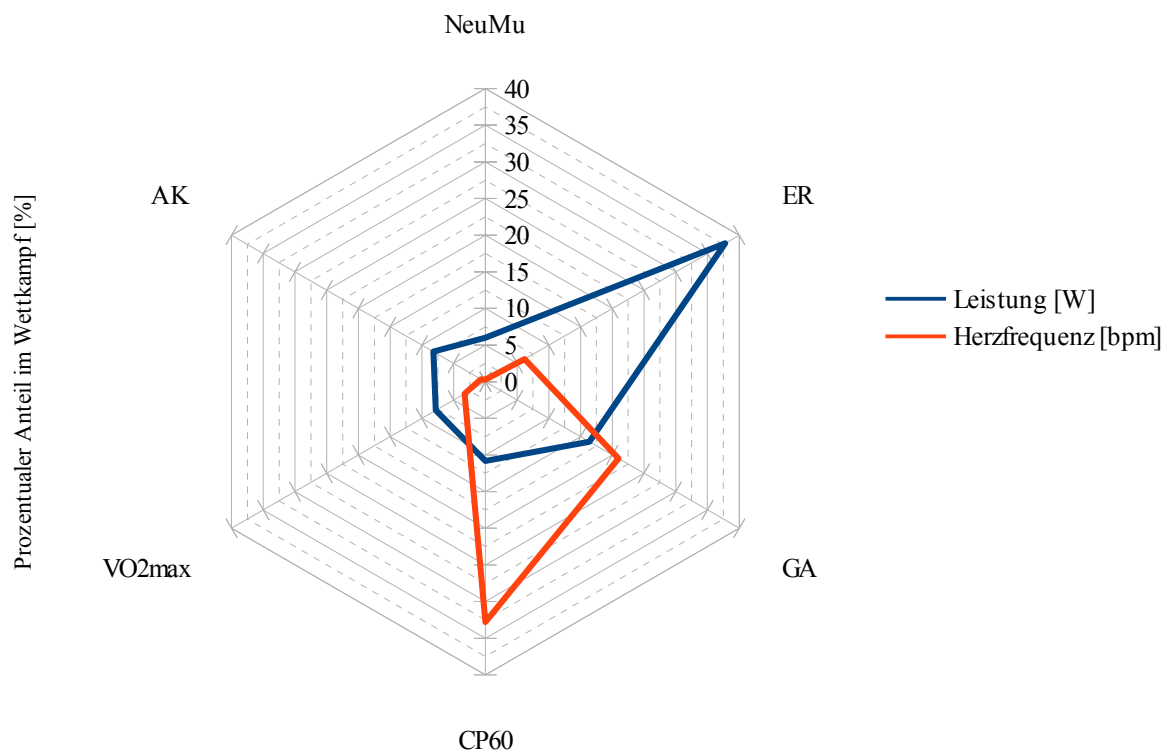


# Die Korrelation von innerer (HR) und äußerer Belastung (P) im Radsport

Zusammenhang von Leistung P und Herzfrequenz HR

Prozentualer zeitlicher Aufenthalt in den Trainingsbereichen



Erik Santen

Dauvemühle 15

48159 Münster

[santen@cycling-coach-lab.de](mailto:santen@cycling-coach-lab.de)

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Theorie.....	3
2.1	Innere Belastung von Trainingsreizen.....	3
2.1.1	Herzfrequenz als innerer Belastungsparameter.....	3
2.1.2	Maximale Herzfrequenz HRmax als Belastungssteuerungsinstrument.....	4
2.1.3	Grenzen des Belastungsparameter Herzfrequenz.....	5
2.2	Äußere Belastung von Trainingsreizen.....	5
2.2.1	Leistung P als äußerer Belastungsparameter.....	5
2.2.2	Grenzen des Belastungsparameter Leistung.....	6
3	Methodik.....	7
3.1	Klärung der Fragestellung nach der Korrelation von innerer und äußerer Belastung im Radrennsport .....	7
3.2	Untersuchungsdesign, -gut und -gang.....	7
3.3	Methodischen Vorgehen.....	7
3.3.1	Untersuchungsgeräte zur Leistungs- und Herzfrequenzmessung.....	8
3.3.2	Differenzielle Leistungsdiagnostik.....	8
3.3.3	Auswertungssoftware von Leistungs- und Herzfrequenzdaten.....	8
4	Darstellung und Beschreibung der gewonnenen Ergebnisse.....	9
4.1	Zusammenhang von Leistung P und Herzfrequenz HR .....	9
4.2	Zeitliche Aufenthaltsdauer der Probanden in den Belastungsbereichen.....	11
5	Diskussion.....	13
5.1	Interpretation der gewonnen Ergebnisse.....	13
5.2	Schlussfolgerungen als Praxisbezug und Ausblick der Belegarbeit.....	14
6	Literaturverzeichnis.....	16
7	Abbildungsverzeichnis.....	16
8	Tabellenverzeichnis.....	17

## 1 Einleitung

Während des ersten Abschnitts zur A-Trainer Ausbildung (2014-2015) stellte sich im Plenum und bei Referenten<sup>1</sup> die Frage, ob und inwieweit eine Korrelation zwischen der bisher sehr gut genutzten Trainingssteuerungsmethode der Herzfrequenzmessung und die immer weiter zunehmende Bedeutung des leistungsgesteuerten Trainings besteht. Dies ist Anlass für den Inhalt dieser Belegarbeit mit dem Titel "Die Korrelation von innerer und äußerer Belastung im Radrennsport" im Rahmen der A-Trainer-Ausbildung des Bund Deutscher Radfahrer. Die Thematik ist besonders für Trainer relevant und für mich persönlich eine Chance zu belegen, dass ein dichotomes Denkmuster keinesfalls erfolgsverprechend sein muss. Dazu soll im Verlauf der Belegarbeit deutlich gemacht werden, dass basierend auf wissenschaftlichen und praktischen Fakten eine Abhängigkeit der beiden "großen" Parameter (Herzfrequenz und Leistung) besteht und zeitlich abhängig ist. Dennoch dienen beide als hervorragende Steuerungsinstrumente des Trainings als Vorbereitung von Wettkampfsituationen. Methodisch wird sowohl anhand von differenziellen Leistungsdiagnostikdatensätzen als auch Trainingswettkampf- bzw. Spitzenwettkampfdateien von Radrennsportamateuren (A- und B-Amateure) bzw. Jedermann-Athleten (ehemalige U23-Fahrer des LV NRW und KT-Fahrer) untersucht, ob und inwieweit eine Korrelation zwischen HR in bpm<sup>2</sup> und P in W<sup>3</sup> besteht. Daraus resultierend werden in der Diskussion einige Vorschläge zur Trainingssteuerung aufgezeigt, die zielorientiert auf die Wettkämpfe der Athleten vorbereiten. Diese werden von mir auch schon erfolgreich angewendet, dienen aber dennoch als Diskussionsgrundlage der weiteren Ausbildung.

## 2 Theorie

### 2.1 Innere Belastung von Trainingsreizen

Die innere Belastung stellt die biologische Reaktion des menschlichen Organismus auf die äußeren Krafteinwirkungen dar. Sie kann vor allem mit physiologischen und biochemischen Parametern wie der HR, VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub> oder den Blutlaktatwerten deutlich gemacht werden. Die einzelnen, aber vielzähligen Wirkungsmechanismen zu erläutern würde den Rahmen dieser Belegarbeit sprengen. Es soll sich im folgenden auf die Herzfrequenz (HR) als Parameter der inneren Belastung konzentriert werden.

