

### 3. Methoden

#### 3.1. Probanden

Die Untersuchung wurde an 11 männlichen Probanden durchgeführt. Die Gruppe setzte sich zusammen aus untrainierten Studenten, Gelegenheitssportlern, 2 x wöchentlich trainierenden Rugbyspielern und einem Amateurradfahrer mit täglichem Training. Die anthropometrischen Daten sind in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 2: Darstellung der anthropometrischen Daten Alter, Gewicht und Länge der Probanden (n = 11) sowie deren Mittelwert  $\bar{x}$   $\pm$  Standardabweichung.

Nr.	Proband	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Länge (cm)
01	G.B.	22	77	185
02	S.M.	27	84	190
03	B.R.	21	74	186
04	R.H.	33	70	178
05	S.S.	28	75	179
06	D.M.	21	80	182
07	A.S.	23	79	182
08	P.D.	31	94	186
09	C.B.	26	87	192
10	C.K.	23	87	192
11	M.G.	34	82	174
n = 11		$\bar{x} = 26,3$ $\pm 4,8$	$\bar{x} = 80,8$ $\pm 6,9$	$\bar{x} = 183,6$ $\pm 6,1$

Die Tests fanden für alle Probanden in den Vormittagsstunden statt, keiner hatte zuvor einen Wingate-Test absolviert. In den letzten 2 Tagen vor dem Test durfte nicht intensiv trainiert werden. Die Teilnehmer waren angehalten, während des Testes maximale Leistung zu erbringen und wurden dabei stets von allen anwesenden Mitarbeitern lautstark angefeuert.

Alle Probanden waren über den Versuch, die möglichen Komplikationen und eventuell auftretende Nebenwirkungen informiert und hatten schriftlich ihr Einverständnis erklärt.

### 3.2. Versuchsaufbau

#### 3.2.1. Gesamtversuch

Jeder Proband hatte eine Serie von 3 Wingatetests auf dem Fahrradergometer zu absolvieren. Zwischen den einzelnen Versuchen bestand mindestens eine Pause von 3 Tagen.

Die 3 Wingatetests setzten sich zusammen aus zwei gleichartigen Versuchen (Vortest/ Test) und einem Versuch nach Hyperventilation. Jeder Teilnehmer absolvierte als ersten Versuch der Serie einen normalen Wingatetest (Vortest). Dieser wurde durchgeführt, um die Probanden mit Art und Ablauf der Testsituation vertraut zu machen. Weiterhin erschien es wichtig, eine unbewusste Hyperventilation der Probanden, die durch Aufregung vor dem unbekanntem Test durchaus zu erwarten war, auf einen Vortest zu legen und so eine Verfälschung der Ergebnisse zu vermeiden. Der eigentliche Vergleich erfolgte zwischen Test und Hyperventilationstest. Diese fanden randomisiert an erster bzw. zweiter Stelle statt, um mögliche Wirkungen durch veränderte Testbedingungen erkennen zu können (Test-Hyperventilationstest) sowie eine kontinuierliche Leistungssteigerung durch „Erlernen“ des Wingatetestes auszuschließen.

#### 3.2.2. Wingate Vortest-Test

Der Wingate Anaerobic Test misst die supramaximale Leistung während 30s und wurde in den 70er Jahren im Wingate Institut für Sportmedizin in Israel entwickelt. Seit der Einführung des Prototyps (Ayalon, Inbar, Bar-Or 1974) wird dieser Test weltweit eingesetzt, um Muskelleistung, Muskelkurzzeitdauer und Erschöpfbarkeit zu messen (Bouchard et al. 1991). Er gilt derzeit als der beste Test zur Bestimmung der anaeroben Leistung. Dabei nutzt man die Erkenntnis, dass gerade bei einer kurzen (30s),

hochintensiven Beanspruchung die Energieversorgung hauptsächlich auf anaeroben Wege erfolgt (Beneke et al. 1999, Inbar et al. 1976, Jakobs et al. 1979). Es werden gemessen: die höchste mechanische Leistung (Peak power) in W/kg, typischerweise in den ersten Sekunden, die durchschnittliche Leistung (Average Power) in W/kg, die geringste Leistung (Minimum Power) in W/kg sowie der Leistungsabfall (Power drop) in W/s. In einer Vielzahl von Studien (z.B. Bar-Or et al. 1977, Dotan et Bar-Or 1983, Tirosh et al. 1990) konnten eine hohe Reliabilität und Validität für diesen Test nachgewiesen werden.

