



IMPULSE

Das Wissenschaftsmagazin der Deutschen Sporthochschule Köln

Sport und Weltraum

25 Jahre Weltraumforschung

Die Reise zum MARS

Krafttraining in Schwerelosigkeit

Knorpeldegeneration bei Mikrogravitation?

Sind Astronauten ungeschickt?

Weltraummedizin an der Deutschen Sporthochschule Köln

25 JAHRE
WELTRAUM
FORSCHUNG
1985-2010



VORWORT

Liebe Leserin, lieber Leser,

ich freue mich, Ihnen heute eine neue Ausgabe unseres Wissenschaftsmagazins präsentieren zu können – in unserem bewährten neuen Layout und jetzt auch mit neuem Namen: aus F/I/T wird IMPULSE. Geblieben ist die Bandbreite an spannenden Themen rund um den Sport und die Sportwissenschaft – aktuelle Forschungsarbeiten aus den Instituten und wissenschaftlichen Zentren unserer Hochschule.

In diesem Heft nehmen wir Sie mit in das Weltall. Seit vielen Jahren ist die Deutsche Sporthochschule Köln in die raumfahrtmedizinische und -physiologische Weltforschung eingebunden und leistet so einen wichtigen Beitrag zu den Zielen des deutschen Raumfahrtprogramms. Die neuen Erkenntnisse sollen zum Erhalt von Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Astronauten beitragen und sind gleichermaßen für den Menschen auf der Erde von Bedeutung. Um zu einem ganzheitlichen Verständnis der Auswirkungen des Lebens in Schwerelosigkeit zu gelangen, ist es zunehmend wichtig, diese Auswirkungen nicht nur auf zellulärer Ebene zu erfassen, sondern das komplexe Wechselspiel von physiologischen und psychologischen Parametern zu betrachten. Wie keine andere Wissenschaft erscheint hierfür die Sportwissenschaft in ihrer methodischen und inhaltlichen Vielfältigkeit geeignet.

Im Rahmen des Nationalen Raumfahrtprogramms unterstützt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Experimente unserer Universität seit langem mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Die Bündelung der vom DLR geförderten Maßnahmen mit dem Aufbau eines Zentrums für integrative Physiologie im Weltraum (ZiP) an der Deutschen Sporthochschule Köln ist eine logische Weiterentwicklung der bisherigen engen Zusammenarbeit mit dem DLR.

25 Jahre Weltraumforschung sind eine lange Zeit. Umso mehr freue ich mich, Ihnen mit der neuen IMPULSE-Ausgabe diese Forschungsaktivitäten gebündelt vorstellen zu können.

Ich wünsche Ihnen spannende Eindrücke und viel Vergnügen beim Lesen. Dem DLR danken wir für ein Vierteljahrhundert erfolgreiche Zusammenarbeit.

Univ.-Prof. mult. Dr. Walter Tokarski
Rektor der Deutschen Sporthochschule Köln



GRUSSWORT

Astronauten haben bei ihren Weltraummissionen mit ganz ähnlichen Gesundheitsproblemen zu kämpfen wie der alternde Mensch auf der Erde: Aufgrund der fehlenden Schwerkraft kommt es zu Herz-Kreislauf-Problemen, Störungen des Gleichgewichts- und des Immunsystems, zu Muskelschwund und Knochenabbau (Osteoporose). Diese Veränderungen laufen im Weltraum gewissermaßen im Zeitraffer ab. Im Gegensatz zum Alterungsprozess sind sie zum Glück für die Astronauten umkehrbar. So kann nach der Rückkehr zur Erde auch die Wieder-Anpassung an irdische Schwerkraftverhältnisse untersucht werden.

Sportmediziner an der Deutschen Sporthochschule Köln studieren physiologische Veränderungen an Menschen mit höchst unterschiedlicher Leistungsfähigkeit, vom Leistungs- über den Freizeitsportler bis hin zum alternden Menschen. Die Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit ist hier wie für die operationelle Weltraummedizin ein zentrales Thema. Wissenschaftler arbeiten seit vielen Jahren an der Entwicklung von Trainingsmethoden, um die Probleme der Astronauten in Schwerelosigkeit in den Griff zu bekommen. Auch hier sind Sportwissenschaftler gefragte Kooperationspartner, sind sie doch tagtäglich mit ähnlichen Themen konfrontiert.

So ist es vielleicht nicht verwunderlich, dass die Weltraummedizin an der Deutschen Sporthochschule eine lange, rund 25-jährige Tradition hat. Ausgehend vom Institut für Physiologie unter dem damaligen Leiter Prof. Jürgen Stegemann decken die in der Weltraummedizin tätigen Wissenschaftler heute ein breites Forschungsspektrum ab, von der Herz-/Kreislauf- und Leistungsphysiologie über die Muskelforschung, Forschung zur Bewegungskoordination bis hin zur Hirnforschung. Dies war für das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das die deutschen Raumfahrtaktivitäten managt und so auch die DSHS seit langem fördert, Grund genug, diese Aktivitäten zu bündeln. So wurde am 20. September 2010 das ZiP gegründet, das Zentrum für integrative Physiologie im Weltraum. Verbesserung der Kooperation, gemeinsame Lehr- und Forschungsaktivitäten sowie Stärkung der Sichtbarkeit der Aktivitäten nach innen und außen sind die Hauptziele des ZiP.

Ich bin sicher, dass die nachfolgenden Beiträge überzeugend darlegen, wie eng Sport- und Weltraummedizin miteinander verwoben sind und welche wichtige Rolle die Deutsche Sporthochschule Köln und das ZiP im deutschen Raumfahrtprogramm weiter spielen werden.

Prof. Dr. Günter Ruyters
Leiter Programm Biowissenschaften, DLR-Raumfahrtmanagement Bonn

NEUE WEGE ERFAHREN MIT DEN RWE E-BIKES.

WIR BRINGEN RADLER AUF TOUREN.

Flott, komfortabel und umweltfreundlich geht es mit modernen E-Bikes voran. Die schicken Elektrofahräder mit „eingebautem Rückenwind“ sind eine echte Alternative zum Auto und machen längere Touren zum mühelosen Radelspaß. Die Energie dafür kommt ganz einfach aus der Steckdose – an einer unserer Ladestationen oder bei Ihnen zu Hause. Mit **E-Bikes on Tour** laden wir Sie ein, die innovativen Räder selbst auszuprobieren. Schwingen Sie sich in den Sattel und erfahren Sie neue Wege mit den RWE E-Bikes. Mehr dazu finden Sie unter www.rwe-ebikesontour.de



VOR**RWE**G FAHREN
E-BIKE

E-BIKES ON TOUR

- 01 **25 Jahre Weltraumforschung | S.6 |**
Von 1985 bis heute: Die Entwicklung der Weltraumforschung
an der Deutschen Sporthochschule Köln
- 02 **Die Reise zum MARS | S.14 |**
Sport als neurokognitives Enhancement
- 03 **Krafttraining in Schwerelosigkeit | S.26 |**
Self-Powered-Rope-Trainer –
Ein neues Konzept
- 04 **Knorpeldegeneration bei Mikrogravitation? | S.34 |**
Wie gefährlich sind Weltraumaufenthalte
für den Gelenkknorpel?
- 05 **Sind Astronauten ungeschickt? | S.40 |**
Test of Reaction and Adaptation Capabilities
- 06 **Weltraummedizin an der
Deutschen Sporthochschule Köln | S.46 |**
Ein Überblick aus Sicht des DLR-Raumfahrtmanagements

IMPRESSUM

IMPULSE

Das Wissenschaftsmagazin
der Deutschen Sporthochschule Köln
1/2011, 16. Jahrgang

HERAUSGEBER

Univ.-Prof. mult. Dr. Walter Tokarski
Rektor der Deutschen Sporthochschule Köln

REDAKTION

Deutsche Sporthochschule Köln
Presse und Kommunikation

Redaktionsleitung

Sabine Maas

CvD

Lena Overbeck

Am Sportpark Müngersdorf 6 | 50933 Köln

Telefon: +49 (0)221 4982-3440

Fax: +49 (0)221 4982-8400

pressestelle@dshs-koeln.de

DESIGN & ANZEIGENREDAKTION

loewentreu visual concepts

Projektleitung

Nadine Wilms

Art Direction

Nadine Wilms, Anna Gruchel (Assistenz)

Girlitzweg 30, Tor 2 | 50829 Köln

Telefon: +49 (0)221 471 58 728

Fax: +49 (0)221 471 58 729

anzeigen@loewentreu.com

ISSN-NR 2192-3531



01



02



03



04



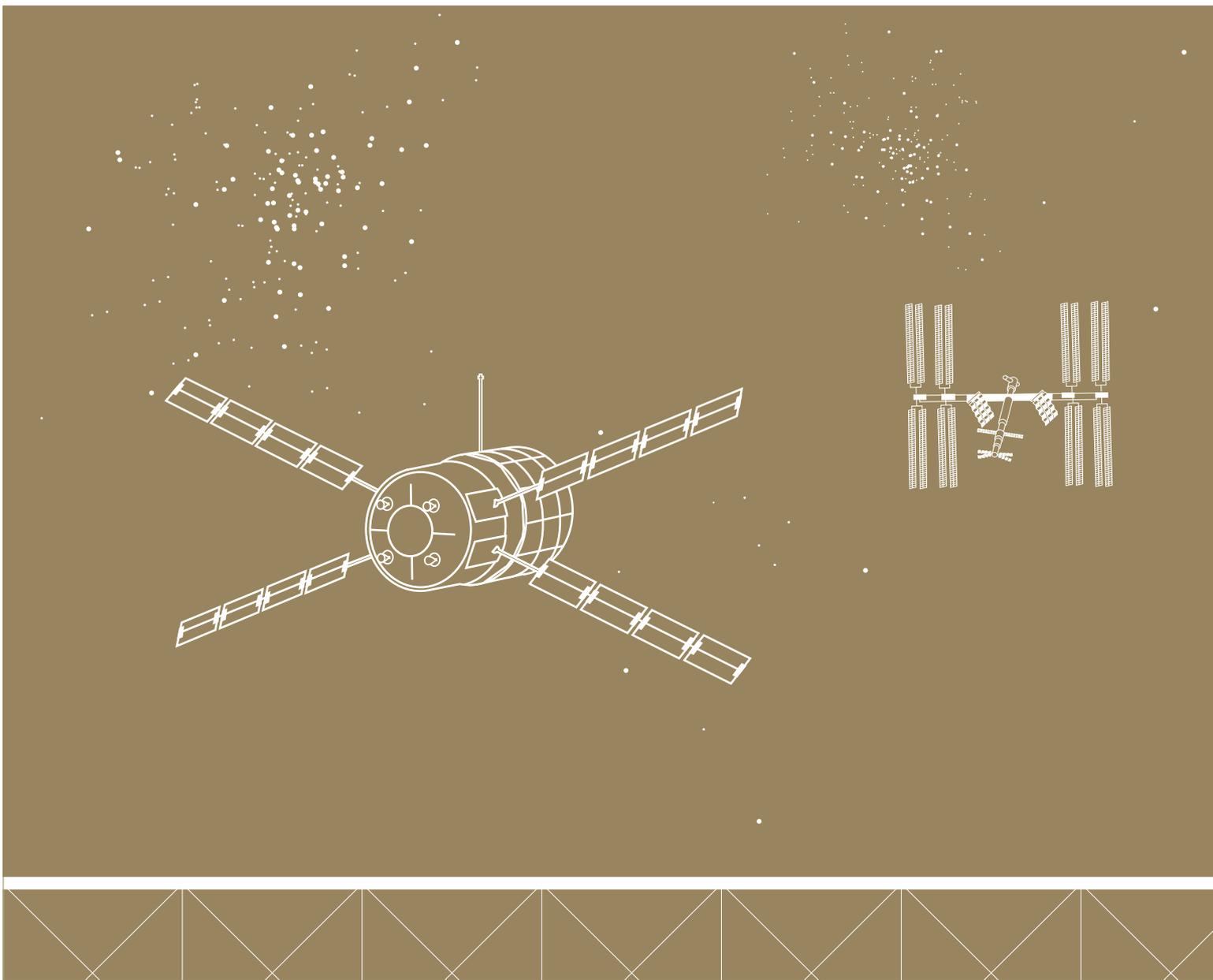
05



06

IM GESPRÄCH | S.22 |

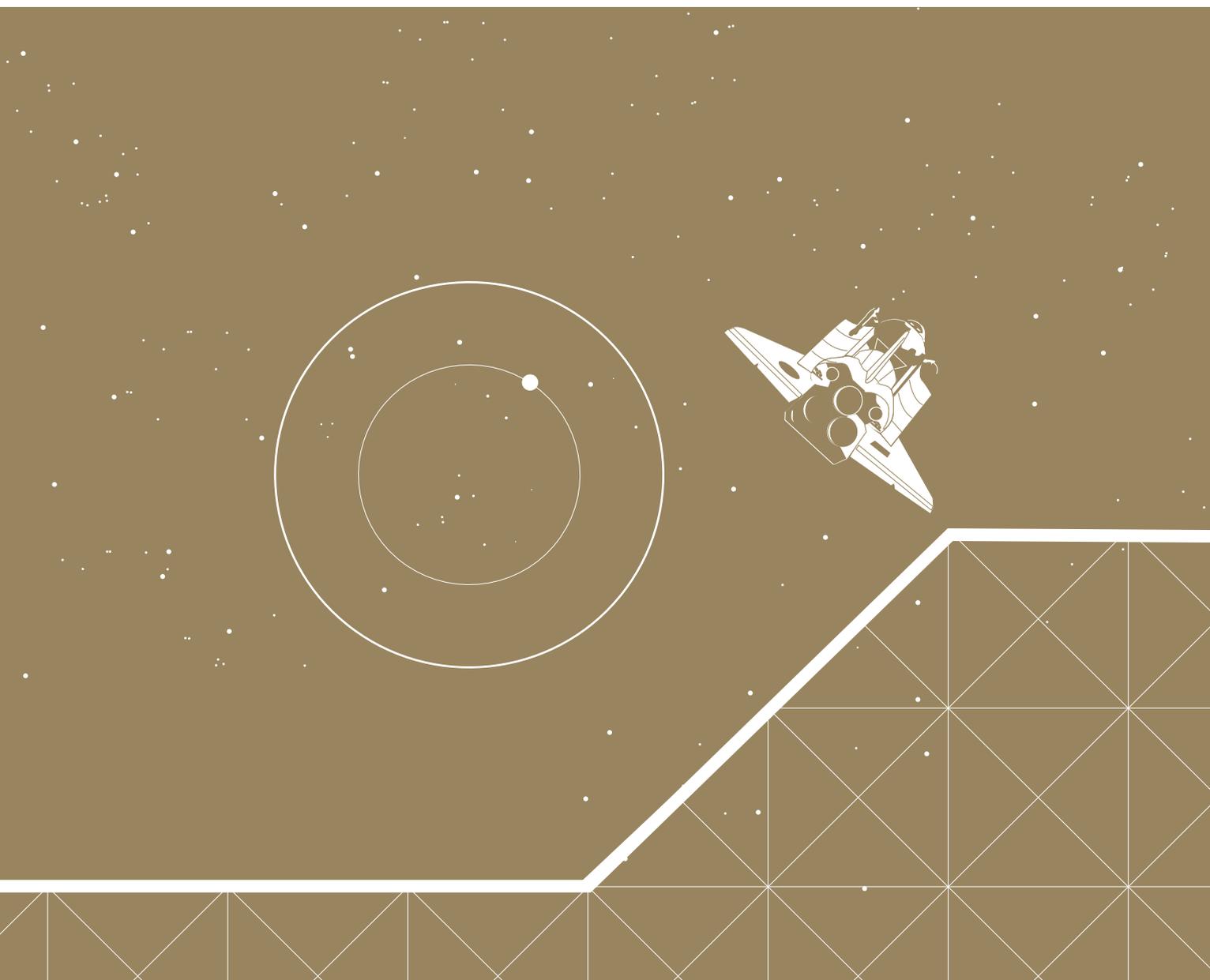
mit Nora Petersen, ESA-Astronautentrainerin



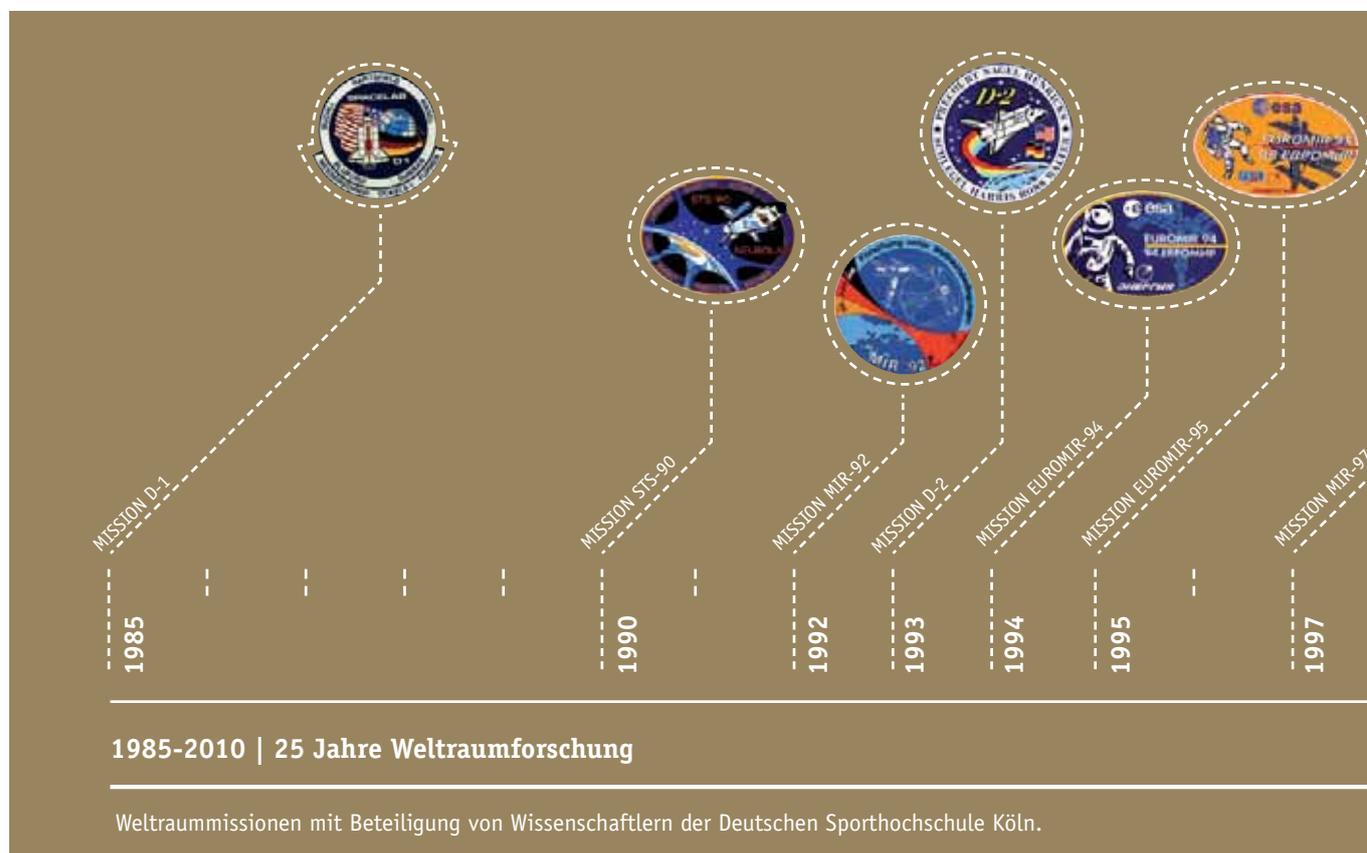
25 Jahre Weltraumforschung

Von 1985 bis heute: Die Entwicklung der Weltraumforschung an der Deutschen Sporthochschule Köln

Text Uwe Hoffmann Fotos NASA, ESA, DLR



Der Aufenthalt im Weltraum war und ist ein Aufenthalt in einer besonderen Umgebung: Strahlung, aber vor allem die fehlende Erdanziehungskraft, wirken in besonderem Maße auf alle Organismen. Nur hier lässt sich studieren, welche chronische Trainingswirkung die tägliche Bewegung gegen die Erdanziehungskraft für Menschen auf der Erde hat. Forschung unter diesen Bedingungen trägt einerseits zum Verständnis der physiologischen Regulationsmechanismen bei, andererseits ist die Unterbeanspruchung durch die Schwerelosigkeit jedoch ein Problem, wenn der Mensch weitere Exkursionen und längere Aufenthalte im Weltraum plant. Das Wiedereinsetzen der Schwerkraft, egal ob von der Erde, dem Mond oder vielleicht in Zukunft vom Mars ausgelöst, stellt das eigentliche Problem dar, wenn im Herz-Kreislauf-System, im musko-skelettalen System und in der neuro-muskulären Koordination die Adaptationsprozesse auf Schwerelosigkeit ausgelöst oder sogar schon abgeschlossen sind. Die Verbindung zu den Sportwissenschaften kann schnell abgeleitet werden: Körperliches Training dient dem Erhalt der Leistungsfähigkeit und der schnellen Anpassung der Koordination an wechselnde Schwerkraftbedingungen und ist wissenschaftlich zu begleiten.