#### 2.1.1 Herzfrequenz als innerer Belastungsparameter

Die HR ist ein Belastungsparameter, der flächendeckend als primärer Parameter für eine gezieltere innere Belastungssteuerung herangezogen wird. Dies liegt vor allem an der kostengünstigen<sup>4</sup> und einfachen Handhabung dieser Methode<sup>5</sup>. Um die individuellen Herzfrequenzbereiche einem bestimmten Belastungsbereich wie der Lipolyse im Grundlagentraining zuzuordnen zu können gibt es verschiedene Methoden.

1 Es wird aufgrund der Lesbarkeit der vorliegenden Belegarbeit auf die explizite Nennung der weiblichen Umgangsform verzichtet, denn sie ist ausdrücklich bei der männlichen Nennung impliziert.

2 HR (bpm) = Heart rate in beats per minute = Herzfrequenz in Schlägen pro Minute

3 P (W) = Power in Watt = Leistung in Energie pro Zeit

4 Eine Pulsuhr liegt im Bereich von 20€ bis 150€ während bspw. ein mobiles Laktatmessgerät ~500€ kostet.

5 Vgl. [2], S. 66-79

## 2.1.2 Maximale Herzfrequenz HRmax als Belastungssteuerungsinstrument

Es gibt einige Methoden um Belastungsbereiche zu definieren. Eine naive, aber weitverbreitete (v.a. im Freizeitsport) davon, ist die der Berechnung der maximalen Herzfrequenz. Von dieser ausgehend werden die individuellen Belastungsbereiche zu berechnet. Die Tabelle 1 zeigt exemplarische Methoden zur Berechnung der HRmax auf.

Berechnungsformel	Geschlecht	Autor (Jahr)
$212 - (0,775 \cdot \text{Lebensalter (LA)})$	-	Robinson et al. (1939)
$220 - \text{LA}$	m/w	Rost, Hollmann (1982)
$220 - (0,5 \cdot \text{LA})$	m/w	Lagerstrom, Graf (1986)
$214 - (0,5 \cdot \text{LA} - 0,11 \cdot \text{Körpergewicht})$	m	Edwards (1996)
$226 - \text{LA}$	w	Hills, Byrne, Ramage (1998)
$200 - (0,8 \cdot \text{LA})$	m/w	Neumann, Pfützner, Berbalk (1998)
$208 - (0,7 \cdot \text{LA})$	m/w	Tanaka, Monahan, Seals (2001)

Tabelle 1: Berechnungsformeln anhand exemplarischer Literatur zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz.

Zusammenfassend aus Tabelle 1 kann ausgesagt werden, dass es stetige Erweiterungen der Berechnungsformeln gibt. Dies liegt vor allem daran, dass immer mehr Randbedingungen wie beispielsweise antropometrische Daten<sup>6</sup>, Trainingszustand, Körperhaltung auf dem Rad, Medikamenteneinfluss und/ oder Erkrankungen miteinbezogen werden sollen. Dies führt aber auch zu einer immer größer werdenden Streuung der errechneten maximalen Herzfrequenzwerte, sodass nur eine statistische und keine individuelle Aussage möglich wird. Somit bleibt die valideste Methode zur Bestimmung der HRmax eine echte Messung. Dies ist über ein Rampenprotokoll und/ oder im Wettkampf in längeren und höchsten Belastungsphasen möglich. Jedoch unterliegt diese auch den oben aufgeführten Schwankungen während der Messung<sup>7</sup>.

Die Berechnung der gängigen Belastungsbereiche<sup>8</sup> anhand der HRmax ist in der folgenden Tabelle 2 dargestellt.

Belastungsbereiche	Puls Rad
Regeneration und Kompensation	< 60% HRmax
Grundlagenausdauerbereich I	60-75% HRmax
Grundlagenausdauerbereich II	75-90% HRmax
Wettkampfspezifische Ausdauer	> 90% HRmax

Tabelle 2: Berechnungsmöglichkeit der Belastungsbereiche anhand der HRmax.

Auch für diese Belastungsbereiche ergeben sich die selben Problematiken wie für die

6 (u.a. Gewicht, Größe, Geschlecht, Körpermagermasse)

7 Vgl. [1], S. 11Ff und S. 173-175

8 [http://www.triathlontipps.de/so\\_ermittelst\\_du\\_deine\\_individuellen\\_Belastungsbereiche\\_si\\_290.html](http://www.triathlontipps.de/so_ermittelst_du_deine_individuellen_Belastungsbereiche_si_290.html)  
[Zugriff: 10/2014]

Bestimmung der HRmax, da sich der Fehler mathematisch fortpflanzt<sup>9</sup>.

### **2.1.3 Grenzen des Belastungsparameter Herzfrequenz**

Der vorige Abschnitt erläuterte wie von der HRmax auf die Belastungsbereiche geschlossen werden kann. Dies ist jedoch einigen bedenkenswerten Faktoren unterworfen. Zum einen wird von einem Durchschnitt mathematisch auf das Individuum geschlossen. Damit kann für den Athleten nicht genau gesagt werden, dass er genau bei einem Wert der HR primär in der Lipolyse trainiert. Zudem ist das Herzfrequenzverhalten durch eine große Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Durch emotionale Änderungen wird die Herzfrequenz durch die aktiven oder passiven Stresshormone (bspw. Cortisol) unter Umständen auf über 20 bpm gegenüber der üblichen Trainingsherzfrequenz erhöht. Auch die Zunahme der Bluttemperatur, vermittelt durch eine hohe Umgebungstemperatur, führt im Laufe eines Dauerlaufs oder Wettkampfs zu einem ansteigenden Herzfrequenzverlauf (u.a. "cardiovascular drift"). Schon leichter Schlafmangel, mangelhafte Kohlenhydrataufnahme und/oder Dehydration können Effekte auf die HR hervorrufen, sodass es nicht sinnvoll ist an einem fixen Wert der HR festzuhalten sondern Bereiche aufzufächern, damit der Zielbereich auch angesteuert werden kann. Des weiteren reagiert die HR träge auf eine geänderte Stoffwechselsituation und macht eine konkrete Belastungsbereichsansteuerung unsicher.<sup>10</sup>

Aus den oben aufgeführten Gründen bekommt das Blutlaktat als innerer Belastungsparameter in der wissenschaftlichen Betrachtungsweise einen immer höheren und vor allem inhaltlich-tieferen Stellenwert zugesprochen. Auch weil die Laktatkonzentration relativ leicht nachweisbar ist und ein genaueres Bild der aktuellen inneren Belastung zulässt. Dennoch ist es für Athleten nicht praktikabel und es bleibt Trainern bzw. Diagnostikern, Forschern vorbehalten diesen Parameter für ein besseres Verständnis zu nutzen.

