

5. Gesamtdiskussion der einzelnen Teilstudien unter übergeordneten Gesichtspunkten

Da in der Literatur keine Erhebungen über die Belastungsstruktur und die Quantität der Belastungen beim Breitensportlichen Fahrradfahren im engeren Sinn vorliegen, ist es nicht möglich, die vorliegenden Untersuchungsergebnisse vor dem Spiegel der dem Thema nahen Literatur zu diskutieren; Literaturbezüge werden somit aus dem weiteren Umfeld geschaffen.

Im folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Teilstudien in einer Gesamtdiskussion unter übergeordneten Gesichtspunkten diskutiert.

5.1 Belastungscharakteristika Breitensportlichen Fahrradfahrens ohne Intensitätsvorgaben von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern im Vergleich

Vorbemerkung

Zum Zwecke der besseren Vergleichbarkeit der einzelnen Teilstudien zum Thema Breitensportlichen Fahrradfahrens ohne Intensitätsvorgaben werden im folgenden aus den entsprechenden Teilstudien jeweils die Männerkollektive gegenübergestellt; bei den Teilstudien »Fahrradfahren im Alltag« (Kapitel 3.1) und »Rennradfahren« (Kapitel 3.2) bestanden die jeweiligen Gesamtkollektive sowohl aus Männern als auch aus Frauen. Die anthropometrischen Daten der entsprechenden Probandenkollektive sind übersichtshalber in Abbildung 5.1–1 zusammengestellt.

	n		Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
Mountainbiker-1	61	\bar{x}	37,8	179,4	77,5
		$\pm s$	12,7	6,9	10,3
Mountainbiker-2	31	\bar{x}	25,5	182,0	78,4
		$\pm s$	2,3	8,7	10,3
Rennradfahrer	40	\bar{x}	34,4	177,0	76,7
		$\pm s$	12,3	11,5	10,1
Alltagsfahrrad- fahrer	17	\bar{x}	41,4	180,1	76,5
		$\pm s$	8,3	4,4	7,5

Abbildung 5.1–1: Anthropometrische Daten für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

5.1.1 Fahrradergometrisch erhobene maximale Leistungsfähigkeit von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Die Voraussetzung für die Beurteilung der fahrradergometrisch erhobenen maximalen Leistungsfähigkeit stellt eine genügende Ausbelastung der Probanden dar, welche für alle 4 Probandenkollektive anzunehmen war. Im Speziellen werden als Zeichen einer genügenden Ausbelastung das Erreichen bzw. Überschreiten einer unteren maximalen Grenzherzfrequenz entsprechend der Faustformel »200 minus Lebensalter« (ROST/HOLLMANN 1982, ROST et al. 1991), maximale Laktatwerte im Bereich von 8-12 mmol/l sowie das Überschreiten eines RPE-Wertes von 15 (ROST 1991) angesehen. Wie Abbildung 5.1–2 zu entnehmen ist, erfüllten die 4 Probandenkollektive alle genannten Kriterien mit einer Ausnahme. So lagen die mittleren Laktatwerte der »Alltagsfahrradfahrer« von 7,3 mmol/l knapp unter dem geforderten Limit. Als Ursache für die etwas niedrigeren Laktatwerte - als die Faustformel vorgibt - kann das im Vergleich zu den anderen Kollektiven höhere mittlere Alter (Abbildung 5.1–1) verbunden mit einem geringeren Kraftstatus herangezogen werden. So wird bei geringerer Kraft die Ausbelastung schon bei geringeren Laktatwerten erreicht. Zudem deutet das Erfüllen der Literaturempfehlungen zur unteren maximalen Grenzherzfrequenz und zum maximalen RPE-Wert bei den »Alltagsfahrradfahrern« auf eine genügende Ausbelastung hin. Insgesamt erfüllten somit alle Probandenkollektive die Voraussetzung für die Beurteilung der maximalen Leistungsfähigkeit.

		Leistung			Herzfrequenz	Belastungsgefühl	Laktat	Referenzgröße
n		P _{max} (Watt)	P _{rel} (Watt/kg/KG)	P _{ist-von-Psoll} (%)	Hf _{max} (1/min)	RPE _{max}	La _{max} (mmol/l)	200-LA
Mountainbiker-1	61	304,9	4,0	145,6	182,1	18,8	9,3	162,1
	<i>±s</i>	58,8	0,1	20,2	14,5	1,1	2,2	
Mountainbiker-2	31	326,3	4,2	140,5	184,7	18,3	10,1	174,5
	<i>±s</i>	33,9	0,6	19,0	10,9	1,1	3,0	
Rennradfahrer	40	287,2	3,8	136,8	182,0	18,3	10,2	165,6
	<i>±s</i>	39,1	0,7	22,5	9,6	1,5	3,2	
Alltagsfahrradfahrer	17	248,6	3,3	124,5	176,6	18,6	7,3	158,6
	<i>±s</i>	31,7	0,5	22,0	9,0	1,5	2,6	

Abbildung 5.1–2: Ausgesuchte Laborparameter als auch die Referenzgröße der Faustformel »200 minus Lebensalter« für die untere maximale Grenzherzfrequenz für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Auf der Basis einer genügenden Ausbelastung zeigten die untersuchten Probandenkollektive unter standardisierten fahrradergometrischen Bedingungen insgesamt eine überdurchschnittlich hohe Leistungsfähigkeit. Bezogen auf die während der Fahrradergometrie erreichte Leistung in Relation zur alters- und gewichtsabhängigen Norm, welche nach ROST et al. (1991) für Männer mit 3 Watt/kg Körpergewicht minus ein Prozent pro Lebensjahr jenseits des 30. Lebensjahrs definiert ist, erwiesen sich die »Mountainbiker-1« mit ca. 46 Prozent über der Norm (P_{ist-von-Psoll}) als die leistungsstärkste Gruppe, gefolgt von den

»Mountainbikern-2« und den »Rennradfahrern«. Die »Alltagsfahrradfahrer« zeigten sich im direkten Vergleich der Kollektive als die leistungsschwächste Gruppe, wiesen jedoch immer noch eine fast 25 % höhere Leistungsfähigkeit als die Norm auf (Abbildung 5.1–2).

Die Gründe für die beobachtete überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit aller Probandenkollektive sind offenkundig. Es ist anzunehmen, daß die überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit das Resultat physiologischer Anpassungserscheinungen infolge regelmäßig betriebener sportlicher Aktivitäten ist, die schon über Jahre hinweg betrieben wurden. Dies bestätigen die trainingsanamnestisch erhobenen Daten.

So trieben über Zweidrittel der jeweiligen Gesamtgruppen zusätzlich zum Fahrradfahren regelmäßig mindestens einmal pro Woche Sport (Abbildung 5.1–3). Alle Probandenkollektive übten sportliche Aktivitäten exklusive Fahrradsport im Mittel seit mindestens 8 Jahren mit einer wöchentlichen Mindestdauer von 2,8 h (Abbildung 5.1–4) aus und betrieben im Mittel den Fahrradsport seit mindestens 9 Jahren mit einer wöchentlichen Mindestdauer von 3,3 h (Abbildung 5.1–5).

Auch spiegelt sich das Trainingsverhalten in der Höhe der fahrradergometrisch ermittelten maximalen Leistungsfähigkeit. So zeigten die beiden Mountainbikegruppen im Mittel entsprechend der im Vergleich der Probandenkollektive beobachteten höchsten Leistungsfähigkeit gegenüber den beiden anderen Probandenkollektiven auch den höchsten Anteil des neben dem Fahrradfahren regelmäßig betriebenen Sports (Abbildung 5.1–3). Weiterhin wiesen sie gegenüber den beiden anderen Kollektiven mit etwa jeweils 9 h einen deutlich größeren wöchentlichen Umfang für das Fahrradtraining plus Mountainbiketraining auf (Abbildung 5.1–5). Entsprechend der im Vergleich der Probandenkollektive im Mittel niedrigsten Leistungsfähigkeit führten die »Alltagsfahrradfahrer« im Mittel mit dem geringsten Umfang weitere sportliche Aktivitäten neben dem Fahrradfahren aus (Abbildung 5.1–4).

	Mountainbiker-1 (n=61)		Mountainbiker-2 (n=31)		Rennradfahrer (n=40)		Alltagsfahrradfahrer (n=17)	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)
kein Sport; unregelmäßig Sport (<1x/Wo; nur im Urlaub)	16	26,2	5	16,1	15	37,5	6	35,3
regelmäßig Sport (≥1x/Wo)	45	73,8	26	83,9	25	62,5	11	64,7

Abbildung 5.1–3: Zusätzlich zum Fahrradfahren betriebener Sport für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

	n		seit Jahren	Häufigkeit (1/Wo)	Dauer/TE (min/TE)	Dauer/Woche (h/Wo)
Mountainbiker-1	46	\bar{x}	12,0	3,6	62,8	3,6
		$\pm s$	12,7	2,3	27,5	3,0
Mountainbiker-2	26	\bar{x}	11,8	4,8	89,4	7,4
		$\pm s$	4,6	2,0	30,1	4,4
Rennradfahrer	25	\bar{x}	8,7	3,1	74,9	3,8
		$\pm s$	6,1	1,9	45,4	3,0
Alltagsfahrad- fahrer	11	\bar{x}	8,9	2,0	78,2	2,8
		$\pm s$	7,8	1,2	23,1	2,3

Abbildung 5.1–4: Mittlere Trainingsnormative mit Standardabweichungen zusätzlicher zum Fahrradfahren regelmäßig betriebener sportlicher Aktivitäten bezogen auf alle genannten Sportarten für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

		n		seit Jahren	Häufigkeit (1/Wo)	Dauer/TE (min/TE)	Dauer/Woche (h/Wo)
Mountainbiker-1	Fahrradfahren außer Mountainbiking	38	\bar{x}	10,4	3,6	108,8	4,8
			$\pm s$	8,6	2,3	74,6	2,6
	Mountainbiking	61	\bar{x}	2,9	2,3	124,6	4,7
			$\pm s$	2,1	1,5	50,3	3,9
Mountainbiker-2	Fahrradfahren außer Mountainbiking	23	\bar{x}	12,4	3,9	89,1	5,1
			$\pm s$	18,5	1,9	53,3	3,7
	Mountainbiking	31	\bar{x}	3,0	2,4	105,9	4,1
			$\pm s$	2,4	2,5	32,0	4,6
Rennradfahrer	Fahrradfahren insgesamt	38	\bar{x}	9,8	3,1	67,5	3,3
			$\pm s$	9,3	2,1	47,1	3,4
Alltagsfahrad- fahrer		17	\bar{x}		10 *	25,2 *	4,2 *

* ermittelt aus den Feldtestdaten

Abbildung 5.1–5: Mittlere Belastungsnormative mit Standardabweichung für das Fahrradtraining der regelmäßig fahrradfahrenden Probanden für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

In der Höhe der fahrradergometrisch ermittelten maximalen Leistungsfähigkeit spiegelt sich weiterhin das Ausmaß des betriebenen Ausdauersportanteils wider, welcher bei allen Probandenkollektiven im Vergleich zu den anderen motorischen Hauptbeanspruchungen den größten wöchentlichen Trainingsumfang ausmachte. So betrieben die beiden Mountainbikegruppen im Mittel mit dem höchsten wöchentlichen Trainingsumfang von jeweils über 11 h Ausdauersport - addiert man den wöchentlichen Umfang für Fahrradfahren, disziplinspezifisches Fahrradtraining (Abbildung 5.1–5) und weiteren Ausdauersportarten (Abbildung 5.1–6) - gefolgt von den »Rennradfahrern« mit etwa 7 h und den »Alltagsfahrradfahrern« mit etwa 6 h.

			Relative seit Jahren	Häufigkeit	Dauer/TE	Dauer/		
			n	Häufigkeit	(1/Wo)	Woche		
			(%)		(min/TE)	(h/Wo)		
Mountainbiker-1 (n=46)	Ausdauersport	\bar{x}	24	37,5	13,4	2,9	45,8	2,3
		$\pm s$			14,5	2,0	17,9	2,1
	Kraftsport	\bar{x}	5	7,8	3,8	3,3	60,0	2,8
		$\pm s$			3,6	2,3	21,2	1,0
	Spielsport	\bar{x}	23	35,9	12,6	2,2	70,3	2,7
		$\pm s$			11,7	1,4	26,3	2,3
	Ausgleichssport	\bar{x}	12	18,8	7,6	2,6	77,5	2,8
		$\pm s$			6,1	2,2	55,7	3,4
Mountainbiker-2 (n=26)	Ausdauersport	\bar{x}	10	29,4	7,1	4,3	61,5	5,0
		$\pm s$			5,8	2,8	16,9	4,2
	Kraftsport	\bar{x}	6	17,6	9,2	3,7	101,0	7,3
		$\pm s$			5,1	2,8	27,4	4,5
	Spielsport	\bar{x}	14	41,2	13,2	3,1	106,7	5,9
		$\pm s$			3,2	1,3	38,7	4,6
	Ausgleichssport	\bar{x}	4	11,8	5,0	1,5	127,5	2,9
		$\pm s$			4,1	0,6	51,2	0,9
Rennradfahrer (n=25)	Ausdauersport	\bar{x}	11	36,7	8,3	3,7	60,5	4,3
		$\pm s$			5,3	2,1	26,9	3,8
	Kraftsport	\bar{x}	4	13,3	6,0	2,0	82,5	2,6
		$\pm s$			5,7	0,8	66,5	2,3
	Spielsport	\bar{x}	14	46,7	10,7	1,9	83,6	2,5
		$\pm s$			6,2	0,6	52,5	1,5
	Ausgleichssport	\bar{x}	1	3,3	2,0	2,5	72,0	3,0
		$\pm s$						
Alltagsfahrad- fahrer (n=11)	Ausdauersport	\bar{x}	2	14,3	5,0	2,3	60,0	2,3
		$\pm s$			0,0	0,4	0,0	0,4
	Kraftsport	\bar{x}	2	14,3	5,0	1,5	90,0	2,3
		$\pm s$			5,7	0,7	0,0	1,1
	Spielsport	\bar{x}	6	42,9	11,5	1,4	85,0	2,1
		$\pm s$			8,1	0,7	22,6	1,4
	Ausgleichssport	\bar{x}	4	28,6	1,0	1,5	78,8	2,3
		$\pm s$			0,0	1,0	33,3	2,5

Abbildung 5.1–6: Mittlere Trainingsnormative zusätzlich zum Fahrradfahren betriebener sportlicher Aktivitäten (Mehrfachbesetzung möglich) differenziert nach der sportmotorischen Beanspruchung für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Beeinflusst wird die Höhe der maximalen Leistungsfähigkeit zudem indirekt durch die Motivation, mit der ein Training durchgeführt wird.

Für alle Probandenkollektive spielten ausnahmslos der Spaß an der Bewegung sowie die Gesundheit durchgängig für jeweils über 60 Prozent der Probanden eine dominierende Rolle für das Fahrradfahren (Abbildung 5.1–7). Dieser relativ hohe Anteil für diese beiden Motive ist als gute Voraussetzung für eine dauerhafte und somit effektive Ausübung eines Sports mit der Konsequenz einer möglichen überdurchschnittlichen Leistungsfähigkeit zu werten. Eine noch ausgeprägtere Leistungsverbesserung ist darüberhinaus dann zu erwarten, wenn auch das Motiv Leistungs-/Trainingseffekt als bedeutsames Motiv hinzukommt, wie dies für die beiden Mountainbikegruppen und die »Rennradfahrer« der Fall war. Insgesamt spiegelte sich für alle Kollektive die Höhe des prozentualen Anteils für das Leistungsmotiv in der Höhe der maximalen Leistungsfähigkeit wider. So hatte der Leistungsgedanke für die beiden Mountainbikekollektive, entsprechend ihrer im Vergleich der Probandenkollektive höchsten maximalen Leistungsfähigkeit, mit anteilig jeweils über 70 Prozent im Vergleich zu den anderen Probandenkollektiven die höchste Bedeutung, dicht gefolgt von den »Rennradfahrern«. Für die »Alltags-

fahrradfahrer«, mit der im Vergleich zu den anderen Probandenkollektiven niedrigsten maximalen Leistungsfähigkeit, spielte dieses Motiv nur eine untergeordnete Rolle (Abbildung 5.1–7).

Motiv	Mountainbiker-1 (n=61)			Mountainbiker-2 (n=31)			Rennradfahrer (n=38)			Alltagsfahrradfahrer (n=17)		
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Rang	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Rang	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Rang	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit (%)	Rang
Spaß und Freude am Radfahren	59	96,7	1	29	93,5	1	26	65,0	3	11	64,7	3
Erholung	39	63,9	5	5	16,7	7	11	27,5	7			
Gesundheit	48	78,7	2	18	60,0	5	28	70,0	1	12	70,6	2
Leistung/Training	43	70,5	3	23	74,2	3	27	67,5	2	2	11,8	5
Natur	41	67,2	4	23	74,2	3	14	35,0	6			
Fortbewegung	27	44,3	7	21	72,4	2	17	42,5	4			
Umweltbewußtsein	29	50,0	6	15	48,4	6	15	37,5	5	13	76,5	1
Sonstiges				1	3,2	8	4	10,0	8	7	41,2	4

Abbildung 5.1–7: Motivation zum Fahrradfahren für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich (In den ersten drei aufgeführten Teilstudien wurden die Angaben zu „trifft ziemlich zu“ und „trifft völlig zu“ zusammengefaßt.)

Resümee

Zusammenfassend ist hervorzuheben, daß die 4 untersuchten Probandenkollektive insgesamt über eine fahrradergometrisch erhobene überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit verfügten. Am deutlichsten war diese bei den beiden Mountainbikekollektiven und am geringsten bei den »Alltagsfahrradfahrern« ausgeprägt. Es kann angenommen werden, daß die insgesamt überdurchschnittliche Leistungsfähigkeit und auch die jeweilige unterschiedliche Höhe der maximalen Leistungsfähigkeit bei den verschiedenen Untersuchungskollektiven auf trainingsbedingte Faktoren zurückzuführen sind. Diese betreffen die Regelmäßigkeit des betriebenen Trainings, das Ausmaß des wöchentlich ausgeführten Trainingsumfangs, insbesondere für den schwerpunktmäßig ausgeübten Ausdauersport, sowie die spezifische Motivation.

5.1.2 Quantität der gewählten Belastungsparameter beim breitensportlichen Fahrradfahren von Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern in der Übersicht

Die im Feldtest gewählten Belastungen beim breitensportlichen Fahrradfahren ohne Intensitätsangabe diskriminierten je nach Teilstudie teilweise sehr deutlich (Abbildung 5.1–8).

Teilstudie	n		P _{mw} (Watt)	H _{fmw} (1/min)	T _{fmw} (1/min)	v _{mw} (km/h)	s (km)	t-ges (hh:mm:ss)	t-pause (%)	Tf-pause (%)	La (mmol/l)
Mountainbiker-1	61	\bar{x}	174,5	147,8	62,1	19,5	28,676	01:31:57	2,1	8,7	3,1
		$\pm s$	38,0	16,4	9,3	3,2	9,460	00:30:45	3,0	5,2	1,6
Mountainbiker-2	31	\bar{x}	227,2	162,5	64,5	20,7	13,469	00:40:01	0,3	8,9	6,5
		$\pm s$	31,9	14,7	8,2	3,3	1,522	00:04:38	0,5	4,8	2,2
Rennradfahrer	40	\bar{x}	163,2	144,0	65,7	26,6	27,273	01:02:02	2,6	6,6	3,4
		$\pm s$	33,6	16,5	12,7	3,7	11,752	00:20:40	2,5	4,6	1,5
Alltagsfahrrad- fahrer	17	\bar{x}	82,0	125,0	47,8	17,9	14,383	00:50:22	5,0	7,8	-
		$\pm s$	17,5	16,9	7,3	1,7	7,310	00:25:37	3,3	5,1	-

Abbildung 5.1–8: Ausgesuchte Feldtestdaten für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Die höchste mittlere Belastungsintensität bezogen auf die mittlere Leistung und die mittlere Herzfrequenz in der kürzesten Fahrtzeit wiesen die »Mountainbiker-2« auf; es folgten die »Mountainbiker-1« mit der insgesamt längsten Fahrtzeit und danach die »Rennradfahrer«. Die deutlich geringste mittlere Belastungsintensität zeigte sich bei den »Alltagsfahrradfahrern«.

Der mittlere maximale Laktatspiegel am Ende der Feldtestfahrt lag für die »Mountainbiker-1« und die »Rennradfahrer« im aeroben Stoffwechselbereich bei ca. 3 mmol/l Laktat, bei den »Mountainbikern-2« entsprechend der vergleichsweise deutlich höheren mittleren Leistung im Feldtest bei jedoch etwas geringerer maximaler Leistungsfähigkeit erwartungsgemäß im überwiegend anaeroben Stoffwechselbereich bei im Mittel ca. 6,5 mmol/l.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob der relativ hohe Laktatwert der »Mountainbiker-2« durch einen Endspurt oder durch eine Laktatakkumulation einer insgesamt leicht anaeroben Belastung bedingt war. Für die Beantwortung der Frage soll die für jede Runde errechnete Zeit und ermittelte mittlere Herzfrequenz herangezogen werden, denn Laktat wurde nur nach der gesamten Belastung abgenommen. Für eine Laktatakkumulation einer insgesamt leicht anaeroben Belastung spräche ein Herzfrequenzanstieg im Sinne eines Ermüdungsanstieges, wie ihn MÜLLER (1961) beschrieb, über die gesamte Fahrtzeit bei vergleichbaren Rundenzeiten, für einen Endspurt vergleichbare Herzfrequenzen und Rundenzeiten bis in die vierte Runde sowie eine höhere mittlere Herzfrequenz und kürzere Rundenzeit für die letzte Runde. Da sich die mittlere Herzfrequenz ab der zweiten Runde in einem Steady state einpendelte, um in der letzten Runde im Vergleich zu den übrigen Runden signifikant höher auszufallen (Abbildung 3.4-4 und Abbildung 3.4-5), und nur die letzte Rundenzeit im Vergleich zu allen anderen Rundenzeiten signifikant geringer ausfiel, spricht dies für einen Endspurteffekt.

