

Aus der Betriebsärztlichen Untersuchungsstelle der
Universität Würzburg
Professor Dr. med. Fritz Schardt

Einfluss von Stress am Computerarbeitsplatz auf den Gasaustausch sowie
Kreislaufparameter

Inaugural – Dissertation
Zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
Vorgelegt von
Christoph Buchberger
aus Würzburg

Würzburg, Januar 2001

Referent: Prof. Dr. med. Fritz Schardt
Koreferent: Prof. Dr. med. H. Rückle-Lanz
Dekan: Prof. Dr. med. V. ter Meulen

Tag der mündlichen Prüfung: 02.November 2001

Der Promovend ist Arzt

Inhaltsangabe

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	4
2.1 Psychische Belastung am Computer	4
2.2 Herz-Kreislaufparameter	5
2.3 Katecholamine	6
2.4 Gasaustausch und Metabolismus	10
3. Problemstellung	16
4. Material und Methodik	17
4.1 Probanden	17
4.1.1 Konzentrations-Leistungs-Test	17
4.1.2 Modifikationen des Konzentrations-Leistungs-Tests	19
4.1.3 allgemeine Testleistung	20
4.2 Versuchsplan	21
4.2.1 Instruktionen der Versuchspersonen	21
4.2.2 Äußere Bedingungen	22
4.2.3 Zeitlicher Ablauf	23
4.3 Geräte und Meßmethoden	24
4.3.1 Blutdruckmessung und Herzfrequenzbestimmung	24
4.3.2 Blutgasanalyse	24
4.3.3 Ventilation und Atemgasanalyse	24
4.3.4 Berechnung von Herzminutenvolumen und peripherer Widerstand	25
4.3.5 Katecholaminbestimmung	27
4.3.6 Statistische Methoden	28
5. Ergebnisse	29
5.1 Testleistung (Düker)	29
5.1.1 Männer	29
5.1.2 Frauen	30
5.1.3 Vergleich zwischen Männern und Frauen	30

5.2 Herzfrequenz	31
5.2.1 Männer	31
5.2.2 Frauen	32
5.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	32
5.3 Blutdruck	34
5.3.1 Systolisch	34
5.3.1.1 Männer	34
5.3.1.2 Frauen	35
5.3.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	35
5.3.2 Diastolisch	37
5.3.2.1 Männer	37
5.3.2.2 Frauen	38
5.3.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	38
5.3.3 Systolisch und Diastolisch im Vergleich	39
5.4 Katecholamine	41
5.4.1 Adrenalin	41
5.4.1.1 Männer	41
5.4.1.2 Frauen	42
5.4.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	43
5.4.2 Noradrenalin	44
5.4.2.1 Männer	44
5.4.2.2 Frauen	45
5.4.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	45
5.4.3 Adrenalin und Noradrenalin im Vergleich bei Männern	46
5.4.4 Adrenalin und Noradrenalin im Vergleich bei Frauen	46
5.5 Atem- und Blutgase	47
5.5.1 Blutgasanalyse/Sauerstoffpartialdruck/ Kohlen - dioxidpartialdruck	47
5.5.1.1 Männer	47
5.5.1.2 Frauen	48
5.5.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern	49

5.5.2	pH-Wert	50
5.5.3	Sauerstoffaufnahme	50
5.5.3.1	Männer	50
5.5.3.2	Frauen	51
5.5.3.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	52
5.5.4	Kohlendioxidabgabe	53
5.5.4.1	Männer	53
5.5.4.2	Frauen	54
5.5.4.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	54
5.5.4.4	Vergleich VO_2 zu VCO_2 bei beiden Geschlechtern	55
5.5.5	Atemzugvolumen	56
5.5.5.1	Männer	56
5.5.5.2	Frauen	56
5.5.5.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	57
5.5.6	Frequenz der Atemzüge	58
5.5.6.1	Männer	58
5.5.6.2	Frauen	58
5.5.6.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	59
5.5.7	Atemminutenvolumen	60
5.5.7.1	Männer	60
5.5.7.2	Frauen	61
5.5.7.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	61
5.5.8	Respiratorischer Quotient	62
5.5.8.1	Männer	62
5.5.8.2	Frauen	63
5.5.8.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	64
5.5.9	Peripherer Widerstand	65
5.5.9.1	Männer	65
5.5.9.2	Frauen	66
5.5.9.3	Vergleich zwischen den Geschlechtern	66
5.6	Korrelation zwischen Testleistungen und gemessenen Parametern	67
5.6.1	Männer	68

5.6.2 Frauen	71
5.7 Vergleich der männlichen und weiblichen Testleistungen	74
5.8 Wertekorrelation	77
5.8.1 Korrelation der gemessenen Werte unter Ruhebedingungen	77
5.8.2 Korrelation der gemessenen Werte unter Stressbedingungen	78
5.8.3 Korrelation der gemessenen Werte unter Erholungs- bedingungen	78
6. Diskussion	80
6.1 Methodische Betrachtung	80
6.2 Problematik Arbeitsplatz	83
6.3 Katecholamine	86
6.3.1 Urin-Katecholamine	86
6.3.2 Geschlechtsunterschiede	93
6.4 Puls und Blutdruck	94
6.5 Atemgase	97
6.6 Peripherer Widerstand und Herzzeitvolumen	101
7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	104
8. Abkürzungsverzeichnis	107
9. Abbildungsverzeichnis	108
10. Literaturverzeichnis	110

1 Einleitung

Im Laufe der letzten Jahre kam es zunehmend zu einem Strukturwandel des normalen Arbeitsplatzes. War dieser früher vor allem durch Schreibarbeit geprägt, so haben sich mittlerweile Systeme zur Elektronischen Datenverarbeitung etabliert. Damit verbunden ist der Auf- und Ausbau von passenden Arbeitsplätzen, der nicht nur auf eine Beschleunigung des Arbeitsablaufs mit Arbeitersparnis sondern auch auf eine gesundheitliche sowie subjektiv empfundene Optimierung zielt. Damit ist es natürlich nicht mit der Beschaffung eines geeigneten Bildschirms getan. Der Mensch muß vor allem als Ganzes betrachtet werden (Hilla 2000), neben optimalen physischen Bedingungen müssen auch psychische Rahmenbedingungen geschaffen werden, so das bestimmte Tätigkeiten kleinstmöglich belastend empfunden werden. Hier ist vor allem an ein ausgewogenes Anforderungsprofil zu denken, das nicht über- oder unterfordert. Gleichzeitig darf die Tätigkeit nicht als unvollständig oder einseitig empfunden werden (GUV 1997).

Deutlich wird die Brisanz dieses Themas wenn man Prognosen der Marktforscher Glauben schenkt, die für das Jahr 2002 erwarten, dass zusätzlich zu bestehenden Arbeitsplätzen jeder zweite Haushalt einen Computer mit Internetanschluss sein Eigen nennt. Eine flächendeckende Verbreitung scheint unaufhaltsam.

Am Anfang des Computerzeitalters war eine Entwicklung in dieser Dynamik wohl kaum abzusehen, verdeutlicht man sich die, vor allem in jüngster Zeit, rasante Entwicklung dieser "künstlichen Intelligenz". Als Urvater des heutigen Computers ist die erste mechanische Rechenmaschine zu nennen, die 1652 von Schickard und Pascal erfunden wurde. Im Jahre 1890 wurde die erste Lochkartenmaschine entwickelt. Mit dieser wurde eine damals vorgenommene Volkszählung in den Vereinigten Staaten von Amerika ausgewertet. Dadurch verkürzte sich die Dauer der Zählung von acht auf "nur noch" drei Jahre. Die darauffolgende Weiterentwicklung korrelierte eng mit der Entwicklung der einzelnen Bauteile. Der entscheidende Schritt in die Richtung der heutigen Computergeneration gelang Konrad Zuse 1934-1938 mit der Entwicklung einer programmgesteuerten Rechenanlage auf mechanischer Basis (Z1), die erstmals mit dem binären Zahlensystem arbeitete. 1951 vollendete er schließlich mit der sogenannten Z3 die erste in Relais-technik gefertigte betriebsfähige Rechenanlage.

Bereits 1944 formulierte von Neumann seine noch heute gültige Grundidee über die Programmspeicherung von Computern. Die erste Computergeneration im Jahre 1946 basierte auf der Elektronenröhrentechnik, die P. Eckart und J. W. Mauchly für die Konstruktion des ersten Röhrenrechners (Eniak) verwendeten. Zur Multiplikation von zwei zehnstelligen Zahlen brauchte dieser Computer nur drei Millisekunden und war damit 200 mal schneller als die elektromechanischen Rechenmaschinen der vorausgegangenen Generation. Mit der Entwicklung der Transistoren- und Diodentechnik wurde 1952 eine neuere und bessere Computergeneration geboren. Rechner dieser Zeit konnten in einer Sekunde bis zu 15.000 Additionen ausführen. Die darauffolgenden Computer wurden 1962 durch die Monolith-Schaltglieder charakterisiert. Durch kleine Schaltelemente konnten die Stromkreise verkürzt und damit die Verarbeitungsleistung gesteigert werden. Mehr als 150.000 Additionen in einer Sekunde waren dadurch möglich geworden. In der vierten Generation von 1978 verwendete man hochintegrierte Schaltkreise, auch Chips genannt. Heute existierende Mikroprozessoren beinhalten mehrere Millionen Transistorfunktionen auf einem Chip. Die derzeitige Entwicklung lässt eine weitere Steigerung der Rechenleistung und der Integration von vielen Bausteinen erwarten, dem entspricht das Moore Gesetz, das von einer Verdopplung der Rechnerleistung in einem Zeitraum von zwei Jahren ausgeht. Neben der Entwicklung parallelarbeitender Prozessoren und Rechnersysteme hat die Vernetzung auf lokaler Ebene sowie die Datenfernverarbeitung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Im Bürobereich betrifft dies die Integration von Daten- und Telefonnetzen (ISDN), im industriellen Bereich die Integration der rechnergestützten Produktionsplanung und Steuerung. Auf diese Weise hat der Computer das alltägliche Leben der meisten Menschen in den Industrieländern auf vielfältige Weise verändert. Die sozialen und arbeitsmedizinischen Auswirkungen des Einsatzes von Rechnern und der Umgang mit diesen sind somit durchaus kritisch zu bewerten. Einerseits eröffnen sich zweifellos neue Möglichkeiten zur Zeiteinsparung, zur Erschließung neuer Lern- und Kommunikationsformen (zum Beispiel internationale Datennetze, Internet), Flexibilität in der Arbeitsorganisation und vieles mehr. Andererseits werden schon in naher Zukunft viele Menschen ihre Wohnung nicht mehr verlassen müssen um einzukaufen, Bankgeschäfte zu erledigen oder ihrem Beruf nachzugehen (mobile Büros, Internetshopping, Onlinebanking). Damit ist abzusehen, dass die Zahl der Computer

und der Arbeitsplätze an Computern in Zukunft ständig wachsen wird, und damit auch die viel diskutierte Gefahr einer steigenden Abhängigkeit von der Maschine.

Die zunehmende Komplexität der Softwaresysteme wird immer höhere Anforderungen an die Konzentrationsfähigkeit und die Flexibilität der Beschäftigten an Computerarbeitsplätzen stellen. Dabei ist eine "Softwareergonomie" wichtig, d. h. die Software muß der auszuführenden Arbeit angepasst sein und eine ausreichende Benutzerfreundlichkeit sollte angestrebt werden. Damit verbunden ist gleichzeitig die Notwendigkeit einer immer fachspezifischeren Ausbildung, die an Breite verliert und an Tiefe gewinnt. Es besteht jedoch noch keine anerkannte Methodik zur Testung der Softwareprodukte. Einige Firmen haben bereits Versuche unternommen eine standardisierte Erfassung zu ermöglichen. Den höchsten Standard bietet hierbei AUDI, der arbeitsmedizinisch aktuell akzeptiert ist. Es wurde eine Prüfliste erarbeitet, die nach Prüfbereichen modular strukturiert ist. Vorteil hierbei ist eine besonders schnell mögliche Datenerfassung (Hilla 2000).

Dennoch ist eine Arbeitsplatzanalyse im Hinblick auf physische und vor allem psychische Belastungen in vollem Umfang noch nicht möglich.

Das Ziel dieser Arbeit war es deshalb den Einfluss von Stress am Arbeitsplatz auf das adrenerge System, den Gasaustausch und die damit verbundenen Kreislaufparameter zu untersuchen. Darüber hinaus lassen sich sicherlich Verbesserungsvorschläge aus arbeitsmedizinischer Sicht über die Verhaltensweisen am Arbeitsplatz der Zukunft gewinnen.

2 Literaturübersicht

2.1 Psychische Belastung am Computer

Einige Untersuchungen und Studien über den Einfluss von Computerarbeit auf den Menschen wurden bereits veröffentlicht.

Henning untersuchte 1997 den Einfluss von Pausen auf das körperliche Befinden während Computerarbeit. Er erkannte, dass viele kurze Pausen die psychische Stresssituation am Arbeitsplatz durchaus kompensieren können.

Kohlisch erforschte 1996 die Abhängigkeit der Stressbelastung von der Anschlagshäufigkeit bei maschineller Schreibtätigkeit pro Minute. Er fand dabei heraus, dass lediglich sehr hohe Anschlagsgeschwindigkeiten zu einer Beeinflussung der psychischen Belastbarkeit führen. Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist dies abhängig von der umgebungsbedingten vorbestehenden psychischen Vorbelastung. Eine weitere Studie nach Marstedt (1993) berichtet von Arbeitstempo und Hektik sowie Belastungen im Zusammenhang mit der Einführung von EDV und neuen Techniken, die sich bei 56% der Befragten äußerten.

All diese Studien und Untersuchungen beziehen sich dabei vor allem auf das Thema Zeit und insbesondere Zeitdruck, der anerkanntermaßen neben Überforderung die stärkste psychische Belastung erzeugt. Auch hier gilt, dass Leistung Arbeit pro Zeit bedeutet.

Doch dieses scheint auch die Hauptaufgabe eines Beschäftigten zu sein: wie verrichtet man die aufgetragene Arbeit am schnellsten. Dieses Problem entschärft der Computer deutlich, er verrichtet die uns gestellten Aufgaben in einem Bruchteil der von uns benötigten Zeit. Doch das ist ebenfalls mit einem Wandel verbunden. Da wir die gestellten Aufgaben einerseits immer schneller erledigen, verursachen wir andererseits wieder mehr Arbeit und damit Stress.

Obwohl der psychische Stress sicherlich ein dominierendes arbeitsmedizinisches Thema darstellt, wurde bisher nur wenig darüber publiziert, Analysemethoden bestehen nur wenige.

2.2 Herz-Kreislaufparameter

Stress am Computerarbeitsplatz beeinflusst natürlich auch die Kreislaufparameter. Dabei berücksichtigen wir auch noch neben Puls und Blutdruckentwicklung das Herzminutenvolumen und den peripheren Widerstand.

Bereits angestellte Untersuchungen bezüglich einzelner genannter Punkte von Brod 1958 und 1979 waren hierbei ergebnislos, er fand zum Beispiel keine Veränderung des peripheren Widerstandes während emotionalen Stresses.

Der Herzschlag eines Menschen ist hingegen ein sensibler Parameter für die psychische und physische Anspannung, kommt es doch zusammen mit dem Blutdruck zu einem Anstieg unter Belastung (Madden 1995), ausgelöst durch eine Kaskade an Schutzmechanismen des Körpers.

Durch den Stress kommt es zur Ausschüttung einer Reihe von Botenstoffen und Hormonen, darunter auch Adrenalin und Noradrenalin. Dieses letztgenannte dient als Transmitter des sympathischen Nervensystems, dessen Aktivität ebenfalls gesteigert ist (Kaplan 1978). Über die Bindung an α -Rezeptoren kommt es zu einem Anstieg der Herzfrequenz, der Körper versucht damit die "Alarmsituation" zu beantworten, ihn mit mehr Brennstoff zu versorgen. Gleichzeitig führt der Sympathikus zu einer Vasokonstriktion vor allem in der Peripherie, der Blutdruck steigt, ebenfalls als Ausdruck einer körperlichen Anspannung. Somit wird die Aktivität des Sympathikus erhöht und die des Parasympathikus vermindert (Sloan 1996). Dabei betrifft dies vor allem den systolischen Blutdruck als Zeichen der kardiogenen Veränderungen. Der diastolische ist durch den vergrößerten peripheren Widerstand, entgegen den Angaben von Brod 1958, gleichzeitig erhöht (Li 1998).

In diesem Zustand ist die Person nun bereit einer ihr dargebotenen Aufgabe zu begegnen und diese zu lösen. Dabei kann man aber nicht nur körperliche Anstrengung als Belastung bezeichnen, auch psychische Anstrengung bewirkt das beschriebene Geschehen.

Gleichzeitig verursachen die Katecholamine eine Umverteilung der Blutmenge. Aus der Peripherie, d. h. bevorzugt aus den Extremitäten, aber auch aus dem Bauchraum wird durch eine vermehrte Konstriktion der Blutgefäße eine Mehrversorgung des Gehirns erreicht. Gleichzeitig wird die Kohlenhydratverbrennung verstärkt. Dauert diese

Belastung zu lange kann es zu dauernden Umbauprozessen an den Widerstandsgefäßen kommen, die in einen permanenten Bluthochdruck enden können (Andren 1981).

Aus diesen genannten Gründen waren Puls und Blutdruck ein Teil unserer Untersuchungen.

2.3 Katecholamine

Die Reaktion des Körpers auf exogene Einflüsse lässt sich sehr gut und deutlich an den Katecholaminspiegeln ablesen. Angst, Stress, Erregung, dies alles bewirkt eine Veränderung der zirkulierenden Katecholaminmenge. Die normale körperliche Reaktion auf Adrenalin und Noradrenalin ist vorwiegend dazu bestimmt, den Körper in eine Alarmreaktion zu versetzen. Dazu zählt der Anstieg von Pulsfrequenz und Blutdruck, die Vertiefung der Atmung oder auch eine Erhöhung des Blutzuckers.

Noradrenalin erhöht den Gefäßwiderstand über Bindung an postjunktionale α -Rezeptoren.

Die Wirkung von Adrenalin auf die Widerstandsgefäße ist dosisabhängig. Niedrige Konzentrationen davon führen zu einer Aktivierung der β -Rezeptoren und damit zu einer Dilatation, während hohe Konzentrationen über die α -Rezeptoren ähnlich wie Noradrenalin zu einer Erhöhung des Gefäßwiderstandes führen.

Neben dieser Übereinstimmung in ihrer vegetativen Wirkung haben die beiden Katecholamine auch noch organspezifische Funktionen.

Adrenalin, das hauptsächlich im Mark der Nebenniere gebildet wird und v.a. bei starker sympathischer Erregung freigesetzt wird, wirkt in einem solchen Fall überwiegend zentral auf das Herz, das es über Aktivierung der β -1-Rezeptoren positiv inotrop, chronotrop und dromotrop beeinflusst.

Noradrenalin fungiert vor allem als Transmitter im sympathischen Nervensystem, wo es postganglionär die Erregung weiterleitet. Dieses wird nur zu einem geringen Teil im Nebennierenmark gebildet. Der Hauptteil wird nach Brod (1979) präganglionär im sympathischen Nervensystem produziert und dort auch gespeichert. Im Falle einer Alarmreaktion, wie sie auch starke psychische Belastung darstellt, ist es die Aufgabe des Noradrenalin über die α -1 Wirkung an den Rezeptoren den peripheren Widerstand zu erhöhen und damit die Blutmenge aus der Peripherie, hier vor allem aus der Haut, ins

Körperinnere, vor allem in die Skelettmuskulatur und das Myocard (Brod 1979), umzuleiten. Damit steigt die Durchblutung der Muskulatur, während Leber, Niere und der Gastrointestinaltrakt vernachlässigt werden (Wasserman 1994). Zentral bewirkt das sympathische Nervensystem durch eine Abnahme seiner Aktivität eine Vasodilatation, allerdings vornehmlich bei physischer Belastung. Dabei spielt anscheinend Stickoxid eine Rolle. Cardillo (1997) fand dessen Einfluss auf die Vasodilatation während Stress heraus.

Durch das Verhältnis zwischen Noradrenalin und Adrenalin lassen sich Rückschlüsse auf die an der Stressreaktion vornehmlich beteiligten katecholaminsezernierenden Gewebe ziehen. Laun et al. (1996) untersuchten Stress beim Wettkampfschach. Danach steigt beim Schach der Anteil des Adrenalin stärker an gegenüber Noradrenalin, was wiederum bedeutet, dass die chromaffinen Zellen des Nebennierenmarks stärker an der Stressreaktion beteiligt waren, als das periphere sympathische Nervensystem.

Nach Stressexposition werden Katecholamine jedoch sehr rasch wieder eliminiert, so dass ein Nachweis im Blut nur schwer zu erbringen ist. Im Urin dagegen ist ein längerer Nachweis in metabolisierter Form als 3-Methoxy-4-Hydroxy-Mandelsäure möglich, wobei beide dieser Nachweismethoden als geeignet gelten, Veränderungen der sympatho- adrenergen Aktivität während Stresseinfluss nachzuweisen (Akerstedt 1983). Dies wird bestätigt von Gillberg (1986), der die Messung von Adrenalin im Urin als brauchbar betrachtet, sogar wenn verschiedene körperliche Aktivitäten in dieser Zeit vorgenommen wurden.

Bereits 1979 befasste sich Brod schon einmal teilweise mit der Thematik des Einflusses von Katecholaminen auf den peripheren Widerstand. Er fand damals jedoch keinen von der zirkulierenden Konzentration abhängigen nennenswerten Unterschied.

Das Verhalten der Katecholamine im Stress wird sehr unterschiedlich und zum Teil kontrovers diskutiert. Trotz Nutzung radiometrischer Verfahren kommt z.B. Akerstedt 1983 zu dem Schluss, dass Adrenalin in Belastungssituationen im Urin und im Plasma ansteigt, Noradrenalin in beiden gleich bleibt, während Brandenberger (1980) einen Anstieg des Noradrenalin sowohl im Urin als auch im Plasma feststellt. Januszewicz stellte 1979 dagegen einen Anstieg des Adrenalin nur im Blut fest, während der Noradrenalin Spiegel im Blut und im Urin zunahm.

Diese kontroversen Ansichten lassen sich möglicherweise dadurch erklären, dass andere Einflüsse und Faktoren, wie zum Beispiel Tageszeit, Geschlecht und Alter nicht berücksichtigt wurden.

Bei der Frage des interindividuellen Unterschiedes in der Sekretion unter Ruhebedingungen bezieht sich Marrero 1997 auf die Tatsache, dass bei Probanden, die Hypertoniker in der Familie haben schon in Ruhe höhere Werte beim Blutdruck und den Katecholaminwerten und damit auch beim peripheren Widerstand vorliegen. Damit ist wiederum ein höheres Risiko ebenfalls an Hypertonie zu erkranken verbunden. Schulte berichtete 1981 ähnliches unter psychischer Belastung.

Chodakowska (1980) bestätigt, dass bei Hypertonikern eine sympathische Überreaktivität herrscht, die sich in erhöhten Noradrenalinspiegeln zeigt.

Es gilt somit hierbei eine Vielfalt von Faktoren zu berücksichtigen, darunter auch die genetische Komponente.

Auch muss die Art des Stresses Berücksichtigung finden. Zu unterscheiden gilt der psychische bzw. der physische. Körperlicher Stress äußert sich laut Dimsdale (1980) in einer Erhöhung des Noradrenalinspiegels, während Adrenalin vor allem bei psychischen Anforderungen ansteigt.

Einen ganz wichtigen Aspekt berücksichtigt Forsman in seiner Studie von 1982. Er erkannte, dass Männer eine höhere Stressreaktion zeigen als Frauen. Dies bestätigt Frankenhäuser 1978, wonach Adrenalin bei Frauen keine Veränderung zeigt. Sie gelten somit als "stressresistenter" verglichen mit Männern.

Barnes wiederum stellte eine erhöhte Basisaktivität des postganglionären sympathischen Neurons bei älteren Männern fest, die sich in einer höheren Impulsrate äußert (1982). Sie besitzen demnach einen höheren Noradrenalin Spiegel, während Adrenalin davon unbeeinflusst ist. Das wiederum wird indirekt bestätigt von Esler (1981), wonach die Plasma Noradrenalin Clearance im Alter sinkt. Damit kommt es zu einem Anstieg der Plasmakonzentration, wie oben schon erwähnt.

Campese (1980) untersuchte den Einfluss der Sitzposition auf die Katecholamine, mit dem Ergebnis, dass in aufrechter Sitzposition die Plasma Katecholamine höher gegenüber einer halbliegenden Position sind. Eine Tatsache, die auch von uns berücksichtigt wurde, indem wir die Probanden stets in der gleichen Sitzposition in einem bequemen Bürostuhl Platz nehmen ließen.

Hieraus ergeben sich einfache Methoden den Stressfaktor am Arbeitsplatz abzubauen, auf die wir später näher eingehen werden.

Auch hier, wie fast überall, spielt die Ernährung eine wichtige Rolle. Neben einer ausgewogenen gesunden Ernährung, die vor allem den stark belasteten Verdauungstrakt entlastet, gilt es keine großen Hungerphasen zuzulassen, da diese bei Frauen nach Claustre 1980 zu einem leichten Anstieg des Noradrenalin bei Unterzuckerung führen. Es soll hierbei erwähnt werden, dass sich eine salzreiche, kalorienreiche Ernährung bekanntermaßen natürlich ebenfalls negativ auf den Körper auswirkt.

Ein Faktor, der einige Unwägbarkeiten in sich birgt, ist außerdem der Menstruationszyklus der Frau, der nach Davis et al. (1982) ebenfalls Einfluss auf das sympathische Nervensystem nimmt.

Allgemein ist festzustellen, dass junge Frauen eine geringere Stressreaktion zeigen als junge Männer, beide zusammen sind wiederum stressunempfindlicher als alte Menschen. Dagegen steigt die Reaktivität des systolischen Blutdrucks im Alter nur bei Frauen an, nicht aber bei Männern (Steptoe et al. 1996). Bezogen auf unsere Untersuchungsmethode sollte man aber auch berücksichtigen, dass junge Menschen heutzutage geradezu selbstverständlich mit der Technik aufwachsen, während ältere Menschen oft den technischen Neuerungen mit Argwohn gegenüberstehen.

Ein Zusammenhang zwischen den Katecholaminen und der maximalen aeroben Kapazität stellte Heidbrenner 1983 fest, wonach Probanden mit höherer maximaler aerober Kapazität niedrigere Katecholaminwerte aufweisen.

Dies steht natürlich in einem engen Zusammenhang mit der Bewegung und dem Sport, den die jeweilige Person treibt, und damit auch dem Trainingszustand des Körpers.

Sothmann (1991) bestätigte einen Einfluss der körperlichen Fitness auf die Menge der zirkulierenden Katecholamine. Danach senkt Ausdauertraining die Menge des zirkulierenden Noradrenalins und steigert gleichzeitig die maximale aerobe Kapazität, wie bereits oben erwähnt.

Außerdem sollte man den physischen Zustand der Versuchsperson beachten, auch wenn dieser bei dem gewählten Probandenkollektiv, das überwiegend aus jüngeren Personen bestand, nicht so wichtig erscheint. Eine Hypertonie kann z.B. mittels einer sympathischen Hyperreaktibilität zu einem Anstieg des Noradrenalins führen

(Chodakowska 1980). Bedingt wird das Adrenalin ebenfalls davon betroffen, wodurch sich die Plasmakonzentration erhöhen kann.

Durch Eigeninitiative in Form von körperlichem Training lässt sich die Stressbelastung beeinflussen. Ein jeder kann sich, wenn er will, fit halten und damit den Stress am Arbeitsplatz weitgehend kompensieren. Anders verhält es sich mit der Psyche, da diese nur schwer zu verändern ist. Hier wollen wir vor allem auf die Stresstoleranz eingehen, diese hat einen entscheidenden Einfluss auf die Katecholaminausschüttung (Roessler et al. 1967). In diesem Zusammenhang scheint die Einbringung des Begriffs des "Workaholic" angebracht, der es als angenehm empfindet, im Stress zu sein. Demgegenüber gibt es Personen, die sich bei geringsten Anforderungen unbewußt in körperliche Symptome flüchten, die sich in vielerlei Erscheinungsformen, z. B. Kopfschmerz, manifestieren. Dies stellt eines der größten Probleme der modernen Arbeitswelt dar.

Depressivität scheint auch einen Einfluss auf den Blutdruck und somit auf die Katecholamine zu haben. Patientinnen mit depressivem Syndrom zeigen ein höheres Niveau des systolischen und diastolischen Blutdrucks während Ruhe, aber auch unter Belastung. Gleichzeitig zeigte sich eine reduzierte Herzfrequenzvariabilität (Light 1998).

Es scheint daher, dass diese Personen ein Stressereignis körperlich nicht so gut kompensieren, wie es erforderlich wäre, und es somit zu erheblichen Missempfindungen kommt.

2.4 Gasaustausch und Metabolismus

Der Körper besitzt auch auf dem Gebiet der Atmung hochentwickelte Reservekapazitäten um sich verschiedenen Belastungen anzupassen. Deshalb untersuchten wir auch die ventilatorischen Parameter wie Atemzugvolumen (V_t), Atemfrequenz (A_f) und das Atemminutenvolumen (V_E). Dabei stellt V_E das Produkt aus A_f und V_t über eine Minute gemessen dar.

Das Atemzugvolumen (V_t) wird nach Martin (1979) durch die Entstehung einer Hypokapnie erniedrigt, das inspiratorische Reservevolumen steigt an. Es spielt zwar eine untergeordnete Rolle, scheint aber beeinflußt zu werden von dem Stressgrad, den

der Körper verspürt. Kommt es zu einem Anstieg des Atemzugvolumens und damit von V_E , so reduziert sich in den meisten Fällen das inspiratorische Reservevolumen (Löllgen 1983).

Wir haben uns demnach auch mit V_E , dem ausgeatmeten Atemminutenvolumen beschäftigt. Es beschreibt somit das Volumen, das während eines Atemzykluses von einer Minute ausgeatmet wird (Löllgen 1983). Man kann daraus ersehen, wann der Körper sich in die anaerobe Zone begibt, und zwar anhand eines plötzlich überproportionalen Anstieges von ausgeatmetem CO_2 gegenüber eingeatmetem O_2 und damit einem Anstieg von V_E . Dieser Punkt des exponentiellen Anstieges beschreibt die anaerobe Schwelle. Auch dieser Parameter zeigt sich abhängig von den Katecholaminen, kommt es doch durch eine Aktivitätssteigerung der Katecholamine, ausgelöst durch vermehrte Applikation von Cortisol und Glucagon, zu einem Anstieg von V_t und damit V_E (Askanazi 1986).

Ein weiterer wichtiger Parameter in unseren Studien war der Respiratorische Quotient, abgekürzt RQ. Dieser ist definiert als der Quotient von V_{CO_2} und VO_2 , d.h. der Kohlensäureabgabe und der Sauerstoffaufnahme. Definiert ist die Sauerstoffaufnahme als die Menge Sauerstoff, die pro Zeiteinheit von der Lunge aufgenommen wird (Löllgen 1983). Die Kohlensäureabgabe ist umgekehrt die Menge, die pro Zeiteinheit abgegeben wird. Unter Ruhebedingungen ist RQ weitgehend konstant, wie oben erwähnt. Geringe Veränderungen kann man bei Hyper- bzw. Hypoventilation erkennen. Der RQ kann durch die Ventilation, d. h. Hypo- oder Hyperventilation oder auch durch den Metabolismus beeinflusst werden. Unter körperlicher Belastung ist z.B. beides möglich, d. h., dass mehr Kohlenhydrate anteilmäßig verbrannt werden, gleichzeitig induziert das produzierte Laktat eine Hyperventilation.

In Ruhe atmet der Körper mehr O_2 ein als CO_2 aus. Er befindet sich also im aeroben Bereich, der sich dadurch äußert, dass der respiratorische Quotient (RQ) ungefähr um 0.85 pendelt. Dieser Wert wird auch lange Zeit während moderater Belastung nicht verlassen. Wird die Anstrengung aber zu groß, so wird die anaerobe Schwelle überschritten. Das wiederum heißt, der Körper verbrennt nicht mehr im typischen Rueverhältnis zwischen Kohlenhydraten und Fetten, sondern die Verbrennung wird in Richtung Kohlenhydrate verändert. Das bedeutet, dass mehr CO_2 pro Sauerstoffaufnahme erzeugt und auch durch Hyperventilation abgeatmet wird

(Eschenbacher 1996). Metabolisch befindet sich der Proband bzw. Patient dann im gemischt aerob-anaeroben Bereich.

Hierbei ist auch die Zusammensetzung der Nahrung zu beachten, vor allem das Verhältnis von Fetten zu Kohlenhydraten. Bei fettreicher Nahrung beträgt der RQ ca. 0.7, bei reiner Kohlenhydratnahrung 1.0 (Silbernagl 1994). Somit findet er auch Verwendung in der Ernährungsforschung, wo er als Indikator für die Fettmobilisierung angesehen wird (Westerterp 1993). Hier zeichnete sich der Respiratorische Quotient durch seine hohe Sensitivität aus (Schutz 1993).

Es gilt auch hier das Alter zu berücksichtigen, führt doch unter anderem falsche Ernährung bei älteren Menschen zu Veränderungen des RQ, bedingt durch herabgesetzte Kompensationsmechanismen (Roberts 1996). Mazzeo (1997) bestätigt die altersabhängigen Einflüsse in seinen Studien, unter Ruhebedingungen zeigten demnach ältere Menschen stets einen höheren Noradrenalinspiegeln als jüngere.

Auch in der Notfallmedizin spielt dieser Parameter eine wichtige Rolle. Bei einer Sepsis oder einem Trauma kommt es zu einem Anstieg der Katecholaminausschüttung, der in einem Anstieg von VCO_2 und damit RQ zu erkennen ist (Weissman 1986). Dies steht allerdings in Kontrast zu den Ergebnissen Snitkers (1998), der einen stimulierenden Effekt der Stresshormone auf die Lipidoxidation erkennt, wodurch ein Abfall des RQ bewirkt wird.

Erwähnenswert scheint noch die Tatsache, daß der RQ vom Tag-Nacht-Rhythmus abhängig ist. Durch die nächtliche Körpertemperatursenkung, die mit einer veränderten Verbrennung einhergeht (Rashotte 1995), fällt der RQ leicht ab.

Weibliche Östrogene scheinen dabei keinen Einfluß auf die Messungen des RQ zu nehmen (Jensen 1998). Auch die Abstammung eines Probanden wirkt sich nicht aus, wie in einer Studie von Jakicic 1998 erkannt wurde, der afrikanische und kaukasische Frauen miteinander verglichen hat, wenngleich es eine genetische Beziehung zwischen der Höhe des RQ zu geben scheint (Toubro 1998).

Betrachtet man nun die metabolischen Veränderungen, so muß man hier vor allem das Augenmerk auf die Veränderungen der Katecholamine, der Fettverbrennung und der Kohlenhydratutilisation richten.

Bei den Katecholaminen kann man bekanntermaßen ein, vor allem bei psychischer Belastung auftretendes, überproportionales Ansteigen im Vergleich zum Laktat

erkennen. Dieser Anstieg ist jedoch wiederum stark abhängig von der körperlichen Fitness des einzelnen (Urhausen 1995). Auch Schwabberger (1987) bestätigte dies, sieht er doch eine verminderte Antwort der metabolischen und kardiozirkulatorischen Reaktion infolge verbesserter Fitness. Außerdem spielt die Durchblutung eine bedeutende Rolle. Im Falle einer Minderdurchblutung steigt das Noradrenalin, vor allem durch eine sympathische Stimulation ausgelöst, an (Kubler 1985). Später kommt es durch eine Behinderung der Wiederaufnahme zu einem erhöhten Spiegel. Ebenfalls beachtenswert scheint die morgendliche Kortikosteroidsekretionsrate, spielt diese doch eine wichtige Rolle bei der Katecholaminsekretion. So hat der Kortisolspiegel nach Sluiter (2000) einen größeren Einfluß bei der Adrenalinsekretion als täglicher Stress am Arbeitsplatz. Das Noradrenalin, auch ein Indikator psychischen Stresses, ist jedoch nicht so stark abhängig vom Kortisolspiegel. Bei Vergleichen einer psychischen mit einer physischen Belastung erhielt Schwabberger 1987 interessante Resultate. Bei ihm kam es infolge einer psychischen Belastung in Form von Autorennen zu einem deutlich höheren Anstieg der Katecholamine als infolge einer körperlichen Belastung während einer Fahrradergometrie. Die Werte lagen hierbei mehr als doppelt so hoch wie die unter körperlichen Belastung.

Bei den ebenfalls gemessenen metabolischen Parametern Glukose und Fettsäuren konnte man ähnliche Ergebnisse sehen. Diese lagen bei psychischer Belastung im Blut stets deutlich über denen bei körperlicher Belastung (Schwabberger 1987). Auch bei intensivmedizinisch betreuten Patienten, die zweifellos einem ebenfalls nicht zu vernachlässigendem psychischen Stress ausgesetzt sind, kann man durch Zuführung von mittelkettigen Triglyceriden eine Verbesserung der Sauerstoffsättigung und der Atemminutenventilation erkennen. Dies wiederum spricht für eine vermehrte Utilisation der Fette.

Bei der Glukose kommt es wie bereits oben erwähnt ebenfalls zu einem Anstieg im Blut, bedingt durch einen erhöhten Bedarf im Falle psychischer Belastung. Auch Bjorntorp (1997) beschreibt einen Anstieg der Glucose im Blut, hauptsächlich ausgelöst durch eine Verminderung des Wachstumshormonspiegels (STH), wodurch eine relative Insulinresistenz ausgelöst wird. Dies kommt seiner Meinung nach durch endokrine Veränderungen zustande, darunter vor allem durch eine vermehrte Sensitivität der hypothalamisch-hypophysär-adrenalen Achse, wie auch Checkley (1996) ausführt.

Dadurch wiederum komme es zu einer Anhäufung intraabdominellen Fettes, wohl wiederum mitbedingt durch eine vermehrte Freisetzung aus bereitstehenden Depots. Dieser Effekt sei besonders bei Stresssituationen gegeben, die der Patient nicht kontrollieren kann. Ähnliches beschreibt Dantzer 1995. Seiner Meinung nach kommt es bei nicht kontrollierbaren Stresssituationen vor allem zu einer vermehrten Aktivität der hypothalamisch-hypophysär-adrenalen Achse, während kontrollierbare Situationen vor allem zu einer Aktivierung des sympathischen Systems führen. Dieser Kontrollverlust war teilweise auch in unserer Versuchsanordnung vorhanden. Von einer verminderten Stresstoleranz im Falle vermindelter Entscheidungsfreiheit spricht auch Karasek (1990) in seinem "Anforderungs-Kontroll-Modell", in dem er zwischen aktiven, d. h. Personen mit hoher Anforderung aber auch hohem Entscheidungsfreiraum, und passiven, auf die das Gegenteil zutrifft, unterscheidet. In der passiven Gruppe war der Krankheitsanteil deutlich höher.