Der Wingate Anaerobic Test fand auf einem mechanisch gebremsten, drehzahl-abhängigen Fahrradergometer der Firma MONARK Nr. 824 E statt. Dieses treibt über Pedale, Zahnrad und Fahrradkette das Ritzel des davor befindlichen Schwungrades an (Übersetzung von 1/2“ zu 1/8“). Die Umdrehungen des Zahnrades werden von einem Sensor gemessen und ermöglichen über dessen Umfang und die Übersetzung eine Aussage zum zurückgelegten Weg des Schwungrades pro Zeit. Dieses Schwungrad wird mechanisch über einen Seilzug, an dessen Ende sich ein Metallkorb für Gewichtsscheiben befindet, gebremst. Das Bremsgewicht wurde für jeden Probanden speziell bestimmt. Der Teilnehmer wurde dazu auf einer digitalen Waage der Firma SECA gewogen, 7,5 % des Körpergewichtes ergab das Bremsgewicht. Dabei ist anzumerken, dass das Bremsgewicht in 100g Schritten bestimmt und vom Hersteller auf maximal 11 kg begrenzt wurde.

Das Bremsgewicht strafft das Seil, welches über eine Umlenkrolle geleitet wird, und bremst so das Schwungrad. Mit Hilfe der bekannten Bremskraft, des Weges des Schwungrades und der Zeit kann die erbrachte Leistung des Probanden über das Programm „MONARK WINGATE ERGOMETER TEST“ während der 30s kontinuierlich berechnet und anschließend graphisch dargestellt werden. Weiterhin werden Peak power, Minimum power, Average power sowie Power drop in 5s- Mittelungen ausgedruckt.

In der Vorbereitungsphase wurde der Testteilnehmer nach Erfassung der persönlichen Daten gemessen und gewogen, die Atemmaske angepasst, die Sattelleinstellungen vorgenommen sowie der Pulsgurt der Firma POLAR angelegt. Weiterhin wurde ein venöser Zugang (Braunüle® 18G) gelegt und die Ohren mit der Salbe Finalgon extra stark® hyperämisiert.

Die zehnminütige Ruhepause wurde durch Abnahme der „Ruhewerte“ für Blutgase und Laktat aus dem Ohr sowie des venösen Blutes aus dem Zugang beendet. Anschließend setzte sich der Proband auf das Ergometer Excalibur SPORT der Firma LODE (elektrodynamisches, drehzahlunabhängiges Fahrradergometer) und wurde über eine Maske und Turbine mit dem Spirometer OXYCON Gamma der Firma Mijnhardt verbunden (dieses misst kontinuierlich das O<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>-Volumen in ml/min, das O<sub>2</sub>-Volumen/kg, die Ventilation in l/min, die Atemfrequenz/min und errechnet den respiratorischen Quotienten. Des weiteren können der Druck für CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> im letzten Teil der Ausatemluft im mmHg angezeigt werden).

Es folgten zwei Minuten Ruhe. Anschließend wurde eine fünf Minuten dauernde Aufwärmphase bei 50 W durchgeführt, welche manuell über die integrierte Software des Work Load Prozessors gesteuert wurde. Die Aufwärmphase wurde mehrmals von kurzen Antritten unterbrochen, die den Probanden auf den folgenden Wingateversuch vorbereiten sollten. Daraufhin setzte sich der Teilnehmer auf das Ergometer der Firma MONARK mit dem speziell für ihn bestimmten Bremsgewicht. Es folgten nun zum Zeitpunkt „vor Wingate“ erneut Blutgas-, Laktat- und venöse Abnahmen.