## **2.2 Äußere Belastung von Trainingsreizen**

Die äußeren Belastungsfaktoren auf den menschlichen Organismus im Sport und Allgemeinen sind vielfältig. Speziell auf den Radrennsport bezogen treten vielfältige Einflüsse in Bezug auf die erbrachte Leistung eines Athleten auf. Im Rahmen dieser Belegarbeit liegt der Fokus auf der Leistungsabgabe der Athleten und den damit verbundenen Konsequenzen.

### **2.2.1 Leistung P als äußerer Belastungsparameter**

Die äußere Belastung eines Athleten wird meist reduziert auf die erzeugte Leistung P, die durch verschiedene Messsysteme gemessen werden kann. Diese Leistung ist das Produkt aus Trittfrequenz und Drehmoment. Dabei setzt sich das Drehmoment aus der Kurbellänge und der auf das Pedal aufgebrachten Kraft zusammen.<sup>11</sup> In Abbildung 1 ist die Zusammensetzung der resultierenden Kraft  $F_R$  deutlich gemacht. Die Leistung P setzt sich des weiteren aus der Energie pro Zeiteinheit zusammen. Die physikalische Einheit ist somit Energie pro Zeit (J/s) oder Watt (W). Anhand der Leistung können viele real umgesetzte Parameter erfasst werden. Zum Beispiel den Wert der Energie, den ein Athlet in einer bestimmten Zeit aufwenden muss,

---

<sup>9</sup> Vgl. [6], S.60

<sup>10</sup> Vgl. [4]

<sup>11</sup> Vgl. [3], S. 7

um eine hohe Leistung zu erzielen. Dies ist bei Bahnsprintern mit Antritten von über 2000W pro Sekunde relevant, da die Leistung nicht über einen aeroben Stoffwechsel bereitgestellt werden kann. So kann schon für einen bestimmten Leistungsbereich ein physiologischer Belastungsbereich festgelegt werden (Der Phosphatstoffwechsel-Belastungsbereich). Des Weiteren können anhand von Leistungsprofilen – also Leistungsdaten über Zeitintervalle von 1 Sekunde bis 7 Stunden – bestimmte Belastungsbereiche definiert werden.

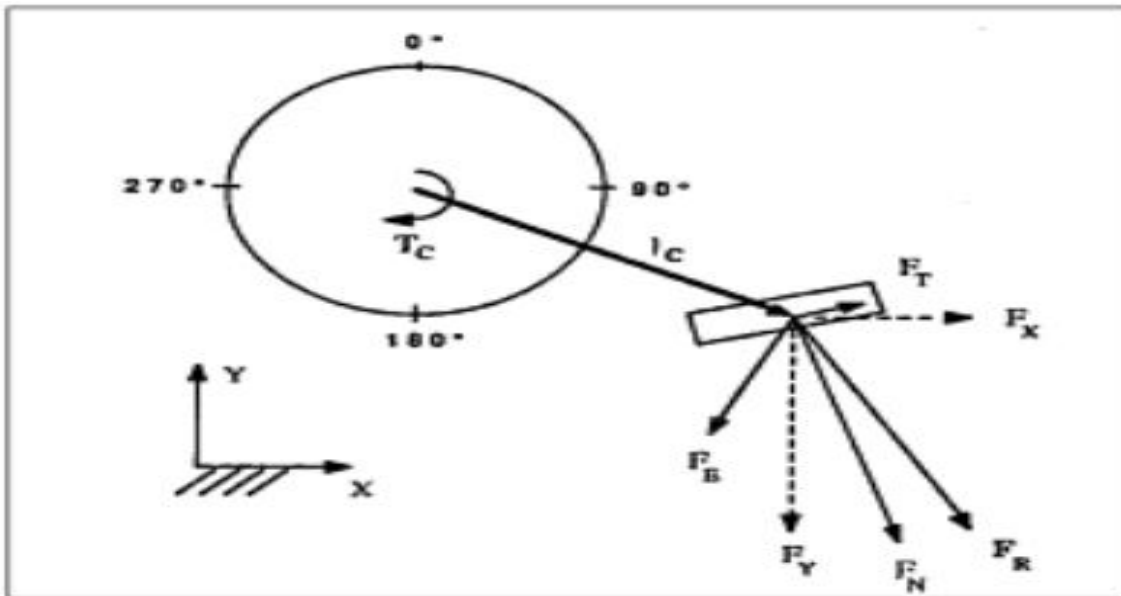


Abbildung 1: Darstellung der resultierenden Kraft  $F_R$  mit den Kräften  $F_y$  als vertikale Kraft,  $F_T$  als tangentielle Kraft,  $F_N$  als Normalkraft und  $F_E$  als effektive Kraft. Dabei stellt  $T_C$  das erzeugte Drehmoment durch  $F_R$  und der Kurbellänge  $I_C$  dar. Aus: Coyle et al., (1991) [5].

## 2.2.2 Grenzen des Belastungsparameter Leistung

Der Belastungsparameter Leistung ist anfällig gegenüber äußeren Bedingungen. Dazu gehören nicht nur das Rad<sup>12</sup> an sich sondern auch bspw. die Umgebungsvariablen wie Straßenbeschaffenheit, Windrichtung und -stärke. Zudem kann niemals ein Leistungsbereich für alle Athleten gemittelt werden, da dieser sehr von individuellen Faktoren abhängig ist. Deswegen sollte bei der Betrachtung von Leistungsdaten immer die Variante der relativen Leistung vorgezogen werden (W/kg). Dennoch gilt der Grundsatz zur Leistungsabgabe: "The More the Better"<sup>13</sup>. Eine weiterer Faktor, der nicht zu vernachlässigen ist, ist das Aufzeichnungsintervall der erzeugten Leistung im Leistungsmesssystem. Denn wenn dieses Intervall groß gegenüber der Trittfrequenz ist, dann kann über einen Tretzyklus und die maximale Leistung keine Aussage erbracht werden. Es gibt Meinungen einiger Vertreter der Leistungsanalyse, dass die Leistung das einzig nötige Kriterium sei zur Trainingssteuerung<sup>14</sup> sei.

<sup>12</sup> bspw. Messgenauigkeiten des Powersystems oder dessen Messintervalle,

<sup>13</sup> Auf der Zielgerade entscheidet immer die höhere Leistungszahl pro Zeiteinheit im Vergleich zur rel. Leistung

<sup>14</sup> Vgl. [7]

### 3 Methodik

In dieser Belegarbeit soll untersucht werden, ob und inwieweit die Herzfrequenzdaten gegenüber den Leistungsdaten während des Wettkampf- bzw. Trainingseinsatzes zusammenhängen und welche Schlussfolgerungen daraus für u.a. die Trainingspraxis ergeben können. Den methodischen Vorgang beschreiben die folgenden Punkte.

#### 3.1 Klärung der Fragestellung nach der Korrelation von innerer und äußerer Belastung im Radrennsport

Oftmals wird es berichtet und vielfach ist es publiziert worden, dass die HR-Werte nicht den P-Werten entsprechen. Wie schon im theoretischen Bereich erläutert, gibt es das Problem, dass die Trägheit der HR eine gleichbleibende Korrelation nicht zulässt. Es soll untersucht werden, in welchen zeitlichen Abschnitten eine Korrelation besteht und wie diese konkret aussieht.