Weitere Faktoren, die eine Veränderung der hypothalamisch-hypophysär-adrenalen Achse bewirken können sind Depressionen, Angst, Alkoholkonsum oder Rauchen (Bjorntorp 1997). Alkohol bewirkt weiterhin eine gesteigerte sympathische Aktivität, die zu einer Stimulation der oxidativer Reaktionen führen kann (Rupp 1996). Durch Restriktionen vor dem Versuch sowie Auswahl der Probanden konnten wir diese möglichen Ursachen weitgehend ausschließen.

Eine weitere zu erwähnende Variable ist der "coping style", also die Art der Stressbewältigung einer einzelnen Person. Nach Vrijkotte (1999) haben Menschen mit einer erschöpfenden Stressbewältigung am Arbeitsplatz eine beeinträchtigte fibrinolytische Aktivität, die wiederum verursacht wird durch den Einfluß chronischen Stresses auf die Insulinverwertung.

Weitere Faktoren können Erfahrung bzw. die ausgeübten Berufsjahre sein. Demnach haben Angestellte mit größerer Erfahrung bzw. mit mehr Berufsjahren interessanterweise einen höheren Katecholaminspiegel als unerfahrenere Kollegen, dargestellt am Beispiel von Krankenschwestern (Goldstein 1999). Unverheiratete wiederum wiesen niedrigere Cortisolspiegel und damit auch Katecholaminspiegel auf (Sluiter 2000).

Die Zahl der Arbeiten, die sich mit dem Einfluß von psychischem Stress auf den Körper beschäftigen, scheint zahlreich, doch erkennt man bei genauerer Betrachtung, dass

einige Faktoren und Einflüsse nicht berücksichtigt wurden. So findet man kaum Literatur, die sich mit den metabolischen Veränderungen beschäftigt. Physischer Stress ist in seiner Wirkung auf den Körper weitgehend erklärbar, doch psychischer wirft noch immer viele Fragen auf. Ähnlich verhält es sich mit den respiratorischen Veränderungen, die psychisch bisher allenfalls am Rande untersucht wurden. Dabei steht es doch außer Frage, daß es eine enge Verknüpfung zwischen der Psyche und der Physis gibt, so dass mentale Stresssituationen nicht ohne Veränderungen auch der körperlichen Parameter einhergehen (Dantzer 1995).

Es gibt auch hierbei noch weitgehend unbekannte Einflüsse, kommt es doch laut einer Studie von Pettit (1999) zu kardiovaskulären sowie metabolischen intergeschlechtlichen Veränderungen infolge von Kältestress, die nicht auf Körperfett oder Katecholamine zurückgeführt werden können.

3 Problemstellung

Das Ziel unserer Studie war es zu untersuchen, ob bei geistiger Arbeit, genauer gesagt bei mentalen Stresssituationen, der Sauerstoffverbrauch ansteigt und es zu einem erhöhten Verbrauch von Sauerstoff durch das Gehirn kommt. Außerdem sollte das Verhalten der Katecholamine und Kreislaufparameter, Herzfrequenz, Blutdruck, Herzminutenvolumen und peripherer Widerstand untersucht werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie ist das Verhalten der Katecholamine in der Ruhephase, während des Test sowie in der Erholungsphase?
2. Welche Veränderungen findet man unter psychischer Belastung bei den Blutgasen sowie dem Säure-Basen-Haushalt?
3. Welchen Einfluss hat Stress auf die Kreislaufparameter, Blutdruck, Puls, HMV, peripherer Widerstand?
4. Welche Veränderungen der Parameter des Gasaustausches kann man erkennen: V_E , $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RQ, V_t ?
5. Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Testergebnissen und den jeweiligen Veränderungen der Parameter bei den Probanden?
6. Bestehen zwischen den männlichen und weiblichen Versuchspersonen Unterschiede bei den ermittelten Parametern?

4 Materialien und Methodik

4.1 Probanden

Die Untersuchungen wurden an 14 männlichen (19-33 Jahre alt) und 15 weiblichen Personen (17-31 Jahre alt) durchgeführt. Das Durchschnittsalter lag bei Männern bei 24,57, der Durchschnitt der Frauen war 23,9 Jahre alt. Alle Versuchspersonen waren gesund und keiner Dauermedikation, außer Kontrazeptiva, ausgesetzt.

Das Kollektiv gliederte sich in 25 Nichtraucher und 4 Raucher. Zwei Stunden vor dem Test wurde ein Rauchverbot verhängt, da Rauchen nach Hirsch 1985 zu einem Abfall von $\text{VO}_2 \text{ max.}$ und der anaeroben Schwellen, bei gleichzeitigem Anstieg der Herzfrequenz führt. Auch Kaffee war in dieser Zeit nicht genehmigt, führt er doch zu einem Anstieg von V_E und VCO_2 während Belastungen unterhalb der anaeroben Schwelle (D'Urzo 1990). Die Auswahl der Probanden erfolgte unter Medizinstudenten, Krankenpflegern, Büroangestellten, Schülern, BWL-Studenten, Lehramtstudenten, Azubis und Beamten.

Hierbei wurde der Menstruationzyklus der weiblichen Probandinnen nicht berücksichtigt, da dieser zu keinen wesentlichen Veränderungen von $\text{VO}_2 \text{ max.}$ und AT führt.

4.1.1 Der Konzentrations-Leistungs-Test

In unserer Studie haben wir für die Stressbelastung den Konzentrations-Leistungs-Test nach Düker auf Computer umgesetzt, um die aktuellen Anforderungen des heutigen Bürolebens besser simulieren zu können.

Oben genannter Test wurde 1949 von Düker erstmals erwähnt, 1959 wurde er in modifizierter Form von Lienert als Konzentrations-Leistungs-Test zum ersten Mal veröffentlicht.

In dem Test wird vor allem die Komponente Stress unter Zeitdruck berücksichtigt. Dieser besteht aus 250 Aufgaben, die stets gleich aufgebaut sind und daher genormt werden können (siehe Abb.1).

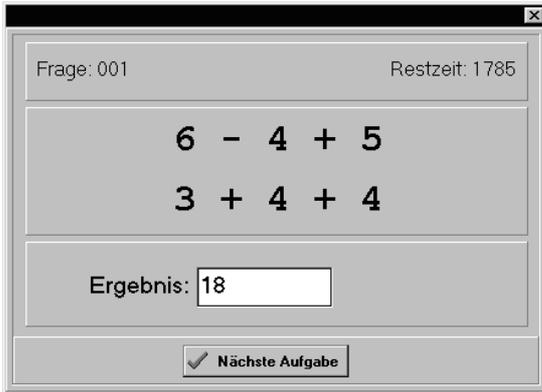


Abb.1 Aufgabenbeispiel

Zuerst wird die oberer Zeile ausgerechnet, danach die untere. Beide Teilergebnisse müssen sich die Versuchspersonen merken. Nun muss man das Ergebnis der unteren Zeile addieren, wenn es größer ist als die obere, oder subtrahieren, wenn es kleiner ist. Der Test läuft über eine halbe Stunde, das Lösen möglichst vieler Aufgaben ist anzustreben.

Düker entwickelte diesen Test 1949 zum Testen der Konzentrations- und Koordinationsfähigkeit. Er sieht darin "das zu einer Gesamttätigkeit geordnete Zusammenwirken der Einzeltätigkeiten, die zur Erreichung eines bestimmten Zwecks erforderlich sind". Koordination ist also das, was alle Fähigkeiten miteinander verbindet.

Lienert veröffentlichte den Test erstmals 1959 auf den Grundlagen von Düker, weshalb man noch heute vom KLT-Test nach Düker spricht.

Er versteht unter Koordination schnelles Erfassen, das Ausführen von Rechenaktionen (Rechnen), das kurzzeitige Behalten der Zwischenergebnisse (Merken), das Fassen von Willensentschlüssen bezüglich der Zwischenergebnisse (Wollen) und das bildhafte Vorstellen der Ergebnisse. Die Fähigkeit zur Anspannung zum Zweck der Koordination wird wiederum als Konzentrationsfähigkeit bezeichnet.

Daher treten intellektuelle und praktische Fähigkeiten sowie Ausbildungsstand und Intelligenz der Probanden so wenig wie möglich in Erscheinung (Düker), was auch den Anforderungen des täglichen Bürolebens weitgehend entspricht.

Da beim Addieren und Subtrahieren jeweils eine Zehnergrenze über bzw. unterschritten wird, werden die Aufgaben immer auf einer bestimmten Schwierigkeitsebene gehalten (Düker). Somit kommt es zu einem geplanten Anstieg des Stressfaktors.

Durch die Komplexität des Testes und die Aktivierung unterschiedlicher Leistungsmerkmale kann der Test als allgemeiner Stressor betrachtet werden, der eine adäquate Wirkung erzielt. Daher gehen wir von übertragbaren Bedingungen auf das tägliche Büroleben aus.

4.1.2 Modifikationen des Konzentrations-Leistungs-Tests

Um die Stress erzeugenden Bedingungen besser auf die heutige Zeit zu übertragen wurde in der Universität Würzburg durch Herrn Bedel auf Grundlage des obengenannten Tests ein spezielles Computerprogramm entwickelt. Es unterscheidet sich inhaltlich nicht von seiner Urform, der Test ist lediglich computergesteuert. Zusätzlich ist es nun möglich im Anschluss an den Test eine Statistik über das Ergebnis einzuholen (siehe Abb.2).



The image shows a screenshot of a software window titled 'Fragen:'. It displays test statistics in a structured layout. The first section, 'Fragen:', contains three rows of data: 'Beantwortet: 111 44 Prozent', 'Richtig: 103 93 Prozent', and 'Falsch: 8 7 Prozent'. The second section, 'Durchschnittliche Antwortzeiten:', contains three rows: 'Gesamt: 16.14 Sekunden', 'Richtig: 15.91 Sekunden', and 'Falsch: 19.00 Sekunden'. At the bottom of the window is an 'OK' button with a checkmark icon.

Fragen:		
Beantwortet:	111	44 Prozent
Richtig:	103	93 Prozent
Falsch:	8	7 Prozent

Durchschnittliche Antwortzeiten:		
Gesamt:	16.14	Sekunden
Richtig:	15.91	Sekunden
Falsch:	19.00	Sekunden

Abb.2 Statistik im Anschluss an den Test

Zwar schrieb Lazarus 1952, dass es seiner Meinung nach niemals möglich sein wird, eine realistische Stresssituation zu simulieren. Dazu seien die Verarbeitungsmechanismen einzelner Personen zu verschieden. Er schreibt weiterhin, dass Stress in

einer engen Beziehung zur Motivation besteht. Um hier einigermaßen gleichwertige Voraussetzungen zu schaffen, haben wir uns einer bestimmten Technik der Stresserzeugung zugewandt, der von ihm genannte Technik "Stress durch Fehler".

Die Testaufgaben mussten innerhalb einer bestimmten Zeit (30 Minuten) gelöst werden. Die Probanden standen somit unter einem erheblichen Zeitdruck. Wurde die Aufgabe falsch berechnet, zählte dies als Fehler.

Dadurch konnte der Proband niemals in ein Gefühl der Ruhe verfallen.

Diesen Umstand erfüllte der KLT-Test, da es unmöglich ist 250 Fragen in der gegebenen Zeit zu beantworten. Die Motivation oder der Ehrgeiz dies zu schaffen, erfüllte die Probanden zusätzlich mit Stress.

Nach Meinung von Lazarus ist es auch nicht richtig, dem Probanden Informationen über sein aktuelles Testergebnis, bzw. über seine richtigen und falschen Antworten, zu geben. Daher bekommt der Ausübende während des Tests auch keine Rückmeldungen.

4.1.3 Allgemeine Testleistung

Düker entwickelte zu seinem Test 1949 ein Auswertungssystem, das die objektive Beurteilungen der Testleistungen ermöglicht. Dabei geht er von zwei Auswertungsrichtungen aus, einmal einer Leistungsmenge (quantitativ), der ein Leistungsrohwert RWL entspricht und einer Leistungsgüte (qualitativ), die man am Fehlerrohwert RWF erkennen kann.

Der Leistungsrohwert ist definiert als die Anzahl der gerechneten Aufgaben. Dabei geht er davon aus, dass auch eine falsche Lösung ein gewisses Maß an Konzentration fordert.

Der Fehlerrohwert wurde bei dem ursprünglich entwickelten Test von Düker noch mit einer Schablone ermittelt. Bei dem von uns auf Computer umgesetzten Test wird dieser Wert automatisch bestimmt.

Für die Ermittlung der Leistungsnorm benutzt man eine im Testumfang enthaltene Grafik, auf der man von den Rohwerten ausgehend ablesen kann, welchen Standardwert SW ein Proband besitzt. Hier unterscheidet der Test zwischen Alters- bzw. Berufsgruppen.

Die Fehlernorm lässt nach Düker keine ausreichende Stabilität erkennen, daher wird auf differenzierte Normierung verzichtet. Es wird nur zwischen unterdurchschnittlich, durchschnittlich und überdurchschnittlicher Fehlerhäufigkeit unterschieden. Um zu erkennen welcher Gruppe ein Proband zugehört, wird dessen Fehlerrohwert in einen Fehlerprozentwert umgewandelt nach der Formel:

$$F\% = 100 * \frac{\text{Fehlerrohwert (RWF)}}{\text{Leistungsrohwert (RWL)}}$$

Daraufhin wird mittels einer Tafel das durchschnittliche Fehlerkollektiv eines Probanden (Zugehörigkeit zu einer Berufs/Altersgruppe) und dessen durchschnittliches Fehlerprozent abgelesen.

Durch eine abschließende Division von Fehlerprozent/durchschnittliches Fehlerprozent erhält man eine Zahl, an der man ablesen kann, ob die Leistung eines Probanden unter oder über der Norm lag.

Für den Standardwert nennt Düker eine allgemein formulierte Grenze, wonach Versuchspersonen mit einem SW >107 als überdurchschnittlich einzustufen sind, während ein Wert <93 als unterdurchschnittlich zu bewerten sei. Hierbei muss man allerdings erwähnen, dass Düker aufgrund niedriger Korrelationskoeffizienten eine relative Unabhängigkeit der Testleistung von intellektuellen Fähigkeiten folgert.

4.2 Versuchsplan

4.2.1 Instruktionen der Versuchspersonen

Jeder Proband sollte am Morgen ein Frühstück und bis mindestens 13 Uhr ein Mittagessen eingenommen haben um die Versuchsbedingungen möglichst realistisch zu gestalten. Allerdings sollte auf Kaffee, schwarzen Tee, Bananen, Nüsse oder auch Rauchen verzichtet werden, da dies zu einer Verfälschung der Werte, hier insbesondere der Katecholamine, führen kann.

D'Urzo beschrieb 1990 eine Veränderung nach Kaffeegenuss, die sich vor allem durch ein erhöhtes Atemminutenvolumen, aber auch durch ein vermehrtes VCO_2 zeigt.

Ebenso sollte vorher keine starke körperliche Aktivität erfolgen, da diese ebenfalls Einfluss auf Katecholamine und Parameter des Gasaustausches nehmen könnte (Thomas 1988). Medikamenteneinnahmen waren bis auf Kontrazeptiva verboten.

Die Probanden wurden über den Versuchsablauf informiert und instruiert. Weiterhin wurde ihnen unterbreitet, es sei erstrebenswert, so viele Aufgaben wie möglich richtig zu bearbeiten.

4.2.2 Äußere Bedingungen

Jeder Versuch wurde in Einzelversuchen zwischen 14 und 16 Uhr durchgeführt, um die tageszeitlichen Schwankungen gleich zu halten (Thomas 1988). Die Probanden saßen in einem ruhigen Raum in einem bequemen Bürostuhl, das Licht war nicht abgedunkelt. Zusätzlich wurden sie mit Ohrstöpseln versehen um störende Geräusche von außen abzumildern. Während der einzelnen Phasen befand sich keine Aufsichtsperson, außer zum Abnehmen der Blutgase und zum Bedienen des Computers, der die Atemwerte aufzeichnete, in ihrer Gegenwart.

Dies stellt nach Andren (1982) und Follenius (1980) keine Störung im Bezug auf die Katecholamine dar, der Blutdruck kann dadurch jedoch verändert werden.

Zur Berechnung des peripheren Widerstandes sowie zur Messung der Atemgaswerte musste die Versuchsperson während des gesamten einandhalb stündigen Tests eine Spirometermaske tragen, um so deren Atemwerte lückenlos aufzeichnen zu können. Aus dem Verhalten von VO_2 , VCO_2 und sowie noch anderer Werte (arterieller Mitteldruck, Herzzeitvolumen) berechneten wir den peripheren Widerstand vor, während und im Anschluss an den Test. Dazu benötigten wir noch mehrere Blutgasanalysen (pO_2 , pCO_2), die während des Versuchs erstellt wurden.

4.2.3 Zeitlicher Ablauf

Vor Beginn des Versuchs musste jeder Proband eine Urinprobe abgeben, um einen Vergleichswert für die Katecholaminmessung zu gewinnen. Die Urinampullen (12ml) wurden mit 110 µl HCl versetzt, um sie auf einen pH-Wert von zwei bis drei zu bringen, und im Kühlschrank gelagert. Eine weitere Urinprobe war nach Beendigung der Stressexposition und eine abschließende nach Versuchsende abzugeben. Somit hatte jeder Proband drei Urinproben abzugeben. Ebenfalls vor dem Start bekam jeder 500ml Wasser zu trinken um eine adäquate Uringewinnung im Anschluss an die Versuche zu ermöglichen. Anschließend wurde die Maske zur Atemanalyse aufgesetzt und mit dem Spirometer (Oxygon Alpha) verbunden. Vor Beginn wurde der Ablauf des Tests erläutert und auftretende Fragen beantwortet.

Ebenfalls zu Beginn bestimmten wir mit Hilfe eines Autoanalyzers den Kreatininwert, um Rückschlüsse auf die Nierenfunktion ziehen zu können. Dies war nötig, um eine Transparenz und Objektivität der Katecholaminwerte zu gewährleisten und mögliche Verfälschungen durch Unterschiede der Nierenfunktion zu eliminieren.

Der Versuch begann mit einer halben Stunde Ruhephase, in der sich zu untersuchenden Parameter stabilisieren konnten und der Proband sich an die Umgebung anpassen konnte. Danach wurde die eigentliche Testphase mit dem KLT durchgeführt, die ebenfalls eine halbe Stunde dauerte. Abschließend folgte noch einmal eine halbe Stunde Erholungsphase.

Die Blutdruckmessung erfolgte alle drei Minuten automatisch, durchgehend über alle Testphasen.

Die Blutgase wurden, während der Ruhe- und Testphase sowie auch am Ende der Erholungsphase, alle 20 Minuten kapillär aus dem Ohrläppchen gewonnen. Die Blutröhrchen wurden sofort nach Entnahme analysiert.

Die Analyse der Atemwerte erfolgte durchgehend, ebenso wie die der Herzfrequenz.

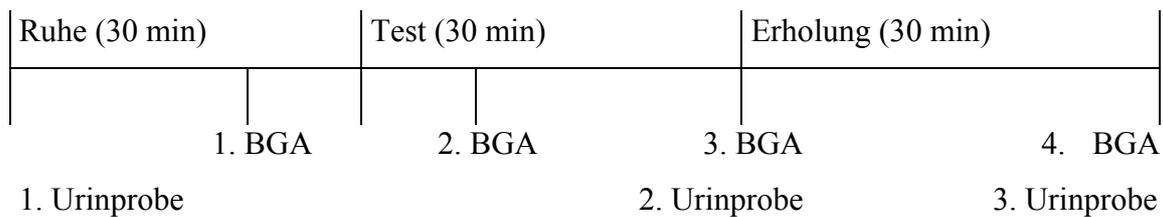


Abb.3 Schematischer Aufbau des Versuchs. Blutdruckmessung erfolgte alle 3 Minuten.

4.3 Geräte und Messmethoden

4.3.1 Blutdruckmessung und Herzfrequenzbestimmung

Die Messung des arteriellen Blutdrucks nahmen wir nach der Methode nach Riva Rocci vor. Hierfür benutzten wir ein Gerät der Firma Bosotron, das vollautomatisch alle drei Minuten die Messwerte ermittelte.

Der Puls wurde mit Hilfe eines Herzfrequenzmessgerätes von Polar durchgehend ermittelt.

4.3.2 Blutgasanalyse

Zur Messung der Blutgase benutzten wir das Eschweiler System 2000-DO3 zur Einzelproben- und Durchflussmessung. Die Blutentnahme erfolgte am hyperämisierten Ohrläppche

4.3.3 Ventilation und Atemgasanalyse

Für die Atemgasanalyse verwendeten wir das Gerät "Oxycon Alpha" der Firma Jäger. Dieses Gerät wird normalerweise für Ergospirometriem verwendet. Dabei werden die Parameter Ventilation, Sauerstoffaufnahme, Kohlendioxidaufnahme usw. mittels eines paramagnetischen Differential-O₂-Analysators und einem schnellen Infrarot-CO₂-Analysator (Ansteigzeiten, T10-90: 40ms) ermittelt.

4.3.4 Berechnung von Herzminutenvolumen und peripherer Widerstand

Der periphere Widerstand wurde nach folgender Formel berechnet (Löllgen 1983):

$$TPR = \frac{\text{arterieller Mitteldruck} - \text{RA Mitteldruck}}{HZV} \times 80$$

wobei: $\text{arterieller Mitteldruck} = \frac{RR_{\text{sys}} - RR_{\text{dia}}}{3} + RR_{\text{dia}}$

dabei gilt: TPR = Total peripheral resistance

RA-Mitteldruck = Mitteldruck im rechten Vorhof

HZV = Herzzeitvolumen

Das HZV wurde berechnet mit Hilfe einer Formel die wir aus der Veröffentlichung von Schardt (1996) übernahmen. Um mittels dieser das Herzzeitvolumen (HZV) zu berechnen, benötigt man die in Abbildung 4 genannten Einzelparameter.

Berechnung des Herzminutenvolumens

Name:

Vorname:

Geburtsdatum:

Datum:

Last: W Druck: mbar

FECO₂: % VCO₂: l

RQ: HR:

PH: PaCO₂:

PO₂: SBC:

PECO₂:

PvCO₂:

CvCO₂:

CaCO₂:

HMV: l

HMV/HR: ml

Berechnen

Beenden

Drucken

? Über

Abb.4 Darstellung der Oberfläche des Programm, mit dem das HZV berechnet wurde.

Hierzu gibt man oben die Messdaten ein, im unteren Teil kann man dann die berechneten Ergebnisse ablesen.

Zur Erklärung: Last - Belastung

FECO₂ - Atemgasfraktion

RQ - respirator. Quotient

PH - pH-Wert des Blutes

PO₂ - Sauerstoffpartialdruck

PCO₂ - Kohlendioxidpartialdruck

PvCO₂ - gemischt venöser CO₂-Druck

CvCO₂ - Gehalt von CO₂ gemischt venös

CaCO₂ - Gehalt von CO₂ arteriell
H MV - Herzminutenvolumen
Druck - Umgebungsluftdruck
VCO₂ - Kohlendioxidabgabe
HR - Herzfrequenz
PaCO₂ - CO₂-Partialdruck
SBC - Standardbicarbonat

Die erforderlichen, simultan gemessenen Daten erhielten wir direkt durch die Ergospirometrie und die Blutgasanalyse.

Den Druck im rechten Vorhof RA-Mitteldruck übernahmen wir aus Roskamm.

4.3.5 Katecholaminbestimmung

Zur Analyse der Katecholamine benutzten wir die HPLC Technik der Firma Chromsystems. HPLC steht hier für Hochdruckflüssigkeitschromatographie. Die Methode basiert auf einer elektrochemischen oder fluorometrischen Detektion. Dabei werden die Katecholamine mittels eines Kationenaustauschers aus dem Urin abgetrennt, durch HPLC aufgetrennt und mittels eines amperometrischen oder fluorometrischen Detektors bestimmt (Thomas 1988).

Die Theorie der elektrochemischen Detektion basiert auf einer zwischen zwei Elektroden angelegter Spannung. Durchströmt diese Spannung eine elektrochemisch aktive Substanz, so wird diese oxidiert bzw. reduziert. Durch diesen Umsatz werden Elektronen abgegeben bzw. aufgenommen. Der dabei fließende Strom kann nun von einem Messgerät erfasst werden.

Die Referenzwerte hierbei betragen für Noradrenalin 136 - 620 nmol/24h, die für Adrenalin 22 - 109 nmol/24h. Die Nachweisgrenze liegt bei 2 - 6 µg/l.

Dieses Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Selektivität aus, da nur eine sehr begrenzte Anzahl von chemischen Strukturen bei einem bestimmten Arbeitspotential zugänglich sind.

Zur Lagerungsfähigkeit wurde jede Probe nach der Gewinnung mit 110 µl HCl versetzt, in Alufolie eingehüllt und im Kühlschrank zwischengelagert. Nach Beendigung des

Versuchs wurden die drei Urinröhrchen im Kühlhaus bis zur Bestimmung bei minus 25 Grad zwischengelagert.

4.3.6 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung beinhaltet folgende Rechnungen und Tests:

1. Berechnung des arithmetischen Mittelwertes, der Standardabweichung, der Mediane sowie Prüfung aller Werte auf Normalverteilung mittels des 2-Anpassungstests. Geprüft wurden Puls, Blutdruck, peripherer Widerstand, HMV, Katecholamine, Atemwerte.
2. Wahrscheinlichkeitsprüfung mittels dem t-Student-Test, um zu prüfen, ob die Stichprobe zu einer vorgegebenen Grundgesamtheit gehört.
3. Wilcoxon Test zur Prüfung auf Gleichheit der Verteilungsfunktion bzw. der zentralen Tendenzen mehrerer verbundener Stichproben.
4. U-Test (Mann-Whitney-Wilcoxon) zum Vergleich zweier Verteilungsfunktionen.
5. Spearman`sche Rangkorrelation zur Prüfung, ob überhaupt eine signifikante Rangkorrelation vorliegt.

Die Ablehnung der Nullhypothese erfolgte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 5% ($p \leq 0,05$) bei zweiseitiger Prüfung.

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind als Mittelwerte mit Standardabweichung aufgeführt.

Dabei benutzen wir folgende Abkürzungen:

A	=	Adrenalin
NA	=	Noradrenalin
Psyst	=	systolischer Blutdruck
Pdia	=	diastolischer Blutdruck
VO ₂	=	Sauerstoffaufnahme
VCO ₂	=	Kohlendioxidabgabe
Vt	=	Atemzugvolumen
Hf	=	Herzfrequenz
RQ	=	respiratorischer Quotient
HMV	=	Herzminutenvolumen
RWL	=	Leistungsrohwert
SW	=	Schwellenwert

5.1 Testleistung (Düker)

5.1.1 Männer

Die männlichen Probanden erzielten einen durchschnittlichen RWL von 127,21. Ermittelt man daraus den SW, so erhält man 96 und somit einen durchschnittlichen Wert.

Der aus dem RWF und dem Fehlerprozent ermittelte Fehlerquotient muss differenziert betrachtet werden. Einer der Probanden erzielte hier einen Wert von 11,1 und liegt damit deutlich über dem Fehlerquotientschnitt von 1,1. Lässt man diesen einen Wert aus der Auswertung, so erhält man ein Mittel von 0,33.

Da man laut Düker ab einem Wert kleiner 0,7 von einem unterdurchschnittlichen Fehlerquotienten sprechen kann, bedeutet dies, dass insgesamt in unserem Probandengut wenige Fehler gemacht wurden.

Besser ist es hier vom Median auszugehen. Dieser liegt bei 0,19 und damit unter dem durchschnittlichen Fehlerquotienten.

5.1.2 Frauen

Diese erzielten einen RWL von 128,4. Der hieraus ermittelte SW ergibt 96,4, der ebenfalls im Durchschnitt liegt.

Beim Fehlerquotienten gilt es hier ebenfalls, diesen differenziert zu betrachten. Es verhält sich ähnlich wie bei den Männern. Zwei Werte liegen hier deutlich über dem Schnitt, mit einmal einem Fehlerquotienten von 7,2 und 5,7 bei einem Schnitt von 1,29. Lässt man diese beiden Extremwerte heraus, so zeigt sich der Fehlerquotient homogen mit einem Mittel von 0,5. Auch hier ist die Zahl der Fehler unterdurchschnittlich.

Berechnet man hier den Median, so erhält man ein Ergebnis von 0,23, das ebenfalls unter dem mittleren Fehlerquotienten liegt.

5.1.3 Vergleich zwischen Männern (n=14) und Frauen (n=15)

Die Werte RWL und SW unterscheiden sich kaum zwischen Mann und Frau.

Die hier höchsten Werte wurden von einer Frau erzielt, die niedrigsten von einem Mann.

Beim Fehlerquotienten verhält es sich ähnlich. Mit einem Mittel von 1,1 bei Männern und 1,12 bei Frauen liegen beide im Durchschnitt.

Der Median hingegen verhilft beiden zu einem unterdurchschnittlichen Fehlerquotienten und damit zu weniger Fehlern als durchschnittlich. Mit 0,19 beim Mann und 0,23 bei der Frau liegen beide signifikant unter 0,7, was von Düker als die Grenze angesehen wird.

5.2 Herzfrequenz (angegeben in Schlägen pro Minute, S/min)

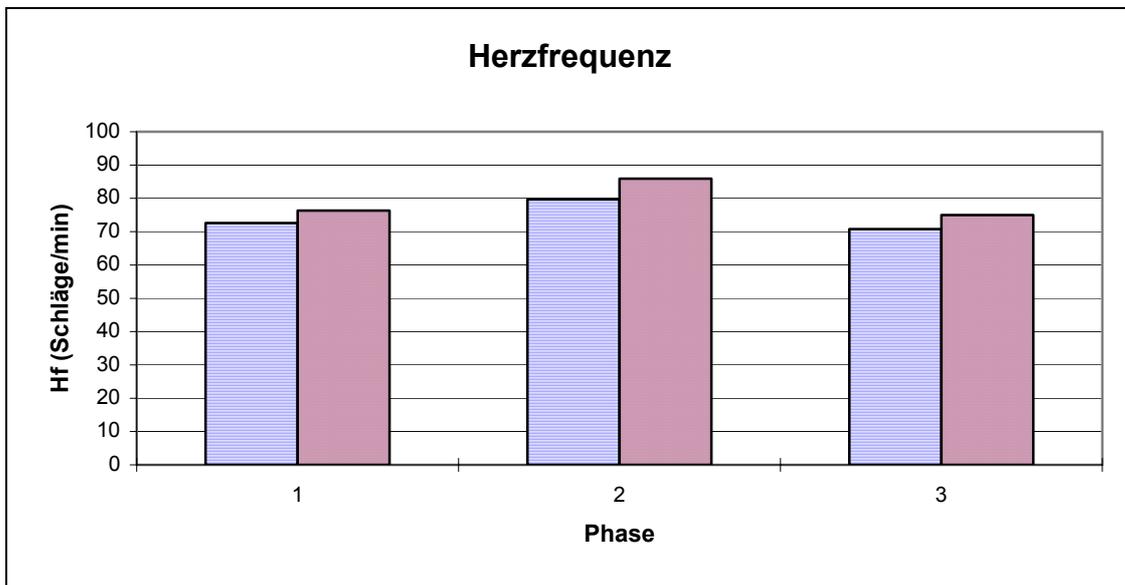


Abb.5 Herzfrequenz Männer (hell) und Frauen (dunkel). Man erkennt einen Anstieg während des Tests.

5.2.1 Männer

In der initialen halbstündigen Ruhephase war nach zehn Minuten ein Abfall der Hf von durchschnittlich $73,24 \pm 1,07$ S/min auf $72,3 \pm 1,42$ S/min zu beobachten. Gegen Ende der Ruhephase, nach ungefähr 25 Minuten stieg die Hf wieder an. Der Mittelwert lag in dieser Phase bei $72,22 \pm 1,2$ S/min ($p < 0.001$). Die interindividuelle Differenz lag zwischen 49 S/min und 90 S/min.

Mit Beginn der Testphase kam es zu einem signifikanten Anstieg auf $85,1 \pm 4,85$ S/min, der ungefähr drei Minuten andauerte. Daraufhin fiel der Puls wieder auf niedrigere Werte, die allerdings immer über dem Ruheniveau lagen. Im Mittel lag er bei $78,58 \pm 2,55$ S/min ($p < 0.001$). In dieser Phase waren die Unterschiede zwischen den Probanden deutlicher ausgeprägt. Die Bandbreite bewegte sich zwischen 103 S/min und 52 S/min. Alle Versuchspersonen reagierten damit auf den Stressor in Form des KLT Tests. Vor Beendigung des Tests war die Hf im Vergleich zu den ersten 13 Minuten, als sich die

Hf im Bereich von $81,74 \pm 2,93$ S/min bewegte wieder deutlich reduziert, mit einem Mittel von $78,33 \pm 0,95$ S/min.

In der abschließenden Erholungsphase sah man wieder einen erkennbaren Abfall, der sich in einem Mittelwert von $70,26 \pm 2,69$ S/min ($p < 0.001$) bewegte. Auch hierbei war ein Gefälle zu beobachten. Sieben Minuten nach Beendigung des Tests unterschritt die Hf die 70er Grenze. Vorher lag das Mittel bei $75,9 \pm 3,23$ S/min anschließend war ein Mittelwert von $69,5 \pm 0,95$ S/min zu errechnen.

5.2.2 Frauen

Die Herzfrequenz betrug in den ersten 30 Minuten $76,33$ S/min $\pm 0,85$ ($p < 0.001$). Dabei waren keine großen Unterschiede innerhalb dieser Phase zu erkennen.

Mit Beginn des Tests kam es zu einem sprunghaften Anstieg von 78 auf 88 Schläge in der Minute. Dieses hohe Niveau mit einem Mittelwert von $88,6 \pm 0,07$ S/min hielt sich für elf Minuten, danach fiel der Mittelwert ab auf $84,3 \pm 0,02$ S/min. Auf die gesamte Testphase betrachtet betrug er $85,9 \pm 2,52$ S/min ($p < 0.001$). Somit kam es durch Stresseinwirkung zu einem signifikanten Anstieg der Herzfrequenz.

In der Erholung sank die Hf wieder ab auf ein Mittel von $75,0 \pm 3,31$ S/min ($p < 0.001$). Auffällig war hier die hohe Hf kurz nach dem Test, die im Schnitt $83,1 \pm 1,11$ S/min betrug, nach sechs Minuten jedoch auf ein Niveau von $73,9 \pm 1,57$ S/min absank.

5.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Im Vergleich des relativen Anstiegs zwischen den Werten beider Geschlechter kann man einen Unterschied erkennen, der sich darin zeigt, dass bei Frauen der Anstieg über neun Schläge in der Minute von der Ruhephase zum Test beträgt. Bei Männern hingegen beträgt die Differenz nur sechs Schläge, dabei muss man von anderen Ausgangsbedingungen ausgehen. Absolut betrachtet war der Ruhepuls der Frau mit 76 Schlägen in der Minute schon deutlich über dem der Männer mit 72 S/min. Während des Tests lagen die Absolutwerte dann noch deutlicher auseinander mit 85 S/min bei

Frauen verglichen zu 78 S/min zu Männern. Während der Erholungsphase sanken die Werte bei Frauen dann wieder auf 75 S/min, bei Männern auf 70 S/min.

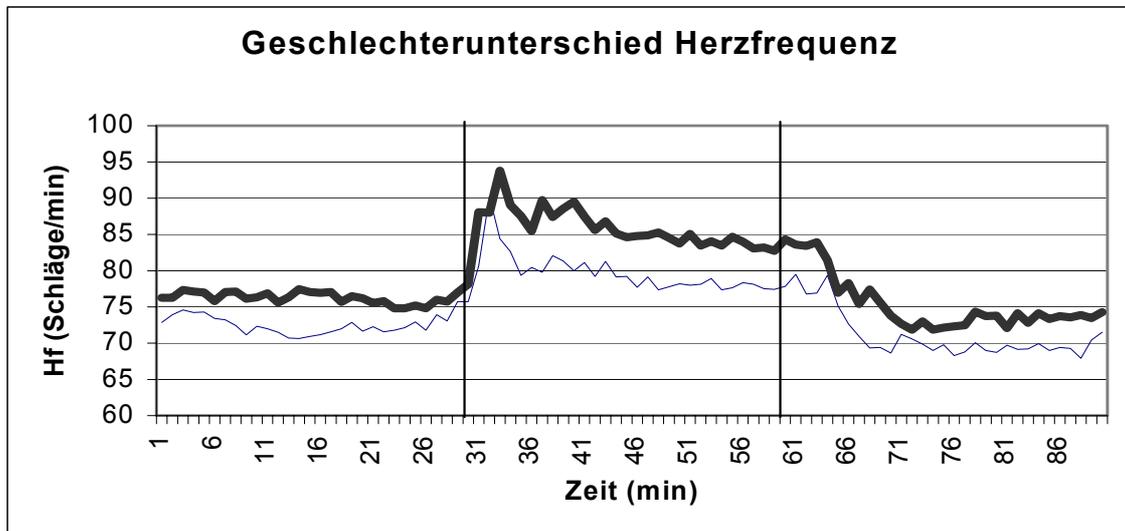


Abb.6 Herzfrequenz (Hf) der Männer (dünne Linie) und Frauen (dicke Linie). Hier erkennt man den sprunghaften Anstieg zu Beginn des Tests (erste senkrechte Linie), der sich danach allerdings etwas abschwächt, jedoch weiterhin deutlich über dem Niveau der Ruhe liegt. Die abschließende Erholungsphase (nach zweiter senkrechter Linie) liegt unter den Werten zu Beginn des Versuchs.

