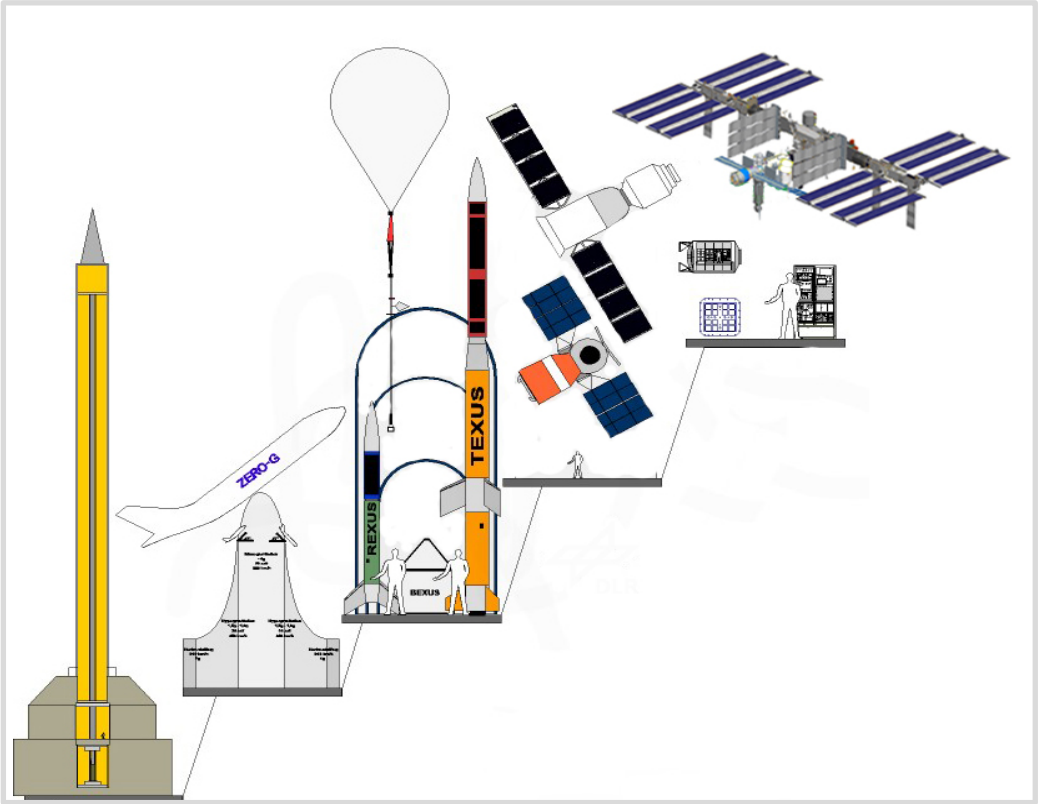
Deutsches Zentrum
DLR für Luft- und Raumfahrt

Tagungsband

Nationales Symposium

Forschung unter Weltraumbedingungen



28.-30. Oktober 2015 - LVR-Landesmuseum Bonn

Grußwort

Die Forschung unter Weltraumbedingungen ist für die moderne Medizin und Biologie, für die Physik und Materialforschung eine einzigartige Möglichkeit, fundamentale Fragen der Wissenschaft zu beantworten. Der Weltraum stellt dabei mit den charakteristischen Faktoren wie Schwerelosigkeit, Strahlung, Hochvakuum und Tiefsttemperaturen ein einzigartiges Labor dar. Gleichzeitig ist diese Forschung Innovationstreiber für Anwendungen, die das Leben auf der Erde verbessern. Als deutsche Raumfahrt-Agentur stellt das DLR Raumfahrtmanagement ein Spektrum von Fluggelegenheiten mit unterschiedlich langer Schwerelosigkeitsdauer zur Verfügung: den Fallturm Bremen, Flugzeug-Parabelflüge, Forschungsraketen, unbemannte Rückkehrkapseln und die Internationale Raumstation ISS, mit der erstmals eine über Jahre hinweg regelmäßig nutzbare Plattform im Weltraum besteht.

Die vom DLR Raumfahrtmanagement mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie geförderte Forschung unter Weltraumbedingungen ergänzt und erweitert die Möglichkeiten im irdischen Labor. Deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben sich dadurch in den vergangenen 30 Jahren ein hohes Maß an Exzellenz erarbeitet. Sie sind im internationalen Vergleich hervorragend positioniert und haben sich vielfach als Vordenker auf neuen Gebieten erwiesen. Deutsche Forschung im nationalen und im europäischen Programm festigt den Forschungs- und Wissenschaftsstandort Deutschland und legt den Grundstein für die moderne Wissensgesellschaft. Sie übt eine große Faszination auf die junge Generation aus und inspiriert so den dringend benötigten Nachwuchs in den Natur- und Ingenieurwissenschaften. Durch die Entwicklung, den Bau und den Betrieb von Forschungsanlagen für den Weltraum hat sich Deutschland zudem technologische Systemkompetenz erworben und die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie gestärkt.

Das nationale Symposium „Forschung unter Weltraumbedingungen" soll einen Überblick über die aktuellen FuW-Forschungsaktivitäten geben und darüber hinaus allen Beteiligten die Möglichkeit eröffnen, sich - auch über die Grenzen des eigenen Fachgebiets hinaus – auszutauschen, neue Ideen für die Forschung von morgen zu entwickeln, zukünftige Aktivitäten zu koordinieren und Netzwerke zu bilden. Zugleich wird das Symposium aufzeigen, welch großes Potenzial die Forschung unter Weltraumbedingungen besitzt, um fundamentale wissenschaftliche und technologische Zukunftsthemen anzugehen wie z.B. das Verständnis von Entstehung und Entwicklung des Lebens, die Erforschung grundlegender Naturgesetze in der Physik, gezieltes Materialdesign für innovative Herstellungsverfahren auf der Erde und die Entwicklung innovativer Präventions-, Diagnose-, Therapie-, und Rehabilitationsmethoden in der Medizin.

Ich wünschen allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern ein spannendes und interessantes Symposium, viele anregende Diskussionen und inspirierende Gespräche.

Dr. Gerd Gruppe
Mitglied des Vorstandes

Programmübersicht

Mittwoch, 28.10.2015

	Plenarsaal	Foyer	
12:00 – 12:30	Eröffnung der Veranstaltung (Grußworte; Einführung)		
12:30 – 13:30	Wissenschaftliche Plenarvorträge		
13:30 – 14:00		Kaffeepause	
14:00 – 16:00	Wissenschaftliche Plenarvorträge		
16:00 – 16:30		Kaffeepause	
	Plenarsaal		**Seminarraum**
16:30 – 17:45	Immunsystem; Proteinkristallisation		Fluidphysik

19:00 – 21:30 Gemeinsame öffentliche Abendveranstaltung mit dem LVR Landesmuseum Bonn:

19:00 Besuch mit Führung durch die Ausstellung

20:15 Öffentlicher Abendvortrag von Reinhold Ewald

Donnerstag, 29.10.2015

	Plenarsaal	Foyer	Seminarraum
08:45 – 10:45	Gravitationsbiologie		Verbrennungsforschung; technologische Entwicklungen/ µg-Plattformen
10:45 – 11:15		Kaffeepause	
11:15 – 12:45	Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme; Herz/Kreislauf		Kalte Atome und Fundamentalphysik
12:45 – 13:45		Mittagspause	
13:45 – 16:15	Muskel-/Knochensystem I; Haut		Plasmaphysik; Materialwissenschaften I
16:15 – 16:45		Kaffeepause	
16:45 – 18:00	Astrobiologie		

19:30 – 22:30 Konferenzdinner im Restaurant Delik*Art*

Freitag, 30.10.2015

	Plenarsaal	Foyer	Seminarraum
08:45 – 10:45	Strahlenbiologie; Muskel/Knochensystem II		Materialwissenschaften II; kosmische Stäube und granulare Materie
10:45 – 11:15		Kaffeepause	
11:15 – 12:30	Plenarvorträge zur ISS		

12:30 – 13:30 Zusammenfassende Darstellung der Begutachtungsergebnisse
„Quo vadis FuW“: Rückschau auf das Symposium und die Perspektiven des Programms
Gemeinsame Abschlussdiskussion

13:30 Ende der Veranstaltung

Ausführliches Programm

Mittwoch, 28.10.2015

12:00 – 12:30	**Begrüßung und Wissenschaftliche Plenarvorträge (Plenarsaal)**
G. Gruppe, DLR Vorstand	Grußwort
P. Gräf, DLR	Eröffnung der Veranstaltung (Grußworte; Einführung)
12:30 – 16:00	**Plenarvorträge (Chair: P.Gräf)**
R. Guntlin (Access e.V. Aachen):	Untersuchung des flüssig/fest Übergangs im Weltraum – Phänomene, Erstarrungsstrategie und Nutzen
H.-Ch. Gunga (Charité Berlin):	Körpertemperaturen unter Ruhe und Arbeit bei Astronauten auf der Internationalen Raumstation ISS
13:30 – 14:00	**Kaffeepause (Foyer)**
G. Wurm (U Duisburg-Essen):	Der Marsboden als natürliche Gas-Pumpe
K. Palme (U Freiburg):	Pflanzenwachstum im Weltall – wie reagiert die Ackerschmalwand (Arabidopsis thaliana) auf Schwerelosigkeit?
W. Ertmer (U Hannover)	Quantensysteme in Schwerelosigkeit - Neue Horizonte für die Quantensensorik
S. Schneider (DSHS Köln):	Zur Spiritualität von Sport und Bewegung in der medialen Moderne
16:00 – 16:30	**Kaffeepause (Foyer)**

16:30 – 17:45 Uhr: Wissenschaftliche Kurzvorträge: Parallelsessions (Plenarsaal + Seminarraum)

16:30 – 17:45	**Biowissenschaften I+II Plenarsaal**
Immunsystem	**Chair: H.-U. Hoffmann**
A. Choukèr (LMU München):	Forschung unter Weltraumbedingungen - Das Immunsystem unter Stress
O. Ullrich (U Magdeburg):	Schwerkraft-abhängige zelluläre und molekulare Mechanismen in Zellen des menschlichen Immunsystems
P.-D. Hansen (TU Berlin):	TRIPLE LUX-B: Erfahrungen mit der Durchführung eines zellbiologischen Experiments auf der Internationalen Raumstation (ISS)
Proteinkristallisation	**Chair: H.-U. Hoffmann**
Ch. Betzel (U Hamburg):	Kristallisation von Biomolekülen unter Mikrogravitationsbedingungen & Struktur-Funktions-Analysen

Mittwoch, 28.10.2015

16:30 – 17:45	**Materialwissenschaften/Physik I (Seminarraum)**
Fluidphysik	**Chair: R. Forke**
M. Dreyer (ZARM):	Ein Strömungskanal im Weltraum – Das CCF-Experiment auf der Internationalen Raumstation
F. Zaussinger (BTU Cottbus):	Das Weltraumexperiment GeoFlow
W. Köhler (U Bayreuth):	Thermodiffusion in ternären Fluiden
R. Stannarius (U Magdeburg):	Flüssigkristalline freistehende Filme (OASIS)
K. Eckert (TU Dresden):	Seltene-Erden-Ionen Separation in magnetischen Gradientenfeldern (SESIMAG)

19:00 – 21:30 Gemeinsame öffentliche Abendveranstaltung mit dem LVR Landesmuseum Bonn:

- 19:00 Besuch mit Führung durch die Ausstellung
  „Der Mensch in neuen Lebensräumen – Revolution Jungsteinzeit"

- 20:15 Öffentlicher Abendvortrag von Reinhold Ewald:
  „Der Mensch in neuen Lebensräumen – Leben und Arbeiten Im Weltraum"

Donnerstag, 29.10. 2015

08:45 – 10:45	**Biowissenschaften III (Plenarsaal)**

Gravitationsbiologie: Schwerkraftwahrnehmung und –verarbeitung bei Zellen und Pflanzen

	Chair: M.Braun
W. Hanke (U Hohenheim):	Grundlagen der Gravitationsabhängigkeit neuronaler Aktivität
F. Kohn (U Hohenheim):	Gravitationsabhängige Strukturen in neuronalen Zellen
M. Lebert (U Erlangen):	Euglena gracilis als Modellsystem zur Untersuchung der Schwerkraftwahrnehmung bei Einzellern
D. Grimm (U Magdeburg):	Die Effekte der Mikrogravitation auf humane Schilddrüsen-Karzinomzellen: die Shenzhou 8/SIMBOX Mission und das Cellbox-1/Nanoracks Weltraumexperiment
A. Sachinidis (Uniklinik Köln):	Die Bedeutung der Schwerkraft für das Differenzierungspotenzial von pluripotenten Stammzellen zu verschiedenen organspezifischen Zellen (BASIS)
P. Galland (U Marburg):	Gravi- und Magnetfeldrezeption in Pflanzen und Pilzen
R. Hampp (U Tübingen):	Elemente von Signalketten und damit verbundene Genexpression und Proteinmodulation unter veränderter Schwerkraft
M. Böhmer (U Münster):	Systembiologie des pflanzlichen Gravitropismus – von molekularen Veränderungen zu zellübergreifender Signaltransduktion

Donnerstag, 29.10. 2015

08:45 – 10:45	**Materialwissenschaften/Physik II+III (Seminarraum)**
Verbrennungsforschung	**Chair: R. Kuhl**
Ch. Eigenbrod (ZARM):	Selbstzündung von Tropfen und Sprays
Technologische Entwicklungen & µg-Plattformen - Chair: R. Kuhl	
Th. Könemann (ZARM):	Forschung unter Weltraumbedingungen am Fallturm Bremen
A. Peters (HU Berlin):	LASUS – Neuartige Diodenlasersysteme für Präzisionsexperimente unter Schwerelosigkeit
A. Wicht (FBH Berlin):	Mikrointegrierte Lasersysteme für den Weltraumeinsatz (MiLas)
M. Krutzik (HU Berlin):	KALEXUS - Kalium Laser-Experimente unter Schwerelosigkeit
C. Braxmaier (ZARM):	Über Herausforderungen bei den MAIUS-Nutzlasten
P. Windpassinger (U Mainz):	Zerodur-basierte optische Systeme für Präzisionsmessungen unter Schwerelosigkeit
R. Holzwarth (Menlo Systems):	Frequenzkämme für Raumfahrtanwendungen
10:45 – 11:15	**Kaffeepause (Foyer)**
11:15 – 12:45	**Biowissenschaften IV + V (Plenarsaal)**
Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme –Chair: M. Becker	
M. Lebert (U Erlangen):	Biologische Lebenserhaltungssysteme für die Raumfahrt und terrestrische Anwendungen
C. Posten (U Karlsruhe):	Physiological research and functional verification of the ModuLES-PBR
Ch. Laforsch (U Bayreuth):	Zooplankton als Bindeglied in aquatischen Lebenserhaltungssystemen
Herz-/Kreislaufsystem	**Chair: H.-U. Hoffmann**
U. Hoffmann (DSHS Köln):	Muskuläre O2-Aufnahme- und Herzfrequenz-Kinetiken – Alternatives spiroergometrisches Monitoring für Astronauten
F. Seibert (U Bochum):	Dynamik des zentralen Aortendrucks in Schwerelosigkeit
J. Tank (MH Hannover):	Flugexperiment „Cardiovektor“: aktueller Stand und Perspektiven
11:15 – 12:45	**Materialwissenschaften/Physik IV (Seminarraum)**
Kalte Atome und Fundamentalphysik –Chair: T. Driebe	
E.M. Rasel (U Hannover):	Interferometrie mit Bose-Einstein Kondensaten im freien Fall
R. Walser (TU Darmstadt):	Realistische Simulationen ultrakalter Quantengase in µ-Gravitation
A. Roura (U Ulm):	Langzeit-Atominterferometrie für Präzisionsmessungen
S. Herrmann (ZARM):	PRIMUS – Präzisionsinterferometrie mit Materiewellen unter Schwerelosigkeit
E. Göklü (ZARM):	Manipulation ultrakalter Quantengase mtls optischer Kontrolltechniken
C. Lämmerzahl (ZARM):	Tests der Relativitätstheorie mit Galileo Sat 5 + 6

Do, 29.10. 2015

12:45 – 13:45	**Mittagspause (Foyer)**
13:45 – 16:15	**Biowissenschaften VI+VII (Plenarsaal)**