Ein Grund für die im Feldtest beobachteten diskriminierenden Belastungsintensitäten der verschiedenen Probandenkollektive ist sicherlich in der Motivation bei Ausübung des Fahrradsports zu sehen. So spielte der Leistungsgedanke für die »Mountainbiker-2« die größte Rolle, gefolgt von den »Mountainbikern-1« und danach von den »Rennradfahrern«. Für die »Alltagsfahrradfahrer« hingegen hatte der Leistungsgedanke eine verschwindend kleine Bedeutung, für dieses Kollektiv ist das Umweltbewußtsein der hauptsächliche Antrieb für das Fahrradfahren

(Abbildung 5.1–7). Die von den verschiedenen Probandenkollektiven gewählten unterschiedlichen Belastungsintensitäten lassen sich somit durch die mehr oder weniger leistungsmotivierte Ausübung des Fahrradsports erklären.

Die im Feldtest beobachteten unterschiedlichen Belastungsintensitäten der verschiedenen Probandenkollektive könnten zudem durch die Ausübung der entsprechenden Fahrraddisziplin bedingt sein. Da jedoch die Wahl der Belastungsintensität multikausalen Zusammenhängen unterliegt, soll an dieser Stelle von einer weiteren Erörterung abgesehen werden. Herauszustellen ist in diesem Zusammenhang jedoch, daß die »Alltagsfahrradfahrer« vermehrt verkehrsbedingt anhalten oder verlangsamen müssen - bei etwa 94 % der »Alltagsfahrradfahrern« fanden sich mindestens 4 Stopps pro einfache Strecke (Abbildung 3.1-32) - und von daher gar nicht so hohe Belastungsintensitäten wie Rennradfahrer oder Mountainbiker erlangen können. Eine relativ niedrige Belastungsintensität könnte von daher bei den »Alltagsfahrradfahrern« als disziplinspezifisch gewertet werden.

Ein Belastungsparameter, der stark die Belastungsintensität beeinflusst, ist die Tretfrequenz. So diskriminierten im Vergleich der Probandenkollektive entsprechend der Belastungsintensitäten auch die mittleren Tretfrequenzen; insgesamt fielen diese in allen Teilstudien recht niedrig aus. Bei den »Rennradfahrern« lagen sie bei 67 U/min, bei den beiden Mountainbikekollektiven zwischen 62 und 65 U/min, bei den »Alltagsfahrradfahrern« gar bei 48 U/min. Unter der Berücksichtigung, daß in den einzelnen Teilstudien bei 6-9 % aller Belastungswerte nicht pedaliert wurde ($T_f=0$), relativieren sich die Tretfrequenzmittelwerte hingegen wieder. Die mittlere Belastungstretfrequenz muß daher, wie in Kapitel 5.1.4 näher dargestellt, wesentlich höherer liegen.

Die Diskrepanz der mittleren Tretfrequenzen im Vergleich der Probandenkollektive könnte zum einen auf die Motivation und zum anderen auf die spezifische Disziplin zurückzuführen sein. So läßt eine mehr leistungsbetonte Ausübung des Fahrradsports, wie dies für die beiden Mountainbikekollektive und die »Rennradfahrern« zutrifft, auch höhere Tretfrequenzen erwarten. Höhere Tretfrequenzen ergeben wiederum - bei vergleichbarem Kräfteinsatz - eine entsprechend höhere Leistung. Die tendenziell höheren mittleren Tretfrequenzen der »Rennradfahrer« gegenüber den beiden Mountainbikekollektiven könnten auch disziplinspezifisch begründet sein. So ist zu vermuten, daß das mountainbikespezifische Fahren im Gelände das Pedalieren mit höheren Tretfrequenzen weniger zuläßt als das rennradspezifische Fahren auf der Straße. Die relativ niedrigen mittleren Tretfrequenzen bei den »Alltagsfahrradfahrern« erklären sich u. a. vor dem Hintergrund, daß die Verkehrssituation teilweise keine hohen Tretfrequenzen mit resultierenden hohen Tempi zuläßt.

Auf disziplinspezifischen Ursachen beruhend können weiterhin folgende Auffälligkeiten gewertet werden:

- ◆ Beim Rennradfahren waren im Vergleich zu den anderen Disziplinen die höchsten Durchschnittsgeschwindigkeiten zu beobachten (Abbildung 5.1–8), d. h. es wurden in der gleichen Zeit längere

Strecken zurückgelegt. Dies erklärt sich durch den geringeren Rollwiderstand beim überwiegenen Fahren auf asphaltierten Straßen und einer eher kontinuierlichen Belastung im Vergleich zum Mountainbiking. Bei beiden Mountainbikekollektiven fielen die Durchschnittsgeschwindigkeiten deutlich niedriger aus (Abbildung 5.1–8); es ist anzunehmen, daß dies das Resultat höherer Rollwiderstände aufgrund des Fahrens im Gelände auf unterschiedlichen Böden (Abbildung 3.3-36) und mit unterschiedlichen Steigungen (Abbildung 3.3-38) ist. Die in Relation zu den übrigen Kollektiven niedrigste Durchschnittsgeschwindigkeit der »Alltagsfahrradfahrern« ist vermutlich durch verkehrsbedingte Stopps (Abbildung 3.1-32) bzw. Temporeduzierungen zu begründen.

- ◆ Beide Mountainbikekollektive erbrachten im Vergleich zum Rennradfahren (Abbildung 5.1–8) im Mittel jeweils höhere Leistungen bei geringerer Geschwindigkeit. Auch dieses Phänomen läßt sich durch die im Vergleich zum Rennradfahren geländebedingten höheren Rollwiderstände beim Mountainbiking erklären. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß beim Mountainbiking höhere Leistungen bei geringerer Durchschnittsgeschwindigkeit erforderlich sind, um die geländebedingten höheren Rollwiderstände zu bewältigen.
- ◆ Die »Alltagsfahrradfahrer« zeigten gegenüber den anderen Untersuchungskollektiven insgesamt den höchsten Anteil an Belastungspausen, d. h. hier war sowohl die Geschwindigkeit als auch die Tretfrequenz gleich Null. Es ist anzunehmen, daß auch dies durch verkehrsbedingte Stopps (Abbildung 3.1-32) zu erklären ist. Höhere Anteile an Belastungspausen beim »Fahrradfahren im Alltag« könnten somit disziplinspezifisch sein.
- ◆ Die beiden Mountainbikekollektive wiesen im Vergleich der Kollektive die höchsten Anteile an Tretfrequenzpausen auf, d. h. hier war nur die Tretfrequenz gleich Null. Etwas niedriger fielen die Anteile bei den »Alltagsfahrradfahrern« aus, die geringsten Anteile an Tretfrequenzpausen waren bei den »Rennradfahrern« zu beobachten. Ein Erklärungsmodell hierfür könnte wie folgt aussehen.
Die doch insgesamt relativ hohen Anteile an Tretpausen lassen sich für die »Mountainbiker« und die »Rennradfahrer« auf die Bodenbeschaffenheit und das Gefälle der Fahrtstrecken zurückführen. Zu vermuten ist, daß Mountainbiker in Gefällestücken vermehrt "rollen" lassen oder auch abbremsen, um das Gelände noch kontrollieren zu können. Da Rennradfahrer in der Regel auf einem ebenen Boden und einem leichter beherrschbaren Boden wie z. B. einer asphaltierten Straße fahren, zeigen diese deutlich niedrigere Anteile an Tretpausen. Jedoch lassen auch die Rennradfahrer zu bestimmten Anteilen noch "rollen", verkehrsbedingt oder auch um bergab nicht zu schnell zu werden. Die relativ hohen Werte an Tretpausen bei den »Alltagsfahrradfahrern« können ebenso auf verkehrsbedingten Temporeduzierungen durch "Rollenlassen" oder Abbremsen beruhen.

Resümee

Im Vergleich der Belastungskollektive diskriminierten die im Feldtest beobachteten mittleren Belastungen teilweise stark; dies kann zum einen auf die Motivation bei der Ausübung des Fahrradsports und zum anderen auf die jeweiligen disziplinspezifischen Besonderheiten zurückzuführen sein.

5.1.3 Leistung und Herzfrequenz beim Breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Die Mittelwertbetrachtungen der im Feldtest erhobenen Belastungsparameter (Abbildung 5.1–8) vermögen nur teilweise ein Bild über die Höhe der tatsächlichen Belastung zu vermitteln, besonders wenn die Standardabweichungen der Mittelwerte für die Einzelfahrten relativ hoch ausfallen, wie dies in der vorliegenden Untersuchung der Fall ist. Für die Leistung z. B. betragen in allen Teilstudien die Standardabweichungen mindestens die Hälfte der Mittelwerte der Einzelfahrten (Abbildung 5.1–9).

		P (Watt)	
		Mittelwert der Einzelfahrten	Standardabweichung der Einzelfahrten
Mountainbiker-1	61 \bar{x}	174,5	103,6
	$\pm s$	38,0	28,7
Mountainbiker-2	31 \bar{x}	227,2	139,3
	$\pm s$	31,9	21,7
Rennradfahrer	40 \bar{x}	163,2	82,4
	$\pm s$	33,6	15,4
Alltagsfahrradfahrer	17 \bar{x}	82,0	48,9
	$\pm s$	17,5	13,6

Abbildung 5.1–9: Mittelwert und Standardabweichung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Einzelfahrten für die Leistung für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Die relativ hohen Standardabweichungen der Mittelwerte für die Einzelfahrten erklären sich bei Betrachtung typischer Belastungsprofile in Form von Leistungs- und Herzfrequenzprofilen exemplarischer Trainingsfahrten der einzelnen Teilstudien (Abbildung 5.1–10, Abbildung 5.1–11).

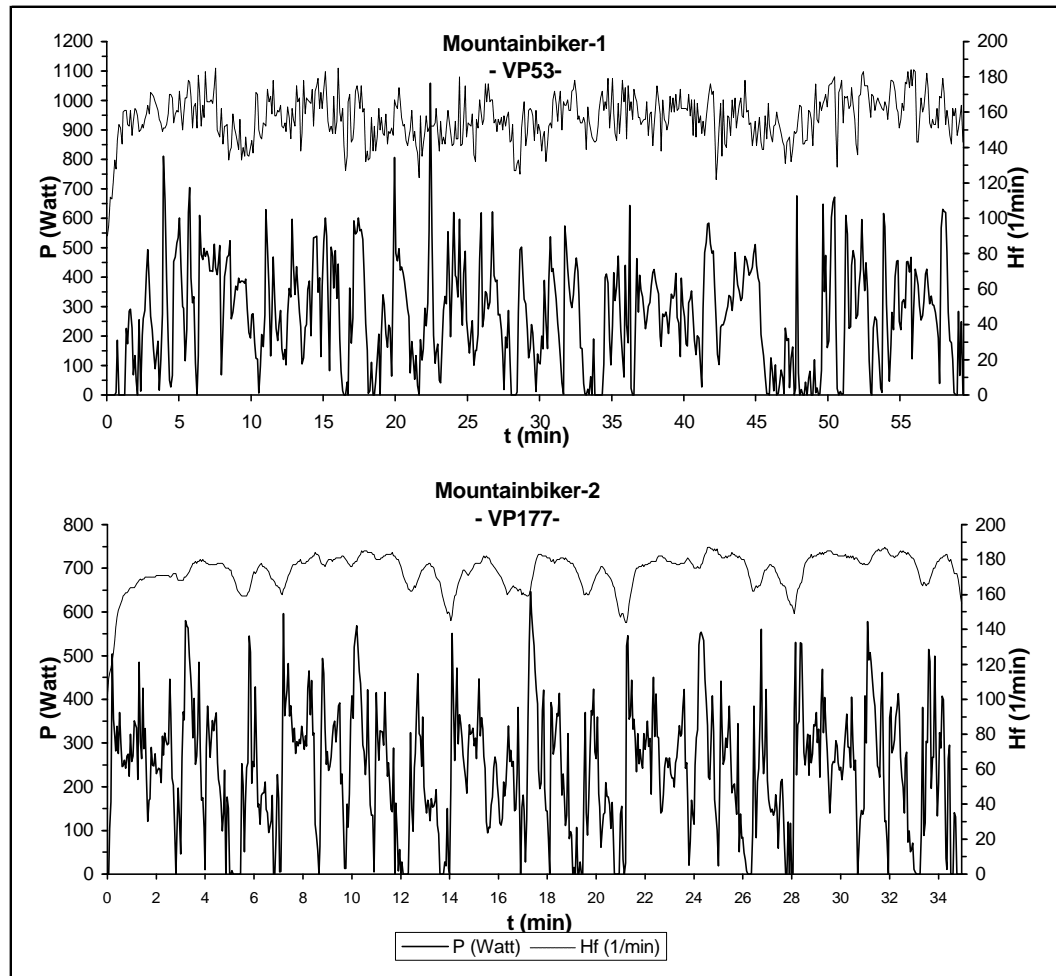


Abbildung 5.1–10: Leistungs- und Herzfrequenzprofil jeweils einer exemplarischen Mountainbikefahrt der »Mountainbiker-1« sowie der »Mountainbiker-2«

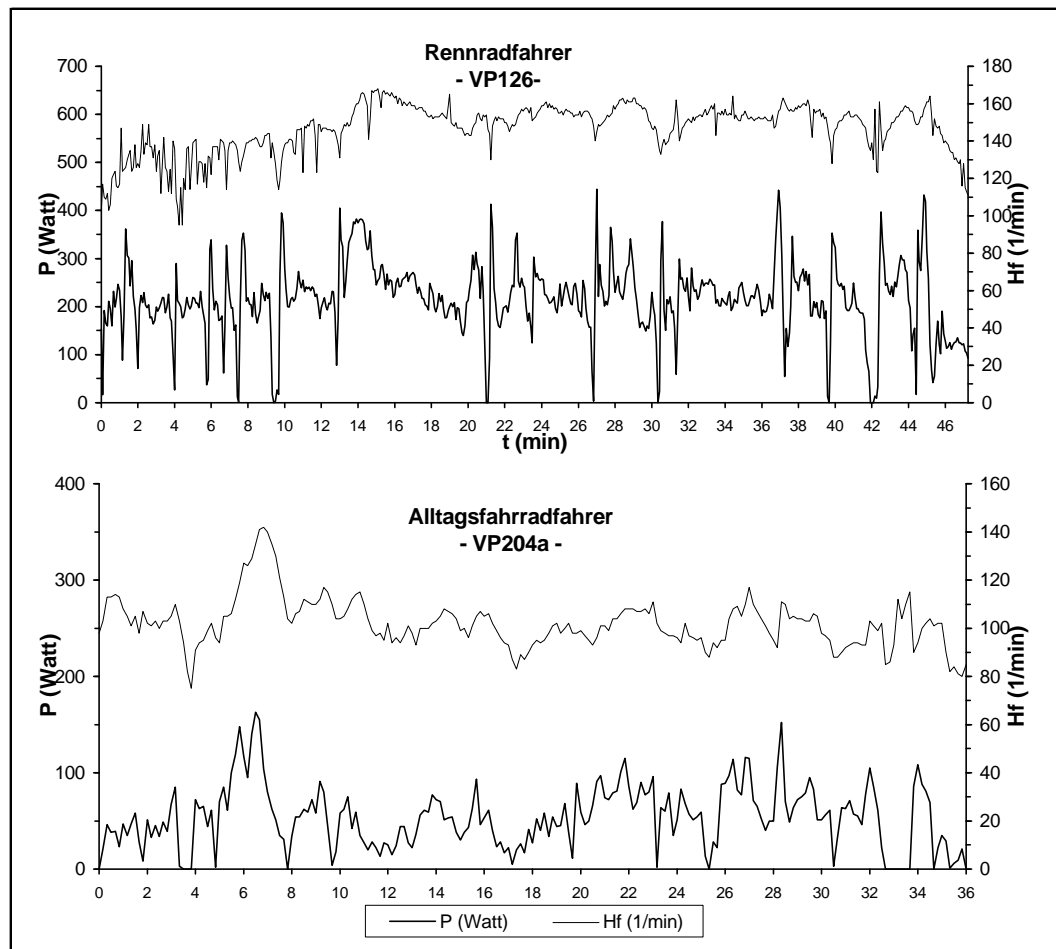


Abbildung 5.1–11: Leistungs- und Herzfrequenzprofil einer exemplarischen Rennradtrainingsfahrt und einer exemplarischen Fahrradfahrt zur Arbeit

Leistungsprofile

Mountainbiking

Die typischen Belastungsprofile der »Mountainbiker« waren gekennzeichnet durch eine sehr große Schwankungsbreite mit sehr hohen Belastungsspitzen sowie durch eine sehr hohe Variabilität der Leistungskurve (Abbildung 5.1–10).

Die bei den »Mountainbikern« sehr ausgeprägte und im Vergleich der Untersuchungskollektive größte Schwankungsbreite der Leistung zeigte sich u. a. durch die vergleichsweise höchsten mittleren maximalen Spitzenleistungen mit 579,7 Watt der »Mountainbiker-1« bzw. 726,1 Watt der »Mountainbiker-2«, (Abbildung 5.1–12). Extreme Belastungsspitzen von über 700 Watt lagen bei fast einem Viertel der »Mountainbiker-1« und bei fast Zweidrittel der »Mountainbiker-2« vor. Die Belastungsspitzenwerte der einzelnen »Mountainbiker« erreichten Dimensionen, welche im Mittel etwa doppelt so hoch und vereinzelt sogar etwa dreifach so hoch waren wie deren fahradergometrisch ermittelte Maximalleistung.

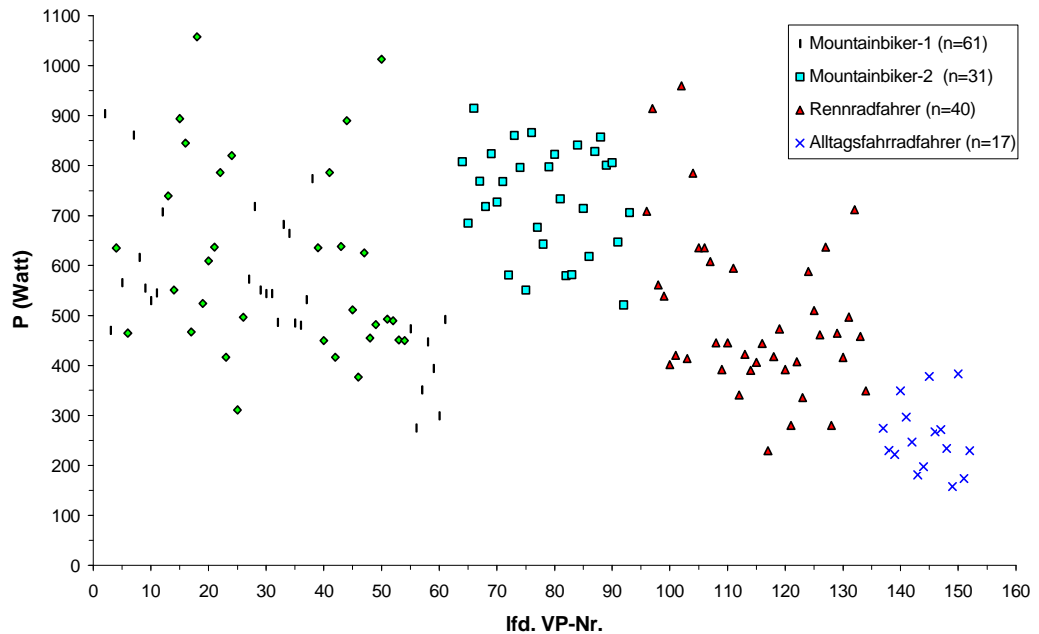


Abbildung 5.1–12: Maximale Spitzenleistungen (Watt) im Feldtest für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Die extreme Höhe der Leistungsspitzen beim Mountainbiking kann ursächlich zum einen auf die Überwindung disziplinspezifischer Geländebedingungen - wie unterschiedliche Böden (Abbildung 3.3-36) und unterschiedlichen Steigungen (Abbildung 3.3-38) - zum anderen auf die relativ hohe Leistungsmotivation (Abbildung 5.1–7) bei Ausübung dieser Disziplin zurückzuführen sein. Für die Annahme, daß die relativ hohen Belastungsspitzen auf die Bewältigung der Geländebedingungen zurückzuführen sind und somit als disziplinspezifisch zu werten sind, spricht die Tatsache, daß die »Rennradfahrer« bei nur geringfügig geringerer Leistungsmotivation geringere Belastungsspitzen aufwiesen als die »Mountainbiker« (Abbildung 5.1–12). Zudem zeigt die Teilstudie zum »Vergleich verschiedener Böden« (Kapitel 3.5, Kapitel 5.3.1) ganz deutlich, daß das Fahren im Gelände auf Böden wie Wald-, Feld- oder gar Wattboden bei subjektiv gewählter geringer und mittlerer Geschwindigkeit ausnahmslos mit jeweils höheren Leistungen verbunden ist, als vergleichsweise das Fahren auf der Straße (Abbildung 3.5-8), wie dies für das Rennradfahren oder das »Fahrradfahren im Alltag« eher typisch ist. Bezogen auf eine absolut gleiche Geschwindigkeit von 19 km/h mußte z. B. beim Radfahren auf Wattboden eine dreimal so hohe Leistung erbracht werden als beim Radfahren auf der Straße (311,1 Watt versus 99,5 Watt) (Abbildung 5.3-2). Die hohen Leistungswerte sind somit als ein Resultat der mountainbikespezifischen Geländebedingungen anzusehen.

