

# **Langzeitmissionen zu Mond und Mars: Psychologische Aspekte<sup>1</sup>**

Prof. Dr. habil. Dietrich Manzey  
Fachhochschule Nordostniedersachsen  
Fachbereich Wirtschaftspsychologie  
Wilschenbrucher Weg 84a, D-21337 Lüneburg

## **1. Einleitung**

Raumfahrtmissionen zu Mond und Mars und die Errichtung von permanent bemannten Stationen auf diesen Himmelskörpern stellen eine große Herausforderung zukünftiger Raumfahrt dar. In der Diskussion dieser Missionen stehen naturgemäß oft nur die damit verbundenen zentralen und komplexen ingenieurwissenschaftlichen Fragen im Vordergrund, etwa nach der Gestaltung geeigneter Transportsysteme, der Gestaltung permanent bewohnbarer Habitate oder der Entwicklung geeigneter Systeme zur Nutzung lokal verfügbarer Ressourcen. Dabei darf aber nicht übersehen werden, dass derartige Missionen auch mit einer Reihe psychologischer Probleme verbunden sind, die aus den psychischen Belastungen resultieren, denen die Astronauten bei diesen Missionen ausgesetzt sind und die zu limitierenden Faktoren für den Erfolg interplanetarer Weltraumexpeditionen werden können. Auf der Basis von Forschungsberichten und Erfahrungen von russischen und amerikanischen Langzeitraumflügen, von sogenannten analogen Umwelten (z.B. Antarktisstationen, Unterwasser-Habitate) und von Simulationsstudien am Boden wird im folgenden zunächst ein kurzer Überblick über die psychologischen Belastungen und Beanspruchungen von Astronauten bei Langzeitmissionen gegeben. Darauf aufbauend werden mögliche (psychologische) Unterstützungsmaßnahmen vorgestellt und es wird diskutiert, inwieweit sich diese Befunde und Erfahrungen von bisherigen Missionen auf zukünftige Missionen zu Mond und Mars übertragen lassen.

## **2. Psychologische Belastungen und Beanspruchungen von Astronauten bei Langzeitmissionen**

Während einer Raumfahrtmission sind Astronauten einer Vielzahl von Belastungsfaktoren ausgesetzt, die mit den Spezifika der Weltraumumgebung (z.B. Mikrogravitation, veränderter Hell-Dunkel-Zyklus), den technischen Spezifika des Weltraumhabitats (z.B. Confinement, Lärm, erhöhtes CO<sub>2</sub>-Niveau in der Atemluft), den jeweiligen Missionsaufgaben (z.B. operationelle Aufgaben, Experimentalprogramm) und den psychosozialen Bedingungen (z.B. Isolation von Familie und Freunden, fehlende Privatsphäre, eingeschränkte und erzwungene Sozialkontakte) zusammenhängen. Als Reaktion auf diese Belastungen kann es zu psychologischen Beanspruchungseffekten kommen, die sich sowohl auf individueller Ebene, z.B. in Einschränkungen der mentalen Leistungsfähigkeit oder psychischen Stabilität, als auch auf der Ebene der Crew-Prozesse (z.B. Auftreten interpersonaler Spannungen und Konflikte, Verlust der Crew-Kohäsion, Konflikte mit Bodencrew) zeigen können.

---

<sup>1</sup> Vortrag gehalten beim Workshop "Leben und Arbeiten auf Mond und Mars", RWTH Aachen, 27.3.2000

## 2.1 Mentale Leistungsfähigkeit

Theoretisch sind zwei verschiedene Ursachen denkbar, die zu Einbußen mentaler Leistungsfähigkeit während Raumfahrtmissionen führen können [12]:

- Mikrogravitationsbedingte Veränderungen neurophysiologischer Prozesse
- Veränderungen zentraler Aktivierungsprozesse im Zusammenhang mit Confinement-, Isolations- und Monotonie-Effekten und anderen raumfahrtrelevanten Stressoren

Während mikrogravitationsbedingte Veränderungen neurophysiologischer Prozesse vor allem visuo-motorische Leistungen während der primären Adaptation an veränderte Gravitationskräfte beeinträchtigen sollten [12], können stress-bedingte Veränderungen der zentralen Aktivierung zu einer Verlangsamung und geringeren Präzision von kognitiven Prozessen, einer reduzierten Aufmerksamkeitsweite (*attentional narrowing*), oder Einbußen der Kurzzeitmerkfähigkeit führen [8].

Einen methodischen Ansatz derartige Leistungseffekte bei Raumflügen zu untersuchen stellen sog. *Leistungsmonitoring*-Untersuchungen dar, bei denen elementare perzeptive, kognitive und psychomotorische Funktionen während einer Mission wiederholt mittels geeigneter Leistungstests untersucht und die Ergebnisse dann mit Referenzdaten verglichen werden, die vor dem Flug erhoben wurden. Derartige Untersuchungen sind bisher vor allem bei Kurzzeitmissionen (< 4 Wochen) und entsprechenden Bodensimulationen durchgeführt worden. Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend, dass elementare kognitive Funktionen (z.B. Genauigkeit und Geschwindigkeit des Gedächtniszugriffes) unter den Lebens- und Arbeitsbedingungen bei einer Kurzzeitmission weitgehend konstant bleiben, sich aber bei einem Teil der so untersuchten Astronauten deutliche Einbußen bei visuo-motorischen Leistungen (manuelles Tracking) und bei komplexen Aufmerksamkeitsleistungen (z.B. simultane Bearbeitung zweier Aufgaben) zeigen, die mit Problemen bei der Anpassung an die Mikrogravitation und kumulativen Müdigkeitseffekten aufgrund reduzierter Schlafdauer zusammen zu hängen scheinen [13].

