

**Das Leistungsniveau von weiblichen
Nachwuchs - Radrennsportlerinnen in Österreich
im internationalen Vergleich**

Vorgelegt von

MAG. KATHRIN SCHATTE

Diplomarbeit an der BSPA Wien

August 2010

Betreut von

Alfred Nimmerichter

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORWORT	2
2. EINLEITUNG	4
3. LEISTUNGSPHYSIOLOGIE UND LEISTUNGSDIAGNOSTIK IM RADSPORT	6
<i>3.1 Geschichtliche Entwicklung</i>	6
<i>3.2 Leistungsdiagnostik und leistungsphysiologische Begriffsdefinitionen</i>	7
3.2.1 Laktatstoffwechsel	7
3.2.2 Laktatleistungskurve	8
3.2.3 Laktatbasierte Schwellenkonzepte	9
3.2.4 Die Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung	11
3.2.5 Ventilatorisch begründete Schwellenkonzepte	12
3.2.6 Belastungsschema in der medizinischen Leistungsdiagnostik	15
4 ANALYSE DER LEISTUNGSGRÖßEN UND DER LEISTUNGSANFORDERUNGEN IM FRAUENRADSPORT	16
<i>4.1 Wettkampf-Daten aus Frauen Weltcup-Rennen</i>	16
<i>4.2 Anthropometrische und physiologische Charakteristiken von Radrennfahrerinnen</i>	18
5. ANTHROPOMETRISCHE UND PHYSIOLOGISCHE KENNGRÖßEN DER ÖSTERREICHISCHEN JUNIORINNEN-NATIONALTEAMFAHRERINNEN DER SAISONEN 2005 - 2010	24
<i>5.1 Beschreibung der Zielgruppe</i>	24
5.1.1 Anthropometrische Kenngrößen	24
5.1.2 Leistungsdiagnostische Kenngrößen	25
6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	29
7 VERZEICHNISSE	33
<i>7.1 Abbildungsverzeichnis</i>	33
<i>7.2 Tabellenverzeichnis</i>	33
<i>7.3 Literaturverzeichnis</i>	34

1. Vorwort

In den letzten Jahren erfuhr der österreichische Radsport-Nachwuchs, insbesondere der feminine Anteil, eine positive Entwicklung. Fanden sich um die Jahrtausendwende kaum lizenzierte Mädchen im Radrennsport, so darf man eine beträchtliche Steigerung bis zum Jahre 2009 verzeichnen.

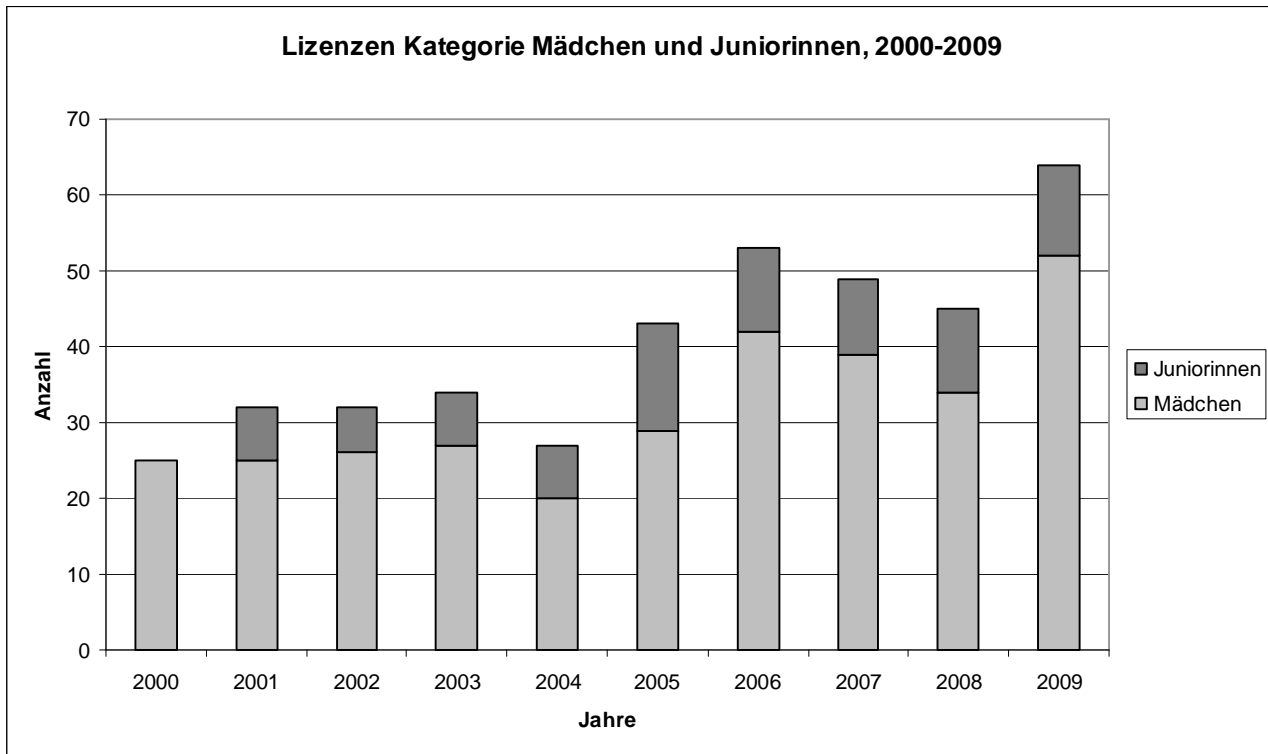


Abb. 1: Lizenzen Kategorie Mädchen und Juniorinnen, von den Jahren 2000-2009

In Staaten mit großem Radsportinteresse (Beispiele: Australien, Deutschland) wurden strukturiert und gezielt Daten zur Talentfindung erhoben, währenddessen in anderen Ländern wie Spanien, Italien und Frankreich keine derartigen Systeme entwickelt wurden (Menaspà et al., 2009). In Österreich zählt man den Radsport eher zu den Randsportarten. Es existieren keine langjährigen, auf wissenschaftlicher Basis gesammelten und publizierten Daten aus dem Radsport. Die Nachwuchs-RadsportlerInnen sind eher IndividualistInnen, als das Produkt von einheitlichen Trainingsstandards in größeren Trainingsbetrieben.

In Ländern wo Wissenschaft und Forschung einen hohen Stellenwert im Radsport haben, gibt es ein sehr breites und fundiertes Wissen über die Entwicklung und die Leistungsfähigkeit von RadsportlerInnen (Anm. eher im Erwachsenenalter), Studien welche auch in dieser Arbeit herangezogen werden, sind zu finden aus Amerika, Australien, Schweiz und Deutschland. In Österreich findet man kaum publizierte Daten zur Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Nachwuchs-RadsportlerInnen (Ausnahme: Nimmerichter Alfred, unveröffentlichte Studie, 2010) und deren Entwicklung über die Jahre.

Diese Arbeit widmet sich schwerpunktmäßig dem weiblichen Radsport-Nachwuchs. Anhand des Studiums der Forschungsergebnisse aus dem weiblichen Radsport und der Darstellung der Daten zur Leistungsfähigkeit von internationalen (Profi-) Radrennfahrerinnen soll eine kritische Hinterfragung der Leistungsfähigkeit von österreichischen Nachwuchs-Radrennfahrerinnen auf internationalem Niveau (bis Kategorie Juniorinnen) in den letzten 5 Jahren stattfinden. Aufgrund der geringen Anzahl der österreichischen Juniorinnen, welche internationale Wettkämpfe bestreiten (Auswahlkriterium in dieser Arbeit: Teilnahme Juniorinnen Europa- und Weltmeisterschaften; EM unter UEC (Union Cycliste Européen) bzw. WM unter UCI (Union Cycliste International), kann dies nur in einer deskriptiven Darstellung der Daten erfolgen. Anhand Leistungsdiagnostischer Ergebnisse zwischen 2005 – 2010 soll dargestellt werden, welche Aussagen und Prognosen hinsichtlich des Leistungszustandes von österreichischen, weiblichen Nachwuchs-Radsportlerinnen (Schwerpunkt Altersgruppe der 17- und 18-jährigen) und ihres Potentials für die Zukunft getroffen werden können, und welche Erfolgchancen die österreichischen Juniorinnen bei der Teilnahme an Europameisterschaften (EM) und Weltmeisterschaften (WM) angesichts ihrer Leistungsfähigkeit haben können.

Diese Arbeit versucht weiters eine Orientierung für TrainerInnen und RadsportlerInnen über die Leistungsvoraussetzungen von Radsportlerinnen auf internationalem Niveau, und einen kleinen Einblick in die physiologischen Anforderungen im internationalen Frauen-Radrennsport zu geben.

2. Einleitung

Autoren welche sich mit dem weiblichen Leistungs-Radsport beschäftigen sind sich einig, dass wenige Studien und wissenschaftliche Daten über die Anforderungen an die Leistungen von weiblichen Straßen-Radrennfahrerinnen im internationalen Geschehen existieren (Pfeiffer R. et al., 1993; Martin D.T. et al., 2001; Ebert T.R. et al., 2005; Impellizzeri F.M. et al., 2008; Abbiss C.R. et al., 2010). Wenige Daten gibt es im weiblichen Nachwuchsbereich (Juniorinnen, 16-18 Jahre), wo erste internationale Rennen auf UEC/UCI Niveau ausgetragen werden. Eine veröffentlichte, wissenschaftliche Studie wurde hierzu nicht gefunden.

Im männlichen Radsport gibt es eine größere Anzahl von Untersuchungen (Wilber R.L. et al., 1997; Padilla S. et al., 1999; Lucia A. et al., 2001; Lucia A. et al., 2000; Padilla S. et al., 2001; Martin D.T. et al., 2001; Mujika I. & Padilla S., 2001; Lucia A. et al., 2006; Vogt S. et al., 2006; Sallet P. et al., 2006; Nimmerichter A., et al., 2010).

In keiner dieser Studien wurden weibliche Radsportlerinnen auf internationalem Niveau im Alter unter 18 Jahren untersucht. Nur Menaspà et al., 2009, sammelte Daten von 17- bis 18-jährigen männlichen Radsportlern auf internationalem Niveau. In ihrer Studie (Menaspà et al., 2009) beschäftigten sich die Autoren mit der Frage, inwiefern man bei Radsportlern der UCI Kategorie „Junioren“ Prognosen anhand ihrer respiratorischen Leistungsgrößen über deren weitere leistungssportliche Entwicklung stellen könnte. Hierzu wurden 309 Top-Radfahrer (international) der Kategorie Junioren (Mittelwert \pm Standardabweichung, Alter $17,5 \pm 0,5$ Jahre, Größe 178 ± 6 cm, Gewicht 66 ± 7 kg) untersucht. Eingangs wurde ein Stufentest zur Bestimmung von maximalen und submaximalen Kenngrößen der Leistungsdiagnostik durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte zwischen 1996 und 2002. Die mittlere absolute und relative VO_{2peak} lag bei $4,7 \pm 0,6$ l/min und 71 ± 7 ml/kg/min. Die Radrennfahrer wurden nach ihrem Niveau noch in mehrere Gruppen unterteilt. Die Datenanalyse erfolgte Ende Dezember 2008, wo diese Radrennfahrer ein Alter zwischen 24 und 30 Jahren erreicht hatten. Man wählte also einen Beobachtungs-

zeitraum von 5 Jahren, in dem sich zeigen konnte wer von diesen Zielpersonen in einem Professional Team fuhr, oder nicht (Menaspà et al., 2009).