5.3. Blutdruck (gemessen in mm/Hg)

5.3.1 Systolisch

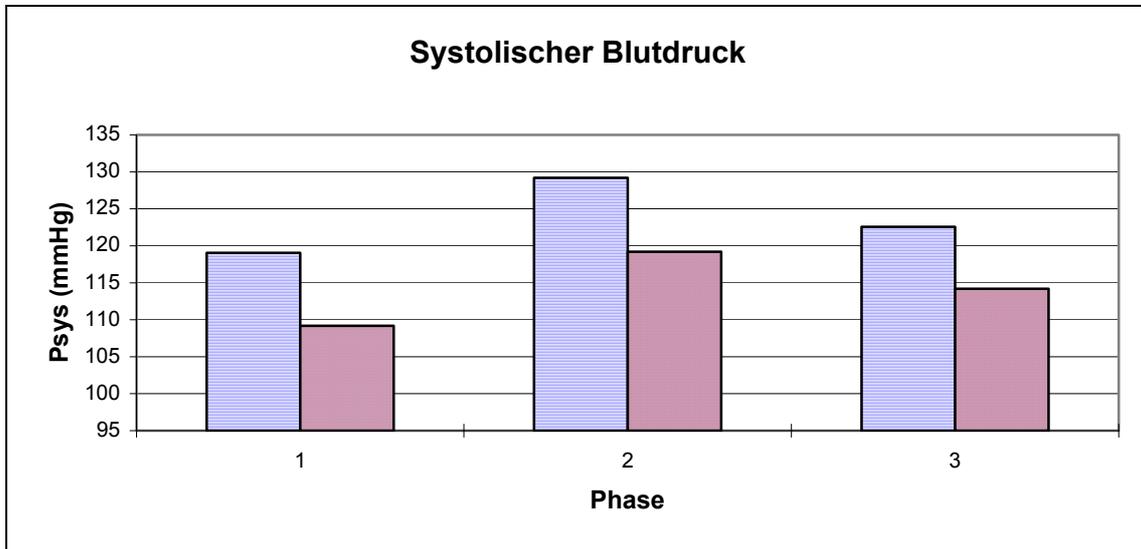


Abb.7 Systolischer Blutdruck bei Männern (hell) und Frauen (dunkel).

Hier ist ein deutlicher Anstieg in der Testphase zu erkennen. In der anschließenden Erholungsphase liegt der systolische Blutdruck noch deutlich über dem Ausgangswert.

5.3.1.1 Männer

Der Verlauf des systolischen Blutdrucks unterschied sich in einigen Punkten vom Verhalten der Hf. Initial war ein Abfall in der Ruhephase zu beobachten, ähnlich wie bei der Hf. Hierbei fiel der systolische Blutdruck von Anfangs durchschnittlich $121 \pm 1,17$ mmHg auf $117 \pm 1,01$ mmHg. Im Mittel lag der Wert bei $119 \pm 2,22$ mmHg ($p < 0.001$).

Zu Beginn der Testphase blieb der sprunghafte Anstieg, verglichen mit der Hf, aus. Erst mit einer Verzögerung von drei Minuten stieg der Mittelwert von 118 mmHg auf 126 mmHg und nachfolgend weiter auf bis zu 135 mmHg. Dies kann auch auf die Abstände von jeweils drei Minuten zwischen den einzelnen Blutdruckmessungen zurückzuführen sein. Zehn Minuten vor Ende der Testbelastung fiel der Mitteldruck allerdings wieder

auf $128,0 \pm 0,85$ mmHg ab. Der Mittelwert der Testphase lag bei $129 \pm 4,65$ mmHg ($p < 0,001$), am Testende bei 127 mmHg, und war damit immer noch signifikant erhöht gegenüber den Ruhewerten.

In der folgenden Erholungsphase fiel der systolische Blutdruck, ähnlich wie die Herzfrequenz, im Mittel nicht mehr unter den Ruhewert und lag bei $122,56$ mmHg $\pm 4,06$ ($p < 0,001$). Hierbei waren wieder die höchsten Werte kurz nach Beendigung des Tests zu sehen (131 mmHg), woraufhin sich ein Abfall im Folgenden bis auf 115 mmHg einstellte.

5.3.1.2 Frauen

Bei Frauen fand sich hier nach einem initial etwas erhöhten systolischen Blutdruck ein Niveau von $109,18 \pm 2,79$ mmHg ($p < 0,001$), wobei die höchsten Werte bei 114 mmHg, die niedrigsten bei 105 mmHg lagen.

Ebenfalls mit einer Verzögerung stieg der systolische Blutdruck sechs Minuten nach Testbeginn stark an. Der Ausgangswert lag in den ersten Minuten bei $106,1 \pm 1,68$ mmHg und stieg auf $121,8 \pm 3,84$ mmHg mit einem Maximum von 132 mmHg in der 18. Minute. Der Durchschnitt der gesamten Testphase belief sich auf $119,19 \pm 6,9$ mmHg ($p < 0,001$).

In der abschließenden Erholungsphase waren die höchsten Werte in den ersten drei Minuten nach dem Test zu sehen, in denen Werte um $126,6 \pm 0,9$ mmHg berechnet wurden. Zum Ende hin fielen diese dann auf letztlich 104 mmHg ab. Der Gesamtdurchschnitt lag bei $114,18 \pm 5,95$ mmHg ($p < 0,01$) bei einem Median von $111,5 \pm 5,95$ mmHg.

5.3.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Im Geschlechtervergleich fanden sich keine nennenswerten Veränderungen des relativen Anstiegs (Psys für Männer +10, für Frauen +10) zwischen Ruhe und Test. Bei den Absolutwerten verhielt es sich umgekehrt zu der Herzfrequenz. Diesmal hatten die Männer die höheren absoluten Werte mit 119 mmHg in Ruhe, 129 mmHg während des

Tests und 122 mmHg in der Erholung verglichen mit 109mmHg, 119 mmHg und 114 mmHg bei Frauen und lagen somit signifikant höher.

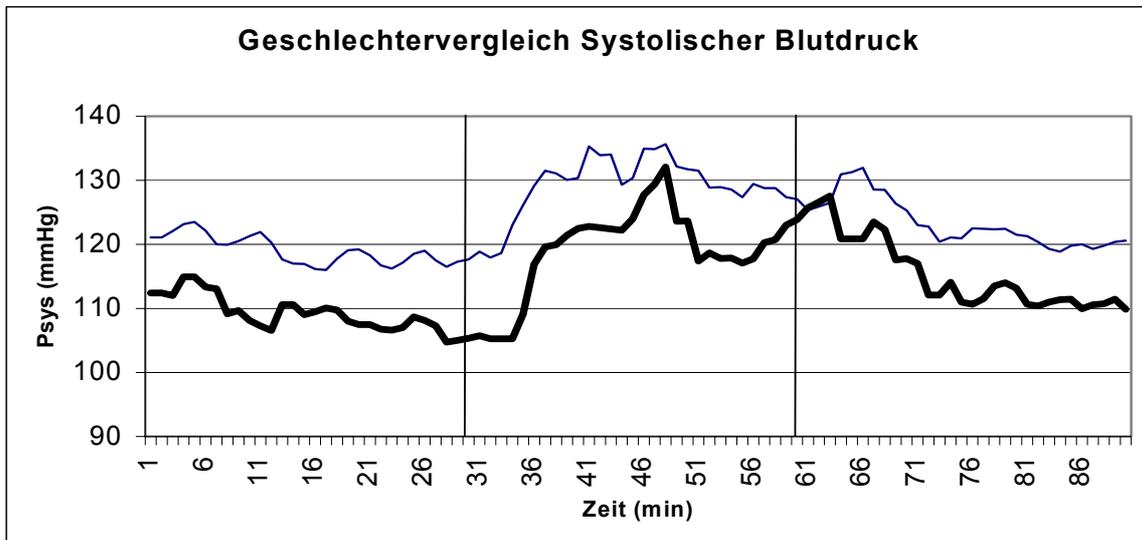


Abb.8 Man erkennt sowohl bei Männern (dünne Linie) als auch bei Frauen (dicke Linie) einen Anstieg zu Beginn des Tests (erste senkrechte Linie), der auch noch am Schluss zu erkennen ist. Nach Beendigung (zweite senkrechte Linie) fällt der Blutdruck langsam wieder auf Ausgangswerte ab.

5.3.2 Diastolischer Blutdruck

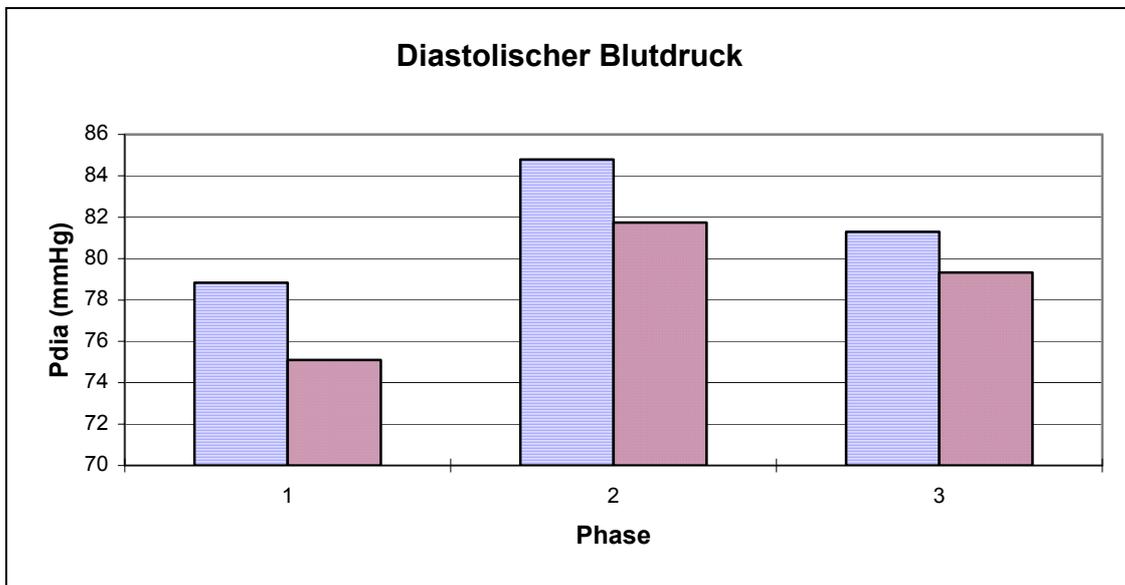


Abb.9 Diastolischer Blutdruck bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Hier ist ein deutlicher Anstieg in der Testphase zu erkennen. In der anschließenden Erholungsphase liegt der Wert des diastolischen Blutdrucks noch deutlich über dem Ausgangswert.

5.3.2.1 Männer

Im Mittel lag der diastolische Blutdruck in der Zeitspanne der Ruhe bei $78,82 \pm 1,38$ mmHg ($p < 0,001$), der Median bei $78,67 \pm 1,38$ mmHg.

Zu Beginn der Testphase kam es erneut mit einer Verzögerung von sechs Minuten zu einem Anstieg auf 82,28 mmHg, der sich bis zur 17. Minute auf 89,07 mmHg fortsetzte.

In den folgenden 13 Minuten war ein konstantes Niveau auf $85,6 \pm 0,81$ mmHg zu erkennen. Im Mittel lag der diastolische Blutdruck während dieser Zeitspanne bei $84,78 \pm 2,86$ mmHg ($p < 0,001$), der Median bei $85,85 \pm 2,86$ mmHg.

In der abschließenden Erholungsphase fiel der Mitteldruck wieder ab auf $81,29 \pm 2,51$ mmHg ($p < 0,001$). Der Median lag in dieser Zeit bei 81,14 mmHg. Damit lagen beide Werte signifikant unter der Testphase, aber erkennbar über den Werten der Ruhephase. Der Verlauf des diastolischen Blutdrucks verhielt sich ähnlich dem des systolischen,

geprägt durch einen steten Abfall des Mittelwertes von Anfangs $83,9 \pm 1,18$ mmHg auf letztlich $80,2 \pm 1,97$ mmHg.

5.3.2.2 Frauen

Auch hier waren die höchsten Werte der Ruhephase am Beginn zu sehen mit einem Mittelwert von $78,0 \pm 0,38$ mmHg in den ersten drei Minuten, bei einem Gesamtschnitt von $75,1 \pm 1,54$ mmHg ($p < 0.001$).

Mit Beginn des Tests kam es ebenfalls zu einer deutlichen Erhöhung, die ihr Maximum nach neun Minuten mit einem Wert von $86,66$ mmHg erreichte. Dieses lag in dieser Phase bei einem Durchschnitt von $81,74 \pm 3,46$ mmHg ($p < 0.001$)

In der Erholungsphase fielen die Werte auf ein Mittel von $79,3 \pm 2,84$ mmHg ($p < 0.01$), wobei der Wert durch das hohe Mittel von $82,8 \pm 1,52$ mmHg unmittelbar nach Testbeendigung geprägt ist.

5.3.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Beim diastolischen Blutdruck gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den relativen Werten (P_{dia} für Männer + 6 ; P_{dia} für Frauen + 6) der Geschlechter. Ähnlich wie bei den systolischen Werten lagen die absoluten diastolischen Werte bei Frauen stets unter denen der Männer, wobei die Differenz kaum Unterschiede zwischen Ruhe und Test zeigte. In Ruhe und unter mentaler Belastung lagen P_{dia} der Frauen 3mmHg unter dem der Männer.

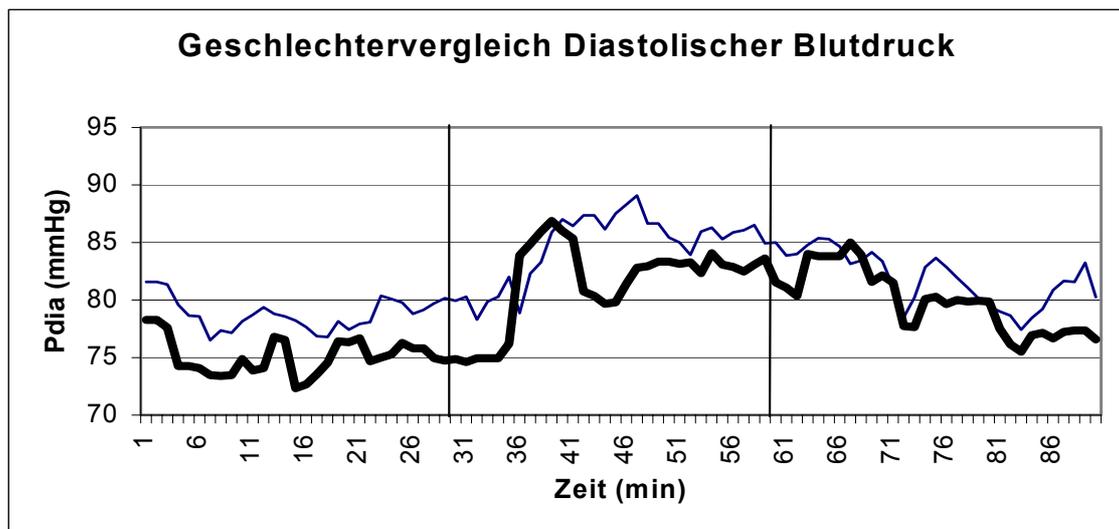


Abb.10 Beim diastolischen Blutdruck verhält es sich ähnlich wie beim systolischen, man kann einen Anstieg während der Testphase (nach erstem senkrechtem Strich) sowohl bei Männern (dünne Linie) als auch bei Frauen (dicke Linie) erkennen. Nach Beendigung (zweiter senkrechter Strich) kommt es zu einem verzögerten Abfall.

5.3.3 Systolischer und diastolischer Blutdruck im Vergleich

Bei beiden Werten war in der Testphase verglichen mit der Ruhephase ein signifikanter Anstieg zu erkennen, ebenso wie in der Erholungsphase ein signifikanter Abfall zu sehen war. Zwischen beiden Werten waren kaum relative Unterschiede in der Veränderung auszumachen. Auch die Verläufe in den Testphasen sind vergleichbar. Dies gilt sowohl für Frauen als auch für Männer, allerdings auf leicht unterschiedlichem Niveau.

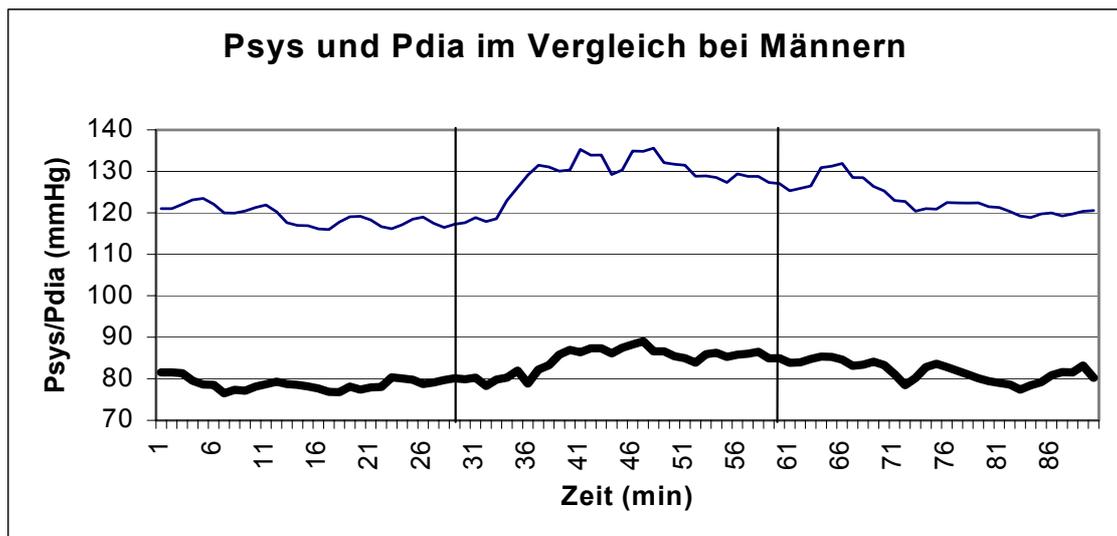


Abb.11 Blutdruckwerte der jeweiligen Versuchsphasen im Vergleich bei Männern, wobei der Test nach 30 Minuten beginnt (erste senkrechte Linie) und nach 60 Minuten endet (zweite senkrechte Linie).

Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen, wohl ausgelöst durch die Konfrontation mit dem Unbekannten. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhten Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe fallen die Werte wieder stark ab.

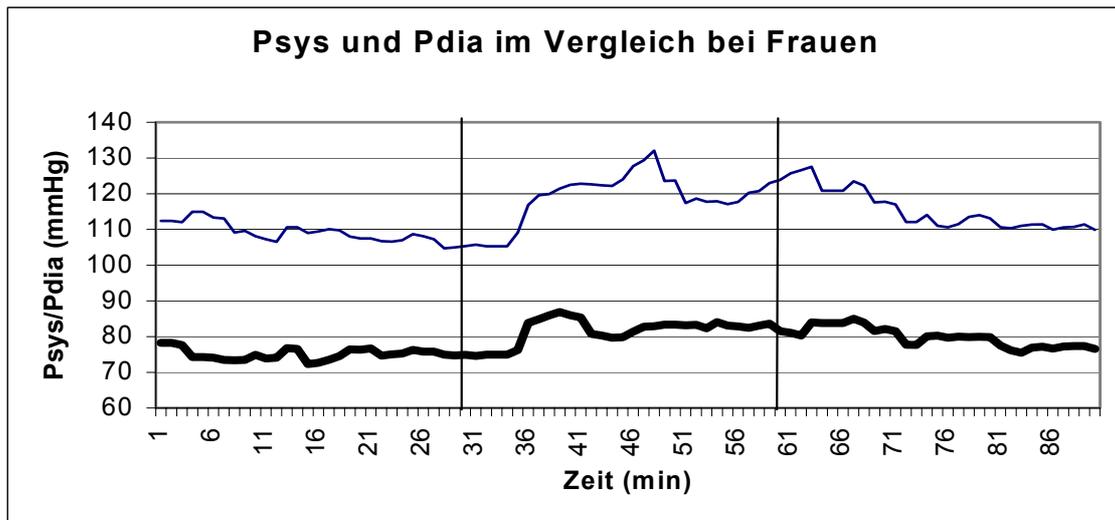


Abb.12 Blutdruckwerte der jeweiligen Versuchsphasen im Vergleich bei Frauen, wobei der Test nach 30 Minuten beginnt (erste senkrechte Linie) und nach 60 Minuten endet (zweite senkrechte Linie).

Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhten Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe fallen die Werte wieder stark ab.

5.4 Katecholamine

5.4.1 Adrenalin (gemessen in nmol/l; bezogen auf 1g Kreatinin)

5.4.1.1 Männer

Hier war die Breite der absoluten Werte sehr groß. Vor Beginn des Tests abgenommene Proben reichten von 1 nmol/l bis 31 nmol/l, das Mittel lag bei $8,71 \pm 8,31$ nmol/l, der Median bei $5,5 \pm 8,31$ nmol/l.

Der Stresstest bewirkte eine signifikante Veränderung des Mittelwertes. Nach Beendigung des Tests genommene Urinproben ergaben einen Durchschnittswert von $12,4 \pm 6,14$ nmol/l. Der Median betrug $12,3 \pm 6,14$ nmol/l, wobei die Streubreite ebenfalls sehr breit war. Diese reichte von 1 nmol/l bis 44 nmol/l. Bei acht Probanden kam es zu einem Anstieg des Wertes im Stress um annähernd das Doppelte, wobei

dieser zwischen 24 nmol/l und 48 nmol/l lag. Bei fünf Probanden stieg die AdrenalinKonzentration geringer an, um durchschnittlich 4,25 nmol/l, zwei zeigten kaum Veränderungen.

Bei der abschließenden Urinentnahme nach Beendigung des Versuchs konnte man wieder einen deutlichen Abfall erkennen bis unter das Ausgangsniveau vor Beginn der Versuche. Der Mittelwert lag hier bei $8,13 \pm 7,95$ nmol/l, der Median bei $6,43 \pm 8,11$ nmol/l. Auch hierbei waren starke interindividuelle Schwankungen zu erkennen.

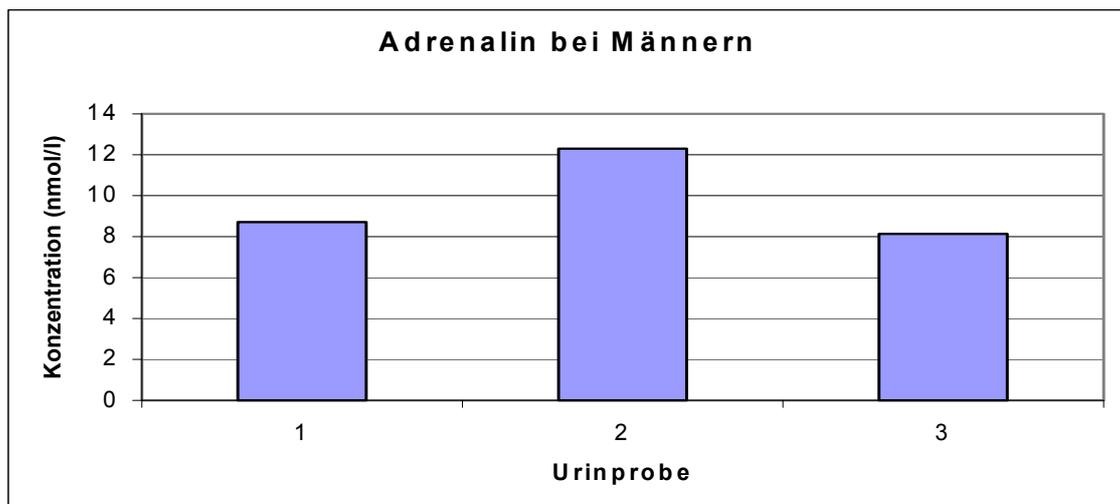


Abb.13 Konzentration Adrenalin vor (1) und nach Beendigung des Tests (2) und nach Abschluss des Versuchs (3) bei Männern. Man erkennt einen Anstieg ausgelöst durch Stresskonfrontation.

5.4.1.2 Frauen

Bei den Frauen verhält es sich mit den Katecholaminen ähnlich wie bei den Männern. Auch hier liegt der Mittelwert vor dem Test unter dem nach dem Testdurchlauf. Vorher konnte man $5,56 \pm 4,13$ nmol/l messen bei einem Median von $4 \pm 4,13$ nmol/l. Nach Stressexposition lag der Adrenalinwert prozentual betrachtet jedoch deutlicher unter dem Vergleichswert der Männer mit $7,22 \pm 5,41$ nmol/l und einem Median von $7 \pm 4,81$ nmol/l, dabei allerdings noch immer über dem Wert zu Beginn des Versuchs. Die Bandbreite der Messungen war hier ebenfalls sehr groß. Vor Versuchsbeginn waren Werte von 1 nmol/l bis 18 nmol/l zu messen, danach 6 nmol/l bis 31 nmol/l, wobei

diese Extremwerte jeweils von einer Person kamen. Bei drei Versuchspersonen war keine Veränderung des Adrenalins gegenüber der Ruhephase nachzuweisen. In der abschließenden Messung kam es wieder zu einem Abfall der Katecholaminkonzentration, der mit einem Mittelwert von $5,44 \pm 4,11$ nmol/l allerdings nicht signifikant auffiel.

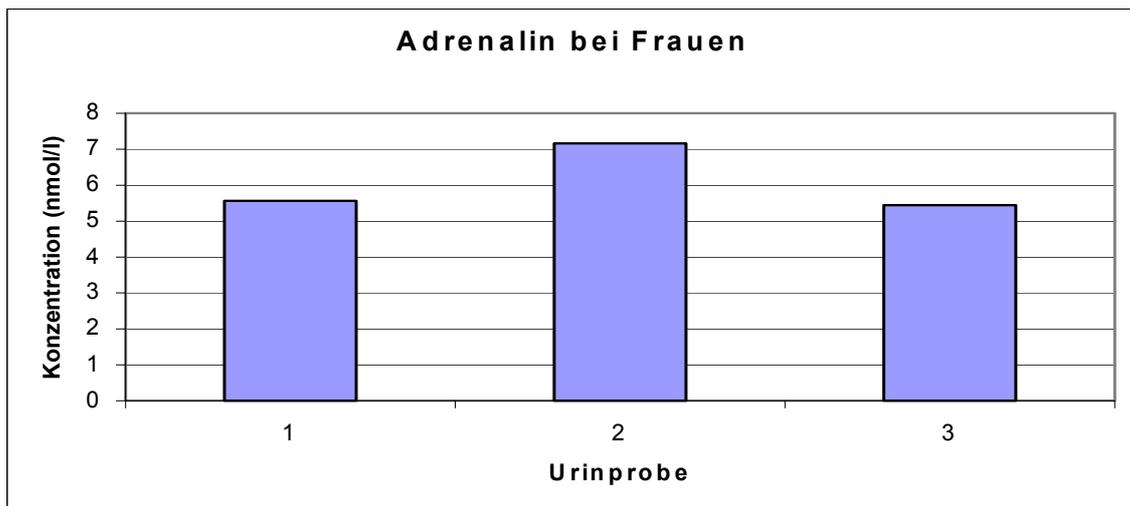


Abb.14 Konzentration Adrenalin vor (1) und nach Beendigung des Tests (2) und nach Abschluss des Versuchs (3) bei Frauen. Man erkennt einen Anstieg ausgelöst durch Stresskonfrontation.

5.4.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Die relativen Veränderungen ergaben bei beiden Geschlechtern kaum Unterschiede. Lediglich prozentual betrachtet lag die Erhöhung der männlichen Werte deutlich über denen der Frauen. Sowohl bei Männern als auch Frauen kam es somit unter Stress zu einem deutlichen Anstieg. Absolut betrachtet gab es hingegen erkennbare Unterschiede. Einmal lagen sowohl Median als auch Mittelwert der Frauen stets unter den vergleichbaren Werten der Männer. Das galt für vor als auch nach dem Versuch. Die höchsten Werte lagen bei den Männern, die niedrigsten mit 1 nmol/l gleichermaßen bei beiden Geschlechtern.

5.4.2 Noradrenalin (gemessen in nmol/l; bezogen auf 1g Kreatinin)

5.4.2.1 Männer

NA lag absolut betrachtet deutlich über dem Niveau von Adrenalin. Zu Beginn des Versuchs ließ sich ein Mittel von $53,5 \pm 39,3$ nmol/l (der Median lag bei $40,5 \pm 39,3$ nmol/l) errechnen, wobei die Bandbreite der Werte ebenfalls sehr auffällig war. Die niedrigsten Werte lagen bei 8-9 nmol/l, die oberen Werte bei 147 nmol/l.

Die zweite genommene Probe nach Testende war ebenfalls sehr breit gestreut, von 7 nmol/l bis 142 nmol/l. Der Durchschnitt lag hier bei $55,3$ nmol/l $\pm 36,8$, der Median bei 42 nmol/l $\pm 36,8$ und damit deutlich über dem vor Versuchsbeginn gemessenen Wert. Hier zeigten 13 Probanden einen Anstieg von Noradrenalin, nur einer fiel ab. Der Anstieg betrug durchschnittlich 5 nmol/l. Die dritte Probe nach Beendigung der Versuchsreihe zeigte wiederum einen deutlicheren Abfall, teilweise unter das Niveau zu Beginn des Tests. Der Mittelwert ergab $51,4$ nmol/l $\pm 36,5$.

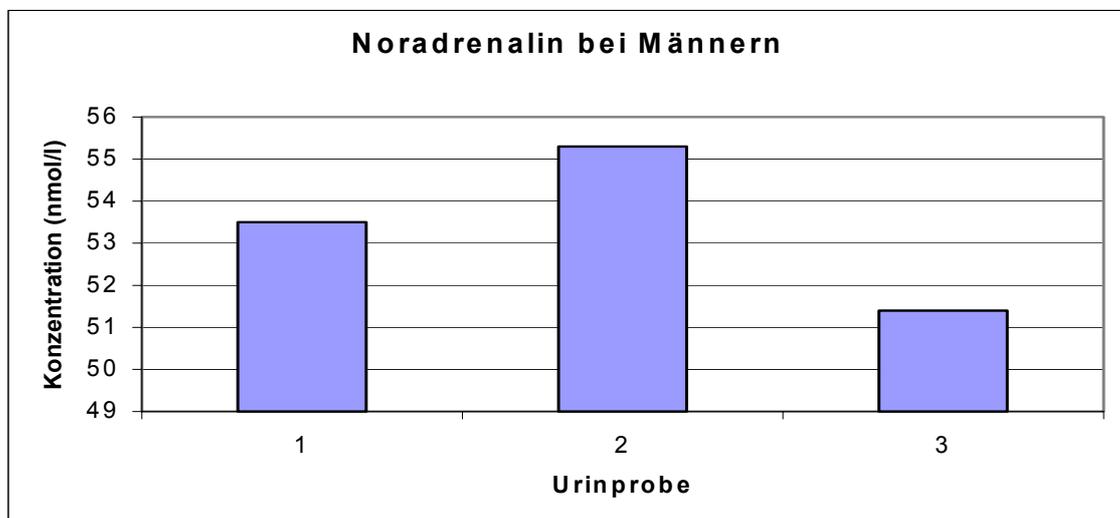


Abb.15 Konzentration Noradrenalin vor (1) und nach Beendigung des Tests (2) und nach Abschluss des Versuchs (3) bei Männern. Man erkennt einen Anstieg ausgelöst durch Stresskonfrontation.

5.4.2.2 Frauen

Auch hier stieg das Noradrenalin durchschnittlich von $45,18 \pm 22,4$ nmol/l auf $49,43 \pm 15,11$ nmol/l bei Medianen von $35,5 \pm 22,4$ nmol/l bzw. $36,5 \pm 15,11$ nmol/l. Die Streuung war ähnlich dem Adrenalin sehr breit, zwischen 11 nmol/l und 95 nmol/l vor Stress und 14 nmol/l bzw. 107 nmol/l nach Stress. Dabei zeigten drei Probandinnen einen Abfall des NA. Bei der abschließenden Messung ergab sich ein ähnliches Bild wie bei den Männern. Es kam zu einem stärkeren Abfall, der allerdings das Niveau vor Versuchsbeginn nicht signifikant unterschritt. Der Mittelwert betrug $45,03 \pm 21,9$ nmol/l.

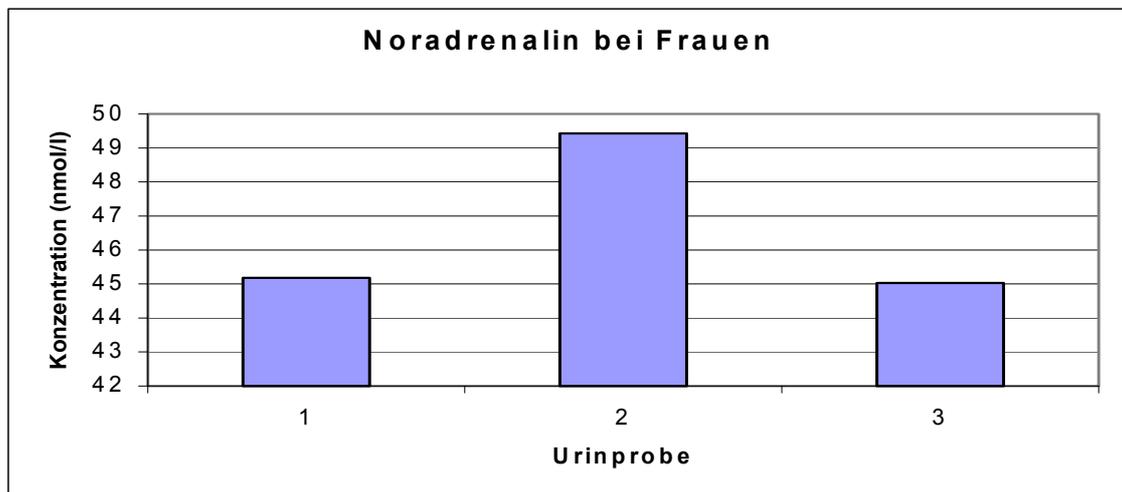


Abb.16 Konzentration Noradrenalin vor (1) und nach Beendigung des Tests (2) und nach Abschluss des Versuchs (3) bei Frauen. Man erkennt einen Anstieg ausgelöst durch Stresskonfrontation.

5.4.2.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Im Vergleich der beiden Geschlechter verhielt es sich ähnlich wie beim Adrenalin. Frauen lagen durchgehend niedriger bei den absoluten Werten, während die relativen Veränderungen annähernd gleich waren. Auch hier stellten die Männer die höchsten Werte, ebenso wie die niedrigsten. Bei Frauen war daher die Bandbreite der Messwerte

nicht so weit wie bei den männlichen Probanden, was auf eine generell ausgeglichene Stressverarbeitung zurückgeführt werden kann.

5.4.3 Adrenalin und Noradrenalin im Vergleich bei Männern

Setzt man die beiden Katecholamine in Beziehung, so sieht man, dass Adrenalin und Noradrenalin keine einheitliche Tendenz erkennen lassen. In nur einem Fall kam es nach einem Abfall von A ebenfalls zu einem Abfall von NA. Bei zwei Probanden kam es nach einem Anstieg von A zu einem Abfall von NA. Die Mehrheit zeigte jedoch sowohl einen Anstieg von A als auch von NA. Hierbei spielte die Anfangskonzentration der Katecholamine eine bedeutende Rolle. Lag der erste Wert hoch, so lag der zweite ebenfalls hoch. Umgekehrt verhielt es sich bei niedrigeren Werten. Da die maximalen und minimalen Werte weit auseinander lagen, ist zur Analyse der Median wohl besser geeignet.

5.4.4 Adrenalin und Noradrenalin im Vergleich bei Frauen

Ähnlich wie bei den Männern konnte man auch hier keinen gemeinsamen Trend für Adrenalin und NA festlegen. Eine Probandin zeigte einen Anstieg von A bei einem Abfall von NA, eine einen Abfall von A und NA. Die Mehrzahl zeigte einen Anstieg von A verbunden mit einem parallelen Verhalten von NA. Drei Probandinnen zeigten einen Abfall von NA bei vorher unverändertem A gegenüber den beiden Messungen.

5.5 Atem- und Blutgase

5.5.1 Blutgasanalyse/ Sauerstoffpartialdruck/ Kohlendioxidpartialdruck (gemessen in mmHg)

5.5.1.1 Männer

Die Blutgasanalyse erfolgte mit Hilfe des Sauerstoffpartialdrucks sowie des Kohlendioxidpartialdrucks. Eine erste Messung der Blutgase in Form von PO_2 und PCO_2 erfolgte nach 10 Minuten. Der Mittelwert des Sauerstoffpartialdrucks PO_2 betrug 76,55 mmHg, der von PCO_2 40 mmHg. 10 Minuten nach Beginn des Tests stieg der Mittelwert für PO_2 auf 87,05 mmHg und für PCO_2 fiel er auf 37,34 mmHg. Unmittelbar nach Beendigung des KLT waren für PO_2 im Mittel 80,9 mmHg und für PCO_2 37,18 mmHg zu messen. Zum Abschluss des Versuchs, nach 90 Minuten, betrug PO_2 durchschnittlich 78,7 mmHg, PCO_2 38,69 mmHg. Somit waren für beide Werte signifikante Wertveränderungen von Ruhe sowie Erholung zu Test festzustellen.

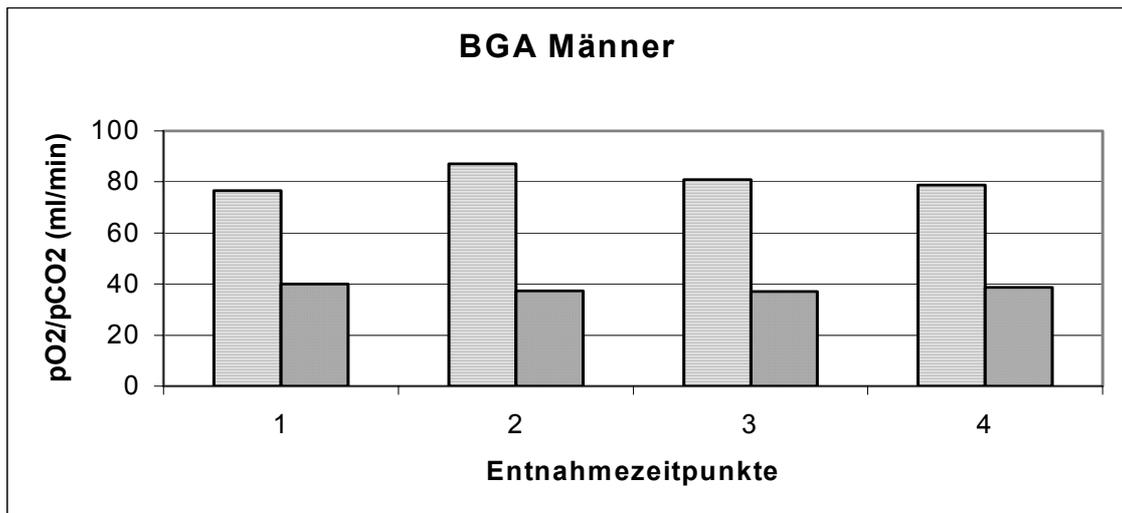


Abb.17 Darstellung der Blutgasanalyse bei Männern, wobei der erste Balken (hell) den Sauerstoffpartialdruck beschreibt und der zweite (dunkel) den Kohlendioxidpartialdruck. Hierbei bezeichnen die Werte der X-Achse die Entnahmezeitpunkte der Proben nach 20, 40, 60 und 90 Minuten. Man erkennt einen Anstieg 10 Minuten nach Beginn des Tests gegenüber dem Ausgangsniveau. Im Anschluss daran fallen die Mittelwerte wieder ab.

