

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Anthropometrie und Lungenfunktion

Die genauen anthropometrischen Daten der Patienten und der jeweiligen Untergruppen sind den folgenden Tabellen zu entnehmen. Der Körpermassenindex (body mass index, BMI) errechnet sich aus  $\text{Gewicht}/\text{Größe}^2$  [kg/m<sup>2</sup>] des Patienten.

Tabelle 4 - 1: Anthropometrische Daten der Patienten getrennt nach Geschlecht:

	Patienten			Signifikanz
	Alle	männlich n=34	weiblich n=35	m/w
<b>Alter</b> [Jahre]	20,3 ± 7,7 8-39	20,2 ± 7,9 9-37	20,5 ± 7,7 8-39	p=0,910
<b>Größe</b> [cm]	161,1 ± 13,6 127-195	163,1 ± 16,1 127-195	159,1 ± 10,5 129-175	p=0,228
<b>Gewicht</b> [kg]	47,3 ± 12,0 25-84	48,2 ± 14,1 25-84	46,4 ± 9,7 25-63	p=0,544
<b>BMI</b> [kg/m <sup>2</sup> ]	17,9 ± 2,2 14,7-22,9	17,7 ± 2,2 14,7-22,6	18,1 ± 2,3 14,7-22,9	p=0,383

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum.

Tabelle 4 - 2: Anthropometrische Daten der Patienten getrennt nach Alter:

	Patienten			Signifikanz
	Alle	Alter unter 19 n=34	Alter ab 19 n=35	Alter
<b>Alter</b> [Jahre]	20,3 ± 7,7 8-39	14,5 ± 2,6 8-18,9	27,3 ± 5,3 19,0-39	
<b>Größe</b> [cm]	161,1 ± 13,6 127-195	152,7 ± 12,8 127-178	169,2 ± 8,6 157-195	p<0,001
<b>Gewicht</b> [kg]	47,3 ± 12,0 25-84	39,4 ± 9,1 25-61	54,9 ± 9,2 42-84	p<0,001
<b>BMI</b> [kg/m <sup>2</sup> ]	17,9 ± 2,2 14,7-22,9	16,7 ± 1,6 14,7-22,1	19,1 ± 2,0 15,6-22,9	p<0,001

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**

Tabelle 4 - 3: Anthropometrische Daten der Patienten getrennt nach Lungenfunktion:

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 – 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 – 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>Alter</b> [Jahre]	24,4 ± 7,4 12-39	20,3 ± 6,1 11-30	13,4 ± 3,2 8-22	p=0,052	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>Größe</b> [cm]	164,9 ± 9,9 142-182	161,2 ± 11,0 139-188	151,3 ± 19,2 127-195	p=0,224	p=0,093	<i>p=0,019</i>
<b>Gewicht</b> [kg]	49,4 ± 9,1 30-66	47,9 ± 11,6 31-80	41,3 ± 16,8 25-84	p=0,623	p=0,200	p=0,096
<b>BMI</b> [kg/m <sup>2</sup> ]	18,0 ± 2,1 14,9-22,7	18,2 ± 2,3 15,3-22,9	17,3 ± 2,4 14,7-22,1	p=0,770	p=0,293	p=0,286

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*

Erwähnenswert ist bei ansonsten unauffälliger Verteilung der signifikante Altersunterschied innerhalb der nach FEV<sub>1</sub> erw. getrennten Untergruppen - Ausdruck der Chronifizierung der Krankheit mit im Alter zunehmender Beeinträchtigung der Lungenfunktion. Die unterschiedlichen Messwerte der Körpergröße, des Gewichts und des BMI in der nach Alter getrennten Gruppe verwundern wenig.

Die genauen Daten der Lungenfunktion der nach forciertem expiratorischen Volumen in der ersten Sekunde eingeteilten Patienten sind der folgenden Tabelle 4 – 4 zu entnehmen; die Tabellen für geschlechts- und altersgetrennte Gruppen finden sich im Anhang (Tab. 4 - 21 und 4 - 22). Wie dieser Aufstellung zu entnehmen ist, waren die Messwerte der Lungenfunktion zwischen den Geschlechtern nicht signifikant unterschiedlich. Altersunterschieden ergaben sich - wenig erstaunlich - signifikante Unterschiede hinsichtlich der MEF<sub>50</sub>, FEV<sub>1</sub>/VK, VK erw., FEV<sub>1</sub> erw. und MEF<sub>50</sub> erw. (vergleiche (36) Fig. 1.4.). Ebenfalls zu erwarten waren die signifikanten Unterschiede praktisch aller Lungenmesswerte innerhalb der nach der FEV<sub>1</sub> getrennten Untergruppen.

Tabelle 4 - 4: Daten der Lungenfunktion der Patienten getrennt nach Lungenfunktion

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 – 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 – 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>VK</b> [ml]	1687,8 ± 619,1 750-3520	2243,5 ± 590,9 1260-3310	2834,7 ± 1287,8 1420-5850	<b>p=0,003</b>	p=0,119	<b>p=0,004</b>
<b>FEV<sub>1</sub></b> [ml]	1030,5 ± 259,8 650-1640	1604,1 ± 355,3 1090-2190	2231,3 ± 919,4 1110-4060	<b>p&lt;0,001</b>	<i>p=0,023</i>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>MEF<sub>50</sub></b> [l/s]	0,8 ± 0,5 0,30-3,30	1,5 ± 0,6 0,7-2,8	2,8 ± 1,5 0,9-5,7	<b>p&lt;0,001</b>	<i>p=0,003</i>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>VK erw.</b> [%]	42,1 ± 12,4 20-71	61,9 ± 7,5 50-77	92,9 ± 12,4 70-123	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>*FEV<sub>1</sub> erw.</b> [%]	30,3 ± 6,2 20-40	52,6 ± 7,2 41-67	88,1 ± 14,4 70-118	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>*MEF<sub>50</sub> erw.</b> [%]	16,8 ± 10,3 8-62	36,4 ± 17,2 15-85	80,4 ± 32,8 39-133	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>FEV<sub>1</sub>/VK</b> [%]	64,4 ± 13,1 38-97	72,9 ± 8,8 57-87	80,1 ± 9,0 63-95	<i>p=0,020</i>	<i>p=0,030</i>	<b>p&lt;0,001</b>

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

## 4.2. Respiratorische Daten und Werte der Blutgasanalyse der Patienten in Ruhe

Typische Messgrößen der Atmung und der Blutgase aller Patienten zusammen und getrennt nach jeweiligen Untergruppen zu Beginn der Belastungsphase sind der folgenden Tabellenaufstellung zu entnehmen. Die jeweiligen Patientengruppen wurden auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht.

### 4.2.1. Respiratorische Messgrößen

Die Tabelle 4 - 5 gibt die respiratorischen Größen der Patienten gruppengetreunt nach Lungenfunktion zu Beginn der Untersuchung wieder; die Tabellen für

geschlechts- und altersgetrennte Gruppen finden sich im Anhang (Tab. 4 - 23 und 4 - 24).

Tabelle 4 - 5: Kardiopulmonale Messgrößen bei Belastungsbeginn getrennt nach Lungenfunktion

