

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Anthropometrie, Lungenfunktion und BGA

Zur Charakterisierung des Patientenkollektivs sind die anthropometrischen Daten und die Werte der Lungenfunktionsprüfung (Tabelle 4-1) sowie die Werte der BGA (Tabelle 4-2) dargestellt. Die gemessenen Daten wurden hinsichtlich des Geschlechts auf signifikante Unterschiede geprüft.

Tabelle 4-1: Darstellung der **anthropometrischen Daten** und der **Werte der Lungenfunktionsprüfung** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 82)	Männlich (n = 42)	Weiblich (n = 40)	Männlich vs Weiblich
<b>Alter [Jahre]</b>	21,9 $\pm$ 7,9 (8 – 39)	21,2 $\pm$ 8,5 (9 – 39)	20,9 $\pm$ 7,3 (8 – 39)	ns
<b>Körpergröße [cm]</b>	161,5 $\pm$ 13,7 (127 – 195)	164,3 $\pm$ 16,0 (127 – 195)	158,6 $\pm$ 10,0 (129 – 175)	ns
<b>KG [kg]</b>	47,7 $\pm$ 12,3 (25 – 84)	49,6 $\pm$ 14,4 (25 – 84)	45,7 $\pm$ 9,3 (25 – 63)	ns
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	17,96 $\pm$ 2,30 (14,67 – 25,18)	17,93 $\pm$ 2,42 (14,70 – 25,18)	17,99 $\pm$ 2,20 (14,67 – 22,86)	ns
<b>FVK [ml]</b>	2126 $\pm$ 966 (600 – 5850)	2378 $\pm$ 1102 (760 – 5850)	1862 $\pm$ 722 (600 – 4110)	0,014
<b>FEV1 [ml]</b>	1443 $\pm$ 694 (500 – 4060)	1568 $\pm$ 773 (740 – 4060)	1313 $\pm$ 580 (500 – 3330)	ns
<b>MEF50 [l/s]</b>	*1,4 $\pm$ 1,1 (0,3 – 5,7)	*1,5 $\pm$ 1,3 (0,3 – 5,7)	*1,1 $\pm$ 0,9 (0,4 – 4,2)	ns
<b>FVK [%erwartet]</b>	58,0 $\pm$ 23,0 (17 – 123)	58,4 $\pm$ 22,9 (20 – 104)	57,5 $\pm$ 23,4 (17 – 123)	ns
<b>FEV1 [%erwartet]</b>	*47,6 $\pm$ 23,6 (16 – 118)	47,5 $\pm$ 23,4 (20 – 103)	47,6 $\pm$ 24,1 (16 – 118)	ns
<b>MEF50 [%erwartet]</b>	*33,7 $\pm$ 29,6 (8 – 133)	36,0 $\pm$ 31,5 (8 – 124)	31,3 $\pm$ 27,7 (9 – 133)	ns
<b>FEV1/FVK [%]</b>	69,2 $\pm$ 13,5 (38 – 100)	67,9 $\pm$ 15,1 (38 – 97)	70,7 $\pm$ 11,5 (50 – 100)	ns

KG: Körpergewicht; BMI: body mass index, Körpermassenindex; FVK: forcierte Vitalkapazität; FEV1: maximales expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde; MEF50: mittlerer expiratorischer Fluss in einer Sekunde bei 50% der forcierten Vitalkapazität; FEV1/FVK: Tiffenau-Wert; ns: nicht signifikant; nicht normalverteilte Messgrößen sind mit einem \* gekennzeichnet.

Die anthropometrischen Daten (Alter, Körpergröße, KG und BMI) weisen keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede auf (Tabelle 4-1). Der Absolutwert der FVK männlicher Patienten ist wie bei Gesunden signifikant höher als bei weiblichen Patienten. Die übrigen Messgrößen der Lungenfunktionsprüfung zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Erwartungsgemäß sind die relativen Werte der Lungenfunktionsprüfung (FVK, FEV1, MEF50) im Vergleich zu Gesunden (tabellarisch nicht dargestellt) deutlich erniedrigt.

Tabelle 4-2: Messgrößen der BGA (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) in **Ruhe** der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 79/82)	Männlich (n = 40/42)	Weiblich (n = 39/40)	Männlich vs Weiblich
<b>pH</b>	7,427 $\pm$ 0,025 (7,343 – 7,475)	7,422 $\pm$ 0,022 (7,370 – 7,465)	7,430 $\pm$ 0,027 (7,343 – 7,475)	ns
<b>pCO<sub>2</sub> [mmHg]</b>	40,2 $\pm$ 4,0 (27,8 – 53,0)	40,8 $\pm$ 3,8 (32,4 – 53,0)	39,5 $\pm$ 4,2 (27,8 – 46,8)	ns
<b>pO<sub>2</sub> [mmHg]</b>	72,7 $\pm$ 9,7 (49,6 – 96,7)	72,3 $\pm$ 9,3 (49,6 – 88,8)	73,1 $\pm$ 10,2 (53,0 – 96,7)	ns
<b>SO<sub>2</sub> [%]</b>	*93,9 $\pm$ 2,6 (82,4 – 97,2)	93,8 $\pm$ 2,7 (82,4 – 96,9)	94,0 $\pm$ 2,5 (85,0 – 97,2)	ns
<b>BA [mmol/l]</b>	2,1 $\pm$ 2,4 (-4,9 – 6,6)	2,0 $\pm$ 2,1 (-1,8 – 6,4)	2,1 $\pm$ 2,7 (-4,9 – 6,6)	ns

pH: Wasserstoffionenkonzentration; pCO<sub>2</sub>: Kohlendioxidpartialdruck; pO<sub>2</sub>: Sauerstoffpartialdruck; SO<sub>2</sub>: Sauerstoffsättigung; BA: Basenabweichung; ns: nicht signifikant; nicht normalverteilte Messgrößen sind mit einem \* gekennzeichnet.

Aus Tabelle 4-2 wird ersichtlich, dass bei unserem Patientenkollektiv schon in Ruhe eine deutliche Hypoxämie (pO<sub>2Ruhe</sub> und SO<sub>2Ruhe</sub> erniedrigt) bei normalem pH<sub>Ruhe</sub>, pCO<sub>2Ruhe</sub> und BA<sub>Ruhe</sub> besteht. Die Werte der BGA zeigen entsprechend Gesunder (tabellarisch nicht dargestellt) keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede.

## 4.2 Spiroergometrische Funktionsgrößen

In den Kapiteln 4.2.1 bis 4.2.2 und den Tabellen 4-3 bis 4-6 sind die von uns erhobenen, typischen Funktionsgrößen der Spiroergometrie in Ruhe und bei Belastungsabbruch dargestellt.

### 4.2.1 Ruhewerte

Tabelle 4-3: Typische Messgrößen der Spiroergometrie (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) in **Ruhe** der **gesamten Stichprobe** sowie getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 79/82)	Männlich (n = 40/42)	Weiblich (n = 39/40)	Männlich vs Weiblich
<b>HF [1/min]</b>	101 $\pm$ 13 (71 - 131)	98 $\pm$ 12 (75 - 122)	103 $\pm$ 14 (71 - 131)	ns
<b>VO<sub>2</sub> [ml/min]</b>	291 $\pm$ 76 (125 - 453)	312 $\pm$ 80 (139 - 453)	269 $\pm$ 66 (125 - 412)	0,011
<b>RQ</b>	0,95 $\pm$ 0,08 (0,74 - 1,16)	0,94 $\pm$ 0,08 (0,74 - 1,16)	0,95 $\pm$ 0,07 (0,80 - 1,07)	ns
<b>AF [1/min]</b>	24,5 $\pm$ 6,1 (12,0 - 48,6)	24,0 $\pm$ 5,6 (12,0 - 38,2)	25,1 $\pm$ 6,7 (12,5 - 48,6)	ns
<b>AZV [ml]</b>	575 $\pm$ 171 (213 - 1034)	616 $\pm$ 180 (310 - 1034)	533 $\pm$ 152 (213 - 933)	0,028
<b>AMV [l/min]</b>	13,8 $\pm$ 3,5 (6,2 - 23,3)	14,5 $\pm$ 3,7 (7,9 - 23,3)	13,1 $\pm$ 3,2 (6,2 - 22,2)	ns

HF: Herzfrequenz; VO<sub>2</sub>: Sauerstoffaufnahme; RQ: Respiratorischer Quotient; AF: Atemfrequenz; AZV: Atemzugvolumen; AMV: Atemminutenvolumen; ns: nicht signifikant.