5.5.1.2 Frauen

PO₂ lag in der Ruhephase mit einem Mittelwert von 79,27 mmHg etwa im Bereich der Probanden. 10 Minuten nach Testbeginn war ein Mittel von 97,82 mmHg festzustellen. Kurz nach Beendigung der mentalen Aufgabe lag der Sauerstoffpartialdruck bei 83,13 mmHg.

Nach 90 Minuten Versuch war er ähnlich hoch und betrug 82,38 mmHg. Somit ist ein signifikanter Anstieg während der Testphase nachzuweisen.

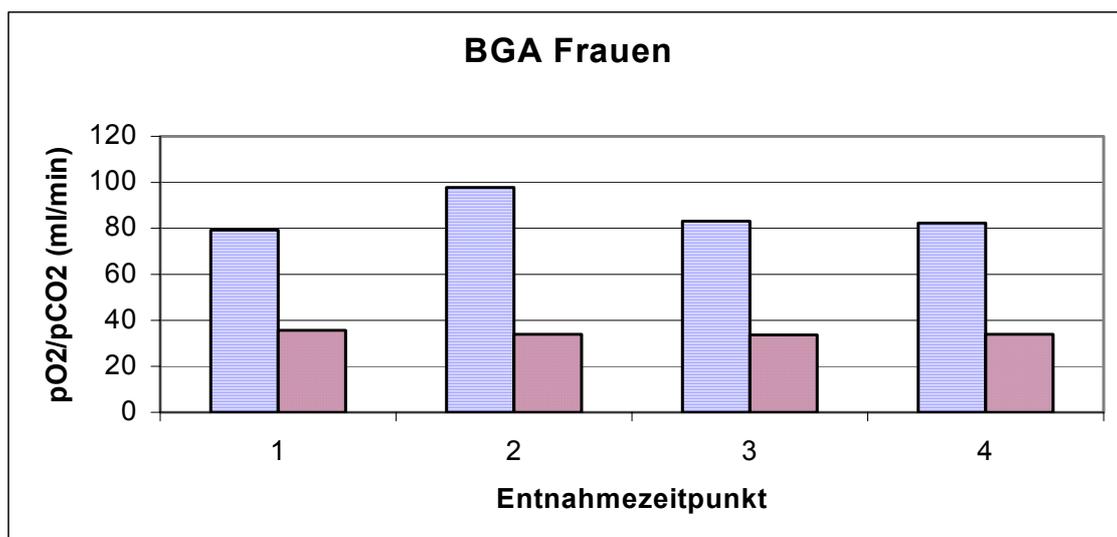


Abb.18 Darstellung der Blutgasanalyse bei Frauen, wobei der erste Balken (hell) den Sauerstoffpartialdruck beschreibt und der zweite (dunkel) den Kohlendioxidpartialdruck. Hierbei bezeichnen die Werte der X-Achse die Entnahmezeitpunkte der Proben nach 20, 40, 60 und 90 Minuten. Man erkennt einen Anstieg 10 Minuten nach Beginn des Tests gegenüber dem Ausgangsniveau. Im Anschluss daran fallen die Mittelwerte wieder ab.

5.5.1.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Während sich in Ruhe beim PO₂ keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Geschlechtern zeigten, konnte man 10 Minuten nach Beginn der mentalen Belastung deutliche Unterschiede erkennen. Bei Frauen war hier ein Wert von $94,82 \pm 6,42$ mmHg zu messen, bei Männern hingegen nur $87,05 \pm 4,81$ mmHg. Betrachtet man den Anstieg, so kann man ebenfalls deutliche Unterschiede sehen. Frauen zeigten einen mittleren Anstieg von 15 mmHg, während Männer einen Anstieg von 11 mmHg hatten. Nach Beendigung des Tests waren Unterschiede von $80,9 \pm 3,91$ mmHg bei Probanden und $83,1 \pm 5,96$ mmHg bei Probandinnen messbar. Der Abfall betrug 11 mmHg bei Frauen verglichen mit 7 mmHg bei Männern. Am Ende des Versuchs konnte man einen Unterschied der Mittelwerte zwischen $82,3 \pm 6,01$ mmHg bei Frauen und $78,7 \pm 4,02$ mmHg bei Männern feststellen, gleichzeitig kam es zu einem Abfall von 3 mmHg bzw.

2 mmHg bei den männlichen Probanden verglichen zum Testende einen Abfall von 2 mmHg, bei Frauen von 3 mmHg.

Bei PCO_2 waren die absoluten Werte stets höher bei der männlichen Probandengruppe verglichen zur weiblichen. In Ruhe lagen sie bei $40,0 \pm 1,37$ mmHg bei Männern verglichen zu $35,7 \pm 0,95$ mmHg bei Frauen. Unter Testbedingungen kam es zu einem Abfall, bei den Männern auf $37,3 \pm 1,22$ mmHg und bei den Frauen auf $34,0 \pm 0,77$ mmHg. Dabei bestand weiterhin ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Geschlechtern. Nach Beendigung des Tests waren ähnliche Werte zu messen mit $37,1 \pm 1,24$ mmHg bei Männern und $33,7 \pm 0,81$ mmHg bei Frauen. Auch nach Versuchsende waren die Unterschiede weiterhin deutlich zu erkennen. Männer zeigten Werte von durchschnittlich $38,6 \pm 1,15$ mmHg, während Frauen durchschnittlich $34,0 \pm 0,77$ mmHg aufwiesen. Hierbei ist zu beachten, dass diese Werte über dem Testniveau lagen.

5.5.2 pH-Werte

Beim pH ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsphasen, weder bei Probanden noch bei Probandinnen.

In Ruhe waren Werte von $7,436 \pm 0,06$ bei Männern bzw. $7,445 \pm 0,04$ bei Frauen zu messen, zu Beginn des Tests $7,453 \pm 0,04$ und $7,459 \pm 0,05$, nach Testbeendigung $7,434 \pm 0,02$ bzw. $7,451 \pm 0,05$, zum Abschluss des Versuchs $7,449 \pm 0,07$ bzw. $7,444 \pm 0,02$. Dennoch waren diese Ergebnisse von Interesse für uns, da wir sie zur Berechnung des Herzminutenvolumens benötigten.

5.5.3 Sauerstoffaufnahme VO_2 (gemessen in ml/min)

5.5.3.1 Männer

Die in VO_2 gemessene Sauerstoffaufnahme zeigt in der Ruhephase kaum Veränderungen. Der Mittelwert betrug hier $377,17 \text{ ml/min} \pm 7,59$ ($p < 0,001$). Zu Beginn des Tests stieg der Wert deutlich an. Der höchste Wert wurde nach drei Minuten

erreicht. Er betrug 510,46 ml/min. Danach pendelte sich VO_2 auf einem gleichbleibenden Niveau ein. Im Mittel auf 406,38 ml/min \pm 29,4 ($p < 0.001$).

Zu Beginn der Erholungsphase war noch kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Der Durchschnitt hier lag bei 384,1 ml/min \pm 8,37. Erst nach sechs Minuten setzte ein Abfall ein, welcher sich im Schnitt bei 355,7 ml/min \pm 7,25 setzte. Der Mittelwert der Erholung lag bei 361,14 ml/min \pm 13,45 ($p < 0.001$).

Damit lagen dieser und der Ruhewert signifikant unter dem Stresswert.

5.5.3.2 Frauen

Während der 30 minütigen Versuchsreihe in Ruhe lag der Schnitt bei 256,06 \pm 8,07 ml/min ($p < 0.001$). Dabei reichte die Wertemenge von 245 ml/min bis 278 ml/min.

Unmittelbar nach Start der Testreihe kam es zu einem sprunghaften Anstieg der Sauerstoffaufnahme auf max. 363,0 ml/min. In den ersten vier Minuten lag der Mittelwert bei 327,0 \pm 37,5 ml/min, in der verbleibenden Zeit bei 275,4 \pm 4,09 ml/min. Insgesamt gesehen war das Mittel 282,00 \pm 22,03 ml/min ($p < 0.001$).

In der Erholungsphase zeigte sich wieder ein deutlicher Werteabfall auf im Durchschnitt 253,05 \pm 15,7 ml/min ($p < 0.001$).

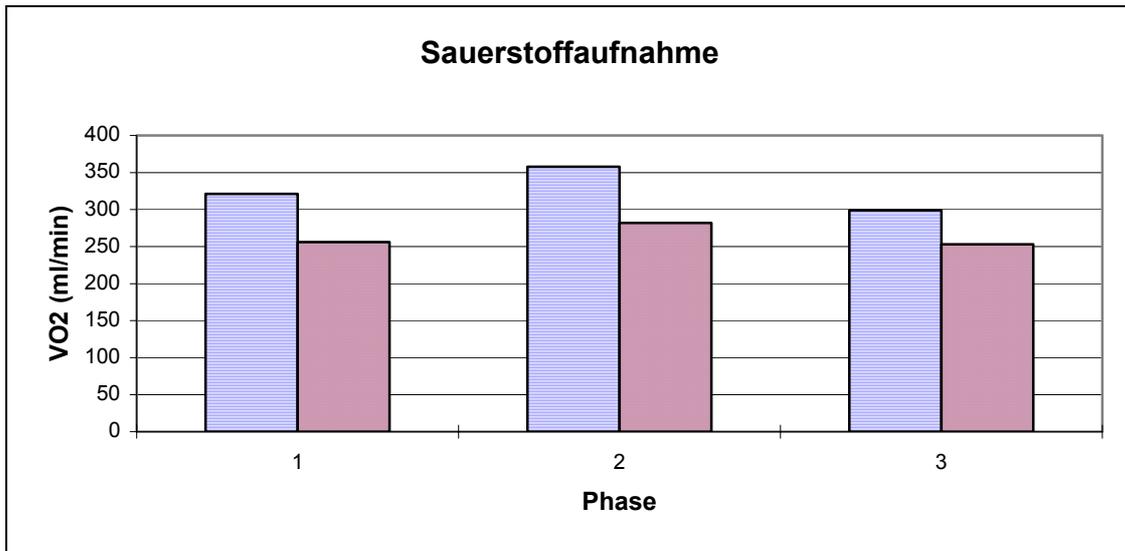


Abb.19 Sauerstoffaufnahme bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Diese steigt mit dem Test an, fällt danach wieder stark ab.

5.5.3.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

VO₂ unterschied sich in Ruhe signifikant zwischen Mann und Frau. Während in dieser Phase des Versuchs die absoluten Werte der Männer bei $377,1 \pm 7,59$ ml/min lagen, konnte man bei Frauen Werte um $256,0 \pm 8,0$ ml/min messen. Der relative Anstieg zeigte von der Ruhe zur Testphase keine deutlichen Unterschiede zwischen den Geschlechtern.

In der folgenden Testphase lagen die absoluten Werte ähnlich weit auseinander wie in der Ruhephase, nämlich bei $406,3$ ml/min $\pm 29,4$ beim Mann und $282,0$ ml/min $\pm 22,0$ bei der Frau. Dabei kann man in Abbildung 20 den Peak zu Beginn gut erkennen.

In der abschließenden Erholungsperiode erreichten die Mittelwerte bei den Männern $361 \pm 13,4$ ml/min, bei Frauen $253,0 \pm 15,7$ ml/min.

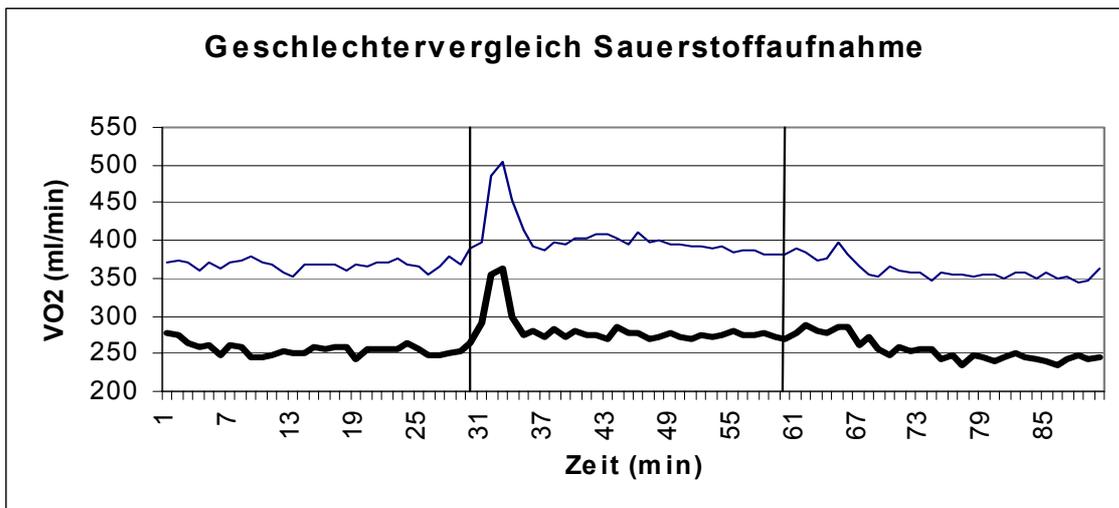


Abb.20 Sauerstoffaufnahme bei Männern (dünn Linie) und bei Frauen (dicke Linie).

Der Testbeginn lag bei 30 Minuten (erste vertikale Linie). Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhten Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe (zweite vertikale Linie) fallen die Werte wieder stark ab, wobei sie noch das Niveau zu Beginn des Versuchs unterschreiten.

5.5.4 Kohlendioxidabgabe (gemessen in ml/min)

5.5.4.1 Männliche Probanden

VCO₂ in Ruhe lag im Schnitt bei $327,45 \pm 7,37$ ml/min ($p < 0.001$) und damit signifikant unter dem Stresswert von $356,23 \pm 41,06$ ml/min ($p < 0.001$). Hierbei muss man allerdings auf den wie bei VO₂ gesehenen Spitzenwert zu Beginn des Tests berücksichtigen, wo Werte von 485 ml/min erreicht wurden. In den ersten sechs Minuten lag der Schnitt bei $423,5 \pm 49,58$ ml/min, danach bei $341,1 \pm 14,28$ ml/min.

In der Erholungsphase kam es erwartungsgemäß zu einem Abfall des Mittelwertes auf $302,68 \pm 15,54$ ml/min ($p < 0.001$). Auch hier wurden die höchsten Werte mit 350,9 ml/min kurze Zeit nach Beginn der Erholungsphase erreicht.

5.5.4.2 Frauen

Dieser Wert lag während der Ruhephase bei $224,73 \pm 8,10$ ml/min ($p < 0.001$), wobei die Werte eng beieinanderliegen. Ungefähr 30 Minuten nach Beginn des Versuchs kam es mit der Testphase als Stressor zu einer Erhöhung, die ähnlich wie bei VO_2 vor allem während der ersten Minuten zu erkennen war. In diesem Zeitraum lag das Mittel bei $299,6 \pm 38,7$ ml/min, während der gesamte Test-Mittelwert $248,32 \pm 25,68$ ml/min ($p < 0.001$) betrug.

In der letzten Phase sank das Mittel deutlich unter den Stress- und den Ruhewert mit $207,02 \pm 13,69$ ml/min ($p < 0.001$).

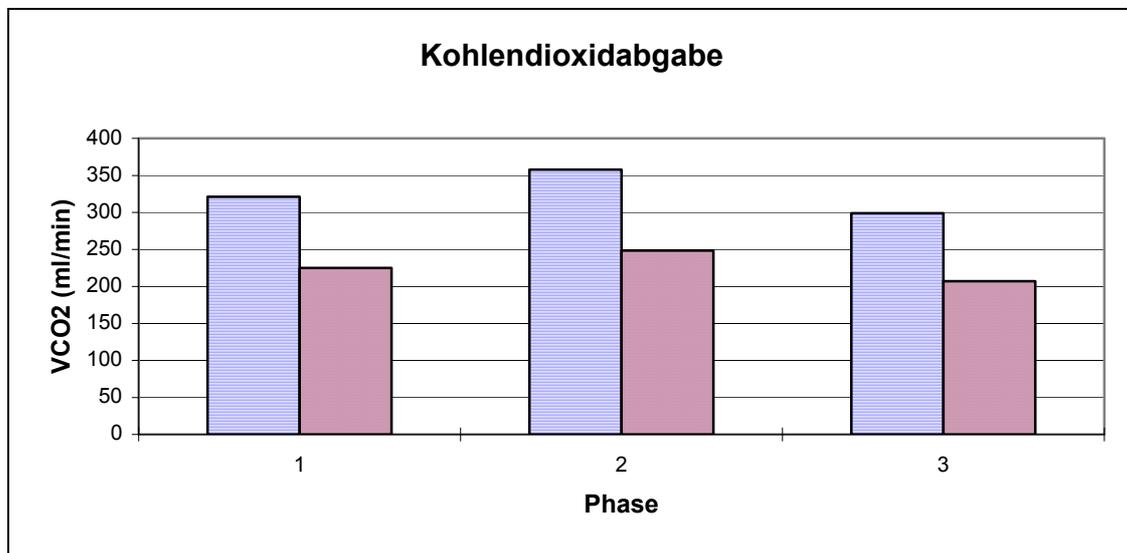


Abb.21 Kohlendioxidabgabe bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Hier ist ein Anstieg in der Testphase zu erkennen. Das Niveau der anschließenden Erholungsphase liegt unter dem der Ruhephase zu Beginn des Versuchs.

5.5.4.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Bei VCO_2 lagen die Unterschiede zwischen den Mittelwerten bezogen auf die gemessenen Werte bei Männern und Frauen wie auch bei der Sauerstoffaufnahme signifikant auseinander.

In der ersten Phase betrug das Mittel der Männer $327,4 \pm 7,3$ ml/min, das der Frauen $224,7 \pm 8,1$ ml/min.

Im mentalen Belastungstest stieg die Kohlendioxidabgabe der Männer auf $356,2 \pm 41,06$ ml/min während die bei Frauen auf $248,3 \pm 25,6$ ml/min kletterte.

Während der Erholung lag der Mittelwert der Männer bei $302,6 \pm 15,5$ ml/min, der Frauen bei $207,0 \pm 13,7$ ml/min.

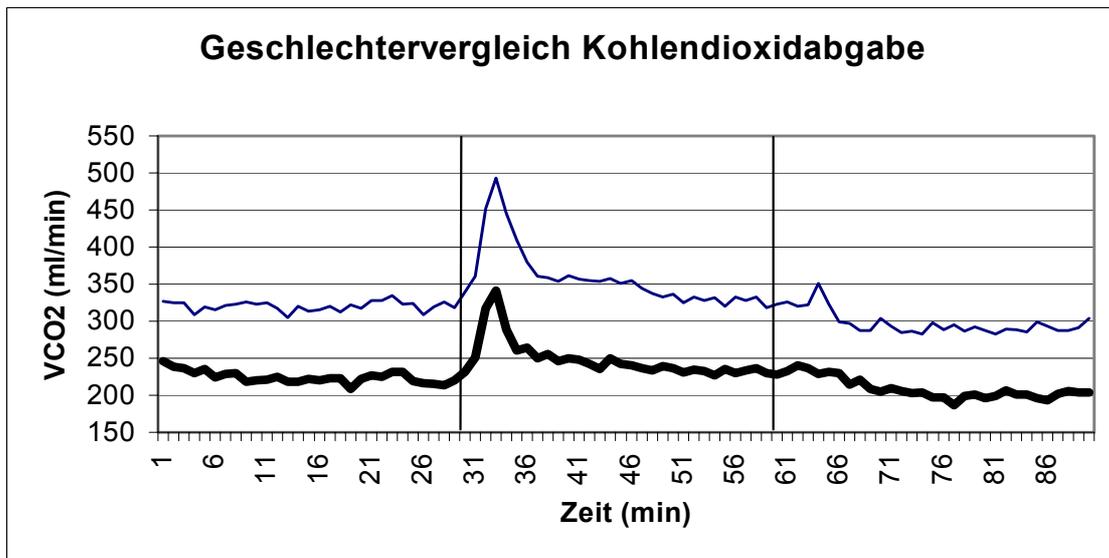


Abb.22 Unterschied der Kohlendioxidabgabe der Männer (dünne Linie) verglichen mit Frauen (dicke Linie). Der Testbeginn lag bei 30 Minuten (erste vertikale Linie), das Ende bei 60 Minuten (zweite vertikale Linie).

Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhtem Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe fallen die Werte wieder stark ab, wobei sie noch das Niveau zu Beginn des Versuchs unterschreiten.

5.5.4.4 Vergleich VO₂ zu VCO₂ bei beiden Geschlechtern

Hier sind vor allem die relativen Werte von Interesse. Bei einem Anstieg von VO₂ um 29 ml/min bei männlichen Probanden betrug der VCO₂ Anstieg von Ruhe zu Stress ebenfalls 29 ml/Min.

Ähnlich verhält es sich bei den Frauen. Hier kann man eine Zunahme von 26 mlO₂/min von 24 mlCO₂/min erkennen. Bei dem Übergang von Stress zu Erholung fällt der VO₂ der Männer um 45 ml/min, der VCO₂ um 54 ml/min. Bei den Frauen fällt in dieser Phase die VO₂ um 29 ml/min und die VCO₂ um 41 ml/min. Somit lässt sich sagen, dass die Frauen trotz ihrer kleineren Ausgangswerte bei VO₂ und VCO₂ beim Anstieg zwischen Ruhe und Testphase ähnlich hohe Werte besitzen wie die Männer. In der Erholungsphase allerdings fallen diese dann nicht so stark ab wie die der Probanden.

5.5.5 Atemzugvolumen Vt(gemessen in l)

5.5.5.1 Männer

Dieser als Vt bezeichnete Wert betrug in Ruhe $0,7373 \pm 0,031$ l ($p < 0,001$). Unter Stressanforderung stieg er bis auf 1,03 l nach drei Minuten an. Im Schnitt lag der Wert bei $0,8324 \pm 0,059$ l ($p < 0,001$). Der Verlauf verhielt sich ähnlich zu den anderen Parametern, wie z.B. VO₂ oder VCO₂. Anfänglich ergab sich ein Mittelwert von $0,92 \pm 0,08$ l, der sich dann bis auf einen Mittelwert von $0,83 \pm 0,02$ l ab der sechsten Minute reduzierte.

Zu Beginn der Erholung lagen die Werte weiterhin etwas erhöht auf dem Niveau des Testdurchschnitts, bevor sie nach fünf Minuten absanken, um sich auf einem Mittelwert von $0,72 \pm 0,04$ l zu stabilisieren. Der Gesamtmittelwert der Erholung lag bei $0,7433 \pm 0,063$ l ($p < 0,001$).

Somit zeigte sich eine während der Testperiode deutlich zu erkennende Vertiefung der Atemzüge.

5.5.5.2 Frauen

Bei diesem Wert konnte man ähnlich wie bei den vorhergehenden Werten nach einem niedrigen Ruhenniveau von $0,51 \pm 0,021$ l ($p < 0,001$) einen Anstieg auf $0,60 \pm 0,039$ l ($p < 0,001$) beobachten. Auch hier war der höchste Wert nach drei Minuten mit einem Wert von 0,72 l zu erreichen. In der Erholungsphase ging das Atemzugvolumen wieder

zurück auf einen Wert von $0,48 \pm 0,045$ l ($p < 0,001$). Somit kam es stressbedingt zu einer Zunahme der Atemtiefe.

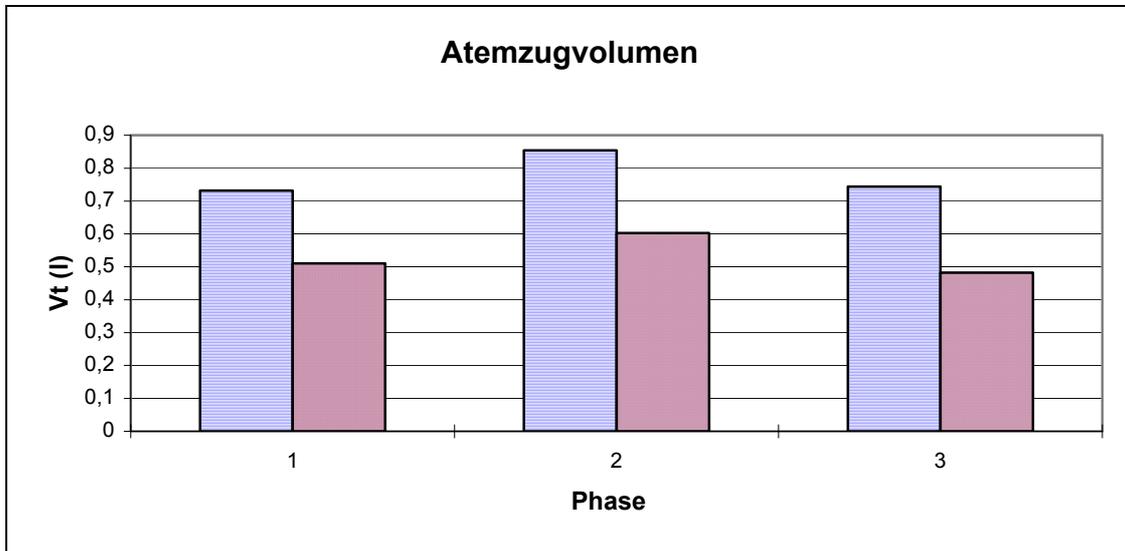


Abb.23 Atemzugvolumen bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Man sieht einen Anstieg während der Stressexposition.

5.5.5.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Hier kann man deutliche Unterschiede erkennen, die natürlich mitbedingt sind durch das unterschiedliche Lungenvolumen. Männer zeigten in den drei Phasen des Versuchs stets höhere Werte, angefangen von $0,73$ l \pm $0,03$ während der Ruhe, $0,83$ l \pm $0,059$ während des Tests und $0,74$ l \pm $0,06$ in der Erholungsphase.

Bei Frauen kann man in den entsprechenden Phasen Werte von $0,51 \pm 0,02$ l, $0,60 \pm 0,039$ l und $0,48 \pm 0,04$ l messen. Bei den relativen Veränderungen zeigten sich kaum Unterschiede. Lediglich nach Testende fällt das Atemzugvolumen bei Frauen um $0,12$ l, während es bei Männern nur um $0,09$ l fällt

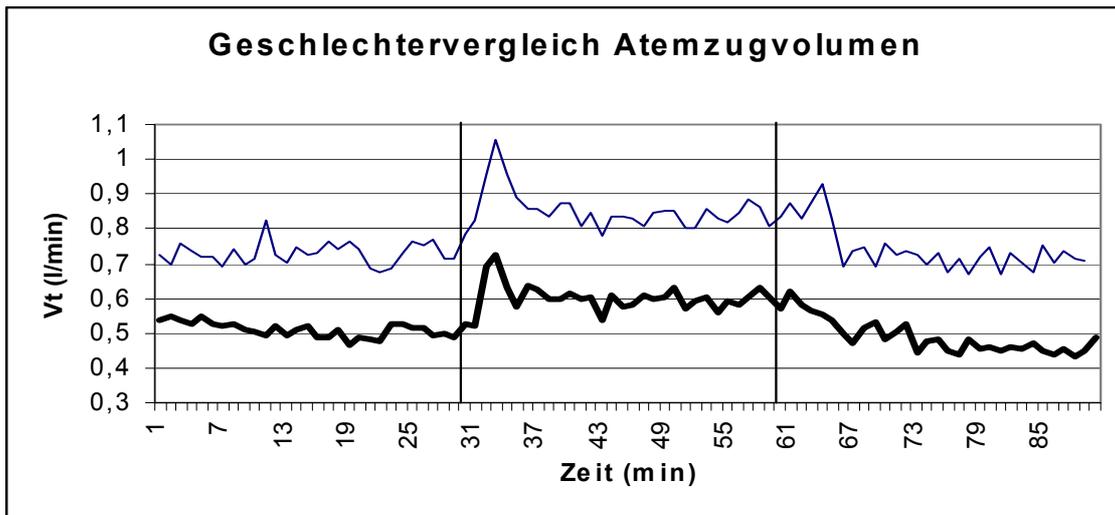


Abb.24 Atemminutenvolumen im Vergleich Männer (dünne Linie) und Frauen (dicke Linie). Der Testbeginn lag bei 30 Minuten (erste vertikale Linie), das Ende bei 60 Minuten (zweite vertikale Linie).

Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhtem Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe fallen die Werte wieder stark ab, wobei sie noch das Niveau zu Beginn des Versuchs unterschreiten.

5.5.6 Frequenz der Atemzüge (gemessen in Atemzügen pro Minute; Af/min)

5.5.6.1 Männer

Hierbei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Phasen. Lediglich in der Ruhephase stieg der Wert kurzzeitig auf über 15 Af/min, sicherlich bedingt durch Hyperventilation. Im Schnitt lagen die Werte in allen drei Phasen um 14 Af/min, wobei interessanterweise während der Testphase die Frequenz zurückging.

5.5.6.2 Frauen

Bei den weiblichen Probandinnen ging ähnlich wie bei den männlichen Versuchspersonen die Frequenz während der Testphase zurück, allerdings etwas

deutlicher. Der Ruhewert lag bei $15,38 \pm 0,58$ Atemzüge pro Minute und der Testwert bei $14,2 \pm 0,77$ Af/min.

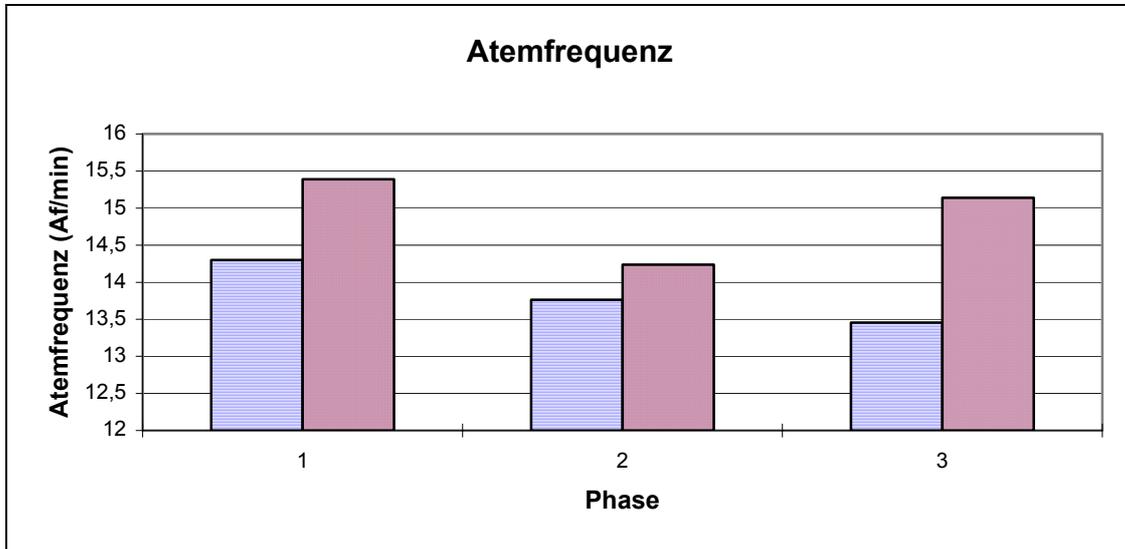


Abb.25 Atemzugfrequenz bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Hier ist bei Männern ein Abfall während der Erholung gegenüber den anderen Versuchsabschnitten zu erkennen, bei Frauen hingegen steigt die Frequenz in der Erholungsphase wieder bis knapp unterhalb das Ruhenniveau an.

5.5.6.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Auch hier gibt es anatomisch bedingte Unterschiede die sich in den gemessene Werten widerspiegeln. Frauen haben wegen ihres durchschnittlich kleineren Lungenvolumens die höhere Atemfrequenz mit 15 Af/min in Ruhe, 14 Af/min während Belastung und 15 Af/min in Erholung. Bei den Männern liegen diese Wert bei 14 Af/min, 13 Af/min und wiederum 13 Af/min. Somit erhöht die männliche Probandengruppe die Atemfrequenz nach dem Testende nicht, während Frauen wieder häufiger atmen.

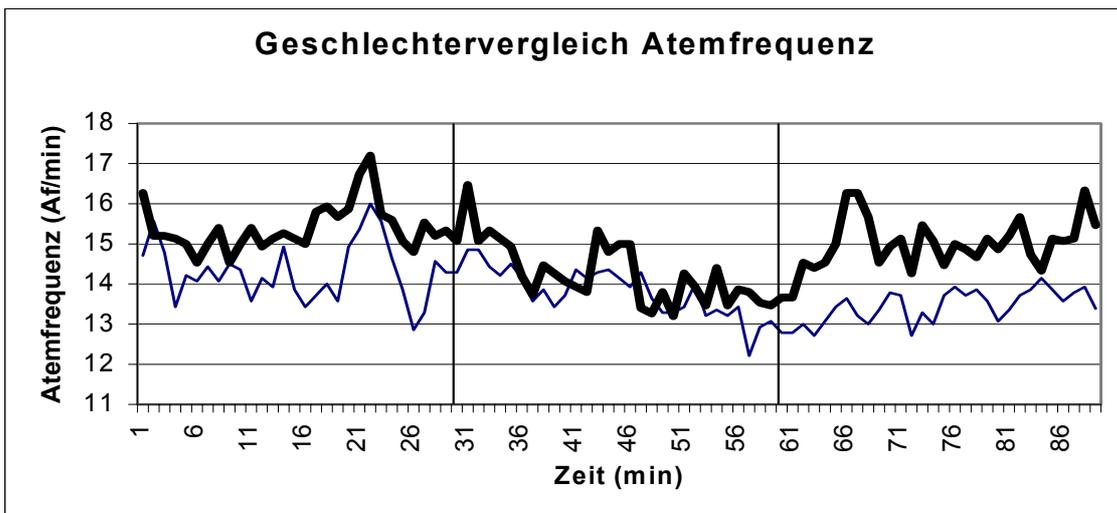


Abb.26 Atemfrequenz im Vergleich Männer (dünne Linie) und Frauen (dicke Linie), Testbeginn bei 30 Minuten (erste vertikale Linie), Testende bei 60 Minuten (zweite vertikale Linie).

Hier erkennt man einen Abfall zu Beginn des Tests, der sich durch die gesamte halbstündige Testphase zieht. Nach Abschluss der Stressexposition steigt der Mittelwert wieder an.

5.5.7 Atemminutenvolumen V_E (gemessen in l/min)

5.5.7.1 Männer

Das Atemminutenvolumen betrug in der Ruhephase $10,05 \pm 0,194$ l/min ($p < 0.001$), wobei eine einheitliche Werteverteilung zu erkennen ist.

Während des Tests stiegen die Werte an, die Spitze lag drei Minuten nach Beginn bei 14,0 l/min, der Schnitt pendelte sich ein bei $10,88 \pm 1,02$ l/min ($p < 0.001$). In der Erholungsphase kam es zu einem signifikanten Abfall von V_E , erkennbar am Durchschnitt von $9,30 \pm 0,44$ l/min ($p < 0.001$).

5.5.7.2 Frauen

V_E lag während der Ruhephase bei durchschnittlich $7,62 \pm 0,34$ l/min ($p < 0,001$), wobei man keine großen Ausschläge der Werte erkennen konnte. Erst in den ersten Minuten der Testphase stieg der Wert signifikant über 8 l/min, um sich dann im Mittel auf $8,12 \pm 0,49$ l/min ($p < 0,001$) einzupendeln.

In der abschließenden Erholungsphase lag der Wert bei $7,05 \pm 0,51$ l/min ($p < 0,001$) und damit signifikant unter dem Testniveau und der Ruhephase.

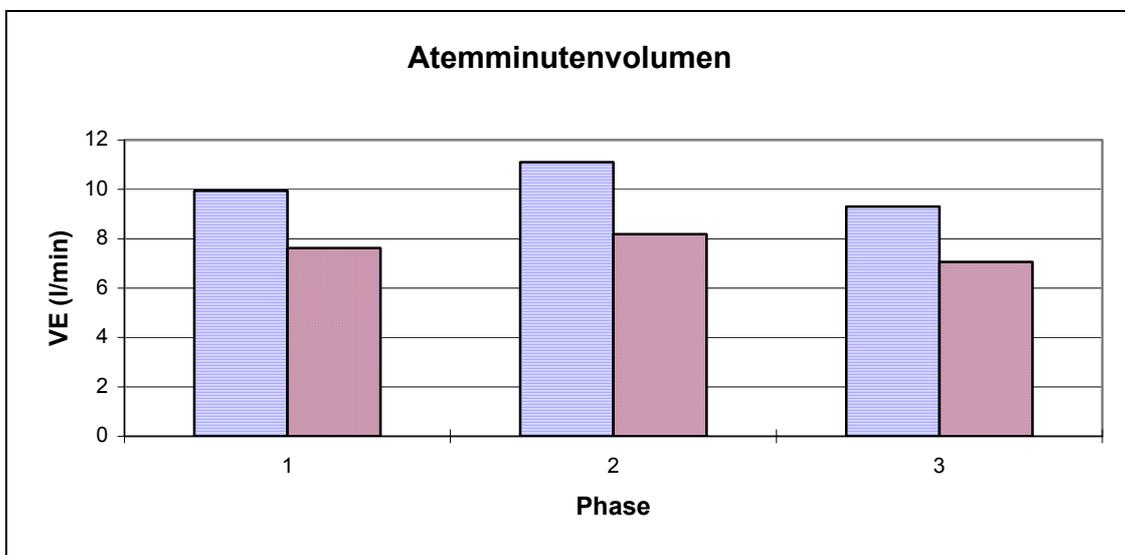


Abb.27 Atemminutenvolumen bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Es ist ein geringer Anstieg zu Beginn in der Testphase zu erkennen.

5.5.7.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Hier lagen die absoluten Werte der Frauen stets unter denen ihrer männlichen Kollegen. Besonders deutlich zeigte sich das in der Stressphase, in der Frauen im Schnitt ein Volumen von $8,1 \pm 0,49$ l/min atmeten, während Männer in dieser Zeit $10,8 \pm 0,99$ l/min benötigten.