Muskel-/Knochensystem I und Haut - Chair: K. Stang und H.-U. Hoffmann

G. Armbrecht (Charité):	Mission to Mars – muskuloskeletale Forschung
K. Albracht (DSHS Köln):	Einfluss von Mikrogravitation auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit der unteren Extremität
M. Gruber (U Konstanz):	Effekt eines Trainings zur Erhaltung der Muskel- und Knochenmasse während körperlicher Inaktivität im Rahmen einer Bettruhestudie
N. Bäcker (U Bonn):	Optimierung der Ernährung als eine Maßnahme gegen den immobilisationsbedingten Knochenabbau in Schwerelosigkeit
N. Gerlach (U Witten-Herd.):	Hautphysiologische Experimente im All (Skin B)

Neurophysiologie	**Chair: K. Stang und H.-U. Hoffmann**
O. Bock (DSHS Köln):	Einfluss von Schwerelosigkeit auf die Auge-Hand-Koordination des Menschen
A. Gollhofer (U Freiburg):	Der Mensch im Weltraum – Auswirkung von Schwerelosigkeit und Inaktivität auf neuromuskuläre Korrelate menschlicher Bewegung
A. Stahn (Charité Berlin):	X.CAMPUS – Neuroplastizität des Hippocampus im Weltraum und extremen Umwelten
Ch. Leukel (U Freiburg):	Veränderungen des zentralen Nervensystems nach einer 60-tägigen Immobilisation der Wadenmuskulatur
A. Fink (U Stuttgart):	Untersuchung der Degradation von Pilotenfähigkeiten in Isolation unter Verwendung eines Raumfahrzeugsimulators („SIMSKILL“)
13:45 – 15:00	**Materialwissenschaften/Physik V (Seminarraum)**
Plasmaphysik	**Chair: M. Roth und T. Driebe**
H. Thomas (DLR):	12 Jahre Plasmakristall-Forschung auf der Internationalen Raumstation ISS mit PKE-Nefedov und PK-3 Plus
M. Thoma (U Gießen):	Das Plasmakristallexperiment 4 (PK-4)
Ch. Knapek (DLR):	PlasmaLab/EKOPlasma – Das zukünftige Labor zur Erforschung komplexer Plasmen in Schwerelosigkeit auf der Internationalen Raumstation ISS
A. Piel (U Kiel):	Dynamische Phänomene in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit: Entstehung von Vortices in ausgedehnten Staubwolken
A. Melzer (U Greifswald):	Dynamische Phänomene in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit: Lasermanipulation und Stereoskopie von Partikeltrajektorien

Do, 29.10. 2015

15:00 – 16:15	**Materialwissenschaften/Physik VI (Seminarraum)**
Materialwissenschaften I	**Chair: M. Roth und T. Driebe**
A. Cröll (U Freiburg):	Züchtung von dotierten Ge-Kristallen unter µg- und 1g-Bedingungen zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Konvektionszustände
J. Friedrich (Fraunhofer IISB):	ParSiWal - Wie Experimente unter Schwerelosigkeit helfen, die Herstellung von Silizium für die Photovoltaik zu verbessern
J. Plank (TU München):	Mineralisation von Zement unter Schwerelosigkeit
U. Hecht (Access):	Erstarrung von Titanaluminiden: Raketen- und Zentrifugenexperimente
G. Zimmermann (Access):	Erstarrungsforschung unter Schwerelosigkeit im europäischen Kontext
16:15 – 16:45	**Kaffeepause (Foyer)**

16:45 – 18:00 Uhr:	**Biowissenschaften VIII (Plenarsaal)**
Astrobiologie	**Chair: O. Joop**
E. Grohmann (U Freiburg):	Einsatz von neuen antimikrobiellen Oberflächenbeschichtungen auf der ISS
A. Brandt (U Düsseldorf):	Resistenz der Flechte Xanthoria elegans und ihrer Symbionten gegenüber extremen extra-terrestrischen Bedingungen: Weltraum und Mars-analoge Bedingungen auf der ISS (EXPOSE-E) und simulierte Weltraumstrahlung
J. Meeßen (U Düsseldorf):	Der Effekt extraterrestrischer Stressoren auf die Vitalität der astrobiologischen Modellorganismen Buella frigida, Circinaria gyrosa und deren isolierten Photobionten
C. Panitz (RWTH Aachen):	BOSS 1: Das Überleben von Deinococcus geothermalis unter Weltraum- und Mars-ähnlichen Bedingungen
J. Wingender (U Duisburg):	BOSS 2: Toleranz gegenüber Austrocknung, Vakuum, Mars-Atmosphäre und Temperaturextremen

Fr, 30.10. 2015

8:45 – 9:30	**Biowissenschaften IX (Plenarsaal)**
Strahlenbiologie	**Chair: O. Joop**
S. Burmeister (U Kiel):	Die DOSIS und DOSIS3D Experimente auf der Internationalen Raumstation – Aktueller Status und neueste Daten von den Kieler DOSTEL Instrumenten
C. Thielemann (FH Aschaff.):	Einfluss ionisierender Strahlung auf die elektrophysiologischen Eigenschaften kardialer Zellen
L. Wiesmüller (U Ulm):	Genauigkeit der DNA-Doppelstrangbruch-Reparatur, Manifestation von genetischen Instabilitäten und Krebsrisiko in bestrahlten humanen hämatopoetischen Stammzellen

Fr, 30.10. 2015

09:30 – 10:45	**Biowissenschaften X (Plenarsaal)**
Muskel-/Knochensystem II	**Chair: H.-U. Hoffmann**
G. Gambara (Charité Berlin):	Globale Genexpression und morphologische Analyse im Skelettmuskel von Mäusen nach 30 Tagen in einem Biosatelliten (BION M-1 Experiment)
D. Blottner (Charité Berlin):	Ein innovatives myometrisches Messgerät zur nicht-invasiven Bestimmung der neuromuskulären Fitness von Astronauten (MYOTON-PRO)
M. Salanova (Charité Berlin):	Schwerelosigkeit induzierte Genexpression in einem Nerven-Muskel-Co-Kultursystem (NEMUCO)
A.M. Liphardt (DSHS Köln):	Der Effekt von Immobilisation durch Bettruhe in 6-Kopftieflage auf den Metabolismus des Gelenkknorpels
A. Niehoff (DSHS Köln):	Der Effekt von Mikrogravitation auf den Metabolismus des Gelenkknorpels
08:45 – 10:45	**Materialwissenschaften/Physik VII + VIII (Seminarraum)**
Materialwissenschaften II	**Chair: W. Dreier**
H. Fecht (U Ulm):	Präzisionsmessungen thermophysikalischer Daten metallischer Schmelzen zur Modellierung industrieller Gieß- und Erstarrungsprozesse
D. Herlach (U Bochum):	NEQUISOL: Präzise Messungen dendritischer Wachstumsgeschwindigkeiten in unterkühlten Al-Ni Schmelzen auf der ISS
Y. Luo (U Göttingen):	Untersuchungen an Silizium-Germanium-Schmelzen unter Weltraumbedingungen
O. Shuleshova (IWF Dresden):	Metastabile Phasenbildung in peritektischen Systemen unter 1g- und µg-Bedingungen (PARMAG)
Kosmischer Staub und Granulare Materie – Chair: R. Forke	
J. Blum (TU Braunschweig):	Astrophysikalische und planetologische Experimente unter realistischen Bedingungen
M. Schywek (U Duisb.-Essen)	Regolithschichten des Mars und planetarer Körper als natürliche Niederdruck-Gaspumpen im Mikrogravitationsexperiment
J. Teiser (U Duisb.-Essen):	Partikeltransport im frühen Sonnensystem durch Photophorese
R. Stannarius (U Magdeburg):	Experimentelle Untersuchung granularer Gase unter Mikrogravitation
10:45 – 11:15	**Kaffeepause**

Fr, 30.10. 2015

11:15 – 12:30	**Plenarvorträge zur ISS (Plenarsaal) Chair: V. Schmid**
M. Wikelski (MPI Radolfzell)	ICARUS – ein neues globales Beobachtungssystem für kleine Objekte (Tiere)
R. Brunner (Fraunhofer Freiburg)	SolACES – Sonnenbeobachtung von der ISS
D. Konigorski (Airbus DS)	Das Magnetische Fluss-Experiment MFX
S. Schael (RWTH Aachen)	Auf der Suche nach der Dunklen Materie – Das AMS Experiment auf der Internationalen Raumstation

12:30 – 13:30 **Zusammenfassende Plenarsitzung mit folgenden Themen:**

- Zusammenfassende Darstellung der Evaluierungsergebnisse
- „Quo vadis FuW“: Rückschau auf das Symposium und die Perspektiven des Programms und Diskussion

13:30 Ende der Veranstaltung

Untersuchung des flüssig/fest Übergangs im Weltraum – Phänomene, Erstarrungsstrategie und Nutzen

Robert Guntlin
Access e.V., Aachen, Germany

Gussprodukte bestimmen unseren Alltag. Guss bedeutet immer einen Übergang von flüssig nach fest, unabhängig vom Herstellungsverfahren und damit Physik auf mehreren Längenskalen. Auch die hochaktuellen additiven Fertigungsverfahren verlangen ein tiefes Verständnis dieses Übergangs. Gezielte Erstarrungsexperimente im Weltraum können frei von störenden Kräften durchgeführt werden und ermöglichen die Entwicklung von Erstarrungsmodellen d.h. die Dynamik des Wachstums und die charakteristischen Strukturgrößen die sich in diesem Übergang ausbilden. Referenzmessungen sind zudem zur Bestimmung der Eigenschaften der Schmelz von besonderer Wichtigkeit. Die genaue Kenntnis dieser Phänomene und die gemessenen Werte sind für die moderne Werkstoffentwicklung unabdingbar. Sie ermöglichen, Werkstoffe zu modellieren und gezielte Eigenschaftsprofile einzustellen. Dies verlangt eine Forschungs- und Entwicklungsstrategie in der alle verfügbaren Experimentplattformen abgestimmt aufeinander genutzt werden. Die heutige Vielzahl von Experimentmöglichkeiten im Weltraum bietet von kurzfristigen Parabelflügen, über Raketen bis hin zur Internationalen Raumstation ISS eine Palette aus der für die jeweilige Fragestellung die besten Umgebung gewählt werden kann. Die immer stärkeren Anforderungen an die Produkte bezüglich Gewicht und Leistungsmerkmalen beinhalten ein hohes Potential für die Werkstoffforschung und damit für die Experimente im Weltraum.

Körpertemperaturen unter Ruhe und Arbeit bei Astronauten auf der Internationalen Raumstation ISS

Andreas Werner[1], Alexander Stahn[1], Oliver Opatz[1], Mathias Steinach[1], Victoria Weller von Ahlefeld[1], Alan Moore[2], Brian E Crucian[3], Scott Smith[3], Thomas Schlabs[1], Tobias Trippel[4], Martina Anna Maggioni[1], Eberhard Koralewski[1], Jochim Koch[5], Alexander Choukèr[6], Günther Reitz[7], Lothar Röcker[1], Karl Kirsch[1], **Hanns-Christian Gunga[1]**
1Institut für Physiologie, Charité Universitätsmedizin Berlin, 2Department of Health and Kinesiology, Lamar University, Beaumont, TX, USA, 3NASA Johnson Space Flight Center, Houston, USA, 4Kardiologie, Charite Universitätsmedizin Berlin, 5Draegerwerke AG, Lübeck, 6Institut für Anästhesiologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München, 7Abteilung Strahlenbiologie, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, DLR, Cologne

Hintergrund: Wärmehaushalt und Thermoregulation sind unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit verändert, da insbesondere der konvektive Wärmetransport im All wegfällt. Wir gingen deshalb der Frage nach, ob in Schwerelosigkeit für eine vorgegebene Arbeitsleistung die Körperkerntemperaturen schneller und höher ansteigen als im Vergleich zu terrestrischen Bedingungen. **Methoden:** 11 Astronauten (7 männliche, 4 weibliche) sind im Hinblick auf diese Veränderungen der Körperkerntemperaturen unter Ruhe- und Arbeitsbedingungen vor, während und nach einem Langzeitaufenthalt (6 Monate) auf der ISS untersucht worden. Zusätzlich wurden die inflammatorischen Marker Interleukin-1, Interleukin-1ra, Interleukin-6 und Tumor Necrosis Factor-Alpha im venösen Blut bestimmt. **Ergebnisse:** Die Körperkerntemperauten zeigten bei Arbeit einen höheren und schnelleren Anstieg als unter terrestrischen Bedingungen, in Ausnahmefällen Körperkerntemperaturen von >40 °C ($p<0.05$). Außerdem waren überraschender Weise die Körperkerntemperaturen bereits unter Ruhebedingungen während des Flugs um 0.5-0.9 °C gegenüber den Ausgangswerten erhöht. Die Veränderungen waren erst 30 Tage nach Rückkehr wieder auf den Ausgangswert zurückgekehrt. Interleukin-1 receptor antagonist Konzentrationen spiegelten diesen Temperaturverlauf wider. **Zusammenfassung:** Die gefundene basale Körpertemperaturerhöhung unter Ruhebedingungen ist bislang im All noch nicht beschrieben worden und könnte eventuell auf immunologische Prozesse zurückzuführen sein. Diese Ergebnisse sind wichtig sowohl für die Planung und Gesaltung von Trainingseinheiten auf der ISS als auch für die allgemeine Versorgung und Gesunderhaltung von Astronauten im All. Wir möchten den Astronauten und dem DLR-Management in Bonn-Oberkassel, der ESA, der NASA sowie den Firmen Kayser-Threde (München) und Koralewski Elektronik (Hambühren) für Ihre Unterstützung danken. Finanziell wurde dieses Projekt THERMOLAB durch das DLR mit den Zuwendungen AZ 50 WB 0724 und 50WB1030 an den PI Gunga gefördert.

Der Marsboden als natürliche Gas-Pumpe

Gerhard Wurm, C. de Beule, T. Kelling, M. Küpper, T. Jankowski, J. Teiser
Universität Duisburg-Essen

Um die Wende des 20. Jahrhunderts waren Vakuumpumpen erst in ihren Anfängen und Drücke im Feinvakuum---Bereich (mbar) waren oft das Limit. Zu dieser Zeit fand man zahlreiche Effekte, bei denen sich Gas nicht wie ein ideales Gas verhält. Lichtmühlen zeigen beispielsweise die Bewegung makroskopischer Körper durch geringe Lichteinstrahlung sehr anschaulich. Während diese „Details“ in modernen Hochvakuumanwendungen keine Rolle mehr spielen, gibt es natürliche Umgebungen, bei denen sehr dramatische Prozesse aufgrund dieser Nichtgleichgewichtsphysik von Gasen auftreten können. Mars weist – ebenso wie protoplanetare Scheiben – die notwendigen geringen Atmosphärendrücke auf. Einfache Temperaturgradienten z.B. durch Sonneneinstrahlung führen hier zu einer starken Gasströmung aufgrund thermischen Kriechens. Dies wiederum kann zur explosionsartigen Ablösung von Staub aus dem Boden führen oder zu kontinuierlichem Pumpen von Gas durch oberflächennahe Schichten. Damit stellen diese Prozesse eine wichtige Verbindung für die Wechselwirkung zwischen Marsatmosphäre und Marsboden dar. Partikelablösung und thermisches Kriechen werden in erdgebundenen Experimenten durch Gravitation und großräumige thermische Konvektion überlagert. In Mikrogravitationsexperimenten zeigen sich die Effekte ungestört und lassen sich gut untersuchen. In der Anwendung ist Mars diesbezüglich im heutigen Sonnensystem einzigartig. Durch die Druckabhängigkeit findet man diese Effekte nicht auf der Erde. Der Staub des Marsbodens ist ein komplexes poröses Medium. Hier bietet die Forschung ein großes Potential für grundlegende wie auch technische Applikationen der Physik verdünnter Gase.

Pflanzenwachstum im Weltall – wie reagiert die Ackerschmalwand (Arabidopsis thaliana) auf Schwerelosigkeit?