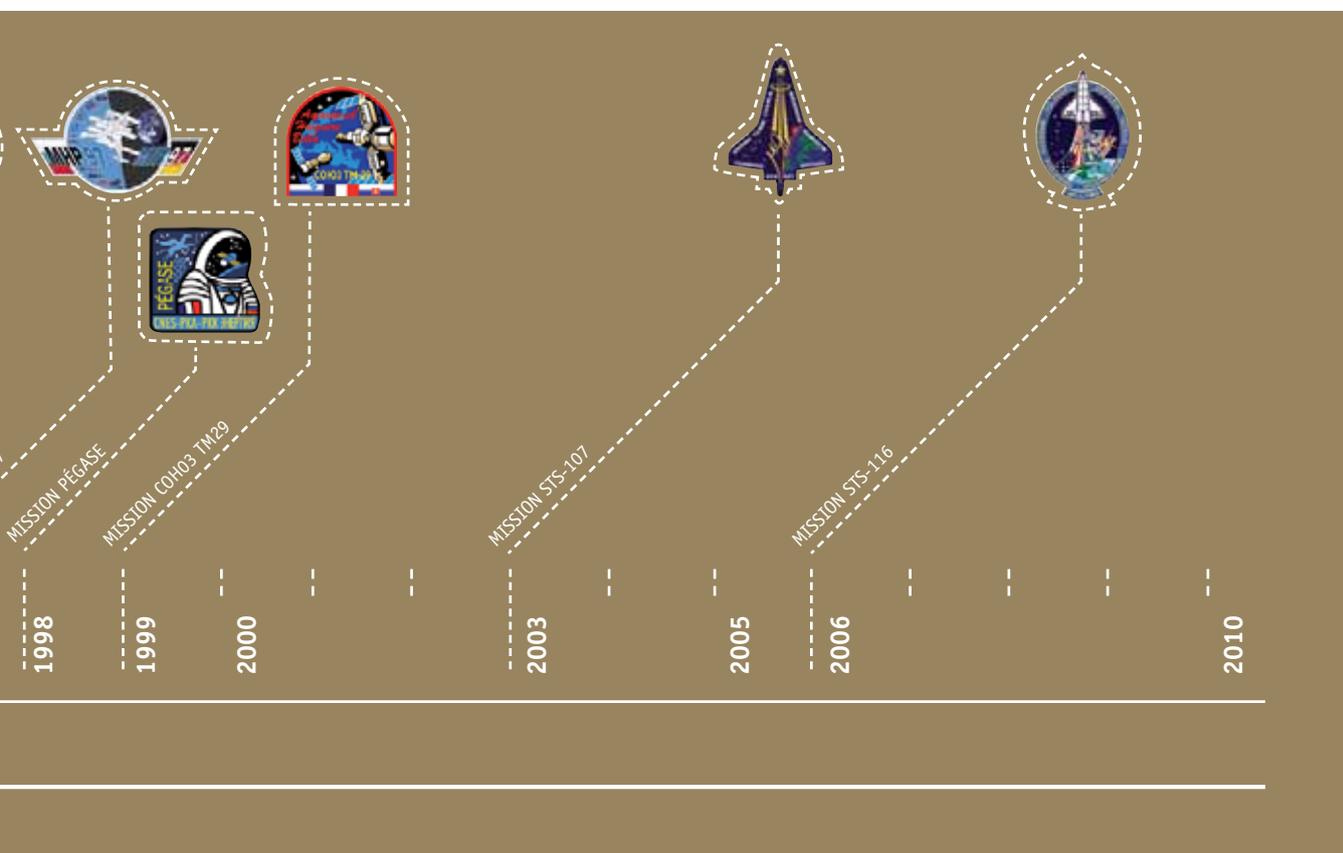
Die Vorarbeiten: Leistungsfähigkeit und Astronauten

Das oft geprägte Image, dass Astronauten eine besonders hohe körperliche Leistungsfähigkeit nachweisen müssen, stimmt sicherlich nicht für den Aufenthalt im Weltraum. Schon früh zeigten auch Studienergebnisse aus dem Physiologischen Institut (heutiges Institut für Physiologie und Anatomie) der Deutschen Sporthochschule Köln (DSHS), dass dieses Ideal des körperlich besonders trainierten Astronauten kritisch hinterfragt werden muss. Mehrstündige Immersion, die zu gewissen Teilen mit dem Aufenthalt in der Schwerelosigkeit vergleichbar ist, stellte offenbar gerade Ausdauertrainierte vor besondere Probleme nach dem Verlassen des Wassers (*Stegemann et al. 1969*). Ausdauertrainierte Personen zeigten im Vergleich zu Normaltrainierten nach Immersion eine stärkere Reduktion der Ausdauerleistungsfähigkeit und eine stärkere Beeinträchtigung der Herz-Kreislauf-Regulation. Mit der Veröffentlichung dieser Ergebnisse entstanden die ersten Verbindungen zwischen leistungsphysiologischen Themen, die Gegenstand der Forschung an der DSHS waren, und der Weltraumphysiologie. Der ehemalige Leiter des Physiologischen Institutes, *Prof. Dr. Jürgen Stegemann*, galt fortan als Ansprechpartner, wenn es um die Kombination Leistungsphysiologie und Schwerelosigkeit ging.

Drei Aspekte, die in den *Stegemann'schen* Arbeiten wiederzufinden sind, waren auch von großem Interesse bei leistungsphysiologischen Forschungen im Weltraum:

- Nicht eine isolierte Betrachtung eines physiologischen Teilsystems, sondern eine integrative Betrachtungsweise der Funktion des menschlichen Körpers, ganz besonders der Zusammenhang Muskelstoffwechsel – Atmung – Herz-Kreislauf, stand im Mittelpunkt seiner Arbeit. So wurden aus dieser Arbeitsgruppe zahlreiche Arbeiten zur Rolle der peripheren Antriebe aus der Muskulatur auf Herzfrequenz und Atmungsregulation veröffentlicht (z.B. *Stegemann & Böning 1967*, *Stegemann & Kenner 1971*).
- Computergesteuerte Messverfahren, insbesondere die Entwicklung spiroergometrischer Versuchsansätze wurden im Institut erprobt oder selbst entwickelt (*Stegemann 1976*).
- Das Prinzip, möglichst nicht-invasive Verfahren einzusetzen, wurde früh als Grundprinzip für Untersuchungen am Menschen anerkannt.

So ist es nicht erstaunlich, dass *Stegemann* zu den wissenschaftlichen Ideengebern zählte, die von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) ab 1983 in Planung und Entwicklung eines komplexen physiologischen Messsystems – dem ESA-Anthrack – involviert waren. Hier konnten die zu der Zeit fortschrittlichen Erfahrungen, beim Einsatz computergestützter, spiroergometrischer Messplätze der Arbeitsgruppe um *Stegemann* umgesetzt werden. Neben einem aufwendigen Messsystem zur Erfassung des respiratorischen Gasaustausches, der Lungenfunktion



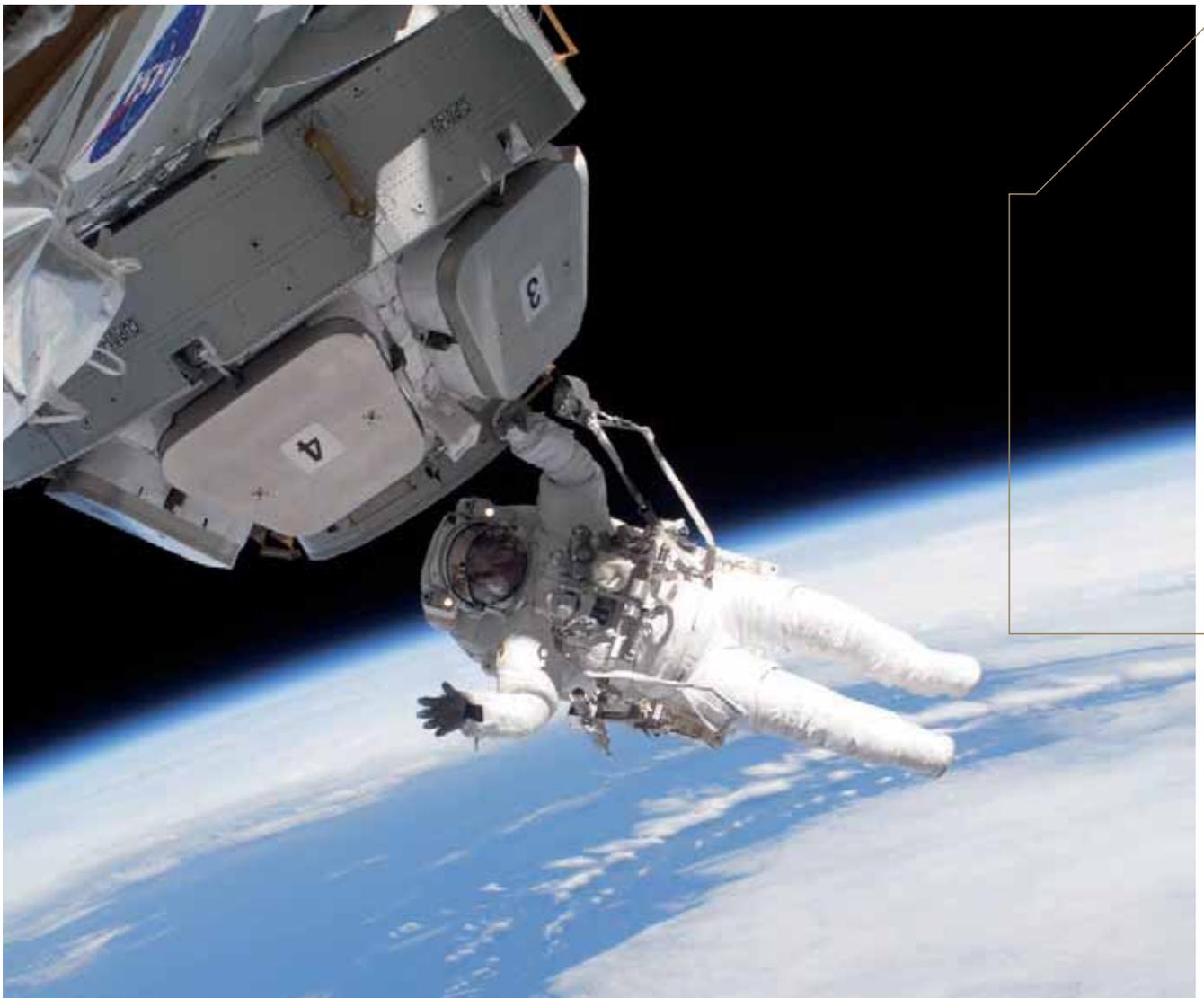
und der respiratorischen Bestimmung des Herzzeitvolumens beinhaltet das Anthrorack auch Systeme zur nicht-invasiven Analyse des Herz-Kreislauf-Systems (EKG, kontinuierliche periphere Blutdruckmessung, Ultraschall-Monitoring) und zur Blutanalyse. Dazu kam die Verbindung zu ‚Reizgeräten‘ wie dem Fahrradergometer oder einem ‚Lower-Body-Negativ-Pressure-Device‘. In diesem Sinne entwickelten sich auch die wissenschaftlichen Arbeiten im Physiologischen Institut:

- Die Arbeitsgruppe war an zwei Bettliege-Studien in 6°-Kopftieflagerung beteiligt, um die Effekte der Immobilisation auf die körperliche Ausdauerleistungsfähigkeit bei unterschiedlich trainierten Männern zu studieren. Beide Studien wurden in den Schlaflabors des Instituts für Flugmedizin der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR, heute Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) durchgeführt und brachten verschiedene Forschergruppen zusammen. Die Besonderheiten dieser Studien: Es wurde kein körperliches Training während der siebentägigen Liegephasen durchgeführt und die O₂-Aufnahmekinetik wurde als Indikator für Veränderungen der Leistungsfähigkeit genutzt (Stegemann et al. 1985). Dies war auch der Einstieg in die Vorarbeiten für die D-2-Mission, die 1993 durchgeführt werden sollte.
- Während der deutschen D-1-Mission 1985 wirkte Prof. Stegemann als wissenschaftlicher Koordinator für die biowissenschaftlichen Experimente mit. Dies kann als Meilenstein für die Hochschule gewertet werden, denn mit Prof. Jürgen Stegemann war erstmals ein Mitglied der DSHS unmittelbar an einer Weltraummission beteiligt. Schon in der Vorbe-

ereitung und dem Training für die D-1-Mission konnten die Institutsmitarbeiter viel über die Besonderheiten der Welt- raumexperimente lernen, wovon sie später für die eigenen Experimente profitierten.

- Einzelne Systemelemente des Anthroracks wurden erprobt:
 - Die Optimierung der Fixierung auf dem Fahrradergometer unter Schwerelosigkeitsbedingungen durch Fahrradergometrietests unter Wasser im Schwimmzentrum der DSHS und unter Schwerelosigkeit 1987 bei Parabelflügen;
 - Das Testen des respiratorischen Messsystems im Labor und unter Schwerelosigkeit im Rahmen einer Parabelflugkampagne 1988;
 - Die Erprobung eines Ultraschallsystems zur Messung des respiratorischen Gasflusses im Labor.

Ein Thema, das in diesen Jahren entwickelt wurde, ist bis heute Gegenstand der Forschungsarbeiten: Die Interaktion von Atmung, Herz-Kreislauf-Einstellung und Stoffwechsel. Das große Ziel ist die Vorhersagbarkeit der aeroben Stoffwechselvorgänge in der arbeitenden Muskulatur aus respiratorischen und kardiovaskulären Daten. So wurde die O₂-Aufnahme-Kinetik durch Leistungsänderungen bei moderaten Belastungen in verschiedenen Publikationen bearbeitet (z.B. Eßfeld et al. 1987). Damit können verschiedene Einflussfaktoren studiert werden. Im Rahmen dieser Arbeiten entstand ein mathematisches Modell, mit dem diese Einflüsse vorhergesagt werden konnten (Eßfeld et al. 1991). Zur Analyse der O₂-Aufnahme-Kinetik wurden Ansätze aus der technischen Regeltheorie ge-



Kompetenzen für die Forschung im Weltraum der DSHS

- Forschungsprojekte
- Geräteentwicklung und -erprobung
- Verfahrensentwicklung
- Publikationen/Workshops
- Trainingsgestaltung

Beteiligung an Geräteentwicklungen für Weltraumexperimente

- Anthrorack
- Wadenergometer
- GRASIM: Die Idee eines 3-D-Laufbandes als Countermeasure-Device
- Orthoson®/sonoSens®
- ESA's ARMS-PFS-PPFS (Science Verification)
- Respiratory Sensor System
- Versuchsaufbau Koordinationsexperimente
- Flywheel

Ansätze in den 80er Jahren

Intensive Studien zum Verständnis der Unterbelastung insbesondere Bettliegestudien u.a.:

1984/1985: 6°-HDT-Studien im DLR (damals: DFVLR)

ESA-Experimentvorschlag zur V'02-Kinetik für D-2

Studium der Kreislauf-Antriebe kleiner Muskelgruppen

Entwicklung eines weltraumrelevanten Experimentansatzes aus tierexperimentellen Erfahrungen

Vorbereitung MIR-92

Einstieg in die eigenen Weltraumexperimente

- MIR-92
- D-2

ISX – das erste DSHS-Experiment im All

Entwicklung eines spezifischen Ergometers

- Erprobung im Parabelflug
- Realisierung im Rahmen von MIR-92

Bestätigung der besonderen Rolle peripherer Antriebe

nutzt, die sicher wegweisend für die Interpretation spiroergometrischer Daten waren.

Die ersten Experimente der DSHS im All

Parallel zu den Aktivitäten bei der ESA bot sich deutschen Forschern nach der deutschen Wiedervereinigung 1989 auch die Möglichkeit von Experimenten auf der russischen Raumstation MIR. So konnte ein Thema umgesetzt werden, dass durch die erheblichen Verzögerungen der D-2-Mission dann zum ersten Experiment der DSHS im All wurde. Zur Untersuchung der peripheren Antriebe aus der Arbeitsmuskulatur wurde ein spezielles Wadenergometer mit der Option einer arteriellen Oberschenkel-Okklusion nach Vorgaben von *Baum & Eßfeld* konstruiert und für die Anwendung im Weltraum qualifiziert. Der Experimentansatz wurde in Parabelflügen 1991 überprüft und im Rahmen der MIR-92-Mission erfolgreich umgesetzt (*Eßfeld et al. 1993*).

Erst mit erheblicher Verzögerung konnte die Experimentidee zur O₂-Aufnahme-Kinetik in den Weltraum gebracht werden. Durch den Absturz des NASA-Shuttles *Challenger* 1986 und nach weiteren Verzögerungen und Startverschiebungen, darunter auch ein Startabbruch nur 3 Sekunden vor dem Abheben des Shuttles, wurde 1993 die D-2-Mission endlich erfolgreich durchgeführt (*Stegemann et al. 1997*).

Der Abschluss von D-2 bedeutete nicht nur die erfolgreiche Durchführung des Experimentes der DSHS, sondern vor allem einen erfolgreichen Einsatz des Anthroracks. Mit dem Anthrorack wurde gezeigt, wie die Entwicklung moderner Experimente gestaltet werden muss: ‚Multi-User-Facilities‘ sind nicht nur aus Sicht der Raumfahrtagenturen wirtschaftlich lohnend,

sondern auch unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten. Nur so können die komplexen Vorgänge, die durch den Aufenthalt im Weltraum ausgelöst werden, angemessen beurteilt werden. Die weiteren Systeme wie z.B. das *European Physiology Module*, das von der ESA entwickelt wurde, folgten genau dieser Idee. Eine ganz besondere Rolle kam der Spiroergometrie in den Folgejahren zu: Auf der Raumstation MIR, dem Shuttle und auch auf der Internationalen Raumstation ISS waren und sind entsprechende Messsysteme im Einsatz. Aktuellstes Beispiel ist der erfolgreiche Einsatz des *Portable Pulmonary Function System* (PPFS) der ESA, das erstmals am 28.12.2010 auf der ISS eingesetzt wurde und von Mitarbeitern der DSHS evaluiert wurde.

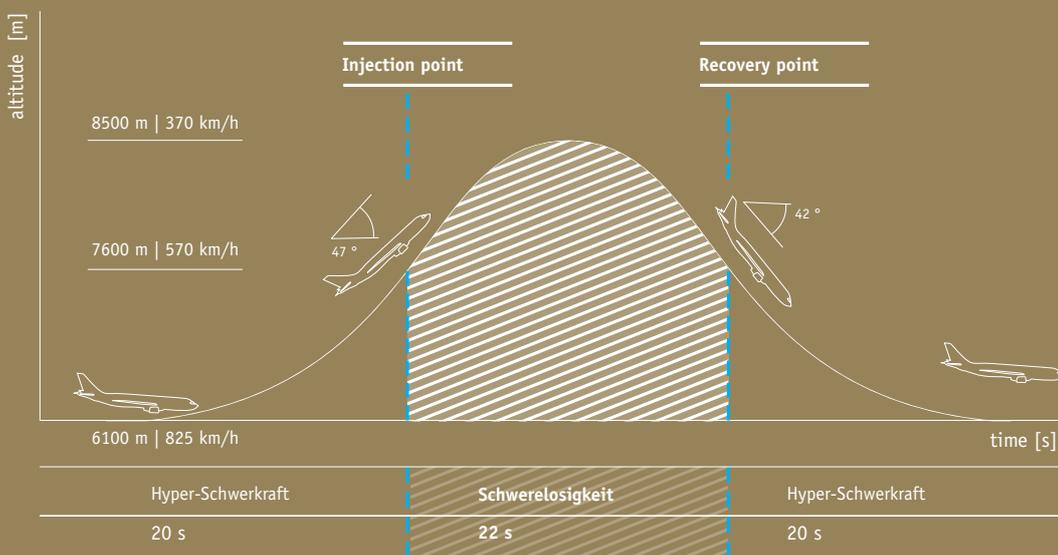
Weitere respiratorische und kardiovaskuläre Untersuchungen nach MIR-92 und D-2

Um die Interaktion von Atmung und Herz-Kreislauf-Reaktion bei Arbeit besser zu verstehen, entstand eine Experimentidee, bei der Kurzzeitbelastungen mit und ohne Apnoe untersucht wurden (*Hoffmann et al. 2004*). In der Anwendung im Rahmen von Weltraummissionen sollten so die vermuteten Veränderungen der Regulation untersucht werden. Höhepunkt sollten Experimente im Rahmen der Mission STS-107 sein, die am 16.01.2003 gestartet wurde. Die Vorbereitung und die Experimente verliefen optimal, doch mit dem tragischen Unglück der *Columbia* beim Landemanöver fanden diese Experimente ein jähes Ende. Die Experimentidee wurde jedoch weiterverfolgt, auch im Gedenken an die verunglückten Astronauten: In Parabelflugkampagnen 2004 und 2005 wurden Daten nach diesem Experimentprotokoll unter aktueller Schwerelosigkeit gewonnen (*Hoffmann et al. 2009*).

Bei einer Parabel herrscht im Airbus bis zu 22 Sekunden lang Schwerelosigkeit.



Phasen eines Parabelfluges



Der Flugkapitän sagt die verschiedenen Stadien des Parabelflugmanövers an. Noch „drei“, „zwei“ Sekunden bis das Flugzeug steil nach oben steigt, dann „Pull up“, „30“: das Flugzeug hat nun einen Steigungswinkel von 30 Grad erreicht, dann „40“, und bei 47 Grad ertönt „Injection“ – die Phase der Schwerelosigkeit beginnt. 22 Sekunden später, bei „Pull out“ zeigt die Flugzeugnase 42 Grad nach unten und wieder setzt die Schwerkraft – nun mit fast doppelter Stärke – ein. Anschließend fliegt das Flugzeug zwei Minuten lang horizontal, bis die nächste Parabel beginnt.



Experimente der Deutschen Sporthochschule Köln im All:



Das erste Experiment der DSHS im ALL, ein spezifisches Wadenergometer, ging an Bord der MIR-92-Mission – zur Untersuchung der peripheren Antriebe aus der Arbeitsmuskulatur. Praktische Relevanz: Verstärkte Herz-Kreislauf-Antriebe bei Aktivitäten mit den unteren Extremitäten. Typisches Beispiel: Halten in Fußschlaufen bei verschiedenen Arbeiten.



Astronaut Hans Schlegel beim Anthonrack-Experiment während der Spacelab D-2-Mission.

Die Entwicklung eines mobilen Spirometrysystems (Hoffmann et al. 2008) und das laufende Projekt *Exercise Kinetic Experiment* (EKE), bei dem seit 2009 Astronauten vor und nach dem Aufenthalt auf der ISS untersucht und zusätzlich mit Daten der NASA aus spirometrischen Tests während des Fluges verglichen werden, sind Beispiele wie die Arbeiten auch nach MIR-92 und D-2 fortgesetzt werden.

Koordination und neuro-muskuläre Koordination

Mit der Übernahme der Institutsleitung durch Prof. Dr. Otmar Bock nach der Emeritierung von Prof. Stegemann 1995 wurde die koordinativ-neurologische Perspektive integriert (Bock et al. 2001) und ergänzte so die Thematik laufender Projekte sinnvoll. Durch Beteiligung an verschiedenen Shuttle-Missionen, Experimenten auf der ISS und in Parabelflügen sind zahlreiche international anerkannte Arbeiten entstanden, die wegweisend für die weiteren Weltraum-Projekte an der DSHS sind.

Geräteentwicklungen für die Anwendung im Weltraum

Die Erfahrungen für die Entwicklung geeigneter Messsysteme wurden weiter genutzt: Die Entwicklung einer alltagstauglichen Methode zur Vermessung der Wirbelsäule (Baum et al. 1997), die Entwicklung geeigneter Messplätze für die Experimente aus der Arbeitsgruppe um Prof. Bock und auch das schon erwähnte mobile Spirometrysystem sind Arbeiten, die ohne die Erfahrungen von MIR-92 und D-2 nur schwer realisierbar gewesen wären. Die besonderen Anforderungen, die auch bei Experimenten in Parabelflügen beachtet werden müssen, können dank der exzellenten Unterstützung durch die Feinmechanische Werkstatt der DSHS (Leitung: Hans-Martin Küsel-Feldker) problemlos erfüllt werden.

Vielfältige Möglichkeiten in der Zukunft

Die Forschungsmöglichkeiten unter Schwerelosigkeit auf der ISS und im Rahmen von Parabelflügen werden von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der DSHS auch in Zukunft genutzt. Die Herausforderungen der Exploration von Mond und Mars, der Erhalt der Fitness der Astronauten, aber auch das Grundverständnis physiologischer Vorgänge in einer einmaligen Testumgebung bieten Sportwissenschaftlern vielfältige Möglichkeiten der Beteiligung an zukünftigen Weltraummissionen. Hier werden die Wissenschaftler der Deutschen Sporthochschule ihre besonderen Erfahrungen nicht nur bei Forschung und Entwicklung sondern auch bei der optimalen Vorbereitung von Astronauten immer wieder einbringen können. Durch die Gründung des Zentrums für integrative Physiologie im Weltraum (ZiP) 2010 wird diese Arbeit weiter gestärkt.



Literatur bei dem Autor.