Es stellte sich heraus, dass mit keinem der Berechnungsmodelle eine korrekte Vorhersage getroffen werden konnte, ob die Radrennfahrer Profis wurden oder nicht. Die traditionellen physiologischen Messungen der aeroben Fitness sind nützlich um herauszufinden, ob Junioren Radrennfahrer in ihrer Kategorie zu den Besten gehören, diese Variablen können aber nicht für eine Talentdiagnose herangezogen werden und eine Aussage darüber ermöglichen, ob die jungen Sportler später erfolgreiche Profi-Radsportler werden oder nicht. Es muss aber auch festgehalten werden, dass sie zu weiteren Schlüssen kamen: die stärksten Junioren wiesen bereits ähnliche physiologische und anthropometrische Charakteristiken auf wie erwachsene Profi-Radsportler. Sie schlussfolgern weiter, dass aber noch andere Charakteristiken für Spitzenleistungen im erwachsenen Profi-Radsport sein müssen, denn es ist unwahrscheinlich dass Junioren-Fahrer bei Profi-Rennen gleichermaßen mithalten können.

Um die physiologischen Ziel- Leistungsparameter für Juniorinnen abschätzen zu können, scheint also ein Rückschluss von den physiologischen Leistungsgrößen vom weiblichen Spitzenbereich sinnvoll, und aufgrund der nicht existenten Forschungsergebnisse im Juniorinnen Bereich, auch erforderlich.

3. Leistungsphysiologie und Leistungsdiagnostik im Radsport

In Österreich werden Leistungsdiagnostiken nicht nach einem einheitlichen Protokoll durchgeführt. Zudem werden bei den leistungsdiagnostischen Testverfahren mal Messungen der Atemgase, mal Messungen der Blutlaktatkonzentration vorgenommen. Nachdem es in Österreich in den letzten Jahren stets nur zwischen ein bis vier Athletinnen bei EM- und WM- Entsendungen gab und diese ihre Leistungsdiagnostiken in verschiedenen Institutionen absolvierten, liegen unterschiedliche Untersuchungsprotokolle vor. Aus diesem Grund sollen hier kurz die wesentlichsten Begriffe definiert werden, um im Weiteren die unterschiedlichen Angaben von erhobenen Werten sensibler betrachten zu können.

3.1 Geschichtliche Entwicklung

Schon in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts beschäftigten sich Mediziner und Physiologen mit der Frage, welche Faktoren maßgeblich für die Limitierung der Ausdauerleistungsfähigkeit verantwortlich sind (Bassett&Howley, 2000). Bereits in den 1920er Jahren war es möglich, mittels Messungen der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) exakte Aussagen über das kardiopulmonale Leistungsverhalten zu treffen (Pokan et al., 2004).

Hill&Lupton verfassten 1923 eine Arbeit, in der die VO_{2max} als begrenzenden Faktor für die Ausdauerleistung beschrieben wurde. Die Autoren erkannten bereits damals einen Zusammenhang zwischen VO_{2max} und Ausdauerleistung sowie eine Begrenzung der VO_{2max} durch das kardiorespiratorische System (Hill&Lupton, 1923 in Bassett&Howley, 2000). Brauer&Knipping entwickelten 1929 das Konzept der Spiro-Ergometrie, wodurch die exakte und reproduzierbare Bestimmung der kardiopulmonalen Ausdauerleistungsfähigkeit ermöglicht wurde (Brauer&Knipping, in Mader et al., 1976). Bis in die 1960er Jahre wurde zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit in erster Linie die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme herangezogen (Heck, 1990).

Einige Jahrzehnte später wurden die frühen Annahmen von Hill&Lupton durch die Forschungsergebnisse von Saltin&Astrand (1967) bestätigt (Pokan et al., 2004). Diese konzentrierten sich in ihren Beobachtungen auf die Messgröße der maximalen Sauerstoffaufnahme, die unter den limitierenden Faktoren der Ausdauerleistung immer mehr an Bedeutung gewann. Daraus folgend werden heute folgende Faktoren von vielen Wissenschaftlern als limitierend für die VO_{2max} und somit für die Ausdauerleistungsfähigkeit gesehen:

- kardiovaskuläres System
- Sauerstofftransport im Blut
- oxidative Kapazität der Skelettmuskelzellen
- physiologische Vorgänge in der Lunge

Man ist sich einig, dass es nicht nur einen einzigen limitierenden Faktor gibt. Nicht einig ist man sich darüber, inwieweit das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren die Ausdauerleistungsfähigkeit begrenzt. Die beteiligten Organsysteme adaptieren im Zuge von Ausdauertraining. Nur in der Lunge findet eine vergleichsweise geringe trainingsbedingte Adaptation statt (Wagner, 2005). Die Wissenschaftler nutzten in der Geschichte der Leistungsdiagnostik zuerst Veränderungen der respiratorischen Parameter während körperlicher Belastung und später Veränderungen in der Blutlaktat-Konzentration zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

3.2 Leistungsdiagnostik und leistungsphysiologische Begriffsdefinitionen

3.2.1 Laktatstoffwechsel

Als Energieträger für die Muskelarbeit stehen Glukose und Muskelglykogen zur Verfügung. Im Rahmen der Glykolyse entsteht aus den Energieträgern Pyruvat, welches unter Energiegewinnung entweder im Zitratzyklus weiterverstoffwechselt oder in einem zweiten Stoffwechselweg zu Laktat reduziert wird. Das anfallende

Laktat wird bereits während der Belastung weiterverstoffwechselt: Etwa 50 % werden in der aktiven Muskulatur, jeweils 15 % in der inaktiven Muskulatur und der Herzmuskulatur oxidiert, weitere 15 % werden für die Glukoneogenese der Leber zugeführt (Myers&Ashley, 1997). Auch unter Ruhebedingungen wird Laktat produziert. Die beschriebene Laktatkonzentration in Ruhe wird mit durchschnittlich 1,0 mmol/l angegeben (Dickhut, 2000).

3.2.2 Laktatleistungskurve

Während stufenförmig ansteigender Belastung beobachtet man einen charakteristischen Verlauf der Blutlaktat-Konzentration, der in der sogenannten „Laktatleistungskurve“ dargestellt werden kann (Abbildung 2). Auf der x-Achse wird die Leistung in Watt (Fahrradbelastung) bzw. die Geschwindigkeit in km/h (Laufbandbelastung), auf der y-Achse die Laktatkonzentration in mmol/l und die zeitgleich ermittelte Herzfrequenz in Schläge pro Minute aufgetragen. Dadurch ist es möglich, an jedem Punkt der Laktatleistungskurve die Herzfrequenz, den Laktatwert und die erbrachte Leistung zueinander in Beziehung zu setzen.

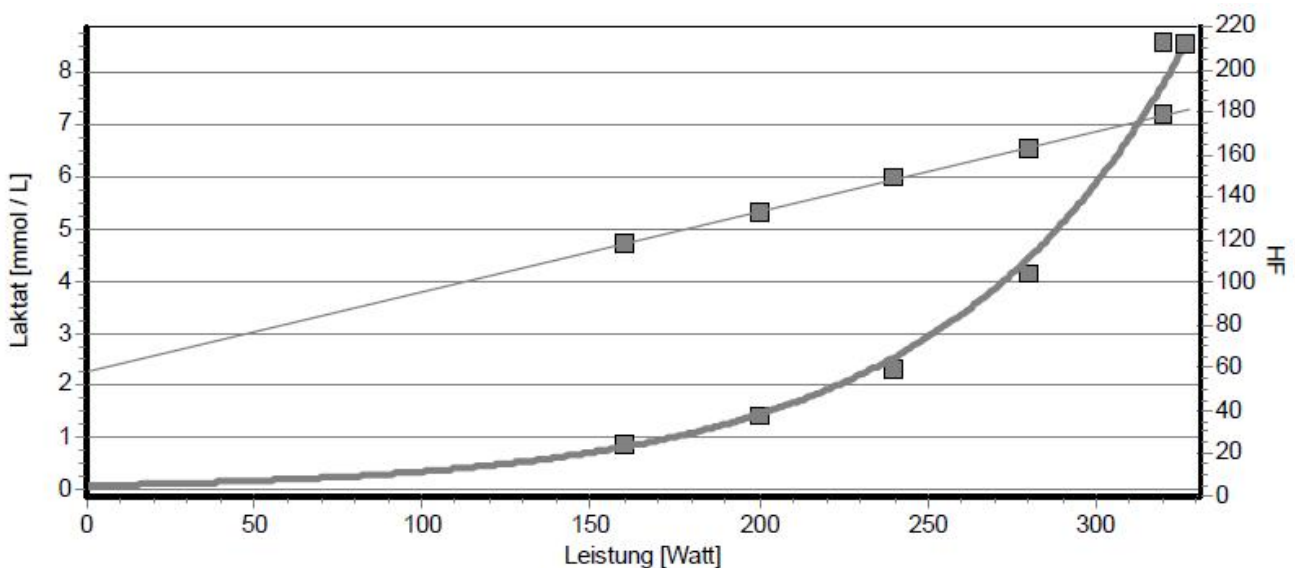


Abb. 2: Laktatleistungskurve

3.2.3 Laktatbasierte Schwellenkonzepte

Von Mader et al. wurden 1974 erstmals die Blutlaktat-Konzentrationen unabhängig von den respiratorischen Parametern zur Leistungsdiagnostik verwendet (Mader et al., 1976). Der Begriff der „aerob-anaeroben Schwelle“ wurde maßgeblich von ihm geprägt. Anhand von klinischen Untersuchungen legte Mader als Grenze für die aerobe Ausdauer eine fixe Laktatkonzentration von 4 mmol/l fest. Auch andere Wissenschaftler schlossen sich dieser Meinung an (Kindermann et al., 1979). Diese Grenze hielt sich lange, stellt sich jedoch als zu unkonkret für unterschiedlich trainierte Sportler heraus. Schwellenmodelle welche auf definierten Laktatkonzentrationen basieren sind zwar einfach zu bestimmen, berücksichtigen aber nicht, dass gleiche Blutlaktat-Konzentrationen interindividuell unterschiedliche metabolische Situationen reflektieren können (Kindermann, 2004).

Es zeigte sich im Laufe der Zeit auch, dass Schwellenkonzepte, die auf einer fixen Laktatkonzentration basierten, in Abhängigkeit von Art und Intensität des Trainings, Individuums spezifisch ungenaue Ergebnisse lieferten. Daraufhin wurden Schwellenkonzepte entwickelt, bei welchen die Schwellen individuell festgelegt werden konnte.