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 - 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 - 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>VO<sub>2</sub>/KG</b> [ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	6,39 ± 1,19 2,52-8,88	5,81 ± 1,49 4,06-9,43	6,23 ± 1,70 2,67-9,06	p=0,131	p=0,462	p=0,701
<b>O<sub>2</sub>-Puls</b> [ml/Schlag]	3,04 ± 0,73 1,23-4,29	2,78 ± 0,81 1,40-4,11	2,56 ± 0,98 1,33-4,27	p=0,229	p=0,475	<i>p=0,047</i>
<b>Hf</b> [1/min]	103,8 ± 12,9 75-131	100,0 ± 12,5 71-116	96,6 ± 11,3 82-114	p=0,321	p=0,428	p=0,067
<b>VO<sub>2</sub></b> [ml/min]	311,4 ± 68,5 141-453	272,4 ± 67,3 139-376	244,1 ± 77,7 125-353	p=0,056	p=0,278	<b>p=0,003</b>
<b>VCO<sub>2</sub></b> [ml/min]	292,6 ± 70,0 113-489	262,5 ± 67,2 137-359	233,1 ± 73,5 109-332	p=0,144	p=0,247	<b>p=0,009</b>
<b>RQ</b>	0,94 ± 0,08 0,74-1,16	0,96 ± 0,05 0,86-1,04	0,96 ± 0,06 0,86-1,07	p=0,310	p=0,737	p=0,504
<b>Af</b> [1/min]	26,1 ± 6,4 12,0-48,6	23,7 ± 5,6 12,5-33,2	20,3 ± 3,7 13,7-26,2	p=0,183	p=0,051	<b>p=0,002</b>
<b>AZV</b> [ml]	570,3 ± 162,9 213-1024	571,8 ± 126,8 408-933	557,7 ± 184,7 304-952	p=0,973	p=0,801	p=0,809
<b>AMV</b> [l/min]	14,9 ± 3,0 7,9-22,2	13,3 ± 3,2 7,9-19,0	10,8 ± 2,8 6,2-15,8	p=0,077	<i>p=0,025</i>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>*PEO<sub>2</sub></b> [mmHg]	131,4 ± 3,4 121,6-137,5	131,2 ± 2,9 123,8-137,2	128,5 ± 3,0 122,5-132,8	p=0,871	<b>p=0,013</b>	<b>p=0,005</b>
<b>PECO<sub>2</sub></b> [mmHg]	19,0 ± 2,5 15,3-24,2	19,2 ± 2,0 14,5-23,4	21,2 ± 2,1 18,0-26,4	p=0,729	<b>p=0,010</b>	<b>p=0,004</b>
<b>PETO<sub>2</sub></b> [mmHg]	116,7 ± 5,5 102,7-125,2	118,0 ± 4,3 108,5-129,0	113,5 ± 4,4 106,7-120,8	p=0,388	<b>p=0,007</b>	p=0,052
<b>PETCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	32,3 ± 3,4 26,9-41,8	31,5 ± 2,9 24,2-36,5	33,9 ± 3,4 28,2-39,8	p=0,387	<i>p=0,041</i>	p=0,146

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

Demnach haben die männlichen Patienten einen signifikant höheren O<sub>2</sub>-Puls, eine höhere Hf und höheren PEO<sub>2</sub>, die älteren Patienten signifikant höhere Werte für O<sub>2</sub>-Puls, VO<sub>2</sub> bzw. VCO<sub>2</sub>, AZV und AMV. Bei Betrachtung der nach der Lungenfunktion getrennten Patientengruppen fällt die am stärksten beeinträchtigte Gruppe im Gegensatz zur nur leicht eingeschränkten durch signifikant niedrigere Werte für O<sub>2</sub>-

Puls, VO<sub>2</sub> bzw. VCO<sub>2</sub>, Af, AMV, PEO<sub>2</sub> und PECO<sub>2</sub> auf. Die mittelstark eingeschränkte Patientengruppe hat die signifikant niedrigsten PETCO<sub>2</sub>-Werte.

#### 4.2.2. Messgrößen der Blutuntersuchung

Typische Messgrößen der Blutgase und der Laktatkonzentration der nach Lungenfunktion eingeteilten Patienten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Die Tabellen für die nach Alter und Geschlecht getrennten Patienten finden sich im Anhang (Tabellen 4 - 25 und 4 - 26).

Tabelle 4 - 6: Laktatkonzentration und Blutgase der Patienten getrennt nach Lungenfunktion

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 - 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 - 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>Laktat</b> [mmol/l]	0,833 ± 0,266 0,40-1,44	0,817 ± 0,311 0,40-1,60	0,781 ± 0,277 0,40-1,40	p=0,847	p=0,731	p=0,528
<b>pH</b>	7,430 ± 0,021 7,376-7,475	7,428 ± 0,021 7,390-7,470	7,417 ± 0,029 7,343-7,458	p=0,715	p=0,267	p=0,093
<b>pCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	41,6 ± 4,1 31,6-53,0	39,2 ± 2,9 34,7-46,0	37,6 ± 4,2 27,8-44,0	p=0,037	p=0,200	<b>p=0,003</b>
<b>pO<sub>2</sub></b> [mmHg]	66,8 ± 7,0 49,6-80,5	76,8 ± 7,0 66,0-91,4	83,4 ± 7,0 72,8-96,7	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p=0,012</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>SO<sub>2</sub></b> [%]	92,8 ± 2,6 82,4-97,0	95,0 ± 1,2 92,5-97,0	96,1 ± 0,8 95,0-97,2	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p=0,004</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>BA</b> [mmol/l]	3,0 ± 1,9 -1,8-6,4	1,7 ± 2,4 -1,7-6,6	0,5 ± 2,7 -4,9-4,8	p=0,040	p=0,186	<b>p=0,001</b>

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*.

Die Mittelwerte der Messwerte unterscheiden sich weder bei der nach Geschlecht, noch bei der nach Alter getrennten Patientengruppe. Bei Betrachtung der nach der Lungenfunktion getrennten Patientengruppe unterscheiden sich alle drei Untergruppen signifikant hinsichtlich pO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> – die schwer eingeschränkte Gruppe hat die jeweils niedrigsten, die kaum beeinträchtigte Gruppe die höchsten Werte. Zusätzlich hat die am stärksten eingeschränkten Gruppe gegenüber den beiden anderen Gruppen signifikant höhere Werte für pCO<sub>2</sub> und BA.

### **4.3. Respiratorische und blutgasanalytische Messwerte sowie Leistungsgrößen bei Abbruch**

Typische Messgrößen der Atmung und der Blutgase aller Patienten zusammen und getrennt nach jeweiligen Untergruppen bei Belastungsabbruch sind der folgenden Tabellenaufstellung zu entnehmen. Die jeweiligen Patientengruppen wurden auf statistisch signifikante Unterschiede untersucht.

#### **4.3.1. Respiratorische Maximalwerte**

Die respiratorischen Größen bei Abbruch (bzw. Maximalwerte) der Untersuchung der nach der Lungenfunktion eingeteilten Patienten sind der folgenden Tabelle 4 – 7 zu entnehmen. Die Tabellen für die nach Alter und Geschlecht getrennten Patienten finden sich im Anhang (Tabellen 4 - 27 und 4 - 28). Wie zu erkennen, haben die männlichen Patienten signifikant höhere Werte für  $VO_2$ ,  $VCO_2$ ,  $VO_2/KG$ ,  $O_2$ -Puls, AZV und  $PEO_2$  sowie einen niedrigeren respiratorischen Quotienten. Die jüngeren Patienten haben höhere Werte für  $VO_2/KG$ , Hf, Af,  $PEO_2$ , und  $PETO_2$ , niedrigere hingegen bei  $PETCO_2$  und  $\Delta PETCO_2$  (Differenz zwischen Endwert und Startwert für  $PETCO_2$ ). Bei Betrachtung der nach der Lungenfunktion getrennten Patienten findet man für alle erhobenen Größen (mit Ausnahme für RQ und  $O_2$ -Puls) signifikante Unterschiede zwischen der am schwersten betroffenen Gruppe und den beiden anderen Gruppen im Sinne einer deutlich insuffizienteren Atmung und eingeschränkteren Kreislaufverhältnissen. Zudem verzeichnet diese Gruppe den stärksten Anstieg des endexpiratorischen Kohlendioxiddruckes. Keine gruppenspezifischen Unterschiede gibt es nur bei respiratorischem Quotienten und Sauerstoffpuls. Obwohl der Gruppe der mittelstark beeinträchtigten Gruppe relativ mehr weibliche Patienten angehören als den beiden anderen Gruppen, in denen das Zahlenverhältnis eher ausgeglichen ist, zeigen sich keine auf diesen Umstand zurückzuführende Unterschiede.

Tabelle 4 - 7: Kardiopulmonale Messgrößen bei Belastungsmaximum (Abbruchwerte) getrennt nach Lungenfunktion