#### 3.2 Untersuchungsdesign, -gut

Das Untersuchungsdesign ist in zwei Abschnitte eingeteilt. Zu Beginn muss sich jeder Proband einer differenziellen leistungsdiagnostischen Untersuchung in den Laboren von Cycling-Coach-Lab in Münster unterziehen. Diese decken dann die Potentiale und Leistungsfähigkeiten der Probanden im Bereich der VLamax, der VO2max, die optimalen Trainingsbereiche der Herzfrequenz und der Leistung auf. Nachfolgend werden Wettkampfdateien aller Probanden mittels geeigneter Software (siehe 3.3.3 Auswertungssoftware von Leistungs- und Herzfrequenzdaten) analysiert.

Zu den Probanden gehören 6 Radrennsportler, die durch Cycling-Coach-Lab betreut werden. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die anthropometrischen statistisch Daten erhoben worden.

Datensatz	Alter [Jahre]	Gewicht [kg]	Größe [m]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Körpermagermasse [kg]	Körperfett [%]
Männlich (n=6)	29 ±8,1	76 ±8,6	1,8 ±0,07	22,8 ±3,4	66,8 ±5,1	12 ±3,7

Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Probanden als Mittelwerte ( $\bar{X}$ ) und Standardabweichungen ( $\pm s$ ).

#### 3.3 Methodisches Vorgehen

Alle Datensätze der Probanden wurden im Zeitraum von März 2014 bis Oktober 2014 erhoben. Dabei sollten die Probanden nach der Eingangsuntersuchung alle Wettkampfdateien, die mit einem Leistungs- und Herzfrequenzmesssystem aufgezeichnet wurden, an den Versuchsleiter in einem geeigneten Dateiformat weiterleiten. Diese wurden dann in geeignete Auswertungssoftware eingelesen und sowohl Quer- als auch Längsvergleiche angestellt. Die Probanden erhielten eine differenzielle Leistungsdiagnostik in den Laboren von Cycling-Coach-Lab und teilweise leihweise Messsysteme von Cycling-Coach-Lab als

Aufwandsentschädigung.

### 3.3.1 Untersuchungsgeräte zur Leistungs- und Herzfrequenzmessung

Die Probanden besaßen teilweise eine eigene Messeinheit zur Erfassung von P- und HR-Daten. Teilweise wurden auch Systeme zur Verfügung gestellt. Bei den zum Einsatz gekommenen Messsystemen der Probanden handelt es sich um die Produkte der Firmen Power2max, Powertap, SRM und Quarq. Als Aufzeichnungsintervall ist ein einsekündliches Intervall festgelegt worden. Als Dateiformat ist das .fit-Format festgelegt worden. Zur HR Messung wurden Polar- und Garmin-Brustgurte verwendet.

Im Labor kamen die Hochleistungsmessgeräte Cyclus2 (RBM), LactateScout (EKF) und ein Metalyzer3B (Cortex) zum Einsatz. Die HR wurde mittels eines ANT+-fähigen Brustgurts von Garmin erfasst und an den Cyclus2 weitergeleitet. Von dort hat die Software MetaStudio3 von Cortex diese aufgezeichnet. Alle Geräte unterliegen einer ständigen Wartung und Kalibrierung, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Fehlertoleranz möglichst gering gehalten worden ist.

### 3.3.2 Differenzielle Leistungsdiagnostik

Die differenzielle Leistungsdiagnostik dient zur genaueren Bestimmung der Belastungsbereiche eines Athleten zu gegebener Watt- und HR<sup>15</sup>-Zahl gegenüber herkömmlichen Laktatstufentests. Dazu werden vier Tests nacheinander durchgeführt. Zuerst ein antropometrischer Test um die wesentlichen Daten wie bspw. das Körpermagergewicht zu ermitteln. Anschliessend, nach einem Aufwärmprogramm, wird ein modifizierter<sup>16</sup> Wingate-Test gefahren, um die maximale Laktatbildungsrate des Athleten zu bestimmen. Nach der passiven Pause wird mittels Rampenspirometrie die maximale Sauerstoffverwertung gemessen. Abschließend wird anhand eines Constant-Load-Tests die Herzfrequenz für die kritische Leistungsfähigkeit über 60 Minuten ermittelt. In Tabelle 4 sind die gemittelten Werte der Probanden aufgeführt.

Parameter	VLamax	VO2max	P_VO2max	P_CP60	P_1s <sup>17</sup>	HR_CP60
Männlich (n=6)	0,57 ±0,12	4941,2 ±311,2	389,7 ±21,8	306,8 ±31,2	1553,5 ±325,1	174,7 ±21,7

*Tabelle 4: Ausschnitt einiger Parameter der differenziellen Leistungsdiagnostik des Untersuchungsguts mit der maximalen Laktatbildungsrate (VLamax), der maximalen Sauerstoffverwertung (VO2max), der Leistung an der VO2max (P\_VO2max), der kritischen Leistungsfähigkeit über 60 Minuten (CP60), der maximalen Leistung über 1 Sekunde (P\_1s) und der Herzfrequenz an der CP60 (HR\_CP60).*

15 Man beachte, dass die HR zu starken Schwankungen unterlegen ist, sodass eine exakte Zahl keinen Sinn macht ("2.1.3 Grenzen des Belastungsparameter Herzfrequenz")

16 Ein auf 15 Sekunden reduzierter Wingate-Test nach Mader (1994)

17 Man beachte, dass die Messintervalle der Messsysteme der Probanden nicht den Laborbedingungen entsprechen und somit niedriger ausfallen müssen ("2.2.2 Grenzen des Belastungsparameter Leistung").



### 3.3.3 Auswertungssoftware von Leistungs- und Herzfrequenzdaten

Als Auswertungssoftware wurde sowohl PowerCoach® als auch GoldenCheetah (GNU General Public License) genutzt. Dazu wurden die einzelnen Datensätze der Probanden eingelesen und analysiert. Abschließend wurden die Ergebnisse der einzelnen Probanden statistisch gemittelt.

Die Wettkampfdaten wurden auf einen Zusammenhang von P zu HR im zeitlichen Verlauf analysiert. Die gewählten Zeitintervalle entsprechen dem durchschnittlichen Ansprechen eines bestimmten Belastungsbereiches. Diese sind in der folgenden Tabelle 5 aufgeführt. Es wurden stets die besten Intervalle der Trainingseinheit genutzt, wenn diese zusätzlich im Bereich einer Abweichung von  $\pm 5\%$  der maximalen<sup>18</sup> kritischen Leistungsfähigkeit des Athleten lagen.

Trainingsbereich	Neuro-muskulär	Anaerobe Kapazität	Maximale Sauerstoffverwertung	CP60 kritische Leistungsfähigkeit	CP180 Grundlagenausdauer
Zeit-Intervall	1 Sekunde	30 Sekunden	5 Minuten	60 Minuten	180 Minuten

Tabelle 5: Definition der Belastungsbereiche anhand von Zeit-Intervallen.

Die gewonnenen Datensätze bzgl. P und HR im jeweiligen Zeitintervall wurden anschließend statistisch gemittelt. Dabei wurden für P und HR die echten Durchschnittswerte verwendet.