Dr. Uwe Hoffmann,

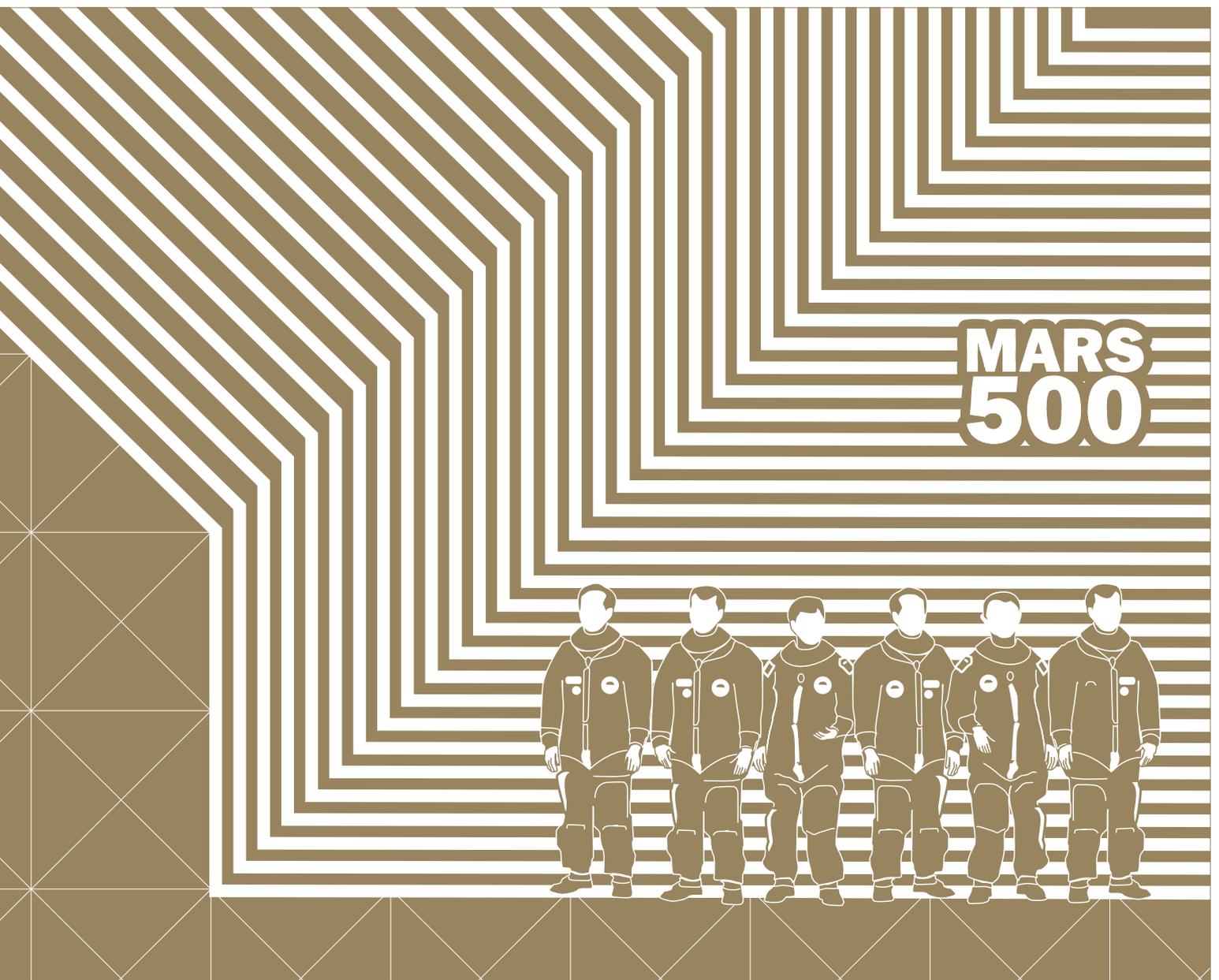
geboren 1956 in Bremen, absolvierte von 1976 bis 1980 sein Diplomstudium und promovierte nach Abschluss des Lehramtsstudiums für Mathematik/Sport Sek. II 1985 in den Sportwissenschaften. Seit 1985 ist er direkt mit weltraumphysiologischen Forschungsprojekten betraut und wissenschaftlicher Gutachter der ESA für respiratorische Messsysteme. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Institutes für Physiologie und Anatomie betreut er zudem seit 1986 das Sporttauchen an der DSHS.
E-Mail: hoffmann@dshs-koeln.de



Die Reise zum MARS

Sport als neurokognitives Enhancement

Text Stefan Schneider, Vera Brümmer *Fotos* ESA, IBMP, IBMP/Oleg Voloshin



Moskau: Sechs Männer. 200m². 520 Tage. Eine fiktive Reise zum Mars. Mit dem Erscheinen dieses Heftes, werden einem Belgier, einem Italiener, drei Russen und einem Chinesen noch etwa 160 Tage Isolation bevorstehen. In einem gemeinsamen Projekt der deutschen, europäischen, russischen und chinesischen Weltraumagenturen simulieren diese sechs Männer eine Reise zum Mars. 245 Tage Hinflug, 30 Tage Aufenthalt auf der Marsoberfläche, 245 Tage Rückflug. Das Ganze in einem nachgebauten holzvertäfelten Raumschiff im Moskauer Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP), auf nicht mehr als 240m². Mit dabei: Ein Gewächshaus zur Versorgung der Crew mit frischem Gemüse, ein großer Kühlschrank mit Essen für 520 Tage – und ein Experiment des Instituts für Bewegungs- und Neurowissenschaft der Deutschen Sporthochschule Köln.

**MARS
500**



**THE RED
BRAIN**

© 2010



Der Fitnessraum im MARS500 „Raumschiff“, das sich im Institut für Biomedizinische Probleme (IBMP) in Moskau befindet.

Stressoren in zwei Kategorien

Das Leben im Weltraum geht einher mit einer Vielzahl an Stressoren, die sich in zwei Kategorien einteilen lassen. Auf der einen Seite finden sich physiologische, durch die Schwerelosigkeit provozierte Stressoren. Diese manifestieren sich primär in körperlichen Symptomen, wie Muskelabbau, verringerter Knochendichte und Herz-Kreislaufveränderungen. Daneben begegnen den Astronauten, Kosmonauten und Taikonauten mit zunehmender Missionslänge eine Vielzahl psychischer Stressoren. Im Vordergrund stehen hier soziale Stressoren, gilt es doch in einem multikulturellen, multinationalen Team auf engstem Raum und ohne adäquate Rückzugsmöglichkeit über einen längeren Zeitraum zusammen zu leben und zusammen zu arbeiten. Gleichzeitig sind Kontakte zum eigentlichen engeren sozialen Umfeld – Freunde und Familie – aufgrund mangelnder Kommunikationsmöglichkeiten sehr eingeschränkt. Darüber hinaus stellt das Leben in Schwerelosigkeit nicht nur eine Herausforderung an verschiedene biologische Systeme (z.B. verschlechterte Immunabwehr, nicht mehr existente Tag-/Nachtzyklen), sondern auch an das System Mensch: Der Arbeitsalltag ist straff geplant und fordert ein hohes Maß an Präzision, Zeitmanagement und Disziplin. Zudem ist die Versorgung mit Gütern des täglichen Bedarfs, insbesondere Nahrung, komplett limitiert.

Mit zunehmender Dauer von Weltraummissionen bzw. -simulationen ist in den letzten Jahren ein Paradigmenwechsel zu beobachten. Standen lange Jahre primär die physiologischen Degenerationserscheinungen sowie deren Bekämpfung durch adäquate Trainingsprogramme im Blickfeld human-

physiologischer Forschungsprogramme, finden sich mittlerweile in zunehmender Anzahl auch psychophysiologische Fragestellungen. Dies ist einerseits darin zu begründen, dass es beispielsweise in der Sensomotorik zu raschen Adaptationsprozessen an die Schwerelosigkeit kommt. Andererseits scheint die Frage nach Veränderung von Muskelmasse und Knochendichte nur noch aus Sicht der schnellen Regeneration nach dem Flug, nicht aber zur Gewährleistung von Missionssicherheit und Missionserfolg von Relevanz, da weder Muskeln noch Knochen in Schwerelosigkeit, ja selbst in der verringerten Mars- und/oder Mondgravitation kaum gebraucht werden.

Psychologische Studien der vergangenen Jahre haben die für das Zusammenleben an Bord wichtigen Eckpunkte umfangreich definiert, dabei jedoch eine rein beschreibende Dimension nur in den seltensten Fällen verlassen. Ein derzeitiger Forschungsschwerpunkt ist im Bereich von Interventionsstudien auszumachen, d.h. Ansätze, die dazu beitragen Missionserfolg und Missionssicherheit bei Langzeitaufenthalten in Schwerelosigkeit zu gewährleisten.

Im Mittelpunkt des Interesses unserer Arbeitsgruppe am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft steht die Frage, ob adäquate Trainings- und Bewegungsprogramme bei einem längeren Aufenthalt in Isolation, beispielsweise einer Reise zum Mars, die kognitive und emotionale Leistungsfähigkeit der Astronauten und Kosmonauten positiv beeinflussen können und damit in einem bislang nicht beachteten Maße Anteil am Erfolg und an der Sicherheit einer Langzeitmission haben können (Abbildung 1).



Stefan Schneider und Sukhrob Rustamovich Kamolov beim Anlegen der EEG-Kappe im Rahmen des Crewtrainings im Februar 2010 in Moskau.

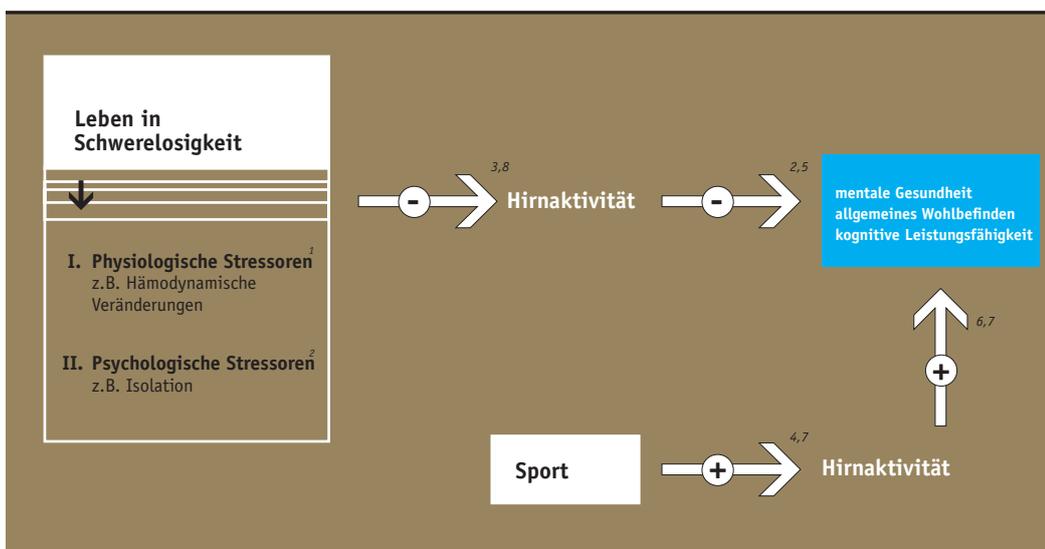


Yue Wang beim Training mit EEG Kappe auf der Vibrationsplattform.

Experimentelle Voraussetzungen

Aus einer Vielzahl verhaltenspsychologischer und verhaltensbiologischer Studien der letzten Jahre ist bekannt, dass Sport und Bewegung nicht nur zur körperlichen, sondern auch zur mentalen Gesundheit beitragen. Während im allgemeinen Sprachgebrauch von einer psychohygienischen Wirkung von Sport

und Bewegung die Rede ist, konnten Studien im eigenen Labor die positiven Effekte eines Trainingsprogramms auf die kognitive Leistung, das emotionale Wohlbefinden und auch das Schlafverhalten (*Dworak et al. 2007*), welches wiederum kognitive Leistung und emotionales Wohlbefinden steigert, in unterschiedlichen Alterspopulationen nachweisen



- ➡ negative Stressoren
- ➡ positive Stressoren

¹ Iwasaki et al, J Physiol 2007
² Fowler et al, Ergonomics 2000
³ Cheron et al, Brain Res 2006
⁴ Schneider et al, Med Sci Sport Exerc 2010
⁵ Kanas, Aviat Space Environ Med. 1998
⁶ Schneider et al, Physiol Behav 2009
⁷ Hillman, Neuroscience 2009
⁸ Schneider et al, Neuroimage 2008

Abb. 1 Das Leben in Schwerelosigkeit ist verbunden mit einer großen Zahl an Stressoren, die auf die außergewöhnlichen physiologischen (z.B. Hämodynamische Veränderungen im Gehirn) und psychologischen Umstände (z.B. Arbeitsbelastung, Isolation) zurückzuführen sind. Dies hat negative Auswirkungen primär auf die Hirnaktivität, sekundär auf die kognitive Leistungsfähigkeit, die mentale Gesundheit und das allgemeine Wohlbefinden. Im Gegensatz dazu hat Sport auf all diese Parameter einen positiven Einfluss. Entsprechend ist davon auszugehen, dass ein adäquates Sportprogramm den Erfolg und die Sicherheit einer Mission positiv beeinflussen wird.



Die Crew der MARS500 Mission (v.l.): Alexandr Egorovich Smoleevskiy, Romain Charles, Alexey Sergeevich Sitev, Sukhrob Rustamovich Kamolov, Diego Urbina und Yue Wang.

Crew-Mitglied Diego Urbina
in einem Eintrag im Missions-Tagebuch.

„We learned that some of the tests can be fun, some are potentially annoying, but we sure know that all of them are worth it if we ever want to make it to places beyond the moon.“

(www.esa.int/mars500)

(Schneider et al. 2009a, Schneider et al. 2009d). Dabei stand in den vergangenen Jahren zunehmend die Frage nach den zugrundeliegenden neurophysiologischen Veränderungen im Blickwinkel des Forschungsinteresses. Drei grundlegende Prinzipien haben sich daraus ergeben:

1. Die positiven Effekte von Sport und Bewegung auf Emotionen und kognitive Leistungsfähigkeit scheinen primär auf Veränderungen (prä-)frontaler Hirnareale zurückzuführen zu sein. Studien, die eine Hypofrontalität belegen (Dietrich 2003) gehen davon aus, dass es bedingt durch die körperliche Aktivität

zu einer Deaktivierung von Hirnarealen kommt, die nicht primär an der Planung und Ausführung motorischer Aktionen (frontale und temporale Areale des Hirns – Hypofrontalität) beteiligt sind, während solche Areale, die an der Planung und Ausführung von Bewegung beteiligt sind (Motor Kortex, premotorische Areale, supplementär motorische Areale) eine hypermetabole Aktivität aufweisen. Ausgangspunkt dieses Ansatzes ist eine Ressourcentheorie, die annimmt, dass dem Gehirn nur begrenzte Kapazitäten zur Verfügung stehen. Ähnlich wie auch die Verdauung bei sportlichen Aktivitäten ihre Tätigkeit weitgehend einstellt, um der arbeitenden Muskulatur ein Maximum an Blutzufuhr und damit Sauerstoff- und Energieversorgung zu gewährleisten, werden den Arealen im Gehirn, die zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit nötig sind, vermehrt Ressourcen zugeschoben.

2. Diese Veränderungen in (prä-)frontalen Kortexarealen scheinen jedoch sehr stark intensitätsabhängig zu sein und dasselbe gilt für die Effekte von Sport und Bewegung auf Kognition und Emotion. Nur wenn es zu einer ausreichenden Belastung kommt, scheinen diese Prinzipien zu greifen. Bei einer zu niedrig gewählten Belastung zeigen sich keine positiven Veränderungen (Ekkekakis 2009).

3. Die in den vergangenen zwei Jahren entwickelte „exercise preference hypothesis“ (Schneider et al. 2009b, Schneider et al. 2009c) definiert die beschriebenen neurophysiologischen Effekte in Abhängigkeit der subjektiven Bewertung der durchgeführten Sportart. In einer umfangreichen Untersuchung



Die Crew der vorausgegangenen 105-Tage Isolationsstudie. Ganz rechts der deutsche Teilnehmer Oliver Knickel.



Aufwärmen vor dem täglichen Training im MARS500 Modul.



Alexandr Egorovich Smoleevskiy beim Training mit EEG Kappe auf dem Laufband.

konnte unsere Arbeitsgruppe nachweisen (Schneider et al. 2009b, Brümmer et al. 2011), dass es nur dann zu einer Abnahme frontaler Aktivität im Gehirn kommt, wenn erfahrene Läufer laufen, jedoch nicht, wenn sie Radfahren oder einer mehr kraftorientierten Tätigkeit nachgingen. Dies macht deutlich, dass es nicht nur darauf ankommt Sport zu treiben, sondern dass es von enormer Bedeutung ist, den richtigen Sport zu wählen, wobei richtig hier einzig und allein einer subjektiven Bewertung unterliegen darf. Für den einen mag es Radfahren sein. Für den anderen Laufen oder eine Mannschaftssportart. Darüber hinaus scheint es auch Präferenzen bezüglich der Intensität zu geben. Dort wo Sportler ihre eigene Intensität wählen dürfen, zeigen sich verstärkt positive Effekte auf hirnebene, wie auch in der wahrgenommen Befindlichkeit (Schneider et al. 2009b).

Diese drei Prinzipien sind die experimentellen Voraussetzungen unseres Experiments im Rahmen der MARS500 Studie. Unsere Hypothese besagt, dass es durch ein individualisiertes Trainingsprogramm zu neuro-physiologischen Veränderungen kommt, die ihrerseits positive Implikationen für die kognitive Leistungsfähigkeit und das allgemeine Wohlbefinden und damit letztendlich einen positiven Effekt für das Zusammenleben an „Bord“ haben. Da die MARS500 Mission mit Drucklegung dieses Heftes noch im vollen Gange ist, können wir an dieser Stelle leider nur Ergebnisse einer vorausgegangenen 105-tägigen Isolation darstellen. Diese wurde ebenfalls mit sechs Männern, einem Deutschen, einem Franzosen und vier Russen, von April bis Juli

2009 in den gleichen Räumlichkeiten des IBMP in Moskau durchgeführt.

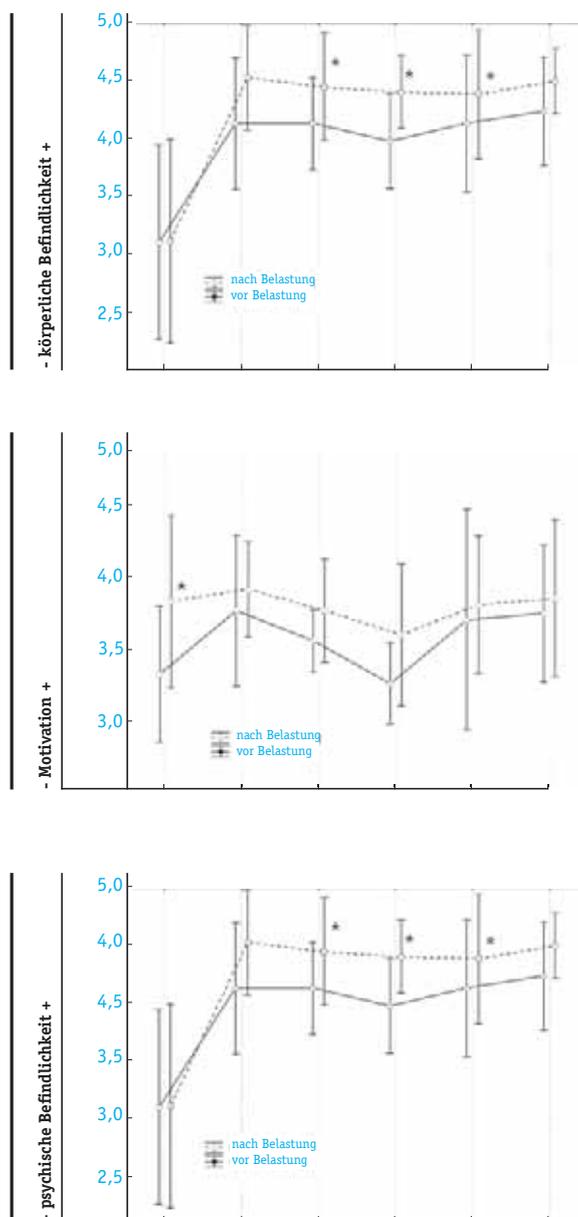
Kurze Bewegungs- und Belastungsimpulse wichtig für neuro-psychologische Regulation

Aufgrund der Komplexität der Studie und des hohen wissenschaftlichen Interesses von über 100 international besetzten Forschergruppen, standen uns, wie allen anderen Wissenschaftlern, nur limitierte Zeitfenster zur Verfügung. Da es sich hier um eine Vorstudie zur MARS500 Studie handelte, ging es primär darum, die Anwendbarkeit und Reliabilität unseres Ansatzes zu verdeutlichen. Um so erstaunlicher waren die Ergebnisse dieser 105-tägigen Isolationsstudie.

Als Trainingsprotokoll wurde ein einfaches, etwa 12-minütiges Belastungsprotokoll auf dem Fahrradergometer gewählt. Die Probanden radelten mit steigender Intensität bis zur Erreichung von 85% der maximalen Kapazität. Jeweils vor und nach der Belastung wurde ein 16-Kanal EEG (Elektroenzephalographie) abgeleitet sowie ein kurzer Fragebogen zur Befindlichkeit (MoodMeter®), entwickelt von Prof. Jens Kleinert aus dem Psychologischen Institut der DSHS, ausgefüllt. Insgesamt wurde dieses Protokoll ein Mal am zwölften Tag vor Beginn der Isolation, vier Mal während der Isolation sowie am achten Tag nach Beendigung der Isolation durchgeführt.

Sowohl die psychologischen Werte, als auch die hirnebene zeigten einen deutlichen Effekt der kurzen, 12-minütigen Belastung. Die sechs Probanden berichteten über eine signifikante

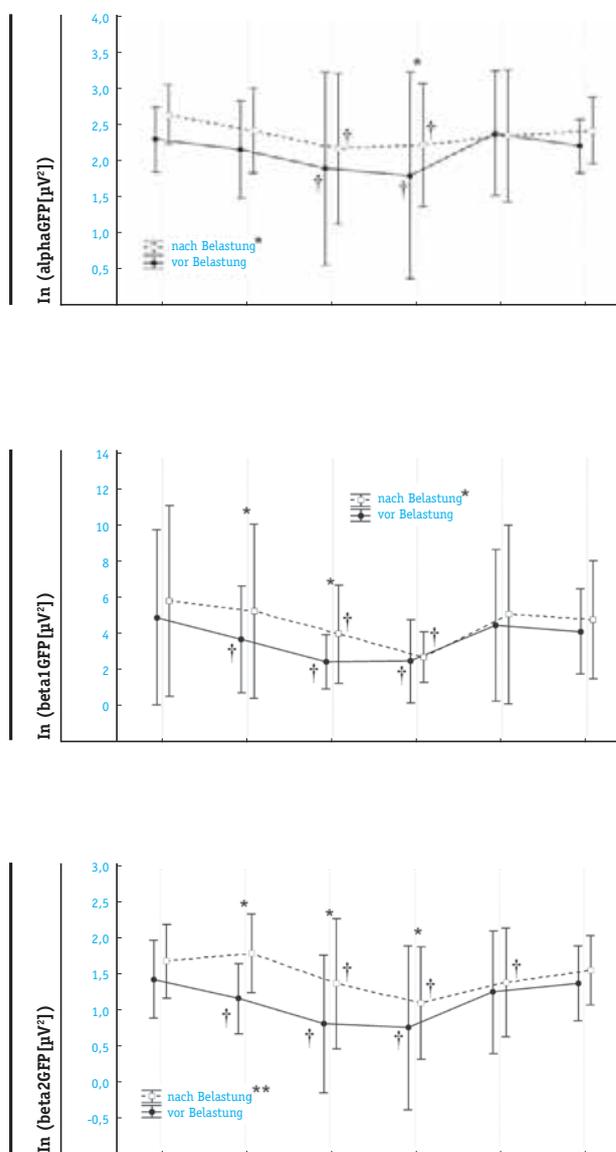
Abb. 2



Veränderung der wahrgenommenen körperlichen Befindlichkeit, Motivation und psychischer Befindlichkeit über den Isolationszeitraum von 105 Tagen. Die schwarze Linie zeigt Daten der Messung vor Belastung, die gestrichelte Linie Daten der Messung nach Belastung. Die Messungen erfolgten ein Mal vor der Isolation (Tag -12), vier Mal während des Isolationszeitraums (Tage 30, 64, 77, 99) und ein Mal nach Beendigung der Isolation (Tag +). * bezeichnet ein Signifikanzniveau von $p < .05$, ** von $p > .01$.

