

5. Diskussion

Das Thema dieser Arbeit ist äußerst komplex, denn es sollte versucht werden, Parameter der Psychophysiologie mit solchen aus der Kreislauf – und Atmungsphysiologie miteinander zu verknüpfen. Deshalb seien die Punkte, auf die in der Diskussion besonders eingegangen werden soll, einzeln aufgeführt.

Es wird auf folgende Punkte eingegangen:

1. Wichtig sind die Testprozedur und insbesondere die zu erhebenden Parameter, wie z.B. der HF und AF vor, während und nach der Zeitschätzung einer gemeinsamen Betrachtung zu unterziehen. Hier finden die Ruhewerte besondere Beachtung.
2. Das Probandenkollektiv, wobei hier auf die Homogenität bzw. Inhomogenität Bezug genommen wird.
3. Die Kriterien zur Beurteilung der Ergebnisse. Hier wird besprochen, was beurteilt wird (Präzision der Schätzung, Schätzmuster)
4. Die Umweltparameter, welchen Einfluss z.B. die Höhe (hypobare Hypoxie) oder die Schwerelosigkeit auf die Zeitschätzung haben.

Es sei auch gleich eingangs auf die Problematik hingewiesen, die verschiedenen Studien und Methoden aus den verschiedenen Fachgebieten, wie z.B. der Physiologie, Psychologie, Psychiatrie und der Neurologie zu vergleichen. Die Denkansätze, Methoden und die Probandenkollektive unterscheiden sich erheblich, sodass es z.T. sehr schwer war, einen Zusammenhang zwischen diesen Arbeiten und den vorliegenden Ergebnissen herzustellen.

Eingangs war die Frage aufgeworfen worden, ob sich zwischen dem Aktivitätszustand des ANS und dem Zeitschätzverhalten ein Zusammenhang herstellen lässt. Um diese Hypothese zu überprüfen, musste zunächst die Methode zur Auswertung des Ergebnisse so gestaltet werden, dass die große Anzahl von Testergebnissen sich handhaben ließ, auch mussten Kriterien erstellt werden, nach denen die Ergebnisse verständlich dargestellt bzw. beschrieben

werden konnten (Abb. I, II, III). In der vorliegenden Arbeit hat man sich in den Tests auf die Präsenzzeit beschränkt, die in dem Bereich zwischen 600 und 6000ms angenommen wurde. Andere Autoren nahmen eine Präsenzzeit zwischen 1000 und maximal 3000ms an (41,76).

Neben der Präzision der Schätzung, die die Genauigkeit bewertet, mit der im vorliegenden Fall ein vorgegebenes Intervall reproduziert wurde, wurden die Schätztendenz und das Schätzmuster beurteilt. Alle diese Kriterien ließen sich dann später in Zahlen ausdrücken, indem wir den prozentualen Schätzfehler, der die Tendenz, d.h. die Richtung "zu kurz" oder "zu lang", des Schätzfehlers andeutet, und den totalen Schätzfehler (Tab.2, 3, 5, 6, 7) zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen haben. In den zahlreichen Untersuchungen zu diesem Thema hat man sich meist nur darauf beschränkt, die Abweichung des geschätzten Wertes von einem vorgegebenen Wert zu beurteilen (26, 70, 89). Dies erwies sich für die vorliegenden Untersuchungen als viel zu einfaches Verfahren.

Auch sollte überprüft werden, inwieweit sich die hier verwendete Methode im Felde d.h. außerhalb des Labors anwenden ließe. Dabei sollte auch getestet werden, ob sich durch externe Stimuli, die das ANS aktivieren, wie z.B. hypobare Hypoxie, Einflüsse auf das subjektive Zeitempfinden nachweisen lassen würden, was durch Aufenthalte in großen Höhen, d.h. unter hypobarer Hypoxie, untersucht wurde (Abb. 17 – 22).

5.1. Atemfrequenz und Zeitschätzverhalten

Mit das bedeutendste Ergebnis der vorliegenden Studie war die signifikante Korrelation zwischen der Ruheatemfrequenz und dem totalen Schätzfehler, der sich bei der Testung der kurzen Intervalle ergab (Tab.5). Wie aus der Tab. 5 zu ersehen, hatten die Probanden mit der hohen Atemfrequenz in Ruhe einen doppelt so hohen Schätzfehler (4,5 % versus 10,7 % , $p < 0.001$).

Auch bei den langen Intervallen ergaben sich signifikante Unterschiede im Schätzverhalten zwischen den beiden Populationen der „Schnell“ – und „Langsamatmer“ (Tab. 6). Damit hat sich die eingangs geäußerte Vermutung in zweierlei Hinsicht bestätigt: Erstens kann man bei einer solchen Versuchsreihe, die 71 Probanden umfasst, nicht von einer homogenen

Population ausgehen und zweitens beeinflusst offensichtlich von vornherein der Status des ANS das Schätzverhalten.

Es befanden sich demnach „Schnellatmer“ mit einer Ruheatemfrequenz von 16,8 Atemzügen pro min in dem Gesamtkollektiv und „Langsamatmer“ mit nur 14,1 Atemzügen pro min. Nach den Ergebnissen von Pongratz (77), Matsumoto et al. (60) und Wiersbitzky et al. (99), in denen die Probandenkollektive höhere Durchschnittsparameter hatten, hätte man annehmen können, dass sich dieses schnellatmende Kollektiv auch durch signifikant höhere Blutdrücke ausgewiesen hätte, was aber hier nicht der Fall war. Der arterielle Blutdruck wurde zwar gemessen, ohne dass sich entsprechende Hinweise ergeben hätten. Man muss aber auch sagen, dass sich die Blutdruckmessungen in der vorliegenden Studie auf Einmalmessungen am Anfang des Tests bezogen. In der Altersgruppe, in der sich die Probanden befanden, genügt eine Einzelmessung nicht, um Prähypertoniker ausfindig zu machen. Man hätte zumindest 24-Stunden-Messungen durchführen und die Messungen mehrmals wiederholen müssen.