Ähnliche Untersuchungen von Langzeitraumflügen fehlen bisher weitgehend. Frühe Zeit- und Bewegungsstudien während Skylab-Missionen [11] zeigten lediglich am Beginn einer Mission einzelne Leistungseinbußen, die sich vor allem in einer Verlangsamung beim Zusammenbau von Experimenthardware abbildeten, aber bereits nach wenigen Tagen wieder vollständig verschwunden waren. Ergebnisse einer ersten umfassenden Leistungsmonitoring-Studie während einer extremen Langzeitmission haben Manzey et al. [14] vorgelegt. In dieser Untersuchung wurde die Genauigkeit und Geschwindigkeit von elementaren kognitiven Prozessen (logisches Denken, Gedächtniszugriff), die Präzision manueller Steuerbewegungen (visuo-motorisches Tracking) und die Effizienz komplexer Aufmerksamkeitsprozesse (simultane Aufgabenbearbeitung) bei einem russischen Kosmonauten an insgesamt 22 verschiedenen Messzeitpunkten während seines 438-tägigen Aufenthaltes auf der MIR-Station untersucht. Die Ergebnisse konvergieren mit denen von Kurzzeitmissionen und zeigen, dass die dort gefundenen Leistungseinbußen bei visuo-motorischen Aufgaben nur während einer zeitlich begrenzten Adaptationsphase bei Langzeitmissionen auftreten. Während die kognitiven Leistungen über die Missionsdauer hinweg weitgehend konstant blieben und deutliche Leistungseinbußen bei den kognitiven Aufgaben nur an den Tagen

unmittelbar vor dem Start deutlich wurden (Abbildung 1 oben), zeigten sich während der ersten zwei Wochen der Mission signifikante Leistungsbeeinträchtigungen in der visuo-motorischen Trackingaufgabe. Nach dieser Adaptationsphase stabilisierten sich auch diese Leistungen wieder auf dem Baseline-Niveau der Vorflug-Phase und blieben dann bis zum Ende der Mission konstant (Abbildung 1 unten). Lediglich bei der Re-Adaptation an die Erdbedingungen traten erneut deutliche Leistungseinbußen im Tracking auf, die aber wiederum innerhalb der ersten zwei Wochen nach der Mission auf das Baseline-Niveau zurückkehrten.

Abbildung 1: Leistungsverläufe für verschiedene Aufgaben vor, während und nach einer 438-tägigen Mission zur Raumstation Mir. Oben: Geschwindigkeit (Kurven) und Fehlerraten (Balken) bei einer kognitiven Aufgabe (logisches Denken). Unten: Trackingfehler bei einer eindimensionalen visuo-motorischen Trackingaufgabe. Die parallelen Linien markieren jeweils den Bereich statistisch nicht-signifikanter Leistungsvariationen. (Aus [14]).

Wenngleich es sich bei diesen Befunde auch nur um Einzelfallbefunde von einem vergleichsweise erfahrenen Kosmonauten handelt, so belegen sie doch, dass nach erfolgreicher Adaptation an die Weltraumbedingungen eine Konstanz mentaler Leistungsfunktionen auf hohem Niveau auch bei extremen Langzeitmissionen grundsätzlich möglich erscheint. Belegt wird dies auch von Ergebnissen einer Reihe von Leistungsuntersuchungen, die unter Verwendung sehr viel komplexerer Aufgaben bei Simulationsstudien und während einer achtmonatigen Überwinterung in der Antarktis durchgeführt wurden und in denen jeweils auch keine oder nur sehr schwache und schwer zu interpretierende Hinweise auf Leistungseinbußen gefunden wurden [23, 24]. Allerdings ist die insgesamt verfügbare Datenbasis derzeit noch zu gering, um abschließende Aussagen über die möglichen Risiken einer Beeinträchtigung mentaler Leistungsfunktionen bei interplanetaren Langzeitmissionen zu machen.