Veränderung im Alpha- und Betaband über den Isolationszeitraum von 105 Tagen. Die schwarze Linie zeigt Daten der Messung vor Belastung, die gestrichelte Linie Daten der Messung nach Belastung. Die Messungen erfolgten ein Mal vor der Isolation (Tag -12), vier Mal während des Isolationszeitraums (Tage 30, 64, 77, 99) und ein Mal nach Beendigung der Isolation (Tag +). * markiert eine signifikante Veränderung ($p < .05$) vor/nach Belastung, † markiert eine signifikante Veränderung ($p < .05$) zur ersten Messung.

Abb. 3



Zunahme des wahrgenommenen körperlichen Wohlbefindens ($p < .05$), einer Zunahme der Motivation sowie einer Abnahme der psychischen Belastung nach Belastungsende (*Abbildung 2*). Die beiden letzten Werte verfehlten ein Signifikanzniveau von $p < .05$ nur knapp, was sicherlich auf die geringe Anzahl an Probanden zurückzuführen ist. Ein ähnlich positives Ergebnis zeigte sich für die hirnhysiologischen Parameter. In den beiden dominanten Frequenzbereichen des EEG, dem Alphaband ebenso wie dem Betaband, kam es nach Belastung zu einem signifikanten Anstieg (*Abbildung 3*). Darüber hinaus war über die ersten 80 Tage der 105-tägigen Studie eine Abnahme der Alpha- als auch Beta-Aktivität in der Ruhemessung vor dem Trainingsprotokoll zu verzeichnen (*Abbildung 3*). Beides überraschte, reflektiert doch im Allgemeinen ein Anstieg im Alphaband des EEG (8-13Hz) einen allgemeinen Entspannungszustand, während ein Anstieg im Bereich der Beta-Aktivität (13-35Hz) für eine Zunahme informationsverarbeitender Prozesse (kognitive und/oder emotionale Prozessierung) spricht und mit einem Abfall der Alpha-Aktivität einhergehen sollte.

Eine allgemeine sensorische Deprivation könnte Ursache dieser umfassenden Abnahme der Hirnaktivität sein. Obgleich die tägliche Monotonie der Abläufe und Sozialkontakte in der Tat zu überdauernden neuro-physiologischen Veränderungen zu führen scheint, lässt sich festhalten, dass bereits eine kurze moderate körperliche Belastung zu einem signifikanten Anstieg der elektrokortikalen Aktivität und der wahrgenommenen Befindlichkeit führen kann. Von besonderem Interesse war hierbei zu sehen, dass die subjektiv wahrgenommene körperliche Befindlichkeit einen ähnlichen Verlauf zeigte und signifikant mit den objektiven, hirnhysiologischen Parametern korrelierte.

Gerade mit Blick auf den „irdischen“ Alltag verdeutlichen diese Ergebnisse noch einmal die Bedeutung und Wirksamkeit selbst kurzer Bewegungs- und Belastungsimpulse für die neuro-psychologische Regulation, beispielsweise im Rahmen einer aktiven Pausengestaltung in der Schule – oder eines kurzen Bewegungsprogramms am Arbeitsplatz.

Ob Gleiches auch für die kognitive Leistungsfähigkeit gilt, wird nun Thema der laufenden MARS500 Studie sein. In der am 01.05.2010 gestarteten 520-tägigen Isolation ist das Versuchsdesign entsprechend erweitert, um neben den Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Befindlichkeit auch Auswirkungen auf die kognitive Leistungsfähigkeit nachzuweisen. Darüber wird auch die Veränderung emotionaler und kognitiver Parameter in Abhängigkeit verschiedener Belastungsformen thematisiert. Neben Radfahren stehen Laufen, Rudern, Vibrationstraining und normales Krafttraining mit Freihanteln auf dem Programm. Obgleich eine Präferenzhypothese davon ausgeht, dass unterschiedliche Formen körperlicher Belastung, je nach Vorerfahrung, unterschiedlich wirken, ist damit zu rechnen, dass, ob der besonderen Monotonie während der Isolation, jegliche Form von Belastung eine Abwechslung im Tagesablauf verspricht und mit einer Verbesserung emotionaler wie kognitiver Parameter einhergeht.

-86°C Außentemperatur

Parallel zum MARS500 Programm läuft ein weiteres Forschungsprojekt in Kooperation mit belgischen, italienischen und ungarischen Kollegen in der Antarktis. Hier gilt das interdisziplinäre Interesse dem Zusammenhang von Sport, Schlaf, zirkadianen Rhythmen, Kognition und Emotion während einer 9-monatigen Überwinterung. Die 15 Stationsbewohner der CONCORDIA (frz./ital. Station) leben dort komplett abgeschottet von der Außenwelt auf 4000m Höhe, bei bis zu -86°C Außentemperatur und 7-monatiger Finsternis. Gefördert werden beide Projekte von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR 50WB0819).

Literatur bei den Autoren.

Mehr Infos zum MARS500 Programm gibt es unter www.esa.int/mars500.



Dr. Stefan Schneider,

geb. 1972 in Kreuztal, studierte Sportwissenschaften und Theologie. 1998 Abschluss als Diplomsporthelehrer. 2002 Promotion am Institut für Physiologie und Anatomie. 2004 Abschluss als Dipl.-Theologe. Nach einer Warteschleife im Medienprojekt spomedial.de seit 2004 am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft. Neben umfangreichen Forschungen zum Einfluss veränderter Gravitationsbedingungen auf psycho-physiologische Prozesse liegt ein weiterer Forschungsschwerpunkt auf dem Zusammenspiel körperlicher Aktivität und zerebralkortikaler Prozesse. Sprecher des neu gegründeten ZiP. Großes Ziel: Erster Seelsorger auf der Internationalen Weltraumstation ISS.
E-Mail: schneider@dshs-koeln.de



Vera Brümmer,

geb. 1982 in Löningen, Diplomsporthelehrerin, arbeitet seit 2004 als Mitarbeiterin am Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft der Deutschen Sporthochschule Köln. Ihr Forschungsschwerpunkt bezieht sich auf den Einfluss körperlicher Tätigkeiten auf die Gehirnaktivität. Zurzeit untersucht sie im Rahmen ihrer Promotion die Auswirkungen unterschiedlicher Belastungsformen und -intensitäten auf den zerebralen Aktivitätszustand.
E-Mail: bruemmer@dshs-koeln.de

Im Gespräch mit Nora Petersen

Nora Petersen (33) studierte von 1998 bis 2002 Diplom-Sportwissenschaften an der Deutschen Sporthochschule Köln. Seit ihrem Abschluss arbeitet sie im Crew Medical Support Office des Europäischen Astronautenzentrums (EAC) der Europäischen Weltraumagentur (ESA) und ist dort als erste Sportwissenschaftlerin für das Astronautentraining zuständig. Für das IMPULSE-Interview besuchten wir die gebürtige Freiburgerin an ihrem Arbeitsplatz in der Wahner Heide, nahe dem Köln-Bonner Flughafen.

Text Lena Overbeck Fotos ESA, privat



Astronauten müssen für ihre Aufgaben fit sein – auch für das Training an den Operationsmodulen im zehn Meter tiefen Tauchbecken des EAC.

Wie wird man die erste deutsche Astronautentrainerin?

NP (lacht) Mit der Raumfahrt habe ich mich schon vor meinem Studium befasst, da mich das Thema einfach fasziniert hat. Ich habe in der Schulzeit viele Bücher gelesen und wusste alles über Planeten. Nach meinem Abitur hatte ich viele Ideen, aber durch meinen Leistungssport, den ich zu der Zeit betrieben habe, ist es dann das Sportstudium geworden. Ganz zufällig habe ich dann während der Einführungswoche in einer Astronomie-Fachzeitschrift zum Thema Weltraumforschung gelesen, in der ein Artikel über die Arbeit von Professor Bock von der Sporthochschule stand. Da habe ich mir gedacht: Prima, so kommt alles wieder zusammen, den spreche ich einfach mal an!

Und das haben Sie dann gemacht?

NP Ja. Ich bin im ersten Semester zu ihm hin gegangen und habe ihn gefragt, wie ich in dem Bereich „Weltraum“ Fuß fassen kann. Ich glaube, er fand das sehr amüsant. Er meinte, dass er mir keine konkrete Empfehlung aussprechen kann, ich aber, wenn ich Lust hätte, bei ihm als studentische Hilfskraft anfangen könnte. Das habe ich dann gemacht und auch meine Diplomarbeit im Institut für Anatomie und Physiologie geschrieben.

Was war das Thema Ihrer Diplomarbeit?

NP Kognitiver Aufwand bei einer Fingerfolge-Aufgabe. Ich habe eine erste Messreihe für ein neues Experiment von Professor Bock durchgeführt, das bereits für die ISS vorgesehen war. Das Experiment wurde 2006/2007 durchgeführt, teilweise von amerikanischen Astronauten, die ich auch kenne. Ich habe gesehen, dass tatsächlich einige meiner Empfehlungen, die ich in der Diplomarbeit verfasst habe, übernommen wurden. Das hat mich sehr gefreut.

Wie sind Sie schließlich bei der ESA gelandet?

NP Durch ein Praktikum nach meinem Studium. Das war damals nicht so einfach, ich war wahrscheinlich einer der ersten Praktikanten hier.

Was sind die Aufgaben des Europäischen Astronautenzentrums innerhalb der ESA?

NP Wir sind hier auf drei Abteilungen verteilt. Das EAC ist natürlich einmal die Homepage der Astronauten, das heißt der Astronautensupport wird von hier ge-

steuert. Dazu gehört der Familysupport und der Missionssupport. Was hier ebenfalls stattfindet, ist das Systemtraining an den Operationsmodulen. Das Training an den Modulen und Geräten wird von der Trainingsabteilung durchgeführt. Die Aufgabe von uns Mitarbeitern aus der medizinischen Abteilung, ist die Auswahl und die medizinische Zertifizierung und Betreuung von Astronauten während ihrer Laufbahn und speziell natürlich während einer Langzeitmission.

Was sind speziell Ihre Aufgaben?

NP Meine Arbeit betrifft in der Abteilung alles was mit Sport und physischer Fitness zu tun hat. Uns liegt es natürlich am Herzen, dass die Astronauten ein regelmäßiges Sporttraining betreiben, damit sie fit und medizinisch unauffällig bleiben. Ich erstelle Trainingskonzepte, die speziell für unser Klientel ausgerichtet sind, erfasse Trainingsdaten und werte die Daten aus. Seit circa zwei Jahren habe ich zwei Mitarbeiter, so dass wir unseren Aktionsradius weiter vergrößern konnten. Wir haben aber noch sehr viel zu tun, um eine optimale Umsetzung unseres Konzeptes zu erreichen. Das ist immer noch Pionierarbeit. Unsere Königsdisziplin ist natürlich die Betreuung von unseren Astronauten während einer Weltraummission. Wir müssen die Astronauten entsprechend vorbereiten, das Training konzipieren, das Training auf der Raumstation lenken und nach der Rückkehr der Astronauten auf die Erde die Rehabilitation durchführen.

Klingt komplex ...

NP Ja, ist es auch. Das liegt nicht zuletzt an dem internationalen Umfeld: verschiedene Nationen mit unterschiedlichen Interessen und Einflussgrößen, wobei die ESA immer noch ein Juniorpartner ist, verglichen mit der NASA und der Russian Space Agency. Wir müssen uns in ein komplexes, über die Jahre gewachsenes Geflecht einfügen, und dabei unsere eigene Expertise entwickeln. Das ganze System ist hochpolitisch, und ohne diplomatisches Fingerspitzengefühl rennt man schnell gegen unüberwindliche Wände. Für das Training auf der Raumstation müssen wir gerätespezifische Trainingsprotokolle entwerfen, da die Geräte im Grunde noch Prototypen sind. Wir müssen unsere Protokolle teilweise mit provisorischen, und daher recht unpraktischen Softwareprogrammen schreiben. Die Kommunikation mit dem Astronauten ist auch nur begrenzt möglich. Es tauchen bei einer Mission un-



Nora Petersen am Morgen des Halbmarathons in Bonn.



Die Fitness der Astronauten stets im Blick (v.l.: Thomas Pesquet (FR), Alexander Gerst (DE), Andreas Mogensen (DK), vorne: Mitarbeiter Patrick Jaekel).

terschiedlichste Schwierigkeiten auf, und jedes Mal müssen wir dafür kreative Lösungen finden. Von Routinearbeit kann man hier also noch nicht sprechen.

Wie wird an Bord trainiert?

NP Täglich sind zweieinhalb Stunden geplant, allerdings beträgt die reine Trainingszeit in etwa eine bis eineinhalb Stunden – am Krafttrainingsgerät, auf dem Laufband und auf dem Fahrrad-Ergometer. Die Geräte müssen entsprechend der Schwerelosigkeit besonders konzipiert sein. Sie sollten robust und bei Bedarf einfach zu reparieren sein, was sie bisher meistens nicht sind. Das Laufband hat ein Zugsystem, welches den Astronauten auf die Lauffläche fixiert. Als Probandin bei mehreren Parabelflügen habe ich das Laufen in Schwerelosigkeit selbst getestet. Das ist sehr gut, um die Intensität der Protokolle einschätzen zu können.

Warum ist der Sport für die Astronauten so wichtig?

NP Auf Grund der bekannten Effekte, die die Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper hat. Vereinfacht ausgedrückt, findet ein sehr stark beschleunigter Alterungsprozess im All statt. Körperliches Training ist bisher das wirksamste Mittel, welches bei Raumflügen umgesetzt werden kann, um den unerwünschten Adaptationsprozessen im Körper entgegenzuwirken. Die Astronauten müssen trainieren, um Muskeln, Knochen und das Herz-Kreislaufsystem zu erhalten, um gesund wieder auf die Erde zurückzukehren. Wir führen nach einer Mission zusätzlich ein Wiederaufbautraining durch und ermutigen zum lebenslangen Sporttreiben. Am besten wäre es, wenn man im All so gute Trainingsmöglichkeiten hätte,

dass die Reha am Ende nicht mehr nötig ist. Das ist aber noch Zukunftsmusik.

Das heißt, die Erkenntnisse, die Sie sammeln, sind nicht nur für den Weltraumfahrer relevant ...

NP Richtig. Raumfahrtmedizin und irdische Medizin können sich gegenseitig beeinflussen. Es gibt jede Menge Entwicklungen und Erkenntnisse, technische und den Menschen betreffende, die der Raumfahrt zu verdanken sind. Daher ist es auch wichtig mit Partnern wie der Deutschen Sporthochschule Köln und anderen Institutionen zusammenzuarbeiten. An der Sporthochschule sind Kompetenzen gebündelt, die für unsere Arbeit sehr elementar sind. Andersherum kann die Sporthochschule durch gemeinsame Projekte ihre Forschung vorantreiben. Der Kontakt besteht seit vielen Jahren, auch schon bevor ich hier meine Arbeit angefangen habe.

Wenn Sie mit den Astronauten im Weltall kommunizieren, wie ist das?

NP Ich kann mich noch sehr gut daran erinnern, wie nervös und aufgeregt ich bei den ersten Malen war, wenn ich mit dem Astronauten auf der Raumstation gesprochen habe. Man hat immer eine kleine Zeitverzögerung in der Unterhaltung, aufgrund der Satellitenverbindung, und muss Fragen und Antworten auf bestimmte Weise formulieren. Mittlerweile ist das schon fast Routine. Aber es ist immer noch ein spannendes Gefühl über den Trainingsdaten von jemanden zu sitzen, der in einer Raumstation um die Erde fliegt.



Sporttraining im zehn Meter tiefen EAC-Tauchbecken.



Nora Petersen testet ein Laufband im Parabelflug.

Wie war Ihre erste Langzeitmission?

NP Es war ein Sprung ins kalte Wasser und wir mussten lernen „zu schwimmen“. Daher war es eine sehr intensive, aufregende und lehrreiche Zeit. Ich hatte den Auftrag, einen Countermeasure-Trainingsplan für die europäische Crew zu entwerfen und musste mir die entsprechenden Grundlagen erst mühsam zusammentragen. Hinzu kommt die Komplexität der Daten. Das war schon ein echtes Abenteuer. Mittlerweile versuchen wir laufend, unsere Datenerfassungs- und auswertungssysteme zu optimieren. Wir betreuen seit 2009 eine neue Gruppe von europäischen Astronauten in ihrer Grundausbildung und ihrem normalen Training im EAC. Es ist sehr interessant, die Astronautenkarriere hautnah von Anfang an mitzerleben, da sie auch in den kommenden Jahren fliegen werden. Es schließt sich ein weiterer Kreis aus Erkenntnissen und Erfahrungen.

Wie ist das Verhältnis zu den Astronauten?

NP Da fällt mir eine Geschichte ein ... Mit einem kanadischen Astronauten hatte ich während seiner Mission auf der ISS mehr Kontakt. Wir haben irgendwann ein Spielchen angefangen, bei dem ich ihm ein Foto von einem bekannten Ort auf der Erde mit Koordinaten und etwas Hintergrundinformation geschickt habe, und er sollte raten, wo das ist. Er schickte mir dann wenige Tage später einen detaillierten Bericht, wo er in dem Ort schon überall war und Kaffee mit seiner Frau getrunken hatte. Man muss bedenken, dass er keinen Zugriff auf das Internet oder ähnliche Informationsquellen hatte. Ich war richtig erstaunt, wie weit er schon herum gekommen war, denn ich hatte es ihm nicht leicht gemacht. Nach seiner Weltraummission hielt er einen

Vortrag bei uns über seine Erfahrungen. Am Ende rief er mich nach vorne, um vor allen Kollegen von unserem Spiel zu erzählen. Er eröffnete mir dann, dass er an keinem dieser Orte je gewesen ist, sondern die Details und Geschichten über seine kanadischen Kollegen recherchieren ließ. Er bedankte sich sehr dafür und erzählte, dass alle viel Spaß dabei hatten und dass es ein großartiger psychologischer Support für alle Beteiligten war.

Würden Sie gerne selber mal ins All fliegen?

NP Als Touristin ja. Astronautin würde ich nicht unbedingt werden wollen, da ich mit dem Beruf Umstände assoziiere, für die man doch irgendwie gemacht sein muss (schmunzelt). Aber mal hochfliegen für eine Woche, fände ich toll.

Was halten Sie generell von All-Tourismus?

NP Ich denke, dass der Tourismus die Zukunft sein wird. Das war bisher bei allen Transportmitteln so, ob bei der Eisenbahn, beim Schiff oder Flugzeug, und irgendwann wird auch das All in diese Richtung erschlossen sein. Ob das gut ist oder funktioniert, ist eine andere Sache, aber ich glaube, es ist die logische Konsequenz. Frank Schätzing hat das in seinem Buch „Limit“ ja schon ganz schön beschrieben. Irgendwann wollen alle diese Möglichkeit nutzen. Dazu müssen die Systeme effizienter und damit kostengünstiger werden.

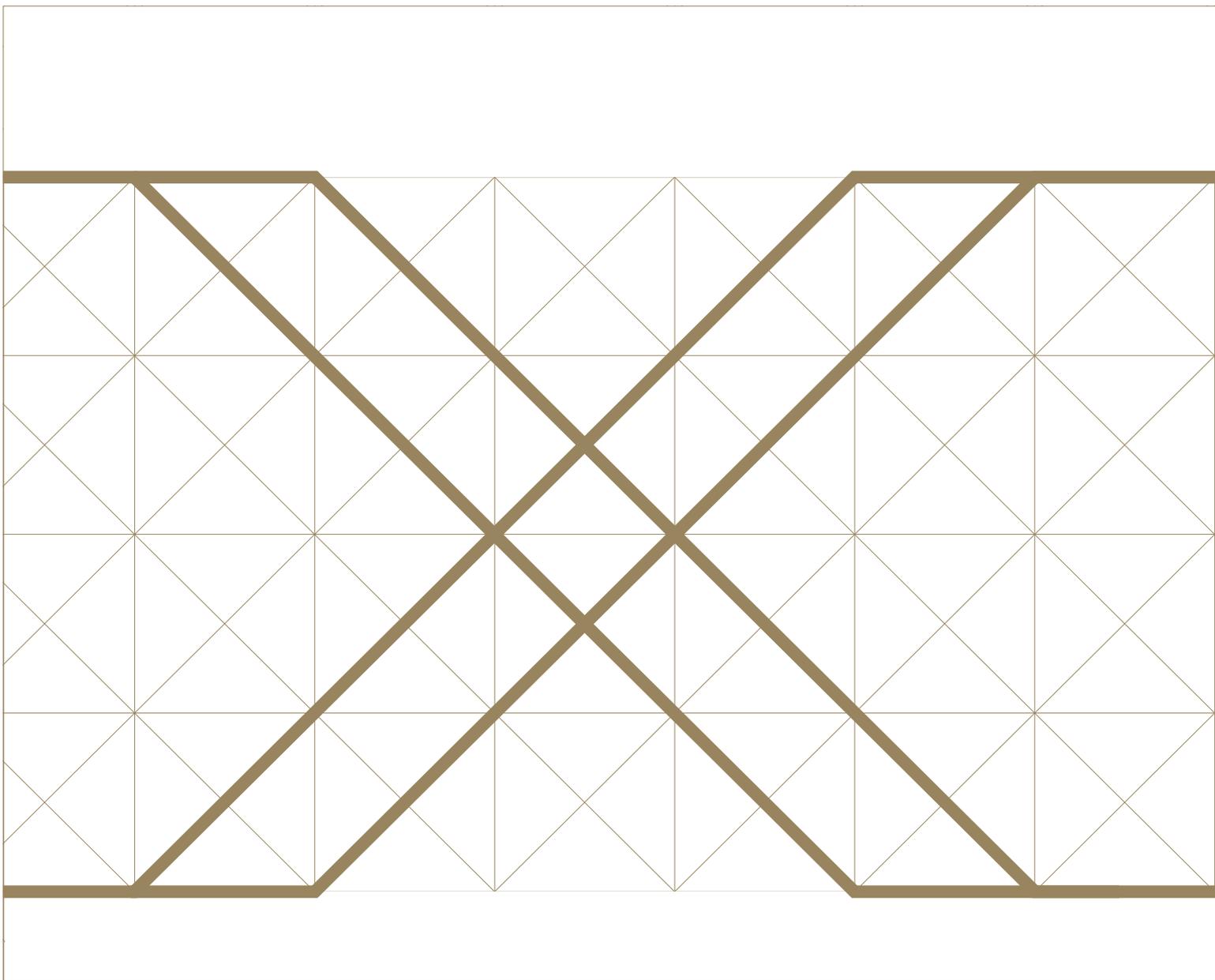
Welchen Sport betreiben Sie in Ihrer Freizeit?