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 – 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 – 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>VO<sub>2</sub></b> [ml/min]	1321,2 ± 362,4 771-2015	1610,1 ± 356,2 1137-2329	1790,9 ± 772,2 1079-3763	<b>p=0,009</b>	p=0,416	p=0,038
<b>VCO<sub>2</sub></b> [ml/min]	1472,5 ± 403,8 860-2262	1844,4 ± 373,8 1273-2591	2076,3 ± 994,9 1196-4516	<b>p=0,002</b>	p=0,406	p=0,037
<b>VO<sub>2</sub>/KG</b> [ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	27,0 ± 6,2 16,4-44,4	36,4 ± 10,1 25,3-65,1	43,7 ± 5,1 31,4-49,6	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p=0,017</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>Hf</b> [1/min]	172,6 ± 14,4 134-198	183,0 ± 10,7 151-194	196,9 ± 8,0 183-210	<b>p=0,010</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>O<sub>2</sub>-Puls</b> [ml/Schlag]	7,7 ± 2,0 4,4-11,4	8,8 ± 2,3 6,4-15,4	9,3 ± 3,8 5,4-19,1	p=0,059	p=0,716	p=0,158
<b>RQ</b>	1,12 ± 0,08 0,96-1,33	1,16 ± 0,09 1,02-1,37	1,14 ± 0,07 1,05-1,26	p=0,107	p=0,522	p=0,363
<b>Af</b> [1/min]	50,4 ± 10,1 29,6-70,2	59,8 ± 12,5 38,4-83,8	58,0 ± 7,6 45,7-73,2	<b>p=0,005</b>	p=0,625	<b>p=0,012</b>
<b>AZV</b> [ml]	900,1 ± 276,8 166-1583	1147,8 ± 293,3 745-1850	1353,1 ± 657,7 751-2700	<b>p=0,004</b>	p=0,279	p=0,020
<b>AMV</b> [l/min]	45,4 ± 12,4 27,3-75,0	66,7 ± 14,4 40,1-88,7	77,1 ± 36,0 47,4-168,0	<b>p&lt;0,001</b>	p=0,307	<b>p=0,004</b>
<b>*PEO<sub>2</sub></b> [mmHg]	124,9 ± 3,5 117,1-131,1	129,9 ± 3,7 123,5-131,0	129,4 ± 3,6 121,8-135,3	<b>p&lt;0,001</b>	p=0,502	<b>p&lt;0,001</b>
<b>PECO<sub>2</sub></b> [mmHg]	28,5 ± 3,7 22-36,4	23,6 ± 3,2 19,1-32,8	23,1 ± 3,1 18,4-28,3	p=0,041	p=0,307	<b>p&lt;0,001</b>
<b>*PETO<sub>2</sub></b> [mmHg]	111,3 ± 5,9 96,2-122,8	120,8 ± 5,9 106,9-131,0	122,0 ± 4,6 114,4-129,7	<b>p&lt;0,001</b>	p=0,791	<b>p&lt;0,001</b>
<b>PETCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	43,7 ± 6,3 34,6-64,3	34,7 ± 4,7 27,6-46,4	32,2 ± 4,0 25,7-38,4	<b>p=0,008</b>	p=0,110	<b>p&lt;0,001</b>
<b>Δ PETCO<sub>2</sub></b>	11,3 ± 5,5 3,4-26,9	5,6 ± 11,6 -4,6-47,8	-1,7 ± 4,4 -9,0-6,2	<b>p=0,017</b>	p=0,028	<b>p&lt;0,001</b>

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

#### 4.3.2. Leistungs- und Blutgaswerte

Die Tabelle 4 - 8 gibt die Leistung (P) [Watt] der Patienten getrennt nach Lungenfunktion und als Maximalwerte, in Relation zum Körpergewicht (P/KG) [Watt/kg] und in Relation zum Erwartungswert (P erw.) [%] nach (48) sowie die Laktatwerte bei

Abbruch an; die Blutmesswerte sind das Ergebnis der ersten Entnahme nach Belastungsabbruch. Die Tabellen für nach Alter und Geschlecht getrennten Patientengruppen finden sich im Anhang (Tabellen 4 – 29 und 4 – 30)

Tabelle 4 - 8: Leistungsgrößen bei Belastungsmaximum (Abbruchwerte) sowie Blut(gas)- und Laktatwerte der frühen Nachbelastung getrennt nach Lungenfunktion

	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 - 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 – 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
<b>Laktat</b> [mmol/l]	6,8 ± 1,8 2,9-10,3	8,2 ± 1,6 4,6-11,0	8,4 ± 2,8 4,0-11,9	<b>p=0,012</b>	p=0,771	p=0,057
<b>pH</b>	7,248 ± 0,06 7,148-7,416	7,262 ± 0,04 7,200-7,351	7,288 ± 0,06 7,170-7,373	p=0,402	p=0,182	<i>p=0,036</i>
<b>pCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	54,4 ± 7,7 42,3-80,1	43,2 ± 4,7 36,6-56,9	35,3 ± 4,8 30,2-45,8	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>pO<sub>2</sub></b> [mmHg]	52,9 ± 7,1 38,7-66,7	68,0 ± 8,7 48,3-78,1	82,4 ± 10,5 67,4-106,0	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>SO<sub>2</sub></b> [%]	78,3 ± 8,1 61,0-91,2	88,9 ± 4,8 77,0-93,4	93,9 ± 2,8 86,0-97,0	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>BA</b> [mmol/l]	-4,6 ± 3,6 -12,1-2,4	-7,6 ± 3,0 -11,3--2,2	-9,1 ± 3,2 -13,9--2,8	<b>p=0,004</b>	p=0,218	<b>p&lt;0,001</b>
<b>*P</b> [Watt]	83,2 ± 24,9 42-144	106,8 ± 26,8 63-159	126,7 ± 65,5 73-313	<b>p=0,003</b>	p=0,286	<i>p=0,024</i>
<b>P/KG</b> [Watt/kg]	1,7 ± 0,4 1,0-2,9	2,3 ± 0,4 1,7-3,0	3,0 ± 0,5 2,1-3,7	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>
<b>P erw.</b> [%]	61,5 ± 12,4 34-98	84,4 ± 13,9 57-101	109,2 ± 14,3 82-141	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>	<b>p&lt;0,001</b>

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

Geschlechtsgetrennte Gruppenunterschiede der Messwerte traten nur bezüglich absoluter und relativer Leistung auf. Altersgetrennt zeigt die ältere Patientengruppe zwar keine absolut, aber auf Körpergewicht bezogenen und in Relation zum Erwartungswert deutlich niedrigere Leistung. Weiterhin ist die Sauerstoffsättigung, der Sauerstoffpartialdruck und der pH-Wert der älteren Patienten statistisch signifikant niedriger, der Kohlendioxidpartialdruck höher. Erklärbar ist dies durch mit steigendem Alter zunehmenden Anteil schwerer erkrankter Patienten. Die statistischen Unterschiede zwischen den anhand der Lungenfunktion getrennten Untergruppen

lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Alle unterscheiden sich signifikant hinsichtlich der erwarteten und körperrgewichtbezogenen Leistung, der Sauerstoffsättigung, des Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdruckes in der entsprechend dem Krankheitsstadium erwarteten Richtung. Die stark eingeschränkte Gruppe hat einen signifikant niedrigeren Laktatwert, die am schwächsten betroffene Gruppe den höchsten pH-Wert. Schließlich zeigt die stark betroffene Gruppe eine niedrigere Basenabweichung und niedrigere Leistung als die wenig eingeschränkten Patienten.

#### **4.4. Schwierigkeiten bei der Auswertung der einzelnen Schaubilder**

Als Beispiele für gut auszuwertende Schaubilder mögen die Abbildungen 3 - 1 bis 3 - 6 dienen. Im Folgenden sei anhand der Untersuchungsdiagramme einer ausgewählten Patientin demonstriert, wie trotz weitgehend unauffälliger Übersichtskurven in den Schaubildern weder eine respiratorische Kompensation, noch die anaerobe Schwelle mit einer der vier verwendeten Methoden identifiziert werden konnte.

Die anthropometrischen Daten, die Atem- und Leistungsmesswerte der Patientin und die geschlechtsentsprechenden Vergleichswerte sind in den folgenden Tabellen 4 - 9 und 4 - 10 aufgeführt. Die Patientin ist demnach deutlich älter als der Durchschnitt und schlechter ernährt; bei der Lungenfunktion liegt sie mit 41% des forcierten expiratorischen Volumens in der ersten Sekunde in Relation zum Erwartungswert noch knapp in der Gruppe mit mittelgradig eingeschränkten Pulmonalverhältnissen.

Tabelle 4 - 9: Anthropometrische Daten und Messwerte der Lungenfunktion der Beispielpatientin im Vergleich zu den geschlechtsentsprechenden Durchschnittswerten.

	Beispiel-Patientin	Vergleich weibliche Patienten		Beispiel-Patientin	Vergleich weibliche Patienten
<b>Alter</b> [Jahre]	30	20,5 ± 7,7 8-39	<b>VK</b> [ml]	2390	1915,4 ± 721 750-4110
<b>Größe</b> [cm]	169	159,1 ± 10,5 129-175	<b>FEV<sub>1</sub></b> [ml]	1360	1350,3 ± 587,8 650-3330
<b>Gewicht</b> [kg]	45	46,4 ± 9,7 25-63	<b>MEF<sub>50</sub></b> [l/s]	0,7	1,24 ± 0,92 0,4-4,2
<b>BMI</b> [kg/m <sup>2</sup> ]	15,8	18,1 ± 2,3 14,7-22,9	<b>VK erw.</b> [%]	63	59,4 ± 23,5 22-123
			<b>*FEV<sub>1</sub> erw.</b> [%]	41	49,3 ± 24,7 22-118
			<b>*MEF<sub>50</sub> erw.</b> [%]	15	33,0 ± 28,9 9-133
			<b>FEV<sub>1</sub>/VK</b> [%]	57	70,3 ± 10,2 50-95

Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum der Vergleichsgruppe.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

Tabelle 4 - 10: Atemmesswerte der Beispielpatientin zu Beginn und bei Abbruch der Belastung im Vergleich zu den geschlechtsentsprechenden Durchschnittswerten.