Das gilt insbesondere für geplante Missionen zum Mars, die sich nicht nur im Hinblick auf ihre Länge von anderen Missionen unterscheiden, sondern zudem Leistungsanforderungen an die Astronauten stellen werden, die mit denjenigen von bisher bekannten Raumfahrtmissionen oder Expeditionen auf der Erde nicht vergleichbar sind und über die bisher nur wenig fundiertes Wissen vorliegt. Dazu gehört die Aufrechterhaltung kritischer Fertigkeiten (*skill maintenance*) über lange Zeitintervalle ohne Praxis [22]. Ein Beispiel dafür ist ein möglicherweise manuell zu steuerndes Landemanöver auf dem Mars nach einer mehrmonatigen Transferphase, während derer diese Fertigkeit nicht trainiert werden konnte. Mit welchen kritischen Konsequenzen eine Anwendung von Fertigkeiten nach längeren Zeitintervallen ohne Praxis verbunden sein können, macht eine kürzlich publizierte Analyse einer Kollision zwischen einer Progress-Kapsel und der russischen MIR-Station deutlich, in der die mangelnde Effizienz eines vorher lange nicht ausgeübten manuellen Andock-Manövers zusammen mit anderen Faktoren (Müdigkeit, schlechtes Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle) als maßgebliche Ursache identifiziert werden konnte [3]. Ein weiteres Beispiel für neue Leistungsanforderungen bei Mars-Missionen liefert die weitgehende autonome (d.h. ohne *on-line* Bodenunterstützung) durchzuführende Bedienung und Überwachung sehr komplexer lebenserhaltender Systeme und Fertigungstechnologien, die ebenfalls komplexe Fertigkeiten verlangen werden, ohne dass diese auf der langen Transferphase adäquat trainiert werden können. Schließlich können neue Leistungsanforderungen bei Marsmissionen auch darin bestehen, völlig neue Fertigkeiten erst während der Mission, d.h. unter den Belastungen der extremen Bedingungen im Weltraum, zu erwerben. Dies wird z.B. dann der Fall sein, wenn bei einer geschätzten Missionsdauer von 3 Jahren (NASA-Referenzmission) nicht alle der dafür benötigten Fertigkeiten bereits vor der Mission trainiert werden können, oder wenn auf nicht-vorhergesehene Ereignisse reagiert werden muß. Alle diese neuen Leistungsanforderungen werfen nicht nur neue Fragen für die psychologische Forschung auf (z.B. nach effizienten Trainingsmethoden), sondern implizieren auch die Lösung ingenieurpsychologischer Probleme, wie die Bereitstellung kompakter *onboard*-Simulatoren für ein Training kritischer Fertigkeiten während der Transferphase, die Entwicklung neuer Konzepte für eine Mensch-Maschine Funktionsteilung [19] und die Entwicklung neuer (Experten-) Systeme für eine optimale Nutzerunterstützung unter den Bedingungen maximaler Nutzer-Autonomie.

## 2.2 Psychische Stabilität

Zu den wichtigsten Belastungsfaktoren, die die psychische Stabilität von Astronauten bei Langzeitmissionen gefährden, gehören vor allem

- Confinement, d.h. das permanente Eingeschlossensein in einem Habitat innerhalb einer lebensfeindlichen Umgebung,
- Monotonie der Lebens- und Arbeitsumgebung und Langeweile,
- Isolation vom gewohnten sozialen Netz (Familie, Freunden).

Basierend auf Erfahrungen von russischen Langzeitmissionen in den Raumstationen Salyut und Mir, lassen sich unter diesen Bedingungen verschiedene Phasen des psychischen Zustandes unterscheiden [5]. Eine besonders kritische Phase beginnt danach etwa zur Mitte einer fünf- bis sechs-monatigen Mission, wenn einerseits die primäre Adaptation erfolgreich bewältigt wurde, die neuen Eindrücke verarbeitet worden sind und sich an Bord eine Alltagsroutine einstellt, andererseits aber noch ein großer Teil der Mission zu bewältigen ist. In dieser Phase verstärkt sich die Wirkung der o.g. Belastungsfaktoren und es kann sich, bei Fehlen effizienter Unterstützungsmaßnahmen, ein manifestes Syndrom entwickeln, das als *Asthenie* bezeichnet wird [9]. Es ist gekennzeichnet durch einen massiven Motivations- und Interessensverlust, zunehmende Passivität, Gefühle der Erschöpfung, Schlafstörungen, depressive Reaktionen und eine erhöhte Reizbarkeit. Diese kritische Phase wird erst kurz vor dem Ende der Mission wieder abgelöst von Gefühlen der Euphorie angesichts der baldigen Rückkehr zur Erde. Eine Beschreibung ähnlicher Effekte findet sich auch in zahlreichen anekdotischen Berichten und einzelnen empirischen Studien von Antarktis-Expeditionen, insbesondere Überwinterungen. Bechtel und Berning [1] haben dafür den Begriff *Third-Quarter Phenomenon* geprägt und nehmen an, dass das dritte Viertel einer Langzeitmission unter Isolation und Confinement grundsätzlich, d.h. unabhängig von der genauen Dauer der Mission, eine psychologisch besonders problematische Phase darstellt, in deren Verlaufe sich die psychische Befindlichkeit zunehmend verschlechtert, Gefühle der Energielosigkeit und Erschöpfung auftreten und Müdigkeit, Angstgefühle und depressive Reaktionen zunehmen. Die subjektiv am stärksten wahrgenommenen Belastungsfaktoren scheinen dabei, neben der Isolation, Gefühle der Monotonie und Langeweile zu sein. Das geht aus zahlreichen Tagebuchaufzeichnungen und Berichten von Expeditionsteilnehmern und Kosmonauten/Astronauten hervor [25]. Allerdings gibt es bisher nur sehr wenige systematische Untersuchungen zu diesem Bereich und die Ergebnisse sind zum Teil widersprüchlich und nicht immer eindeutig zu interpretieren [7, 18]. Ernsthaftes psychiatrische Erkrankungen im Sinne einer manifesten Depression, Angststörung oder Psychose bilden die Ausnahme von der Regel, wurden aber z.B. während Antarktis-Expeditionen durchaus auch beobachtet [2]. Die Erkrankungswahrscheinlichkeiten sind aber nur sehr gering und können durch eine sorgfältige Selektion der Probanden vermutlich weiter minimiert werden.