Dennoch ist der Verdacht nicht von der Hand zu weisen, dass es sich bei den schlecht schätzenden Versuchspersonen um Prähypertoniker gehandelt haben könnte. Immerhin ist bei mindestens 25% der Probanden die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass sie später zu Hypertonikern werden. Dies nachzuweisen hätte einer gesonderten Studie bedurft, was aber nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit war.

Viel interessanter war jedoch die Tatsache, dass sich bezüglich der Herzfrequenz zwischen diesen beiden Kollektiven keine signifikante Unterschiede ergaben (Tab. 5, 6). Von daher ist es auch verständlich, dass frühere Untersucher, die versuchten, allein anhand der Herzfrequenz auf das Schätzverhalten und damit auf das subjektive Zeiterleben zurückzuschließen, keinen Erfolg hatten (67, 71, 89). Die Ruheatmung, also ein Parameter der schon vor dem eigentlichen Versuch erhoben wurde und dem wir anfänglich keine besondere Bedeutung zugemessen hatten, war demnach der Schlüssel zum Verständnis der Daten.

An dieser Stelle muss auf die Tatsache hingewiesen werden, die aus den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen ist, dass sich während des Testvorgangs die Atemfrequenz um 3 Atemzügen pro min. erhöhte (Tab.1, 2, 3), d.h. um circa 20 %. Das Gleiche galt auch für die Ergebnisse unter hypobarer Hypoxie (Tab.14). Diese Ergebnisse waren hochsignifikant ($p < 0.001$, Tab.4). Das Zeitschätzen, eine kognitive Funktion, hat demnach immer eine Atembeschleunigung zur

Folge. Man kann also von einer zentralen Aktivierung des in der Medulla oblongata gelegenen Atemzentrums ausgehen. Hier ist offensichtlich eine enge Verknüpfung vorhanden, die in dieser Form nicht für das Kreislaufzentrum gilt. Die Herzfrequenz änderte sich nicht bei den Kurzintervallen, jedoch bei den langen Intervallen. Die Herzfrequenz ist so gesehen ein widersprüchlicher Parameter. Dies könnte die Erklärung dafür sein, dass sich bei einigen Untersuchern Zusammenhänge (16, 38) zwischen dem Schätzverhalten und der Herzfrequenz aufzeigen ließen, während sich dies bei anderen Studien (67, 71, 89) nicht zeigen ließ. Die Kurzintervalle wurden in einer relativ kurzen Zeit getestet, während die Tests der langen Intervalle längere Zeit in Anspruch nahmen. Die Belastung der Probanden war bei der Testung der Kurzintervalle offensichtlich geringer. Es könnten aber auch andere Gründe vorgelegen haben.

5.2. Körpertemperatur, Sympatisches Nervensystem (SNS) etc. und Zeitschätzverhalten

In zahlreichen Arbeiten wurde der Einfluss der Körpertemperatur (3, 8, 11, 24, 37, 98), der Herzfrequenz (49, 67, 71, 89), der Atemfrequenz (16, 38, 85), der sympathischen Aktivierung und Hemmung (16, 22, 38, 59), Wahrnehmungsfähigkeit (101), der Isolation (4), und des Alters (17, 31, 51) auf das subjektive Zeitempfinden untersucht. Weiterhin wurde das offensichtlich veränderte Zeitempfinden bei psychisch Kranken untersucht (50, 62, 63, 83, 94). Selbst der Einfluss der Herzfrequenz auf bevorzugte tempi in der Musik wurde untersucht (45). Es würde zu weit führen, alle diese Ergebnisse einzeln zu kommentieren, aber einige Untersuchungen die HF und AF betreffend sollen angeführt werden.

Schaefer et al. (1938), haben einen Zusammenhang zwischen einigen physiologischen Parametern, wie z.B. Puls, Herzarbeit, Atemfrequenz, Atemarbeit während Ruhe und unter Belastung und der Zeitschätzung, untersucht. Sie fanden jedoch keine Zusammenhänge (85).

So auch Ochberg et al. (1970), die den Effekt des Pulses bei Herzschrittmacherpatienten vor und nach Belastung auf das Zeitschätzvermögen untersuchten (67), und Marum et al. (1972), die die Herzfrequenz mit einem Metronom synchronisierten und den Effekt auf das Zeitschätzvermögen untersucht haben (59). Hawkes et al. (1962) untersuchten das autonome

Nervensystem (ANS) von 7 Probanden, welches durch verschiedene Medikamente beeinflusst (sympathisch aktiviert oder gehemmt) wurde, und den Effekt auf deren Zeitschätzvermögen. Als Parameter für den jeweiligen Aktivitätszustand des ANS wurden die Hauttemperatur, die Atemfrequenz und die Herzfrequenz herangezogen. Sie benutzten zwei unterschiedliche Methoden für die Zeitschätzung, nämlich die Reproduktionsmethode (vorgegebene Zeitintervalle werden reproduziert) und die Produktionsmethode (Produktion ohne vorherige Vorgabe). Es ergab sich kein Zusammenhang zwischen den oben genannten physiologischen Parametern und den Zeitschätzungen bei der Reproduktionsmethode. Bei der Produktionsmethode ergaben sich signifikante Korrelationen zwischen Atemfrequenz, Herzfrequenz und Zeitschätzung. Probanden mit erhöhter Herzfrequenz, die also auch stärker aktiviert sind, unterschätzten die Zeit (sie schätzten zu kurz) (38). Cahoon untersuchte 1969 den Effekt von physiologischer Aktivierung auf die Zeitschätzung. Hierzu benutzte er die Produktionsmethode. Er fand bei seinen durch körperliche Arbeit und Lärm stark aktivierten Probanden einen Zusammenhang zwischen der Atemfrequenz, Herzfrequenz und Zeitschätzung. Probanden mit einer hohen Atemfrequenz überschätzten die Zeit, während diejenigen mit einer hohen Herzfrequenz die Zeit unterschätzten (16).