Zum Anderen wurden die Trainingsdaten der Probanden ganzheitlich unter dem Aspekt des jeweiligen zeitlichen Aufenthalts in einem bestimmten Belastungsbereiche analysiert. Dabei wurden zuerst mittels der Eingangsdiagnose die Belastungsbereiche sowohl der Herzfrequenz und der Leistung definiert. Nachfolgend wurden die Gesamtzeiten der inneren und äußeren Belastung tabellarisch festgehalten und deren Zusammenhang dargestellt.

## 4 Darstellung und Beschreibung der gewonnenen Ergebnisse

### 4.1 Zusammenhang von Leistung P und Herzfrequenz HR

Die Durchschnittswerte der jeweiligen Belastungsbereiche der Probanden sind in Tabelle 6 festgehalten. Der Fehlerbereich liegt bei der P bei ca. 3% und bei der HR bei ca. 1%.

Zeit [Minuten]	Leistung [Watt]	Herzfrequenz [bpm]
0,08 [= 1 Sekunde]	1174 $\pm$ 312	173 $\pm$ 17
0,5	671 $\pm$ 154	169 $\pm$ 16
5	391 $\pm$ 112	178 $\pm$ 18
60	300 $\pm$ 85	170 $\pm$ 17
180	254 $\pm$ 56	164 $\pm$ 15

Tabelle 6: Datensatz des Untersuchungsguts zur zeitlichen inneren und äußeren Belastung.

<sup>18</sup> Diese wurden mittels der differenziellen Leistungsdiagnostik (DL) ermittelt.

In Abbildung 2 ist der lineare Verlauf von P und HR dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Fehler der jeweiligen Messungen berücksichtigt. Dabei war der Fehler der HR-Messung

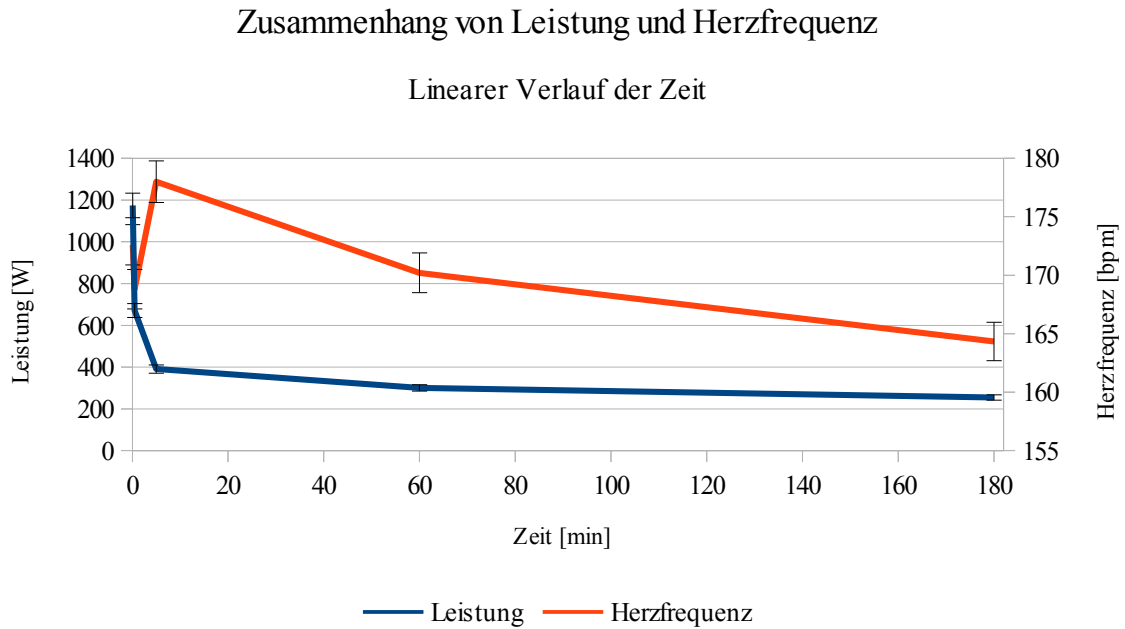


Abbildung 2: Zusammenhng von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung beim Radrennfahrern (n=6) im zeitlich linearen Verlauf (Zeitintervalle: 1s, 30s, 5min, 60min und 180min).

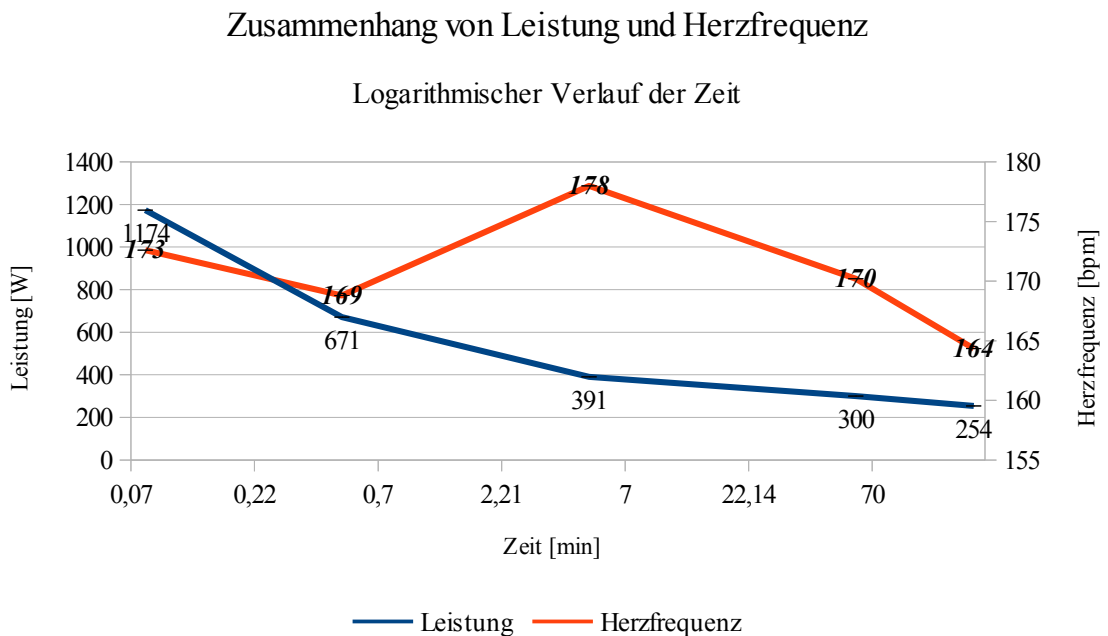


Abbildung 3: Zusammenhang von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung bei Radrennfahrern (n=6) im zeitlich logarithmischen Verlauf (Zeitintervalle: 1s, 30s, 5min, 60min und 180min).

mit ca. 1% relativ schwerwiegender als der Fehler der P-Messung mit 3% aufgrund der geringen absoluten Zahlengröße. Bezüglich des P-Graphen (blau) ist eine eindeutige Abnahme im zeitlichen Verlauf zu erkennen. Dieser Verlauf ähnelt sehr einer exponentiellen Abnahme. Diese ist hinreichend aus biologischen und physikalischen Prozessen bekannt. Der Verlauf des HR-Graphen (orange) ist anfangs sehr steil und flacht mit einem geringeren Gradienten als der P-Graph ab. Es liegt eine potentielle Abnahme (ab VO<sub>2</sub>max) vor.