## 2.3 Crew-Prozesse

Die verschiedenen psychologischen Belastungen bei Langzeitmissionen unter Confinement und Isolation können sich nicht nur auf die individuelle Leistungsfähigkeit und psychische Stabilität von Astronauten negativ auswirken, sondern auch die Zusammenarbeit und sozialen Beziehungen innerhalb der Astronauten-Crew beeinträchtigen und damit den Missionserfolg gefährden. Das wird insbesondere durch Ergebnisse von Antarktis-Überwinterungen und kontrollierten Simulationsstudien belegt. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse einer Untersuchung, in der der Verlauf des Gruppenklimas während einer Überwinterung in der Antarktis analysiert wurde [17]. Während es nach dem Schließen der Station am Beginn der Überwinterungsphase zunächst zu einem Anstieg der Gruppenmoral kam, der sich vor allem in vielen gemeinsamen Aktivitäten und intensiver Interaktion zwischen den verschiedenen Crew-Mitgliedern zeigte, nahm das Gruppenklima nach einigen Wochen sukzessive ab und erreichte einen Tiefpunkt nach etwa 6 Monaten der 8-monatigen Überwinterungsphase.

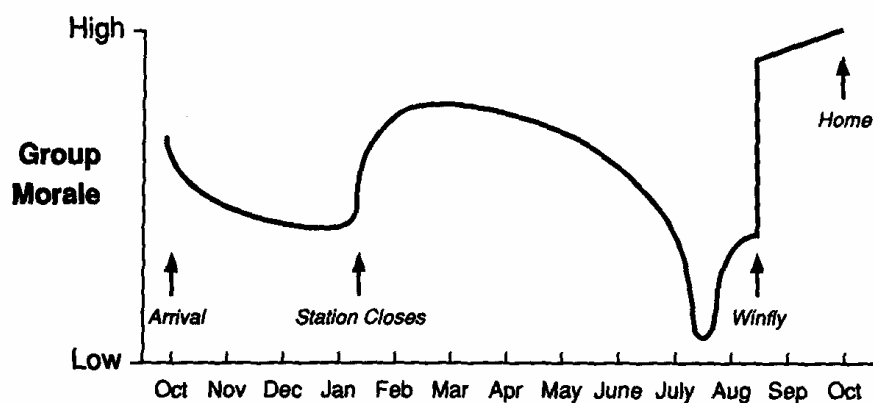


Abbildung 2: Ergebnisse einer deskriptiven Studie zur Entwicklung der Gruppenmoral innerhalb einer großen Crew während der Überwinterung in der Antarktis. (Aus [17]).

Typische Effekte von Confinement und Isolation auf Crew-Prozesse sind:

- Zunahme interpersoneller Spannungen und Verstärkung eigentlich unbedeutender Konflikte,
- Bildung von Koalitionen und Cliques insbesondere in heterogenen Crews,
- Isolation einzelner Crew-Mitglieder.

Diese Effekte können sich im negativen Fall so verstärken, dass es zu einem kompletten Zusammenbruch des Crew-Zusammenhaltes kommt. Dass ein derartiger Effekt bereits nach relativ kurzer Zeit auftreten kann, belegen die Ergebnisse einer Simulationsstudie, bei der die sechs Mitglieder einer internationalen Crew über 30 Tage in einem geschlossenen, etwa 100 m<sup>3</sup> großen Überdruckkammer-System zusammen leben und arbeiten mussten [20]. Abbildung 3 zeigt die Veränderungen der Interaktionsmuster zwischen den Crewmitgliedern während regelmäßig stattfindender Crew-Besprechungen in Abhängigkeit von der Missionsdauer. Während das Interaktionsmuster am Beginn der Mission (Tag 2) noch keine wesentlichen Auffälligkeiten enthält und alle Crew-Mitglieder noch untereinander und mit dem Missionsleiter (*Commander*, Subjekt C) kommunizieren, ist das Interaktionsmuster am Ende

der Mission (Tag 26) deutlich verändert und weist auf einen weitgehenden Verlust der Crew-Kohäsion hin. Eines der Crew-Mitglieder (D) ist vollständig von der Kommunikation ausgeschlossen und isoliert. Mit Ausnahme des *Commanders*, der jeweils noch mit den restlichen vier Crew-Mitgliedern kommuniziert, seine überwiegenden Kommunikationen aber allgemein an die Gruppe richtet, interagieren die anderen Crew-Mitglieder nicht mehr mit einander. Zudem zeigt eine inhaltliche Analyse dieser Interaktionen, dass zu diesem Zeitpunkt die Anzahl negativer und ängstlicher Gefühlsäußerungen ein Maximum erreichen.

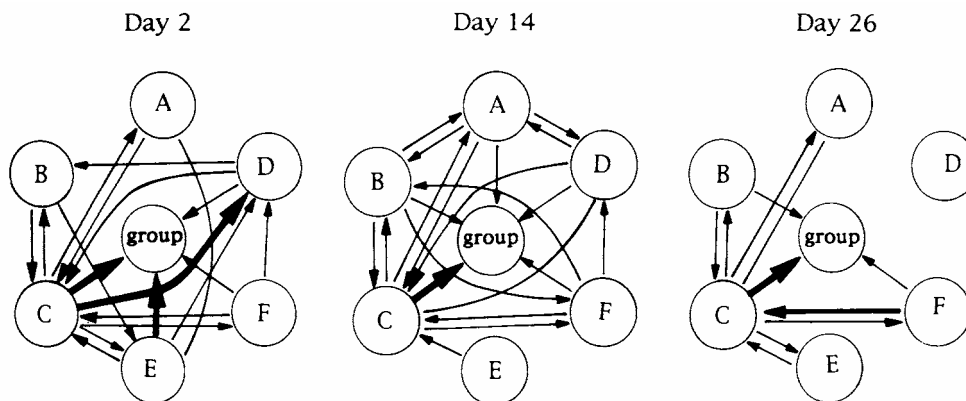


Abbildung 3: Interaktionsmuster zwischen den sechs Mitgliedern einer internationalen Crew nach 2, 14 und 26 Tagen Confinement während eines am Boden simulierten 30-tägigen Raumfluges. Proband C fungierte als *Commander* der Crew. (Aus [20]).