In der Erholungsphase war der Unterschied ebenfalls deutlich, da die Frauen Messwerte von $7,0 \pm 0,51$ l/min hatten, Männer hingegen Werte von $9,3 \pm 0,52$ l/min aufwiesen.

In den Veränderungen zwischen den einzelnen Testphasen ergaben sich kaum größere Unterschiede. Einem stressbedingten Anstieg von 0,8 l/min bei den Männern standen 0,5 l/min bei den Frauen gegenüber, einem erholungsbedingten Abfall von 1,5 l/min bei den Männern 1,1 l/min bei den Frauen.

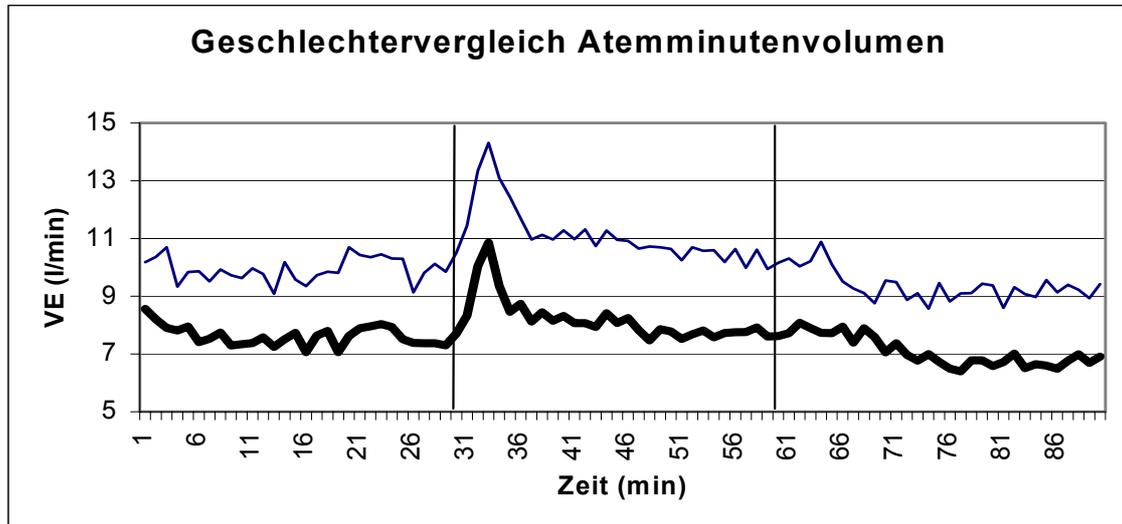


Abb.28 Atemminutenvolumen bei Männern (dünne Linie) und Frauen (dicke Linie), Testbeginn war bei 30 Minuten (erste vertikale Linie), Testende bei 60 Minuten (zweite vertikale Linie).

Man kann deutlich den Anstieg zu Beginn der Testphase erkennen. Kurz darauf pendeln sich die Werte auf einem gegenüber der Ruhephase erhöhtem Niveau ein. Nach Beendigung der Testreihe fallen die Werte wieder stark ab, wobei sie noch das Niveau zu Beginn des Versuchs unterschreiten.

5.5.8 Respiratorischer Quotient

5.5.8.1 Männer

Der mit RQ abgekürzte Wert des Respiratorischen Quotienten lag bei den Männern in der Ruhephase bei $0,86 \pm 0,01$ ($p < 0,5$). Der Median hierbei betrug in dieser Phase des Versuchs 0,86.

Während der folgenden Testphase kam es zu einem geringen Anstieg auf $0,87 \pm 0,04$ ($p < 0,001$) bei einem Median von 0,86, der sich somit fast unverändert zur Ruhephase präsentierte. Hierbei gilt es allerdings zu berücksichtigen, dass während der ersten zehn Minuten der Mittelwert am höchsten lag, bei $0,93 \pm 0,03$ (Median $0,93 \pm 0,03$) verglichen mit einem Durchschnittswert der restlichen Testphase von $0,85 \pm 0,01$ mit einem Median von ebenfalls $0,85 \pm 0,01$.

In der abschließenden Erholungsphase fielen diese Werte deutlich unter die des Ausgangsniveaus auf $0,82 \pm 0,02$ ($p < 0,001$) (Median $0,82 \pm 0,02$)

5.5.8.2 Frauen

Die Mittelwerte des RQ lagen in etwa im Bereich der männlichen Kollegen bei in Ruhe $0,87 \pm 0,01$ ($p > 0,5$), unter Testbedingungen $0,87 \pm 0,03$ ($p < 0,001$) und in der Erholungsphase bei $0,81 \pm 0,01$ ($p < 0,001$).

Die zugehörigen Mediane ergaben 0,87, 0,86 und 0,81, die Standardabweichungen waren vergleichbar mit denen der Mittelwerte. Auch hier macht es Sinn die Testphase im Verlauf zu betrachten, da es während der ersten zehn Minuten zu einem überproportionalen Anstieg auf $0,91 \pm 0,03$ (Median $0,91 \pm 0,03$) kam, der sich danach aber wieder abschwächte auf ein Mittel von $0,85 \pm 0,01$ (Median $0,85 \pm 0,01$).

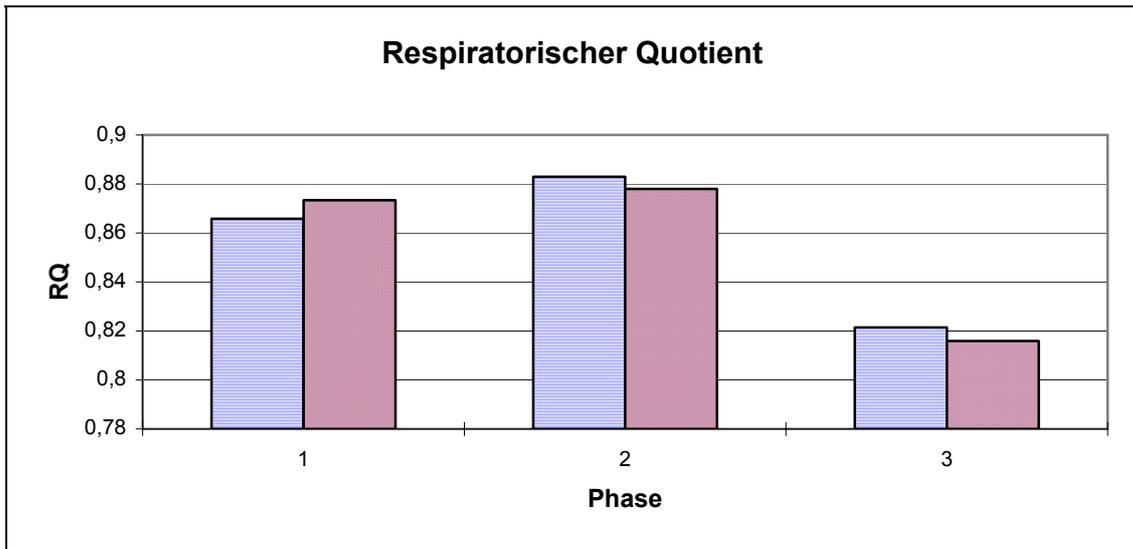


Abb.29 Respiratorischer Quotient bei Männern (hell) und Frauen (dunkel).

Man erkennt deutlich den Anstieg in der Testphase und den anschließenden Abfall unter das Ausgangsniveau zu Versuchsbeginn.

5.5.8.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Hier zeigten die Werte ein ähnliches Verhalten wie beim zuvor besprochenen Atemminutenvolumen. Auch die Anstiege bzw. Abfälle zu Beginn einer neuen Phase des Versuchs waren vergleichbar.

Bei den Männern war in den ersten zehn Minuten der Testphase ein etwas höherer Anstieg auf 0,93 zu sehen, verglichen mit den Frauen, die einen Wert in dieser Phase von 0,91 aufwiesen. Dies galt sowohl für den Mittelwertes als auch für den Median.

Während des abschließenden Teils des Versuchs kehrten diese Werte aber auf ein in etwa vergleichbares Niveau zurück.

Hierbei muss man allerdings erwähnen, dass die Ruhephase der Frauen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p > 0,5$ nur unter Vorbehalt zu betrachten ist.

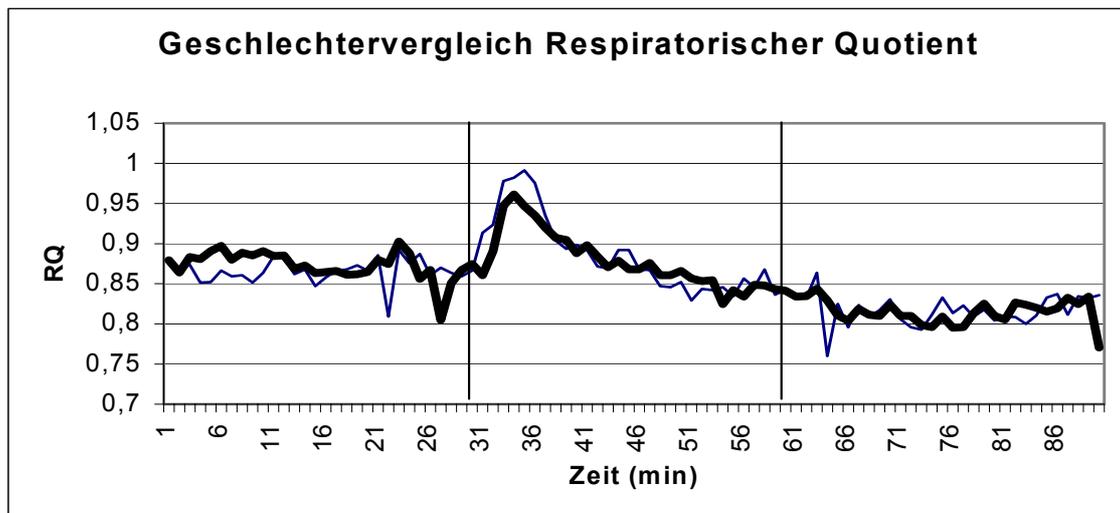


Abb.30 Respiratorischer Quotient bei Männern (dünne Linie) und Frauen (dicke Linie), Testbeginn bei 30 Minuten (erste vertikale Linie), Testende bei 60 Minuten (zweite vertikale Linie). Man erkennt einen starken Anstieg zu Beginn der Testphase, der jedoch rasch wieder abfällt.

5.5.9 Peripherer Widerstand (TPR)

5.5.9.1 Männer

Nach 20 Minuten zeigte sich ein Herzminutenvolumen (HMV) von 2,77 l/min. Daraus läßt sich ein TPR von 2432,6 dyn errechnen. Zehn Minuten nach Beginn des Tests stieg das HMV auf 3,13 l/min an. Bedingt durch diesen höheren Divisor kam es zu einem Abfall des peripheren Widerstandes auf 2111,6 dyn. Am Ende des Tests, 60 Minuten nach Versuchsbeginn, fiel das Herzminutenvolumen auf 2,98 l/min ab. Dadurch ließ sich ein TPR von 2501,02 dyn ermitteln. Zehn Minuten vor Beendigung des Versuchs war ein HMV von 2,43 l/min zu errechnen, das einem peripheren Widerstand von 2678,3 dyn entspricht. Somit kam es in der initialen Testphase zu einem Abfall des TPR, der am Ende des Tests über dem Ruhewert lag. In der Erholungsphase kam es zu einer Erhöhung des TPR.

5.5.9.2 Frauen

Auch hier zeigte sich ein ähnlicher Verlauf. Einem HMV von 1,98 l/min 20 Minuten nach Beginn des Versuchs (TPR 3170,1 dyn) folgte ein Anstieg des HMV auf 2,34 l/min und damit ein Abfall des TPR auf 2845,6 dyn. Nach Beendigung des Tests fiel das HMV wieder ab auf 2,07 l/min verbunden mit einem Anstieg des TPR auf 3389,8 dyn. Zum Ende des Versuchs fiel das HMV wieder ab auf 1,88 l/min. Dies bedeutete einen Anstieg des TPR auf 3529,3 dyn.

Somit kommt es hier, ebenso wie bei den Männern, zu einem Abfall des TPR zu Testbeginn. Danach steigt er wieder an, mit einem Maximum in der Erholungsphase

5.5.9.3 Vergleich zwischen den Geschlechtern

Zwischen den Geschlechtern verändert der totale periphere Widerstand in der relativen Betrachtung seinen Verlauf kaum. Frauen haben höhere Ausgangswerte. Bei beiden Geschlechtern kommt es zu einem Abfall zu Beginn des Tests (Frauen um 325 dyn, Männer um 321 dyn). Danach steigt der TPR um 544 dyn bei Frauen und 390 dyn bei Männern wieder an. Beide erreichen die höchsten Werte in der Erholungsphase, wobei sich die Werte, verglichen mit der Ruhe (Differenz 738 dyn), weiter voneinander entfernt haben (Differenz 851 dyn).

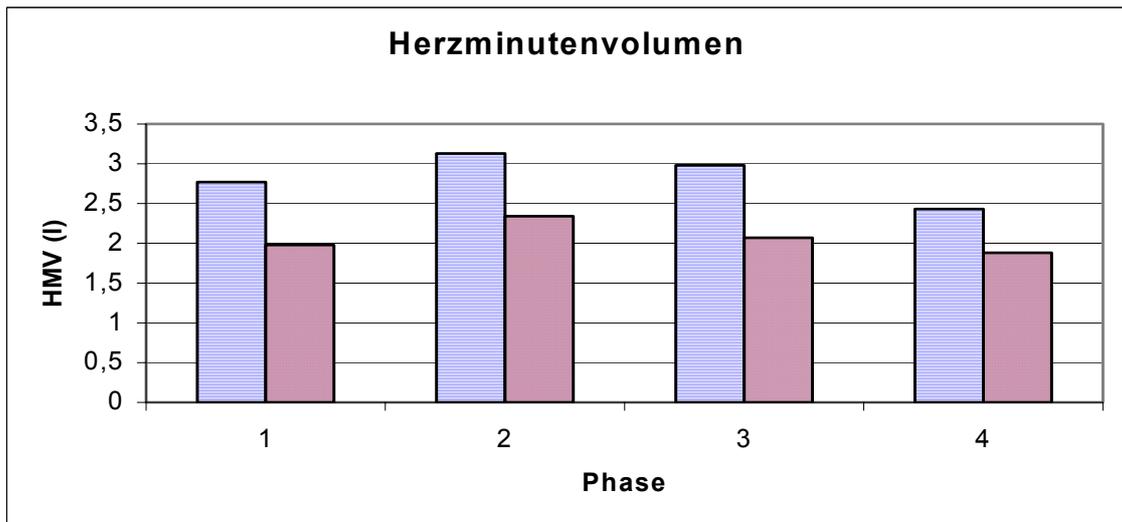


Abb.31 Herzminutenvolumen bei Männern (hell) und Frauen (dunkel).

Man kann einen Anstieg während der Testphase sowohl bei Männern als auch bei Frauen erkennen.

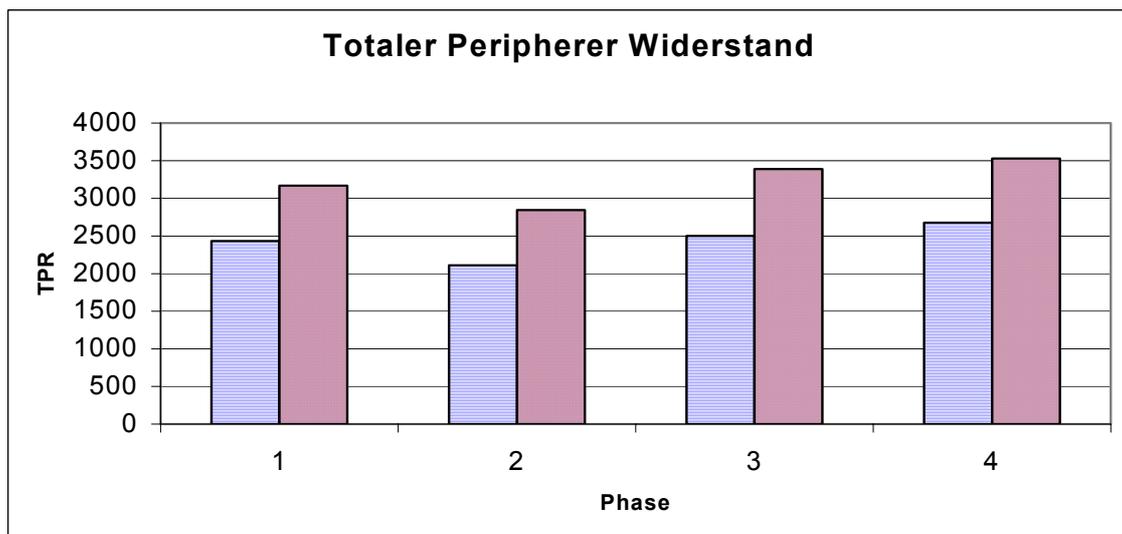


Abb.32 Totaler peripherer Widerstand bei Männern (hell) und Frauen (dunkel). Man kann einen Anstieg bei beiden Geschlechtern im Anschluß an den Test erkennen.

5.6 Korrelation zwischen Testleistung und gemessenen Parametern

Hierbei haben wir jeweils die drei Testbesten bzw. schlechtesten, gemessen aufgrund des Schwellenwertes SW, verglichen. Bei den verglichenen Probanden lag der Fehlerquotient einheitlich unter dem Durchschnitt, daher konnte man ihn vernachlässigen.

Bezogen wurde deren Schnitt weiterhin auf den Gesamtdurchschnitt, berechnet aus allen Probanden eines Geschlechts.

5.6.1 Männer

Bei der Hf waren keine größeren Veränderungen festzustellen, weder bei Probanden mit guten Ergebnissen noch bei denen mit schlechten.

Bei VO_2 waren die Durchschnitte beider Gruppen, der mit guten (g) und der mit schlechten (s) Testleistungen, interessanterweise deutlich unter dem Gesamtdurchschnitt. In Ruhe betragen diese bei (g) $361,9 \pm 12,9$ ml/min, bei (s) $352,3 \pm 11,9$ ml/min bei einem Gesamtdurchschnitt von $377,1 \pm 7,59$ ml/min. Während des Tests lagen die Werte bei $381,2 \pm 27,65$ ml/min bzw. $377,6 \pm 23,19$ ml/min verglichen mit $406,4 \pm 29,4$ ml/min als Mittelwert.

In der abschließenden Erholungsphase sah man bei (g) $349,5 \pm 25,42$ ml/min, bei (s) $337,5 \pm 20,61$ ml/min, beim Gesamtschnitt $361,1 \pm 13,4$ ml/min. Somit lässt sich sagen, dass bei beiden Randbereichen die Sauerstoffaufnahme unter dem Durchschnitt lag.

Ähnlich verhielt es sich bei VCO_2 . Auch hier lagen die Werte der Randgruppen unter dem Gesamtmittelwert der jeweiligen Versuchsphase.

Bei dem Atemzugvolumen V_t verhält es sich etwas anders. Man kann hier bei der Gruppe der Probanden mit besseren Testleistungen einen Durchschnitt erkennen, der stets über dem Gesamtdurchschnitt liegt, in Ruhe $0,79 \text{ l} \pm 0,08$, im Test $0,93 \text{ l} \pm 0,12$, in der Erholungsphase $0,80 \pm 0,16$ l. Die dazu gehörigen Werte der Gesamtheit liegen bei $0,73 \pm 0,03$ l, $0,83 \pm 0,05$ l, $0,74 \pm 0,06$ l.

Bei der Gruppe, die schlechtere Ergebnisse aufweist, liegen die Werte stets unter dem Gesamtdurchschnitt. In Ruhe betrug VCO_2 $0,65 \pm 0,06$ l, während des Tests $0,61 \pm 0,05$ l, in der Erholung $0,66 \pm 0,11$ l. Die vergleichbaren Werte sind oben abzulesen.

Somit kann man erkennen, dass die Atemzüge bei Probanden mit guten Ergebnissen tiefer werden, bei denen mit schlechten Ergebnissen hingegen flacher.

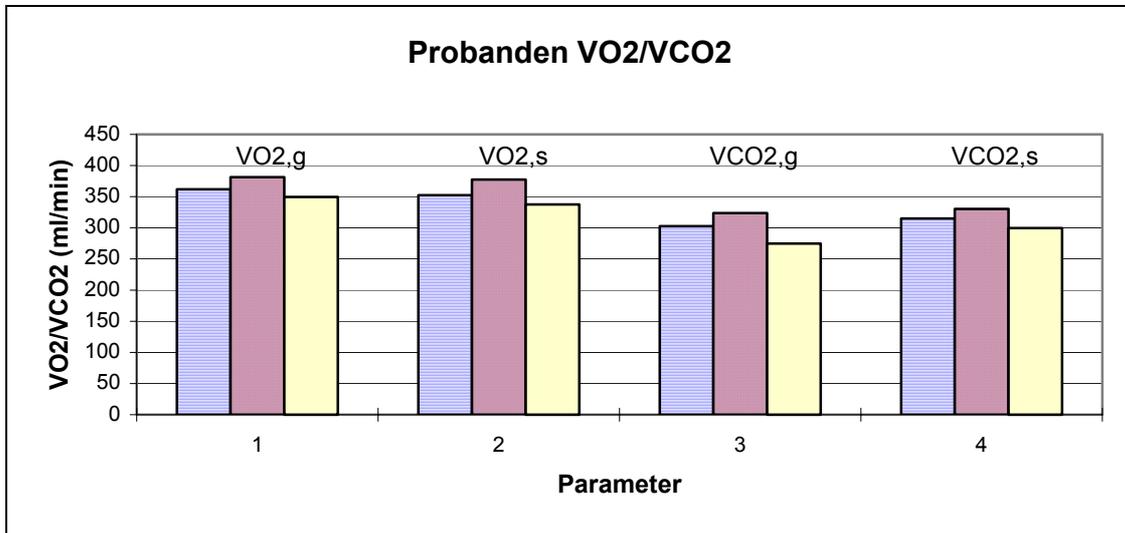


Abb.33 Hier sieht man eine Darstellung, die die Parameter VO_2 (1,2) und VCO_2 (3,4) der Probanden mit guten (g) Ergebnissen (1,3) mit denen der schlechten (s) (2,4) vergleicht. Die Farben beschreiben hier die Phasen des Versuchs (hell für Ruhe, dunkel für Test, gepunktet für Erholung)

Auch beim RQ zeigte sich eine Veränderung der Werte. Nach einem initial deutlich erniedrigtem Mittelwert des Probandenkollektivs mit guten Ergebnissen von $0,81 \pm 0,002$ bei einem Median von $0,81 \pm 0,002$ (verglichen bei einem Gesamtschnitt von $0,86 \pm 0,01$ bzw. $0,86 \pm 0,01$) kam es während der Testphase zu einem Abfall dieser Werte auf $0,79 \pm 0,008$ (Median $0,79 \pm 0,008$), der in der Erholungsphase bei $0,78 \pm 0,002$ seinen Tiefstand erreichte. Somit lagen alle Werte dieser Probandengruppe unter dem Schnitt und es kam gegen den Trend zu einem Abfall während der Testphase.

Bei Personen, deren Ergebnisse unterhalb des Schnitts lagen, konnte man diese Entwicklung nicht verfolgen. Hier lagen alle Werte stets über dem Schnitt des Kollektivs mit Werten von $0,87 \pm 0,001$, $0,874 \pm 0,004$ und $0,89 \pm 0,01$. Die Mediane lagen hierbei immer im Bereich der Mittelwerte. Somit kam es hier gegen den Trend zu einem Anstieg des RQ im Anschluss an den Test.

Bei dem abschließend verglichenem V_E gab es ebenfalls Unterschiede. Gute Ergebnisse waren verbunden mit einem, besonders während der Testphase, niedrigerem Wert von $9,63 \pm 0,90$ l/min bei einem Gesamtschnitt von $10,88 \pm 1,02$ l/min. Probanden mit schlechten Resultate hatten ebenfalls einen niedrigen Wert von $10,29 \pm 0,52$ l/min. Auch in der Erholungsphase war das V_E der Probanden mit guten Testleistungen mit $8,48 \pm 0,78$ l/min deutlich unter dem des Durchschnitts von $9,30 \pm 0,44$ l/min. Bei der schlechteren Teilgruppe lag dieser Wert kaum unter dem Schnitt.

Somit lässt sich hier eine Reduktion des Atemminutenvolumens erkennen, die sich vor allem bei Probanden zeigt, die während des KLT einen hohen RWL erzielt haben. Gleichzeitig steigt bei diesen das Atemminutenvolumen. Bei Probanden mit schlechteren Ergebnissen fällt V_E deutlich weniger, bei einem gleichzeitig deutlichen Abfall des Atemzugvolumens. Auch scheint der respiratorische Quotient ein sensibler Marker der Testleistungen zu sein, was sich allerdings beim weiblichen Kollektiv nicht bestätigen lässt (siehe 5.6.2).

Die Atemfrequenz zeigt einen der deutlichsten Unterschiede zwischen diesen Gruppen. Während Personen mit guten Resultaten im Schnitt in Ruhe 12,2 mal pro Minute atmeten, wurden bei Probanden mit schlechten Testergebnissen 15,5 Atemzüge verzeichnet. Während des Tests vergrößerte sich der Unterschied noch auf 11,1 Af/min bzw. 17,3 Af/min. Demnach steigt die Zahl der Atemzüge der Männer mit schlechteren Resultaten im Gegensatz zum Gesamtschnitt an.

In Erholung konnten Werte von 11,1 Af/min und 15,2 Af/min gesehen werden.

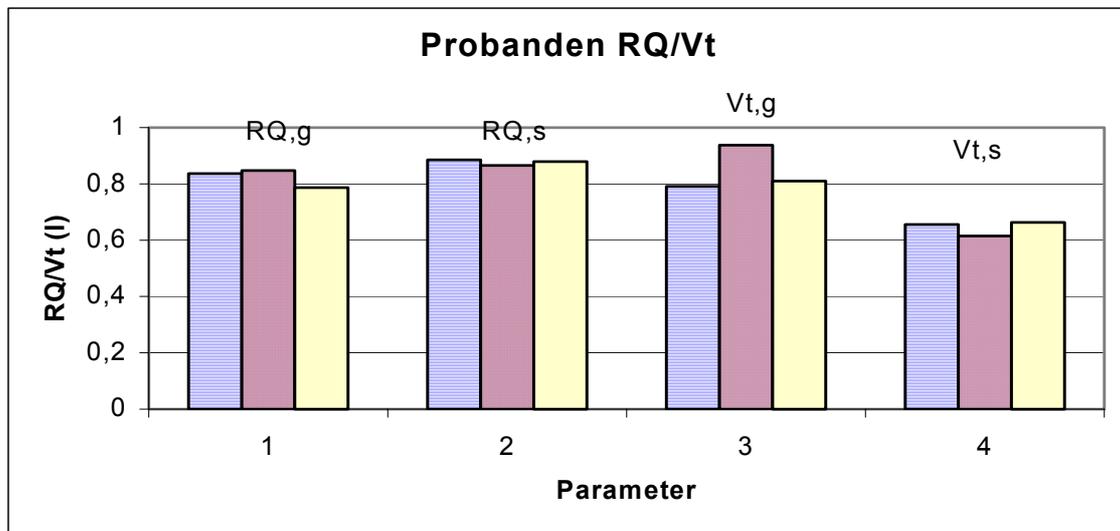


Abb.34 Diese Darstellung vergleicht die Werte RQ (1,2) und Vt (3,4) der Probanden untereinander. Probanden mit guten Ergebnissen (g) sieht man in 1 und 3, Probanden mit schlechten (s) in 2 und 4. Die Farben beschreiben hier die Phasen des Versuchs (hell für Ruhe, dunkel für Test, gepunktet für Erholung)

5.6.2 Frauen

Bei Probandinnen mit guten Testleistungen sah man eine deutlich niedrigere Herzfrequenz als beim Gesamtschnitt. Das äußerte sich in $68,2 \pm 2,44$, $75,5 \text{ S/min} \pm 2,40$ Schlägen pro Minute (S/min) und $67,1 \pm 3,53 \text{ S/min}$. Diese Werte beziehen sich auf Ruhe-, Test- und Erholungsphase. Die Vergleichswerte der Gesamtheit der Frauen lagen bei $76,3 \pm 0,85 \text{ S/min}$, $85,9 \pm 2,52 \text{ S/min}$, $75,0 \pm 3,3 \text{ S/min}$. Bei Frauen mit schlechteren Ergebnissen lag die Frequenz stets über dem Schnitt, wenn auch nicht signifikant. Die Werte hierzu lauteten $80,0 \pm 1,88 \text{ S/min}$, $88,6 \pm 3,4 \text{ S/min}$ und $76,8 \pm 3,5 \text{ S/min}$.

Ebenso zeigte sich ein Unterschied bei der Sauerstoffaufnahme VO_2 gemessen in Milliliter pro Minute (ml/min). Bei einem Gesamtdurchschnitt von $256,0 \pm 8,07 \text{ ml/min}$ in Ruhe, $282,0 \pm 22,0 \text{ ml/min}$ im Test und $253,0 \pm 15,7 \text{ ml/min}$ während der

Erholungsphase lagen diese Werte stets unter den Werten der Gruppe, die sich durch hervorragende Testleistungen auszeichnete und bis auf Erholung über denen derer mit schlechteren Resultaten. Die Werte bei Probandinnen mit guten Ergebnisse zeigten je nach Versuchsphase Zahlen von $294,8 \pm 17,02$ ml/min, $313,0 \pm 15,07$ ml/min, $299,1 \pm 20,33$ ml/min. Die Ergebnisse der schlechten Gruppe erbrachten Werte von $246,9 \pm 13,68$ ml/min, $265,2 \pm 40,7$ ml/min, $253,5 \pm 14,8$ ml/min.

Ähnlich verhält es sich bei der Kohlendioxidabgabe. Auch hier lag die Gruppe der Probandinnen mit besseren Ergebnissen ständig über der des Schnitts, während die Gruppe der Probandinnen mit schlechteren Ergebnissen immer unter dem Mittelwert der Gesamtheit zu finden war.

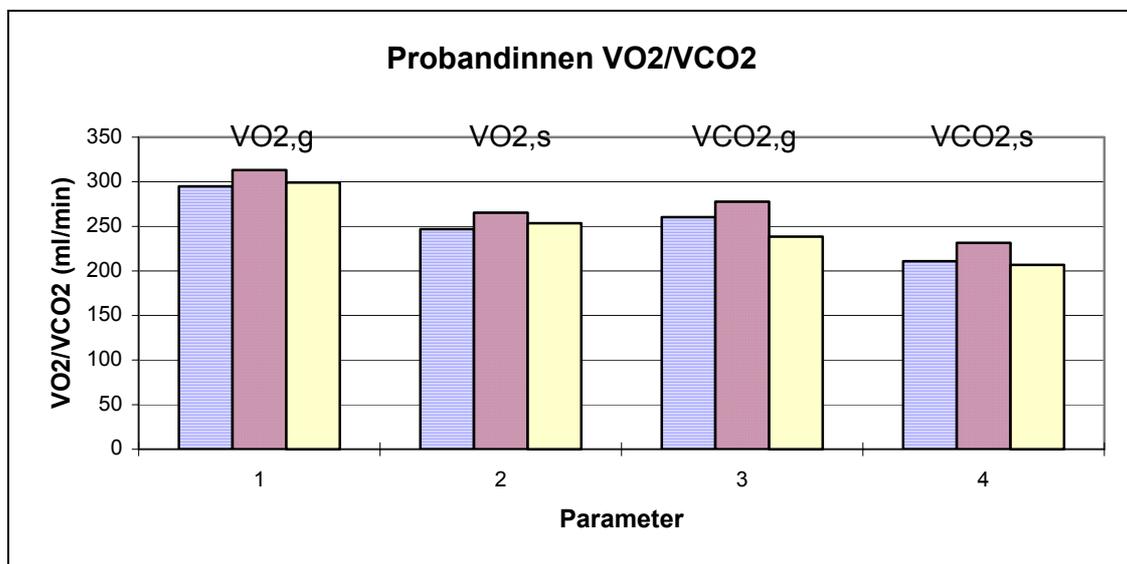


Abb.35 In dieser Darstellung werden VO_2 (1,2) und VCO_2 (3,4) der Probandinnen mit guten (g) Testleistungen (1,3) mit denen, die schlechte (s) Testergebnisse aufwiesen (2,4) verglichen. Man sieht in der ersten Spalte bei Frauen mit guten Testergebnissen einen höheren VO_2 Wert als bei Frauen mit schlechteren Ergebnissen. Ähnlich verhält es sich bei VCO_2 .

Vergleicht man hier den RQ, so sieht man einen interessanten Sachverhalt. Sowohl Personen mit guten als auch mit schlechten Ergebnissen weisen in der Testreihe einen ähnlichen Verlauf auf. Probandinnen, die gut abschnitten, ließen Werte von $0,84 \pm$

0,004, $0,81 \pm 0,01$ und $0,80 \pm 0,01$ erkennen. Die Mediane lagen dabei auf dem Niveau des Mittelwertes. Bei Frauen mit schlechten Ergebnissen lagen diese Werte nur unweit dieses Niveaus bei $0,83 \pm 0,001$, $0,81 \pm 0,007$ und $0,81 \pm 0,008$. Auch hier waren die Mediane in etwa in diesem Bereich angesiedelt.

Bei dem Atemzugvolumen V_t gemessen in Liter (l) lässt sich das gleiche Verhalten finden. Mit $0,56 \pm 0,04$ l, $0,76 \pm 0,07$ l, $0,54 \pm 0,10$ l bei guten Leistungen und $0,47 \pm 0,04$ l, $0,51 \pm 0,06$ l, $0,44 \pm 0,03$ l bei schlechten Leistungen lagen beide signifikant unter dem Durchschnitt, der Werte von $0,51 \pm 0,02$ l, $0,60 \pm 0,03$ l, $0,48 \pm 0,04$ l vorzuweisen hatte.

Bei V_E lassen sich keine signifikanten Unterschiede der Gruppen mit guten bzw. schlechten Ergebnissen bezogen auf die Leistung im Test ausmachen.

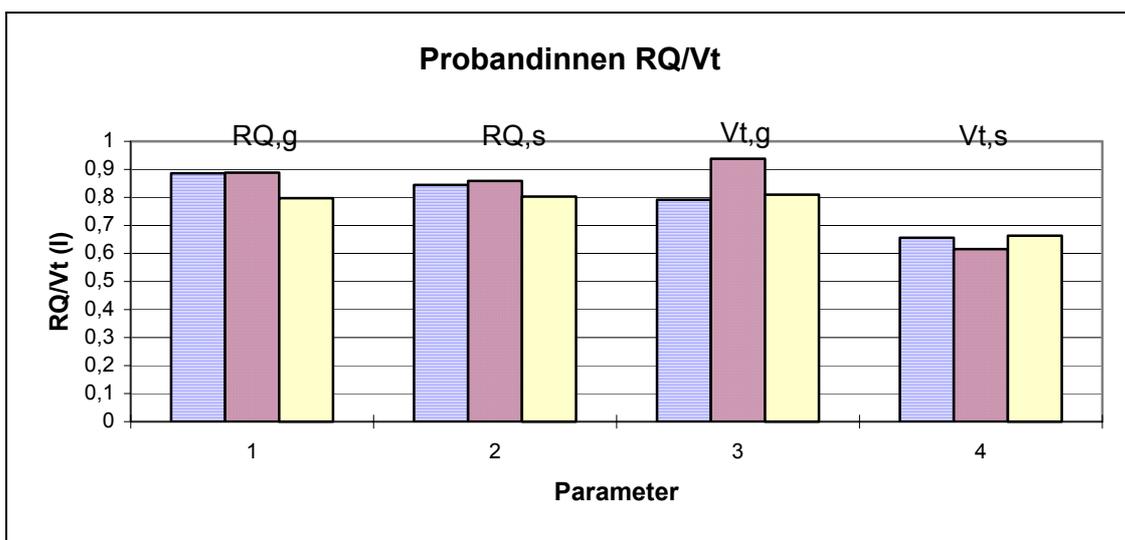


Abb.36 Diese Grafik vergleicht den Wert RQ (1,2) und V_t (3,4) der Gruppe mit guten (g) Ergebnissen (1,3) mit denen der Gruppe mit schlechten (s) Ergebnissen (2,4). Man kann erkennen, dass Frauen mit guten Ergebnissen einen höheren RQ aufweisen, gleichzeitig auch ein erhöhtes V_t verglichen mit Frauen, die schlechtere Ergebnisse erzielten.

Somit lässt sich feststellen, dass Personen mit höherem VO_2 und VCO_2 auch bessere Testergebnisse darboten. Das Atemzugvolumen zeigte einen ähnlichen Verlauf. Der RQ

hingegen schien dadurch nicht wesentlich beeinflusst, da das Verhältnis von VO_2 und VCO_2 weitgehend konstant bleibt.

Die Atemfrequenz der Frauen, gemessen in Atemzüge pro Minute (Af/min), zeigte wie bei den Männern deutliche Unterschiede. Frauen mit guten Testleistungen hatten Werte von 14,9 Af/min in Ruhe, 11,1 Af/min während des Tests und 13,8 Af/min in Erholung. Bei Probandinnen mit schlechteren Resultaten lauteten diese Werte 17,5 Af/min, 16,0 Af/min und 16,7 Af/min. Es bestand also stets ein deutlicher Unterschied, wobei beide Gruppen während des Tests seltener atmeten.

Somit atmeten Frauen mit guten Ergebnissen während psychischer Belastung tiefer und seltener.

5.7 Vergleich der männlichen und weiblichen Testleistungen

Bei der Hf liegen die Werte der Frauen, die ein gutes Ergebnis erzielt haben, deutlich unter denen der vergleichbaren Männergruppe. Bei denen, die schlechte Ergebnisse erzielten, verhält es sich umgekehrt. Hier haben die Frauen in allen Phasen höhere Werte.

Bei VO_2 liegen sowohl bei Männern als auch bei Frauen die Versuchspersonen mit schlechten Ergebnissen unter denen mit guten Ergebnissen. Bei Frauen sieht man weiterhin, dass die Gruppe mit guten Ergebnissen über dem Gesamtschnitt liegt, während die vergleichbare Männergruppe unter deren Gesamtschnitt zu finden ist.

VCO_2 zeigt den gleichen Verlauf. Die Werte der weiblichen Personen mit guten Testergebnissen liegen über denen des Durchschnitts, während die der Männer mit guten Ergebnissen darunter liegen.

