



universität  
wien

# MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Präventive Maßnahmen zur Belastungskompensation  
an der Halswirbelsäule für Piloten des Eurofighter  
Typhoon“

Verfasser

Ingo Panovsky

angestrebter akademischer Grad

Magister der Sportwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, im November 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:	A 033 625
Studienrichtung lt. Studienblatt:	Sportwissenschaften
Betreuer:	Univ.-Ass. Dr. Harald Tschan

**Die Erstellung der Arbeit erfolgte im Auftrag des Österreichischen Bundesheeres  
und in Zusammenarbeit mit Dr. Wolfgang Rausch vom  
Heeres-Sportwissenschaftlichen Dienst  
(Sportwissenschaftliche Forschung, Heeres-Sportzentrum des Österr. Bundesheeres)**

### **Danksagung**

An dieser Stelle darf ich jenen danken, die mich durch das Studium und insbesondere bei der Erstellung meiner Diplomarbeit auf ihre ganz persönliche Weise begleitet haben:

Meinen Eltern für ihre aufgeschlossene und hilfsbereiten Art, durch die sie mir den wesentlichen Rückhalt für mein Tun geben,

meinen Geschwistern für ihre Unterstützungen und Ratschläge,

meinem Betreuer, Herrn Univ.Ass. Dr. Harald Tschan für sein Interesse an dieser Arbeit sowie die umsichtige wissenschaftliche Betreuung,

und letztlich meiner Frau für den gemeinsamen Weg bis hierher.

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde im Auftrag des heeresportwissenschaftlichen Dienstes des österreichischen Bundesheeres und als Magisterarbeit am Zentrum für Sportwissenschaften der Universität Wien erstellt.

Sie befasst sich mit der Fragestellung möglicher physiologischer Kompensationen für Piloten des Flugzeugtyps „Eurofighter Typhoon“ und soll damit im Rahmen der Arbeiten der Humanfaktorengruppe des österreichischen Bundesheeres letztlich in ihren grundsätzlichen wie auch praxisbezogenen Erkenntnissen den die Piloten betreuenden Sportwissenschaftlern als Grundlage weiterführender Maßnahmen und Überlegungen dienen.

Die Halswirbelsäule als eines der wesentlichen hoch belasteten Elemente der Physiologie des Piloten erfährt hierbei im Fokus der Betrachtungen umfassende trainingswissenschaftliche Bewertung.

Aus Formgründen sei darauf hingewiesen, dass im Text funktionsbezogene Termini, insb. der des Piloten, stets als für beiderlei Geschlecht in gleicher Weise und Wertigkeit geltend zu verstehen sind.

# **Präventive Maßnahmen zur Belastungskompensation an der Halswirbelsäule für Piloten des Eurofighter Typhoon**

## **Einzelfaktor-orientierte Realisation einsatzbezogener physiologischer Anforderungen während enger Flugradien**

Ingo Panovsky

### **Zusammenfassung**

#### **Einleitung:**

Wie aus mannigfaltigen Studien hervorgehend, werden Piloten moderner Kampfflugzeuge Belastungen an den Grenzen der physiologischen Akzeptanz ausgesetzt. Im speziellen Fall des Eurofighter Typhoon ist zu untersuchen, in wie weit anhand bereits bestehender Erkenntnisse Belastungen der Halswirbelsäule durch trainingsphysiologische Interventionsmaßnahmen als kompensierbar betrachtet werden können und wie darüber hinaus im konkreten Fall derartige kompensatorische Maßnahmen aussehen könnten.

#### **Methodik:**

Auf dem Wege qualitativ-hermeneutischer Forschungsmethodik wurden Studien insbesondere zur konkreten Thematik der Belastung von militärischen Einsatzpiloten herangezogen, um die grundsätzliche Notwendigkeit, Effekte und konkreten Möglichkeiten einer Trainingsintervention für die Piloten des österreichischen Bundesheeres aufzeigen zu können. Dem folgend versucht der Autor, eine grundlegende Systematik der motorischen Funktionalität der muskulären Strukturen, die neurophysiologischen Mechanismen sowie die spezifischen systemischen und taktischen Umstände des Eurofighter Typhoon zu erfassen und diesen in den weiteren Überlegungen gerecht zu werden. Darüber hinaus wurde alle österreichischen Piloten, die bereits Flugerfahrung am Eurofighter Typhoon aufweisen, einem Experteninterview unterzogen.

#### **Resultate:**

Ein qualitativer Vergleich der herangezogenen Studien zeigt deutlich, dass aufgrund der hohen Belastungen Trainingsinterventionen für die Piloten absolut unumgänglich sind. Trainingsinterventionen wurden in den bewerteten Studien i.d.R. als moderat-intensitäres Krafttraining verstanden, detaillierte Ausführungen zu den Umfängen, Intensitäten und Übungsformen wurden zumeist nicht genannt. Die individuelle Muskelkraft wurde vorwiegend anhand des isometrischen Kraftmaximums in verschiedenen Gelenkwinkeln bestimmt bzw. indirekt über EMG-Referenzwertmessungen während realer Übungsflüge ermittelt.

#### **Conclusio:**

Die offensichtlich komplexe Systematik der neuronalen Ansteuerung und Realisation von Bewegung und Stabilisation der Rückenmuskulatur bedingt auch komplexe, nicht simplifizierende Trainingsinterventionen. Diese sollten jedenfalls Trainingsformen des Krafttrainings, der propriozeptiven Kontrolle, der lokalen und globalen Koordination und einen geringen Anteil der Ausdauer umfassen. Weiters kann als unumgänglich angenommen werden, dass Trainingsinterventionen unter Einbindung in die bestehende fliegermedizinische Praxis einer fachkompetenten sportwissenschaftlichen Betreuung über den gesamten Zeitraum der Intervention hinweg bedürfen.

Aufgrund der speziellen Belastungsgrößen im Eurofighter Typhoon, nicht zugänglichen Datenmaterials sowie trainingsphysiologisch-fliegermedizinisch weiterführender Fragestellungen sind bisherige Messmethoden in weiterführenden Untersuchungen zu hinterfragen und mögliche andere Methodenkomplexe zu überdenken.

#### **Schlüsselwörter:**

Eurofighter Typhoon, G-Kräfte, Halswirbelsäule, neurophysiologische Mechanismen, Trainingsinterventionen, Belastungsschmerz, neuronale Ansteuerung

## **Preventive measures of strain compensation in fighter pilots cervical spine column on the Eurofighter Typhoon plane**

### **Focused physiological realisation of tactical demands in extreme sortie maneuvers**

Ingo Panovsky

### **Main Abstract**

#### **Introduction:**

As various studies show, fighter pilots are put on different physical strain mainly caused by the G forces effecting them. Because of extreme narrow banking turns which the most recent generation of fighter planes - and especially the Eurofighter Typhoon type - are able to manage, it seems to be inevitable to find preventive training procedures for the cervical spine, motoring and surrounding muscle structures. The main question in the study is whether there are realistic and practical ways to compose and implement a training program that can be used by the Austrian Eurofighter pilots to eliminate or reduce neck pain and tactical lack caused by premature muscle fatigue.

#### **Methods:**

By hermeneutical methods, different studies were researched in order to show the necessity, effects and possibilities of special training interventions for fighter pilots. Therefore, the main attention was directed towards a systematic view of the muscular motion functions, the neurophysiological mechanisms and the special systemic and tactical demands in the Eurofighter Typhoon plane. In addition to that, the Austrian pilots who have already performed flights in the Eurofighter Typhoon and those who will fly it in near future (and have long-term experience in other fighter planes) were interviewed by the author about the main topics "biometrical facts", "tactical and physiological demands", "individual troubles and types of pain" and "individual training habits at the moment". These interviews were important for the analysis of systemic and physiological facts which otherwise could not have been extracted from empirical studies, due to the absolute new quality of strain parameters Eurofighter Typhoon is able to realize as well as due to military secrecy.

#### **Results:**

Drawing a comparison between the studies revealed that training intervention programs are absolutely necessary for the Eurofighter Typhoon pilots. Training interventions for pilots of different plane types and countries have shown significant effects, resulting in less neck pain and fewer lost work days. Training methods are mostly understood as muscle force training. For the most parts of the studies there were no details of the training program represented presumably put down on military interests. The muscular capacity in the studies is mostly determined by measuring the maximum isometric force in different angles and evaluating in-flight EMGs.

#### **Conclusion:**

The complex control of the primary and secondary functional system of the human cervical spine column demands a complex intervention program. This requires [] muscle force training, training of proprioceptive control, coordinative training and a smaller share of endurance training. Further it is obvious that general training principles can be applied to the specific muscular and neurological system of the cervical area. At the very least training programs need to be introduced and supervised by exercise science professionals for the whole time of intervention because of the individual status and improvement regarding single types of pain, training effects and training motivation of each individual pilot.

Because little is known about typical strain for this type, the neuromuscular symptoms and functions in pilots as well as the evaluation of training and therefore the validity and objectivity of the formerly used measuring methods have to be discussed later.

#### **Key words:**

Eurofighter Typhoon, neck pain, training intervention program, neuromuscular control, primary and secondary functional system

## Inhaltsverzeichnis

<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>1. PROBLEMSTELLUNG AM PHYSIOLOGISCH-ANATOMISCHEN FOKUS.....</b>	<b>8</b>
<b>2. SYSTEMISCHE ANFORDERUNGEN .....</b>	<b>18</b>
2.1 Biometrische und taktische Normgrößen.....	19
2.2 Flugzeugtypenspezifische Sonderstellungen und Schlüsse.....	26
<b>3. BELASTUNGSSCHARAKTERISTIKA.....</b>	<b>32</b>
<b>4. MULTIPLIKATOREN .....</b>	<b>37</b>
<b>5. TRAININGSPHYSIOLOGISCHE RESSOURCEN.....</b>	<b>40</b>
<b>6. BEWERTUNG DER BELASTUNGSPARAMETER UNTER TRAININGSRELEVANTEN GESICHTSPUNKTEN.....</b>	<b>49</b>
<b>7. NEUROPHYSIOLOGISCHE ANSTEUERUNGSMODELLIERUNG .....</b>	<b>53</b>
7.1 Muskuläre Realisation am Fokus der Wechselwirkung von Stabilisation und Dynamik.....	55
7.2 Muskuläre Realisation unter dem Gesichtspunkt intra- und intermuskulärer Balance .....	57
7.3 Muskuläre Realisation am Fokus der zerebralen Steuerung.....	58
<b>8. TRAININGSPHYSIOLOGISCHE CONCLUSIO .....</b>	<b>62</b>
8.1 Prämissen für das konkrete Trainingskonzept.....	62
8.2 Conclusio bezüglich der allgemeinen trainingsmethodischen Termini .....	65
<b>9. TRAININGSORIENTIERTE PARALLELEN ZU VERGLEICHBAREN STUDIEN, SPEZIFISCHER HERMENEUTISCHER KONTEXT .....</b>	<b>79</b>
<b>10. EXEMPLARISCHE ÜBUNGSGESTALTUNG UND TRAININGSMODULATION .....</b>	<b>86</b>
10.1. Krafttraining.....	86
10.2. Kraftausdauertraining.....	96
10.3. Propriozeptives Training .....	97
10.4. Spezifisches und allgemeines koordinatives Training .....	102
10.5. allgemeines und spezifisches Ausdauer-Training .....	104
10.6. Trainingsumfänge –Vorschlag modularer mikro- und makrozyklischer Ordnung.....	106
<b>11. EVALUATIONEN UND NACHHALTIGKEITSPRÜFUNGEN.....</b>	<b>108</b>
<b>OFFENE FRAGESTELLUNGEN.....</b>	<b>116</b>

## Einleitung

Mit der Indienststellung des Flugzeugtyps „Eurofighter Typhoon“ im Österreichischen Bundesheer wird der Schritt in die vierte Generation von Kampfflugzeugen nicht ohne weitreichende Konsequenzen auch für den „Faktor Mensch“ im Flugzeug selbst getätigt.

Die Tatsache, dass dieses Flugzeug zum Zeitpunkt der Erstellung nachfolgender Ausführungen als Letztstand der Entwicklung bei Strahlflugzeugen mit militärischem Auftrag bezeichnet werden kann, lässt im Kontext der technischen Entwicklungen und taktischen Anforderungen der vergangenen Jahrzehnte ebenso leicht wie eindringlich die an den Grenzen des Möglichen liegenden physischen Belastungen, welchen der Pilot hier ausgesetzt wird, erkennen.

Da ebendiese Belastungen verschiedene physiologische Wirkungsspektren mit weitreichenden Konsequenzen abdecken, ist die vorliegende Arbeit nur dem Teilbereich der Halswirbelsäule gewidmet.

Um angesichts der zwar in ihrer Größe, nicht aber in ihrer tatsächlichen - insbesondere mittel- und langfristigen - Wirkung bekannten Belastungen für den Piloten solide und wissenschaftlich nachvollziehbare Schlüsse und Konzeptionen zu gewährleisten, werden eingangs Belastungsmuster, subjektive Belastungsempfindungen und standardisierte Handlungsabläufe erfasst und strukturiert.

In weiterer Folge werden demgegenüber bzw. beigelegt die physiologischen Merkmale belasteter und anpassungsfähiger Strukturen bewertet. Weiters dienen die umfassenden Überlegungen zur grundsätzlichen wie auch spezifischen funktional-motorischen, neuromuskulären und trainingsphysiologischen Kompensation der Schaffung einer konkreten Handlungsbasis.

Dass dabei letztlich praktische Übungsempfehlungen, Trainingsintensitäten und evaluative Überlegungen nur einen exemplarischen Ansatz bieten können, wird angesichts der aktuellen Situation einer erst in Einführung befindlichen Technologie und der hermeneutischen Forschungsmethodik verständlich. Findet sich auch ein ausgesprochen umfangreiches Spektrum an allgemeiner Literatur zum Training der Rückenmuskulatur, so sind spezifische Studienergebnisse und Trainingsempfehlungen für Piloten in Summe eher spärlich vorhanden, und auch unter Berücksichtigung der oben erwähnten Sonderstellung jenes Flugzeugtyps hinsichtlich seiner Wirkungsgrößen und Aktualität kann zwar schon für weitaus ältere Typen die Problematik des speziellen Bereiches Halswirbelsäule hinlänglich belegt werden, die konkreten

trainingswissenschaftlichen Ansätze hierzu sind jedoch, wenn überhaupt benannt, so wenig umfassend und nur rudimentär dargestellt.

Mag darin ein nachvollziehbares Interesse militärischer Natur liegen, so stellt sich auch und umso mehr für den hermeneutisch zugänglichen Bereich die Frage nach der tatsächlichen Handlungskette, um gleichermaßen Pilot und vorgesetztem Kommando die primären Interessen der kurz- und mittelfristigen Handlungsfähigkeit zu gewährleisten.

Diese Handlungskette dürfte auch in den jüngsten Studien eher als exemplarische bis experimentelle Intervention verstanden sein; für Piloten von Flugzeugen älterer Bauart war bislang offensichtlich ein umfassendes und konkret belastungsbezogenes Training kaum üblich bzw. dem Soldat selbst im Sinne der Verpflichtung zur „Kampfkrafterhaltung“ selbst überantwortet.

Insofern ist es Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Grundlage für weiterführende Überlegungen zu konkreter Trainingsintervention zu schaffen und insbesondere die grundsätzliche Notwendigkeit wie auch spezifische Ansatzpunkte für die kurz- und mittel- und langfristige Flugtauglichkeit der Eurofighter-Piloten am speziellen Fokus aufzuzeigen.

Es ist zu erwähnen, dass ein wesentliches Element dieser Arbeit auch die Durchführung von qualitativen Experteninterviews war, welche mit allen aktuell am Eurofighter ausgebildeten Piloten des österreichischen Bundesheeres durchgeführt wurden (das Formblatt des Interviews ist im Anhang zu finden). Dadurch konnten sowohl die Standardprozeduren der Piloten der taktischen Realität entsprechend implementiert werden als auch systemisch relevante und auf die individuellen Belastungsempfindungen bezogene Grundlagendaten erhoben werden.

Die abschließenden kurzen Überlegungen zur Evaluation und Nachhaltigkeitsprüfung sollen insbesondere die Notwendigkeit weiterführender theoretischer wie auch praktischer Arbeiten wissenschaftlicher Prägung aufzeigen und eine kritische Bewertung der bisher verfügbaren Grundlagen ansatzweise ermöglichen.

## 1. Problemstellung am physiologisch-anatomischen Fokus

Das Auftreten von Belastungen verschiedener Natur in jeweiligen Grenzbereichen physiologischer Akzeptanz bei Militärpiloten kann angesichts der subjektiven Aussagen von Piloten ebenso wie der vielfältigen fliegermedizinischen Problemstellungen als unumstritten angenommen werden. Insbesondere bei den Flugzeugtypen der jüngeren Generationen stellt längst die Physiologie des Piloten den limitierenden Faktor gegenüber den technischen Möglichkeiten dar.

Neben den umfassend untersuchten und augenscheinlichen Problemstellungen kardiologischer und pulmonaler Belastungsspitzen werden aber insbesondere bei den erwähnten Kampfflugzeugen der so genannten „vierten Generation“ zunehmend auch belastende Einflüsse diagnostiziert, die, teils unmittelbar, teils mittelbar, nachhaltig zu Schmerzbildern und Schädigungen an der anatomischen Struktur führen können.

Den ursprünglich also geradezu zwangsläufig intensiv untersuchten Vorgängen, welche zu Bewusstseinsbeschränkungen (vgl. „Tunnelblick“, „G-lock“, Bewegungseinschränkungen, u.dgl.) bis hin zum Bewusstseinsverlust führen, sind also heute Fragestellungen hinzugefügt, welche unter anderem

- die Belastungskompensation durch neuartige Anzüge (siehe „Libelle“, Kap. 2)
- die Kombination verschiedener Kompensationssysteme (siehe „pressure-breath“, Kap. 2)
- das Auftreten peripherer Einblutungen (vgl. Experteninterviews u. Kap.3)
- und insbesondere die biomechanisch wirksamen Drehmomente an der Wirbelsäule als Ausdruck externer physikalischer Wirkungen (Trägheit, G-Kräfte)

betreffen.

Zwar werden aktuell auch am Fokus dieser Effekte Untersuchungen angestellt, die Beantwortung der Belastungen durch in ihrer Nachhaltigkeit wirkungsspezifische Maßnahmen ist aber aufgrund des erst in unmittelbar jüngster Zeit auftretenden Bedarfes gegeben.

Historisch kann diese Tatsache wie folgt erläutert werden:

Bereits in den 1940er Jahren können bei bestimmten Flugmanövern (Ziel-Sturzflug) mancher Flugzeugtypen (Junkers, Ju 87, Ju 88) in der Abfangphase („Hochziehen“ des Flugzeuges am Scheitelpunkt) Belastungen von bis zu 5 G erreicht werden. Piloten verlieren damals mehrfach bereits in diesem Belastungsbereich das Bewusstsein, was

letztlich den Einbau einer höhenmesser-gekoppelten Steuerklappe nötig macht. (vgl. Stahl, 1990)

In den 1960er-Jahren werden „Anti-G-Hosen“ entwickelt, die durch automatische Pressluftzufuhr ein Versacken des Blutes in die Peripherie verhindern. (vgl. Bölkow, 1990)

Die MIG-29-Flugzeuge der 1990er-Jahre schließlich erreichen in bestimmten Manövern bis zu 12 G, allerdings hauptsächlich in extremen und gänzlich achsengerecht ausgeführten Flugbewegungen. (vgl. Kopenhagen, 2002)

Der Eurofighter Typhoon schließlich vermag auch in komplexen Bewegungen aufgrund extrem enger Flugradien den Piloten in Situationen zu bringen, die zu momentanem motorischen Kontrollverlust und insbesondere unmittelbaren Verletzungen am System Wirbelsäule führen können. (vgl. Experteninterviews)

Mittelbare Folgeerscheinungen sind zum jetzigen Zeitpunkt naturgemäß nicht bekannt, aufgrund der weiter unten angeführten Studien kann aber für den Flugzeugtyp Eurofighter Typhoon folgendes angenommen werden:

1. Die physikalischen Auswirkungen auf den Piloten sind im Eurofighter Typhoon zumindest gleich hoch wie, vermutlich aber höher als in vergleichbaren Flugzeugtypen. Inwieweit hier Faktor und Wirkungsgrad der höheren Belastungswerte in Relation gebracht werden können, mag hintangestellt bleiben, angesichts der taktischen Anforderungen (vgl. weiter unten) an den Piloten darf zweifelsfrei von höheren physikalischen Wirkungsmaxima als in den referenziell herangezogenen Studien ausgegangen werden. Rückschlüsse sind also, anders gesagt, insofern möglich, als es nur zu Überhöhungen der Auswirkungen kommen kann, während Kompensationen durch flugzeugtypenspezifische Neuerungen zu vernachlässigen sind. (vgl. hierzu Erläuterungen zum „Libelle“-System und die taktischen Anforderungen, siehe hierzu auch Kap. 2)
2. Weiters kann von einer flugzeugtypen- und trainingsformunabhängigen, grundsätzlichen multifaktoriellen Belastung von Kampfflugzeugpiloten im Allgemeinen ausgegangen werden, da die herangezogenen Studien für unterschiedliche Flugzeugtypen und Probandengruppen unterschiedlicher Nationalitäten (USA, SE, FI, u.a.) geltend gemacht wurden.
3. Schmerzempfindungen, Schmerzbilder und belastungsbedingte Zusammenhänge (Belastungsdichte, Belastungsformen) sind über viele Studien hinweg

unverkennbar und zeigen darüber hinaus in mehreren Studien hohe Wechselwirkung zu körperlichem Training. (vgl. Valkeinen, 2002; Sovelius, 2006)

4. Diese Symptomatik wird noch durch die Tatsache verstärkt, dass grundsätzlich bei den jeweils untersuchten Probanden(-gruppen) von allgemein gesunden Personen, teils beiderlei Geschlechts, ausgegangen werden kann, da Flugurlaubnis und medizinisch attestierte Flugbefähigung in unmittelbarem Zusammenhang stehen.
5. Wie weiter unten noch erläutert werden soll, zeigt sich darüber hinaus im speziellen ein (in den quantitativen Studien meist signifikant) hoher Zusammenhang zwischen Flugdauer, Flugintensität (G-Belastungen je Flug) und Häufigkeit des Schmerzaufretens in einer Probandengruppe. (vgl. Hämäläinen, 1993; 1994)
6. Zuletzt kann weiters noch aufgrund der durchgeführten Experteninterviews festgehalten werden, dass die subjektiv empfundenen auftretenden Belastungsgrößen von den befragten Piloten zum Zeitpunkt der Befragung aufgrund geringer Flugerfahrung am speziellen Flugzeugtyp zwar noch keine absolute Beschreibung der Anforderungen an ihren Körper zulassen, gerade die bis zum Befragungszeitpunkt gewonnenen Erfahrungen am neuen Flugzeugtyp jedoch bereits bei „leichten“ Flugmanövern einhellig als wesentlich höher empfundene Belastungen als bisher erkennen lassen. Eine auch nur „lineare“ Schlussfolgerung hinsichtlich der tatsächlichen körperlichen Auswirkungen, interpretiert aus Belastungen in älteren Flugzeugtypen, erscheint daher gerechtfertigt.

In weiterer Folge können diese Erkenntnisse auch anhand insbesondere der unten angeführten Studien untermauert werden.

Da die vorliegende Arbeit ja per definitionem konkret Belastungen und deren Kompensationsmöglichkeiten im Bereich der Halswirbelsäule des Piloten im Eurofighter Typhoon untersuchen soll, müssen zugunsten der grundsätzlichen Realisierbarkeit nachfolgender Trainingsempfehlung Einschränkungen im Gesamtspektrum insbesondere der physiologischen Auswirkungen getroffen werden.

Es sind aber, vorangestellt allen detaillierten Betrachtungen zu biomechanisch und folglich trainingswissenschaftlich tatsächlich relevanten Zusammenhängen, folgende

anatomische und physiologische Komponenten, bzw. in weiterer Folge „Problemstellungen“ zu erfassen:

1. Die Halswirbelsäule selbst anhand ihrer knöchernen Struktur
2. Die unmittelbar selbige betreffende Muskulatur (Flexoren, Extensoren)
3. Die darüber hinaus miteinbezogene Rumpfmuskulatur (tiefe und oberflächliche Schichten, vgl. hierzu auch begründend: Kap. 5)
4. Die kardiovaskuläre Komponente bei der muskulären Morphose in verschiedenen Trainingsformen hinsichtlich Kapillarisation und Hypertrophie (vgl.: Kap. 3)
5. Die biometrischen Anforderungen und biomechanischen Effekte an die Halswirbelsäule im Einsatzflug (vgl. Kap. 3)
6. Die Realisation von Stabilisierung und Bewegung während des Fluges anhand der muskulären Ansteuerung im willentlichen und reflektorischen Zusammenhang (vgl. Tab. 9)
7. Die taktisch-realen Bereiche der Belastung hinsichtlich G-Kräften, Belastungszeiten, Belastungsfrequenzen, Standardprozeduren (vgl. Kap. 6)

Zu diesen Punkten sei in Voranstellung aller weiteren Erkenntnisse, auch der vom Autor selbst qualitativ erlangten (Experteninterviews), insbesondere wie folgt erläutert (und auf folgende relevante Studien verwiesen):

ad 1.)

Eine detaillierte Beschreibung der anatomischen Gegebenheiten kann freilich hier ausgelassen werden. Es sollte aber am Beispiel dokumentierter knöcherner Verletzungen bei Piloten am C1 bzw. C2 der HWS lediglich durch „falsche“ Kopfbewegungen bzw. Kopfhaltungen in den Phasen größter Belastung (vgl. hierzu: Coakwell, 2004 et al.) hinreichend aufgezeigt sein, dass auch massive traumatische Läsionen am Knochenapparat in der Flugphase selbst, sowie dem Schleudertrauma symptomatisch zumindest nahe kommende, mittelbare knöchern-muskuläre Schmerzbilder durchaus auftreten können und dabei keineswegs als „Einzelfall unter besonderen Umständen“ geltend gemacht werden dürfen. (vgl. hierzu Ravi, 2005; sowie Experteninterviews). Naturgemäß halten sich zwar Fachkreise wie jene der aktuell trainierenden, forschenden und operierenden Armeen bezüglich Verletzungsstatistiken weitreichend oder gänzlich bedeckt, die angeführten Problemstellungen in beinahe sämtlichen Studien definieren jedoch stets zumindest „Nacken-Probleme“ (vgl. Hämäläinen, 1998; et al.) als relevant für weiterführende oder vorgelegte Studien.

Herangezogen werden können hierzu exemplarisch:

Naumann, F. Bennell, K., Wark, J. (2001). The Effects of +Gz Force on the Bone Mineral Density of Fighter Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 72 (3).

Suryanarayana, L., Kumar, S. (2004). Quantification of isometric cervical strength at different ranges of flexion and extension. *Clinical Biomechanics* (20), 138-144

ad 2.)

An diesem Punkt sind zumindest folgende Fragestellungen Kern differenzierter Betrachtungen:

Kann (in standardisierten, d.h. luftkampf-orientierten Flugsituationen) vereinheitlichend von einer indifferenten Aktivierung der Extensoren und Flexoren gesprochen werden, sind hierbei Unterschiede zu verzeichnen und wie wirken sich solche auf die muskuläre Situation hinsichtlich Kraftentwicklung, Verkürzungen, Ermüdungen aus?

Sind bei reinen Kopfdrehungen (articulatio vertebralis) lediglich die unmittelbar der HWS zuzurechnenden Muskelgruppen - funktional benannt also reine Flexoren und Extensoren - der Bewegungsebenen des Kopfes relevant oder werden auch rumpfwärtigere Muskelgruppen aktiviert?

Kann bei diesen Muskelgruppen hinsichtlich ihrer Trainierbarkeit physiologisch vom gleichen strukturellen Aufbau und Anpassungsverhalten wie bei Muskeln der Extremitäten ausgegangen und dementsprechend ein Krafttraining gestaltet werden?

Hinsichtlich insbesondere der Belastung der Flexoren und Extensoren im Flugbetrieb, ihrer Aktionspotentiale und möglicher Ableitungen daraus kann punktuell und interpretativ auf folgende Arbeiten verwiesen werden:

Green, N., Brown, L. (2004). Head Positioning and Neck Muscle Activation During Air Combat. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 75 (8)

Hämäläinen, O., Vanharanta, H. (1992). Effect of Gz Forces and Head Movements on Cervical Erector Spinae Muscle Strain. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 63, 709-716.

Aoki, M., Matsunami, K., Han, X., Yamada, H., Muto, T., Ito Y. (2001). Neck muscle response to abrupt vertical acceleration in the seated human. *Exp Brain Research* 140, 20-24.

Netto, K., Burnett, A. (2006). Neck Muscle Activation and Head Postures in Common High Performance Aerial Combat Maneuvers. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 77 (10)

Coakwell, M., Bloswick, D., Moser, R. (2004). High Risk Head and Neck Movements at High G and Interventions to Reduce Associated Neck Injury. *Aviation, Space and Environment*. 75 (1).

ad 3.)

Jetpiloten sind in allen Versionen von Kampfflugzeugen zwar vom Becken abwärts in ihrem Sitz fixiert, der Oberkörper kann und muss jedoch teilweise frei bewegt werden. (vgl. Kap. 2). Gerade beim Durchführen von eng-radialen Flugmanövern ist es für den Piloten unabdingbar, die Schulterachse zu verdrehen, um das Blickfeld im Cockpit voll ausnutzen zu können. Dies wiederum lässt den Schluss zu, dass

- a) körper-positionierende Muskelkontraktionen in den vom Nacken abwärts gelegenen Muskelsträngen und
- b) körper-stabilisierende Muskelkontraktionen in ebendiesen Muskelsträngen während der maximalen Belastungen

ausgeführt werden.

Detaillierte Ausführungen dazu finden sich in Kap. 3., weiters kann kurz auf folgende Arbeiten hingewiesen werden, die aufgrund der Probandengruppen (Militärpiloten) ebenfalls wieder als transferierbar geltend gemacht werden können:

Fernandes, L. Linder, J., Krock, L., Balldin, U., Harms-Ringdahl, K. (2003). Muscle Activity in Pilots With and Without Pressure Breathing During Acceleration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 74 (6).

Harms-Ringdahl, K., Ekholm, J., Schüldt, K., Linder, J., Ericson, M. (1995). Assessments of Jet Pilots' Upper Trapezius Load Calibrated to Maximal Voluntary Contraction and a Standardized Load. *J. Electromyogr. Kinesiol.* 6, 67-72.

ad 4.)

Die durch Ausdauertraining provozierte Erhöhung der Kapillardichte in der Skelettmuskulatur (vgl. Hollmann, 2000; et al.) wird i.d.R. als kontraproduktiv bezüglich der Kompensation von G-Kräften angesehen (vgl. Seng, 2003). Aufgrund der durch die physikalischen Umstände ansteigenden arteriellen Überwindungsdruckes (vgl. Hollmann, 2000) wird durch eine derartige trainingskorrelierte Muskeladaptation die individuelle maximale Überwindungsleistung des kardiovaskulären Systems des jeweiligen Piloten vermutlich weiter herabgesetzt. Diese Annahme wird zwar mehrfach erwähnt, letztlich konnten aber keine aktuellen Studien hierzu gefunden werden. Ginge man jedoch von einem diesbezüglichen Effekt aus, so hätte dieser dementsprechend in weiterer Folge Auswirkungen auf die grundsätzliche muskeladaptive Trainingsgestaltung, ev. sogar auf

individuelle biophysische Situationen der einzelnen Piloten. (vgl. hierzu Goodman, 2000; 2006)

ad 5.)

Die genauen Anforderungen und deren Bewegungsumsetzung werden hinlänglich durch die Erläuterungen in Kap. 2 und 3 geklärt. Festgehalten sei jedoch unter dem anatomisch-physiologischen Blickwinkel, dass die taktischen Anforderungen

- a) einer vollen Ausnutzung des ROM (cervical) und
- b) darüber hinaus einer zumeist eher rotatorischen, also zusammengesetzten Kopfbewegung denn einer achsengerechten

entsprechen. (vgl. Experteninterviews)

Das möglich gemachte (Sitzgurt-Lockerung, siehe auch Kap. 2) Verdrehen der Schulterachse dürfte dabei, wenn überhaupt, kaum kompensatorische, u.U. sogar multiplikative Rolle spielen (vgl. Harms-Ringdahl, 1995 et al.).

Biomechanisch wiederum, also im Sinne der unmittelbar den physikalischen Einwirkungen auf das biophysische System folgenden Belastungskompensationen (durch konzentrische, isometrisch und exzentrische Kontraktion, vgl. hierzu Kap. 3) muss hinsichtlich Aktion und Effekt das Agieren und Reagieren des Piloten im Verständnis des Untersuchenden einer klaren linearen Systematik unterworfen werden. Stets folgt dem „taktischen Bedarf“ eine Aktion, der jedoch (siehe hierzu Kompensationstechnik mit dem System Libelle in Kap. 2) in bestimmten Fällen eine zu automatisierende zwingende Begleithandlung beigelegt werden muss, was beim Flugzeugtyp Eurofighter Typhoon teilweise (Libelle-System) eines anderen Handlungsablaufes bedarf als bei älteren Systemen („G-suit“, siehe Anhang)

Hierzu sei wie gesagt insbesondere auf die Kapitel 2 und 3 verwiesen, darüber hinaus können weiterführende Aspekte unter anderem extrahiert werden aus:

Hoek van Dijke, G., Snijders, C., Roosch, E., Burgers, P. (1993). Analysis of biomechanical and ergonomic aspects of the cervical spine in F-16 flight situations. *Biomechanics*, 26 (9), 1017-1025

Seng, K., Lam, P., Lee, V. (2003) Accelerations Effects on Neck Muscle Strength: Pilots vs Non-Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 74 (2).