Die wesentlichen Faktoren, die zu interpersonellen Spannungen unter Confinement und Isolation beitragen und daher vermieden werden sollten, liegen in

- einer mangelnden psychologische Kompatibilität der Crew-Mitglieder,
- einer mangelnden Führung,
- einer unklaren Rollenstruktur innerhalb der Crew,
- fehlenden privaten Rückzugsmöglichkeiten,
- einem Fehlen oder Verlust gemeinsamer Ziele.

Ein spezielles Problem stellen dabei internationale Crews dar, in denen Mitglieder unterschiedlicher ethnischer Herkunft mit unterschiedlichen Muttersprachen und unterschiedlichem kulturellen Hintergrund zusammen leben und arbeiten. In diesen Crews können zusätzlich zu den genannten Faktoren vor allem nationale Subgruppen-Bildungen und interpersonelle Spannungen auftreten, die mit einem mangelnden Verständnis für kulturbedingte Unterschiede in Verhalten und Einstellungen zusammenhängen [21].

Neben interpersonellen Spannungen innerhalb einer Crew, kommt es während Langzeitmissionen häufig auch zu Konflikten zwischen der Crew und dem Personal der jeweiligen Kontrollstation [7, 10]. Diese Konflikte können die für eine erfolgreiche Mission notwendige Kooperation zwischen Astronauten und Bodenpersonal nachhaltig beeinträchtigen. Untersucht man die Ursachen dieser Konflikte, so hängen sie einerseits mit einem zunehmenden Egozentrismus und einer zunehmenden Autonomie der unter Confinement- und Isolations-Bedingungen arbeitenden Crew zusammen, die mit der

Einschätzung mangelnder Kompetenz Außenstehender und Gefühlen fehlenden Verständnisses und mangelnder Anerkennung einhergehen [6]. Andererseits haben sie aber auch häufig ihre Ursache in einem *Sündenbock*-Effekt, bei dem die interpersonellen Spannungen, die sich innerhalb einer Crew aufbauen, aber angesichts der Situation nicht in offenen Konflikten ausgetragen werden können, bewusst oder unbewusst auf Dritte verlagert werden [10].

### **3. Präventive Maßnahmen zum Erhalt der Leistungsfähigkeit, psychischen Stabilität und Crew-Kohäsion**

Mögliche Maßnahmen zum Erhalt der Leistungsfähigkeit, psychischen Stabilität und Crew-Kohäsion sind auf verschiedenen Ebenen denkbar und umfassen vor allem

- die Gestaltung der Weltraumhabitate,
- die Gestaltung der (technischen) Arbeitsumgebung und -inhalte
- spezifische psychologische Maßnahmen.

Weltraumhabitate für Langzeitmissionen sollten in jedem Fall so gestaltet sein, dass sie private Rückzugsmöglichkeiten gestatten und damit das Bedürfnis nach einer – wenn auch noch so kleinen – Privatsphäre unterstützen [25]. Kombiniert mit der Möglichkeit zu privater Kommunikation mit Freunden und Familienangehörigen kann darin eine wesentliche Voraussetzung für den Erhalt psychischer Stabilität und einer Vermeidung eskalierender interpersoneller Konflikte gesehen werden. Eine weitere unabdingbare Voraussetzung bildet eine Auslastung der einzelnen Crew-Mitglieder mit als *sinnvoll wahrgenommenen* Arbeitstätigkeiten. Das betrifft sowohl die technische Gestaltung der Arbeitsumgebung und hier in erster Linie die dabei verfolgten Konzepte einer Mensch-Maschine Funktionsteilung in automatisierten Systemen, als auch die Definition angemessener (d.h. nicht über- und nicht unterfordernder) Arbeitsprogramme. Insbesondere sollte gegeben sein, dass die von den Astronauten auszuführenden Tätigkeiten zumindest in gewissen Rahmen eigene Zielsetzungen und Freiheitsgrade bei der Ausführung zulassen. Im Hinblick auf die Bedienung automatisierter Lebenserhaltungs- und (im Falle interplanetarer Missionen) Fertigungs-Systeme wird es vor allem darauf ankommen, Automatisierungskonzepte zu definieren, die nicht allein von den gegenwärtigen Automatisierungsmöglichkeiten bestimmt werden und damit die Tätigkeit der Astronauten auf die nicht-automatisierbaren Resttätigkeiten beschränken, sondern die vielmehr auf einer sorgfältigen Analyse der Vor- und Nachteile bestimmter Mensch-Maschine Funktionsteilungen im Hinblick auf die damit verbundenen psychologischen Konsequenzen für die Leistungsfähigkeit und psychische Stabilität der Astronauten basieren [19].