NP Karate und um die nächste Frage vorwegzunehmen, ich habe den schwarzen Gürtel. Ich setze das beruflich allerdings nicht ein (lacht).



Die Europäische Weltraumorganisation ESA ist Europas Tor zum Weltraum. Ihre Aufgabe ist es, das gemeinsame europäische Weltraumprogramm zu konzipieren und umzusetzen. Aktuell gehören der ESA 18 Mitgliedsstaaten an.

Das Europäische Astronautenzentrum EAC (European Astronauts Centre) trainiert Astronauten für künftige Missionen und liegt in Köln.

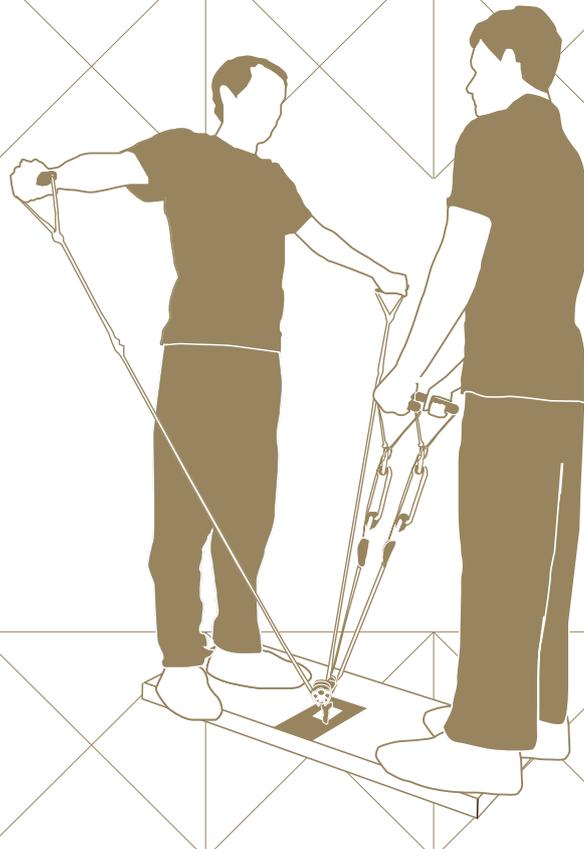


Krafttraining in Schwerelosigkeit

Self-Powered-Rope-Trainer – Ein neues Konzept

Text Michael Behringer, Christoph Zinner, Silvia Achtzehn, Joachim Mester *Fotos* OHB

DER SELF-POWERED-ROPE-TRAINER



Die bemannte Raumfahrt ist seit jeher mit den Nebenwirkungen der Schwerelosigkeit konfrontiert. Insbesondere bei Langzeitaufenthalten in Mikrogravitation gilt es, den adaptiven Prozessen unterschiedlicher Systeme des Organismus entgegenzuwirken. Eine große Herausforderung stellt in diesem Zusammenhang der Erhalt des Muskel-, Knochen- und Knorpelgewebes dar. Bislang erhobene Daten weisen jedoch darauf hin, dass Aufenthalte von sechs Monaten oder länger trotz verschiedener Trainingsinterventionen mit einer Reduktion von Muskelmasse einhergehen (Trappe u.a. 2009).

Während ein Großteil des Fitnessequipments auf der Internationalen Raumstation (ISS) bislang darauf ausgerichtet war, den kardiovaskulären Neben-

wirkungen der Mikrogravitation entgegenzuwirken, so sind aus oben genannten Gründen in der jüngeren Vergangenheit auch vermehrt Trainingsmaschinen zur Raumstation transportiert worden, welche die Applikation mechanischer Reize im Sinne eines Krafttrainings ermöglichen. Als Beispiele seien hier das *Advanced Resistive Exercise Device (ARED)* und das *Flywheel* angeführt. Die Nachteile dieser bereits verfügbaren Geräte liegen im Wesentlichen in ihrer raumfordernden Konstruktion, ihrem hohen Gewicht, ihrer technischen Komplexität, und der damit assoziierten Anfälligkeit für Störungen und Ausfälle. Darüber hinaus sind oft umfangreiche Einstellungsänderungen erforderlich, um zwischen verschiedenen Übungen zu wechseln, wodurch sich die effektive Trainingszeit für die Astronauten reduziert.



Biceps-Curls und Seitheben am SPoRT-Partner-Trainer.

Das kompakte und einfach konstruierte Gerät basiert auf dem Prinzip, dass ein Astronaut den Widerstand für seinen Trainingspartner generiert.

Hier setzt das Konzept des SPoRT (Self-Powered-Rope-Trainer) Partner-Trainers an. Das kompakte und einfach konstruierte Gerät, bestehend aus einer Grundplatte, und zwei Seilen, die über Rollen an der Grundplatte umgelenkt werden, basiert auf dem Prinzip, dass ein Astronaut den Widerstand für seinen Trainingspartner generiert. Das geringe Gewicht, die Einfachheit der Konstruktion und die Möglichkeit des schnellen Wechsels zwischen den verschiedenen Übungen gehören zu den entscheidenden Vorteilen des neuen Gerätes. Hinzu kommt die besonders flexible Gestaltung der Trainingsintensität, die auch exzentrische Kontraktionen problemlos ermöglicht. Ein weiterer Vorteil liegt in der Vermeidung der Energiespeicherung im Gerät bzw. der Abgabe von Energie in Form von Vibrationen an die Raumstation – eine Eigenschaft, die in den oben genannten Geräten nur mit hohem technischen Aufwand realisiert werden konnte.

Trotz der genannten konstruktionsbedingten Vorteile bleibt zu klären, ob durch ein Training am SPoRT-Partner-Trainer ein ausreichend hoher mechanischer Reiz gesetzt werden kann, um den atrophischen Prozessen effektiv entgegenwirken zu können. Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es daher, den Trainingsstimulus näher zu quantifizieren und ihn mit dem eines Krafttrainings an herkömmlichen Kraftmaschinen am Beispiel der Übung Biceps-Curls zu vergleichen.



Der SPoRT-Partner-Trainer im Test

Probanden

Insgesamt wurden sieben männliche Probanden untersucht. Das Durchschnittsalter lag bei 30,4 Jahre ($\pm 6,6$), das durchschnittliche Gewicht bei 77,5 kg ($\pm 8,4$) und die mittlere Körpergröße bei 181 cm ($\pm 0,09$). Bei den Probanden handelte es sich um Sportler mit einem Trainingspensum von mehreren Stunden Training pro Woche. Nur einer der Probanden führte zum Zeitpunkt der Untersuchung ein regelmäßiges Krafttraining ($\geq 2\text{h/w}$) durch, wobei alle Probanden über eine gewisse Krafttrainingserfahrung verfügten.

Trainingsmittel

Das Training wurde an einem von der Firma *OHB System AG* bereitgestellten Prototyp des SPoRT-Partner-Trainers durchgeführt. Der integrierte Kraftsensor befand sich unmittelbar unterhalb der beiden Rollen, welche zentral an der Basisplatte befestigt waren. Zur elektronischen Erfassung der Kraftsensordaten wurde das Programm *catman® easy/AP* (Version 3.1) verwendet. Die gemessenen Kräfte wurden in Kilogramm ausgegeben.

Als Vergleichsgerät diente eine Biceps-Maschine der Firma *GYM 80*. Die Daten des Kraftsensors wurden mit Hilfe der Software *Dynamic Test* (Version 2.3) der Firma *Degimax mechaTronic* erfasst und gespeichert. Die gemessenen Kräfte wurden in Newton angegeben und zur besseren Vergleichbarkeit mit den Daten des Self-Powered-Rope-Trainers in einem weiteren Schritt in Kilogramm umgerechnet (Multiplikator: 0,0980665).

Trainingsreiz

Alle Probanden führten zunächst am SPoRT-Partner-Trainer drei Sätze mit je zehn Wiederholungen durch, wobei der Widerstand vom Versuchsleiter so

gewählt wurde, dass pro Satz maximal zehn Wiederholungen möglich waren (10RM). In einem Abstand von einer Woche wurde daran anschließend das 10RM an einer herkömmlichen Biceps-Maschine (BM) der Firma *GYM 80* bestimmt. An dieser Maschine wurden in der darauf folgenden Woche ebenfalls drei Mal zehn maximale Wiederholungen durchgeführt (10RM). Die Pause zwischen den einzelnen Sätzen lag bei einer Minute. Die Bewegung wurde von allen Probanden in moderater Geschwindigkeit und über den kompletten Bewegungsumfang (ROM) durchgeführt.

Messungen

Der im vorigen Abschnitt beschriebene mechanische Trainingsreiz wurde auf drei unterschiedlichen Ebenen quantifiziert:

1. Beide Geräte waren mit Kraftsensoren (Dehnungsmessstreifen) ausgestattet, deren Daten während der Übungsausführung kontinuierlich mit einer Abtastrate von 100 Hz detektiert und gespeichert wurden.
2. Zur Messung der elektrischen Aktivität der willkürlich kontrahierenden Muskeln (Muskel Aktionspotenziale) wurde eine Oberflächenelektromyographie eingesetzt. Die selbstklebenden Hautelektroden wurden dafür in einem Abstand von 2 cm mittig auf dem *Musculus biceps brachii* beider Arme aufgebracht. Eine Referenzelektrode wurde auf Höhe des rechten *Acromions* befestigt.
3. Um das Ausmaß der Muskelzellschädigung abschätzen zu können, wurde die Konzentration der Kreatinkinase im kapillären Blut vor sowie 80 min und 24 h nach der Belastung bestimmt.

Untersuchung SPoRT-Partner-Trainer vs. Biceps-Maschine

P = 1 min Pause

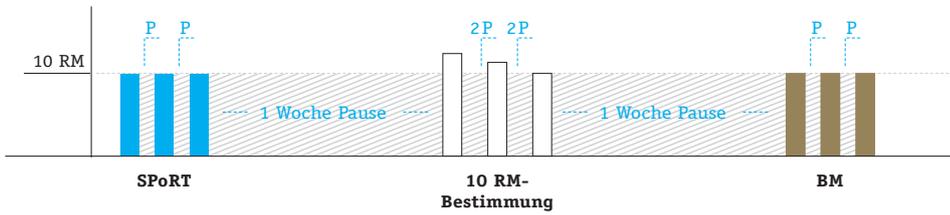
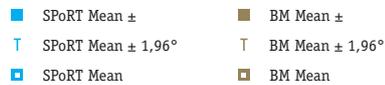


Abb. 1

Abb. 1
Belastungsprotokoll
(Beschreibung siehe Text).



Mittlere Belastung im Vergleich

Einheit average load [kg]

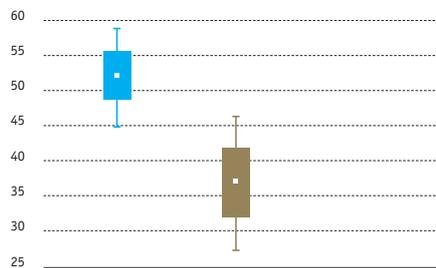


Abb. 2

Mittlere EMG-Aktivität im Vergleich

Einheit iEMG [$\mu V \cdot s$]

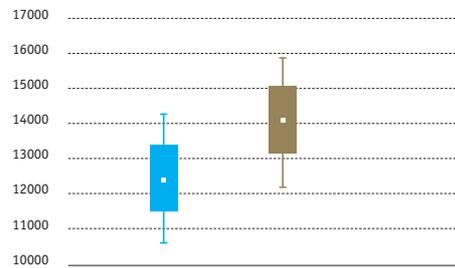


Abb. 3

Abb. 2
Mittlere Belastung bei Biceps-Curls. Vergleich zwischen dem SPoRT-Partner-Trainer und einer klassischen Biceps-Maschine.

Abb. 3
Mittlere EMG-Aktivität bei Biceps-Curls. Vergleich zwischen dem SPoRT-Partner-Trainer und einer klassischen Biceps-Maschine.

Mittlerer Anstieg der Kreatinase im Vergleich [80 min nach der Belastung]

Einheit CK IU/I [80 min]

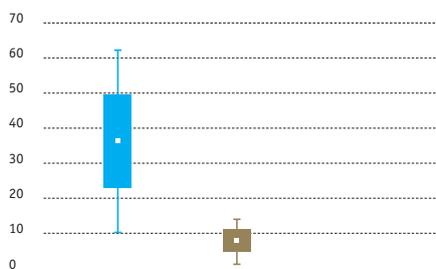


Abb. 4

Mittlerer Anstieg der Kreatinase im Vergleich [24 h nach der Belastung]

Einheit CK IU/I [24 h]

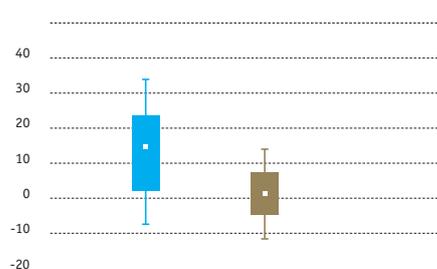


Abb. 5

Abb. 4
Mittlerer Anstieg der Kreatinase 80 min nach der Belastung. Vergleich zwischen dem SPoRT-Partner-Trainer und einer klassischen Biceps-Maschine.

Abb. 5
Mittlerer Anstieg der Kreatinase 24 h nach der Belastung. Vergleich zwischen dem SPoRT-Partner-Trainer und einer klassischen Biceps-Maschine.

SPoRT-Partner-Trainer vs. Biceps-Maschine

Die während den einzelnen Trainingssätzen mittels Kraftsensoren gemessenen Belastungsintensitäten lagen bei den am SPoRT-Partner-Trainer durchgeführten Biceps-Curls im Mittel höher, als die Kräfte, welche an der klassischen Biceps-Maschine (BM) erreicht wurden. Die durchschnittliche Belastung, gemessen in Kilogramm, lag bei dem Partnergerät bei 51,78 kg ($\pm 9,51$), während an der BM nur 43,27 kg ($\pm 13,06$) im Mittel bewegt werden konnten (Abb. 1).

Bezogen auf die elektrische Aktivierung der Muskulatur zeigte sich eine höhere EMG-Aktivität (Elektromyographie) bei den Biceps-Curls an der klassischen BM. Der Wert des integrierten EMGs lag hier gemittelt über beide Arme bei 14058,25 $\mu V \cdot s$ ($\pm 5351,79$). Bei dem SPoRT-Gerät lagen die Werte im Mittel bei 12119,55 $\mu V \cdot s$ ($\pm 5648,42$). (Abb. 2)

Der Anstieg der Kreatinkinase im Verhältnis zum Ausgangswert (CK Delta) zeigte ein vergleichbares Muster 80 min und 24 h nach der Belastung. Zu beiden Messzeitpunkten lag der Wert nach dem Training am SPoRT-Partner-Trainer höher, als nach der vergleichbaren Belastung an der klassischen Biceps-Maschine. Die gemessene Konzentration betrug nach dem Training am SPoRT-Gerät zum ersten Messzeitpunkt 29,29 U/l ($\pm 35,25$) und zum zweiten Messzeitpunkt bei 13 U/l ($\pm 26,02$). Die Vergleichswerte nach der Belastung an der Bicepsmaschine lagen bei 8,57 U/l ($\pm 7,18$) und bei 4,29 U/l ($\pm 16,81$). (Abb. 3-4)

Belastungsintensitäten im Mittel höher

Ziel der vorliegenden Pilotstudie war es, den mit Hilfe des neuen SPoRT-Partner-Trainers applizierbaren Trainingsreiz zu quantifizieren und mit dem eines klassischen Krafttrainings an herkömmlichen Kraftmaschinen zu vergleichen. Dabei zeigte sich, dass die Probanden an der Biceps-Maschine geringere mittlere Belastungswerte erreichten (43,27 kg $\pm 13,06$) als an dem neuen SPoRT-Gerät (51,78 kg $\pm 9,51$). Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass für diese geringere Kontraktionskraft eine hö-

here elektrische Aktivierung der Muskulatur erforderlich war (14058,25 $\mu V \cdot s \pm 5351,79$ vs. 12119,55 $\mu V \cdot s \pm 5648,42$).

Zurückzuführen ist diese Konstellation der Befunde auf die höheren Belastungen in der exzentrischen Phase bei der Bewegung am SPoRT-Gerät (exzentrisch akzentuiertes Training). Bei dieser Trainingsform kommt es bekanntermaßen bei gleichen Winkelgeschwindigkeiten zu größeren Drehmomenten – welche im Vergleich zum auxotonischen Krafttraining von einer niedrigeren metabolischen Belastung und einer geringeren neuronalen Aktivität begleitet sind (Lindstedt u.a. 2001; Roig u.a. 2009). Die so generierten hoch intensiven Trainingsstimuli sind nach aktueller Lehrmeinung die Ursache für die höhere Effektivität exzentrischer Krafttrainingsregimen in Hinblick auf Muskelkraft und -volumenzunahme (Roig u.a. 2009).

Die besondere Bedeutung intensiver Trainingsbelastung, in Form exzentrischer Kontraktionen im Training auf der internationalen Raumstation, wird auch von Loehr u.a. (Loehr 2010) hervorgehoben. In dieser kürzlich veröffentlichten Studie wurde das Training an dem neuen *Advanced Resistive Exercise Device* (ARED) der NASA (National Aeronautics and Space Administration) mit dem zuvor auf der ISS installierten *interim Resistive Exercise Device* (iRED) verglichen. Einer der zentralen Kritikpunkte an dem älteren iRED lag dabei in dem ungünstigen Belastungsverhältnis zwischen der konzentrischen und exzentrischen Phase der Bewegung. Bei letzterer lagen die erzeugten Kraftwerte um etwa 30% niedriger als in der konzentrischen Bewegung. Dieser Mangel an exzentrischem Widerstand wird nach den Autoren, mit Verweis auf eine zuvor veröffentlichte Studie von Dudley u.a. (Dudley 1991), für die bislang enttäuschenden Trainingsergebnisse des iREDs verantwortlich gemacht. Auch Trappe u.a., welcher via Magnetresonanztomographie (MRT) und Muskelbiopsien nachweisen konnte, dass sich trotz diverser Trainingsmaßnahmen bei allen neun untersuchten Astronauten nach sechs Monaten eine Atrophie der Wadenmuskulatur nachweisen ließ, kommt zu dem Schluss, dass die Intensität

Es konnte am Beispiel der Biceps-Curls gezeigt werden, dass der an dem SPoRT-Partner-Trainer generierbare Trainingsreiz mit dem eines Krafttrainings an herkömmlichen Kraftmaschinen zu vergleichen ist.

des Trainings wichtiger scheint als die Quantität der Trainingsreize (*Trappe u.a. 2009*).

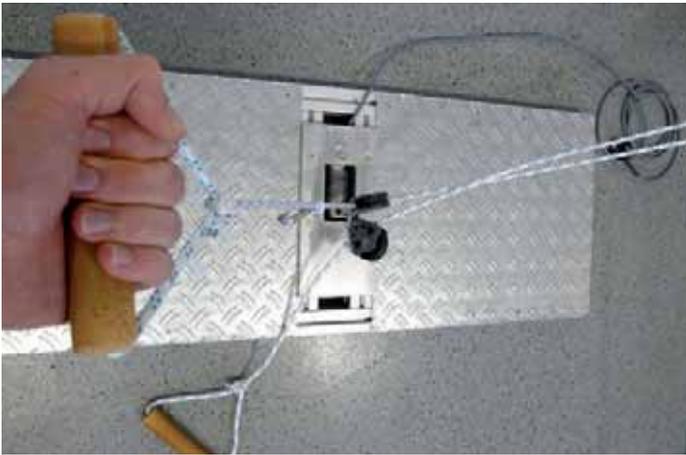
Eine verbesserte Exzentrik-Konzentrik-Ratio (EKR) von etwa 0,9, sowie die Möglichkeit von konzentrischen Belastungsspitzen bis zu 272 kg, die durch Vakuumzylinder des AREDs ermöglicht werden, gehören nach *Loehr u.a.* zu den entscheidenden Verbesserungen des im November 2008 zur Raumstation beförderten Trainingsgerätes (*Loehr 2010*). Demgegenüber stehen trotz einfacher Gerätekonstruktion und äußerst geringen Packmaßen eine theoretisch unbegrenzte Maximalbelastung (abhängig vom Trainingspartner), eine stufenlos variable EKR des SPoRT-Partner-Trainers, welche auch Werte von >1 einnehmen kann und eine deutlich größere Übungsvielfalt.

Die beobachtete Konstellation hoher mechanischer Belastung bei niedriger elektrischer Aktivierung der Muskulatur, im Sinne des beschriebenen exzentrisch akzentuierten Trainings, spiegelt sich auch in den gemessenen Werten der Kreatinkinase wieder. Während die nach 24 Stunden gemessene Serumkonzentration nach der Belastung am SPoRT-Gerät bei 29,29 U/l ($\pm 35,25$) lag, war der Vergleichswert nach Belastung an der Biceps-Maschine um etwa 20 U/l niedriger. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit Publikationen anderer Autoren, welche dieses Enzym nach konzentrischer und exzentrischer Übung miteinander verglichen haben. So berichtet *Nosaka (Nosaka 2008)* neben einer stärker ausgeprägten Verminderung der maximalen isometrischen Kraft, einer deutlicheren Reduktion des maximalen Bewegungsumfangs und einer stärkeren Zunahme des Oberarmumfangs auch von einer signifikant höheren Kreatinkinase-Auslenkung nach exzentrischer Belastung der Ellbogenflexoren,

im Vergleich zur konzentrischen Übung. Anstiege dieses, normalerweise an den myofibrillären Strukturen der M-Linien gebundenen cytosolischen Enzyms (Biochemical Markers) im Blutkreislauf, sprechen für eine Schädigung der Muskelzelle auf Z-Scheiben und Sarcolemmebene und fallen bei exzentrischen Belastungen am höchsten aus (*Brancaccio u.a. 2010*).

Der Verlauf der Serumaktivität der Kreatinkinase ist dabei abhängig von verschiedenen Faktoren. Hier ist neben grundsätzlicher individueller Unterschiede (high- vs. low-responder), der Trainingszustand als Einflussgröße zu nennen. So weisen Athleten im Vergleich zu untrainierten Probanden neben höheren Ruhewerten auch eine geringere belastungsabhängige Auslenkung dieses Parameters auf. Da es sich bei den untersuchten Probanden ebenfalls um Sportler handelte, ist dieser Einfluss bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

Die erwähnte Begrenzung der maximalen Belastung durch den widerstandgebenden Trainingspartner ist bei der überwiegenden Zahl an Übungen zu vernachlässigen. Selbst bei Konstellationen bei denen der Trainierende deutlich stärker als der widerstandsgebende Trainingspartner ist, kann letzterer durch eine Bewegung aus der Oberschenkelmuskulatur Widerstände erzeugen, die in der Regel über 100% der maximalen konzentrischen Kraft der Oberkörpermuskulatur des Trainierenden liegen. Damit hatte diese Begrenzung keinen Einfluss auf die gegenwärtige Untersuchung. Das genannte Problem ungleicher Trainingspartner würde sich hingegen bei der aktuellen Prototypausführung des Gerätes stellen, wenn ausreichender Widerstand für die Beinmuskulatur des stärkeren der



Übersicht und Detailaufnahmen (Umlenkrollen + Kraftaufnehmer) des verwendeten SPoRT-Prototypen der OHB-System AG.

beiden Trainingspartner generiert werden soll. Da insbesondere die Beinmuskulatur bei Aufhalten in Mikrogravitation von de-adaptiven Prozessen betroffen ist und damit im Fokus für ein Training auf der ISS steht, muss es das Ziel sein, in weiteren Entwicklungsstufen des SPoRT-Gerätes einen geeigneten Mechanismus zu implementieren, der diesem Ungleichgewicht entgegenwirken kann.