Zwei weitere Schwellen sind die „Lactate Threshold“ (LT) und die „individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS) (Abbildung 3). Ausgehend von der Basislaktat-Konzentration in Ruhe markiert der Punkt des ersten Anstieges der Blutlaktat-Konzentration die LT (Myers&Ashley, 1997). Ab dieser Belastungsintensität nimmt die anaerobe Energiebereitstellung erkennbar zu, die LT ist analog zur „Anaerobic Threshold“ zu sehen (Dickhut, 2000).

Keul et al. (1979) legten anhand der Laktatleistungskurve die so genannte „individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS) fest, die dem Punkt der Kurve entspricht, an dem die Steigung der angelegten Tangente $\alpha = 51^{\circ}34'$ beträgt (Keul, 1976).

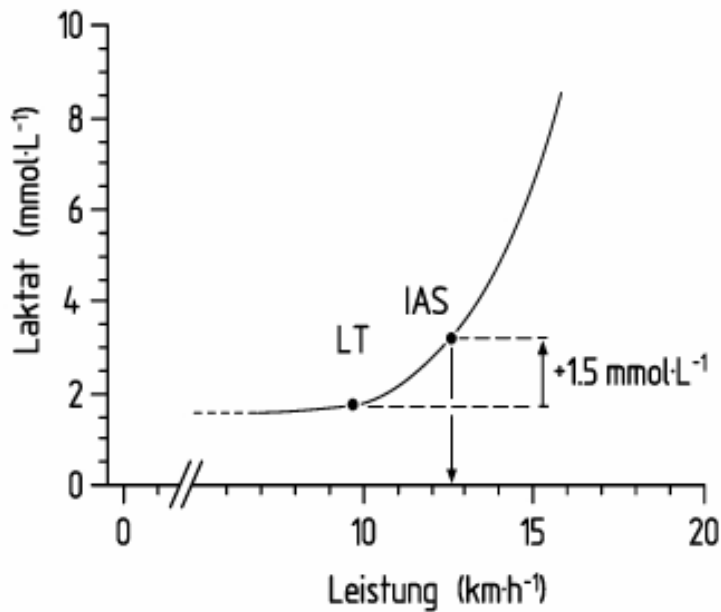


Abb. 3: Graphische Ermittlung von der „Lactate Threshold“ (LT) und der „Individuellen anaeroben Schwelle“ (IAS) in der Laktatleistungskurve (Roecker, 2004).

Ein in den 80er Jahren entwickeltes Konzept zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle berücksichtigt zusätzlich die Laktatkinetik der unmittelbaren Erholungsphase (Stegmann et al., 1981). Es konnte nachgewiesen werden, dass die auf diese Weise bestimmte anaerobe Schwelle das maximale Laktat-Steady-State widerspiegelt (Urhausen et al., 1993). Diese Schwelle bleibt durch eine Glykogenverarmung der Arbeitsmuskulatur unbeeinflusst. Coen et al. (2001) kamen zu dem Ergebnis, dass sich die Veränderungen der Stufendauer und -höhe unterschiedlich auswirkt. Eine Verlängerung der Stufendauer hat keinen signifikanten Einfluss, eine Reduzierung der Stufenhöhe führt allerdings zu einem Anstieg der Schwelle.

Heck (1990) kommt in seinem umfassenden Vergleich der unterschiedlichen Schwellen-Bestimmungen zu dem Schluss, dass eine Vergleichbarkeit von Schwellenwerten nur bei vergleichbarem Belastungsschema gegeben ist (vgl. hierzu auch Kap. 3.2.6).

3.2.4 Die Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung

Während stufenförmig ansteigender Körperarbeit kann die Energiebereitstellung in drei Phasen unterteilt werden (Abbildung 4):

- Phase I – die aerobe Phase bis zum ersten Laktatanstieg (in Abbildung 4 bezeichnet als LA) und bis zum Beginn einer überproportionalen Zunahme der Ventilation ($\dot{V}E$) gegenüber der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) ohne zusätzliche Steigerung der Kohlendioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$).
- Phase II – die aerob-anaerobe Übergangsphase, bis zum zweiten Laktatanstieg (LA) und bis zu einer nun einsetzenden überschießenden Steigerung der Ventilation gegenüber der Kohlendioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$).
- Phase III – die anaerobe Phase bis zur Ausbelastung (Skinner&McLellan, 1980).

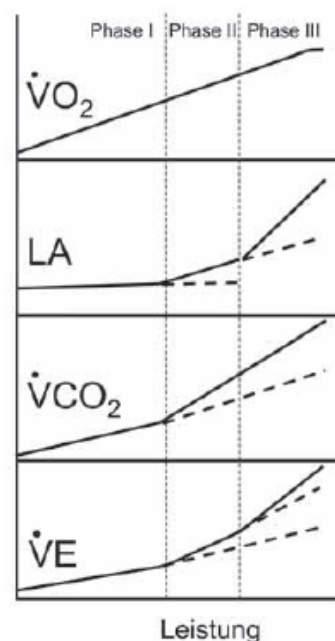


Abb. 4: Drei Phasen der Energiebereitstellung unter ansteigender körperlicher Belastung. LA: Laktatkonzentration [mmol/l]; $\dot{V}O_2$: Sauerstoffaufnahme [l/min]; $\dot{V}CO_2$: Kohlenstoffdioxidabgabe [l/min]; $\dot{V}E$: Atemminutenvolumen [l/min] (Pokan et al., 2004)

3.2.5 Ventilatorisch begründete Schwellenkonzepte

Mit Einsetzen einer vermehrten anaeroben muskulären Energieproduktion durch zunehmende körperliche Belastung, kommt es zu einem Anstieg der Blutlaktat-Konzentration und daraufhin zur metabolischen Azidose. Steigt die Blutlaktat-konzentration versucht der Organismus dieser „Übersäuerung“ durch die so genannte „Bikarbonat-Bufferung“ entgegen zu wirken. Dabei entsteht vermehrt CO_2 , welches abgeatmet wird und zu einem Anstieg in der $\dot{V}\text{CO}_2$ Kurve führt. Als Reaktion darauf steigt das Atemminutenvolumen proportional zur $\dot{V}\text{CO}_2$ an um den arteriellen Partialdruck des CO_2 zu regulieren (Abb. 5). Wassermann definierte 1964 den Moment der körperlichen Belastung, an dem die CO_2 -Abgabe gegenüber der O_2 -Aufnahme inadäquat zunimmt und es zu einer vermehrten Ventilation kommt, als „Anaerobic Threshold“ (AT) (Abbildung 5). Im deutschsprachigen Raum wird diese Schwelle als „Aerobe Schwelle“ bezeichnet. (Pokan et al., 2004).

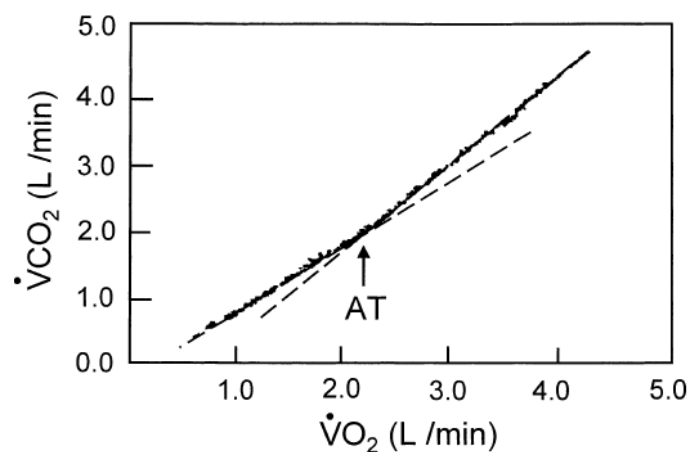


Abb. 5: Anaerobic Threshold (Pokan et al., 2004)

Eine weitere Möglichkeit, diesen Stoffwechselübergang zu beschreiben, besteht in der Detektion des ersten Laktatanstieges. Sie wird als „Lactate Threshold“ (LT) bezeichnet und im weiteren Verlauf näher beschrieben. Belastungen, die über dieser Intensität liegen, gehen mit einer gesteigerten Laktatproduktion und einer Erhöhung der Blutlaktat-Konzentration einher. Über eine gesteigerte Ventilation wird weiterhin, im Gegensatz zur O_2 -Aufnahme, vermehrt CO_2 abgeatmet. In dieser

Phase halten sich aber die Laktatproduktion und -elimination die Waage, so dass bei längerer Belastung die erhöhte Blutlaktatkonzentration konstant bleibt. Wir sprechen von der aerob-anaeroben Übergangsphase. Eine weitere Steigerung der Belastung führt zu einer weiteren Zunahme der Laktatproduktion. Laktatproduktion und -elimination geraten aus dem Gleichgewicht, das Laktat kumuliert im Blut und die Blutlaktatkonzentration nimmt rasch zu. Obwohl die Ventilation entsprechend der zunehmenden metabolischen Azidose nochmals gesteigert wird, kann die Azidose über ein weiteres Abatmen von CO_2 nicht mehr respiratorisch kompensiert werden. Dieser Zeitpunkt wird als „respiratory compensation point“ (RCP) bezeichnet (Beaver et al., 1986), und ist im deutschen Sprachraum als „anaerobe Schwelle“ bekannt (Pokan et al., 2004). Abbildung 6 stellt diese graphisch dar.

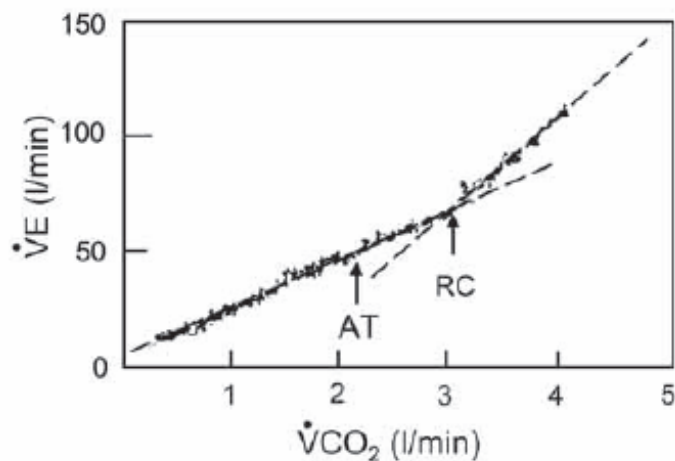


Abb. 6: Graphisch ermittelte Schwellen der Anaerobic Threshold (AT) und des „Respiratory compensation point“ RCP. Es ist die Ventilation (VE) gegen die CO_2 -Abgabe (VCO_2) aufgetragen (Pokan et al., 2004).

Die ventilatorische Schwelle entspricht spiroergometrisch dem ersten Laktatanstieg VT_1 (McLellan, 1987). Die anfallende Milchsäure wird über Bikarbonat abgepuffert und das vermehrt freigesetzte Kohlendioxid führt zu einem überproportionalen Anstieg der Ventilation. Die von Wassermann & McIlroy (1964) definierte und von Wasserman et al. (1973) als „anaerobic threshold“ bezeichnete ventilatorische Schwelle darf nicht mit der über die Laktatkonzentration ermittelte anaeroben Schwelle gleichgestellt werden, da deren Intensität höher liegt (Kindermann, 2004).