Oksa, J., Hämmäläinen, O., Rissanen, S., Salminen, M., Kuronen, P. (1999). Muscle Fatigue Caused by Repeated Aerial Combat Maneuvering Exercises. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 70 (6).

ad 6.)

Stabilisation und Bewegung im Hinblick auf willentliche und reflektorische Muskelansteuerung schließen eng an Unterpunkt 5 an, insbesondere in Bezug auf die biomechanischen Effekte während der extremen Belastungen im engen Flugradius selbst. Besonders hervorzuheben sind hier jedoch auch und wesentlich die grundsätzlichen theoretischen Prämissen hinsichtlich der neuromuskulären Ansteuerung in Bezug auf Stabilisation und Bewegungsrealisation.

Anhand der Konzeptionen nach Panjabi (1990) sowie McGill (2002) kann hierzu eine nachvollziehbare Systematik insbesondere hinsichtlich der koordinativen Zusammenhänge, beteiligten Muskel(gruppen) und ihrer trainingsphysiologischen Adaptationsmöglichkeit erfasst werden, um, wie auch oben bereits angedeutet, adaptiv kontraproduktive oder kompensatorisch wenig Erfolg versprechende Handlungsansätze auszuschließen.

ad 7.)

Es wird angenommen, dass fundamentale trainingswissenschaftliche Grundsätze für den Piloten unabdingbar für den Erfolg des in weiterer Folge zu beschreibenden kompensatorischen Trainingsansatzes geltend zu machen sind.

Daher kann bereits an dieser Stelle festgehalten werden, dass folgende Parameter, Größen und Leitlinien für die nachfolgenden Überlegungen als Ausgangspunkte zu benennen sind:

- Physikalische Belastungsmaxima (in diesem Fall also vornehmlich die wirkenden G-Kräfte)
- Belastungsdauer und Belastungsfrequenzen
- Belastungsfrequenzen in Relation zu verschiedenen Flugmanövern
- Gesamtflugaufkommen in chronologischen/kalendarischen Dimensionen

Und hinsichtlich der Umsetzbarkeit, anders gesagt der Einsatzrelevanz:

- die grundsätzliche(n) Körperposition(en) oder Ausgangslagen
- stereotype Bewegungsmuster in den Flugphasen
- Multiplikatoren der Krafteinwirkung

Für die Erfassung dieser Kerngrößen und Umstände werden in der vorliegenden Arbeit ausschließlich die im Experteninterview ermittelten Kenntnisse herangezogen, da, wie mehrfach erwähnt, ja definitiv von einem bestimmten Flugzeugtyp insbesondere mit nicht vergleichbaren Belastungsgrößen und aviatischen Eigenschaften ausgegangen wird.

Es sei an dieser Stelle darüber hinaus noch vermerkt, dass dem Autor in diesem Punkt die Festlegung durch weitere Quellen aus nachvollziehbaren Gründen militärischer Interessen zum Zeitpunkt der Ausarbeitung nicht möglich ist.

Analog zu den oben angeführten Punkten kann also zusammenfassend als Problemstellung der vorliegenden Arbeit festgehalten werden:

- Die HWS ist in ihrer knöchernen Struktur bei einsatznahen Flügen sowohl langfristig (vgl. Coakwell, 1998) als auch unmittelbar (vgl. Experteninterview) massiv hinsichtlich chronischer bzw. traumatischer Verletzungen gefährdet. Ein derartiger Schluss vom jeweiligen Einzelfall auf die allgemeine Situation erscheint zulässig, da Militärpiloten nur nach medizinischen Testungen, insbesondere auch Aufnahmen der Wirbelsäule als „gesund und einsatzfähig“ zum Flugdienst zugelassen werden.
- Die unmittelbar stützende und bewegende Muskulatur der HWS ist aufgrund der zu ertragenden Kräfte (isometrische Kontraktion im engen Flugradius) einerseits und der mit hoher Frequenz, großen Radien und hoher Kontraktionsgeschwindigkeit zu absolvierenden Kopfbewegungen andererseits in vollem Umfang und komplexem Zusammenspiel einbezogen. (vgl. Kap. 3 u. 5)
- Die Rumpfmuskulatur, also insb. tiefere und oberflächliche Schichten des Rückens sind aufgrund der Bewegungsanforderungen im Flugzeug (Instrumentenbedienung), der Bewegungsmöglichkeiten im Sitz (Schultergurte) sowie der geforderten maximalen Ausnutzung des Blickwinkels (Schulterachsenverdrehung) miteinbezogen. Darüber hinaus erscheint in Anlehnung an trainingsmethodische Grundlagen (vgl. Weinek, 1996; Hollmann, 2000; et al.) und des eruierten status quo der Trainingsumfänge bei den befragten Piloten ein Einbezug dieser Muskelgruppen im Sinne einer Prävention muskulärer Dysbalancen angeraten.
- Die bereits bestehenden fliegermedizinischen Anforderungen, resultierend aus mannigfachen Studien, sind grundsätzlich zur Vermeidung kontraproduktiver, ineffektiver oder ökonomisch problematischer Vorgaben einzuhalten. Dies findet vorerst zumindest konkreten Niederschlag in der oben angesprochenen Berücksichtigung der Vermeidung von hoher Zunahme der muskulären Kapillarisation gerade im Übergangsbereich vom Rumpf zum Kopf durch entsprechende Trainingsformen.
- Aktion, Reaktion und Kompensation innerhalb der taktischen Erfordernisse eines Einsatzfluges greifen aufgrund der komplexen Gesamtsituation eng ineinander.

Daher sind Abläufe, aus denen anatomische oder physiologische Anforderungen abgeleitet werden, die in einer schlussendlichen Trainingskonzeption Ausdruck finden, exakt und zeitlich systematisiert zu gliedern.

- Es ist festzustellen, wie und in welchen situationsbezogenen Verhaltensweisen Bewegungen bzw. Stabilisationen realisiert werden und welche Schlussfolgerungen daraus für die koordinativen Kompetenzen des Piloten gezogen werden können. Diese Annahmen sind durch theoretische Konzeptionen zu verifizieren, da das komplexe muskuläre Zusammenspiel in den beteiligten Muskelgruppen zum jetzigen Zeitpunkt nicht in einer simplifizierten Systematik bloßen Bewegungsverständnisses von Flexion, Extension und Rotation bewertet und zielgerichtet beeinflusst werden kann. (vgl. Panjabi, 1990; McGill, 2002)
- In gleicher Weise ist hinsichtlich der tatsächlichen Belastungsparameter zu verfahren, wobei insbesondere im Verständnis der Experteninterviews jeweils von den Belastungshäufungen eines Einsatzfluges, bzw. eines standardisierten Einsatzbetriebes (längerfristig und auf den gesamten Flugbetrieb bezogen) überhaupt ausgegangen wurde. D.h. anders gesagt, es wurden die absoluten Belastungsmaxima herangezogen, was einem trainingsphysiologischen, kompensatorischen Grundverständnis entspricht. (vgl. Weineck, 1996)

## 2. Systemische Anforderungen

Wesentlich für eine dem grundsätzlichen Verständnis von Training als zweckorientiertem und zielgerichtetem Handeln entsprechende Schlussfolgerung ist unzweifelhaft vorweg die möglichst exakte Definition des Belastungszustandes, dem das Training als vorbereitende, kompensatorische und leistungserfüllende Maßnahme beigestellt ist. Im militärischen Bereich kommt dieser an und für sich selbstverständlichen Definition noch eine gesteigerte Bedeutung zu, da

- a) die militärischen Anforderungen ausgesprochen singuläre Zielstellungen (Auftrag) im Sinne klarer Leistungs- und Erfolgsdefinitionen darstellen,
- b) selbige Anforderungen vorweg einer klaren Schematik (Taktik) hinsichtlich Möglichkeiten und Durchführungsentscheidungen (Auftragserfüllung) unterliegen und
- c) diese Anforderungen und Ausführungen letztlich einem nicht kalkulierbaren Endergebnis im Sinne des tatsächlichen Einsatzablaufes unterliegen, was den vorangestellten Punkten nicht entgegensteht, sondern diese vielmehr potenziert.

Anders gesagt ist es also unumgänglich, die Einsatzparameter

- 1.) exakt zu erfassen und
- 2.) an der ungünstigsten Einsatzsituation im Sinne eines „worst case“-Verständnisses zu orientieren. (vgl. Pleiner, 1993)

Aus den untenstehenden quantifizierten und extrahierten biometrischen Normgrößen und taktischen Anforderungen folgern jene Belastungscharakteristika, die für Trainingsinhalte und -intensitäten Grundlage sind. Diese Charakteristika sollen daher zusammenfassend nochmals herausgehoben werden, wobei festzuhalten ist, dass hier grundsätzlich stets all jene Charakteristika beschrieben werden, die verallgemeinernd für alle Militärpiloten und deren Flugzeuge herangezogen werden können und dort auf die Sonderstellung des Eurofighter Typhoon Rücksicht genommen wird, wo dessen Besonderheiten augenscheinlich unmittelbare Auswirkungen auf Anatomie und Physiologie des Piloten haben.

## **2.1 Biometrische und taktische Normgrößen**

Für das grundlegende Verständnis und die Ableitbarkeit der Trainingsrelevanzen werden in Folge kurz die verschiedenen Haltungen und Bewegungen des Piloten umschrieben. Argumentativ stützen sich nachfolgende Trainings-Schlüsse dementsprechend auch auf diese Ausgangswerte.

Alle erhobenen Daten sind den Experteninterviews entnommen und wurden i.d.R. im direkten Vergleich zwischen den Flugzeugtypen

Saab OE 105 (bzw. Saab Draken) und

Eurofighter Typhoon

erhoben, da die Piloten mit Masse auch diese Flugzeugtype fliegen (Saab OE 105 noch im Flugdienst) bzw. geflogen haben (Saab Draken bereits ausgemustert).

Der direkte Vergleich hierbei bezieht sich also auf die Feststellung der wesentlichen Unterschiede bzw. der zu verallgemeinernden Problemstellungen für Jetpiloten überhaupt.

### **Sitzposition**

Die Sitzhaltung des Piloten im Eurofighter Typhoon ist grundsätzlich aufrecht, leicht zurückgelehnt in einem Winkel von etwa 10 Grad aus der Senkrechten nach hinten. Dieser Wert ist ein Anhalt mit geringer Schwankungsbreite (etwa 4 Grad) , da individuell an den Piloten anpassbar.

Der Kniewinkel beträgt wenig mehr als 90 Grad, auch dieser ist je nach individuellen antropometrischen Verhältnissen geringer Schwankungsbreite unterworfen, da die Füße an Pedalen diverse Steueraufgaben erfüllen.

Die Kopfposition in der Normalstellung bzw. die Auslenkungen werden weiter unten gesondert behandelt.

### **Fixierung und Beweglichkeit**

Die Füße sind grundsätzlich frei beweglich, da wie erwähnt für Steueraufgaben vonnöten, sind jedoch im engen Flugradius durch die physikalische Belastung (G +) de facto am Boden „wie fixiert“. (siehe Experteninterviews)

Der Oberkörper ist durch Schultergurte zu fixieren, diese Fixierungen sind aber so angebracht, dass sie durch einen einfachen Handgriff leicht zu lockern sind, damit der Pilot sich nach vorne beugen bzw. die Schulterachse nach links und rechts auslenken kann. (Grundsätzlich können diese Schultergurte laienhaft mit den Sitzgurten in einem Automobil verglichen werden.)

Dauerhaft fixiert ist der Pilot im Bereich der Hüfte und zwar hier „so fest wie möglich“ (siehe Experteninterview), damit exakte Steuerbewegungen der Arme und Beine auch in Kopfüber-Flugpositionen durchführbar und nicht ausschließlich vom Anpressdruck (Trägheit im Kurvenflug, also G-Kraft) abhängig sind. Es scheint daher davon ausgegangen werden zu können, dass muskuläre Mitwirkungen aus dem anatomischen Bereich des Beckens und der unteren Extremitäten für den eigentlichen Fokus der vorliegenden Arbeit vernachlässigt werden können.

Die Arme sind frei beweglich, da ständig mit der Handhabung des Steuerknüppels (Joystick) sowie der Computersteuerungen und sonstiger Bedienungen betraut.

## **Bewegungsradien**

### Becken

Das Becken ist wie gesagt im Hüftgelenk durch Sitz und Gurt in der Sitzposition stabilisiert, eine dynamische Beckenkipfung ist de facto nicht möglich.

### Oberkörper

Der Oberkörper ist nach hinten im Winkel der normalen Sitzposition absolut fixiert (Rückenlehne) , nach vorne relativ (lösbare Gurte). Zwecks Bedienung vorwärts im Cockpit gelegener Steuereinrichtungen ist dem Pilot eine Vorbeugung (Kyphose BWS) soweit wie individuell nötig (Armlänge) über mehrere Grade möglich.

Eine seitliche Verdrehung (Rotation in der Schulterachse, longitudinale WS-Drehung) ist dementsprechend ebenfalls möglich und wird, wie weiter unten auch noch ausführlich beschrieben, häufig durchgeführt.

### Arme

Die Arme unterliegen keinen wesentlichen Einschränkungen, werden aber i.d.R. nur bis auf Höhe der Schulterachse geführt, sowie zur Bedienung der Steuereinrichtungen vorrangig vorwärts und seitlich der Sitzposition bewegt.

## Kopf

Der Kopf unterliegt keinen wesentlichen Einschränkungen in den Bewegungsachsen. Im Gegenteil ist eine Auslenkung im maximalen ROM für die taktischen Erfordernisse des Einsatzfluges unabdingbar. Insbesondere die Drehung des Kopfes seitlich nach hinten ist von Bedeutung (Vertikalebene), seltener und in geringer Auslenkung eine Vorbeugung (Transversalebene, Kyphose in der HWS), ebenso die Auslenkung nach hinten oben (Transversalebene, Hyperlordose in der HWS).

Rotatorische, d.h. zusammengesetzte, nicht achsengerechte Bewegungen sind möglich.

Helm und Gurt schränken die Bewegungen de facto nicht ein.

Durch die Kopfstütze der Rückenlehne ist die Bewegung nach hinten oben in der normalen Sitzposition limitiert, diese Einschränkung kann jedoch indirekt durch Hyperlordisierung HWS und Streckung BWS übergangen werden.

## **Taktisches Anforderungsprofil**

Die an den Piloten gestellten Anforderungen werden, wie bereits oben festgehalten, anhand der Einsatzsituation definiert. Der „standardisierte Einsatzflug“ ist dabei kein Widerspruch in sich. Vielmehr beschreibt dieser anhand standardisierter taktischer Verhaltensweisen und Normen, welche aus Einsatz-Erfahrungswerten, technischen Größen und Möglichkeiten des eigenen Flugzeuges und Kenntnissen des Gegenüber in der direkten „Duellsituation“ resultieren, ein Geflecht aus Handlungsvarianten, deren situativ abgewogene Kombination den wesentlichen Anteil eines erfolgreichen Handlungsergebnisses (Luftsieg) trägt.

Dabei soll nochmals hervorgehoben sein, dass die erwähnte „Duellsituation“ erfahrungsgemäß als Kumulation von Belastungsmaxima verstanden werden kann und insofern den Endpunkt aller kompensatorischen Trainingsüberlegungen darzustellen hat.

Alle übrigen, i.d.R. weitaus häufigeren Flugschemata („Auftrag“, bspw. Überwachungsflug, Begleitflug, Übungsflug) unterscheiden sich im Wesentlichen durch geringere Dichte sowie geringeren Wirkungsgrad an Belastungen vom Duell, nicht jedoch durch gänzlich andere unmittelbare physikalische Wirkungsspektren hinsichtlich der Anatomie und Physiologie des Piloten.

vgl. hierzu: Experteninterviews

## **Standardablauf Flug, „Duellsituation“**

### **Zeitschiene**

Die nachfolgenden Umschreibungen stellen keinerlei Anspruch auf lückenlose Darstellung der logistischen und fliegertaktischen Handlungsabläufe, sondern sollen nur in kürzester Form ein Grundverständnis vom üblichen Zeitschema eines Fluges sowie standardisierten Situationen während des Einsatzfluges vermitteln.

- Flugbereitschaft des Piloten, zeitlich je nach Rotationsschema begrenzt
- Briefing, Auftragserteilung und Besprechung der wesentlichen Charakteristik des folgenden Fluges
- Flugvorbereitung am Flugzeug, mit dem Briefing zusammen etwa 60 bis 90 Minuten
- Flug, i.d.R. im Bereich von 45 Minuten. Da der Eurofighter Typhoon jedoch auf Luftbetankung ausgelegt ist, könnte ein Flug u.U. auch 6 bis 8 Stunden dauern
- Nach Landung Debriefing, Auswertung der Computerdaten des Flugzeuges, Besprechung des Einsatzes , etwa 60 bis 90 Minuten.

(vgl. hierzu Experteninterviews)

### **Duellsituation**

Abgesehen von der grundsätzlichen taktischen Intention einer Auftragserfüllung aus großer Distanz (Einsatz von weitreichenden Waffensystemen des Flugzeuges) kann es zum oben bereits mehrfach erwähnten „Duell“ als der höchstbelastenden Einsatzsituation kommen. Es ist festzuhalten, dass es zum Zeitpunkt der Datenerhebung für die vorliegende Arbeit nach Kenntnis des Autors noch keine realen Luftkampf-Erfahrungen mit dem Eurofighter Typhoon gibt. Die vorliegenden zeitlichen und belastungsbezogenen Angaben resultieren daher aus taktischen Profilen anderer Flugzeugtypen, können jedoch als ableitbar hinsichtlich der Flugeigenschaften, Bewaffnungen und Zielstellungen angenommen werden.

Die Duellsituation ist wie folgt zu charakterisieren:

## **Dauer**

Gesamte Situation bis 15 Minuten

Reiner Luftkampf etwa 3 Minuten, u.U. bis 7 Minuten

## **Belastungen**

De facto ständig 5-7 G

Einzelspitzen (9 G) 5-10% der Gesamtanzahl, u.U. kann aber hier gar keine prozentuale Unterscheidung getroffen werden, manche Piloten (vgl. Experteninterview) sprechen von „ständiger“ Belastung im minimalen Flugradius, ohne klare Trennbarkeit in „mittlere“ und „hohe“ Belastungsbereiche. (vgl. Experteninterview, Frageschema)

## **Duellschema**

Wird ein Luftkampf nicht vorzeitig auf große Distanz verhindert (Waffeneinsatz, Konfrontationsvermeidung), so können, stark vereinfacht, folgende Phasen unterschieden werden:

Phase 1:

Die Piloten steuern aufeinander zu und versuchen, in einer minimalen Entfernung auf paralleler Flugbahn an einander vorbei zu fliegen.

Dadurch sollen in weiterer Folge die Handlungsmöglichkeiten für den Gegner frühzeitig eingeschränkt werden.

Phase 2:

Unmittelbar nach dem Vorbeiflug wird die eigene Maschine im möglichst engen Radius in die Flugbahn des passierten Gegners gelenkt, mit der Zielstellung, noch vor dem gleichartigen Manöver des Gegners hinter sein Flugzeug zu gelangen.

Phase 3:

Da die Flugzeuge typenspezifischen physikalisch-technischen Limitierungen unterworfen sind, kann ein Flugzeug, einmal hinter das gegnerische gelangt, kaum mehr

„abgeschüttelt“ werden, gleichzeitig ist diese Position als optimal für Waffenwirkung auf kurze Distanz zu bezeichnen.

#### Phase 4:

Aus dem beiderseitigen Versuch, hinter das gegnerische Flugzeug zu gelangen, entwickelt sich gewöhnlich ein „Luftkampf“, bei dem die Position hinter dem Gegner durch rasch ausgeführte, enge Radienflüge gesucht wird.

Auch aus dieser simplifizierten Umschreibung dürfte ersichtlich sein, dass also

- 1.) die 2. Phase die vorerst entscheidende darstellt und
- 2.) der rasche Übergang von belastungsarmen linearen Bewegungen in extrem enge und damit höchst belastende Radienflüge als wesentliche und damit überlebensnotwendige Anforderung an die Belastungskompetenz des Piloten darstellt.

Diese 2. Phase ist daher noch detaillierter zu betrachten, im wesentlichen können hier folgende Handlungen des Piloten extrahiert werden:

Taktische Anforderung → motorische Handlung → Belastungs-Peak → physiolog-anatom. Anforderung

In dieser Phase hat der Pilot folgende Aufgaben zu erfüllen:

1. Den Vorbeiflug mit möglichst geringem Anstand durchzuführen
2. Den vorbeifliegenden Gegner im Blickfeld zu behalten („Checking 6“), indem der Kopf mit dem vorbeifliegenden Gegner mitgedreht wird
3. Durch Steuerbewegung zum frühestmöglichen Zeitpunkt nach dem Vorbeiflug ein Wendemanöver durchzuführen, das zum Ziel hat, die eigene Flugbahn der des Gegners folgen zu lassen
4. Dieses Wendemanöver so eng wie möglich am flugzeugtypenspezifischen und physiologisch-individuellen Belastungsmaximum auszuführen

Handlungsschematisch orientiert könnte dieser Ablauf wie folgt dargestellt werden:

**Tabelle 1 : Handlungsschema Duellsituation**

Phase	Taktische Anforderung	Motorische Handlung	Muskuläre Realisation	Physikalische Belastung	Sensorische Wahrnehmung
1	Annähern, div. typenspezifische Handlungsabläufe	reaktives Steuern	unspezifisch	gering	Verhalten Gegner
2	Enger Vorbeiflug, „Checking 6“	Kopf/Rumpfdrehung	konzentrisch	gering	Ablauf Vorbeiflug
3	engen Radius einleiten	Halten der Position  Aktive Kompression in der Libelle	isometrisch (Kopf, schulternahe Rumpfteile) konzentrisch Beine, beckennahe Rumpfteile)	rasch ansteigend bis extrem hoch	Wirkung G-Kräfte Gegner optisch verfolgen
4	Radius abschließen	Halten der Position,  Nachlassen Libelle	isometrisch, (ev. exzentrische Unterstützung hoher Rumpf)	extrem hoch, Belastungs-Peak	Wirkung G-Kräfte
5	weitere Handlungen	Entlastung bzw. nächste Einleitung	unspezifisch	abfallend/ansteigend	Entlastung

Ergänzend hierzu finden sich unter dem muskulär-innervatorischen Fokus analog gestaltete Darstellungen in Kap. 3 und 7.

## 2.2 Flugzeugtypenspezifische Sonderstellungen und Schlüsse

Als für die vorliegenden Betrachtungen wesentliches technisches Instrumentarium des Flugzeuges Eurofighter Typhoon kann der kompensatorische Anzug „Libelle“ genannt werden. Dieser soll daher auch in einer kurzen Beschreibung in Funktion und Anforderungen erläutert werden.

Darüber hinaus sind, analog zu den vorangegangenen Einführungen und Beschreibungen folgende Unterschiede zu anderen, „älteren“ Flugzeugen aufzuzählen:

- Die aus den Flugfähigkeiten des Typhoon resultierende höhere Belastung des Piloten im standardisierten Bereich, sprich im Normfall. (und nicht, wie bei Vorgängertypen, wenn überhaupt, so nur in Ausnahmesituationen)
- Die umfassendere Steuerung verschiedener (insb. aviatischer) Standardprozeduren des Flugzeuges durch computergestützte Systeme.
- Die relativ unbeschränkte Flugdauer bei nicht ausschließlich luftkampf-bezogenen Einsätzen aufgrund der möglichen Luftbetankung

### Technische Kompensationsmaßnahmen von G-Kräften

Wie bereits oben beschrieben, sind für den Piloten eines modernen Überschallflugzeuges hoher Wendigkeit hinsichtlich des Effekts einer mehrfachen Erdanziehungskraft („G-Kräfte“), insbesondere auf das cardiovaskuläre System wirkend (vgl. Green, 2004; et al.)

- a) unmittelbar jene Effekte zu kompensieren, welche zur momentanen Bewusstlosigkeit führen (können) und
- b) mittelbar jene Effekte, welche nachhaltige Schädigungen insbesondere der peripheren Gefäßstruktur erwarten lassen.

Diesbezüglich werden laufen verbesserte technische Systeme (Anzüge) entwickelt, die eben jenen cardiovaskulären Belastungen entgegenwirken sollen. Dabei sind - zum leichteren Verständnis der Effekte und Wirkungsgrade - unter physiologischer Betrachtung aktive und passive Maßnahmen zu unterscheiden.

- Aktive Maßnahmen umfassen bewusst sensorisch oder reflexiv gesteuerte Verhaltensweisen des Piloten, nämlich Kontraktionen der unteren Extremitäten

und der Bauchdecke sowie Veränderungen der Atmung (normale Atmung vs. tiefe Atemzüge vs. Anhalten vs. Pressatmung).

- Passive Maßnahmen umfassen technisch gesteuerte Vorgänge, die i.d.R. durch Druck von außen auf die unteren Extremitäten wirken. (siehe auch weiter unten)

Zumeist werden je nach Höhe der Belastung (G-Kräfte) beide Maßnahmen gestaffelt bzw. zeitlich verschränkt initiiert.

Zum besseren Verständnis der Unterschiede zwischen Eurofighter Typhoon und anderen Flugzeugtypen hinsichtlich dieser Systematik sollen nun die aktuell rein technischen Unterschiede kurz erläutert und eine zeitliche Zuordnung der jeweiligen aktiven bzw. passiven Vorgängen getätigt werden.

### **ARA-System, STING**

Bis zur Entwicklung des Eurofighter Typhoon waren mehrere, im wesentlichen ähnliche, Systeme in Verwendung. Deren Grundprinzip stellt eine bekleidungsähnliche Kombination aus „Hose“ und „Jacke“ mit großflächigen, integrierten Luftkammern (Druckluftmanschetten) dar, welche bei engen Flugradianen automatisch mit Pressluft gefüllt werden. Dadurch wird ein Versacken des Blutes in die Peripherie insb. der Beine wesentlich verhindert (mechanische Abklemmung von außen). Diese „Sustained Tolerance of Increased Gravitation“-Systeme („STING“) werden für G-Kräfte bis zum Faktor 7 als ausreichend beschrieben. (vgl. Goodman, 2006)

Die Kompensation wird wesentlich durch einen automatisierten Pressatmungs-Reflex unterstützt. (Für den genauen kardiovaskulär-respiratorischen Komplex hierzu vgl. Lauritzsen, 2003; et al.)

#### Zeitliches Schema

Manöver-Einleitung durch den Piloten (enger Radius)

Das interne System des Flugzeuges aktiviert gleichzeitig mit der Steuerbewegung automatisch eine Pressluftfüllung der Anti-G-Hose

Das System füllt sich, der Pilot registriert sensorisch eine Druckzunahme insb. im Bereich der Bauchdecke und führt eine muskulär reflektorisch eingeleitete Pressatmung durch.

## Libelle

Das Libelle-System wurde eigens dem Bedarf des Eurofighter Typhoon entsprechend für Kompensationen jenseits von 7 G entwickelt. Hierfür stellen sich zwei wesentlich zu lösende Problemstellungen dar:

- 1.) Ein pressluftgestütztes System ist in seiner Wirkungsgeschwindigkeit limitiert (Zeitverlust zwischen Steuerbewegung und vollständiger Füllung der Luftkammern, sprich peripherem Abklemmen)
- 2.) Darüber hinaus ist ein pressluftgestütztes System bei Druckerscheinungen jenseits von 7 G nicht mehr ohne Atmungsunterstützung anwendbar. („pressure breath“). Anwendungen bei Piloten der Luftwaffe zeigen (vgl. Experteninterviews) die Problematik einer wiederholten Belastung insb. der Kapillargefäße des Körpers bei zu hohem (der Anforderung von 9 G entsprechendem) Beatmungsdruck über die Atemmaske durch beinahe regelmäßig auftretende, teils oberflächlich sichtbare Gefäßverletzungen an Rumpf und Peripherie.

D.h., es kann also grundsätzlich auch in den Anforderungsbereichen des Eurofighter mit den oben genannten Systemen geflogen werden, das nun zu beschreibende System entspricht jedoch tatsächlich den typenspezifischen Anforderungen augenscheinlich nachhaltiger. Es ist daher auch bei den Piloten des österreichischen Bundesheeres als einzig zulässig in Verwendung.

Grundsätzlich basiert das Libelle-System auf einem individuell maßgeschneiderten, ausgesprochen eng anliegenden Anzug, der noch durch zusätzliche Fixierungen und Reißverschlüsse am Körper verengt wird. Weiters sind mit Wasser gefüllte Kammern entlang der Extremitäten angebracht.

Grundprinzip ist hierbei nicht die fremdgesteuert ausgelöste (automatische) Verengung des Anzuges, sondern die von vornherein gegebene (maßgeschneiderte) Einengung des gesamten Körpers sowie die durch willentliche Muskelkontraktionen des Piloten noch weiter zu steigernde Gefäßverengung in den unteren Extremitäten und dem tiefen Rumpfteil. Eine willentlich innervierte muskuläre Expansion im physiologischen Querschnitt führt dann durch Kompression der bindegewebigen Anteile nach innen durch Limitierung von außen (Anzug) indirekt zu kapillarer Abklemmung.

Führt der Pilot also ein Manöver durch, so muss er selbstständig und ohne sensorische Rückmeldung des Systems (vgl. Druckanstieg an der abdominal gelegenen Luftkammer des oben beschriebenen ARA-Systems) zeitgleich eine muskuläre Kontraktion der Bein- und Bauchmuskeln einleiten und dadurch eine Blutversackung in die Peripherie verhindern („mechanisches Abklemmen“ innerhalb der phys. Struktur).

Somit können bei richtiger Ausführung ohne zeitliche Verzögerung und in höheren Belastungsbereichen kompensatorische Maßnahmen durchgeführt werden.

Aufgrund der Funktionsweise dieses Systems ist jedoch die Pressatmung als kontraproduktiv zu bewerten (vgl. Experteninterviews) und daher zu vermeiden.

Die Notwendigkeit, im Eurofighter darüber hinaus akustische Befehle auch während des Fliegens enger Radien an den sprachgesteuerten Computer zu geben, ohne dabei Atmung und Stimmklang wesentlich zu verändern, verdeutlicht die hohen Anforderungen, welche durch dieses, wenn auch wesentlich effektivere, System an den Piloten gestellt werden.

Untenstehendes Ablaufprotokoll einer Trainingsmessung soll den genauen Hergang der Kompensation durch den Piloten im Eurofighter verdeutlichen. Dieser Trainingsprozess wurde anhand der Erfahrungen eines Piloten erstellt, der bereits im Eurofighter geflogen war und darüber hinaus in der Humanzentrifuge bei Belastungen bis zu 9 G mit dem Libelle-Anzug getestet wurde. Die Trainingsaufbau sollte den nachfolgenden Piloten als motorische Lernhilfe für den Umgang mit dem Libelle-System dienen, da diese zuvor nur in älteren Flugzeugtypen bzw. der Humanzentrifuge mit dem ARA-System gearbeitet hatten.

Die unten angeführten Phasen 1-4 entsprechen im wesentlichen den Phasen in Tab. 4, (lediglich Phase 2 und 3 sind in Tab. 4 verschmolzen dargestellt).