Auffallend sind die im Vergleich zu Gesunden (tabellarisch nicht dargestellt) erhöhten Werte der AF<sub>Ruhe</sub> und in geringerem Maße des AMV<sub>Ruhe</sub> bei normalem AZV<sub>Ruhe</sub>. Die HF<sub>Ruhe</sub> der Gesamtstichprobe ist gering erhöht, die VO<sub>2Ruhe</sub> mit Gesunden vergleichbar (Tabelle 4-3). Die signifikant höheren Absolutwerte der VO<sub>2Ruhe</sub> und des AZV<sub>Ruhe</sub> der männlichen Patienten, die auch bei Gesunden zu finden sind, verschwinden, wenn körpergewichtsbezogen getestet wird. Die übrigen Messgrößen zeigen übereinstimmend mit Gesunden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern.

#### 4.2.2 Abbruchwerte

In Tabelle 4-4 sind die Abbruchwerte der spiroergometrischen Messgrößen (absolute und relative  $P_{\max}$  und  $VO_{2\max}$ , Erwartungswert der  $P_{\max}$ ,  $HF_{\max}$  und  $RQ_{\max}$ ) dargestellt.

Praktisch alle Patienten gaben bei Belastungsabbruch den Höchstwert 20 („sehr, sehr schwer“) auf der Borg-Skala an. Deshalb wurde an dieser Stelle auf eine tabellarische Darstellung verzichtet.

Als Abbruchgründe wurden in 24 Fällen muskuläre Erschöpfung, in 14 Fällen Luftmangel und in 44 Fällen muskuläre Erschöpfung **und** Luftmangel angegeben.

Tabelle 4-4: Typische Messgrößen der Spiroergometrie (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) bei **Belastungsabbruch** der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 80/82)	Männlich (n = 41/42)	Weiblich (n = 39/40)	Männlich vs Weiblich
<b>P [W]</b>	*99,9 $\pm$ 47,7 (36 – 313)	114,8 $\pm$ 57,4 (40 – 313)	84,2 $\pm$ 27,8 (36 – 159)	0,003
<b>P [W/kg]</b>	2,1 $\pm$ 0,7 (0,9 – 3,7)	2,3 $\pm$ 0,8 (1,0 – 3,7)	1,9 $\pm$ 0,6 (0,9 – 3,5)	0,004
<b>P [%erwartet]</b>	76,4 $\pm$ 24,4 (34 – 141)	77,9 $\pm$ 25,9 (34 – 124)	74,9 $\pm$ 22,9 (36 – 141)	ns
<b>HF [1/min]</b>	178 $\pm$ 17 (118 – 210)	177 $\pm$ 20 (118 – 210)	180 $\pm$ 14 (151 – 207)	ns
<b>VO<sub>2</sub> [ml/min]</b>	1518 $\pm$ 578 (771 – 3890)	1737 $\pm$ 665 (783 – 3890)	1288 $\pm$ 352 (771 – 2166)	< 0,001
<b>VO<sub>2</sub> [ml/kg*min]</b>	32,6 $\pm$ 9,8 (16,4 – 65,1)	35,6 $\pm$ 9,5 (18,7 – 49,7)	29,5 $\pm$ 9,2 (16,4 – 65,1)	0,004
<b>RQ</b>	1,13 $\pm$ 0,08 (0,96 – 1,37)	1,12 $\pm$ 0,06 (0,99 – 1,26)	1,15 $\pm$ 0,10 (0,96 – 1,37)	ns

P: power, Leistung; HF: Herzfrequenz; VO<sub>2</sub>: Sauerstoffaufnahme; RQ: Respiratorischer Quotient; ns: nicht signifikant, nicht normalverteilte Messgrößen sind mit einem \* gekennzeichnet.

Bis auf den  $RQ_{\max}$  sind die Abbruchwerte absolute und relative  $P_{\max}$  und  $VO_{2\max}$ , Erwartungswert der  $P_{\max}$  sowie  $HF_{\max}$  im Vergleich zu Gesunden (tabellarisch nicht dargestellt) erniedrigt (Tabelle 4-4).

Die signifikant erhöhten absoluten und relativen Werte der  $P_{\max}$  und  $VO_{2\max}$  bei den männlichen Patienten sind bei Gesunden ebenfalls zu finden.

Tabelle 4-5: Messgrößen der **Atmung und Anstrengungsgrößen der Atmung** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) bei **Belastungsabbruch** der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 82)	Männlich (n = 42)	Weiblich (n = 40)	Männlich vs Weiblich
<b>AF [1/min]</b>	53,4 $\pm$ 10,9 (29,6 – 83,8)	52,0 $\pm$ 10,9 (29,6 – 72,2)	54,8 $\pm$ 10,9 (36,7 – 83,8)	ns
<b>AZV [ml]</b>	1100 $\pm$ 442 (493 – 2700)	1247 $\pm$ 509 (493 – 2700)	945 $\pm$ 292 (499 – 1922)	0,001
<b>AMV [l/min]</b>	57,9 $\pm$ 25,2 (22,6 – 168,0)	63,7 $\pm$ 29,1 (29,3 – 168,0)	51,7 $\pm$ 18,7 (22,6 – 110,6)	0,030
<b>AZV<sub>max</sub>/FEV1</b>	0,80 $\pm$ 0,18 (0,50 – 1,67)	0,84 $\pm$ 0,21 (0,54 – 1,67)	0,77 $\pm$ 0,15 (0,50 – 1,13)	ns
<b>AZV<sub>max</sub>/FVK</b>	0,54 $\pm$ 0,12 (0,36 – 0,93)	0,55 $\pm$ 0,13 (0,36 – 0,89)	0,54 $\pm$ 0,12 (0,40 – 0,93)	ns
<b>AMV<sub>max</sub>/MVV</b>	1,04 $\pm$ 0,18 (0,62 – 1,49)	1,04 $\pm$ 0,18 (0,65 – 1,49)	1,03 $\pm$ 0,17 (0,62 – 1,43)	ns

AF: Atemfrequenz; AZV, Atemzugvolumen; AMV, Atemminutenvolumen; AZV<sub>max</sub>/FEV1: maximales Atemzugvolumen/forciertes expiratorisches Volumen in der ersten Sekunde; AZV<sub>max</sub>/FVK: maximales Atemzugvolumen/forcierte Vitalkapazität; AMV<sub>max</sub>/MVV: maximales Atemminutenvolumen/maximales ventilatorisches Volumen; ns: nicht signifikant.

Die Messgrößen der Atmung ( $AF_{\max}$ ,  $AZV_{\max}$  und  $AMV_{\max}$ ) und die Quotienten  $AZV_{\max}/FEV1$ ,  $AZV_{\max}/FVK$  und  $AMV_{\max}/\text{maximales ventilatorisches Volumen (MVV)}$ , sogenannte Anstrengungsgrößen der Atmung, sind in Tabelle 4-5 dargestellt. Auffallend im Vergleich zum gesunden Respirationstrakt sind die erhöhte  $AF_{\max}$  und die deutlich erhöhten Anstrengungsgrößen, im Besonderen der Quotient  $AMV_{\max}/MVV$ . Die männlichen Patienten zeigen sowohl für das absolute als auch das körpergewichtsbezogene  $AZV_{\max}$  (in der Tabelle nicht dargestellt,  $p < 0,004$ ) signifikant höhere Werte als die weiblichen Patienten, welche bei Gesunden ebenfalls zu finden sind. Das höhere, bei Gesunden ebenfalls geschlechtsabhängige  $AMV_{\max}$  der männlichen Patienten ist körpergewichtsbezogen hingegen nicht mehr nachzuweisen. Die Anstrengungsgrößen der Atmung ( $AZV_{\max}/FEV1$ ,  $AZV_{\max}/FVK$  und  $AMV_{\max}/MVV$ ) zeigen demgegenüber keine geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Tabelle 4-6: Messgrößen der **Blutgasanalyse** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) bei **Belastungsabbruch** der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 78/79)	Männlich (n = 40/41)	Weiblich (n = 38)	Männlich vs Weiblich
<b>pH</b>	7,262 $\pm$ 0,058 (7,148 – 7,416)	7,256 $\pm$ 0,058 (7,148 – 7,416)	7,269 $\pm$ 0,059 (7,150 – 7,373)	ns
<b>pCO<sub>2</sub> [mmHg]</b>	47,3 $\pm$ 9,8 (30,2 – 80,1)	48,1 $\pm$ 9,1 (30,7 – 80,1)	46,5 $\pm$ 10,6 (30,2 – 73,2)	ns
<b>pO<sub>2</sub> [mmHg]</b>	63,1 $\pm$ 14,2 (34,0 – 106,0)	61,8 $\pm$ 12,9 (38,7 – 92,6)	64,5 $\pm$ 15,4 (34,0 – 106,0)	ns
<b>SO<sub>2</sub> [%]</b>	84,5 $\pm$ 9,6 (51,0 – 97,0)	83,9 $\pm$ 8,5 (61,0 – 96,7)	85,0 $\pm$ 10,7 (51,0 – 97,0)	ns
<b>BA [mmol/l]</b>	-6,2 $\pm$ 4,1 (-15,3 – 2,4)	-6,4 $\pm$ 4,5 (-15,3 – 2,4)	-6,1 $\pm$ 3,6 (-13,9 – -0,5)	ns