	Patientin Start	Vergleich weibliche Patienten	Patientin Abbruch	Vergleich weibliche Patienten
<b>VO<sub>2</sub></b> [ml/min]	302	301,6 ± 80,6 139-453	1137	1318,0 ± 351,3 771-2150
<b>VCO<sub>2</sub></b> [ml/min]	296	282,9 ± 79,0 137-489	1273	1525,1 ± 433,1 860-2658
<b>RQ</b>	0,98	0,94 ± 0,08 0,74-1,16	1,12	1,15 ± 0,08 0,96-1,37
<b>Af</b> [1/min]	29,7	23,9 ± 5,0 12,0-31,6	53,7	56,0 ± 11,0 36,7-83,8
<b>AZV</b> [ml]	599	591,5 ± 157,5 310-1024	953	939,6 ± 326,6 166-1922
<b>AMV</b> [l/min]	17,8	14,0 ± 3,4 7,9-21,0	51,2	53,5 ± 18,7 27,3-110,6
<b>*PETO<sub>2</sub></b> [mmHg]	129	117,5 ± 4,8 108,5- 129,0	122,8	121,4 ± 24,6 105,4-255,5
<b>PETCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	24,2	32,1 ± 3,2 24,2- 38,3	32,7	39,4 ± 10,2 25,7-76,3
<b>Δ PETCO<sub>2</sub></b>			8,5	7,4 ± 10,8 -9,0-47,8
<b>*P</b> [Watt]			77	88,0 ± 26,6 42-159

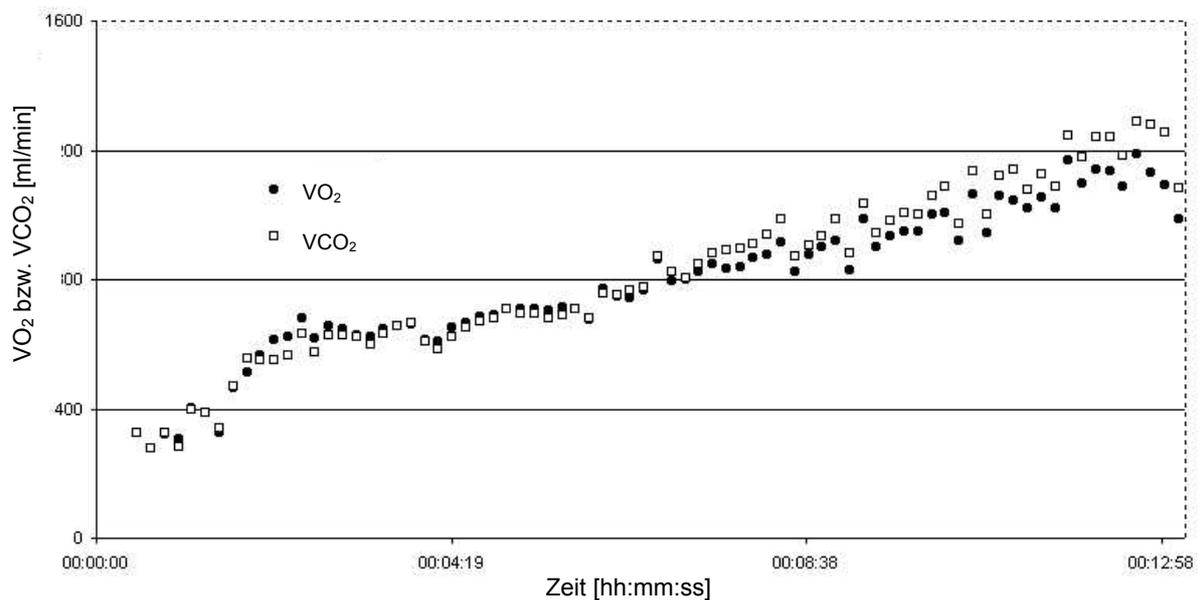
Mittelwert ± Standardabweichung, Minimum-Maximum der Vergleichsgruppe.

\* kennzeichnet nicht normalverteilte Messgrößen.

Im Vergleich mit den Durchschnittswerten fällt nur der hohe endexpiratorische Sauerstoffdruck und niedrige Kohlendioxiddruck bei Belastungsbeginn auf, beide Werte nähern sich im Untersuchungsverlauf den Durchschnittswerten an.

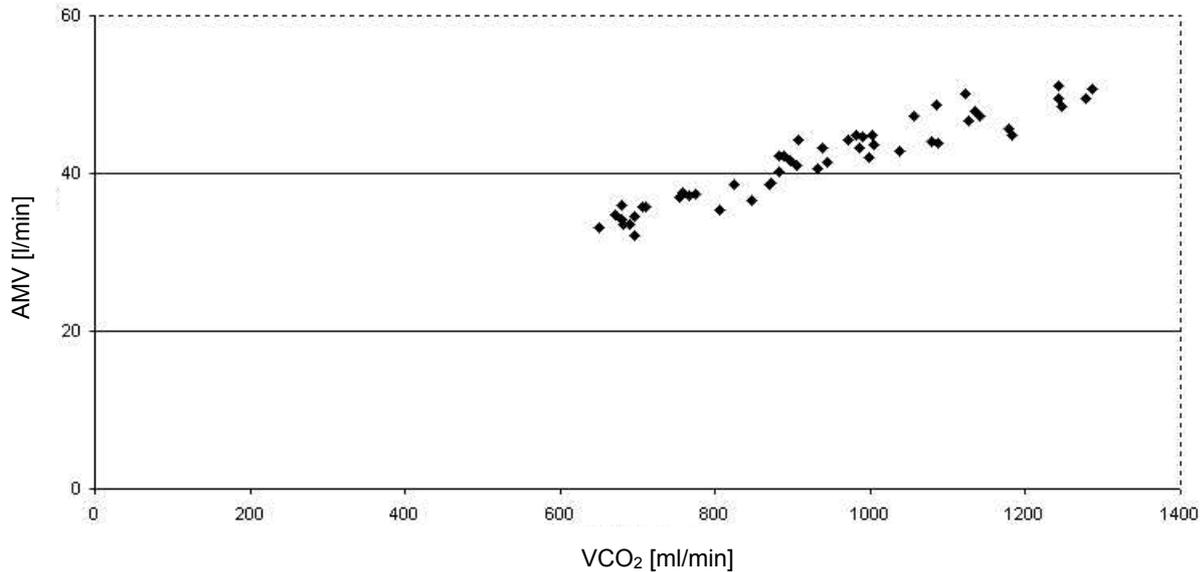
Im Folgenden die einzelnen Schaubilder:

Abbildung 4 - 1: Übersichtsdiagramm  $VO_2$  bzw.  $VCO_2$  gegen die Untersuchungszeit (vergl. Abb. 3 - 1)



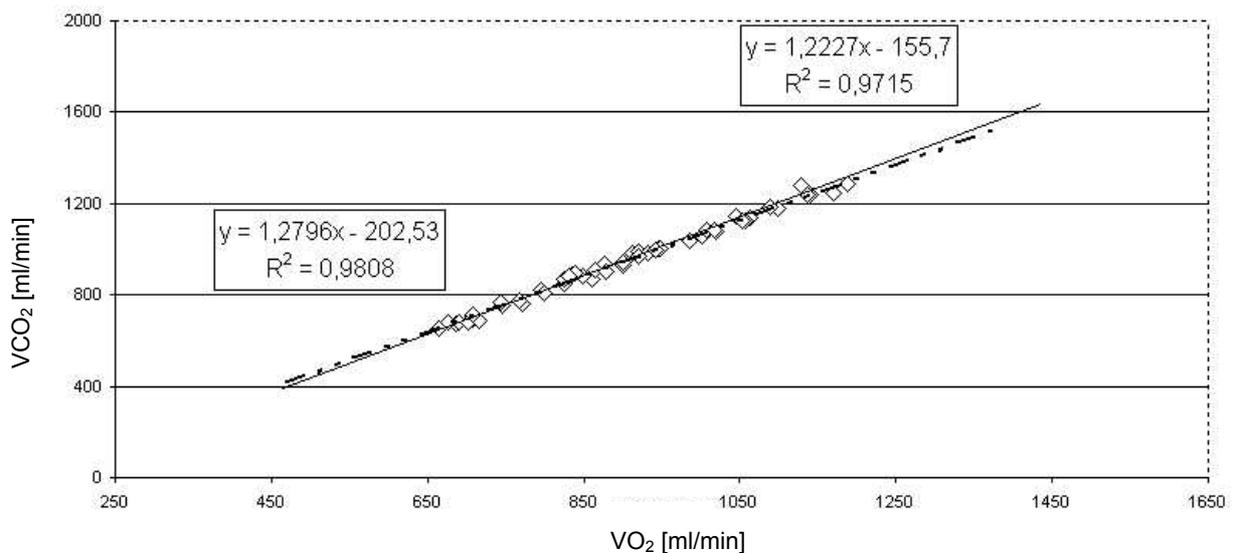
Auffällig in diesem Schaubild ist nur, dass die Kohlendioxidabgabe die Sauerstoffaufnahme schon relativ früh übersteigt.