5.3. Kriterien zur Beurteilung der Ergebnisse

Betrachtet man die früheren Untersuchungen hinsichtlich des Testdesigns, fällt auf, dass die zu schätzenden Zeiten nur wenige Male produziert oder auch reproduziert werden mussten. Weiterhin fand hier keine Unterteilung in kurze und lange Intervalle statt (38, 96, 102), was in der vorliegenden Arbeit von größter Bedeutung war. Diese Untersuchungen waren demnach in vielerlei Hinsicht viel zu wenig differenziert angelegt, als dass sie hätten verwertet werden können. Zudem stammen diese Arbeiten aus den verschiedensten Fachgebieten, z.B. der Psychologie, der Physiologie und der klinischen Medizin. Schon von daher war zu erwarten, dass sie sich hinsichtlich ihrer Ansätze, Methoden und Ergebnissen stark unterscheiden. Ein einheitliches Bild bezüglich der Bedeutung der AF für das Schätzverhalten war also kaum zu erwarten.

Auch muss genau darauf geachtet werden, wann in Bezug auf den eigentlichen Test zur Zeitschätzung die Messungen der HF und AF erhoben wurden. Schon z.B. im Titel der Arbeit

von Abel „Charakterisierung kardiorespiratorischer Adaptation durch eine Analyse der Zeitstruktur des Ruheverhaltens“ wird die Bedeutung dieses Tatbestandes ersichtlich. Ruhemessungen vor dem eigentlichen Test sollte ein besonderer Wert beigemessen werden, wenn man das ANS untersucht (1). Darauf haben Koepchen und seine Mitarbeiter besonderen Wert gelegt (1, 47). Man ging dabei von dem Grundgedanken aus, dass die von den Pressorezeptoren angesteuerten Areale, auch als „kardiovaskuläre Neurone“ bezeichnet und in der Medulla oblongata gelegen, als Modulatoren des zentralnervösen Erregungszustandes angesehen werden müssen. Der Ruhezustand dieses rhombenzephalen Kreislaufzentrums, das eng mit den Neuronen des atemregulierenden Systems verknüpft ist, bestimmt später die Anpassungsfähigkeit sowohl dieses Systems als auch des Cortex an die Anforderungen, die gestellt werden. Im vorliegenden Fall an das Zeitschätzungsvermögen. Dieses System ist offensichtlich ein wichtiger Bestandteil der Prozessebene des Systems, das in der SZT zusammengefasst ist (33, 34). In der Literatur wird stets darauf hingewiesen, dass und wie dieses rhombenzephal Herz – Atmungs – Netzwerk mit dem Kortex verbunden ist (18, 47, 55). So gesehen ist es also nicht verwunderlich, dass die Ruhewerte der in der vorliegenden Arbeit erstellten Messungen einen solch hohen prognostischen Wert hatten. Es ist schließlich auch nicht überraschend, dass zwischen Atemfrequenz und Zeitempfinden ein Zusammenhang besteht.

Auffällig ist auch die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie alle so genannten langen Intervalle zu kurz geschätzt wurden (Abb. 4, 8, 15, 20). Hier waren die Tendenzen eindeutig. Die Schätzungen lagen zwischen 8 - 10 % zu kurz. Die Schätzung war homogen und in sich sehr genau. Die Abweichungen zwischen den Fehlschätzungen waren nur gering, d.h. die Probanden lagen zwischen -4 bis -8% zu kurz. Anders ausgedrückt, sie reproduzierten den Fehler sehr genau. Die gleiche Tendenz ist auch in anderen Arbeiten beschrieben (22, 25, 27), was die Vergleichbarkeit der hier verwendeten Methode mit denjenigen anderer Autoren belegt.

Weiterhin ist wichtig, dass ein großer Teil der Autoren hierbei meistens nur die Abweichung der Schätzung von dem vorgegebenen oder zu produzierendem Wert (16, 38, 42) betrachtet, in welche Richtung die Abweichung geht, wird in einigen Fällen zwar zur Kenntnis genommen, nicht aber näher betrachtet. Es ist aber insbesondere hinsichtlich der Schätzmuster aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit durchaus wichtig. Einige

wenige Autoren (76, 95) beschreiben, dass die Richtung des Schätzfehlers bis zu einem bestimmten vorgegebenen Wert (dem sogenannten Indifferenzintervall) gleich bleibt, entweder konstant zu kurz oder konstant zu lang, um dann umzuschlagen, was als eine vereinfachte Form der in der vorliegenden Studie so genannten Schätzmuster angesehen werden kann. Wenn man nun die Abbildungen 1 – 3 betrachtet, fällt auf, dass die Richtung des Schätzfehlers sehr unterschiedlich sein kann und sich dadurch verschiedene Schätzmuster ergeben. Einige Probanden schätzen konstant zu kurz und haben dadurch ein relativ homogenes Schätzmuster (Abb. 2), andere wiederum schätzen in bestimmten Bereichen zu kurz in anderen wiederum zu lang (Abb. 3), höhere Schätzfehler sind meistens mit zu kurzen Schätzungen verbunden. Es ist auffällig, dass immer dann, wenn der geschätzte Wert nahe dem vorgegebenen Intervall kommt, das Muster inhomogen wird. Das Muster sieht unruhig aus, weil einige Balken in einer Reihe entweder nach oben oder nach unten zeigen. Dies ist auf den Abb. 3, 5 und 17 in den Intervallbereichen zwischen 600 – 1700 ms zu erkennen, und auf Abb. 21 und 22 zwischen 2000 – 6000ms. Im letzteren Falle handelte es sich um die Höhenversuche. Anders jedoch in den Abb. 1, 2, 4, 8 und 15, wo alle Balken nach unten zeigen, die Tendenz eindeutig ist, weil stets zu kurz geschätzt wird. Es ist zwar ein homogenes Muster, nichtsdestoweniger sind die Schätzungen ungenau. In der Literatur sind ähnliche Beobachtungen nicht vorhanden. Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, mit statistischen Methoden dieses Verhalten zu analysieren.