Der zweite überproportionale Anstieg der Ventilation (VT2) wird auch als respiratorischer Kompensationspunkt (RCP) bezeichnet. Dieser liegt im Bereich der anaeroben Laktatschwelle. Es wird angenommen, dass in diesem Intensitätsbereich die aus der Milchsäure anfallenden Wasserstoffionen nicht mehr vollständig abgepuffert werden können, so dass der abfallende pH die Atmung zusätzlich stimuliert (McLellan, 1987). Die schematische Darstellung des aerob-anaeroben Übergangs wird in Abbildung 7 gezeigt.

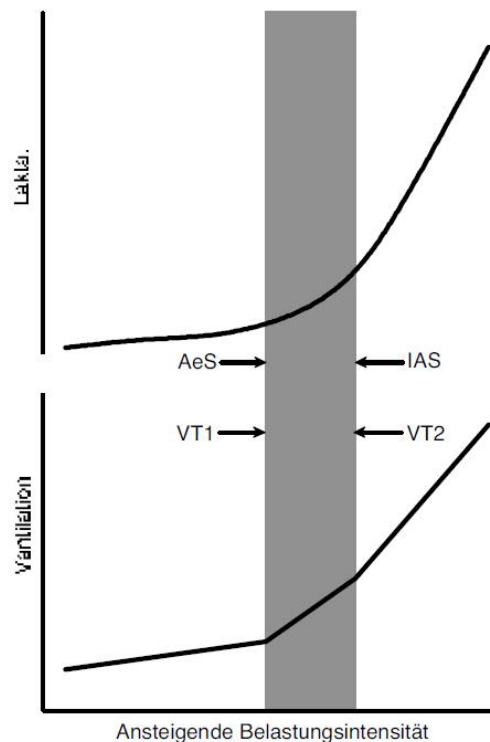


Abb. 7: Schematische Darstellung des aerob-anaeroben Übergangs (grauer Bereich). Laktatleistungskurve (oben) und Ventilation (unten) bei ansteigender Belastungsintensität. AeS: aerobe Schwelle; IAS: individuelle anaerobe Schwelle; VT1: ventilatorische Schwelle 1; VT2: ventilatorische Schwelle 2 (respiratorischer Kompensationspunkt) (Kindermann, 2004).

Für die Bestimmung der ventilatorischen Schwellen werden Belastungsprotokolle mit relativ kurzen Stufen angewendet. Intensitätsanstiege mit längerer Stufendauer sind hierfür nicht gut geeignet, wohl aber zur Bestimmung der Laktatschwellen.

Es muss nicht mehr erwähnt werden, dass es eine Vielzahl von Methoden zur Berechnung der anaeroben Schwellen gibt, welche in der Regel nicht vergleichbar sind. Schwellenmodelle welche auf definierten Laktatkonzentrationen basieren sind

zwar einfach zu bestimmen, berücksichtigen aber nicht, dass gleiche Blutlaktatkonzentrationen interindividuell unterschiedliche metabolische Situationen reflektieren können. Deshalb haben individuelle anaerobe Schwellenwert-Berechnungen mehr Aussagekraft. „Eine Kombination von zumindest zwei verschiedenen Messparametern wie z.B. Herzfrequenz und spirometrischen Messwerten oder Herzfrequenz und Laktat muss als optimal bezeichnet werden“ (Pokan et al., 2004).

3.2.6 Belastungsschema in der medizinischen Leistungsdiagnostik

Das Belastungsschema beschreibt den zeitlichen Verlauf der Belastung in einem Test, und wird bestimmt durch: Belastungsmodus, Belastungssteigerung, Anfangsbelastung, Belastungsabstufung, Stufendauer, Pausendauer. Die zwei Grundtypen von Belastungsmodi sind einmal die konstante oder rektanguläre Belastung, und zum anderen die rampenförmige oder trianguläre Belastung (Heck, 1990). Die Messgrößen in der Leistungsdiagnostik haben unterschiedliche zeitabhängige Anstiege. „Die Zeitkonstante des Anstiegs ist parameter- und personenabhängig. So beträgt die Zeitkonstante für die HF ca. 10 s, für die VO_2 ca. 30 s und für Laktat ca. 120-180 s. Der Ausdauertrainierte hat eine kleinere Zeitkonstante für die VO_2 “ (Heck H., 1990, S. 113).

Ziel eines Stufentests mit kurzer Stufendauer (oder auch eines linear ansteigenden Rampentests) ist es, den Sportler in kurzer Zeit, das heißt in etwa 8-12 Minuten, zum Leistungsabbruch zu bringen (Ein Beispiel für ein solches Testprotokoll wäre: mit 100 Watt beginnend, und einer Steigerung von 25 Watt nach jeder Minute). Je schneller die Leistung gesteigert wird, desto höher können die maximalen Werte liegen. Der Rampentest eignet sich besonders, um die maximale Leistungsfähigkeit und die maximale Sauerstoffaufnahme zu messen. Tests mit längerer Stufendauer (beispielsweise 4 min, 10 min oder noch länger) erheben die Werte im niedrigen und submaximalen Leistungsbereich gezielter, weil bei längerer Stufendauer unter anderem die Laktatentwicklung (von der Produktion über die Pufferkapazitäten und den Transport in den Blutweg) besser beobachtbar ist.

4 Analyse der Leistungsgrößen und der Leistungsanforderungen im Frauenradsport

4.1 Wettkampf-Daten aus Frauen Weltcup-Rennen

Ebert et al. (2005) untersuchten die Anforderungen in Weltcup Rennen im Frauenradsport anhand der physikalischen Leistung (W). Die Leistung wurde sowohl in flachen als auch in hügeligen Weltcup Rennen erfasst. Daten von 27 Top 20 Weltcup Ergebnissen (19 flach, 8 bergig, in den Jahren 1999-2004) erreicht von 15 Top-Rennfahrerinnen (australisches Nationalteam): (Mittelwert \pm Standardabweichung; Alter: $24,1 \pm 4$ Jahre; Körpergewicht: $57,9 \pm 3,6$ kg; Größe: $168,7 \pm 5,6$ cm; VO_{2max} : $63,6 \pm 2,4$ ml/kg/min; maximale Leistung bei Stufentest (125/25/3, auf Fahrradergometer Excalibur, Groninger, Niederlande): 310 ± 25 W). Die Leistung während der Rennen wurde mit mobilen Leistungsmesssystemen (SRM Professional, Schoberer Rad Messtechnik, Welldorf, Deutschland) erhoben. Bei der vergleichenden Analyse zwischen den flachen zu den hügeligen Rennen, lagen die Geschwindigkeiten bei $37,6 \pm 2,6$ vs $33,9 \pm 2,7$ km/h, $P= 0,008$; der Leistungsoutput betrug 192 ± 21 vs 169 ± 17 Watt, $P=0,04$; $3,3 \pm 0,3$ vs $3,0 \pm 0,4$ W/kg, $P= 0,04$).

In der Studie von Trewin et al. (1999) zur Leistung von Frauen bei Weltcup Rennen wurden 12 Profile von 8 Rennfahrerinnen erhoben (MW \pm Std: $22,8 \pm 4,4$ Jahre, $166,8 \pm 4,3$ cm, $58 \pm 1,7$ kg, $3,61 \pm 0,24$ l/min VO_{2max}). Die Fahrerinnen sind also annähernd gleich hinsichtlich Körpergröße, Gewicht und VO_{2max} , wie die Fahrerinnen aus der Studie von Ebert et al. (2005). 4 Fahrerinnen wurden bei nur einem Rennen gemessen, 4 Fahrerinnen wurden bei 2 Rennen gemessen. Das Rennprofil bei beiden Weltcuprennen von 1999 war annähernd gleich (102-102,6 km, 18-20 Runden, maximale Höhendifferenz 30 m pro Runde). Verglichen wurden weiters die erbrachte Leistung von Athletinnen die in den Top 20 platziert waren, mit denen außerhalb der Top 20. Fünf Fahrerinnen befanden sich unter den Top 20, 7 erreichten keine Top 20 Platzierung.

Folgende Leistungen wurden gemessen: Runde 1: $189,7 \pm 17,0$ Watt; Runde 2: $189,6 \pm 18,9$ Watt. Die gesamte Watt-Bandbreite zwischen $<0,75$ W/kg bis $>7,5$ W/kg wurde in Zonen zu $0,75$ W/kg unterteilt. Folgende Ergebnisse wurden erzielt: Zwischen Rang 1-57 ($28. \pm 21.$ Platz) lag die Fahrzeit bei $169 \pm 2,5$ min. Der durchschnittliche Leistungsoutput lag bei $3,3 \pm 0,3$ W/kg, der Leistungsoutput Peak wurde erreicht mit $13,8 \pm 2,6$ W/kg. 27 ± 4 % der Rennzeit wurden unter $0,75$ W/kg gefahren, 9 ± 3 % der Rennzeit wurden über $7,5$ W/kg gefahren. Ein signifikanter Unterschied im Leistungsprofil wurde zwischen der am besten und der am schlechtesten platzierten Fahrerinnen gefunden. Die weiteren charakteristischen Unterschiede zwischen den Top 20 und den Nicht-Top 20 Fahrerinnen waren, dass die Top 20 Fahrerinnen eine höhere durchschnittliche Leistung erbrachten ($3,6 \pm 0,4$ vs $3,1 \pm 0,1$ W/kg, $P < 0,01$). Ein starker Zusammenhang war zu finden bei der Weltcup Platzierung und der durchschnittlichen gefahrenen Leistung ($r = -0,73$, $P < 0,01$) und auch zwischen der Weltcup Platzierung und der Zeit, welche in der Leistungsbandbreite über $7,5$ W/kg gefahren wurde ($r = -0,79$, $P < 0,01$).

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass Top 20 platzierte Fahrerinnen mehr Zeit über $7,5$ W/kg ($p < 0,005$) und weniger Zeit unter $0,75$ W/kg ($p < 0,01$) absolvieren. Welche Aussage hier aber nicht getroffen werden kann ist, wie die Verteilung genau während des Rennverlaufs ist.

Die Daten sind unterteilt in der Bandbreite von $0,75$ W/kg Sprüngen, ausgedrückt als Prozentsatz der gesamten Rennzeit (MW \pm SD). Die Daten sind gesammelt von Australischen Nationalteamfahrerinnen, unterteilt in Top 20 Platzierten ($n=5$) und nicht Top 20 Platzierten ($n=7$). * indiziert einen Unterschied zwischen Top 20 und nicht Top 20 Platzierten mit $p < 0,005$; ** indiziert einen Unterschied zwischen Top 20 und nicht Top 20 Platzierten mit $p < 0,01$.