Zu spezifisch präventiv-psychologischen Maßnahmen, die für einen Erhalt der Leistungsfähigkeit, psychischen Stabilität und Crew-Kohäsion bereits eingesetzt werden oder eingesetzt werden können, gehören die psychologische Selektion und ein psychologisches Training von Astronauten(kandidaten), sowie verschiedene missionsbegleitende Unterstützungsmaßnahmen [15]. Eine *psychologische Selektion* von Astronautenkandidaten soll sicher stellen, dass die zukünftigen Astronauten grundsätzlich über eine hinreichende Leistungsfähigkeit, aber vor allem auch über Persönlichkeitseigenschaften und interpersonelle Fertigkeiten verfügen, die benötigt werden, um die geschilderten Belastungen einer



Langzeitmission und das Zusammenleben mit anderen auf engem Raum über lange Zeiträume hinweg erfolgreich bewältigen zu können. Im Hinblick auf Langzeitmissionen kommt zudem verschiedenen Aspekten der Crewzusammensetzung (z.B. Größe, Alters- und Geschlechterverteilung, kultureller Hintergrund) und vor allem einer Zusammenstellung psychologisch kompatibler Crews (hinsichtlich Motivation, Persönlichkeit, Bedürfnissen) eine große Bedeutung zu. Allerdings sind die hierzu verfügbaren theoretischen und praktischen Konzepte bisher nur in ersten Ansätzen zu erkennen [16] und werden noch umfangreiche vorbereitende Forschungsarbeit notwendig machen. *Psychologisches Training* kann sich sowohl auf die Vermittlung von Basiswissen und –fertigkeiten (z.B. Kommunikation, Stress-Management) beziehen, als auch eine gezielte Crew-Vorbereitung. Dabei sollte im Hinblick auf Langzeitmissionen insbesondere eine Crew-Bildung unterstützt werden, die (1) eine stabile formelle und informelle Rollenstruktur in der Crew etabliert, die von allen akzeptiert wird (wer hat welche Funktion in der Crew ?) und (2) zu der Entwicklung eines für alle verbindlichen Normen- und Wertesystems führt.

Betrachtet man die erfolgreichen Erfahrungen mit psychologischen Unterstützungsmaßnahmen bei den zurückliegenden Mir-Missionen und die entsprechenden Konzepte, die darauf aufbauend derzeit für die Internationale Raumstation (ISS) entwickelt werden, so kommt *missionsbegleitenden psychologischen Unterstützungsmaßnahmen* dabei die bei weitem größte Bedeutung zu [4, 9]. Die einzelnen Elemente dieser Maßnahmen umfassen

- regelmäßige private audio-visuelle Kontakte mit Freunden und Familienangehörigen,
- private Paket- und Briefsendungen mit den regelmäßigen Versorgungstransporten,
- regelmäßige Versorgungen mit Nachrichten von der Erde in der Muttersprache,
- Bereitstellung von Unterhaltungsprogrammen (Video, Musik),
- Unterstützung von selbst gewählten Freizeitaktivitäten ,
- Überwachung des psychischen Zustandes mit geeigneten diagnostischen Methoden,
- private "Psychologische Konferenzen" mit einem Mitglied der psychologischen Unterstützungsgruppe am Boden.

Die wesentlichen Ziele, die mit diesen Maßnahmen erreicht werden sollen, bestehen darin, Gefühlen der Monotonie und Langeweile, Isolation, Autonomie und Abkopplung von der Erde vor zu beugen, indem durch Ausnutzung audio-visueller bzw. elektronischer Kommunikationsmöglichkeiten und regelmäßiger Versorgungstransporte sowohl ein möglichst enger Kontakt zu der Crew im Weltraum und eine enge emotionale Bindung der Crew zu den Geschehnissen auf der Erde aufrechterhalten, als auch sinnvolle Freizeitaktivitäten ermöglicht und unterstützt werden.

#### **4. Übertragbarkeit bisheriger Konzepte und Erfahrungen auf Langzeitmissionen zu Mars und Mond**

Inwieweit sind die bei bisherigen Raumfahrtmissionen, in analogen Umwelten oder bei Simulationsstudien auf der Erde gesammelten Erkenntnisse über mögliche psychologische Probleme bei Langzeitmissionen auf geplante Missionen zu Mond und Mars übertragbar ? Eine Langzeitmission zum Mond und der Aufenthalt in einer Mondbasis unterscheidet sich in

psychologischer Hinsicht nicht grundsätzlich von bisher bereits erfolgreich bewältigten Langzeitmissionen im erdnahen Orbit, unter Wasser (z.B. Atom-U-Boote, Unterwasserhabitate für Sättigungstaucher) oder in der Antarktis. Nach wie vor ist eine audio-visuelle Kommunikation mit der Erde problemlos möglich, eine Rückkehroption ist jederzeit innerhalb von wenigen Tagen gegeben und es besteht die prinzipielle Möglichkeit von mehr oder weniger regelmäßigen Versorgungstransporten. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die bisher im Rahmen anderer Missionen gesammelten Erkenntnisse und Erfahrungen über mögliche psychologische Risiken und mögliche Maßnahmen ihrer Vorbeugung weitgehend unverändert auf Mond-Missionen übertragen werden können.

Deutlich anders sind Missionen zum Mars einzuschätzen. Missionen zum Mars implizieren völlig neue psychologische Qualitäten, die viele bisher ungelöste Fragen aufwerfen; dies vor allem aufgrund

- ihrer extremen Dauer,
- ihrer extremen Entfernung,
- einer extrem hohen Crew-Autonomie,
- der Tatsache, dass ein unmittelbarer Sichtkontakt zur Erde verloren geht ("Earth-Out-of-View" Phänomen).