Abbildung 4 - 2: Diagramm der respiratorischen Kompensation (vergleiche mit Abbildung 3 - 2)



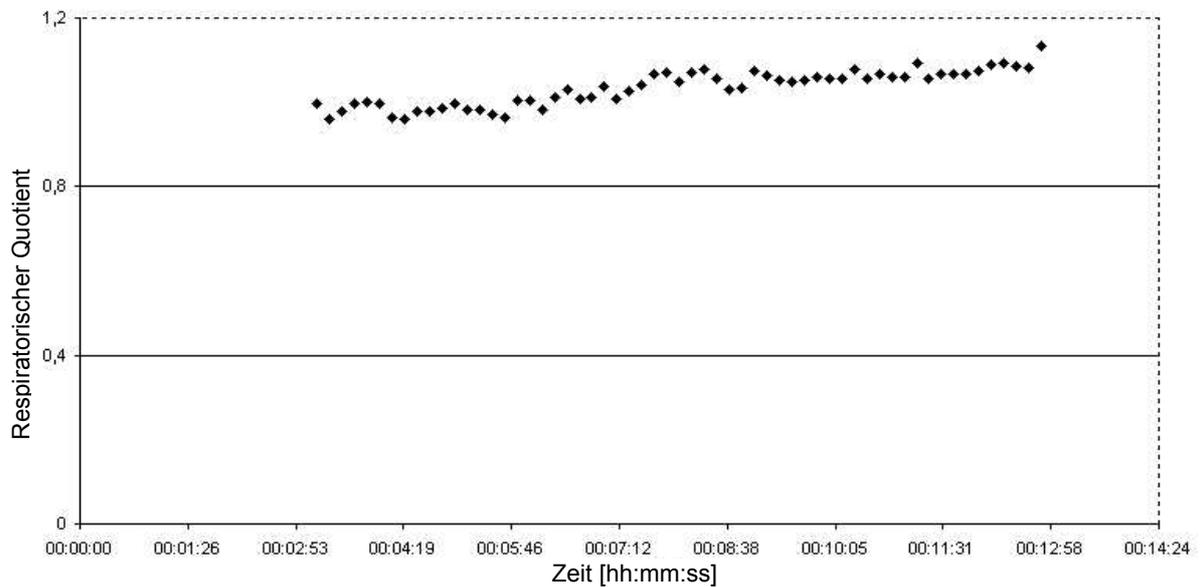
Vorherrschend ist ein relativ unruhiges Datenmuster ohne einen optisch erkennbaren Knick im Diagrammverlauf, der eine einsetzende RK nahe legen würde.

Abbildung 4 - 3: V-Slope Diagramm (vergleiche Abbildung 3 - 3)



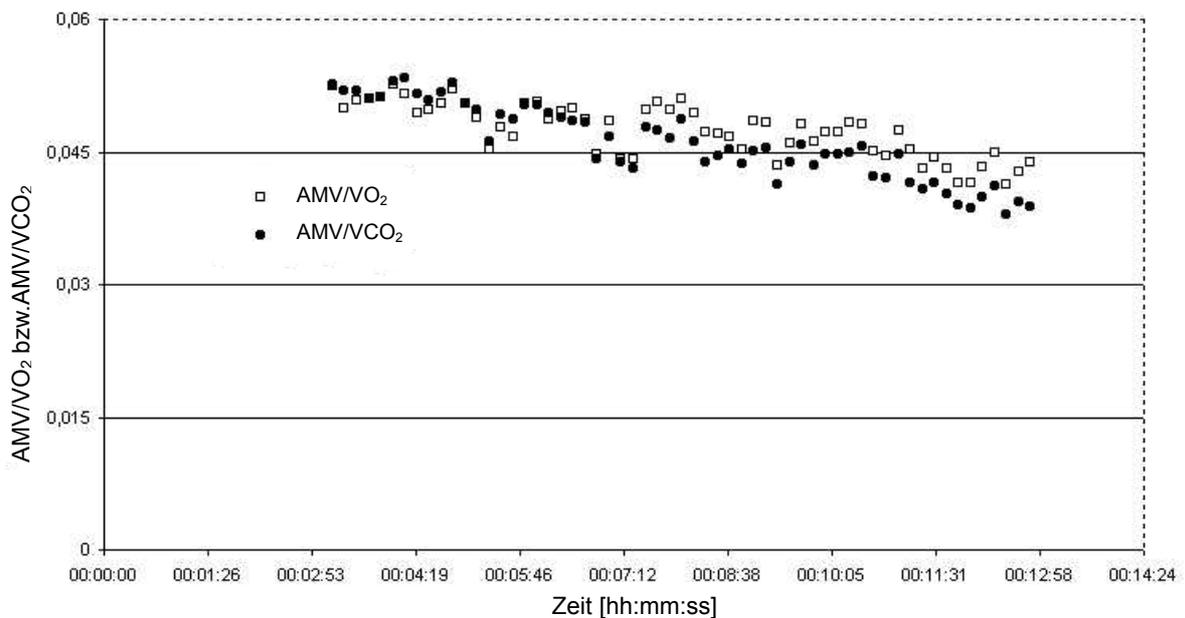
Das Diagramm zeigt keine Punktwolken, durch die zwei Regressionsgeraden unterschiedlicher Steigung gelegt werden könnten

Abbildung 4 - 4: Diagramm der Respiratory Exchange Ratio (vergleiche Abbildung 3 - 4)



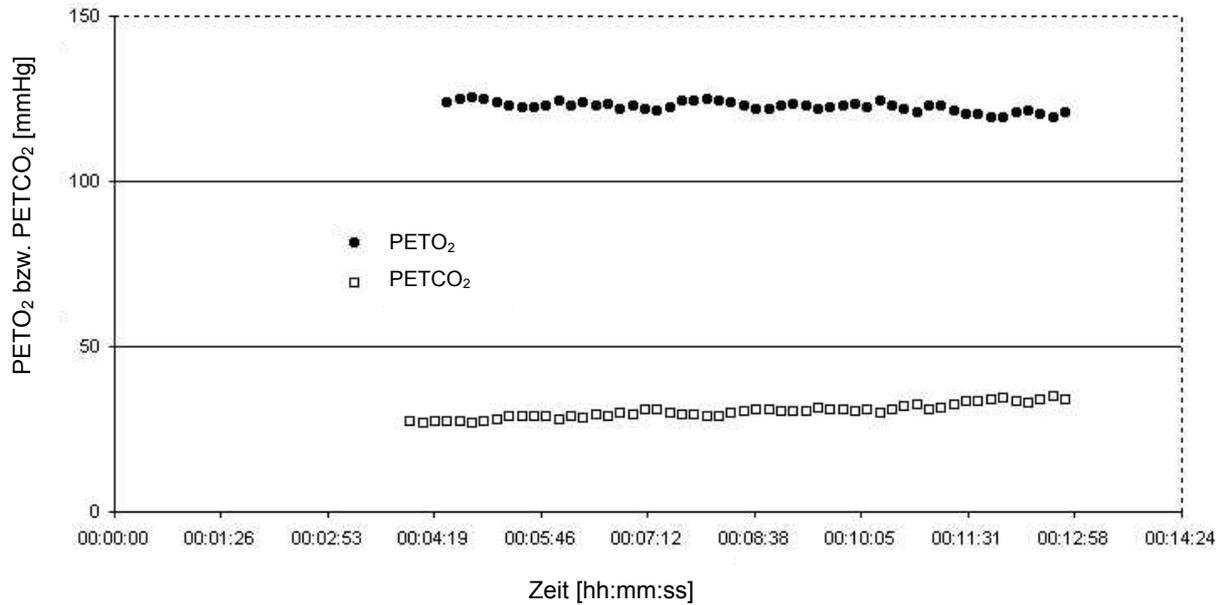
Auch die Kurve der Respiratory Exchange Ratio zeigt optisch keine klar abgrenzbare Steigungsänderung, die eine VAS erkennen lassen würde.