**Tabelle 2 : Ablauf-Protokoll Trainingsvorgabe G-Kräfte-Kompensation für die Humanzentrifuge**

(Erfahrungsbedingte Standardisierung durch geübten Probanden unter Bezug auf die vorbereitenden Trainingsmaßnahmen am isometrischen Kraftgerät)

Phase	Innervation Zielmuskulatur	Atmung	Unterstützende Anweisung an Proband	Belastung (G)
1	<b>Muskulatur Unterschenkel</b> (M. tibialis ant., tibialis post., gastrocnemicus, soleus, peronaeus long.,...)	Normale Respiration	„Anspannen der Unterschenkelmuskulatur durch Pressen der Füße gegen die Bodenplatte“	<b>Belastungsbeginn und Anstieg</b>
	<b>Muskulatur Oberschenkel</b> (M. biceps fem., adductores, quadrizeps femoris, satorius,...)	Normale Respiration	„Volles Anspannen der Oberschenkel, Druck verstärken“	<b>Anstieg</b>
	<b>Hüftbeuger, Hüftstrecker, Bauchmuskulatur</b> (M. gluteii, tensor fasciae latae, illiopsoas, quadr. lumborum, rectus abdom., obliquii abdom., transversus abdom.,...)	Normale Respiration	„Bauchmuskeln anspannen, Druck gegen Brustpolster“	<b>Anstieg</b>
2	<b>Tonus halten</b>	<b>Tiefes Einatmen</b> (max. respirat. LV)	„Spannung halten, tief Einatmen“	<b>Anstieg</b>
3	<b>Tonus halten</b>	<b>Respiration</b>	„Spannung beibehalten, normal atmen“	<b>Max. Belastung (9 G)</b>
4	<b>Maximale Innervation Oberkörpermuskulatur</b> (motor. Stereotyp Beugebewegung, d.h. pectoralis, rectus abdom., iliopsoas,...)	Falls zur Realisierung der Bewegung nötig: <b>kurze Pressatmung</b>	„Crunch(e) gegen den Brustpolster mit voller Kraft, (nur kurz Pressatmung)“	<b>Bei Eintreten der erwarteten physiolog. Reaktion (Sicht- Einschränkung)</b>
5	Tonus langsam kontrolliert herabsetzen, jedoch keine vollständige Relaxation (!)	<b>Respiration</b>	„Langsames Nachlassen der Spannung, Unterschenkel und Bauch bleiben leicht angespannt“	<b>Bei Eintreten der erwarteten physiolog. Reaktion (Normalisierung Gesichtsfeld)</b>

### **Übungsaufbau hierzu, Trainingsgerät:**

- Gerätaufbau gemäß Beurteilung HSWD-Fachpersonal
- Isometrische Kraftmessung in sitzender Position (angenähert an Sitzposition in Zentrifuge)
- Füße auf Stützplatte aufgestellt und fixiert
- Oberkörper eingestellt zwischen Rückenlehne und Brustpolster (isometr. Kraftabnehmer) ohne Spielraum
- Start und Ende auf Kommando Übungsleiter
- Ansteuerung Kraftentwicklung des Probanden durch Sichtkontakt mit Kraft-Zeit-Kurve am Bildschirm
- Programmvorgabe (Zeiten, Frequenzen)
- Belastungsvorgabe prozentuell nach Bestimmung isometrischen 2-sec-Kontraktionsmaximums

### 3. Belastungscharakteristika

Um den zuvor beschriebenen Abläufen von Seiten der physikalischen Grundlagen her klare Zusammenhänge zuordnen zu können, werden an dieser Stelle, wie bereits oben festgehalten, die wesentlichen Einflüsse auf Physiologie und Anatomie des Piloten unter dem Blickwinkel der Belastungsparameter und -grenzen zusammengefasst.

Angesichts der eigentlichen Problemstellung wird auf die detaillierte oder auch nur gesamt umrissene Behandlung der mannigfaltigen und umfangreichen Untersuchungen zu den kardiovaskulären und pulmonalen Belastungsauswirkungen von hohen G-Kräften verzichtet. Es soll aber ein grundlegendes Verständnis der Handlungs- und Wirkungszusammenhänge geschaffen werden, um allfälligen Lücken in der trainingspezifischen Folgerungskette vorzubeugen.

#### Belastungsdauer

Im Sinne der vorangegangenen Ausführungen kann anhand des im Experteninterview gewonnenen Verständnisses folgende Terminologie entworfen werden:

**Tabelle 3 : Belastungsdauer**

	G-Wirkung	Belastungsdauer	Frequenz
Einsatzflug	Mittel (5-7)	3-10 sec	20-30
	Hoch (7-9)	3-5 sec	6-10

Die Frequenz ergibt sich als Schätzwert anhand der Experteninterviews. Den Anteilen mittlerer (5-7 G) und hoher (7-9 G) Belastungen wurden geschätzte prozentuale Anteile zugeordnet. Diese wurden über die Normzeit eines Luftkampfes (3-7 Minuten, entsprechend 180-420 sec.) und eine mittlere Dauer der jeweiligen Manöver (mittlerer bzw. hoher Intensität) gebrochen.

Da, wie bereits weiter oben angeführt (vgl. Experteninterviews), in der Duellsituation von einer ständigen Abfolge enger und engster Radien ausgegangen werden kann, dürften diese Anhalte als für eine weiterführende Trainingskonzeption reliabel zu bewerten sein.

## Standardprozeduren

Taktische Standardprozeduren und biometrische Vorgaben schränken variable Verhaltensweisen im Flugzeug zweifelsfrei ein, woraus grundsätzlich normierbare und überschaubare Bewegungsmuster erkannt werden können. Beschränkt man diese auf einen den Oberkörper, Kopf und die oberen Extremitäten betreffenden grobmotorischen Aktionsbereich (vgl. Kap. 2, Fixierung und Beweglichkeit), so sind folgende Standardabläufe als relevant für den Fokus der Arbeit zu nennen:

### Achsengerechte Rotationen

- Das Verdrehen des Kopfes sowie der Schulterachse in der Transversalebene (vgl. Kap. 2)

Intention: Verfolgen des gegnerischen Flugzeuges in der Duellsituation im Vorbeiflug

- Das Zurücklegen des Kopfes (Vertikalebene, Hyperlordisierung) (ebendort)
- Das Vorbeugen des Oberkörpers aus der Sitzposition heraus (Verstärkung Kyphose BWS ) (ebendort)

Intention: Gerätebedienung im vorwärts gelegenen Cockpitbereich.

### Nicht achsengerechte Rotationen bzw. kombinierte Bewegungen

U.U. kann nicht selbstverständlich von einer nicht-achsengerechten Drehung bei kombinierter Bewegung mehrerer Gelenke ausgegangen werden, dies erscheint aber ausgehend vom Konzept der motorischen Stereotype (Janda, 2000) und der Bewegungsökonomisierung (ebendort) der zu erwartend hohen Krafterwirkungen wahrscheinlich.

So darf angenommen werden, dass es bei den Piloten gerade angesichts

- a) sehr rascher Bewegungsabfolgen (vgl. Green, 2004) und
- b) muskulär hochanspruchsvoller Krafterwirkungen (vgl. Oksa, 1998)

grundsätzlich zugunsten der Krafterwicklung zu nicht-achsengerechten Bewegungsabfolgen kommt. Derartige Verhaltensweisen dürften ohne weiteres aus den gängigen Beobachtungen zur Realisierung wiederholter, hoher Krafterfaltungen (vgl. Ehlenz, 1998; Janda, 2000) abzuleiten sein.

- Kombination Drehung des Kopfes in der Vertikalebene mit einer Verdrehung in der Transversalebene (nicht achsengerechte Drehung) (vgl. Kap. 2)  
Intention: Vergrößerung des Blickwinkels beim optischen Verfolgen des gegnerischen Flugzeuges, Orientierung
- Kombination Drehung des Kopfes in der Vertikalebene mit einer Drehung in der Schulterachse, d.h. Drehung der WS longitudinal  
Intention: Vergrößerung des Blickwinkels beim optischen Verfolgen des gegnerischen Flugzeuges („checking 6“)

Anmerkung: Für diese Prozedur sind in verschiedenen Flugzeugtypen links und rechts vorne im Cockpit Haltegriffe in etwa auf Kopfhöhe angebracht. Diese kann der Pilot mit der jeweils gegenüberliegenden Hand (also bspw. bei Kopfdrehung nach links mit der rechten Hand) erfassen, um seine Drehbewegung nach hinten noch zu unterstützen. Zwar geht aus den Experteninterviews deutlich hervor, dass diese Bewegung konzentrisch ab Einleitung des Flugradius nicht mehr möglich ist und bestenfalls ein isometrisches Halten der zuvor eingenommenen Position realistisch erscheint, doch zeigt diese Vorrichtung

- a) die Notwendigkeit eines weiten, den Oberkörper mit einbeziehenden ROM unter Einbeziehung größerer muskulärer Strukturen und mehrerer Gelenke
  - b) die Wahrscheinlichkeit nicht-achsengerechter, sprich bei großen Lasten gelenkungünstiger Winkel. (vgl. Nigg,1999)
- Das Zurücklegen des Oberkörpers bei sehr hohen Krafteinwirkungen (9 G), um den Kopf in der isometrischen Kontraktion gegen die Kraftwirkungen zu unterstützen.  
Intention: Aus einer fühlbar nicht zu haltenden Position wird unter Vermeidung riskant dynamischer oder muskulär nicht realisierbarer Bewegungen eine verbesserte Position eingenommen.

Anmerkung: In der Befragung der erfahrenen Piloten zeigte sich eindeutig und einstimmig, dass in den engen Radien und in etwa ab 7 G bestenfalls ein Halten der zuvor eingenommenen Kopfposition möglich ist, nicht jedoch ein konzentrisches Bewegen.

D.h. die Lordose der HWS und BWS ist u.U. bei Belastungs-Peaks muskulär durch den Piloten nicht konstant stabil beizubehalten. Daher legt der Pilot die BWS während der Belastung nachgebend an die Rückenlehne an, um günstigere Hebel bzw. eine Limitierung des Bewegungsumfanges zu erreichen.

## Zusammenfassung

Zusammenfassend ist also davon auszugehen, dass sowohl

- a) achsengerechte als auch
- b) nicht achsengerechte Bewegungen

durchgeführt werden.

Darüber hinaus sind die Bewegungsradien

für die HWS als maximal, d.h. im vollen ROM

für die BWS als unterstützend in der Rotation und einem Teilbereich des ROM in der Flexion (Anteversion) zu benennen.

Weiters sind Bewegungen des Kopfes (Vertikalebene) als sehr häufig bis ständig zu quantifizieren, ebenso die Bewegungen des Oberkörpers in Unterstützung des Kopfes und in der Flexion.

Bewegungen erfolgen stets und unmittelbar vor der Einleitung eines Flugmanövers; dies geschieht aus Gründen der Krafteinwirkungen auf den Piloten, welche ihm konzentrische Bewegungen während der Belastungs-Peaks verunmöglichen und ihn während exzentrischer Bewegungen des Kopfes einem als groß einzuschätzenden Verletzungsrisiko aussetzen. (vgl. Coakwell, 2004). Kikukawa (1994) stellt für die Piloten der japanischen Luftstreitkräfte (Flugzeugtyp F-15) bei 89,1% der untersuchten Piloten (n = 129) muskuläre Schmerzbilder (muscle pain) fest, welche als Auswirkung des Fliegens zugeordnet werden können. Für die äußeren Verletzungsumstände während des Fluges wird die „checking 6“-Standardprozedur als die häufigste situative Parallele benannt, gefolgt vom Vorwärtsbeugen (forward bend).

Eine simplifizierte Tabelle soll die standardisierte Bewegungsabfolge am Beispiel des „Checking 6“ veranschaulichen.

**Tabelle 4 : „Checking 6“-muskelfunktionaler Handlungsablauf**

Phase	Taktisches Geschehen	Innervierte Muskelgruppen	Intention	Muskuläre Realisation	Belastungsintensität
1	Vorbeiflug	Unspezifisch			gering
2	Einleitung Wende	Nackenmuskulatur, höher gelegene Rückenmuskulatur Schultergürtel, Beinmuskulatur aufwärts bis zur Bauchmuskulatur	Kopfdrehung  Aktivierung Libelle	Konzentrisch  Konzentrisch	Gering, dann stark ansteigend
3	Durchführung Wende	Wie oben	Halten der Position Wirkung Libelle	Isometrisch und ggf. exzentrisch	Maximal
4	Beendigung Wende	Nackenmuskulatur, höher gelegene Rückenmuskulatur Schultergürtel	Kopfdrehung (Verfolgen Gegner)	konzentrisch	Abnehmend bis gering

## 4. Multiplikatoren

Die Frage nach möglichen Multiplikatoren der Belastung am physiologischen und anatomischen System ist angesichts der taktischen Erfordernisse und wiederkehrenden, d.h. stereotyp erfassbaren Abläufen (Wechselwirkungen aus Belastung und Handlung) eine Frage nach dem Zeitpunkt zu dem, und den Bedingungen, unter welchen diese wirksam werden.

D.h. anders gesagt, dass hier Multiplikatoren erfasst werden, welche aufgrund

- der Nachvollziehbarkeit des Handlungsablaufes
- der stereotypen Ausführung
- der biomechanisch linearen Folgewirkung

als augenscheinlich bezeichnet werden können.

Die „normalen“ taktischen Ansprüche, also die grundsätzliche Belastungsanforderung der Akzeptanz hoher und wiederholter G-Kräfte sowie notwendige Bewegungen oder Körperhaltungen während des Einsatzfluges sollen dabei im Sinne der realistischen Bewertung unberücksichtigt bleiben.

Derart können folgende „Situationen“ im Sinne eines Ursache-Wirkungs-Komplexes als Multiplikator bezeichnet werden:

- 1.) Sämtliche nicht-achsengerechten motorischen Abläufe, gleich welcher Intention, die vor oder während des Einsetzens hoher G-Kräfte durchgeführt oder gehalten werden müssen, unabhängig vom innervatorischen Charakter (konzentrisch oder exzentrisch) der muskulären Realisation.
- 2.) Sämtliche Situationen, in denen aufgrund mehrfacher oder hochfrequenter Belastung die muskuläre Realisation einer Bewegung durch zunehmende regionale Erschöpfung nicht motorisch-stereotype Bewegungsabläufe fordert, sprich motorisch suboptimale Umsetzungen zunehmend wahrscheinlich macht. („Schummelbewegungen“, siehe weiter unten)
- 3.) Taktische Zusatzlasten , die nicht grundsätzlich oder in noch zu verbessernder Form zum Einsatz kommen.

**ad 1.)**

Es ist davon auszugehen, dass Bewegungskombinationen bspw. des Kopfes nach hinten und oben höhere Belastungen erzeugen als achsengerechte. (vgl. Janda, 2000).

Gleichzeitig kann angenommen werden, dass bei Überschreitung der isometrischen Maximalkraft-Leistung des Piloten in eine exzentrische hinein (also durch Nachgeben des Kopfes in die physikalische Wirkungsrichtung) zusätzliche Belastungen an den verschiedenen Wirbelgelenken (insb. articulationes intervertebrales) auftreten, und zwar aufgrund des erhöhten Drehmomentes. (vgl. Nigg, 1999)

**ad 2.)**

Es bleibt, wenn auch nicht für den Rahmen dieser Arbeit, zu untersuchen, ob im Verlauf eines Einsatzfluges über mehrere Belastungs-Peaks hinweg motorische Stereotype erhalten bleiben oder ob sich mit zunehmender muskulärer Erschöpfung muskuläre Innervations-Abfolgen verändern. Kann dies beobachtet werden, so ist zu hinterfragen, ob bei diesen geänderten motorischen Realisationen vergleichbar den beobachtbaren Verhaltensweisen bei Maximalkraft-Übungen mit zunehmender Erschöpfung vermehrte „Schummel“-Bewegungen (vgl. Gottlob, 2007) auftreten, welche i.d.R. prognostisch mittelfristig als belastender für die betroffenen Gelenks- und Band-Strukturen zu bewerten sind.

Vgl. hierzu auch: Oksa, 1998.

**ad 3.)**

Als wesentlich kann hier

- a) das Helmgewicht selbst und
- b) die Zusatzlast des Nachsichtgerätes (Night Vision Goggle, NVG) bzw. der Maske bewertet werden.

Wie mehrere Studien bereits gezeigt haben (vgl. Hämmäläinen, 1992; McCloskey, 1993), können bereits bei geringen Gewichtsunterschieden der Kopflast signifikante Veränderungen der muskulären Arbeitsintensität anhand EMG-Messungen abgeleitet werden. Die Gewichtsunterschiede befanden sich dabei im Bereich von 400 bis max. 600 Gramm.

Diese Unterschiede waren bereits bei achsengerechten Beschleunigungen zu messen. Darüber hinaus können auch durch Veränderung des Montagepunktes für das NVG am Helm unterschiedliche Belastungen aus den EMG-Messungen abgeleitet werden. Je weiter hinten das NVG am Helm befestigt war, umso geringer waren die Peaks der EMG-

Messung, was auch unter mechanischer Betrachtung günstigere, d.h. geringere Hebel am Kopf nachvollziehbar erscheinen lässt. (siehe: Hämäläinen, 1993; McCloskey, 1995)

Während jedoch vom momentanen Gesichtspunkt des Autors Helmgewicht wie auch NVG-Montage für den Eurofighter Typhoon als vereinheitlicht definiert und damit als unveränderliche Größe angenommen werden müssen, ist grundsätzlich festzuhalten, dass das NVG erst im Bedarfsfall (also dem Auftrag entsprechend) am Helm montiert wird. Insofern muss, sehr verallgemeinert ausgedrückt, für Nachtflüge von höheren Belastungen bei gleicher Auftragslage (vergleichbarer Einsatz am Tag) ausgegangen werden. (vgl. auch Äng, 2007)

Bezogen auf die vektorielle Kraftwirkung kann nach Buhrmann (1994) von einer Korrelation zwischen zunehmendem Helmgewicht und zunehmenden Rotations-, Scher-, und Kompressionskräften ausgegangen werden.

## 5. Trainingsphysiologische Ressourcen

Anhand der vorangestellten Bedingungen multidimensionaler Struktur können nun die wesentlichen Grundlagen allfälliger nachfolgender Trainingskonzeptionen konkretisiert werden.

Es sind unter dem Gesichtspunkt trainingspezifischer Ressourcen bzw. Risikofaktoren insbesondere zu behandeln:

1. Quantifizierung der adaptionsfähigen, primären Strukturen
2. Quantifizierung der adaptionsfähigen, sekundären Strukturen
3. Allgemein oder individuell beeinträchtigte oder für Beeinträchtigungen gefährdete Strukturen und Komplexe
4. Nicht adaptionsfähige Strukturen und weitere, nicht zu beeinflussende Größen
5. Mögliche Kompensationen dieser Größen

### ad 1.) Quantifizierung der adaptionsfähigen, primären Strukturen

Auf folgender Bewertungsbasis fußend können die unten festgelegten Aussagen über die muskuläre Beteiligung (als Grundlage der Trainingsorientierung) auch abseits empirischer Messungen durch den Autor selbst evaluiert werden. Anhand

- 1.) der allgemeinen objektiven Grundlagen anatomischer Funktionalität
- 2.) der eruierten wesentlichen Bewegungs-Stereotype des Piloten
- 3.) der biomechanisch und physiologisch quantifizierbaren Parameter muskulärer Belastungen sowie
- 4.) der vorangegangenen Studien zur Messung von muskulären Aktivitäten (EMG-Messungen) während des realen Fluges bzw. unter vergleichbaren Belastungsbedingungen in der Humanzentrifuge

Folgende an der Kopfbewegung wesentlich beteiligte muskuläre Strukturen sind im primären anatomischen Bezug zum Fokus HWS zu nennen:

(Begriffs-Erläuterungen siehe weiter unten)

**Tabelle 5 : adaptionsfähige, primäre funktionale Struktur**

<b>Muskel</b>	<b>Funktion</b>	<b>Spezifischer Bezug quantitativ/ funktional</b>	<b>Koordinative Motorik</b>
m. sternocleidomastoideus	einseitig: Kopfdrehung zur Gegenseite beidseitig: Kopfheben	Blickfelderweiterung (Rotation)	Rotatorische Wirkung auf Kopfgelenke
mm. scaleni (anterior, medius, posterior)	Neigung HWS zur Seite (Nebenfunktion)	Blickfelderweiterung unter Einbeziehung der Schulterachsenrotation	wirkungsergänzend
m. longus capitis	einseitig: Seitneigung (Nebenfunktion) beidseitig: Ventralflexion	Blickfelderweiterung (Rotation) Hand-Auge-Koordination	wirkungsergänzend
m. longus colli	einseitig: Beugen und Drehen der HWS zur Seite	Blickfelderweiterung (Rotation) Hand-Auge-Koordination	rotatorische Wirkung auf Kopfgelenke
m. rectus capitis anterior	Ventralflexion	Hand-Auge-Koordination	wirkungsergänzend
<b>Kurze Nackenmuskeln</b>			
m. rectus capitis posterior (minor, major)	einseitig: vorw. Seitdrehung Beidseitig: Dorsalflexion	Blickfelderweiterung (Rotation), Hand-Auge-Koordination	rotatorische Wirkung auf Kopfgelenke
m. obliquus capitis (superior, inferior)	einseitig: Neigung zur gleichen Seite Beidseitig: Dorsalflexion	Blickfelderweiterung (Rotation), Hand-Auge-Koordination	rotatorische Wirkung auf Kopfgelenke

(vgl. Platzer, 1999)

### **Erläuterungen hierzu:**

„Blickfelderweiterung“:

Meint im taktischen Zusammenhang Körperbewegungen, die einem optischen Verfolgen des Gegners oder Zieles über das normale Sichtfeld (vorwärts voraus) hinaus dienen.

„Körperrotationen“:

Sämtliche taktisch (Handgriffe u.dgl. im Flugzeug) notwendigen, standardisierten Bewegungsabläufe.

„Wirkungsergänzend“:

Meint i.d.R. im Zusammenwirken mit anderen Muskeln innerviert

„Hand-Auge-Koordination“:

Meint auf die Rumpfbewegungen zum Zweck der Bedienung von Instrumenten bezogen

„Geringe Anteile“:

Bezogen auf die spezielle Situation, d.h. also bspw. bei Rumpf-Flexoren unter Berücksichtigung der Fixierung des Piloten im Sitz auf Höhe des Beckens.

**ad 2.) Quantifizierung der adaptionsfähigen, sekundären Strukturen**

Als für Flexion, Extension und seitliche Verdrehung des Rumpfes entsprechend den oben beschriebenen, systemischen Vorgaben (siehe Kap. 2) verantwortlich:

**Tabelle 6 : adaptionsfähige, sekundäre funktionale Struktur**

<b>Muskel</b>	<b>Innervation/ Funktion</b>	<b>Spezifischer Bezug funktional</b>	<b>Koordinative Motorik</b>
<b>Rückenmuskulatur</b>			
<b>Lateraler Trakt spinotransversale M.</b>			
m. splenius capitis	einseitig: Kopfdrehung (gleiche Seite) beidseitig: Dorsalflexion	Kopf-Rotation, Blickfelderweiterung, Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
m. splenius cervicis	einseitig: Kopfdrehung (gleiche Seite) beidseitig: Dorsalflexion	Kopf-Rotation, Blickfelderweiterung, Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
<b>Lateraler Trakt Intertransversale M.</b>			
m. iliocostalis (lumborum, thoracum, cervicis)	Aufrichtung/ Aufrechthaltung Rumpf	Unspezifisch	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
m. longissimus (thoracis, cervicis, capitis)	Aufrichtung/ Aufrechthaltung Rumpf	unspezifisch	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend

**Fortsetzung Tab. 6**

<b>Muskel</b>	<b>Innervation/ Funktion</b>	<b>Spezifischer Bezug</b>	<b>Koordinative Motorik</b>
<b>Medialer Trakt Geradsystem</b>			
mm. interspinales (cervicis, thoracis, lumborum)	einseitig : Seitbeugung (gleiche Seite) beidseitig: Streckung	unspezifisch	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
mm. intertransversarii (posteriores cervicis, mediales lumborum)	einseitig : Seitbeugung zur gleichen Seite beidseitig: Streckung	unspezifisch	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
m. spinalis (thoracis, cervicis)	einseitig : Seitbeugung zur gleichen Seite beidseitig: Streckung	unspezifisch	vorw. zusammengesetzte bewegungen, wirkungsergänzend
<b>Medialer Trakt, Schrägsystem</b>			
mm. rotatores (breves, longi, thoracis, lumborum)	einseitig: Drehung beidseitig: Streckung	Körper-Rotation, Blickfelderweiterung, Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
mm.. multifidii (lumborum, thoracis, cervicis)	einseitig: Drehung beidseitig: Streckung	Körper-Rotation, Blickfelderweiterung, Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend
m. semispinalis (thoracis, cervicis, capitis)	einseitig: Drehung beidseitig: Streckung	Körper-Rotation, Blickfelderweiterung, Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend

**Fortsetzung Tab. 6**

<b>Muskel</b>	<b>Innervation/ Funktion</b>	<b>Spezifischer Bezug funktional</b>	<b>Koordinative Motorik</b>
<b>Bauchmuskulatur</b>			
m. obliquii abdomini (externus, internus)	Seitbeugen der gleichen Seite, bzw. Seidrehen	kompensatorisch, unspezifisch bzw. Körper-Rotation	teilw. zusammengesetzte Bewegungen
m. rectus abdominis	Vorwärtsbeugung	unspezifisch bzw. Hand-Auge- Koordination	unspezifisch
m. quadratus lumborum	geringe Anteile Flexion Rumpf u. Seitbeugung WS	unspezifisch bzw. Hand-Auge- Koordination	unspezifisch, wirkungsergänzend
m. psoas major	geringe Anteile Flexion Rumpf	unspezifisch bzw. Hand-Auge- Koordination	vorw. zusammengesetzte Bewegungen, wirkungsergänzend

(vgl. Platzner, 1999)

**ad 3.) Allgemein oder individuell beeinträchtigte oder gefährdete Strukturen**

Für die Bewertung, ob bestimmte anatomische Areale als besonders gefährdet hinsichtlich der auftretenden Belastungen benannt werden können, kann einerseits aus den vorliegenden Studien, andererseits anhand der Experteninterviews eine Ableitung erfolgen.

Dabei soll derart vorgegangen werden, dass im ersten Schritt die behandelten anatomischen Strukturen hinsichtlich der dort allgemein auftretenden Verletzungen zu betrachten sind und erst danach diese unter dem Blickwinkel der speziellen Belastungen hoher G-Kräfte und Beschleunigungen zu vergleichen bzw. wieder zu finden sind.

Dies erscheint daher gerechtfertigt, da unter der Prämisse einer präventiven, nicht rehabilitativen Betrachtungsweise

- 1.) die Verletzungen selbst nicht bis ins Detail ihrer individuellen Gestalt begutachtet werden müssen und eher sogar zwingend im verallgemeinerten Kontext Zuordnung finden, und
- 2.) bereits bei einer ersten Bewertung der bei Jet-Piloten auftretenden Verletzungen an der HWS die Symptomatik der durch andere Belastungen am selben anatomischen Bereich entstandenen zumindest ähnlich, wenn nicht über weite Strecken gleich ist. (vgl Aoki, 2000; Seng, 2003)

Dass beiderlei seine Ursache naturgemäß in der grundsätzlichen Form eines belastungstraumatischen Erkrankungsbildes mit hoher Korrelation zwischen Ursache und Wirkung hat, ist leicht nachzuvollziehen.

Somit können folgende Strukturen als beeinträchtigt oder gefährdet angesehen werden:

- 1.) Jene Muskeln, die unmittelbar motorisch auf die Kopfgelenke wirken (Nackenmuskeln, vgl. oben)
- 2.) Die knöchernen und ligamentalen Strukturen der Kopfgelenke (art. atlantocipitalis, art. atlantoaxiales), d.h. vornehmlich:
  - a) Die knöcherne Struktur insb. der ersten beiden Halswirbel (C1, C2) und hier besonders der dens axis des C2
  - b) Die Bandstrukturen der HWS, d.h. sowohl die Bänder der Kopfgelenke (lig. apicis dentis, lig. Transversum atlantis) als auch die vertikal verlaufenden Bänder der WS (lig. longitudinale ant./post., lig. flava, lig. intertransversaria, lig. interspinalia, lig. supraspinale)
- 3.) die miteinbezogenen, d.h. wirkungsverstärkenden Muskelstrukturen (vgl. oben)

Dies unter Berücksichtigung verallgemeinerter (Stichprobenuntersuchungen, vgl. Hämäläinen, 1993; 1994) und individueller (Einzelfallstudien; vgl. Ravi, 2005) Erkenntnisse.

Als Verletzungs-Stereotype für die jeweiligen Strukturen lassen sich aus den vorliegenden Studien ableiten:

- An der knöchernen Struktur bzw. den hyalinen Knorpelplatten (discii intervertebrales): Deformationen (vgl. Ravi, 2005) und Frakturen (vgl. Experteninterviews)

- An der Bandstruktur: Läsionen, bzw. zumindest Hypermobilitäten (vgl. Suryanarayana, 2004)
- An den miteinbezogenen, d.h. wirkungsverstärkenden Strukturen: nachhaltig erhöhter Muskeltonus („Verspannungen“) (vgl. Experteninterviews)

#### **ad 4.) Nicht adaptionsfähige Strukturen und weitere, nicht zu beeinflussende Größen**

Im Sinne physiologischer Gesunderhaltung, d.h. nachhaltig nicht schädigender oder artifizierlicher Trainingsadaptation sind, entsprechend einem trainingsphysiologischen Grundverständnis heutigen Wissensstandes („positive Trainingsadaptation“, vgl. Weineck, 1996), folgende Strukturen als nicht adaptionsfähig zu bewerten:

- 1.) die knöchernen Strukturen bzw. die hyalinen Knorpelplatten (discii intervertebrales) (vgl. Platzer, 1999; et al.) im Sinne der gelenkigen Funktionalität
- 2.) die Bandstrukturen im Sinne der zu stabilisierenden Funktionalität (vgl. Weineck, 1996; et al.)

Inwieweit welche muskulären Strukturen (unmittelbar wirkend bzw. wirkungsverstärkend) einer Trainingsadaptation unterworfen werden können, ist in Folge noch zu diskutieren.

Weiters können folgende Größen als im Wesentlichen und unter dem Gesichtspunkt positiver Trainingsadaptation nicht veränderbar verstanden werden:

- 1.) Anhand der obigen Feststellung zu den gelenksbildenden Strukturen (Knochen, discii intervertebrales, Bänder) im Sinne erwähnter positiver Trainingsadaptation (siehe oben) die jew. tatsächlichen Gelenkwinkel, sprich der individuelle ROM.
- 2.) Die biometrischen Verhältnisse des Piloten in Relation zu den Cockpit-Dimensionen (Sitz, Instrumentenanordnung) und die sich daraus ergebenden Bewegungslimitierungen bzw. Bewegungsvorgaben (Erreichen der Instrumente) sowie wirksam werdenden biomechanischen Hebel und Kräfteverhältnisse.

- 3.) Die oben (siehe Kap. 3) angeführten, unmittelbar wirkenden Belastungsanforderungen physikalischer Natur in der Duellsituation.

### **ad 5.) Mögliche Kompensationen dieser Größen**

Anhand der vorangegangenen Ausführungen ergibt sich also vorerst klar eine kompensatorische Adaption (im Sinne der wirkenden pyhsikalischen Kräfte) ausschließlich der muskulären Strukturen.

Diese sind, wie bereits oben (Pkt. 3. und 4.) angesprochen sowohl unter Berücksichtigung der funktionalen Erfordernisse (im Sinne der systemischen Anforderungen und Belastungsparameter) als auch der fliegermedizinisch voranzustellenden Erkenntnisse hinsichtlich kontraindikativer oder kontraproduktiver Morphosen der Muskelstruktur (vgl. Kap. 1) zu gestalten.

Darüber hinaus sind ebenfalls im Vorfeld unumgänglich die neurophysiologischen Relationen in Kontext mit den Belastungscharakteristika zu bringen, um zu gewährleisten, dass

- 1.) von einem tatsächlichen Wirksamwerden der trainingspezifischen Intentionen in den betroffenen Muskelstrukturen entsprechend den neuronalen Bedingungen der Innervation ausgegangen werden kann und
- 2.) eine gezielte Trainingssystematik anhand einer eindeutigen funktionalen und prioritären Zuordnung überhaupt entworfen werden kann.

Diese Vorgaben finden im nachfolgenden Kapitel weiterführende Behandlung und Bewertung.

Festgehalten kann an dieser Stelle jedoch schon werden, dass eine (zukünftige) Bewertung der tatsächlichen Effektivität kompensatorischer Interventionsmaßnahmen stets in mehrfachem Wirkungszusammenhang gesehen werden muss. So stellt bspw. Hämäläinen 1996 in einer Studie für die grundsätzliche Belastung der Wirbelsäule nach Flügen mit mehrfachen G-Belastungen fest, dass es bei den Probanden bereits nach 40 Minuten Flugbelastung zu einer signifikanten „Verkürzung“ der Wirbelsäule (spinal shrinkage, 4.9 mm) kommt, was auf die kompressorischen Wirkungen während des Fluges zurückzuführen ist. Ob und wie weit diese gleichsam lotrechte Krafteinwirkung in ihrem physiologisch kurzfristigen Ergebnis wirklich kompensiert werden kann, muss vorerst dahingestellt bleiben und könnte für sich alleine als unreflektierter Gradmesser etwaiger Trainingseffekte wohl kaum herangezogen werden.

## 6. Bewertung der Belastungsparameter unter trainingsrelevanten Gesichtspunkten

An dieser Stelle sollen die Belastungsparameter hinsichtlich

- Belastungsdauer,
- Belastungsfrequenz und
- prozentualem Anteil der maximalen Kraftentfaltung, also des 1-Wiederholungsmaximums (1RM)

eine grundsätzliche Zuordnung in der trainingswissenschaftlichen Systematik erfahren.

Dies muss weder die nachfolgende, tatsächliche Trainingsgestaltung simplifizieren noch einengen, sondern soll vielmehr in weiterer Folge einer multidimensionalen trainingspezifischen Handlungsebene die hermeneutische Schlüssigkeit, inhaltlich zielorientierte Gewichtung und damit letztlich individuelle Effektivität gewährleisten.

Dementsprechend erfolgen die Zuordnungen unter den nachfolgenden trainingsrelevanten Maßstäben, auch wenn dies in Folge teilweise überschneidende oder identische Terminologien bedingt.

### Energetisch-physiologischer Fokus

Ausgehend von den oben genannten (siehe Kap. 3) Belastungsdauern kann grundsätzlich für die intramuskuläre Energiebereitstellung (vgl. Weineck, 1996; et al.) von nachfolgenden Realisationen ausgegangen werden.