Exakt sieben Minuten nach Beendigung der Aufwärmphase begann der Countdown für den Probanden. Nach dem Kommando „Auf die Plätze - Fertig - Los“ begann er, noch ohne Bremsgewicht, auf dem Ergometer zu treten und hatte 3s Zeit, sich auf eine maximale Trittfrequenz zu steigern. Diese Zeit wurde durch das Zählen von 21 bis 23 begrenzt. Genau bei 23 wurde das Bremsgewicht herabgelassen und die 30 Sekunden des Tests begannen.

Die Tests erfolgten immer in wettkampfählicher Atmosphäre, sämtliche Beteiligten gaben ihr Bestes, den Athleten lautstark und ausdauernd anzufeuern.

Der dem Ergometer angeschlossene Computer zeigte alle 5s die Trittfrequenz in RPM und Leistung in Watt an. Auch der Proband wurde in 5s Schritten über die verbleibende Zeit informiert. Exakt nach 30s wurde das Kommando STOP gegeben.

Sofort nach Abbruch erfolgten venöse Abnahmen sowie Blutgas- und Laktatbestimmungen. Der Proband blieb 5 Minuten auf dem Ergometer und setzte sich danach auf einen Stuhl mit Rücken- und Armlehne bis zur 30. Minute nach Belastung. Weitere venöse Abnahmen erfolgten zusammen mit den Blutgasen zu den Zeitpunkten 3, 5, 7, 9, 12, 16, 20, 25 und 30 Minuten nach Belastung. Laktate wurden im Minutenabstand bis zur 10., danach im Zweiminutenabstand bis zur 30. Minute nach Belastung entnommen.

### 3.2.3 WINGATE -HYPERVENTILATIONSTEST

#### 3.2.3.1 Vorversuche zur Hyperventilation

In der Phase vor unseren Tests galt es zu klären, in welchem Rahmen eine kurzzeitige Hyperventilation Einfluss auf das Säure-Basen-Gleichgewicht hat, bzw. wie man die Probanden zu dieser anleiten kann. Tests nach metabolischer Alkalose (Costill et al. 1984, McNaughton et al. 1991) fanden nach Steigerung des pH auf etwa 7,6 statt. Ziel dieser Testreihe war es, eine entsprechende Alkalose durch respiratorische Veränderungen, d.h. Hyperventilation, zu erreichen. Nach einigen Selbstversuchen der Hyperventilation im Sitzen erwies sich folgende Möglichkeit als am besten geeignet. Die Atemfrequenz wird durch ein Metronom kontinuierlich mit 25/min vorgegeben. Die Atemtiefe wird per Sichtkontrolle so eingestellt, dass der am Bildschirm angezeigte endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Druck der Ausatemluft (pet CO<sub>2</sub>) 20 mmHg erreicht und dann dort verbleibt. Bei dieser Konzentration kommt es noch nicht zu typischen Nebenwirkungen, obwohl von einem Probanden nach Beginn kurzzeitig eine leichte

Benommenheit geschildert wurde. Um die Wirkung am Probanden zu kontrollieren, erfolgte parallel zur Hyperventilation die Bestimmung der Blutgase aus dem hyperämisierten Ohrläppchen. Dies erfolgte zweimal während der Ruhephase, nach 5, 10 und 15 min der Hyperventilation sowie 1, 3 und 6 min der erneuten Ruhephase. Die Veränderungen sind für 2 Probanden in folgender Tabelle 3 beispielhaft dargestellt.

Tabelle 3: Vorversuche: Verlauf von pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aktuell und BE aktuell zu den Zeitpunkten Ruhe, nach 5, 10, 15 min der Hyperventilation sowie 1, 3 und 6 min nach Hyperventilationsende. Die Darstellung erfolgt beispielhaft für 2 Probanden.