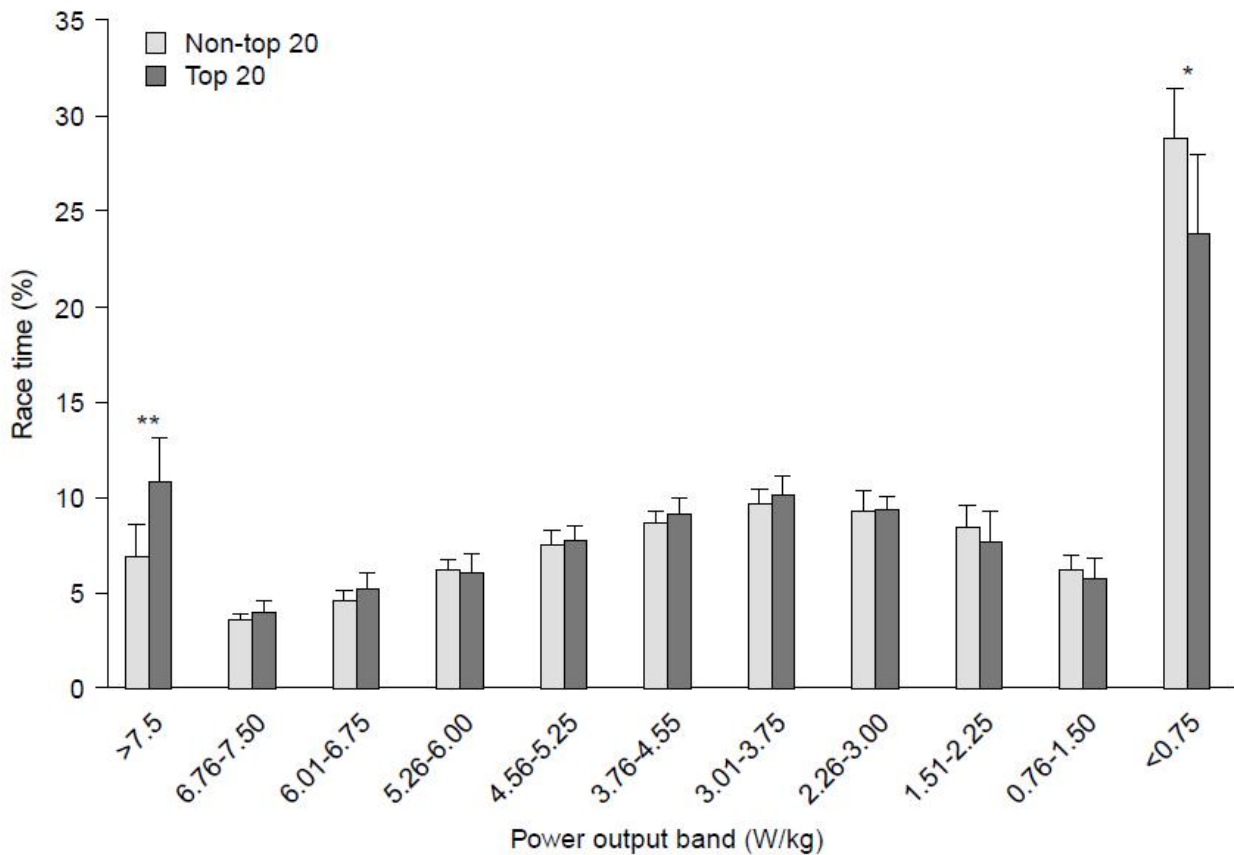


Abb. 8: Mittlere Leistungs-Realisierungs-Verteilung während der ersten zwei Weltcup-Rennens 1999. (Martin et al., 2001)

Man kann also festhalten: wenn die jungen österreichischen Radrennfahrerinnen in Zukunft sehr gute Weltcup Ergebnisse erzielen wollen, sollten sie über einen (nicht unbedingt zusammenhängenden) Zeitraum von rund 17 Minuten, was etwa 10% der Rennzeit entspricht, eine Leistung von über 7,5 W/kg erzielen können.

4.2 Anthropometrische und physiologische Charakteristiken von Radrennfahrerinnen

In verschiedenen Studien wurden die anthropometrischen und physiologischen Charakteristiken von männlichen Radsportlern (Bentley et al., 2000; Ebert et al., 2006; Vogt et al., 2005; Menaspà et al., 2009) und weiblichen Radsportlerinnen (Ashenden M.J. et al., 1999; Impellizzeri et al., 2008; Martin et al., 2001) auf unter-

schiedlichem Wettkampf Niveau untersucht. Die Einteilung der verschiedenen Typen von RennfahrerInnen wurde gleich getroffen: 1) FlachspezialistInnen, 2) ZeitfahrerspezialistInnen, 3) BergfahrerspezialistInnen. Weitere Unterscheidungen gab es noch in Weltklasse, Profi oder Nicht-Profi und auch der Vergleich zur Kategorie Mountainbike.

Es konnte gezeigt werden, dass folgende Unterscheidungen aussagekräftig sind:

- Fahrerinnen welche Wettkämpfe auf nationalem Niveau unterscheiden sich von Fahrerinnen welche Wettkämpfe auf internationalem Niveau bestreiten.
- Flachspezialistinnen unterscheiden sich von Zeitfahrerinnen, und diese unterscheiden sich ebenfalls von Bergfahrerinnen, und diese Unterscheidungen scheinen relevant zu sein für den Typus von Rennfahrerinnen.
- Weltklasse Straßenradfahrerinnen weisen keine Unterschiede zu Mountainbikerinnen auf.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse aus der Studie von Impellizzeri et al. (2008) dargestellt. Verglichen wurden Profi-Radsportlerinnen unterschieden nach folgenden Typen von Spezialisierung: Flachspezialistinnen, Einzelzeitfahrerspezialistinnen, Bergfahrerspezialistinnen, Mountainbikerinnen Top-Level.

Tab. 1: *Anthropometrische Charakteristiken von weiblichen Radsportlerinnen entsprechend ihrer Einteilung in Flachspezialistinnen, Einzelzeitfahrerspezialistinnen, Bergfahrerspezialistinnen, Mountainbikerinnen. (Impellizzeri et al., 2008)*

	Flat specialist (FL) <i>n</i> = 10 Mean ± SD	Time trialists (TT) <i>n</i> = 5 Mean ± SD	Climbers (C) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Mountain bikers (MTB) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Post hoc ^a
Age (years)	24.7 ± 2.9	22.8 ± 4.6	28.3 ± 5.0	27.3 ± 4.4	–
Height (cm)	165.3 ± 6.2	171 ± 5.9	166.6 ± 3.6	166.0 ± 6.2	–
BM (kg)	58.0 ± 4.6	61.6 ± 3.1	51.8 ± 3.4	53.7 ± 3.3	FL = TT > C = MTB*
BSA (m ²)	1.636 ± 0.090	1.721 ± 0.073	1.569 ± 0.057	1.587 ± 0.060	FT = (TT > C = MTB)**
FA (m ²)	0.303 ± 0.017	0.318 ± 0.014	0.290 ± 0.011	0.294 ± 0.011	FT = (TT > C = MTB)**
BSA·BM ⁻¹ ·10 ⁻³	28.3 ± 1.0	28.0 ± 0.9	30.3 ± 1.0	29.6 ± 0.9	(FL = TT) < (C = MTB)**
FA·BM ⁻¹ ·10 ⁻³	5.232 ± 0.182	5.173 ± 0.109	5.610 ± 0.191	5.474 ± 0.170	(FL = TT) < (C = MTB)**

BM body mass, BSA body surface area, FA frontal area

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

^a Examples on how to read the post hoc results: (1) A > B = C > D, A significant higher than B, C, and D, B not different from C but B and C higher than D; (2) A = (B > C = D), A not different from B, C and D, B higher than C and D, C not different from D

Tab. 2: *Maximale physiologische Werte gemessen bei Stufentests. (Impellizzeri et al., 2008)*

	Flat specialist (FL) <i>n</i> = 10 Mean ± SD	Time trialists (TT) <i>n</i> = 5 Mean ± SD	Climbers (C) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Mountain bikes (MTB) <i>n</i> = 12 Mean ± SD	Post hoc
$\dot{V}O_{2\max}$ (L min ⁻¹)	3.297 ± 0.205	3.883 ± 0.195	3.356 ± 0.201	3.298 ± 0.281	TT > FL = C = MTB***
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml min ⁻¹ kg ⁻¹)	57.0 ± 3.6	63.1 ± 3.2	64.8 ± 2.6	61.4 ± 4.8	TT = C = MTB > FL*
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml min ⁻¹ kg ^{-0.32})	899.4 ± 44.3	1039.2 ± 47.0	948.7 ± 42.4	921.7 ± 71.7	TT > FT = C = MTB*
$\dot{V}O_{2\max}$ ·BSA ⁻¹ (l min ⁻¹ m ⁻²)	2.018 ± 0.128	2.258 ± 0.101	2.138 ± 0.085	2.076 ± 0.132	(TT > FL = MTB) = C*
PPO (W)	322 ± 24	363 ± 21	327 ± 28	314 ± 26	TT > FL = C = MTB*
PPO·BM ⁻¹ (W kg ⁻¹)	5.6 ± 0.2	5.9 ± 0.3	6.3 ± 0.4	5.9 ± 0.6	(C > FL) = TT = MTB*
PPO·BM ^{-0.32} (W kg ^{-0.32})	87.8 ± 4.7	97.2 ± 4.9	92.4 ± 6.9	87.7 ± 4.7	(FL = MTB > TT) = C*
PPO·BSA ⁻¹ (W m ⁻²)	197 ± 8.6	211 ± 10	208 ± 14	198 ± 9	–

$\dot{V}O_{2\max}$ maximal oxygen uptake, PPO peak power output, BM body mass, BSA body surface area

* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$

Abbis et al. (2010) erhoben bei ihrer Untersuchung von Pacing Profilen (die Amplitude und die zeitliche Verteilung der Leistung, in mehreren Rennen) bei weiblichen Elite Rennradfahrerinnen ($n = 9$), folgende anthropometrische und physiologische Kenngrößen (MW ± Std): Körpergewicht = $57,8 \pm 3,4$ kg, Größe = $167,3 \pm 2,8$ cm, $VO_{2peak} = 63,2 \pm 5.2$ ml/kg/min.

Martin et al. (2001) stellen die Behauptung auf, dass der Frauen-Radrennsport und die Anforderungen an Frauen-Radrennen noch schlecht verstanden werden. Er verglich anthropometrische und physiologische Daten der Top 10 Radrennfahrerinnen im UCI Ranking, im Oktober 2000. Diese wurden mit den in der

Literatur verfügbaren Daten von Straßen-Radrennfahrerinnen bis 2001 von verschiedenen Autoren verglichen (Burke, 1980; Pfeiffer et al., 1993; Wilber et al., 1997), dargestellt in Tabelle 3.

Tab. 3: Zusammenfassung der veröffentlichten Charakteristiken von weiblichen Elite-Straßenradrennfahrerinnen. Daten dargestellt als Mittelwert und Standardabweichung (Martin et al., 2001).

