings entscheidend. Nicht zuletzt kann eine chronische Dysbalance von Erholung und Ermüdung eine Leistungssteigerung verhindern und die Verletzungsanfälligkeit erhöhen (Meeusen et al., 2013). Die nachfolgende Abbildung soll das Ermüdungskontinuum entlang der Zeitachse von Entwicklung und Dauer der eventuellen Leistungsminderung darstellen.

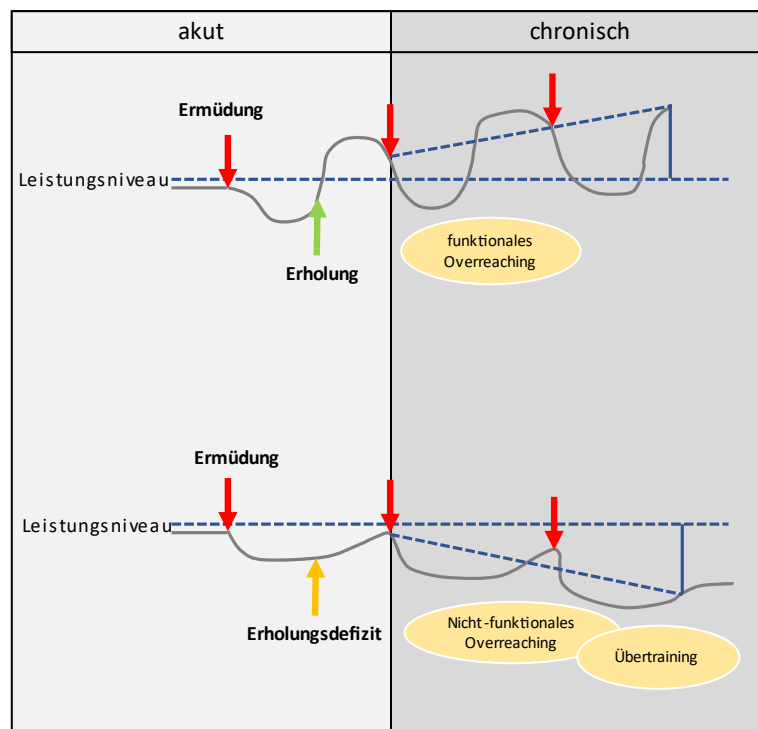


Abbildung 1 Ermüdungskontinuum entlang der Zeitachse.

## 2.2 Trainingszyklen und Anforderungsprofil im Badminton

### 2.2.1 Trainingszyklen

Die Trainingszyklen im professionellen Badminton lassen sich in Makro- und Mikrozyklen einteilen (Golds & Andrew, 2016). Beide stellen periodische, wiederkehrende Abläufe dar.

Makrozyklen erstrecken sich über längere Zeiträume und lassen sich grob in Spielsaison, Nachsaison und Vorsaison einteilen. Mikrozyklen sind hingegen meist wöchentlich wiederkehrende Abläufe innerhalb eines Makrozyklus (Golds & Andrew, 2016).

Im Badminton erstreckt sich ein Mikrozyklus über 7 Tage und ist somit einer Trainingswoche gleichzusetzen. Dabei werden Erholungs- und Ermüdungsphasen gezielt geplant und nach dem gleichen Muster über mehrere Wochen praktiziert. Konkret bedeutet dies, dass ein Mikrozyklus aus mindestens einem Ruhetag (Erholung) und circa 5 Trainingstagen mit abwechselnd hohen und niedrigen Intensitäten (Ermüdung) besteht (Golds & Andrew, 2016).

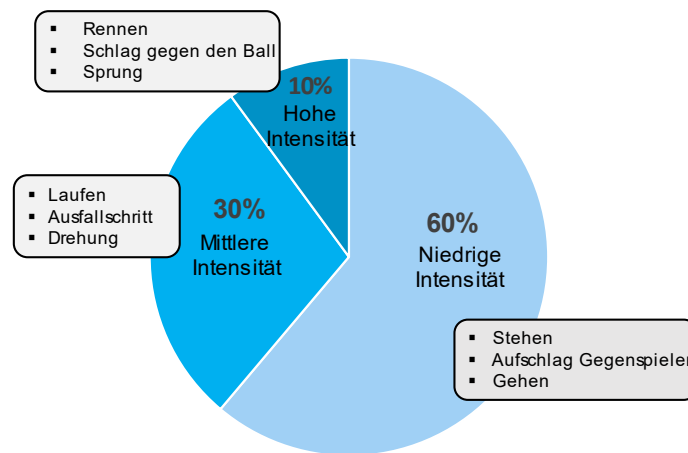
Die vorliegende Studie wurde während der Vorsaison in Vorbereitung auf die Weltmeisterschaft durchgeführt. Das Trainingsziel war die Leistungssteigerung und somit die körperliche, taktische und mentale Weiterentwicklung der Spieler.

### **2.2.2 Anforderungsprofil**

Die badmintonspezifischen physiologischen und koordinativen Anforderungen auf professionellem Niveau wurden von De Luca (1982) als „äußerst strapaziös“ beschrieben und im Vergleich zu anderen Rückschlagspielen als „am meistens kräftezehrend“ beschrieben (De Luca, 1982). Das Schlagen über Kopfhöhe erfordert Kraft der oberen Extremität, vor allem des Schlagarms, sowie der Schulter-, Brust- und Rückenmuskulatur (Golds & Andrew, 2016). Gleichzeitig setzen Sprünge, Ausfallschritte und schnelle Sprints eine ausgeprägte Sprungkraft, Schnelligkeit und Koordination der unteren Extremität voraus (Golds & Andrew, 2016). Insbesondere schnelle Richtungswechsel und Ausfallschritte benötigen ein hohes Maß an exzentrischer Muskelarbeit (Golds & Andrew, 2016). Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten der Flugbahnen variiert die Länge der Laufwege, was eine schnelle Reaktionsfähigkeit und Flexibilität, sowie eine kombinierte Kurzzeit- und Langzeit-Ausdauer erfordert (Faccini & Dai Monte, 1996; Faude et al., 2007; Golds & Andrew, 2016).

Die Belastung während eines Badmintonspiels variiert zwischen niedriger, mittlerer und hoher Intensität. Stehen, Gehen oder Abwarten des gegnerischen Aufschlags sind von niedriger Intensität und machen etwa 60% eines Badmintonspiels aus (Liddle, Murphy, & Bleakley, 1996). Etwa 30% eines Badmintonspiels bestehen aus Aktivitäten mittlerer Intensität wie beispielsweise Ausfallschritte, Drehungen und schnelleres Laufen (Liddle et al., 1996). Hochintensive Belastungen wie das Rennen zum Ball und der Sprung und Schlag gegen den Ball machen etwa 10% eines Badmintonspiels aus (Liddle et al., 1996).

Zusammenfassend beinhaltet das badmintonsspezifische Anforderungsprofil eine Kombination aus Kraft, Kondition und Konzentration. Die nachfolgende Abbildung soll die Belastung während eines Badmintonspiels nochmals verdeutlichen.



Quelle: Liddle et al. (1996)

Abbildung 2 Belastung während eines Badmintonspiels.

## 2.3 Monitoring

Unter dem Begriff „Monitoring“ versteht man die systematische Erfassung oder Quantifizierung von Vorgängen. Im Hochleistungssport bezieht sich dieser Begriff im Speziellen auf die Erfassung des Leistungspotenzials, den momentanen Trainingsstatus, das Trainingsansprechen und den Trainingsfortschritt eines Athleten (Foster, Rodriguez-Marroyo, & de Koning, 2017). Im Hochleistungssport ist ein Monitoringverfahren ein Hilfsmittel für die Optimierung von Trainingsabläufen (Foster et al., 2017).

### 2.3.1 Anforderungsprofil an ein Monitoringverfahren

Eine Trainingsbelastung kann umso besser angepasst werden, umso präziser ein Monitoringverfahren ist (Foster et al., 2017; Hecksteden et al., 2017; Hottenrott, 2017). Dies setzt jedoch voraus, dass ein Monitoringverfahren verlässlich und reproduzierbar ist (Foster et al., 2017; Hecksteden et al., 2017). Außerdem sollte ein Monitoringverfahren effektiv und sicher sein (Foster et al., 2017). Athleten und Trainingsabläufe sollten so wenig wie möglich gestört werden, was bedeutet, dass ein Monitoringverfahren möglichst zeitsparend und wenig invasiv sein sollte (Foster et al., 2017). Nicht zuletzt ist auch der finanzielle Aufwand zu berücksichtigen. Somit sollte ein Monitoringverfahren neben den methodischen Voraussetzungen auch (zeit-) ökonomischen Rahmenbedingungen gerecht werden (Foster et al., 2017).

### 2.3.2 Indikatoren des Ermüdungszustandes

Trainern und Athleten stehen inzwischen eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Erfassung des Ermüdungszustandes zur Verfügung. So können beispielsweise mithilfe von einfachen motorischen Tests, Blutwerten oder der Psychometrie Rückschlüsse auf den Ermüdungszustand geschlossen werden (T. F. Meyer, A. Ferrauti, M. Kellmann, & M. Pfeiffer, 2016). Im Nachfolgenden wird exemplarisch auf die Erfassung von Blutwerten und der Psychometrie eingegangen.

Blutwerte wie zum Beispiel Enzyme oder Hormone können infolge von Muskelschädigung, Entzündung oder Stress ansteigen und somit als Ermüdungsindikatoren (Meeusen et al., 2013). Zu den klassischen Ermüdungsindikatoren gehören CK, Harnstoff, freies Testosteron und Cortisol (Meeusen et al., 2013; Urhausen, Gabriel, & Kindermann, 1995). Für diese Parameter konnte bereits in mehreren Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen Erholung und trainingsbedingter Ermüdung nachgewiesen werden (Meeusen et al., 2013; Urhausen et al., 1995; Wiewelhove et al., 2015). Neben der Objektivität hat die Messung von Blutwerten den Vorteil, dass die labortechnische Auswertung mit nur sehr kleinen technischen Messfehlern behaftet ist (T. Meyer et al., 2016). Nichtsdestotrotz hängen Blutwerte von inhärenten Faktoren wie Alter oder Geschlecht, als auch von Einflussfaktoren wie Ernährung und Lebensstil ab (Petibois, Cazorla, Poortmans, & Déléris, 2002). Dadurch weisen biochemische Marker ein hohes Maß an interindividueller Variabilität (Streuung) auf (Hecksteden, Pitsch, Rosenberger, & Meyer, 2018; T. Meyer et al., 2016; Sottas, Robinson, Rabin, & Saugy, 2011). Dies kann jedoch eine präzise Beurteilung des Ermüdungszustandes im Einzelfall erschweren (T. Meyer et al., 2016). Zudem beobachteten Hecksteden et al. (2016), dass die Aussagekräftigkeit von Blutwerten je nach Sportart variiert (Hecksteden et al., 2016).

Neben der Messung „harter Daten“ wie physiologischer und biochemischer Parameter hat die Erfassung der subjektiven Beanspruchung und Erholtheit in den letzten Jahren zunehmend an Stellenwert gewonnen. Mithilfe von Fragebögen kann unter minimalem Aufwand der größtmögliche psychische Zustand erfasst werden (Hitzschke et al., 2015). Im Hochleistungssport kommen vor allem Fragebögen wie die RPE-Skala (Rating of Perceived Exertion), die POMS-Skala (Profile of Mood States) oder der RESTQ-Fragebogen (Recovery-Stress Questionnaire for Athletes) zum Einsatz (Michael Kellmann et al., 2018). Das Prinzip ist dabei bei allen Fragebögen ähnlich: anhand einer Skala soll der Athlet bewerten, inwiefern eine Aussage oder ein Adjektiv auf seine aktuelle körperliche und psychische Verfassung zutreffend ist (Michael Kellmann et al., 2018).

### 2.3.2.1 Wahl eines geeigneten Monitoringverfahrens

Welches Monitoringverfahren das Geeignetste für eine bestimmte Sportart ist, hängt zum einen vom physischen und psychischen Anforderungsprofil der jeweiligen Sportart ab (Gabbett et al., 2017; Hecksteden et al., 2016). Zum anderen spielt die sportartspezifische Empfindlichkeit des Messwertes eine bedeutsame Rolle (T. F. Meyer et al., 2016). Anders formuliert, sollte ein Messwert empfindlich für Veränderungen durch die Trainingsbelastung sein und gleichzeitig robust gegenüber Einflussfaktoren sein (T. Meyer et al., 2016). Zudem muss geprüft werden, inwiefern ein individualisiertes Monitoring für bestimmte Parameter in einer bestimmten Sportart von Nutzen ist (T. F. Meyer et al., 2016).