Klaus Palme
Institut für Biologie, Zentrum für Biosystemanalyse, BIOSS Zentrum für biologische Signalstudien, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Mensch, Tier und Pflanze sind im Weltraum extremen Stressbedingungen ausgesetzt. Es ist daher wichtig zu verstehen, wie die verschiedenen Organismen diesen Stress erkennen und welche molekularen Ereignisse die physiologischen und phänotypischen Anpassungen an diese Extrembedingungen bewirken. Pflanzen wie beispielsweise Arabidopsis thaliana eignen sich besonders für die Untersuchung dieser Prozesse, da sie effizient mit Hilfe molekular-genetischer Methoden untersucht werden können. Arabidopsis produziert in einer Generation viele Nachkommen und hat eines der am besten annotierten Genome. Außerdem erleichtern Mutanten kausal-analytische Untersuchungen. Die Schwerkraft erlaubt Pflanzen Sproß und Wurzel optimal zu positionieren. Diese Orientierung kann in Mutanten gestört sein. Vergleiche der Wachstumszonen von Wurzeln im Gravitationsfeld der Erde und in der Schwerelosigkeit ermöglichen die zugrundeliegenden Mechanismen zu analysieren. Wir konnten zeigen, dass Arabidopsiswurzeln überraschend schnell auf Änderungen der Schwerkraft reagieren. Sowohl Arabidopsis Keimlinge während eines Parabelflugs, im Weltall als auch in einem Raumschiff im Vergleich zu Keimlingen, die auf der Erde gewachsen sind wurden analysiert. Zahlreiche Veränderungen des Transkriptoms, d.h. die Gesamtheit aller exprimierten Genekonnten über einen Zeitraum hinweg beobachtet werden. Es zeigt sich, dass die Expression einer Reihe von Genen verändert wird, die im Lipidmetabolismus und in der Stressantwort eine wichtige Rolle spielen. Es kommt zu einer Umprogrammierung des zellulären Metabolismus. Diese Veränderungen gehen einher mit zellspezifischen Veränderungen, die mit neuartigen, hochauflösenden bildgebenden Verfahren nachgewiesen werden können. Unsere Untersuchungen liefern wichtige Einblicke in die durch Schwerelosigkeit bewirkten molekularen und zellulären Veränderungen und liefern erste Hinweise auf die Rolle des Epigenoms in der Anpassung von Pflanzen an Weltraumbedingungen. Wir hoffen, dass diese Ergebnisse dazu beitragen Weltraum-bedingte Stressreaktionen besser zu verstehen und Reisen im Weltall ein Stück weit näher rücken zu lassen.

Quantensysteme in Schwerelosigkeit - neue Horizonte für die Quantensensorik

Wolfgang Ertmer
Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover

„Totgesagte leben länger.“ Anfang der achtziger Jahre hatte die Laserspektroskopie von Atomen - nach ihrer Blütezeit in den siebziger Jahren - einen Reifegrad erreicht, dass man eigentlich nichts wirklich Aufregendes mehr erwartete. Dies änderte sich aber dramatisch mit der Laserkühlung von Atomen und in der weiteren Entwicklung durch deren Bose Einstein-Kondensation (BEC). Dieser makroskopische Quantenzustand von typischerweise Millionen ultrakalten Atomen verkörpert die kälteste Materie im Kosmos. Seitdem erlebt die Atomphysik mit der Quantenoptik eine unglaubliche Renaissance. Bei Temperaturen im Nanokelvinbereich ähneln „Teilchen“ – also Atome – eher Wellenpaketen als Korpuskeln. Quantenphysik mit solchen Materiewellen hat seitdem völlig neue Quantentechnologien entstehen lassen, ähnlich der stürmischen Entwicklung des Lasers in den sechziger Jahren. Dies macht sie auch für Experimente in der Schwerelosigkeit höchst interessant und eröffnet hier ganz neue Horizonte, z.B. für innovative Quantensensoren, Referenzsysteme oder auch neue Erdbeobachtungskonzepte. Im Rahmen des DLR-Projektes QUANTUS sind hier sehr erfolgreiche Pionierarbeiten geleistet worden, die die bis dato ganze Labore füllenden Apparaturen auf die Größe eines Kühlschranks haben schrumpfen lassen, und das bei einer Robustheit, die selbst ein Crash-Test nicht erschüttern würde. Damit sind Abwürfe oder Katapultstarts im Droptower (Bremen) oder ein ballistischer Raketenflug als Plattformen für Experimente in Schwerelosigkeit inzwischen Realität bzw. in Kürze möglich. Hierdurch wird nahezu das gesamte Potential moderner Quantentechnologien für Weltraumanwendung, seien es fundamentale Tests oder hochempfindliche innovative Quantensensorik, auf beinahe allen Plattformen der Schwerelosigkeit nutzbar.

Zur Spiritualität von Sport und Bewegung in der medialen Moderne – Der integrierende Beitrag des DLR Programms "Forschung unter Weltraumbedingungen" zum Verständnis der Leib-Seele Einheit.

Stefan Schneider
Deutsche Sporthochschule Köln

Ein an einem ganzheitlichen Menschenverständnis orientierter Gesundheitsbegriff umfasst nicht nur die körperliche, sondern auch die mentale und soziale Dimension des Menschen (WHO, 1946). Entgegen einem traditionell dualistischen Leib-Seele-Verständnis des Christentums, betrachten die alt- und neutestamentlichen Schriften den Menschen aus einer ganzheitlich-monistischen Sichtweise und lehren – ganz im Sinne des benediktinischen „ora et labora“ – die Bedeutung körperlicher Aktivität auch für das seelische Wohlbefinden.
Seit vielen Jahren befassen sich Forscher der Deutschen Sporthochschule Köln mit der Frage nach dem positiven Effekt von Sport und Bewegng auf die körperliche Leistungsfähigkeit. Auch die Forschung unter Weltraumbedingungen hat sich diesem Thema aufgrund der exponierten Entlastungssituation in Schwerelosigkeit angenommen. Mehr und mehr wird jedoch deutlich, dass Sport und Bewegung in einer von Bewegungsmangel geprägten Welt, einen ganzheitlichen Ansatz zur Gesunderhaltung des Menschen aufzeigen. In etlichen Studien der vergangenen Jahre konnten wir zeigen, dass eine Langzeitisolation, wie sie für Weltraumreisende üblich ist, die psychische Gesundheit nachträglich beeinträchtigt und ein regelmäßiges, individualisiertes Sport- und Bewegungsprogramm diesen Entwicklungen entgensteuern und damit nachhaltig den Erfolg und die Sicherheit einer Weltraummission positiv beeinflussen kann.
Diese Erkennisse sind jedoch nicht allein für die bemannte Weltraumfahrt von Bedeutung, sondern strahlen in die ggw. gesundheitspolitische Debate um psychische und neurodegenrative Erkrankungen hinein, helfen deren Genese zu verstehen und adäquate Gegenmaßnahmen zu definieren.

Forschung unter Weltraumbedingungen - Das Immunsystem unter Stress

Alexander Choukèr
Klinikum der Universität München

Stressphänomene und deren Auswirkungen auf das Immunsystem spielen sowohl im Weltraum, bspw. bei einem Langzeitraumflug, beim Gesunden und gerade auch beim Patienten eine Schlüsselrolle. Denn einerseits muss die Funktion des Immunsystems aufrechterhalten werden und andererseits kann eine Überaktivierung des Immunsystems zu einer Schädigung der Organe und ebenfalls zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit führen. Da die Organe des Immunsystems und die Immunzellen mit anderen physiologischen Regulationssystemen vernetzt sind, kann die Aktivierung bestimmter Gehirnareale die Freisetzung von Stresshormonen steuern und dadurch die Funktionen des Immunsystems regulieren. Die besonderen Umweltbedingungen auf der ISS ermöglichen die Erforschung auch bisher nicht erwarteter Anpassungsmechanismen. In diesem Referat werden auch die Kombination dieser Fragestellungen mit Erkenntnissen aus standardisierten Studien zur Simulation von Raumflügen auf der Erde (bspw. Isolations-, Bettruhestudien), und ihre Prüfung beim Patienten, erläutert und die Ergebnisse dieser interdisziplinären und integrative Erforschung stressabhängiger Immunreaktionen dargestellt.

Schwerkraft-abhängige zelluläre und molekulare Mechanismen in Zellen des menschlichen Immunsystems

Oliver Ullrich
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Die Schwerkraft gehört zu den grundlegendsten Bedingungen allen Lebens auf der Erde. Biowissenschaftliche Schwerkraftforschung ist daher eine Bemühung, die fundamentalsten Grundlagen der Existenz des Lebens auf der Erde zu verstehen. Seit vielen Jahrzehnten ist gut bekannt, dass Zellen des Immunsystems besonders sensitiv gegenüber verminderter Schwerkraft reagieren, was sie zu einem ausgezeichneten Modellsystem zur Untersuchung schwerkraftabhängiger zellulärer und molekulare Mechanismen macht. Zudem gehören Störungen des Immunsystems zu den limitierenden Faktoren für die menschliche Gesundheit und Leistungsfähigkeit unter Raumflugbedingungen. Es wurden umfangreiche Experimente auf Parabelflügen, vier Forschungsraketenexperimente (TEXUS-49, TEXUS-51/52, MASER-12), ein Weltraumexperiment auf einer Satellitenplattform (SIMBOX/Shenzhou-8) und zwei auf der ISS (CELLBOX und TRIPLE LUX A), sowie bodengestützte Arbeiten in simulierter Schwerelosigkeit durchgeführt. In Zellen des Immunsystems konnten schwerkraftsensitive Mechanismen innerhalb der Zellzykluskontrolle, der Expressionsregulation von Molekülen der Zell-Adhäsion und - Kommunikation, des Oxidative Burst, des Zytoskeletts und in Stoffwechselprozessen gefunden werden. Zudem gelang erstmalig eine gesamtgenomische Genexpressionsanalyse in T-Lymphozyten und in Zellen des Monozyten-Makrophagen-Systems, die zur Identifikation schwerkraftsensitiver Gene und zu Hinweisen auf deren Regulation führte (das „Gravitom“ der menschlichen Zelle). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Erdschwerkraft eine wichtige Rolle in der Homöostase der Genregulation spielt, sowie Prozesse der Zell-Zell-Interaktion und -Kommunikation ermöglicht, Wesensmerkmale komplexen Lebens. Neben Ergebnissen aus der Grundlagenforschung führten die Forschungsarbeiten auch zu neuen biotechnologischen Entwicklungen in Form neuer Zellkulturmedien ohne tierische Medienzusätze und innovative Verfahren zur dauerhaften Blutzellkonservierung. Die Identifikation schwerkraftsensitiver Prozesse ist eng verbunden mit dem Verständnis der grundlegenden molekularen Mechanismen der Immunzellaktivierung und –funktion. Somit trägt sie zum Erkennen neuer molekularer Zielstrukturen für therapeutische Interventionen bei, gerade auch auf der Erde. Für die Raumfahrt ermöglichen die Ergebnisse eine bessere Risikoabschätzung von Langzeitaufenthalten im Weltraum, die Identifikation kritischer Parameter und die Grundlage für ein besseres medizinischen Monitoring.

TRIPLE LUX-B: Erfahrungen mit der Durchführung eines zellbiologischen Experiments auf der Internationalen Raumstation (ISS)

Peter-Diedrich Hansen und **Eckehardt Unruh**
Institut für Ökologie, Technische Universität Berlin

TRIPLE LUX-B ist ein Projekt zur direkten Untersuchung von negativen Auswirkungen von Weltraumbedingungen (Mikrogravitation und Weltraumstrahlung) auf Schlüsselfunktionen des Immunsystems. Die Untersuchung soll Hinweise darauf liefern, wie sich der bei Astronauten nach Langzeitmissionen beobachtete Leistungsverlust des Immunsystems erklären lässt. Hierfür wurde eine Messeinrichtung für den Einsatz im BIOLAB durch die Firma Airbus Defense and Space entwickelt. Als biologische Komponente wurden für TRIPLE LUX-B die Blutzellen (Hämozyten) der Miesmuschel gewählt. Es wurde der Biomarker Phagozytose mit dem Endpunkt einer reaktiven Sauerstoffradikalen (ROS) untersucht. Muschelhämozyten stellen in dem einfacheren Immunsystem der Muschel die einzige Form der zellulären Immunabwehr dar. Obwohl sie entwicklungsbiologisch sehr viel älter sind als die Makrophagen der Wirbeltiere, sind sie den Makrophagen, was die Funktion der Phagozytose und der Bildung von ROS betrifft, sehr ähnlich. Im Rahmen der Umweltüberwachung von Küstengewässern hat sich der Biomarker Phagozytose bei Invertebraten bereits als empfindliches Instrument zur quantitativen Erfassung des Phagozytose-Potentials erwiesen. Die Robustheit der Zellen erlaubt einem breiteren Temperaturbereich als dies beim Arbeiten mit Säugerzellen möglich ist. Aus diesen Gründen erwiesen sich die Hämozyten der Muscheln für die Verwendung in dem geplanten Experiment als besonders geeignet. Die Kryo-Konservierung der Hämozyten haben darüberhinaus die Möglichkeit geschaffen, den geeigneten Zeitpunkt für die Untersuchungen zum Phagozytose-Potentials in einem erweiterten Zeitfenster abzurufen. Nachdem das Experiment TRIPLE LUX-B alle Prüfungen am Boden bestanden hatte und die Experimente mit Hämozyten in Ground Based Facilities (Parabelflug, 2D-Klinostat) sehr vielversprechende Ergebnisse geliefert hatten, wurde im März 2015 das TRIPLE LUX-B Experiment auf der ISS durchgeführt. Es wurde begleitet von einem nachgeschalteten Bodenkontrollexperiment mit den Zellen, Medium und Reagenzien gleicher Charge und Qualität. Die Nachstellung der realen on-orbit Bedingungen (z.B. zeitlicher Ablauf und Temperaturverhältnisse) wurden im nachgeschalteten Bodenkontrollexperiment berücksichtigt. Eine wichtige Ergänzung des Experiments war die Untersuchung einer "Rückkehrprobe" mit Zellen derselben Charge, die nach 1-monatiger Lagerung auf der ISS zur Erde zurückkehrte. Diese Zellen wurden ebenfalls auf ihr Phagozytose-Potential, ROS und zusätzlich auf DNA-Schäden (Mikrokerne, DNA-Aufwindung) sowie Apoptose hinsichtlich möglicher Strahlenschäden untersucht.

Session BW II: Proteinkristallisation Mittwoch 17.30 – 17.45

Kristallisation von Biomolekülen unter Mikrogravitätsbindungen & Struktur-Funktions-Analysen

Christian Betzel
Institut für Biochemie und Molekularbiologie, Universität Hamburg

Ein Verständnis der Struktur-Funktion–Beziehung biologischer Makromoleküle, Proteinen, RNA und DNA ist heute für zahlreiche Bereiche in den Lebenswissenschaften, der Pharmazie, der Medizin und der Biotechnologie essentiell, denn nur Daten zu hochaufgelösten dreidimensionalen Strukturen dieser Biomoleküle erlauben es Lebensvorgänge oder auch ihren Störungen auf atomarer Ebene zu verstehen. Weiterhin wird die gezielte Entwicklung und Optimierung von biotechnologisch relevanten Enzymen als auch das gezielte Wirkstoffdesign massgeblich über hochaufgelöste 3D Daten ermöglicht und unterstützt. Im Resumee ist ein detailliertes Verständnis der Funktion eines Proteins und auch dessen Wechselwirkungen mit anderen Biomolekülen ohne die Kenntnis der dreidimensionalen Struktur nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich, daher werden die außergewöhnlichen Erfolge der Strukturbiologie und hier insbesondere die Fortschritte im strukturbasierten Wirkstoffdesign heute überwiegend von den enormen und fortlaufenden Fortschritten in der Proteinkristallographie getragen. Hierbei sind die bedeutenden Entwicklungen im Bereich der Strahlungsquellen, hier Synchrotronstrahlungsquellen und neuerdings auch Freie-Elektronen Laser, zu erwähnen. Aber nach wie eine unabdingbare Grundlage der Röntgenstrukturanalyse ist es Kristalle von hoher Qualität zu erzeugen, wobei einer der zahlreichen den Vorgang des Kristallwachstums beeinflussenden Parameter die Schwerkraft ist. Sie kann sich störend auswirken, indem sie an der Oberfläche des wachsenden Proteinkristalls dichte-abhängige Konvektionsströmungen erzeugt oder die Sedimentation wachsender Kristalle im Schwerefeld bewirkt. In diesem Kontext wurden in Kooperation mit internationalen Partnern über einen Zeitraum von mehr als 10 Jahren unterschiedliche Kristallisationsexperimente auf der ISS, als auch auf unbemannten Satelliten durchgeführt. Hier wurden masgeblich zwei Techniken zur Kristallisation eingesetzt und auch weiterentwickelt. Daten und

Ergebnisse zu ausgewählten Experimenten und folgend durchgeführten Strukturanalysen werden auch im Hinblick auf Anwendungspotentiale vorgestellt. Alle Experimente, deren Vorbereitung und Auswertung, wurden über DLR unterstützt und ermöglicht, dies in Kooperation mit Partnern der NASA, ESA, JAXA und Akademie der Wissenschaften in China.