pH: Wasserstoffionenkonzentration; pCO<sub>2</sub>: Kohlendioxidpartialdruck; pO<sub>2</sub>: Sauerstoffpartialdruck; SO<sub>2</sub>: Sauerstoffsättigung; BA: Basenabweichung; ns: nicht signifikant.

In Tabelle 4-6 sind die Werte der BGA bei Belastungsabbruch dargestellt. Deutlich zeigen sich im Vergleich zu Gesunden (tabellarisch nicht dargestellt) der Anstieg bzw. der erhöhte pCO<sub>2max</sub> und der Abfall des pO<sub>2max</sub> und der SO<sub>2max</sub> mit erheblicher Spanne, bei Normalwerten für pH<sub>max</sub> und BA<sub>max</sub>.

*Anmerkung: Bei der pO<sub>2max</sub> und SO<sub>2max</sub> handelt es sich bei Belastungsabbruch um die **niedrigsten** Werte, da diese im Verlauf der Belastung sinken.*

Die Werte der BGA bei Belastungsabbruch weisen entsprechend Gesunder keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede auf.

Die spiroergometrischen Messgrößen nach der 5. Erholungsminute finden sich im Anhang (Kapitel 9.1, Tabelle 9-1). Die signifikanten Unterschiede entsprechen denen der Ruhewerte.

### 4.3 Laktat

In den Tabellen 4-7 bis 4-9 sind die  $\text{Laktat}_{\text{Ruhe}}$ -Werte, die  $\text{Laktat}_{\text{max}}$ -Werte und die  $\text{Laktat}_{\text{nB}}$ -Werte (nB, nach Belastung, 5. Erholungsminute) der gesamten Stichprobe, sowie getrennt nach Geschlecht, Altersgruppe und Schweregrad der Lungenfunktion dargestellt.

Tabelle 4-7:  $\text{Laktat}_{\text{Ruhe}}$ ,  $\text{Laktat}_{\text{max}}$  und  $\text{Laktat}_{\text{nB}}$  (Mittelwerte  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 82)	Männlich (n = 42)	Weiblich (n = 40)	Männlich vs Weiblich
<b>Laktat<sub>Ruhe</sub> [mmol/l]</b>	0,83 $\pm$ 0,30 (0,4 – 1,8)	0,83 $\pm$ 0,33 (0,4 – 1,8)	0,83 $\pm$ 0,26 (0,40 – 1,44)	ns
<b>Laktat<sub>max</sub> [mmol/l]</b>	7,39 $\pm$ 2,24 (2,92 – 11,90)	7,38 $\pm$ 2,45 (2,92 – 11,90)	7,39 $\pm$ 2,03 (3,41 – 11,29)	ns
<b>Laktat<sub>nB</sub> [mmol/l]</b>	7,33 $\pm$ 2,41 (2,36 – 13,10)	7,23 $\pm$ 2,65 (2,36 – 11,82)	7,43 $\pm$ 2,17 (2,82 – 13,10)	ns

nB: nach Belastung; ns: nicht signifikant.

Tabelle 4-8:  $\text{Laktat}_{\text{Ruhe}}$ ,  $\text{Laktat}_{\text{max}}$  und  $\text{Laktat}_{\text{nB}}$  (Mittelwerte  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) nach der **Altersgruppe**.

	Altersgruppe			Signifikanz		
	< 15 Jahre (n = 21)	15-18 Jahre (n = 16)	> 18 Jahre (n = 45)	< 15 vs 15-18 Jahre	15-18 vs > 18 Jahre	< 15 vs > 18 Jahre
<b>Laktat<sub>Ruhe</sub> [mmol/l]</b>	0,80 $\pm$ 0,25 (0,40 – 1,40)	0,87 $\pm$ 0,25 (0,40 – 1,26)	0,83 $\pm$ 0,33 (0,40 – 1,80)	ns	ns	ns
<b>Laktat<sub>max</sub> [mmol/l]</b>	7,28 $\pm$ 2,10 (4,00 – 11,15)	7,73 $\pm$ 2,50 (3,87 – 11,90)	7,31 $\pm$ 2,24 (2,92 – 11,00)	ns	ns	ns
<b>Laktat<sub>nB</sub> [mmol/l]</b>	6,72 $\pm$ 2,16 (3,20 – 10,70)	7,74 $\pm$ 2,71 (3,70 – 13,10)	7,46 $\pm$ 2,42 (2,36 – 11,75)	ns	ns	ns

nB: nach Belastung; ns: nicht signifikant.

Tabelle 4-9:  $\text{Laktat}_{\text{Ruhe}}$ ,  $\text{Laktat}_{\text{max}}$  und  $\text{Laktat}_{\text{nB}}$  (Mittelwerte  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) nach dem **Schweregrad der Lungenfunktionsstörung**.

	FEV1 erwartet			Signifikanz		
	> 70% (n = 14)	40–70% (n = 26)	< 40% (n = 42)	> 70 vs 40–70%	40-70 vs < 40%	> 70 vs < 40%
<b>Laktat<sub>Ruhe</sub> [mmol/l]</b>	0,87 $\pm$ 0,38 (0,40 – 1,80)	0,80 $\pm$ 0,31 (0,40 – 1,60)	0,83 $\pm$ 0,26 (0,40 – 1,45)	ns	ns	ns
<b>Laktat<sub>max</sub> [mmol/l]</b>	8,63 $\pm$ 2,58 (4,80 – 11,90)	8,09 $\pm$ 2,02 (4,00 – 11,00)	6,54 $\pm$ 1,92 (2,92 – 9,85)	ns	0,002	0,002
<b>Laktat<sub>nB</sub> [mmol/l]</b>	7,86 $\pm$ 2,99 (3,60 – 13,10)	8,05 $\pm$ 2,31 (3,20 – 11,75)	6,70 $\pm$ 2,15 (2,36 – 11,36)	ns	0,017	ns

nB: nach Belastung; ns: nicht signifikant.

Die  $\text{Laktat}_{\text{Ruhe}}$ -Werte in Tabelle 4-7 sind im Vergleich zu Gesunden (tabellarisch nicht dargestellt) als normal anzusehen. Die  $\text{Laktat}_{\text{max}}$ - und  $\text{Laktat}_{\text{nB}}$ -Werte hingegen liegen gegenüber gesunden Untrainierten in der Gesamtstichprobe knapp **unterhalb** des Referenzbereiches. Es zeigen sich wie bei gesunden Vergleichspersonen keine signifikanten geschlechtsspezifischen Unterschiede.

Aus Tabelle 4-8 ist zu ersehen, dass zwischen den Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede getestet wurden. Die  $\text{Laktat}_{\text{max}}$ -Werte aller Altersgruppen liegen ebenfalls knapp unterhalb des Referenzbereiches Gesunder.

Hervorzuheben ist in Tabelle 4-9, dass die leicht und mittelmäßig Erkrankten  $\text{Laktat}_{\text{max}}$ -Werte aufweisen, die **im** unteren Normalbereich Gesunder liegen. Die  $\text{Laktat}_{\text{max}}$ -Werte sind in den Gruppen der Patienten mit leichter und mittelmäßig eingeschränkter Lungenfunktion signifikant höher als in der Patientengruppe mit einer stark eingeschränkten Lungenfunktion.