Die Schätzmuster können sich auch verändern, so z.B. in dem untersuchten Iquique Höhenkollektiv, siehe hierzu Abb. 15 –17 und 18 – 20, in dem man deutlich sieht, dass sich die Schätzwerte nach oben verschieben, d.h. die vorgegebenen Intervalle werden länger als vorher geschätzt und kommen den vorgegebenen Werte nahe. Anders ausgedrückt, die Schätzungen werden sehr genau. Der Wert einer solchen Schätzmusterbetrachtung wird sich wahrscheinlich dann zeigen, wenn solche Untersuchungen z.B. bei Patienten unter der Einwirkung von Pharmaka gemacht werden, oder aber bei Patienten mit erhöhten Temperaturen, die immer zu kurz schätzen, weil ihre inneren Taktgeber zu schnell laufen (38, 42). Dies kann hier nur als Vermutung geäußert werden, weil umfangreiche Untersuchungen dazu noch nicht vorliegen. Wichtig ist jedoch der Hinweis, dass temperaturabhängige Stoffwechselfparameter das Zeitempfinden beeinflussen können.

Die Betrachtung der Schätzmuster allein reicht jedoch nicht aus, weil man durch sie keine Aussage über den Gesamtschätzfehler machen kann. Wie auch einige andere Autoren (16,38,42) wurde in der vorliegenden Studie hierzu auch die Abweichung vom vorgegebenen Wert genommen, jedoch in Prozent ausgedrückt. Dieses ist der prozentuale Schätzfehler, welcher ein Vorzeichen hat (positiv bedeutet zu lang und negativ zu kurz geschätzt) und somit die Richtung berücksichtigt. Der Nachteil besteht jedoch darin, dass sich bei der Berechnung des Gesamtschätzfehlers die unterschiedlichen Vorzeichen aufheben und so der mittlere prozentuale Schätzfehler klein sein kann, obwohl der Proband eher schlecht schätzt. Um nun also eine Aussage über die Qualität der Schätzung machen zu können, haben wir den totalen Schätzfehler gebildet, der ebenfalls die prozentuale Abweichung vom vorgegebenen Wert, jedoch ohne Vorzeichen ist, hierzu siehe auch Tabelle 2., in der der mittlere prozentuale Schätzfehler mit $-1,7\%$ eher gering ist, aber der totale Schätzfehler bei $7,6\%$ liegt und somit zeigt, dass die Schätzung nicht so präzise ist wie anfangs vermutet.

In der vorliegenden Arbeit wird also die Zeitschätzung und ihre Qualität anhand mehrerer Parameter (prozentualer Schätzfehler, totalen Schätzfehler, Schätzmuster) dargestellt, diese Betrachtungsweise fehlt häufig in früheren Arbeiten. Dort zählt vielmehr die Präzision der Schätzung, d.h. es geht eher darum die physikalische Zeit möglichst genau nachzuempfinden, als ob ein individuelles Zeiterleben abweichend von der physikalischen Zeit bereits als pathologisch gewertet werden müsste. So z.B. Hawkes, der seine Probanden Intervalle von 0,5 bis 4 sek. produzieren und reproduzieren ließ. Er wertete die Abweichung von den vorgegebenen Werten als pathologisch, die Schätzmuster und Tendenzen blieben unerwähnt (38).

5.4. Die Probandenkollektive im Vergleich

Betrachtet man die übrigen Arbeiten näher, fällt auf, dass in den meisten die Probandenkollektive stets als homogen betrachtet werden, was aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Studie zu ungenau ist. Obwohl versucht wurde, ein möglichst homogenes Kollektiv zu schaffen, fiel auf, dass bei der Betrachtung der Atemfrequenz keineswegs eine Homogenität gegeben ist. In diesem Zusammenhang sei auf Tabelle 7 hingewiesen, in der die

Probanden nach ihrer Atemfrequenz unterteilt werden. Es ist auffällig, dass die Schätzfehler in beiden Gruppen signifikant unterschiedlich sind ($p < 0.002$), somit wird klar, dass man die Probandenkollektive nicht als homogen betrachten kann. Unterteilt man das Kollektiv nach dem Schätzfehler, hierzu siehe Tabellen 5 und 6, zeigt sich auch hier, dass die Probanden in den unterschiedlichen Gruppen signifikant unterschiedliche Atemfrequenzen haben. Einen ähnlichen Ansatz hat auch Hawkes (38) gehabt, der seine Probanden nach dem Median der Atemfrequenz unterteilt hatte. Er hat jedoch für die Reproduktionsmethode, die auch in der vorliegenden Studie verwendet wurde, keine signifikanten Zusammenhang zwischen Zeitschätzung und Atmung finden können. Hierzu ist zu sagen, dass Hawkes nur sieben Probanden hatte, wobei jeder von ihnen durch ein anderes Medikament (Amphetamine, Phenylpropanolamin, Chlorpromazin) beeinflusst wurde. Somit kann also keine valide Aussage über das Vorhandensein eines Zusammenhangs gemacht werden. Dies umso mehr als all diese Medikamente das ANS mehr oder minder beeinflussen.