### 2.3.3 Monitoring mittels Kreatinkinase und Harnstoff

#### 2.3.3.1 CK

Die CK ist ein muskuläres Enzym, das vor allem in der Skelett- und Herzmuskulatur vorkommt. Die Funktion der CK besteht darin, den Energieträger Adenosintri-phosphat (ATP) zu regenerieren. ATP wird bei sämtlichen Stoffwechselprozessen verbraucht und dabei zum energieärmeren Adenosindiphosphat (ADP) umgewandelt. Mithilfe der CK wird eine Phosphatgruppe auf das ADP übertragen, wodurch es zum energiereicheren ATP regeneriert wird (siehe Abbildung 3). Durch Muskelkontraktion kommt es zu Umlagerungen und Mikroschädigungen der Muskelproteine sowie einem metabolischen Ungleichgewicht von Sauerstoffbedarf und -zufuhr (Brancaccio, Limongelli, & Maffulli, 2006). Dadurch wird vermehrt ATP verbraucht. In der Folge ist der Regenerationsbedarf von ATP erhöht und die CK-Konzentration im Blut steigt an (Brancaccio et al., 2006). Die CK ist somit ein Indikator für muskuläre Ermüdung (Urhausen et al., 1995). Insbesondere exzentrische Muskelkontraktionen, also Kontraktionen unter gleichzeitiger Muskelverlängerung, führen zu hohen CK-Freisetzungen (LaStayo et al., 2003; Lee et al., 2002).

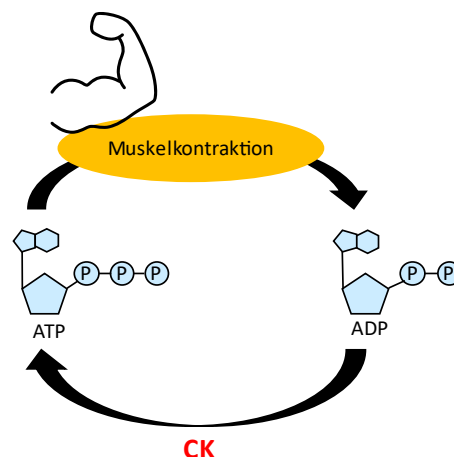


Abbildung 3 Die Funktion der CK.

### 2.3.4.2 Harnstoff

Harnstoff ist ein Abbauprodukt aus stickstoffhaltigen Aminosäuren. Die durch Muskelkontraktion freigesetzten (abgebauten) Proteine werden über das Blut zur Leber transportiert und dort gespalten. Im Stickstoffzyklus der Leber entsteht dabei wasserlöslicher Harnstoff, der als Abbauprodukt mit dem Urin über die Nieren ausgeschieden wird (siehe Abbildung 4).

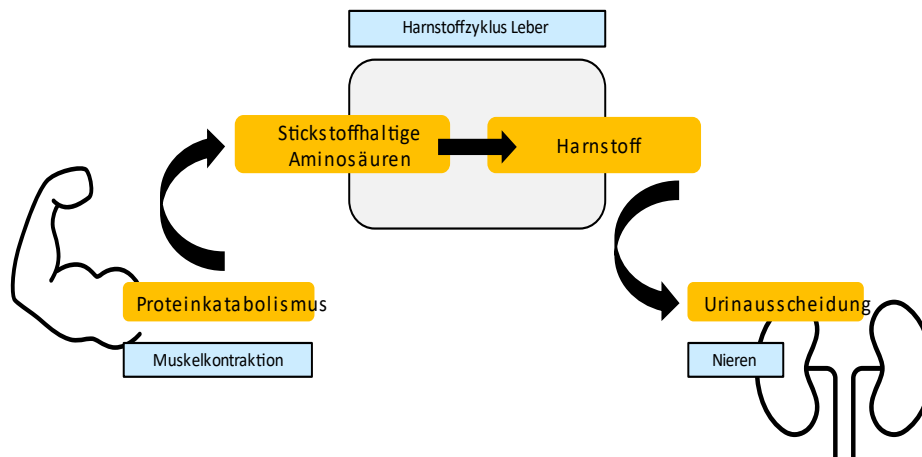


Abbildung 4 Entstehung und Ausscheidung von Harnstoff.

Somit ist Harnstoff ein Indikator für metabolische Beanspruchung und Proteinkatabolismus (Urhausen et al., 1995). Gleichzeitig werden die Blutkonzentrationen von Harnstoff von weiteren Faktoren, wie zum Beispiel Alter oder Geschlecht, aber auch von Umweltfaktoren wie Ernährung und Lebensstil, beeinflusst. Im klinischen Kontext können zu hohe Harnstoffwerte auf ein Nierenversagen, übermäßige diätetische Eiweißzufuhr oder hohes Fieber hindeuten. Zu niedrige Harnstoffwerte können bei schwerer Lebererkrankungen oder Eiweißmangel auftreten. Letztendlich müssen für die Beurteilung von Harnstoffwerten Umweltfaktoren berücksichtigt werden, um Falschinterpretationen zu vermeiden (Sottas et al., 2011). Im Hochleistungssport spielt Harnstoff vor allem als Indikator für erhöhten Proteinkatabolismus eine Rolle (Hecksteden et al., 2016).

### 2.3.5 Referenzwerte

Eine Zuordnung und Beurteilung von Messwerten ist erst dann sinnvoll, wenn sie mit Referenzwerten verglichen werden können. Klinische Referenzwerte sind meistens Gruppenmittelwerte. Sie werden aus einer großen Grundgesamtheit erhoben und schließen somit eine größtmögliche Anzahl an Individuen ein. Nichtsdestotrotz können diese gruppenbasierten Referenzwerte von den „normalen“ individuellen Messwerten abweichen. Zudem wurde in Trainingsstudien bereits gezeigt, dass sich die CK-Spiegel von Athleten im

Hochleistungssport von Nicht-Athleten erheblich unterscheiden können (Meyer & Meister, 2011). Die Anwendung klinischer CK-Referenzwerte im Hochleistungssport ist demnach nicht sinnvoll (Meyer & Meister, 2011).

### **2.3.5.1 Cut-off-Werte**

In der vorliegenden Studie ging es um die Unterscheidung von Erholung und Ermüdung und somit um die Abgrenzung von 2 Referenzbereichen. Die Grenzwerte zwischen dem erholteten und ermüdeten Zustand wurde in der Originalpublikation als „Cut-off-Werte“ bezeichnet und daher begrifflich in der vorliegenden Studie übernommen.

### **2.3.6 Individualisiertes Monitoring**

Eine Möglichkeit, Messwerte zu individualisieren, liegt in der Erstellung eines Werteprofiles mittels wiederholter Messungen. Einen konkreten Ansatz hierfür lieferte Sottas et al. (2011) mit der Entwicklung eines biologischen Athletenpasses zur Aufdeckung von Doping im Hochleistungssport (Sottas et al., 2011; Sottas, Robinson, & Saugy, 2010). In Anlehnung dazu wurde von Hecksteden et al. (2017) ein Individualisierungs-Algorithmus zur Abgrenzung von Trainingszuständen entwickelt. Beide Verfahren sollen im Folgenden erläutert werden.

#### **2.3.6.1 Biologischer Athletenpass**

Der „biologische Athletenpass“ wurde entwickelt, um individuelle Schwankungen von Blutwerten präzise zu erfassen und somit Dopinggebrauch zu detektieren (Sottas et al., 2011). Die methodische Grundlage basiert auf der Bayesianischen Strategie. Im Groben beruht dieses Prinzip darauf, dass sich Messwerte mit zunehmender Anzahl an Messungen einem bestimmten Wert annähern. Eine wichtige Grundvoraussetzung hierfür ist die Standardisierung der Messungen. Das heißt, dass die Messungen immer zu denselben Messzeitpunkten und denselben Messbedingungen stattfinden müssen. Bei Sottas et al. (2011) ging es im Konkreten um Blutwerte von Hochleistungssportlern. Es zeigte sich, dass durch eine zunehmende Anzahl an Messungen die gemessenen Werte um einen individuellen Normbereich „kalibriert“ werden. Somit entsteht ein schrittweises individualisiertes Werteprofil. Anhand dieses Werteprofiles kann beurteilt werden, ob ein gemessener Blutwert der individuellen Norm entspricht oder nicht (Sottas et al., 2011).

#### **2.3.6.2 Individualisierungs-Algorithmus**

In Analogie zum „biologischen Athletenpass“ wurde von Hecksteden et al. (2017) ein Individualisierungs-Algorithmus entwickelt. Im Gegensatz zum „biologischen Athletenpass“ soll der Individualisierungs-Algorithmus jedoch Ermüdungszustände voneinander abgrenzen.



In der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017) wurden mittels venöser Blutentnahmen die Werte von biochemischen Parametern (unter anderem CK und Harnstoff) bei Leistungssportlern aus Ausdauer-, Kraft- und Mannschaftssportarten bestimmt. Die Messungen fanden zu definierten erholten und ermüdeten Zeitpunkten statt. Anfänglich gemessene Messwerte zeigten eine große Streuung, die sich mit zunehmender Anzahl an Messungen verkleinerte. Mit zunehmender Anzahl an Messwerten wurden die Referenzbereiche schrittweise individualisiert. Für die Berechnung der individualisierten Cut-off-Werte war eine Mindestanzahl von jeweils fünf Messwerten für den erholten und ermüdeten Zustand notwendig. Mithilfe der Cut-off-Werte wurden die gemessenen Werte in „erholt“ und „ermüdet“ klassifiziert und die beiden Trainingszustände voneinander abgegrenzt. Diese Klassifizierung wurde sowohl mit dem gruppenbasierten als auch dem individualisierten Cut-off-Wert vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass individualisierte Cut-off-Werte präziser als gruppenbasierte Cut-off-Werte sind (vgl. Hecksteden et al. 2017).

Der methodisch entscheidende Punkt für die Anwendung des Individualisierung-Algorithmus liegt in der Durchführung wiederholter Messungen unter standardisierten Bedingungen. Die Standardisierung der Messzeitpunkte ist deshalb von Relevanz, da bei einer beliebigen Wahl eines Messzeitpunktes die Streuung der Messwerte groß ist (Hecksteden et al., 2018). Dadurch kann die Klassifizierung einzelner Werte zu ungenau sein (Hecksteden et al., 2017; Hecksteden et al., 2016; Meeusen et al., 2013). Durch wiederholte Messungen unter standardisierten Bedingungen lässt sich die Streuung mit der Zeit „auswaschen“ und dadurch weitgehend eliminieren (Hecksteden et al., 2017; Hecksteden et al., 2018). Die Individualisierung verläuft sukzessive (Hecksteden et al., 2017; Hecksteden et al., 2018). Eine Klassifizierung einzelner Werte ist deshalb erst nach einer Mindestanzahl an Messwerten möglich. Für die Berechnung individualisierter Cut-off-Werte mithilfe des Individualisierungs-Algorithmus ist eine Mindestanzahl von 5 Messwerten pro Ermüdungszustand notwendig (Hecksteden et al., 2017).

Das Studiendesign der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017) wurde in dieser Studie exakt übernommen und wird in Kapitel 3 nochmals aufgegriffen.

## **2.4 Forschungsdefizit**

Bislang gibt es keine Studie, die sich mit der individualisierten Erfassung von Erholung und Ermüdung im Badminton auseinandersetzt. Nichtsdestotrotz gibt es Studien, die sich mit der Messung der badmintonspezifischen Ermüdung anhand gruppenbasierter Referenzwerte beschäftigten und dabei unter anderem die Parameter CK und Harnstoff untersuchten. Dazu gehören die Studien von Majumdar et al. (1997), Yang et al. (2007), und Abían et al. (2016), die im Folgenden erläutert werden sollen.

## 2.4.1 Badmintonspezifische Trainingsstudien

Majumdar et al. (1997) untersuchte bei 6 National-Badmintonspielern die Veränderungen physiologischer und biochemischer Parameter nach badmintonspezifischen Trainingseinheiten und Wettkämpfen. Mitunter wurden die CK- und Harnstoff-Konzentrationen unmittelbar vor und 12 Stunden nach badmintonspezifischen Trainingseinheiten und Wettkämpfen bestimmt. Dabei zeigten sich für beide Parameter jeweils signifikante Erhöhungen nach den Trainingseinheiten und Wettkämpfen. Majumdar et al. (1997) schlussfolgerten, dass CK und Harnstoff als Indikatoren für eine badmintonspezifische Belastung geeignet sind.

Yang et al. (2007) bestimmte bei 20 professionellen Badmintonspielern unter anderem die CK- und Harnstoffwerte vor und nach einer badmintonspezifischen Trainingseinheit. Dazu wurde vor der Trainingseinheit, direkt nach der Trainingseinheit und am nächsten Morgen nach der Trainingseinheit Blut abgenommen. Nach einer intensiven Trainingswoche wurde das Prozedere wiederholt. Es zeigte sich, dass die CK-Werte nach einer intensiven Trainingswoche um etwa 58 mmol/l höher waren als die Ausgangswerte, wohingegen sich für die Harnstoffwerte vor und nach dem Training kein signifikanter Unterschied zeigte (Yang, 2007). Nach einer Anpassung des Trainings mit einer geringeren Intensität waren die CK-Werte im Mittel nur noch um etwa 22 mmol/l höher. Somit konnte eine Korrelation zwischen Trainingsintensität und CK-Anstieg nachgewiesen werden (Yang, 2007).