Letztendlich sind die höheren Belastungsspitzenwerte entsprechend der größeren Schwankungsbreite der »Mountainbiker« vermutlich auf einen im Vergleich zum Rennradfahren deutlich höheren Krafteinsatz zurückzuführen. Dies ist anzunehmen, da im Mittel die Tretfrequenzen beim Mountainbiking etwas niedriger ausfielen als beim Rennradfahren und dennoch höhere Leistungen - als Produkt von Tretfrequenz und Kraft - bei den »Mountainbikern« resultierten (Abbildung 5.1–8). Bestätigt wird dieses Ergebnis auch durch den Verlauf der anteilmäßigen Belegung der

Leistungs- und Tretfrequenzklassen im Vergleich der verschiedenen Probandenkollektive. So belegten die »Mountainbiker« im Vergleich zu den »Rennradfahrern« einerseits einen anteilmäßig geringeren Anteil an höheren Tretfrequenzen zwischen 91-110 U/min (Abbildung 5.1–17), andererseits hingegen einen anteilmäßig höheren Anteil im Bereich der hohen Leistungsklassen ab 231 Watt (Abbildung 5.1–13). Daraus läßt sich ableiten, daß eine relativ große Kraftkomponente die entsprechend hohe Leistung beim Mountainbiken bedingt, und somit die Kraftkomponente erwiesenermaßen beim Mountainbiken eine größere Rolle als beim Rennradfahren und »Fahrradfahren im Alltag« spielt.

Ein weiteres Charakteristikum der sehr hohen Leistungsspitzenwerte ist, daß diese nur sehr kurzfristig, d. h. im Sekundenbereich liegend, erbracht werden. Das ist wiederum der Grund dafür, daß sie sich in so hohen Dimensionen bewegen können. Eine deutlich längerdauernde Aufrechterhaltung dieser Leistungen im Ausdauerbereich wäre physiologisch gar nicht möglich.

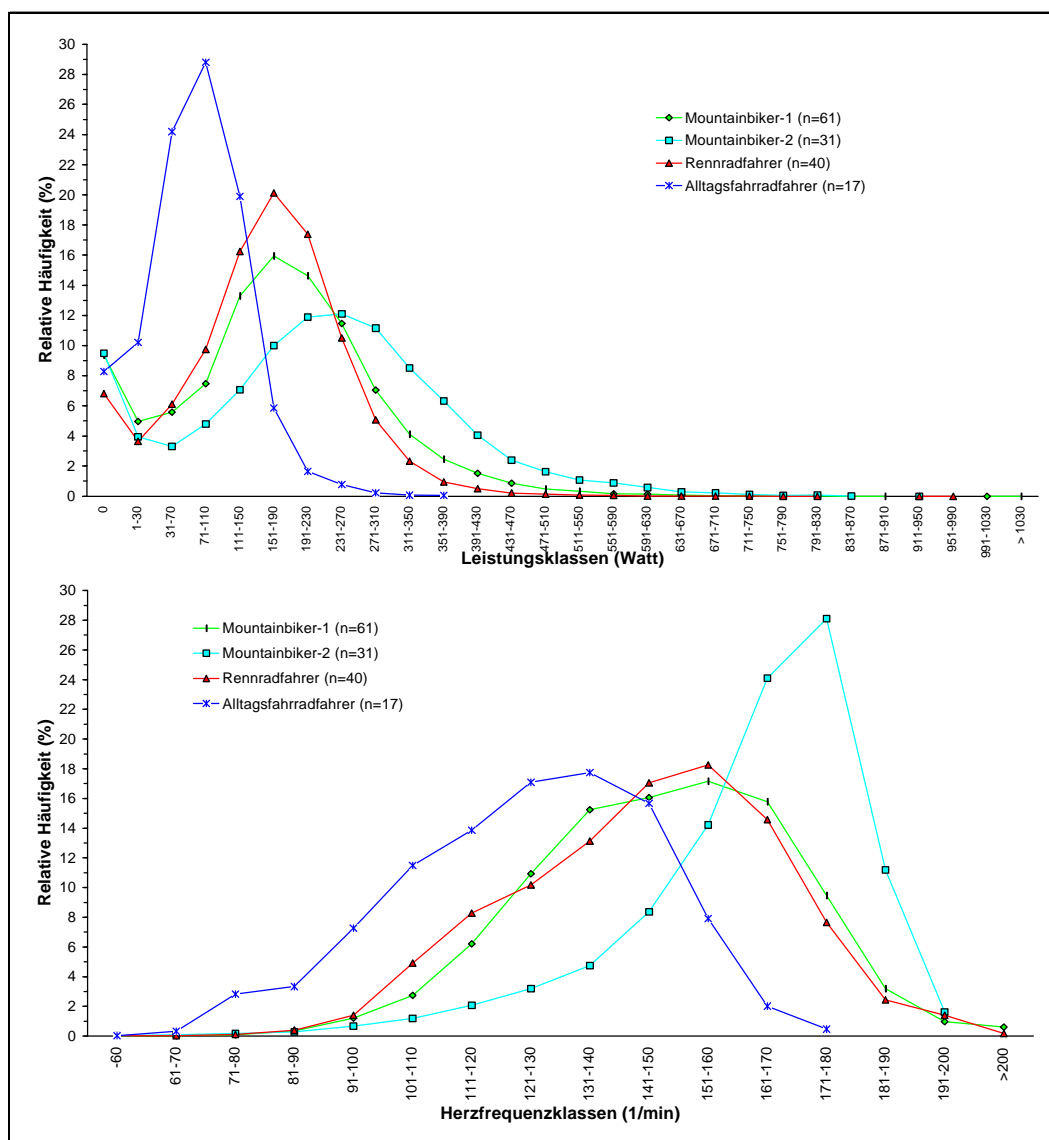


Abbildung 5.1–13: Mittlere relative Häufigkeiten der Leistungs- und Herzfrequenzklassen für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Neben den insgesamt sehr hohen Leistungen beim Mountainbiking scheint zur Bewältigung des Geländes zudem die Belegung einer breiten Palette an erbrachter Leistung typisch zu sein, wie der anteilmäßige Verlauf der relativen Häufigkeiten in Leistungsklassen im Vergleich der Probandenkollektive vermuten läßt. So zeichneten sich die »Mountainbiker« im Vergleich der Probandenkollektive durch einen in höheren Leistungsbereichen liegenden sowie flacheren und breiteren Verlauf aus (Abbildung 5.1–13).

Die im Vergleich zum Rennradfahren höhere Variabilität der Leistung beim Mountainbiking läßt sich wie folgt erklären. Die mountainbikespezifischen Geländebedingungen - d. h. der Wechsel bzw. die verschiedenen Rollwiderstände der Böden, Hindernisse und die häufige Änderung der Steigung bzw. des Gefälles des Geländes - erfordern beim Mountainbiking im Vergleich zum Rennradfahren eine höhere Beschleunigungsarbeit, da das Tempo häufig geländebedingt reduziert wird. Auch wurde mit im Vergleich zum Rennradfahren stärker variierenden Tretfrequenzen pedaliert (vgl. Kapitel 5.1.4). Beide Faktoren, ein beim Mountainbiking im Vergleich zu Rennradfahren stärker variierender Krafteinsatz entsprechend der vermehrten Beschleunigungsarbeit und die stärker variierende Tretfrequenz bedingen wiederum die vergleichsweise höhere Variabilität der Leistung beim Mountainbiking.

Daß von einer variierenden Kraftkomponente beim Mountainbiking ausgegangen werden muß, erklärt sich zudem durch folgende Beobachtung. Die Variabilität der Tretfrequenz war generell bei allen Disziplinen etwas weniger ausgeprägt als die der Leistung, infolgedessen muß zusätzlich eine variierende Kraftkomponente die sehr hohe Variabilität der Leistung bedingen.

Rennradfahren

Die Leistungskurve der »Rennradfahrer« wies im Vergleich zu den »Mountainbikern« eine geringere Schwankungsbreite und auch geringere Variabilität auf (Abbildung 5.1–11). Die Leistung blieb annähernd auf einem Niveau, von dem aus die Leistung kurzzeitig anstieg oder abfiel.

Wenn auch die mittleren Belastungsspitzenwerte mit 502,1 Watt (Abbildung 5.1–12) und der relative Anteil von extremen Belastungsspitzen von über 700 Watt mit einem Achtel der »Rennradfahrer« (12,2 %) deutlich niedriger als bei den »Mountainbikern« ausfielen, bewegten sich die mittleren Belastungsspitzenwerte wie bei den »Mountainbikern« in relativ hohen Dimensionen entsprechend der etwa zweifachen bzw. vereinzelt sogar dreifachen fahrradergometrisch ermittelten Maximalleistung. Wie bei den »Mountainbikern« wurden die Leistungsspitzenwerte nur recht kurzfristig, d. h. im Sekundenbereich, erreicht; dies ist wiederum der Grund für die enorme Höhe dieser Leistungsspitzenwerte. Ursächlich können die absolut hohen Leistungsspitzenwerte zum einen auf eine überwiegende Leistungsmotivation der Probanden (Abbildung 5.1–7), zum anderen auf disziplinspezifische Bedingungen zurückgeführt werden. So scheint das Fahren auf einem relativ widerstandsarmen Boden, wie dem Asphalt, den freizeitsportlichen »Rennradfahrern« geringere Leistungsspitzenwerte (Abbildung 5.1–12), bzw. eine insgesamt geringere Belegung

der hohen Leistungsklassen z. B. gegenüber den »Mountainbikern« (Abbildung 5.1–13), entsprechend der im Vergleich zum Mountainbiking geringeren Schwankungsbreite, abzuverlangen. Da die »Rennradfahrer« im Mittel geringfügig höhere Tretfrequenzen als die »Mountainbiker« wählten (Abbildung 5.1–8, Kapitel 5.1.4), muß ursächlich für die geringeren Leistungsspitzenwerte im Vergleich zum Mountainbiking ein geringerer Kraftaufwand bestehen. Unterstützt wird diese Annahme durch die Beobachtung, daß die »Rennradfahrer« im Vergleich zu den »Mountainbikern« zu einem geringeren Anteil die hohen Leistungsklassen ab 231 Watt (Abbildung 5.1–13) als auch zu höheren Anteilen die hohen Tretfrequenzklassen im Bereich von 91-110 U/min belegten (Abbildung 5.1–17). Aufgrund eines geringeren Kraftaufwandes beim Rennradfahren im Vergleich zum Mountainbiking ist zur Bewältigung der äußeren Bedingungen beim Rennradfahren wie einer asphaltierten Strecke auch auf eine vergleichsweise geringere Beschleunigungsarbeit zu schließen.

Insgesamt können für das Rennradfahren auf einem relativ widerstandsarmen Boden wie dem Asphalt absolut gesehen relativ hohe, jedoch im Vergleich zum Mountainbiking geringere Leistungsspitzenwerte, bedingt durch einen relativ geringen Krafteinsatz bei geringfügig höheren Tretfrequenzen als beim Mountainbiking, als belastungscharakteristisch angenommen werden.

Die Variabilität der Leistung der »Rennradfahrer« war zwar nicht so extrem ausgeprägt wie bei den »Mountainbikern«, dennoch deutlich nachweisbar.

Zunächst stellt sich die Frage, warum beim Rennradfahren eine deutliche Variation der Leistungswerte besteht. So ließe das Fahren auf einem gleichmäßig widerstandsarmen Boden wie dem Asphalt zunächst einmal auch relativ gleichmäßige Leistungen ohne Variationen der Werte erwarten. Die dennoch deutlich nachweisbaren Variationen der Leistung müssen von daher auf anderen Faktoren beruhen.

Als Basis für die nachfolgenden Begründungen der Leistungsvariabilität ist anzuführen, daß auch beim Rennradfahren die Variabilität der Leistung etwas ausgeprägter ist als die der Tretfrequenz (Abbildung 5.1–16). Ursächlich kann somit auch für das Rennradfahren eine - wenn auch nicht so ausgeprägte wie beim Mountainbiking - variierende Kraftkomponente beim Pedalieren angenommen werden (s. Kapitel 5.1.4).

Folgende Begründungen für die Leistungsvariabilität bei den »Rennradfahrer« sind denkbar. Zum einen müssen die »Rennradfahrer« während ihrer Trainingsfahrten verkehrsbedingt anhalten bzw. das Tempo reduzieren, zum anderen wechselnde Steigungen unterschiedlichen Ausmaßes überwinden sowie eventuelle Hindernisse überwinden bzw. umfahren. Bedingt durch Kraft- und Tretfrequenzvariationen variieren dadurch auch die Leistungswerte entsprechend.

Um in diesem Zusammenhang Aufschluß über Tretfrequenzvariation bedingte Leistungsvariationen beim Rennradfahren zu erhalten, soll die Tretfrequenzvariation näher analysiert werden (Abbildung 5.1–16). So ist beim Rennradfahren die Variation der Tretfrequenz vergleichsweise zum Mountainbiking - vermutlich bedingt durch eine überwiegende Nutzung eines widerstandsarmen Bodens, dem Asphalt - wesentlich geringer aus-

geprägt, aber dennoch deutlich nachweisbar. Ursächlich für diese Tretfrequenzvariationen - unter Ausschluß von Belastungspausen - kann u. a. angenommen werden, daß die Probanden relativ häufig "rollen" lassen, wie der im Vergleich der Probandenkollektive für das Rennradfahren zwar geringste, dennoch absolut gesehen relativ hohe Anteil an Tretfrequenzpausen (Abbildung 5.1–8) vermuten läßt. Nach dem Stillhalten der Pedale wird beim Weitertreten immer wieder ein neuer Kraftimpuls erzeugt, der multipliziert mit der Tretfrequenz je nach Höhe dann einen Leistungsspeak bedingt. Weiterhin kann auch die mangelnde Koordinationsfähigkeit des Sportlers, im "Runden Tritt" fahren zu können, für variierende Tretfrequenzen und damit variierende Leistungen verantwortlich sein. Das Fahren im "Runden Tritt" beinhaltet, daß zur optimalen Kraftübertragung Druck und Zug auf die Pedale in jeder Phase des Tretvorgangs gleichmäßig und immer senkrecht zur Tretkurbel ausgeübt werden. Die beim Rennradfahren im Vergleich zum Mountainbiking beobachtete geringere Leistungsvariation ist letztendlich auf den im Vergleich zum Mountainbiking mit weniger Rollwiderständen überwiegend genutzten Boden, dem Asphalt, zu begründen. Insgesamt ist anzunehmen, daß die beim Rennradfahren resultierende Variabilität der Leistung - Ergebnis variierender Tretfrequenzen und variierender Krafteinsätze - durch den Wechsel der Geländesteigung, durch verkehrsbedingte Stopps oder Temporeduzierungen, durch Phasen des "Rollenlassens", oder die Koordinationsfähigkeit des einzelnen Sportler betreffend, im "Runden Tritt" pedalieren zu können, bedingt sein kann.

Fahrradfahren im Alltag

Die Leistungskurve der »Alltagsfahrradfahrer« wies im Vergleich der Probandenkollektive die geringste Schwankungsbreite und eine den »Rennradfahrern« vergleichbare Variabilität der Leistungswerte auf (Abbildung 5.1–11).

Die geringe und im Vergleich der Probandenkollektive am wenigsten ausgeprägte Schwankungsbreite bei den »Alltagsfahrradfahrern« zeigte sich u. a. durch die vergleichsweise niedrigsten mittleren Spitzenleistungen von 255,1 Watt, wobei die höchste insgesamt erreichte Maximalleistung der »Alltagsfahrradfahrer« bei 383 Watt lag. In Relation zur fahrradergometrisch ermittelten Maximalleistung fielen die Belastungsspitzenwerte im Feld im Mittel nur etwa ähnlich hoch bzw. vereinzelt bis etwa doppelt so hoch aus.

Der Hauptgrund für die deutlich geringere Dimension der Belastungsspitzen während der Fahrradfahrten der »Alltagsfahrradfahrer« ist in der im Vergleich zu den anderen Disziplinen wesentlich geringeren Tretfrequenzwahl anzunehmen, denn die Tretfrequenz geht direkt in die Leistungsberechnung mit ein. So erreichten die »Alltagsfahrradfahrer« im Vergleich zu den »Mountainbikern« und den »Rennradfahrern« im Mittel um jeweils ca. 20 U/min niedriger liegende mittlere Tretfrequenzen (47,8 U/min) (Abbildung 5.1–8) als auch mittlere Spitzentretfrequenzen (82,4 U/min) (Abbildung 5.1–18). Auch die Betrachtung der relativen Häufigkeitsbelegung in Leistungsklassen zeigte gegenüber den übrigen Probandenkollektiven deutlich höhere Anteile für die niedrigeren Leistungs-

klassen von 0 bis 150 Watt (Abbildung 5.1–13). In diesem Zusammenhang ist zu vermuten, daß ähnlich hohe Tretfrequenzen bei gleichem Krafteinsatz mit resultierenden höheren Leistungen wie bei den übrigen Probandenkollektiven für die »Alltagsfahrradfahrer« verkehrsbedingt nur schwer umsetzbar wären. Als weitere mitbeeinflussende Gründe für die deutlich geringere Dimension der Belastungsspitzen sind zudem die in Relation der Probandenkollektive geringste maximale Leistungsfähigkeit (Abbildung 5.1–2) und der nur verschwindend kleine Anteil der Leistungsmotivation bei der sportlichen Aktivität zu nennen (Abbildung 5.1–7).

Die Variabilität der Leistung der »Alltagsfahrradfahrer« war zwar nicht so extrem ausgeprägt wie bei den »Mountainbikern«, dennoch wie bei den »Rennradfahrern« deutlich nachweisbar.

Wie auch bei den anderen Probandenkollektiven ist die Leistungsvariabilität als Ergebnis einer Variation der Tretfrequenz und des Krafteinsatzes zu verstehen. So variiert zum einen die Tretfrequenz bei den »Alltagsfahrradfahrern« - zwar nicht so ausgeprägt wie bei den »Mountainbikern« - dennoch recht deutlich und zum anderen ist aufgrund der im Vergleich zur Leistungsvariation etwas geringeren Tretfrequenzvariation auch von einer variierenden Kraftkomponente auszugehen.

Die durch Tretfrequenz- und Kraftvariation bedingte Leistungsvariation beim »Fahrradfahren im Alltag« kann ursächlich im Vergleich zum Rennradfahren durch einen vermehrten Einfluß der Verkehrssituation bedingt sein.

So fanden sich einerseits bei gut der Hälfte der »Alltagsfahrradfahrer« im Mittel pro einfache Strecke 4-6 Stopps sowie bei 41,2 % über 6 Stopps (Abbildung 3.1-32) und andererseits Wechsel von Steigungen in unterschiedlichen Ausmaßen (Abbildung 3.1-33), welche u. a. für die Leistungsvariation verantwortlich gemacht werden können. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang der relativ hohe Anteil von im Mittel 7,8 Prozent an Tretfrequenzpausen anzuführen (Abbildung 5.1–8), in denen die Probanden die Pedale still halten und einfach "rollen" lassen; dies kann verkehrsbedingt geschehen, um nicht zu schnell zu werden, oder auch auf mangelnder Koordination beruhen. Letztendlich sind die genannten Faktoren wie verkehrsbedingte Stopps, das "Rollenlassen" oder der Wechsel von Steigungen stets mit einem vermehrten Krafteinsatz, und einem resultierenden Leistungspeak verbunden und erklären somit die beim »Fahrradfahren im Alltag« beobachtete Variabilität der Leistung.

Herzfrequenzprofile

Der Verlauf der Herzfrequenzkurve spiegelte einheitlich in allen Teilstudien den Verlauf der Leistungskurve wider, allerdings war im Gegensatz zu den Leistungsdaten die Schwankungsbreite viel geringer ausgeprägt und zeitlich etwas verzögert; auch fiel die Variabilität der Herzfrequenz etwas geringer aus (Abbildung 5.1–10, Abbildung 5.1–11).

Da die Herzfrequenz die hämodynamische Reaktion auf eine Leistungsanforderung ausdrückt, war zu erwarten, daß der Verlauf der Herzfrequenzkurve den Verlauf der Leistungskurve wiedergibt. Die gegenüber der Leistung verringerte Amplitude erklärt sich aufgrund der Kurzzeitigkeit der Belastungsspitzen und der trägen Herz-Kreislaufreaktion. Eine Belastung

müßte schon einige Minuten konstant durchgeführt werden, um eine der Belastung adäquate Herzfrequenzreaktion zu erzeugen. So konnten die kurzfristigen Belastungsspitzen nur tendenziell in der Herzfrequenzkurve wiedergegeben werden.

Das Ausmaß der Schwankungsbreite wiederum fiel je nach Teilstudie unterschiedlich aus. Die »Mountainbiker« bewegten sich im Mittel auf dem höchsten Herzfrequenzniveau, entsprechend einer mittleren Herzfrequenz von

162,5 min⁻¹ bei den »Mountainbikern-2« bzw. von 147,8 min⁻¹ bei den »Mountainbikern-1«, dicht gefolgt von den »Rennradfahrern« mit einer mittleren Herzfrequenz von 144,0 min⁻¹; mit Abstand auf dem niedrigsten Niveau befanden sich die »Alltagsfahrradfahrer« mit einer mittleren Herzfrequenz von 125,0 min⁻¹ (Abbildung 5.1–8). Da die mittleren Herzfrequenzen mit den jeweiligen mittleren Leistungen proportional korrespondieren (Abbildung 5.1–8), wie die Profile einer Trainingsfahrt (Abbildung 5.1–10; Abbildung 5.1–11) und auch die ausschließlich positiven Korrelationen beider Parameter für die Probandenkollektive bestätigten (Abbildung 5.1–20), belegt dies wiederum, daß die Herzfrequenz als hämodynamische Reaktion auf die Leistungsanforderung zu interpretieren ist.

Die insgesamt beobachtete zeitliche Verzögerung der Herzfrequenzreaktion auf die Leistungsanforderung ist eine logische Konsequenz auf die im Minutenbereich liegende Reaktionszeit der Herzfrequenz. Die beobachtete etwas geringere Variabilität der Herzfrequenzkurve im Vergleich zur Leistungskurve läßt sich auch auf die träge Herz-Kreislaufreaktion zurückführen.