Es sei hier nochmals auf das in der vorliegenden Arbeit große Kollektiv gesunder, nicht medikamentös beeinflusster Probanden hingewiesen. Der Ansatz von Hawkes war nach unserem heutigen Verständnis gut, aber mit dem Probandenmaterial nicht durchführbar. Die Anzahl der Probanden ist auch in den übrigen Arbeiten eher klein. An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass für die vorliegende Studie modernste Computertechnologie und Software zur Verfügung stand. Sie war in den Zeiten als die anderen Autoren Untersuchungen durchführten noch nicht erreichbar. Sie erst ermöglicht es, die gesammelten Daten besser und übersichtlicher zu strukturieren, so dass sie z.B. jederzeit abrufbar sind. Dieses war bei dem großen untersuchten Kollektiv der vorliegenden Studie eine Grundvoraussetzung zur erfolgreichen Bearbeitung.

Da das Kollektiv aus 71 Probanden bestand, kann man eher als die früheren Autoren das Kollektiv in Untergruppen unterteilen und hat trotzdem noch genügend Probanden pro Gruppe, um eine statistisch signifikante Aussage machen zu können, siehe hierzu z.B. Tabelle 7, in der die Gruppe 1 aus 35 und die Gruppe 2 aus 36 Probanden bestehen.

In der älteren Literatur findet man häufig die Versuche, einfache Zusammenhänge im Sinne von Korrelationen zwischen physiologischen Parametern und der Zeitschätzung herzustellen. Obgleich einige der Arbeiten Zusammenhänge beschreiben, ist auch hier oft die Anzahl der Probanden zu klein, so beschrieb z.B. Hoagland, dass man bei erhöhter Körpertemperatur die Zeit kürzer schätzt. Dies war der Ansatz für seine „chemical clock“ Hypothese. Er hatte als

Probanden allerdings nur seine an einer Grippe erkrankte Frau, also $n = 1$ (42). In der vorliegenden Arbeit jedoch zeigt sich eine eindeutige signifikante Korrelation zwischen dem Schätzfehler und der Atemfrequenz und das bei einer großen Anzahl von gesunden Probanden (Abb. 9, 10). Im übrigen ist auch in dieser Abbildung deutlich sichtbar, dass das Gesamtkollektiv keineswegs homogen ist.

Wie oben schon erwähnt, blieben die Richtung des Schätzfehlers und die Schätzmuster bis auf wenige Ausnahmen in der Literatur (26, 76, 95) unberücksichtigt. Betrachtet man nun nochmals die Tab. 7, in der die Schätzfehler der verschiedenen Gruppen unterteilt nach der Atemfrequenz aufgetragen sind, fällt auf, dass diejenigen Probanden mit der höheren Atemfrequenz einen größeren Schätzfehler haben. Betrachtet man nun den prozentualen Schätzfehler näher, fällt zudem auf, dass diejenigen Probanden mit den höheren Schätzfehlern eher dazu neigen zu kurz zu schätzen. Dies ist wichtig, da es für die praktische Anwendung einen großen Unterschied zwischen überschätzen (zu lang) oder unterschätzen (zu kurz) gibt. So sieht man z.B. in den Abbildungen 15 – 20 eindrucksvoll wie sich die Schätzmuster unter hypobarer Hypoxie verändern.

5.5. Psychophysiologische Ansätze

Inwieweit Aktivierung durch Stress oder kognitive Prozesse in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen, muss vorläufig noch dahingestellt bleiben. Es gab mehrer Versuche diese Frage zu klären. Hierzu gehört z.B. die "Skalare Zeiterfassungstheorie" (SZT), auf die bereits ausführlich in der Einleitung eingegangen wurde (33, 34). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass durch den Versuchsaufbau der vorliegenden Studie versucht wurde, kognitive Einflüsse (Gedächtnisebene) weitgehend zu umgehen, um somit in der „Prozessebene“ zu bleiben (32, 65). In früheren Arbeiten blieb dies unberücksichtigt. Prozessebene und Gedächtnisebene wurden häufig nicht getrennt. Dies gilt besonders für die Überprüfung von Intervallen, die über den Zeitrahmen der Präsenzzeit hinaus gehen (16, 25, 76). In neueren Untersuchungen aus dem neurologischen Bereich fanden Versuche statt, das Zeitempfinden auf bestimmte Hirnareale zu projizieren (30, 54, 88).

Weiterhin wird in den meisten Arbeiten davon ausgegangen, dass jedes Individuum gleichartig reagiert, was keineswegs der Fall ist. In diesem Zusammenhang sei nochmals erwähnt, dass die subjektive Zeit ein Konstrukt aus mehreren Faktoren ist und somit zu erwarten ist, dass individuelle Unterschiede zu erwarten sind (19, 61).

5.6. Modellvorstellungen

Eine anderes Model, das "attentional model", stammt von Frankenhauser (28), welches besagt, je komplexer der präsentierte Stimulus ist desto mehr Aufmerksamkeit fällt auf ihn und weniger auf den Timer im Gehirn, so dass der Timer weniger Einheiten erfasst, und so also die Zeit unterschätzt (zu kurz) wird. In der vorliegenden Arbeit wurden leere Intervalle verwendet, so dass auch hierdurch die Zeitschätzung weitgehend unbeeinflusst bleibt. Das Wort „Timer“ wurde in diesem Zusammenhang absichtlich verwendet. Im Deutschen würde sich das Wort „Zeitgeber“ anbieten, der jedoch von den Chronobiologen (5) eindeutig belegt ist. Um Verwechslungen zu vermeiden und eindeutig zu bleiben, wird im Zusammenhang mit dem Zeitschätzverhalten stets das Wort „Timer“ benutzt.