## 4.4 Zusammenhänge zu anderen Messgrößen

### 4.4.1 Laktat<sub>Ruhe</sub>

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der Einzelanalysen des Laktat<sub>Ruhe</sub> bezüglich der anthropometrischen Messgrößen, der Werte der Lungenfunktionsprüfung, der Ruhewerte der BGA, der Atmungsgrößen und der sonstigen kardiorespiratorischen Funktionsgrößen dargestellt. Die Einzelkorrelationen nach der Stärke des Zusammenhangs finden sich im Anhang (Kapitel 9.2.1). Zusammenhänge der gefundenen Abhängigkeiten wurden mit der linearen multiplen Regressionsanalyse (Kapitel 4.4.1.1) geprüft. Die entsprechenden Geradengleichungen sind im Anhang (Kapitel 9.2.2) wiedergegeben.

Weder die anthropometrischen Messgrößen (Geschlecht, Alter, Körpergröße, KG, BMI), noch die Werte der Lungenfunktionsprüfung (absolut und relativ) und der BGA ( $pH_{Ruhe}$ ,  $pO_{2Ruhe}$ ,  $pCO_{2Ruhe}$ ,  $SO_{2Ruhe}$ ,  $BA_{Ruhe}$ ) zeigen signifikante Korrelationen zum Laktat<sub>Ruhe</sub>.

Messgrößen der Atmung: Einen signifikant **positiven** Zusammenhang bezüglich des Laktat<sub>Ruhe</sub> zeigt lediglich das  $AMV_{Ruhe}$  ( $r=0,326$ ,  $p=0,003$ ). Die anderen Ruhewerte der Atmung ( $AF_{Ruhe}$ ,  $AZV_{Ruhe}$ ) korrelieren nicht signifikant.

Kardiorespiratorische Funktionsgrößen: Weitere signifikant **positive** Korrelationen weisen die  $HF_{Ruhe}$  ( $r=0,349$ ,  $p=0,001$ ), die absolute  $VO_{2Ruhe}$  ( $r=0,264$ ,  $p=0,016$ ) und der  $RQ_{Ruhe}$  ( $r=0,296$ ,  $p=0,007$ ) auf.

#### 4.4.1.1 Multiple lineare Regressionsanalyse

Im nächsten Abschnitt ist das Modell mit der höchsten Erklärungsgüte wiedergegeben:

Mit Einschluss aller Ausgangsgrößen lassen sich durch Kenntnis des  $AMV_{Ruhe}$ , der  $HF_{Ruhe}$  und des  $RQ_{Ruhe}$ , dem Erwartungswert der FVK, des Alters und der Körpergröße 38,5% des  $Laktats_{Ruhe}$  erklären. Das  $AMV_{Ruhe}$  allein erklärt 13,3%, die  $HF_{Ruhe}$  weitere knapp 8% und der Erwartungswert der FVK zusätzliche 6%. Der  $RQ_{Ruhe}$ , das Alter und die Körpergröße haben mit jeweils etwa 4% einen geringen Einfluss.

#### 4.4.2 Laktat<sub>max</sub>

In den folgenden Abschnitten sind die Ergebnisse der Einzelanalysen des  $Laktats_{max}$  bezüglich der gesamten bestimmten Daten (anthropometrische Messgrößen, Werte der Lungenfunktionsprüfung, Ruhe- und Abbruchwerte der BGA, Ruhe- und Abbruchwerte der Atmungsgrößen, Ruhe- und Abbruchwerte der sonstigen kardiorespiratorischen Funktionsgrößen) dargestellt. Die Einzelkorrelationen nach der Stärke des Zusammenhangs finden sich wieder im Anhang (Kapitel 9.2.3). Zusammenhänge der gefundenen Abhängigkeiten wurden entsprechend dem  $Laktat_{Ruhe}$  mit der linearen multiplen Regressionsanalyse geprüft (Kapitel 4.4.2.1). Die entsprechenden Geradengleichungen sind ebenfalls im Anhang (Kapitel 9.2.4) wiedergegeben.

Anthropometrische Messgrößen: Einen signifikant **positiven** Zusammenhang zum  $Laktat_{max}$  zeigen der BMI ( $r=0,289$ ,  $p=0,008$ ) und das KG ( $r=0,226$ ,  $p=0,016$ ). Hinsichtlich des Geschlechts und des Alters finden sich keine signifikanten Korrelationen.

Werte der Lungenfunktionsprüfung: Signifikant **positive** Korrelationen weisen sowohl die Absolutwerte der FVK ( $r=0,549$ ,  $p<0,001$ ), der FEV1 ( $r=0,573$ ,  $p<0,001$ ) und der MEF50 ( $r=0,471$ ,  $p<0,001$ ) als auch etwas geringer die jeweiligen Erwartungswerte der FVK ( $r=0,468$ ,  $p<0,001$ ), der FEV1 ( $r=0,418$ ,  $p<0,001$ ) und der MEF50 ( $r=0,370$ ,  $p=0,001$ ) auf.

**BGA:** Signifikant **positive** Korrelationen zeigen die  $SO_{2Ruhe}$  ( $r=0,464$ ,  $p<0,001$ ), der  $pO_{2Ruhe}$  ( $r=0,423$ ,  $p<0,001$ ) und der  $pCO_{2Ruhe}$  ( $r=0,423$ ,  $p<0,001$ ), sowie der  $pCO_{2max}$  ( $r=0,293$ ,  $p=0,009$ ). Signifikant **negativ** zum  $Laktat_{max}$  korrelieren der  $BA_{max}$  ( $r= -0,755$ ,  $p<0,001$ ), der  $pH_{max}$  ( $r= -0,526$ ,  $p<0,001$ ), und der  $pO_{2max}$  ( $r= -0,324$ ,  $p=0,004$ ). Keine signifikanten Korrelationen waren hingegen bezüglich der  $SO_{2max}$  zu finden!

**Messgrößen der Atmung:** Einen signifikant **positiven** Zusammenhang zum  $Laktat_{max}$  weisen das  $AZV_{Ruhe}$  ( $r=0,306$ ,  $p=0,005$ ), die  $AF_{max}$  ( $r=0,376$ ,  $p<0,001$ ), das  $AZV_{max}$  ( $r=0,473$ ,  $p<0,001$ ) und das  $AMV_{max}$  ( $r=0,647$ ,  $p<0,001$ ) auf. Der Quotient  $AZV_{max}/FEV1$  ( $r= -0,300$ ,  $p=0,006$ ) korreliert signifikant **negativ** zum  $Laktat_{max}$ .

**Kardiorespiratorische Funktionsgrößen:** Einen signifikant **positiven** Zusammenhang zeigen der  $RQ_{Ruhe}$  ( $r=0,246$ ,  $p=0,026$ ), sowie das absolute  $VO_{2max}$  ( $r=0,564$ ,  $p<0,001$ ), der  $RQ_{max}$  ( $r=0,550$ ,  $p<0,001$ ), die  $HF_{max}$  ( $r=0,560$ ,  $p<0,001$ ) und die körpergewichtsbezogene  $VO_{2max}$  ( $r=0,436$ ,  $p<0,001$ ).

Weitere signifikant **positive** Zusammenhänge weisen die absolute  $P_{max}$  ( $r=0,581$ ,  $p<0,001$ ), die körpergewichtsbezogene  $P_{max}$  ( $r=0,545$ ,  $p<0,001$ ) und der Erwartungswert der  $P_{max}$  ( $r=0,569$ ,  $p<0,001$ ) auf.

#### 4.4.2.1 Multiple lineare Regressionsanalyse

*Anmerkung: Nach den Ergebnissen der Einzelkorrelationen zeigen erwartungsgemäß praktisch alle Abbruchwerte signifikant positive bzw. negative Zusammenhänge mit dem  $Laktat_{max}$ . Diese Zusammenhänge spielen jedoch für die für die praktische Anwendung im Hinblick auf eine mögliche Trainingssteuerung eine untergeordnete Rolle und erklären sich bzw. bedingen sich selbst. Sie wurden deshalb von der multiplen linearen Regressionsanalyse ausgeschlossen.*

In den folgenden Abschnitten sind die drei Modelle (ohne Abbruchwerte) mit der höchsten Erklärungsgüte wiedergegeben:

Modell 1: Durch Kenntnis des Absolutwertes der FEV1 alleine lassen sich immerhin 32,9% des erwarteten Laktats<sub>max</sub> erklären! Alle übrigen Messgrößen werden bei Einschluss dieses Wertes nicht in das Modell mit aufgenommen.