Auch in der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung in Herzfrequenz- und Leistungsklassen spiegelte sich die Herzfrequenz - bei jeweiligem qualitativ andersartigem Verlauf für die verschiedenen Disziplinen - als hämodynamische Reaktion auf die jeweilige Leistungsanforderung wider (Abbildung 5.1–13).

So zeigte die Häufigkeitsverteilung in Herzfrequenzklassen für die »Alltagsfahrradfahrer« als hämodynamische Reaktion auf die relativ niedrige Leistungsanforderung einen relativ breiten und dem der »Rennradfahrer« ähnlichen - jedoch deutlich in den niedrigeren Herzfrequenzbereich verlegten - Kurvenverlauf. Die »Rennradfahrer« wiesen als hämodynamische Reaktion auf die im Vergleich zum Mountainbiking etwas geringere Belastungsanforderung auch geringere Anteile besonders im höheren Herzfrequenzbereich auf. Die »Mountainbiker« zeigten in extrem hohem Herzfrequenzbereich die höchsten Belegungsanteile - wiederum als hämodynamische Reaktion auf die im Vergleich zu den anderen Kollektiven sehr hohen Leistungsanforderungen.

Zusammenfassend spiegelte der Verlauf der Herzfrequenzkurve den Verlauf der Leistungskurve als hämodynamische Reaktion auf die Leistungsanforderung wider. Dies erfolgte allerdings aufgrund der Kurzzeitigkeit der Belastungsspitzen mit abgeschwächter Amplitude, wegen der hämodynamischen im Minutenbereich liegenden Reaktionszeit zeitlich etwas verzögert und infolge der trägen Herz-Kreislaufreaktion mit etwas geringerer Variabilität.

Resümee

Insgesamt bestanden beim Mountainbiking, Rennradfahren und »Fahrradfahren im Alltag« disziplinspezifische Besonderheiten hinsichtlich der Leistungsanforderungen und den entsprechenden hämodynamischen Reaktionen.

Für das Mountainbiking war im Vergleich zum Rennradfahren und »Fahrradfahren im Alltag« sowohl eine sehr breite Palette an erbrachter Leistung mit relativ hoher mittlerer Leistung und vereinzelt extrem hohen Belastungsspitzen als auch eine sehr große Variabilität der Leistung für die Bewältigung des Geländes notwendig. Die Leistung wurde mit einer anteilmäßig höheren Kraft erbracht als beim Rennradfahren. Typisch für das Rennradfahren auf der Straße war eine im Vergleich zu den »Mountainbikern« geringere Schwankungsbreite als auch eine geringere Variabilität der Leistung. Die Leistungen der »Alltagsfahrradfahrer« bewegten sich im Vergleich der Probandenkollektive auf dem geringsten Niveau bei einer den »Rennradfahrern« vergleichbaren deutlich nachweisbaren Variabilität.

Die diskriminierenden Ausprägungen der Leistungshöhe und Leistungsvariationen für die verschiedenen Probandenkollektive sind ursächlich auf die jeweils entsprechenden disziplinspezifischen Gegebenheiten wie vorrangig genutzter Boden, Geländebedingungen, verkehrsbedingte Einflüsse und vorrangige Motivation der Probandenkollektive sowie auf koordinative Fähigkeiten des Einzelnen zurückzuführen.

Als hämodynamische Reaktion auf die Leistungsanforderung spiegelte der Verlauf der Herzfrequenzen bei allen Disziplinen den Verlauf der erbrachten Leistungen qualitativ wider. Die Herzfrequenzkurve verlief jedoch aufgrund der Kurzzeitigkeit der Belastungsspitzen mit abgeschwächter Amplitude, wegen der hämodynamischen im Minutenbereich liegenden Reaktionszeit zeitlich entsprechend verzögert und infolge der trägen Herz-Kreislaufreaktion mit etwas geringerer Variabilität.

5.1.4 Tretfrequenzen beim Breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Wie schon in Kapitel 5.1.2 angesprochen, überraschen die in den verschiedenen Teilstudien erhobenen relativ niedrigen mittleren Tretfrequenzen; bei den »Mountainbikern« und den »Rennradfahrern« lagen sie zwischen 62 und 66 U/min, bei den »Alltagsfahrradfahrern« gar bei 48 U/min (Abbildung 5.1–8). Die beobachteten mittleren Tretfrequenzen der »Alltagsfahrradfahrer« stimmten in etwa mit dem von verschiedenen Autoren angegebenen ökonomisch günstigen Drehzahlbereich überein: 40-50 U/min als Funktion höchster Arbeitsmaxima nach GROßE-LORDEMAN/MÜLLER (1936), 45 U/min als optimales Zusammenwirken von Pedaldruck und Tretfrequenz nach HESS/SEUSING (1963), 45 U/min als Funktion minimaler kardiopulmonaler Belastung nach ECKERMANN/MILLAHN (1967) bzw. 40-50 U/min nach SCHMIDT (1967), 40-60 als Funktion des optimalen Energieumsatzes nach LÖLLGEN (1983) sowie 50-60 U/min als Funktion des Ökonomiequotienten (cal/mkp) nach

STEGEMANN et al. (1968).

Die Mittelwerte der »Rennradfahrer« und »Mountainbiker« lagen deutlich höher als es dem optimalen Wirkungsgrad entsprach; sie befanden sich im unteren Teil des empfohlenen Drehzahlbereichs von 60-80 U/min nach AUGUSTIN (1978) bzw. von 60-90 U/min nach LÖLLGEN/AUGUSTIN (1981) als auch von 60-85 U/min nach REINSCHMIDT/SÜESS (1992). Die beiden erstgenannten Autoren favorisierten aufgrund des in dem entsprechenden Drehzahlbereich zu beobachtenden minimalen Leistungsempfindens sowie der zu beobachtenden minimalen Drehzahlstreuung den angegebenen Drehzahlbereich als Optimum des Bewegungsablaufes im Sinne einer guten neuromuskulären Funktion. REINSCHMIDT/SÜESS (1992) sahen den angegebenen Drehzahlbereich als optimal entsprechend des größten Leistungswertes an der aerob-anaeroben Schwelle an.

Eine leistungsabhängige Tretfrequenzwahl im Sinne einer mit steigender Leistung zunehmenden optimalen Tretfrequenz, wie sie WOLFF (1978) beschrieb, kann auch für die vorliegende Untersuchung bestätigt werden. So wählten die »Alltagsfahrradfahrer« mit einer deutlich geringeren mittleren Leistung von 82 Watt im Mittel relativ niedrige Tretfrequenzen von 48 U/min. Die »Rennradfahrer« und »Mountainbiker« bevorzugten hingegen mit deutlich höheren mittleren Leistungen zwischen 160 und 230 Watt auch deutlich höhere Tretfrequenzen zwischen 62 und 66 U/min.

Insgesamt wären für alle untersuchten Kollektive tendenziell höhere Tretfrequenzmittelwerte zu erwarten gewesen. So konnten verschiedene Autoren bei freier Tretfrequenzwahl an Personen mit unterschiedlichem Leistungszustand mittlere Tretfrequenzen beobachten, die deutlich über dem ökonomischen Optimum lagen: für trainierte, untrainierte und kranke Personen 70-75 U/min und mehr nach LÖLLGEN/ULMER (1972), für weniger Trainierte 60-80 U/min nach MARSH/MARTIN (1997), an Radsportlern 80-90 U/min nach STEGEMANN et al. (1968) und TAKAISHI et al. (1996) sowie 70-90 U/min nach ULMER (1973a, 1973b) als auch an Radleistungssportlern 90-100 U/min nach MARSH/MARTIN (1997) und 100 U/min und mehr nach ULMER (1969, 1973a, 1973b). Die deutlich über dem ökonomisch günstigen Tretfrequenzbereich liegenden frei gewählten höheren Tretfrequenzen entsprachen nach LÖLLGEN/ULMER (1972) dem Bereich des geringsten Anstrengungserlebens, nach TAKAISHI et al. (1996) der geringsten neuromuskulären Ermüdung und nach SCHÜRCH et al. (1976) der sportlich effektiv besten Tretfrequenz. Da der geringere Wirkungsgrad bei höheren Tretfrequenzen nach ULMER (1969) durch eine höhere Leistungsbereitschaft mehr als ausgeglichen werde, forderte dieser, sich bei der Wahl der Übersetzungen im Radsport nicht am Wirkungsgradoptimum zu orientieren, sondern an den Tretfrequenzen, die frei von Radsportlern seit Jahrzehnten ausgesucht würden.

Auch in der vorliegenden Untersuchung wählten die Probanden ihre Tretfrequenzen frei. Berücksichtigt man, daß in den einzelnen Teilstudien bei 6-9 % aller Belastungswerte nicht pedaliert wurde (Tf-pause), relativieren sich die Tretfrequenzmittelwerte hingegen wieder (Abbildung 5.1-8). Die tatsächliche Belastungstretfrequenz muß von daher wesentlich höherer als die angegebenen Tretfrequenzmittelwerte liegen.

Zudem fallen bei der Betrachtung der Mittelwerte für die Einzelfahrten wie bei der Leistung die doch recht hohen Standardabweichungen der Tretfrequenz auf, welche in allen Teilstudien fast die Hälfte der Mittelwerte der Einzelfahrten ausmachten (Abbildung 5.1–14).

			Tf (1/min)	
			Mittelwert der Einzelfahrten	Standardabweichung der Einzelfahrten
Mountainbiker-1	61	\bar{x}	62,1	26,9
		$\pm s$	9,3	4,3
Mountainbiker-2	31	\bar{x}	64,3	26,6
		$\pm s$	8,2	4,3
Rennradfahrer	40	\bar{x}	65,7	24,2
		$\pm s$	12,7	5,7
Alltagsfahrradfahrer	17	\bar{x}	47,8	22,6
		$\pm s$	7,3	4,1

Abbildung 5.1–14: Mittelwert und Standardabweichung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Einzelfahrten für die Tretfrequenz für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Auch diese erklären sich bei Betrachtung typischer Tretfrequenz- und Leistungsprofile exemplarischer Trainingsfahrten der einzelnen Teilstudien (Abbildung 5.1–15, Abbildung 5.1–16).

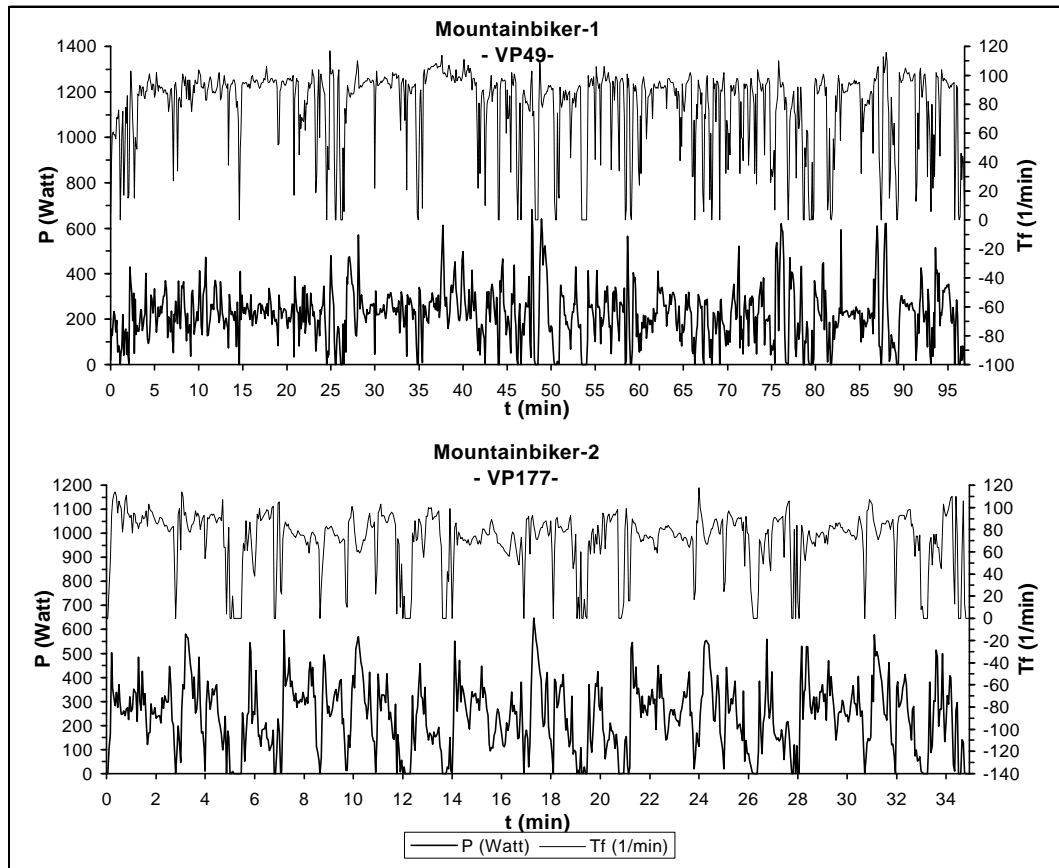


Abbildung 5.1–15: Leistungs- und Tretfrequenzprofil jeweils einer exemplarischer Mountainbike-fahrt der »Mountainbiker-1« sowie der »Mountainbiker-2«

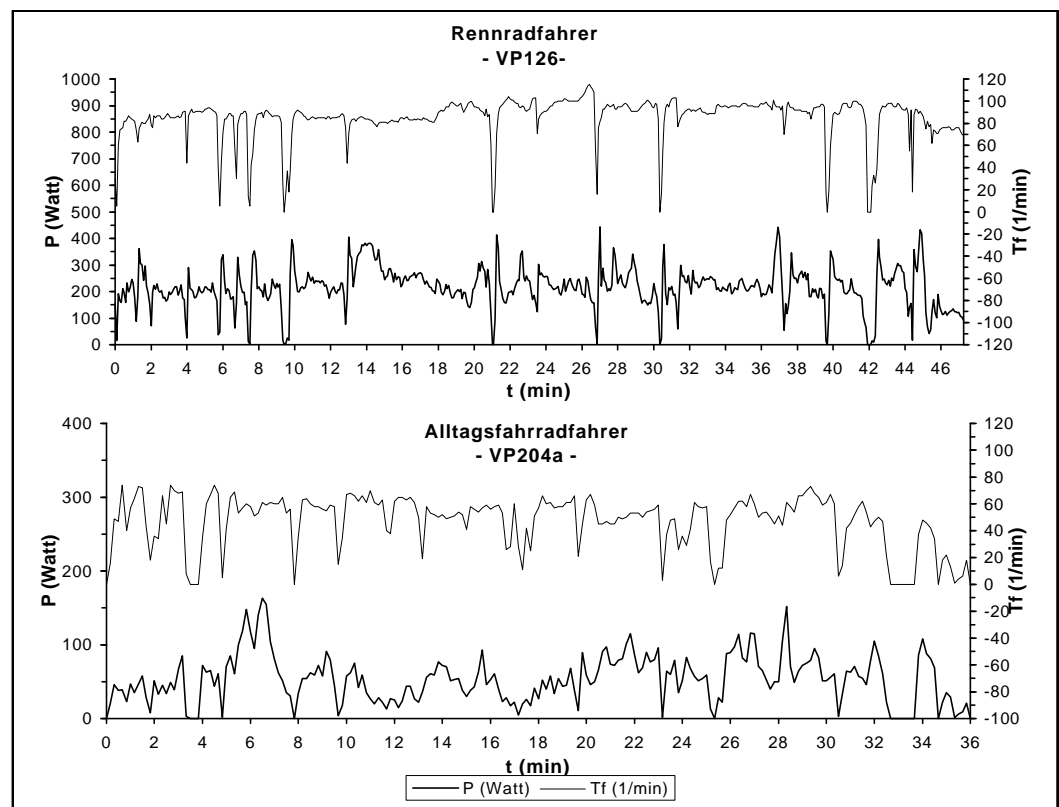


Abbildung 5.1–16: Leistungs- und Tretfrequenzprofil einer exemplarischer Rennradtrainingsfahrt und einer exemplarischen Fahrradfahrt zur Arbeit

Generell korrespondierte in allen Teilstudien die Tretfrequenzkurve erwartungsgemäß sehr eng mit der Schwankungsbreite und Variabilität der Leistungskurve, da die Tretfrequenz direkt in die Leistungsberechnung eingeht. Es fiel auf, daß Phasen des Pedalierens in höherem Tretfrequenzbereich immerzu von kurzen Phasen, in denen die Tretfrequenz gegen Null absank, unterbrochen wurden. Je nach Disziplin können hierfür gelände- oder verkehrsbedingte Gegebenheiten sowie eventuelle Koordinationsprobleme herangezogen werden. Das häufige Absinken der Tretfrequenz wiederum bedingte, daß die tatsächlich gewählten Belastungstretfrequenzen in allen Teilstudien - wie vermutet - deutlich über den entsprechenden dargestellten Mittelwerten (Abbildung 5.1–8) lagen. Der überwiegend gewählte Belastungstretfrequenzbereich betrug - wie nachfolgend unter den entsprechenden Disziplinen noch näher erläutert - für die »Mountainbiker« wie für die »Rennradfahrer« etwa 61-90 U/min, für die »Alltagsfahrradfahrer« etwa 50-70 U/min (Abbildung 5.1–17). Diese Untersuchungsergebnisse bestätigen somit die Erhebungen von LÖLLGEN/ULMER (1972), STEGEMANN et al. (1968) und ULMER (1969, 1973a, 1973b), die - wie weiter oben beschrieben - bei freier Tretfrequenzwahl sowohl an untrainierten als auch trainierten Personen deutlich über dem ökonomischen Optimum liegende höhere Tretfrequenzen beobachten konnten.

Disziplinspezifisch betrachtet ergaben sich für die jeweiligen Tretfrequenzprofile folgende Charakteristika.

Mountainbiking

Das Tretfrequenzprofil einer typischen Mountainbiketrainingsfahrt war gekennzeichnet durch eine große Schwankungsbreite sowie eine sehr hohe Variabilität und bedingte u. a. die große Schwankungsbreite sowie die sehr hohe Variabilität der Leistung (Kapitel 5.1.3).

Es wurde auf einem recht hohen Tretfrequenzniveau pedaliert. Die jeweils überwiegend genutzten Tretfrequenzen der »Mountainbiker« lagen wie bei den »Rennradfahrern« zwischen 71 und 80 U/min, wobei insgesamt der überwiegend belegte Tretfrequenzbereich bei den »Mountainbikern« etwas schmaler war als bei den »Rennradfahrern«. So wurden hohe Tretfrequenzen im Bereich 90-110 U/min von den »Mountainbikern« zu geringeren Anteilen genutzt als vergleichsweise von den »Rennradfahrern« (Abbildung 5.1–17). Hieraus läßt sich schlußfolgern, daß das Gelände beim Mountainbiking die Wahl von derartig hohen Tretfrequenzen all zu häufig nicht zuläßt. Höhere Tretfrequenzen wären mit einem noch höheren Krafteinsatz verbunden, der beim Mountainbiking ohnehin durch die vergleichsweise zum Rennradfahren vermehrt zu leistende Beschleunigungsarbeit schon erhöht ist. Daß beim Mountainbiking gegenüber dem Rennradfahren ein erhöhter Kraftaufwand besteht, ist zudem aus den beobachteten höheren mittleren Leistungen der »Mountainbiker« gegenüber den »Rennradfahrern« bei etwas geringeren mittleren Tretfrequenzen (Abbildung 5.1–8) abzuleiten. Dennoch können vereinzelt auch sehr hohe Tretfrequenzen beim Mountainbiken erreicht werden, wie die maximalen Spitzentretfrequenzen belegen. So wiesen 82 % der

»Mountainbiker-1« und alle »Mountainbiker-2« Spitzentretfrequenzen über 100 U/min bis 144 U/min auf (Abbildung 5.1–18).

Die beobachtete sehr hohe Variabilität der Tretfrequenz beim Mountainbiking kann auf die für das Mountainbiking typische gegenüber dem Rennradfahren vermehrt positive als auch negative Beschleunigung zurückgeführt werden. So wird einerseits der Mountainbiker durch die mit wechselnden Widerständen verbundenen Geländebedingungen immer wieder abgebremst oder geländebedingt zum Abbremsen animiert, andererseits muß der Mountainbiker aufgrund ständiger geländebedingter Temporeduzierungen immer wieder neu beschleunigen, um ein gewisses Durchschnittstempo zu erreichen. Diese negative oder auch positive Beschleunigung ist sowohl mit variierenden Kräfteinsätzen und selbst bei dem Einsatz einer Gangschaltung auch mit variierenden Tretfrequenzen verbunden. Der mit 8,7 bzw. 8,9 Prozent im Vergleich zu der Probandenkollektive höchste Anteil an Tretfrequenzpausen ($T_f\text{-pause}/T_f=0$) bei den »Mountainbikern« (Abbildung 5.1–17) ist somit Ausdruck der negativen Beschleunigung und als mountainbikespezifisch zu werten. Dieser relativ hohe Anteil an Tretfrequenzpausen und die insgesamt sehr große Variabilität der Tretfrequenz weist zudem darauf hin, daß es beim Mountainbiking im Vergleich zu den anderen Disziplinen geländebedingt am schwierigsten ist, eine konstante Tretfrequenz zu halten, d. h. im "Runden Tritt" zu pedalieren.