**Tabelle 7 : Belastungsdauern, energetisch-physiologischer Fokus**

Belastungsintensität	Dauer	Bereitstellungsform
hoch	3-5 sec	Anaerob alaktazid
mittel	3-10 sec	Anaerob laktazid
gering	ständig	Aerob alaktazid

Die energetische Ausschöpfung ließe sich wie folgt ableiten:

**Tabelle 8 : Belastungsdauern, energetische Ausschöpfung**

Belastungsintensität	Energetische Reaktion
hoch	ATP Spaltung / KP-Resynthese
mittel	KP Resynthese / anaerobe Glykolyse
gering	Aerobe (mitochondriale) Reaktion

Diese Folgerung kann anhand folgender Hinweise auch ohne invasive Untersuchungen als richtig angenommen werden:

1.) Die Belastungs-Peaks werden, wie oben festgehalten, einhellig als maximal im Sinne der ausgeführten muskulären Arbeitsleistung bei 7-9 G und hoch bei 5-7 G beschrieben. Daher ist die intensitäre Voraussetzung einer klassischen Energiebereitstellungs-Kurve (vgl. Pokan, 2004) gegeben.

2.) Darüber hinaus kann eine konzentrische Kontraktion in den Hoch-Belastungsbereichen durch Piloten gar nicht ausgeführt, den wirkenden Belastungen kann nur isometrisch und teils sogar nur exzentrisch entgegengewirkt werden. (vgl. Experteninterviews). Es kann folglich angenommen werden, dass die willentlichen Kontraktionen im Bereich maximaler Leistungsfähigkeit liegen und damit auch hinsichtlich der Arbeits-Intensität relational zur Innervations-Dauer und Leistungsanstieg den oben genannten energetischen Reaktionen zugeordnet werden können.

### **Trainingswissenschaftlicher Fokus**

Da dem Autor bezüglich der individuellen muskulären Leistungsfähigkeit der Piloten und damit einer Relation der Arbeitsintensitäten nichts vorliegt, muss bezüglich der eben tatsächlich im Einsatzflug zu leistenden Arbeitsintensitäten auf das subjektive Empfinden und Beschreiben der Piloten zurückgegriffen werden. Dies erscheint aber vom augenblicklichen Standpunkt her nicht unmittelbar als wertmindernd für die Aussagekraft. Es kann anhand der oben bereits erwähnten Aussagen der Piloten zur muskulären Arbeitsweise der betroffenen Muskelstrukturen in den jeweiligen Flugmanövern analog zur

trainingswissenschaftlichen Diktion (vgl. Gottlob, 2007; et al.) davon ausgegangen werden, dass

- 1.) muskuläre Leistungen im Bereich 7-9 G zumindest im Bereich 80 – 100 % des konzentrischen 1RM liegen und
- 2.) ebensolche Leistungen im Bereich 5-7 G ebenfalls zumindest in Bereichen 60 – 80 % des konzentrischen 1RM liegen.

Dass diese Einschätzungen die minimale Anforderung an die betroffene Struktur darstellen, ist angesichts der im betrachteten Belastungsbereich auftretenden Form der Muskelarbeit (isometrisch bis exzentrisch) augenscheinlich.

Die Belastungswiederholungen liegen, wie oben festgehalten, bei 6-10 (hoch) bzw. 20-30 (mittel) Wiederholungen für einen Einsatzflug, inkludierend die standardisierte Duellsituation.

Somit kann von Leistungen gesprochen werden, die mit einem Maximalkraft- bzw. Kraftausdauer-Training korrelieren.

Hinsichtlich der hohen Wiederholungszahlen in mittleren Bereichen sowie der Hinweise auf die teilweise als „ständig“ empfundenen Belastungen (vgl. Experteninterviews), ständig vorherrschender, geringer Zusatzlasten (Helm, NVG) sowie der ohnehin grundsätzlich eher als statisch zu bewertenden Positionierungen scheint jedoch auch eine Orientierung an Ausdauer-Trainingsformen vorerst durchaus gerechtfertigt.

### **Muskelmorphologischer Fokus**

Bezüglich der muskulären Morphologie wurde bereits oben mehrfach darauf hingewiesen, dass nach verschiedenen Hinweisen von einer kontraproduktiven Entwicklung für die kardiovaskuläre Belastungsakzeptanz des Piloten bei zunehmender Kapillarisation der cranial gelegenen Muskelstrukturen auszugehen ist.

Ob und inwieweit von einem grundsätzlichen Unterschied in physiologischer oder energetischer Sicht der unmittelbar betroffenen Nackenmuskulatur ausgegangen werden kann, kann vorerst nicht geklärt werden.

Die Trainierbarkeit im allgemeinen (vgl. Falla, 2007) wie auch im speziellen (vgl. Härmäläinen, 1998; Taylor, 2006) Anforderungsbereich der Nackenmuskulatur kann ebenso angenommen wie eine übereinstimmend neuromuskuläre Ansteuerung, die in der

unmittelbar auf die Kopfgelenke wirkenden Nackenmuskulatur jener der übrigen skelettären Muskelstrukturen entspricht, werden. (vgl. Hämäläinen 1992; Green, 2004)

### **Mechanisch-funktionaler Fokus**

Den grundsätzlichen Ansatz der Trainierbarkeit und Wirksamkeit einer belastungskompensatorischen Struktur am physiologischen Fokus der WS unterstützen verschiedene Studien. Wenngleich im nicht-spezifischen Bereich deren Hauptaugenmerk auch zumeist am Bereich der LWS liegt (vgl. Hanney, 2007), so ist dennoch stets die grundsätzliche Prämisse gegeben, die WS als Gesamtkonstrukt zu verstehen, deren einzelne Abschnitte einer komplexen Systematik in Funktion und Veränderung unterliegen. Insofern kann also auch für den Bereich der HWS davon ausgegangen werden, dass das Verständnis eines muskulären Stütz- und Schutz-Systems hier zutreffend und in den Maßnahmen analog anwendbar ist. (ebendort)

Darüber hinaus zeigen auch Studien (vgl. Alricsson, 2004; Solvelius, 2006) am speziellen Fokus der HWS von Jet-Piloten unmittelbare Effekte auf die Kraftentwicklung.

Dass jegliche trainingsrelevante Überlegungen hierbei stets allgemein und insbesondere am speziellen Belastungsprofil der Jet-Piloten orientiert die Ansprüche einer funktionalen Ausgeglichenheit erfüllen müssen, ist unumstritten und drückt sich auch in verschiedenen Untersuchungen klar aus. (vgl. Leggett, 1991; Valkeinen, 2002)

## 7. Neurophysiologische Ansteuerungsmodellierung

Wie bereits weiter oben festgehalten, erscheint es angesichts der Aufgabenstellung der Arbeit unumgänglich, jeglichen Konzeptionen eines effektiven Trainings angesichts der fliegermedizinischen und technischen Vorgaben im Sinne „unveränderlicher“ Größen und angesichts der geforderten Effektivität im Sinne der Schaffung bzw. Sicherstellung überlebensnotwendiger Ressourcen in der Handlungskompetenz während eines Einsatzfluges auch eine komplexere physiologische Begründung hinsichtlich der tatsächlichen neuronalen Ansteuerung voranzustellen.

Für die Notwendigkeit dieser detaillierten Betrachtung im Vorfeld einer Trainingskonzeption kann wie folgt argumentiert werden:

Die obigen Ausführungen haben ja teils recht klar gezeigt, dass

- 1.) die muskuläre Leistung und reaktive Steuerung dieser Leistung sich definitiv in Grenzbereichen der möglichen Realisierung bewegt,
- 2.) diese Leistung und Steuerung in Fällen des Fehlverhaltens mittelbar und u.U. sogar unmittelbar durchaus nachhaltig schädigende, teils sogar lebensbedrohliche Folgen für den Piloten haben kann,
- 3.) die Handlungsabfolgen und Intensitäten stets komplexe muskuläre Innervationen bedingen und
- 4.) stets mehrere Muskelstrukturen u.U. auf unterschiedliche Weise miteinbezogen sind.

Dies kann noch deutlicher im Sinne der geforderten Trainingseffekte dargelegt werden, da es letztlich unmaßgeblich erscheint, ob die Beeinträchtigungen des Piloten durch die wirkenden Kräfte in zeitlichem Zusammenhang (unmittelbar oder mittelbar wirksam) betrachtet werden oder unter unterschiedlichen Blickwinkeln (dem der individuell empfundenen gesundheitlichen Position des Piloten, dem der tatsächlichen langfristigen Flugfähigkeit oder dem der Gegner-Wechselwirkung im Sinne taktisch überlegener Belastbarkeit).

Es zeigen, anders gesagt, eben diese Erkenntnisse abseits rein physiologischer Interpretationen unter dem Blickwinkel der Befindlichkeit und Einsatzfähigkeit

- 1.) sowohl die Wahrscheinlichkeit kurzfristiger als auch mittelfristiger Beeinträchtigungen (von „Verspannungen“ bis hin zu massiven strukturellen Pathologien)

- 2.) sowohl Problemstellungen für den subjektiven Blickwinkel des Piloten als unmittelbares persönliches Interesse, als auch den objektiven Blickwinkel der tatsächlichen Leistungsfähigkeit (aus Sicht des flugwilligen Piloten bzw. aus Sicht des Auftraggebers) und taktisch überlegenen Handlungskompetenz.

Dass jedoch die Qualität und Intensität der neuronalen Ansteuerung im Bereich der WS-Muskulatur wesentlichen Einfluss auf eben diese subjektiv wie auch die physiologisch erfassbaren tatsächlichen körperlichen Leistungsqualitäten (Kompensationsfähigkeit, Einsatzüberlegenheit, grundsätzliche medizinische Flugtauglichkeit, Befindlichkeit u.s.f.) hat, darüber geben sowohl mannigfaltige Studien zur grundsätzlichen Problemstellung WS im allgemeinen humanmedizinischen Arbeitsfeld als auch spezifizierte Untersuchungen an Militärpiloten deutlichen Aufschluss.

Verwiesen sei dabei auf die bereits zuvor erwähnte Literatur, insbesondere aber

Panjabi (1990)

McGill (2002)

Fernandez (2003)

Van Dijek (1993)

Ob und in wie weit überhaupt zum augenblicklichen Zeitpunkt valide und objektive Aussagen zu dieser Ansteuerungsproblematik gemacht werden können, bleibt insofern fraglich, als unklar erscheint, ob die unten angeführten Modelle der Ansteuerung gänzlich als in Bezug auf ihre wissenschaftliche Akzeptanz abgeschlossen gewertet werden können, diese insbesondere den Fokus HWS im muskulären Arbeitsregime erfassen und ob darüber hinaus eine Übertragung auf den ganz speziellen Belastungsbereich des Flugbetriebes im vorgestellten Rahmen objektiv ist.

Es steht dieser möglichen Kritik jedoch entgegen, dass

- a) die modellierten Bewegungsrealisationen grundsätzlich nur verallgemeinert Sinn machen, soll eine handhabbare Trainingskonzeption gefunden werden, da das Grundprinzip trainingsphysiologischen Arbeitens ja von einem verallgemeinerbaren Verständnis der menschlichen Belastungsadaptation ausgeht (vgl. Weineck, 1996)
- b) die Handlungsabläufe und daraus folgenden Belastungen wie oben festgehalten (vgl. Kap. 3) für den Piloten beschreibbar, strukturierbar, limitiert und somit aufgrund der oben festgehaltenen biometrischen, taktischen und systemischen Vorgaben näherungsweise quantifizierbar sind.

So können insofern Prämissen für alle weiterführenden Schlussfolgerungen geltend gemacht werden, als die Handlungsabläufe de facto klar unterscheidbar sind hinsichtlich

- a) reaktivem und reflexartigem Innervieren (siehe auch weiter unten)
- b) konzentrischem, isometrischem und exzentrischem Innervieren in ebenso klar unterscheidbaren Abschnitten (siehe oben Tab. 4), sprich einer Handlungs-Systematisierung und Belastungs-Kategorisierung
- c) stabilisierendem und dynamisch-ausführendem muskulärem Handeln in der Rückenmuskulatur. (siehe auch weiter unten)

Es ergeben sich damit wesentlich drei Ansatzpunkte des Verständnisses für die neurophysiologischen Realisationen der Aufgaben des Piloten:

- 1.) die Realisation muskulärer Aufgaben am Fokus der Wechselwirkung von Stabilisation und Dynamik (sensomotorische Prozesse) autochthoner Steuerung durch das ZNS im Allgemeinen
- 2.) die Realisation muskulärer Aufgaben unter dem Gesichtspunkt intra- und intermuskulärer Balance (propriozeptives System) im speziellen Umfeld
- 3.) die Realisation muskulärer Aufgaben am Fokus der zerebralen Steuerung komplexer Handlungsabläufe (situationsvariable und bedingt internalisierte Koordination).

## **7.1 Muskuläre Realisation am Fokus der Wechselwirkung von Stabilisation und Dynamik**

### **Sensomotorische Prozesse autochthoner Steuerung durch das ZNS im Allgemeinen**

Panjabi (1990) sieht die körperliche Kontrolle im Bereich des Rumpfes mit Hauptaugenmerk auf den Rücken als von zwei wesentlichen Determinanten bestimmt:

- 1.) den Bewegern der WS („globale Bewegungen“) und
- 2.) den Stabilisatoren der WS („Stabilisatoren“)

Die Stabilisatoren der WS unterteilt er wiederum in

- a) globale Stabilisatoren und
- b) lokale Stabilisatoren („ständige“ Ansteuerung, niedriges Aktivitätsniveau)

Ähnlich beschreibt McGill (2002) die Wechselwirkung muskulärer Aktivitäten und sensorischer Rückmeldungen als wesentlich für die habituelle Haltung der WS (des Rumpfes überhaupt). Einerseits geben ständige innervatorische Regelkreisläufe im Sinne einer Feedback-Systematik und andererseits ein kinästhetisch gespeichertes Haltungserfahrungsbild die tatsächliche autochthone Rumpfstellung vor.

Funktional geht diese neuromuskuläre Konzeption letztlich auf die Problemstellung ein, dass offensichtlich verschiedene Faserschichten (tiefere bzw. oberflächlichere) ein und desselben Muskelstranges stabilisierende Funktion sowohl lokaler als auch globaler Bereiche übernehmen und eine funktionale Zuordnung lediglich auf ganze Muskelstränge in ihrer simplen Funktion bezogen nicht umsetzbar ist. (vgl. Panjabi, 1992; McGill, 2002) Dies spiegelt sich auch im Konzept der „posturalen Kontrolle“ (Bobath, in: Gijelsvik, 2007) wider.

Zwar kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das „zylinderförmige“ muskuläre System des Körpers (Rückenmuskulatur, Bauchmuskulatur, Fascia thoracolumbalis, Rectusscheide, linea alba, Diaphragma, Beckenbodenmuskulatur) (vgl. Janda, 2000) für die Realisation der Haltung und Bewegung des Rumpfes (WS-Flexion/ Extension, Rotation) die wesentliche Grundlage darstellt. Jedoch lassen sich im Umkehrschluss aus dem Verständnis muskulärer Dysbalancen sehr wohl intramuskuläre Zusammenhänge der Ansteuerung und somit „Aufgaben-Zuordnung“ komplexer Natur aufzeigen.

So erscheint es wesentlich, die nachfolgenden Trainingsaufgaben unter dem Blickpunkt sensomotorischer Prozesse dahingehend zu argumentieren, dass neben den rein kräftigenden Bewegungen in einer Richtung (unidirektional im Sinne von Flexion und Extension in einer vektoriellen Richtung der Körper-Raumstellung) auch

- rotatorische Bewegungen muskulär eindeutig zusammengesetzter Natur
- Arbeiten mit freien Gewichten und
- komplexere Bewegungsabläufe

durchzuführen sind.

Dies, um Effekte sowohl der intramuskulären als auch der intermuskulären Koordination zu provozieren (vgl. Ehlenz, 1998; Wick, 2005; et al).

## **7.2 Muskuläre Realisation unter dem Gesichtspunkt intra- und intermuskulärer Balance**

### **Propriozeptives System im speziellen Umfeld**

Zumindest aus zwei Blickwinkeln heraus kann neben der Notwendigkeit dynamischer Kräftigungen im Training auch vom zu erfüllenden Anspruch statischer Kompetenz im Sinne der Stabilisierung der einzunehmenden Haltungen im Flugzug (vgl. Kap. 2) ausgegangen werden:

- 1.) Die Piloten müssen in einer vorrangig statischen Sitzposition verharren bzw. nach kurzen, als ansatzweise dynamisch zu bezeichnenden Rumpfbewegungen veränderte Positionen gezielt ansteuern und gegen die wirksam werdenden Kräfte halten.
- 2.) Während aller Oberkörper-Positionierungen im Cockpit sind exakte Bewegungen mit den Armen auszuführen, d.h. zur Wahrung der kinästhetischen Fähigkeiten und damit Realisation exakter Raumstellungen der Extremitäten (Steuerbewegungen mit den Armen im Cockpit, u.U. auch ohne Hand-Auge-Koordination, vgl. Kap. 2, 3) sind die oben erwähnten Rumpfbewegungen bzw. Rumpfstabilisationen gegen die zunehmenden, abnehmenden (linear und exponentiell) und ggf. alternierenden physikalischen Krafteinwirkungen (Schwankungen, Vibrationen) mit höchstmöglicher Qualität und Konstanz auszuführen.

Da ja, wie nun oben hinlänglich festgehalten, davon ausgegangen werden kann, dass einerseits zwar mit physiologisch-anatomisch als „gesund“ zu bewertenden Personen (fliegermedizinisch evaluierte Flugtauglichkeit) gearbeitet wird, andererseits jedoch angesichts studienbezogen untermauerter und qualitativ ermittelter Befindlichkeit (vgl. Experteninterviews) „Verspannungen“ und Überlastungen als geradezu zu verallgemeinernde Arbeitsgrundlage am Subjekt Prämisse des trainingsspezifischen Handelns sind, ist darüber hinaus noch zusätzlicher Augenmerk auf die Wahrung und Optimierung des neuromuskulären Zusammenspiels (Reflexbogen-Motorik) zu legen. (vgl. Nigg, 1999)

Daher sind, über die oben bereits erläuterte grundsätzliche Notwendigkeit hoher Kraftmaxima (1RM an der beteiligten muskulären Struktur) im Training hinaus, simple muskelfunktionale Arbeits-Zuordnungen ohne koordinativen Bezug zu vermeiden, um für die nachfolgenden Trainingsüberlegungen wesentlich auch der geforderten Effektivität

taktischer Natur gerecht zu werden. So stellt bereits Bogduk (2000) fest, dass propriozeptive Elemente auch am m. multifidii sowie den kleinen Wirbelgelenken zu finden und wesentlich für Raumstellungs-Empfindung und damit Haltungskompetenz des Individuums sind.

Somit erscheint es, anschließend an die Ausführungen in Punkt 1.), weiters wesentlich, in die Trainingsgestaltung Übungskomplexe einzufügen, die gezielt Raumstellung und Ausgleichsmotorik am Ansatzpunkt der propriozeptiven Steuerung nach Möglichkeit im Bereich HWS, BWS und allgemein obere Rumpfmuskulatur (zylinderförmiges System, vgl. oben) fordern.

### **7.3 Muskuläre Realisation am Fokus der zerebralen Steuerung**

#### **Komplexe Handlungsabläufe, situationsvariable und bedingt internalisierte Koordination**

Zum augenblicklichen Zeitpunkt kann das Verständnis der Steuerung wiederkehrender, verinnerlichter und muskulär sehr rasch ablaufender Bewegungshandlungen jenseits der Reflexhandlung (pyramidalmotorisches System) gegenüber vorangegangenen Erklärungsansätzen („Feedbackschleifen“) schlüssig durch zerebral gespeicherte, komplexe Bewegungsmuster erklärt werden.

Diese Bewegungsmuster erfüllen dabei folgende Anforderungen, welche sie von anderen Bewegungshandlungen klar abgrenzen:

- Sie unterscheiden sich von einfachen Reflexen durch die komplexe Charakteristik (zusammengesetzte bzw. ineinander verschränkte motorische Abfolgen)
- Sie laufen schneller ab, als dass sie einer sensorisch rückgekoppelten und damit in der Bewegungsausführung durch Rückmeldung („Feedback“) korrigierten Bewegungssteuerung entsprechen könnten („Feedbackschleifen“)
- Sie sind in ihrer Ausführung als wiederholungsstabil hinsichtlich Exaktheit, Ökonomie, und sensorischer Unabhängigkeit (während des Ablaufes) zu bezeichnen
- Sie sind modular gestaltet, d.h. in ihrer komplexen Handlungsfolge zumindest bedingt ausbaubar.

Dass diese Systematik für den konkreten Bereich der Handlung in den engen Flugradien der Duellsituation charakteristisch zur Geltung kommt, kann anschließend an die

vorangegangenen Ausführungen (vgl. Kap.2, 3) in aller Kürze folgend argumentiert werden:

- 1.) Die motorischen Handlungsmuster erscheinen in Gleichzeitigkeit und Abfolge hinsichtlich des Zusammenwirkens von Libelle-System, manueller Steueraufgaben im Cockpit und taktischer bzw. belastungskompensatorischer Verhaltensmuster im Bereich der HWS komplex.
- 2.) Die motorischen Handlungsmuster folgen, auch wenn sie luftkampftaktisch trennbar sein mögen (Radius, Beobachtung, Entscheidung, Radius usw.) jeweils unmittelbaren sensorisch bedingten Reaktionen (Abwarten des Vorbeifluges und folglich „sofortige“, d.h. also Einleitung des Radius so rasch wie möglich, vgl. Kap. 3)

Nachdem darüber hinaus eine klare Bewegungsvorstellung des Piloten von der gemäß taktischen und systemischen Ansprüchen zu standardisierenden Bewegungsabfolge erkannt werden kann, da sie in allen Experteninterviews de facto identisch wiederkehrt (ebendort), kann festgehalten werden, dass die koordinativen Ansprüche unmittelbaren Bezug zur muskulären Realisation haben und daher im Trainingsablauf Niederschlag zu finden haben.

Die Tatsache der taktischen Variabilität des tatsächlichen Duellverlaufs mindert diesen Anspruch keineswegs, sondern verstärkt ihn im Gegenteil noch angesichts der bereits eingangs festgehaltenen Anforderung eines „worst-case“-Denkens, unter welchem nichts anderes als absolute Belastungsmaxima nicht voraussagbarer Natur in der detaillierten Ausprägung des singulären Duellereignisses zu verstehen sind.

Daher sind aus diesem Blickwinkel heraus die gestellten standardisierten Bewegungsanforderungen mit der Zielstellung auszuprägen, sie letztendlich

- optimal (ökonomisch, schnellstmöglich)
- modular stabil gegenüber Störeinflüssen (situationsunabhängig Veränderung der Belastungsgrößen, Abfolgen oder sonstigen Anforderungen an den Piloten)
- in ihrer umfassenden Komplexität (Zusammenspiel verschiedener Aufgabenbewältigungen des ganzen Körpers in einer Situation)

zu erfassen und nach methodischen Grundsätzen zu erlernen.

Dies heißt also nichts anderes, als dass im Training stets Rückkoppelung und damit Authentizität zu den tatsächlichen Flugbedingungen zu wahren ist.

## Zusammenfassende Gliederung der neuromuskulären Wechselwirkungen

Um letztlich die oben angeführten neuromuskulären Abläufe im Sinne von trainingspezifischen Einflussgrößen handhabbar zu machen (sprich ihnen Wertigkeiten im Trainingskontext zuzuordnen), können diese über die bereits in vorangegangenen Kapiteln festgestellten Anforderungszusammenhänge hinaus eng aus dem Blickwinkel

- des intermuskulärem, intramuskulärem Zusammenspieles  
(funktional-anatomisch –primäre Realisationsebene)
- des anforderungsspezifischen Kompensations- und Realisationsverhaltens  
(spezifisch-systemisch –sekundäre Realisationsebene)
- der zeitebenen-bezogenen motorischen Kompetenz (kurzfristige Realisation, mittelfristige Kompensation)  
(taktische Handlungskompetenz wie auch Eigenschutz -tertiäre Realisationsebene)

betrachtet werden.

Eine diesbezügliche Gliederung der elementaren Zuordnungen ist daher wie folgt zu verstehen:

**Tabelle 9 : Systematik der neuromuskulären Wechselwirkungen**

<b>Effektiv</b>	allgemeine Stabilisation	spezifische Kompensation	spezifische Motorik
<b>neurophysiologisch</b>	autochthone (primäre) Realisation reflexiv	propriozeptive (sekundäre) Realisation reflexiv/reaktiv	zerebral innervierte (tertiäre) Realisation aktiv
<b>Funktional</b>	statisch habituelle Sitzhaltung	statische Widerstandfähigkeit (einsatzspezifische Belastungen)	dynamische, teils parallel durchgeführte Bewegungen
<b>Taktisch</b>	systemisch vorgegebene Sitzhaltung	belastungsbezogene Aufrechterhaltung der jew. Haltungen	Kopf- und Armbewegungen, Libelle-Kontraktionen
<b>Trainingspezifisch resultierend</b>	Ansteuerung, Ausdauer	Ansteuerung, Kraft	Koordination, Automatisierung

## **Problemstellung modularer Situationsindependenz**

Wie hinlänglich aus der Bewegungswissenschaft bekannt und in nahezu jeglichem methodisch-didaktischen Bewegungskonzept widergespiegelt, folgt Bewegungslernen ja einem wachsenden Fertigkeitserwerb, dessen Endstufe jeweils als Ausführungskompetenz des Erlernenen auch unter veränderten Bedingungen (Umfeldbedingungen, Störeinflüssen) feststellbar ist. (vgl. Wick, 2005; et al.)

Umgekehrt lassen sich im allgemeinen (vgl. McGill, 2002) und speziellen (vgl. Härmäläinen, 1992; 1999) auch Verschlechterungen in der Kompensationsfähigkeit bezüglich Belastungsmaxima und Wiederholungszahl (zumindest in der Humanzentrifuge) sowie Verminderungen in den koordinativen Fähigkeiten erkennen.

Es kann für das spezifische Training am eigentlichen Fokus HWS davon ausgegangen werden, dass ein umfassend verstandenes koordinatives Übungsfeld der eigentlichen Intention entspricht, indem die Ressourcen des motorischen Handelns einer Optimierung in

- Exaktheit (Zielstellungs-Koordination)
- Ökonomie (Kraft, Ausdauer)
- Wiederholungskonstanz („rauscharme“ Ausführung) und
- Variabler Verfügbarkeit (Situationsindependenz) der Bewegungsausführung zugeführt werden.

(vgl. Wick, 2005; Hollmann, 2000; et al.)

Somit kann festgehalten werden, dass im Sinne

- der taktischen Überlegenheit,
- der mittel- langfristigen gesundheitlichen Ressourcenwahrung sowie
- der als eindeutig multidimensional und wechselwirksam erkannten neurophysiologischen Arbeitsregime

ein begleitendes und ergänzendes koordinatives Training über die reinen Propriozeptoren-Übungen (siehe unten) an der WS hinaus zu erfolgen hat.

Dabei sind sowohl

- rasch aufeinanderfolgende (reaktive) Handlungen als auch
- parallel geschaltete (reaktive) Handlungen zu beüben und

sowohl

- reaktiv situative Entscheidungshandlungen als auch
- reflexiv/reaktive, situationsindependent gespeicherte Handlungen (vgl. GMP, oben).

## 8. Trainingsphysiologische Conclusio

### 8.1 Prämissen für das konkrete Trainingskonzept

Es kann aus den vorangegangenen Argumentationen und Schlussfolgerungen - insbesondere zur neurophysiologischen Ansteuerungsmodellierung (Kap. 7) - abgeleitet werden, dass dem Training folgende wesentlichen Charakterzüge (im Sinne von Prämissen) der Inhaltsplanung zugrunde liegen:

- **Berücksichtigung der spezifischen neuromuskulären Komplexität**

Die der Wirbelsäule funktional zuzuordnende Muskulatur unterliegt aufgrund ihrer elementaren wie auch speziellen Funktion (Stabilisation, Motion) in ihrer Trainierbarkeit notwendigerweise komplexeren Betrachtungen als andere Bereiche der Skelettmuskulatur.

Exemplarisch: WS-Training bedarf einer detaillierteren Berücksichtigung der Wechselwirkungen von Verkürzungen vs. Abschwächungen, Statik vs. Dynamik, programmierten vs. voluntärem Verhalten als bspw. Sprungkrafttraining.

- **Berücksichtigung der taktischen Zielstellung**

Darüber hinaus (1.) ist gerade aufgrund der spezifischen Anforderung taktischer Flug-Belastungen das Training umfangreich im Sinne verschiedener Trainingsformen und speziell im Sinne der inhaltlichen Wertigkeiten zu gestalten.

Exemplarisch: Der Trainingsvorgabe „Steigerung der allgemeinen Leistungsfähigkeit an der Rückenmuskulatur“ (Maximalkraft plus Propriozeption plus Ökonomisierung plus Koordination usf.) muss effektiv eine messbare Verbesserung des Einzelfaktors „Verbesserte Koordination des Komplexes Extremitäten-Kontraktionen (Libelle), Rumpf-Kontraktionen (HWS-Steuerung), Feinmotorik (Instrumentensteuerung)“ folgen können.

- **Berücksichtigung der zeitlichen Zuordnung der Handlungsabläufe**

Dem entsprechen auch die Anforderungen einer Trainingsgestaltung unter Berücksichtigung von willentlichen (reaktiv/ aktiv) und unbewussten (reflexiv) muskulären Aktivitäten.

Exemplarisch: Anspannung der unteren Extremität vor Einleitung einer Wende vor Kopfdrehung vor isometrischer Stabilisation vor Atemzugs-Änderung vor Sprechbefehl an den Computer.

- **Berücksichtigung der trainingsmethodischen Effektivität**

Eine grundsätzlich relativ klare Unterscheidung bzw. Zuordnung in zweckbezogene Arbeitsregime und daraus folgende Trainingsbereiche muss möglich sein, um ein Training zu gestalten, das den extrem hohen realen Wirkungsbereichen genügt.

Exemplarisch: Neben Trainings-Maßnahmen zur optimalen neuromuskulären Ansteuerung bei Stabilisation und Rotation des Kopfes ist ein Maximalkrafttraining mit hohen und höchsten Lasten nötig, um tatsächlich 7-9 G in verschiedenen Gelenkwinkeln der HWS verletzungsfrei realisieren zu können.

- **Berücksichtigung der individuellen Situation der Trainierenden**

Sämtliche Trainingsanforderungen werden an grundsätzlich fliegermedizinisch gesunde („einsatzfähige“), individuell jedoch möglicherweise vorbelastete Personen gestellt. Dies bedingt nicht zwingend eine über die üblichen anamnestischen Verfahren hinausgehende Bewertung der individuellen Konstitution, fordert aber im Verlauf des Trainings eine wiederholte Beobachtung von Befindlichkeit und Belastbarkeit. (siehe hierzu auch Kap. 11)

Exemplarisch: trainingsphysiologische Anamnese, Befindlichkeitsfragebögen, enge Wechselwirkung mit fliegermedizinischen Untersuchungen.

In weiterer Folge ergeben sich somit die elementaren Charakterzüge des Trainings. Es sind dies, entsprechend den allgemeinen Termini der Trainingswissenschaften (vgl. Weineck, 1996; et al.):

**1.) Maximal-Krafttraining**

der Rückenmuskulatur im allgemeinen und der unmittelbar zuzuordnenden WS-Muskulatur im speziellen für den Bereich der absoluten Belastungsmaxima im Einsatz.

**2.) Kraft-Ausdauertraining**

der Rückenmuskulatur im allgemeinen und der unmittelbar zuzuordnenden WS-Muskulatur im speziellen für den Bereich der wiederkehrenden hohen Belastungen im Einsatz.

**3.) Spezifisches Ausdauertraining**

der Rückenmuskulatur im allgemeinen für die Bereiche der grundsätzlich systemisch geforderten Positionierungen im Flugzeug.

**4.) Propriozeptives Training**

der Rückenmuskulatur bzw. HWS-Muskulatur für die Bereiche der erhöhten Kompetenz posturaler Kontrolle und reflexiv-kompensatorischer Fähigkeit (Ansteuerung).

**5.) Spezifisches Koordinatives Training**

in enger Bindung an die systemischen Anforderungen (Libelle, taktisches Einsatzprofil) über die propriozeptiven Trainingsformen hinaus.

**6.) Allgemeines koordinatives Training**

komplexer Anforderungen über die rein systemischen Anforderungen hinaus zur Erhöhung der störungsfreien Handlungskompetenzen und taktischen Überlegenheit.

Die folgenden Ausführungen über den letztendlichen Trainingscharakter sind als Ergebnis aller vorangegangenen Feststellungen und Schlussfolgerungen zu sehen. Im Sinne einer überschaubaren und insbesondere leichter weiterzuentwickelnden Systematik wird hier, wie schon oben, nach allgemein üblichen, elementaren Begrifflichkeiten der Trainingslehre (vgl. Weineck, 1996; Ehlenz, 1998) und damit auch den bisher verwendeten trainingspezifischen Termini folgend vorgegangen.