Missionen zum Mars werden sich durch ihre Dauer, vor allem aber ihre Entfernung von bisherigen Missionen auf der Erde oder im erdnahen Orbit unterscheiden. Gegenwärtig diskutierte mögliche Szenarien für Mars-Missionen (z.B. NASA Reference Mission) gehen von einer Dauer von etwa 1000 Tagen aus. Die Entfernung Erde-Mars beträgt dabei je nach Stellung der Planeten zueinander zwischen ca. 55 und 400 Millionen Kilometer. Das bedeutet, dass diese Missionen alle bisher von Raumfahrtmissionen und Expeditionen bekannten Belastungsfaktoren in extremer Ausprägung aufweisen werden, bei gleichzeitig kaum noch effektiv nutzbarer audio-visueller Kommunikation (aufgrund der langen Laufzeiten), fehlenden Möglichkeiten kurzfristiger Evakuierung im Notfall und fehlenden Möglichkeiten für regelmäßige Versorgungs- und kurzfristige Hilfstransporte. Insbesondere die hohe und in ihrer Dauer von bisherigen Missionen nicht gekannte Abhängigkeit von lebenserhaltenden Systemen ohne kurzfristige Evakuierungs- oder Rückkehrmöglichkeiten im Notfall wird eine neue Dimension darstellen, die zu einer massiven Verstärkung von Angstgefühlen führen kann. Während die psychologischen Belastungen damit also sehr stark zunehmen, werden gleichzeitig die meisten der bisher genutzten missionsbegleitenden psychologischen Unterstützungsmaßnahmen nicht mehr zur Verfügung stehen. Das wird die Entwicklung eines neuen Konzeptes psychologischer Unterstützung notwendig machen, bei dem Selektions- und Trainingsmaßnahmen *vor* der Mission eine deutlich größere Rolle spielen werden und bei dem neue geeignete Möglichkeiten elektronischer Kommunikation für missionsbegleitende Unterstützungsmaßnahmen identifiziert werden müssen. Ein besonderes Problem werden die von bisherigen Missionen nicht bekannten langen Transferphasen Erde-Mars-Erde (je nach Missions-Szenario 200-300 Tage pro Richtung) darstellen. Insbesondere für die lange Rückkehrphase zur Erde und die damit verbundene Monotonie und Langeweile wird man Wege finden müssen, die Motivation und psychische Stabilität der Crew-Mitglieder aufrecht zu erhalten und die progrediente Entwicklung einer Asthenie mit allen missionsgefährdenden Begleiterscheinungen zu verhindern.

Der weitgehende Wegfall von Unterstützungs- und kurzfristigen Evakuierungsmöglichkeiten bedeutet für die Astronauten einer Mars-Mission eine weitestgehende Autonomie, die sich nicht nur auf die autonome Bewältigung möglicher (lebensbedrohlicher) technischer Probleme erstreckt, sondern vor allem auch auf die Bewältigung interner Krisen [2]. Während es vor allem aus der Luftfahrt Erfahrungen mit dem Training von Bewältigungen technischer Probleme auch unter hoher Stress-Belastung gibt, ist eine Vorbereitung für den Umgang mit internen Krisen sehr viel schwieriger. Interne Krisen können durch psychologische oder psychiatrische Auffälligkeiten einzelner Crew-Mitglieder ausgelöst werden, sie können aber auch die Behandlung ernsthafter medizinischer Probleme umfassen, bis hin zum Umgang mit krankheits- oder unfallbedingten Todesfällen oder Suizid. Die Anforderungen an die Fähigkeiten zu einer autonomen Bewältigung derartiger Krisen sind mit den vorliegenden Erfahrungen bisheriger Missionen kaum vergleichbar. Eine umfassende psychologische Vorbereitung auf die Bewältigung derartiger Krisen ist nur schwer möglich und die mit einer mangelnden Krisenbewältigung und sich daraus möglicherweise entwickelnden post-traumatischen Störungen verbundenen Risiken lassen sich nur sehr schwer abschätzen.

Schließlich werden die Teilnehmer an einer Mars-Mission die ersten Menschen sein, die sich so weit von der Erde entfernen, dass der direkte (d.h. unmittelbare) Sichtkontakt zum Heimatplaneten verloren geht. Die psychologischen Konsequenzen dieser Tatsache sind weder antizipierbar, noch können sie im Vorwege angemessen erforscht werden. Berücksichtigt man allerdings, was für eine große Rolle der Blick auf die Erde in fast allen Berichten von Astronauten, die an Missionen im erdnahen Orbit oder den früheren Mond-Missionen teilgenommen haben, einnimmt, wird die Bedeutung dieses Faktors deutlich. In jedem Fall ist anzunehmen, dass der fehlende Sichtkontakt zur Erde die Gefühle der Isolation, Autonomie und Abkopplung von der Erde massiv verstärken wird, d.h. gerade die Gefühle, die bei den bisherigen Raumfahrtmissionen durch die verschiedenen Unterstützungsmaßnahmen vermieden oder zumindest minimiert werden sollen. Die damit verbundenen psychologischen Reaktionen können eine weite Bandbreite umfassen, die von Gefühlen der Angst, über depressive Reaktionen bis hin zu extremen existenziellen Krisen reichen kann. Im Zusammenhang mit einer zunehmenden inneren Abkoppelung von der Erde und der hochgradigen Autonomie kann es zudem auch zu einem Verlust der Verbindlichkeit von bisher als gültig betrachteten Normen und Werten kommen, die im Extremfall nicht nur das Zusammenleben der Crew und den Umgang miteinander beeinträchtigen, sondern auch eine effektive Führung und Kontrolle der Crew durch das Bodenpersonal unmöglich machen kann, bis hin zu einer kompletten Verselbstständigung der Crew.