Session MW I: Fluidphysik Mittwoch 16.30 – 17.45

Ein Strömungskanal im Weltraum – Das CCF-Experiment auf der Internationalen Raumstation –

Michael Dreyer
Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation ZARM, Universität Bremen

Das CCF-Experiment dient der Erforschung kapillar-dominierter Ein- und Zweiphasenströmungen von Flüssigkeiten unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit. Das Kernelement des Experimentaufbaus ist ein Strömungskanal, dessen Wand teilweise entfernt und dessen Strömungsgeschwindigkeit variiert werden kann. Gleichzeitig können Blasen in die Messstrecke eingebracht werden. Die freie Oberfläche der Flüssigkeit, die sich dabei einstellt, sowie das Verhalten der Luftblasen werden mit Videokameras beobachtet und die aufgezeichneten Bilder in hoher Qualität über einen Downlink dann zu den Bodenstationen nach Bremen und Portland im Bundesstaat Oregon der USA gesendet. Gleichzeitig kann die Experimentanlage vom Boden aus direkt gesteuert werden, indem alle Parameter per Telekommandos an die Raumstation übermittelt werden und die Daten umgekehrt per Telemetrie in Bremen empfangen werden können. Die Zeitverzögerung liegt dabei im Bereich von nur wenigen Sekunden. Um eine solche Anlage über Monate betreiben zu können, müssen Techniken der Flüssigkeitshandhabung und der Phasentrennung unter Weltraumbedingungen beherrscht werden. Dies hat die Anlage mehrfach unter Beweis gestellt und auch nach einem erneuten Einbau funktionierte das Experiment einwandfrei.
Die ISS bietet eine einmalige Testumgebung, um wissenschaftliche und technologische Erkenntnisse zu gewinnen, die insbesondere für zukünftige Weltraumanwendungen wichtig sind. Dabei geht es sowohl um den qualitativen Test von technischen Lösungen als auch um quantitative Daten zur Validierung theoretischer Modelle. Strömungen mit freien Oberflächen verhalten sich unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit vollkommen anders als auf der Erde, weil der hydrostatische Druck keine Rolle mehr spielt. Nur mit Hilfe der Kapillarkräfte können im Weltraum Flüssigkeiten in einer offenen Messstrecke positioniert, Gasblasen aus einer Zweiphasenströmung entfernt sowie Flüssigkeit und Gas getrennt werden.

Das Weltraumexperiment GeoFlow

Christoph Egbers**, Florian Zaussinger**
Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg

Konvektion ist ein zentraler geo- und astrophysikalischer Prozess um thermische Energie, als auch gelöste Stoffe zu transportieren. Strömungen im äußeren Erdkern sowie im Erdmantel können auf die konvektive Instabilität zurückgeführt werden, welche z.B. die kontinentale Plattenbewegung hervorruft. Die experimentelle Untersuchung der globalen Strömungsvorgänge in beiden genannten Regimen verlangt zwangsläufig ein radiales Kraftfeld, das allerdings unter dem erdgebundenen axialen Gravitationsfeld nur bedingt im Labor reproduzierbar ist. Auf Basis des dielektrophoretischen Effekts wird mit Hilfe von Hochspannung ein gerichtetes Kraftfeld induziert, das in der Schwerelosigkeit auch radial genutzt werden kann. Dies bildet die Grundlage für das einzigartige Experiment GeoFlow auf der ISS, das Konvektion in Kugelschalengeometrie untersucht.
Das GeoFlow (Geophysical Flow) Experiment befindet sich im Fluid Science Labortory (FSL) des Columbus Moduls der ISS. Neben den bildgebenden Interferometriemessungen der konvektiven Strömung im Kugelspalt, werden auch die Microgravitationsdaten (MVIS und MMA) aufgezeichnet und ausgewertet. Dies ermöglicht die Qualität der Experimente zu gewährleisten. Die Kugelschalen werden in Analogie zum Schalenmodell der Erde innen geheizt und außen gekühlt. Rotations- und Hochspannungsänderungen erlauben es zudem den Parameterraum zusätzliche zu erweitern. Die Experimentierdauer variiert von wenigen Minuten bis zu mehrere Stunden und richtet sich nach der physikalischen Fragestellung. Die GeoFlow Mission wird zudem von numerischen CFD-Simulationen begleitet, welche die Ergebnisse in allen Parameterbereichen verifizieren.
GeoFlow umfasst bisher zwei erfolgreich durchgeführte Missionen. GeoFlow I basierte auf einem iso-viskosen Fluid. Es startete im Jahr 2008 und endete nach erfolgreichen 6 Monaten Anfang 2009. Der Experimentiercontainer wurde im März 2009 mit der Discovery wieder zur Erde zurückgebracht. Während

dieser ersten Mission sind 200GB Messdaten erhoben worden, mit insgesamt 100.000 verwertbaren Interferogrammen. Die Folgemission GeoFlow II (thermoviskoses Fluid) wurde 2011 im FSL integriert und liefert, mit organisatorisch bedingten Unterbrechungen, seit vier Jahren ohne technische Beanstandung 500GB Forschungsdaten. Damit gehört GeoFlow zu den erfolgreichsten Experimenten des Columbus Moduls. Dieser Erfolg spiegelt sich in weit über 100 wissenschaftlichen Arbeiten wider.

Thermodiffusion in ternären Fluiden

Werner Köhler, Thomas Triller
Physikalisches Institut, Universität Bayreuth

In mehrkomponentigen Fluiden wird durch einen Temperaturgradienten ein diffusiver Massenstrom erzeugt (Soreteffekt). Ein stationärer Zustand entsteht durch Kompensation dieses Thermodiffusionsstroms durch Ficksche Diffusion aufgrund des sich aufbauenden Konzentrationsgradienten. Im Vergleich zu binären Mischungen stellen ternäre eine große experimentelle und theoretische Herausforderung dar. Insbesondere kann es, je nach Vorzeichen der Soretkoeffizienten, unter Gravitationsbedingungen zu thermosolutalen Instabilitäten kommen, welche eine korrekte Bestimmung der Transportkoeffizienten stark erschweren oder gar unmöglich machen. Im Rahmen des ESA-Projekts DCMIX werden Experimente an ternären Modellsystemen zur Etablierung einer konvektionsfreien Datenbasis als Referenz für bodenbasierte Experimente durchgeführt. Die Messungen finden mit der SODI-Apparatur, einem digitalen Mehrwellenlängeninterferometer, innerhalb der Microgravity Science Glove Box (MSG) statt. Die ersten beiden Messkampagnen, DCMIX1 und DCMIX2, standen unter belgisch-kanadischer (Van Vaerenbergh, Saghir) und belgischer (Shevtsova) Leitung. Die dritte Kampagne, DCMIX3, wird von unserer Arbeitsgruppe koordiniert. Untersucht werden sollen verschiedene ternäre Mischungen aus Wasser, Ethanol und Triethylenglykol. In begleitenden Laborexperimenten untersuchen wir in Zusammenarbeit mit mehreren internationalen Teams die DCMIX-Systeme, entwickeln neue Auswerte- und Messverfahren und beteiligen uns an Rundversuchen. Von besonderer Bedeutung für die Auswertung der Mehrfarbenexperimente ist eine genaue Kenntnis der optischen Kontrastfaktoren, der partiellen Ableitungen der Brechungsindexe der Mischungen nach der Komposition und der Temperatur. Hierfür entwickeln wir als absolute Referenz für kommerzielle Refraktometer ein Mehrfarbeninterferometer zur simultanen präzisen Messung des Brechungsindexes über den gesamten sichtbaren Spektralbereich bis ins nahe Infrarot. 2014 stand ganz im Zeichen der Messzellencharakterisierung, der Probenvorbereitung und der Einweisung in den Experimentablauf und die Datenformate bei EUSOC (Madrid). Aufgrund des Orb-3-Desasters im Herbst 2014 gingen die Messzellen leider verloren. Ein neuer Anlauf ist vorgesehen, allerdings ist gegenwärtig noch keine genauere Zeitplanung verfügbar.

Flüssigkristalline freistehende Filme (OASIS)

Ralf Stannarius[1], Torsten Trittel[1], Alexey Eremin[1], Kirsten Harth[1] Noel Clark[2], Joseph Maclennan[2], Matthew Glaser[2], Cheol Park[2]
1Institut für Experimentelle Physik, Otto-von-Guericke-University Magdeburg 2Physics Department, University of Colorado at Boulder, CO

Das Projekt *Observation and Analysis of Smectic Islands In Space* (OASIS) untersucht das außergewöhnliche Verhalten von Objekten in flüssigkristallinen freistehenden Filmen unter Mikrogravitation, einschließlich ihrer allgemeinen Bewegungsdynamik, und dem Verschmelzen zusätzlicher smektischer Lagen, sogenannter „smektischer Inseln“. Flüssigkristalle kommen natürlicherweise zum Beispiel in Seifen oder Zellmembranen vor, und sie haben weitverbreitete technische Anwendung in Anzeigeelementen gefunden, zum Beispiel in Fernsehgeräten, Meßgeräten oder Uhren. Ihr Nutzen für die Grundlagenwissenschaften geht jedoch weit über optische Anwendungen hinaus. Stabile dünne smektische Filme mit Aspektverhältnissen (laterale Abmessungen bezüglich der Filmdicke) über 10^6:1 können als einfache und gut handhabbare Modelle für zweidimensionale flüssige Membranen dienen. Sie können planare Strukturen, Blasen oder Schäume bilden. Mikrogravitationsexperimente an Blasen und frei schwebenden geschlossenen smektischen Filmen sind von uns auf verschiedenen Mikrogravitationsplattformen durchgeführt worden: auf Parabelflügen, suborbitalen Raketenflügen und der Internationalen Raumstation ISS. Wir berichten über bisherige experimentelle Ergebnisse zur Oszillationsdynamik von Membranen, zu Insel- und Tropfenbewegungen und zu Alterungsphänomenen (*coarsening*) kolloidaler Strukturen. Die Experimente erlauben eine detaillierte Beschreibung gekrümmter smektischer Membranen, und der einzigartigen Fähigkeiten dieser Strukturen, wie flüssige und feste Kristalle in Erscheinung zu treten.

Seltene-Erden-Ionen Separation in magnetischen Gradientenfeldern (SESIMAG)

Barbara Pulko, Zhe Lei**, Kerstin Eckert**
Institut für Strömungsmechanik, TU Dresden

Dysprosium (Dy) stellt ein wichtiges Additiv derzeitiger NdFeB-Hochleistungsmagnete dar. Da der Bedarf das Angebot an Dysprosium perspektivisch übersteigen wird, gewinnt das Recycling von Dysprosium wie auch der anderen seltenen Erden an Bedeutung. Ein wichtiges Ziel besteht daher in der Entwicklung geeigneter Separationsmethoden für diese Elemente. Dafür bieten sich die speziellen magnetischen Eigenschaften dieser Elemente an, die vorrangig paramagnetisch sind. Im vorliegenden Projekt untersuchen wir die Grundlagen und Möglichkeiten einer Separation dieser Ionen aus wässrigen Lösungen mittels magnetischer Gradientenfelder.
Im bisherigen Verlauf des Projekts konnten wir die Separierbarkeit verschiedener paramagnetischer Ionen wie Dy(III), Er(III), Sm(III) oder Mn(II) aus wässrigen Salzlösungen in inhomogenen Magnetfeldern interferometrisch nachweisen. Der Vortrag geht auf die zeitliche Dynamik der Separation von Dy(III)-Ionen bei unterschiedlichen Konzentrationen wässriger $DyCl_3$-Lösungen ein [1]. Diese Ergebnisse werden mit derjenigen von paramagnetischen 3d Mn(II)-Ionen verglichen, die aus unseren Vorgängerarbeiten bekannt ist. Am Ende werden die bisher erzielten Einsichten in den Mechanismus, der der Separation zugrunde liegt, zusammengefasst. [1] B. Pulko, X. Yang, Z. Lei, S. Odenbach, K. Eckert (2014), Appl. Phys. Lett. 105, 232407

Session BW III: Gravitationsbiologie Donnerstag 8.45 – 10.45

Grundlagen der Gravitationsabhängigkeit neuronaler Aktivität

Wolfgang Hanke
Universität Hohenheim, Institut für Physiologie, Stuttgart

Höher entwickelte Organismen haben in der Regel spezialisierte Organe zur Gravitationswahrnehmung entwickelt. Es hat sich aber gezeigt, dass unabhängig davon viele biologische Systeme bis hin zu einzelnen Zellen auf Gravitationsänderungen reagieren. Dies gilt auch für das zentrale Nervensystem (ZNS) höher entwickelter Lebewesen. Das ZNS ist als System hierarchisch aufgebaut und erfüllt alle Voraussetzungen erregbarer Medien, die per Definition auf kleine externe Kräfte reagieren, die Gravitation ist eine solche kleine externe Kraft.
Wir haben in den vergangenen Jahren die Gravitationsabhängigkeit der verschiedenen System-Ebenen des ZNS untersucht und zwar von einzelnen Molekülen über Membranen, Zellen und Gewebestrukturen, bis hin zum menschlichen ZNS (EEG Messungen), und festgestellt, dass auf allen Ebenen eine solche Abhängigkeit existiert. Die Messungen wurden im Wesentlichen auf kleinen micro-Gravitationsplattformen und in Laborzentrifugen durchgeführt, da die Zeitskalen der beobachteten Parameter im Bereich von milli-Sekunden bis Sekunden liegen.
Als eine grundsätzliche Konsequenz unserer Experimente muss festgehalten werden, dass jede einzelne biologische Zelle über eine zumindest rudimentäre Gravitationswahrnehmung verfügt, unabhängig von spezialisierten Organellen oder andere Strukturen.

Gravitationsabhängige Strukturen in neuronalen Zellen

Florian P.M. Kohn und Claudia Koch
Universität Hohenheim, Institut für Physiologie, Stuttgart

Höher entwickelte Organismen haben in der Regel spezialisierte Organe zur Gravitationswahrnehmung entwickelt. Es hat sich aber gezeigt, dass auch einzellige Organismen und vereinzelte Zellen, wie z.B. neuronale Zellen, durchaus in der Lage sind Gravitation, zu detektieren. In vielen dieser Zellen wurden Strukturen gefunden, die der Gravitationswahrnehmung dienen. Es ist aber auch deutlich geworden, dass die Zellmembran selbst und einzelne Moleküle an diesem Prozess maßgeblich beteiligt sein können.
Durch die Verknüpfung von fluoreszenzoptischen und biophysikalischen Messmethoden konnte gezeigt werden, dass verschiedene Bestandteile menschlicher, neuronaler Zellen gravitationsabhängig sind. Die Zellmembran als Barriere und das Zytoskelett als Stütz- und Transportsystem spielen hier eine sehr wichtige Rolle.
Die Veränderungen der biophysikalischen Eigenschaften von Zellen ist nicht nur für die Forschung unter Weltraumbedingungen von Interesse, sondern ermöglicht neue Einblicke in das generelle Verständnis wie Zellen mit ihrer Umgebung kommunizieren, wie z.B. pharmakologische Substanzen in die Zelle gelangen und wie wir dies, als mögliche medizinische Anwendung, beeinflussen können.

Euglena gracilis als Modellsystem zur Untersuchung der Schwerkraftwahrnehmung bei Einzellern

Viktor Daiker, Peter Richter und **Michael Lebert**
Zellbiologie, FAU Erlangen

Euglena ist ein photosynthetischer Einzeller, der sich mit Hilfe von Licht (Phototaxis) und Schwerkraft (Gravitaxis) in der Wassersäule orientiert, um für Wachstum optimale Positionen zu erreichen.
Zu Beginn der Untersuchungen stand die grundsätzliche Charakterisierung der Gravitaxis (der Orientierung der Zellen in Bezug auf die Schwerkraft) im Vordergrund. Der Schwellenwert der Gravitaxis wurde in einem Space Shuttle Experiment bestimmt (ca. 1/10 der Erdschwerkraft). In weiteren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Zellen die Masse des gesamten Zellkörpers nutzen, um die Richtung der Schwerkraft zu bestimmen. Physikalische Berechnungen deuteten darauf hin, das *Euglena* für die Wahrnehmung der Schwerkraft einen Integrationsmechanismus benutzt. In biologischen Systemen wird Integration genutzt, um kleine, regelmäßige Reize von Störungen unterscheiden zu können. Eine solche Integration konnte mit einer im Labor entwickelten automatischen Bildverarbeitung nachgewiesen werden.
Seit mehr als 100 Jahren wird die Gravitaxis von *Euglena* als Folge eines Bojeneffektes gedeutet. In einem Weltraumexperiment konnte dann bewiesen werden, dass der Bojeneffekt bei der Reorientierung der Zellen tatsächlich eine Rolle spielt, aber dass bei normaler Schwerkraft ein aktiver Mechanismus bei weitem überwiegt.
Durch Hemmstoffe konnte gezeigt werden, dass Calcium, Calcium-bindende Proteine, das Membranpotential, cAMP und Phosphorylierung an der Schwerkraftwahrnehmung beteiligt sind. In einer Serie von Weltraumexperimenten konnte mit Hilfe von Fluoreszenzfarbstoffen die Beteiligung von Calcium und dem Membranpotential bewiesen werden. In einem weiteren Experiment konnte die Beteiligung von cAMP gezeigt werden. In den darauffolgenden Untersuchungen wurde RNAi eingesetzt. Mit Hilfe dieser Methode war es möglich, zwei entscheidende Komponenten der Gravitaxis zu identifizieren: zum einen ein Calcium-bindendes Protein (CaM2) und zum anderen ein Protein, das durch cAMP aktiviert wird und dann die Aktivität anderer Proteine reguliert (PKA). Das Ausschalten von CaM2 führt dazu, dass sich die Zellen nicht mehr im Schwerefeld orientieren können. Bei Ausschalten der PKA ist nicht nur die Gravitaxis, sondern auch die Phototaxis beeinträchtigt. Durch einen Komplementationsassay konnten weitere Komponenten der Schwerefeldwahrnehmung identifiziert werden. Alle Ergebnisse werden im derzeitigen Modell der Gravitaxis zusammengefasst, das im Vortrag vorgestellt werden wird.