Abian et al. (2016) untersuchte bei 16 Wettkampf-Badmintonspielern hämatologische und biochemische Parameter, unter anderem CK, vor und nach einem simulierten 45-minütigen Badminton-Wettkampf. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die CK nach dem simulierten Wettkampf signifikant erhöht waren. Die Schlussfolgerung von Abian et al. war, dass ein Badminton-Wettkampf ein moderates bis großes Ausmaß an muskulärer Ermüdung hervorrufen kann.

Die nachfolgende Tabelle soll die Kernaussagen der drei exemplarischen Studien zusammenfassen:

	<b>Methodik</b>	<b>Ergebnis</b>	<b>Schlussfolgerung</b>
<b>Majumdar et al. (1997)</b>	CK und Harnstoff vor und 12h nach badmintonspezifischem Training	Signifikanter Unterschied bei beiden Parametern	CK und Harnstoff sind als Indikatoren für eine badmintonspezifische Belastung geeignet.
<b>Yang et al. (2007)</b>	CK und Harnstoff Vor, direkt nach und 24h nach badmintonspezifischem Training	Signifikanter Unterschied nur bei CK, Korrelation mit der Trainingsintensität	CK-Werte korrelieren mit der Trainingsintensität.
<b>Abian et al. (2016)</b>	CK vor und 45min nach simuliertem Badmintonmatch	Signifikanter Unterschied	Badminton-Wettkampf führt zu moderatem/ großem Ausmaß an muskulärer Schädigung.

Tabelle 1 Bisherige badmintonspezifische Trainingsstudien.

## **2.4.2 Individualisierte CK- und Harnstoffwerte im Badminton**

Die vorgestellten badmintonspezifischen Trainingsstudien haben gezeigt, dass die CK- und Harnstoffwerte im Blut mit dem Ermüdungszustand korrelieren (Abian et al., 2016; Majumdar et al., 1997; Yang, 2007). Das Forschungsdefizit dieser Studien liegt jedoch darin, dass die Frage nach der individuellen Beurteilung des Ermüdungszustands nicht geklärt wurde. Ein gruppenbasierter signifikanter Unterschied zwischen erholteten und ermüdeten Werten bedeutet nicht, dass die Beurteilung des Ermüdungszustands im Einzelfall möglich ist (T. Meyer et al., 2016). Anhand des Mittelwertunterschieds können lediglich Rückschlüsse auf die Eignung eines Parameters geschlossen werden (T. Meyer et al., 2016). Für die Anwendung in der Praxis ist jedoch entscheidend, wie präzise ein Parameter den Ermüdungszustand eines Einzelnen erfasst und differenziert (T. Meyer et al., 2016). Speziell für das professionelle Badminton ist noch nicht geklärt, welche Parameter den individuellen Ermüdungszustand präzise erfassen.

## **2.4.3 Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus**

Ein weiteres Forschungsdefizit liegt in der Übertragung des von Hecksteden et al. (2017) entwickelten Individualisierungs-Algorithmus in andere Sportarten. In der Originalpublikation gehörten zu den Probanden Leistungssportler aus den Bereichen Radfahren, Mannschaftsport, Rudern, Schwimmen, Leichtathletik und Triathlon (Hecksteden et al., 2017; Hecksteden et al., 2016). Ob der Individualisierungs-Algorithmus im professionellen Badminton anwendbar ist, wurde weder in der Originalpublikation noch in Folgestudien untersucht. Die Frage nach der Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus im professionellen Badminton ist somit noch offen.

## **2.5 Studienziele und Hypothesen**

### **2.5.1 Studienziel 1: Eignung der Parameter CK und Harnstoff für eine Individualisierung**

Das erste Studienziel war, die Eignung von CK und Harnstoff für eine Individualisierung zu überprüfen. Dabei wurden die Mittelwertunterschiede zwischen dem erholteten und ermüdeten Zustand untersucht. Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob sich die Parameter zwischen den Individuen ausreichend unterscheiden (interindividuelle Variabilität).

### **2.5.2 Studienziel 2: Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus**

Das zweite Studienziel war, zu prüfen, ob der Individualisierungs-Algorithmus übertragbar und im professionellen Badminton anwendbar ist.

### **2.5.3 Hypothesen**

Für die Eignung von CK und Harnstoff wurde angenommen, dass beide Parameter einen signifikanten Unterschied zwischen erholtem und ermüdetem Zustand aufweisen. Außerdem wurde die Hypothese formuliert, dass für beide Parameter eine interindividuelle Variabilität vorliegt.

Für die Übertragbarkeit des Individualisierungs-Algorithmus wurde folgende Ausgangshypothese formuliert: Der Individualisierungs-Algorithmus lässt sich in weitere Sportarten übertragen und ist im Speziellen im professionellen Badminton anwendbar.

## **3. Methodik**

### **3.1 Studiendesign**

Die vorliegende Studie ist eine Beobachtungsstudie. Die Datenerfassung der biochemischen Parameter CK und Harnstoff erfolgte in Form von Blutentnahmen aus einer Armvene und erstreckte sich über den Zeitraum von April 2017 bis Juli 2017. Dies war die wettbewerbsfreie Vorbereitungsphase auf die Badminton-Weltmeisterschaft im August 2017. Aufgrund des hohen Stellenwerts einer Weltmeisterschaft sowohl für die Badmintonspieler als auch Trainer, war das wesentliche Anforderungsprofil an die Studie die reibungslose Integration in den Trainingsablauf. Die Badmintonspieler und deren sportliche Leistung sollten durch die Studie nicht beeinträchtigt werden. Für die konkrete Umsetzung bedeutete dies, dass die Blutentnahmen vor Trainingsbeginn stattfanden, sodass die Badmintonspieler weder wesentlich früher zum Training erscheinen mussten noch in ihren Abläufen gestört wurden.

Die Studienteilnehmer wurden im Vorfeld über die Durchführung der Studie und das Studienziel informiert und willigten auf freiwilliger Basis schriftlich zur Teilnahme ein.

Die Datenerfassung der vorliegenden Studie fand im Zeitraum von April 2017 bis Juli 2017 am Olympiastützpunkt Rheinlandpfalz/ Saarland in Saarbrücken statt und folgte den Vorlagen der Ethikkommission der Universität des Saarlandes.

#### **3.1.1 Probanden**

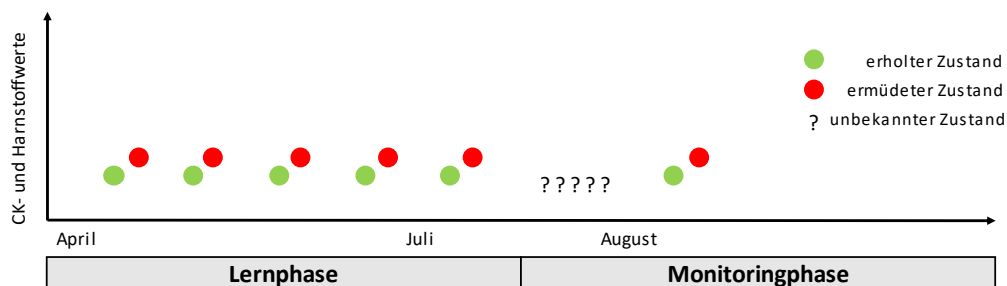
Die vorliegende Studie wurde an 17 männlichen professionellen Badmintonspielern während ihrer Vorbereitungsphase für die Badminton-Weltmeisterschaft durchgeführt. Aufgrund einer zu geringen Anzahl an Messwerten ( $n < 5$ ) während der sogenannten Lernphase konnten die Daten von 2 Badmintonspielern nicht in die Auswertung eingeschlossen werden. Somit erfolgte die statistische Analyse von 190 Messwerten von 15 Badmintonspielern. Weibliche professionelle Badmintonspielerinnen konnten nicht in die Studie eingeschlossen werden, da sie an einem anderen Trainingsstützpunkt trainierten.

### 3.1.2 Zeitlicher Rahmen

Die Studie teilte sich in 2 zeitliche Abschnitte auf, eine Lern- und eine Monitoringphase. Die Lernphase erstreckte sich von April 2017 bis Juli 2017, die Monitoringphase wurde bis August 2017 durchgeführt.

Die Lernphase diente der Datenerfassung. Für die Berechnung individualisierter Cut-off-Werte war es notwendig, mindestens 5 Werte für den erholten und ermüdeten Zustand zu erfassen. Die Rahmenbedingungen wurden gemäß der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017) für jeden Messzeitpunkt konstant gehalten. Immer montags nach einem trainingsfreien Tag wurden die Werte für den erholten Zustand, immer freitags wurden die Werte für den ermüdeten Zustand erfasst. Da sich die Interventionen in akzeptablem Ausmaß für die Badmintonspieler und Trainer halten sollten, wurde der Zeitraum der Lernphase auf circa 13 Wochen inklusive blutentnahmefreien Wochen festgelegt.

Die Monitoringphase diente der Klassifizierung von unbekanntem Werten. Aus den Messwerten der Lernphase wurden mithilfe des Individualisierungs-Algorithmus die Cut-off-Werte berechnet, mithilfe derer sich unbekannte Werte zuordnen ließen. Auf Wunsch der Trainer konnten in dieser Phase Rückmeldungen über den Ermüdungszustand der Spieler gegeben werden. Die Messwerte der Monitoringphase gingen nicht in die Auswertung ein.



+



Abbildung 5 Studiendesign.

### 3.1.3 Blutentnahmen

Die Blutentnahmen fanden unter standardisierten Bedingungen statt. Dafür waren regelmäßige, wiederkehrende Trainingsabläufe, sogenannte Mikrozyklen, eine notwendige

Voraussetzung (Hecksteden et al., 2017). Da die Trainingsabläufe in der Vorbereitungsphase einem regelmäßigen Turnus folgten, konnte gewährleistet werden, dass jeder Blutentnahme dieselben Abläufe vorausgingen, sodass die Durchführung einem standardisierten Verfahren entsprach. Zudem wäre eine Intervention während einer Wettkampfphase aufgrund der physischen und psychischen Belastung für Spieler und Trainer nicht tragbar gewesen.

Eine typische Trainingswoche (Mikrozyklus) setzte sich wie folgt zusammen:

Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag
Training	Training	Training	Training + Krafttraining	Training	Training	Frei


Tabelle 2 Mikrozyklus während der Vorbereitungsphase.

Jeder Blutentnahme für den erholteten Zustand ging ein trainingsfreier Tag (Sonntag) voraus, sodass die Blutentnahme montagsmorgens vor Beginn des Trainings durchgeführt wurde. Zu den Ausschlusskriterien gehörten Faktoren, die zu falsch erhöhten CK- oder Harnstoffwerten und somit zu falsch-positiven erholteten Werten führen. Dazu gehörten im Speziellen individuelles Training am trainingsfreien Tag, ein unmittelbar davor stattgefundenener Wettkampf oder eine Reise. Die Blutentnahmen für den ermüdeten Zustand fanden freitagmorgens vor dem Training statt und somit nach 4 konsekutiven Trainingstagen inklusive einer hochintensiven Einheit oder einem Krafttraining. Für den ermüdeten Zustand wurden keine Ausschlusskriterien festgelegt.

### 3.1.4 Fragebogen

Vor jeder Blutentnahme wurde ein Fragebogen ausgehändigt, der zur Erfassung des subjektiven Ermüdungszustandes diente. In Anlehnung an die Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB) (Hitzschke et al., 2015) setzte sich der Fragebogen aus einer „Kurzsкала Erholung“ und einer „Kurzsкала Beanspruchung“ mit jeweils 4 Aussagen zum körperlichen, mentalen, emotionalen und allgemeinen Erholungs- oder Ermüdungszustand zusammen (siehe Abbildung 7). Die Items für die Erholung sind „Körperliche Leistungsfähigkeit“, „Mentale Leistungsfähigkeit“, „Emotionale Ausgeglichenheit“ und „Allgemeine Erholung“; die Items der Beanspruchung beinhalten „Muskuläre Beanspruchung“, „Aktivierungsmangel“, „Emotionale Unausgeglichenheit“ und „Allgemeine Beanspruchung“ (Hitzschke et al., 2015). Jede Aussage sollte auf einer 7-Punkte Skala von 0 (trifft gar nicht zu) bis 6 (trifft voll zu) bewertet werden. Außerdem sollten die Spieler angeben, ob in den letzten 48 Stunden zusätzlich individuell trainiert (z.B. im Fitnessstudio) oder in den letzten 24 Stunden Eiweiß substituiert wurde (z.B. in Form von Protein-Shakes oder -Riegeln).