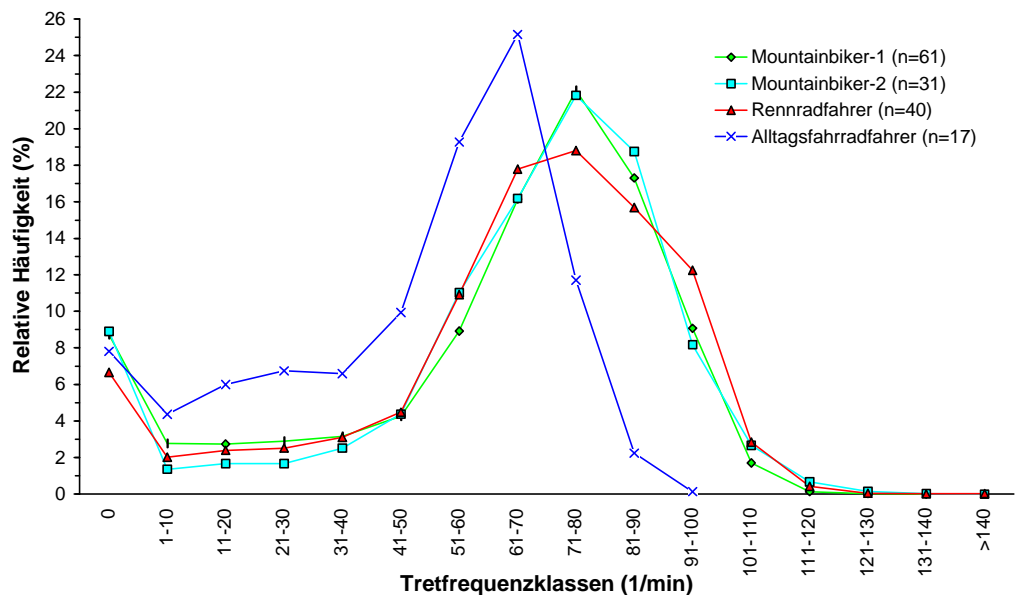


Abbildung 5.1–17: Mittlere relative Häufigkeiten der Tretfrequenzklassen für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

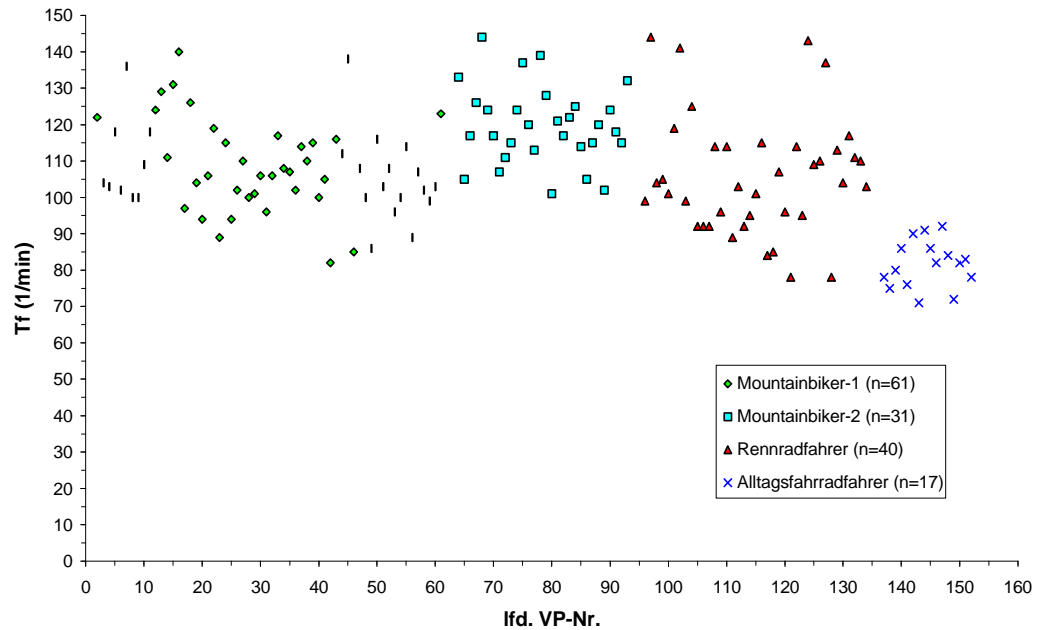


Abbildung 5.1–18: Maximale Spitzentretfrequenzen (1/min) im Feldtest für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Als mountainbikespezifische Besonderheit sei in diesem Zusammenhang das Radfahren auf Wattboden erwähnt. Um das Belastungsverhalten auf einem Boden mit sehr hohem Rollwiderstand zu untersuchen, wurden zwei exemplarische Mountainbikefahrten auf Wattboden auf einer Teststrecke zwischen Sahlenburg und Neuwerk in der Nähe von Cuxhaven in einer Dauer von ca. 36 bzw. 45 min durchgeführt.

Im Vergleich zu einer typischen Mountainbikefahrt, die durch den Wechsel äußerer Bedingungen wie Boden und Steigung gekennzeichnet war, zeigten die Fahrten ausnahmslos auf Wattboden, die durch eine ebene Strecke mit sehr hohem Rollwiderstand charakterisiert waren, eine wesentlich geringere Variabilität der Tretfrequenz respektive der Leistung (Abbildung 5.1–19). Im Speziellen fielen die Tretfrequenz und auch die Leistung beim Fahren auf Wattboden wesentlich seltener gegen Null ab, wie auch die sehr geringen prozentualen Anteile von 0,5 bzw. 2,5 an Tretfrequenzpausen dokumentierten.

Ursächlich hierfür kann der relativ hohe Widerstand des Wattbodens sein. So ist es auf Wattboden nicht möglich, kurzzeitig im Leerlauf zu fahren, d. h. die Pedale anzuhalten und dennoch weiterzurollen; dies wäre unmittelbar mit einem unfreiwilligen Absteigen verbunden. Von daher ist das seltene Abfallen der Tretfrequenz bzw. der Leistung als eine Voraussetzung für eine kontinuierliche Fahrt auf Wattboden anzusehen. Trotzdem bestand vermutlich aufgrund wechselnder Windverhältnisse oder wechselnder Rollwiderstände z. B. beim Durchfahren von eventuellen Pflügen eine gewisse Variabilität der Tretfrequenz respektive der Leistung.

Als weiteres Charakteristikum befanden sich die bei den Wattfahrten maximal erreichten Tretfrequenzen von 105 bzw. 97 U/min und auch die maximal erreichten Leistungen von 617 bzw. 434 Watt eher im unteren Bereich, der üblicherweise von den »Mountainbikern« maximal erreichten Umdrehungszahlen (Abbildung 5.1–18) und Leistungen (Abbildung 5.1–12).

Da beim Radfahren auf Wattboden ein relativ hoher Widerstand über die gesamte Fahrtdauer überwunden werden muß, erklärt sich, daß die maximalen Tretfrequenzen nicht höher ausfallen. Während einer typischen Mountainbiketrainingsfahrt, gekennzeichnet durch den mit unterschiedlichen Rollwiderständen verbundenen Wechsel verschiedener Böden und Steigungen ergeben sich aufgrund der mehr intervallartigen Belastung auch höhere maximale Tretfrequenzen. Vermutlich bedingen die beim Radfahren auf Wattboden im Vergleich zu den typischen Mountainbikefahrten geringeren maximalen Tretfrequenzen auch die vergleichsweise geringeren Spitzenleistungen; denn generell werden sehr hohe Leistungen hauptsächlich auch über hohe Tretfrequenzen realisiert. So wäre ein noch höherer Kraftaufwand aufgrund des über die gesamte Fahrtdauer zu überwindenden hohen Rollwiderstandes beim Radfahren auf Wattboden als eher unwahrscheinlich anzusehen. Insgesamt ist als eine mountainbikespezifische Besonderheit für das Fahren auf Wattboden eine gewisse Variabilität der Tretfrequenz bzw. der Leistung festzuhalten, wobei die Tretfrequenz bzw. die Leistung im Vergleich zu den durch wechselnde Böden und Steigungen gekennzeichneten typischen Mountainbikefahrten aufgrund des relativ hohen Rollwiderstands und den hiermit verbundenen verschwindend kurzen möglichen Phasen zum "Rollenlassens" deutlich seltener gegen Null abfallen. Sehr hohe maximale Tretfrequenzen respektive sehr hohe Spitzentretfrequenzen sind aufgrund des über die gesamte Fahrtdauer zu überwindenden hohen Rollwiderstands des Wattbodens kaum möglich.

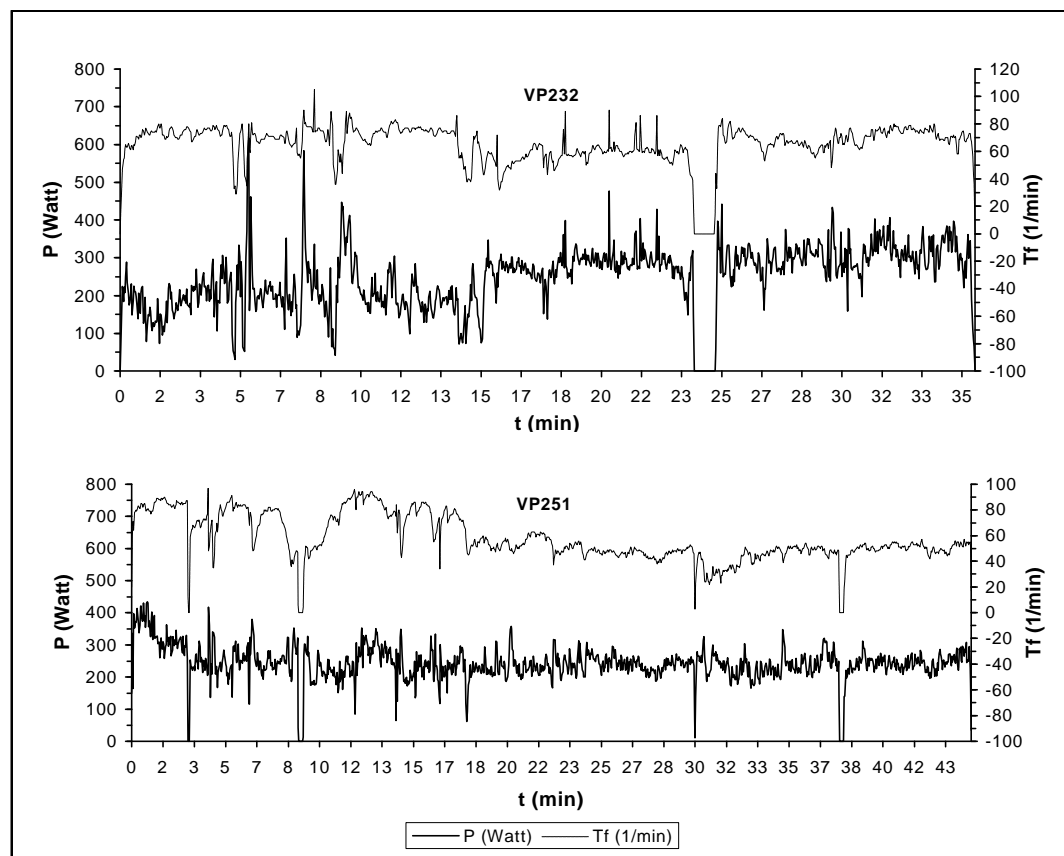


Abbildung 5.1–19: Leistungs- und Tretfrequenzprofile zweier exemplarischer Feldtestfahrten auf Wattboden

Rennradfahren

Das Tretfrequenzprofil eines freizeitsportlichen »Rennradfahrers« war im Vergleich zum »Mountainbiker« charakterisiert durch eine geringfügig höhere Schwankungsbreite und eine geringere Variabilität.

Die im Vergleich zu den »Mountainbikern« geringfügig größere Schwankungsbreite, entsprechend eines höheren Tretfrequenzniveaus, zeigte sich in dem vergleichsweise höheren Anteil an hohen Tretfrequenzen zwischen 91-110 U/min; die jeweils überwiegend genutzten Tretfrequenzen der »Rennradfahrer« lagen wie bei den »Mountainbikern« zwischen 71 und 80 U/min (Abbildung 5.1–17). Ursächlich für das insgesamt etwas höhere Tretfrequenzniveau kann der im Vergleich zum Mountainbiking geringere Rollwiderstand einer asphaltierten Strecke angeführt werden. Dieser erlaubt dem Rennradfahrer im höheren Tretfrequenzbereich mit höheren Tretfrequenzen zu pedalieren, da die aufgewendete Kraft beim Rennradfahren nur in geringerem Ausmaß als beim Mountainbiking zur Überwindung eines Rollwiderstands investiert werden muß.

Die Variation der Tretfrequenz war beim Rennradfahren vergleichsweise zum Mountainbiking - vermutlich bedingt durch eine überwiegende Nutzung eines widerstandsarmen Bodens, dem Asphalt - wesentlich geringer ausgeprägt, aber dennoch deutlich nachweisbar.

So sank zudem als Zeichen einer im Vergleich zum Mountainbiking seltener auftretenden negativen Beschleunigung die Tretfrequenz vergleichsweise wesentlich weniger häufig gegen Null ab; dennoch war mit 6,6 Prozent an Tretfrequenzpausen der Anteil insgesamt noch recht hoch (Abbildung 5.1–8, Abbildung 5.1–17). Zu erwarten wäre hingegen aufgrund des relativ niedrigen Rollwiderstands beim Fahren auf der Straße und den überwiegend recht langen kreuzungsfreien Streckenabschnitten beim Rennradfahren insgesamt eine gleichmäßigere Tretfrequenz ohne häufiges Absinken der Tretfrequenz. Dennoch scheint für die freizeitsportlichen »Rennradfahrer« typisch zu sein, daß die Tretfrequenz in gewissem Maße variiert und immer wieder Phasen des "Nichtpedalierens" einschließt, in denen die Probanden einfach "rollen" lassen. Ursächlich ist zu vermuten, daß dies mit einer veränderten Konzentration z. B. auf den Verkehr, die Natur bzw. das eigene Wohlbefinden in Verbindung steht oder aber auf den Ausprägungsgrad der Koordinationsfähigkeit jedes Einzelnen, im "Runden Tritt" fahren zu können, zurückzuführen ist.

Die im Vergleich zu den »Mountainbikern« und »Alltagsfahrradfahrern« geringere Variabilität und der geringerer Anteil an Tretfrequenzpausen weisen jedoch insgesamt darauf hin, daß es beim freizeitsportlichen Rennradfahren aufgrund der disziplinspezifischen Bedingungen am ehesten möglich ist, im "Runden Tritt" zu fahren.

Fahrradfahren im Alltag

Das Tretfrequenzprofil der »Alltagsfahrradfahrer« zeichnete sich durch eine geringe Schwankungsbreite und eine - zwar geringere Variabilität als die der »Mountainbiker« - dennoch insgesamt relativ hohe Variabilität aus.

Die meist belegte Tretfrequenzklasse bei den »Alltagsfahrradfahrern« lag mit 61-70 U/min deutlich unter der der »Mountainbiker« und der der

»Rennradfahrer« (Abbildung 5.1–17). Auch war vergleichsweise zu den »Mountainbikern« der überwiegend genutzte Tretfrequenzbereich etwas schmaler und lag insgesamt deutlich im niedrigeren Tretfrequenzbereich. Das vergleichsweise zu den anderen Probandenkollektiven relativ niedrige Tretfrequenzniveau der »Alltagsfahrradfahrer« bedingt u. a. deren beobachtete geringere Leistung (Abbildung 5.1–8, Kapitel 5.1.3). Das geringe Ausmaß beider Parameter kann ursächlich auf eine vergleichsweise geringere Leistungsmotivation (Abbildung 5.1–7) oder aber auf eine geringere maximale Leistungsfähigkeit zurückzuführen sein (Abbildung 5.1–2). Ob die Tretfrequenz der »Alltagsfahrradfahrer« eventuell so niedrig ist, weil diese aufgrund eines nicht adäquaten Einsatzes einer Gangschaltung mit einem relativ hohen Krafteinsatz fahren, läßt sich aufgrund des nicht quantifizierten Krafteinsatzes auf der Grundlage dieser Untersuchung leider nicht beantworten.

Auffällig ist zudem, daß die maximal erreichten Spitzentretfrequenzen jedes Probanden deutlich unter 100 U/min lagen, die höchste erreichte Spitzentretfrequenz der »Alltagsfahrradfahrer« betrug 94 U/min (Abbildung 5.1–18). In diesem Zusammenhang ist zu vermuten, daß die »Alltagsfahrradfahrer« sehr hohe Tretfrequenzen im Straßenverkehr nicht wählen, um die hiermit zwangsläufig verbunden höheren Geschwindigkeiten zu vermeiden und so ständig adäquat auf die Verkehrssituation reagieren zu können.

Die Tretfrequenz der »Alltagsfahrradfahrer« variierte in relativ großem Ausmaß, wobei die Ausprägung wie der prozentuale Anteil an Tretpausen (Abbildung 5.1–8) im Vergleich zu den »Mountainbikern« geringer und im Vergleich zu den »Rennradfahrern« größer ausfiel. Anzunehmen ist, daß der Grund für die vergleichsweise zu den »Mountainbikern« geringere Variation in dem überwiegenden Fahren auf einem widerstandsparmen Boden, dem Asphalt, liegt. Ursächlich für die höhere Variation der Tretfrequenz und die häufigeren Phasen des "Rollenlassens" der »Alltagsfahrradfahrer« gegenüber den »Rennradfahrern« kann ein höherer Anteil an verkehrsbedingten Temporeduzierungen bzw. Stopps (Abbildung 3.1-32) sein, denn diese sind beim Fahren im Stadtverkehr bei den »Alltagsfahrradfahrern« wesentlich häufiger anzunehmen als bei den »Rennradfahrern«, die überwiegend "über Land" fahren.

Weiterhin können die Tretfrequenzvariationen bedingt sein durch wechselnde Steigungen (Abbildung 3.1-33) oder eine nicht ausreichend ausgeprägte Koordinationsfähigkeit einzelner Radfahrer.

Schlußfolgerung

Insgesamt fiel bei allen Disziplinen die Variabilität der Tretfrequenz etwas geringer aus als die der Leistung. Es ist zu vermuten, daß die jeweils eingesetzte Kraft beim Pedalieren auch variiert und so die höhere Variabilität der Leistung gegenüber der Tretfrequenz erklärt.

Dies stimmt mit Beobachtungen von OSTEN-SACKEN (1993) überein, der mittels eines an der TH Aachen entwickelten speziellen Pedalsystems zur Messung der Kraftverläufe beim Fahrradfahren unökonomische Kraftverläufe unabhängig von der Tretfrequenz bei "Normalradfahrern" und "Freizeitsportlern" nachweisen konnte. Bei diesen Probanden war die Tot-

kraft entsprechend der Kraft, die keinen Vortrieb erzeugt und dennoch den Muskel ermüdet, recht hoch. Durch ein spezielles, auf die Optimierung des Muskelkräfteeinsatzes ausgerichtetes Training konnte hingegen sowohl für Fahrer mit als auch ohne einem entsprechenden Pedalbindungssystem eine ökonomischere Trittechnik im Sinne einer deutlichen Annäherung an das Treten im "Runden Tritt" erzielt werden.

Hieraus läßt sich ableiten, daß durch solch ein spezielles Training zur Optimierung des Kräfteeinsatzes die in der vorliegenden Untersuchung angenommene Variabilität des Kräfteeinsatzes und respektive die der Leistung reduziert werden könnte.

Resümee

Generell korrespondierte die Tretfrequenzkurve erwartungsgemäß sehr eng mit der Schwankungsbreite und Variabilität der Leistungskurve, da die Tretfrequenz direkt in die Leistungsberechnung eingeht.

Disziplinspezifische Besonderheiten bestanden wie für die Leistung und die Herzfrequenz auch hinsichtlich des Tretfrequenzverhaltens.

Die überwiegend gewählten Belastungstretfrequenzbereiche betragen für die »Mountainbiker« wie für die »Rennradfahrer« etwa 61-90 U/min, für die »Alltagsfahrradfahrer« etwa 50-70 U/min. Die »Mountainbiker« wiesen im Vergleich zu den »Rennradfahrern« sehr hohe Tretfrequenzen im Bereich von 91-110 U/min nur zu geringeren Anteilen auf. Da die »Mountainbiker« im Vergleich zu den »Rennradfahrern« zu höheren Anteilen sehr hohe Leistungen zeigten, muß folglich im Vergleich zum Rennradfahren eine größere Kraftkomponente die relativ hohen Leistungen beim Mountainbiking bedingen.

Die Tretfrequenzvariation fiel bei den »Mountainbikern« am größten und bei den »Rennradfahrern« am geringsten aus; die »Alltagsfahrradfahrer« zeigten eine etwas höhere Tretfrequenzvariation als die »Rennradfahrer«. Die unterschiedlichen Ausmaße der Höhe und Variationen der Tretfrequenz der verschiedenen Probandenkollektive lassen sich wie für die Leistung ursächlich auf die entsprechenden disziplinspezifischen Gegebenheiten wie vorrangig genutzter Boden, Geländebedingungen, verkehrsbedingte Einflüsse und vorrangige Motivation der Probandenkollektive sowie auf koordinative Fähigkeiten des Einzelnen zurückführen.

5.1.5 Relation von Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz beim Breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Einige Zusammenhänge von Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz hinsichtlich des Belastungsprofils und der relativen Häufigkeitsverteilung in Parameterklassen wurden schon in den Kapiteln 5.1.3 und 5.1.4 angesprochen.

Die Relation der verschiedenen Parameter soll im folgenden für die verschiedenen Probandenkollektive anhand der entsprechenden Korrelationen der jeweiligen Mittelwerte sowie anhand der bei der relativen

Häufigkeitsverteilung in Leistungsklassen beobachteten jeweiligen mittleren Herzfrequenzen und mittleren Tretfrequenzen verdeutlicht und diskutiert werden.

Korrelationen

Zwischen der mittleren Leistung und der mittleren Tretfrequenz konnten in allen Teilstudien ausnahmslos signifikant positive korrelative Zusammenhänge bestätigt werden, wobei die entsprechenden Korrelation für die »Alltagsfahrradfahrer« einen niedrigen und für die beiden Mountainbikegruppen und die »Rennradfahrer« einen mittleren Zusammenhang aufwies (Abbildung 5.1–20).