Die Effekte der Mikrogravitation auf humane Schilddrüsenkarzinomzellen: die Shenzhou-8/SIMBOX Mission und das Cellbox-1/Nanoracks Weltraumexperiment

Daniela Grimm[1,2], Jessica Pietsch[2], Markus Wehland[2], Stefan Riwaldt[2], Sascha Kopp[2], Xiao Ma[1], Johann Bauer[3], Ruth Hemmersbach[4], Jens Hauslage[4], Achim Schwarzwälder[5], Jürgen Segerer[5], Markus Braun[6], Norbert Hübner[7], Herbert Schulz[7], Manfred Infanger[2].
1Department of Biomedicine, Aarhus University, Aarhus, Denmark; 2Klinik für Plastische, Ästhetische, und Hand-Chirurgie; Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; 3Max-Planck Institut für Biochemie, Martinsried; 4Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, DLR Köln; 5Airbus, Defense & Space, Immenstaad; 6Institut für Molekulare Physiologie und Biotechnologie der Pflanzen (IMBIO), Universität Bonn; 7Max-Delbrück Zentrum für Molekulare Medizin, Berlin-Buch.

Die Teilnahme an der Shenzhou-8/SIMBOX-Weltraummission im Jahr 2011 und am Cellbox-1/Nanoracks-ISS-Weltraumexperiment im Jahr 2014 waren für unsere Weltraummedizinforschung bedeutende Meilensteine (Pietsch et al. 2013, Biomaterials, 34, 7694; Ma et al. 2014, FASEB J, 28,813; Riwaldt et al. 2015, Proteomics, DOI 10.1002/pmic.201500067).
Wir konnten zeigen, dass Mikrogravitation (µ*g*), vor allem die reale µg während eines Weltraumfluges, aber auch eingeschränkt die simulierte µg (Random Positioning Machine, RPM) zu Veränderungen der Genexpression und der Proteinsekretion führt, die in Tumorzell-Wachstum, -Proliferation und -Metastasierung, sowie in Zellüberleben, und Differenzierung involviert sind. Microarray-Analysen ergaben 2881 signifikant veränderte Transkripte nach 10 Tagen im Weltraum oder auf der RPM. Gene des Zytoskelett sowie verschiedener biologischer Prozesse wie Apoptose, Adhäsion, extrazellulare Matrix, Proliferation, Stressantwort, Migration, Angiogenese und Signaltransduktion waren unterschiedlich exprimiert.
Im Weltraum und auf der RPM bilden sich multizelluläre Sphäroide, wenn subkonfluente Zellmonolayer der Mikrogravitation auf der RPM oder im Weltraum ausgesetzt werden. Im Rahmen des Cellbox-1 Weltraumexperiments konnten wir zeigen, dass eine vermehrte Produktion extra-zellulärer Matrixproteine eine Sphäroidbildung verhindert und dass Profilin-1 eine Schlüsselrolle dabei spielt. Im Rahmen von Parabelflugkampagnen wurden Kurzzeitexperimente mit den Karzinomzellen durchgeführt. So konnten die

frühen Effekte von realer Schwerelosigkeit, aber auch von Hypergravitation und Vibration auf die Genexpression und das Zytoskelett der Schilddrüsen-karzinomzellen ermittelt werden.
Zukünftige Studien werden gerade vorbereitet, um die detaillierten Mechanismen für die Sphäroidbildung zu klären und um mithilfe von Proteomics-Untersuchungen neue Targets für die Tumortherapie zu finden.

Die Bedeutung der Schwerkraft für das Differenzierungspotenzial von pluripotenten Stammzellen zu verschiedenen organspezifischen Zellen (Akronym: BASIS)

-Ein Transkriptom-Ansatz zur Identifizierung von Gensignaturen, Signaltransduktionswegen und biologischen Prozessen, welche durch die Schwerkraft beeinflusst werden-

Aviseka Acharya, Vaibhav Shinde, Jürgen Hescheler, Agapios Sachinidis
Institut für Neurophysiologie, Universität zu Köln

Die Mikrogravitation führt bei Astronauten zu einer Reihe von gesundheitlichen Problemen, beispielsweise Knochenschwund und kardiovaskulären Problemen. Darüber hinaus ist weitgehend unbekannt, ob und durch welche Mechanismen die Mikrogravitation Differenzierungsprozesse von pluripotenten Stammzellen zu verschiedenen organspezifischen Zellen (z. B. Herzzellen) beeinflussen kann. Das Hauptziel dieser Untersuchung ist es, den Einfluss veränderter Schwerkraftbedingungen auf das Differenzierungspotenzial von Stammzellen zu verschiedenen organspezifischen Zellen zu ermitteln. Es sollen neue Kenntnisse über mikrogravitationsbedingte 1) Gensignaturen 2) Signaltransduktionswege, und 3) biologische Prozesse während der Differenzierung von Stammzellen gewonnen werden. Dazu sind Untersuchungen unter echter und simulierter Mikrogravitation sowie unter Hyper-g-Bedingungen auf Zentrifugen vorgesehen Das Projekt ist essentiell, um 1) die negativen Auswirkungen der Mikrogravitation auf die Gesundheit der Astronautinnen/en, insbesondere bei Langzeitmissionen auf zellulärer Ebene zu verstehen und ihnen vorzubeugen und 2) um Störungen der normalen embryonalen Entwicklung unter verschiedenen Gravitationsbedingungen auf molekularer Ebene aufzuzeigen. Erste Microarray Experimente, durchgeführt mit embryonalen Stammzellen unter Mikrogravitationsbedingungen, werden vorgestellt.

Gravi- und Magnetfeldrezeption in Pflanzen und Pilzen

Paul Galland und Werner Schmidt
FB Biologie, Philipps-Universität Marburg

Im Zentrum unserer Forschung stehen die Fragen, (i) welche Primärreaktionen mit dem Gravitropismus der Pflanzen (*Arabidopsis thaliana*) und Pilze (*Phycomyces blakesleeanus*) assoziiert sind, und (ii) welche Rolle das Erdmagnetfeld in der Gravirezeption und der Genexpression spielen.
Gravitropische Krümmungsreaktionen sind langsam und laufen im Minuten, ja sogar Stundenbereich ab. Durch die Konstruktion neuartiger Spektralphotometer und die Anwendung schneller *in-vivo* Spektroskopie konnten wir in Parabel- und Raketenflügen zeigen, dass in dem Pilz *Phycomyces* und in *Ara-bidopsis*-Keimlingen nach einer Gravireizung von nur 2 x 10^{-2} x *g* innerhalb von einer Millisekunde Absorptionsänderungen auftreten (GIACs = gravity-induced absorption changes). Da die Schwellenwerte für die Auslösung der GIACs den gravitropischen Schwellenwerten entsprechen und gravitropische Defektmutanten diese GIACs nicht zeigen, müssen die Absorptionsänderungen Primärreaktionen der Gravirezeption repräsentieren.
Die Frage, ob die Entwicklung von Organismen durch schwache magnetische Felder beeinflusst werden kann, war bislang ungeklärt, weil keine entsprechenden Stimulus-Response-Kurven, vorlagen. Mit Keimlingen von *Arabidopsis* konnten wir zeigen, dass sich im Bereich von 0 bis 180 – 75 (Erdmagnetfeld) die Transkriptmengen zahlreicher Gene bis zu zwanzigfach erniedrigen oder aber erhöhen lassen. Das Elongationswachstum und die gravitropische Krümmung von Keimlingen liess sich dagegen nur um etwa 30 % modulieren. Unsere Untersuchungen zur Magnetfeldwirkung konzentrieren sich auf ARF-Typ G-Proteine und gravi-induzierte innerzelluläre Vesikelallokation.

Elemente von Signalketten und damit verbundene Genexpression und Proteinmodulation unter veränderter Schwerkraft

Rüdiger Hampp[1],Svenja Fengler[1], Niklas Hausmann[1], Mirita Franz-Wachtel[2], Margret Ecke[1],Maren Neef[1]
1Universität Tübingen, Physiological Ecology of Plants, 2Proteome Center Tübingen

Molekulare Kurzzeitreaktionen von Pflanzen auf veränderte Schwerkraftfelder wurden an Zellkulturen von *Arabidopsis thaliana* (cv. Columbia) untersucht, die Parabelflügen ausgesetzt worden waren. Unter Verwendung transgener Zelllinien wurden die zellulären Gehalte zweier sekundärer Botenstoffe, nämlich von intrazellulärem Ca^{2+} und Wasserstoffperoxid, fluorometrisch kontinuierlich während einzelner Parabeln bestimmt. Parallel dazu wurde der Metabolismus einzelner Proben chemisch gestoppt (RNAlater für RNA und Proteine; Säure/Lauge für Stoffwechsel-Intermediate) und zwar zu definierten Phasen einzelner Parabeln (1g vor Beginn einer Parabel; am Ende der Beschleunigungsphase (1.8 g), am Ende der Mikrogravitationsphase (µg, 20 sec) und am Ende der zweiten Hyper-g-Phase (pull out; 1.8 g).
Die Zellen zeigten eine Zunahme der Gehalte von Ca^{2+} und Wasserstoffperoxid mit dem Beginn der µg-Phase, gefolgt von einer Abnahme. Parallel dazu kam es zu einer Abnahme des intrazellulären NADPH/NADP Redox-Verhältnisses. Da die Analyse der phosphorylierten Proteine eine Zunahme der Phosphorylierung einer NADPH Oxidase zeigte (verantwortlich für die Wasserstoffperoxid-Synthese), ist anzunehmen, dass eine Ca^{2+}-abhängige Aktivierung der NADPH Oxidase stattgefunden hatte.
Microarray-Analysen zur Genexpression ergaben dazu in Verbindung stehende Expressions-Profile. Am Ende der µg-Phase waren 396 Transkripte spezifisch hoch-, während 485 andere spezifisch herab reguliert. Eine erhöhte Expression fanden wir vor allem für Ca^{2+}- und auf die Detoxifizierung von ROS(reaktive Sauerstoff Spezies) bezogene Genprodukte. Dasselbe Probenmaterial wurde auch für die Analyse von Phosphopeptiden verwendet, zunächst mittels 2-dimensionaler SDS PA-Gelelektrophorese, letztlich dann über die Markierung des Proteoms mittels schwerer Isotopen (Lysin) und anschließender Massenspektroskopie.
Zusammengefasst zeigen unsere Daten, dass Protein-Modulation und Gen-Expression innerhalb von Sekunden vor allem auf eine verringerte Schwerkraft reagieren. Im Vordergrund steht dabei eine typische Stressreaktion, die über eine gesteigerte Glykolyse zu einer verstärkten Proteinneusynthese führen dürfte.

Systembiologie des pflanzlichen Gravitropismus - von molekularen Veränderungen zu zellübergreifender Signaltransduktion

Maik Böhmer
Westfälische Wilhelms Universität, Institut für Biologie und Biotechnologie der Pflanzen

Pflanzen sind essentielle Komponenten zukünftiger Lebenserhaltungssysteme der bemannten Raumfahrt. Um Pflanzen zu züchten, die in dieser Umgebung effizient nutzbar sind, müssen physiologische Anpassungs-mechanismen an verringert Gravitation auf molekularer Ebene untersucht werden. RNA-Sequenzierung und massenspektrometrische Methoden erlauben die Untersuchung von molekularen Veränderungen, um daraus Rückschlüsse auf Signal- und Synthesewege zu treffen, die in der Anpassung eine Rolle spielen[2]. *Arabidopsis thaliana* Pflanzen wurden im ARADISH[1] System kultiviert und mittels Klinorotation 5 - 600 Minuten simulierter Schwerelosigkeit ausgesetzt. Weitere Pflanzen wurden im Fallturm und in einem Raketenexperiment echter Schwerelosigkeit ausgesetzt. Aus dem Wurzelmaterial wurden sequentiell RNA, (Phospho)proteine und Metabolite extrahiert. Es wurden Veränderungen von rund 1.500 Genen gemessen, mit teilweise signifikanten Veränderungen nach bereits 5 Minuten. GO-Kategorien der identifizierten Gene umfassen Zellwandveränderungen, Reaktion auf reaktive Sauerstoffspezies, Transkriptionsfaktoren, Synthese von Sekundärmetaboliten und die Biosynthese bzw. Antwort auf Phytohormone. Veränderungen auf Proteineben überlappen nur bedingt mit denen der Transkripte, was auf eine starke Regulation durch posttranslationale Prozesse hindeutet. Veränderungen der Metabolite, z.B. Aminosäuremetabolismus, decken sich hingegen mit Veränderungen der Synthese- und Abbauwege. Als nächster logischer Schritt wurde bekommen, neben der zeitlichen Komponente der molekularen Veränderungen, die räumliche Komponente durch den Einsatz genetisch kodierter Reporterproteine für sekundäre Botenstoffe zu untersuchen.

[1]**Schüler, O., Krause, L., Görög, M., Hauslage, J., Kesseler, L., Böhmer, M. and Hemmersbach, R.** (2015). ARADISH - Development of a standardized plant growth chamber for experiments in ground based facilities. Microgravity Science and Technology. [2]**Schüler, O., Hemmersbach, R. and Böhmer, M.** (2015). Systems biology of gravitropic stress in higher plants. In Frontiers in Plant Science, M.P. Girdhar Kumar Pandey, Amita Pandey and Maik Böhmer., ed.

Session MW II: Verbrennungsforschung Donnerstag 8.45 – 9.00

Selbstzündung von Tropfen und Sprays

Christian Eigenbrod[1], Konstantin Klinkov[1], Jakob Hauschildt[1], Wolfgang Paa[2], Volker Wagner[2]
1Universität Bremen, Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation, ZARM 2Leibniz-Institut für Photonische Technologien, IPHT Jena

Dieselmotoren sollen zu einem bestimmten Zeitpunkt von selbst zünden, danach soll der Druck möglichst sanft ansteigen. In Gasturbinen soll trotz hoher Temperaturen und Drücke keine Selbstzündung stattfinden. Zukünftige Motoren schließlich (HCCI) sollen, je nach Lastbereich, durch einen Funken oder von alleine zünden. Das alles bei optimalem Wirkungsgrad und niedrigsten Schadstoffemissionen. Natürlich sollen solche Wärmekraftmaschinen möglichst unspezifische Anforderungen an den Kraftstoff stellen und solche fossiler Herkunft genauso gut verbrennen, wie solche aus Biomasse oder biosynthetisch hergestellte. Die hierfür notwendige Kenntnis, wo, wann, wie und warum ein Gemisch zündet, fehlt allerdings bisher und große Erfahrung ersetzt (fraglos erfolgreich) Grundlagenwissen. Dieses Wissen ist aber für die Entwicklung verbesserter oder gar neuer Konzepte unabdingbar notwendig.
Auf der Basis langjähriger experimenteller Forschung unter Mikrogravitationsbedingungen zur Selbstzündung von Einzeltropfen, Tropfenpaaren und Tropfengruppen verschiedenster Brennstoffe, die auch die Entwicklung neuer laserbasierter Diagnosetechniken beinhaltete, ist es am Beispiel des Diesel-Modellbrennstoffs n-Heptan erstmals gelungen, den Zeitpunkt der Sprayselbstzündung in einem heißen Windkanal mit guter Übereinstimmung numerisch zu simulieren.
Der Vortrag fasst Methoden und Ergebnisse mehrerer DLR-geförderter, auch transnationaler Projekte zusammen.