Somit konnten die Messwerte mit dem wahrgenommenen Ermüdungszustand abgeglichen werden.



Name \_\_\_\_\_ Datum \_\_\_\_\_

Haben Sie in den letzten 48 h **individuell** (z.B. im Fitnessstudio) trainiert?  
 JA  NEIN

Wenn ja was und wie lange (In Minuten)? \_\_\_\_\_

Haben Sie in den letzten 24 h Eiweiß substituiert (Shakes, Riegel, etc.)?  
 JA  NEIN

**Kurzskala Erholung**  
 Im Folgenden geht es um verschiedene Facetten Ihres derzeitigen Erholungszustandes. Die Ausprägung „trifft voll zu“ symbolisiert dabei den besten von Ihnen jemals erreichten Erholungszustand.

**Körperliche Leistungsfähigkeit**  
 z.B. *kraftvoll, leistungsfähig, energiegeladent, voller Power*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Mentale Leistungsfähigkeit**  
 z.B. *aufmerksam, aufnahmefähig, konzentriert, mental hellwach*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Emotionale Ausgeglichenheit**  
 z.B. *zufrieden, ausgeglichen, gut gelaunt, alles im Griff habend*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Allgemeiner Erholungszustand**  
 z.B. *erholt, ausgeruht, muskulär locker, körperlich entspannt*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

### Kurzskala Beanspruchung

Im Folgenden geht es um verschiedene Facetten Ihres derzeitigen Beanspruchungszustandes. Die Ausprägung „trifft voll zu“ symbolisiert dabei den höchsten von Ihnen jemals erreichten Beanspruchungszustand.

**Muskuläre Beanspruchung**  
 z.B. *muskulär überanstrengt, muskulär ermüdet, muskulär übersäuert, muskulär verhärtet*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Aktivierungsmangel**  
 z.B. *unmotiviert, antriebslos, lustlos, energielos*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Emotionale Unausgeglichenheit**  
 z.B. *bedrückt, gestresst, genervt, leicht reizbar*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

**Allgemeiner Beanspruchungszustand**  
 z.B. *geschafft, entkräftet, überlastet, körperlich platt*

trifft gar nicht zu 0 1 2 3 4 5 6 trifft voll zu

Herzlichen Dank für die Teilnahme an dieser Befragung.



Abbildung 6 Fragebogen.

## 3.2 Messmethodik

### 3.2.1 Anthropometrische Daten

Die Körpergröße der Probanden wurde im Stehen, bei aufrechter Körperhaltung und zusammengestellten Füßen an einer Wand gemessen. Das Körpergewicht wurde barfuß auf einer Körperwaage gemessen. Die Anzahl der Jahre im Profibereich sowie das Trainingspensum pro Stunde wurden anamnestisch erfasst. Die anthropometrischen Daten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

<b>Alter (Jahre)</b>	22 ± 3
<b>Körpergröße (cm)</b>	183 ± 6
<b>Körpergewicht (kg)</b>	78 ± 9
<b>Anzahl der Wettkampf-Spieljahre</b>	10 ± 4
<b>Trainingsumfang (Stunden/ Woche)</b>	22 ± 2
Mittelwerte ± Standardabweichung	

Tabelle 3 Anthropometrische Daten.

### 3.2.2 Blutentnahmen und Bestimmung der CK- und Harnstoffwerte

Die venösen Blutentnahmen wurden an der Vena mediana cubiti eines Armes der Probanden durchgeführt. Hierfür wurde zunächst ein Stauschlauch um einen Oberarm des Probanden gelegt und die Haut einer Ellenbeuge desinfiziert. Mittels einer Safety-Multifly®-Kanüle wurde eine 7,5ml Serum-Gel SARSTEDT-Monovette® und eine 2,7ml EDTA K SARSTEDT-Monovette® befüllt. Anschließend wurden die Proben ins Labor gebracht, wo die Serumkonzentrationen von CK und Harnstoff mit einem Zellanalysegerät innerhalb von 60 min bestimmt wurden (UniCel DxC 600 Synchron; Beckman Coulter GmbH, Krefeld, Germany).

### 3.3 Berechnung von Kenngrößen

#### 3.3.1 Gruppenbasierte Cut-off-Werte

Für die Berechnung der gruppenbasierten Cut-off-Werte wurde das arithmetische Mittel verwendet. Dazu wurde die Gesamtzahl der Messwerte des jeweiligen Parameters durch ihre Anzahl geteilt.

#### 3.3.2 Individualisierte Cut-off-Werte

Die Berechnung der individualisierten Cut-off-Werte erfolgte basierend auf den Gleichungen aus der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017). Dazu wurden die gemessenen Daten in ein Excel Spreadsheets der Originalpublikation eingetragen.

Ein Messwert wurde anhand der 4 vorangegangenen Messwerte klassifiziert. Das bedeutet, dass zum Beispiel aus den Messwerten 1 bis 4 der Cut-off-Wert für den 5. Messwert berechnet wurde, Anhand des berechneten Cut-off-Wertes wurde dann der 5. Wert klassifiziert (siehe Abbildung 7). Lag der Messwert oberhalb des Cut-off-Wertes, wurde er als „ermüdet“ klassifiziert. Lag der Messwert unterhalb des Cut-off-Wertes, wurde er als „erholt“ klassifiziert. Eine notwendige Bedingung für die korrekte Klassifizierung war, dass der zuletzt gemessene Wert des erholtten Zustands kleiner sein musste als der zuletzt gemessene Wert des ermüdeten Zustands. Wenn der 4. „erholte“ Wert größer als der 4. „ermüdete“ Wert war, so war der 5. Wert nicht klassifizierbar.

Messwerte						
Berechnung des Cut-off-Wertes				Klassifizierung	nicht in die Berechnung eingehend	
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7

Abbildung 7 Individualisierungs-Prozess.



### 3.3.3 Fehlerraten

Um die Präzision der individualisierten und gruppenbasierten Cut-off-Werte beurteilen zu können, wurden die Fehlerraten der Cut-off-Werte ermittelt. Die Fehlerrate wurde als die Anzahl der falsch klassifizierten Werte definiert. Messwerte, die als „erholt“ klassifiziert wurden, in Wahrheit jedoch „ermüdet“ waren, wurden als falsch-erholt definiert. Messwerte, die als „ermüdet“ klassifiziert wurden, in Wahrheit jedoch „erholt“ waren, wurden als falsch-ermüdet definiert. Werte, deren Klassifizierung mit dem tatsächlichen Ermüdungszustand übereinstimmten, wurden als richtig-erholt oder richtig-ermüdet definiert.

Die Fehlerraten der gruppenbasierten und die individualisierten Cut-off-Werte beider Parameter wurden mittels einem Fisher-Exakt-Test verglichen.

	<b>Spieler ist erholt</b>	<b>Spieler ist ermüdet</b>
<b>Klassifikation erholt</b>	richtig-erholt	falsch-erholt
<b>Klassifikation ermüdet</b>	falsch-ermüdet	richtig-ermüdet

Tabelle 4 Fehlermatrix Klassifikation.

### 3.4 Statistische Analyse

Alle Daten wurden mithilfe der Computersoftware Statistica (Version 13.3, StatSoft Hamburg) statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt.

Nach Beendigung der Datenaufnahme wurden alle CK- und Harnstoffwerte auf Normalverteilung geprüft und anschließend logarithmiert. Dieses Kriterium wurde von beiden Variablen erfüllt und somit erfolgte die deskriptive Darstellung der Daten durch Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Konfidenzintervall.

Die Unterschiede zwischen den CK- und Harnstoffwerten des erholteten und ermüdeten Zustands wurden durch ein gemischtes Modell verifiziert. Dabei wurde der Ermüdungszustand als fester Effekt definiert, zufällige Effekte waren die Spieleridentität und dessen Nummer.

Mit dem Fisher-Exakt-Test wurden die Fehlerraten zwischen der individualisierten und gruppenbasierten Klassifikation verglichen.

Um mögliche Verzerrungen zugunsten des Individualisierungs-Algorithmus zu vermeiden, wurden für die Berechnungen der jeweiligen Cut-off-Werte die Rohdaten desselben Datensatzes verwendet.

Das  $\alpha$ -Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  (signifikant) festgelegt.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 CK- und Harnstoff-Mittelwerte

Zunächst wurde die Annahme geprüft, dass sich CK- und Harnstoffwerte des erhobten und ermüdeten Zustands signifikant unterscheiden. Dazu wurden die Rohdaten auf Normalverteilung geprüft und logarithmiert. Dieses Kriterium wurde von beiden Parametern erfüllt (Abbildung 4).

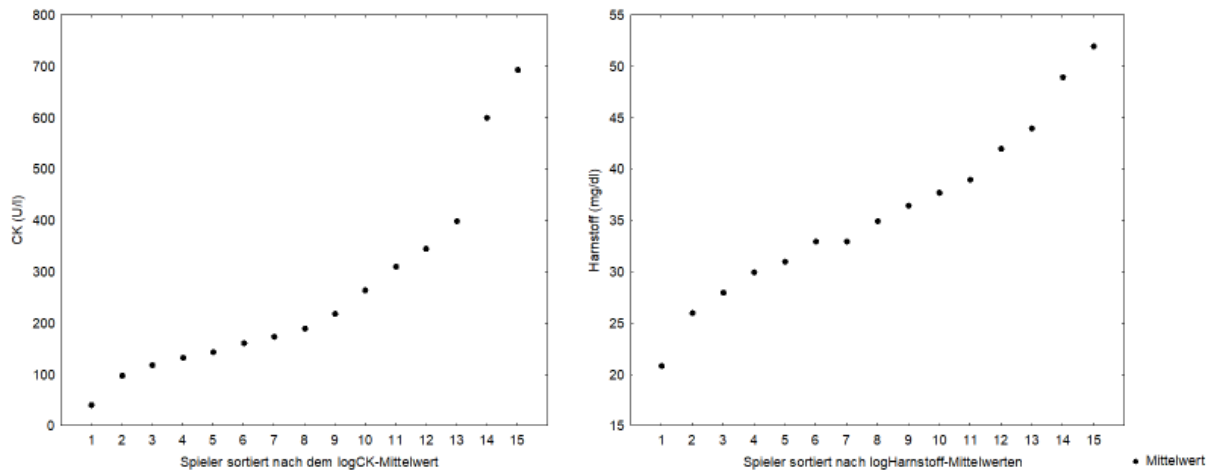


Abbildung 8 Log-Normalverteilung der Parameter.

Die Berechnung der Mittelwerte zeigte, dass die Mittelwerte von CK und Harnstoff für den ermüdeten Zustand signifikant höher waren als für den erhobten Zustand (CK (U/l): erholt  $164 \pm 106$ , ermüdet  $425 \pm 319$ ,  $p < 0,001$ ; Harnstoff (mg/dl): erholt  $35 \pm 7$ , ermüdet  $39 \pm 9$ ,  $p < 0,001$ ). Die Effektstärke ergab für CK ein Cohen's  $d = 1,4$  (ausgesprochen großer Effekt) und für Harnstoff einen mittleren Effekt (Cohen's  $d = 0,5$ ).

Zudem konnte gezeigt werden, dass sich die individuellen Cut-off-Werte und Niveaus innerhalb der Trainingsgruppe unterscheiden (siehe Abbildung 9). Beide Parameter wiesen eine intra- und interindividuelle Variabilität auf (Abbildung 9).

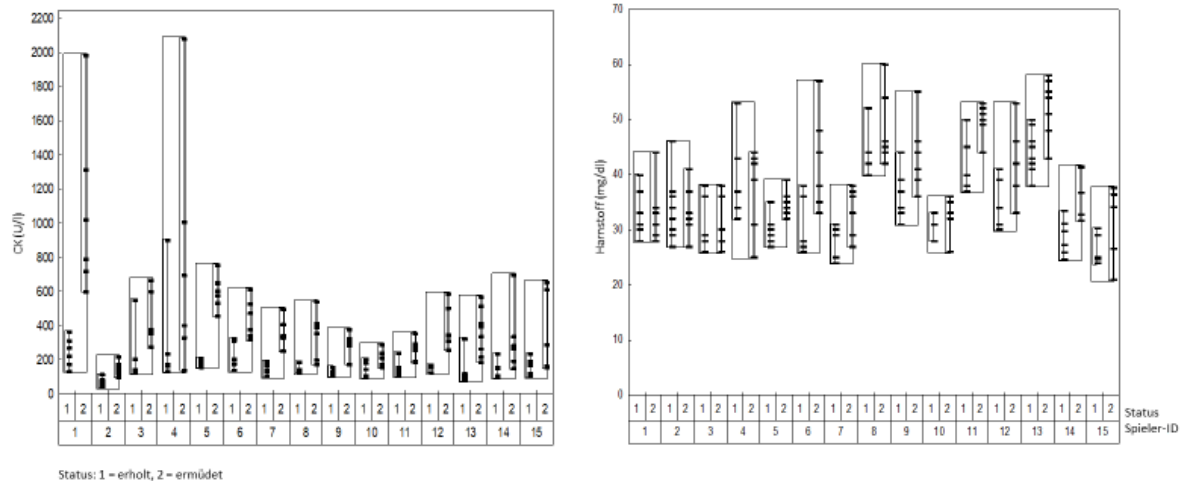


Abbildung 9 Intra- und interindividuelle Variabilität.