Es ist anzumerken, dass diese Ausführungen vorerst noch keine unmittelbar praxisbezogenen Trainingsmodule darstellen, sondern vielmehr deren Grundlage bzw. Metaebene. Die Reihung erfolgt nach den oben (vgl. Kap. 7) bereits angedeuteten allgemeinen Gewichtungen im Gesamttrainingsumfang.

Eine detaillierte Übungsauswahl sowie die Trainingsdimensionen (Dauer, Frequenz, Intensitäten u.dgl. der jew. Belastungsformen) werden im Folgekapitel abgehandelt. Dieses soll jedoch in erster Linie die einzelnen Bereiche des Trainingsumfanges verständlich machen und weniger einem endgültigen Trainingsprogramm entsprechen.

Ebenso wird auf die trainingswissenschaftlich elementaren Maßnahmen wie Gewöhnungstraining, Aufwärmen und Nachbelastungs-Verhalten unter Voraussetzung der sportwissenschaftlichen Kompetenz des Lesers nicht näher eingegangen. Diesbezügliche Ausführungen allgemeiner und spezifischer Natur sollten in einer nachfolgenden Schrift praxisnahen Inhalts Niederschlag finden.

Insgesamt ist hier in aller Deutlichkeit festzuhalten, dass eine praktisch folgende Trainingsintervention eng an die individuelle Ausgangssituation (Schmerzbilder, Schädigungen, Abschwächungen, Verkürzungen, Trainingszustand, u.dgl.) und Entwicklung des Übenden anzuknüpfen ist. Dies bedingt unter anderem bspw. eine Anamnese etwaig beeinträchtigter motorischer Stereotype, was Falla (2007) mit der Forderung nach einer Präzisierung des posturalen Trainings (Bsp: Test Aufsetzen mit und ohne Anweisung) als Prämisse nachfolgender Trainingsmaßnahmen unterstreicht. Bereits hieraus dürfte unmittelbar und für alle nachfolgenden Schritte das einzufordernde Maß an Betreuungs-Qualität und Betreuungs-Intensität abzuleiten sein. (vgl. auch weiter unten)

## **8.2 Conclusio bezüglich der allgemeinen trainingsmethodischen Termini**

### **Gewöhnungstraining**

Da grundsätzlich von der Korrelation des spezifischen Trainings mit allgemeinen trainingswissenschaftlichen Grundsätzen ausgegangen wird, sind auch die üblichen Vorgehensweisen hinsichtlich der Trainingsintensitäten selbstverständlich einzuhalten.

Analog zur gängigen Praxis des Krafttrainings (vgl. Boeck-Behrens, 2000, et al.) wird vorweg für alle Trainierenden (unabhängig vom Vortrainings-Zustand) ein Gewöhnungstraining empfohlen, dessen Grundzüge wesentlich durch

- geringe Intensitäten (etwa 30 % des 1RM, dann erst näherungsweise hin zu hohen Lasten),
- hohe Wiederholungszahlen (Bewegungslernen),
- kaum freie Gewichte und
- geringe Anforderung an Komplexität

geprägt sind.

### **Krafttraining (Maximalkraft)**

Dem Krafttraining kommt, wie aus den Anforderungsprofilen und weiterführenden Schlüssen abgeleitet werden kann, die wesentliche Bedeutung in der Trainingsgestaltung am Fokus HWS zu. Sowohl im Sinne der „zylinderförmigen“ Funktionalität (vgl. Kap. 7) als auch der tatsächlichen Kraftansprüche in maximalen (1RM) und durchaus auch supramaximalen Bereichen (isometrische bzw. sogar exzentrische Kompensation) sind hier Adaptationen anzustreben.

Dies kann in aller Kürze (und als Schlussfolgerung eben der bereits getätigten Aussagen zu verstehend) wie folgt argumentiert werden:

#### 1.) Adaptationen aus physiologischer Sicht

Aus physiologischer Sicht stellen zu erwartende hypertrophe Veränderungen der Rückenmuskulatur (allgemein) im systemischen Kontext (Cockpit, Helm, Anzug) keine als negativ zu berücksichtigende Größe dar. Auch kann aus der Literatur keinerlei Hinweis abgeleitet werden, dass die zu erwartenden muskelmorphologischen Veränderungen im kardiovaskulären Bezug irgendeine Problemstellung ergeben würden.

(vgl. Conley, 1997; Goodman, 2006)

#### 2.) Adaptationen aus funktionaler Sicht der WS-Stabilisation

Aus funktionaler Sicht der WS-Stabilisation sind dem obigen gegenüber nach aktuellem Stand (vgl. Gottlob, 2007; et al.) harmonische Hypertrophien (vgl. eben zylinderförmiges System) im Sinne einer „indirekten Stützfunktion“ aufgrund hoher Stabilisation der gelenkigen Radian (ROM) anzustreben.

(vgl. Hewson, 2000)

### 3.) Adaptationen aus funktionaler Sicht der Rückenbewegung (funktionale Motorik an der WS)

Hinsichtlich der rein flugzeug-systemisch und taktisch notwendigen Bewegungen des Oberkörpers (wie oben beschrieben vgl. Kap. 2, 3) kann nicht selbstverständlich von Bewegungen ausschließlich in entlasteten (geringe bis keine physikalische Wirkung, d.h. Geradeaus-Flug) Situationen ausgegangen werden. Vielmehr ist anzunehmen, dass eine zumindest theoretische Steigerung der taktischen Überlegenheit („Kampfkraftsteigerung“, vgl. Lagler, 1987) erreicht wird, wenn der Pilot auch in hoch belasteten Phasen aufgrund seiner muskulären Kraftentwicklungspotentiale zu aktiven Bewegungen in der Lage ist, sprich beim Einsetzen der physikalischen Kräfte später in eine isometrische bis exzentrische muskuläre Situation kommt bzw. diese früher wieder beenden kann.

Verständlicherweise ist hierbei stets der schwächste muskulär-gelenkige Strukturbereich (i.d.F. also der motorische Bereich der HWS) im Sinne der obigen Ausführungen zu Verletzungs-Charakteristika und Risiken der limitierende Faktor.

(vgl. Oksa, 1996)

#### **Maximalkraft**

Die Trainingsformen der Maximalkraft sind also sowohl auf die Muskulatur des Oberkörpers im allgemeinen als auch und besonders auf die Muskulatur der HWS im speziellen ausgerichtet.

Grundsätzlich sind aufgrund der beschriebenen Belastungsformen definitiv alle drei muskellängen-bezogenen Beanspruchungsformen (konzentrisch, isometrisch, exzentrisch) zu üben, was den Anforderungen an ein Training stets nahe an den geforderten Kraftrealisationen (vgl. Boeck-Behrens, 2000) entspricht, da alle drei Belastungsformen während des Einsatzfluges auftreten. (vgl. Experteninterviews u. Kap. 3)

Gleichzeitig ist es nachvollziehbar, dass diese Vorgabe u.U. Einschränkungen hinsichtlich der Umsetzbarkeit (Geräte, Muskelstrang) und Sicherheit (HWS) erfahren muss. Auch hierauf soll bei den detaillierten Übungsbeschreibungen noch eingegangen werden. (vgl. hierzu Kap. 10, Krafttraining)

Anhand der oben (Kap. 5) bereits quantifizierten Strukturen kann daher analog zugeordnet werden:

## **Trainierbarkeit der primären funktionalen Strukturen**

- Grundsätzlich sind alle oben angeführten Muskeln dieses Bereiches trainierbar (vgl. O'Leary, 2007), funktional können sie in den Bewegungsebenen recht klar unterschieden werden, einige werden jedoch als wirkungsergänzend dargestellt (vgl. Platzer, 1999), sprich nur im Komplex mittrainiert.
- Darüber hinaus werden sie in der Trainingsliteratur (vgl. Gottlob, 2007) vorzugsweise als isometrisch zu belasten angeführt, was sich aus der Gelenksituation der WS und den damit verbundenen, besonders hochriskanten Verletzungsmöglichkeiten ergeben dürfte.
- Anhand der anatomischen Vorgabe des HWS-Gelenkes allgemein werden darüber hinaus in den gängigen Trainingsempfehlungen rotatorische, sprich komplex zusammengesetzte Bewegungen gewöhnlich vermieden. (vgl. Janda, 2000; McGill, 2002)
- Ein Arbeiten mit freien Gewichten (Zusatzlasten Kopf vs. Rumpf) im Sinne komplexer zusammengesetzter Bewegungen kann hier daher, wenn überhaupt, nur im individuell fortgeschrittenen Trainingszustand angewendet werden.

Als wesentlich innervierte Muskelstränge können dabei analog zu Tab. 5 und 6 benannt werden:

M. sternocleidomastoideus

M. scaleni

M. longus capitis

M. longus colli

M. rectus capitis anterior

(nach: Platzer, 1999)

Im Sinne der oben beschriebenen muskel-morphologischen Intention seien hierbei, abgesehen von den erwähnten Problemstellungen der Sicherheit des Übens, für einen kraftmaximierenden, hypertrophen Adaptationseffekt folgende Trainingsformen vorgeschlagen:

- Konzentrische (dynamische) Übungen gegen eine nachgebende Last nach Bestimmung des 1RPM bei zumindest 60%-80% des 1 RPM (vgl. Boeck-Behrens, 2000)

- Isometrische (statische) Übungen
- Isometrisch-Exzentrische Kontrastmethode, dementsprechend gegen eine unbewegliche Auflage (statische, ggf. mit Kraftabnehmer, siehe dazu unten Kap. 10) im Wechsel mit nachgebendem Kraftaufwand (dynamisch) in einem definierten Bereich, über den nicht hinausgegangen werden kann (fixierte Auflagefläche) nach Bestimmung des ROM. (ebendort)

(vgl. Conley, 1997)

Zum Effekt eines konzentrischen wie auch exzentrischen cervicalen Trainings vgl. auch Maeda (1994), der für beide Trainingsformen signifikante Zuwächse sowohl in der isometrischen Kraftentwicklungsfähigkeit als auch des Nackenumfanges (girth of neck) im Sinne einer Hypertrophie verzeichnet.

#### **Trainierbarkeit der sekundären funktionalen Strukturen (Rücken):**

- Die Muskelstränge dieses Bereiches werden fast nur kombiniert bewegt (wirkungsergänzend), was sich schon aus dem Konzept des „zylinderförmigen Systems“ (vgl. Kap. 7) sowie der neurophysiologischen Innervation als „autochthone Rückenmuskulatur“ (in: Platzer, 1999) ableiten lässt.
- Anteilig setzen einige von ihnen an der HWS an, was jedoch ihre grundsätzliche Belastbarkeit (im Sinne der Sicherheit des Probanden) nicht unmittelbar einschränkt, sondern eher eine Trainings-Belastung der caudal gelegenen Anteile folgert.
- Daher ist eine Zuordnung in Einzelstränge im Krafttraining nicht handhabbar, eben dieser funktionale Komplex lässt aber ein Training zu, bei dem (ohne reine Belastung der Kopfgelenke) eine Gefährdung durch die dynamischen Trainingsformen i.d.R. ausgeschlossen werden kann.
- Ihre Belastung ist neben unidirektionalen Zielstellungen auch rotatorisch (zusammengesetzt), d.h. unter Einbeziehung der übrigen Rumpfmuskulatur zu fordern, wobei allerdings das Schwergewicht im Sinne der muskelmorphologischen (Hypertrophie, vgl. oben) und neuromuskulären Adaptation (Irradiation, intermuskuläre Koordination) zumindest in der ersten Trainingsphase auf einfachen (nicht zusammengesetzten) Bewegungen beruhen wird.
- Konzentrische und isometrische Trainingsformen können ausgeführt werden, exzentrische unter klarer Vorgabe (Einschränkung) des ROM.

Die Anteile des m. erector spinae, welche (zumindest anteilig) an der HWS ansetzen, sind dabei, analog zu Tab. 5 u. 6:

M. splenius capitis	-Ansatz an der HWS
M. splenius cervicis	-Ansatz an der HWS
M. iliocostalis	-Anteile Ansatz an der HWS
M. longissimus	-Anteile Ansatz an der HWS
Mm. interspinales	-Anteile Ansatz an der HWS
Mm. intertransversarii	-Anteile Ansatz an der HWS
M. spinalis	-Anteile Ansatz an der HWS
Mm. multifidii	-Anteile Ansatz an der HWS
M. semispinalis	-Anteile Ansatz an der HWS

(nach: Platzer: 1999)

Es sind für den m. erector spinae im Sinne kraftmaximierender, hypertropher Adaptationseffekte folgende Trainingsformen vorzuschlagen:

- Konzentrische (dynamische) Übungen gegen eine nachgebende Last nach Bestimmung des 1RM bei zumindest 60%-80% des 1 RM (vgl. Boeck-Behrens, 2000)
- U.U. ebenfalls Isometrisch-Exzentrische/Konzentrische Kontrastmethode, dementsprechend gegen eine unbewegliche Auflage (statische, ggf. mit Kraftabnehmer, vgl. dazu unten Kap. 10) im Wechsel mit nachgebendem Kraftaufwand (dynamisch) in einer definierten Amplitude, über die nicht hinausgegangen werden kann (fixierte Auflagefläche) nach Bestimmung des ROM. (siehe dazu unten Kap. 10) (ebenda)
- U.U. für die oberen Anteile rein isometrische (statische) Übungen
- Sowie Übungsvariationen unter Vorerärmung, Supramaximal-Bedingungen u.dgl.

## **Kraftausdauertraining**

Anhand der in Kap. 3 evaluierten Belastungsdauern und Belastungszyklen (3-10 sek., 20-30 Wh.) erscheint ein Kraftausdauertraining für die selben Muskelgruppen wie beim Maximalkrafttraining anzuraten, um Fehlverhalten („Schummelbewegungen“, vgl. Kap. 7)

und Verletzungsgefahr in der „worst-case“-Situation möglichst lange vermeiden zu können.

Auch hier legt die Forderung der Einsatznähe trainierter Belastungen die Einbeziehung konzentrischer wie auch isometrischer Trainingsformen nahe. Exzentrische Bewegungen als Ausdruck kompensatorischen Bewegens in den Phasen höchster Belastung können hingegen vernachlässigt werden.

Überhaupt sind im Sinne des realen Trainingsumfanges (und angesichts des auf das Maximalkrafttraining zu verlegenden Schwerpunktes) die Übungsformen der Kraftausdauer als ergänzend zu verstehen. Darüber hinaus kommt ihnen erhöhte Bedeutung hinsichtlich

- Einführungsphase des Trainings (Bewegungslernen, Bewegungsoptimierung, Gewöhnungstraining allgemein)
- individuell abgestimmten Trainingsformen (Belastungs-Einschränkungen, gezielte Änderungen) und
- Vorermüdung für Maximalkraftübungen

zu.

Eine besondere Bedeutung fällt hier der Trainingsgestaltung unter Einbindung zusammengesetzter Bewegungen (komplexe Bewegungsaufgaben) zu, orientiert insbesondere an

- der Zusatzlast des Helmes unter ungünstigen Bedingungen (NVG)
- den Oberkörperrotationen im Cockpit bei Standardprozeduren in Kombination mit den Armen

## **Propriozeptives Training**

Auf die grundsätzliche Notwendigkeit einer propriozeptiven Trainingsgewichtung soll nach den Ausführungen in Kap. 7 nicht weiter eingegangen werden. Festzuhalten ist jedoch, dass die Übungsformen hierzu der erhöhten Kompetenz

- a) unmittelbar der posturalen Kontrolle und
- b) mittelbar des reflexiv-reaktiven Ansteuerungskomplexes

dienen sollen.

Dies wird, wie in Kap. 10 noch ersichtlich, durch singuläre wie auch gekoppelte Aufgabenstellungen erreicht, wobei

- die „singulären Übungen“ den reflexiven Ansteuerungen der Propriozeptoren alleine zugedacht sind und
- bei den „gekoppelten Übungen“ sowohl reaktives Verhalten als auch motorisch gespeicherte Abläufe (GMP) zu einer hohen Qualität der Bewegungsausführung hin gebracht werden sollen.

Hierauf ist auch noch in Kap. 11 einzugehen.

Zielstellung ist, dass letztlich sowohl die primären als auch die sekundären funktionalen Strukturen gefordert sind, dass also sowohl direkte als auch indirekte Kopf-Ansteuerung und die direkte Oberkörper-Ansteuerung trainiert werden.

## **Spezifisches und allgemeines koordinatives Training**

Über die propriozeptiven Trainingsformen hinaus sind koordinative Trainingsvorgaben im Sinne der Ressourcenwahrung neuromuskulärer Handlungskompetenz, wie oben hinlänglich argumentiert, zu empfehlen. Wie in Kap. 7 festgehalten, kann diese Wahrung der Handlungskompetenz nur durch die Sicherstellung situationsindependenter Fertigkeiten (also auch unter zeitgleichem Auftreten mehrfacher Belastungen bzw. Anforderungen) als gewährleistet anzusehen sein.

Spezifisches koordinatives Training hat dabei aber nachvollziehbaren Zusammenhang mit den Vorgaben im Cockpit (systemische Anforderungen) und Aufgaben im Einsatzflug (Duellsituation, Belastungscharakteristika) sicherzustellen.

Dies folgert weiterführend (u.U. zwingend) die Miteinbeziehung von Messinstrumenten (vgl. Kap. 11) zur direkten Evaluation, Aufzeichnung eines Trainingsverlaufes und Korrektur desselben.

Es sind vor allem folgende Vorgaben und Aufgaben (durchaus auch im Zusammenhang mit der Ansteuerung der HWS) anzusprechen:

- Aufgabenkomplex Libelle (siehe systemische Anforderungen) unter besonderer Berücksichtigung der Umsetzung von gleichzeitigen Kopf- /Oberkörper-Rotationen
- Den systemischen Vorgaben angepasste Sitzpositionierungen bei verschiedenen Aufgabenstellungen des Trainings zur Wahrung der Einsatznähe
- Umfassend körperbezogene Gleichgewichtsübungen, welche dem neurophysiologischen Komplex (Gleichgewichtsorgan, Leitungsbahnen, Muskelrezeptoren) entsprechen

- Multisensorisch angelegte Aufgabenstellungen (z.B.: Gleichgewicht, Beobachtung, Hand-Augekoordination und Sprechbefehl)
- Kombinierte Aufgabenstellungen aus den vorangegangenen Trainings-Bereichen (Krafttraining zu Koordinationstraining, Propriozeptives Training zu Koordinationstraining)

## Lokales Ausdauertraining

Unter Wahrung der eigentlichen Intention der vorliegenden Arbeit einerseits und der Handhabung der trainingswissenschaftlichen Diktion hinsichtlich des Begriffes eines Ausdauertrainings andererseits muss festgehalten werden, dass hier von „Ausdauer“ im Hinblick auf die maximalen taktischen Belastungszeiträume zu sprechen ist. Weder erscheinen stoffwechselphysiologisch tatsächlich „Ausdauer“-bezogene Muskelbeanspruchungen für ein Training der Rücken- und insbesondere HWS-Muskulatur handhabbar, noch sind von einem Training dieser Strukturen alleine (geringe Intensität bezogen auf die Gesamt-Muskelmasse) kardiovaskuläre Adaptationen zu erwarten. (vgl. Hollmann, 2000)

Jedoch sind die einsatzrealen Belastungen nicht ausschließlich auf die Phasen des Luftkampfes zu reduzieren („Rahmen-Belastungen“), wenn berücksichtigt wird, dass

- a) die Flugvorbereitungsphasen im Cockpit u.U. bereits mit Zusatzlast (Helm, NVG) eine niedrig-intensitäre, aber nachvollziehbare Belastung darstellen (Standard-Prozeduren)
- b) Einsatzflüge, wie eingangs erwähnt, durch Luftbetankung u.U. auf mehrere Stunden ausgedehnt werden können (kardiovaskuläre Belastung durch statisches Sitzen, vgl. Smith, 2004)
- c) Die Vorbereitungsphasen zur Duellsituation selbst als bereits motorisch intensiver gestaltet anzunehmen sind (erhöhte Luftraumbeobachtung, sprich vermehrte Oberkörperrotationen folgernd), damit aber die Belastungsphasen auch über die engen Radien hinaus dauernd anzuerkennen sind.

Dass ein entsprechendes Ausdauertraining am eigentlichen Fokus nur als ergänzend angesehen werden kann, könnte aufgrund

- der oben mehrfach erwähnten möglichen Problemstellung einer kontraproduktiven Kapillarisation in der HWS-Muskulatur,

- der Schwierigkeit, einsatznahe Trainings-Bedingungen schaffen zu können sowie
- der Problemstellung möglicher allgemeiner Ausdauertrainingsformen (Laufen, Schwimmen), die an der HWS erfahrungsgemäß eher kontraproduktiv (Hyperlordisierung, Verspannungen, vgl. McGill, 2002) wirken,

argumentiert werden.

Dennoch sind aufgrund der oben angeführten Rahmen-Belastungen Maßnahmen zu setzen, welche die Wahrung der eigentlichen muskulären Ressourcen vor und auch nach den maximalen Belastungen sicherstellen.

Entsprechend den in Kap. 10 noch beispielhaft angeführten Trainingsvorgaben müssen diese sicherstellen:

- a) Eine kardiovaskulär ungünstige Entwicklung kann aufgrund der erwartbar geringen morphologischen Dynamik an der Muskelstruktur als zu vernachlässigen angesehen werden (vgl. Pokan, 2004).
- b) Ungünstige Winkel, die eine mögliche individuelle Vorschädigung (Vorbelastung) noch potenzieren oder einsatzfremde Eigenschaften aufweisen, sind hintangestellt.
- c) Das Zusammenwirken bzw. Ineinandergreifen mit koordinativen od. vorermüdenden Aufgabenstellungen (siehe weiter unten) kann als synergetisch (zeitsparend und schwierigkeiten-steigernd) angenommen werden.

Darüber hinaus bleiben den Piloten selbstverständlich allgemeine Maßnahmen des Ausdauertrainings unbenommen (im Sinne aller, der Grundlagenausdauer entsprechenden Vorzüge körperlicher Fitness, vgl. Weineck, 1996; Pokan, 2004) und sind sogar dringend anzuraten, was jedoch nicht in den Rahmen der vorliegenden Arbeit fällt.

Die durch eine verbesserte Grundlagenausdauer allgemein nachvollziehbare erhöhte Kompetenz der Belastungskompensation gegenüber der Summe an Einzelbelastungen kann jedoch auch am speziellen Fokus (insbesondere bei erwähnten Langzeitflügen) hinsichtlich der verbesserten Stoffwechselbilanz (vgl. DeMarees, 1984; et al) nur dringend empfohlen werden, so sie nicht ohnehin Bestandteil des täglichen individuellen Piloten-Alltages ist.

## Relaxationsmaßnahmen

Maßnahmen zur Relaxation insb. an den primären funktionalen Strukturen sind nicht nur als unmittelbar dem Training beigestellt aufzufassen, sondern vielmehr auch als individuell nachbereitende Begleithandlung der realen Flugbelastungen zu verstehen.

Dass diesbezüglich mannigfaltige Ansätze insb. psychosomatischer Wechselwirkung bestehen, wird bereits anhand der allgemeinen Literatur zur Trainingslehre offensichtlich und durch die längst standardisierte Anwendung in Bereichen des Hochleistungssportes als effektiv und notwendig untermauert. (vgl. Conzelmann, 1999)

Für diese Arbeit kann aber auch eingeschränkt vom physiologischen Ansatz her bereits festgehalten werden, dass bspw. die durch mehrere Studien nachgewiesene Effektivität von Dehnungsübungen zumindest darin begründet liegt, dass

- eine nachhaltige Tonus-Senkung die funktionale Situation (vgl. hierzu Grosser, 1993) sowie
- eine unmittelbare Durchblutungssteigerung die stoffwechselphysiologische Situation (vgl. Smekal, 2004)

der betroffenen Muskulatur günstig beeinflusst.

Dem ist unbedingt beizustellen, dass eine erhöhte Mobilisation an der Band- und Muskelstruktur (ligamentae, mm. der WS) wie bereits eingangs angedeutet nicht das erwünschte Ziel der Dehnungsübungen sein kann. So spricht Grosser (1993) bei der Ansteuerung von adäquaten (Stellungs-Sinn, Bewegungs-Sinn, Kraft-Sinn) und inadäquaten Reizen (Schmerz) als u.a. wesentlichen Regulativen der Dehnungsausführungen, um hypermobilisierenden Effekten entgegenzuwirken.

Als weitere Relaxationsmaßnahmen sind (ohne Anspruch auf Vollzähligkeit), hier nicht weiterführend behandelt, zu nennen:

- Biofeedback-Methodik (z.B. Spannungsrezeptoren u.dgl. in Kombination mit optischen Rückmeldern)
- Autosuggestive Entspannungstechniken
- Maßnahmen im präventiv-rekreativen Übergangsbereich (Wärmebehandlungen, Wasserbehandlungen u.dgl.)
- Allgemeine motorische „Abwärm-Übungen“ (Kontraktion, Mobilisation)

## **Beweglichkeitstraining**

Wie bereits in Kap. 5 festgehalten, ist von einem ausgeprägten Beweglichkeitstraining über die Relaxations-Dehnung (siehe oben) hinaus abzusehen. Als Gründe für eine unwesentliche bzw. kontraproduktive Adaptation im biomechanischen Sinne (durch Veränderung der Radien und damit Hebel u.dgl.) können angenommen werden:

- a) Die funktionalen Kapazitäten an der HWS (ROM) sind im gesunden Zustand hinreichend ausgeschöpft. (vgl. auch Kap. 9)
- b) Dem stehen sowohl die Konzeption des zylinderförmigen Systems als muskulärer Komplex geringer Auslenkung (im Vergleich zu anderen skelettären Gelenksstrukturen) beiseite als auch
- c) rein muskelphysiologische Konzeption der Kraftentfaltungsfähigkeit in Bezug zu Tonus und Länge (überdehnte Muskelstrukturen folgern geringere Kraftentfaltungsfähigkeit).

Insgesamt aber kann (auch im Sinne des Rouxschen Gesetzes) in aller Kürze anerkannt werden, dass die für die speziellen Anforderungen benötigten Radien (ROM) durch die tatsächliche Beweglichkeit der gesunden WS (im Sinne der fliegermedizinischen Beurteilung) vollauf gegeben sind, und daher eine zusätzliche Mobilisation nicht zweckdienlich erscheint.

Unter Berücksichtigung der speziellen Situation (Piloten) jedoch kann darüber hinaus durchaus auf die Studien von Hämäläinen (1998), Burnett (2004), Netto (2006) verwiesen werden, die allesamt klar zum Ausdruck bringen, dass es weder durch die dienstlichen Flugbelastungen noch diverse Trainingsmethoden zu einer Verringerung des ROM gegenüber Kontrollpersonen (gesunden Normalpersonen wie auch anderen Piloten) kommt. Und Taylor (2006) erkennt darüber hinaus ausschließlich einen Zusammenhang zwischen den physikalischen Größen und den registrierten Verletzungen an der HWS von Piloten, schließt aber einen Zusammenhang mit einer eingeschränkten Beweglichkeit aus.

## **Schnelligkeitstraining**

Ein Schnelligkeitstraining herkömmlicher trainingswissenschaftlicher Terminologie ist aufgrund

- der muskulären Faserzusammensetzung (zu erwarten sind kaum Typ 2-Fasern an der fraglichen Muskulatur), die einen tatsächlichen Trainingseffekt unwahrscheinlich macht (vgl. McGill, 2002),
- der geringen erforderlichen Geschwindigkeiten und tatsächlichen Bewegungsradien in Relation zu den eigentlichen Handlungsabläufen und Belastungsdauern (die Kopf-/ Rumpf-Bewegungen sind im taktischen Bezug nicht als handlungs-limitierend zu bezeichnen) (vgl. Experteninterviews)
- und der anatomischen Situation (Ausprägung Rumpf zu Kopf gegenüber den Extremitäten Rumpf zu Arm/Bein) der fraglichen Bereiche überhaupt als nicht effektiv beschleunigbar

ebenfalls zu vernachlässigen.

## **Allgemeine und individuelle Trainingseinschränkungen**

Allgemeine Einschränkungen für das Training sind dort zu treffen, wo dienstliche oder taktische Erfordernisse (Dienstplan, Hochbelastungsphasen, geplante spezielle Einsatzart) spezifische Vorbereitung, geringere Intensitäten oder zeitliche Einschränkungen verlangen.

Individuelle Trainingseinschränkungen betreffen einerseits die Homogenität mit dem bereits durchgeführten persönlichen Alltags-Training der Piloten (soweit diese Trainingsformen sinnvoll, d.h. trainingswissenschaftlich und dienstlich akzeptabel sind) und andererseits Vorgaben durch fliegermedizinisch evaluierte Schädigungen, die ein Training gänzlich ausschließen oder ihm eine individuelle Ausprägungen abverlangen.

D.h., dass Trainingseinschränkungen

- einerseits auf Ebene des vorgesetzten Kommandos, sprich des Einsatzplanungsstabes und
- andererseits auf Ebene der umfassenden fliegermedizinischen und sportwissenschaftlichen Betreuung

zu benennen sind.

## Folgerung

Es ist daher unumgänglich, im Sinne der Führungsgrundsätze („Einheit der Führung“, „Ökonomie der Kräfte“; vgl. Pleiner, 1993) sowie der Wahrung der elementarsten Trainingsgrundsätze („Regelmäßigkeit, „Zielgerichtetheit“, „individuelle Anpassung“; vgl. Hohmann, 2006) die

- Einschränkung
- Unterbrechung
- Wiederaufnahme
- Umgestaltung
- Neu-Zyklisierung

und weitere das Training betreffenden Maßnahmen ausschließlich durch den versierten sportwissenschaftlichen Betreuer der Piloten zu koordinieren und im Detail anhand der als notwendig beurteilten Interventionen durch diesen festzulegen zu lassen.

Andernfalls wäre es zwangsläufig den Piloten überantwortet, die umfassenden Trainingskonzeptionen, inhaltlichen Zusammenhänge, Gewichtungen, Intensitäten und Ausführungsformen interpretativ umzugestalten, neu zu ordnen oder einzugrenzen. Dadurch aber wäre letztlich die Führungs- und Unterstützungs-Verantwortung des vorgesetzten Kommandos in Frage gestellt. (vgl. hierzu auch Nikander, 2006, in Kap. 10, Krafttraining)

## **9. Trainingsorientierte Parallelen zu vergleichbaren Studien, spezifischer hermeneutischer Kontext**

Um die im letzten Kapitel dargelegten Ausführungen über die eingangs festgehaltenen Vorgaben hinaus zu argumentieren, werden in Folge insbesondere jene Studienergebnisse erläutert, welche sich detaillierter mit Trainingsformen, deren Auswirkungen und Schlussfolgerungen befassen.

Insbesondere geht es vor allem darum, wesentliche Feststellungen anhand der vorliegenden Studien einem nachfolgenden, praktischen Training als Korrektiv beizustellen, um bereits erkannte Notwendigkeiten, Gewichtungen und zu erwartende Effekte im Vorfeld zu kennen.

Diesem Vorgang kommt deshalb besondere Bedeutung zu, weil die herangezogenen Trainingsstudien sich speziell an der Problemstellung der unmittelbaren Kompensation von HWS-Belastungen bei hohen G-Kräften orientieren, und damit letztlich die interpretative Spanne (den wissenschaftlichen Ansprüchen gemäß) klein gehalten und so letztlich die Sicherstellung der Trainingseffektivität umfassender gewährleistet wird.

Exzerpiert man aus den wesentlichen gesicherten Erkenntnissen dieser Studien diejenigen, welche im Sinne des Auftrages der vorliegenden Arbeit von besonderer Bedeutung sind, so komplettieren diese die trainingspezifische Conclusio hinsichtlich

- a) der Wertigkeiten, welche den Trainingsinhalten in Relation untereinander zuzuschreiben sind,
- b) der Trainings-Effekte, welche messbar gemacht werden können,
- c) des Aufwandes (Mindestanforderungen), der für das Training veranschlagt werden kann,
- d) der Frage nach zu kombinierenden Trainingsformen und
- e) der Rahmenbedingungen (evaluativer wie auch trainingspezifischer Natur)

Auf die diesbezüglichen zu diskutierenden, evaluativen Messverfahren wird noch im Kap. 11 eingegangen.

Insbesondere zur Fragestellung des Wirkungszusammenhanges zwischen Nackenschmerz (diffus bzw. klinisch nicht näher erläutert) und Training stellt Hämäläinen (1998) in seiner Untersuchung an Piloten (n=20) fest, dass sich bei regelmäßigem Training die Ausfallsrate (lost workdays induced by neck pain) signifikant verringert. Er unterteilt dazu die Probanden in 2 Gruppen möglichst gleicher Ausprägung (bez. versch.

Parameter) und lässt die eine Gruppe ein dynamisches Kraftertraining (Aufwärmen, Dehnen, dynamisches Nacken- u. Schultertraining mit Handgewichten von 4, 6 und 8 kg) absolvieren, während die zweite Gruppe langsame Bewegungen mit einem durch Gewichte erschwerten Helm (10 und 20 % der ermittelten max. isometr. Kraft) im vollen ROM durchführt. Es werden 3 Trainingseinheiten pro Woche über ein Jahr absolviert, die erste Gruppe (dynamic exercise group) wird in den ersten sechs Monaten betreut.