Abbildung 4 - 5: Diagramm des Ventilatory Equivalent of Oxygen (vergleiche Abbildung 3 - 5)



Das unscharfe Datenmuster zeigt keinen eindeutigen Beginn einer VAS.

Abbildung 4 - 6: Diagramm des End-tidal Partial Pressure of Oxygen (vergleiche Abbildung 3 - 6)



Auch die PETO<sub>2</sub>-Kurve zeigt keinen nach oben abknickenden Steigungsverlauf, die eine VAS markieren würde.

#### 4.5. Ergebnisse der Schaubildauswertung

In den folgenden Kapiteln sind die Ergebnisse der Schaubildauswertung getrennt nach Untersuchung und Untergruppe aufgeführt. Ebenso wird zum Vergleich auch angegeben, in wie vielen Fällen im Übersichtsdiagramm der Untersuchung die Kohlendioxidabgabe die Sauerstoffaufnahme überschritt und wie oft eine respiratorische Kompensation nachgewiesen werden konnte.

#### 4.5.1. Ergebnisse der Schaubildauswertung getrennt nach Geschlecht

Tabelle 4 - 11: Darstellung der Schaubildauswertbarkeit, aufgeteilt nach Verfahren und Geschlecht.

in Prozent absolut	Patienten			Signifikanz
	Alle	männlich n=34	weiblich n=35	m/w
Übersicht VCO <sub>2</sub> > VO <sub>2</sub>	88,4 61	85,3 29	91,4 32	p=0,426
RK	37,7 26	38,2 13	37,1 13	p=0,925
V-Slope	55,1 38	55,9 19	54,3 19	p=0,894
RER	55,1 38	50,0 17	60,0 21	p=0,404
VER	49,3 34	44,1 15	54,3 19	p=0,398
PET	50,7 35	41,2 14	60,0 21	p=0,118
In <i>min.</i> einem der Verf. erkennbare Schwelle	73,9 51	70,6 24	77,1 27	p=0,535
Durchschnitt der 4 Verfahren [%]	52,5	47,8	57,1	

Übersicht: Im Diagramm darstellbares Auftreten von VCO<sub>2</sub>>VO<sub>2</sub> RK: Respiratorische Kompensation  
V-Slope, RER, VER, PET: Die zur Auswertung herangezogenen Verfahren, siehe 3.3.4. - 7.

Auf den ersten Blick erstaunlich ist die höhere Auswertbarkeit der weiblichen Patienten in einigen Verfahren, dies ist aber statistisch nicht signifikant.

#### 4.5.2. Ergebnisse der Schaubildauswertung getrennt nach Alter

Tabelle 4 - 12: Darstellung der Schaubildauswertbarkeit, aufgeteilt nach Verfahren und Altersgruppe.

in Prozent absolut	Patienten			Signifikanz
	Alle	Alter unter 19 n=34	Alter ab 19 n=35	Alter
Übersicht VCO <sub>2</sub> > VO <sub>2</sub>	88,4 61	100,0 34	77,1 27	p=0,003
RK	37,7 26	41,2 14	34,3 12	p=0,555
V-Slope	55,1 38	58,8 20	51,4 18	p=0,537
RER	55,1 38	50,0 17	60,0 21	p=0,404
VER	49,3 34	47,1 16	51,4 18	p=0,717
PET	50,7 35	50,0 17	51,4 18	p=0,906
In <i>min.</i> einem der Verf. erkennbare Schwelle	73,9 51	76,5 26	71,4 25	p=0,633
Durchschnitt der 4 Verfahren [%]	52,5	51,5	53,6	

Übersicht: Im Diagramm darstellbares Auftreten von VCO<sub>2</sub>>VO<sub>2</sub> RK: Respiratorische Kompensation V-Slope, RER, VER, PET: Die zur Auswertung herangezogenen Verfahren, siehe 3.3.4. - 7.

Auch hier sind die Unterschiede zwischen den Altersgruppen vermeintlich augenfällig, jedoch ist der Unterschied bis auf eine signifikant bessere Erkennbarkeit des Übersteigens der Kohlendioxidabgabe gegenüber der Sauerstoffaufnahme ebenfalls nicht signifikant.

### 4.5.3. Ergebnisse der Schaubildauswertung getrennt nach Lungenfunktion

Tabelle 4 - 13: Darstellung der Schaubildauswertbarkeit, aufgeteilt nach Verfahren und Lungenfunktion.

in Prozent absolut	Patienten			Signifikanzen		
	FEV <sub>1</sub> erw. unter 40% n=37	FEV <sub>1</sub> erw. 40% - 70% n=17	FEV <sub>1</sub> erw. über 70% n=15	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. 40 – 70%	FEV <sub>1</sub> erw. 40 – 70 vs. >70%	FEV <sub>1</sub> erw. <40 vs. >70%
Übersicht VCO <sub>2</sub> > VO <sub>2</sub>	86,5 32	82,4 14	100,0 15	p=0,691	p=0,087	p=0,134
RK	16,2 6	58,8 10	66,7 10	<b>p=0,001</b>	p=0,649	<b>p&lt;0,001</b>
V-Slope	45,9 17	70,6 12	60,0 9	p=0,092	p=0,529	p=0,358
RER	51,4 19	64,7 11	53,3 8	p=0,359	p=0,513	p=0,897
VER	40,5 15	70,6 12	46,7 7	<i>p=0,040</i>	p=0,169	p=0,685
PET	35,1 13	70,6 12	66,7 10	<b>p=0,015</b>	p=0,811	<i>p=0,038</i>
In <i>min.</i> einem der Verf. erkennbare Schwelle	64,9 24	88,2 15	80,0 12	p=0,075	p=0,522	p=0,284
Durchschnitt der 4 Verfahren [%]	43,2	69,1	56,7			

Übersicht: Im Diagramm darstellbares Auftreten von VCO<sub>2</sub>>VO<sub>2</sub> RK: Respiratorische Kompensation V-Slope, RER, VER, PET: Die zur Auswertung herangezogenen Verfahren, siehe 3.3.4. – 7. Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen **fett**, Unterschiedstendenz *kursiv*

Vergleicht man die unterschiedliche Auswertbarkeit der Patientengruppe mit der schlechtesten Lungenfunktion mit denen mit mittelgradig eingeschränkten Lungenverhältnissen, so sind hier die Unterschiede hinsichtlich der Auswertbarkeit für die Verfahren PET und VER signifikant. Ebenso ist die respiratorische Kompensation bei den besonders stark betroffenen Patienten signifikant seltener darstellbar.

Ähnlich stellt sich die Situation zwischen den stark und nur leicht betroffenen Patienten dar; jedoch liegt hier kein signifikanter Unterschied beim Verfahren VER vor. Zwischen den in der Lungenfunktion mittelgradig und den nur leicht eingeschränkten Patienten ergeben sich hinsichtlich der Auswertbarkeit keine signifikanten Unterschiede.

#### 4.5.4. Kumuliertes Ergebnis

Das auf den ersten Blick inhomogene Gesamtbild lässt sich durch Aufsummieren des Ergebnisses der einzelnen Verfahren deutlich verbessern; dies soll hier exemplarisch anhand der Darstellbarkeit von Schwellen an der Gesamtpatientengruppe demonstriert werden.

Tabelle 4 - 14: Nach Verfahrenserfolg aufsummierte Ergebnisse

	absolut	in %	kumuliert %
In 1 Verfahren erkennbare Schwelle	7	10,1	10,1
In 2 Verfahren erkennbare Schwelle	13	18,8	28,9
In 3 Verfahren erkennbare Schwelle	12	17,4	46,3
In 4 Verfahren erkennbare Schwelle	19	27,5	<b>73,8</b>
Summe	51	73,9	
In keinem Verfahren erkennbare Schwelle	18	<b>26,1</b>	

In fast drei Viertel aller Fälle lässt sich über die vier beschriebenen Verfahren eine anaerobe Schwelle identifizieren, und nur in 10% dieser Fälle ist man dabei auf ausschließlich eines der unterschiedlichen Verfahren angewiesen.

Übertragen auf die Patientengruppe mit der stärksten Einschränkung der Lungenfunktion ergibt sich, wie der Tabelle 4 - 13 zu entnehmen ist, immerhin noch in praktisch 65% der Fälle eine mit zumindest einem der vier Verfahren auswertbare Schwelle!