Ornstein (70) stellte dem sein "storage model" gegenüber, das besagt, je komplexer ein Stimulus ist, also je mehr Information er erhält, desto mehr Information wird verarbeitet, und es muss mehr Speicher (storage) im Gedächtnis dafür verwendet werden, welches dann zu einer Überschätzung (zu lang) der Dauer des Stimulus führt. Hierzu kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie keine Stellung genommen werden, da wie bereits erwähnt leere Intervalle verwendet wurden. Der Speicher wäre im SZT – Modell am ehesten mit dem Akkumulator zu vergleichen (34).

In den Darlegungen der beiden Theorien wird hier klar, dass von einer Individualität der Probanden nicht ausgegangen wurde. Wichtig hierbei ist jedoch, dass eine Beeinflussung durch externe Stimuli zunächst die biologischen Oszillatoren (65, 93) betreffen würde. Diese wiederum würde sich schon in der Prozessebene bemerkbar machen, so dass also vor dem Erreichen der Gedächtnisebene erhebliche Unterschiede bestehen könnten. Anhand dieser Ausführung wird klar, wie anfällig solche Modelle sind. Sie sind jedoch für die Interpretation von experimentellen Daten sehr wertvoll.

Es handelt sich hierbei jedoch meist um sehr theoretische Konstrukte, die auch methodisch, also vom Versuchsablauf her für den Probanden eher aufwendig und teils schwer zu verstehen sind. Ihre Stärke liegt jedoch in der ganzheitlichen Anschauung dieses Themas, welche in den physiologischen Ansätzen durchweg zu fehlen scheinen. Diese tendieren dazu zu reduktionistisch heranzugehen, in dem Sinne, dass die subjektive Befindlichkeit außer acht gelassen wird. Es werden beispielsweise eine fiebernde stark schwitzende Probandin (42), oder welche, die unter Drogen standen betrachtet (38), jedoch nicht, dass diese Umstände die Ergebnisse beeinflussen, so z.B. ist die Motivation, Koordination und Konzentrationsfähigkeit sicherlich stark durch die subjektive Befindlichkeit beeinflusst, was vollkommen außer Betracht gelassen wurde. Ebenso ist der aktuelle psychische Zustand des Probanden von enormer Bedeutung, so findet z.B. in Angst und Schrecksituationen eine Zeitdilatation statt, die die Ergebnisse sicherlich beeinflusst (72). Panse hat Menschen befragt, die während Bombenangriffen in Schutzkellern saßen und warteten bis diese Angriffe vorüber waren. Einige Menschen berichteten, wie erstaunt sie waren, als sie beim Verlassen der Keller ans helle Tageslicht traten. Sie waren der Meinung sie hätten nur 1-2 Stunden im Keller verbracht, während sie tatsächlich 12 und mehr Stunden in den Kellern waren. Sie hatten offensichtlich unter dem extremen Stress völlig das „Zeitgefühl“ verloren (72). Man kann in solchen Situationen u.a. von erheblich erhöhten Katecholaminspiegeln ausgehen. Da diese Substanzen, wie wir heute wissen, zentralnervöse Transmitter darstellen, sind diese Erfahrungen unter Angst - und Schrecksituationen verständlich. Semjen beobachtete, dass das Zeitgefühl auch im schwerkraftlosen Feld, in welchem das ANS zunächst gedämpft und danach aktiviert wird, verändert ist (87). Letztendlich bedeutet dies, dass das ANS erheblich den Taktgeber für das Zeitgefühl (internal timekeeping process) beeinflussen kann, wie als Hypothese angenommen wurde. In Tabelle 14 zeigt sich sehr eindrucksvoll, wie äußere Umstände, in diesem Beispiel der Höhengedächtnis und die Aktivierung durch den Test, das ANS unterschiedlich beeinflussen. Es zeigt sich, dass die Herzfrequenz eher durch den Höhengedächtnis und weniger durch den Versuch verändert wird. Bei der Atemfrequenz ist es erstaunlicher Weise genau umgekehrt. Dennoch ist die Tatsache nicht zu übersehen, dass sich das Zeitschätzverhalten in der Höhe verändert. Die Schätzungen werden präziser, d.h. sie weichen weniger von den vorgegebenen Werten ab (Abb. 17-22). Bei Höhengedächtnis in solch extremen Lagen (3800 m) kommt es immer zu einer Aktivierung des Sympathikus (40, 100). Hier geht demnach das veränderte Schätzverhalten mit einer Aktivierung des ANS

einher. Dazu wären weitere Untersuchungen notwendig. Die geschilderten Ergebnisse können nur als die einer Pilotstudie gewertet werden.

Da die Beeinflussung des ANS nicht zu umgehen ist, sollte versucht werden, sie möglichst gering zu halten, was in der Auswertung durchaus möglich ist. Man könnte z.B. zur Korrelation mit dem Zeitschätzfehler nur die Atem – und Herzfrequenzwerte berücksichtigen, die während der Schätzung erhoben wurden (näheres siehe unten und in der Beschreibung der Auswertung).

5.7. Chronobiologie und Zeitempfinden

Auf die Chronobiologie wurde bislang noch nicht eingegangen. Sie geht von inneren Oszillatoren aus. Es erfolgten zahlreiche Versuche, die Frequenz der Oszillatoren zu erforschen. Hier sind insbesondere Aschoff (5), Treisman(93), Rammsayer (78) und Hildebrandt (41) zu erwähnen. In der vorliegenden Arbeit wird von der Existenz solcher Oszillatoren ausgegangen, die durch externe Stimuli beeinflusst werden können (73). Es soll jedoch nicht näher auf die Chronobiologie eingegangen werden, nur soviel sei gesagt, dass in den Isolationsversuchen, die in diesem Zusammenhang durchgeführt wurden, auch das subjektive Zeitempfinden untersucht wurde (4). Die dabei erhobenen Befunde, so interessant sie eigentlich sind, sind für die vorliegende Studie nur von untergeordneter Bedeutung, weil sie in einem ganz anderem Zeitbereich liegen. Dabei wurde das Zeitempfinden im Bereich von Stunden und Tagen untersucht und unterlag erwartungsgemäß bestimmten Veränderungen (4). Diese Ergebnisse seien hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Zusammenhänge mit der HF und AF wurden dabei nicht untersucht.