Measure	Burke ^[13]	Pfeiffer et al. ^[14]	Wilber et al. ^[15]
Participants			
Number	7	16	10
Description	US National Team	Participants in 1990 Idaho Tour	US National Team
Altitude (m)	1800-2000	Variable	1860
Testing date	1976-1980	2 days before 1990 Idaho Tour	Lead up to 1996 Olympics
Anthropometry			
Height (cm)	167.7 ± 10.7		171 ± 5
Weight (kg)	61.3 ± 8.5	61 ± 4	60.4 ± 3.6
Body Fat (%)	15.4 ± 4.7	15.7 ± 2.0	11.9 ± 1.8
Age (y)		28 ± 3	26 ± 5
VO_{2max} test			
Protocol	5 min at 200W, then ↑ 40 W/min; cadence fixed at 80 rpm	Start at 100W, ↑ 25 W/min	3 min submax and 1 min max stages; ↑ 25 W/stage
Ergometer	Monark	Schwinn Velodyne	Lode Excalibur
VO _{2max} (ml/kg/min)	57.4 ± 6.6	64.2 ± 4.0	63.8 ± 4.2
VO _{2max} (L/min)	3.58	3.91 ± 0.22	3.85 ± 0.30
Peak heart rate (beats/min)		185.2 ± 3.2	188 ± 11
Peak lactate level (mmol/L)			10.2 ± 2.5
Peak power output (W)			333 ± 21
Peak power output (W/kg)			5.4 ± 0.4
Anaerobic threshold			
VO ₂ (% max)			83.6 ± 2.7
Heart rate (beats/min)			165 ± 12
Lactate (mmol/L)			3.0 ± 0.6
Power output (W)			224 ± 8
Power output (W/kg)			3.7 ± 0.3

SD = standard deviation; VO₂ = oxygen uptake; VO_{2max} = maximal oxygen uptake; ↑ = increase.

Im Rahmen einer anderen Forschungsfrage erhoben Ashenden et al. (1999) vergleichbare Werte bei der Untersuchung von 11 australischen Nationalteam-Fahrerinnen (Tabelle 4).

Tab. 4: Charakteristiken von Fahrerinnen des Australischen Radrenn-Nationalteams ($n=11$), (VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme) (Ashenden et al., 1999). Tab. 1: Charakteristiken von Fahrerinnen des Australischen Radrenn-Nationalteams ($n=11$), (VO_{2max} = maximale Sauerstoffaufnahme) (Ashenden et al., 1999).

Characteristic	Mean	Range
Age (years)	25.7	21–31
Height (cm)	169	162–177
Mass (kg)	59.8	56–65
$\dot{V}O_{2max}$ (l)*	3.76	3.53–4.17
$\dot{V}O_{2max}$ (ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹)*	63.2	57.9–67.4
Peak power output (W · kg ⁻¹)	5.50	5.00–6.27
Serum ferritin (ng · ml ⁻¹)	69.4	21–152

* Subjects tested at 600 m altitude

Zusammenfassend lässt sich aus diesen Studien festhalten: Radrennfahrerinnen auf internationalem Niveau und National-Team Niveau weisen die in Tabelle 5 folgenden typischen anthropometrische und physiologische Kennwerte (minimale und maximale Mittelwerte mit Standardabweichung) auf:

Tab. 5: Vergleich von anthropometrischen und physiologischen Werten (min. und max.) von Radrennfahrerinnen und ihre Spezialisierungs-Zuordnung, aus veröffentlichten Studien.

Charakteristik	MW ± Std	Zuordnung Spezialisierung	Untersuchungsprotokoll
Alter (Jahre)			
min.	22,8 ± 4,6	Einzelzeitfahrerin*	75/25/1 ¹⁾
max.	28,3 ± 5,0	Bergspezialistin*	75/25/1 ¹⁾
Größe (cm)			
min.	165,3 ± 6,2	(ohne konkretere Angaben)	
max.	171 ± 5,9	Einzelzeitfahrerin*	75/25/1 ¹⁾
Körpergewicht (kg)			
min.	51,8 ± 3,4	Bergspezialistin*	75/25/1 ¹⁾
max.	61 ± 4	(ohne konkretere Angaben)	
VO_{2max} (l/min)			
min.	3,3 ± 0,2	Flachspezialistin*	75/25/1 ¹⁾
max.	3,9 ± 0,2	(ohne konkretere Angaben)	100/25/1 ²⁾
VO_{2max} (ml/kg/min)			
min.	57,0 ± 3,6	Flachspezialistin*	75/25/1 ¹⁾
max.	64,2 ± 4,0	(ohne konkretere Angaben)	100/25/1 ²⁾
Peak power output (W)			
min.	314 ± 26	Mountainbikerin*	75/25/1 ¹⁾
max.	363 ± 21	Einzelzeitfahrerin*	75/25/1 ¹⁾
Peak power output (W/kg)			
min.	5,4 ± 0,4	(ohne konkretere Angaben)	25W/Stufe ³⁾
max.	6,3 ± 0,4	Bergspezialistin*	75/25/1 ¹⁾

¹⁾ SRM Ergometer; VMAX29, Sensormedics
²⁾ Schwinn Velodyne
³⁾ Lode Excalibur (3 min auf submaximalen und 1 min auf maximalen Stufen
* aus Impellizzeri et al., 2007; alle anderen aus Martin et al., 2001

5. Anthropometrische und physiologische Kenngrößen der österreichischen Juniorinnen-Nationalteamfahrerinnen der Saisonen 2005 - 2010

Die beobachtete Zielgruppe sind Juniorinnen (nach UCI Reglement Fahrerinnen zwischen 17 und 18 Jahren), welche in den letzten 5 Jahren bei Europa- und Weltmeisterschaften teilgenommen haben. Aufgrund dessen, dass die Leistungsdiagnostiken der Fahrerinnen alle an unterschiedlichen Institutionen, mit unterschiedlichen Testprotokollen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt wurden, können die Daten nur in deskriptiver Weise dargestellt werden (vgl. Heck, 1990).

5.1 Beschreibung der Zielgruppe

5.1.1 Anthropometrische Kenngrößen

In Tabelle 6 werden die anthropometrischen Daten der österreichischen Teilnehmerinnen bei den Juniorinnen Europa- und Weltmeisterschaften dargestellt. Insgesamt gab es in den Jahren 2005-2010 10 österreichische Juniorinnen, welche bei EM- und WM teilnahmen. Der Vergleich zum Jahr vor (Tabelle 7) ihrer Entsendung soll verdeutlichen, dass die Fahrerinnen im Jahr vor ihrer Teilnahme bis zum Jahr ihrer Teilnahme noch im Wachstum waren und ihr Größenwachstum noch nicht abgeschlossen war.

Im Weiteren soll verglichen werden, ob die Fahrerinnen beim Aufstieg der letzten Kategorie vor der Kategorie der Juniorinnen (Kategorie Mädchen) einen deutlichen Leistungssprung machten, oder ob es sich bereits im Mädchenalter (letztes Jahr Kategorie Mädchen) abzeichnet, dass sie im Juniorinnenalter entsprechend leistungsstark für eine Teilnahme bei Großereignissen sind.

Tab. 6: *Anthropometrische Daten (MW und Std) der österreichischen Juniorinnen EM- und WM Teilnehmerinnen 2005-2010, im Jahr ihrer Teilnahme.*

	MW ± Std
Alter (Jahre)	17,3 ± 0,7
Größe (cm)	170,4 ± 3,9
Gewicht (kg)	57,4 ± 4,4
(n=10)	

Tab. 7: *Anthropometrische Daten (MW und Std) der österreichischen Juniorinnen EM- und WM Teilnehmerinnen 2005-2010, im Jahr vor ihrer Teilnahme.*

	MW ± Std
Alter (Jahre)	16,1 ± 0,8
Größe (cm)	166,6 ± 5,2
Gewicht (kg)	55,2 ± 4,5
(n=10)	

5.1.2 Leistungsdiagnostische Kenngrößen

Zur Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung der maximalen Sauerstoffaufnahme (ml/kg/min), der maximalen Leistung (W/kg) und der maximalen Blutlaktatkonzentration (mmol/l), wurden nur Tests mit demselben Testprotokoll herangezogen. Zur Verdeutlichung werden deskriptiv zusätzlich die größten und die kleinsten Maximalwerte dargestellt, einmal in der Tabelle mit den Mittelwert-Berechnungen aus den Tests mit derselben Testanordnung, einmal die größten und kleinsten Maximalwerte aus den übrigen Tests mit unterschiedlichen Anordnungen, unter Angabe des angewendeten Testprotokolls. Zur genaueren Beschreibung der Athletinnen wurden zugeordnet zu den Tests nochmals die anthropometrischen Werte angeführt (Tabelle 8).

Im Jahr vor der EM- und WM Teilnahme sind 22 Tests von 14 Sportlerinnen erfasst. Von 6 Mädchen wurden 11 Spiroergometrien mit einem Belastungsbeginn von 40 W, einem Belastungszinkrement von 40 W und einem Zeitinkrement von 4 min durchgeführt. Gibt es von einer Person mehrere Tests, wurde jener zur statistischen Berechnung herangezogen, welcher am nahesten zum Zeitpunkt der EM/ WM liegt. Angemerkt werden muss, dass die Tests nicht zum selben Zeitpunkt in der Saison durchgeführt wurden (Tabelle 9).

Tab. 8: Alter, Größe und Gewicht (MW und Std), W/kg_{max} , $VO_{2max}(ml/kg/min)$ $L_{max}(mmol/l)$, der Teilnehmerinnen an Juniorinnen Europa- und/ oder Weltmeisterschaften im Jahr der Teilnahme, 2005-2010.

	MW \pm Std	Min	Max
Alter (Jahre)	17,5 \pm 0,4	16,8	18,4
Größe (cm)	170,3 \pm 5,1	163	175,5
Gewicht (kg)	57,5 \pm 5,1	51,9	64
W/kg_{max}	4,7 \pm 0,3	4,5	5,4*
$L_{max}(mmol/l)$	11,1 \pm 1,8	8,7	12,7
$VO_{2max}(ml/kg/min)$	62,4 \pm 6,1	53,2	68*

Testprotokoll 40/4 (n = 10)

* *selbe Person und gleicher Test*

	MW \pm Std	Min	Max
Alter (Jahre)	16,7 \pm 0,8	16,1	18,1
Größe (cm)	170,2 \pm 3,2	168	175
Gewicht (kg)	55,7 \pm 3,9	53	62,5
W/kg_{max}		4,6**	5,1*
$L_{max}(mmol/l)$		9,3**	12,3*
$VO_{2max}(ml/kg/min)$		56,1**	61,7*

Testprotokolle divers (n = 6)

*Protokoll: 50/50/3; **Protokoll 50/30/4

Tab. 9: Alter, Größe und Gewicht (MW und Std), W/kg_{max} , VO_{2max} (ml/kg/min) L_{max} (mmol/l), der Teilnehmerinnen an Juniorinnen Europa- und/ oder Weltmeisterschaften im Jahr vor ihrer Teilnahme, 2005-2010.