	Ruhe/Ruhe	5'Hypervent.	10'Hypervent.	15' Hypervent.	1'nachHyperv.	3'nachHyperv.	6'nachHyperv.
1.pH	7,428/ 7,433	7,581	7,619	7,624	7,550	7,513	7,468
1.pCO <sub>2</sub>	43,1/41,7	23,5	24,0	23,3	28,0	34,0	37,1
1.pO <sub>2</sub>	88,3/95,7	110,1	107,0	103,3	92,5	73,8	65,0
1.HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	27,3/26,9	23,7	24,1	23,7	24,3	25,7	27,0
1.BE	2,9/2,7	3,9	4,1	3,9	3,2	4,1	3,8

	Ruhe/Ruhe	5'Hypervent.	10'Hypervent.	15' Hypervent.	1'nachHyperv.	3'nachHyperv.	6'nachHyperv.
2.pH	7,401/ 7,410	7,608	7,590	7,598	7,541	7,508	7,470
2.pCO <sub>2</sub>	41,8/40,9	21,5	22,1	22,1	25,6	30,2	33,0
2.pO <sub>2</sub>	88,5/90,2	115,3	110,5	106,6	98,3	76,3	64,8
2.HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25,4/25,3	21,7	21,3	21,7	21,8	23,8	23,7
2.BE	1,0/1,3	2,2	1,5	2,1	1,1	2,0	1,2

Diese Vortests zeigten schon deutlich, dass eine kurze Hyperventilation von 15 Minuten den pH-Wert um etwa 0,2 anheben und damit in alkalische Werte bewegen kann. Diese Steigerung des pH von etwa 7,4 auf 7,6 tritt schon in den ersten 5 Minuten ein und verändert sich danach nicht mehr. Während der Hyperventilation sank der pCO<sub>2</sub> entsprechend dem petCO<sub>2</sub> von etwa 41 auf 22 mmHg, der pO<sub>2</sub> stieg an. In dieser Phase konnte ebenso ein leichter Abfall von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> registriert werden, der BE stieg leicht an. Schon drei Minuten nach Ende der Hyperventilation sank der pH auf etwa 7,5 und näherte sich, wie auch die anderen Werte, wieder dem

Ruhezustand an. Für die folgenden Tests schlossen wir daraus, dass eine 15-minütige Phase ausreichend ist, um durch diese respiratorische Intervention eine pH-Steigerung auf etwa 7,6 zu erreichen und genügend CO<sub>2</sub> abzuatmen. Der darauffolgende Wingatetest sollte so bald wie möglich nach Ende der Hyperventilation beginnen, um die oben beschriebenen Veränderungen noch auszunutzen.

Aus den Protokollen der Atemgase konnten die Durchschnittswerte der Ventilation für O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> und der Respiratorische Quotient errechnet werden. Hierbei zeigte sich, dass im Vergleich der Ruhe- und der Hyperventilationsphase bei gleichem RQ etwa 1l CO<sub>2</sub>/5min bzw. 3l CO<sub>2</sub>/15 min zusätzlich abgeatmet werden. Diese Differenz kann als abgeatmeter CO<sub>2</sub>-Speicher angenommen werden. Nach der Hyperventilation wird anfangs weniger CO<sub>2</sub> abgeatmet, da erst die Speicher wieder aufgefüllt werden.

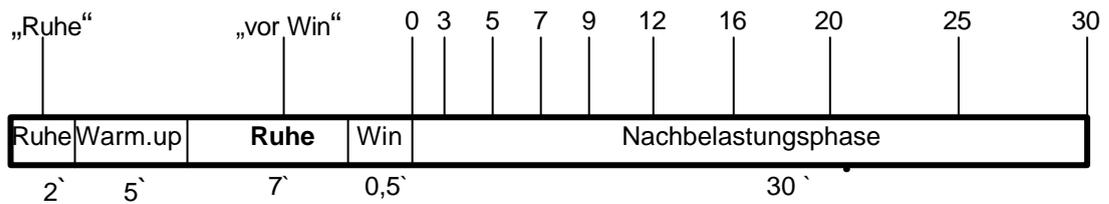
#### 3.2.3.2. Hyperventilationstest

Entsprechend der Ergebnisse der Vorversuche wurde folgender Ablauf festgelegt:

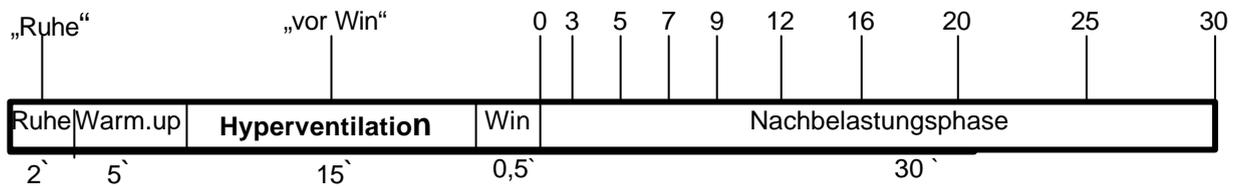
Bis zum Ende der Aufwärmphase entspricht der Hyperventilationstest dem im Kapitel 3.2.3. beschriebenen Wingatetest. Der wesentliche Unterschied besteht hierbei in einer 15-minütigen Hyperventilationsphase nach dem Aufwärmen und vor dem Wingatetest. Während dieser Zeit sitzt der Proband schon auf dem Ergometer MONARK. Er hyperventiliert, d.h. Atemtiefe und Atemfrequenz sind erhöht. Die Atemfrequenz wird durch den Takt eines Metronoms mit 25/min vorgegeben. Der petCO<sub>2</sub> in mmHg konnte als Schätzmaß des arteriellen pCO<sub>2</sub> auf dem Bildschirm des Spirometers OXYCON GAMMA durch den Probanden abgelesen werden. Er wählte selbständig seine Atemtiefe so, dass er nach 3 min diesen von ca. 40 mmHg auf 20 mmHg gesenkt hatte und dann beibehielt. Nach acht Minuten der Hyperventilation (Zeitpunkt „vor Wingate“) erfolgte eine venöse Abnahme sowie die Blutgas- und Laktatbestimmung. Weitere sieben Minuten später, d.h. genau 15 Minuten nach Beginn der Hyperventilation, wurde der Test gestartet und verlief identisch zum „normalen“ Wingatetest.

Zum besseren Verständnis werden in den folgenden 2 Schemata die Abläufe im Wingatetest und im Hyperventilationstest dargestellt.

Schema 1: Ablauf des Wingatetestes mit Darstellung der einzelnen Phasen (Ruhe, Warming up = Warm. up, Wingatetest = Win, Nachbelastungsphase) mit Zeitdauer in Minuten (') sowie der Abnahmezeitpunkte „Ruhe“, „vor Wingate“ („vor Win“) und nach Testende in Minuten.



Schema 2: Ablauf des Hyperventilations-Wingatetestes mit Darstellung der einzelnen Phasen (Ruhe, Warming up = Warm. up, Hyperventilation, Wingatetest = Win, Nachbelastungsphase) mit Zeitdauer in Minuten (') sowie der Abnahmezeitpunkte „Ruhe“, „vor Wingate“ („vor Win“=8') und nach Testende in Minuten.



### 3.3. Laktatanalyse

Die Laktatanalyse erfolgte in 0,02 ml Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen. Für die Analyse wurde das Gerät EBIO plus der Firma Eppendorf verwendet. Dieses arbeitet nach dem enzymatisch - amperometrischen Messprinzip mittels Enzymelektrode.

Probengewinnung und Verarbeitung: Nach ausreichender Hyperämisierung mit Hilfe einer durchblutungssteigernden Salbe (Finalgon extra stark®) wurde das Ohrläppchen mit einer sterilen Einmallinganzette punktiert. Nach Verwerfen des ersten Blutropfens wurde 0,02 ml des anschließend spontan und unter leichtem Druck hervortretenden Blutes in einer 0,02 ml fassenden Glaskapillare aufgenommen.

Die Bestimmung der venösen Vollblut-Laktatwerte erfolgte aus dem Blut in einer heparinisierten Einwegspritze „QS 50“ der Firma Braun. Ebenfalls aus dieser Spritze wurde eine 0,1 ml fassende Glaskapillare etwa zu  $\frac{3}{4}$  mit Blut befüllt und an einem Ende durch Verschlussmasse versiegelt. Es folgte eine 4-minütige Zentrifugation (Firma Hettich Haematokrit Zentrifuge) bei 14.000 U/min sowie Teilung der Kapillare mittels Skalpell in Plasma- und Zellteil. Das Plasma wurde anschließend vorsichtig in die 0,02 ml fassende Glaskapillare zur Laktatbestimmung umgefüllt und bestimmt.