Bei Vt gehen Männer und Frauen Hand in Hand. Die Gruppen mit guten Ergebnissen liegen deutlich über dem Schnitt, die mit schlechten darunter

Zum V_E lässt sich noch sagen, dass die Versuchspersonen mit guten Ergebnissen im KLT über dem Gesamtdurchschnitt zu finden sind, während die entgegengesetzte Gruppe, bei Frauen allerdings nur in der Testphase, darunter zu finden sind.

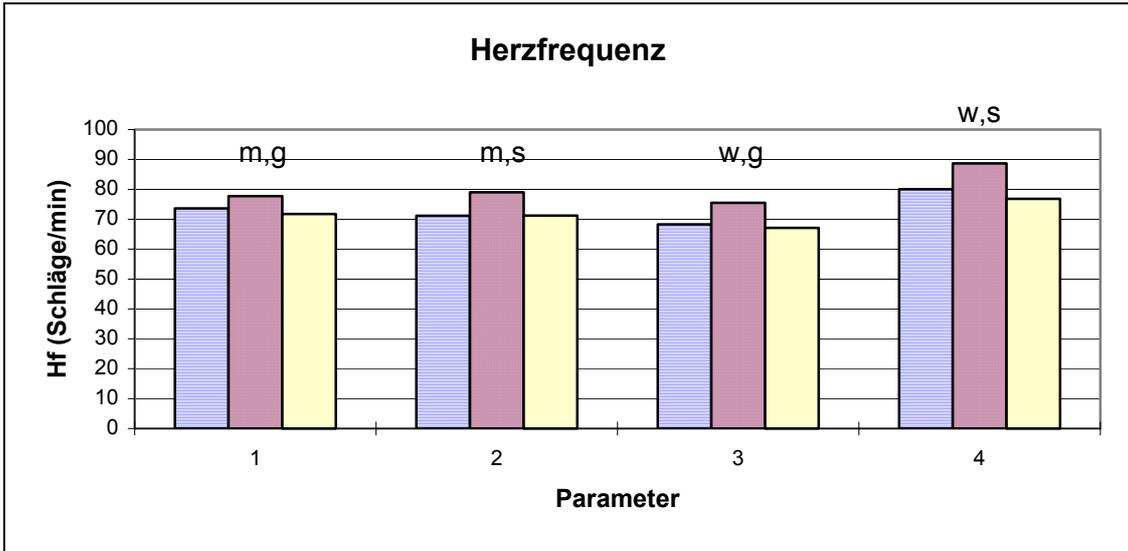


Abb.37 Die Grafik zeigt die Herzfrequenz der Männer (m) mit guten (g) Testresultaten (1), die der Männer mit schlechten (s) (2), Frauen (w) mit guten (3) und Frauen mit schlechten (4) Testleistungen. Es ist zu erkennen, dass Männer mit guten Resultaten einen höheren Puls aufweisen als Frauen mit guten Ergebnissen. Bei Männern und Frauen mit schlechten Resultaten verhält es sich umgekehrt, d. h. Frauen weisen hier einen erhöhten Pulschlag auf.

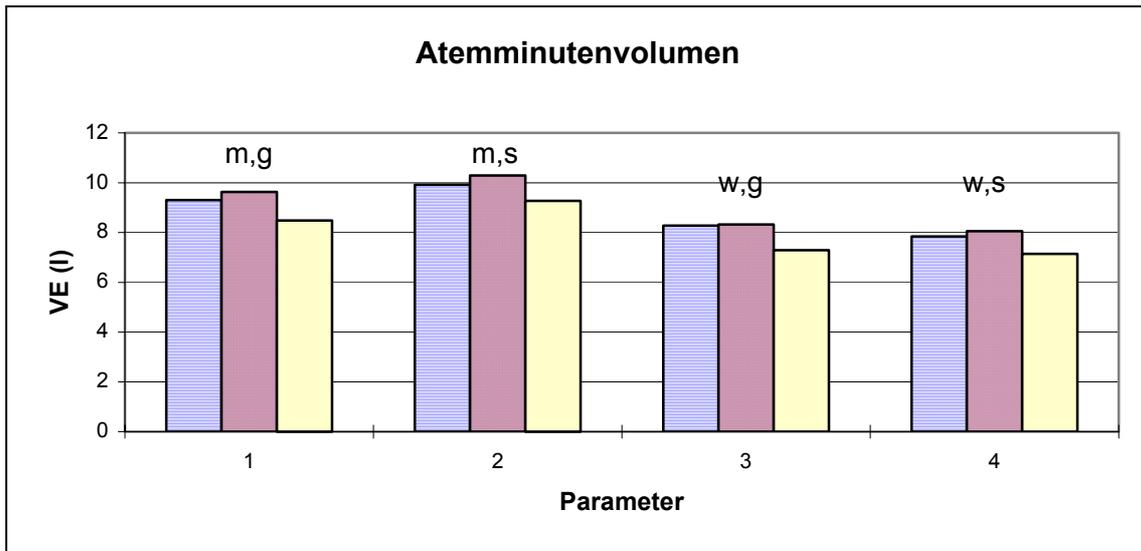


Abb.38 Das Verhalten von V_E wird differenziert in Männer (m) mit guten (g) (1) und mit schlechten (s) (2) Testergebnissen, Frauen (w) mit guten (3) und Frauen mit schlechten (4) Testresultaten. Man sieht bei Männern einen deutlichen Unterschied zwischen der Gruppe mit guten und der mit schlechten Ergebnissen. Bei Frauen ist dieser Unterschied nicht zu erkennen.

Beim RQ zeigen beide Geschlechter unterschiedliche Verläufe. Während sich die Werte der Probanden mit guten Testleistungen deutlich unter dem Gesamtschnitt bewegten, lagen die Werte der Männer mit schlechten Resultaten über der Gesamtheit, bei Frauen lagen sowohl Probandinnen mit guten als auch bei schlechten Testleistungen unter dem Schnitt. Gleichzeitig waren bei Probanden mit guten Ergebnissen niedrigere Messwerte als bei Probanden mit schlechten Resultaten zu erkennen, bei Frauen verhielt es sich umgekehrt.

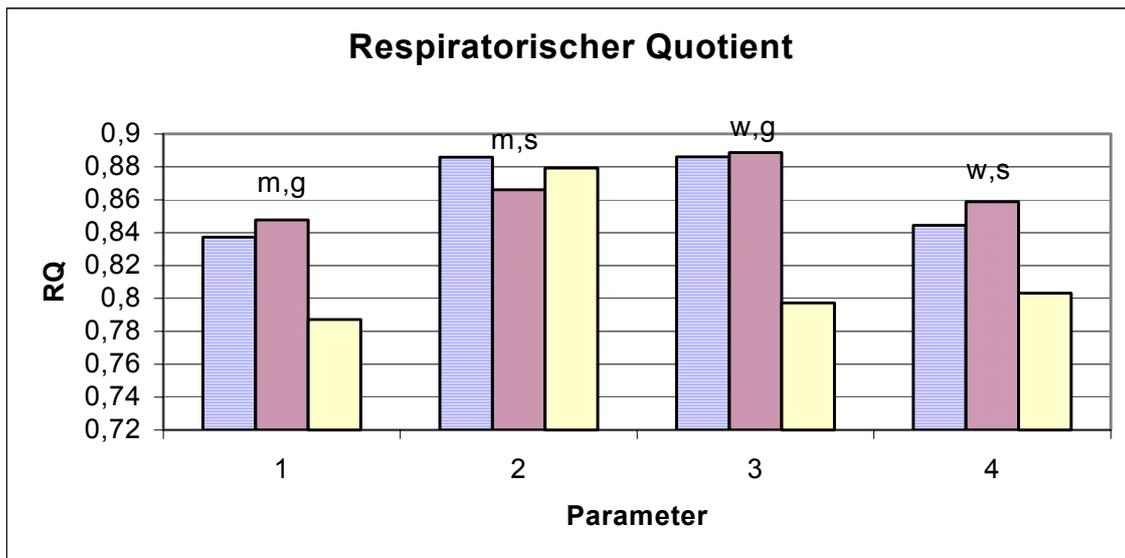


Abb.39 Der RQ der Probanden (m) mit guten (g) (1) und schlechten (s) (2) Testleistungen, bzw. Probandinnen (w) mit guten (3) und schlechten (4) Testleistungen. Dabei sieht man bei Männern einen deutlichen Anstieg zugunsten der Gruppe mit schlechteren Resultaten, besonders stark sieht man dies in der Erholungsphase nach Beendigung des Tests. Bei Frauen hingegen kommt es zu einem Abfall zugunsten der Gruppe, die schlechter abschnitt. Hier ist in der Erholung kein deutlicher Unterschied zu erkennen.

5.8 Wertekorrelation

5.8.1 Korrelation der gemessenen Werte unter Ruhebedingungen

In der Ruhephase korrelierten (Korrelation r) VO_2 und VCO_2 gut miteinander sowohl bei Männern ($r=0,69$, $p<0,001$) als auch bei Frauen ($r=0,85$, $p<0,001$). Auch V_E und VO_2 zeigten einen engen Zusammenhang vor allem beim weiblichen Geschlecht ($r=0,8$, $p<0,001$). Bei Männern hingegen bestand dieser in nur geringerem Maße ($r=0,68$, $p<0,001$). Bei Frauen fand sich weiterhin eine deutliche Korrelation zwischen V_t und V_E ($r=0,55$, $p<0,001$) und V_t zu VCO_2 ($r=0,57$, $p<0,001$). Bei V_E zu VCO_2 zeigte sich beim weiblichen Geschlecht ebenfalls ein enger Zusammenhang ($r=0,86$, $p<0,001$), bei Männern mit $r=0,68$ ($p<0,001$) ein geringfügig niedriger.

Auch die Herzfrequenz und der RQ waren eng verbunden mit 0,96 ($p < 0,001$) bei Männern und 0,97 ($p < 0,001$) bei Frauen. Ähnlich verhält es sich erwartungsgemäß zwischen den Atemwerten und dem RQ, die z. B. für VO_2 bei Männern bei 1 ($p < 0,001$) liegen, Frauen korrelieren immerhin noch mit 0,93 ($p < 0,001$).

Keine Korrelation zeigte sich zwischen der Herzfrequenz und V_E bei beiden Geschlechtern ($r = -0,26$; $r = -0,09$)

5.8.2 Korrelation der gemessenen Werte unter Stressbedingungen

Hier zeigen sich bei Männern gute Korrelationen zwischen VO_2 und VCO_2 ($r = 0,75$, $p < 0,001$); V_E und VO_2 ($r = 0,78$, $p < 0,001$); V_E und VCO_2 ($r = 0,96$, $p < 0,001$). Auch bei der Hf und VO_2 waren Übereinstimmungen zu erkennen ($r = 0,58$, $p < 0,001$).

In der Gruppe der Frauen zeigte sich bei fast allen Werten eine gute Korrelation, VO_2 zu VCO_2 ($r = 0,65$, $p < 0,001$), V_t zu V_E ($r = 0,45$, $p < 0,001$), V_t und VO_2 ($r = 0,40$, $p < 0,001$), V_E und VO_2 ($r = 0,66$, $p < 0,001$), V_t zu VCO_2 ($r = 0,50$, $p < 0,001$), V_E zu VCO_2 ($r = 0,95$, $p < 0,001$). Außerdem konnte man eine hohe Korrelation von Hf zu V_E erkennen ($r = 0,72$, $p < 0,001$), während derselbe Vergleich bei Männern zu einer Korrelation von $r = -0,78$ ($p < 0,001$) führte.

Bei der Herzfrequenz und dem RQ bestand im Gegensatz zu Ruhebedingungen keine Korrelation (Männer 0,2, $p < 0,001$; Frauen 0,17, $p < 0,001$). Auch hier herrscht Ähnlichkeit zu den Atemwerten, zu sehen am Beispiel von VO_2 , die mit 0,39 ($p < 0,001$) bei Männern bzw. 0,68 ($p < 0,001$) bei Frauen aber dennoch eine deutlich höhere Korrelation zum RQ aufwiesen.

5.8.3 Korrelation der gemessenen Werte unter Erholungsbedingungen

Hier rückten die Werte wieder enger zusammen. Bei Männern zeigte sich eine Korrelation stets über $r = 0,5$ ($p < 0,001$) bei folgenden Wertepaaren:

VO_2/VCO_2 ; VT/V_E ; VT/VO_2 ; V_E/VO_2 ; VT/VCO_2 ; V_E/VCO_2 ; Hf/ VO_2 .

Den höchsten Wert erreichte, wie schon unter Testbedingungen, V_E zu VCO_2 mit einer Korrelation von $r = 0,84$ ($p < 0,001$), den niedrigsten Hf zu V_E mit einer Korrelation von $r = -0,43$ ($p < 0,001$).

Bei den Probandinnen war die Korrelation der bei den Männern genannten Werte stets $r=0,58$ ($p<0,001$). Die höchsten Werte erreichten hier VO_2 zu VCO_2 mit $r=0,92$ ($p<0,001$), V_E zu VO_2 ($r=0,92$, $p<0,001$) und V_E zu VCO_2 ($r=0,94$, $p<0,001$).

Auch H_f und RQ waren eng korreliert bei Männern mit einem Wert annähernd 1 ($p<0,001$). Bei Frauen lag dieser nur um 0,5 ($p<0,001$). Anders verhält es sich hier mit den Atemwerten, so z. B. VO_2 , die beim männlichen Geschlecht nur mit 0,5 ($p<0,001$) und beim weiblichen mit 0,83 ($p<0,001$) korrelierten.

6 **Diskussion**

6.1 **Methodische Betrachtung**

Ziel dieser Untersuchung war es, Stress am Computer bzw. Bildschirmarbeitsplatz in realistischer Weise zu erzeugen und seine Auswirkungen auf Katecholamine sowie Kreislauf- und Ventilationsparameter zu messen. Auch wenn eine relativ kurze Stressexposition von 30 Minuten gewählt wurde, ist dies als wirklichkeitsnah anzusehen, da selbst Programmierer oder Fluglotsen neben einem hohen Maße an Routinearbeit fast ausschließlich intervallmäßig stressbelastet sind. Diese Belastung scheint am besten durch die Schaffung einer Prüfungs- bzw. Leistungssituation erreichbar. Gleichzeitig sollte diese Situation mit einer Bewertung verbunden sein.

Volking beschrieb 1976 deutliche Veränderungen der Herzaktivität infolge von Prüfungen mit Noten verglichen mit Prüfungen, die nicht bewertet wurden. Dabei bleibt allerdings die von Lazarus gestellte Frage nach der Motivation ein wichtiges Argument. Die physiologische Stressbelastung sollte bei dem Probanden auch eine Reaktion hervorrufen. Er muss seine Anstrengungen offensichtlich verstärken, um ein für sich gestecktes Ziel zu erreichen. Dieses Ziel haben wir versucht vorzugeben, indem jedem Probanden im Falle einer Höchstleistung eine Belohnung in Form eines Essensgutscheins in Aussicht gestellt wurde, sowie durch den Hinweis eines Vergleichs mit den Testergebnissen anderer Probanden. Weiterhin haben wir versucht in Vorgesprächen die Personen zu motivieren.

Mit dem Einfluss von psychischem Stress auf Kreislaufparameter haben sich bereits mehrere Arbeiten beschäftigt.

Becker beschäftigte sich 1996 mit dieser Problematik. Nach seinen Studien ist Stress eine Antwort des sympathischen Systems des Körpers. Somit lassen sich auch die messbaren Veränderungen erklären.

Wichtig ist es hierbei zu versuchenshon im Vorfeld störende Einflüsse auszuschließen. Dazu gehört Rauchen (Frankenhäuser 1971), das die Katecholamine stimulieren kann, und Alkohol oder Kaffee (Levi 1967), die ebenfalls auf die Katecholamine wirken. Diese Substanzen waren im unmittelbaren zeitlichen Umfeld des Versuchs verboten. Früh war es den Versuchspersonen hingegen noch gestattet ein Frühstück mit Kaffee

einzunehmen, auch Rauchen bis 12 Uhr wurde erlaubt, um damit vergleichbare Alltagsbedingungen zu schaffen.

Eine wichtige Rolle spielt außerdem das Alter. Hier gilt es vergleichbare Bedingungen zu schaffen, da es unterschiedliche Reaktionen zwischen unterschiedlichen Altersgruppen gibt. Bei älteren Versuchspersonen liegt eine Gefahr darin, bei Messungen vor allem des Blutdrucks und damit des peripheren Widerstands höhere Werte zu erhalten. Andererseits liegen Herzzeitvolumen und Schlagvolumen signifikant niedriger (Boutcher 1996), was ebenfalls zu Verfälschungen des berechneten peripheren Widerstandes führen kann, da diese Werte in der zur Berechnung herangezogenen Formel erscheinen. Auch scheint dadurch eine Veränderung der Atemparameter denkbar. Hier denke man besonders an eine durch ein verringertes HZV auftretende mögliche kompensatorische Vertiefung der Atmung. Weiterhin lassen sich Unterschiede im Reaktionsmuster auf psychische Belastungen erkennen. Ältere Probanden zeichnen sich durch größere absolute Werte der kardiovaskulären Antwort auf Stress aus, während bei Jüngeren vor allem relative Veränderungen zu sehen sind (Boutcher 1996). Auch der Umgang mit dem Medium Computer ruft in Personen, die keinen häufigen Umgang damit haben, Angst und ein Gefühl der Anspannung hervor. Hingegen erscheint es heutzutage beinahe selbstverständlich, einen schon vorher bestandenen Kontakt der jüngeren Altersgruppe damit vorauszusetzen.

Im Gegensatz dazu lassen sich keine Unterschiede der adrenomedullären Aktivierung im Stress zwischen Älteren und Jüngeren finden. Nur bei jüngeren Frauen kann man gelegentlich eine niedrigere sympatho-adrenomedullären Aktivität erkennen, die als Ursache der reduzierten Anfälligkeit bezüglich koronarer Herzkrankheiten diskutiert wird (Aslan 1980). Daraus lässt sich auch eine erhöhte Stresstoleranz des weiblichen Geschlechts folgern.

Eine erhöhte Noradrenalinantwort weist auf eine erhöhte Aktivität der postganglionären sympathischen Neurone hin (Barnes 1982).

Daher ist es von entscheidender Bedeutung, auf eine homogene Auswahl der Probanden zu achten.

Es lassen sich in der Plasma-NoradrenalinKonzentration des alten und des jungen Menschen Unterschiede finden (Christensen 1982), ähnlich wie auch bei den Triglyceriden und den Blutfetten. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass ältere

männliche Versuchspersonen eine Verbindung zwischen den Serumlipiden und der kardiovaskulären Antwort erkennen lassen (van-Doornen 1998). Dementsprechend verweisen wir erneut auf die wichtige Rolle der Ernährung.

Bei Frauen ist diese Verbindung zwischen den Triglyceriden und der kardialen Antwort stärker in der jüngeren Gruppe.

Die Triglyceride scheinen weiterhin erhöht zu sein bei Personen die Vogeles 1998 als "Hochfeindlich" bezeichnete. Danach haben Personen mit höherer Grundfeindlichkeit auch einen höheren Triglyceridewert und auch eine höhere Herzfrequenz.

Weitere störende Einflüsse, die es auszuschließen galt, waren vor allem der Lärm, auf dessen Auswirkungen auf den menschlichen Körper schon in der Einleitung hingewiesen wurde. Deshalb verwendeten wir Ohrstöpsel, welche die Versuchsperson vor Beginn des Tests in die Ohren steckte um sich damit gegen im Hintergrund ständig bestehende Straßengeräusche zu schützen. Unterschwelliger Straßelärm scheint zwar keinen Einfluss auf den systolischen Blutdruck oder die Herzfrequenz zu nehmen, genauso wie auf die Katecholamine, doch kann er auf die Konzentration störend wirken. Es galt auch ein Augenmerk auf die Haltung des Probanden zu legen, ob er sitzt oder steht. Lehmann fand 1981 heraus, dass die Arbeitskapazität in sitzender verglichen zu stehender oder liegender Position um bis zu 30% höher liegt. Die Parameter Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme zeigten keinen Unterschied zwischen verschiedenen Positionen, betrachtet man Ruhebedingungen. Erst bei einer maximalen körperlichen Belastung, die in unserer Studie nicht erreicht wurde, spielt die Körperposition eine Rolle.

Carroll (1997) nennt mit Ausbildungsgrad und Intelligenz einen weiteren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit. Er betrachtet hier den sozioökonomischen Status, aus dem hervorgeht, dass Personen mit einem höheren Grad an Ausbildung eine höhere systolische Blutdruckantwort verzeichnen, während der diastolische unverändert bleibt. Hierbei stellt sich die Frage, ob dies auch mit der Testleistung in Beziehung zu setzen ist, doch wiesen unsere Ergebnisse auf keinen derartigen Zusammenhang hin. Im Schnitt erzielten Studenten bessere Ergebnisse als der Gesamtschnitt, doch wurde das Spitzenergebnis von einer Angestellten erzielt. Daher erscheint es sinnvoll, ein Kollektiv zu wählen, das sich aus verschiedenen Alters- und Berufs- bzw. Ausbildungsgruppen zusammensetzt.

Ein ebenfalls zu überprüfender Punkt ist die Umgebungstemperatur. Hargreaves (1996) folgert hierbei, dass es unter sehr heißen Umgebungstemperaturen zu einem Anstieg der Plasma-Katecholamine kommt, verglichen mit einer angenehmen Umgebungstemperatur. Auch der Gasaustausch und das Plasmalaktat wurden bei ihm beeinflusst, ebenso wie der Glukosespiegel. Deshalb versuchten wir die Temperatur konstant bei 21 Grad Celsius zu halten.

Nicht berücksichtigt haben wir Kontrazeptiva, da dies nicht dem Wesen einer in den Alltag zu übertragenden Studie entspricht. Es kann jedoch bedingt durch Ovulationshemmer zu einer Beeinflussung der Blutdruckreliabilität kommen (von Eiff 1978).

Ebenfalls ohne Beachtung blieb bei uns der Zyklus der Frauen. Auch hier kann es während der Lutealphase zu einer leichten Erhöhung des Noradrenalins, verursacht durch eine Erhöhung der sympathischen neuralen Aktivität (Goldstein 1983) und dadurch zu einer leichten Verfälschung der gemessenen Werte kommen.

Demgegenüber finden sich auch Meinungen, die von keiner Beeinflussung ausgehen (Patkai 1974).

6.2 Problematik Arbeitsplatz

Es konnten mehrere Einflüsse von Stressbelastungen am Bildschirmarbeitsplatz auf den Stoffwechsel und das Herzkreislaufsystem festgestellt werden.

Hierbei sei vor allem auf die kardialen Veränderungen hingewiesen, doch zeigten sich auch deutliche Variationen der pulmonalen Parameter.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob nicht mehr getan werden müsste, um die Arbeitsbedingungen an Computerarbeitsplätzen zu verbessern und damit auch das Aufkommen von Stress zu reduzieren. Smith (1997) nennt hierbei auch einen Mangel an der Art der Arbeit. Das bedeutet, dass viele Personen sich und ihren Körper in Stress bringen, weil sie sich in ihrer Tätigkeit über- bzw. unterfordert fühlen. Damit verlangt die heutige Arbeitsmarktsituation ein Umdenken und ständiges Weiterlernen von jedem von uns. Weiterhin sieht er Gefahren beim Umgang mit den Vorgesetzten, eintönige Arbeit, wenig Eigenkontrolle und die Angst des Arbeitsplatzverlusts. Gefahren, die

ständig präsent scheinen, sind sie doch auch Thema der Presse, wodurch deren Bedeutung noch verstärkt wird.

Auch scheint es vorprogrammiert zu sein, dass sich die psychosomatischen Syndrome infolge der rapiden Veränderungen, die im Augenblick die Arbeitswelt beeinflussen, vermehrt zeigen werden (Arnetz 1997). Hier gilt es vor allem die, infolge des ständigen Drucks, hervorgerufen durch Existenz- und Versorgungsängste, steigenden Zahlen depressiv Kranker zu erwähnen. Häufig ist aber auch mangelnde Leistungsbereitschaft durch schlechte ergonomische Arbeitsbedingungen wie unangepasste Raumtemperaturen, schlechtes Licht oder auch schlechte Luft ausgelöst worden (Arnetz 1997). Diese Arbeitsbedingungen können mitunter auch das Privatleben beeinflussen, wodurch sich die Problematik noch verstärkt.

So sind Schlafstörungen oder somatischen Beschwerden als Folge von Problemen am Arbeitsplatz nicht selten (Arnetz 1997). Hier sollte man die Aufmerksamkeit vor allem auf zu hohe mentale Aufgaben richten, die auf zu geringe Fertigkeiten treffen (Arnetz 1997).

In einer von Matthews 1997 durchgeführte Studie wurde dargelegt, dass die Stressreaktion stark abhängig ist von persönlichen Konflikten, denen die Person im Alltag ausgesetzt ist. Hier sind es in erster Linie ständige Meinungsverschiedenheiten mit dem Chef oder Vorgesetzten, aber auch Kunden oder Anrufern, wie dies in der ansteigenden Zahl von sogenannten Call-Centern der Fall ist. Wirksamen Schutz davor gibt es kaum, handelt es sich bei der Stressbewältigung doch um eine Fähigkeit, die von Person zu Person stark variiert. Doch gibt es Ansätze, um dieses Problem besser in den Griff zu bekommen. Hier sei vor allem der lateinische Ausdruck "mens sana in corpore sano" erwähnt, ein gesunder Geist in einem gesunden Körper. Durch regelmäßiges Ausdauertraining kann nicht nur der Umgang mit Stress verbessert werden, es kompensiert auch die organischen Folgen von Stress am Arbeitsplatz (Roth 1987) und unterstützt einen schnellen Stressabbau bzw. eine bessere Stressbewältigung. Auch die Ernährung kann unterstützend zur Bewältigung beitragen, wie oben schon angesprochen.

Abhilfe schaffen kann man auch, wie schon in der Einleitung erwähnt, indem die Arbeitsphasen verkürzt werden. Immer wieder eingelegte kurze Pausen, verbunden mit Dehnübungen, verbessern die Produktivität und das Wohlbefinden (Henning 1997).

Dabei ist auf ein flexibles Pausenregim zu achten, da sich feste Zeiten auf Vorgänge, die über längeren Zeitraum bearbeitet werden müssen (z.B. Programieren) störend auswirken könnten. Das Thema "Pausenregelung" wird in der Praxis aufgrund zunehmender Mischttätigkeit in Verbindung mit veränderten Arbeitsinhalten an Bedeutung verlieren (Hilla 2000).

Man muss in diesem Zusammenhang auch noch auf den Immunstatus hinweisen, der nach Perna (1997) durch den Einfluss von chronischem und akutem Stress zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Infektionen führt. Daher gilt es besonders, sich gesund und vitaminreich zu ernähren, um Infekten wirksamer vorbeugen zu können.

Einen Punkt, den wir nicht untersuchten und der daher nur kurz erwähnt werden soll, ist die Veränderungen der Lunge. Nach West (1995) kommt es durch ständigen Stress zu einem Umbau des Typ IV Kollagens, das in den Alveolen der Lunge vorherrscht. Daraus folgen eine verminderte Leistungsfähigkeit in Folge einer Reduktion des Lungenvolumens und in Extremfällen Einblutungen. Daher erscheint eine ausgleichende körperliche Aktivität zum Stressabbau sowie Aufrechterhaltung des Lungenvolumens um so wichtiger.

Es gilt somit, dem Stress durch wirksame Methoden zu begegnen, auch wenn sich dieser dadurch nicht vermeiden lässt. Die Folgen allerdings lassen sich jedoch sicherlich mildern. Dabei hängt es von jedem einzelnen ab, inwieweit er am Arbeitsplatz Stress vermeiden will und in der Freizeit präventive Maßnahmen zur Stresskompensation (Sport, Entspannungstraining, gesunde Ernährung) ergreift.

Somit bietet dieses Thema noch eine Vielzahl von Forschungsmöglichkeiten, besonders unter dem Aspekt, weil sich die Zahl der Computer in Büros und zu Hause und die damit verbundene Problematik noch erhöhen wird.

6.3 Katecholamine

6.3.1 Urin-Katecholamine

Bei der Analyse der Katecholamine haben wir uns für die Auswertung aus dem Urin entschieden. Nach Akerstedt (1983) eignen sich, wie schon in der Einleitung

beschrieben, sowohl Urin und Plasma zur Analyse der Veränderungen der sympathoadrenalen Aktivität durch Stress. In seiner Studie kam es vergleichbar zu unseren Ergebnissen zu einem Anstieg von Adrenalin während Stressbelastung. Noradrenalin zeigte hingegen ähnlich zu unseren Ergebnissen einen kaum nennenswerten Anstieg. Erst nach der Beendigung des Tests stieg das Plasma-Noradrenalin an, bedingt durch die erhöhte Aktivität des Sympathikus im Anschluss an den Test, während das Urin-Noradrenalin unverändert blieb. Hier zeigte sich während der Testphase eine signifikante Korrelation der Ergebnisse von Urin und Plasma. Um auch verwertbare Ergebnisse im Anschluß an den Test zu erhalten wurden, zum Ausschluß einer im Urin verzögert ansteigenden Konzentration von Katecholaminen, zwei Urinproben gewonnen. Somit erscheinen unsere Ergebnisse im Vergleich damit transparent und nachvollziehbar. Eine Studie von Gillberg (1986) bestätigt, dass Urinmessungen von Katecholaminen für die Stressanalyse herangezogen werden können.

Betrachtet man Adrenalin, so kommt man zu dem Schluss, es sei unverständlicherweise vor dem Test höher als danach. Studiert man hier aber die Literatur, findet sich schnell eine Erklärung. So ist nach Lazarus (1967) die Freisetzung von Adrenalin ein Ausdruck emotionaler Erregung infolge eines ersten Bewertungsprozesses und einer besonderen Erwartungshaltung zu verstehen. Mason (1961) führt die situative Neuheit und Ungewissheit als Sekretionsreiz an. Auch fehlende Kontrollmöglichkeiten bedingt durch nicht vorhandene adäquate Verhaltensweisen (Mandler 1967) und die Erwartung eines unbehaglichen Ereignisses (Frankenhäuser 1970) stellen einen Sekretionsreiz dar. Er erklärt außerdem, dass Adrenalin die Situation recht genau reflektiert, wann ein Übergang von Hilflosigkeit zu einer Beherrschung der Situation gegeben ist (Frankenhäuser 1975). Der so bezeichnete Zeitpunkt liegt je nach Person früher oder später in der Versuchsreihe. Bei den meisten lag dieser Zeitpunkt wohl beim Erscheinen zu dem Test, wozu auch die vorbereitenden Maßnahmen zuhause mit Nikotinabstinenz und einem temporären Verzicht auf Koffein beitrugen. Desweiteren spielte die Erwartungsangst eine große Rolle, da es sich um einen medizinischen Versuch handelte, von dem die Personen keine genauen Details kannten. Deshalb erscheint es verständlich, dass es zu einem Anstieg unter Stressexposition kommt, jedoch nicht in dem Maße, wie es zu erwarten war. Hierfür sind mehrere Punkte ausschlaggebend.

Wie man in der Arbeit von Diehl (1984) erkennen kann, kommt es schon neun Minuten nach Stressbelastung zu einem Abfall der im Plasma gemessenen Katecholamine. Somit ist bei unserer Messung eine halbe Stunde nach Beginn der Exposition wohl ebenfalls bereits ein Abfall eingetreten. Desweiteren muss man die schnellen Abbau-mechanismen im Urin in vivo berücksichtigen. Daher kann schon zum Zeitpunkt der Messung ein Abbau des Adrenalin eingetreten sein.

Andererseits erscheint die Methodik der Katecholaminanalyse aus dem Urin gegenüber der aus Blut Vorteile zu haben, betrachtet man wiederum die Ergebnisse von Diehl. So scheint es, dass die Abbaumechanismen im Blut noch rascher vonstatten gehen als im Urin.

In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass Adrenalin nach Frankenhäuser (1976) die emotionale Erregung reflektiert, er schließt sich damit der Meinung von Lazarus an. Es fällt somit nicht schwer, sich die Anspannung in Erwartung des Tests klarzumachen. Einige Jahre vorher beschrieb Lazarus einen Zusammenhang zwischen der Adrenalinausscheidung und den intellektuellen Fähigkeiten. Darüber haben wir zwar keine Untersuchungen angestellt, doch kann man aus den gewonnenen Daten der Probanden dieses Theorem verneinen. Die besten Ergebnisse bei dem Test sind von einer Bürokauffrau erzielt worden, deren Katecholaminwerte unter dem Durchschnitt lagen. Auch scheint es zweifelhaft, intellektuelle Fähigkeiten in Zusammenhang mit einer Erhöhung der sympathischen Aktivität zu verbinden.

Betrachtet man die Reaktion auf den KLT, so muss man den Zusammenhang zwischen der adrenomedullären Reaktion und der Persönlichkeit betrachten.

Rössler (1967) nennt hierbei die Notwendigkeit, die Persönlichkeit bei der Auswertung von Katecholaminen zu berücksichtigen. Demnach weisen Personen mit einem starken Ego (hohes ego-strength) eine erhöhte Katecholaminausschüttung auf, die sich vor allem in einer Adrenalin-erhöhung äußert. Andersherum weisen Personen mit einem geringeren Ego auch einen geringeren Adrenalinwert auf, wobei hier das Ego nicht mit dem oben erwähnten Aggressivitätsniveau zu verbinden ist. Eine weitere Studie von Frankenhäuser (1971) zeigt, dass Versuchspersonen, die eine hohe Adrenalin-ausscheidung besitzen, sich effektiver mit mentalen Anforderungen auseinandersetzen. Außerdem kann man annehmen, dass Personen mit depressiver Persönlichkeit über einen erniedrigten Plasma-Katecholaminspiegel verfügen (Lechin 1996). Diese

Personen weisen auch ein erniedrigtes NA/A Verhältnis auf, was sich vor allem in sitzender Position zeigt.

Blickt man in diesem Zusammenhang erneut auf das Noradrenalin, so muss man einleitend sagen, dass zwischen der Höhe sowie dem Anstieg beider Katecholamine kein signifikanter Zusammenhang bestand, d. h. hohe Adrenalinwerte haben nicht signifikant mit hohen Noradrenalinwerten korreliert. Hierbei kann man aber feststellen, dass mehrheitlich einem Anstieg von A auch einer von NA gegenüberstand, genauso wie ein Abfall von A mehrheitlich mit einem Abfall von NA einherging. Allerdings gibt es zwischen den Veränderungen eine hohe Variabilität und somit eine geringe Korrelation. Des weiteren gilt dasselbe wie bereits beim Adrenalin erwähnt: die Abbaumechanismen der Katecholamine scheinen die Werte künstlich nach unten zu drücken.

Bei einem Vergleich der Verhältnisse von Adrenalin und Noradrenalin kann man je nach Alter eine Veränderung finden. Bei jungen Menschen liegt es bei noch 1:4 (A:NA), bei älteren geht es bis zu 1:10 (A:NA). Somit kommt es im Alter zu einer Veränderung der Regulation der Katecholamine. Einer noradrenergen bei jüngeren steht eine adrenerg-zirkulatorische bei älteren Menschen gegenüber (Lehmann 1981). Ursache hierfür kann eine verminderte Noradrenalinausscheidung sein (Esler 1981).

Als Erklärung für den nur geringen Anstieg des NA unter Stressbelastung muss wieder auf die Literatur verwiesen werden. Auch hier gab es schon Studien, die einen Abfall aufwiesen (Nestel 1968; Frankenhäuser 1968). Diese beschrieben dabei einen Zusammenhang zwischen einer schwächeren Angsttendenz und einer erniedrigten Sekretion des Katecholamins. Weiterhin könnte auch die Schwelle für psychische Reize höher liegen (Frankenhäuser 1976).

Interessant ist noch die 1972 von Christensen aufgestellt These, Noradrenalin habe unter Übungsbedingungen seinen Ursprung hauptsächlich im Herzen. Damit könnte man natürlich die starke Wirkung auf das Herz erklären. Dies erscheint jedoch nach heutiger Auffassung nicht mehr haltbar zu sein

Bei der Höhe des relativen Abfalls kann man allerdings einen Unterschied zwischen den beiden Substanzen erkennen. Adrenalin fällt dabei weitaus stärker als Noradrenalin im direkten Vergleich. Das kann seine Ursache in der von Frankenhäuser (1976) berichteten Vorstellung haben, dass die Schwelle für NA bei psychischem Stress höher

liegt. Somit kommt es durch den Test bedingt also zu keiner ausreichenden Stresssituation für Noradrenalin und damit auch zu keinem ausreichenden Anstieg. Es gilt auch weiterhin, dass Adrenalin das stärker beeinflusste Hormon in Fällen psychischen Stresses ist, wie im Literaturteil bereits angesprochen.

Betrachtet man Noradrenalin im Zusammenhang mit dem peripheren Widerstand, so erkennt man, dass der Beginn des Tests kein ausreichender Stressor ist. Hier kommt es zu einem Abfall des peripheren Widerstandes. Erst zum Ende des Tests und in der Erholung kann man einen deutlichen Anstieg des TPR erkennen. Gleichzeitig kommt es aber zu einem Abfall des NA, weshalb man folgern kann, dass die Konzentration des NA hauptsächlich lokal ansteigt, d.h. von den Nervenendigungen ausgeschüttet wird. Außerdem ist es auch schnellen Abbaumaßnahmen oder der Wiederaufnahme durch die Nervenendigungen (Frankenhäuser 1971) unterworfen. Es repräsentiert folglich nicht die zirkulierende Menge des Plasma-Katecholamins (Blandini 1995). Diese These kann man unterstützen, berücksichtigt man eine Studie aus dem Jahre 1986 von Askanazi. Er beschrieb darin die Auswirkungen von Katecholaminen auf die Atemgase. Danach kommt es zu einem signifikanten Anstieg von VO_2 , den wir auch sehen konnten, in Verbindung mit einem Anstieg von V_t oder V_E . Man kann somit folgern, dass die ausgeschüttete Menge an Katecholaminen schnell wieder abgebaut wird und daher kaum nachweisbar ist.

Auch kann man in diesem Zusammenhang die Abbaumechanismen des Gehirns heranziehen, wonach ein erniedrigtes Reserpinniveau zu einem Anstieg der CATNAPs führt (Modi 1996). Dies ist die Abkürzung für Catecholamin absorbing protein, das in der Lage ist, die Konzentration dieses Hormons zu erniedrigen.