Modell 2: Durch Kenntnis der Absolutwerte der FVK und der MEF50 lassen sich 32,5% des erwarteten Laktats<sub>max</sub> erklären, wobei der Absolutwert der FVK alleine 29,3% erklärt.

Modell 3: Durch Kenntnis des Erwartungswerts der FEV1 und des KG lassen sich 32,2% des erwarteten Laktats<sub>max</sub> erklären. Der Erwartungswert der FEV1 allein erklärt 20%, das KG weitere 12%; kennt man anstelle des KG den BMI lassen sich noch 26% erklären.

#### **4.5 Messgrößen der Spiroergometrie an der 2-, 3- und 4mmol-Schwelle**

Um das Verhalten der spiroergometrischen Messgrößen (P, HF, relative VO<sub>2</sub>, AF, AZV, AMV, Borg-Werte) im Bereich des aerob-anaeroben Überganges genauer untersuchen zu können, wurden sie an der 2-, 3- und 4mmol-Schwelle mittels linearer Interpolation berechnet (Kapitel 4.5.1 bis 4.5.3). Zusammenhänge der Ergebnisse wurden entsprechend der vorangehenden Kapitel mit der multiplen linearen Regressionsanalyse geprüft (Kapitel 4.5.4).

*Anmerkung: In einem Fall wurde die Leistung an der 2mmol-Schwelle mit dem Wert null berechnet, weil dieser Patient bereits bei der ersten Belastungsstufe (9W) einen verhältnismäßig starken Laktatanstieg (3,14mmol/l) aufwies. In einem anderen Fall an der 3mmol-Schwelle und in vier Fällen an der 4mmol-Schwelle wurde der RPE-Wert mit >20 berechnet. Dies kam dadurch zustande, dass die betroffenen Patienten bereits bei einem Laktatwert von weniger als 4mmol/l den höchsten Borg-Wert (20) angaben. Die statistische Auswertung wurde deshalb in diesen Fällen mit Ein- und Ausschluss dieser Werte durchgeführt. Dabei zeigten sich bis auf eine*

Ausnahme an der 4mmol-Schwelle (Tabelle 9-7) bei den RPE-Werten keine Unterschiede.

#### 4.5.1 2mmol-Schwelle

In den Tabellen 4-10 bis 4-12 sind die 2mmol-Schwellenwerte der gesamten Stichprobe sowie getrennt nach Geschlecht, Altersgruppe und Schweregrad der Lungenfunktion dargestellt.

Tabelle 4-10: Typische Messgrößen (Mittelwerte  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) an der 2mmol-Schwelle der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 82)	Männlich (n = 42)	Weiblich (n = 40)	Männlich vs Weiblich
<b>P [W]</b>	48,0 $\pm$ 28,6 (0 - 170)	57,0 $\pm$ 34,1 (0 - 179)	38,6 $\pm$ 17,3 (14 - 80)	0,003
<b>HF [1/min]</b>	139 $\pm$ 15 (109 - 170)	137 $\pm$ 15 (109 - 164)	141,9 $\pm$ 14 (111 - 170)	ns
<b>VO<sub>2</sub> [ml/kg*min]</b>	*20,0 $\pm$ 5,9 (11,4 - 34,0)	21,7 $\pm$ 6,0 (13,0 - 33,9)	*18,2 $\pm$ 5,4 (11,4 - 30,9)	0,007
<b>AF [1/min]</b>	36,3 $\pm$ 8,7 (19,0 - 61,8)	35,1 $\pm$ 8,3 (19,0 - 52,0)	37,6 $\pm$ 8,9 (23,2 - 61,8)	ns
<b>AZV [ml]</b>	*943 $\pm$ 374 (434 - 2700)	*1072 $\pm$ 438 (434 - 2700)	808 $\pm$ 228 (489 - 1515)	0,001
<b>AMV [l/min]</b>	32,2 $\pm$ 8,5 (20,1 - 67,6)	35,3 $\pm$ 9,8 (20,1 - 67,6)	29,0 $\pm$ 5,4 (20,4 - 42,7)	0,001
<b>RPE</b>	10,9 $\pm$ 2,7 (6,0 - 17,7)	11,2 $\pm$ 2,8 (6 - 17,7)	10,6 $\pm$ 2,6 (6,6 - 16,2)	ns

P: power, Leistung; HF: Herzfrequenz; VO<sub>2</sub>: Sauerstoffaufnahme; AF: Atemfrequenz; AZV: Atemzugvolumen; AMV: Atemminutenvolumen; RPE: ratings of perceived exertion, Borg-Werte; ns: nicht signifikant; nicht normalverteilte Messgrößen sind mit einem \* gekennzeichnet.

Geschlecht: Bei männlichen Patienten sind die absolute P, die relative VO<sub>2</sub>, das AZV und das AMV an der 2mmol-Schwelle signifikant höher als bei weiblichen Patienten (Tabelle 4-10). Die signifikanten Unterschiede der P und des AZV bestehen auch, wenn körpergewichtsbezogen getestet wird (tabellarisch nicht dargestellt). Signifikanzen hinsichtlich der HF und der AF sowie der Borg-Werte bestehen nicht.

Alter: Kinder und Jugendliche haben an der 2mmol-Schwelle gegenüber Erwachsenen eine signifikant höhere HF und ein signifikant höheres AZV (Tabelle 4-11). Bei der AF gilt dies nur für Kinder. Das AZV hingegen ist bei Kindern signifikant niedriger als bei Jugendlichen und Erwachsenen. Die Werte der relativen VO<sub>2</sub> und des AMV nehmen zwischen den Altersgruppen signifikant ab. Die P, das AMV und die Borg-Werte weisen auch bei körpergewichtsbezogener Testung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen auf.

Tabelle 4-11: Typische Messgrößen (Mittelwerte ± SD sowie Minimal- und Maximalwert) an der 2mmol-Schwelle nach der **Altersgruppe**.

	Altersgruppe			Signifikanz		
	< 15 Jahre (n = 21)	15-18 Jahre (n = 16)	> 18 Jahre (n = 45)	< 15 vs 15-18 Jahre	15-18 vs > 18 Jahre	< 15 vs > 18 Jahre
<b>P [W]</b>	44,3 ± 18,4 (0 - 74)	49,3 ± 24,2 (17 - 104)	49,3 ± 33,8 (14 - 179)	ns	ns	ns
<b>HF [1/min]</b>	149 ± 14 (120 - 170)	142 ± 15 (109 - 164)	134 ± 12 (111 - 166)	ns	0,026	< 0,001
<b>VO<sub>2</sub> [ml/kg*min]</b>	25,4 ± 5,8 (13,5 - 33,9)	21,3 ± 5,5 (12,5 - 30,6)	17,0 ± 3,9 (11,4 - 31,1)	0,036	0,010	< 0,001
<b>AF [1/min]</b>	42,7 ± 7,4 (28,6 - 61,8)	36,7 ± 9,9 (19,0 - 50,0)	33,2 ± 7,1 (21,6 - 59,8)	ns	ns	< 0,001
<b>AZV [ml]</b>	744 ± 165 (434 - 983)	991 ± 419 (574 - 2044)	1019 ± 399 (489 - 2700)	0,038	ns	< 0,001
<b>AMV [l/min]</b>	31,1 ± 6,1 (20,1 - 42,7)	33,2 ± 6,6 (20,9 - 44,3)	32,4 ± 10,1 (20,4 - 67,6)	ns	ns	ns
<b>RPE</b>	11,2 ± 2,8 (7,4 - 16,2)	10,5 ± 2,2 (7,4 - 13,4)	10,9 ± 2,9 (6,00 - 17,7)	ns	ns	ns

P : power, Leistung; HF : Herzfrequenz; VO<sub>2</sub> : Sauerstoffaufnahme; AF : Atemfrequenz ; AZV : Atemzugvolumen ; AMV : Atemminutenvolumen ; RPE : ratings of perceived exertion, Borg-Werte ; ns : nicht signifikant.

Tabelle 4-12: Typische Messgrößen (Mittelwerte  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) an der 2mmol-Schwelle nach dem **Schweregrad der Lungenfunktionsstörung**.