Ein ausschließlich positiver Zusammenhang zwischen der mittleren Leistung und der mittleren Tretfrequenz deutet darauf hin, daß eine Leistungserhöhung in der Regel mit einer Tretfrequenzerhöhung, bzw. eine Verminderung der Leistung mit einer Verminderung der Tretfrequenz verbunden ist. Wie unter nachfolgendem Unterpunkt weiter ausgeführt, gilt dies vor allem für den unteren und höheren Leistungsbereich. Im mittleren Leistungsbereich wird aufgrund ähnlicher Tretfrequenzmittelwerte angenommen, daß hier eine Leistungsänderung hauptsächlich über die Veränderung des Krafteinsatzes erfolgt. Das Verhalten unter feldspezifischen Bedingungen unterscheidet sich somit z. B. zu dem Verhalten unter ergometrischen Bedingungen, unter welchen die Leistungserhöhung bei annähernd konstanter Tretfrequenz hauptsächlich über den erhöhten Krafteinsatz erfolgte.

Ein überwiegend mittlerer Zusammenhang der mittleren Leistung und mittleren Tretfrequenz wird vor dem Hintergrund verständlich, daß die Tretfrequenz direkt in die Berechnung jedes einzelnen Leistungswertes eingeht. Da durch den Einsatz einer Gangschaltung aller Probanden dieselbe Leistung sowohl mit einer niedrigen Tretfrequenz und einem hohen Krafteinsatz oder einer hohen Tretfrequenz bei niedrigem Krafteinsatz erreicht werden kann, erklärt sich, daß die Korrelationen zwischen der Leistung und der Tretfrequenz nicht höher ausfielen.

	n		Pmw/Hfmw	Pmw/Tfmw	Hfmw/Tfmw
Mountainbiker-1	61	r	0,4540	0,4325	0,2497
		p	0,000 **	0,001 **	0,052 -
Mountainbiker-2	31	r	0,2083	0,5154	0,1308
		p	0,261 -	0,003 **	0,483 -
Rennradfahrer	75	r	0,3453	0,6627	0,2783
		p	0,003 *	0,000 **	0,018 *
Alltagsfahrradfahrer	27	r	0,2397	0,3890	0,0809
		p	0,229 -	0,045 *	0,688 -

Abbildung 5.1–20: Korrelationskoeffizienten und p-Werte ausgesuchter Korrelationen die mittlere Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz des Feldtests betreffend für die Gesamtkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

(Die der Übersicht halber verwendeten Formatierungen für niedrige, mittlere und hohe Korrelationen sind Kapitel 2.4 zu entnehmen.)

Zwischen der mittleren Leistung und der mittleren Herzfrequenz fanden sich im Vergleich der Kollektive überwiegend niedrige positive Zusammenhänge, nur für die »Mountainbiker-1« konnte ein mittlerer positiver Zusammenhang dokumentiert werden. Statistisch signifikant war das Resultat für die »Mountainbiker-1« und die »Rennradfahrer«.

Der ausnahmslos positive Zusammenhang von mittlerer Leistung und mittlerer Herzfrequenz überrascht insofern nicht, als daß im Mittel eine höhere Leistung auch mit höheren Herzfrequenzen verbunden ist.

Der überwiegend niedrige Zusammenhang von mittlerer Leistung und mittlerer Herzfrequenz erklärt sich vor verschiedenen Hintergründen. Zum einen werden aufgrund der trägen Reaktion des Herz-Kreislaufsystems kurzfristig erbrachte Leistungsspeaks nur tendenziell beantwortet, zum anderen ist die jeweilige Herzfrequenz immer als eine Reaktion auf eine Beanspruchung anzunehmen, welche je nach vorheriger Beanspruchungshöhe noch von einer entsprechend erhöhten erholungsbedingten Herzfrequenz überlagert wird. Sinkt somit z. B. die Leistung kurzfristig ab, so würde die Herzfrequenz dennoch erholungsbedingt erhöht bleiben. Ein weiteres Argument für die überwiegend niedrige Beziehung von mittlerer Leistung und mittlerer Herzfrequenz betrifft die individuelle Herzfrequenzreaktion; so wird die gleiche Leistung z. B. aufgrund eines unterschiedlichen Trainingszustandes von dem einen Proband mit höherer Herzfrequenz und von dem anderen mit niedrigerer Herzfrequenz erreicht.

Die Korrelation der mittleren Herzfrequenz mit der mittleren Tretfrequenz war noch loser als die Korrelation mit der mittleren Leistung. Sie wies ausnahmslos in allen Teilstudien einen niedrigen positiven Zusammenhang auf. Eine Signifikanz war nur bei den »Rennradfahrern« zu verzeichnen.

Der ausnahmslos positive Zusammenhang von mittlerer Tretfrequenz und mittlerer Herzfrequenz bestätigt im weitesten Sinne die Untersuchung von SCHÜRCH et al. (1976), die unter fahradergometrischen Bedingungen mit höheren Tretfrequenzen von 90 U/min im Vergleich zu 60 U/min bei vergleichbarer Leistung tendenziell höhere Herzfrequenzen beobachten konnten.

Der Zusammenhang mittlere Herzfrequenz mit der mittleren Tretfrequenz fiel vermutlich loser als mit der mittleren Leistung aus, da in der mittleren Leistung sowohl die mittlere Tretfrequenz als auch zusätzlich eine mittlere Kraft integriert ist, die beim Fahrradfahren einen erheblichen Einfluß auf die Herzfrequenz hat. Letzteres zeigt sich z. B. in standardisierten stufenförmig durchgeführten Fahrradergometertests, bei denen die Leistungserhöhung über die Zunahme der Kraftkomponente bei vergleichbaren Tretfrequenzen von 50-60 U/min (ROST/HOLLMANN et al. 1982) erfolgt. Mit zunehmender Leistung respektive Kraftkomponente nimmt bei Belastungserhöhung bis in den submaximalen Bereich die Herzfrequenz linear zu. Es ist zu folgern, daß beim Fahrradfahren die Kraftkomponente einen bedeutsamen Einfluß auf die Höhe der Herzfrequenz ausübt. Dies erklärt somit den etwas engeren Zusammenhang der mittleren Herzfrequenz mit der mittleren Leistung - als Produkt von Kraft und Tretfrequenz - als vergleichsweise mit der mittleren Tretfrequenz.

Der insgesamt sehr niedrige Zusammenhang von mittlerer Tretfrequenz

und mittlerer Herzfrequenz erklärt sich zudem in der - wie schon weiter oben beschrieben - relativ trägen Reaktion des Herz-Kreislaufsystems; so werden z. B. Tretfrequenzpeaks nur tendenziell wiedergegeben. Ein weiterer Grund ist mit dem gängigen Einsatz einer Gangschaltung verbunden. Dieselbe Tretfrequenz kann mit unterschiedlichen Kräften respektive Leistungen erbracht worden sein, so daß die resultierenden Herzfrequenzen von daher sehr unterschiedlich ausfallen können. Dies konnte die Autorin (KÖHLER 1987) in einer Erhebung an freizeitsportlichen Fahrradfahrern bestätigen; beim Fahrradfahren mit kleinem Übersetzungsverhältnis und hoher Umdrehungszahl (1. Gang) waren gegenüber dem Fahren mit größeren Übersetzungsverhältnissen und geringeren Umdrehungszahlen (2. und 3. Gang) bei vergleichbarer Geschwindigkeit signifikant höhere Herzfrequenzen zu beobachten.

Relative Häufigkeiten in Leistungsklassen mit entsprechender mittlerer Herzfrequenz

Wie bei der fahrradergometrischen Untersuchung fanden sich übereinstimmend für alle Untersuchungskollektive auch im Feldtest bei jeweils höheren Leistungsklassen entsprechend höhere mittlere Herzfrequenzen (Abbildung 5.1–21; Abbildung 5.1–22). Dies galt allerdings nur im unteren bis mittleren Belastungsbereich (bis 230 Watt »Alltagsfahrradfahrer«; bis 270 Watt »Rennradfahrer«; bis 350 Watt »Mountainbiker-1«; bis 270 Watt »Mountainbiker-2«). Im Vergleich zur Fahrradergometrie fielen die Mittelwertunterschiede zur nächst höheren Leistungsklasse wesentlich geringer aus (Kapitel 5.1.7; Abbildung 5.1–28).

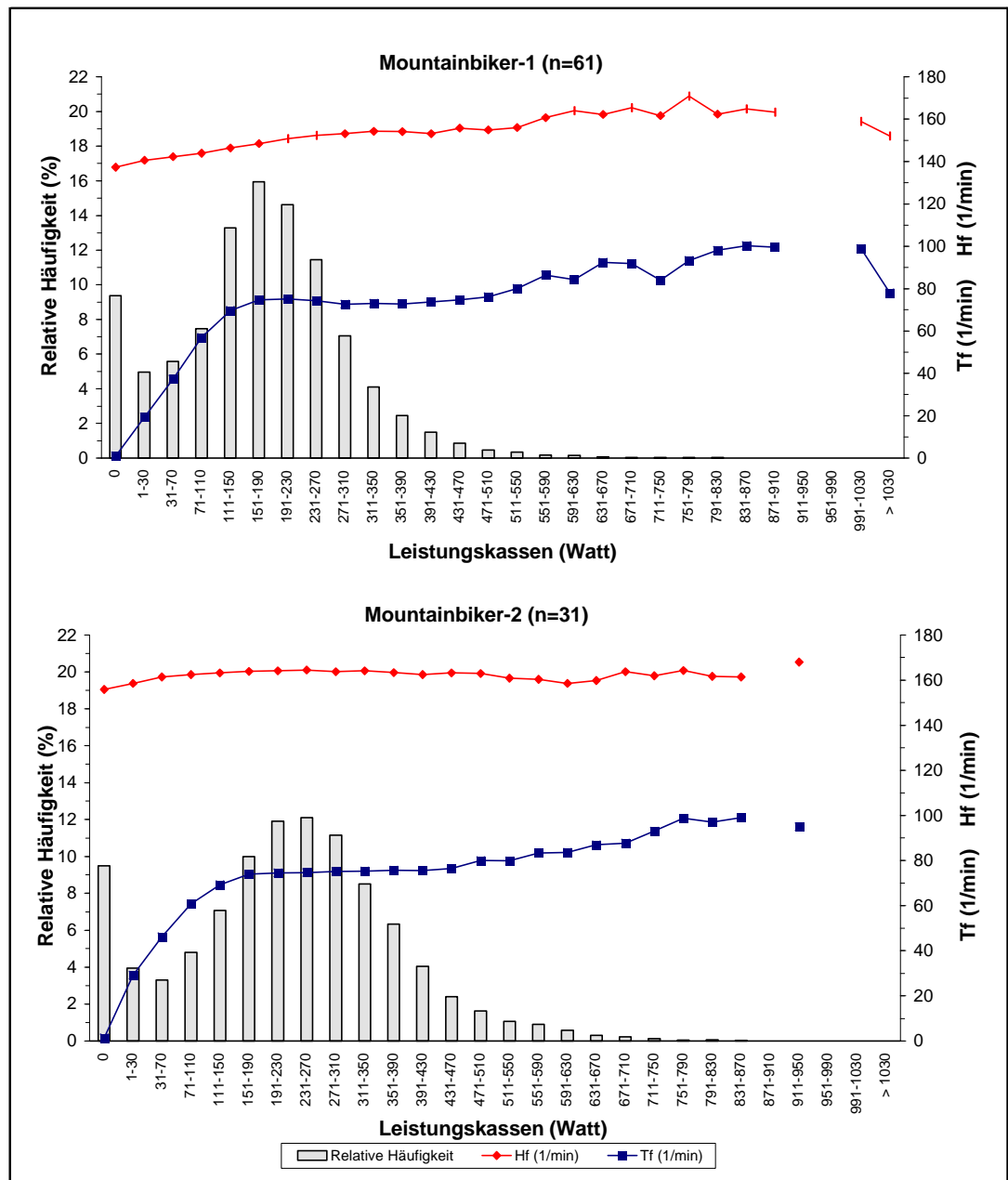


Abbildung 5.1–21: Mittlere Häufigkeit in Leistungsklassen mit entsprechender mittlerer Herzfrequenz und Tretfrequenz für die »Mountainbiker-1« sowie die »Mountainbiker-2« (Das jeweilige n für die einzelnen Leistungsklassen ist Abbildung 3.3.-8 bzw. Abbildung 3.4.-6 zu entnehmen.)

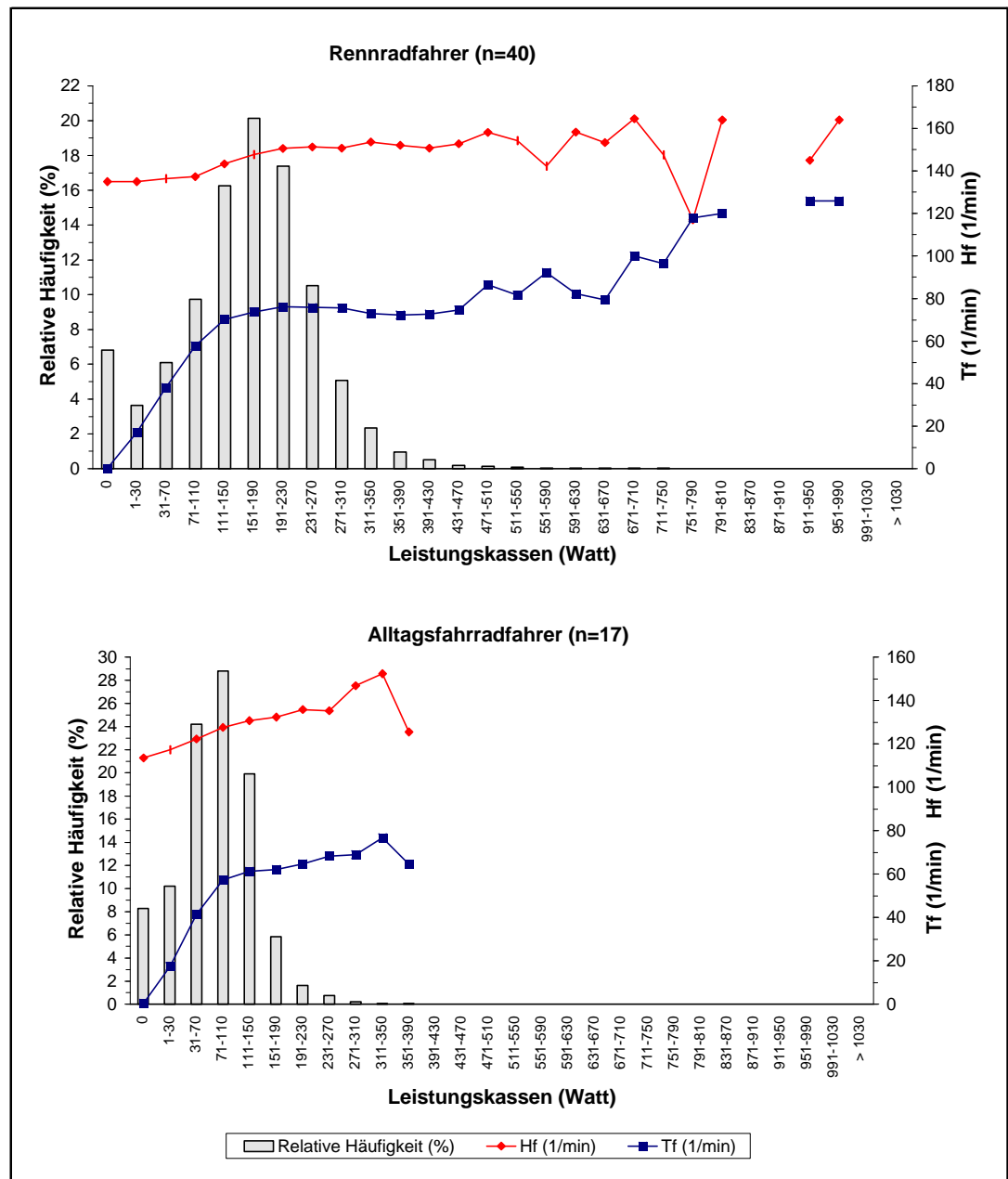


Abbildung 5.1–22: Mittlere Häufigkeit in Leistungsklassen mit entsprechender mittlerer Herzfrequenz und Tretfrequenz für die »Rennradfahrer« sowie die »Alltagsfahrradfahrer« (Das jeweilige n für die einzelnen Leistungsklassen ist Abbildung 5.1–23 zu entnehmen.)

Leistungs- klassen (Watt)	Rennradfahrer					Alltagsfahrradfahrer						
	n	Relative Häufigkeit (%)	Hf (1/min)		Tf (1/min)		n	Relative Häufigkeit (%)	Hf (1/min)		Tf (1/min)	
			\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$			\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$
0	38	6,8	135,0	17,9	0,1	0,1	17	8,3	113,5	16,9	0,5	1,0
1-30	40	3,7	135,0	17,5	17,1	9,0	17	10,2	117,3	16,6	17,5	6,4
31-70	40	6,1	136,3	17,0	38,2	12,3	17	24,2	122,3	15,9	41,5	12,4
71-110	40	9,7	137,3	16,6	57,8	12,1	17	28,8	127,6	16,1	57,3	7,4
111-150	40	16,3	143,3	15,8	70,2	12,5	17	19,9	130,8	15,6	61,3	6,1
151-190	40	20,1	147,7	15,8	73,6	12,2	17	5,8	132,3	16,8	62,2	6,3
191-230	40	17,4	150,5	16,8	76,1	11,3	14	1,6	135,8	14,7	64,7	10,1
231-270	39	10,5	151,2	16,4	75,8	10,2	9	0,8	135,3	19,9	68,3	14,1
271-310	39	5,1	150,7	16,9	75,6	8,1	6	0,2	146,9	10,5	69,0	7,8
311-350	36	2,3	153,6	17,5	72,9	10,0	2	0,1	152,3	3,9	76,8	7,4
351-390	35	1,0	152,1	16,8	72,2	11,8	2	0,0	125,5	0,7	64,5	21,9
391-430	32	0,5	150,7	15,0	72,7	9,8	0	0,0				
431-470	20	0,2	152,8	18,1	74,6	13,6	0	0,0				
471-510	13	0,1	158,1	15,3	86,5	13,4	0	0,0				
511-550	11	0,1	154,3	18,5	81,5	9,5	0	0,0				
551-590	8	0,0	142,3	18,2	92,2	15,2	0	0,0				
591-630	4	0,0	158,3	2,1	82,3	2,9	0	0,0				
631-670	3	0,0	153,3	16,2	79,3	9,2	0	0,0				
671-710	2	0,0	164,5	3,5	100,0	81,3	0	0,0				
711-750	3	0,0	147,5	11,0	96,3	17,1	0	0,0				
751-790	1	0,0	117,0		118,0		0	0,0				
791-830	1	0,0	164,0		120,0		0	0,0				
831-870	0	0,0					0	0,0				
871-910	0	0,0					0	0,0				
911-950	1	0,0	145,0		126		0	0,0				
951-990	1	0,0	164,0		126		0	0,0				
991-1030	0	0,0					0	0,0				
> 1030	0	0,0					0	0,0				

Abbildung 5.1–23: Mittlere relative Häufigkeiten der Leistungsklassen und die dazugehörigen mittleren Herzfrequenzen und Treffrequenzen mit Standardabweichungen für die »Rennradfahrer« (n=40) und die »Alltagsfahrradfahrer« (n=17)

Dies läßt sich wie folgt erklären. Im Feldtest wird die gleiche Leistung sowohl mit einer relativ hohen als auch mit einer relativ niedrigen Herzfrequenz erbracht, wie auch die bei allen Untersuchungskollektiven beobachtete relativ hohe Standardabweichung im Bereich von insgesamt 15-19 min⁻¹ für die jeweilige mittlere Herzfrequenz der einzelnen Leistungsklassen belegt (Abbildung 5.1–23; Abbildung 3.3-8; Abbildung 3.4-6). Der Grund hierfür liegt in der verzögerten Herzfrequenzreaktion - bedingt durch die träge Reaktion des Herz-Kreislaufsystems - auf die jeweilige Höhe der Vorbelastung. Befindet sich der Radfahrer vor dem Hintergrund der für den Feldtest typischen variierenden Leistungen im "Belastungsanstieg", so ergeben sich bei gleicher Leistung relativ niedrige Herzfrequenzen, da die Herzfrequenz aufgrund der trägen Reaktion des Herz-Kreislaufsystems erst verzögert ansteigt. Befindet sich der Radfahrer im "Belastungsabfall", so sind bei gleicher Leistung die Herzfrequenzen erholungsbedingt noch relativ hoch.

Da der genannte untere und mittlere Belastungsbereich die überwiegend belegten Leistungsklassen mit einschließt, die Daten auf einer relativ und weitestgehend konstanten Grundgesamtheit basieren, ergibt sich für diesen Belastungsbereich eine Nivellierung der mittleren Herzfrequenzen. In den für den unteren bis mittleren Belastungsbereich geltenden geringfügig erhöhten mittleren Herzfrequenzen für jeweils höhere Leistungsklassen zeigt sich, daß in diesem Belastungsbereich trotz der jeweiligen Vorbelastungen die mittleren Herzfrequenzen in Relation der Höhe der Leistungsklassen entsprechen. Auch die "integrierte" Belastung, d. h. die um die jeweilige Vorbelastung erweiterte Leistungsklasse, scheint mit jeweils höherer Leistungsklasse erhöht zu sein.

Im Gegensatz hierzu ergaben sich im mittleren bis hohen Belastungsbereich mit jeweils höherer Leistungsklasse teilweise höhere und teilweise niedrigere mittlere Herzfrequenzen, wobei die Mittelwertunterschiede mit zunehmender Leistungshöhe zunächst jeweils gering und im höheren Leistungsbereich jeweils deutlicher ausfielen. Der im unteren und mittleren Belastungsbereich beobachtete tendenziell ähnliche Verlauf - von geringfügig erhöhten mittleren Herzfrequenzen mit jeweils höherer Leistungsklasse - zur ergometrischen Untersuchung traf für den mittleren und oberen Leistungsbereich nicht mehr ausnahmslos zu.