### 4.3 Gruppenbasierte Cut-off-Werte

Die gruppenbasierten Cut-off-Werte ergaben sich aus oben genannten Mittelwerten.

### 4.4 Individualisierte Cut-off-Werte

Für alle Spieler konnten mithilfe des Spreadsheets individualisierte Cut-off-Werte berechnet und graphisch dargestellt werden (siehe Kapitel 9 Anhang). Das Ergebnis soll anhand der graphischen Darstellung der individualisierten Cut-off-Werte von Spieler 11 erläutert werden (Abbildung 10):

Die grünen Punkte stellen die Messwerte des erholt Zustands, die roten Punkte die Messwerte des ermüdeten Zustands dar. Dementsprechend stellt der grüne Korridor den Referenzbereich für den erholt Zustand, der rote Korridor den Referenzbereich für den ermüdeten Zustand dar. Die grauen Punkte zeigen unbekannte, und somit die zu klassifizierende Messwerte an.

Im Speziellen lagen die CK-Werte für den erholt Zustand im Bereich zwischen 90-200 U/l, die CK-Werte für den ermüdeten Zustand zwischen 180-400 U/l. Die Harnstoffwerte für den erholt Zustand lagen zwischen 30-40 mg/dl, die Harnstoffwerte für den ermüdeten Zustand lagen zwischen 45-50 mg/dl.

Es zeigte sich, dass die Korridore breit beginnen und sich mit zunehmender Anzahl an Messwerten verjüngen. Nach 5 Messwerten des jeweiligen Zustands nahmen die Korridore einen konstanten Verlauf an. Dabei war die Spannweite der CK-Korridore für den ermüdeten Zustand etwas größer als die Spannweite der CK-Korridore für den erholt Zustand. Die Spannweiten Harnstoff-Korridore zeigten sich für beide Zustände in etwa gleich groß.

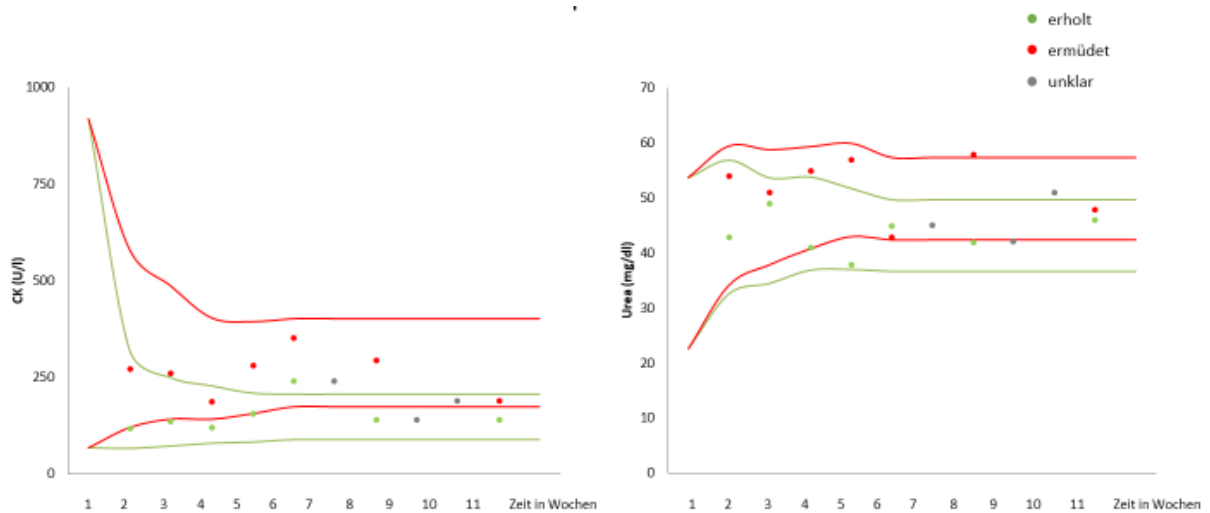


Abbildung 10 Individualisierte Cut-off-Werte von Spieler 11.

#### 4.4.1 Nicht-klassifizierbare Werte

28 (15%) Harnstoff-Werte und 4 (2%) CK-Werte konnten nicht klassifiziert werden.

#### 4.5 Fehlerraten

Die Fehlerraten der individualisierten Cut-off-Werte waren für beide Parameter niedriger als die der gruppenbasierten Cut-off-Werte. Für CK lag die Anzahl der falsch-erholt klassifizierten Werte gruppenbasiert bei 15 (16%) und individualisiert bei 9 (10%). Als falsch-ermüdet klassifiziert wurden gruppenbasiert 24 (25%) und individualisiert 17 (18%) CK-Werte. Für Harnstoff lag die Anzahl der falsch-erholt klassifizierten Werte bei gruppenbasiert 41 (43%) und individualisiert 19 (23%), falsch-ermüdet klassifiziert wurden gruppenbasiert 44 (46%) und individualisiert 19 (23%). Insgesamt waren die Fehlerraten für Harnstoff höher als für CK, jedoch konnten diese durch die Verwendung individualisierter Cut-off-Werte signifikant gesenkt werden.

	Gruppenbasierte Cut-off-Werte	Individualisierte Cut-off-Werte	p
<b>CK (U/l)</b>			
Falsch-erholt	15 (16%)	9 (10%)	0,27
Falsch-ermüdet	24 (25%)	17 (18%)	0,29
<b>Harnstoff (mg/dl)</b>			
Falsch-erholt	41 (43%)	19 (23%)	< 0,01
Falsch-ermüdet	44 (46%)	19 (23%)	< 0,01

Tabelle 5 Fehlerraten.

### 4.5.1 Graphische Darstellung

Abbildung 11 visualisiert exemplarisch die Klassifizierung der Messwerte anhand der gruppenbasierten Cut-off-Werte und der individualisierten Cut-off-Werte von Spieler 11. Die Messwerte wurden gemäß der Fehlermatrix in richtig- und falsch-klassifiziert eingeteilt und als solche farblich markiert. Die grauen Linien stellen den jeweiligen gruppenbasierten Cut-off-Wert, die pinkfarbenen Linien die individuellen Cut-off-Werte dar.

Der gruppenbasierte Cut-off-Wert für CK lag bei 228 U/l, der individualisierte Cut-off-Wert lag bei 190 U/l. Werte im Bereich zwischen 190 U/l und 228 U/l wurden bei der Klassifizierung mit dem gruppenbasierten Cut-off-Wert als falsch-erholt klassifiziert. Der Spieler war in Wahrheit in diesem Bereich bereits ermüdet. Die Harnstoff-Normwerte von Spieler 11 lagen bei 50 mg/dl, der gruppenbasierte Cut-off-Werte von Harnstoff lag bei 36 mg/dl.

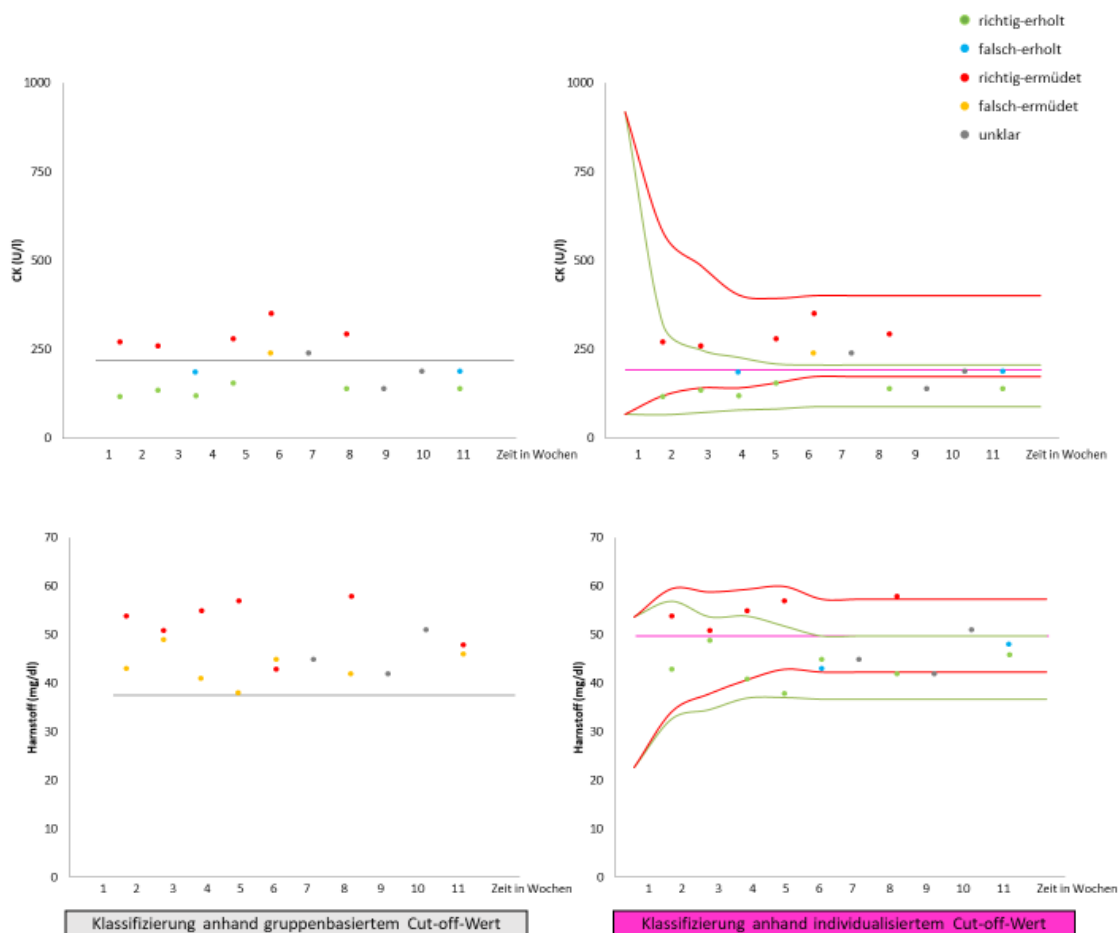


Abbildung 11 Visualisierung der Cut-off-Werte.

## **5. Diskussion**

### **5.1 Ergebnisdiskussion**

#### **5.1.1 Eignung von CK und Harnstoff**

##### **5.1.1.1 Gruppenbasierte Mittelwertunterschiede**

Die CK hat sich als geeigneter Ermüdungsindikator bestätigt. Die Effektstärke der CK liegt in der vorliegenden Studie bei einem Cohen's  $d = 1,4$ , was einen ausgesprochen großen Effekt zwischen den CK-Werten des erholtten und des ermüdeten Zustands darstellt. Zwischen den CK-Mittelwerten von „erholt“ und „ermüdet“ liegt somit eine große Spannweite. Die signifikanten Mittelwertunterschiede sind plausibel und reihen sich in die bisherigen Studienergebnisse ein (Majumdar et al. (1997), Yang et al. (2007), Abían et al. (2016)). Der signifikante Unterschied zwischen „erholten“ und „ermüdeten“ CK-Werten lässt sich durch den hohen Anteil an exzentrischer Muskelarbeit eines badminton-spezifischen Trainings erklären.

Für Harnstoff konnte gezeigt werden, dass unter Berücksichtigung des individuellen Ansprechens der Harnstoffwerte ebenfalls Rückschlüsse auf den Ermüdungszustand geschlossen werden können. Obwohl 15% der Harnstoffwerte nicht klassifizierbar waren, war die Individualisierung der gruppenbasierten Klassifizierung signifikant überlegen. Dies verdeutlicht, dass Harnstoffwerte vor allem in der individualisierten Betrachtung von Nutzen sind. Gleichzeitig zeigte sich jedoch auch, dass nicht alle Spieler von einem Monitoring der Harnstoffwerte profitierten. Harnstoff hat sich insbesondere bei den Spielern als geeignet herausgestellt, deren Harnstoffwerte nach einer Belastung signifikant anstiegen. Auch Spieler, deren Harnstoffwerte außerhalb oder randständig des klinischen Referenzbereichs lagen, profitierten von individualisierten Cut-off-Werten. Dennoch konnten in der vorliegenden Studie keine Prädiktionsfaktoren für ein mögliches Ansprechen von Harnstoff auf eine Trainingsbelastung gefunden werden.