#### 3.4. Blutgase

Die Ermittlung der Wasserstoffionenkonzentration (pH), des Kohlendioxidpartialdruckes ( $p\text{CO}_2$ ), des Sauerstoffpartialdruckes ( $p\text{O}_2$ ) sowie der Basenabweichung (BE) erfolgte, parallel zur kapillären Laktatanalyse am anderen Ohr, aus 0,1 ml luftblasenfrei in heparinisierte Glaskapillaren aufgenommenem Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen. Bei 37°C messen spezifische Elektroden im Blutgasanalysegerät ABL 510 der Firma Radiometer Copenhagen  $p\text{O}_2$ ,  $p\text{CO}_2$  und pH.  $\text{HCO}_3^-$  aktuell und  $\text{BE}_{\text{aktuell}}$  werden errechnet. Eine Qualitätssicherung erfolgt durch regelmäßige Kalibrierung im Abstand von 4 Stunden.

#### 3.5. Untersuchung von venösem Blut

Für die Gewinnung von venösem Blut wurde eine Verweilkanüle (Braunüle® 18 G) in eine oberflächliche Unterarmvene gelegt. Die Abnahmen erfolgten ohne Stauung immer in folgender Reihenfolge:

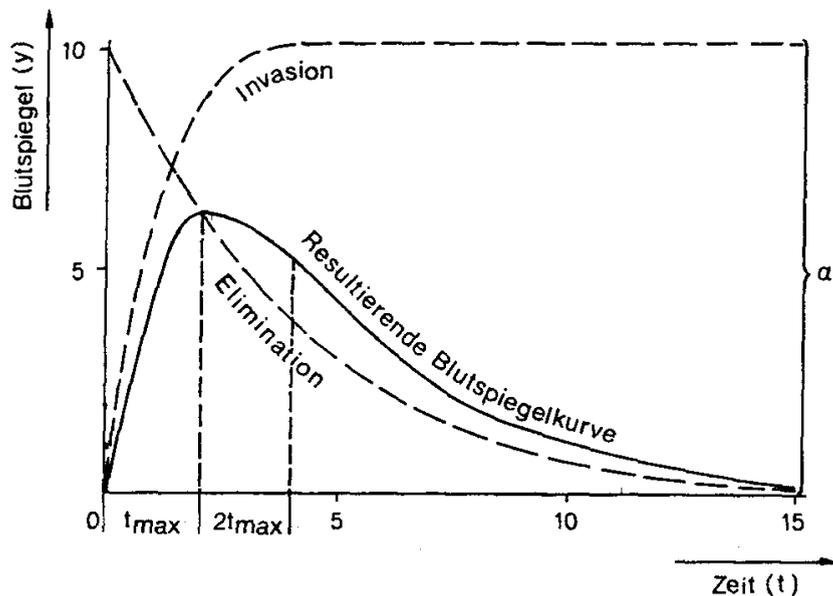
1. Öffnen des Zuganges zur Braunüle und kurzes Durchspülen mit ca. 1 ml 0,9%iger NaCl-Lösung der Firma Braun.
2. Verwerfen der ersten 2 ml Blut in einer 2 ml Einwegspritze der Firma Braun.
3. Entnahme von ca. 6 ml Blut in eine 5 ml Einwegspritze der Firma Braun.
4. Entnahme von ca. 1,5 ml Blut in eine heparinisierte Einwegspritze QS 50 der Firma Radiometer Copenhagen.
5. Kurzes Anspülen und Verschluss des venösen Zuganges durch eine mit 0,9% -iger NaCl-Lösung gefüllten Einwegspritze.

Unmittelbar nach Blutentnahme wurde die mit ca. 6 ml Vollblut gefüllte Einwegspritze umgefüllt. 4 ml Vollblut wurden vorsichtig in einen mit EDTA behandelten VACUTAINER der Firma Becton- Dickinson gegeben und zur Bestimmung des Blutbildes genutzt. Die verbleibenden 2 ml wurden in einen mit Lithiumheparin behandelten VACUTAINER gefüllt und zur Elektrolytbestimmung im Rahmen einer anderen Fragestellung genutzt.