## 4.6. Gemeinsame Merkmale der Patienten gemäß den einzelnen Tests

Im Folgenden soll betrachtet werden, ob sich innerhalb der verschiedenen Patientengruppen gemeinsame Merkmale oder Zusammenhänge zeigen, die auf eine eventuelle Bevorzugung einzelner Auswertmethoden für bestimmte Patientenkonstellationen schließen lassen. Verschiedene, im Folgenden näher beschriebene statistische Verfahren wurden hierzu herangezogen.

### 4.6.1. Chi-Test und Korrelation

Zuerst wurde mit dem Chi-Test geprüft, ob es zwischen den Untergruppen Geschlecht, Alter und Lungenfunktion einerseits sowie den Patientengruppen mit jeweils erkennbaren Schwellen andererseits markante Zusammenhänge gibt. Hierbei zeigte sich nur bei der Kombination „erkennbare PET-Schwelle“ und „bessere Lungenfunktion“ ( $r = 0,312$ ,  $p = 0,02$ ) sowie der Kombination „erkennbare respiratorische Kompensation“ und „bessere Lungenfunktion“ ( $r = 0,471$ ,  $p = 0,001$ ) ein geringgradiger Zusammenhang.

### 4.6.2. t-Test und lineare Regression

Im nächsten Schritt wurde überprüft, ob sich diejenigen Patienten, die in mindestens einem der angewendeten Verfahren erkennbare Schwellen zeigten, signifikant hinsichtlich der bei den Spiroergometrien jeweils miterfassten Messgrößen von der jeweiligen Gegengruppe ohne erkennbare Schwellen unterscheiden. Hierzu wurden die beiden Gegengruppen zuerst mit dem t-Test für Mittelwertunterschiede auf Unterschiede untersucht, im nächsten Schritt wurde versucht, mit Hilfe der multiplen linearen Regressionsanalyse Richtung und Stärke einzelner Faktoren hinsichtlich der Erkennbarkeit respiratorischer Schwellen zu identifizieren. Die jeweiligen Faktoren sind im Folgenden (so vorhanden) in der Reihenfolge Anthropometrie, Lungenfunktio-

on, Messgrößen bei Belastungsbeginn, Abbruch und Nachbelastungsphase aufgeführt.

#### 4.5.2.1. Alle Verfahren gemeinsam

18 der insgesamt 69 Patienten zeigten in keinem der angewendeten Verfahren eine erkennbare anaerobe Schwelle. Diese unterschieden sich von den restlichen 51 Patienten mit mindestens einer zu erkennenden Schwelle im t-Test für Mittelwertsgleichheit signifikant hinsichtlich den der folgenden Tabelle zu entnehmenden Messgrößen:

Tabelle 4 - 15: Mittelwerte und Signifikanz derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit mindestens einer zu erkennenden Schwelle von denen ohne erkennbarer Schwelle unterscheiden

Messgrößen	Gruppenmittelwerte		Signifikanz
	mit Schwelle	ohne Schwelle	
<b>P erw.</b> [%]	80,8	68,1	p=0,046
<b>Hf</b> bei Abbruch [1/min]	183	172	p=0,020
<b>Af</b> bei Abbruch [1/min]	57	48	p=0,002
<b>VO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1577,6	1259,1	p=0,002
<b>VCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1815,1	1356,3	p=0,006
<b>RQ</b> bei Abbruch	1,15	1,08	p=0,001
<b>AMV</b> bei Abbruch [l/min]	62,3	44,2	p<0,001
<b>Laktat</b> bei Abbruch [mmol/l]	8,0	6,1	p=0,001
<b>AMV/MVV</b>	1,07	0,97	p=0,048

Es handelt sich also durchgängig um Größen, die mit der Belastung an sich in Zusammenhang stehen. Anthropometrische Daten, Werte der Lungenfunktion oder der Blutgasanalyse in Ruhe spielen also in der Gesamterkennung keine Rolle. Auch zeigen wie bei der Gesamterkennungsquote diejenigen Probanden eher eine

Schwelle, die einen höheren Prozentsatz ihrer maximalen willentlichen Ventilation benutzen. Zusammengefasst bestehen also hinsichtlich der graphischen Auswertbarkeit von anaeroben Schwellen allgemein Zusammenhänge mit:

- der Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidabgabe und dem respiratorischen Quotienten unter Maximallast
- der maximalen Herzfrequenz, Atemfrequenz, dem maximalen Atemminutenvolumen
- dem Laktathöchstwert und
- der maximalen Leistung in Relation zur Erwartung

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie zeigt jedoch die „Gewichtung“ einzelner Faktoren und identifiziert so zwei unabhängige Variablen, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren Schwelle wichtig sind: Der respiratorische Quotient bei Abbruch allein begründet 18,2%, dieser zusammen mit der Basenabweichung 25,6% dieser Wahrscheinlichkeit.

#### 4.5.2.2. Respiratorische Kompensation

26 der insgesamt 69 Patienten entwickelten eine respiratorische Kompensation. Diese zeigten im Vergleich zu den 43 Patienten ohne kompensatorische Hyperventilation signifikante Unterschiede hinsichtlich den der folgenden Tabelle zu entnehmenden Messgrößen:

Tabelle 4 - 16: Mittelwerte und Signifikanzwerte derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit respiratorischer Kompensation von denen ohne erkennbare Hyperventilation unterscheiden

Messgrößen	Gruppenmittelwert		Signifikanz
	mit Respiratorische Kompensation	ohne	
<b>VK erw.</b> [%]	69,1	51,3	p=0,001
<b>FEV<sub>1</sub></b> [ml]	61,3	40,6	p<0,001
<b>FEV<sub>1</sub>/VK</b> [%]	73,8	67,5	p=0,048
<b>MEF<sub>50</sub> erw.</b> [%]	51,4	25,8	p<0,001
<b>MVV</b> [l]	72,4	48,2	p<0,001
<b>Af</b> [1/min]	22,0	25,7	p=0,013
<b>pO<sub>2</sub></b> [mmHg]	76,7	70,7	p=0,013
<b>pCO<sub>2</sub></b> [mmHg]	38,6	41,1	p=0,014
<b>SO<sub>2</sub></b> [%]	94,9	93,5	p=0,020
<b>BA</b> [mmol/l]	1,0	2,7	p=0,006
<b>P/KG</b> [Watt/kg]	2,5	1,9	p<0,001
<b>P erw.</b> [%]	91,3	69,1	p<0,001
<b>Untersuchungsdauer</b> [min]	0:16:29	0:12:05	p<0,001
<b>Hf</b> bei Abbruch [1/min]	187,6	175,6	p=0,002
<b>Af</b> bei Abbruch [1/min]	59,1	51,5	p=0,005
<b>VO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1731,3	1351,3	p=0,009
<b>VCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1974,4	1526,7	p=0,012
<b>VO<sub>2</sub>/KG</b> bei Abbruch [ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	36,8	30,6	p=0,009
<b>O<sub>2</sub>-Puls</b> bei Abbruch [ml/Schlag]	9,2	7,7	p=0,016
<b>AZV</b> bei Abbruch [ml]	1239,6	950,8	p=0,006
<b>AMV</b> bei Abbruch [l/min]	71,7	49,0	p=0,001
<b>PETCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [mmHg]	34,8	42,5	p<0,001
<b>Δ PETCO<sub>2</sub></b>	2,1	10,1	p<0,001
<b>Laktat</b> bei Abbruch [mmol/l]	8,2	7,1	p=0,037

Zusammengefasst spielen also bei der Erkennbarkeit der respiratorischen Kompensation neben ventilatorischen Größen in Ruhe und unter Belastung vor allem auch Lungenfunktionsmesswerte sowie Blutgase in Ruhe und unter Belastung eine Rolle, ebenso die erreichte Leistung. Dies ist insofern bedeutsam, als dass bei den weiter unten betrachteten Verfahren mit Ausnahme des PET-Verfahrens praktisch

keine Ruhemesswerte identifiziert werden konnten, die eine erfolgreiche Schwellenerkennbarkeit prognostizieren hätten helfen können.

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie identifiziert jedoch eine unabhängige Variable, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren respiratorischen Kompensation wichtig ist: Die Maximalleistung in Relation zur Erwartung begründet 27% dieser Wahrscheinlichkeit.