In Abbildung 3 ist der selbe Datensatz in logarithmischer Darstellungsweise dargestellt. Dies bietet sich an, da die Zeitintervalle der Belastungsbereiche Neuromuskulär, Anaerobe Kapazität und Maximaler Sauerstoffverwertung in einer linearen Betrachtungsweise zu eng beieinander liegen und um sie differenzieren zu können. Es fällt auf, dass der P-Graph (blau) stetig – wenn auch nicht so stark – abfällt. Der HR-Graph (orange) fällt zuerst vom neuromuskulären Belastungsbereiche um vier bpm zur Anaeroben Kapazität um dann neun bpm zuzulegen zum Belastungsbereiche der maximalen Sauerstoffverwertung. Anschließend sinkt sie um acht bpm ab auf den Trainingsbereich der kritischen Leistungsfähigkeit über 60 Minuten und weiter um sechs bpm zum Grundlagenausdauerbereich.

#### ***4.2 Zeitliche Aufenthaltsdauer der Probanden in den Belastungsbereichen***

Tabelle 7 zeigt die Rohdaten des arithmetischen Mittels der Probanden (n=6) für den zeitlichen Aufenthalt der jeweiligen Belastungsbereiche in den Wettkämpfen. Dabei fällt auf, dass die Standardabweichungen zu den ermittelten Messwerten bei der Herzfrequenz HR teilweise im Kurzzeitbereich das vierfache des eigentlichen Messwertes übersteigen kann. Bei der Leistung P sind derartige hohe Abweichungen nicht beobachtbar.

<b>Belastungsbereiche</b>	<b>Prozentualer Anteil der Gesamtleistung P</b>	<b>Prozentualer Anteil der Gesamtleistung der HR</b>
Neuromuskulär	6,0 ± 4,0	0,28 ± 1,01
Anaerobe Kapazität	8,2 ± 3,8	0,70 ± 1,90
Maximale Sauerstoffverwertung	7,8 ± 4,2	3,26 ± 3,12
Kritische Leistungsfähigkeit über 60 Minuten	10,8 ± 3,2	32,80 ± 20,14
Grundlagenausdauer	16,4 ± 4,6	21,00 ± 20,12
Erholung	37,8 ± 9,8	6,20 ± 5,78

*Tabelle 7: Zusammenfassung der gemittelten Messwerte der Probanden (n=6) zum zeitlichen Aufenthalt der Athleten in den jeweiligen Belastungsbereichen im Vergleich von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung.*

In Abbildung 4 ist die Verteilung des zeitlichen Aufenthalts der Probanden in den jeweiligen Belastungsbereichen für die Leistung P und die Herzfrequenz HR dargestellt. Diese Daten beziehen sich auf Tabelle 7. Dabei ist auffällig, dass der prozentuale Anteil der Gesamtzeit der Leistung P (blauer Balken) in einem Bereich stetig zunimmt (von 6,0% im neuromuskulären Bereich bis zu 37,8% im Erholungsbereich). Der prozentuale Anteil der Zeit in einem Bereich der HR nimmt dagegen anfangs leicht zu bis zum Bereich der VO<sub>2</sub>max (von 0,28% bis zu 3,26%). Einen deutlichen Anstieg der prozentualen Zeit ist im Bereich der CP60 zu erkennen,

der anschließend fast konstant absinkt auf einen Wert von 6,2% im ER-Bereich.

### Zusammenhang von Leistung und Herzfrequenz

Prozentualer zeitlicher Aufenthalt in den jeweiligen Trainingsbereichen

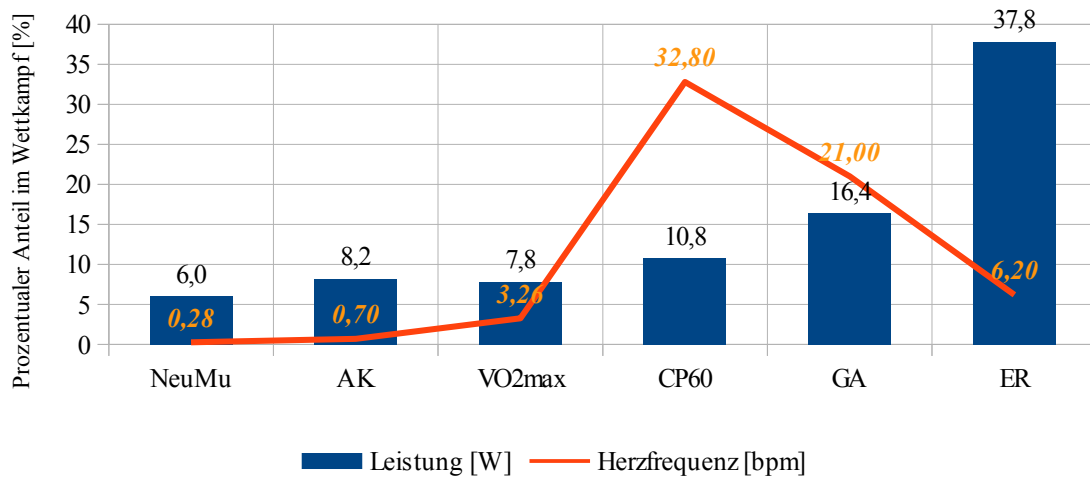


Abbildung 4: Zusammenhang von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung von Radrennfahrern (n=6). Dargestellt sind die Belastungsbereiche Neuromuskulär (NeuMu), Anaerobe Kapazität (AK), maximale Sauerstoffverwertung (VO2max), kritische Leistungsfähigkeit über 60 Minuten (CP60), Grundlagenausdauer (GA) und Erholung (ER).

In Abbildung 5 ist die unterschiedliche Belastung von innerer und äußerlicher Belastung aus

### Zusammenhang von Leistung und Herzfrequenz

Prozentualer zeitlicher Aufenthalt in den Trainingsbereichen

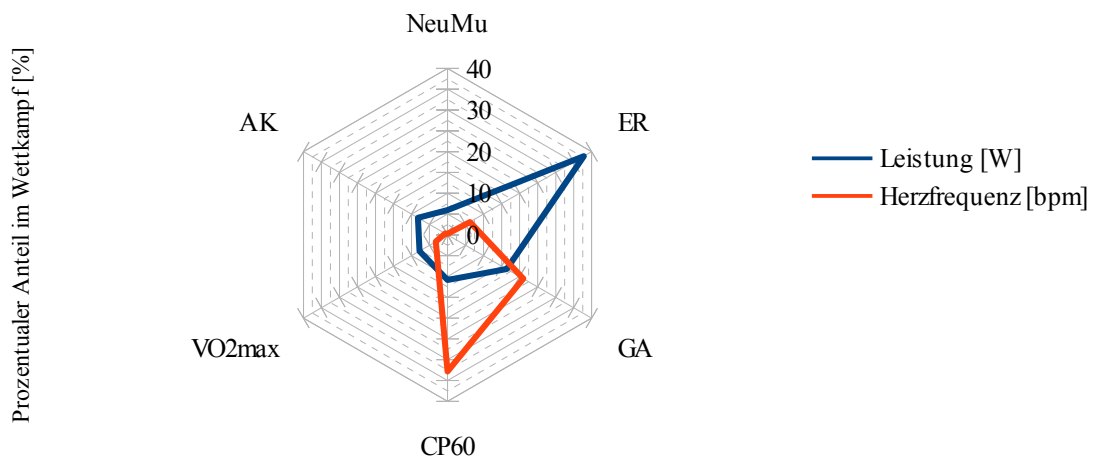


Abbildung 5: Das Netzdiagramm zeigt deutliche Zusammenhänge und Unterschiede der inneren (Herzfrequenz) und äußeren (Leistung) Belastungen in unterschiedlichen Belastungsbereichen in Wettkämpfen der Probanden (n=6).

den selben Wettkampfdateien deutlich zu erkennen. Es gibt eine geringe Schnittmenge der beiden Bereiche P (blau) und HR (orange). Diese bezieht sich vor allem auf den GA-Bereich. Deutliche Unterschiede sind in allen übrigen Bereichen festzustellen.