Vermutlich bedingen die im mittleren bis hohen Leistungsbereich mit jeweils höherer Leistungsklasse auf einer überwiegend jeweils deutlich geringer werdenden Grundgesamtheit beruhenden mittleren Herzfrequenzen und der jeweilige deutlich geringere prozentuale Anteil bestimmter Leistungsklassen im höheren Belastungsbereich, daß die Mittelwertunterschiede der Herzfrequenz nicht in dem Maße wie bei niedriger bis mittlerer Belastung nivelliert werden, sondern erst offensichtlich werden. Zudem ist der hohe Belastungsbereich besonders durch extreme Belastungsspitzen gekennzeichnet, welche nur kurzfristig erreicht werden. Somit ist die Belastungsdauer der Leistungspeaks zu kurz, um eine entsprechend hohe der Belastung adäquate und damit für die Belastung repräsentative Herzfrequenz zu erreichen. Je nach Vorbelastung fällt diese mal höher und mal niedriger aus.

Weiterhin läßt sich aufgrund der Herzfrequenzreaktion im mittleren und hohen Belastungsbereich schlußfolgern, daß die "integrierten" Belastungen, d. h. die um Vorbelastungen erweiterten jeweiligen Leistungsklassen, nicht wie im unteren Leistungsbereich mit jeweils höherer Leistungsklasse erhöht sind, sondern auch mal je nach Ausmaß der Vorbelastungen erniedrigt sind und von daher die mal höheren und mal niedrigeren mittleren Herzfrequenzen mit jeweils höherer Leistungsklasse bedingen.

Bei den »Mountainbikern-2« fällt auf, daß als Reaktion auf die Belegung eines insgesamt breiten Leistungsspektrums Herzfrequenzen in relativ ähnlichen Größenordnungen von insgesamt $156-168 \text{ min}^{-1}$ resultierten, d. h. im Speziellen auch der niedrige Belastungsbereich mit einem relativ hohen Herzfrequenzniveau beantwortet wurde. Ursache hierfür ist eine insgesamt sehr hohe Belastung entsprechend der im Vergleich der Probandenkollektive höchsten mittleren Leistung und höchsten mittleren Herzfrequenz (Abbildung 5.1–8). Die Belastung scheint so hoch zu sein, daß als Folge eine längerfristig erhöhte erholungsbedingte Herzfrequenz resultiert, welche eine adäquate Herzfrequenzreaktion auf die niedrigen Leistungen überlagert. Dies erklärt das insgesamt hohe Herzfrequenzniveau für die »Mountainbiker-2«.

Relative Häufigkeiten in Leistungsklassen mit entsprechender und mittlerer Tretfrequenz

Da generell die Tretfrequenz in die Leistungsberechnung eingeht, fanden sich erwartungsgemäß übereinstimmend für alle Disziplinen tendenziell mit jeweils höherer Leistungsklasse entsprechend höhere Tretfrequenzmittelwerte (Abbildung 5.1–21; Abbildung 5.1–22).

Im unteren Leistungsbereich zeigten sich für alle Probandenkollektive ausnahmslos für die jeweils höheren Leistungsklassen auch höhere Tretfrequenzmittelwerte. Die Mittelwertunterschiede fielen hier sehr deutlich aus, wie dies in einer Anlaufphase, bis eine gewünschte Leistung erreicht ist, zu erwarten ist. Im unteren Belastungsbereich scheint somit die Leistung überwiegend durch die Erhöhung der Tretfrequenz erhöht zu werden.

Da im mittleren Belastungsbereich die Mittelwertunterschiede nur gering waren, deutet dies darauf hin, daß im mittleren Belastungsbereich die Leistung überwiegend durch eine Änderung der Kraft vorgenommen wird und nur zu geringen Anteilen über eine Tretfrequenzänderung. Und da wiederum im höheren Leistungsbereich die Mittelwertunterschiede mit jeweils höherer Leistung größer als im mittleren Leistungsbereich, aber dennoch etwas geringer als im niedrigen Leistungsbereich, ausfielen, ist zu schlußfolgern, daß die hohen Leistungen über einen anteilmäßig hohen Anteil der Tretfrequenzänderung, aber auch zu einem gewissen Anteil über eine Kraftänderung erbracht werden. Weiterhin fanden sich ab dem mittleren Belastungsbereich mit jeweils höherer Leistungsklasse neben überwiegend höheren auch vereinzelt niedrigere Tretfrequenzmittelwerte. Die Abweichungen von der allgemeinen Tendenz - der mit jeweils erhöhten Leistungsklassen erhöhten mittleren Tretfrequenzen - lassen sich nur bedingt durch eine geringe und variierende Grundgesamtheit erklären. Sie weisen vor allem darauf hin, daß sich die Leistung als Produkt von Tretfrequenz und Kraft in einem dynamischen Gleichgewicht befindet, und somit der oben beschriebene generelle Trend des jeweiligen anteilmäßigen Tretfrequenz- und Kraftanteils für den unteren, mittleren und hohen Belastungsbereich in gewissem Maße variiert.

Absolut gesehen wurden sehr hohe Leistungen im allgemeinen mit hohen Tretfrequenzen realisiert; dies war einheitlich für die Disziplinen Mountainbikefahren und Rennradfahren zu erkennen. Dies deutet darauf hin, daß die »Mountainbiker« und »Rennradfahrer« den alt bekannten Grundsatz, durch eine hohe Tretfrequenz den Krafteinsatz bei gleicher Leistung zu vermindern, in der Praxis umsetzten. Anzumerken bleibt hier, daß auch ein gewisses Maß an Kraft notwendig ist, um die hohen Tretfrequenzen zu realisieren. Ein Kraftmangel bzw. ein zu geringer Krafteinsatz, wäre mit niedrigeren Tretfrequenzen respektive geringerer mittlerer Leistung verbunden.

Resümee

Die Relationen der unter feldspezifischen Bedingungen erhobenen Parameter Leistung, Tretfrequenz und Herzfrequenz lassen sich zusammenfassend wie folgt verdeutlichen.

- ◆ Im interindividuellen Vergleich der mittleren Leistung, Herzfrequenz und Tretfrequenz fanden sich für die verschiedenen Kollektive ausschließlich positive Korrelationskoeffizienten für Pmw/Tfmw von 0.39-0.66, für Pmw/Hfmw von 0.21-0.45 und für Hfmw/Tfmw von 0.08-0.28. Die relativ lose Beziehung von Pmw/Hfmw und Hfmw/Tfmw ist in der spezifischen hämodynamischen Reaktion auf die feldspezifische, je nach Disziplin ausgeprägte, variierende Belastung als auch in der interindividuell unterschiedlichen hämodynamischen Reaktion bei vergleichbarer Leistung bzw. vergleichbarer Tretfrequenz begründet. Die Korrelationen zwischen Pmw/Tfmw zeigten nur mittlere Zusammenhänge, da durch den Einsatz der Gangschaltung dieselbe Leistung sowohl mit einer hohen Tretfrequenz und geringem Krafteinsatz und umgekehrt erbracht werden kann.
- ◆ Der feldspezifische Verlauf tendenziell höherer mittlerer Herzfrequenzen mit jeweils höherer Leistungsklasse ist aufgrund der mit der feldspezifischen Leistungsvariabilität verbundenen Kurzzeitigkeit einzelner Leistungswerte in der Herzfrequenz als Reaktion auf eine eher "integrierte" Belastung begründet. Letztere umfaßt die durch entsprechende Vorbelastungen erweiterten Leistungsklassen. Bedingt durch eine hohe Grundgesamtheit und einen relativ hohen Belegungsanteil bestimmter Leistungsklassen wurden in Bezug auf benachbarte Leistungsklassen die Unterschiede im niedrigen bis mittleren Belastungsbereich nivelliert. Hingegen fielen im mittleren bis hohen Leistungsbereich die Mittelwertunterschiede der mittleren Herzfrequenzen infolge der geringeren Grundgesamtheit und eines geringeren Belegungsanteils der einzelnen Leistungsklassen mal höher und mal niedriger aus und ab dem höheren Belastungsbereich zudem deutlicher aus.
- ◆ Der für verschiedene Belastungsbereiche mit jeweils höherer Leistungsklasse unterschiedliche feldspezifische Verlauf der mittleren Tretfrequenzen läßt sich in einer durch verschiedene relative Anteile von Tretfrequenzänderung und Kraftänderung beruhenden Leistungsänderung begründen.
Aufgrund der im unteren Belastungsbereich für die jeweils höheren Leistungsklassen auch deutlich höheren Tretfrequenzmittelwerte ist zu vermuten, daß die Leistung in diesem Belastungsbereich überwiegend durch die Erhöhung der Tretfrequenz erhöht wird. Da im mittleren Belastungsbereich die Mittelwertunterschiede nur gering ausfielen, deutet dies darauf hin, daß im mittleren Belastungsbereich die Leistung überwiegend durch eine Änderung der Kraft vorgenommen wird und nur zu geringen Anteilen über eine Tretfrequenzänderung. Weil im höheren Leistungsbereich die Mittelwertunterschiede sich mit jeweils höherer Leistung größer als im mittleren Leistungsbereich, aber dennoch etwas geringer als im niedrigen Leistungsbereich, darstellten, ist zu schlußfolgern, daß die hohen Leistungen über einen anteilmäßig hohen Anteil der Tretfrequenzänderung, aber auch zu einem gewissen Anteil über eine Kraftänderung, erbracht werden.

5.1.6 Subjektives Belastungsempfinden in Relation zu den Belastungsparametern beim breitensportlichen Fahrradfahren bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Zur Erhebung der subjektiven Befindlichkeit bei Belastung wurde als einfache Methode zur Einschätzung und Bewertung der subjektiv empfundenen Anstrengung in den vorliegenden Untersuchungen die BORG- bzw. RPE-Skala "for Rating of Perceived Exertion" (vgl. Kapitel 2.2.1; Abbildung 2.2-2) eingesetzt. Diese Skala wurde ursprünglich von BORG/DAHLSTRÖM (1960) als 21-stufige Skala entwickelt und später von BORG in eine 15-stufige modifiziert (vgl. BORG/NOBLE 1974). Die Skala basiert auf der Beobachtung, daß die im zentralen Nervensystem integrierte Gesamtempfindung eine hohe Korrelation mit objektiven Daten wie z. B. der Herzfrequenz aufweist. So entsprechen die gewählten Zahlen von 6-20 der RPE-Skala, wobei jeder ungeraden Zahl eine verbale Anstrengungsbeschreibung von übersetzt "sehr sehr leicht" für 7 bis "sehr sehr schwer" für 19 zugeordnet ist, jeweils einem Zehntel der ungefähren Herzfrequenz.

In diesem Zusammenhang konnten in der Literatur zwischen RPE und der Herzfrequenz zwar hohe Korrelationen von $r=0.80$ bis 0.98 gefunden werden (BORG 1962, BORG/LINDERHOLM 1970, EDWARDS et al. 1972, SKINNER 1969), dennoch wird kein kausaler Zusammenhang zwischen beiden Belastungsindikatoren postuliert (BORG/NOBLE 1974).

Neben der Herzfrequenz wiesen EDWARDS et al. (1972) auch für weitere physiologische Beanspruchungsgrößen wie Sauerstoffaufnahme und Atemminutenvolumen sehr gute Korrelationen zu RPE-Skalenwerten hin. Sie kamen daher zu dem Schluß, daß die RPE-Werte überwiegend von einem Beanspruchungsempfinden bestimmt werden. ULMER et al. (1977) fanden enge Korrelationen von RPE-Werte und vorgegebenen Belastungen. Sie schlußfolgerten aus ihren Erhebungen, daß die RPE-Skala eher ein Belastungsempfinden erfasse, zwangsläufig aber auch ein Beanspruchungsempfinden, da bekanntermaßen zwischen vorgegebener Belastung und Beanspruchung ein Zusammenhang bestehe.

BILLIGMANN (1980) konnte in diesem Zusammenhang anhand seiner Untersuchungen aufzeigen, daß im unteren Bereich der RPE-Skala das Belastungsempfinden im Vordergrund steht, im oberen RPE-Bereich jedoch das Beanspruchungsempfinden über den Einfluß der Leistungsfähigkeit deutlicher hervortritt.

Weitergehende Erkenntnisse über das Belastungsempfinden in Abhängigkeit von Belastungsintensität und Belastungszeit konnte VÖLKER (1998) anhand einer fahradergometrischen Untersuchung aufdecken, in der das Belastungsempfinden randomisiert bei jeder Person nach 10, 30, 60 und 120 s bei ergometrischer Belastung von jeweils 25, 50, 75 und 100 % der individuellen maximalen Leistungsfähigkeit erhoben wurde. Bei Belastungen bis zu 50 % der maximalen ergometrischen Leistung bestimmt überwiegend die Belastungsintensität entsprechend der Herzfrequenz das Belastungsempfinden; der Zeitfaktor spielt hierbei keine wesentliche Rolle. Hingegen bei Belastungen über 50 % der maximalen ergometrischen Leistung scheint die sich mit der Zeit einstellende hämodynamische Reaktion ein das Belastungsempfinden stark mitbestimmen-

der Faktor zu sein; denn während des zeitlichen Verlaufs bei gleicher prozentualer Belastung steigt sowohl die Belastungsintensität gemessen an der Herzfrequenz als auch das Belastungsempfinden stark an. Da sich nach VÖLKER (1998) das Belastungsempfinden für längerfristige Belastungen an Alltagsbelastungen, welche bis ca. 30 Sekunden dauern, orientiere, werden Dauerbelastungen in der Regel als zu wenig intensiv eingeschätzt. Letzteres sei auch der Grund für die meisten Freizeitsportler, obwohl sie aus gesundheitlichen Gründen Sport betreiben, sich eher zu intensiv zu belasten.

Die fahrradergometrisch erhobenen einzelnen RPE-Werte auf jeder Belastungsstufe wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht näher ausgewertet. Als Beanspruchungsgröße im mittleren Belastungsbereich wurde jedoch der RPE-Wert bezogen auf 3 mmol/l Laktat zu verschiedenen Parametern ins Verhältnis gesetzt (Abbildung 5.1–24).

Mit der mittleren Leistung bei 3 mmol/l Laktat zeigte der mittlere RPE-Wert bei 3 mmol/l in allen Teilstudien ausnahmslos mittlere positive und zugleich signifikante Zusammenhänge. Dies bestätigt die Ergebnisse der Literatur, daß der RPE-Wert maßgeblich von der Belastung mitbestimmt wird (BILLIGMANN 1980, ULMER et al. 1977, VÖLKER 1998).

Für die Korrelationen zwischen dem RPE-Wert und der Herzfrequenz, jeweils bezogen auf 3 mmol/l Laktat, ergaben sich nur für die »Mountainbiker-1« und die »Rennradfahrer« mittlere signifikante Zusammenhänge; für die beiden anderen Teilstudien zeigten sich nur niedrige Zusammenhänge (Abbildung 5.1–24). Dennoch war in allen Fällen eine positive Beziehung zu erkennen, d. h. bezogen auf vergleichbare metabolische Belastung waren hohe Herzfrequenzen mit hohen RPE-Werten verbunden. In der gewählten Form der auf gleiche metabolische Beanspruchung bezogenen Auswertung mag die Begründung für die insgesamt wesentlich niedrigeren Korrelationen des RPE-Wertes zur Leistung und zur Herzfrequenz als die in der Literatur in Abhängigkeit von der stufenförmigen Belastungserhöhung beschriebenen Korrelationen (BORG 1962, BORG/LINDERHOLM 1970, SKINNER 1969) liegen.

RPE-3mmol-lab/	n		P-3mmol-lab	Hf-3mmol-lab	La-max-lab	RPE-feld
Mountainbiker-1	61	r	0,6383	0,4599	-0,3627	0,0216
		p	0,000 **	0,000 **	0,004 **	0,869 -
Mountainbiker-2	31	r	0,6055	0,2697	-0,1598	-0,1466
		p	0,000 **	0,142 -	0,391 -	0,431 -
Rennradfahrer	75	r	0,5045	0,5013	-0,2461	-0,0658
		p	0,000 **	0,000 **	0,036 *	0,580 -
Alltagsfahrradfahrer	27	r	0,5596	0,3481	-0,4981	0,2785
		p	0,004 **	0,088 -	0,011 *	0,188 -

Abbildung 5.1–24: Korrelationskoeffizienten und p-Werte der Korrelationen von RPE-3mmol-lab mit ausgewählten Parametern für die Gesamtkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Die Korrelationen zwischen dem auf 3 mmol/l Laktat bezogenen RPE-Wert und dem maximalen Laktat fielen im Vergleich der Teilstudien überwiegend niedrig aus, nur bei den »Alltagsfahrradfahrern« handelte es sich um einen mittleren Zusammenhang. Interessant ist vor allem die in allen

Teilstudien zu beobachtende negative Korrelation dieser beiden Parameter, d. h. je höher der maximale erreichte Laktatwert desto niedriger der auf 3 mmol/l Laktat bezogene RPE-Wert. Dies erklärt sich dadurch, daß in der Regel ein Proband mit einem geringen maximalen Laktatwert im Vergleich zu einer Person mit einem hohen maximalen Laktatwert bei einem Laktat von 3 mmol/l - relativ gesehen - wesentlich höher beansprucht ist und sich dementsprechend auch höher beansprucht fühlt.

Die Frage, ob das fahrradergometrisch erhobene subjektive Empfinden bei 3 mmol/l Laktat mit dem subjektiven Empfinden während des Feldtests in Beziehung steht, muß verneint werden. Es ergaben sich in diesem Zusammenhang positive, wie negative und ausnahmslos nur sehr niedrige Korrelationskoeffizienten (Abbildung 5.1–24).

Im Gegensatz zu den für fahrradergometrische Untersuchungen weiter oben beschriebenen engen Zusammenhängen zwischen objektiven Parametern und dem Belastungs- bzw. Beanspruchungsempfinden in der Literatur, konnte für die vorliegende Untersuchung im Feldtest kein deutlicher systematischer Zusammenhang nachgewiesen werden (Abbildung 5.1–25).

RPE-feld/ n		Pmw-feld	Hfmw-feld	Tfmw-feld	La-feld	
Mountainbiker-1	61	r	0,1902	0,3297	0,0150	0,2826
		p	0,142 -	0,009 **	0,909 -	0,027 *
Mountainbiker-2	31	r	-0,0721	0,0469	0,0549	-0,0329
		p	0,700 -	0,802 -	0,769 -	0,860 -
Rennradfahrer	75	r	0,3990	0,4847	0,1040	0,3560
		p	0,000 **	0,000 **	0,374 -	0,002 **
Alltagsfahrrad- fahrer	27	r	-0,1321	-0,0566	0,0318	0,3209
		p	0,520 -	0,784 -	0,877 -	0,110 -

Abbildung 5.1–25: Korrelationskoeffizienten und p-Werte der Korrelationen von RPE--feld mit ausgewählten Feldtestparametern für die Gesamtkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Die einzelnen Korrelationen des RPE-Wertes im Feldtest mit der mittleren Leistung, Herzfrequenz und dem Laktat ergaben im Vergleich der Teilstudien teils positive wie negative und überwiegend nur niedrige Zusammenhänge, außer die Korrelation mit der mittleren Herzfrequenz zeigte für die »Rennradfahrer« einen mittleren signifikanten Zusammenhang.

Eine Ausnahme bildete die Korrelation des RPE-Wertes im Feldtest mit der mittleren Tretfrequenz. Hier fanden sich im Vergleich der Teilstudien ausnahmslos positive - wenn auch nur niedrige und nicht signifikante - Zusammenhänge. Dies im Feldtest erzielte Resultat bestätigt indirekt die fahrradergometrisch gewonnenen Ergebnisse von LOFTIN et al. (1990). Diese konnten beim Pedalieren mit jeweils unterschiedlichen Tretfrequenzen von 78 U/min an Freizeitfahrradfahrern und 60 U/min an Studenten bei vergleichbarer Leistung zwischen RPE-Werten und Laktatwerten Korrelationskoeffizienten von 0.48 und 0.85 beobachten. Sie schlußfolgerten aus ihren Untersuchungen, daß die Tretfrequenz über eine veränderte metabolische Lage maßgeblich den RPE-Wert beeinflusse. Die beobachteten Korrelationen zwischen Leistungsempfinden und Tret-

frequenz im Feldtest der vorliegenden Untersuchung fielen vermutlich so niedrig aus, da im Feldtest dieselbe Tretfrequenz verbunden sein kann mit einem hohen Kraftaufwand respektive hoher Leistung oder einem entsprechend niedrigen Kraftaufwand respektive niedriger Leistung. So beeinflusste insgesamt die Leistung, bestätigt durch ergometrische Erhebungen in der Literatur (BILLIGMANN 1980, ULMER et al. 1977, VÖLKER 1998), deutlich stärker das Belastungsempfinden als die Tretfrequenz.

Auch bei der Einzelwertbetrachtung waren nachweislich in allen Teilstudien gleiche RPE-Werte mit stark divergierende Belastungsintensitäten verbunden; bei den »Mountainbiker-1« wurden beispielsweise stark divergierende Belastungsintensitäten entsprechend Laktatkonzentrationen von 1,9 bis 7,9 mmol/l mit der gleichen Belastungsempfindung "schwer" (RPE-Wert von 15) eingeschätzt. Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung deckt sich mit der Beobachtung von VÖLKER et al. (1985), die bei freizeitsportlichen Schwimmern und Läufern im Feldtest auch keine gesetzmäßigen Beziehungen zwischen objektiven Belastungskriterien und subjektivem Belastungsempfinden fanden; ein RPE-Wert von 15 wurde hier beispielsweise bei Belastungsintensitäten entsprechend 2,6 bzw. 14,1 mmol/l Laktat genannt.