#### 4.5.2.3. V-Slope

38 der insgesamt 69 Patienten zeigten eine im V-Slope-Verfahren identifizierbare Schwelle. Diese zeigten im Vergleich zu den 31 Patienten ohne erkennbare Schwelle signifikante Unterschiede hinsichtlich den der folgenden Tabelle zu entnehmenden Messgrößen:

Tabelle 4 - 17: Mittelwerte und Signifikanzwerte derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit einer zu erkennenden Schwelle im V-Slope-Verfahren von denen ohne erkennbare Schwelle unterscheiden

Messgrößen	Gruppenmittelwert		Signifikanz
	mit V-Slope	ohne V-Slope	
<b>Laktat</b> in Ruhe [mmol/l]	0,75	0,90	p=0,032
<b>P erw.</b> [%]	83,7	70,0	p=0,014
<b>VO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1673,8	1274,8	p=0,001
<b>VCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1933,7	1403,3	p<0,001
<b>RQ</b> bei Abbruch	1,16	1,11	p=0,008
<b>Af</b> bei Abbruch [1/min]	57,2	50,9	p=0,017
<b>Hf</b> bei Abbruch [1/min]	184,0	175,7	p=0,027
<b>AMV</b> bei Abbruch [l/min]	65,5	47,8	p=0,002
<b>Laktat</b> bei Abbruch [mmol/l]	8,3	6,5	p<0,001
<b>O<sub>2</sub>-Puls</b> bei Abbruch [ml/Schlag]	9,1	7,3	p=0,002
<b>Untersuchungsdauer</b> [min]	0:15:04	0:12:07	p=0,010
<b>AMV/MVV</b>	1,09	0,98	p=0,014

Bei der Erkennbarkeit der anaeroben Schwelle unterscheiden sich die Patienten mit erkennbarer Schwelle im V-Slope-Verfahren hauptsächlich hinsichtlich respiratorischer Größen unter maximaler Belastung, der erreichten Leistung und dem Laktat von den Patienten ohne erkennbarer Schwelle.

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie zeigt jedoch die „Gewichtung“ einzelner Faktoren und identifiziert so zwei unabhängige Variablen, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren Schwelle wichtig sind: Die Kohlendioxidabgabe bei Abbruch allein begründet 18,7%, diese zusammen mit der Vitalkapazität 31,5% dieser Wahrscheinlichkeit.

#### 4.5.2.4. Respiratory Exchange Ratio

Die 38 der insgesamt 69 Patienten, deren anaerobe Schwelle durch dieses Verfahren identifiziert werden konnte, zeigten gegenüber den 31 restlichen Patienten signifikante Unterschiede nur hinsichtlich des respiratorischen Quotienten unter Maximallast.

Tabelle 4 - 18: Mittelwerte und Signifikanzwerte derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit einer zu erkennenden Schwelle im RER-Verfahren von denen ohne erkennbare Schwelle unterscheiden

Messgröße	Gruppenmittelwert		Signifikanz
	mit	ohne	
	RER		
RQ bei Abbruch	1,16	1,11	p=0,016

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie zeigt jedoch die „Gewichtung“ einzelner Faktoren und identifiziert so eine unabhängige Variable, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren Schwelle wichtig ist: Der respiratorische Quotient bei Abbruch begründet 16,7% dieser Wahrscheinlichkeit.

#### 4.5.2.5. Ventilatory Equivalent of Oxygen

34 der insgesamt 69 Patienten zeigten in diesem Verfahren erkennbare Schwellen. Diese zeigten signifikante Unterschiede zu den restlichen 35 Patienten hinsichtlich den in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Messgrößen.

Tabelle 4 - 19: Mittelwerte und Signifikanzwerte derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit einer zu erkennenden Schwelle im VER-Verfahren von denen ohne erkennbare Schwelle unterscheiden

Messgrößen	Gruppenmittelwert		Signifikanz
	mit VER	ohne VER	
<b>VO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1619,9	1372,7	p=0,047
<b>VCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1862,9	1532,6	p=0,026
<b>AMV</b> bei Abbruch [l/min]	64,2	51,1	p=0,023
<b>VO<sub>2</sub>/KG</b> bei Abbruch [ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	5,8	6,6	p=0,024

In diesem Verfahren zeigen sich also in erster Linie Zusammenhänge mit respiratorischen Werten bei Abbruch.

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie zeigt jedoch die „Gewichtung“ einzelner Faktoren und identifiziert so zwei unabhängige Variablen, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren Schwelle wichtig sind: Der respiratorische Quotient bei Abbruch allein begründet 12,3%, dieser zusammen mit dem respiratorischen Quotienten zu Untersuchungsbeginn 23,7% dieser Wahrscheinlichkeit.

#### 4.5.2.6. End-tidal partial pressure of Oxygen

Die 34 der insgesamt 69 Patienten mit hier visuell erkennbaren Schwellen unterschieden sich von den restlichen 35 Patienten hinsichtlich den in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Messgrößen.

Tabelle 4 - 20: Mittelwerte und Signifikanzwerte derjenigen Messgrößen, hinsichtlich derer sich Patienten mit einer zu erkennenden Schwelle im PET-Verfahren von denen ohne erkennbarer Schwelle unterscheiden

Messgrößen	Gruppenmittelwert		Signifikanz
	mit	ohne	
	PET		
<b>BMI</b> [kg/m <sup>2</sup> ]	18,5	17,3	p=0,017
<b>VK erw.</b> [%]	63,5	52,3	p=0,043
<b>FEV<sub>1</sub> erw.</b> [%]	55,5	41,1	p=0,014
<b>MEF<sub>50</sub> erw.</b> [%]	45,1	25,5	p=0,008
<b>MVV</b> [l]	66,5	47,9	p=0,004
<b>Af</b> [1/min]	22,8	25,8	p=0,039
<b>VO<sub>2</sub>/KG</b> in Ruhe [ml min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	5,8	6,6	p=0,024
<b>P</b> [Watt]	109,6	87,0	p=0,022
<b>VO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1622,5	1362,7	p=0,033
<b>VCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [ml/min]	1869,5	1516,2	p=0,017
<b>Af</b> bei Abbruch [1/min]	57,1	51,6	p=0,036
<b>AMV</b> bei Abbruch [l/min]	66,2	48,6	p=0,002
<b>Hf</b> bei Abbruch [1/min]	184,6	175,6	p=0,016
<b>Laktat</b> bei Abbruch [mmol/l]	8,2	6,8	p=0,007
<b>PETCO<sub>2</sub></b> bei Abbruch [mmHg]	36,5	42,7	p=0,003
<b>Δ PETCO<sub>2</sub></b>	3,6	10,7	p=0,001

Hier spielen also die anthropometrische Größe BMI, zahlreiche Werte der Lungenfunktion, die Blutgase sowohl in Ruhe, als auch unter Belastung sowie die erreichte Maximalleistung eine Rolle bei der Auswertbarkeit. Wie oben erwähnt, ist dies das einzige Verfahren der respiratorischen Schwellenbestimmung, in dem Ruhemesswerte in Zusammenhang mit der Schwellenerkennbarkeit stehen.

Die Anwendung der linearen Regression auf alle Messwerte ergab kein Modell, das eine hohe Erklärungsgüte für eine erkennbare Schwelle liefert. Sie zeigt jedoch die „Gewichtung“ einzelner Faktoren und identifiziert so drei unabhängige Variablen, die für die Wahrscheinlichkeit einer erkennbaren Schwelle wichtig sind: Das Laktat bei Abbruch alleine begründet 19%, dieses zusammen mit dem Quotienten maximales Atemzugvolumen/Einsekundenkapazität 26%, beide ergänzt um den Körpermassenindex 33,5% dieser Wahrscheinlichkeit.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich innerhalb der verschiedenen Verfahren zur Schwellenerkennung qualitativ und quantitativ stark verschiedene Ergebnisse zeigten. Praktisch in jedem Verfahren waren Gruppenunterschiede bezüglich der erreichten Sauerstoffaufnahme bzw. Kohlendioxidabgabe bei Belastungsabbruch zu finden, Werte in Ruhe und Messwerte der Lungenfunktion spielten nur in der respiratorischen Kompensation und im PET-Verfahren eine Rolle. Dieser Zusammenhang zwischen der Pulmonalfunktion und diesen Verfahren ist uns nun schon in mehrfacher Hinsicht begegnet (und wir gehen noch einmal in Kapitel 5.2. und 5.4. darauf ein) - offensichtlich reagieren also diese Verfahren besonders sensibel gegenüber den „Grundvoraussetzungen“ der Patienten. Leider zeigen die anderen Verfahren keine ähnlich klaren Zusammenhänge, die auf eine besondere Bevorzugung oder Eignung einer Methode für eine besondere Klientelkonstellation hinweisen würde.