Das Blut in der heparinisierten „QS 50“-Spritze wurde zur Analyse der venösen Werte für Laktat und BGA nach den oben beschriebenen Methoden verarbeitet.

### 3.6. Theoretische Berechnungen zum Laktatverlauf

Um den realen Verlauf der Blutlaktatwerte theoretisch nachvollziehen zu können, wurde die Bateman-Funktion genutzt. Diese Funktion basiert auf dem pharmakokinetischen Modell einer einmaligen oralen Pharmakongabe, bei der Resorptions-, Verteilungs- und Eliminationsvorgänge nebeneinander ablaufen (Mutschler, Arzneimittelwirkungen, 7.Aufl.). Einfach ausgedrückt sinkt nach anfänglichem Anstieg und Erreichen des Maximalwertes die Kurve asymptotisch wieder auf den Ausgangswert ab. Die Funktion wird in der Pharmakologie zur Berechnung von Pharmakakonzentrationen im Blut genutzt. Analog zur einmaligen oralen Pharmakongabe kann die Laktatmenge, die im 30s-Wingatetest produziert wird, als einmaliger Bolus angesehen werden. Der Blutspiegel wird durch die oben genannten Vorgänge beeinflusst. Basierend auf den gemessenen Werten wird die Bateman-Funktion durch diese gelegt und daraus  $k_1$  als Invasionskonstante,  $k_2$  als Eliminationskonstante,  $a$  als hypothetischer Laktatbolus sowie der maximale Blutlaktatwert  $y_{\max}$  und dessen Zeitpunkt  $t_{\max}$  berechnet.



$$y = (a * k_1 * (k_2 - k_1)^{-1}) * (e^{-k_1 * t} - e^{-k_2 * t})$$

Abbildung 1: Darstellung der Bateman-Funktion als resultierende Kurve zwischen Invasion und Elimination mit zugehöriger Berechnungsformel.  $y$  = Blutlaktatspiegel,  $a$  = angenommener Laktatbolus,  $t$  = Zeit,  $k_1$  = Invasionskonstante,  $e$  = Konstante (2,71828),  $k_2$  = Eliminationskonstante (aus Mutschler, Arzneimittelwirkungen, 7.Auflage).

Zur Berechnung des Zeitpunktes des Maximums  $t_{\max}$  wurde die Gleichung:

$$t_{\max} = (k_1 - k_2)^{-1} * \ln(k_1 * k_2^{-1})$$

und zur Berechnung des maximalen Blutspiegels  $y_{\max}$  die Gleichung:

$$y_{\max} = a (k_1 * k_2^{-1}) ** ((k_2 * (k_2 - k_1))^{-1})$$

genutzt. Da die Bateman-Funktion von einem Ausgangsblutspiegel gleich null ausgeht, aber zum Zeitpunkt „vor Wingate“ Laktatwerte von etwa 1,5 - 2mmol/l gemessen wurden, ist es nötig, den Zeitpunkt „vor Wingate“ als 0 zu definieren. Beim späteren Vergleich zwischen gemessenen und errechneten Werten muss dies berücksichtigt werden, d.h. die Ergebnisse der Berechnungen liegen um diesen vorher subtrahierten Wert niedriger.

### 3.7. Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Standardsoftwareprogramms SPSS. Zur Berechnung und graphischen Darstellung wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der 11 Teilnehmer verwendet. Die Verteilungsart wurde im Kolmogorov-Smirnov-Test bestimmt. Die weitere Prüfung auf statistische Signifikanz erfolgte mit Hilfe des  $t$ -Tests für verbundene Stichproben bzw. einer Varianzanalyse. Als signifikant wurde ein Ergebnis bei einem  $p \leq 0,05$  bewertet, als tendenziell signifikant mit einem  $p \leq 0,10$ . Ein linearer Zusammenhang zweier Messgrößen wurde mit Hilfe des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten überprüft.