In Folge dieser Ergebnisse ist das von Funkenstein (1956) aufgestellte theoretische Konzept, Adrenalin sei mehr Angst, Noradrenalin mehr Aggressivität zuzuordnen nicht zu bestätigen. Frankenhäuser kam mittels Stimulation des Hypothalamus zu demselben Ergebnis (1971). Die These, psychischer Stress habe vor allem Auswirkungen auf Adrenalin (Dimsdale 1980), kann hingegen unterstützt werden. Betrachtet man die von Frankenhäuser 1980 beschriebene Studie, in der Adrenalin vor allem infolge der Erwartung von Neuem, Ungewissem und Noradrenalin vor allem bei körperlicher Aktivität ansteigt, so scheint dies auch in unserer Studie zuzutreffen.

Die bisherigen Versuche, bei denen Katecholamine im Urin gemessen wurden, zeigten unterschiedliche Ergebnisse. Unter den vorliegenden Veröffentlichungen kam es zwar in jedem Fall zu einem Anstieg von Adrenalin, doch dieser verhält sich stets unterschiedlich. In drei Versuchen zeigte sich das Noradrenalin unverändert. Allerdings wichen hierbei die Grundkollektive zum Teil erheblich voneinander ab.

Tab.1 Die erste Spalte beschreibt das Erscheinungsjahr, die zweite den Namen des Autors, die dritte den Stressor, danach folgt die Anzahl der Versuchspersonen und deren Alter. Abschließend sieht man die Reaktion der Katecholamine. + steht hier für einen normalen Anstieg, ++ für einen starken.

Jahr	Autor	Stressor	Anzahl Versuchspersonen	Alter	Adrenalin	Noradrenalin
1995	Euler et al.	Gewalt-Szenen	10	23-31	+	+
1968	Frankenhäuser	Konflikt Test	25	19-34	+	+/-
1969	Nestel	Raven Test	17	31,4	++	+
1971	Lorimer	Konzentrationsaufgaben	78	20-58	+	+/-
1978	Frankenhäuser	Examen	19	18-19	++	+/-
1996	Sakuma	Zahnarzt	30	Kinder	++	++

Es gab aber auch schon Studien, in denen es durch Stress zu keinen nennenswerten Veränderungen der Plasma Katecholamine kam (Hjemdahl 1979). Hier sind folglich auch keine Veränderungen der Urin-Katecholamine zu erwarten.

Abschließend kann man diskutieren, ob es nicht möglich wäre, noch mehr Proben zu erheben. Doch es erscheint nicht sinnvoll, die Probanden während des Versuchs übermäßig aufstehen zu lassen um eine Urinprobe abzugeben. Cryer (1974) befürchtet dadurch auch eine Erhöhung und damit Verfälschung der Katecholamine, bedingt durch orthostatische Reflexe.

Eine Studie Hashiguchis (1997) beschäftigte sich mit der Reaktion von Ratten auf Stress. Er konnte hierbei beobachten, dass es zu einer Adaptation der Adrenalin-ausschüttung während des Stresses kam. Somit lässt sich daraus folgern, dass der

Zeitraum zwischen Adrenalinsekretion in Form des Testbeginns und Abnahme der Urinanalysen am Testende trotz erhöhter Urinkatecholamine mit einer halben Stunde zu lang gewesen war. Die zwischen den Probenabnahmen vergehende Zeit kann der Körper somit zum Abbau der Hormonspiegel nutzen, sowohl im Plasma als auch im Urin.

Es können aber auch die Ergebnisse der oben genannten Studien in Frage gestellt werden, da es nach Jones (1967) durch Stress zu einer Abnahme des Urinvolumens kommen kann. Dadurch konzentrieren sich die Katecholamine, was zu einer verfälschten Erhöhung führen kann. Wir haben einen derartigen Einfluss durch Relativierung auf Ig/Kreatinin berücksichtigt.

Laut Tanabe (1994) kommt es erst jenseits der anaeroben Schwelle zu einem deutlichen Anstieg von Adrenalin und Noradrenalin. Diese Schwelle wurde bei uns jedoch nicht überschritten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in den Ergebnissen verschiedener Publikationen keine einheitliche Meinung herrscht, da die Bedingungen nur schwer vergleichbar sind. Katecholaminmessungen eignen sich daher vornehmlich für intraindividuelle Studien. Dennoch ist die Tendenz, einer durch Stressbelastung hervorgerufenen Veränderung, in den einzelnen Studien deutlich erkennbar. Generell wird zwischen Disstress, der durch Überforderung, aber auch Unterforderung hervorgerufen werden kann, und Eustress, der einer arbeitsphysiologisch optimal angepassten Belastung entspricht, unterschieden. Es scheint somit eine große Rolle zu spielen, ob man Spaß an der Arbeit hat und ob diese geeignet ist die Persönlichkeit eines jeden optimal zu fordern. Gleichzeitig sollte eine als unangenehm empfundene Überbelastung vermieden werden.

Auch spielt die Art des Stressses eine große Rolle. Ein jeder von uns erlebt tagtäglich, wie Menschen sich einem Stress aussetzen, den sie gar nicht als einen solchen empfinden, andere hingegen schon. Denken wir dabei nur an Extremsportler oder auch Ärzte, die den Stress anders empfinden und anders damit umgehen.

Somit ist es verständlich, wieso die Ergebnisse der einzelnen Untersuchungen voneinander abweichen.

6.3.2 Geschlechtsunterschiede

Aus den Ergebnissen kann man ersehen, dass die Katecholamine bei Frauen niedriger als bei den Männern liegen. Dies steht im Einklang mit früheren Studien, nach denen Frauen während einem Prüfungstest gegenüber dem Ruhezustand erhöhte Werte aufweisen, die allerdings deutlich unter denen der männlichen Kollegen während Stressbelastung lagen (Frankenhäuser 1978). Anhand mehrerer Untersuchungen lassen sich diese Ergebnisse bestätigen (Krenauer 1981). Forsman folgerte 1982 daraus, dass Männer eine generalisiertere und damit einheitlichere Stressantwort, verglichen mit Frauen, zeigen.

Johannson schrieb 1974, dass Frauen während eines Intelligenztests unter Zeitdruck keine nennenswert erhöhten Adrenalinwerte aufweisen. Dieser Studie schließen sich unsere Ergebnisse jedoch nicht an. Es kam sowohl bei Männern als auch bei Frauen zu signifikanten Anstiegen bedingt durch Stresseinfluss. Bei beiden Gruppen konnte man einzelne Versuchspersonen erkennen, die durch exzessive Veränderungen auffielen. Die Mehrheit war allerdings auf einem einheitlichen Niveau zu finden. Es gibt also ausgeprägte individuelle Schwankungen, d. h. auf einen normierten Stressreiz reagieren diese Probanden bereits mit einer unterschiedlichen Erwartungshaltung und unterschiedlichen Stressantworten. Beide, sowohl Männer als auch Frauen, zeigten einen ähnlichen Verlauf der relativen Ergebnisse, absolut betrachtet ergaben sich deutliche Unterschiede. Darauf hat auch schon Callingham (1976) hingewiesen, der beschrieb, Männer hätten eine etwas erhöhte AdrenalinKonzentration vorzuweisen.

Frankenhäuser (1976) fand heraus, dass Männer eine vor einer Stressphase liegende Ruheperiode als unangenehmer und bedrängender einstufen. Sie schrieb weiterhin, es sei ein deutlicher Unterschied in der Ökonomie bzw. der Verarbeitung der Stressreaktion zu sehen (1982).

Bei Frauen sollte man auch den Aspekt des suppressiven Effekts der Östrogene nennen, wonach Östradiol die Azetylcholin induzierte Freisetzung aus dem Nebennierenmark inhibiert, während Dihydrotestosteron in seiner Wirkung ineffektiv ist (Wiechman 1979). Damit deutet er einen stressprotektiven Aspekt der Kontrazeptiva an.

Auch die Reaktion der Katecholamine auf eine Hypoglykämie ist unterschiedlich. Männer hatten hierbei einen deutlichen Anstieg von Noradrenalin, während Frauen eine

verzögerte und geringe Antwort vorweisen (Claustre 1980). Durch regelmäßige Nahrungszufuhr lässt sich dieser Effekt supprimieren.

6.4 Puls, Blutdruck

Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl bei der Herzfrequenz als auch beim Blutdruck ein Anstieg während der Testphase zu erkennen war. Die hohen Werte der ersten 10 Minuten verringerten sich zwar wieder, blieben aber signifikant über dem Ruhenniveau. Hier liegt offenbar ein Adaptationseffekt vor, wenngleich Neus (1981) es fraglich nennt, Puls und Blutdruck Adaptationstendenzen zuzuweisen. Dennoch lässt sich die Reduzierung dieser Werte dementsprechend interpretieren.

Tierversuche haben gezeigt, dass verschiedene Stressformen einen ständigen Bluthochdruck bewirken können, bedingt durch strukturelle Veränderungen in den Widerstandsgefäßen (Andren 1981). Für einen Dauerstress, wie z.B. Lärm, ist dies beim Menschen bereits belegt (Schardt et al. 1996).

Stress scheint darüber hinaus über eine Aktivierung des sympathischen Nervensystems zu einem erhöhten peripheren Widerstand zu führen (Kaplan 1978). Im Gegensatz zu dieser Behauptung zeigt sich in unserer Arbeit erst am Ende der psychischen Belastung ein starker Anstieg des TPR. Ursächlich könnte hier eine Verzögerung der Wirkung der Katecholamine, bzw. eine erst im Laufe des Tests ansteigende Stressantwort sein. Demnach würde die Erwartungsfurcht einer Furcht vor Versagen in der Prüfung folgen, die sich durch einen Anstieg unter größer werdendem Zeitdruck offenbart.

Pagani beschrieb 1991 einen Abfall der niedrigfrequenten Komponente des Blutdrucks, ein Zeichen für die sympathische Aktivität. Es kommt seiner Meinung nach zu einem Abfall derselben, verglichen zur Aktivität des Vagus, bedingt durch psychischen Stress. Dies wurde allerdings 1996 von Sloan nicht bestätigt, der mittels der niederfrequenten Komponente keinen brauchbaren Rückschluss auf die sympathische Aktivität ziehen konnte.

Cacioppo (1998) verwies in seinen Studien auf die Rolle von akutem und chronischem Stress bei einer Aktivierung des sympathischen Nervensystems, während der chronische eher zu einem Blutdruckanstieg führe, bedingt durch Umbauprozesse, wie bereits oben genannt.

Eine Studie von Danner aus dem Jahre 1981 bringt ähnliche Ergebnisse. Es kam damals während einer mentalen Belastung zu einem Anstieg des diastolischen Blutdrucks. Gleichzeitig blieb allerdings der systolische unverändert. Er begründet das mit einem gleichzeitigen Anstieg der parasympathischen Aktivität und damit einer Überdeckung der zirkulatorischen Effekte. In unseren Studien erkennt man einen übereinstimmenden Anstieg sowohl des systolischen als auch des diastolischen Blutdrucks, bei einem gleichzeitigen Abfall des peripheren Widerstandes. Daher liegt der Schluss nahe, die sympathischen Nervenbahnen werden nur zu einem geringen Teil vom Parasympathikus überdeckt. Damit könnte der Körper wie beim Schock versuchen, sein Blut in die wichtigen Teile des Körpers zu zentralisieren, darunter auch das Gehirn. Diese These erhält ein gewisses Gewicht, berücksichtigt man die Orte der Messungen. Der Blutdruck wird am Arm gemessen, gibt also den Zustand der Peripherie wieder. Der TPR beschreibt auch die Kontraktion der Gefäße im Körperinneren, die stärker mit Blut versorgt werden.

Gleichzeitig kommt es zu einer Reduktion der Aktivität der Baroreflexe. Sleight (1976) sah darin sogar den Grund für den Blutdruckanstieg, wenngleich man sich dies wohl etwas komplexer vorzustellen hat. Dennoch scheint dieser Punkt auch mitzuspielen bei der Erklärung des Blutdruckanstiegs.

Einen wichtigen Einfluss spielt auch hier wie schon bei anderen gemessenen Parametern spielt die Ernährung, hier insbesondere die Glukose. Jern schrieb 1991, dass es durch Zuckerzufuhr zu einem Anstieg des systolischen Blutdrucks kam, bei gleichzeitigem Abfall des diastolischen.

Unter Berücksichtigung des Menstruationszyklus oder der Medikation der Frau sollte auch der Einfluss der weiblichen Sexualhormone nicht übersehen werden. Manhem (1996) erwähnte die Wirkung von Östrogenen, wonach es zu einer Erhöhung des systolischen und diastolischen Blutdrucks, kombiniert mit einer Verlängerung der Reaktion des diastolischen Blutdrucks während der Stressphase, kam. In Ruhe verhielt sich der systolische Blutdruck unauffällig. Den endogenen Östrogenen wird weiterhin eine Auswirkung auf die Blutdruckreagibilität nachgesagt, wonach diese bei höherem Hormongehalt geringer wird (von Eiff 1978).

In einem vergleichbaren Versuch aus dem Tierreich, der an Ratten vollzogen wurde (Li 1998), erkennt man Parallelen im Verhalten des Blutdrucks. In der hier durchgeführten

Versuchsreihe kommt es wie von uns beobachtet zu einem initialen Anstieg des Blutdrucks unter Stressbedingungen, der dann wieder auf ein immer noch erhöhtes Niveau abfällt. Untersucht man diese Studie weiter, so entdeckt man allerdings Differenzen. Bei Li kam es zu einem Anstieg des peripheren Widerstandes in der initialen Testphase und einem darauffolgenden Abfall, während es bei uns zu einem initialen Abfall und einem darauffolgenden Anstieg des peripheren Widerstandes kam. Hier ist es allerdings angebracht darauf hinzuweisen, dass dieser Unterschied höchstwahrscheinlich durch die abfallenden Erwartungsängste der Tiere zu erklären ist, während es beim Menschen zu einem anhaltenden Stress infolge von Zeitdruck und Erfolgsstreben kam.

Auch beim Blutdruck scheint, wie bei den Katecholaminen, die Persönlichkeit und das Umfeld eine wichtige Rolle zu spielen. Menschen, die sich schneller ärgern oder aufregen, sei es im Alltag oder auch beruflich, haben nachgewiesen einen höheren Blutdruck (Laude 1997).

Ebenso ist das Geschlecht mitwirkend an dieser Reaktion. In Ruhe scheint bei Männern der Blutdruck höher zu liegen als bei Frauen. Bezieht man in die Betrachtung hingegen das Alter noch ein, so erkennt man, dass ältere Frauen die höchsten Werte sowohl beim systolischen als auch beim diastolischen Blutdruck aufweisen. Andererseits ist bei diesen die Reaktion auf einen dargebotenen mentalen Einfluss deutlich geringer als bei jungen Menschen (Stephoe 1996). Es ist somit unerlässlich, die Gruppe der Versuchspersonen in einem engen Altersrahmen zu halten, um damit die Transparenz und Objektivität zu gewährleisten.

Nicht nur der Blutdruck, sondern auch der Puls weist eine geschlechtsspezifische Reaktion auf. Dieser war bei Frauen signifikant höher als bei Männern, ähnlich wie bei Collins (1978) beschrieben. Relativ kann man zwischen beiden Geschlechtern kaum Unterschiede erkennen, weshalb die absoluten Unterschiede wohl in den geschlechtsspezifischen Ausgangswerten begründet ist.

Vergleicht man die Katecholamine mit den anderen Parametern, so kann man sehen, dass der Anstieg der Herzfrequenz neben diesen durch das sympathische Nervensystem bedingt ist und unabhängig vom Geschlecht scheint. Ähnliche Ergebnisse erzielte Hjemdahl 1979, bei dem sich während eines Puls und Blutdruckanstiegs keine Veränderungen der Katecholamine zeigten. Somit besteht wohl eine Korrelation

zwischen den Katecholaminen und der Herzfrequenz. Die Schläge pro Minute scheinen zudem abhängig von der sympathischen Stimulation kombiniert mit einer reduzierten vagalen Kontrolle (Martin 1974). So wird der während der ersten zehn Minuten zu beobachtende starke Anstieg der Herzfrequenz vor allem durch eine Abschwächung des Parasympathikus bewirkt (Christensen 1973). Der Sympathikus fungiert in dieser Zeitspanne nur als sekundärer Mechanismus.

6.5 Atemgase

Die Analyse des Gasaustausches sollte uns Aufschlüsse über die metabolischen Veränderungen geben. Hier erkennt man eine Steigerung während der Testphase bei allen Parametern.

Berücksichtigen muss man die Gewöhnung der Versuchsperson an Stress. Ist sie diesem oft ausgesetzt, so gewöhnt sie sich daran. Daraus folgt dann eine bessere Atmung und auch Sauerstoffaufnahme im Gewebe (Meerson 1994). Diese Studie beschreibt weiterhin eine deutliche Erniedrigung der Sterblichkeit durch eine "Anpassung" an Stress.

Ebenfalls wichtig ist die Einhaltung einer relativ konstanten und einheitlichen Fitness der Probanden, da sich sonst Abweichungen von VO_2 zeigen können (Barstow 1996), wobei es hier lediglich gilt, keine Hochleistungssportler mit in den Versuch einzubeziehen, um wieder die Alltagstauglichkeit zu gewährleisten.

Betrachtet man nun die Atmung und deren Entwicklung, so kann man nach Ready (1982) folgern, dass es zu keiner Entwicklung einer Azidose kommt, was allerdings nicht ganz im Einklang steht mit unseren Ergebnissen. Kurz nach Beginn der Testphase überschritten die Mehrzahl der Probanden einen $RQ > 1$. Dieser Zustand hielt jedoch nur wenige Minuten an, bevor der RQ wieder unter 1 fiel. Daher scheint es nicht für eine Azidose zu sprechen, sondern lediglich für eine Hyperventilation. Er favorisiert die Methode V_E/VO_2 und V_E/VCO_2 zu vergleichen und einen plötzlichen Anstieg von V_E/VO_2 als Beginn der anaeroben Zone zu erkennen. Es kann allerdings hier zu Nichtübereinstimmungen mit anderen Methoden kommen. Powers (1984) konnte kleine Abweichungen zwischen dieser Methode und der Messung mittels Laktat finden. Es handelt sich allerdings nur um geringfügige Abweichungen. Koike (1990) bestätigt

Readys Ergebnisse mit seiner Behauptung, die anaerobe Schwelle sei synonym mit der azidotischen Schwelle. Letztendlich ist die ausgeprägte Erhöhung des RQ sicherlich durch eine vermehrte Glykolyse verursacht, bedingt durch die Katecholaminerhöhung und damit verbunden eine leichte Hyperventilation.

Der pH-Wert des Blutes bleibt damit bei unseren Ergebnissen in dem als normal angesehenen Rahmen. Bei einer gesonderten Betrachtung von VO_2 erkennt man einen deutlichen Anstieg während des Tests. Dieser resultiert in dem verstärkten Sauerstoffbedarf und der Zunahme der Glykolyse des Gehirns. Da es gleichzeitig zu keiner Azidose kommt, muss der erhöhte Sauerstoffanteil sich im Gleichgewicht mit dem ebenfalls erhöhten Kohlendioxidwert befinden. Somit liegt der Respiratorische Quotient ebenfalls unter 1, was bedeutet, es wird kaum mehr CO_2 abgeatmet als O_2 aufgenommen wird. Damit befindet sich der Körper unter der anaeroben Schwelle. Daraus wiederum begründet sich der erhöhte Sauerstoffverbrauch in einem erhöhten Bedarf des Körpers bzw. des Gehirns durch die Denkarbeit.

Der erhöhte RQ in Ruhe verglichen mit der Erholungsphase spricht für eine ausgesprochene Erwartungshaltung vor dem Test, wie er auch den erhöhten Sauerstoffverbrauch des Gehirns signalisiert. Desweiteren zeigt er die Veränderung der Verbrennung des Körpers an, die sich damit mehr zur Seite der Kohlenhydrate, hier insbesondere Glukose, bewegt. Da sich die Probanden nicht in körperlicher Aktivität befanden, kann man davon ausgehen, dass der Mehrverbrauch an Kohlenhydraten bzw. Glukose von der Denkleistung des Gehirns verursacht wird.

Dieser erhebliche Einfluss auf den gesamten Stoffwechsel ist aus der deutlichen Differenz zwischen Test und Erholungsphase von fast 10% erkennbar.

Interessant ist hierbei die Tatsache, dass es bei Personen mit besseren Testleistungen nicht zu einem solch starken Anstieg gekommen ist wie bei Personen mit schlechteren Ergebnissen. Daraus lässt sich theoretisch die Anstrengung folgern, mit der ein Ergebnis erzielt wurde. Bei Betrachtung der Kurve sieht man beim männlichen Geschlecht eine ausgeprägtere Spitzenreaktion, woraus man auf eine stärkere Stressreaktion schließen kann. Das zeigt sich auch in den ersten zehn Minuten der Testphase, in der Männer trotz vorher annähernd gleicher Werte größere relative Anstiege aufwiesen.

Auch scheint es ihnen große Schwierigkeiten zu bereiten, Aufgaben zu lösen, wie man an den Werten der Gruppe mit schlechten Ergebnissen erkennen kann. Frauen sehen dieses Problem anscheinend lockerer. In dieser vergleichbaren Probandengruppe zeigte sich nur ein geringer Unterschied zur Gruppe der Personen mit besseren Testleistungen. Diese bessere Leistungsgruppe hat offensichtlich bei Männern und Frauen keine Probleme mit einer vergleichbaren Aufgabenstellung, da der RQ nicht oder nur gering anstieg, jedoch deutlich unter dem Gesamtschnitt lag.

Berücksichtigt man die absoluten Werte, kann man erkennen, dass sich die meisten Probanden auch nach dem Test noch in der Nähe der 0,8 Grenze befanden, die als Schwelle für eine Normventilation gilt. Nur männliche Probanden mit guten Testergebnissen unterschritten diese, was auf einen geringeren Grundbedarf an Glucose hinweist. Weiterhin scheint die Energiegewinnung nach einer psychischen Belastung abhängig von der Energieverbrennung zu sein (Almeras 1995). Somit sind Probanden mit einem niedrigen RQ und damit einer hohen Fettverbrennung während des Tests prädisponiert, im Anschluss daran auch eine negative Energiebalance aufzuweisen.

Allerdings muss man auch hier erwähnen, dass die Veränderung des RQ abhängig ist von der Natur des Stressors (McGregor 1994) und somit von der Persönlichkeit eines jeden einzelnen.

Der gleichzeitig erhöhte Wert von V_E , dem Atemminutenvolumen, erscheint nur dann nachvollziehbar, wenn das Atemzugvolumen überproportional ansteigt gegenüber der Atemfrequenz, die während des Tests abgenommen hat, da die Berechnung aus einer Multiplikation beider Werte geschieht. Dieser Anstieg des Atemzugvolumens ist sicherlich durch einen Druckanstieg im pulmonalen Kreislauf bedingt. Dadurch reduziert sich die funktionelle Totraumventilation (V_D/V_E). Dies manifestiert sich im leichten Abfall von $PaCO_2$.

Diese Resultate stehen im Einklang mit den Messungen Masaokas (1997), der bei unangenehmen Situationen, hervorgerufen durch geistigen Stress, einen Anstieg von V_E , V_t , VO_2 und VCO_2 erkannte. Er sieht weiterhin einen Zusammenhang zwischen den Atemwerten und der Furcht einer Versuchsperson bzw. eines Patienten. Bei diesen Personen sah man vor allem einen Anstieg der Atemfrequenz und dadurch von V_E .

Ebenso ist der Fitnesszustand der Versuchspersonen interessant. Fukuoka (1997) untersuchte Fußballer und erkannte dabei einen deutlichen Anstieg von VO_{2max} und

Vt. Ähnlich verhält es sich auch bei anderen Sportarten. Es ist somit notwendig das Kollektiv in einem nahezu einheitlichen Fitnesszustand zu suchen. Ausdauertraining führt zu einem Abfall von CO_2 während Belastung (Coggan 1993). Begründet liegt dies wohl in einem Rückgang der Oxidation der Kohlenhydrate und einer vermehrten Fettverbrennung.

Gleichzeitig senkt Ausdauertraining die Höhe des Laktats zum Ende der Belastung (Casaburi 1987).

Der Menstruationszyklus scheint hier keine Rolle zu spielen. Anders verhält es sich bei einer bestehenden Schwangerschaft, die allerdings bei unseren Probandinnen ausgeschlossen werden kann, dennoch sollte es kurz erwähnt werden. Lotgering (1995) fand heraus, dass es durch eine Gravidität zu einer Reduktion der Fähigkeit des Körpers kommt, Laktat zu puffern. Daraus können falsche Werte der anaeroben Schwelle resultieren.

Ein weiterer interessanter Punkt ist die Sensitivität der Karotiskörperchen zur Analyse des CO_2 Gehalts des Blutes. Hier scheint es durch Belastung zu einer Zunahme der Aktivität zu kommen, vor allem bei Arbeiten oberhalb der anaeroben Schwelle (Pianosi 1995). Dies schließt jedoch einen Einfluss schon unterhalb der Schwelle nicht aus.

In diesem Zusammenhang sollten auch die Blutdruckwerte der Probanden diskutiert werden, da Personen mit einer hypertensiven Erkrankung einen höheren Einfluss des anaeroben Stoffwechsels vorweisen können, was sich vor allem bei der Bereitstellung von Energie bemerkbar macht (Modesti 1994). Dies zeigt sich vor allem in der höheren Produktion von CO_2 im Vergleich zur O_2 -Aufnahme bedingt durch Hyperventilation. Somit treten diese Personen eher in den anaeroben Bereich ein, was wiederum deren Leistungsfähigkeit herabsetzt.

Nicht zu vernachlässigen ist die emotionale Verfassung der Probanden, je nach Ausprägung von Angst- und Erwartungsgefühlen. Masaoka (1997) stellte einen Anstieg von V_E fest, vor allem bedingt durch einen Anstieg der Atemfrequenz. In diesen Fällen stimmt die Hyperventilationsschwelle mit der anaeroben Schwelle bzw. Laktatschwelle nicht überein. Diese lassen sich aber in unseren Untersuchungen nicht erkennen, betrachtet man das Absinken der Atemfrequenz zu Beginn der Testphase. Degegen kann man natürlich argumentieren, es handle sich in der Ruhephase um eine Erhöhung der Frequenz eben wegen dieser genannten emotionalen Anspannung.

6.6 Peripherer Widerstand und HZV

In unserer Arbeit kommt es nach einem initialen Abfall des peripheren Widerstandes zu Testbeginn zu einem Anstieg, der ein Maximum in der Erholung erreicht. Dies wird durch mehrere Studien bestätigt. Brod beschrieb bereits 1959 eine Erhöhung, dabei machte er dafür neben dem Herzzeitvolumen auch die periphere Vasokonstriktion verantwortlich. Auch Perna beschrieb 1997 eine Vasodilatation der Gefäße, durch die ein Absinken des TPR erklärbar gemacht wird. Eine Begründung dafür liefert Halliwill 1997, der behauptet, es komme während mentaler Belastung zu einem Abfall der sympathischen Aktivität des Muskels und dadurch bedingt zu einer Widerstandsverkleinerung. Ausgelöst wird dies seiner Meinung nach, genaugenommen durch eine Kombination von sympathischer Reduzierung und Katecholamin-ausschüttung.

Während einer mentalen Belastung kommt es sowohl durch Einfluss des Sympathikus, als auch durch eine adrenerge Vasodilatation zu einem Abfall des peripheren Widerstandes (Halliwill 1997). Dies wiederum stellt jedoch die Frage nach dem Zusammenhang mit dem Blutdruck, auf die wir kurz im Abschnitt Blutdruck (6.3) eingegangen sind. Dennoch kann man bei geistigen Aufgaben eine erhöhte Rate von Herzinfarkten erkennen (Jiang 1996), was im Widerspruch zur oben genannten Studie steht. Die Anzahl der Herzinfarkte bei psychischer Belastung ist dabei unabhängig vom Alter einer jeweiligen Person.

In unseren Studien verhielt es sich ähnlich wie in der Studie von Halliwill. Auch hier kam zu einem Abfall des peripheren Widerstandes unter geistiger Aufgabenstellung. Daraus kann man folgern, dass kurzzeitiger mentaler Stress, der immer wieder durch Pausen unterbrochen wird, das Risiko eines Herzinfarktes oder einer Durchblutungsstörung nicht erhöht, während ein ständiges Arbeiten mit Stress dies ganz sicher tut. Auch kommt es danach im Anschluss an den Test zu einem deutlichen Anstieg des TPR, was wiederum bedeutet, die Gefahr für die Gesundheit steigt nach Beendigung nochmals stark an. Demnach scheint die Dauer unserer Versuche zu kurz zu sein, um den Körper in einen Alarmzustand zu versetzen, der ihn veranlasst eine Zentralisierung des Blutes vorzunehmen. Eine andere mögliche Erklärung wäre in

einem zu geringen Stressniveau des Tests zu suchen, wodurch sich der Körper ebenfalls noch nicht genötigt fühlt, Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Bei Frauen gilt es die Kontrazeptiva mit zu berücksichtigen, ebenso wie den Menstruationszyklus (Manhem 1996). Es kommt bedingt durch Östrogene zu einer verlängerten kardialen Reaktion durch Stress. Progesteron erhöht das Niveau der Herzfrequenz unabhängig, ob sich die Person in Ruhe oder unter Belastung befindet. Auch auf den Blutdruck hat es Auswirkungen. Damit erhöht sich der periphere Widerstand nochmals.

Die Ernährung spielt hier eine große Rolle. Jern erkannte 1991, dass es infolge von Glukosezufuhr zu einem Anstieg des Herzschlagvolumens von 20% kam, bei einem gleichzeitigen Abfall des peripheren Widerstandes um 13%. Verglichen mit Stress betrug die durchschnittliche Vasodilatation im Muskel sogar bis zu 40% weniger als bei einem gleichwertigen Placebo. Postprandial kam es umgekehrt bei psychischem Stress zu einem Anstieg des peripheren Widerstandes.

In diesem Zusammenhang muss auch der Ruheblutdruck bzw. Ausgangsblutdruck diskutiert werden. Liegt hier eine Hypertension vor, so reagieren auch diese Probanden unter Stressbedingungen deutlicher (Marrero 1997). Es kommt zu einem überproportionalen Anstieg des peripheren Widerstandes kombiniert mit einem stark erhöhten Blutdruck. Unsere Probanden waren jedoch ausnahmslos Normotoniker.

Weiterhin gilt es die Persönlichkeit zu berücksichtigen. Nebel (1996) unterscheidet hier die "*morning subjects*" und die "*evening subjects*". Je nachdem, welcher Gruppe man angehört, verändern sich die Herzfunktionen in die eine oder die andere Richtung. Diesen Punkt haben wir versucht durch eine Versuchsreihe am frühen Nachmittag zu eliminieren.

Wie bei jedem Parameter muss auch hier der Einfluss des Alters diskutiert werden. Laut Boutcher (1996) kommt es mit den Jahren zu einem erniedrigten Herzminutenvolumen ebenso wie zu einem erniedrigten Schlagvolumen. Da unser ältester Proband aber 30 Jahre war, ist es unwahrscheinlich, hier Störungen zu erhalten.

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der auf Computer umgesetzte KLT führt sowohl bei Männern als auch bei Frauen zu einer deutlichen Kreislaufreaktion kombiniert mit einer Reaktion der Atemwerte. Weiterhin kann man eine Veränderung der Katecholamine erkennen und damit auch des peripheren Widerstandes. Als wichtigste Ergebnisse sind zu nennen:

1. Der durch den Test hervorgerufene psychische Stress bewirkt einen signifikanten Anstieg der kardialen Parameter Hf, Psys, Pdia. Eine fortschreitende Testdauer senkt diese Werte wieder, allerdings bleiben sie stets über dem Ruhenniveau. Die höchsten Werte waren in den ersten zehn Testminuten zu finden. Bei der Hf lag das Erholungsniveau unter dem Ruhenniveau, bei Psys bzw. Pdia lag es über dem der initialen Ruhephase. Die Höhe des Anstiegs lag bei allen Werten etwa im selben Bereich, und damit um 10% höher zu Beginn des Tests.
2. Bei den Atemwerten wirkte sich die psychische Belastung ähnlich aus wie bei den kardialen Parametern. Durch den Test kam es zu einem Anstieg von VO_2 , VCO_2 , V_E und V_t . Bei all diesen Werten zeigte sich ein relativer Anstieg von der Ruhe- in die Testphase, der ebenfalls ungefähr 10% beträgt. Der Abfall in der Erholungsphase ist zumeist deutlich größer als der vorausgegangene Anstieg. Die Werte waren somit erniedrigt. Bei dem RQ ist ebenfalls dieser Verlauf zu finden, doch fällt er deutlich geringer aus. Von der Ruhe- zur Testphase ist ein Unterschied hier kaum auszumachen. Um so deutlicher kann man im Anschluss an die psychische Belastung ein Absinken dieses Wertes erkennen. Erwähnenswert ist hierbei weiterhin die leichte Abnahme der Atemfrequenz während der Testbelastung, die bei beiden Geschlechtern zu sehen ist.
3. Bei den Katecholaminwerten und dem damit verbundenen peripheren Widerstand zeigten sich typische Reaktionen. Adrenalin und Noradrenalin stiegen nach Testexposition an, wobei sie sich bereits zu Beginn auf einem erhöhten Niveau befanden. Der damit korrelierende Widerstand fiel jedoch ab, vor allem in den ersten zehn Testminuten. In der Erholungsphase war dieser Parameter verglichen zu den vorhergehenden Messungen am höchsten, noch über dem Niveau der letzten 20 Testminuten. Das in diesem Zusammenhang betrachtete HZV korrelierte indes mit den Testphasen, indem es während der psychischen Belastung höher lag als vor bzw.

nach dieser. In der Erholungsphase sanken die Katecholamine wieder ab, dabei teilweise unter das Niveau vor Testbeginn. In der Ruhephase vor der Testphase lagen die Katecholamine offensichtlich aufgrund der Erwartungshaltung deutlich höher als in der Erholungsphase.

4. Die fortschreitende Testdauer senkte die in den ersten Minuten zu sehende Erhöhung der Herzfrequenz, den systolischen und den diastolischen Blutdruck, die Sauerstoffaufnahme, die Kohlendioxidabgabe und das Atemminutenvolumen ab. Auch der respiratorische Quotient verhielt sich dementsprechend ähnlich.
5. Zwischen den Atemwerten zeigte sich eine hohe Korrelation, sowohl während der Ruhe- als auch während der Stress- und Erholungsphase. In allen drei Phasen war keine Beziehung zwischen der Herzfrequenz und dem Atemminutenvolumen bei Männern festzustellen. Bei den weiblichen Probanden korrelierten beide Werte signifikant. Zwischen dem respiratorischen Quotienten und den Atemwerten bestand interessanterweise nur in Ruhe und Erholung ein enger Zusammenhang, während der psychischen Belastung korrelierten diese wenig. Einen ähnlichen Zusammenhang konnte man zur Herzfrequenz erkennen.
5. Bei Vergleich zwischen Frauen und Männern zeigte sich eine höhere Herzfrequenz bei den Frauen, sowie tendenziell niedrigere Werte bei dem systolischen und dem diastolischen Blutdruck. Die Atemwerte waren, bedingt durch die kleineren Lungenvolumina der Frauen, verständlicherweise bei diesen niedriger. Die relativen Anstiege unterschieden sich nicht signifikant. Bei dem respiratorischen Quotienten lagen die absoluten Werte nahe beieinander, ähnlich wie die relativen Veränderungen. Bei den Katecholaminen hatten Frauen sowohl bei Adrenalin als auch bei Noradrenalin niedrigere Werte. Frauen wiesen beim peripheren Widerstand generell höhere Werte auf.

Das Herzminutenvolumen stieg bei beiden Geschlechtern während der Testphase an, um danach wieder unter das Ausgangsniveau abzufallen. Dabei stiegen die Frauen trotz geringerer Ausgangswerte um annähernd den gleichen Wert an, fielen im Anschluß an den Test jedoch nicht mehr so stark ab wie ihre männlichen Kollegen.

6. Bei Betrachtung der Testleistung und der damit verbundenen Veränderung einzelner Parameter waren überraschende Ergebnisse festzustellen. VO_2 verhielt sich beim männlichen Geschlecht nicht erwartungsgemäß, da der Mittelwert sowohl bei der

Gruppe, die gute Testleistungen vorweisen konnten, als auch bei der mit schlechten Ergebnissen, unter dem des Gesamtkollektivs lag. Frauen zeigten ein differentes Verhalten. Hier zeigte die Gruppe besserer Testleistungen ein gegenüber dem Schnitt erhöhtes VO_2 , während Frauen mit unterdurchschnittlichen Ergebnissen unter dem Gesamtschnitt lagen bzw. knapp daran.

Bei VCO_2 ergaben sich ähnliche Ergebnisse.

Eine ähnliche Entwicklung wie die Atemwerte bei den Frauen zeigte das V_t der Männer, Probanden mit guten Ergebnissen lagen über dem Gesamtschnitt, Personen mit schlechteren darunter. Dieses Verhalten glich dem der weiblichen Versuchspersonen an.

Die Atemzüge verhielten sich bei beiden Geschlechtern ähnlich, Personen mit guten Ergebnissen atmeten jeweils seltener, dafür tiefer, als Probanden/innen mit schlechteren Resultaten. Dabei fiel bei den Männern auf, dass die letztgenannte Gruppe während des Tests häufiger atmete als in Ruhe. Allerdings war während dieser Phase das Atemzugvolumen vertieft, wodurch Männer mit schlechteren Ergebnissen ein höheres V_E erreichten als die Gruppe, die sich durch gute Ergebnisse auszeichnete.

Das V_E zeigte nur bei Männern einen nicht der Gesamtheit entsprechenden Verlauf, indem sowohl Personen mit guten als auch schlechten Ergebnissen im KLT erniedrigte Werte darboten.

Als Schlußfolgerung aus den Ergebnissen läßt sich feststellen, dass an Computerarbeitsplätzen mit hoher Stressbelastung häufiger eine Pause eingelegt werden sollte, da eine Dauerbelastung über mehrere Stunden sicherlich einen negativen Einfluss auf das adrenerge System sowie Herz und Kreislauf hat.

Bei kurzfristigen Stressbelastungen wie in unserer Untersuchung können durch Pausen von 10–15 Minuten die negativen Auswirkungen wieder nahezu kompensiert werden, wobei ein flexibles Regim vorzuziehen ist.