Effektives Trainingsgerät bei einfacher und kompakter Konstruktion

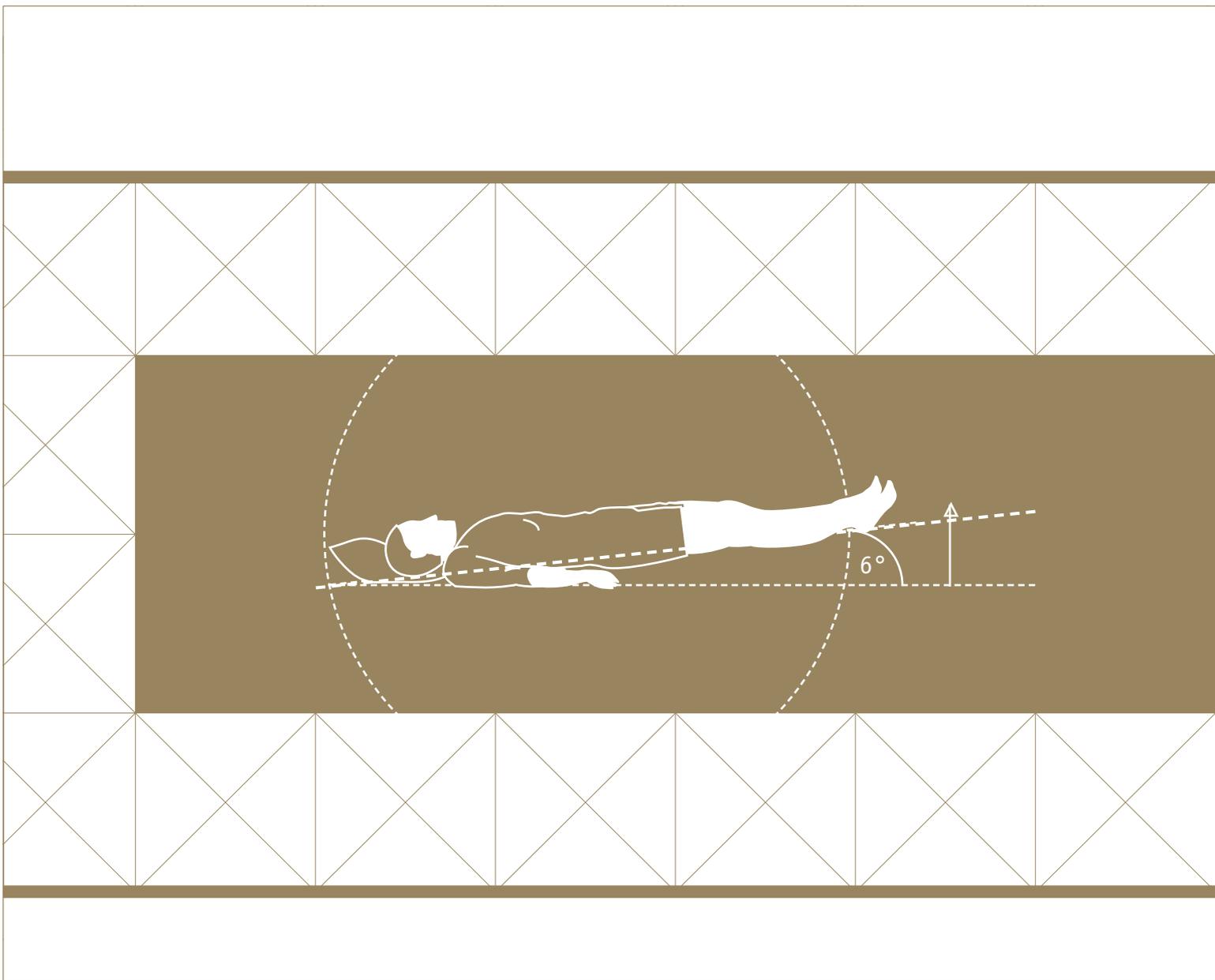
Es konnte am Beispiel der Biceps-Curls gezeigt werden, dass der an dem SPoRT-Partner-Trainer generierbare Trainingsreiz mit dem eines Krafttrainings an herkömmlichen Kraftmaschinen zu vergleichen ist. Insgesamt lag die mechanische Belastung bei dem Training am SPoRT-Gerät sogar leicht über den Intensitäten, die an der klassischen BM erreicht wurden. Dies äußerte sich in höheren gemessenen Kraftwerten, einer geringeren elektrischen Aktivierung der Muskulatur und einem deutlicheren Anstieg der Kreatinkinaseaktivität im Serum. Als zentrale Ursache für die beobachtete Differenz zwischen den beiden Trainingsgeräten kann die exzentrische Akzentuierung der Belastung am SPoRT-Partner-Trainer angesehen werden, welche im Vergleich zu rein konzentrischen Belastungen größere Effekte auf Muskelkraft und -volumen hat. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz der einfachen Gerätekonstruktion und der äußerst geringen Packmaßen des neuen Trainingsgerätes hochintensive, exzentrische Kontraktionen im Training verwirklicht werden können, ohne dabei wertvolle Zeit mit Geräteeinstellungen zu verlieren. Von bisher durchgeführten Betruhestudien ist bekannt, dass hochintensive Trainingsreize den de-adaptiven Prozessen der Muskulatur effektiv entgegen wirken können (Loehr u.a. 2010).

In weiterführenden Untersuchungen gilt es zu prüfen, ob sich die in der vorliegenden Pilotstudie gesehenen Intensitätsvorteile des SPoRT-Partner-Trainers auch auf Ebene der Anpassungserscheinungen im Rahmen einer mehrwöchigen randomisiert-kontrollierten Interventionsstudie nachweisen lassen. Betruhestudien würden sich zudem eignen um herauszufinden, ob der generierbare Trainingsreiz ausreicht, den bekannten de-adaptiven Prozessen im Knorpel- und Knochengewebe entgegenzuwirken. Schließlich gilt es mit Hilfe eines Parabelfluges zu klären, ob weitere Gerätemodifikationen erforderlich sind um eine adäquate Bedienbarkeit bei Mikrogravität herzustellen. Bislang handelt es sich auf der ISS ausnahmslos um Trainingsgeräte, welche ein Einzeltraining ermöglichen. Vor dem Hintergrund des Partnertrainings, sind neben den genannten Vorteilen für die Intensitätssteuerung durchaus auch positive psychische Auswirkungen auf die Astronauten zu erwarten, die es in zukünftigen Studien ebenfalls zu erfassen gilt.

Literatur bei den Autoren.



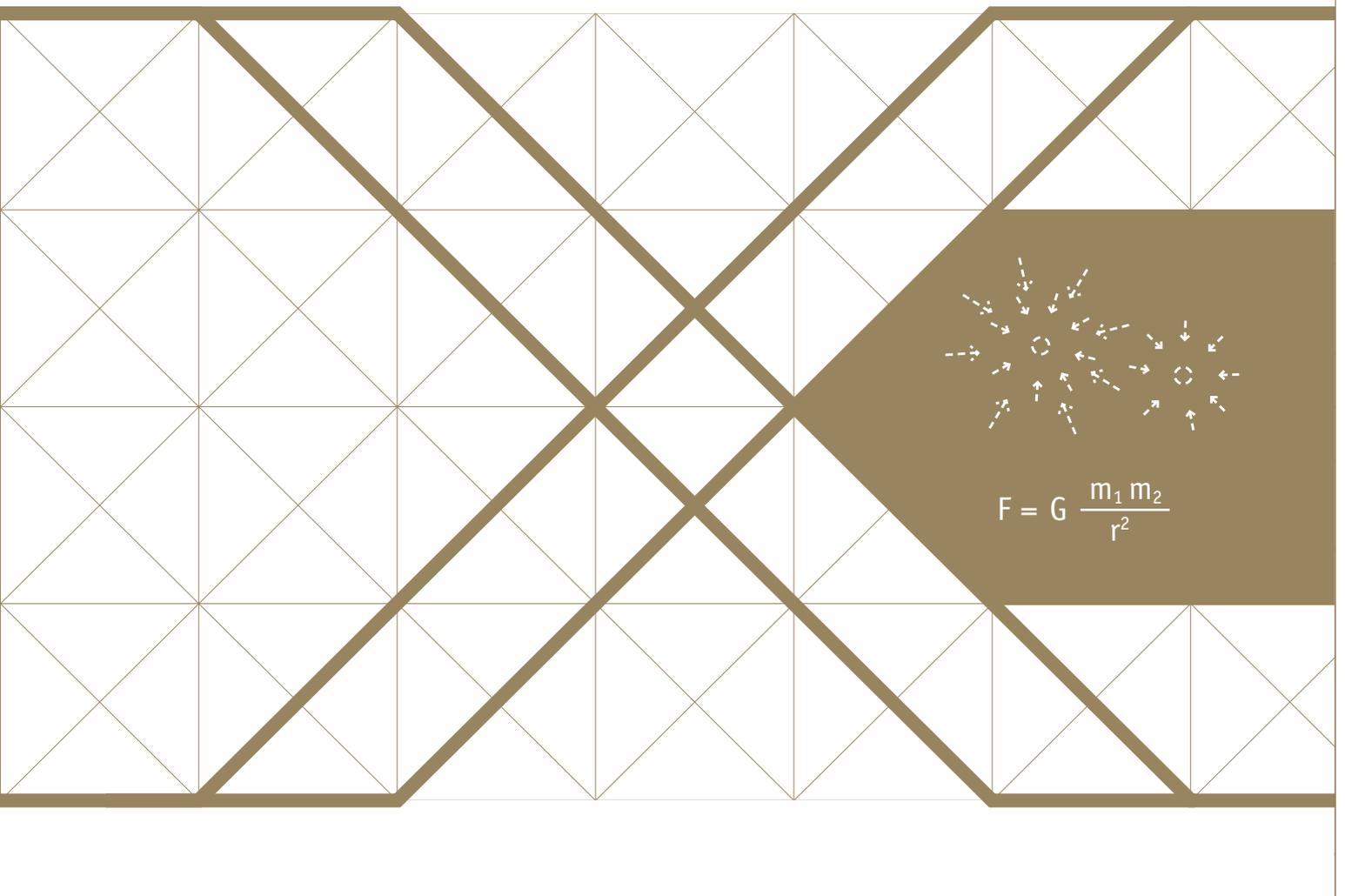
Dr. med. Michael Behringer,
geboren 1978 in Neuss, studierte von 1999 bis 2006 Medizin an der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf, an der er 2010 an der orthopädischen Klinik promovierte. Seit drei Jahren arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dozent im Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik der Deutschen Sporthochschule Köln.
E-Mail: behringer@dshs-koeln.de



Knorpeldegeneration bei Mikrogravitation?

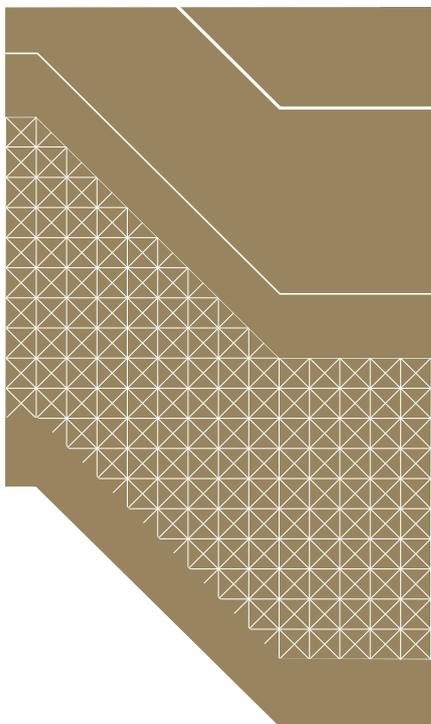
Wie gefährlich sind Weltraumaufenthalte für den Gelenkknorpel?

Text Anja Niehoff, Anna-Maria Liphardt, Joachim Mester, Gert-Peter Brüggemann Fotos DLR



Mechanische Belastung ist essentiell für den Erhalt und die Funktion des muskulo-skelettalen Bewegungssystems. Dabei passt sich nicht nur der aktive Bewegungsapparat (Muskeln), sondern auch der passive Stützapparat bestehend aus Knochen, Knorpel und Bindegewebe an mechanische Beanspruchungen an. Auf der Erde wirken mechanische Reize auf die Gewebe des Stützapparates durch Gravitation und durch Muskelkräfte. Die Form und Funktion der beanspruchten Gewebe steht dabei in enger Beziehung mit den mechanischen Anforderungen an das Gewebe. So wurde der direkte Zusammenhang zwischen mechanischer Belastung und Skelettwachstum und -entwicklung schon von *Meyer* (1867) erkannt und 1892 von *Wolff* in dem

„Transformationsgesetz der Knochen“ (*Wolff's Law*) festgehalten. *Roux* formulierte in seinem berühmten Werk „Gesammelte Abhandlungen über Entwicklungsmechanik der Organismen“ (1895) mit der „funktionellen Anpassung“ den Prozess, dass sich jedes Gewebe des Stützapparates an seine spezifische (mechanische) Funktion anpasst. Die außerordentliche Bedeutung der Muskelkräfte für die mechanische Beanspruchung und Belastbarkeit und damit der Form der Röhrenknochen wurde eindrucksvoll durch *Pauwels* (1965) beschrieben. Er führte auch die Theorie der kausalen Histogenese ein, mit der er beschreibt, dass sich spezifische Gewebe unter dem Einfluss definierter mechanischer Belastungsreize differenzieren.



In vivo Untersuchungsmethoden zur Analyse von Gelenkknorpel

(A) Koronares MRT-Bild des Kniegelenks.

(B) Die Segmentierungen des medialen (blau) und lateralen (grün) Knorpels der Tibia, sowie des medialen (gelb) und lateralen (rot) Knorpels des Femur.

Knorpel und mechanische Belastung

Die kritischen Strukturen der Belastbarkeit des muskulo-skelettalen Bewegungssystems sind die Gelenke und insbesondere der Gelenkknorpel. Da Knorpel ein avaskuläres, alymphatisches und aneurales Gewebe ist, stellt er den limitierenden Faktor bei der Anpassung des muskuloskelettalen Bewegungssystems an vermehrte mechanische Belastung dar. Gelenkknorpel kann sich an vermehrte mechanische Belastung anpassen, diese Adaptationskapazität ist jedoch z.B. im Vergleich zum Knochen und erst recht zum Muskel stark reduziert. So ist bekannt, dass während der Ausbildung des Gelenkknorpels die durch mechanische Belastung hervorgerufene lokale Spannung im Gelenk das Wachstum des Gelenkknorpels beeinflusst, so dass die Geometrie der Oberflächenkontur und regionale Variationen der Knorpeldicke moduliert werden (*Heegaard et al. 1999, Plochocki et al. 2006*).

Die eingeschränkte Anpassungskapazität von Gelenkknorpel wird zudem damit erklärt, dass Knorpelgewebe nur ca. 5% Zellen (Chondrozyten) aufweist, so dass Um- und Abbauprozesse limitiert sind. Dabei besitzt der Gelenkknorpel sehr wichtige Funktionen, wie die Übertragung von Kräften zwischen artikulierenden Knochenenden, die Verteilung der Kräfte im Gelenk und die Gewährleistung der Bewegung der Gelenkflächen mit minimaler Reibung. Im Alltag auf der Erde müssen die Gelenke Kräften standhalten, die das Mehrfache des Körpergewichts betragen (*Kutzner et al. 2010*). Die Ausübung dieser Funktionen ist in großem Maße von der Zusammensetzung und dem Aufbau der Grundsubstanz (Matrix) des Gelenkknorpels

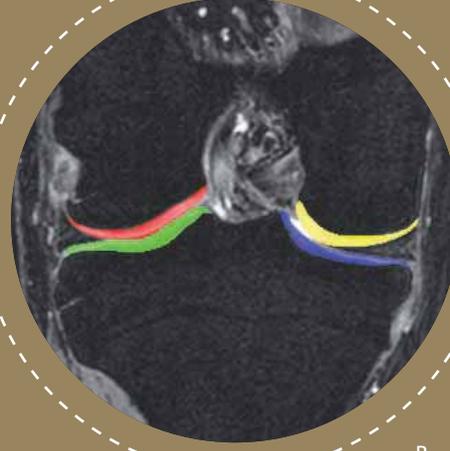
abhängig. Die Anordnung verschiedener Matrixproteine zu einem Netzwerk und der große Wasseranteil in der Matrix (ca. 60-85%) bestimmen die mechanischen Eigenschaften und damit die Funktionsfähigkeit von Gelenkknorpel. Die verminderte Adaptationskapazität von Knorpel zeigt sich aber vor allem darin, dass degenerierter Gelenkknorpel sich – nach derzeitigem Kenntnisstand – nicht regenerieren kann. Einmal zerstörter Gelenkknorpel wächst nicht wieder nach und letztlich ist ein künstliches Gelenk die einzige Therapiemöglichkeit. Aus diesem Grund ist es von besonderer Wichtigkeit die Prozesse zu identifizieren, die zu einem Knorpelabbau führen und Wege zu finden, diesen Mechanismen entgegen zu wirken.

Knorpel und Immobilisation

Chronische oder akute Überbeanspruchung kann zur Degeneration des Gelenkknorpels bis hin zur Osteoarthrose führen (*Buckwalter & Mankin 1998*). Auf der anderen Seite ist eine moderate Gelenkbelastung zur Nährstoffversorgung für den gesunden Knorpelstoffwechsel unverzichtbar, da der Knorpel keine Gefäße besitzt (*Buschmann et al. 1995*) und ein Stoffaustausch durch Diffusion stattfindet. Aus diesem Grund wird angenommen, dass auch eine reduzierte mechanische Belastung zu einer Schädigung des Gelenkknorpels führen kann. Bei einem Aufenthalt im Weltraum ist die alltägliche mechanische Belastung des muskulo-skelettalen Bewegungssystems durch die Mikrogravitation vor allem für die untere Extremität erheblich reduziert, was zum Abbau insbesondere von Muskel- und Knochengewebe führen kann. Frühere Experimente zeigen, dass es während der Raumflüge zu einer Abnahme so-



A



B

wohl von Skelettmuskelmasse und -kraft (Adams et al. 2003), als auch zu einer Abnahme der Knochendichte (Vico et al. 1998) bei den Astronauten kommt.

Bemerkenswerterweise sind bis heute keine Untersuchungen zum Effekt von Mikrogravitation im Weltraum auf den Gelenkknorpel vom Menschen vorhanden. Einige wenige Experimente im Tiermodell weisen daraufhin, dass es unter reduzierter mechanischer Belastung (Immobilisation) zu einer Veränderung der morphologischen, biochemischen und biomechanischen Eigenschaften des Gelenkknorpels kommt (Haapala et al. 2000, Jurvelin et al. 1986). In Zellkulturversuchen konnte eine veränderte Matrixproduktion von Chondrozyten in Reaktion auf Mikrogravitation nachgewiesen werden (Ulbrich et al. 2010, Zhang et al. 2003). Bisher wurden nur wenige in vivo Untersuchungen an Menschen zum Effekt von reduzierter mechanischer Belastung auf den Gelenkknorpel durchgeführt. Bei querschnittgelähmten Patienten konnte über einen Zeitraum von 6 Monaten eine deutliche Abnahme der Knorpeldicke festgestellt werden (Vanwanseele et al. 2002). Eine Reduzierung der Knorpeldicke konnte ebenfalls nach 7 Wochen Teilbelastung gemessen werden (Hinterwimmer et al. 2004).

In vivo Untersuchungsmethoden zur Analyse von Gelenkknorpel

Ein großes Problem bei der Erforschung der Anpassungskapazität von Gelenkknorpel sind die wenigen vorhandenen nicht-invasiven Untersuchungsverfahren, die eine Aussage zum Status und zu Veränderungen des Gelenkknorpels im lebenden Menschen möglich machen. Die wichtigste Methode

ist heutzutage die Kernspintomographie (Magnet-Resonanztomographie, MRT), die Gelenkknorpel in einem sehr guten Kontrast zum umgebenden Gewebe darstellt. MRT-Techniken erzeugen präzise (Eckstein et al. 2005) und reproduzierbare (Eckstein et al. 2001) dreidimensionale Daten der Morphologie des Kniegelenks (siehe Abbildung 1). Bei einer Dickenbestimmung von Gelenkknorpel wird von einer Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von 2,1 bis 7,4% ausgegangen (Eckstein et al. 1996). Einen weiteren gangbaren Weg zur Beurteilung der Knorpelreaktionen auf reduzierte oder erhöhte mechanische Belastung in vivo stellt der Nachweis von Knorpelmetaboliten (Biomarkern) im Blut dar. Potentielle Biomarker für den Knorpelstoffwechsel beinhalten Matrixkomponenten und/oder ihre Abbauprodukte, Zytokine und Proteasen. Ein etablierter Biomarker für die Degeneration von Gelenkknorpel ist Cartilage Oligomeric Matrix Protein (COMP). Das pentamere, nicht-kollagene Protein befindet sich in der Knorpelmatrix, bindet an Kollagen II und scheint eine Rolle bei der Bildung von Kollagenfibrillen und der Erhaltung des Kollagennetzwerkes zu haben (Halasz et al. 2007, Hedbom et al. 1992). Erhöhte Serum-COMP-Konzentrationen wurden bei Patienten mit Osteoarthritis (Saxne and Heinegard 1992), Rheumatoider Arthritis (Mansson et al. 1995) und verletztem Kniegelenksknorpel (Dahlberg et al. 1994) festgestellt. Interessanterweise zeigen Studien, dass sich die Serum-COMP-Konzentration auch direkt in Reaktion auf körperliche Aktivität erhöht (Mündermann et al. 2005, Niehoff et al. 2010). Als weitere Biomarker kommen Auf- und Abbauprodukte von Kollagen II, dem Hauptbestandteil der Knorpelmatrix, oder von Proteoglykanen in Frage.



Abb. 2

Bettruhe-Studien

In einer ersten Bettruhe-Studie wurde der Effekt von Immobilisation auf Kniegelenksknorpel in 2004 analysiert (Liphardt et al. 2009). Im Rahmen der ‚Vibration-Bed-Rest-Study‘ (VBR-Studie) wurde der Einsatz von Vibrationstraining als Gegenmaßnahme für die degenerativen Auswirkungen von Bettruhe in 6°-Kopftieflage (6°-head-down-tilt (6°-HDT)) untersucht (siehe Abbildung 2). An der Studie, die im ‚Cross-over-Design‘ mit zwei Studienphasen durchgeführt wurde, nahmen acht gesunde Probanden (Alter: 26 ± 5 Jahre; Gewicht: 78 ± 10 kg; Größe: 179 ± 10 cm) teil, die für 14 Tage in Bettruhe mit 6°-HDT immobilisiert wurden. Jeder Proband erhielt in einer Phase Vibrationstraining und in der zweiten Phase eine Kontrollintervention. Während der Trainingsintervention in der Bettruhephase trainierten die Probanden zweimal täglich 5×60 s auf der Vibrationsplatte (Galileo900) bei einer Frequenz von 20 Hz und einer Amplitude von ~ 3 mm. Die Strecke zum und vom Trainingsraum wurde zweimal täglich gegangen. Die Abläufe waren identisch für die Kontroll- und die Trainingsintervention, lediglich die Vibrationsplatte wurde während der Kontrollintervention nicht angeschlossen. Dieses Studiendesign ermöglichte es daher gut kontrolliert, den isolierten „Vibrations-Effekt“ zu untersuchen. Die Knorpeldicke wurde mit Hilfe der MRT gemessen. Zusätzlich wurden die Serum-Konzentrationen von COMP untersucht. MRTs zur Untersuchung des Kniegelenksknorpels wurden jeweils vor und nach der Bettruheintervention durchgeführt. Blutabnahmen für Biomarker fanden in regelmäßigen Ab-

ständen während der gesamten Untersuchung statt. Eine Abnahme der mittleren sowie der maximalen Knorpeldicke nach 14 Tagen Bettruhe konnte an den Tibia-Kondylen festgestellt werden, nicht aber am Femur. Vibrationstraining führte zu einer Zunahme der mittleren und maximalen Knorpeldicke. Die Serum-COMP-Konzentrationen nahmen nach 24 Stunden in Bettruhe signifikant ab und stiegen direkt nach Beendigung der Bettruhephase wieder auf das Ausgangsniveau an. Das Vibrationstraining hatte keinen Einfluss auf die Serum-COMP-Konzentrationen.