	FEV1 erwartet			Signifikanz		
	> 70% (n = 14)	40-70% (n = 26)	< 40% (n = 42)	> 70 vs 40-70%	40-70 vs < 40%	> 70 vs < 40%
<b>P [W]</b>	68,0 $\pm$ 35,3 (32 - 172)	53,8 $\pm$ 34,2 (17 - 179)	37,7 $\pm$ 15,7 (0 - 66)	ns	0,031	0,007
<b>HF [1/min]</b>	151 $\pm$ 12 (124 - 170)	140 $\pm$ 14 (118 - 167)	135 $\pm$ 14 (109 - 166)	0,013	ns	< 0,001
<b>VO<sub>2</sub> [ml/kg*min]</b>	27,3 $\pm$ 4,7 (19,3 - 33,9)	20,4 $\pm$ 5,6 (12,5 - 30,9)	17,3 $\pm$ 4,1 (11,4 - 30,6)	< 0,001	0,017	< 0,001
<b>AF [1/min]</b>	37,2 $\pm$ 9,5 (19,0 - 52,0)	35,8 $\pm$ 9,7 (23,9 - 61,8)	36,3 $\pm$ 7,8 (21,6 - 59,8)	ns	ns	ns
<b>AZV [ml]</b>	1044 $\pm$ 466 (600 - 2044)	1045 $\pm$ 475 (499 - 2700)	846 $\pm$ 224 (434 - 1451)	ns	0,054	< 0,001
<b>AMV [l/min]</b>	35,7 $\pm$ 10,2 (21,4 - 66,4)	34,5 $\pm$ 9,7 (24,9 - 67,6)	29,6 $\pm$ 6,2 (20,1 - 44,3)	ns	0,014	0,010
<b>RPE</b>	11,5 $\pm$ 3,1 (7,4 - 16,2)	10,3 $\pm$ 2,6 (6,0 - 16,3)	11,0 $\pm$ 2,6 (6,0 - 17,7)	ns	ns	ns

P: power, Leistung; HF : Herzfrequenz ; VO<sub>2</sub>, Sauerstoffaufnahme; AF : Atemfrequenz ; AZV : Atemzugvolumen ; AMV : Atemminutenvolumen ; RPE : ratings of perceived exertion, Borg-Werte ; ns : nicht signifikant.

Lungenfunktion: Leicht und mittelmäßig Erkrankte zeigen an der 2mmol-Schwelle gegenüber schwer Erkrankten signifikant höhere Werte für die P, die relative VO<sub>2</sub>, das AZV und das AMV (Tabelle 4-12). Dies gilt auch bei körpergewichtsbezogener Testung für die P, das AZV und das AMV (tabellarisch nicht dargestellt). Die relative VO<sub>2</sub> nimmt mit dem Schweregrad der Lungenfunktionsstörung signifikant ab. Zusätzlich ist die HF bei Patienten mit leicht eingeschränkter Lungenfunktion signifikant höher als bei Patienten mit mittelmäßig und stark eingeschränkter Lungenfunktion. Die AF- und Borg-Werte weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen auf

#### 4.5.2 3mmol-Schwelle

Im Anhang (Kapitel 9.3.1, Tabellen 9-2 bis 9-4) sind die 3mmol-Schwellenwerte der gesamten Stichprobe entsprechend der 2mmol-Schwelle,

getrennt nach Geschlecht, Altersgruppe und Schweregrad der Lungenfunktion dargestellt.

Geschlecht: Die geschlechtsspezifischen Unterschiede an der 3mmol-Schwelle entsprechen denen der 2mmol-Schwelle (Tabelle 9-2). Zusätzlich zeigt sich noch ein signifikant höheres körpergewichtsbezogenes AMV der männlichen Patienten (tabellarisch nicht dargestellt).

Alter: Die signifikanten Unterschiede zwischen den Altersgruppen stimmen mit einer Ausnahme gegenüber der 2mmol-Schwelle überein: Kinder zeigen signifikant höhere AF nicht nur gegenüber Erwachsenen, sondern auch gegenüber Jugendlichen (Tabelle 9-3).

Lungenfunktion: Die Signifikanzen entsprechen ohne Ausnahme denen an der 2mmol-Schwelle (Tabelle 9-4).

#### **4.5.3 4mmol-Schwelle**

Im Anhang (Kapitel 9.3.2, Tabellen 9-5 bis 9-7) sind die 4mmol-Schwellenwerte der gesamten Stichprobe, getrennt nach Geschlecht, Altersgruppe und Schweregrad der Lungenfunktion dargestellt.

Geschlecht: Die geschlechtsspezifischen signifikanten Unterschiede entsprechen ohne Ausnahme denen an der 2- und 3mmol-Schwelle (Tabelle 9-5).

Alter: Zwischen Kindern und Jugendlichen sind die Signifikanzen an der 2- und 3mmol-Schwelle nicht mehr nachweisbar (Tabelle 9-6). Ansonsten zeigt sich ebenfalls eine Übereinstimmung zu den vorherigen Schwellen.

Lungenfunktion: Auch hier entsprechen die signifikanten Abweichungen denen an den zuvor bestimmten Schwellen (Tabelle 9-7).

#### 4.5.4 Multiple lineare Regressionsanalyse

In den folgenden Abschnitten sind die Modelle mit der jeweils höchsten Erklärungsgüte wiedergegeben (abhängige Variable unterstrichen). Die zugehörigen Geradengleichungen finden sich im Anhang (9.3.3).

P: Durch Kenntnis des KG, des Erwartungswerts der FEV1, des Geschlechts und des Laktat<sub>Ruhe</sub> lassen sich 66,8–75,8% der P an den drei Schwellen voraussagen. Das KG allein erklärt 31,5–34,7%, der Erwartungswert der FEV1 weitere knapp 26,4–32,3% an diesen Schwellen, das Laktat<sub>Ruhe</sub> zusätzlich 4,8–7,3%. Das Geschlecht hat mit etwa 3% nur einen minimalen Einfluss.

HF: Durch Kenntnis des Alters und der HF<sub>Ruhe</sub> lassen sich 31,0–33,6% der HF an den drei Schwellen erklären. Das Alter allein erklärt 22,1–24,8%, die HF<sub>Ruhe</sub> weitere etwa 10%. Kennt man zusätzlich das Laktat<sub>Ruhe</sub> und den Erwartungswert der FEV1 lassen sich sogar fast 50% der HF an den drei Schwellen erklären.

Relative VO<sub>2</sub>: Durch Kenntnis des Erwartungswerts der FEV1, des Geschlechts und des Alters lassen sich an den drei Schwellen 54,1–62,7% der relativen VO<sub>2</sub> erklären. An der 2mmol-Schwelle erklärt das Alter 34,4%, der Erwartungswert der FEV1 und das Geschlecht jeweils weitere 10%. An der 3- und 4mmol-Schwelle erklärt der Erwartungswert der FEV1 allein 35–40%, das Geschlecht weitere etwa 15% und das Alter zusätzlich knapp 10%.

AF: Durch Kenntnis der AF<sub>Ruhe</sub>, des Alters und der VO<sub>2Ruhe</sub> lassen sich 42,8–54,4% der AF an den drei Schwellen erklären. Die AF<sub>Ruhe</sub> allein erklärt zwischen 20 und knapp 30%, das Alter weitere gut 20%. Die VO<sub>2Ruhe</sub> hat mit etwa 5% einen geringen Einfluss.

AZV: Durch Kenntnis des KG, des Erwartungswerts der FVK, des Geschlechts und des Alters lassen sich 80–85% des AZV an den drei Schwellen erklären. Das KG allein erklärt 52,3–56,2%, der Erwartungswert der FVK zusätzliche 20%, das

Geschlecht und das Alter (nur an der 3mmol-Schwelle im Modell) haben nur einen geringen Einfluss (je etwa 5%).

AMV: Durch Kenntnis des Absolutwertes der FVK, des KG, des Alters und des Geschlechts lassen sich 51,9–61,9% des AMV an den drei Schwellen erklären. Der Absolutwert der FVK allein erklärt 45,0–51,8%, das KG, das Alter und das Geschlecht weitere je etwa 5%.

Borg-Werte: Es lassen sich keine Modelle finden, die mehr als 15% der erwarteten Borg-Werte an den drei Schwellen erklären können.