Es stellt sich nun die Frage, warum im Feldtest im Gegensatz zu ergometrischen Erhebungen im Vergleich der Probandenkollektive keine deutlichen systematischen Zusammenhänge zwischen objektiven Parametern und subjektivem Belastungsempfinden nachzuweisen sind. Im Vergleich zur Fahrradergometrie kommt im Feldtest erschwerend hinzu, daß das subjektive Belastungsempfinden nicht nach einer konstanten Belastung, sondern nach einer durch unterschiedlich variierende Leistungen, Tretfrequenzen, Krafteinsätze und Herzfrequenzen charakterisierte Trainingsfahrt, erhoben wurde. So ist zu vermuten, daß für die Festlegung eines RPE-Wertes über diese Variationen eine Art Integral gebildet wird, das zudem möglicherweise interindividuell unterschiedlich festgelegt wird. Ein weiterer Faktor, der die Höhe des subjektiven Belastungsempfindens respektive die Bewertung dessen beeinflusst, wie anstrengend eine Belastung empfunden wird, kann in der Sportsozialisation gesehen werden. Bei freier Belastung scheint diese die subjektive Wahrnehmung mehr zu beeinflussen als es objektive Parameter vermögen. Im stufenförmigen fahrradergometrischen Maximaltest hingegen erfolgt bedingt durch die spezifische Versuchsanordnung auf jeder Belastungsstufe bei der Bewertung des Belastungsempfindens immer eine Abgleichung zum Maximum. Dies könnte als Erklärungsansatz für die zwischen objektiven Parametern und subjektivem Belastungsempfinden bestehenden systematischen Zusammenhänge bei ergometrischer Arbeit bzw. die fehlenden systematischen Zusammenhänge bei freier Belastung im Feldtest im Vergleich der Belastungskollektive dienen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die Mittelwerte der einzelnen Teilstudien betrachtend die mittlere Leistung und die mittlere Herzfrequenz in Abhängigkeit vom mittleren RPE-Wert eine positive Relation in der Reihenfolge der Belastungskollektive »Alltagsfahrradfahrer«, »Rennradfahrer«, »Mountainbiker-1« und »Mountainbiker-2« zeigten; mit jeweils höherem mittlerem RPE-Wert stieg auch die entsprechende mitt-

lere Leistung und die entsprechende mittlere Herzfrequenz an (Abbildung 5.1–26). Dies bestätigt tendenziell die ergometrisch erhobenen Befunde von GAMBERALE (1972) und BORG/NOBLE (1974), die für den RPE-Wert bzw. die Herzfrequenz mit zunehmender Belastung einen annähernd linearen Anstieg belegen konnten.

Festzuhalten bleibt somit, daß auch im Feldtest die mittlere Leistung und die mittlere Herzfrequenz in Abhängigkeit vom mittleren RPE-Wert - trotz aller Abweichungen der Einzelwerte innerhalb einer Teilstudie und der sowohl positiven wie negativen Korrelationen im Vergleich der Teilstudien - bei Betrachtung der Mittelwerte der einzelnen Teilstudien in einem positiven Zusammenhang standen. Bei der Mittelwertbetrachtung der gesamten Probandenkollektive scheinen sich divergierende Einzelergebnisse somit aufzuheben. Dies gilt allerdings nur für die Beziehung des subjektiven Belastungsempfindens mit der mittleren Leistung und mit der mittleren Herzfrequenz; für Beziehungen mit der mittleren Tretfrequenz, dem mittleren Laktat und dem mittleren näherungsweise berechneten Energieverbrauch waren derartige Zusammenhänge auch für die Mittelwertbetrachtung der einzelnen Teilstudien nicht zu erkennen.

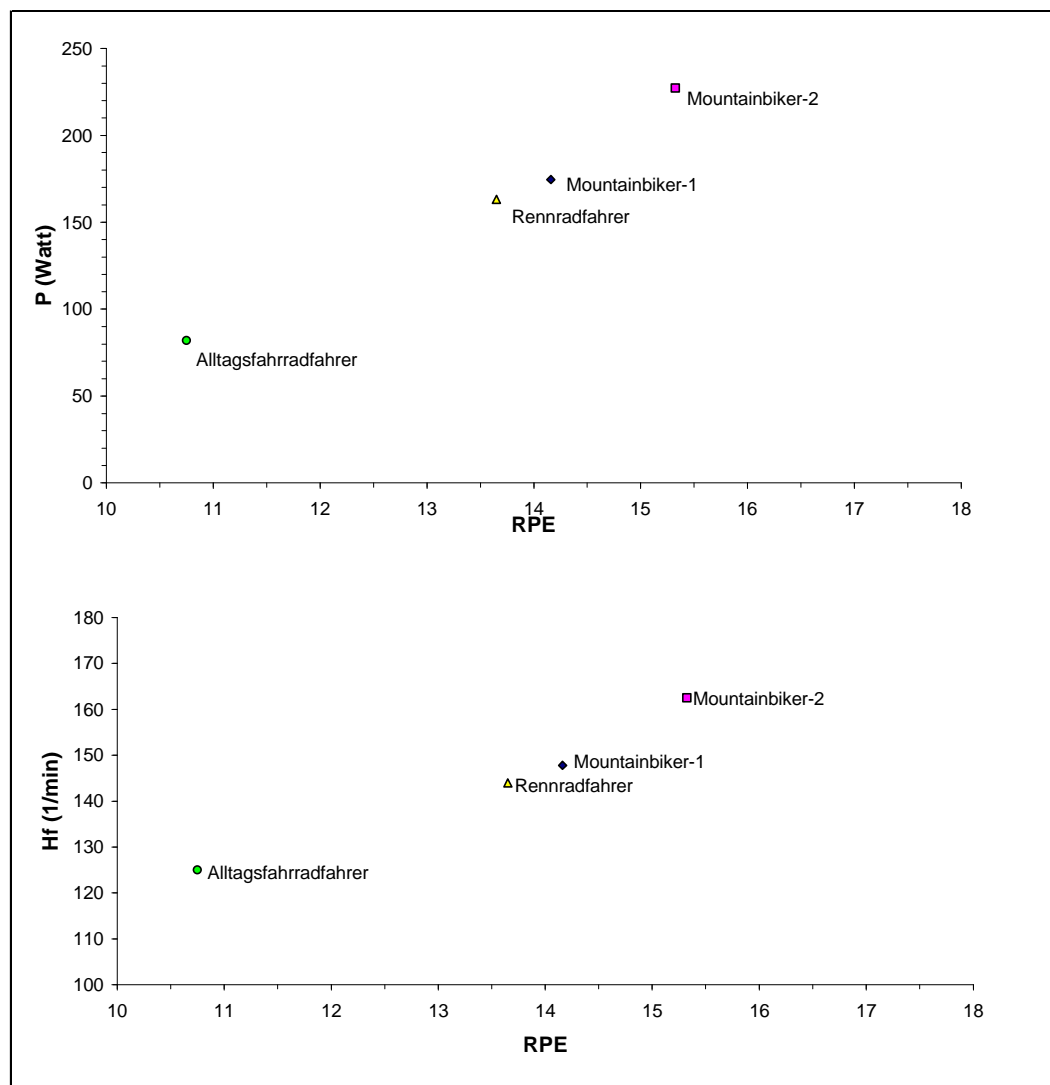


Abbildung 5.1–26: Mittlere Leistung und mittlere Herzfrequenz in Abhängigkeit vom mittleren RPE-Wert für die Männerkollektive unterschiedlicher Teilstudien im Vergleich

Resümee

- ♦ Die vorliegenden fahrradergometrischen Ergebnisse bestätigen dahingehend die Ergebnisse der Literatur, daß einerseits der RPE-Wert maßgeblich von der Belastung mitbestimmt wird, und daß andererseits die Herzfrequenz positiv mit dem Belastungsempfinden korreliert. In dem Bezug der Parameter auf 3 mmol/l Laktat kann die Erklärung für die jeweils im Vergleich zur Literatur niedrigeren Korrelationskoeffizienten liegen.
- ♦ Im Gegensatz zu den für fahrradergometrische Untersuchungen beschriebenen engen Zusammenhängen in der Literatur zwischen objektiven Parametern und dem Belastungsempfinden, konnte für die vorliegenden feldspezifischen Ergebnisse kein deutlicher systematischer Zusammenhang nachgewiesen werden. So ergaben die einzelnen Korrelationen des RPE-Wertes im Feldtest mit der mittleren Leistung, Herzfrequenz und dem Laktat im Vergleich der Teilstudien teils positive wie negative und überwiegend nur niedrige Zusammenhänge. Ursächlich hierfür können interindividuell unterschiedlich festgelegte Integrale über die feldspezifisch variierenden Leistungen, Tretfrequenzen, Krafteinsätzen und Herzfrequenzen angenommen werden, welche unterschiedliche Belastungsempfindungen bedingen. Als weiterer Faktor, der die Bewertung des subjektiven Belastungsempfindens beeinflusst, kann bei freier Belastung die Sportsozialisation herangezogen werden.
- ♦ Interessanterweise zeigte sich bei Betrachtung die Mittelwerte der einzelnen Teilstudien für die Herzfrequenz und die Leistung eine positive Relation zum mittleren RPE-Wert. Hierbei scheinen sich divergierende Einzelergebnisse aufzuheben.

5.1.7 Vergleich der Herzfrequenzen im Feld- und Fahrradergometertest bei Alltags-, Rennrad- und Mountainbikefahrern

Um die Frage der Übertragbarkeit fahrradergometrisch erhobener Herzfrequenzen auf die im Feldtest erhobenen Herzfrequenzen zu klären, wurden die auf den einzelnen Belastungsstufen im Fahrradergometertest erreichten Herzfrequenzen mit den mittleren Herzfrequenzen der entsprechenden Leistungsklassen des Feldtests verglichen (Abbildung 5.1–27, Abbildung 5.1–28).

Effekt	p
Meth	.000 **
Bel	.000 **
Meth/Bel	.000 **
Meth (Fahrradergometrie-Feldtest)	**
Bel (R, 30, 70, 110, 150, 190)* für »Rennradfahrer«, »Alltagsfahrradfahrer«	**
(R, 30, 70, 110, 150, 190, 230, 270)* für »Mountainbiker-1«, »Mountainbiker-2«	**

* jeweils für alle Kombinationen

Abbildung 5.1–27: Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse (Faktor Methode: Meth; Faktor Belastung: Bel) zum Mittelwertvergleich der im Feld- und Fahrradergometertest erreichten Herzfrequenzen auf den verschiedenen Belastungsstufen für die Breitensportlich ambitionierten »Mountainbiker-1« (n=61), »Mountainbiker-2« (n=31), »RennradfahrerInnen« (n=75) sowie »AlltagsfahrradfahrerInnen« (n=27) (Haupteffekte und Interaktionseffekt sowie Einzeleffekte signifikanter Haupteffekte)

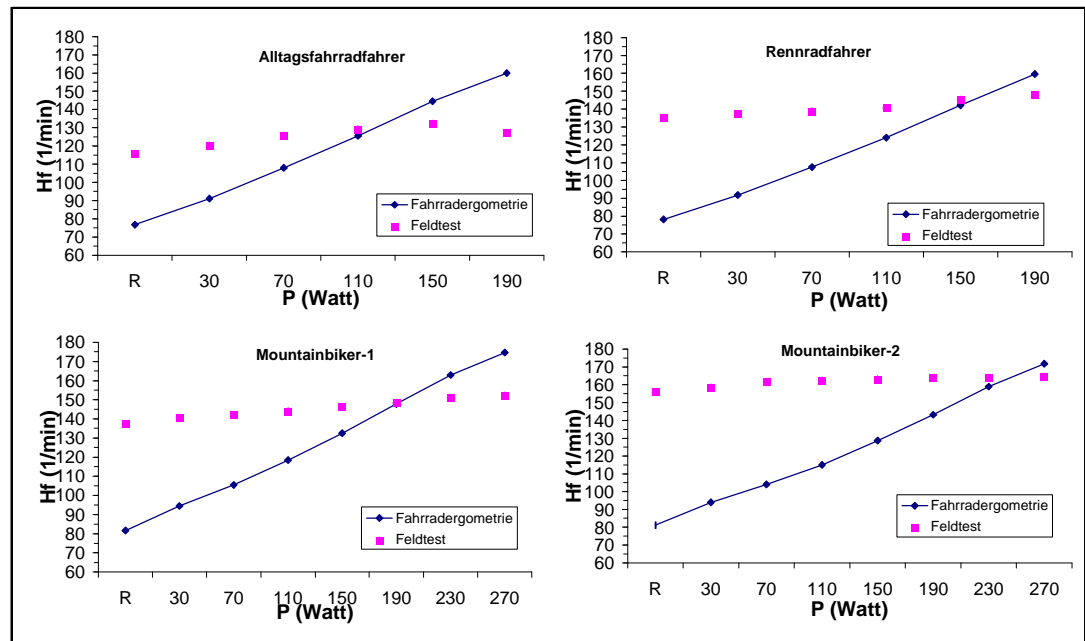


Abbildung 5.1–28: Einzeleffekte der signifikanten Interaktionseffekte des Herzfrequenzmittelwertvergleichs aus dem Feld- und Fahrradergometertest auf den unterschiedlichen Belastungsstufen für die »AlltagsfahrradfahrerInnen« (n=27), die »RennradfahrerInnen« (n=75), die »Mountainbiker-1« (n=61) sowie die »Mountainbiker-2« (n=31)

Es konnte gezeigt werden, daß die Herzfrequenzen mit jeweils höherer Belastung sowohl im Fahrradergometertest mit stufenförmiger Belastungserhöhung als auch - mit einer Ausnahme bei den »Alltagsfahrradfahrern« - im Feldtest erhöht war. Obwohl sich die Mittelwertunterschiede der Herzfrequenz unabhängig von der Untersuchungsmethode jeweils signifikant darstellten, wie der signifikante Haupteffekt Bel angab (Abbildung 5.1–27), fielen die entsprechenden Mittelwertunterschiede bei vergleichbarer Belastung im Feldtest deutlich geringer aus als bei fahrradergometrischer Belastung. Im Speziellen bewegten sich die

Herzfrequenzen im Fahrradergometertest je nach Teilstudie im Mittel in einem relativ breiten Bandbereich von mindestens 77 bis maximal 180 min^{-1} (Ruhe bis 190 Watt bzw. 270 Watt). Demgegenüber lagen die im Feldtest ermittelten Herzfrequenzen bei vergleichbarer Leistung jeweils in einem vergleichsweise wesentlich schmaleren Band von jeweils maximal 15 Schlägen min^{-1} , das sich je nach Studie in verschiedenen Herzfrequenzhöhen befand (Abbildung 5.1–28). Als Beleg für ein generell unterschiedliches Verhalten der im Fahrradergometertest erhobenen mittleren Herzfrequenzen gegenüber den im Feldtest erhobenen mittleren Herzfrequenzen war der Haupteffekt Meth statistisch signifikant (Abbildung 5.1–27).

Als ursächlich für die unterschiedliche Herzfrequenzreaktion im Feldtest gegenüber der fahrradergometrischen Untersuchung ist die jeweilige Belastung anzunehmen.

Im standardisierten Fahrradergometertest mit stufenförmiger Belastungserhöhung bleibt die Belastung pro Belastungsstufe je nach Belastungsschema in der Regel für mindestens zwei Minuten konstant. Folglich hat die Herzfrequenz genügend Zeit, sich auf die Belastung einzustellen. Die unter solchen ergometrischen Bedingungen erhobenen Herzfrequenzen weisen individuell eine geringe Streuung auf und diskriminieren in Bezug auf benachbarte Belastungsstufen deutlich voneinander. Sie gelten als repräsentativ für die entsprechende Belastungsstufe.

Im Feldtest hingegen ist die Belastung gekennzeichnet durch eine je nach Disziplin entsprechend ausgeprägte Variation der einzelnen Leistungswerte. Aufgrund der hiermit verbundenen Kurzzeitigkeit, in der die einzelnen Leistungswerte erbracht werden, ist die Herzfrequenz aufgrund der trägen Herz-Kreislaufreaktion als eine Reaktion auf eine "integrierte" Belastung, entsprechend einer um die jeweilige Vorbelastung erweiterte Leistungsklasse, zu verstehen. Wie die bei allen Probandenkollektiven beobachtete relativ hohe Standardabweichung für die jeweilige mittlere Herzfrequenz der einzelnen Leistungsklassen belegt (Abbildung 3.1-8; Abbildung 3.2-7; Abbildung 3.3-8; Abbildung 3.4-6), beruhen die mittleren Herzfrequenzen auf relativ niedrigen als auch auf relativ hohen Herzfrequenzen. So ist eine relativ niedrige Herzfrequenz anzunehmen, wenn der Proband sich eher in einem "Leistungsanstieg" befindet; denn aufgrund der verzögerten Herz-Kreislaufreaktion steigt die Herzfrequenz erst verzögert an. Eine relativ hohe Herzfrequenz ist zu vermuten, wenn der Proband sich eher in einem "Leistungsabfall" befindet, denn erholungsbedingt bleibt die Herzfrequenz je nach der Beanspruchungshöhe noch über viele Sekunden erhöht. Bedingt durch die Herzfrequenzreaktion auf eine eher "integrierte Belastung", d. h. auf eine um eine entsprechende Vorbelastung erweiterte Leistungsklasse, ergab sich für die mittleren Herzfrequenzen benachbarter Leistungsklassen eine Nivellierung. Dies drückte sich in den geringen Herzfrequenzmittelwertunterschieden benachbarter Leistungsklassen respektive dem schmalen Bandbereich aus, in dem sich die im Feldtest erhobenen mittleren Herzfrequenzen bewegten.

Der unterschiedliche Verlauf der im Feldtest und im Fahrradergometertest erhobenen Herzfrequenzen lässt sich zudem in den Mittelwertunterschieden der unter verschiedenen methodischen Bedingungen erhobenen

Herzfrequenzen verdeutlichen. Im Vergleich zu den fahrradergometrisch erhobenen mittleren Herzfrequenzen fielen die im Feldtest erhobenen mittleren Herzfrequenzen im unteren Belastungsbereich zunächst deutlich höher aus. Mit jeweils höherer Belastungsstufe näherten sich die entsprechenden Herzfrequenzen bis zu einer Belastungsstufe an. Danach fielen für jeweils höhere Belastungsstufen die ergometrisch erhobenen Herzfrequenzen größer aus als vergleichsweise die im Feldtest erhobenen Herzfrequenzen. Diesen Verlauf belegte der multiple Mittelwertvergleich. So unterschieden sich die im Feldtest und Fahrradergometertest erhobenen mittleren Herzfrequenzen auf allen Belastungsstufen für alle Probandenkollektive - mit jeweils einer Ausnahme - statistisch signifikant (Abbildung 5.1–27). Nicht signifikante Unterschiede der jeweils methodisch unterschiedlich erhobenen mittleren Herzfrequenzen, fanden sich, entsprechend der Phase der "Wertannäherung", bei den »Alltagsfahrradfahrer« bei 110 Watt (Abbildung 3.1.-26), bei den »Rennradfahrern« bei 150 Watt (Abbildung 3.2.-25), bei den »Mountainbikern-1« bei 190 Watt (Abbildung 3.3.-25) und bei den »Mountainbiker-2« bei 230 Watt (Abbildung 3.4.-17).

In diesem Kontext stellt sich die Frage, wonach sich die Belastungshöhe für die nicht signifikanten Unterschiede der jeweils unter verschiedenen Bedingungen erhobenen mittleren Herzfrequenzen richtet, bzw. ob sich ein gesetzmäßiger Zusammenhang beobachten läßt. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, ist die jeweilige Belastungshöhe abhängig von den jeweiligen mittleren Herzfrequenzverläufen unter ergometrischen Bedingungen als unter Feldbedingungen, welche wiederum von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden.

So wird der Anstieg der Herzfrequenzen unter fahrradergometrischer Belastung neben individuellen Herzfrequenzreaktionen u. a. durch den Trainingszustand bestimmt; denn gleiche Herzfrequenzen werden bei Trainierten erst auf höherer Belastungsstufe erreicht. Folglich fiel der Anstieg der Herzfrequenz mit zunehmender Belastung im Fahrradergometertest entsprechend der etwas geringeren Leistungsfähigkeit (Abbildung 5.1–5) bei den »Alltagsfahrradfahrern« etwas steiler aus als z. B. bei den »Mountainbikern«. Die absolute Höhe des Bandbereichs, in dem sich generell die mittleren Herzfrequenzen im Feldtest bewegen, ist abhängig von der entsprechenden "integrierten" Leistungsanforderung.

Insgesamt zeigte sich, je flacher der Anstieg der Herzfrequenz bei fahrradergometrischer Arbeit, z. B. aufgrund eines verbesserten Trainingszustandes, und je höher der relativ schmale Bandbereich der mittleren im Feldtest erhobenen Herzfrequenz lag, desto höher fiel die Leistung aus, bei der die bei vergleichbarer Leistung methodisch unterschiedlich erhobenen mittleren Herzfrequenzen sich nicht unterschieden.

In Bezug auf die Repräsentativität der mittleren Herzfrequenz für eine Belastungsstufe unter fahrradergometrischen als unter feldspezifischen Bedingungen läßt sich folgendes erörtern. Einerseits diskriminierten die mittleren im Feldtest erhobenen Herzfrequenzen benachbarter Leistungsklassen nur relativ wenig, andererseits fielen durch den großen Einfluß der jeweiligen Vorbelastung die Unterschiede der mittleren Herzfrequenzen bezogen auf gleiche Leistungsklassen im Vergleich der Probandenkollektive recht groß aus. So wurde z. B. die gleiche Leistungsklasse von im

Mittel 31-70 Watt von den »Alltagsfahrradfahrern« mit einer mittleren Herzfrequenz von 126 min^{-1} (Abbildung 3.1-8) und von den «Mountainbikern-2« mit einer mittleren Herzfrequenz von 161 min^{-1} (Abbildung 3.4-6) realisiert. Die unter feldspezifischen Bedingungen erhobenen mittleren Herzfrequenzen können von daher nicht als repräsentativ für die entsprechende Leistungsklasse gelten, wie dies die unter ergometrischen Bedingungen erhobenen mittleren Herzfrequenzen vermögen.

Resümee

Insgesamt zeigte sich ein qualitativ und quantitativ unterschiedliches Verhalten der unter fahrradergometrischen und unter feldspezifischen Bedingungen erhobenen mittleren Herzfrequenzen. Eine Übertragbarkeit fahrradergometrisch erhobener Herzfrequenzen auf die Herzfrequenzen im Feldtest ist von daher nicht möglich.