Session MW III: Technologische Entwicklungen / µg-Plattformen 9.00-10.45

Forschung unter Weltraumbedingungen am Fallturm Bremen

Thorben Könemann, Ulrich Kaczmarczik, Christian Eigenbrod, Peter von Kampen, und Claus Lämmerzahl
ZARM - Universität Bremen

Das Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation (ZARM) ist ein wissenschaftliches Institut des Fachbereichs Produktionstechnik der Universität Bremen unter Leitung von Prof. Dr. Claus Lämmerzahl. Es wurde im September 1985 von Prof. Dr.-Ing. Hans Rath mit der Zielsetzung gegründet, ein wissenschaftlich und technologisch orientiertes Zentrum zur Untersuchung gravitationsabhängiger Phänomene und raumfahrtrelevanter Fragestellungen zu sein. Das ZARM hat sich innerhalb kurzer Zeit zu einem der größten und bedeutendsten universitären Raumfahrtforschungsinstituten in Europa entwickelt. Am ZARM arbeiten zurzeit rund 120 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Technikerinnen und Techniker und Verwaltungsangestellte sowie zahlreiche Studierende aus unterschiedlichen Fachbereichen wie Produktionstechnik, Elektrotechnik, Physik, Mathematik und Informatik.
Das zentrale Großlabor des ZARM ist der Fallturm Bremen, in dem erdgebundene Experimente unter kurzzeitiger Schwerelosigkeit (bis zu 9,3 Sekunden) höchster Qualität (10^{-6} g) durchgeführt werden können. Für den Betrieb der Freifallanlage wurde die ZARM Fallturm-Betriebsgesellschaft mbH (ZARM FAB mbH) gegründet, die seit der Inbetriebnahme 1990 für die technische Durchführung der Mikrogravitationsexperimente verantwortlich ist. Mit seiner Höhe von 146 m ist der Fallturm Bremen auch der einzige Fallturm in Europa seiner Klasse. Am Fallturm Bremen kann unabhängig von den Zeitplänen der Raumfahrt kostengünstig und vor allem kontinuierlich unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit experimentiert werden. Außerdem kann die zeitliche Abfolge der Versuche sehr flexibel gestaltet und auf die Wünsche der nationalen und internationalen wissenschaftlichen Nutzer abgestimmt werden.
Neben dem Betrieb des Fallturms betreut auch die ZARM FAB mbH als technischer Dienstleister für die Wissenschaft weitere Vorhaben, wie zum Beispiel das deutsch-schwedische Studentenprogramm REXUS/BEXUS (Raketen- und Ballon-Experimente für Universitäts-Studenten) und das Projekt „Scientific Pathfinder Flights“ (SPF) zur wissenschaftlichen Nutzung neuer suborbitaler Fluggelegenheiten. Über diese und weitere Aktivitäten der ZARM FAB mbH im Bereich der Forschung unter Weltraumbedingungen wird im Detail berichtet.

LASUS – Neuartige Diodenlasersysteme für Präzisionsexperimente unter Schwerelosigkeit

Achim Peters
Humboldt-Universität Berlin

Quantenoptische Sensoren basierend auf der Manipulation der Eigenschaften ultrakalter Atomensembles sind dabei, die Labore der Grundlagenforschung zu verlassen und die Messtechnik verschiedener Anwendungsgebiete zu revolutionieren. Ihre intrinsische Genauigkeit kann dabei oft erst unter Bedingungen der Schwerelosigkeit voll ausgenutzt werden. Die Realisierung solcher quantenoptischer Sensoren unter Weltraumbedingungen stellt vielfältige Anforderungen an die zur Implementierung verwendeten Technologien, die weit über das hinausgehen, was bisher für analoge terrestrische Experimente notwendig war. Dies gilt insbesondere für die notwendigen, sehr komplexen Lasersysteme, bei denen der Entwicklungsschritt von Versionen für den Fallturmbetrieb bestimmten Versionen (z. B. für Verbundprojekte QUANTUS-I /-II /-III) hin zu solchen für den Einsatz auf Höhenforschungsraketen (z. B. MAIUS-1) eine besondere Herausforderung darstellt. Zielstellung des Verbundprojekts LASUS war es deshalb, diese Herausforderung anzunehmen und spezifisch für den Einsatz auf Höhenforschungsraketen intendierte Lasertechnologien und entwickeln sowie deren Einsatz zu unterstützen und zu evaluieren. Generell stellen für den gewünschten Einsatzzweck auf Halbleitern basierende Diodenlaser wegen ihrer hohen Kompaktheit, Zuverlässigkeit und Robustheit die am besten geeignete Grundlage dar. Spezifisch wurden hierbei im Rahmen von LASUS hybrid-integrierte *Extended-Cavity Diode Laser* (ECDL) sowie *Master-Oscillator Power-Amplifier* (MOPA) für Manipulation von Rubidium- und Kalium-Quantengase entwickelt und zudem für den kohärenten Frequenzvergleich hochstabile modengekoppelte Kurzpulsdiodenlaser realisiert. Weitere zentrale und aufwändige Entwicklungsaufgaben waren die Bereitstellung einer Glaskeramik (Zerodur) basierten Aufbau- und Verbindungstechnologie für die komplexen optischen Systeme sowie spezieller FPGA-basierter Ansteuerungselektronik und –software.
Der Vortrag stellt zunächst die im Kontext von LASUS entwickelten Technologien, Komponenten und Lasersysteme vor und präsentiert Beispiele für deren erfolgreichen Einsatz, wie zum Beispiel im Kontext des ebenfalls vom DLR geförderten Experiments FOKUS (Flüge auf TEXUS-51 / -53). Darüber hinaus skizziert der Vortrag das Potential für weitergehende Anwendungen der hier entwickelten Diodenlasersysteme, zum Beispiel in der Erdbeobachtung oder in der kohärenten Satellitenkommunikation.

Mikrointegrierte Lasersysteme für den Weltraumeinsatz (MiLas)

Andreas Wicht
Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik

Laser spielen für wissenschaftliche und technische Anwendungen im Weltraum eine zunehmende Rolle, z.B. in der Sensorik, in der optischen Nachrichtentechnik z.B. für die hochbitratige *deep-space* Kommunikation oder in völlig neuartigen Anwendungsfeldern wie bei weltraumgestützten quantenop- tischen Sensoren (siehe QUANTUS-Projekte, z.B. 50WP1434 oder FOKUS, 50WM0934). Halbleiter- laser stellen u.a. wegen ihrer geringen Größe und Masse, wegen ihrer Zuverlässigkeit und Lebensdau- er, ihrer hohen Energieeffizienz, vor allen Dingen aber wegen ihrer spektralen Verfügbarkeit (im Prinzip lückenlos zwischen 650 nm und 1200 nm mit GaAs) die am besten für den Weltraumeinsatz geeignete Lasertechnologie dar.
Im Rahmen des Vorhabens MiLas (50WM1141) hat das Ferdinand-Braun-Institut eine Lasertechnolo- gie-*Plattform* entwickelt, mit der sich bzgl. Anwendung, Leistungsdaten und Funktion unterschied- lichste Lasersysteme mit Hilfe einer weltweit einmaligen hybriden Mikrointegration kompakt und robust realisieren lassen. Diese Lasersysteme werden u.a. auf einer Höhenforschungsrakete zum Einsatz kommen. Der Vortrag skizziert den konzeptionellen Ansatz, er beschreibt die Leistungsfähig- keit der Lasermodule und zeigt, in welchen anderen Bereichen die im Rahmen von MiLas entwickelte Technologie zum Einsatz kommt.

KALEXUS - Kalium Laser-Experimente unter Schwerelosigkeit

Markus Krutzik
Humboldt-Universität Berlin

Aufgrund der technologischen Weiterentwicklungen der letzten Jahre sind Quantensensoren auf dem Weg zur mobilen Einsetzbarkeit. Dadurch eröffnet sich eine Vielzahl von Einsatzgebieten sowohl in direkt anwendungsbezogenen Bereichen wie der Navigation oder Exploration von Bodenschätzen als auch in der Beantwortung fundamentalphysikalischer Fragestellungen.

Ausgehend von den erfolgreichen Arbeiten zur Lasertechnologieentwicklung im Rahmen der vom DLR geförderten Verbundprojekte QUANTUS-I /-II /-III und LASUS-I /-II untersucht das KALEXUS (Kalium Laser-Experimente unter Schwerelosigkeit) Experiment nun die Eigenschaften von hybrid-integrierten *Extended Cavity Diode Laser* (ECDL) Systemen zur Kalium-Spektroskopie beim Einsatz auf der Forschungsrakete TEXUS 53 (geplanter Start November 2015). Zu diesem Zweck wurde eine raketentaugliche Nutzlast bestehend aus ECDL-Modulen für die Kalium-Manipulation, Zerodur-basierter Spektroskopieeinheit und miniaturisierter Betriebs- und Regelelektronik im TEXUS-Formfaktor konzeptioniert, aufgebaut und qualifiziert. Für den vollständig autonomen Betrieb dieser Nutzlast während des Fluges wurde eine eigene Steuersoftware entwickelt und implementiert.
Ergänzend zur Vorstellung des KALEXUS-Experiments werden im Vortrag auch die Anwendungspotentiale einer erfolgreich auf einer Höhenforschungsrakete demonstrierten Lasertechnologie im Hinblick auf zukünftige Weltraummissionen skizziert

---

Über Herausforderungen bei den MAIUS Nutzlasten

Claus Braxmaier
ZARM - Universität Bremen

Die Höhenforschungsraketen Nutzlasten MAIUS (**Ma**teriewellen**i**nterferometer **u**nter **S**chwerelosigkeit) 1-3 haben das Ziel weltweit erstmalig Bose-Einstein Kondensation und Atominterferometrie im Weltraum zu realisieren.
Dabei stellt die Umgebung der Höhenforschungsrakete mit limitierten Platz, eingeschränkter Kommunikation, eingeschränktem Zugang und den hohen mechanischen und thermischen Lasten eine große Herausforderung dar. Die sensiblen Instrumente, wie Laser oder Vakuumpumpen, die zur Erzeugung von Bose-Einstein Kondensaten erforderlich sind müssen für den Einsatz in dieser Umgebung aufwendig angepaßt und qualifiziert werden.
Dieser Vortrag soll einen Überblick über die Herausforderungen geben, denen das MAIUS-Team im Projektverlauf entgegen sah und einige technische Lösungen präsentieren.

Zerodurbasierte optische Systeme für Präzisionsmessungen unter Schwerelosigkeit

Patrick Windpassinger
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Intertialsensorik mit Hilfe von Atominterferometern hat in den letzten Jahren durch eine Reihe nationaler Projekte einen enormen Fortschritt erfahren. Bei diesen, auf ultra-kalten Atomen basierenden Instrumenten kommt dem verwendeten Lasersystem eine besondere Bedeutung zu, da dort das Licht nicht nur als Frequenzreferenz dient, relativ zu der sämtliche Messungen erfolgen, sondern es wird auch für die Präparation und Manipulation der atomaren Quellen benötigt.
Für den Einsatz in Forschungsraketen und ultimativ im Weltraum müssen diese Systeme jedoch eine Reihe von speziellen Anforderungen, u.a. an die mechanische und thermische Stabilität erfüllen welche bisher von keinem kommerziellen Anbieter bedient werden.
Um diese Anforderungen zu erfüllen haben wir optische Systeme auf Basis der Glaskeramik Zerodur entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Material, welches sich durch einen verschwindenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE) über einen sehr großen Temperaturbereich (0°C-120°C) auszeichnet und somit für die während einer Weltraummission zu erwartenden starken Temperaturschwankungen sehr gut geeignet ist.
Die verwendeten optischen Komponenten werden dabei durch verschiedene Klebstoffe mit einer optischen Bank aus Zerodur verbunden. Dies erlaubt eine direkte Justage noch während des Härtevorgangs des Klebstoffs und gleichzeitig ermöglicht die Kombination von verschiedenen lichthärtenden Klebstoffen die Herstellung und Justage von komplexeren Komponenten, wie z.B. zerodurbasierten Fasereinkopplern.
Innerhalb der DLR geförderten Projekte FOKUS, KALEXUS, LASUS und MAIUS konnten mit dieser Technologie bereits verschiedene Systeme entwickelt werden, deren Bandbreite von Spektroskopiemodulen zur Frequenzstabilisierung von Lasern, bis hin zu kompletten Strahlverteilungs- und Schaltmodulen für Präzisionsexperimente zur Atominterferometrie mit ultrakalten Quantengasen reicht.

Frequency Combs For Space Applications

M. Lezius[1], C.Deutsch[1], M. Giunta[1], T:Wilken[1], T.W. Hänsch[2], A. Kohfeldt[3], A. Wicht[3], V. Schkolnik[4], M. Krutzik[4], H. Duncker[5], O. Hellmig[5], P. Windpassinger[5], K. Sengstock[5], A. Peters[3,4], **Ronald Holzwarth[1,2]**
1Menlo Systems GmbH, Martinsried, 2Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching, 3Ferdinand-Braun-Insitut, Leibniz Institut für Höchstfrequenztechnik,Berlin, 4Institut für Physik, Humboldt Universität Berlin, 5Institut für Laserphysik, Universität Hamburg

Precise control over the frequency of light is a prerequisite for several future satellite missions. Only optical frequency combs can give the degree of control that would be necessary for optical atomic clocks in space for fundamental physics experiments or navigation, atmospheric trace gas and green house gas detection, equivalence principle tests, gravimetry or formation flights. For space applications a small, robust and 100% maintenance-free system with low power consumption is of course mandatory.
Within the FOKUS project (Faserlaserbasierter Optischer Kammgenerator unter Schwerelosigkeit), we have developed such a system and we have demonstrated its performance in a microgravity environment. The FOKUS experiment was launched on board the TEXUS 51 sounding rocket on April 23, 2015 at 09:35 CEST from the ESRANGE space center in Kiruna, Northern Sweden. It was using an Optical Frequency Comb to compare two different species of atomic clocks with each other. Such a setup is testing Einstein's general theory of relativity that predicts that gravity has the same influence on all clocks no matter how the clock is realized. Eventually such experiments will lead to new theories of gravity and will completely change our understanding of the world. The clock comparison was successfully completed during the entire zero gravity phase. This demonstrates the robustness and high technology readiness level of our frequency combs, enabling future comb applications on rockets and in space as well as in other harsh environments. At the same time this is the first demonstration of a fully operational frequency comb system in space.
The FOKUS experiment is a collaborative effort between Menlo Systems, the Max-Planck-Institute of Quantum Optics, Garching, the Ferdinand Braun Institute, Berlin, Humboldt University, Berlin and the University of Hamburg. The mission has been funded by the DLR German Aerospace Center (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

Session BW IV: Bioregenerative Lebenserhaltungssysteme Donnerstag 11.15

Biologische Lebenserhaltungssysteme für die Raumfahrt und terrestrische Anwendungen

Sebastian M. Strauch, Peter Richter und **Michael Lebert**
Zellbiologie, FAU Erlangen

Die bemannte Raumfahrt steht am Beginn von Missionen außerhalb der erdnahen Umlaufbahn. Neben vielen anderen Herausforderungen spielen effiziente Lebenserhaltungssysteme eine wichtige Rolle. Monate oder gar Jahre dauernde Missionen machen eine Aufbereitung von Ressourcen wie Sauerstoff und Trinkwasser sowie eine effiziente Verwertung und das Recycling von Abfällen unumgänglich. Biologische Lebenserhaltungssysteme sind im Prinzip vereinfachte Nachbildungen von Ökosystemen, welches aus Produzenten, Konsumenten und Destruenten besteht und in der Regel durch Licht mit Energie versorgt werden. Photosynthetische Organismen wie Pflanzen, Algen und Blaualgen stellen unter gleichzeitiger Produktion von Sauerstoff aus einfachen energiearmen Molekülen wie CO_2 und NO_3^- sowie aus bestimmten Spurenelementen und Phosphat energiereiche (Makro-)Moleküle (Kohlenhydrate, Proteine, Nukleinsäuren, Lipide u.a.) her, welche entweder zur Herstellung von Biomasse oder als Energiestoffe dienen. Konsumenten leben heterotroph, d.h. sie sind auf die Zufuhr energiereicher Verbindungen angewiesen, welche direkt oder indirekt von den Produzenten stammen. Diese Substanzen werden entweder wiederum als Baustoff verwendet oder unter Sauerstoffverbrauch zur Energiegewinnung veratmet. Destruenten bauen von den Produzenten bzw. Konsumenten nicht verwertbare Moleküle (wie z.B. Zellulose, Chitin etc.) ab und stellen den Produzenten die Grundbausteine wieder zur Verfügung. In offenen Systemen wie der Erde oder einem Gewächshaus bestehen vor allem bezüglich wichtiger Reaktionspartner wie CO_2 und Sauerstoff wenige Limitationen. In einem geschlossenen System ist die Versorgung wesentlich schwieriger. Eine einzige Zwergtomate braucht alleine für die Herstellung der Biomasse des Pflanzenkörpers eine Menge an Kohlenstoffdioxid, die mindestens 30 Kubikmetern Luft entspräche. Rechnet man auch den Eigen-Kohlenstoffdioxidverbrauch der Pflanze mit ein, verdoppelt sich dieser Betrag noch einmal. Viele Substanzen müssen folglich dem System dosiert zugesetzt werden. Biomassenzunahme geht mit einer exzessiven Bildung von Sauerstoff einher, welche für die

Organismen schädlich ist und Überdruck im Behälter erzeugen kann. Geschlossene biologische Systeme stellen hohe Anforderungen in der Auswahl und Zusammenstellung der beteiligten Organismen und an die notwendige Hard- und Software zur Steuerung und Regelung des Systems. Ziel unserer Arbeit ist es, die Stoff- und Energieflüsse in einfachen geschlossenen biologischen Systemen detailliert zu erforschen, notwendige Hard- und Softwarekomponenten zu entwickeln (für Labor- und Weltraumexperimente) , mit den erhaltenen Erkenntnissen biologische Lebenserhaltungssysteme für die Raumfahrt und abgelegene Standorte auf der Erde (z. B. U-Boote, Polarstationen) zu konzipieren und Spin-offs für Anwendungen zur Wasseraufbereitung und Abfallrecycling zu entwickeln, z. B. für die Landwirtschaft oder Kommunen.