#### **4.6 Prozentuale Inanspruchnahme der Messgrößen an der 2-, 3- und 4mmol-Schwelle**

Um die gemessenen spiroergometrischen Messgrößen hinsichtlich ihrer Stärke bzw. Intensität und krankheitsspezifischen Bedeutung beurteilen zu können, wurde die prozentuale Inanspruchnahme am jeweiligen Maximalwert berechnet (Kapitel 4.6.1 bis 4.6.3). Zusammenhänge der Ergebnisse wurden mit Hilfe multiplen linearen Regressionsanalyse geprüft (Kapitel 4.6.4).

##### **4.6.1 2mmol-Schwelle**

In den Tabellen 4-13 bis 4-15 sind die prozentualen Anteile am jeweiligen Maximalwert der spiroergometrischen Messgrößen HF, relative  $VO_2$ , AF, AZV, AMV und RPE an der 2mmol-Schwelle der gesamten Stichprobe, getrennt nach Geschlecht, Altersgruppe und Schweregrad der Lungenfunktion dargestellt.

Tabelle 4-13: Darstellung des **prozentualen Anteils am Maximalwert** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) spiroergometrischer Messgrößen an der **2mmol-Schwelle** der **gesamten Stichprobe** und getrennt nach **Geschlecht**.

	Patienten			Signifikanz
	Gesamt (n = 82)	Männlich (n = 42)	Weiblich (n = 40)	Männlich vs Weiblich
<b>%P<sub>max</sub> [W]</b>	48,1 $\pm$ 15,0 (0 – 90,4)	49,8 $\pm$ 15,2 (0 – 90,4)	46,3 $\pm$ 14,7 (17,3 – 70,0)	ns
<b>%HF<sub>max</sub> [1/min]</b>	78,2 $\pm$ 6,9 (63,3 – 96,6)	77,7 $\pm$ 7,2 (63,3 – 96,6)	78,7 $\pm$ 6,5 (66,3 – 93,0)	ns
<b>%VO<sub>2max</sub> [ml/kg*min]</b>	63,1 $\pm$ 12,3 (39,1 – 95,1)	62,0 $\pm$ 12,4 (39,1 – 92,0)	64,3 $\pm$ 12,3 (40,3 – 95,1)	ns
<b>%AF<sub>max</sub> [1/min]</b>	69,1 $\pm$ 14,8 (37,9 – 108,1)	68,6 $\pm$ 14,3 (37,9 – 108,1)	69,7 $\pm$ 15,5 (37,9 – 103,9)	ns
<b>%AZV<sub>max</sub> [ml]</b>	87,0 $\pm$ 12,0 (60,3 – 117,4)	87,0 $\pm$ 11,4 (64,8 – 108,1)	86,9 $\pm$ 12,6 (60,3 – 117,4)	ns
<b>%AMV<sub>max</sub> [l/min]</b>	60,2 $\pm$ 14,2 (28,7 – 94,5)	60,3 $\pm$ 14,7 (28,7 – 94,5)	60,2 $\pm$ 13,9 (31,8 – 90,2)	ns
<b>%RPE<sub>max</sub></b>	54,4 $\pm$ 13,6 (30,0 – 88,4)	55,8 $\pm$ 14,0 (30,0 – 88,4)	52,9 $\pm$ 13,1 (32,9 – 81,0)	ns

P: power, Leistung; HF : Herzfrequenz ; VO<sub>2</sub>, Sauerstoffaufnahme; AF : Atemfrequenz ; AZV : Atemzugvolumen ; AMV : Atemminutenvolumen ; RPE : ratings of perceived exertion, Borg-Werte ; ns : nicht signifikant.

Auffällig ist schon an der 2mmol-Schwelle die hohe prozentuale Beanspruchung des AZV (87,0 $\pm$ 12,0%) der Gesamtstichprobe (Tabelle 4-13). Anhand der breiten Spanne des AZV (60,3-117,4%) und der AF (37,9-108,1%) wird überdies ein teilweise deutliches Überschreiten der „maximalen“ Beanspruchung ersichtlich.

Geschlecht: Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede der jeweilig beanspruchten Intensitäten an der 2mmol-Schwelle finden sich nicht (Tabelle 4-13).

Tabelle 4-14: Darstellung des **prozentualen Anteils am Maximalwert** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) spiroergometrischer Messgrößen an der **2mmol**-Schwelle nach der **Altersgruppe**.

	Altersgruppe			Signifikanz		
	< 15 Jahre (n = 21)	15-18 Jahre (n = 16)	> 18 Jahre (n = 45)	< 15 vs 15-18 Jahre	15-18 vs > 18 Jahre	< 15 vs > 18 Jahre
<b>%P<sub>max</sub> [W]</b>	51,1 $\pm$ 15,6 (0 – 70,0)	45,9 $\pm$ 11,7 (17,3 – 68,1)	47,4 $\pm$ 15,8 (18,0 – 90,4)	ns	ns	ns
<b>%HF<sub>max</sub> [1/min]</b>	78,5 $\pm$ 6,9 (63,3 – 87,0)	77,1 $\pm$ 6,0 (67,4 – 87,4)	78,4 $\pm$ 7,2 (65,4 – 96,6)	ns	ns	ns
<b>%VO<sub>2max</sub> [ml/kg*min]</b>	66,7 $\pm$ 9,6 (41,4 – 80,3)	60,4 $\pm$ 12,6 (40,3 – 85,2)	62,4 $\pm$ 13,2 (39,1 – 95,1)	ns	ns	ns
<b>%AF<sub>max</sub> [1/min]</b>	70,4 $\pm$ 10,0 (50,6 – 85,7)	66,2 $\pm$ 16,3 (37,9 – 100,1)	69,6 $\pm$ 16,2 (37,9 – 108,1)	ns	ns	ns
<b>%AZV<sub>max</sub> [ml]</b>	84,1 $\pm$ 9,9 (64,8 – 103,7)	84,7 $\pm$ 13,0 (67,3 – 108,1)	89,2 $\pm$ 12,2 (60,3 – 117,4)	ns	ns	ns
<b>%AMV<sub>max</sub> [l/min]</b>	59,1 $\pm$ 10,7 (38,5 – 80,6)	57,8 $\pm$ 16,6 (28,7 – 78,7)	61,7 $\pm$ 14,9 (35,5 – 94,5)	ns	ns	ns
<b>%RPE<sub>max</sub></b>	55,8 $\pm$ 14,0 (37,0 – 81,0)	52,7 $\pm$ 10,9 (37,1 – 66,9)	54,3 $\pm$ 14,4 (30,0 – 88,4)	ns	ns	ns

P: power, Leistung; HF: Herzfrequenz; VO<sub>2</sub>, Sauerstoffaufnahme; AF: Atemfrequenz; AZV: Atemzugvolumen; AMV: Atemminutenvolumen; RPE: ratings of perceived exertion, Borg-Werte; ns: nicht signifikant.

Alter: Zwischen den verschiedenen Altersgruppen gibt es an der 2mmol-Schwelle keine signifikanten Unterschiede der prozentualen Inanspruchnahme am Maximalwert (Tabelle 4-14).

Lungenfunktion: Erwartungsgemäß ist die Beanspruchung der AF, des AZV und des AMV ist an dieser Schwelle bei den schwer Erkrankten signifikant höher als bei den leicht und mittelmäßig Betroffenen (Tabelle 4-15). Signifikante Unterschiede hinsichtlich des prozentualen Anteils der Borg-Werte bestehen nicht.

Tabelle 4-15: Darstellung des **prozentualen Anteils am Maximalwert** (Mittelwert  $\pm$  SD sowie Minimal- und Maximalwert) spiroergometrischer Messgrößen an der **2mmol-Schwelle** nach dem **Schweregrad der Lungenfunktionsstörung**.