Als weitere Ergebnisse neben der Verringerung der Ausfälle (lost workdays) wird festgestellt, dass insb. bei der dynamischen Trainingsgruppe in beiden Gruppen die isometrische Maximalkraft zunimmt, der ROM unverändert bleibt.

Dem schließt sich die allgemeiner gehaltene Studie von Kikukawa hinsichtlich der bereits oben (Kap. 3) erwähnten Probandengruppe der japanischen Luftstreitkräfte (n = 129) an, in der die Effektivität von präventivem Training (muscle training as a preventive measure) mit 62% erfasst wird.

Zur Frage nach der Auswirkung eines Widerstandstrainings für die Nackenmuskulatur (cervical resistance training) auf dynamische und isometrische Kraftentwicklungsfähigkeit (isometric and dynamic strength) stellt Taylor (2006) vorweg fest, dass zwar die Literatur i.d.R. hypertrophe Effekte eines Widerstandstrainings (resistance training) auf die trainierte Muskulatur vorgibt, dass aber nur wenige spezielle Studien hypertrophe Auswirkungen der cervicalen Muskulatur nach einem solchen Training überprüft haben.

Taylor veranschlagt ein 12-wöchiges Training, 3 Einheiten je Woche, folgenden Inhalts: Dynamische (konzentrische?) Kraftübungen der Nackenmuskulatur in Flexion, Extension vorw./rückw. sowie seitlich.

Nach einem Aufwärmen werden jeweils 3 Sätze zu 10 Wiederholungen (3 x 10RM) absolviert.

Vorweg wurden die maximale isometrische Kraft sowie dynamisch das 10RM ermittelt und darüber hinaus der Umfang der Nackenmuskulatur (neck circumference, Maßband um den Hals unterhalb des Larynx bei Blick gradeaus) gemessen, desgleichen ebenso nach den 12 Wochen.

Als Ergebnis konnten signifikante Zunahmen sowohl der isometrischen als auch der dynamischen Kraft und eine moderate Hypertrophie der Nackenmuskulatur (im kumulierten Sinne aller Muskelstränge am Hals entsprechend dem Messverfahren) erkannt werden.

Taylor schließt daraus auf einen wesentlichen, sprich zu nutzenden Effekt für Personen mit erhöhten Belastungen bzw. erhöhtem Verletzungsrisiko (implications for military persons at risk of neck fatigue, strain, and injury in their occupational endeavors).

Einen alternativen Zugang zur Frage der Trainingsmethodik bzw. eine Sonderstellung im Testdesign nimmt Sovelius (2006) ein, indem er die Reduktion der Nacken-Belastung (neck strain) bei Piloten von Kampfflugzeugen durch den Vergleich von Krafttrainings-Übungen (strength training) und Trampolintrainings-Übungen (trampoline exercises) untersucht und in Folge hinterfragt.

Dies in zweierlei Hinsicht: Erstens soll festgestellt werden, welche unterschiedlichen Effekte sich insb. in der Nachhaltigkeit durch die beiden Trainingsmethoden (dynamisches Krafttraining, Trampolinspringen) ergeben und zweitens, ob es grundsätzlich effizienter ist, die Muskelkraft (general muscle strength) zu steigern oder ob eine Verbesserung der Muskelbalance (muscle balance, entsprechend der propriozeptiven Steuerung?) und motorischen Geschicklichkeit (motor skill, entsprechend der koordinative Kompetenz?) vorzuziehen ist.

Er geht also, anders gesagt, von der grundsätzlichen Effektivität (im Sinne einer messbaren Veränderung) beider Trainingsformen, von der Verbesserung der motorischen Kompetenzen durch Trampolinspringen sowie von einer (unterscheidbaren) Nachhaltigkeit nach Trainingsabschluss insofern aus, als die Messmethodik (Oberflächen-EMG an Nackenmuskulatur sowie m. trapezius) vor und nach der Trainingsphase valide für reale Flüge (flight training sorties) sein sollte.

Sovelius kommt zu dem Ergebnis, dass erstens beide Methoden als effizient erscheinen und zweitens dieser Effekt auch nach 3 Monaten noch messbar war.

Er schränkt die Messgenauigkeit für reale Flüge gegenüber der Zentrifuge hinsichtlich Bestimmung der wirkenden G-Kräfte zwar ein, kann aber von vergleichbaren Belastungen sowohl zwischen den unterschiedlichen Trainingsgruppen als auch zwischen den messrelevanten Vortrainings- und Nachtrainings- Flügen ausgehen.

Für die verhältnismäßig kurze Trainingsphase (short training intervention) kann dennoch eine signifikante Zunahme der Muskelkraft festgestellt werden, welche die durch G-Kräfte bedingte Belastung oder Nackenschmerzen (neck pain) verringert.

Da beide Trainingsmethoden geringe Intensitäten vorgaben, ist die Zunahme der maximalen Muskelkraft als relativ gering zu bewerten, jedoch verändern sich bei allen Probanden die Flexions- und Extensionskraft insgesamt deutlich. Somit kann die in der Literatur erwähnte Kraftzunahme auch schon bei submaximalen Belastungen hier für den Fall der Nackenmuskulatur übertragen werden. Sovelius folgert daraus weiters eine günstigere Wirkung auf die motorische Kompetenz als unter maximalen Krafttrainings-Formen.

Letztlich kommt er zu dem Schluss, dass die beiden Methoden sich in ihrer rein gemessenen (EMG) Effektivität nicht signifikant unterscheiden, jedoch unterschiedliche

Vorzüge (höherer Kraftzuwachs vs. motorische Kompetenz) ausprägen und daher ein kombiniertes Training zu empfehlen ist.

Dementsprechend empfiehlt Seng (2003) in seiner Schlussfolgerung, das umfassende Pilotentraining als sowohl durch ein reines Krafttraining (neck muscle strengthening exercises on the ground) geprägt zu sehen, als auch durch (zuvor trainierte) kompensatorische Maßnahmen in der unmittelbaren Flugsituation (in-flight head-positioning techniques) selbst.

Die (bereits oben mehrfach angesprochene) Untersuchung von Alricsson (2004) hinsichtlich der Effekte eines betreuten/überwachten (supervised) Trainingsprogramm orientiert sich an Nackenmuskelstärke im Sinne der Kraftentwicklungsfähigkeit ebenso wie an der (Kraft-) Ausdauer (isometric endurance). Alricsson stellt fest, dass ein vorgegebenes Training von 6 bis 8 Wochen (3 Einheiten je Woche) für die Nacken-Muskelkraft mit den physiologischen Trainingsprinzipien übereinstimmt. Sowohl eine betreute als auch eine nicht betreute Trainingsgruppe waren über das ganze Beobachtungsjahr hinweg aktiv (trainiert, erfahren, gesund), daher ist zu berücksichtigen, dass untrainierte Personen u.U. eine höhere Steigerungsrate (Leistung) aufweisen als trainierte, und dass grundsätzlich beim Flug (laut weiterführender Studien) die Extensoren höher belastet sind als die Flexoren.

Dessen ungeachtet war ein Trainingsprogramm für alle Probanden wirksam (Messungen signifikant).

Für die Nacken-Extensoren wurde die größte Steigerung der isometrischen Maximalkraft verzeichnet.

Die betreute Gruppe verzeichnete signifikant höhere Zuwächse hinsichtlich Maximalkraft und submaximaler isometrischer Kraftausdauer (submaximal isometric endurance).

Kraft-Veränderungen sind also messbar, Veränderungen in der Häufigkeit des Auftretens von Schmerzen nicht, was aber vermutlich auf die Kürze der Observationsperiode zurückzuführen ist.

Alricsson schließt zuletzt dennoch insgesamt auf eine Korrelation zwischen Nacken-Muskelkraft und Nacken-Beschwerden, was eine individuelle Trainingsbetreuung folgert.

Burnett (2004) schließlich untersucht bei auszubildenden Piloten (trainee pilots) die Effekte des realen Flugtrainings auf die isometrische Kraftentwicklungs-Fähigkeit, um daraus Rückschlüsse auf die (grundsätzliche) muskuläre Entwicklung der Nacken-Muskelkraft bei Piloten im Lauf der Ausbildung hin zum standardisierten Dienstbetrieb machen zu können.

Dabei legt er Augenmerk auf die isometrische Maximalkraft sowie die (mögliche) Veränderung des ROM, verursacht durch Muskelverkürzungen (neck muscle shortening) oder andere degenerative Veränderungen. Die Kraftmessung (vorher/nachher) erfolgt durch maximale willentliche Kontraktion gegen einen (unbeweglichen) Kraftabnehmer über 3 Sekunden.

Wie auch bei den meisten anderen Autoren wird zur Kraftmessung und ROM-Messung die multi-cervical rehabilitation unit (MCU) verwendet.

Burnett vermerkt eine signifikante Steigerung der isometrischen Kraft in der Flexion, woraus er eine wesentliche funktionale Stabilisationsaufgabe der Flexoren in unterschiedlichen Haltungen ableitet. (flexors work dominantly in an eccentric manner to stabilize the head).

Auch für ein spezifisches Nackentraining stellt er signifikante Zunahmen an Flexoren wie auch Extensoren fest. Eine Veränderung des ROM hingegen kann nicht festgestellt werden.

In einer weiteren Studie schließlich vergleicht er ein MC-Training (Multi Cervical) mit einem Thera-Band-Training sowie einer Kontrollgruppe, wobei die MC-Gruppe letztlich die größten Zuwächse an isometrischer Kraftentwicklung zu verzeichnen hat und die Thera-Band-Gruppe deutlich geringere.

### **Abschließend kann also gefolgert werden:**

Die, wenn auch jeweils nicht in den Übungsformen detailliert wiedergegebenen, Trainingsformen für die HWS-Muskulatur zeigten allesamt signifikante Effekte in Form von Kraftzunahme

- sowohl gegenüber Kontrollgruppen als auch
- in mehrmaligen Untersuchungen der selben Gruppe vor und nach Training.

Diese Effekte drückten sich sowohl in verschiedenen Messverfahren (insb. max. isometr. Kraft) als teilweise auch in einer Reduktion der (unspezifischen) Beschwerden und Ausfälle (lost work days) aus.

Eine Trainings-Spezifikation (Gewichtung, Effekt, flugspezifische Funktion) hinsichtlich der Muskelgruppen (Flexoren, Extensoren) erscheint problematisch, jedoch dürften

- die Flexoren eher stabilisierende Funktion haben,
- die Extensoren eher aktiv-motorische Funktion und

die Kraftzuwächse in Relation zu den Voraussetzungen (Flugschüler, langjähriger Pilot) aufgrund ebendieser belastungsbezogenen Entwicklung zu setzen sein.

Spezifisches Training wie auch Flugbetrieb führen trotz dieser muskulären Belastungen zu keiner Veränderung des ROM durch funktionale Verkürzungen oder sonstige degenerative Prozesse. (vgl. Burnett, 2004)

Die meisten Trainingsvorgaben waren mit 3 Einheiten je Woche veranschlagt, jedoch stellte dies augenscheinlich mehr ein Testdesign, orientiert an verallgemeinerten trainingswissenschaftlichen Vorgaben (u. dienstlichen Erfordernissen?), dar und muss so nicht zwingend übernommen werden.

Ebenso verhält es sich mit der jeweiligen Gesamtdauer der Interventionsmaßnahmen zwischen 6 und 12 Wochen.

Dennoch können auch nach kurzem Training signifikante Veränderungen in der Kraft festgestellt werden – angesichts der verallgemeinerten Annahme, dass Hypertrophien nach frühestens 6 Wochen Krafttraining an der Skelettmuskulatur (vgl. Hollmann, 2000; et al.) bemerkbar sind und sich Steigerungen davor lediglich auf eine verbesserte intermuskuläre und intramuskuläre Koordination zurückführen lassen (ebenda) ein nicht unerheblicher Effekt, der auf die grundsätzliche Trainierbarkeit der HWS- und Rückenmuskulatur im Sinne der allgemeinen trainingswissenschaftlichen Annahmen schließen lässt.

Die diesbezüglichen Steigerungsraten sind zwar in Relation zur funktionalen Muskelgruppe (Extensoren, Flexoren) und zum individuellen Trainingszustand zu setzen, es können aber bei allen Messungen (vorher/nachher, trainiert/untrainiert) Zuwächse vermerkt werden.

Meist kann eine Verringerung der Nackenschmerzen vermerkt werden, teilweise wird sogar auf einen unmittelbaren Wirkungszusammenhang geschlossen. (vgl. Alricsson, 2004).

Aufgrund der als multifaktoriell anerkannten muskelphysiologischen Realisation der kompensatorischen und aktiv-motorischen Leistungen kann auf die Notwendigkeit komplexer Trainingsmethoden geschlossen werden. (vgl. Sovelius, 2006)

Diesbezüglich ist festzuhalten, dass bereits submaximale Kraft-Trainingsmethoden Steigerungsraten zeigen, was unter Einbeziehung des Bedarfs erhöhter motorischer

Kompetenz die Notwendigkeit deutlich macht, zwischen optimalen Kraftzuwachsen (Maximalkrafttraining) und optimaler Ansteuerung (posturale Kontrolle, propriozeptive Steuerung) in der Trainingsgestaltung abzuwägen. (ebenda)

Dynamisches Training kann als effektiv bewertet werden, isometrisches hingegen eher nur eingeschränkt. Die Kraft wird jedoch meist (ausschließlich?) isometrisch ermittelt, Belastungsmessungen meist anhand Oberflächen-EMG im Flug oder in der Human-Zentrifuge.

Die Betreuung während der Trainings-Intervention hat wesentliche Auswirkungen auf die Effektivität des Trainings (Kraftzuwachs) und wird auch als unumgänglich hinsichtlich des hohen Wirkungszusammenhanges zum Nackenschmerz (individuelle, u.U. rehabilitative Betreuung) bezeichnet.

Bei den (meist submaximalen, teils isometrischen) Trainingsformen konnten moderate Hypertrophien festgestellt werden, ein möglicher höherer Zuwachs bei größeren Intensitäten (geringeres RM) wird in Aussicht gestellt. (vgl. Taylor, 2006)

## 10. Exemplarische Übungsgestaltung und Trainingsmodulation

Das vorliegende Kapitel soll nun, orientiert an der trainingspezifischen Conclusio, konkrete exemplarische Übungsformen und Vorbedingungen (Gerätschaft, Betreuung u.dgl.) aufzeigen und erläutern. Es wird dabei analog zu den zuvor getroffenen Reihungen vorgegangen.

### 10.1. Krafttraining

Die bereits in der trainingspezifischen Conclusio benannten hohen Lasten (60-80% des 1RM mit letzlicher Zielstellung 100% des 1RM) sind natürlich hinsichtlich der in den Studien (soweit überhaupt angegebenen) genannten Intensitäten zu hinterfragen. Es muss aber festgehalten werden, dass die Autoren teils von zu erwartenden höheren Zuwächsen bei höheren Lasten sprechen bzw. die in ihren Trainingsprogrammen veranschlagten submaximalen Belastungen als adaptierbar ansehen (Hämäläinen, 1998; Burnett, 2004; Sovelius, 2006). Darüber hinaus kann weiters

- von der offensichtlichen muskelphysiologischen Übertragbarkeit allgemeiner Trainingsvorgaben (vgl. Hohmann, 2006) für das Krafttraining der Skelettmuskulatur auf die funktionale Muskulatur der HWS (vgl. vorangegangene Kap.) sowie
- von den hinlänglich erläuterten Belastungsüberhöhungen für den speziellen Fall des Eurofighter Typhoon gegenüber den in den Studien relevanten Flugzeugen älterer Generation, im Sinne einer Anpassung an die spezifischen Belastungscharakteristika, ausgegangen werden.

Weiters ist die rein geräte- und bewegungs-bezogene Umsetzung des Trainings hinsichtlich der zu berücksichtigenden Sicherheitsmaßnahmen (Vermeidung von ungünstigen Winkeln, Belastung innerhalb des ROM sichergestellt u.dgl.) und der methodischen wie auch physiologischen Annäherung an die letztendlichen Maxima natürlich vorweg absolut zu gewährleisten.

Im Sinne

- a) des Rouxschen Gesetzes (Funktion gegenüber der Form als tatsächlich entscheidendes Kriterium) in Kontext zum fliegerspezifischen Anforderungsprofil (innerhalb des ROM höchste Lasten ertragen zu können) ebenso wie
- b) der trainingsphysiologischen Forderung nach Adaptation durch Belastung hin zu den tatsächlichen Belastungsmaxima

kann aber die Frage nach der mittel- und langfristigen Gesunderhaltung (Einsatzbereitschaft, individuelle Befindlichkeit) nicht vorweg durch die Problemstellung selbst beantwortet werden, indem im Training Maxima vermieden werden.

Dass eine enge Wechselwirkung (Korrektiv) zum individuellen Trainings-Fortschritt, der aktuellen Befindlichkeit sowie den aktuellen fliegermedizinischen Befunden bestehen muss, versteht sich dabei im Sinne eines modernen, leistungsbezogenen, umfassenden Trainings von selbst. Wie aber u.a. Nikander (2006) klar zeigt, können unter der Voraussetzung einer kompetenten und erfahrenen Betreuung sehr wohl sogar unter Vorschädigungs-Bedingungen (chronic neck pain, disability) richtige Intensitäten hinsichtlich Sicherheit einerseits und Trainingseffekt andererseits realisiert werden.

Im Sinne der obigen Ausführungen (Kap. 7) werden hier aufgrund des teils komplexen Zusammenwirkens der einzelnen Muskelstränge keine exakten anatomischen Zuordnungen gesucht, sondern funktionale Beschreibungen, soweit möglich mit Bezug zum fliegerischen Bewegungsmuster, angeführt. Dadurch können auch allfällige Unschärfen in der eigentlichen Trainingsintention vermieden bzw. Nachjustierungen hinsichtlich des taktischen Bedarfs leichter getroffen werden.

Den hier exemplarisch angeführten, vorw. konzentrischen Übungsformen folgt eine Zuordnung hinsichtlich der vorgeschlagenen (siehe Kap. 8) tonischen Funktionalität (konzentrische, exzentrische, isometrische Belastung).

**a) Übungen (vorw. primäre Struktur):**

<b>Übung</b>	<b>Aufrollen</b>
Muskelfunktion	Vorbeugen des Kopfes
Beteiligte Muskulatur	mm. longus capitis, rectus capitis
Körperposition	Rückenlage
Ausführung	Langsames Aufrollen des Kopfes zur Brust (nicht Stirn nach oben)
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigengewicht Kopf (Helm), Gegendruck Handfläche (eigene, Partner), Trainingsgerät Schnell
Variationen	Gewichte, beim Absenken nicht entlasten
Taktischer Bezug	Auge-Hand-Koordination Gerätebedienung, Anzeigenkontrolle

**Bemerkung:**

aus lotrechter Position (Rückenlage, WS physiologisch gerade) bis zum Endpunkt des ROM (Kinn berührt Brust) bewegen, bei Partner-Gegendruck auf jeden Fall plötzliche Entlastung ausschließen!

<b>Übung</b>	<b>Kopfwendung</b>
Muskelfunktion	Seitliche Kopfdrehung
Beteiligte Muskulatur	M. rectus capitis post. (gleiche Seite), sternocleidomastoideus (Gegenseite)
Körperposition	Aufrechter Stand
Ausführung	Langsames Kopfdrehen zur Seite gegen nachgebenden Widerstand (Hand)
Gewicht(e), Gerät(e)	am Trainingsgerät Schnell bzw. ausschließlich gegen Druck der eigenen Hand (keine Partnerübung!), möglich Eigengewicht Kopf (Helm)
Variationen	Bei geringen Lasten komplexe (zusammengesetzte) Bewegungen
Taktischer Bezug	Blickfelderweiterung (Verfolgung Gegner)

**Bemerkung:**

Am erfüllten (sensorische Eigenkontrolle) Endpunkt des ROM verharren, erst dann langsam entlasten (Nachdrücken in die Entlastung ausschließen!), ohne Last in die

neutrale Position (Kopf 0 Grad in der Transversalebene nach vorne) zurück, dann erst Gegenseite

<b>Übung</b>	<b>Kopfheben</b>
Muskelfunktion	Extension (Dorsalflexion)
Beteiligte Muskulatur	Mm. rectus capitis post., obliquus capitis
Körperposition	Rückenlage, Stand
Ausführung	Langsames Abrollen bzw. Aufrichten des Kopfes in die neutrale Position (physiolog. gerade WS)
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigengewicht Kopf (Helm), gegen Druck der Hände (eigene, Partner)
Taktischer Bezug	Blickfelderweiterung (Verfolgung Gegner)

**Bemerkung:**

In Rückenlage Sicherstellung der wirklichkeitsnahen Winkel (bspw. bei Übung mit Helm durch entsprechende Mulde/Erhöhung die korrekte HWS-Lordose erreichen) sowie der Unmöglichkeit einer über den ROM nachgebenden Unterlage (zu weiche Matte), im Stehen ausschließlich eigenen Handdruck (keine Partnerübung!),

<b>Übung</b>	<b>Seitbeugen</b>
Muskelfunktion	Seitliches Neigen des Kopfes
Beteiligte Muskulatur	Mm. longus capitis, longus colli
Körperposition	Rückenlage, Stand
Ausführung	Langsames Beugen zur Seite (Richtung Schulter)
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigengewicht Kopf, Druck der eigenen Hand (gleichseitig)
Variationen	Bei geringen Lasten komplexe (zusammengesetzte) Bewegungen
Taktischer Bezug	Wirkungsergänzung

<b>Übung</b>	<b>Vorschieben</b>
Muskelfunktion	Kopf nach vorne bringen (annähernd in Transversalebene)
Beteiligte Muskulatur	M. sternocleidomastoideus (beidseitig)
Körperposition	Rückenlage, Stand
Ausführung	In Rückenlage langsames „nach oben schieben“ (bzw. im Stand nach vorne) des Kopfes
Gewicht(e), Gerät(e)	Insb. im Liegen gegen den Handdruck des Partners oder anderes Gewicht, im Stehen eigene Hände, ggf. Theraband
Taktischer Bezug	Wirkungsergänzung

**Bemerkung:**

Sicherstellen der Fixierung in neutraler bzw. wirklichkeitsnaher Position (Kopf 0 Grad in Sagittalebene) beim Zurücknehmen des Kopfes (feste Unterlage bzw. im Stand Wand)

**Konzentrisch**

Im wesentlichen sind die Übungen wie oben beschrieben und unter Berücksichtigung folgender Voraussetzungen durchzuführen:

- Sicherstellung des ROM (Einschränkung)
- Zeitliche Abfolge: Bewegung gegen die Last, Halten der Last, Entlastung, Zurückgehen in Ausgangslage
- Bei Partnerübungen Gewährleistung des sicheren Zusammenspiels
- Langsame und exakte Bewegungsausführung (konzentriert, ebenengerecht)
- Ermittlung der individuellen und insb. aktuellen muskulären Leistungsfähigkeit (Evaluation, Trainingsfortschritt, Belastungen, Störeinflüsse)
- Methodische Reihung so weit wie möglich:  
Gerät mit definierten Radien und gesicherten Bewegungsspielräumen (Schnell-Trainingsgerät), danach geführte Bewegungen (Partner bzw. eigener Widerstand), danach freie Gewichte

**Lasten:**

nach Ermittlung des konzentrischen bzw. isometrischen Maximums (1 RM) bzw. durch Näherung anhand der möglichen Wiederholungen

### **Wiederholungen:**

Anfänger: 8-10

Fortgeschritten: geringere Wiederholungszahlen mit höheren Lasten, Näherung an das 1RM (100%)

### **Sätze:**

Anfänger: 3

Fortgeschritten: u.U. geringere Anzahl mit höheren Lasten bzw. anderen Trainings-Vorbedingungen: Vorermüdung, supramaximale Ausführung (Unterstützung durch Betreuer)

### **Pausen:**

Etwa 2 Minuten zwischen den Sätzen

### **Isometrisch**

Angebunden an die oben beschriebenen Übungen sind die isometrischen Übungen in verschiedenen Positionen des ROM durchzuführen, und zwar vorzugsweise in der neutralen Position sowie kurz vor dem (den) Endpunkt(en) des ROM

Diese Übungen müssen nicht zwingend mit einer Ermittlung der Kraftleistung (Messplatte) verbunden werden, um

- die freie Übungsgestaltung nicht einzuschränken
- Transfer-Effekte an den Messgeräten (z.B. Schnell-Gerät) zu vermeiden und
- Missinterpretationen durch Trainingsschwankungen sowie motivatorische Minderungen bei allzu häufiger Messung

zu vermeiden.

Bei freier Übungsgestaltung aber noch zu berücksichtigen sind

- ebenengerechte Positionierung,
- gesicherte Auflagen,
- Sicherstellung der wirklichkeitsnahen Körperpositionierung auch des tiefen Rumpfes und der Extremitäten, soweit möglich.

### **Zeiten:**

Vorzugsweise variable Zeiten von 3, 5 und 10 sec. der maximalen willentlichen isometrischen Kontraktion.

**Winkel:**

Nach Ermittlung des ROM an den wirklichkeitsnahen Endpunkten (Helm berücksichtigen) und der mittleren bzw. neutralen Position.

**Wiederholungen:**

3 bis 5, insb. Anfänger (bspw. Belastung in zeitlicher Stufenform)

**Isometrisch-Exzentrische/Konzentrische Kontrastmethode**

In den vorangegangenen Kapiteln wurde hinlänglich die Problematik (Sicherheitsrisiko) wie gleichzeitiger Vorzug (erwartbare Hypertrophien, Kraftzuwächse) einer derartigen Methode aufgezeigt. Letztlich kann vom augenblicklichen Standpunkt her in diese Richtung nur unter folgenden Bedingungen gearbeitet werden:

- Der Trainierende kann als fortgeschritten in seinen neuromuskulären Kompetenzen und Belastungserfahrungen bezeichnet werden,
- Die Ausführung erfolgt mit dem betreuenden Sportwissenschaftler, im gewohnten Rahmen und nach erprobter Zusammenarbeit bei den konzentrischen Kraftübungen mit Partner, wodurch ein absolut gesichertes Zusammenwirken gewährleistet ist.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Übenden unter zeitlichen Vorgaben (isometrische Zeitanhalte) und unmittelbarer Beobachtung (Sicherstellung der achsengerechten Ausführung) gegen eigenen Druck (Hände) arbeiten zu lassen, also bspw.:

isometrische Kontraktion gegen die Hände, danach langsam dem Druck nachgeben.

Diese Methoden sind sensorisch und damit erfahrungsbezogen ebenso wie mental hoch anspruchsvoll und fordernd; daher sind sie nicht nach Vorermüdung und nicht gegen Trainingsende hin auszuführen.

Beginn und Veränderung Belastung und Entlastung sind bei Übung gegen den Partner nur durch eindeutiges Kommando einzuleiten (zu verändern) und ausschließlich langsam auszuführen.

**Lasten:**

Sensorisch bestimmt („erfühlt“)

**Wiederholungen:**

Konzentrisch bzw. exzentrisch 3-5

**Sätze:**

maximal 3

**Pausen:**

2 bis 4 Minuten

**b) Übungen (vorw. sekundäre Struktur)**

<b>Übung</b>	<b>Aufrichten</b>
Muskelfunktion	Flexion (ventral) in der WS
Beteiligte Muskulatur	Mm. rectus abdominis, quadratus lumborum, psoas major
Körperposition	Sitz, Rückenlage in den Winkeln der Cockpitsitzposition
Ausführung	Einrollendes Heben/Vorbringen des Oberkörpers (Kopf, dann Schultern, dann oberer Rücken)
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigengewicht Kopf (Helm) u. Rumpf, gegen Druck des Partners, Maschine, freies Gewicht (Hantelscheibe)
Variationen	Versch. Ausgangswinkel, Vorerermüdung, versch. Gewichte, Zusatzaufgaben (Sprechaufgabe Atmung u.dgl.)
Taktischer Bezug	Gerätebedienung, Auge-Hand-Koordination, Blickfelderweiterung

**Bemerkung:**

Eine Orientierung an den systemischen Anforderungen ist einzuhalten, d.h. es sind zumindest auch Trainingsformen einzufügen, die der Sitzposition (neutrale Position) entsprechen (Kopfwinkel, Beckenwinkel, Kniewinkel, Extremitäten-Positionierung) und aus dieser heraus zu arbeiten (vgl. Tab. Ablaufprotokoll).

<b>Übung</b>	<b>Hinten absenken</b>
Muskelfunktion	Extension (dorsal) in der WS
Beteiligte Muskulatur	M. erector spinae (mm. iliocostalis, longissimus, interspinales, intertransversarii, spinalis)
Körperposition	Aufrechter/vorgebeugter Sitz
Ausführung	Absenken nach hinten
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigengewicht Kopf (Helm) u. Rumpf, gegen Druck des Partners, Maschine, freies Gewicht (Hantelscheibe)
Variationen	Versch. Ausgangswinkel, Vorermüdung, versch. Gewichte, Zusatzaufgaben (Sprechaufgabe Atmung u.dgl.)
Taktischer Bezug	Belastungskompensation, Blickfelderweiterung

**Bemerkung:**

Angelehnt an die eigentliche Cockpitsitzposition, jedoch zur Sicherstellung der tatsächlichen Kraftentfaltungsfähigkeit (in etwaigen kombinierten Bewegungen bzw. Entlastungsbewegungen, vgl. Kap. 2) in einem etwas höheren ROM als dem aufgrund der systemischen Anforderungen möglichen.

Sicherstellung eines ebenengerechten Arbeitens, einer physiolog. geraden WS sowie einer abgesicherten Trainingsamplitude am Endpunkt)

<b>Übung</b>	<b>Verdrehen</b>
Muskelfunktion	Rumpfrotation seitlich
Beteiligte Muskulatur	insb. Mm. rotatores, multifidii, semispinalis)
Körperposition	Rückenlage, Bauchlage, Sitz, Stand
Ausführung	Rumpfdrehung in der Schulterachse bei fixiertem Becken
Gewicht(e), Gerät(e)	Maschinen, eigene Rumpflast, freie Gewichte,
Variationen	Kombinierte Bewegungen, Versch. Ausgangswinkel, Vorermüdung, versch. Gewichte, Zusatzaufgaben (Sprechaufgabe Atmung u.dgl.)
Taktischer Bezug	Blickfelderweiterung

**Bemerkung:**

Insb. im fortgeschrittenen Stadium ist ein Üben mit freiem Oberkörper (vom Becken abwärts auf erhöhter Unterlage fixiert, Oberkörper ist zu halten, bzw. zu bewegen), mit

freien Gewichten und in verschiedenen Ebenen (zusammengesetzte Bewegungen) anzustreben und in der Richtigkeit der Ausführung zu beobachten/korrigieren. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Vorgaben der jew. Kopfposition (bzw. vorgegebenen Kopfdrehungen) zu.

<b>Übung</b>	<b>Seitbeugen</b>
Muskelfunktion	Lateralflexion dext./sinistr.
Beteiligte Muskulatur	insb. Mm. interspinales, intertransversarii, spinalis, obliquus abdomini
Körperposition	Seitlage, Sitz, Stand
Ausführung	Achsenrechtes seitliches Beugen und Aufrichten
Gewicht(e), Gerät(e)	eigene Rumpflast, freie Gewichte,
Variationen	Kombinierte Bewegungen, Versch. Ausgangswinkel, Vorermüdung, versch. Gewichte, Zusatzaufgaben (Sprechaufgabe Atmung u.dgl.)
Taktischer Bezug	Belastungskompensation, Blickfelderweiterung

**Bemerkung:**

Insb. im fortgeschrittenen Stadium ist ein Üben mit freiem Oberkörper (vom Becken abwärts auf erhöhter Unterlage fixiert, Oberkörper ist zu halten, bzw. zu bewegen), mit freien Gewichten und in verschiedenen Ebenen (zusammengesetzte Bewegungen) anzustreben und in der Richtigkeit der Ausführung zu beobachten/korrigieren. Eine besondere Bedeutung kommt dabei den Vorgaben der jew. Kopfposition (bzw. vorgegebenen Kopfdrehungen) zu.

<b>Übung</b>	<b>Kombinieren</b>
Muskelfunktion	Zusammengesetzte Bewegungen
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System und Muskulatur unmittelbar an der HWS
Körperposition	Sitz, Bauch/Rücken-Lage mit freiem Oberkörper
Ausführung	Bewegungskombinationen (Kopf vs Rumpf) und Abfolgen (motor. Stererotype, taktische Stereotype)
Gewicht(e), Gerät(e)	Eigene Rumpflast, freie Gewichte
Variationen	Versch. Ausgangswinkel, Vorermüdung, versch. Gewichte, Zusatzaufgaben (Sprechaufgabe Atmung u.dgl.)
Taktischer Bezug	Belastungskompensation, Blickfelderweiterung, komplexe Aufgabenstellungen

Für die sekundären Strukturen gelten hinsichtlich konzentrischer, isometrischer Kontraktionen und Kontrastmethoden die gleichen Vorgaben und Umfänge wie bereits in Kap. 8 und den obigen Ausführungen zur primären funktionalen Struktur in den Übungsbeschreibungen vermerkt.

Für die Variationen sind, wie schon oben vermerkt, insb.