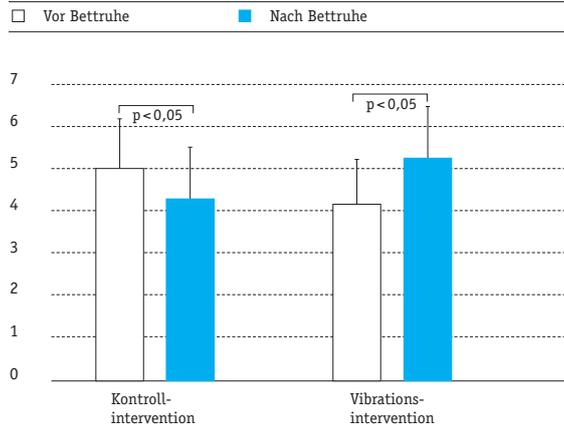
Die Ergebnisse der Knorpeluntersuchungen zeigten eine Abnahme der Knorpeldicke in der Tibia und eine Umkehr des Effektes durch Vibrationstraining, was auf eine Veränderung in den mechanischen Eigenschaften von Knorpel durch die Kontroll- sowie die Trainingsintervention zurückzuführen sein könnte. Die Veränderungen der Serum-COMP-Konzentration sind möglicherweise auf veränderte Transportbedingungen der Fragmente aus dem Gelenk zurückzuführen und könnten auf eine Veränderung im Knorpelstoffwechsel durch die mangelnde mechanische Belastung in Bettruhe hinweisen.

Spannende Zukunft

Das Wissen über den Effekt von Mikrogravitation im Weltraum auf den Gelenkknorpel ist von großer Bedeutung, da in dieser ersten Bettruhe-Studie festgestellt werden konnte, dass eine reduzierte mechanische Belastung über 14 Tage eine Abnahme der Knorpeldicke und Veränderungen im Knorpelstoffwechsel induziert. Mit geeigneten Gegenmaßnah-

Auswirkungen von HDT-Bettruhe auf die Knorpeldicke [mit und ohne Vibrationstraining]

Einheit Knorpeldicke [mm]



Veränderungen in der Knorpeldicke der Tibia von vor zu nach HDT-Bettruhe für die Kontroll- und Vibrationsintervention der VBR-Studie (n=8). Die Daten sind als Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt. *p<0,05 (Liphardt et al. 2009).

Abb. 3

men, wie Vibrationstraining, konnte dieser Knorpelreaktion entgegengewirkt werden.

Da Gelenkknorpel sich ab einem bestimmten Degenerationsstadium nicht wieder regenerieren kann, ist es besonders im Hinblick auf einen längerfristigen Aufenthalt auf der Internationalen Raumstation (ISS) sowie möglichen zukünftigen Flügen zum Mars von besonderer Notwendigkeit, die Adaptation von Gelenkknorpel sowohl im Rahmen von Bettruhe-Studien als auch direkt am Astronauten während eines Aufenthaltes in Schwerelosigkeit besser zu verstehen. Aktuell wurden von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) die Studien „Effekt von Immobilisation mit verschiedenen Arten von Gegenmaßnahmen auf die Knorpelmorphologie und -biologie“ (AO-2006-bed rest und AO-2009-bed rest) sowie „Effekt von Mikrogravitation auf die Knorpelmorphologie und -biologie“ (ILSRA-2009) zur Durchführung ausgewählt. Von 2010 bis 2012 werden Knorpelmorphologie sowie -biologie in Bettruhe-Studien unterschiedlicher Länge untersucht. Außerdem ist eine Durchführung der Knorpelexperimente mit Astronauten der ISS für 2011/2012 geplant. Es sollen vor und nach dem Aufenthalt auf der ISS der Kniegelenksknorpel der Astronauten mittels MRT analysiert und zusätzlich verschiedene Biomarker des Knorpelstoffwechsels im Blut untersucht werden.

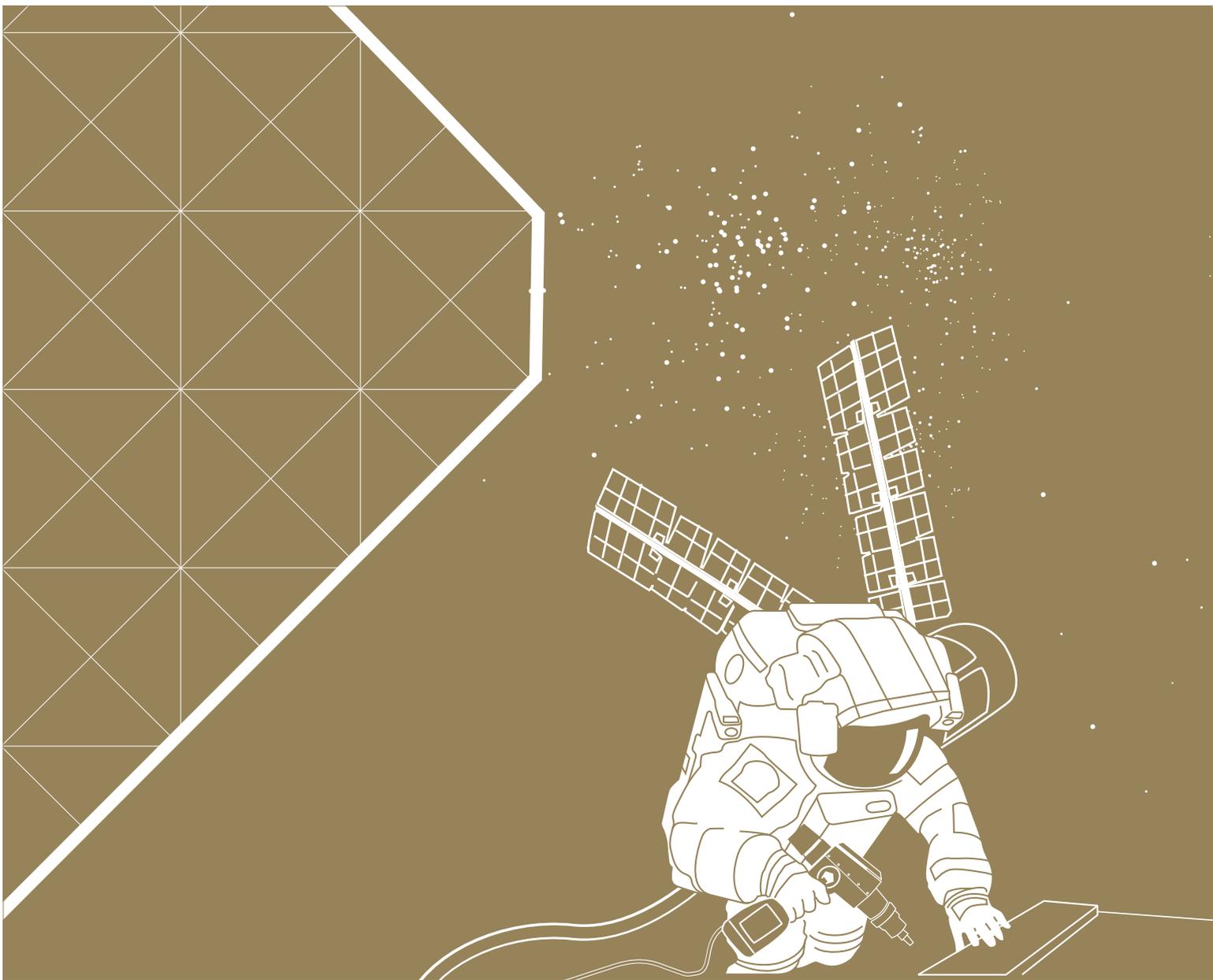
Literatur bei den Autoren.



Dr. Anja Niehoff studierte Sportwissenschaften an der Deutschen Sporthochschule Köln sowie Biologie an der Universität zu Köln. Von 1999 bis 2001 erhielt sie ein Graduiertenstipendium der DSHS Köln. Seit 2002 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Biomechanik und Orthopädie der DSHS Köln, wo sie 2003 auch promovierte. Ihre Dissertation schrieb Sie zum Thema „Belastung und Adaptation der Epiphysenfuge“. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in der Mechanobiologie des Knorpels und Knochens.
E-Mail: niehoff@dshs-koeln.de



Dr. Anna-Maria Liphardt, geboren 1978 in Eschwege, studierte von 1998 bis 2003 Sportwissenschaften mit dem Schwerpunkt „Training und Leistung“ an der Deutschen Sporthochschule Köln und Biologie für Sek II an der Universität zu Köln. 2003 begann sie mit der Promotion und arbeitete drei Jahre am Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln. Für ihre Dissertation mit dem Thema ‚The Potential of Whole Body Vibration Training during 14-Days of 6°-Head Down Tilt Bed Rest to Counteract Effects on Muscle Performance, Balance and Articular Cartilage‘ wurde ihr der Toyota-Wissenschaftspreis 2008 verliehen. Anna-Maria Liphardt ist seit 2007 als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik der DSHS Köln beschäftigt und arbeitet seit Sommer 2009 im Rahmen eines zweijährigen DFG-Forschungsstipendiums als Postdoctoral Fellow am Bone Imaging Lab der University of Calgary, Kanada.
E-Mail: liphardt@dshs-koeln.de



Sind Astronauten ungeschickt?

Test of Reaction and Adaptation Capabilities

Text Otmar Bock *Fotos* DLR, NASA

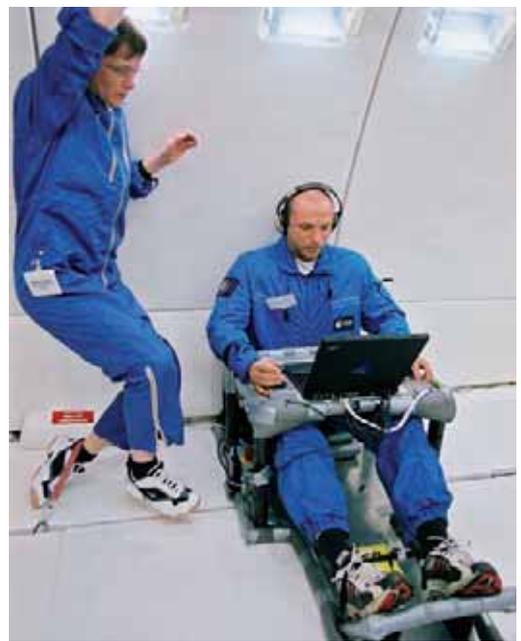


Die Arbeitsgruppe Bewegungsphysiologie des Instituts für Physiologie und Anatomie hat auf der Internationalen Weltraumstation ISS untersucht, ob die manuelle Fertigkeit von Astronauten durch Schwerelosigkeit beeinträchtigt wird. Diese Arbeit basiert auf unserem früheren Befund von der „NeuroLab“ Space Shuttle Mission, wonach Zeige- und Greifbewegungen im Orbit deutlich langsamer und/oder ungenauer ablaufen als auf der Erde. Mit dem ISS-Projekt wollten wir überprüfen, ob Bewegungen im Weltraum eine zusätzliche, „versteckte“ Beeinträchtigung aufweisen. Wir postulierten, dass Astronauten ihre motorischen Defizite zum Teil durch größere Aufmerksamkeit kompensierten: ohne diesen zusätzlichen Aufwand an Aufmerksamkeit wären

demnach die Defizite noch dramatischer ausgefallen. Zur Erforschung dieser Hypothese haben wir das klassische Doppeltätigkeitsparadigma verwendet. Unsere Probanden führten die motorische Aufgabe alleine durch, zugleich mit einer aufmerksamkeitsfordernden Zweitaufgabe, und sie führten auch die Zweitaufgabe alleine durch. Wenn die Probandenleistung unter Doppeltätigkeitsbedingungen absinkt (dual-task costs, DTC), wäre dies ein Hinweis darauf, dass beide Aufgaben um Aufmerksamkeit konkurrieren; je größer die DTC, desto stärker die Konkurrenz. Falls die motorische Aufgabe in Schwerelosigkeit tatsächlich mehr Aufmerksamkeit erfordert, müssten die DTC im Orbit größer sein als auf der Erde.



Der TRAC-Computer im Einsatz von Sporthochschul-Mitarbeitern bei Parabelflügen.



Zeige- und Greifbewegungen laufen im Orbit deutlich langsamer und/oder ungenauer ab, als auf der Erde.

Kompensieren Astronauten ihre motorischen Defizite durch größere Aufmerksamkeit?



Astronautin Sunita Williams am TRAC-Computer auf der Internationalen Weltraumstation ISS.



Der Erfolg bemannter Weltraummissionen hängt zu einem großen Teil von den Astronauten ab und von deren Fähigkeiten, motorische und kognitive Handlungen schnell und genau durchzuführen.

Folgefehler vor, während und nach der Mission

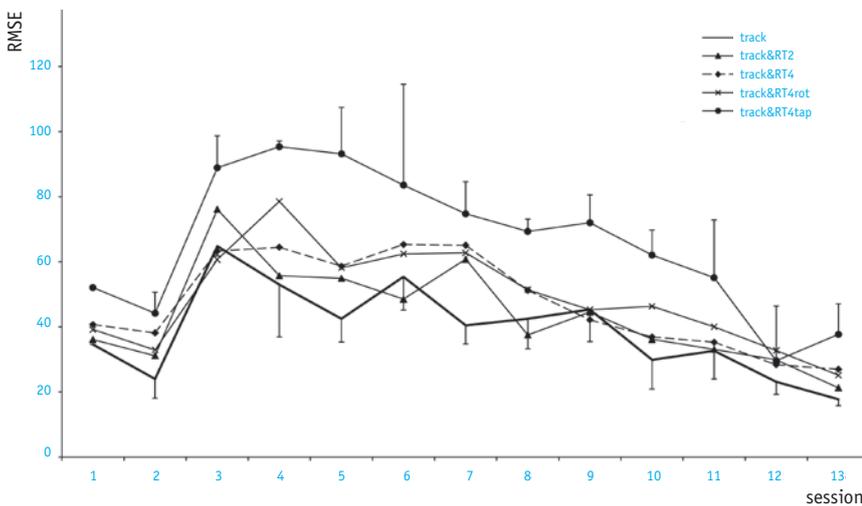


Abb. 1 Folgefehler (root mean square error = RMSE) der Astronauten vor der Mission (session 1 & 2), auf der Weltraumstation (session 3 – 9) und nach der Landung (session 10 – 13). Datenpunkte sind Mittelwerte über alle Probanden, und Klammern sind Standardfehler. Darstellung nach Bock et al., Aviat Space Environ Med 81 (2010) 819-24, Copyright durch die Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

Drei ISS-Astronauten haben sich bereit erklärt, an unserer Studie teilzunehmen, und wurden mehrfach vor, während und nach ihrer ISS-Mission untersucht. Der Versuchsaufbau ist in *Abbildung 1* dargestellt; er wurde im NASA-Jargon als TRAC bezeichnet (Test of Reaction and Adaptation Capabilities). Um unseren früheren Befund von Zeige- und Greifbewegungen auf eine weitere Bewegungskategorie zu erweitern, führten die Probanden diesmal Folgebewegungen mit der rechten Hand durch: auf einem Bildschirm wurde ein Zielpunkt gemäß einer Zufallsfunktion kontinuierlich aus der Mittellage ausgelenkt, den sie dann mit Hilfe eines Joysticks in die Mitte zurückbringen sollten. Die Folgeleistung erfassten wir, wie üblich, als Wurzel des mittleren quadratischen

Abstandes von Zielpunkt und Bildschirmmitte (root mean square error, RMSE). Außerdem führten die Probanden vier verschiedene Zweitaufgaben durch, mit denen wir vier unterschiedliche Komponenten der Aufmerksamkeit erfassen wollten. Die Probanden drückten mit dem Zeigefinger ihrer linken Hand die zentrale Taste einer fünf-Tasten-Box, und sollten die richtige periphere Taste drücken sobald eine der vier Bildschirmkanten kurz aufblitzte. Je nach Aufgabe blitzten nur die linke oder rechte Kante auf (RT2), alle vier Kanten (RT4, zusätzlicher Entscheidungsbedarf), alle vier Kanten, wobei die richtige Taste gegenüber der Kante um 90° gedreht war (RT4rot, zusätzlicher Bedarf für räumlich-visuelle Transformationen), oder alle vier Kanten, wobei die Taste mit einem vorgegebenen Rhythmus mehrfach gedrückt werden musste (RT4tap, zusätzlicher Bedarf für Bewegungsplanung). Die Aufgabenleistung erfassten wir als Häufigkeit und mittlere Reaktionszeit korrekter Antworten. Folgeaufgabe und Zusatzaufgaben wurden sowohl separat als auch gleichzeitig durchgeführt, um die DTC berechnen zu können.

Wie *Abbildung 2* zeigt, nahm der Folgefehler in Schwerelosigkeit erheblich zu, sank später während der Mission langsam wieder ab, und erreichte nach der Landung allmählich wieder Normalwerte. Der Kurvenverlauf war unter Einzel- und Doppeltätigkeit vergleichbar, mit einer Ausnahme: der Fehlerzuwachs in Schwerelosigkeit war für RT4tap deutlich ausgeprägter als für die anderen Bedingungen. Für eine kompakte Darstellung der Versuchsergebnisse haben wir die DTC der Folgeaufgabe und jeder der vier Zweitaufgaben berechnet, daraus den DTC-Anstieg beim Übergang von normaler Schwerkraft in die Schwerelosigkeit bestimmt, und schließlich die DTC-Werte jeder Kombination von Folge- und Zweitaufgabe gemittelt, um eine übergreifende Einschätzung der DTC für alle Aufgabenkombinationen zu erhalten. Die Ergebnisse sind in *Abbildung 3* dargestellt; eine Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied

Folgebewegungen in Schwerelosigkeit

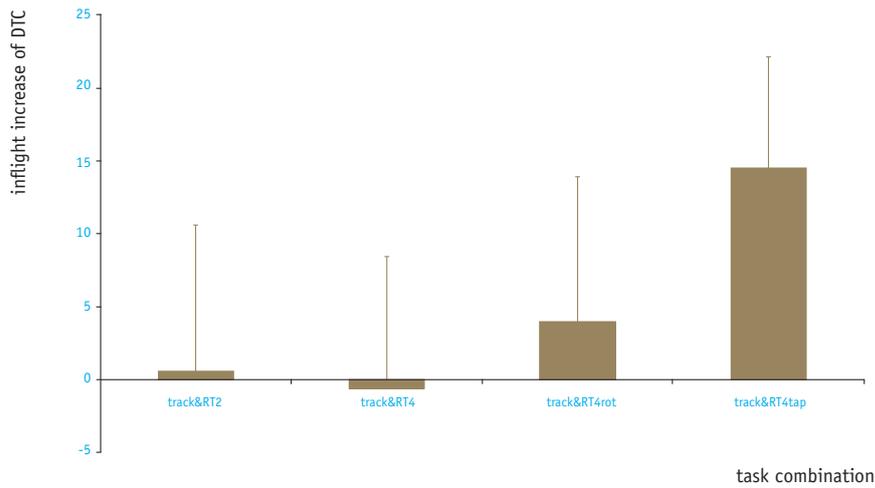


Abb. 2 Zunahme der Doppeltätigkeitskosten (DTC) auf der Weltraumstation im Vergleich zu den Werten vor der Mission für verschiedene Aufgabenkombinationen. Balken sind Mittelwerte über alle Probanden, und Klammern sind Standardfehler. Darstellung nach Bock et al., *Aviat Space Environ Med* 81 (2010) 819-24, Copyright durch die Aerospace Medical Association, Alexandria, VA.

zwischen den Zweitaufgaben ($p < 0.01$), und post-hoc Tests zeigten, dass die DTC nur mit RT4tap in Schwerelosigkeit signifikant zunahm. Die Ergebnisse unserer Studie belegen, dass nicht nur Zeige- und Greifbewegungen, sondern auch Folgebewegungen in Schwerelosigkeit beeinträchtigt sind. Insbesondere aber konnten wir nachweisen, dass während der Mission zusätzlich auch die Aufmerksamkeit stärker beansprucht wird. Dies gilt allerdings nicht für alle Komponenten der Aufmerksamkeit gleichermaßen. Vielmehr wurden während der Mission Ressourcen für Bewegungsplanung, nicht aber Ressourcen für Entscheidungen und räumlich-visuelle Transformationen verstärkt benötigt. Im Umkehrschluss wäre zu erwarten, dass ohne diese zusätzliche Beanspruchung von Ressourcen die Folgebewegungen in Schwerelosigkeit noch stärker beeinträchtigt wären als von uns gemessen. Die Zunahme der DTC weist daher auf „versteckte“ Defizite hin, welche nicht als Leistungseinbußen erkennbar werden, sondern durch erhöhte Aufmerksamkeit kompensiert werden. Über die Dauer einer Weltraummission kann eine solche

Kompensation allerdings durchaus schädlich sein, indem sie die bekannten psychophysiologischen Symptome von Überforderung und Stress auslöst (Schlafstörungen, Reizbarkeit, Fehlentscheidungen, Blutdruckanstieg, usw.).

In unserer laufenden Arbeit bereiten wir ein Anschlussprojekt vor, in dem wir die praktische Bedeutung unserer bisherigen Ergebnisse erforschen wollen. Dabei wollen wir untersuchen, ob unsere in typischen „Laboraufgaben“ erzielten Befunde im gleichen Maße auch für die üblichen Bewegungen im Astronauten-Alltag gelten. Wir vermuten, dass Astronauten bei Routinetätigkeiten kaum zusätzliche Aufmerksamkeit einsetzen, da sie im Alltag an ihre Bewegungen weniger hohe Anforderungen stellen als unter Laborbedingungen. Falls dies zutrifft, sollte die Geschicklichkeit unter Alltagsbedingungen noch stärker gestört sein als unter Laborbedingungen.

Literatur bei dem Autor.



Prof. Dr. med. Otmar Bock

geb. 1953, studierte Medizin an der Universität Hamburg. Anschließend arbeitete er am Massachusetts Institute of Technology, der FU Berlin und der Universität Düsseldorf, wo er 1987 die Habilitation im Fach Biophysik erwarb. Nach weiterer Tätigkeit am Institute for Space and Terrestrial Science (Toronto) kam er 1995 an die Deutsche Sporthochschule Köln, wo er das Institut für Physiologie und Anatomie leitet. Sein Forschungsinteresse gilt in erster Linie den neuronalen Mechanismen des motorischen Lernens, die er bei gesunden Probanden, neurologischen Patienten, Senioren, und bei Astronauten untersucht.
E-Mail: bock@dshs-koeln.de



LASIK – Keine Brille mehr beim Sport!