8 Abkürzungsverzeichnis

A	=	Adrenalin
BGA	=	Blutgasanalyse
CaCO ₂	=	Gehalt von CO ₂ arteriell
CvCO ₂	=	Gehalt von CO ₂ gemischt venös
Druck	=	Umgebungsluftdruck
FECO ₂	=	Atemgasfraktion
Hf	=	Herzfrequenz
HMV	=	Herzminutenvolumen
HR	=	Herzfrequenz
HZV	=	Herzzeitvolumen
Last -	=	Belastung
NA	=	Noradrenalin
pCO ₂	=	Kohlendioxidpartialdruck
Pdia	=	diastolischer Blutdruck
PH	=	pH-Wert des Blutes
pO ₂	=	Sauerstoffpartialdruck
Psys	=	systolischer Blutdruck
PvCO ₂	=	gemischt venöser CO ₂ -Druck
RA-Mitteldruck	=	Mitteldruck im rechten Vorhof
RQ	=	respiratorischer Quotient
RWL	=	Leistungsrohwert
SBC	=	Standardbicarbonat
SW	=	Schwellenwert
TPR	=	peripherer Widerstand
VCO ₂	=	Kohlendioxidabgabe
VO ₂	=	Sauerstoffaufnahme
Vt	=	Atemzugvolumen

9 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 = Aufgabenbeispiel
- Abbildung 2 = Statistik im Anschluß an Test
- Abbildung 3 = Schematischer Aufbau des Versuchs
- Abbildung 4 = Darstellung der Oberfläche des Programms, mit dem das HZV berechnet wurde
- Abbildung 5 = Herzfrequenz Männer und Frauen
- Abbildung 6 = Geschlechterunterschied Herzfrequenz
- Abbildung 7 = Systolischer Blutdruck bei Männern und Frauen
- Abbildung 8 = Geschlechterunterschied Systolischer Blutdruck
- Abbildung 9 = Diastolischer Blutdruck bei Männern und Frauen
- Abbildung 10 = Geschlechterunterschied Diastolischer Blutdruck
- Abbildung 11 = RRsys und RRdia im Vergleich bei Männern
- Abbildung 12 = RRsys und RRdia im Vergleich bei Frauen
- Abbildung 13 = Adrenalin bei Männern
- Abbildung 14 = Adrenalin bei Frauen
- Abbildung 15 = Noradrenalin bei Männern
- Abbildung 16 = Noradrenalin bei Frauen
- Abbildung 17 = BGA Männer
- Abbildung 18 = BGA Frauen
- Abbildung 19 = Sauerstoffaufnahme bei Männern und Frauen
- Abbildung 20 = Geschlechtervergleich Sauerstoffaufnahme
- Abbildung 21 = Kohlendioxidabgabe bei Männern und Frauen
- Abbildung 22 = Geschlechterunterschied Kohlendioxidabgabe
- Abbildung 23 = Atemzugvolumen bei Männern und Frauen
- Abbildung 24 = Geschlechterunterschied Atemzugvolumen
- Abbildung 25 = Atemzugfrequenz bei Männern und Frauen
- Abbildung 26 = Geschlechterunterschied Atemfrequenz

Abbildung 27 = Atemminutenvolumen bei Männern und Frauen

Abbildung 28 = Geschlechterunterschied Atemminutenvolumen

Abbildung 29 = Respiratorischer Quotient bei Männern und Frauen

Abbildung 30 = Geschlechterunterschied Respirator. Quotient

Abbildung 31 = Herzminutenvolumen bei Männern und Frauen

Abbildung 32 = Totaler peripherer Widerstand bei Männern und Frauen

Abbildung 33 = VO_2 und VCO_2 bezogen auf Testleistung der
Probanden

Abbildung 34 = RQ und V_t bezogen auf Testleistung der Probanden

Abbildung 35 = VO_2 und VCO_2 bezogen auf Testleistung der
Probandinnen

Abbildung 36 = RQ und V_t bezogen auf Testleistung der
Probandinnen

Abbildung 37 = Herzfrequenz bezogen auf Testleistung im
Geschlechtervergleich

Abbildung 38 = VE bezogen auf Testleistung im
Geschlechtervergleich

Abbildung 39 = RQ bezogen auf Testleistung im
Geschlechtervergleich

Tabelle 1 = veröffentlichte Studien zum Thema Stress

10 Literaturverzeichnis

1. Akerstadt T, Gillberg M, Hjemdahl P, Sigurdson K et al.:
Comparison of urinary and plasma catecholamine responses to mental stress
Acta Physiol Scand 1983 Jan; 117(1): 19-26
2. Almeras N, Lavallee N, Despres JP, Bouchard C, Tremblay A.:
Exercise and energy intake: effect of substrat oxidation
Physiol Behav 1995 May; 57(5): 995-1000
3. Andrén L, Hansson L.:
Circulatory effects of stress in essential hypertension
Acta Med Scand Suppl 1981; 646: 69-72
4. Andrén L, Lindstedt G, Björkman M, Borg KO, Hannson L.:
Effect of noise on blood pressure and "stress" hormones
Clinical Science 1982; 62: 137-141
5. Arnetz BB.:
Technological stress: psychophysiological aspects of working with modern
information technology
Scand J Work Environ Health 1997; 23 Suppl 3: 97-103
6. Arnetz BB, Berg M, Arnetz J.:
Mental strain and physical symptoms among employees in modern offices
Arch Environ Health 1997 Jan-Feb; 52(1): 63-7
7. Arnetz BB, Wiholm C.:
Technological stress: psychophysiological symptoms in modern offices
Journal of psychosomatic research 1997 Jul; 43(1): 35-42
8. Askanazi J, Forse RA, Weissman C, Hyman AI, Kinney JM.:
Ventilatory effects of the stress hormones in normal man
Critical care medicine 1986 Jul; 14(7):602-5
9. Aslan S, Nelson L; Carrtuhers M; Lader M.:
Stress and age effects on catecholamines in normal subjects
Journal of Psychosomatic Research 1980; Vol 25, pp.33-41

10. Barnes RF, Raskind M, Gumbrecht G, Halter JB.:
The effects of age on the plasma catecholamine response to mental stress in man
J Clin Endocrinol Metabol 1982 Jan; 54(1): 64-9
11. Barstow TJ, Jones AM, Nyguyen PH, Casaburi R.:
Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise
Journal of applied physiology 1996 Oct; 81(4): 1642-50
12. Becker LC, Pepine CJ, Bonsall R, Cohen JD, Goldberg AD et al.:
Left ventricular, peripheral vascular, and neurohumoral responses to mental stress in normal middleaged men and women. Reference Group for the Psychophysiological Investigations of Myocardial Ischemia (PIMI) Study
Circulation 1996 Dec 1;94(11): 2768-77
13. Bjorntorp P.:
Stress and cardiovascular disease.
Acta Physiol Scand Suppl 1997;640: 144-8
14. Blandini F, Martignoni E, Sances E, Bono G, Nappi G.:
Combined response of plasma and platelet catecholamines to different types of short-term stress
Life Sci 1995 Feb 17; 56(13): 1113-20
15. Boutcher SH, Stocker D.:
Cardiovascular response of young and old males to mental challenge
J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci 1996 Sep; 51(5): P261-7
16. Brandenberger G, Follenius M, Wittersheimer G, Salame P.:
Plasma catecholamines and pituitary hormones related to mental task demand under quiet and noise conditions
Biol. Psychol. 10 (1980): 239-252
17. Brod J, Cachovan J, Bahlmann GE, Bauer B, Celsen B et al.:
Haemodynamic changes during acute emotional stress in man with special reference to the capacitance vessels
Klin Wochenschrift 57 (1979): 555-565
18. Brod J, Fencl V, Hejl Z, Jirka J.:
Circulatory changes underlying blood pressure elevation during acute emotional

- stress (mental arithmetic) in normotensive and hypertensive subjects
Clin Sci. 1959; 18: 269
- 19.** Cacioppo JT, Berntson GG, Malarkey WB, Kiecolt-Glaser JK et al.:
Autonomic, neuroendocrine, and immune responses to psychological stress: the reactivity hypothesis
Ann N Y Acad Sci 1998 May 1; 840: 664-73
- 20.** Callingham BA, Barrand MA.:
Catecholamines in blood
J. Pharm. Pharmacol. 28 (1976): 356-360
- 21.** Campese VM, Romoff M, Dequattro V, Massry SG.:
relationship between plasma catecholamines, plasma renin activity, aldosterone, and arterial pressure during postural stress in normal subjects.
J Lab clin Med 95 (1980): 927-932
- 22.** Cardillo C, Crescence M, Kilcoyne, Arshed A. Quyyumi et al.:
Role of nitric oxide in the vasodilator response to mental stress in normal subjects
Am J Cardiol 1997; 80: 1070-74
- 23.** Carroll D, Davey Smith G, Sheffield D, Shipley MJ, Marmot MG.:
The relationship between socioeconomic status, hostility, and blood pressure reactions to mental stress in men: data from Whitehall II study
Health Psychologie 1997 Mar, 16 (2): 131-6
- 24.** Casaburi R, Storer TW, Ben-Dov I, Wasserman K.:
Effect of endurance training on possible determinants of V_{O_2} during heavy exercise
Journal of applied physiology 1987 Jan; 62(1): 199-207
- 25.** Chassard D, Guiraud M, Gauthier J, Gelas P et al.:
Effects of intravenous medium-chain triglycerides on pulmonary gas exchanges in mechanically ventilated patients
Crit Care Med 1994 Feb; 22(2): 248-51
- 26.** Checkley S.:
The neuroendocrinology of depression and chronic stress.
Br Med Bull 1996 Jul; 52(3): 597-617
- 27.** Chodakowska J, Wocial B, Skorka B, Nazar K, Chwalbinska-M. J.:
Plasma and urinary catecholamines and metabolites during physical exercise in

- essential hypertension
Acta Physiol Pol 1980 Nov-Dec; 31(6): 623-30
- 28.** Christensen NJ, Brandsborg O.:
The relationship between plasma catecholamine concentration and pulse rate during exercise and standing
European journal of clinical investigation 3 (1973): 299-306
- 29.** Christensen NJ.:
Sympathetic nervous activity and age
European Journal of clinical investigation 12 (1982): 91-92
- 30.** Claustre J, Peyrin L, Fitoussi R, Mornex R.:
Sex differences in the adrenergic response to hypoglycemic stress in human
Psychopharmacology 67 (1980): 147-153
- 31.** Coggan AR, Habash DL, Mendenhall LA, Swanson SC, Kien CL.:
Isotopic estimation of CO₂ production during exercise before and after endurance training
Journal of applied physiology 1993 Jul; 75(1): 70-5
- 32.** Collins A, Frankenhäuser M.:
Stress response in male and female engineering students
J. Hum. Stress 4 (1978): 43-48
- 33.** Cryer PE, Santiago JV, Shah S.:
Measurement of norepinephrine and epinephrine in small volumes of human plasma by a single isotope derivatization method: Response to the upright posture.
Journal Clin. Endocrinol. Metab. 39 (1974): 1025-1029
- 34.** D'Urzo AD, Jhirad R, Jenne H, Avendano MA, Rubinstein I et al.:
Effect of caffeine on ventilatory responses to hypercapnia, hypoxia, and exercise in humans.
Journal of applied physiology 1990 Jan; 68(1): 322-8
- 35.** Danner SA, Endert E, Koster RW, Dunning AJ.:
Biochemical and circulatory parameters during purely mental stress
Acta Med Scand. 1981; 209(4): 305-8

36. Dantzer R.:
Stress theories and the somatization process
Encephale 1995 Dec; 21 Spec No 7: 3-9
37. Davis MJ, Ahroon WA.:
Fluctuations in susceptibility to noise-induced temporary threshold shift as
influenced by the menstrual cycle
Journal of Audio Research 1982 Jul; 22(3): 173-87
38. Diehl, Karl-Ludwig:
Beziehungen zwischen Plasma-Catecholaminen, Puls und Blutdruck
unter mentalem Stress 1984
39. Dimsdale JE, Moss J.:
Plasma catecholamines in stress and exercise
JAMA 1980 Jan 25; 243(4): 340-2
40. Düker H.:
Über ein Verfahren zur Bestimmung der geistigen Leistungsfähigkeit
Psychologische Forschung 23 (1949): 10
41. Esler M, Skews H, Leonard P, Jackman G, Bobik A, Korner P.:
Age-dependence of noradrenaline kinetics in normal subjects
Clinical Science 60 (1981): 217-219
42. Euler C, Ström G.:
Cortical and medullary adrenal activity in emotional stress
Acta endocrinologica 30 (1959): 567-73
43. Follenius M, Brandenberger G, Lecornu C, Simeoni M, Reinhardt B.:
Plasma catecholamines and pituitary adrenal hormones in response to noise exposure
European Journal of applied physiology 43 (1980): 253-261
44. Forsman L, Lundberg U.:
Consistency in catecholamine and cortisol excretion in males and females
Pharmacol Biochem Behav 1982 Sep; 17(3): 555-62
45. Frankenhäuser M, Dunne E, Lundberg U.:
Sex-differences in sympatic-adrenal medullary reactions induced by different
stressors
Psychopharmacology 47 (1976): 1-5

46. Frankenhäuser M, Lundberg U, Forsman L.:
Dissociation between sympathetic-adrenal and pituitary-adrenal response to an achievement situation characterized by high controllability: comparison between type A and type B males and females
Biol Psychol. 1980 Mar; 10(2): 79-91
47. Frankenhäuser M, Mellis, I, Rissler A, Björkvall C, Patkai P.:
Catecholamine excretion as related to cognitive and emotional reaction patterns
Psychosom Med 30 (1968): 109-120
48. Frankenhäuser M, Rissler A.:
Catecholamine putput during relaxation and anticipation
Percept Mot Skills 30 (1970): 745-746
49. Frankenhäuser M, von Wright MR, Collins A, von Wright J et al.:
Sex differences in psychoneuroendocrine reactions to examination stress
Psychosom. Med. 40 (1978): 334-343
50. Frankenhäuser M.:
Experimental approaches to the study of catecholamines and emotion
In: Levi L. Emotions. Their parameters and measurement
New York: Raven Press (1975): 209-234
51. Frankenhäuser M.:
Challange-control interaction as reflected in sympathetic-adrenal and pituitary-adrenal activity: comparison between the sexes
Scand. J. Psychol. (suppl 1) (1982): 158-164
52. Frankenhäuser M.:
Behavior and circulating catecholamines
Brain research, 31 (1971): 241-262
53. Fukuoka Y, Shigematsu M, Itoh M, Fujii N et al.:
Effects of football training on ventilatory and gas exchange kinetics to sinusoidal work load
J Sports Med Fitness 1997 Sep; 37(3): 161-7
54. Funkenstein DH.:
Nor-epinephrine-like and epinephrine-like substances in relation to human

behavior

J. Nerv. Ment. Dis. 124 (1956): 58-68

55. Gesetzliche Unfallversicherung:
Beurteilung von Gefährdungen und Belastungen am Arbeitsplatz
GUV 50.11; 1997
56. Gillberg M, Anderzen I, Akerstedt T, Sigurdson K.:
Urinary catecholamine responses to basic types of physical activity
European journal of applied physiology 1986; 55(6): 575-8
57. Goldstein DS, Levinson P, Keiser HR.:
Plasma and urinary catecholamines during the human ovulatory cycle
Am. J. Obstet. Gynecol. 146 (1983): 824-29
58. Goldstein IB, Shapiro D, Chicz-DeMet A, Guthrie D.:
Ambulatory blood pressure, heart rate, and neuroendocrine responses in woman
nurses during work and off work days.
Psychosom Med 1999 May-Jun; 61(3): 387-96
59. Habedank D, Reindl I, Vietzke G, Bauer U et al.:
Ventilatory efficiency and exercise tolerance in 101 healthy volunteers
European journal of applied physiology 1998 Apr; 77(5): 421-6
60. Halliwill JR, Lawler LA, Eickhoff TJ, Dietz NM et al.:
Forearm sympathetic withdrawal and vasodilatation during mental stress in humans
J Physiol (Lond) 1997 Oct 1; 504 (Pt1): 211-20
61. Hargreaves M, Angus D, Howlett K, Conus NM, Febbraio M.:
Effect of heat stress on glucose kinetics during exercise
Journal of applied physiology 1996 Oct; 81(4): 1594-7
62. Hashiguchi H, Ye SH, Morris M, Alexander N.:
Single and repeated environmental stress: effect on plasma oxytocin,
corticosterone, catecholamines, and behavior
Physiol Behav 1997 May; 61(5): 731-6
63. Heidbrenner E, Ziegler A, Heidland A, Kirsten R.:
Mental stress and sports. Does physical activity increase stress tolerance?
Med. Welt. 1983 Jan 14; 34 (2): 43-7

64. Henning RA, Jacques P, Kissel GV, Sullivan AB, Alteras-Webb SM.:
Frequent short rest breaks from computer work: effects on productivity and well-being at two field sites
Ergonomics 1997 Jan; 40(1): 78-91
65. Hilla W.:
Ergonomische Gestaltung der Bildschirmarbeit 2000
66. Hirsch GL, Sue DY, Wasserman K, Robinson TE, Hansen JE.:
Immediate Effects of cigarette smoking on cardiorespiratory responses to exercise
Journal of applied physiology 1985 Jun; 58(6): 1975-81
67. Hjemdahl P, Eliasson K.:
Sympatho-adrenal and cardiovascular response to mental stress and orthostatic provocation in latent hypertension
Clinical Science 1979; 57, 189s-191s
68. Jakicic JM, Wing RR.:
Differences in resting energy expenditure in African-American vs Caucasian overweight females
Int J Obes Metab Disord 1998 Mar; 22(3): 236-42
69. Januszewicz W, Szajderman M, Wocial B et al.:
The effect of mental stress on catecholamines, their metabolites and plasma renin activity in patients with essential hypertension and in healthy subjects
Clin. Sci. 1979 Dec, 57 Suppl 5: 229s-231s
70. Jensen MD, Levine J.:
Effects of oral contraceptives on free fatty acid metabolism in women
Metabolism 1998 Mar; 47(3): 280-4
71. Jern S.:
Effects of acute carbohydrate administration on central and peripheral hemodynamic response to mental stress
Hypertension 1991 Dec; 18(6): 790-7
72. Jiang W, Babyak M, Krantz DS, Waugh RA, Coleman RE et al.:
Mental stress-induced myocardial ischemia and cardiac events
JAMA 1996 Jun; 275(21): 1651-6

73. Johansson G, Post B.:
Catecholamine output of males and females over a one-year-period
Acta physiol. Scand. 92 (1974): 557-565
74. Jones MT, Bridges PK, Leak D.:
Relationship between the cardiovascular and sympathetic responses to the
psychological stress of an examination
Clinical Science 1968; 35: 73-79
75. Kaplan NM.:
Stress, the sympathetic nervous system and hypertension
J Human Stress 1978 Sep; 4(3): 29-34
76. Karasek R, Theorell T.:
Health work. Stress, productivity and the reconstruction of working life
Basic Books New York 1990
77. Kohlisch O, Schäfer F.:
Physiological changes during computer tasks: responses to mental load or to motor
demands?
Ergonomics 1996 Feb; 39(2): 213-24
78. Koike A, Weiler-Ravell D, McKenzie DK et al.:
Evidence that metabolic acidosis threshold is the anaerobic threshold
Journal of applied physiology 1990 Jun; 68(6): 2521-6
79. Krenauer P, Toth L, Koenig W.:
Unterschiedliche Reaktionen von Plasmaadrenalin, Plasmanoradrenalin und der
alpha-Lipoproteine (HDL) auf psychische Belastung bei Herzinfarktpatienten und
bei Gesunden
Herzkreislauf 9 (1981): 423-29
80. Kubler W, Schomig A, Senges J.:
The conduction and cardiac sympathetic systems: metabolic aspects
J Am Coll Cardiol 1985 Jun; 5(6 Suppl): 157B-161B
81. Laude D, Girard A, Consoli S, Mounier-Vehier C, Elghozi JL.:
Anger depression and cardiovascular reactivity to mental stress: a spectral analysis
approach
Clin Exp Hypertens 1997 Jul-Aug; 19(5-6): 901-11

- 82.** Laun B.:
Sudden death in coronary heart disease
Ter Arkh. 1973; 45(2): 40-58.
- 83.** Laun U, Haber P, Bieglmayer C.:
Die Stressbelastung beim Wettkampfschach und die Frage ihrer Beeinflussung
durch die maximale aerobe Kapazität
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 47 (1996); Nr. 10: 524-528
- 84.** Lazarus RS, Deese J, Osler SF.:
The effects of psychological stress upon performance
Psychol. Bull. 49(4) (1952): 293-317
- 85.** Lazarus RS.:
Cognitive and personality factors underlying threat and coping
In: Trumbull R, Appley MH, 1967 Psychological stress
- 86.** Lechin F, Van der Dijs B, Benaim M.:
Stress versus depression
Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry 1996 Aug; 20(6): 899-950
- 87.** Lehmann M, Keul J, Huber G, Bachl N, Simon G.:
Alters- und belastungsbedingtes Verhalten der Plasmacatecholamine
Klin Wochenschrift 1981; 59: 19-25
- 88.** Lehmann M, Keul J, Korsten-Reck U, Fischer H.:
Plasma catecholamines, metabolic substrates, aerobic and anaerobic capacity
during exercise in supine and sitting position
Klin-Wochenschr. 1981 Nov 16; 59(22): 1237-42
- 89.** Levi L.:
The effect of coffee on the function of the sympathoadrenomedullary system in man
Acta Med. Scand. 181 (1967): 431-438
- 90.** Li SG, Randall DC, Brown DR.:
Roles of cardiac output and peripheral resistance in mediating blood pressure
response to stress in rats
Am J Physiol 1998 Apr; 274(4 Pt 2): R1065-9

- 91.** Lienert GA, Düker H.:
Der Konzentrations-Leistungs Test (KLT)
Göttingen: Hogrefe 1957
- 92.** Light KC, Kothandapani RV, Allen MT.:
Enhanced cardiovascular and catecholamine responses in women with depressive symptoms
International Journal of Psychophysiology 1998 Mar; 28(2): 157-66
- 93.** Löllgen H.:
Kardiopulmonale Funktionsdiagnostik
Ciba-Geigy GmbH Wehr/Baden 1983: 111,127
- 94.** Lorimer AR et al.:
Blood pressure and catecholamine responses to "stress" in normotensive and hypertensive subjects
Cardiovasc. Res. 5 (1971): 169-173
- 95.** Lotgering FK, Struijk PC, van Dooren MB, Spinnewijn WE et al.:
Anaerobic threshold and respiratory compensation in pregnant women
Journal of applied physiology 1995 May; 78(5): 1772-7
- 96.** Madden K, Savard GK.:
Effects of mental stress on heart rate and blood pressure variability in men and women
Clin. Physiol. 1995 Nov; 15(6): 557-69
- 97.** Mandler G.:
The conditions for emotional behavior
In: Glass DC 1967. Neurophysiology and emotion
New York: Rockefeller University Press and Russell Sage Foundation
- 98.** Manhem K, Hansson L, Milsom I, Pilhall M, Jer S.:
Estrogen and progesterone modify the hemodynamic response to mental stress in young women
Acta Obstet Gynecol Scand 1996 Jan; 75(1): 57-62
- 99.** Marrero AF, al'Absi M, Pincomb GA, Lovallo WR.:
Men at risk for hypertension show elevated vascular resistance at rest and during

mental stress

International Journal of Psychophysiology 1997 Apr; 25(3): 185-92

100. Marstedt G, Last R, Wahl WB, Müller R.:

Gesundheit und Lebensqualität. Ergebnisbericht zu einer Untersuchung des
Zentrums für Sozialpolitik der Universität Bremen über Freizeit, Gesundheit und
Krankheit im Land Bremen

Angestelltenkammer Bremen 1993

101. Martin BJ, Weil JV.:

CO₂ and exercise tidal volumen

Journal of applied physiology Feb 1979, 46(2): 322-5

102. Martin CE, Shaver JA, Leon DF, Thompson ME, Reddy PS et al.:

Autonomic mechanisms in hemodynamic responses to isometric exercise

Journal of clinical investigation 54 (1974): 104-115

103. Masaoka Y, Homma I.:

Anxiety and respiratory patterns: their relationship during mental stress and
physical load

International journal of psychophysiology 1997 Sep; 27(2): 153-9

104. Mason JW, Mangan GF, Brady JW, Conrad D et al.:

Concurrent plasma epinephrine and 17-hydroxycorticosteroid levels during
conditioned emotional disturbances in monkeys

Psychosom. Med. 23 (1961): 344-353

105. Matthews KA, Gump BB, Block DR, Allen MT.:

Does background stress heighten or dampen children's cardiovascular responses to
acute stress?

Psychosom Med 1997 Sep-Oct; 59(5): 488-96

106. Mazzeo RS, Rajkumar C, Jennings G, Esler M.:

Norepinephrine spillover at rest and during submaximal exercise in young and old
subjects

J Appl Physiol 1997 Jun; 82(6): 1869-74

107. McGregor IS, Lee AM, Westbrook RF.:

Stress-induced changes in respiratory quotient, energy expenditure and locomotor

- activity in rats: effects of midazolam
Psychopharmacology (berl) 1994 Dec; 116(4): 475-82
- 108.** Meerson F, Pozharov V, Minyailenko T.:
Superresistance against hypoxia after preeliminary adaption to repeated stress
Journal of applied physiology 1994 May; 76(5): 1856-61
- 109.** Modesti PA, Olivo G, Pestelli F, Guarnaccia V et al.:
Anaerobic metabolism in hypertensive patients during exercise stress test
American journal of hypertension 1994 May; 7(5): 469-73
- 110.** Modi PI, Kashyap A, Nair VD, Ross GM et al.:
Modulation of brain catecholamines absorbing proteins by dopaminergic agents
European journal of pharmacology 1996 Mar 28; 299(1-3): 213-20
- 111.** Nebel LE, Howell RH, Krantz DS, Falconer JJ, Gottdiener JS et al.:
The circadian variation of cardiovascular stress levels and reactivity: relationship
to individual differences in morningness/eveningness
Psychophysiology 1996 May; 33(3): 273-81
- 112.** Nestel PJ.:
Blood pressure and catecholamine excretion after mental stress in labile
hypertension
Lancet I (1969): 692-694
- 113.** Neus H, von Eiff AW et al.:
Das Problem der Adaption in der klinisch-therapeutischen Hypertonieforschung
Dtsch. Med. Wochensch. 106 (1981): 622-624
- 114.** Pagani M, Mazzuero G, Ferrari A, Liberati D, Cerutti S et al.:
Sympathovagal interaction during mental stress. A study using spectral analysis of
heart rate variability in healthy control subjects and patients with a prior
myocardial infarction
Circulation 1991 Apr; 83(4 Suppl): II 43-51
- 115.** Patkai P, Johannson G, Post B.:
Mood, alertness and sympathetic-adrenal medullary activity during the menstrual
cycle
Psychosom. Med. 36 (1974): 503-512

- 116.** Perna FM, Schneiderman N, LaPerriere A.:
Psychological stress, exercise and immunity
Int J Sports Med 1997; 18: S78-S83
- 117.** Pettit SE, Marchand I, Graham T.:
Gender differences in cardiovascular and catecholamine responses to cold-air exposure at rest
Can J Appl Pysiol 1999 Apr; 24(2): 131-47
- 118.** Pianosi P, Khoo MC.:
Change in the peripheral CO₂ chemoreflex from rest to exercise
European journal of applied physiology 1995; 70(4): 360-6
- 119.** Powers SK, Dodd S, Garner R.:
Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of anaerobic threshold
European Journal of applied physiology 1984; 52(2): 173-7
- 120.** Rashotte Me, Basco PS, Henderson RP.:
Daily cycles in body temperature, metabolic rate, and substrate utilization in pigeons: influencem of amount and timing of food consumption
Physiol Behav 1995 Apr; 57(4): 731-46
- 121.** Ready AE, Quinney HA.:
Alternations in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining
Med Sci Sports Exerc 1982; 14(4): 292-6
- 122.** Roberts SB, Fuss P, Dallal GE, Atkinson A et al.:
Effects of age on energy expenditure and substrat oxidation during experimental overfeeding in healthy men
J Gerontol A Biol Sci Med Sci 1996 Mar; 51(2): B148-57
- 123.** Roessler R, Burch NR, Mefferd RB.:
Personality correlates of catecholamine excretion under stress
J. Psychosom. Research 11 (1967): 181-185
- 124.** Roskamm H, Reindell H.:
Herzkrankheiten
Springerverlag Berlin 1982: S.361

- 125.** Roth DL, Holmes DS.:
Influence of aerobic exercise training and relaxation training on physical and
psychologic health following stressful life events
Psychosomatic Medicine 1987 Jul-Aug; 49(4): 355-65
- 126.** Rupp H, Brilla CG, Maisch B.:
Hypertension and alcohol: central and peripheral mechanisms
Herz 1996 Aug; 21(4): 258-64
- 127.** Sakuma N, Nagasaka N.:
Changes in urinary excretion of catecholamines and their metabolites in pediatric
dental patients
ASDC J Dent Child 1996 Mar-Apr; 63(2): 118-22
- 128.** Schardt F.W.:
A new method of determining cardiac output
International Journal of Sports Cardiology 1996 Jan; Vol.5, Nr.1: 5-8
- 129.** Schardt FW, Rosenfeld J, Moser L.:
Wirkung von Lärm und körperlicher Arbeit auf die temporäre Lautheits-
verschiebung (TLS)
Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin Juli 1996; Heft 7: S. 276-280
- 130.** Schulte W, Neus H, Rüdell H.:
Zum Blutdruckverhalten unter emotionalem Stress bei Normotonikern mit
familiärer Hypertonieanamnese
MedWelt BD. 32 (1981): Heft 29
- 131.** Schutz Y.:
The adjustment of energy expenditure and oxidation to energy intake: the role of
carbohydrate and fat balance
Int J Obes Relat Metab Disord 1993 Dec; 17 Suppl 3: S23-7, discussion S41-2
- 132.** Schwaberg G.:
Heart rate, metabolic and hormonal responses to maximal psycho-emotional and
physical stress in motor car racing drivers
Int Arch Occup Environ Health 1987: 59

- 133.** Silbernagl, S, Klinke R.:
Lehrbuch der Physiologie
Georg Thieme Verlag Stuttgart (1994): S.360
- 134.** Sleight P, Fox P, Lopez R, Brooks DE.:
The effect of mental arithmetic on blood pressure variability and baroreflex sensitivity in man
Clin Sci Mol Med Suppl. 1978 Dec; 4: 381s-382s
- 135.** Sloan RP, Shapiro PA, Bagiella E, Bigger JT et al.:
Relationship between circulating catecholamines and low frequency heart period variability as indices of cardiac sympathetic activity during mental stress
Psychosom Med 1996 Jan-Feb; 58(1): 25-31
- 136.** Sluiter JK, Frings-Dresen MH, van der Beek AJ.:
A forward-facilitating influence of cortisol on catecholamines assessed during the work of garbage collectors
Scand J Work Environ Health 2000 Feb; 26(1): 26-31
- 137.** Smith MJ.:
Psychosocial aspects of working with video display terminals (VDTs) and employee physical and mental health
Ergonomics 1997 Oct; 40(10): 1002-15
- 138.** Snitker S, Tataranni PA, Ravussin E.:
Respiratory quotient is inversely associated with muscle sympathetic nerve activity
J Clin Endocrinol Metab 1998 Nov; 83(11): 3977-9
- 139.** Sothmann MS, Hart BA, Horn TS.:
Plasma catecholamine response to acute psychological stress in humans: relation to aerobic fitness and exercise training
Med-Sci-Sports-Exerc. 1991 Jul; 23(7): 860-7
- 140.** Steptoe A, Fieldman G, Evans O, Perry L.:
Cardiovascular risk and respnsivity to mental stress: teh influence of age, gender and risk factors
Journal of Cardiovascular risk 1996 Feb; 3(1): 83-93
- 141.** Hjemdahl P, Eliasson K.:
Sympatho-adrenal and cardiovascular response to mental stress and orthostatic

provocation in latent hypertension
Clinical Science 1979; 57: 189s-191s

- 142.** Tanabe K, Osada N, Noda K, Yamamoto M, Omiya K et al.:
Changes in hemodynamics and catecholamines during single-level exercise at the anaerobic threshold and 120% of the anaerobic threshold in normal subjects
Journal of cardiology 1994 Jan-Feb; 24(1): 61-9
- 143.** Thomas L.:
Labor und Diagnose
Die Medizinische Verlagsgesellschaft Marburg 1984
- 144.** Toubro S, Sorensen TI, Hindsberger C, Christensen NJ, Astrup A.:
twenty-four hour respiratory quotient: the role of diet and familial resemblance
J Clin Endocrinol Metab 1998 Aug; 83(8): 2758-64
- 145.** Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W.:
Blood hormones as markers of training stress and overtraining
Sports Med 1995 Oct; 20(4): 251-76
- 146.** van Dooren LJ, Snieder H, Boomsma DI.:
Serum lipids and cardiovascular reactivity to stress
Biol-Psychol 1998 Mar; 47(3): 279-97
- 147.** Vogele C.:
Serum lipid concentrations, hostility and cardiovascular reactions to mental stress
Int J Psychophysiol 1998 Mar; 28(2): 167-79
- 148.** Volking NI.:
Stress on cardiac activity of students during course and national examinations
Zh Vyssh Nerv Deiat 1976 Nov-Dec; 26(6): 1137-43
- 149.** Von Eiff AW, Neus H, Schulte W.:
Stressreagibilität als Charakteristikum von Blutdruckgruppen
Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med. 84 (1978): 792-795
- 150.** Vrijkotte TG, van Dooren LJ, de Geus EJ.:
Work stress and metabolic and hemostatic risk factors
Psychosom Med 1999 Nov-Dec; 61(6): 796-805

- 151.** Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Whipp BJ.:
Principles of exercise testing and interpretation
Lea & Febiger 1994, Pennsylvania Malvern
- 152.** Weissman C, Askanazi J, Forse RA, Hyman AI et al.:
The metabolic and ventilatory response to the infusion of stress hormones
Ann Surg 1986 Apr; 203(4): 408-12
- 153.** Werner J.:
Medizinische Statistik
Urban&Schwarzenberg München 1984
- 154.** West JB, Mathieu-Costello O.:
Stress failure of pulmonary capillaries as a limiting factor for maximal exercise
European Journal of applied physiology 1995; 70(2): 99-108
- 155.** Westerterp KR.:
Food quotient, respiratory quotient, and energy balance
Am J Clin Nutr 1993 May; 57(5 suppl): 759S-764S, discussion 764S-765S
- 156.** Wiechman BE, Borowitz JL.:
Effect of steroid hormones and Diethylstilbestrol on adrenomedullary
catecholamine secretion
Pharmacology 18 (1979): 195-201

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei allen die mir die Arbeit ermöglicht haben, bzw. mich dabei unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. F. Schardt, der trotz anfänglicher Schwierigkeiten stets geduldig und wohlwollend den Fortschritt überwacht hat.

Weiterhin Herrn Bedel, der mir nicht nur aktiv bei der Durchführung zur Seite stand, hier sei insbesondere die Programmierung des ausschlaggebenden Programmes erwähnt, sondern auch durch Kritik zur rechten Zeit am rechten Ort die Qualität der abgelieferten Ergebnisse positiv beeinflusste.

Dank verdient auch meine Ehefrau Kerstin. Sie war stets eine große Hilfe, sei es bei der Durchführung der Versuche oder in der Bewältigung auftretender Probleme. Zudem zeigte sie sich stets verständnisvoll, auch in Momenten in denen ich durch neu aufgetretene Ungereimtheiten nicht immer durchgehend gutgelaunt war.

Insbesondere möchte ich mich bei meiner Mutter Christine bedanken, die mir Unterstützung auf allen Gebieten gewährt und mir das Studium durch ihre Willensstärke mitermöglichte.

Nochmals Dank an alle oben genannten sowie allen anderen die ein Gelingen ermöglichten.

Curriculum Vitae

Angaben zur Person

Name: Christoph Buchberger
Wohnort: Bohlleitenweg 85
97082 Würzburg
Tel.: 0931/417 39 99
Geburtstag und -ort: 15.05.1973 in Würzburg
Familienstand: verheiratet
Nationalität: deutsch

Schulbildung

1979 - 1983 Adalbert Stifter Grundschule Würzburg
1983 - 1992 Friedrich-Koenig-Gymnasium Würzburg
08.07.1992 Abitur am Friedrich-Koenig-Gymnasium in Würzburg

Wehrdienst

1992 - 1993 Sanitätsausbildung im VIII. Sanitätsbatallion 12 in
Veitshöchheim

Berufsausbildung

05.1993-05.1995 Vorklinisches Studium Universität Würzburg
06.1995-08.1998 Klinisches Studium Universität Würzburg
02.1999-04.1999 Beginn des Praktischen Jahres / Chirurgische Abteilung
Hospital Militar in Bogota/Columbien
05.1999-06.1999 Praktisches Jahr / Chirurgische Abteilung
Universitätsklinik Würzburg
07.1999-09.1999 Praktisches Jahr / Kardiologische Abteilung Juliusspital
Würzburg
10.1999-01.2000 Praktisches Jahr / Abteilung für Mund-Kiefer- und
Gesichtschirurgie Universitätsklinik Würzburg
02.2000-04.2000 Zusätzliches Praktisches Jahr / Betriebsärztliche
Untersuchungsstelle der Universität Würzburg
seit 06.2000 Tätigkeit als Arzt im Praktikum in der Inneren Abteilung
des Kreiskrankenhauses Marktheidenfeld

Studienbegleitende Tätigkeiten

Famulaturen:

09.1995-10.1995	Famulatur in der Praxis Dr. Hans Mayer in Würzburg Facharzt für Kinder-und Jugendpsychiatrie, Pädiatrie
08.1996-09.1996	Famulatur in der Abteilung für Kardiologie des Julius- spitals in Würzburg
08.1997-09.1997	Famulatur in der Betriebsärztlichen Untersuchungsstelle der Universität Würzburg
03.1998-04.1998	Famulatur in der Abteilung für Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universität Würzburg

Nebentätigkeiten

1993 - 1997	regelmäßig Stationsaushilfe im Juliusspital in Würzburg in der Fachabteilung für Innere Medizin
seit 1999	Sitzwachentätigkeit in der Abteilung für Mund, Kiefer und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Würzburg

Promotion

Prof. Dr. Fritz Schardt, Chefarzt der Betriebsärztlichen
Untersuchungsstelle der Universität Würzburg,
Sportmedizinischer Berater
Thema: "Einfluß von Stress am Arbeitsplatz auf den res-
pitorischen Gasaustausch sowie Kreislaufparameter"

Fortbildungen

1998	Teilnahme an einem Symposium mit dem Thema "Behandlung des Diabetes mellitus im Alter"
2000	Teilnahme an einem Kongress mit dem Thema "Ergospirometrie" in Bogota

Sonstiges

Fremdsprachen: gute Englisch-und Spanisch-Kenntnisse

Würzburg, 23.01.2001