Tabelle 8 zeigt den Faktor, um den sich die Leistung P und die Herzfrequenz HR unterscheiden.

Belastungsbereiche	Faktor zwischen P und HR	Faktor zwischen HR und P
Neuromuskulär	21,43	0,05
Anaerobe Kapazität	11,71	0,09
Maximale Sauerstoffverwertung	2,49	0,42
Kritische Leistungsfähigkeit über 60 Minuten	0,33	3,04
Grundlagenausdauer	0,78	1,28
Erholung	6,10	0,16

*Tabelle 8: Faktorisierung der Unterschiede der inneren und äußeren Belastung in verschiedenen Belastungsbereichen.*

## 5 Diskussion

### 5.1 Interpretation der gewonnenen Ergebnisse

Aus Tabelle 7 und Abbildung 4 ist der Trend aus den vorigen Abbildungen 2 und 3 bestätigt. Nämlich, dass mit längeren Zeitintervallen und damit den entsprechenden Belastungsbereichen der kritischen Leistungsfähigkeit über 60 Minuten, der Grundlagenausdauer und dem Erholungsbereich ein Absinken der absoluten Messwerte einhergeht. Dies lässt darauf schließen, dass es in diesen Bereichen eine hohe Korrelation zwischen innerer und äußerer Belastungen geben könnte. Nach Tabelle 8 trifft dies allerdings nur auf den Bereich der Grundlagenausdauer zu (Faktor 0,78 bzw. 1,28). Der Bereich CP60 korreliert nur mit einem Faktor 1/3 bzw. 3,04. Dieser Wert ist zu gering, als dass man von einem direktem Zusammenhang von P und HR in diesem Bereich. Noch gravierender werden die Ergebnisse für die übrigen Belastungsbereiche nach Tabelle 8. Dabei fällt vor allem der Hoch- und Höchstbelastungsbereich auf. Mit einem Faktor von 21,43 bzw. 0,05 (NeuMu) und 11,71 bzw. 0,09 (AK) sind die Unterschiede in der Belastungszeit der Belastungsbereiche sehr hoch. Dies liegt vor allem an der Trägheit der Herzfrequenz. Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass die Korrelation zwischen HR und P ist nicht gleichermaßen für alle Zeitintervalle ist. Dies ist auch an der Abbildung 6 deutlich zu machen, da nur für den GA-Bereich eine Korrelation zu erkennen ist. Für die anderen Bereich gehen die Korrelationen teilweise sehr weit auseinander. Anhand der bestehenden guten Korrelation von P und HR im Grundlagenausdauerbereich, kann diese durch die Herzfrequenz angesteuert werden<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> unter der Beachtung der Grenzen der Herffrequenzmessung (siehe Seite 5).

## Vergleich des Zusammenhangs von Leistung zur Herzfrequenz

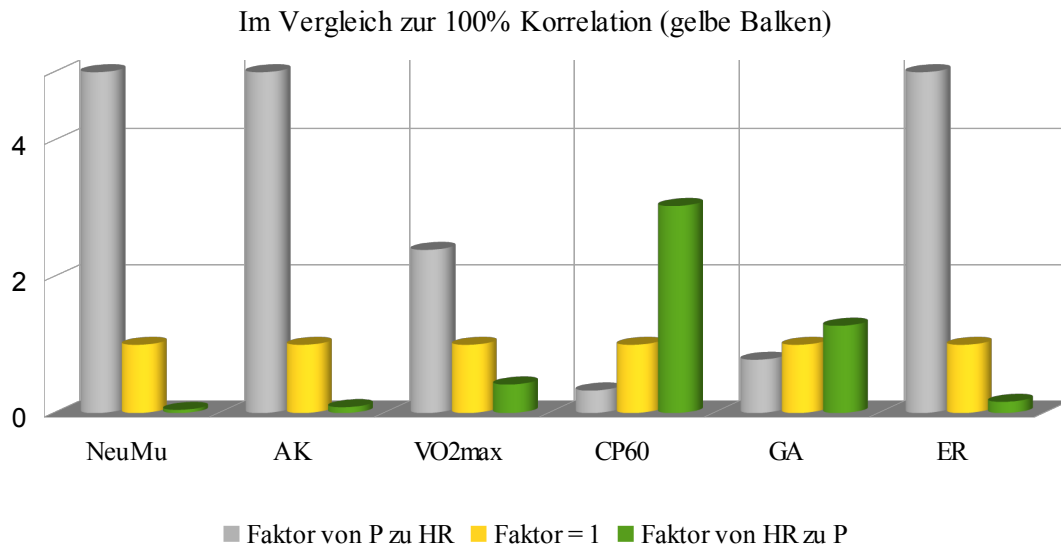


Abbildung 6: Darstellung der Trainingsbereiche und deren Zusammenhang im Vergleich zur 100% Korrelation. Je näher die Balken beieinander, desto höher der Zusammenhang. Je größer die Unterschiede der Balken, desto kleiner der Zusammenhang. Die Balken von NeuMu, Ak und ER sind aufgrund der Übersichtlichkeit gekürzt dargestellt, damit ein Vergleich mit dem Faktor 1 (100% Korrelation) möglich ist.

### 5.2 Schlussfolgerungen als Praxisbezug und Ausblick dieser Belegarbeit

Bedingt dadurch, dass die Korrelation zwischen HR und P nicht gleichermaßen für alle Zeitintervalle gegeben ist, kann ein reines herzfrequenzgesteuertes Training nicht den höchsten Ansprüchen des BDR genügen. Denn sonst würde ein gezieltes Vorbereiten des Athleten auf ein bestimmtes Anforderungsprofil eines (olympischen) Wettkampfes nicht gezielt ablaufen. Dies trifft vor allem auf den Bahnradsport, Mountainbike, Cross Country u.a. mit ihren häufigen maximalen Belastungen im Bereich von NeuMu, AK, VO2max zu. Aber auch der Straßenradsport ist dabei nicht außer Acht zu lassen, denn auch hier treten vor allem in GA-Training häufige Fehler durch leichtes Über- bzw. Unterbelasten auf. Daher empfiehlt sich ein leistungsgesteuertes Training. Dies darf aber auf keinen Fall bedeuten, dass das leistungsgesteuerte Training das herzfrequenzgesteuerte Training ablöst. Dies wäre jediglich eine Kursänderung in die andere Richtung ohne die Vorteile der Herzfrequenzsteuerung zu nutzen. Aus der vorliegenden Arbeit lässt sich schließen, dass ein leistungsgesteuertes Training mit Herzfrequenzorientierung beiden Parameter (innere und äußere Belastung) gerecht werden kann. So sollten nach dem erwarteten Belastungsprofil eines Wettkampfes die entsprechenden Belastungen über die Leistung angesteuert werden und über das Herzfrequenzverhalten beobachtet und evaluiert werden. So können sich daraus individuelle Abbruchkriterien für eine bestimmte Wiederholungsanzahl von Belastungsintervallen ergeben. Des Weiteren kann und muss das Training in ein physiologisch leistungsgesteuertes