Auf dem Kiteboard durch die Fluten? Nichts für Brillenträger! Kopfüber ins kalte Wasser? Bitte ohne Brille! Fußball spielen mit Brille? Nicht zu empfehlen. Jedenfalls nicht für Leistungssportler oder Profis. Nicht einmal für engagierte Amateure oder Hobbysportler.

Was machen Sportler, wenn sie unter einer Fehlsichtigkeit leiden?

Sie lassen sich mit LASIK behandeln, einer sehr sicheren Behandlungsmethode, die weltweit am häufigsten eingesetzt wird, um Fehlsichtigkeiten dauerhaft zu beheben: Kurzsichtigkeit bis etwa -10 Dioptrien, Weitsichtigkeit bis etwa $+4$ Dioptrien und Stabsichtigkeit bis ungefähr 4 Dioptrien. Danach kann man gut sehen und jeden Sport treiben – ohne Brille!

Wie geht das?

- Intensive individuelle Beratung durch einen erfahrenen Augenarzt.
- Untersuchung der Augen durch ein diagnostisches Screening, die Wellenfront-Analyse. Das ist die derzeit technisch fortschrittlichste und sicherste Messmethode für die Laserbehandlung. Sie erfasst und analysiert sämtliche optischen Merkmale des Auges, auch die tief im Auge liegenden optischen Grenzflächen wie die Linse. Durch die Messung des gesamten optischen Systems erhalten die Operateure spezifische Daten für eine ganz individuelle Laserkorrektur.
- Der Eingriff dauert nur wenige Minuten. Er ist schmerzfrei. Beide Augen werden am selben Tag behandelt.
- Der Patient kann schon kurz nach dem Eingriff nach Hause gehen – mit unverbundenen Augen.

Welche Möglichkeiten gibt es noch, um sich von der Brille zu verabschieden?

Das Implantieren einer permanenten intraokularen Linse. Diese künstliche Linse wirkt wie eine Brille im Auge und unterstützt die natürliche Linse. Der Eingriff wird unter örtlicher Betäubung durchgeführt. Er dauert eine halbe Stunde. Das Besondere: Die Wirkung des Eingriffs lässt sich rückgängig machen.

Die Implantation von Ringsegmenten (Intacs) in die Hornhaut ist die neueste Entwicklung auf dem Gebiet der refraktiven Chirurgie. Hier werden kleine Ringsegmente in die Hornhaut implantiert, um Brechungsfehler bei Kurzsichtigkeiten von -1 bis -5 Dioptrien zu korrigieren.

Mehr unter www.augen-venividi.de oder fragen Sie die Ärzte von VENI VIDI – sie helfen Ihnen gerne.

VENI VIDI Köln

Aachener Straße 1006 – 1012, 50858 Köln
Telefon 02 21 / 35 50 34 40

VENI VIDI Pulheim

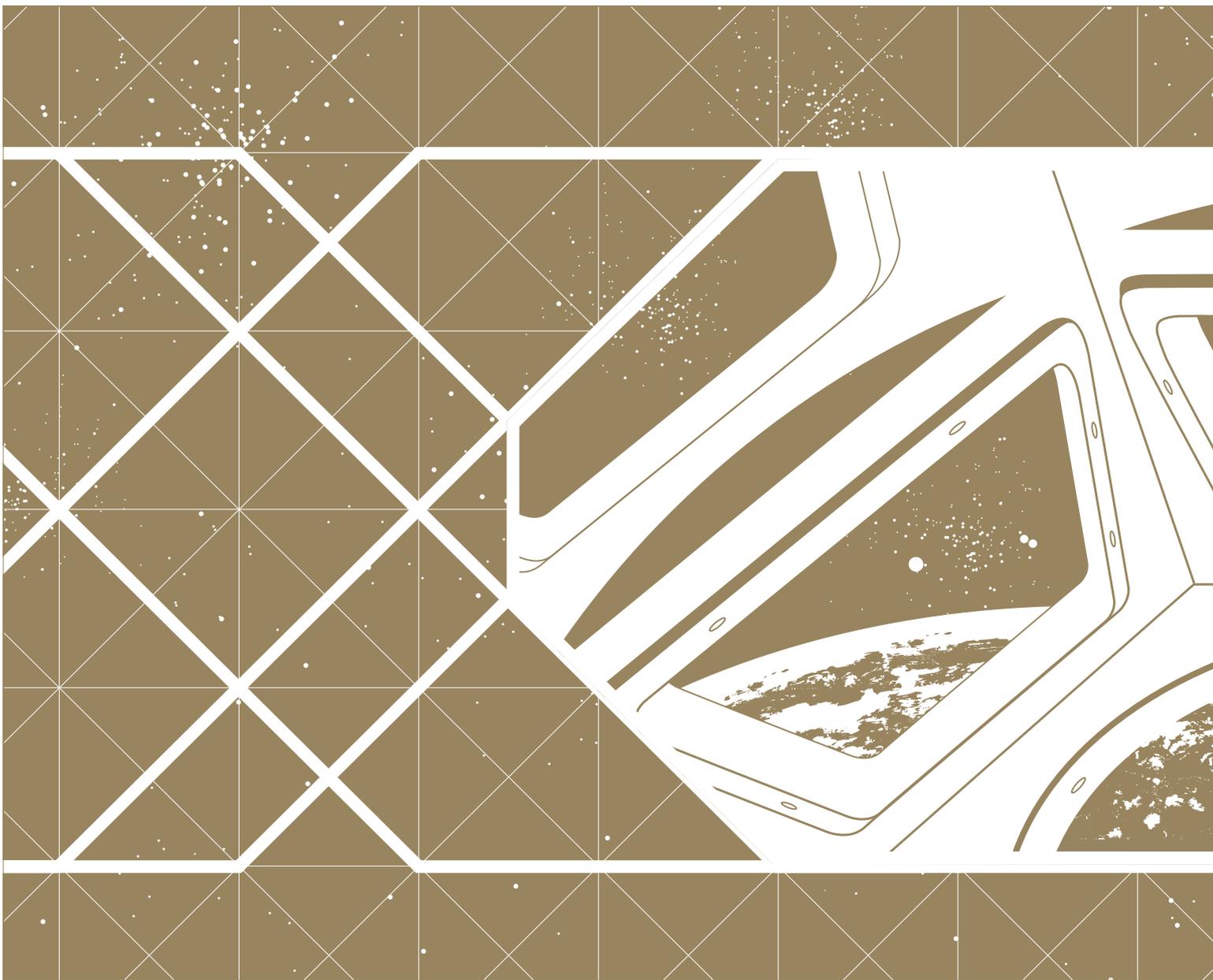
Nordring 32, 50259 Pulheim
Telefon 0 22 38 / 55 44 4

info@augen-venividi.de
www.augen-venividi.de



Neueste Technologie und langjährige Erfahrung für optimale Ergebnisse und maximale Sicherheit.

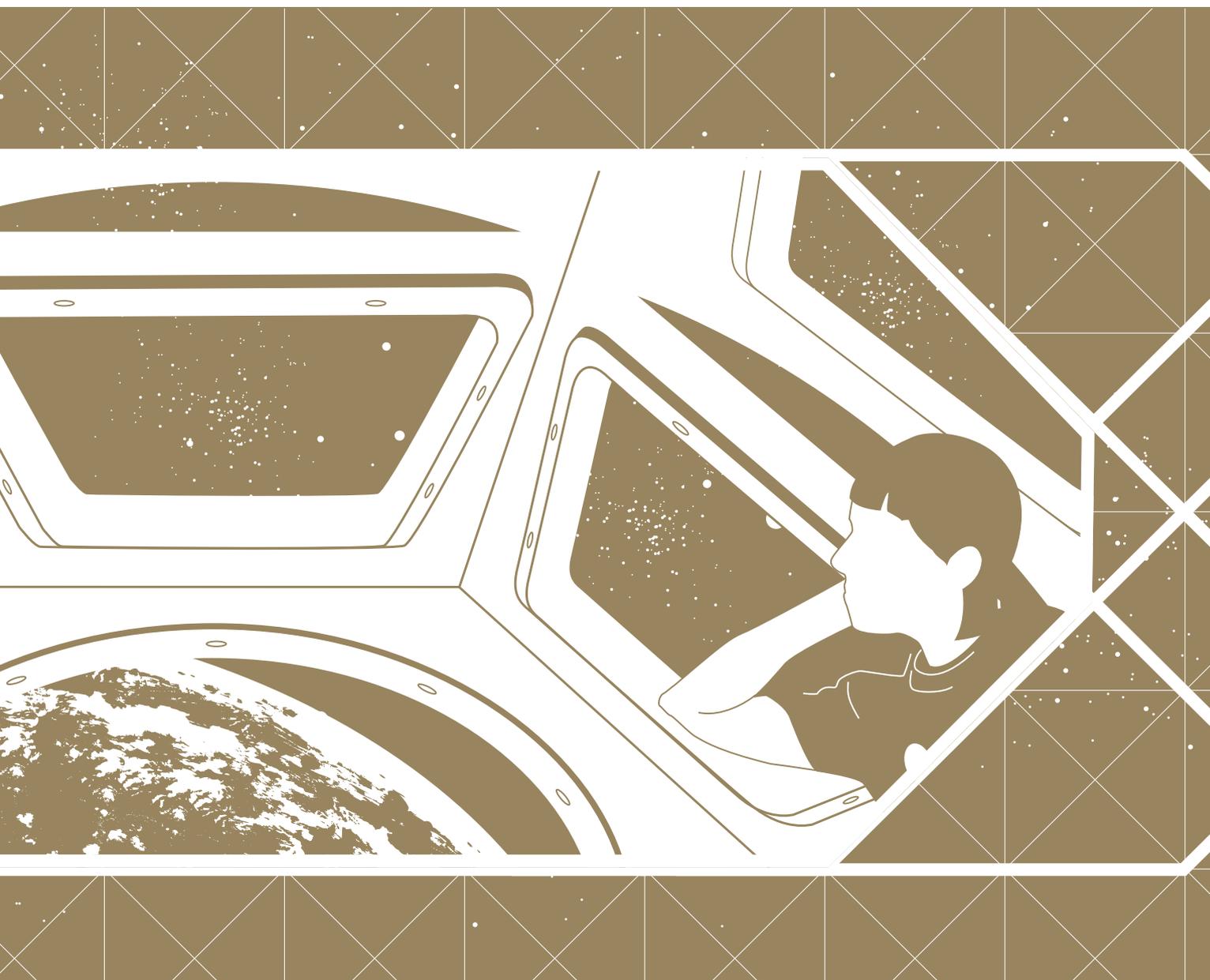




Weltraummedizin an der Deutschen Sporthochschule Köln

Ein Überblick aus Sicht des DLR-Raumfahrtmanagements

Text Günter Ruyters, Katrin Stang, Hans-Ulrich Hoffmann *Fotos* DLR, Novespace, ESA, NASA, Universität Bremen



Seit fast 25 Jahren berät und unterstützt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die weltraumgebundenen Forschungsaktivitäten an der Deutschen Sporthochschule Köln. War es zu Beginn lediglich die Forschergruppe um Prof. Jürgen Stegemann, werden derzeit sieben Forschungsprojekte an der DSHS finanziell gefördert. Im September 2010 wurden alle in der Weltraummedizin tätigen und vom DLR unterstützten Arbeitsgruppen der Deutschen Sporthochschule Köln im Zentrum für integrative Physiologie im Weltraum, kurz ZiP, zusammengefasst. Der vorliegende Beitrag soll nach einem kurzen Überblick über das DLR und das deutsche Raumfahrtprogramm vor allem die Rolle der Sporthochschule Köln in der Raumfahrtmedizin beleuchten.



5-9 Sekunden
Fallturm Bremen



20 Sekunden (90 x)
Flugzeug-Parabelflüge



6-12 Minuten
Forschungsraketen TEXUS/MAXUS

DLR und das biowissenschaftliche Raumfahrtprogramm

Im Auftrag der Bundesregierung definiert das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in seiner Rolle als Raumfahrtmanagement das deutsche Raumfahrtprogramm und setzt es in internationaler Kooperation und Koordination um. Forschung unter Weltraumbedingungen als eines der acht Fachprogramme deckt dabei die Bereiche Biologie, Medizin, Physik und Materialwissenschaften ab. Weltraumbedingungen bedeuten in diesem Zusammenhang vor allem Schwerelosigkeit oder allgemeiner: veränderte Schwerkraftbedingungen, aber auch das besondere Strahlenfeld im Weltraum.

Auf der Erde beeinflusst die Gravitation alle Vorgänge – von einfachen physikalischen bis zu komplexen biologischen Systemen. Häufig spielt sie eine unübersehbare Rolle: Gegenstände fallen zu Boden, Wasser fließt ins Tal, und Gasblasen im kochenden Wasser treiben nach oben. Bei vielen Vorgängen in Natur und Technik ist der Einfluss der Schwerkraft jedoch nicht unmittelbar zu erkennen.

Die Schwerkraft als immer konstante Größe ist aber auch hier von grundsätzlicher Bedeutung. In der Evolution sind Schwerkraft und Leben auf unserem Planeten seit rund dreieinhalb Milliarden Jahren untrennbar miteinander verbunden. Unser ganzes Leben ist ein immerwährender Kampf mit der Schwerkraft: vom Laufenlernen eines Babys bis zu den Gebrechen des alten und kranken Menschen.

Drei Schwerpunkte wurden für das biowissenschaftliche Raumfahrtprogramm definiert:

Die Natur erforschen

Der Weltraum bietet einzigartige Möglichkeiten, den Urfragen der Menschheit nachzugehen: Wo kommen wir her? Wo gehen wir hin? Erforschung grund-

gender Lebensfunktionen, insbesondere in Bezug auf die Rolle der Schwerkraft in Evolution und für die Entwicklung vom Einzeller bis zum Menschen, steht im Mittelpunkt der erkenntnisorientierten Forschung im Weltraum (Gravitations-, Strahlen- und Astrobiologie sowie Raumfahrtmedizin).

Anwendungspotenziale eröffnen

Technologischer Fortschritt erfordert Wissen um die grundlegenden Phänomene – Weltraumexperimente erklären diese. Das Programm ist daher ein wichtiger Impulsgeber für innovative Technologien sowie für neue Diagnose- und Therapiemethoden (Raumfahrtmedizin sowie Biotechnologie, z.B. Proteinkristallisation und Tissue Engineering).

Exploration ermöglichen

Das Programm wird zukünftig auch eine wichtige Rolle spielen, wenn es darum geht, grundlegende Voraussetzungen für Langzeitmissionen zu Mond, Mars oder anderen Zielen zu schaffen (u.a. durch neue Technologien und Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit von Astronauten sowie Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme).

Umsetzung des Programms als Dreiklang von Forschungsförderung, Entwicklung innovativer Geräte und Bereitstellung von Fluggelegenheiten

Das DLR in seiner Rolle als Raumfahrtmanagement fördert deutsche Wissenschaftler aus Universitäten, Max-Planck-Instituten und anderen Forschungseinrichtungen, damit sie ihrer Forschung unter Weltraumbedingungen nachgehen können. Zudem werden im Auftrag des DLR speziell für den Einsatz im Weltraum notwendige Geräte von der Raumfahrtindustrie entwickelt. Hieraus ergeben sich nicht selten innovative Technologien auch für die Anwendung auf der Erde, wie z.B. neue medizinische Geräte.



mehrere Wochen
Rückkehr-Satelliten



permanent
Internationale Raumstation ISS

Wenn Wissenschaftler etwas über die Rolle eines bestimmten Faktors erfahren wollen, verändern sie üblicherweise seine Größe oder schalten ihn sogar ganz aus. Für den Faktor Schwerkraft ist dies, zumindest für längere Zeiträume, erst durch die Raumfahrt möglich geworden. Je nach der benötigten Zeitdauer bietet das DLR den Wissenschaftlern die entsprechenden Fluggelegenheiten:

- Für automatisch ablaufende Versuche stehen
- der Fallturm in Bremen (5 bis 9 Sekunden Mikrogravitation),
 - die Forschungsraketen TEXUS (6 Minuten) und MAXUS (12 Minuten) sowie
 - russische Forschungssatelliten wie FOTON (mehrere Wochen) zur Verfügung.

Für Experimente, die den Menschen als Experimentator oder als Testperson benötigen, können Wissenschaftler

- Parabelflüge beispielsweise mit dem Airbus A-300 Zero-g (bis zu 31 mal 22 Sekunden pro Flugtag) und
- die Internationale Raumstation ISS (mehrere Monate bis Jahre) als Fluggelegenheit nutzen.

Die Rolle der Deutschen Sporthochschule in der Raumfahrtmedizin

Wissenschaftler der DSHS Köln werden seit 1987 im Rahmen des deutschen Raumfahrtprogramms vom DLR mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) bzw. heute des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert. In diesem Zeitraum haben Sportmediziner aus verschiedenen Instituten und Arbeitsgruppen mit Experimenten an zahlreichen Weltraummissionen teilgenommen – von der deutschen Spacelab-Mission D-2 im Jahre 1993 über verschiedene MIR-Missionen, den Shuttle-Missionen STS-98 und STS-107 bis zur Internationalen Raumstation ISS. Hinzu kommen Experimente auf Flugzeug-Parabelflügen mit dem Airbus A-300 Zero-g sowie in begleitenden Bodenstudien. Hier sind besonders Betruhestudien zu erwähnen, in denen Teilaspekte der Schwerelosigkeit auf den menschlichen Körper simuliert werden können. Die nachfolgenden Tabellen geben einen Überblick über die zahlreichen Aktivitäten der DSHS in der Raumfahrtmedizin.

Shuttle/Spacelab-, MIR- und ISS-Experimente der DSHS Köln

Wissenschaftler	Thema	Mission
Stegemann	Wirkung von Schwerelosigkeit auf die Dynamik von Atemgaswechsel und Herzrate	Spacelab D-2, 1993
Erßfeld	Kreislaufantriebe durch Wadenmuskeltraining	MIR 1992/97
Baum	Wirbelsäulengeometrie und Rückenschmerzen	MIR 1992/98/99
Bock	Kontrolle isometrischer Kräfte beim Menschen	STS-98, 1998
Hoffmann	Herzrate und Regulation des Blutdrucks	STS-107, 2003
Bock	Bewegungskoordination in Schwerelosigkeit	ISS 2006/7
Hoffmann	Leistungstests und Atemgaswechsel	ISS, seit 10/2009
Brüggemann	Schwerelosigkeitseffekte auf Morphologie und Biologie des Knorpels	ISS (geplant)
Hoffmann	Auswirkungen von körperlichem Training auf Stoffwechsel und Kreislauf	ISS (geplant)

Experimente der DSHS Köln auf Parabel-Flügen

Wissenschaftler	Thema	Mission
Stegemann	Erprobung von Anthrorack-Elementen	1988/89
Bock	Kognitive Anforderungen bei Bewegungen unter veränderten Schwerkraftbedingungen	2001-2004, 2010 2011 (geplant)
Jüngling/ Girgenrath	Greifbewegungen in Schwerelosigkeit	2000-2006
Hoffmann	Blutdruck und Herzrate während Apnoe	2005, 2007
Schneider	Sensorimotorische Anpassungen	2005-7, 2010 2011 (geplant)

Beteiligung der DSHS Köln an Bodenstudien

Wissenschaftler	Thema	Mission
Stegemann	Immobilisation und körperliche Leistungsfähigkeit	BR 1984, 1985
Baum	Veränderungen der Wirbelsäulengeometrie	BR 1997, 1998
Eißfeld	Statisches Training der unteren Extremitäten	BR 1997, 1998
Hoffmann	Blutdruck und Herzrate während Apnoe	C02-Study, 1995
Mester	Veränderungen des Knieknorpels	2004/5, 2007, je 2x in 2010/2011
Schneider	Einfluss von körperlichem Training auf die mentale Leistungsfähigkeit	Mars500 (laufend) Concordia/Antarktis
Brüggemann	Wirkung von Immobilisation und Training auf die Morphologie und Biologie des Knorpels	BR 2011/12
Hoffmann	Wirkung unterschiedlicher Trainingsintensitäten auf den Atemgaswechsel und das Herz-Kreislauf-System	BR 2012/13



Über wichtige Ergebnisse aus diesen Studien und aus Weltraumexperimenten und ihre Bedeutung für den Menschen auf der Erde berichten Wissenschaftler der DSHS in verschiedenen Beiträgen dieses Heftes. Es sollte aber nicht unerwähnt bleiben, dass für manche dieser Projekte auch neue Technologien oder Geräte zum Einsatz kamen. Als Beispiel hierfür mag das sogenannte Wirbelsäulenmessgerät dienen, das in Zusammenarbeit zwischen Prof. Klaus Baum (DSHS Köln) und Dipl.-Ing. Reiner Matthey (Universität Jena) für den Einsatz auf der russischen Raumstation MIR und in verschiedenen Bettruhestudien entwickelt wurde. Hintergrund war die Frage, ob die Rückenschmerzen, über die viele Astronauten, aber auch Probanden bei Bettruhestudien klagen, im Zusammenhang mit der Größenzunahme in Schwerelosigkeit bzw. beim längeren Liegen stehen oder andere Ursachen haben. Es konnte in diesen Experimenten eindeutig geklärt werden, dass hauptsächlich ein verändertes Bewegungsmuster die Rückenschmerzen hervorruft. Später wurde von der Fa. friendly sensors in Jena aus dem Weltraumgerät unter dem Namen „SonoSens“ ein kommerzielles Produkt entwickelt, das zur Bewegungsanalyse in der Orthopädie, beim Sport und in der Arbeitsmedizin erfolgreich eingesetzt wurde.

Ausblick

Wissenschaftler aus mehreren Instituten und Arbeitsgruppen der Deutschen Sporthochschule Köln waren kürzlich bei verschiedenen Ausschreibungen der ESA und des DLR für neue Experimente wieder sehr erfolgreich. Die Gründung des ZiP (Zentrum für integrative Physiologie im Weltraum) ist ein sichtbares Zeichen für diesen Erfolg und wird die Bedeutung der Weltraumforschung an der DSHS nach innen und nach außen weiter untermauern. Neue Kooperationen innerhalb und außerhalb der Sporthochschule Köln, gemeinsame Lehrveranstaltungen und Aktivitäten in der Öffentlichkeitsarbeit werden dies sichtbar machen. Hierzu gehört beispielsweise auch die Organisation eines nationalen Workshops zur Humanphysiologie im Weltraum, der für den kommenden September geplant ist. Neben dem DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin in Köln-Porz, dem Zentrum für Weltraummedizin an der Charité Berlin (ZWMB) und einigen anderen Universitäten wird das ZiP an der DSHS so eine tragende Rolle in der Raumfahrtmedizin in Deutschland und damit im deutschen Raumfahrtprogramm spielen. Das DLR-Raumfahrtmanagement wird – in der Erwartung, dass auch die Leitung der Deutschen Sporthochschule Köln die Weltraummedizin weiterhin als wichtigen Schwerpunkt stärkt – diese erfolgversprechenden Aktivitäten auch zukünftig unterstützen.

Literatur bei den Autoren.

MAN GEHT IN
DEN WELTRAUM,
UM ETWAS ÜBER
DAS HERAUSZUFINDEN,
WAS UNS HIER AUF
DER ERDE BETRIFFT.

Alexander Gerst, deutscher ESA-Astronaut

Dein Name für Deutschland.

Werde offizieller Sponsor der deutschen Spitzensportler.
Schon für 3€ im Monat unter www.sporthilfe.de