Vor dem Hintergrund, dass eine Individualisierung zum Ziel hat, im Einzelfall eine zuverlässige Aussage zu treffen, stellt Harnstoff ein geeigneter Parameter für die Beurteilung des Ermüdungszustands im Badminton dar.

##### **5.1.1.2 Interindividuelle Variabilität**

Es konnte gezeigt werden, dass sich die CK- und Harnstoffwerte der einzelnen Spieler zum Teil erheblich unterscheiden (siehe Abb.9). Trotz gleicher Trainingsbelastung zeigte sich das Ansprechen von CK und Harnstoff interindividuell verschieden. Somit war die Voraussetzung für eine erfolgsversprechende Individualisierung erfüllt. Gleichzeitig ließen sich auch Fluktuationen innerhalb der Individuen beobachten (intraindividuelle Variabilität), was dem Charakter biochemischer Parameter entspricht. Dies war für die vorliegende Studie und die

Überprüfung der Individualisierung jedoch nicht relevant. Inwiefern ein Spieler von einer Individualisierung profitiert, hängt letztendlich von der interindividuellen Variabilität ab. Dabei zeigte sich, dass Spieler mit stark von der Gruppe abweichenden Normwerten in besonderem Maße von einer Individualisierung profitieren.

## **5.1.2 Nutzen der Individualisierung**

### **5.1.2.1 Niedrigere Fehlerraten**

Der Vorteil individualisierter Cut-off-Werte liegt darin, dass unbekannte Messwerte präziser klassifiziert werden können. Der Vergleich der Fehlerraten zeigte für beide Parameter, dass die Fehlerraten von individualisierten Cut-off-Werten niedriger als von gruppenbasierten Cut-off-Werten sind. Von den insgesamt 190 analysierten Messwerten konnten mithilfe der individualisierten Cut-off-Werte über 75% der CK- und Harnstoffwerte richtig zugeordnet werden, wohingegen die gruppenbasierte Klassifizierung knapp 70% der CK-Werte und nur etwa die Hälfte der Harnstoffwerte richtig zuordnen konnte. Somit konnte eine Überlegenheit individualisierter Cut-off-Werte bei der Beurteilung des Ermüdungszustands bestätigt werden (Hecksteden et al., 2017).

### **5.1.2.2 Präzision auch bei niedriger Effektstärke**

Obwohl die Effektstärke von Harnstoff niedriger als die Effektstärke der CK war, zeigte sich die Individualisierung der Harnstoffwerte als besonders effektiv. Mithilfe des Individualisierungs-Algorithmus konnten knapp die Hälfte der falsch-klassifizierten Harnstoffwerte reduziert werden. Die geringe Trennschärfe zwischen Harnstoffwerten des erholteten und ermüdeten Zustands stellte sich somit als Verbesserungspotenzial einer Individualisierung heraus. Dies zeigt zudem, dass die diagnostische Präzision eines Monitorings nicht nur von den Eigenschaften eines Parameters abhängt, sondern auch von der Art des gewählten Monitoringverfahrens.

### **5.1.2.3 Individueller Nutzen bei stark abweichenden Normwerten**

Insbesondere bei stark abweichenden individuellen Normwerten von den Werten der Gruppe zeigte sich eine deutliche Präzision durch Individualisierung. Dies konnte exemplarisch bei Spieler 11 nachvollzogen werden (vgl. Abbildung 11, Harnstoffwerte bei Spieler 11). Die Harnstoff-Normwerte von Spieler 11 lagen mit 50 mg/dl kontinuierlich oberhalb des gruppenbasierten Cut-off-Wertes von 36 mg/dl. Somit waren die Harnstoffwerte von Spieler 11 deutlich höher als der gruppenbasierte Mittelwert. Eine große interindividuelle Variabilität bestätigte sich als Voraussetzung für eine erfolgreiche Individualisierung. Umgekehrt war die Individualisierung für Spieler, deren individuellen Harnstoffwerte nahezu mit dem gruppenbasierten Cut-off-Wert übereinstimmten, kaum von Vorteil. Aus diesem Grund zeigte

sich die Individualisierung der Harnstoffwerte als besonders nützlich. Die Unterschiede der CK-Werte zwischen den Spielern waren weniger ausgeprägt, die interindividuelle Variabilität somit geringer. Dass die Fehlerraten der gruppenbasierten Cut-off-Werte für CK bereits relativ niedrig waren, hängt mit der niedrigeren interindividuellen Variabilität zusammen. Nichtsdestotrotz konnte selbst bei geringerem Verbesserungspotenzial auch für CK ein Nutzen der Individualisierung beobachtet werden.

#### **5.1.2.4 Intuitive Visualisierung**

Die graphische Darstellung der Korridore und Messwerte erlaubt bereits ohne die genaue Kenntnis der Zahlenwerte eine intuitiv richtige Zuordnung zum jeweiligen erholt oder ermüdeten Zustand.

Die Herleitung des Individualisierungs-Algorithmus ist abstrakt und für Außenstehende schwer nachvollziehbar. Da die Klassifizierung unbekannter Messwerte jedoch mithilfe der graphischen Darstellung erfolgt, ist das mathematische Verständnis des Algorithmus für die praktische Anwendung nicht zwingend erforderlich. Die Visualisierung der Messwerte und Cut-off-Werte ermöglicht es, selbst ohne Kenntnis der genauen Zahlenwerte, unbekannte Messwerte richtig zuzuordnen. Zudem lassen sich Ausreißer-Werte besser erkennen. Dies hat den Vorteil, dass für ermüdete Werte zum Beispiel ein Unter- oder Übertraining außerhalb des gewollten Ermüdungsbereichs frühzeitig erkannt werden kann. Für erholte Werte können Ausreißer nach oben oder unten richtungsweisend für die Art und Dauer der Regeneration sein. Die Visualisierung erleichtert die individuelle Trainingsgestaltung und kann dadurch Leistungseinbußen oder einem erhöhten Verletzungsrisiko vorbeugen. Somit gestaltet sich die Klassifizierung von Messwerten als leicht anwendbar und auch für Trainer und Athleten zugänglich.

### **5.2 Methodenkritik**

#### **5.2.1 Nicht-klassifizierbare Werte**

Ein Kritikpunkt bei der Anwendung des Individualisierungs-Algorithmus mag sein, dass einzelne Werte nicht klassifizierbar waren. Ein Erklärungsansatz für das Vorkommen nicht-klassifizierbarer Werte ist, dass die Datenerhebung mit einer erholtten Messung begann. Dadurch kann nicht ausgeschlossen werden, dass der erste erholte Wert über dem nicht-erhobenen, vorangegangenen ermüdeten Wert lag. Möglicherweise könnte eine Datenerhebung, die mit einer ermüdeten Messung beginnt, die Aussagekräftigkeit des Individualisierungs-Algorithmus zusätzlich steigern.

#### **5.2.2 Einfluss von Umweltfaktoren**



Der Einfluss von Umweltfaktoren wurde in der vorliegenden Studie nur bedingt berücksichtigt, was dem angewandten Charakter entspricht. Durch den Einsatz der Fragebögen sollten vor allem punktuelle diätetische Faktoren erfasst werden. Durch diesen Informationsgewinn konnten die Messwerte auf Plausibilität geprüft werden. Für die Erfassung des ermüdeten Zustands spielte diese zusätzliche Information zum Beispiel insofern eine Rolle, als dass jegliche muskuläre Ermüdung zu einem weiteren CK-Anstieg im Blut führt. Stark erhöhte CK-Werte außerhalb des individuellen Ermüdungsbereichs waren somit im Falle eines zusätzlichen Trainings differenzierter zu betrachten und stellten keine unbedingte Indikation zur Anpassung des eigentlichen Trainings dar. Harnstoffwerte wurden unter Berücksichtigung der zusätzlichen diätetischen Eiweißzufuhr analysiert. Stark erhöhte Harnstoffwerte in der Kombination mit vermehrter diätetischer Eiweißzufuhr waren demnach nicht ausschließlich dem Training zuzuschreiben. Um jedoch weitere Faktoren, wie beispielsweise ein Nierenleiden auszuschließen, war es wichtig, die Frage nach Ernährungsgewohnheiten zu klären.

Der Einfluss des subjektiven Empfindens oder weiteren diätetischen Faktoren stehen nur stellvertretend für weitere Umweltfaktoren, die es zu berücksichtigen gilt. Eine gesonderte Auswertung der Fragebögen sollte in weiteren Studien analysiert werden.

### **5.2.3 Praktische Umsetzung venöser Blutentnahmen**

Für Durchführung eines regelmäßigen Monitorings können venöse Blutentnahmen hinderlich sein. Sie werden von manchen Athleten als unangenehm empfunden und erfordern einem logistischen Aufwand von der Abnahmezeit bis zur Auswertung im Labor. Für die vorliegende Studie wurde dennoch bewusst diese Methode gewählt, um die Übertragbarkeit der Originalpublikation von Hecksteden et al. (2017) zu überprüfen. Die Anwendung des Verfahrens mithilfe kapillärer Blutentnahmen wurde in einer unveröffentlichten in-house Studie überprüft und zeigte eine gute Übereinstimmung (über 5 Tage 4 Entnahmen am Tag).

## **5.3 Grenzen und Perspektiven**

### **5.3.1 Leistungsverbesserung und Verletzungsprävention**

Inwiefern sich die Leistung der untersuchten Spieler durch das individualisierte Monitoring verbesserte, kann aufgrund einer fehlenden Kontrollgruppe nicht beurteilt werden. Ebenso wenig ist die Vorbeugung von Verletzungen beurteilbar. Da dieser Aspekt jedoch für Trainer und Athleten durchaus wichtig ist, sollten diese Fragestellungen in weiteren Studien untersucht werden. Auch der Frage nach weiteren Vorteilen, wie beispielsweise einer verbesserten Wettkampfleistung, sollte nachgegangen werden.

## 5.4 Schlussfolgerung

Die Parameter CK und Harnstoff erfüllen die Voraussetzungen für ein individualisiertes Monitoring des Ermüdungszustandes im professionellen Badminton. Beide Parameter weisen sowohl signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den erholteten und ermüdeten Zuständen als auch eine interindividuelle Variabilität auf. Zudem hat sich der Individualisierungs-Algorithmus als übertragbar und einfach anwendbar erwiesen. Individualisierte Cut-off-Werte ermöglichen auch im professionellen Badminton präzisere Aussagen über den Ermüdungszustand eines Spielers. Der Erfolg einer Individualisierung hängt dabei vor allem davon ab, wie groß der Unterschied zwischen den Personen ist. Vor diesem Hintergrund ist es schwierig, eine generelle Empfehlung für ein Monitoringverfahren oder einen Parameter auszusprechen. Vielmehr sollte die Wahl eines geeigneten Verfahrens aus der Zusammenschau des sportartspezifischen Anforderungsprofils und der individuellen Fragestellung von Trainern und Athleten getroffen werden. Nicht zuletzt sollten die eingesetzten Parameter und weitere Einflussfaktoren berücksichtigt und kritisch überprüft werden.