5.8. Mögliche Ursachen divergierender Ergebnisse

Im Gegensatz also zu den übrigen oben erwähnten physiologischen Arbeiten fanden sich in der vorliegenden Studie unter Verwendung der Reproduktionsmethode Zusammenhänge zwischen der Zeitschätzung und physiologischen Parametern. In einigen Arbeiten wurden Zusammenhänge (meist schwache) nur unter Verwendung der Produktionsmethode beschrieben (16, 38). Dies könnte daran gelegen haben, dass meistens längere Intervalle z.B. 30 sec. gewählt wurden, die gut produziert werden können, jedoch für die Reproduktionsmethode zu lang sind und so Zusammenhänge verschleiern. Dabei wird die Prozessebene verlassen und die Gedächtnisebene aktiviert. Hier wurde versucht, das weitgehend zu vermeiden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen nicht im Gegensatz zu den Grundaussagen von Arbeiten, in denen Zusammenhänge zwischen der Zeitschätzung und einigen physiologischen Parametern beschrieben wurden (16, 38), sondern im Gegensatz zu den Arbeiten, in denen keine Zusammenhänge beschrieben wurden (67, 89). Insgesamt ist jedoch zu bemerken, dass die übrigen Arbeiten methodisch sehr unterschiedlich sind, so sind z.B. die zu produzierenden Zeiten einmal 30 sec., einmal 1 min. etc. Dieses könnte eine Erklärung für die teils gegensätzlichen Ergebnisse sein.

Die Gegensätze zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie können mehrere Ursachen haben.

1. In den übrigen Arbeiten wurden nicht die Intervalle sondern nur die absoluten Größen betrachtet.
2. Von den äußeren leicht zu erfassenden Merkmalen, wie Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand, Lebensgewohnheiten (nicht Raucher), besonderen Eigenschaften (keine professionellen Musiker) und der Messsituation (Tageszeit der Messung und Ort) ausgehend wurde das in der vorliegenden Studie untersuchte Kollektiv als homogen betrachtet. Von den physiologischen Merkmalen her wurde das Kollektiv allerdings nicht als homogen betrachtet.
3. Die Gesamttestdauer wurde so kurz wie möglich gehalten (ca. 30 min), um die Motivation aufrecht zu erhalten und Ermüdungserscheinungen zu vermeiden.

4. Die feine Auswertung bezüglich des absoluten und prozentualen Schätzfehlers wäre bei der gesammelten Datenmenge, nicht ohne den Einsatz modernster Computertechnologie sowie neuerer Software und Sensortechnologie möglich gewesen.
5. In der vorliegenden Studie wurden mehr Variablen betrachtet, die früher noch nicht genau bestimmt werden konnten, wie z.B. der Herzfrequenzvariabilität und der Atemdauervariabilität, ebenso Verhältnisse, wie z.B. die Ratio (Quotient aus Atemfrequenz und der Herzfrequenz), deren physiologische Bedeutung erst in den letzten 10 Jahren herausgearbeitet wurden (41). Auch hierzu war wiederum modernste Computertechnologie nötig.

5.9. Methode und praktische Anwendung

Auch methodisch und in der Auswertung unterscheidet sich die vorliegende Arbeit von den anderen. So z.B. wurden während der Zeitschätzung gleichzeitig die Herz – und Atemfrequenz registriert, was mehrere Vorteile brachte :

- A. Es erlaubte eine genauere Beschreibung des Funktionszustandes des ANS (hierzu siehe Tab.14).
- B. Durch die Speicherung des genauen zeitlichen Ablaufs konnten die physiologischen Parameter, die genau während der Schätzung gemessen wurden, mit den Schätzfehlern verglichen und somit eine Überlagerung durch Aktivierung des ANS, wie z.B. durch die Vorgabe der Intervalle vermieden werden.
- C. Das Zeitempfinden zu quantifizieren.
- D. Untergruppen zu bilden (siehe z.B. Tab. 7), dadurch wurde eine pauschale Betrachtung vermieden.

Weiterhin ist im Gegensatz zu den übrigen Arbeiten die in der vorliegenden Arbeit verwendete Methode verständlicher und somit einfacher durchführbar. Auch der apparative Aufwand ist durch computergestützte Auswertung eher klein und übersichtlich, so dass die

Versuche auch in der Klinik am Krankenbett und nicht nur im Labor durchführen werden können. Dies könnte bei der Untersuchung des Zeitempfindens psychisch kranker Patienten und in der Arbeitsmedizin, einen erheblichen Vorteil bieten, da für sie eine komplizierte Methode zu anstrengend wäre und somit die Motivation schnell schwinden würde (62, 63, 94). Auch aus Kostengründen ist die in der vorliegenden Studie verwendete Methode von Vorteil, da man sie überall durchführen kann, und die Probanden nicht erst ins Labor kommen müssten, was teils ein erhebliches Problem darstellen kann, so z.B. bei Sträflingen (49). Es muss natürlich gesagt werden, dass durch die genaue Registrierung der Daten und durch die große Menge an Informationen, im nachhinein ein erheblicher Aufwand nötig ist, um die gespeicherten Daten zu bearbeiten. Pro Proband fallen ca. 4000 Messwerte an. Hierzu sind leistungsfähige Computerprogramme, die hier erst entwickelt wurden, nötig, um die zahlreichen Sortierungen und Konvertierungen durchzuführen. Diese zu schaffen, war ein maßgeblicher Teil dieser Arbeit (siehe hierzu auch den Auswertungsteil in der Methode).