und ein kardiopulmonales Training unterteilt werden. Beim Ersten geht es primär um die Optimierung der physiologischen Voraussetzung der Muskulatur des Athleten nahe des Anforderungsprofils. Beim zweiten soll eine kardiopulmonales Optimierung erfolgen, um dieses auf das Anforderungsprofil vorzubereiten. Dabei sind die jeweiligen individuellen Anpassungszeiten zu beachten. Durch die Verbindung beider Parameter zur Trainingssteuerung können sogar Gesamtenergieumsatzvorgaben für einen Athleten entsprechend seiner maximalen Sauerstoffverwertung und/ oder seiner maximalen Laktatbildungsrate gemacht werden. Dies macht ein Training deutlich effizienter. Und genau dies ist ein wichtiges Anliegen, da Spitzensportler auch nicht mehr als 24 Stunden pro Tag für Training und Regeneration haben. Deshalb muss immer die Qualität der Belastungsreize im Vordergrund stehen.

Als Ausblick auf diese Belegarbeit ist vorab hinzuweisen, dass mögliche Problemstellungen auftreten könnten, da diese mit einer sehr kleinen Stichprobe (n=6) durchgeführt worden ist. Dennoch können generelle Trends gerne bei eigenen Sportlern getestet werden und mir etwaige Unterschiede zu den Befunden mitgeteilt werden. Des weiteren besteht die Stichprobe ausschließlich aus A- und B-Amateuren des Radrennsports des BDR und erfolgreichen Jedermännern (u.a. ehemalige KT-Fahrer und U-23-Fahrer des LV NRW) und kann deshalb nicht für die Elitefahrer des BDR gelten. Hierfür stehe ich gerne zur Verfügung dies für ProTour Fahrer bei geeigneten Leistungsdateien nachzuholen. Anschließende Untersuchungen sollten die Effizienz von bestimmten Trainingsbereichen nach individuellen Parametern wie der  $V_{Ia\_max}$  und  $VO_{2\_max}$  untersuchen, denn es sind dort im Rahmen dieser Untersuchung Unregelmäßigkeiten aufgefallen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Kälberer, C., Maximale Herzfrequenz – Definition, Einflussfaktoren und Sinn einer Trainingssteuerung anhand der maximalen Herzfrequenz, Dissertation (2008), TU München
- [2] Janssen, P. G., Ausdauertraining. Trainingssteuerung über die Herzfrequenz- und Milchsäurebestimmung, (2003)
- [3] Eberle, B., Charakterisierung der Belastungsanforderungen bei Rundstreckenrennen im Straßenradspport, Diplomarbeit (2003)
- [4] Stappelfeld, B., Kraft- und Ausdauerleistungen im Mountainbikesport, Diss. (2001), Freiburg
- [5] Coyle, E. F., Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. In *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23 (1): 93 – 107, (1991)
- [6] Roger J. B. *A Guide to the Use of Statistical Methods in the Physical Sciences* Wiley, Chichester, (1989)
- [7] Schurr, S., Leistungsgesteuertes Radtraining: Leitfaden für eine optimale Belastungsgestaltung in Training und Wettkampf, (2006)

## 7 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Darstellung der resultierenden Kraft  $F_R$  mit den Kräften  $F_y$  als vertikale Kraft,  $F_T$  als tangentielle Kraft,  $F_N$  als Normalkraft und  $F_E$  als effektive Kraft. Dabei stellt  $T_C$  das erzeugte Drehmoment durch  $F_R$  und der Kurbellänge  $I_C$  dar. Aus: Coyle et al., (1991) [5].....6
- Abbildung 2: Zusammenhng von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung beim Radrennfahrern (n=6) im zeitlich linearen Verlauf (Zeitintervalle: 1s, 30s, 5min, 60min und 180min).....10
- Abbildung 3: Zusammenhang von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung bei Radrennfahrern (n=6) im zeitlich logarithmischen Verlauf (Zeitintervalle: 1s, 30s, 5min, 60min und 180min).....10
- Abbildung 4: Zusammenhang von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung von Radrennfahrern (n=6). Dargestellt sind die Belastungsbereiche Neuromuskulär (NeuMu), Anaerobe Kapazität (AK), maximale Sauerstoffverwertung ( $VO_{2max}$ ), kritische Leistungsfähigkeit über 60 Minuten (CP60), Grundlagenausdauer (GA) und Erholung (ER).  
.....12
- Abbildung 5: Das Netzdiagramm zeigt deutliche Zusammenhänge und Unterschiede der inneren (Herzfrequenz) und äußeren (Leistung) Belastungen in unterschiedlichen Belastungsbereichen in Wettkamäpfen der Probanden (n=6).....12
- Abbildung 6: Darstellung der Trainingsbereiche und deren Zusammenhang im Vergleich zur 100% Korrelation. Je näher die Balken beieinander, desto höher der Zusammenhang. Je größer die Unterschiede der Balken, desto kleiner der Zusammenhang. Die Balken von



NeuMu, Ak und ER sind aufgrund der Übersichtlichkeit gekürzt dargestellt, damit ein Vergleich mit dem Faktor 1 (100% Korrelation) möglich ist. .... 14

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnungsformeln anhand exemplarischer Literatur zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz.....	4
Tabelle 2: Berechnungsmöglichkeit der Belastungsbereiche anhand der HRmax.....	4
Tabelle 3: Anthropometrische Daten der Probanden als Mittelwerte (X) und Standardabweichungen ( $\pm$ s).....	7
Tabelle 4: Ausschnitt einiger Parameter der differenziellen Leistungsdiagnostik des Untersuchungsguts mit der maximalen Laktatbildungsrate ( $V_{lmax}$ ), der maximalen Sauerstoffverwertung ( $VO_{2max}$ ), der Leistung an der $VO_{2max}$ ( $P_{VO_{2max}}$ ), der kritischen Leistungsfähigkeit über 60 Minuten (CP60), der maximalen Leistung über 1 Sekunde ( $P_{1s}$ ) und der Herzfrequenz an der CP60 ( $HR_{CP60}$ ).....	8
Tabelle 5: Definition der Belastungsbereiche anhand von Zeit-Intervallen.....	9
Tabelle 6: Datensatz des Untersuchungsguts zur zeitlichen inneren und äußeren Belastung.....	9
Tabelle 7: Zusammenfassung der gemittelten Messwerte der Probanden (n=6) zum zeitlichen Aufenthalt der Athleten in den jeweiligen Belastungsbereichen im Vergleich von innerer (Herzfrequenz) und äußerer (Leistung) Belastung.....	11
Tabelle 8: Faktorisierung der Unterschiede der inneren und äußeren Belastung in verschiedenen Belastungsbereichen.....	13