	MW \pm Std	Min	Max
Alter (Jahre)	16 \pm 0,9	14,7	16,8
Größe (cm)	164,6 \pm 5,5	160	174
Gewicht (kg)	54,3 \pm 5,2	49	63,5
W/kg_{max}	4,5 \pm 0,5	4,1	5,2*
L_{max} (mmol/l)	10,9 \pm 3,1	6,4*	16,7
VO_{2max} (ml/kg/min)	52,2 \pm 4,5	49	58,1

Testprotokoll 40/4 (n = 11)

* *selbe Person und gleicher Test*

	MW \pm Std	Min	Max
Alter (Jahre)	16,2 \pm 0,7	15,9	17,3
Größe (cm)	168,3 \pm 4,5	160,5	172
Gewicht (kg)	56,2 \pm 3,6	50	63
W/kg_{max}		4,2*	5,6**
L_{max} (mmol/l)		9,2*	16**
VO_{2max} (ml/kg/min)		47*	60,3**

Testprotokolle divers (n = 11)

W/kg_{max} : *Protokoll 50/30/4; **Protokoll 50/25/1

L_{max} (mmol/l): *Protokoll 45/15/1; **k.A.

VO_{2max} (ml/kg/min): *Protokoll 40/20/1; **Protokoll 45/40/3

Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse bei den Europameisterschaften - und Tabelle 11 die Ergebnisse bei Weltmeisterschaften. Jede FahrerIn konnte maximal an zwei Europa - und Weltmeisterschaften teilnehmen. Mit der Darstellung der Zeitrückstände soll verdeutlicht werden, dass eine Platzierung nicht direkt von den Zeitrückständen abhängig ist. Je nach Beschaffenheit des Kurses (bei den Straßenrennen), kann der Rückstand zur Siegerin nur wenige Sekunden sein, und die Platzierung im Mittelfeld liegen, oder der Rückstand über eine Minute sein, und dennoch eine Platzierung im Mittelfeld erreicht worden sein. Es gibt von den letzten 5 Jahren je 10 Teilnahmen bei EM und WM (Einzelzeitfahren, Straßenrennen).

Tab. 10: Entsendungen von Österreichischen Juniorinnen zu Europameisterschaften 2005-2010 und deren Resultate.

	MW ± Std	Min	Max
Platzierung EZF	20,0 ± 17,8	2	41
Distanz (km)	13,6 ± 2,7	11	16,5
Zeitrückstand (hh:min:sek)	00:01:29 ± 00:01:33	00:00:31	00:03:47

(n=5)

Team: mind.1, max.3 Fahrerinnen

	MW ± Std	Min	Max
Platzierung Straße	46,4 ± 22,0	17	73
Distanz (km)	73,0 ± 9,4	63	86,4
Zeitrückstand (hh:min:sek)	00:02:12 ± 00:01:47	00:00:06	00:04:23

(n=10)

Team: mind.1, max.3 Fahrerinnen

Tab. 11: Entsendungen von Österreichischen Juniorinnen zu Weltmeisterschaften 2005-2010 und deren Resultate.

	MW \pm Std	Min	Max
Platzierung EZF	20,5 \pm 12,5	12	39
Distanz (km)	13,8 \pm 0,6	12,9	14,1
Zeitrückstand (h:min:sek)	00:01:43 \pm 00:00:46	00:01:12	00:02:35

(n=4)

Team: mind.1, max.3 Fahrerinnen

	MW \pm Std	Min	Max
Platzierung Straße	44,0 \pm 18,7	17	72
Distanz (km)	74,4 \pm 6,1	68	81,6
Zeitrückstand (h:min:sek)	00:06:39 \pm 00:06:36	00:00:04	00:18:02

(n=9)

Team: mind.1, max.3 Fahrerinnen

6. Zusammenfassung und Ausblick

Eine grundsätzliche Fragestellung dieser Arbeit sollte der Vergleich des Leistungsniveaus von den besten, österreichischen Frauen Nachwuchs-Radrennfahrerinnen mit dem Leistungsniveau im internationalen, weiblichen Spitzenradsport sein. Klar ist der Unterschied im Alter dadurch vorgegeben, jedoch tendenziell können Aussagen getroffen werden, wo (laut Literatur) die Maßstäbe für eine internationale Karriere als Radrennfahrerin angesetzt werden. Somit können auch Aussagen über das Entwicklungspotential der jungen Athletinnen getroffen werden, und wie ihr Umstieg von der Juniorinnen-Kategorie zur Frauen-Kategorie, bzw. U23, leistungsmäßig abschätzbar ist. D.h. werden sie im ersten Jahr gleich einen guten

Anschluss im Frauenfeld finden, oder werden sie noch etwas länger Zeit hierzu brauchen.

Als eine Schwierigkeit für diese Fragestellung stellte sich heraus, dass es nur wenige veröffentlichte Studien aus dem Frauenradsport gibt. Jene Studien, die sich mit dem Thema beschäftigten, bieten einen Einblick in die Leistungsvoraussetzungen für weibliche Radsportlerinnen. (Impellizzeri et al. 2008).

Vergleichbar sind aus den Studien die anthropometrischen Daten, nur bedingt vergleichbar sind die maximalen Leistungskennwerte, da unterschiedliche Testprotokolle angewendet wurden. Das heißt, die maximale Sauerstoffaufnahme und die maximale Wattleistung, werden bei der Interpretation als Orientierungswerte herangezogen.

Eine weitere Schwierigkeit ist in der geringen Verfügbarkeit von Daten von den österreichischen Frauen Nachwuchs-Radrennfahrerinnen zu sehen, einerseits weil nicht alle eine regelmäßige Leistungsdiagnostik über Jahre hinweg pflegen, andererseits, weil bei den Leistungsdiagnostiken zum Teil unterschiedliche Testprotokolle zur Anwendung kommen. Die Tests werden auch nicht an derselben Untersuchungsstelle durchgeführt, und so wurden unterschiedliche Leistungsparameter erhoben (nicht alle Untersuchungen werden mit einer Atemgasanalyse durchgeführt). Letztlich werden unterschiedliche Auswerteverfahren angewendet, und verschiedene Schwellenwerte angegeben (AS, AAS, IAS, LTP1, LTP2, IAT, VT, usw.). Deshalb wurden letztlich in der Auswertung der Tests der angegebenen Zielgruppe nur mehr die anthropometrischen Daten zur Auswertung herangezogen, sowie die maximalen Werte von Sauerstoffaufnahme, Wattleistung und als Zusatzinformation Laktat.

Die durchschnittliche Größe der Juniorinnen EM- und WM-Teilnehmerinnen in den letzten 5 Jahren liegt bei $170,4 \pm 3,9$ cm. Mit dieser Größe kommen sie der Größe der in Impellizzeri et al. (2008) charakterisierten Einzelzeitfahrerspezialistinnen, bei einer Größe von $171 \pm 5,9$ cm am nächsten. Die Körpermasse liegt bei diesen österreichischen Juniorinnen im Vergleich zu den eben genannten Einzelzeit-

fahrspezialistinnen jedoch mit $57,4 \pm 4,4$ kg deutlich unter deren $61,6 \pm 3,1$ kg. Näher liegen sie hier bei den Flachspezialistinnen (bei einer Körpergröße von $165,3 \pm 6,2$ cm) aus Impellizzeri et al. (2008), und am nächsten bei den Werten von Abbis et al. (2010) mit $57,8 \pm 3,4$ kg für Elite-Radfahrerinnen, mit ähnlicher Körpergröße ($167,3 \pm 2,8$ cm).

Nimmt man die besten zwei österreichischen Juniorinnen, gemessen an der maximalen Leistungsfähigkeit und gemessen anhand der besten österreichischen Ergebnisse bei Juniorinnen EM- und WM- Zeitfahren, und betrachtet man deren relative VO_{2max} und W_{max} (aus einem Stufentest von 80/40/4), so weisen diese eine VO_{2max} von 64,4 und 68 ml/kg/min auf. Unter Bedacht dass der Test aus Martin et al. (2001) mit einem Protokoll von 100/25/1 (Daten aus Pfeiffer et al., 1993) absolviert wurde (eine höhere Wattleistung und Sauerstoffaufnahme werden somit impliziert), so stehen hier Vergleichswerte von $64,2 \pm 4,0$ ml/kg/min zur Verfügung. Diese Frauen waren jedoch mit einem Durchschnittsalter von 28 ± 3 Jahren deutlich älter. Eher zu vergleichen wären sie dann noch angesichts ihrer tatsächlichen Vorzüge im Einzelzeitfahren aufgrund des Alters, wo Impellizzeri et al. (2007) ein Alter von $22,8 \pm 4,6$ Jahren angibt. In ihrer VO_{2max} jedoch übertrifft die beste österreichische Juniorin sogar die Bestwerte der Testergebnisse aus Impellizzeri et al. (2007), die bei den Bergfahrspezialistinnen eine VO_{2max} von $64,8 \pm 2,6$ ml/kg/min beschreiben.

Aus dem Vergleich der veröffentlichten Daten aus dem Frauenradsport lässt sich schließen, dass die österreichischen Teilnehmerinnen an Juniorinnen Europa - und Weltmeisterschaften, gute physiologische Voraussetzungen haben um im Frauen - Elite Bereich mitzuhalten. Nicht alle österreichischen Juniorinnen haben (gemessen im Jahr ihrer EM-WM Teilnahme) vergleichsweise optimale physiologische Kennwerte im Vergleich zu den publizierten Daten aus dem Frauenbereich. Das bedeutet aber nicht, dass sie diesen Nachteil nicht innerhalb weniger Jahre aufholen könnten, und erst dann wären sie im selben Alter wie die Radsportlerinnen in diesen Studien.

Was man bei der Frage der Entwicklung von Sportlerinnen, in diesem Fall Radrennfahrerinnen jedoch nie vergessen darf, ist auch die reale Möglichkeit ihrer Entwicklung zu Profi-Radrennfahrerinnen. Menaspà et al. (2009) kamen zu dem Schluss, dass traditionelle physiologische Messwerte der aeroben Fitness zwar Auskunft darüber geben können, ob Radrennfahrer im Juniorenalter in ihrer Kategorie hervorstechen können. Diese Kenngrößen erlauben jedoch keinen Rückschluss ob diese, im Juniorenalter erfolgreichen Sportler, auch erfolgreiche Profi-Radsportler werden. Und dass es noch andere, wesentliche Einflussfaktoren gibt, welche bei der Leistungsbeurteilung und der tatsächlichen Umsetzung in der Praxis geben müsse. Beispiele hierfür sind taktisches Vermögen, motorische Fähigkeiten und im speziellen die Radbeherrschung, das Kraftniveau bzw. die Kraftqualitäten (Sprintkraft, Kraftausdauer, etc.), und von besonderer Wichtigkeit seien an dieser Stelle auch die mentalen Fähigkeiten sowie die psycho-physischen Fähigkeiten genannt. Ist die geistige Leistungsbereitschaft nicht gegeben, lassen sich die körperlichen Fähigkeiten auch nicht voll zur Entfaltung bringen.

Die aktuellen Entwicklungen, dass auch im Frauenradsport die Siege immer häufiger unter den Sprinterinnen ausgemacht werden, implizieren die Forderung, diese besondere Charakteristik wissenschaftlich zu untersuchen. Interessant wäre demnach die frühzeitige Prognose-Möglichkeit für eine Zuordnung der Spezialisierung von Radrennfahrerinnen, und deren frühzeitige Förderung in ihrer Spezial-Disziplin, um ihr Potential voll zur Entfaltung bringen zu können, ohne auf eine allgemeine und vielfältige, athletische Ausbildung, im Sinne des Bewahrens von Leistungsressourcen und gesundheitlichen Grundfragen, zu vergessen.