- versch. Ausgangswinkel,
- Vorer müdung,
- versch. Gewichte,
- u.U. entsprechende Zusatzaufgaben (Sprechübungen zur Einbeziehung taktisch notwendiger Atemtechniken, Atemmaske)

und weiters Übungsaufgaben unter Vorer müdung bzw. Supramaximalbedingungen in den konzentrischen Ausführungsformen möglich.

Dies alles weniger in Hinblick auf die ohnehin noch auszuführenden koordinativen Übungen, sondern zur Sicherstellung der bereits zuvor hinlänglich betonten Notwendigkeit einer situationsindependent korrekten, sprich ökonomischen und möglichst achsengerechten (ohne „Schummelbewegungen“) Bewegungsausführung.

Die Gewährleistung eines insbesondere auf die cranialen Anteile abgezielten Trainings wird durch

- die Variation der Kopfstellungen,
- die Kombination mit gleichzeitigen Kopfbewegungen sowie
- die Fixierung der caudalen Rumpfteile

erreicht.

## **10.2. Kraftausdauertraining**

Wie bereits in Kap. 8 erläutert, sind als Kraftausdauerübungen im wesentlichen alle Übungen des Maximalkraft-Trainings anzuraten, sofern sie konzentrische oder isometrisch Ausprägungen haben.

Darüber hinaus können die Trainingsformen insbesondere

- zusammengesetzte (komplexe) Bewegungen,

- Kombination mit Gleichgewichts-Aufgaben,
- Kombination mit Sprechübungen (wie oben)
- gering anspruchsvolle Gleichgewichtsaufgaben

enthalten.

Das Kraftausdauertraining wird naturgemäß vorerst einem Gewöhnungstraining entsprechen, letztlich sollen aber klare Unterschiede zwischen Maximalkraft und Kraftausdauer erreicht und an die taktische Intention gebunden ausgeprägt werden.

Als Intensitäten können, wiederum analog zu den gängigen Intensitäten gemäß allgemeiner Trainingslehre, angegeben werden:

**Lasten:**

30-60% des 1RM

**Wiederholungen/Dauer:**

bis zu 30 konzentrisch bzw. 10-15 sec. isometrisch (gemäß Belastungscharakteristika)

**Sätze:**

3 bis 5

**Pausen:**

Mehrere Minuten

### 10.3. Propriozeptives Training

Das Training der Propriozeptoren in der primären und sekundären funktionalen Struktur gestaltet sich, den anatomischen Bedingungen entsprechend, schwieriger, als dies für das Training bspw. der Extremitäten der Fall ist, da es von hohen Ansprüchen an die Sicherheit des Übenden gleichermaßen wie von der Notwendigkeit einer tatsächlichen Belastung dieser funktionalen Steuerung geprägt ist.

Wesentlich kann es aber durch zwei Übungsformen realisiert werden:

- durch komplexe Übungsaufgaben mit freien bzw. nachgebenden Gewichten an der primären Struktur (unmittelbare Ansteuerung) und
- durch Gleichgewichtsübungen an der sekundären Struktur durch unmittelbare und mittelbare Ansteuerung .

In jedem Fall, insbesondere aber bei der Arbeit mit freien Gewichten, sind Absicherungen zu treffen, gleichzeitig jedoch soll der Trainierende unter Vorbeugung gegen alle

Verletzungsrisiken bei Gleichgewichtsübungen dazu veranlasst werden, möglichst an die Grenzen des Kontrollverlustes (Umfallen) zu gehen.

**a) Übungsformen an der primären funktionalen Struktur**

<b>Übung</b>	<b>Helmsteuerung</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	primäre funktionale Strukturen
Körperposition	Sitz aufrecht bzw. entsprechend den systemischen Anforderungen
Ausführung	Kopfbewegungen gemäß Vorgaben
Gewicht(e), Gerät(e)	Helm mit Zusatzlasten
Variationen	Zusätzliche Einbeziehung von Gleichgewichtsübungen für caudale muskuläre Anteile

**Bemerkung:**

Zu beachten sind hierbei im Wesentlichen:

Zusatzlasten so verteilt, dass der Schwerpunkt der Helmlast das tiefe Zentrum des Kopfes trifft. (anatomisch also in etwa medulla oblongata)

Variation: Einbezug von Zusatzlast im Bereich der NVG-Montage, bzw. der Maske

Sicherstellung einer Belastung, die kompensatorische Bewegungen geringster Auslenkung und damit Vermeidung von Gefahrenpotentialen (Drehmomente an den HWS-Gelenken bzw. ROM-Auslenkungen zu hoch) möglich macht.

Vorgabe von Bewegungsmustern (sensorischer Reiz für die Augen, Kopf dreht mit) bzw. Ausgleichsbewegungen (Sitz beweglich montiert, Kopf muss in Ruheposition bleiben bzw. vorgegebenen Bewegungen folgen)

<b>Übung</b>	<b>Ausgleichssteuerung</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	primäre funktionale Strukturen
Körperposition	Sitz aufrecht bzw. entsprechend den systemischen Anforderungen
Ausführung	Bewegungen gegen nachgebende Last (Spannungszu/abnahme)
Gewicht(e), Gerät(e)	Theraband/Therabänder fixiert an Ankerpunkt und um den Kopf gelegt

**Bemerkung:**

Sicherstellung gleicher Spannungen bei Einbeziehung mehrerer Therabänder bei neutraler Kopfposition.

Wahl der Bandstärke entsprechend den individuellen muskulären Kompetenzen

Möglichst achsengerechte Bewegungen

Sicherstellung einer gefähderungsfreien Positionierung bzw. Entlastung bei Übungsaufbau und Übungsende.

**b) Übungsformen an der sekundären funktionalen Struktur (unmittelbare Ansteuerung):**

<b>Übung</b>	<b>Oberkörperkippen</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System
Körperposition	Rückenlage, Beine aufgelegt, Oberkörper aufgelegt auf beweglichem Gerät
Ausführung	Absolvieren vorgegebener Bewegungen bzw. Halten vorgegebener Positionen
Gewicht(e), Gerät(e)	Kippbrett („MFT-Brett“), Sitzpolster („Sitzdiskus“), freie Gewichte (Hantel, Scheibe)
Variationen	Einbeziehung von Positionierungen/ Bewegungen des Kopfes

**Bemerkung:**

Die Auflage des Beckens ist in gleicher Höhe wie die des Oberkörpers zu gewährleisten (Mattenerhöhung unter dem Becken).

Die Winkel in Becken und Knie haben den systemischen Anforderungen zu entsprechen, ggf. auch die Beckenfixierung

Freie Gewichte sind erst in einem fortgeschrittenen Stadium zuzuziehen.

<b>Übung</b>	<b>Gleichgewichtsübung</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System
Körperposition	Sitz
Ausführung	Verschiedene Sitzaufgaben (einbeinig, frei, zusätzliche koordinative Aufgaben, versch. Wirbelsäulenkrümmungen)
Gewicht(e), Gerät(e)	großer Sitzball, freie Gewichte (Hantel, Scheibe)
Variationen	Einbeziehung von Positionierungen/Bewegungen der Extremitäten und des Kopfes

**Bemerkung:**

Absicherung des Trainierenden gegen unkontrollierte Stürze vom Ball insb. mit freien Gewichten.

**c) Übungsformen an der sekundären funktionalen Struktur (mittelbare Ansteuerung):**

<b>Übung</b>	<b>Gleichgewichtsübung</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System
Körperposition	Stand
Ausführung	Gleichgewichtsübungen mit und ohne Gerät
Gerät(e)	Instabile Unterlage (Mattenrolle, Sitzpolster), Kipp-Brett („MFT-Brett“), Rolle, Medizinball
Variationen	Einbeziehung von Positionierungen/Bewegungen der Extremitäten und des Kopfes

**Bemerkung:**

Es können auch, insb. um eine Belastung der cranial gelegenen Strukturen zu gewährleisten, körpernahe Gewichte (z.B. Langhantel auf den Schultern) verwendet werden, Es ist aber die Sicherung des Trainierenden zu gewährleisten und die Last individuell anzupassen.

<b>Übung</b>	<b>Trampolinspringen</b>
Muskelfunktion	Propriozeption
Beteiligte Muskulatur	Zylinderförmiges System, Muskulatur (insb. der unteren) Extremitäten
Körperposition	Standsprünge, komplexere Sprünge
Ausführung	Sprungaufgaben mit Zielstellung der Körperkontrolle (Ansteuern Verlassen und Wiederfinden des Schwerpunktes)
Gewicht(e), Gerät(e)	Federtuch, ev. leichte Handgeräte für zusätzliche Aufgaben (z.B. Bälle)
Variationen	Zusätzliche Aufgaben (Beobachtungen, Rechenaufgaben)

**Bemerkung:**

Die Variationsmöglichkeiten sind hier äußerst umfangreich, selbst wenn aufgrund der motorischen Fähigkeiten des jeweiligen Trainierenden u.U. nur Standsprünge (d.h. keine Rotationen um Körperachsen abverlangt werden können).

Sitzsprünge, Rückenlandungen und Figurensprünge (am Federtuch verschiedene Punkte reaktiv anspringen) sind als Beispiele zu nennen und gewährleisten auch eine direkte Einbeziehung zumindest der sekundären funktionalen Struktur.

Zusatzaufgaben können die Qualität der Bewegungsansteuerung gut wiedergeben, insbesondere, wenn Veränderungen in der Bewegungskompensation gezielt beobachtet (filmisch festgehalten) werden.

Als Zusatzaufgaben ergeben sich bspw.:

Störeinflüsse kompensieren (z.B. laute Musik)

Bälle zuwerfen und fangen (Sicherheit ist zu gewährleisten)

Beobachtung und Wiedergabe von Informationen (Zahlen, Muster, Sätze, Rechnungen)

Einbezug sicht-einschränkender Mittel (Helm, Maske, NVG)

### **Singuläre vs. gekoppelte Aufgabenstellungen**

Die „gekoppelten“ Aufgabenstellungen (siehe Kap. 8), also hier die Variation der jeweiligen Übung durch zusätzliche Erschwernisse, sollen weniger die komplexen koordinativen Handlungskompetenzen fordern, sondern die unbewusste und damit eben propriozeptiv gesteuerte Motorik beanspruchen, indem Störeinflüsse provoziert werden.

Daher sind gekoppelte Aufgabenstellungen überall dort zu setzen, wo augenscheinlich

- reaktiv statt reflexiv motorisch bewältigt wird,
- Lerneffekte (Adaptation) der ursprünglichen Aufgabenstellung die Schwierigkeit nehmen oder
- Individuelle motorische Kompetenzen die singulären Übungsformen ohne Schwierigkeiten bewältigen lassen.

Große Auslenkungen, sprich große Bewegungsamplituden sind zu vermeiden, unterschiedliche Gelenkwinkel (Ausgangspositionen, Raumstellungen) hingegen durchaus als Variationsmöglichkeiten einzubinden.

### **Umfänge:**

Orientiert an Ausführungs-Exaktheit und Übungsinhalt, zumindest aber 3 Durchgänge und innerhalb des Durchganges zumindest 15 Sekunden Ansteuerung bzw. 15 Bewegungswiederholungen.

## **10.4. Spezifisches und allgemeines koordinatives Training**

Bereits in der trainingsspezifischen Conclusio wurde festgehalten, dass für jegliche koordinative Aufgaben letztlich ein nachvollziehbarer Zusammenhang mit den

eigentlichen Vorgaben und Aufgaben im Cockpit bestehen sollte. Dies wird unmittelbar durch die spezifischen koordinativen Trainingsformen erfüllt, während zusätzliche allgemeine Koordinationsübungen die erwähnte umfassende und variable koordinative Handlungskompetenz gewährleisten.

Gleichzeitig kann jedoch eine Übungsauflistung ganz besonders in diesem Trainingsbereich nur exemplarischen Charakter haben, da die komplexen spezifisch-taktischen Anforderungen durch die vorliegende Arbeit nicht ermittelt wurden. Es kann nur nochmals die Notwendigkeit einer hohen systemimmanenten und variablen koordinativen Kompetenz zur Nutzung der erworbenen Fertigkeiten und Wahrung der physiologischen Ressourcen betont werden.

### **a) Spezifische koordinative Übungen**

- Aufgabenkomplex Libelle

Vgl. Tab. Ablaufprotokoll

Bsp.: Kombination korrekter Innervation (bspw. Kontrolle durch software-gekoppelte Spannungsrezeptoren) mit Kopfbewegungen, Zielbeobachtungen (bspw. Aufzeigen einer Zahl im Bereich des maximalen ROM seitlich), und weiters unterschiedlichen Steuerbewegungen der Hände

Bzw. zeitlich gestaffelter Ablauf komplexer Bewegungen (mehrere enge Radien hintereinander simulieren) unter Kontrolle der richtigen Handlungs-Abfolgen.

- Aufgabenkomplex Beobachten, Bewegen, Steuern

Ausführen von Standardabläufen (Bewegungen, Kontraktionen, Befehlen) unter Einbeziehung von taktischen Erfordernissen (Simulation von feinmotorischen und mentalen Ansprüchen).

Bsp: Sprechbefehle während Kontraktion geben, Bild mit den Augen verfolgen, Information zuordnen, konzentrische, isometrische und exzentrische Kontraktionen einleiten.

- Aufgabenkomplex Gleichgewicht, Kontraktion, Steuern

Bsp.: Ausführung von Standardabläufen (Bewegungen, Kontraktionen, Befehlen) auf einer wackligen Sitzfläche bzw. einem beweglichen Sitz („Schaukel“)

## **b) Allgemeine koordinative Übungen**

- Bewegungen der Extremitäten

Bsp: unterschiedliche Bewegungsabfolgen der Arme und Beine in einer vorgegebenen Abfolge und Rhythmus

- Gleichgewichtsübungen gekoppelt mit Bewegungen der Extremitäten

Bsp: unterschiedliche Bewegungsabfolgen der Arme im Einbeinstand, auf einem Balken stehend. (später Augen geschlossen, später dazu reihum Primzahlen aufsagen, usw.)

- Übungselemente des Geräteturnens

Bsp: Strecksprung mit ganzer Schraube, Variationen von Rollen vorw./rückw.

Die Dauer der koordinativen Übungen richtet sich wesentlich auch nach der zur Verfügung stehenden Gesamttrainingszeit und insbesondere der beobachteten Qualität der Bewegungsausführung.

Weder für diese, noch für die „Erholungsphasen“ zwischen den Aufgabenstellungen können allzu verallgemeinerte Angaben gemacht werden, vielmehr sollte ein optimales Einbinden in den Ablauf der Trainingseinheit Vorgabe sein. Darüber hinaus muss die grundlegende Zielstellung eine am Luftkampf orientierte Kompetenz an Wiederholungen und Ausführungsgeschwindigkeiten bleiben.

## **10.5. allgemeines und spezifisches Ausdauer-Training**

Im Sinne der in Kap. 8 angeführten Vorgaben kann das Ausdauertraining allgemein hinsichtlich der kardiovaskulären Belastbarkeit (Grundlagenausdauer, Fitness, vgl. Weineck, 1996) bzw. spezifisch an der primären und sekundären funktionalen Struktur folgendermaßen gestaltet werden:

### **a) allgemeines Ausdauertraining**

Trainingsbelastungen von mindestens 30 Minuten an mindestens 3 Tagen der Woche im Sinne einer wesentlichen Steigerung des Grundumsatzes.

Bsp.: Dauerlaufen, zügiges Radfahren, Schwimmen

Auf mittlere und lange Frist hinaus sind Abwechslungen in der Spartenwahl zu empfehlen, um den zuvor erwähnten Problemstellungen ungünstiger WS-Krümmungen (bspw. beim Radfahren oder Brustschwimmen) entgegenzuwirken.

**b) spezifisches Ausdauertraining**

<b>Übung</b>	<b>Rhönrad-Fahren</b>
Muskelfunktion	Halten der Position bzw. Ausgleichen
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System und Muskulatur unmittelbar an der HWS
Körperposition	Stehend, versch. Varianten im Rad
Ausführung	Rollen über mehrere Minuten ohne längere Unterbrechungen beim Wenden, ggf. durch Partner gewährleistet
Gewicht(e), Gerät(e)	Rhönrad entsprechender Größe, ggf. Helm mit Zusatzlast (Gewichte, Maske)
Variationen	Vorermüdung, Bewegungsaufgaben für Kopf

**Bemerkung:**

Aufgrund der rasch erlernbaren, da einfachen Grundmuster des Rhönradturnens (Anfahren, Halten, Grundpositionen) ist dies eine verhältnismäßig sichere Trainingsform, wengleich stets ein Betreuer anwesend sein sollte.

<b>Übung</b>	<b>Spacecurl</b>
Muskelfunktion	Halten der Position bzw. Ausgleichen
Beteiligte Muskulatur	zylinderförmiges System und Muskulatur unmittelbar an der HWS
Körperposition	Stehend
Ausführung	Rollen über mehrere Minuten
Gewicht(e), Gerät(e)	Spacecurl, ggf. Helm mit Zusatzlast (Gewichte, Maske)
Variationen	Vorermüdung, Bewegungsaufgaben für Kopf

**Dauer spezifisches Training:**

Die Belastungsdauer richtet sich nach den unmittelbaren Gesamtwirkungszeiten des Luftkampfes, also zwischen 3 und 15 Minuten einsatzspezifischer Belastung und ist

darüber hinaus durch die individuelle Belastbarkeit des Trainierenden wie auch die durch das Gerät bedingte Intensität (Rhönrad vs. Spacecurl) gegeben.

Grundsätzlich kann gelten: Je niedriger die mögliche Gesamtbelastungsdauer ist, desto eher sind mehrere Wiederholungen dieser Belastung nach aktiver Pause in einem Trainingsdurchgang einzubringen.

## **10.6. Trainingsumfänge –Vorschlag modularer mikro- und makrozyklischer Ordnung**

Es ist nicht Kern der vorliegenden Arbeit, abschließend detaillierte und individuelle Trainingskonzeptionen vorzustellen, da dies erst unter Einbezug der umfassenden

- fliegermedizinischen Vorgaben für die österreichischen Piloten und unter
- Kenntnisnahme des individuellen Status quo der jeweiligen Piloten,
- der (ja verhältnismäßig kleinen) Pilotengruppe gesamt
- sowie des aktuellen Dienstbetriebes

möglich wäre.

Um jedoch den in der trainingsspezifischen Conclusio (Kap. 8) dargestellten Gewichtungen zum besseren Verständnis eine Systematik zu verleihen, wird hier ein ganz grober, möglicher Überbau skizziert.

Ausgegangen wird hierbei von einem 3 bis 4 mal wöchentlich möglichen bzw. verpflichteten Training zu mind. 30 bis 60 Minuten sowie einem normalen Dienstbetrieb im Sinne der mehrmonatlich wiederkehrenden fliegermedizinischen und sportwissenschaftlichen Untersuchungen und allgemeinen dienstlichen Belastungen, welche an dieser Stelle als Korrektiv für die Trainingsgestaltung verstanden werden können.

### **Vorschlag rudimentärer Mikrozyklus (i.d.F. Wochenplan):**

A,B,C,D –Training

( )= nach zeitlichen Möglichkeiten

A-Training

Kraft, Propriozeption

#### B-Training

Kraftausdauer, Koordination, (Ausdauer (allg.))

#### C-Training (=A)

Kraft, Propriozeption

#### D-Training

Kraftausdauer, Ausdauer (spez.), (Koordination)

### **Vorschlag rudimentärer Makrozyklus (i.d.F. Mehrmonatsplan)**

Evaluation/ Anamnese

Segment 1

Evaluation

Segment 2

Evaluation

Segment 3

Evaluation, Nachhaltigkeitsprüfung

Anpassung, Variation

(begleitend) = geringere Anteile am Gesamttrainingsumfang

Segment 1:

Schwergewicht:

Gewöhnungstraining Kraft, Propriozeption, Koordination

(begleitend Ausdauer allg. u. spez.)

Segment 2:

Schwergewicht

Kraft, Propriozeption, Koordination

(begleitend Ausdauer allg. u. spez.)

Segment 3:

Kraft, Kraftausdauer, Koordination

(begleitend Propriozeption u. Ausdauer spez.)

## 11. Evaluationen und Nachhaltigkeitsprüfungen

### **Weiterführende Überlegungen zur Problemstellung der Erfassung und Trainierbarkeit individueller muskulärer Kompetenzen**

Die vorangegangenen Ausführungen und insbesondere die Fragestellung nach einer zielgerichteten Trainierbarkeit der physiologischen Ressourcen fordern zwangsläufig eine Prüfung der jeweils aktuellen individuellen Leistungsfähigkeit und in Ableitung die der mittelfristigen Entwicklung oder Steigerungsrate, um insbesondere im individuellen und fortgeschrittenen Bereich korrektive Maßnahmen setzen zu können.

Diese Forderung wirft die grundsätzlichen Fragestellungen auf:

a) Wie werden momentan, d.h. in den verfügbaren Studien Belastungsgrößen an der physiologischen Struktur evaluiert und wie weit können diese als praktikabel, d.h. valide und objektiv bezeichnet werden?

b) Anhand welcher Messmethodik können (könnten) darüber hinaus (oder stattdessen) die individuellen Realisationen hinsichtlich ihrer Komplexität erfasst und in ihrer Qualität bewertet werden?

ad a)

Hiezu finden sich in der spezifischen Literatur einige konkrete Ansätze. So werden zumeist (und augenscheinlich aus Gründen der Praktikabilität) Oberflächen-EMG-Messungen herangezogen und hinsichtlich der gemessenen Belastungsspitzen durch Vorerhebungen bzw. Nachkontrollen relativiert. (vgl. Legett, 1991; Valkeinen, 2002; Alricson, 2004; Green, 2004; et al.)

Die Relativierung erfolgt zumeist (ebendiese Autoren) anhand der Erhebung des isometrischen Kontraktionsmaximums, seltener werden (zusätzlich) konzentrische Kraftmaxima bestimmt. (Hämäläinen, 1998; Sovellius, 2006)

In einer älteren Studie geht Hämäläinen (1992) von einer praktikablen Messvalidität diverser Oberflächen-EMGs am erector spinae hinsichtlich der Effekte von G-Kräften in Kombination mit Kopfbewegungen aus; Seng (2003) positioniert in seiner Studie die Messparameter in ihrer elementaren Relation, indem die Unterschiede in der

Kraftentwicklungsfähigkeit der Nackenmuskulatur (neck muscle strength) zwischen Piloten und Vergleichsgruppe (pilots vs. non-pilots) erhoben werden.

Harms-Ringdahl (1995) untersucht konkret die Aussagekraft bzw. die Korrelation zwischen maximaler konzentrischer Kraftentwicklungsfähigkeit und gemessenen Belastungsgrößen während realer Flugmanöver.

Durchaus werden auch Messungen (Oberflächen-EMG) während realistischer Luftkampfmanöver (aerial combat maneuvers) oder einzelner Flugmanöver (sorties) durchgeführt, referenziell an m. latissimus dorsi oder entlang des m. erector spinae (meist Übergang am HWS zu BWS).

Darüber hinaus wird meist der ROM an der HWS bestimmt, jedoch zeigen bereits die obigen Ausführungen (Kap. 9) in keiner der herangezogenen Studien eine signifikante Veränderung in den jeweiligen Test- und Kontrollgruppen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass von diesen, teils sehr unterschiedlichen Untersuchungsansätzen

- kaum bis gar keine Erhebungen der Veränderung motorischer oder koordinativer Kompetenzen in der Literatur gefunden wurden,
- keine invasiven Eingriffe (Nadel-EMG, Biopsie) durch Literatur zu belegen waren,
- keine Aussage über trainingsbezogene muskelmorphologische Veränderungen zu finden war.

Kritik:

Es sollen hier nicht die Testdesigns selbst in Frage gestellt, sondern vielmehr jene Bereiche genannt werden, welche offensichtlich (bisher) keiner Bewertung unterzogen wurden, bzw. deren Bewertung zumindest für den aktuellen Fall des Eurofighter Typhoon im genannten Trainingszusammenhang von besonderer Bedeutung wären.

- Die vorgestellten Messmethoden gehen de facto gar nicht auf die komplexe Ansteuerung (vgl. Kap. 7) in der primären und sekundären funktionalen Struktur ein, bzw. wären zu diesem Zwecke umfangreicher zu gestalten. Da aber die Konzeptionen nach Panjabi, wie oben erläutert, hinsichtlich des Aktivitätsniveaus eine komplexe Charakteristik zeigen, scheinen Studien, denen wesentlich reine Oberflächen-EMG-Messungen (vgl. Fernandes, 2003; Green, 2004; et al) zugrunde liegen, zumindest als problematisch in der grundsätzlichen Datenerfassung und u.U. sogar als fragwürdig in der Interpretation.

- Zwar mag die ausschließliche Messung von Belastungs-Peaks (oberflächlich, meist an nur einem Muskelstrang) grundsätzlich gerechtfertigt sein. Da sie den interpretativen Spielraum aber einschränkt, erscheint sie hinsichtlich der kombinierten bzw. wiederkehrenden, unmittelbar aufeinanderfolgenden Handlungsabläufe (vgl. Kap.3) im Eurofighter Typhoon als unzureichend.
- Veränderungsmessungen bezogen sich ausschließlich auf einmalige Erhebungen vor und nach einer Trainingsintervention, (und in einem Fall nochmals nach längerer Pause) also ohne Bewertungsmöglichkeit von relationalen Zuwachsraten, Plateaus u.dgl.
- Es wurden stets nur absolute Kraftmaxima, i.d.R. isometrisch erfasst, nie koordinative, propriozeptive oder allgemein dynamisch komplexe Kompetenzen oder Veränderungen.
- Die Wirkungszusammenhänge mit Umfeldbedingungen wurden nicht benannt oder untersucht. Zwar wurde hohe Gruppenhomogenität (versch. Marker) angestrebt sowie Ausfälle erfasst und begründet, es fanden sich aber weder für den Trainingszeitraum noch für nach demselben Befindlichkeitsbewertungen bspw. zur Erfassung der Handlungsmotivation der Trainierenden selbst vor.
- Die Stichprobengrößen war darüber hinaus teilweise sehr gering gehalten ( $n < 30$ ).

ad b)

Es ist festzuhalten, dass analog zu den bisherigen Forschungsergebnissen teilweise von einer künstlichen, d.h. durch militärische Interessen bestimmten Einschränkung der Veröffentlichung von Testdesigns und Methoden angesichts der teils spärlichen oder singulär gestalteten Untersuchungsmethodik ausgegangen werden sollte.

Davon abgesehen kann aber im Sinne weiterführender Überlegungen eine Aufzählung möglicher praktikabler Evaluationsmaßnahmen erfolgen, welche sich als Ergänzung der gängigen fliegermedizinischen und sportwissenschaftlichen Testungen und insbesondere des hier vorgestellten Trainingskonstruktes verstehen.

Insbesondere ist davon auszugehen, dass nachfolgende Evaluationen bzw. Nachhaltigkeitsprüfungen muskulärer Kompetenz auf eben der Ebene einsatztypischer koordinativer Realisation (oder zumindest eng an den einsatztypischen Handlungsablauf und Belastungszusammenhang angebunden) durchzuführen und zu bewerten sind.

Anders gesagt erscheint es also unabdingbar, komplexe Bewegungsmuster eben in

- ihrer neurophysiologischen Ansteuerungscharakteristik
- ihrer Kompensationsfähigkeit bezüglich Störgrößen oder zusätzlichen Anforderungen
- ihrem belastungsrealen Umfeld (Einsatzflug, Zentrifuge)

anhand noch zu diskutierender Parameter bzw. Testdesigns zu erfassen.

**Diesbezüglich kann von einer notwendigerweise umfassenden Untersuchungsmethodik gesprochen werden, für die zumindest als relevant zu nennen sind:**

- EMG-Messungen (Peaks, Streuungen, Muster) an den Muskelsträngen der primären wie auch sekundären funktionalen Struktur
- Software-gestützte, vidoetechnische Aufzeichnungen und Erfassungen von Bewegungen (wiederkehrende Muster, maximale Auslenkungen) und
- insbesondere Interpretation von Bewegungsqualitäten unter unterschiedlichen und kumulierten Belastungsbedingungen (Propriozeption und Koordination)
- Biomechanische Modell-Untersuchungen (vgl. auch van Dijke, 1993),
- Quantifikation von ROM und isometrischer bzw. konzentrischer Maximalkraft an (i.d.F.) Schnell-Geräten und
- in verschiedenen Winkeln von Flexion und Extension (vgl. auch Suryanarayana, 2004) und unter Einbezug externer Multiplikatoren.
- Ggf. stoffwechsel-bezogene Analysen von Blut und Muskelmasse (Blutlaktat-Messungen, Biopsien, usf.),

Zugeordnet werden können diese Untersuchungsdesigns den trainingsspezifischen Kompetenzen wie folgt:

**Tabelle 10 : Systematik der evaluativen Maßnahmen**

	trainingsbezogen	gerätebezogen	auf reale Flugsituation bezogen
Maximalkraft	einfache Übungsform	Trainingsgerät, Analysegerät (Schnell)	indirekt durch EMG bzw. Bewältigung Flugmanöver (Videoanalyse) bzw. biomech. Modell
Propriozeption	einfache (u. ev. komplexe) Übungsform	Trainingsgerät, Analysegeräte (Video, Messplatte)	nein
Koordination	komplexe Übungsform	Trainingsgeräte-Komplex	Videoanalyse, indirekt durch EMG (Peaks)
Kraftausdauer	einfache und komplexe Übungsform	Trainingsgeräte, Analysegerät	nachträgliche Stoffwechselanalyse, indirekt durch EMG
Ausdauer	einfache und komplexe Übungsform	Trainingsgerät, Trainingsgeräte-Komplex	nachträgliche Stoffwechselanalyse, Befindlichkeitsfragebogen
Funktionaler ROM	Muskelfunktionstest	Analysegerät (Schnell)	nein

Hiezu kann in aller Kürze erläutert werden:

**ad EMG-Messungen:**

Wie in einigen zuvor bereits erwähnten Studien wurden Messungen mittels Oberflächen-EMG während einsatznaher Flüge bereits oftmals durchgeführt. Zwar kann bei eben dieser Untersuchungsmethodik (nicht invasiv) wohl letztlich nur auf besagte Peak-Messungen eingegangen werden, angesichts der Belastungsgrößen im Eurofighter Typhoon wären aber zweifellos alle Datenerhebungen, die Rückschlüsse auf die muskuläre Antwort hinsichtlich dieser Größen geben von Interesse.

**ad videotechnische Aufzeichnungen:**

Auch ohne genauere Kenntnis der tatsächlichen technischen Möglichkeiten und ggf. bereits durchgeführten Aufzeichnungen während realer Flüge von Seiten des Autors kann hier nur angeraten werden, Wege zu suchen, insbesondere die Kopfbewegungen (Drehungen, Neigungen), Vibrationen (Stabilisationen) und kombinierten motorischen Abläufe für weiterführende Belastungsbewertungen und Trainingsimplementationen anhand der realen Flugsituation (Luftkampfmanöver) sichtbar zu machen.

Es seien hier insbesondere genannt:

Reine Kopfansichten in Relation zu einem Nullpunkt und zumindest einer Bewegungsebene (vektorielle und skalierte Bestimmung anhand eines bspw. überblendeten kartesischen Koordinatensystems)

Oberkörperansichten zur Bestimmung der Auslenkungen anhand der Sagittalebene bzw. der komplexen Bewegungsmuster (Auge-Hand-Koordination; Zusammenwirken Kopf, Oberkörper, Hand)

**ad Interpretation von Bewegungsqualitäten unter kumulierten Belastungsbedingungen:**

Zur Erfassung der propriozeptiven Ansteuerung kann zumindest außerhalb des Flugzeuges die Trainingskonstruktion des MFT-Brett herangezogen werden, indem das Analyse Brett (inkl. Software) für den oben angedeuteten (vgl Kap. 10) Übungsaufbau herangezogen wird. Zur Vermeidung von Transfereffekten wären hier insb. gekoppelte Übungen, d.h. Übungen mit mehrfachen Aufgabenstellungen zu wählen, die nicht im ständigen Trainingsbetrieb involviert sind, jedoch bei den Evaluationen stets in gleicher Form (Anforderung, Aufbau) herangezogen werden.

Für die Bewertung der koordinativen Kompetenzen wäre in gleicher Weise zu verfahren, auch hier kann das MFT-Brett herangezogen werden, des weiteren sind standardisierte Bewertungstabellen (Fehleraufzeichnung, statistische Testauswertung) denkbar sowie gekoppelte Aufzeichnungsmethoden (Video, Stimmanalyse, Biofeedback u.dgl.), welche nachfolgend zu analysieren wären.

**ad biomechanische Modell-Untersuchungen:**

Biomechanische Modellierungen wären den Bedingungen von Einsatzflügen abzuleiten, d.h. die sicherlich mannigfaltigen Möglichkeiten der Erfassung mittels Videoanalyse (vgl. Simi-Motion, Dartfish u.a.) erscheinen bspw. vom spekulativen Standpunkt des Autors aus sehr interessant und variantenreich, bedürfen aber der Datenerfassung bei maximal

belastenden Flügen im tatsächlich relevanten Flugzeugtyp und unter tatsächlich den österreichischen Piloten eigenen, standardisierten Verhaltensweisen. Es könnte die Modellierung wie die nach van Dijke (1993) für die HWS (konzipiert anhand F16-Flugdaten) hier eventuell unterstützende Grundlage sein, müsste aber angesichts der wesentlich veränderten Situation am Eurofighter sicherlich justiert werden.