## 6. Literaturverzeichnis

- Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., . . . Abian-Vicen, J. (2016). Muscle damage produced during a simulated badminton match in competitive male players. *Res Sports Med*, *24*(1), 104-117. doi:10.1080/15438627.2015.1076416
- Bouchard, C., & Rankinen, T. (2001). Individual differences in response to regular physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(6), S446-S451. Retrieved from [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/06001/Individual\\_differences\\_in\\_response\\_to\\_regular.13.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2001/06001/Individual_differences_in_response_to_regular.13.aspx)
- Brancaccio, P., Limongelli, F. M., & Maffulli, N. (2006). Monitoring of serum enzymes in sport. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(2), 96. doi:10.1136/bjism.2005.020719
- Carfagno, D. G., & Hendrix, J. C., 3rd. (2014). Overtraining syndrome in the athlete: current clinical practice. *Curr Sports Med Rep*, *13*(1), 45-51. doi:10.1249/jsr.0000000000000027
- De Loca, P. (1982). An art to be seen. *NAGWS guide. Badminton, squash, racquetball*, 1980-1982.
- Faccini, P., & Dai Monte, A. (1996). Physiologic demands of badminton match play. *Am J Sports Med*, *24*(6 Suppl), S64-66. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8947433>
- Faude, O., Meyer, T., Rosenberger, F., Fries, M., Huber, G., & Kindermann, W. (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *Eur J Appl Physiol*, *100*(4), 479-485. doi:10.1007/s00421-007-0441-8
- Foster, C., Rodriguez-Marroyo, J. A., & de Koning, J. J. (2017). Monitoring Training Loads: The Past, the Present, and the Future. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(Suppl 2), S22-s28. doi:10.1123/ijsp.2016-0388
- Gabbett, T. J., Nassis, G. P., Oetter, E., Pretorius, J., Johnston, N., Medina, D., . . . Ryan, A. (2017). The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. *British Journal of Sports Medicine*, *51*(20), 1451-1452. doi:10.1136/bjsports-2016-097298
- Golds, M., & Andrew, M. (2016). *High Performance Badminton*: Crowood Press.
- Hecksteden, A., Kraushaar, J., Scharhag-Rosenberger, F., Theisen, D., Senn, S., & Meyer, T. (2015). Individual response to exercise training—a statistical perspective. *Journal of Applied Physiology*, *118*(12), 1450-1459.
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Julian, R., Pfeiffer, M., Kellmann, M., Ferrauti, A., & Meyer, T. (2017). A New Method to Individualize Monitoring of Muscle Recovery in Athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(9), 1137-1142. doi:10.1123/ijsp.2016-0120
- Hecksteden, A., Pitsch, W., Rosenberger, F., & Meyer, T. (2018). Repeated testing for the assessment of individual response to exercise training. *Journal of Applied Physiology*, *124*(6), 1567-1579.
- Hecksteden, A., Skorski, S., Schwindling, S., Hammes, D., Pfeiffer, M., Kellmann, M., . . . Meyer, T. (2016). Blood-Borne Markers of Fatigue in Competitive Athletes - Results from Simulated Training Camps. *PloS one*, *11*(2), e0148810-e0148810. doi:10.1371/journal.pone.0148810
- Hitzschke, B., Kölling, S., Ferrauti, A., Meyer, T., Pfeiffer, M., & Kellmann, M. (2015). Entwicklung der Kurzsкала zur Erfassung von Erholung und Beanspruchung im Sport (KEB). *Zeitschrift für Sportpsychologie*, *22*(4), 146-162. doi:10.1026/1612-5010/a000150
- Hohmann, L. L. (2010). *Einführung in die Trainingswissenschaft*.
- Hottenrott, K. (2017). Potenziale der Individualisierung im Sport und Gesundheitscoaching stärker nutzen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, *68*(9), 187-188.
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports*, *20 Suppl 2*, 95-102. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x
- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., . . . Heidari, J. (2018). Recovery and performance in sport: consensus statement. *International journal of sports physiology and performance*, *13*(2), 240-245.

- Kellmann, M., & Gunther, K. D. (2000). Changes in stress and recovery in elite rowers during preparation for the Olympic Games. *Med Sci Sports Exerc*, 32(3), 676-683. doi:10.1097/00005768-200003000-00019
- LaStayo, P. C., Woolf, J. M., Lewek, M. D., Snyder-Mackler, L., Reich, T., & Lindstedt, S. L. (2003). Eccentric Muscle Contractions: Their Contribution to Injury, Prevention, Rehabilitation, and Sport. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 33(10), 557-571. doi:10.2519/jospt.2003.33.10.557
- Lee, J., GOLDFARB, A. H., RESCINO, M. H., HEGDE, S., PATRICK, S., & APPERSON, K. (2002). Eccentric exercise effect on blood oxidative-stress markers and delayed onset of muscle soreness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(3), 443-448. Retrieved from [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2002/03000/Eccentric\\_exercise\\_effect\\_on\\_blood.10.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2002/03000/Eccentric_exercise_effect_on_blood.10.aspx)
- Liddle, S., Murphy, M., & Bleakley, W. (1996). AND DOUBLES BADMINTON: A HEART. *Journal of Human Movement Studies*, 30, 159-176.
- Majumdar, P., Khanna, G. L., Malik, V., Sachdeva, S., Arif, M., & Mandal, M. (1997). Physiological analysis to quantify training load in badminton. *Br J Sports Med*, 31(4), 342-345. doi:10.1136/bjism.31.4.342
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., . . . American College of Sports, M. (2013). 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*, 45(1), 186-205. doi:10.1249/MSS.0b013e318279a10a
- Meyer, T., Ferrauti, A., Kellmann, M., & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman – Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*. Retrieved from
- Meyer, T., & Meister, S. (2011). Routine blood parameters in elite soccer players. *International journal of sports medicine*, 32(11), 875-881.
- Meyer, T. F., Ferrauti, A., Kellmann, M., & Pfeiffer, M. (2016). *Regenerationsmanagement im Spitzensport: REGman-Ergebnisse und Handlungsempfehlungen*: Sportverlag Strauß.
- Petibois, C., Cazorla, G., Poortmans, J.-R., & Déléris, G. (2002). Biochemical Aspects of Overtraining in Endurance Sports. *Sports Medicine*, 32(13), 867-878. doi:10.2165/00007256-200232130-00005
- Poppendieck, W., Faude, O., Wegmann, M., & Meyer, T. (2013). Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review. *International journal of sports physiology and performance*, 8(3), 227-242.
- Rowbottom, D. G., Keast, D., & Morton, A. R. (1998). Monitoring and preventing of overreaching and overtraining in endurance athletes. In *Overtraining in sport* (pp. 47-66): Human Kinetics Publishers.
- Simjanovic, M., Hooper, S., Leveritt, M., Kellmann, M., & Rynne, S. (2009). The use and perceived effectiveness of recovery modalities and monitoring techniques in elite sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, S22.
- Sottas, P. E., Robinson, N., Rabin, O., & Saugy, M. (2011). The athlete biological passport. *Clin Chem*, 57(7), 969-976. doi:10.1373/clinchem.2011.162271
- Sottas, P. E., Robinson, N., & Saugy, M. (2010). The athlete's biological passport and indirect markers of blood doping. *Handb Exp Pharmacol*(195), 305-326. doi:10.1007/978-3-540-79088-4\_14
- Urhausen, A., Gabriel, H., & Kindermann, W. (1995). Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Medicine*, 20(4), 251-276.
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2015). Markers for routine assessment of fatigue and recovery in male and female team sport athletes during high-intensity interval training. *PloS one*, 10(10), e0139801.
- Yang, Y. (2007). Application of serum CK and BUN determination in monitoring pre-competition training of badminton athletes. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 27(1), 114-116. doi:10.1007/s11596-007-0132-z

## 7. Publikation

Die vorliegende Arbeit wurde bereits veröffentlicht:

**Barth V, Käsbauer H, Ferrauti A, Kellmann M, Pfeiffer M, Hecksteden A, Meyer T.**  
Individualized Monitoring of Muscle Recovery in Elite Badminton. *Front Physiol.* 2019 Jun  
26;10:778. doi: 10.3389/fphys.2019.00778

## 8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung meiner Monographie positiv beeinflusst, ermutigt und unterstützt haben.

Mein größter Dank gilt zunächst meiner Doktormutter, Frau PD Dr. med. Anne Hecksteden, die mich hervorragend betreut hat und der ich das Gelingen dieser Arbeit zu verdanken habe. Ich möchte mich für ihre Diskussions- und Hilfsbereitschaft bei der Anfertigung sowohl meiner Monographie als auch meiner Publikation bedanken. Auch für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens möchte ich mich herzlich bedanken.

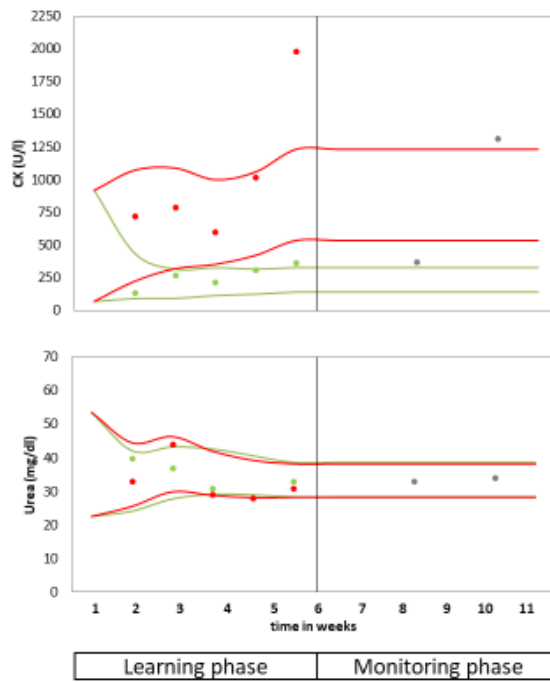
Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. Tim Meyer, Leiter des Instituts für Sport- und Präventivmedizin der Universität des Saarlandes, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen.

Ein besonderer Dank gilt auch Hannes Käsbauer, dem Bundesstützpunktleiter der Badmintonnationalspieler am Olympiastützpunkt Saarbrücken und den untersuchten Badmintonnationalspielern für die Bereitschaft, an dieser Studie teilzunehmen. Die Zusammenarbeit war von einer angenehmen und wertschätzenden Atmosphäre geprägt, was zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

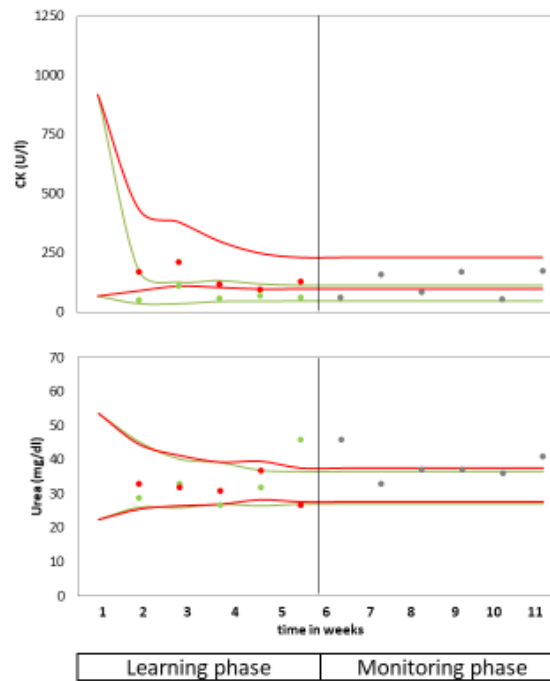
Bei meinen Eltern und Geschwistern möchte ich mich für die uneingeschränkte Unterstützung und den Rückhalt während meines Studiums bedanken, ohne die diese Arbeit so nicht möglich gewesen wäre. Insbesondere gilt mein Dank meinem Bruder Dominic, der auf fachlicher und persönlicher Ebene stets eine große Hilfe für mich ist.