7 Verzeichnisse

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lizenzen Kategorie Mädchen und Juniorinnen, von den Jahren 2000-2009	2
Abb. 2: Laktatleistungskurve	8
Abb. 3: Graphische Ermittlung von der „Lactate Threshold“ (LT) und der „Individuellen anaeroben Schwelle“ (IAS) in der Laktatleistungskurve (Roecker, 2004).	10
Abb. 4: Drei Phasen der Energiebereitstellung unter ansteigender körperlicher Belastung. LA: Laktatkonzentration [mmol/l]; VO ₂ : Sauerstoffaufnahme [l/min]; VCO ₂ : Kohlenstoffdioxidabgabe [l/min]; VE : Atemminutenvolumen [l/min] (Pokan et al., 2004).....	11
Abb. 5: Anaerobic Threshold (Pokan et al., 2004).....	12
Abb. 6: Graphisch ermittelte Schwellen der Anaerobic Threshold (AT) und des „Respiratory compensation point“ RCP. Es ist die Ventilation (VE) gegen die CO ₂ -Abgabe (VCO ₂) aufgetragen (Pokan et al., 2004).	13
Abb. 7: Schematische Darstellung des aerob-anaeroben Übergangs (grauer Bereich). Laktatleistungskurve (oben) und Ventilation (unten) bei ansteigender Belastungsintensität. AeS: aerobe Schwelle; IAS: individuelle anaerobe Schwelle; VT1: ventilatorische Schwelle 1; VT2: ventilatorische Schwelle 2 (respiratorischer Kompensationspunkt) (Kindermann, 2004).	14
Abb. 8: Mittlere Leistungs-Realisierungs-Verteilung während der ersten zwei Weltcup-Rennens 1999. (Martin et al., 2001)	18

7.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anthropometrische Charakteristiken von weiblichen Radsportlerinnen entsprechend ihrer Einteilung in Flach-Spezialistinnen, Zeitfahrerinnen, Bergfahrerinnen, Mountainbikerinnen. (Impellizzeri et al., 2008)	20
Tab. 2: Maximale physiologische Werte gemessen bei Stufentests. (Impellizzeri et al., 2008).....	20
Tab. 3: Zusammenfassung der veröffentlichten Charakteristiken von weiblichen Elite-Straßenradrennfahrerinnen. Daten dargestellt als Mittelwert Standardabweichung (Martin et al., 2001).	21
Tab. 4: Charakteristiken von Fahrerinnen des Australischen Radrenn-Nationalteams (n=11), (VO ₂ max = maximale Sauerstoffaufnahme) (Ashenden et al., 1999). Tab.9: Charakteristiken	

von Fahrerinnen des Australischen Radrenn-Nationalteams (n=11), (VO ₂ max = maximale Sauerstoffaufnahme) (Ashenden et al., 1999).....	22
Tab. 5: Vergleich von anthropometrischen und physiologischen Werten (min. und max.) von Radrennfahrerinnen und ihre Spezialisierungs-Zuordnung, aus veröffentlichten Studien.....	23
Tab. 6: Anthropometrische Daten (MW und Std) der österreichischen Juniorinnen EM- und WM Teilnehmerinnen 2005-2010, im Jahr ihrer Teilnahme.	25
Tab. 7: Anthropometrische Daten (MW und Std) der österreichischen Juniorinnen EM- und WM Teilnehmerinnen 2005-2010, im Jahr vor ihrer Teilnahme.....	25
Tab. 8: Alter, Größe und Gewicht (MW und Std), W/kgmax, VO ₂ max(ml/kg/min) Lmax(mmol/l), der Teilnehmerinnen an Juniorinnen Europa- und/ oder Weltmeisterschaften im Jahr der Teilnahme, 2005-2010.	26
Tab. 9: Alter, Größe und Gewicht (MW und Std), W/kgmax, VO ₂ max(ml/kg/min) Lmax(mmol/l), der Teilnehmerinnen an Juniorinnen Europa- und/ oder Weltmeisterschaften im Jahr vor ihrer Teilnahme, 2005-2010.	27
Tab. 10: Entsendungen von Österreichischen Juniorinnen zu Europameisterschaften 2005-2010 und deren Resultate.....	28
Tab. 11: Entsendungen von Österreichischen Juniorinnen zu Weltmeisterschaften 2005-2010 und deren Resultate.....	29

7.3 Literaturverzeichnis

- Abbiss C.R., Straker L., Quod M.J., Martin D.T. and Laursen, P.B. (2010) Examining pacing profiles in elite female road cyclists using exposure variation analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 44 (6): 437-442.
- Ashenden M.J., Gore C.J., Martin D.T., Dobson G.P., Hahn A.G. (1999) Effects of a 12-day “live high, train low” camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 80: 472-478.
- Bassett D.R., Howley E.T. (2000) Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32: 70-84.
- Beaver W.L., Wasserman K., Whip B.J. (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *Journal of Applied Physiology*, 60: 2020- 2027.
- Bentley D.J., McNaughton L.R., Thompson D., Vleck V.E., Batterham A.M. (2001) Peak power output, the lactate threshold, and time trial performance in cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (12): 2077-2081.
- Coen B., Urhausen A., Kindermann W. (2001) Individual anaerobic threshold: methodological aspects of its assessment in running. *International Journal of Sports Medicine*, 22: 8-16.

- Dickhut H.H. (2000) Einführung in die Sport- und Leistungsmedizin, Hofmann, Schorndorf , S.193-255.
- Dore E., et. al. (2001) Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *European Journal of Applied Physiology*. 84: 476-481.
- Ebert T.R., Martin D.T., Stephens B., Withers R.T. (2006) Power output during professional men´s road-cycling tour. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1: 324-335.
- Ebert T.R., Martin D.T., McDonald W., Victor J., Plummer J., Withers R.T. (2005) Power output during women´s World Cup cycle racing. *European Journal of Applied Physiology*, 95: 529-536.
- Heck H. (1990) Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. In *Trainerakademie Köln e.V. (Hrsg.). Studienbrief der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes, Studienbrief 8. Schorndorf: Hofmann.*
- Heck H. (1990) Laktat in der Leistungsdiagnostik. Hofmann, Schorndorf.
- Hill David W., Smith Jimmy C. (1993) Gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution. *British Journal of Sports Medicine*, 27(1): 45-48.
- Impellizzeri F.M., Ebert T., Sassi A., Menaspà P., Rampinini E., Martin D.T. (2008) Level ground and uphill cycling ability in elite female mountain bikers and road cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 102: 335-341.
- Ivy J.L., Kammer L., Zhenping D., Wang B., Bernard J.R., Liao Y., Hwang J. (2009) Improved Cycling Time-Trial Performance after ingestion of a caffeine energy drink. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19: 61-78.
- Jeukendrup A.E. & Wallis G.A. (2005) Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *International Journal of Sports Medicine*, 26, Suppl. 1: 28-37.
- Keul J. (1976) Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung . *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 7: 212-216.
- Kindermann W. (2004) Anaerobe Schwelle. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (6): 161-162.
- Kindermann W., Simon G., Keul J. (1979) The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology, Occup. Physiology*, 42: 25-34.
- Lucia A., Hoyos J., Chicharro J.L. (2001) Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, 31:325–337.
- Lucia A., Joyos H., Chicharro J.L. (2000) Physiological response to professional road cycling: climbers vs. time trialists. *International Journal of Sports Medicine*, 21:505–512.

- Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P., Hollmann W. (1976) Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 27: 80- 88.
- Martin D.T., McLean B., Trewin C., Lee H., Victor J., Hahn A.G. (2001) Physiological characteristics of nationally competitive female road cyclists and demands of competition. *Sports Medicine* 31 (7): 469-477.
- McLellan T.M. (1987) The anaerobic threshold: concept and controversy. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 19: 3-8.
- Menaspà P., Sassi A., Impellizzeri F.M. (2009) Aerobic Fitness variables do not predict the professional career of young cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42 (4): 805-812.
- Mujika I. & Padilla S. (2001) Physiological and performance characteristics of male professional road cyclists. *Sports Medicine*, 31:479–487.
- Myers J., Ashley E. (1997) Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest*, 111: 787-795.
- Neumann G., Pfützner A., Berbalk A. (1999) : *Optimiertes Ausdauertraining*. 2. Aufl. Meyer & Meyer, Aachen.
- Nimmerichter A., Williams C., Bachl N., Eston R. (2010) Evaluation of a field test to assess performance in elite cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 31: 160-166.
- Ooshuysse T., Bosch A.N., Jackson S. (2005) Cycling time trial performance during different phases of the menstrual cycle. *European Journal of Applied Physiology*, 94: 268-276.
- Padilla S., Mujika I., Cuesta G., Goiriena J.J. (1999) Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31:878–885.
- Padilla S., Mujika I., Orbananos J., Santisteban J., Angulo F., Jose Goiriena J. (2001) Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33:796–802.
- Pfeiffer R., Harder B., Landis D. et al (1993) Correlating indices of aerobic capacity with performance in elite women road cyclists. *Journal of Strength & Condition Research*, 7:201–205.
- Pokan R., Bachl N., Benzer W. Hofmann P., Mayr K., Schmid P., Smekal G., Wonisch M. (2004) Leistungsdiagnostik und Trainingsherzfrequenzbestimmung in der kardiologischen Rehabilitation. *Austrian Journal of Cardiology*, 11 (11): 446-452.
- Roecker K. (2004) Ergonizer© - Sportmedizinische Analysesoftware für Laktatleistungsdiagnostik. www.ergonizer.de
- Sallet P., Mathieu R., Fenech G., Baverel G. (2006) Physiological differences of elite and professional road cyclists related to competition level and rider specialization. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 46:361–365.

- Saltin B. & Astrand P.O. (1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23: 353-358.
- Skinner J.S. & Mc Lellan T.H. (1980) The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res. Quart. Exerc. Sports*; 51: 234–48.
- Stegmann H., Kindermann W., Schnabel A. (1981) Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2: 160-165.
- Trewin C.B., Martin D.T., McLean B.D., Lawton E.W., Victor J. (1999) Power output demands of womens world cup road cycling. 5th IOC World Congress on Sport Sciences with the Annual Conference of Science and Medicine in Sport.
- Urhausen A., Coen B., Weiler B., Kindermann W. (1993) Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, 14: 134-139.
- Vogt S., Heinrich L., Schumacher Y.O., Blum A., Roecker K., Dickhuth H., Schmid A. (2006) Power output during stage racing in professional road cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38 (1): 147-151.
- Wagner P.D. (2005) Why doesn't exercise grow the lungs when other factors do? *Exercise and Sport Sciences Review*, 33: 3-8.
- Wasserman K., Whipp B.J., Koys S.N., Beaver W.L. (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35: 236-243.
- Wassermann K., McIlroy M.B. (1964) Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal for Cardiology*, 14: 844-852.
- Wilber R.L., Zawadzki K.M., Kearney J.T., Shannon M.P., DiSalvo D. (1997) Physiological profiles of elite off-road and road cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29:1090–1094.