Physiological research and functional verification of the ModuLES-PBR

Ines Wagner**, Clemens Posten**
Karlsruhe Institute of Technology, Department of Bioprocess Engineering

In order to enable long-term space missions, the development of reliable life support systems is needed. Microalgae as fast growing photosynthetic organisms have been in the focus of research for those approaches for many years. As first part in the ModuLES concept a Photobioreactor (ModuLES-PBR) was characterized, designed and tested on ground and in parabolic flights. The overall goal of this ModuLES-PBR is the development of an energy-efficient and highly effective photobioreactor-system with clearly defined in- and outputs. The core unit consists of a bioreactor that allows the cultivation of the microalga *Chlamydomonas reinhardtii* with highly efficient photosynthetic gas exchange rates. The efficiency of the system depends upon the quality and quantity of light, liquid mixing, gas supply and mixing, gas exchange for optimization of dissolved oxygen concentration in the algae solution to prevent bubble formation, medium composition and the growth phase of the microalgae. A second unit, which was added to the system after PBR-verification, is used for media recycling and algae filtration and is a first step for optimizing the nutrient-loop closure, which is essential for long duration operations. Ground research as basis for the development and optimization of this photobioreactor, mainly focuses on efficient illumination by using LEDs, bubble-free aeration via membranes, photosynthetic efficiency and physiological effects of lowered pressure on the cells as well as long-term continuous cultivation with gas uptake and production rates as well as system behaviour in response to perturbations. Details of these ground research studies will be displayed. During two parabolic flight campaigns the structural and functional design of the ModuLES-PBR was verified and physiological parameters of the algae were analyzed and controlled. Some important data from those two parabolic flight campaigns will be shown.

Zooplankton als Bindeglied in aquatischen Lebenserhaltungssystemen zur Biomasseproduktion für die Raumfahrt

Miriam Knie, **Christian Laforsch**
Universität Bayreuth

Das Ziel dieses Projekts ist die Etablierung von herbivorem Zooplankton (insbesondere *Daphnia*) in Lebenserhaltungssystemen für den Einsatz im Weltraum, oder auch in extremen Habitaten. Dabei soll Zooplankton entsprechend seiner ökologischen Funktion in Süßgewässern als Bindeglied zwischen Primärproduzenten (Mikroalgen) und höheren trophischen Ebenen (z. B. Fische) fungieren. Dadurch könnte es eine wichtige Rolle bei der Eiweißversorgung im Rahmen modular aufgebauter bioregenerativer Lebenserhaltungssysteme (BLSS) erfüllen. Ein erster Schritt stellt die Untersuchung des Verhaltens verschiedener Zooplanktonspezies in reduzierter Schwerkraft (Parabelflüge, Texus) und deren Vermögen zur Anpassung an diese veränderten Umweltbedingungen dar. Da die Schwerkraft perzipierenden Organe in diesen Organismen bislang unzureichend untersucht worden sind, beschäftigt sich ein Teilbereich dieses Projektes mit der Identifizierung dieser Strukturen. Hierzu konnte gezeigt werden, dass die Schwerkraftwahrnehmung in *Daphnia* indirekt, mittels eines Sinkrezeptors am postabdominalen Körperende erfolgt. Darüber hinaus soll auch die evolutionäre Entwicklung dieser Strukturen bei Zooplankton näher untersucht werden. Durch Experimente im 2D-Klinostaten konnten Erkenntnisse zur Entwicklung von verschiedenen Zooplanktonorganismen aus Dauerstadien bzw. zur Embryonalentwicklung in simulierter Mikrogravitation gewonnen werden. Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Funktion von BLSS ist, dass Räuber-Beute Interaktionen auch in Mikrogravitation in einem vergleichbaren Umfang wie unter 1g-Bedingungen erfolgen. Dies wurde mit einem Experiment auf Texus 52 hinterfragt und wird ebenfalls Bestandteil eines für die nahe Zukunft vorgesehenen Suborbitalflugs sein. Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen in diesem Projekt befasst sich mit den Einfluss veränderter Schwerkraft auf zelluläre und molekulare Prozesse im Modellorganismus *Daphnia magna*.

Die Kombination von verhaltensbiologischen, ökologischen und molekularen Untersuchungen soll dazu dienen, geeignete Zooplanktonorganismen für den langfristigen Einsatz in BLSS für zukünftige Missionen der bemannten Raumfahrt zu identifizieren. Darüber hinaus bieten die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse, insbesondere die der kurzgeschlossenen Nahrungsketten, ebenfalls Transferpotenzial im Bereich Urban Farming.

Session BW V: Herz-/ Kreislaufsystem — Donnerstag 12.00 – 12.45

Muskuläre O2-Aufnahme- und Herzfrequenz-Kinetiken – Alternatives spiroergometrisches Monitoring für Astronauten

Uwe Hoffmann
Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Physiologie und Anatomie

Mit Hilfe eines moderaten fahrradergometrischen Leistungstests ist es möglich muskuläre O2-Aufnahme (V'O2musc)- und Herzfrequenz (HR)-Kinetiken zu bestimmen. Im Rahmen von Untersuchung vor und nach Aufenthalten auf der Internationalen Raumstation ISS konnte nachgewiesen werden, dass insbesondere die V'O2musc-Kinetiken sich nachhaltig durch den ISS-Aufenthalt verändert haben. Hier wäre ein verändertes Training zu empfehlen, um die Rückkehr in Gravitationsbedingungen zu verbessern.
Das entwickelte Verfahren kann aufgrund der relativ geringen Belastung in ein Training integriert werden und ist auch geeignet, andere Muskelgruppen zu untersuchen. So wurde der Test erfolgreich als Armkurbelergometrietest angewendet. Zudem kann es als Alternativtest bei Personen (z.B. Patienten oder älteren Menschen) angewendet werden, für die Ausbelastungssituationen, wie sie bei üblichen Tests zur V'O2max-Bestimmung verwendet werden, vermieden werden müssen/sollten.
Die weitere Anwendung ist nun als Test auf dem Laufband in Kooperation mit dem russischen IBMP als ESA-Projekt geplant. Hier sind neben Untersuchungen vor und nach dem ISS-Aufenthalt auch inflight-Messungen vorgesehen. Grundsätzlich zeigt diese Entwicklung den Wert spiroergometrischer Untersuchungen als nicht-invasives Verfahren. Mit der Entwicklung miniaturisierter Technologie sind hier Fortschritte zu erwarten, die in verschiedenen Bereichen der Medizin und der Leistungsdiagnostik verstärkt Anwendung finden.

Dynamik des zentralen Aortendrucks in Schwerelosigkeit

Felix S. Seibert
Marien Hospital Herne, Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum,

Schlaganfälle und Herzinfarkte stellen weiterhin die Haupttodesursache in Industrieländern dar. Bluthochdruck (arterielle Hypertonie) wird hierbei als der wichtigste Risikofaktor beschrieben. In der Vergangenheit wurde dieser am peripheren Blutdruck festgemacht. In den letzten Jahren konnte jedoch gezeigt werden, dass für die Entstehung von Schlaganfällen der Blutdruck in der Hauptschlagader (Aorta), der sog. „zentrale Aortendruck", relevanter ist als der periphere Blutdruck. Als Folge eines erhöhten Blutdrucks der Aorta kommt es zu einer fortschreitenden Atherosklerose der Gefäße, die sich in einer zunehmenden Steifigkeit der Arterien manifestiert. Auch wenn Veränderungen des peripheren Blutdrucks in Schwerelosigkeit untersucht worden sind, so gibt es bisher keinerlei Daten über das Verhalten des zentralen Aortendrucks in 0g.
Mittels eines speziellen Blutdruckgerätes ist es möglich die Dynamik des zentralen Aortendrucks in kurzzeitiger Schwerelosigkeit (ca. 22 Sekunden) bei Parabelflügen nicht invasiv zu erfassen und mit den Veränderungen des peripheren Blutdrucks zu vergleichen. Aufgrund der Blutvolumenumverteilung in der Schwerelosigkeitsphase und vieler weiterer physikalischer und biochemischer Einflüsse auf den menschlichen Körper erwarten wir eine merkliche Veränderung des zentralen Aortendrucks.
Ein dauerhaft gesteigerter zentraler Aortendruck geht mit einem erhöhten Schlaganfallrisiko für jeden einzelnen Menschen einher – dies gilt auch für Astronauten. Sähen sich letztere einem erhöhten zentralen Aortendrucks während ihrer Arbeit in Schwerelosigkeit ausgesetzt, würde dies ein relevantes Gesundheitsrisiko bedeuten. Eine Überwachung des zentralen Aortendrucks dient dem gesundheitlichen Schutz unserer Astronauten.

Flugexperiment “Cardiovektor”: aktueller Stand und Perspektiven

Jens Tank [1], Irina I Funtova.[2]
1 Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland; 2 IBMP, Moskau, Rußland

Im Flugexperiment “Cardiovektor” wird neben dem EKG, der Atmung, einem Seismokardiogramm und einem Impedanzkardiogramm zusätzlich das Ballistokardiogramm (BCG) mit 6 Freiheitsgraden registriert. Die BCG Sensoren messen die linearen Beschleunigungen in 3 Ebenen und die Winkelbeschleunigungen um die 3 Rotationsachsen. Die Kraftvektoren und Vektorschleifen der Körperbewegung während eines Herzschlages sowie in Abhängigkeit von der Atmung können nur in der Schwerelosigkeit gemessen werden. Ihre Veränderungen während des Fluges ermöglichen es, zusätzliche Informationen zur individuellen physiologischen Anpassung an die Schwerelosigkeit zu erhalten. Die Untersuchungen werden 2 mal vor dem Flug, monatlich im Flug und 2 mal innerhalb der ersten 10 Tage nach der Landung durchgeführt. Das Protokoll beinhaltet Stehtests vor und nach dem Flug sowie standardisierte Atemmanöver. Die wichtigsten Ziele dieser Kreislaufexperimente sind: 1. Ständige Verbesserung der Gesundheitskontrolle der Crewmitglieder (IBMP); 2. Besseres Verständnis der individuellen strukturellen und funktionellen Anpassung des Herzkreislaufsystems an die Langzeitschwerelosigkeit (MHH, IBMP); 3. Translation der Erkenntnisse aus den Flugexperimenten auf mögliche Anwendungen in der terrestrischen Medizin (MHH, IBMP). Aktuell läuft die Phase 1 des Experimentes und 5 Kosmonauten wurden bereits untersucht. Erste Ergebnisse werden vorgestellt. In Phase 2 sollen zusätzlich der zentrale Blutdruck und die aortale Pulswellengeschwindigkeit mit Hilfe der Reflektionsmethode untersucht werden (Mobil-O-Graph, IEM, Stolberg, Deutschland). In Phase 3 des Projektes soll ein zweiter 6D-BCG Sensor implementiert werden und kardiale funktionelle Bildgebung (fMRI) vor und nach dem Flug eingesetzt werden (3D-BCG, ESA-Projekt).

Session MW IV: Kalte Atome und Fundamentalphysik Donnerstag 11.15

Interferometrie mit Bose-Einstein Kondensaten im freien Fall

Ernst M. Rasel für die QUANTUS Kooperation
QUEST-LFS & Institut für Quantenoptik-Leibniz Universität, Hannover

Interferometrie mit Bose-Einstein Kondensation (BEK) eröffnet völlig neue Perspektiven für die weltraumgestützte inertiale Quantensensorik mit Anwendungen in der Erdbeobachtung und auf dem Gebiet der fundamentalen Physik.
Das DLR Verbundprojekt QUANTUS zur BEK-Interferometrie im freien Fall leistet hier weltweit Pionierarbeit und erzielte wichtige Meilensteine, die Wegbereiter sind für zukünftige Forschungsraketen- und Satellitenmissionen mit dem Ziel das Potential von Quantensensoren auszuloten und zu nutzen. Der Vortrag berichtet über Ergebnisse und Status des Verbundprojekts.
Im Verbund wirken die Gruppen von H. Blume (Hannover), K. Bongs (Univ. of Birmingham), C. Braxmaier (Univ. Bremen/DLR-Ry), C. Lämmerzahl (Univ. Bremen), A. Peters (Humboldt Univ. Berlin/Ferdinand Braun Institut), T. Hänsch/J.Reichel (MPQ/ENS), R. Hempel (DLR-SC), K. Sengstock/P. Windpassinger (Univ. Hamburg/Univ. Mainz), R. Walser (TU Darmstadt), und W.P. Schleich (Univ. Ulm) mit.
Das Projekt wird unterstützt durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWI) unter dem Förderkennzeichen DLR 50 WM 0346. Wir danken der DFG für die Finanzierung im Rahmen des Clusters of Excellence QUEST (Centre for Quantum Engineering and Space- Time Research).

Realistische Simulationen ultrakalter Quantengase in µ-Gravitation

Reinhold Walser
Institut für Angewandte Physik, TU-Darmstadt

Die Untersuchung von entarteten Materiewellen in µ-Gravitation kombiniert Quantenphysik, Vielteilchenphysik und Gravitationsphysik. Der Einsatz von Atomen liefert die ultimative Präzision, die notwendig ist, um fundamentale Fragen zum schwachen Äquivalenzprinzip zu beantworten als auch um die quantenlimitierte Inertialsensorik für die Satellitennavigation zu entwickeln.
Die bisherige Entwicklung der Freifallexperimente der QUANTUS Projekte ist durch eine fortschreitende Miniaturisierung der experimentellen Aufbauten, als auch die Erhöhungen der Nachweisempfindlichkeiten geprägt. Diese höheren Anforderungen erfordern auch eine immer spezifischere theoretische Modellierung der Experimente.
In diesem Vortrag werden die theoretischen Konzepte als auch aktuelle Simulationsresulate der *Technischen Materiewellenoptik* für partiell kohärente Ensembles in µ-Gravitation präsentiert.

Langzeit-Atominterferometrie für Präzisionsmessungen

Albert Roura
Institut für Quantenphysik, Universität Ulm

Die letzten zwei Jahrzehnte zeigen den beeindruckenden Fortschritt der Atominterferometer auf dem Gebiet der Präzisionsmessung und deren Beiträge zur Gravimetrie, Geodäsie und den Grundlagen der Physik. In vielen dieser Fälle wächst die Empfindlichkeit mit dem Quadrat der Interferometerzeit und kann deshalb durch längere Zeiten deutlich verbessert werden. Die Durchführung der Experimente in Schwerelosigkeit, wie z.B. in Falltürmen, Forschungsraketen und Satellitenmissionen, bietet hierbei eine Möglichkeit, auf natürlich Art und Weise Interferometerzeiten von mehr als zehn Sekunden zu erzielen. Dennoch müssen eine Reihe von Herausforderungen überwunden werden, die mit der wachsenden Größe der Atomwolke und den Auswirkungen von Rotationen und Gravitationsgradienten einhergehen. In diesem Vortrag bespreche ich, wie 'Atomlinsen' eingesetzt werden können, um die Ausdehnungsrate der Wolke auf das erforderliche Maß zu reduzieren und ich präsentiere in unserer Gruppe entwickelte Ansätze zur Beschreibung von Aberrationseffekten, die in realistischen Linsenpotentialen auftreten können. Des Weiteren wird auf leicht umsetzbare Strategien eingegangen, die es erlauben, den Kontrastverlust aufgrund von Gravitationsgradienten deutlich zu reduzieren (dieser Effekt wächst mit der dritten Potenz der Interferometerzeit) und die Beschränkungen durch die Heisenberg'sche Unschärferelation abzuschwächen. Außerdem helfen diese Methoden, die strengen Anforderungen an die anfänglichen relativen Positionen und Geschwindigkeiten der beiden Atomsorten in den Tests der Universalität des Freien Falls um mehrere Größenordnungen zu reduzieren.