	FEV1 erwartet			Signifikanz		
	> 70% (n = 14)	40-70% (n = 26)	< 40% (n = 42)	>70 vs 40-70%	40-70 vs < 40%	> 70 vs < 40%
%P <sub>max</sub> [W]	54,1 $\pm$ 10,3 (33,7 – 70,0)	44,8 $\pm$ 13,2 (17,3 – 71,8)	48,1 $\pm$ 16,9 (0 – 90,4)	0,029	ns	ns
%HF <sub>max</sub> [1/min]	77,0 $\pm$ 6,8 (63,3 – 84,0)	76,0 $\pm$ 6,3 (65,4 – 87,0)	79,9 $\pm$ 6,9 (63,8 – 96,6)	ns	0,019	ns
%VO <sub>2max</sub> [ml/kg*min]	62,6 $\pm$ 10,3 (44,7 – 78,6)	57,6 $\pm$ 11,0 (39,1 – 80,3)	66,7 $\pm$ 12,6 (41,4 – 95,1)	ns	0,003	ns
%AF <sub>max</sub> [1/min]	62,6 $\pm$ 12,7 (37,9 – 82,3)	63,4 $\pm$ 14,9 (37,9 – 103,9)	74,9 $\pm$ 13,3 (46,9 – 108,1)	ns	0,002	0,004
%AZV <sub>max</sub> [ml]	78,7 $\pm$ 6,9 (64,8 – 87,3)	83,2 $\pm$ 11,4 (60,3 – 103,7)	92,1 $\pm$ 11,3 (67,4 – 117,4)	ns	0,003	< 0,001
%AMV <sub>max</sub> [l/min]	49,5 $\pm$ 11,8 (28,7 – 67,8)	52,3 $\pm$ 12,3 (35,5 – 76,7)	68,8 $\pm$ 10,5 (53,0 – 94,5)	ns	< 0,001	< 0,001
%RPE <sub>max</sub>	57,4 $\pm$ 15,4 (37,0 – 81,0)	51,5 $\pm$ 13,2 (30,0 – 81,7)	55,1 $\pm$ 13,2 (30,0 – 88,4)	ns	ns	ns

P: power, Leistung; HF: Herzfrequenz; VO<sub>2</sub>, Sauerstoffaufnahme; AF: Atemfrequenz; AZV: Atemzugvolumen; AMV: Atemminutenvolumen; RPE: ratings of perceived exertion, Borg-Werte; ns: nicht signifikant.

#### 4.6.2 3mmol-Schwelle

Im Anhang (Kapitel 9.4.1, Tabellen 9-8 bis 9-10) sind die prozentualen Anteile am Maximalwert der spiroergometrischen Messgrößen HF, relative VO<sub>2</sub>, AF, AZV, AMV und RPE (entsprechend Kapitel 4.6.1) an der 3mmol-Schwelle dargestellt.

An dieser Schwelle zeigt sich bei der Gesamtstichprobe eine 94,1 $\pm$ 9,9%ige Ausnutzung des AZV, wohingegen die AF (75,3 $\pm$ 14,7%), das AMV (68,6 $\pm$ 13,8%) und die übrigen Messgrößen noch deutliche Reserven aufweisen (Tabelle 9-8).

Geschlecht: Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede der jeweiligen Inanspruchnahme an der 3mmol-Schwelle finden sich entsprechend der 2mmol-Schwelle nicht (Tabelle 9-8).

Alter: Auch zwischen den verschiedenen Altersgruppen gibt es an der 3mmol-Schwelle übereinstimmend mit der 2mmol-Schwelle keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 9-9).

Lungenfunktion: Die signifikanten Unterschiede entsprechen denen an der 2mmol-Schwelle mit Ausnahme der P: Zwischen den leicht und mittelmäßig Erkrankten lässt sich kein signifikanter Unterschied der prozentualen Inanspruchnahme mehr nachweisen (Tabelle 9-10).

### **4.6.3 4mmol-Schwelle**

Im Anhang (Kapitel 9.4.2, Tabellen 9-11 bis 9-13) sind die prozentualen Anteile am Maximalwert der spiroergometrischen Messgrößen HF, relative  $VO_2$ , AF, AZV, AMV und RPE (entsprechend Kapitel 4.6.1) an der 4mmol-Schwelle dargestellt.

Die Ausnutzung des AZV steigt an der 4mmol-Schwelle bei der Gesamtstichprobe auf  $97,2 \pm 7,9\%$  (Tabelle 9-11). Bei den über 18jährigen ( $99,2 \pm 8,4\%$ ) und den schwer Erkrankten ( $100,1 \pm 6,7\%$ ) sind die Reserven praktisch erschöpft oder sogar überschritten. Die anderen Messgrößen weisen demgegenüber noch „Spielraum nach oben“ auf.

Geschlecht: Signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede an der 4mmol-Schwelle finden sich übereinstimmend mit den vorigen Schwellen nicht (Tabelle 9-11).

Alter: Zwischen den verschiedenen Altersgruppen gibt es ebenfalls entsprechend der 2- und 3mmol-Schwelle keine signifikanten Unterschiede der prozentualen Beanspruchung am Maximalwert (Tabelle 9-12).

Lungenfunktion: Die signifikanten Unterschiede nach Einteilung des Zustandes der Lungenfunktion entsprechen denen an der 3mmol-Schwelle, mit zwei Ausnahmen: Die Patienten mit einer mittelmäßig eingeschränkten Lungenfunktion weisen

signifikant niedrigere Prozentwerte für die P und die Borg-Werte als die schwer Betroffenen auf (Tabelle 9-13).

#### 4.6.4 Multiple lineare Regressionsanalyse

Im letzten Abschnitt sind die Modelle mit der jeweils höchsten Erklärungsgüte wiedergegeben (abhängige Variable unterstrichen). Die zugehörigen Geradengleichungen finden sich im Anhang (9.4.3).

%P<sub>max</sub>: Lediglich das Laktat<sub>Ruhe</sub> wurde an allen drei Schwellen in die Analyse aufgenommen und erklärt an der 2- und 3mmol-Schwelle alleine 11–18% des prozentualen Anteils der P<sub>max</sub>, an der 4mmol-Schwelle können durch Kenntnis des Absolutwerts der FVK und des Laktats<sub>Ruhe</sub> 15% vorhergesagt werden.

%HF<sub>max</sub>: Keine Messgröße wurde für alle drei Schwellen in die Analyse aufgenommen. Durch Kenntnis des pO<sub>2Ruhe</sub>, der HF<sub>Ruhe</sub> und des Laktats<sub>Ruhe</sub> lassen sich 26% des Prozentwertes der HF<sub>max</sub> an der 2mmol-Schwelle erklären; der pO<sub>2Ruhe</sub> allein erklärt gut 15%, die HF<sub>Ruhe</sub> und das Laktat<sub>Ruhe</sub> je 5%. Der Absolutwert der FVK (10%), der RQ<sub>Ruhe</sub> und die HF<sub>Ruhe</sub> (je 5%) erklären 20% an der 3mmol-Schwelle, die absolute FVK (16%) und der RQ<sub>Ruhe</sub> (5%) 21% an der 4mmol-Schwelle.

%relative VO<sub>2max</sub>: Die absolute FVK, das Laktat<sub>Ruhe</sub>, die relative VO<sub>2Ruhe</sub> und der pO<sub>2Ruhe</sub> erklären an den drei Schwellen 25,6–33,4% der prozentualen Inanspruchnahme der relativen VO<sub>2max</sub>. Durch alleinige Kenntnis des Absolutwerts der FVK lassen sich etwa 20% an den drei Schwellen erklären. An der 2- und 3mmol-Schwelle erklären das Laktat<sub>Ruhe</sub> und die relative VO<sub>2Ruhe</sub> weitere 4–8%. Der pO<sub>2Ruhe</sub> hat mit 3–4% an der 3- und 4mmol-Schwelle einen geringen Einfluss.

%AF<sub>max</sub>: Durch alleinige Kenntnis des Absolutwerts der FEV1 lassen sich 30–40% der AF<sub>max</sub> an allen drei Schwellen erklären. Der BMI (nur an der 3mmol-Schwelle mit in die Analyse aufgenommen), das Geschlecht, der Absolutwert der FVK und der MEF50 haben mit je 3% einen geringen Einfluss.

%AZV<sub>max</sub>: Der Erwartungswert der FEV1 und das AZV<sub>Ruhe</sub> erklären an den drei Schwellen 18,6–21,5% des AZV<sub>max</sub>. Der Erwartungswert der FEV1 allein erklärt 11–21,5%, das AZV<sub>Ruhe</sub> an der 3- und 4mmol-Schwelle weitere 4–8%.

%AMV<sub>max</sub>: Durch Kenntnis des Absolutwertes der FEV1 lassen sich an den drei Schwellen 46,7–49,8% des AMV<sub>Ruhe</sub> erklären. An der 2- und 3mmol-Schwelle erklären der pO<sub>2Ruhe</sub> und die relative VO<sub>2Ruhe</sub> weitere 4–6%.

%Borg-Werte<sub>max</sub>: Es lassen sich keine Modelle finden, die mehr als 16% der erwarteten Beanspruchung der Borgwerte an den drei Schwellen erklären können.