## 9. Anhang

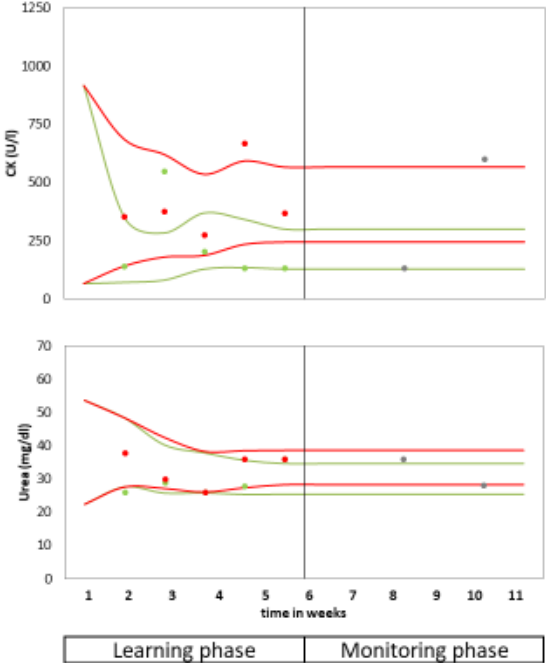
### Player 1



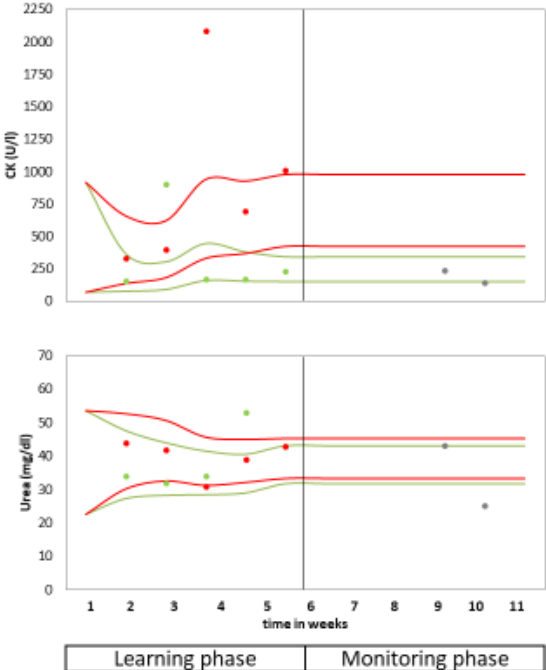
### Player 2



Player 3

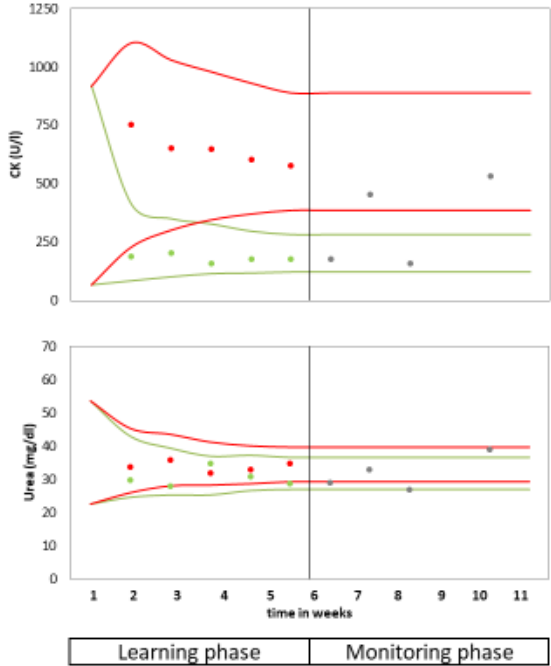


Player 4

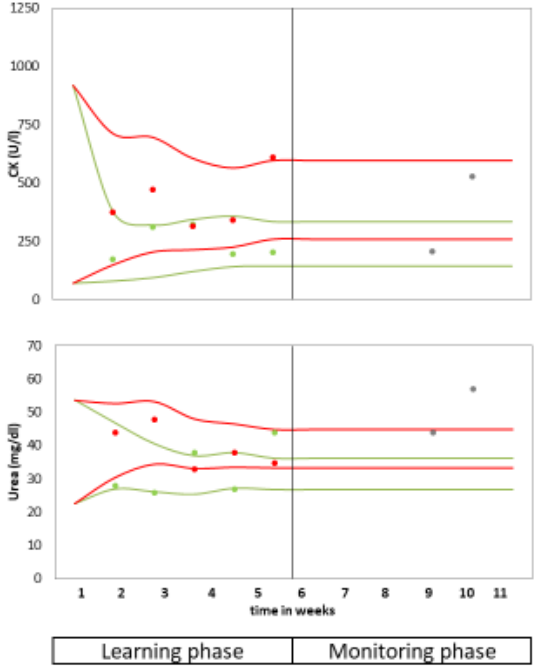




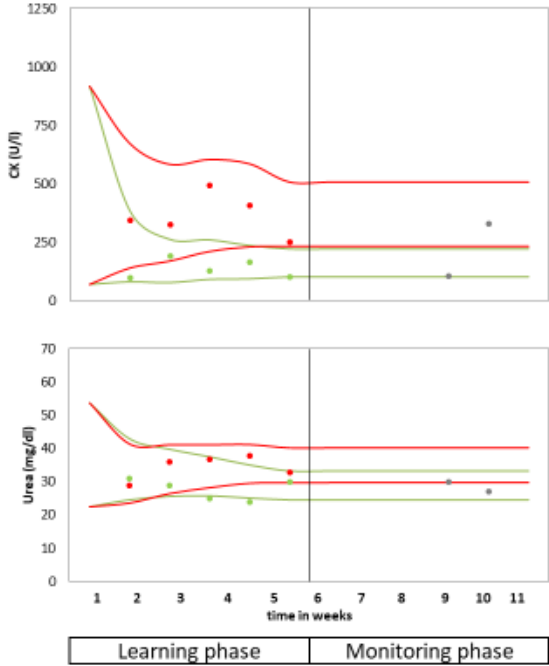
Player 5



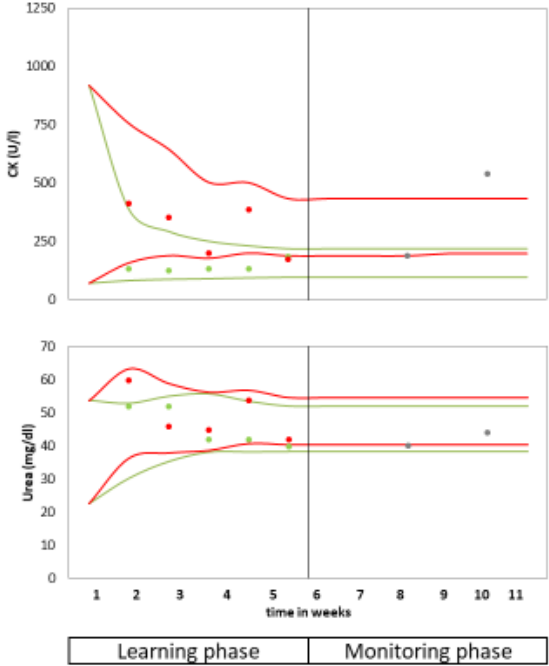
Player 6



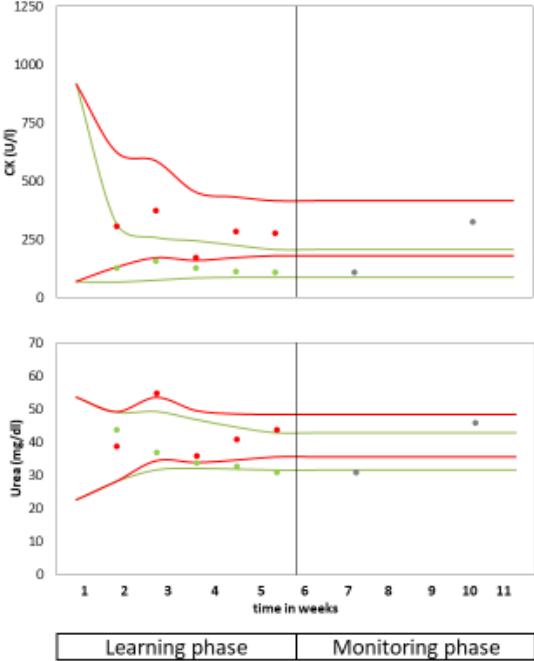
Player 7



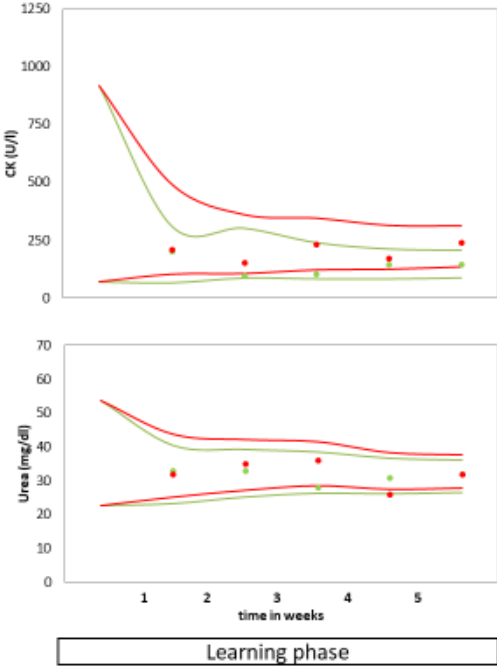
Player 8



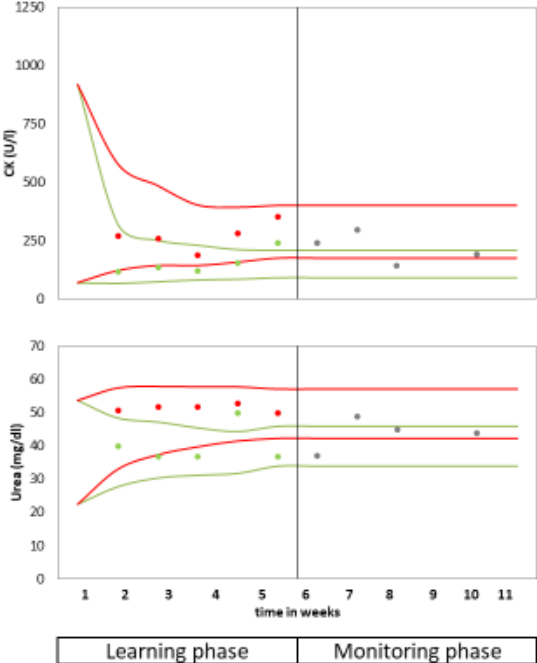
Player 9



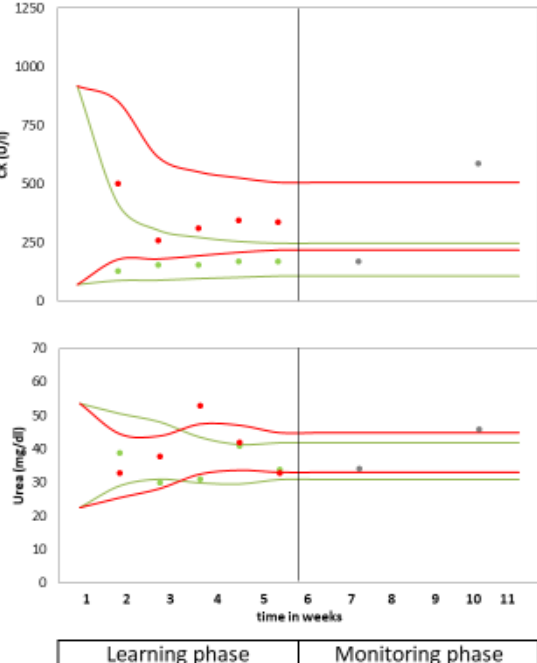
Player 10



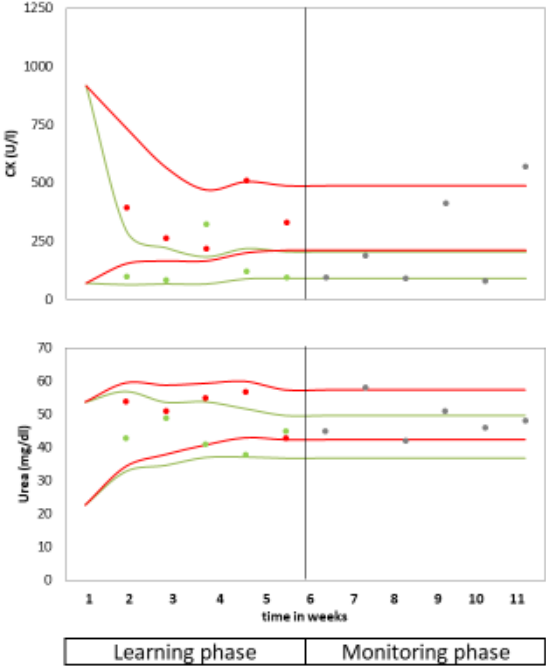
Player 11



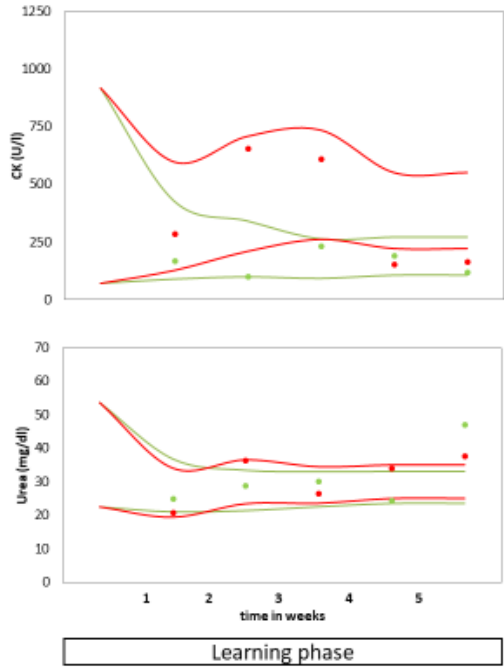
Player 12



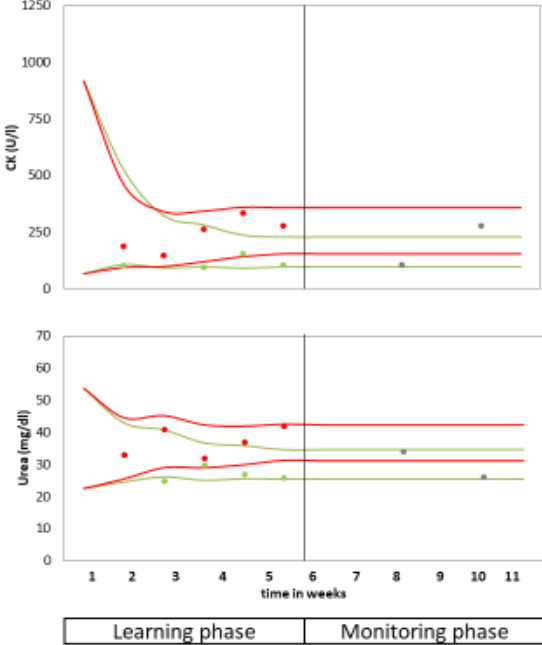
Player 13



Player 14



Player 15



Tag der Promotion: 16. März 2023

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: PD Dr. med. Anne Hecksteden

Prof. Dr. med. Danilo Fliser