Alle diese möglichen Effekte werden ein psychologisches Restrisiko von Mars-Missionen darstellen, das im Vorwege nicht angemessen eingeschätzt werden kann. Missionen zum Mars werden damit nur vergleichbar sein mit den ersten großen Expeditionen in unbekannte Erdregionen der vergangenen Jahrhunderte. Eine Minimierung von möglichen Risiken in dem Maße, in dem wir sie derzeit bei Raumfahrtmissionen im erdnahen Orbit anstreben, wird – zumindest so weit es die psychologischen Risiken betrifft - bei Mars-Missionen prinzipiell nicht möglich sein. Missionen zum Mars werden damit nur mit einer Gesellschaft und Menschen machbar sein, die bereit sind, diese Risiken zu tragen.

## Literatur

1. Bechtel RB, Berning A (1991). The Third-Quarter Phenomenon: Do people experience discomfort after stress has passed ? In Harrison AA, Clearwater YA, McKay CP (eds.) From Antarctica to outer space. Berlin: Springer.
2. Connors MM, Harrison AA, Akins FR (1985). Living aloft: Human requirement for extended spaceflight. NASA SP-483. Washington: NASA.
3. Ellis SR (2000). Collision in space. *Ergonomics in Design*, 8, 4-9.
4. Grigoriev AI, Kozerenko OP, Myasnikov VI (1985). Selected problems of psychological support of prolonged spaceflight. Paper presented to 36<sup>th</sup> IAF Congress, Stockholm.
5. Gushin VI, Kholin SF, Ivanovsky YR (1993). Soviet psychophysiological investigations of simulated isolation: some results and prospects. In Bonting SL (ed.) *Advances in space biology and medicine*. Volume 3. Greenwich: JAI Press.
6. Gushin VI, Zarprisa NS, Kolinitchenko TB, Efimov VA, Smirnova TM, Vinokhodova AG, Kanas N (1997). Content analysis of the crew communication with external communicants under prolonged isolation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 68, 1093-1098.
7. Harrison AA, Clearwater YA, McKay CP (1989). The human experience in antarctica: Applications to life in space. *Behavioral Science*, 34, 253-271.
8. Hockey GRJ (1986). Changes in operator efficiency as a function of environmental stress, fatigue, and circadian rhythms. In Boff KR, Kaufman L, Thomas JP (eds.) *Handbook of perception and human performance*. Volume II. New York: Wiley.
9. Kanas N (1991). Psychosocial support for cosmonauts. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 62, 353-355.
10. Kanas N, Weiss D, Marmar CR (1996). Crewmember interactions during a MIR space station simulation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 67, 969-975.
11. Kubis JF, McLaughlin EJ, Jackson JM, Rusnak R, McBride GH, Saxon SV (1977). Task and work performance on Skylab missions 2, 3, and 4: Time and motion study – experiment M151. In Johnston RS, Dietlein LF (eds.) *Biomedical results from Skylab*. Washington: National Aeronautics and Space Administration.
12. Manzey D. (2000). Monitoring of mental performance during spaceflight. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, in press.
13. Manzey D, Lorenz B. (1998). Mental performance during short-term and long-term spaceflight. *Brain Research Reviews*, 28, 215-221.
14. Manzey D, Lorenz B, Polyakov V (1998). Mental performance in extreme environments: Results from a performance monitoring study during a 438-day space mission. *Ergonomics*, 41, 537-59.
15. Manzey D, Schiewe A, Fassbender C (1995). Psychological countermeasures for prolonged manned spaceflight. *Acta Astronautica*, 35, 339-361.
16. Morgan BB, Lassiter DL (1992). Team composition and staffing. In Sevezey RW, Sala E (eds.) *Teams: Their training and performance*. Norwood: Ablex Publishing Corporation.

17. Oliver DC (1991). Psychological effects of isolation and confinement of a winter-over group at McMurdo Station, Antarctica. In Harrison AA, Clearwater YA, McKay CP (eds.) From Antarctica to outer space. Berlin: Springer.
18. Palinkas LA, Johnson JC, Boster JS, Houseal M (1998). Longitudinal studies of behavior and performance during a winter at the South Pole. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 69, 73-77.
19. Parasuraman R, Sheridan TB, Wickens CD (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, in press.
20. Sandal G, Vaernes R, Ursin H (1995). Interpersonal relations during simulated space missions. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66, 617-624.
21. Santy P, Holland AW, Looper L, Marcondes-North R (1993). Multicultural factors in the space environment: results of an international Shuttle crew debrief. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 64, 196-200.
22. Sauer J, Wastell DG., Hockey GRJ (1997). Skill maintenance in extended spaceflight: A human factors analysis of space and analogue environments. *Acta Astronautica*, 39, 579-587.
23. Sauer J, Hockey GRJ, Wastell DG (1999a). Performance evaluation in analogue space environments: Adaptation during an 8-month Antarctic wintering-over expedition. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70, 230-235.
24. Sauer J, Hockey GRJ, Wastell DG (1999b). Maintenance of complex performance during a 135-day spaceflight simulation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 70, 236-244.
25. Stuster J (1996) Bold endeavors. Lessons learned from polar and space exploration. Annapolis: Naval Institute Press.