#### **ad Messungen von ROM und Maximalkraft:**

Zwar wurde bereits mehrfach festgehalten, dass die spezifische Situation des Piloten nach bisherigen Erkenntnissen keine funktionale Einschränkung des ROM folgert, angesichts eines wesentlich umfangreicheren und belastungsintensiveren Trainingsverständnisses der vorliegenden Arbeit sind diese Testungen, insbesondere im Rahmen der ohnehin bereits implementierten sportwissenschaftlichen und fliegermedizinischen Standard-Untersuchungen, sicherlich beizubehalten. Dementsprechend sollten sowohl die einfachen Muskelfunktionstests nach Janda (2000) als auch die gerätespezifischen Testungsmöglichkeiten an den Schnell-Geräten herangezogen werden, um isometrische Kraftmaxima sowie mögliche Veränderungen im ROM oder die Entwicklung funktionaler Asymmetrien (Verkürzungen, Abschwächungen) sicher, standardisiert und exakt erkennen und bewerten zu können. Für die Kraftmessungen sind auch die Leistungszuwächse bei den konzentrischen und exzentrischen Trainingsumfängen standardisiert zu protokollieren.

#### **ad Quantifikation in verschiedenen Winkeln und unter Einbezug externer Multiplikatoren:**

Auch und insbesondere isometrische Kraftmessungen unter verschiedenen Winkeln sind im Sinne der Sicherheit des Übens an den Schnell-Geräten durchzuführen. Des Weiteren sind einsatznahe multiplikative Belastungsgrößen (Helm, NVG, ggf. Libelle-Anzug hinsichtlich der Kraftentfaltungsfähigkeit der sekundären funktionalen Struktur) im Sinne ihres Einsatzes bei Testungen in Überlegung zu stellen. (also bspw. Kraftmessung mit aufgesetztem Helm und in entsprechendem Sitzwinkel)

#### **ad Analysen von Blut und Muskelmasse:**

Die invasive Erfassung von Stoffwechselfvorgängen (Biopsie) als Bewertungsgrundlage tatsächlicher muskulärer Belastungen und Realisationen unterliegt naturgemäß (aufgrund des rasch nötigen Zugriffs auf den Piloten selbst) zumindest vorerst der wesentlichen

Einschränkung, wenn überhaupt, so wohl nur in der Humanzentrifuge umgesetzt werden zu können. Grundsätzlich kann aber angenommen werden, dass die sportmedizinische, invasive Bewertung stoffwechselfysiologischer Vorgänge letztlich wesentlichen unterstützenden Beitrag auch zu den trainingsphysiologischen Interpretationen leisten könnte.

## Offene Fragestellungen

Da diese Arbeit sich eben als Grundlage einer nachfolgend komplexen Trainingsintervention versteht, bleiben zwangsläufig elementare Fragen offen, deren wesentliche hier aufgezeigt sein sollen.

So sind in weiterer Folge vor allem die genauen Gewichtungen einer konkreten Trainingsgestaltung hinsichtlich der einzelnen Teilbereiche in Mikro- und Makrozyklus ebenso wie die diesbezügliche Übungsauswahl in einer vorläufigen Gesamtheit und ihrem Zusammenwirken festzulegen.

Darüber hinaus bedarf das eben vorgestellte theoretische Konzept von der komplexen Trainingsstruktur als Antwort auf komplexe Belastungsmuster einer nachfolgenden Bewertung anhand geeigneter Stichproben (Piloten) und Trainingsumfänge.

Weiters sind die Korrektive, d.h. jene Veränderungsmechanismen festzulegen, die eine Anpassung des Kompensationstrainings an möglicherweise veränderte oder unscharf angenommene Größen nachjustieren - dies ebenso im trainingsspezifischen Zusammenhang (Effektivität, Belastbarkeit, Trainingsmotivation, Umfeldbedingungen, Trainingsgeräte) wie auch im einsatzspezifischen (systemische Vorgaben, taktische Bedingungen, Dienstbetrieb).

In diesem Zusammenhang sind auch die im letzten Kapitel behandelten evaluativen Methoden lediglich angeführt, nicht jedoch umfassend systematisiert wiedergegeben.

Dem allen übergeordnet ist die weiterführende Bewertung der vorgestellten Konzeption von Bewegungsrealisationen aus neuromuskulärer Sichtweise. Hier drängen sich sowohl tiefere Betrachtungen des aktuellen Forschungsstandes als auch weitere Schlussfolgerungen zum taktischen Handlungsbezug in der Realsituation des Eurofighter-Piloten auf.

Beobachtungen und Bewertungen der Trainingsentwicklung (bezogen auf die eigentliche Probandengruppe der Piloten) wären auf kurze und mittlere Frist sowohl im situativen (individuelles Training) als auch effektiven (gesamt-konzeptionell) rückschließenden Sinne ein geradezu logischer nächster Schritt.

Zuletzt stellt sich die Frage nach der Implementation der Trainingsmaßnahmen in den regulären Dienstbetrieb. Eine Anforderung, deren wesentliche Grundlage nicht nur die Schaffung eines trainingswissenschaftlichen, theoretischen Konstrukts (wie des hier vorgestellten) darstellt, sondern die auch und überhaupt erst durch die Handlungsbereitschaft der tatsächlich ausführenden Ebene effektiv wird.

Dass diese ausführende Ebene sowohl in den Piloten mit ihren fliegerischen als auch dem vorgesetzten Kommando mit seinen taktischen Interessen gesehen werden muss, wurde bereits weiter oben unumgänglich gefolgert.

Ein angeleitetes, durch fachkompetente sportwissenschaftliche Betreuung effektives und einsatzorientiertes Körpertraining ist bei seriöser, d.h. weitreichender Betrachtung als ebenso unabdingbar für die Einsatztauglichkeit zu sehen wie die selbstverständlich gewordenen Elemente der Pilotenschulung in Flugzeug, Simulator und Humanzentrifuge. Die Internalisierung dieses Körpertrainings muss den Piloten ebenso klarer Ausdruck ihrer mittel- und langfristigen Flug- und damit Einsatzbereitschaft sein wie den ihnen vorgesetzten Verantwortlichen.

Somit ist auch die Schaffung der Handlungsmöglichkeiten auf allen diesen Ebenen, also auch hinsichtlich der eng wechselwirksamen Betreuung interdisziplinärer Natur über die Feststellung der medizinischen Flugtauglichkeit hinaus sicherzustellen, wenn die augenblicklich technisch überlegenen vierte Generation der Kampfflugzeuge nicht ihre Limitierung durch den „Faktor Mensch“ an ungewisser Stelle erfahren will.

## Anhang

### Begriffserläuterungen

#### Checking 6

Standardprozedur des Kampfflugzeugpiloten, bei der der „tote Winkel“ hinter dem Piloten durch weitest mögliches Umdrehen (Oberkörper- und Kopf-Drehung) hinsichtlich generischer Flugzeuge beobachtet wird. Gemeint ist das Überprüfen der „6-Uhr“-Position.

#### Duellsituation, Luftkampf, Manöver

In der vorliegenden Arbeit wird zwischen diesen Begriffen nicht unterschieden. Hier meinen sie allesamt eine Flugsituation, die wesentlich durch enge Radienflüge und rasche Handlungsabläufe charakterisiert ist, die dazu dienen, in eine Position zu einem gegnerischen Flugzeug zu gelangen, die den Einsatz der Bordwaffen ermöglicht.

#### Flugzeug-Generationen

Nicht vereinheitlichte Terminologie hinsichtlich des technischen Entwicklungsstandes von (Strahl-)Flugzeugen. Gewöhnlich wird der Eurofighter Typhoon als Flugzeug der 4. Generation, bzw. 4.5ten Generation bezeichnet, der Saab 350 OE Draken als Flugzeug der 2. Generation.

#### G-Force, G-Kräfte, G-Faktor

Die G-Kräfte sind begrifflich aus der Gravitation (G) abgeleitet und meinen zuerst die einfache Erdanziehungskraft (1G) und in weiterer Folge die durch Beschleunigung (positive wie negative) auf einen Körper wirkende (Trägheit).

G-Kräfte werden beim Flugzeug in Faktoren der einfachen Erdanziehungskraft eingeteilt. Ihre Höhe hängt von der Beschleunigungsfähigkeit und der Enge der durchführbaren Flugradien ab.

Die wirkende G-Kraft kann über Geschwindigkeit und Radius des bewegten Objektes berechnet werden.

### **G-Lock**

G-induced Loss Of Consciousness - also der Bewusstseinsverlust induziert durch G-Kräfte, die so hoch sind, dass das cardiovaskuläre System des Piloten nicht mehr in der Lage ist, entgegen den physikalischen Wirkungen den Blutkreislauf homogen aufrechtzuerhalten.

### **grey-out (brown-out), red-out**

Die Effektbeschreibung des jeweiligen Blutversackens je nachdem, ob eine Innen- oder Außenkurve geflogen wird (sprich positive oder negative Belastungswirkung). Beim grey-out versackt das Blut in der Peripherie, wodurch das Blickfeld „grau“ getrübt wird, beim red-out wird ein Überdruck im Kopf verursacht, der sich durch Einblutungen in den Augen und ebenfalls Gesichtsfeldtrübungen zeigt. Beide Effekte sind Anzeichen bevorstehenden Bewusstseinsverlustes.

### **G-suite**

Die belastungskompensatorische Bekleidung des Piloten, welche dem Versacken des Blutes in die Peripherie entgegenwirkt, entweder durch äußerliche Abklemmung (ARA-System) mittels Druckluftmanschetten oder durch innere Abklemmung durch Kontraktion gegen den limitierenden Anzug (Libelle)

### **MFT-Brett**

Produkt der Firma MFT (Multifunktionale Sportgeräte), das in verschiedenen Varianten auf einem Brett basiert, an dessen Unterseite eine Holzrolle oder ein Ball befestigt ist. Mit diesem Brett können Gleichgewichtsübungen im präventiven oder rekreativen Bereich insb. zur Verbesserung der propriozeptiven Ansteuerung und des Gleichgewichtsempfindens ausgeführt werden. Eine Version mit Bodenplatte, die Sensoren, Interface und zugehörige Software inkludiert, dient der Analyse von Fertigkeiten und Verbesserungen derselben.

### **pressure-breath**

Gezielte Pressatmung bzw. Sauerstoffzufuhr unter erhöhtem atmosphärischem Druck über die Atemmaske, um das cardiovaskuläre System entgegen den physikalischen Auswirkungen (grey-out. Red-out) zu unterstützen.

## **ROM**

Range of Motion, also der Bewegungsradius oder die volle Amplitude, die ein Gelenk ausführen kann. I.d.R. kann von Soll-Werten und Ist-Werten gesprochen werden, deren etwaige Differenz (geringeres Ist als Soll) zumeist in muskulär verkürzten/abgeschwächten od. schmerzinduzierten Gründe zu suchen ist.

## **Überschallflugzeug, Jet, Strahlflugzeug**

Verschiedene Termini für ein düsengetriebenes (d.h. nicht propellergetriebenes) Flächenflugzeug, welches sich linear mit zumeist mehrfacher Schallgeschwindigkeit ( $v$  Schall = etwa 343 m/s) bewegen kann.

## **Schnell-Geräte**

Diagnostische und trainingsspezifische Geräte der Firma Schnell, welche für die sportwissenschaftliche Betreuung der Piloten des österreichischen Bundesheeres zum Zeitpunkt des Verfassens der Arbeit in Anschaffungsplanung sind.

## **Spacecurl/ Rhönrad**

Rhönrad: Sportgerät in Form eines großen Rundgestänges, in dem sich eine Person mittels gegenüberliegender Handgriffe und Beinschlaufen aufrecht stehend rollend fortbewegen kann. (verschiedene Übungsvariationen möglich, vgl. Rhönradsport)

Spacecurl: sozusagen eine mehrachsige Rhönrad-Konstruktion in der 3 rotierende Reifen ineinander aufgehängt sind und in deren innerstem Konstrukt eine Person aufrecht stehend um eben 3 Achsen drehen kann. Ursprünglich im Astronauten-Training in Verwendung.

## **Saab 105 OE**

Strahlflugzeug der österreichischen Luftstreitkräfte mit Schul- und Identifizierungsaufträgen. Indienststellung in Österreich 1970.

## **Saab 350 OE Draken**

Strahlflugzeug der österreichischen Luftstreitkräfte mit Aufklärungs- und Abfang-Aufträgen (aktive Luftraumüberwachung). Im Dienst 1987-2005

## **Schummelbewegungen**

Beschreibung motorischer Stereotype insb. bei der Arbeit mit freien Gewichten, welche durch Mitarbeit eigentlich nicht eingeplanter muskulärer Strukturen die Bewältigung höherer Lasten oder Wiederholungszahlen ermöglichen. Dabei wird i.d.R. durch

Destabilisation in den beteiligten Bewegungsachsen eine Verbesserung der Hebel und Einbeziehung sekundärer Strukturen erzielt. Besonders ist dies bei der Arbeit mit freien Gewichten möglich, aufgrund der fast immer dadurch auftretenden ungünstigen Kraftvektoren an den Gelenken sind Schummelbewegungen im Training zu vermeiden.

**1RM**

Das Ein-Wiederholungs-Maximum, also jene Last, die (im konzentrischen Krafttraining) mit maximaler willentlicher Anstrengung gerade einmal bewegt werden kann.

## Abkürzungen

allg.	allgemein
Anti-G	Anti-Gravitations
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
BWS	Brustwirbelsäule (columna thoracalis)
bzw.	beziehungsweise
C1, C2,...	vertebra cervicalis 1, 2,
et al.	et alia
d.h.	das heißt
div.	diverse, diversen
EMG	Elektromyogramm
FI	Finnland
ggf.	gegebenenfalls
GMP	generalisiert motorische Programme
HWS	Halswirbelsäule (columna cervicalis)
i.d.F.	in diesem Fall
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
jew.	jeweils, jeweilig
Kap.	Kapitel
lig.	ligamentum
LWS	Lendenwirbelsäule (columna lumbalis)
m. mm.	musculus, musculi
NVG	Night Vision Goggle (Nachtsichtgerät)
phys.	physiologisch
Pkt.	Punkt
ROM	range of motion
SE	Schweden
sec.	Sekunde, Sekunden
spez.	spezifisch
Tab.	Tabelle
u.	und
u.a.	unter anderem, und andere
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
u.s.f.	und so fort
u.U.	unter Umständen
u.s.w.	und so weiter
versch.	verschiedene

vgl.	vergleiche
WS	Wirbelsäule (columna vertebralis)
z.B.	zum Beispiel
1RM	1-Repetitions-Maximum

## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Tabelle 1 : Handlungsschema Duellsituation .....	25
Tabelle 2 : Ablauf-Protokoll Trainingsvorgabe G-Kräfte-Kompensation für die Humanzentrifuge.....	30
Tabelle 3 : Belastungsdauer .....	32
Tabelle 4 : „Checking 6“-muskelfunktionaler Handlungsablauf.....	36
Tabelle 5 : adaptionsfähige, primäre funktionale Struktur.....	41
Tabelle 6 : adaptionsfähige, sekundäre funktionale Struktur .....	43
Tabelle 7 : Belastungsdauern, energetisch-physiologischer Fokus .....	49
Tabelle 8 : Belastungsdauern, energetische Ausschöpfung.....	50
Tabelle 9 : Systematik der neuromuskulären Wechselwirkungen.....	60
Tabelle 10 : Systematik der evaluativen Maßnahmen.....	112

## Literaturverzeichnis

Alicsson, M.; Harms-Ringdahl, K.; Larson, B.; Linder, J.; Werner, S. (2004). Neck Muscle Strength and Endurance in Fighter Pilots: Effects of a Supervised Training Program. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75 (1), 23-28.

Äng, B. (2007). Neck Pain in Airforce Pilots. On Risk Factors, Neck Motor Functions and an Exercise Intervention. Dissertation. Stockholm: Karolinska Institutet

Aoki, M.; Matsunami, K.; Han, X.; Hironao, Y.; Muto, T.; Ito, Y. (2001). Neck muscle response to abrupt vertical acceleration in the seated human. *Exp Brain Research*, 140, 20-24.

Boeck-Behrens, W.; Buskies, W. (2000). *Fitness-Krafttraining. Die besten Übungen und Methoden für Sport und Gesundheit*. Leipzig: Rowohlt.

Bogduk, N. (2000). *Klinische Anatomie von Lendenwirbelsäule und Sakrum*. München: Springer.

Bölkow, L. (Hrsg.) (1990). *Ein Jahrhundert Flugzeuge. Geschichte und Technik des Fliegens*. Düsseldorf: VDI.

Buhrmann, J.; Perry, C. (1994). Human and Manikin Head/Neck Response to +Gz Acceleration When Encumbered by Helmets of various Weights. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65, 1086-1090.

Burnett, A.; Naumann, F.; Burton, E. (2004). Flight-Training Effect on the cervical Muscle Isometric Strength of Trainee Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75 (7), 611-615.

Burnett, F.; Naumann, F.; Price, R.; Sanders, R. (2005). A comparison of training methods to increase neck muscle strength. *Work Journal*, 25(3), 205-210.

Coakwell, M.; Bloswick, D.; Moser, R. (2004). High-Risk Head and Neck Movements at High G and Interventions to Reduce Associated Neck Injury. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75 (1), 68-79.

Conley, M.; Stone, M.; Nimmons, M.; Dudley, G. (1997). Specificity of resistance training response in neck muscle size and strength. *European Journal of Applied Physiology*, 75 (5), 443-448.

DeMarees, H.; Mester, J. (1991). *Sportphysiologie*. Frankfurt am Main: Verlag Moritz Diesterweg.

Ehlenz, H.; Grosser, M.; Zimmermann, E. (1998). *Krafttraining. Grundlagen, Methoden, Übungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme*. München: BLV Verlagsgesellschaft.

Falla, D.; O'Leary, S.; Fagan, A.; Jull, G. (2007). Recruitment of the deep cervical flexor muscles during a postural-correction exercise performed in sitting. *Manual Therapy Journal*, 12 (2), 139-143.

Fernandes, L.; Linder, J.; Krock, L.; Balldin, U.; Harms-Ringdahl, K. (2003). Muscle Activity in Pilots With and Without Pressure Breathing During Acceleration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74 (6), 626-631.

Gjelsvik, B. (2007). *Die Bobath-Therapie in der Erwachsenen-neurologie*. Stuttgart: Georg Thieme.

Goodmann, L.; Banks, R.; Grisett, J.; Saunders, P. (2000). Heart rate and blood pressure responses to +Gz following varied-duration -Gz. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71 (2), 137-141.

Goodmann, L.; Grosman-Rimon, L.; Mikuliszyn, R. (2006). Carotid sinus pressure changes during push-pull maneuvers. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 77 (9), 921-928.

- Gottlob, A. (2007,2). Differenziertes Krafttraining. Mit Schwerpunkt Wirbelsäule. München: Urban und Fischer.
- Green, N. (2003) Acute soft tissue neck injury from unexpected acceleration. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74 (10), 1085-1090.
- Green, N.; Brown, L. (2004). Head Positioning and Neck Muscle Activity During Air Combat. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75 (8), 676-680.
- Grosser, M.; Müller, H.; Griehl, R. (1993). Power-Stretch. Das neue Muskeltraining. München: BLV.
- Hanney, W.; Kolber, M. (2007). Improving Muscle Performance of the Deep Neck Flexors. *National Strength and Conditioning Association*, 29 (3), 78-83.
- Harms-Ringdahl, K.; Ekholm, J.; Schüldt, K.; Linder, J.; Ericson, M. (1996). Assessment of Jet Pilots' Trapezius Load Calibrated to Maximal Voluntary Contraction and a Standardized Load. *Journal Electromyogr. Kinesiol.*, 6 (1), 67-72.
- Hämäläinen, O.; Vanharanta, H. (1992). Effect of Gz Forces and Head Movements on Cervical Erector Spinae Muscle Strain. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 63, 709-716.
- Hämäläinen, O. (1993). Flight Helmet Weight, +Gz Forces, and Neck Muscle Strain. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 64, 55-57.
- Hämäläinen, O.; Vanharanta, H.; Bloigu, R. (1993). Determinants of +Gz-Related Neck Pain: A Preliminary Survey. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 64, 651-652.
- Hämäläinen, O.; Vanharanta, H.; Bloigu, R. (1994). +Gz-Related neck Pain: A Follow-up Study. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65, 16-18.
- Hämäläinen, O.; Vanharanta, H.; Hupli, M.; Karhu, M.; Kuronen, P.; Kinnunen, H. (1996). Spinal Shrinkage Due to +Gz Forces. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 76, 659-661.
- Hämäläinen, O.; Henijoki, H. (1998). Neck Training and +Gz-Related Neck Pain: A Preliminary Study. *Military Medicine*, 163, 707, 708.
- Hewson, D.; McNair, P.; Marshall, R. (2000). Aircraft control forces and EMG activity: comparison of novice and experienced pilots during simulated roll, loops and turns. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71 (8), 798-805.
- Hohmann, A.; Lames, M.; Letzelter, M. (2006). Einführung in die Trainingswissenschaften. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W.; Hettinger, T. (2000). Sportmedizin. Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Stuttgart: Schattauer.
- Janda, V.; Pavlu, D.; Herbenova, A. (2000). Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. München: Urban und Fischer.
- Kikukawa, A.; Tachibana, S.; Yagura, S. (1994). G-Related Musculoskeletal Spine Symptoms in Japan Air Self Defense Force F-15 Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65, 269-272.
- Kopenhagen, W. (2002). Die Luftstreitkräfte der NVA. Stuttgart: Motorbuch.
- Lagler, E. (1987). Kommandantenhandbuch. Wien: Herold.
- Lauritzsen, L.; Pfitzner, J. (2003). Pressure breathing in fighter aircraft for G accelerations and loss of cabine pressurization at altitude –a brief review. *Canadian Journal of Anesthesia*. 50 (4), 415-129.

- Leggett, S.; Graves, J.; Pollock, M.; Shank, M.; Carpenter, D.; Holmes, B.; Fulton, M. (1991). *American Journal of Sports Medicine*, 19 (6), 653-659.
- Maeda, A.; Nakashima, T.; Shibayama, H.; (1994). Effect of training on the strength of cervical muscle. *Ann Physiol Anthropol Journal*, 13(2), 59-67.
- McCloskey, K.; Esken, R. (1995). Evaluation of Integrated Night Vision Goggle (NVG) Helmets Under Sustained +Gz. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66, 118-125.
- McGill, S. (2002). *Low Back Disorders*. Leeds: Human Kinetics.
- Naumann, F.; Bennell, K.; Wark, J.; (2001). The Effect of +Gz Force on the Bone Mineral Density of Fighter Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 72 (3), 177-180.
- Netto, K.; Burnett, A. (2006). Neck Muscle Activation and Head Postures in Common High Performance Aerial Combat Maneuvers. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 77 (19), 1049-1055.
- Nigg, B.; Herzog, W. (1999). *Biomechanics of the Musculo-Skeletal System*. Berlin: Wiley
- Oksa, J.; Hämmäläinen, O.; Rissanen, S.; Myllyniemi, J.; Kuronen, P. (1996). Muscle strain during aerial combat maneuvering exercise. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67 (12), 1138-1143.
- Nikander, R.; Mälkiä, E.; Parkkari, J.; Heinonen, A.; Starck, H.; Ylinen, J.; (2006). Dose-response relationship of specific training to reduce chronic neck pain and disability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38 (12); 2068-2074
- Oksa, J.; Hämmäläinen, O.; Rissanen, S.; Salminen, M.; Kuronen, P. (1999). Muscle Fatigue Caused by Repeated Aerial Combat Maneuvering Exercises. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70 (6), 556-560.
- O'Leary, S.; Jull, G.; Kim, M.; Vincencino, B. (2007). Specificity in retraining craniocervical flexor muscle performance. *Journal of Orthopaedic Sports Physical Therapy*, 37 (1), 3-9.
- Panjabi, M. White, A. (1990). *Clinical Biomechanics of the Spine*. Philadelphia: Lippincott.
- Platzer, W. (1999, 7). *Taschenatlas der Anatomie*. Stuttgart: Georg Thieme.
- Pleiner, H. (1993). *Allgemeiner Stabsdienst. Ein Beitrag zur Organisationskultur*. Wien: Truppendienst.
- Pokan, R.; Förster, H.; Hofmann, P.; Hörtnagl, H.; Ledl-Kurkowski, E.; Wonisch, M. (2004). *Kompendium der Sportmedizin. Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie*. Wien: Springer.
- Psychrembel, W. (Hrsg.). (2002, 259.). *Klinisches Wörterbuch*. Berlin: De Gruyter.
- Ravi, R. (2005). Anterior cervical Fusion and combat flying: A case report. *Ind. Journal Aerospace Medicine*, 49 (2), 68-70.
- Seng, K.; Lam, P.; Lee, V. (2003). Acceleration Effects on Neck Muscle Strength. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 74 (2), 164-167.
- Smith, S. (2004). Cockpit Seat and Pilot Helmet Vibration During Flight Operations on Aircraft Carriers. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 75 (3), 247-254.
- Sovelius, R.; Oksa, J.; Rintala, H.; Huhtala, H.; Ylinen, J.; Siitonen, S. (2006). Trampolin Exercises vs. Strength Training to Reduce Neck Strain in Fighter Pilots. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 77 (1), 20-25.

Stahl, P. (1990). Kampfflieger zwischen Eismeer und Sahara. In meinem Fall: Ju 88. Stuttgart: Motorbuch.

Suryanarayana, L.; Kumar, S. (2004). Quantification of isometric cervical strength at different ranges of flexion and extension. *Clinical Biomechanics*, 20, 138-144.

Taylor, M.; Hodgdon, J.; Griswold, L.; Miller, A.; Roberts, D.; Escamilla, R. (2006). Cervical Resistance Training: Effects on Isometric and Dynamic Strength. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 77 (11), 1131-1135.

Valkeinen, H.; Ylinen, J.; Mälkiä, E.; Alen, M.; Häkkinen, K. (2002). Maximal force, force/time and activation/coactivation characteristics of the neck muscles in extension and flexion in healthy men and women at different ages. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 247-254.

VanDijke, G.; Snijders, C.; Roosch, E.; Burgers, P. (1993). Analysis Of Biomechanical and Ergonomic Aspects of the Cervical Spine in F-16 Flight Situations. *Journal Biomechanics*, 26 (9), 1017-1025.

Weineck, J. (1996). *Sportbiologie*. Balingen: Perimed-Spitta.

Wick, D. (2005). *Biomechanische Grundlagen sportlicher Bewegung*. Lehrbuch Biomechanik. Balingen: Perimed Spitta.

## **Fragenprotokoll Experteninterview**

**für die Diplomarbeit**

**„Präventive Maßnahmen zur Belastungskompensation an der Halswirbelsäule für Piloten des Eurofighter Typhoon“**

**Protokollschema:**

**Teil 1: Biometrische Daten**

**Teil 2: Physiologisches Anforderungsprofil**

**Teil 3: spezifische lokale Beschwerdebilder**

**Teil 4: Trainingsspezifische Fragen**

**Datum/ Zeit:**

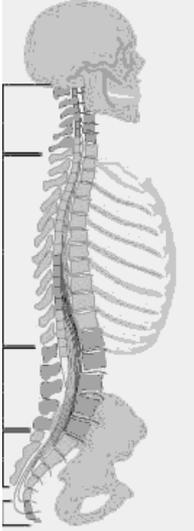
**Durchführung (Ort/ Personen):**

**Anmerkung:**

## Teil 1: Biometrische Daten

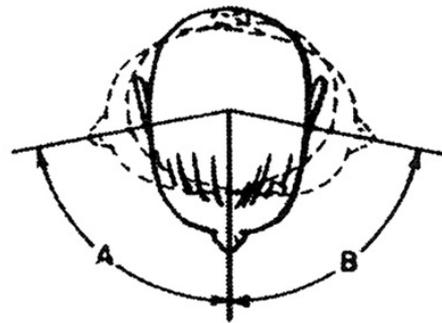
Unterschiedliche Sitzposition(en) während versch. Flugphasen?

**Beckenkipfung Sagittalebene**



Häufigkeit (hoch/ niedrig):

**Rumpfdrehung Transversalebene**



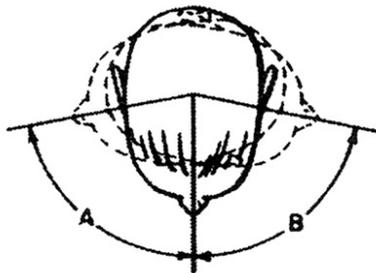
Häufigkeit (hoch/ niedrig):

**Kopfbewegungen in den versch. Ebenen wie weit (nötig/ möglich)?**

**Seitliche Drehung**

Ja/nein:

Auslenkung max. etwa:

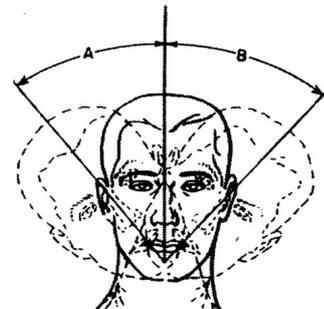


Häufigkeit (hoch/niedrig):

**Seitlich Kippen**

Ja/nein:

Auslenkung max. etwa:

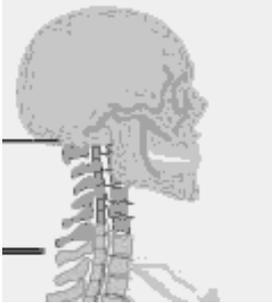


Häufigkeit (hoch/ niedrig):

### **Vorwärts (Kyphose CWS)**

Ja/nein:

Auslenkung max. etwa:

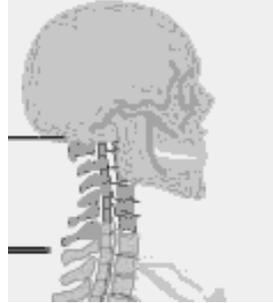


Häufigkeit (hoch/niedrig):

### **Rückwärts (Hyperlordose CWS)**

Ja /nein:

Auslenkung max. etwa:



Häufigkeit (hoch/ niedrig):

**Häufig wiederkehrende, spezielle Standard-Bewegungen?**  
(„Checking 6“,...)

**Spezielle zusammengesetzte Rotationen?**

Ja/ nein:

Ausführungsform etwa:

Häufigkeit (hoch/niedrig):

## **Teil 2: Physiologisches Anforderungsprofil**

**Norm-Flugdauer im Schnitt?**

**Flüge je Tag/ Woche?**

**Gesamtflugdauer je Woche?**

**Zusätzliche allg. Belastungsphasen?**

**Hohe G-Belastungen (6-9) während des Einsatzfluges?**

Geschätzte Anzahl gesamt:

Zeitliche Wirkungsdauer:

**Mittlerer G-Belastungen (3-5) während des Einsatzfluges?**

Geschätzte Anzahl gesamt:

Zeitliche Wirkungsdauer:

**Kompensationstechniken?**

Pressatmung?

Muskelkontraktionen?

Kombinierte Techniken?

**Kontraktionen im oberen WS-Bereich?**

(konzentrisch/exzentrisch, isometrisch realisiert?)

## **Teil 3: spezifische lokale Beschwerdebilder**

### **Schmerzempfinden obere WS/ Nacken?**

Ja/ nein:

Während/ nach Flügen:

Besondere Belastungscharakteristika des jew. Fluges:

Schmerzaufreten häufig/selten/singulär:

### **Schmerzcharakteristik**

Muskulär/ knöchern/ diffus?

Bewegungsschmerz/ Belastungsschmerz/ Chronisch/ Different?

### **Auftreten**

Unmittelbar während/nach oder in zeitlichem Abstand zu Flügen?

Dauerhaft oder zeitlich begrenzt?

Klar belastungsform-bezogen oder diffus?

## **Teil 4: Trainingsspezifische Fragen:**

### **Regelmäßiges Körpertraining?**

Ja/nein?

Verpflichtend/freiwillig?

Dauerhaft betreut/ zumeist frei/ gänzlich frei?

Kraft? Ausdauer? Kombiniert? Sonstiges?

Stunden je Woche gesamt etwa?

### **Spezielles Training für neuen Flugzeugtyp?**

Ja/ nein?

Unterschiede/ Schwerpunkte?

### **Grundsätzlich Interesse an speziellen, präventiven Trainingsformen?**

Ja/nein?

Motivation (hoch/mittel/niedrig)?

In den Dienstbetrieb einplanbar?

### **Vorbedingungen?**

(Betreuung, Dauer, Intensität, Räumlichkeiten, Inhalte, Abwechslung,...)

### **Lebenslauf Ingo Panovsky**

21.10.1974 geboren in St.Pölten, Österreich

1980-1993 Volksschule, Gymnasium und BORG der Stadt St.Pölten

1993-2010 Wehrdienst österr. Bundesheer sowie div. Verpflichtungen ebenda

1995-1997 zeitweilig Studium der Rechtswissenschaften an der Universität Wien

1997-2009 Studium Sportwissenschaften an der Universität Wien

2009-2010 Magisterstudium Sportwissenschaften an der Universität Wien