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, eine Grundlage für die Untersuchung des Zeitempfindens zu schaffen. So können durch die relativ überschaubare und standardisierte Methode, die in der vorliegenden Studie verwendet wurde, mit wenig Aufwand, Messungen an bestimmten Patientengruppen durchgeführt und mit dem Normalkollektiv verglichen werden.

Für die vorliegende Arbeit war es sehr wichtig die alte Herangehensweise zu berücksichtigen, d.h. so wie in den früheren Arbeiten zu versuchen, möglichst einfache Zusammenhänge nachzuweisen. Dieses ist bei einem so komplexen Thema wie dem subjektiven Zeitempfinden, welches aus der Summe vieler einzelner Faktoren und Einflüsse besteht, sehr wichtig und kompliziert. Man läuft sonst Gefahr, schnell den Überblick zu verlieren und könnte so Zusammenhänge übersehen. Das subjektive Zeitempfinden wurde folglich in der vorliegenden Studie als Summe verschiedenster Faktoren mit einigen physiologischen Parametern in Verbindung gesetzt, so dass nicht nur einzelne Komponenten der Summe, sondern die Summe als ganzes und somit das Zeitempfinden beurteilt werden können. Aus oben genannten Gründen ist davon abzuraten, diese Fragestellung zu reduktionistisch anzugehen, so z.B. nur bestimmte Gehirnpotentiale (82) oder Dopaminkanalaktivitäten (48,80) zu untersuchen und so zu versuchen, das subjektive Zeitempfinden und seine

Beeinflussbarkeit zu beschreiben. Dies ist sicher zu wenig. Es kann Bausteine liefern, aber der Gesamtzusammenhang kann leicht verloren gehen.

Bei der Untersuchung solch komplexer Themen entsteht eine gewaltige Datenmenge, die ohne modernste Computer und entsprechende Programme nicht zu bewältigen wäre. Dieses ist sicher einer der Gründe gewesen, weshalb in früheren Arbeiten die Zusammenhänge teils nicht so gut und teils gar nicht darstellbar waren.

Aufgrund der oben erwähnten Ergebnisse kann die eingangs erwähnte Hypothese belegt werden. In der Tat ließ sich zwischen der Herzfrequenz und dem subjektivem Zeitempfinden kein Zusammenhang unter Normalbedingungen in Meereshöhe darstellen. Für die Atemfrequenz jedoch, die bis auf wenige Ausnahmen (16, 38) in früheren Arbeiten nicht berücksichtigt wurde, konnte in der vorliegenden Studie ein Zusammenhang hergestellt werden. Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, welche praktischen Konsequenzen dieses nach sich zieht.

5.10. Schlussfolgerung

Da wir nun wissen, dass wir über die Atemfrequenz einen Zugriff auf das ANS und das subjektive Zeitempfinden haben, wird vieles leichter. Es ließe sich z.B. durch einen solchen Test herausfinden, welche Probanden an bestimmten Arbeitsplätzen zu hohen Unfallraten neigen, oder eventuell besonders gefährdet sind. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Reize von außen auf das System zu setzen. Ein solcher wäre z. B. der Wegfall der Gravitation im Weltraum, was eingangs erwähnt wurde. Es zeigte sich eben hier, dass nicht die motorische Komponente, sondern das subjektive Zeitempfinden im Vordergrund steht (87). Dieses ist wiederum von dem ANS und seine Oszillatoren beeinflussbar (73). Von besonderem Interesse ist hierbei der zugrunde liegende Test dieser Studie, da sich die Ergebnisse auf Zeitintervalle beziehen, die im Bereich der eingangs erwähnten Präsenzzeit liegen. Das Aneinanderreihen mehrerer Präsenzzeiten bildet die Grundlage für das Zeitempfinden auch längerer Zeitdauern. Diese Tatsache ist somit von großer Bedeutung für Arbeitsabläufe. Solche sollten natürlich im Weltraum optimal laufen um das Timing zu optimieren. Nicht nur der Wegfall der Gravitation, sondern auch das gleich bleiben des Gravitationsvektors, wie z. B. bei

bettlägerigen Patienten, stellt einen Reizentzug für das ANS und somit auf das subjektive Zeitempfinden dar. Offensichtlich scheint die Reizkonstellation aus der Umwelt (Lärm, Schwerelosigkeit etc.) für das subjektive Zeitempfinden eine wesentliche Rolle zu spielen (72).

Dieses könnte in der klinischen Praxis bei der Betreuung solcher Patienten eine Rolle spielen. Wenn z.B. das ANS durch bestimmte äußere Reize beeinflusst wird, müsste dies nach den Ergebnissen dieser Arbeit Einfluss auf das subjektive Zeitempfinden haben. So wäre es denkbar, dass sich die Progredienz chronischer Erkrankung hieran ablesen ließe, oder umgekehrt, der Erfolg einer Therapie, beispielsweise einer Kur. Hierbei ließe sich der Aktivierungszustand des ANS, somit also der Stresspegel und seine Auswirkungen näher betrachten. Von onkologischen Patienten unter zytostatischer Chemotherapie wird berichtet, dass es zu einer starken Beeinträchtigung der kognitiven Funktionen (Gedächtnis, Sprache, Aufmerksamkeit) kommt (61a). In diesem Zusammenhang ist auch interessant, dass von diesen Patienten von einem längeren Empfinden der Zeit berichtet wird, was von ihnen als sehr belastend und unangenehm empfunden wird. Bei diesen Patienten ist der Stoffwechsel maßgeblich verändert, was wiederum für die Existenz einer chemischen Uhr (42) sprechen würde. Dieses sollte jedoch in kontrollierten Studien überprüft werden, da es sich hierbei um Einzelbeobachtungen handelt.