PRIMUS – Präzisionsinterferometrie mit Materiewellen unter Schwerelosigkeit

Sven Herrmann and Claus Lämmerzahl for the PRIMUS team
ZARM, Universität Bremen

Materiewellen-Interferometer mit kalten Atomen haben sich in den letzten Jahen immer mehr zu zuverlässigen und sehr genauen Messinstrumenten für physikalische Präzisionsmessungen entwickelt. So wurden mit ihnen bereits sehr genaue Messungen der Feinstrukturkonstante oder der Newtonschen Gravitationskonstante durchgeführt, sowie hoch-empfindliche Inertialsensoren und Gravimeter realisiert. Viele dieser Anwendungen sind dabei limitiert durch die Propagationszeit der frei fallenden Materiewellen im Interferometer. Eine schwerelose Umgebung erlaubt es hier, diese Propagationszeit und damit die Empfindlichkeit der Messungen deutlich zu steigern, zumal die Phasensensitivität der Interferometer quadratisch mit der Freifallzeit ansteigt.
Im Fallturm Bremen soll dies unter anderem genutzt werden, um in einer differentiellen Messung den freien Falls zweier verschiedener Spezies kalter Atome zu vergleichen. Damit wird letztlich die Universalität des freien Falls getestet, welche die fundamentale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie zur Beschreibung der Gravitation darstellt.
Mit dem Projekt PRIMUS schließen wir hierbei an die Entwicklungen des QUANTUS Projekts an, bringen jedoch statt eines Atomchips ein alternatives Fallenkonzept, nämlich eine sogenannte optische Dipolfalle zum Einsatz. Die Motivation hierzu, Vor- und Nachteile dieses Ansatzes, sowie der aktuelle Projektstand werden im Vortrag dargestellt.

Manipulating ultra-cold quantum gases by means of optimal control techniques

Ertan Göklü, Zelimir Marojevic and Claus Lämmerzahl
ZARM, Universität Bremen

ATUS aims at backing the project PRIMUS with theoretical methods and modelling. The main goal is to develop an own extensible and scalable open source simulator package which can be easily modified and is capable of modelling the dynamics of ultra-cold Bose gases. This allows to take into account and investigate systematic errors and the analysis of different experimental matterwave interferometer setups. Furthermore, ATUS is dedicated to investigate additional physical features such as the generation of topological modes in trapped Bose-Einstein gases. This is complemented numerically by incorporating and developing (i.) enhanced modified Newton methods and (ii.) optimal quantum control (OQC) algorithms which are currently being implemented to our simulator package. In this talk we will give a brief overview about how one can benefit from OQC methods. We will address the issue of (I.) how to generate topological modes of Bose-Einstein condensates (BEC) and (II.) how the transport time of a BEC can be minimized while keeping perturbations as low as possible.

Tests der Relativitätstheorie mit Galileo Sat 5 + 6

Claus Lämmerzahl[1], Gabriele Giorgi[2], Christoph Günther[2], Eva Hackmann[1], Sven Herrmann[1], Meike List[1], Volker Perlick[1], Dirk Pützfeld[1], Benny Rievers[1]
1ZARM, Universität Bremen, 2Institut für Kommunikation und Navigation, Technische Universität München

Mit dem Start von Galileo 5 und 6 im August 2014 sollte ein weiterer wichtiger Schritt beim Aufbau des europäischen GNSS Programms Galileo getan werden. Aufgrund einer Fehlfunktion der Trägerrakete weisen die Satellitenbahnen nun eine große Abweichung gegenüber dem Zielorbit auf. Die Exzentrizität der nach einigen Korrektur-Manövern erreichten Umlaufbahn liegt für beide Satelliten bei ca. 0.16. Dies entspricht einer Abweichung von mehreren tausend Kilometern von der geplanten Flugbahn. Damit sind Galileo 5 und 6 für das Galileo-Programm nur in eingeschränktem Umfang nutzbar. Dieser Rückschlag für das Galileo-Programm, kann sich jedoch aus wissenschaftlicher Sicht als Glücksfall erweisen, denn es bietet sich hiermit die Gelegenheit, Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie durchzuführen. Diese Tests nutzen zum einen die hohe Frequenzstabilität der Uhren an Bord der Satelliten und zum anderen die relativ hohe Exzentrizität der Umlaufbahn. Der genaueste Test allgemein relativistischer Effekte mit Uhren liegt nun fast 40 Jahre zurück [1]. Daher wurden in den letzten Jahren öfters dedizierte Missionen mit hochgenauen Uhren für verbesserte Tests der Relativitätstheorie vorgeschlagen [2, 3], wie sie sich nun mit Galileo 5 und 6 von selbst ergeben. Dieses gerade begonnene Vorhaben har das Ziel, eine erste Auswertung der vorhandenen Daten vorzunehmen. Die Frequenz-Stabilität der an Bord befindlichen Uhren (passive H-Maser sowie Rb-Atom-Uhren) in Verbindung mit der Exzentrizität der Bahnen lassen einen verbesserten Test der gravitativen Rotverschiebung erwarten. Es wird erwartet, dass auch andere Effekte wie z.B. die Periheldrehung des Satelliten genauer gemessen werden können. Außerdem soll die Messbarkeit des gravitomagnetischen Uhreneffektes untersucht werden, sowie Vorhersagen alternativer Gravitationstheorien. Zur Analyse dieser relativistischen Effekte ist eine sorgfältige Aufbereitung der vorhandenen Daten zu Position und Uhrengang der Satelliten notwendig. Hierzu sollen im Rahmen des Vorhabens auch verbesserte Modelle zur Korrektur systematischer Fehler z.B. aufgrund des bislang unzureichend modellierten Solardrucks entwickelt werden. Neben der rein wissenschaftlichen Fragestellung können die erwarteten Ergebnisse auch Auswirkungen auf das Design zukünftiger Positionierungssysteme haben. [1] R.F.C. Vessot, M.W. Levine, et al.: Test of relativistic gravitation with a space-borne hydrogen maser. *Physical Review Letters* **45**, 2081 (1980). [2] C. Lämmerzahl, I. Ciufolini, H. Dittus, L. Iorio, H. Müller, A. Peters, E. Saiman, S. Scheithauer, and S. Schiller: OPTIS - An Einstein mission for improved tests of Special and General Relativity. *General Relativity and Gravitation* **36**, 2373 (2004). [3] D. Aguilera et al.: STE-QUEST: Test of the Universality of Free Fall using cold atom interferometry. *Classical and Quantum Gravity* **31**, 115010(2014).

Session BW VI: Muskel-/ Knochensystem I, Haut Donnerstag 13.45 – 15.00

Mission to Mars – muskuloskeletale Forschung

Gabriele Armbrecht[1] , U. Gast[1], D.L. Belavy[1,2], D. Felsenberg[1]
1Zentrum f. Muskel- und Knochenforschung (ZMK), Charité Universitätsmedizin Berlin 2Physical Activity and Nutrition Research, Deakin University Burwood, Australia

Hintergrund: Seit Platons Höhlengleichnis erübrigt sich die Frage nach dem Warum des humanen Explorationshandelns. Dass sich der Mensch schadlos in neue Umgebungen begeben und dort bewegen kann, war und ist Ziel unserer Forschung. Die durchgeführten Studien sollen den Weg dahin ebnen und unser Verständnis der muskuloskeletalen Veränderungen in (simulierter) Schwerelosigkeit erweitern sowie der Erforschung wirksamer Gegenmaßnahmen dienen. Zeitgleich ermöglicht diese Forschung wesentliche Erkenntnisse für die klinische Anwendung am Patienten. **Studien** (Auswahl): A) In der LTBR Studie 2001-2002 in Toulouse erfolgten neben der DXA auch Messungen mit einem pQCT. Dieses Gerät ermöglichte die Erfassung einer echten Knochendichte sowie weiterer geometrischer Parameter zur Überprüfung der Countermeasure auf der Knochenfestigkeit. B) In der WISE 2005 Studie in Toulouse wurde erstmalig ein neu entwickeltes hochauflösendes HR-pQCT mit der Möglichkeit der Erfassung von Veränderungen der trabekulären und kortikalen Knochenstrukturen eingesetzt. C) In den Berliner Bettruhe Studien (BBR) wurden mittels radiologischer und leistungsdiagnostischer Verfahren die Effizienz eines neu entwickelten, hochintensiven Krafttrainings allein und in Kombination mit Ganzkörpervibration zur Verhinderung von Muskel-, Knochen- und Funktionsverlust untersucht. In BBR-1 nahmen insgesamt 20 Probanden in einer Trainings- und einer Kontrollgruppe, in BBR-2 24 Probanden in 6° Kopftieflage in 2 Trainings- und einer Kontrollgruppe teil. D) Während der 8. Parabelflugkampagne wurde der Einsatz von Vibrationstraining allein und in Kombination mit einer lower body negative pressure Kammer auf technische und physiologische Machbarkeit unter verminderten Schwerkraftbedingungen getestet. E) Inwiefern Crewmitglieder auf einer simulierten Mission langanhaltend Interventionstreu bleiben und wie sich Habitus und neuromuskuläre Funktion an die Isolation anpassen, war das Forschungsfeld während der Mars500 Studie sowie auch der aktuell beginnenden Studie in der Antarktis. **Ergebnisse**: Die durchgeführten Studien ergaben eine Vielzahl neuer Erkenntnisse (> 45 Publikationen), technischer Weiterentwicklungen sowie praktischer Anwendungen, die im Vortrag dargestellt werden. **Zusammenfassung**: Dank der Unterstützung durch das DLR konnten in den vergangenen 15 Jahren weitreichende grundlegende Erkenntnisse zur Muskel-Knochen-Interaktion und der Wirksamkeit verschiedener Countermeasure gewonnen werden. Die weltraumbezogene Förderung führte nicht nur zu neuen Erkenntnissen und hochrangigen wissenschaftlichen Publikationen, sondern half auch, wichtige Anwendungen für die Erde und den Weltraum zu generieren.

Einfluss von Mikrogravitation auf die neuromuskuläre Leistungsfähigkeit der unteren Extremität

Kirsten Albracht[1], R. Ritzmann[3], A. Kramer[4], M. Meskemper[1], B. Stäudle[1], J. Kümmel[4], K. Freyler, D. Felsenberg[5], M. Gruber[4], A. Gollhofer[3], D. Belavy[2]
1Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln 2Deakin University, Australien 3Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Freiburg 4Sportwissenschaft, Universität Konstanz 5Zentrum für Muskel und Knochenforschung, Charité - Universitätsmedizin Berlin

Ein langfristiger Aufenthalt in Mikrogravitation führt durch die fehlende regelmäßige Belastung durch die Schwerkraft zu einer Degeneration des Bewegungsapparats. Die Streckmuskulatur der unteren Extremität, auch als Antigravitationsmuskulatur bezeichnet, ist hiervon besonders beeinträchtigt. Von den Besatzungsmitgliedern auf der Internationalen Raumstation (ISS) wird nahezu täglich ein Kraft- und Ausdauertraining praktiziert, welches der Degeneration der biologischen Strukturen entgegen wirken soll. Dennoch kommt es nach einem 6 monatigem Aufenthalt auf der ISS zu einer deutlichen Reduktion der Masse und der funktionellen Leistungsfähigkeit. Zum Erhalt der Muskelmasse und Muskelkraft ist ein intensives Krafttraining mit hohen Belastungen der Muskulatur notwendig. Bisher existieren allerdings keine Informationen, ob eine vollständige Aktivierung des Muskels und damit die Generierung von hohen Muskelkräften in Mikrogravitation möglich ist. Um einen detaillierteren Einblick in die Funktion der Muskulatur zu erhalten, wird im Rahmen des aktuellen Vorhabens die Kraftgenerierung der Extensoren der unteren Extremität in Mikrogravitation im Vergleich zur normalen Schwerkraft während eines Parabelflugs untersucht. Des Weiteren werden mit Hilfe der Elektromyographie, der Elektrostimulation und der Ultrasonographie Parameter erfasst, mit denen die neuronale Aktivierung des Muskels sowie das Kontraktionsverhalten der Muskelfaserbündel analysiert werden können. Das aktuelle Vorhaben soll zu einem grundlegenden Verständnis der Kraftgenerierungsfähigkeit der Muskulatur

in Mikrogravitation beitragen und zur Optimierung des muskulären Trainings bei langfristigen Aufenthalten in der Mikrogravitation führen. Das Projekt wird vom DLR und der ESA unterstützt.

Effekte eines Trainings zur Erhaltung der Muskel- und Knochenmasse während körperlicher Inaktivität im Rahmen einer Bettruhestudie - Einfluss auf die neuromuskuläre Kraft- und Leistungsfähigkeit der unteren Extremität

Markus Gruber, Andreas Kramer, Jakob Kümmel
FG Sportwissenschaft der Universität Konstanz

Aus längeren Weltraummissionen und Bettruhestudien ist bekannt, dass die damit einhergehende körperliche Inaktivität zu einer starken Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit führt. Dies ist in einem Umfeld, in dem Schwerelosigkeit herrscht, wie an Bord der Internationalen Raumstation ISS oder bei einem bemannten Flug zum Mars, zunächst kein direktes Problem, wird jedoch kritisch wenn die Astronauten wieder in das Schwerkraftfeld der Erde bzw. des Mars eintreten, da ihr Körper nicht mehr an diese Schwerkraft angepasst ist. Dies stellt bei der Rückkehr der ISS-Besatzung auf die Erde ein Sicherheitsrisiko und bei einer bemannten Marsmission eine bisher noch nicht überwundene Hürde dar. Es gilt also, ein geeignetes Training während des Aufenthaltes in der Schwerelosigkeit zu finden, das diesen degenerativen Prozessen entgegenwirkt.
Zur Bewertung der Tauglichkeit eines potentiellen Countermeasures – also eines Trainings oder eines Trainingsgerätes, das der Abnahme der körperlichen Leistungsfähigkeit entgegenwirkt – haben sich Bettruhestudien bewährt. In einer Bettruhestudie werden zwei Gruppen untersucht: eine Trainingsgruppe, die sich während der zweimonatigen Bettruhephase der zu untersuchenden Trainingsmaßnahme unterzieht, und eine Kontrollgruppe, die einerseits als Vergleich zur Trainingsgruppe dient und andererseits auch geeignet ist, Anpassungen an Inaktivität sowie die zugrundeliegenden Mechanismen zu untersuchen.
In der aktuellen Bettruhestudie der ESA, die im August 2015 im :envihab am DLR in Köln beginnt, werden als Countermeasure reaktive Sprünge in einem neuartigen Trainingsgerät genutzt, das von uns schon erfolgreich in mehreren Laborstudien getestet wurde. Ziel der Forschungsanstrengungen der Arbeitsgruppe der Universität Konstanz ist auf der einen Seite den Effekt und die Wirkweise des Sprung-Countermeasures hinsichtlich der Erhaltung von funktionellen Kraft- und Leistungsparametern untersuchen. Es soll beurteilt werden, ob mittels dieser Intervention funktionellen Rückbildungen bei Leistung, Kraft und Koordination von unterer und oberer Extremität entgegengewirkt und die Countermeasure-Intervention somit auch effektiv im All bei längeren Missionen eingesetzt werden kann. Andererseits soll die Adaptation der genannten funktionellen Parameter an körperliche Inaktivität untersucht werden, was grundlegende Informationen darüber liefern soll, welche Veränderungen bei Astronauten während längeren Aufenthalten im Weltall vonstatten gehen (bzw. bei Bettlägerigen auf der Erde) und inwiefern die Funktion der Extremitäten durch die längerfristige Inaktivität beeinträchtigt wird. Zusätzlich sollen die neuromuskulären Grundlagen der funktionellen Veränderungen mittels Erfassung der Muskelaktivität während der Bewegung sowie durch die Erfassung der elektrisch evozierten Kraftentwicklung (twitch torques) untersucht werden.

Optimierung der Ernährung als eine Maßnahme gegen den immobilisationsbedingten Knochenabbau in Schwerelosigkeit und Bettruhe

Natalie Bäcker, Sonja Graf, Peter Stehle, Martina Heer
Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften, Ernährungsphysiologie, Universität Bonn

Immobilisationsbedingte Veränderungen des muskuloskeletalen Systems, wie sie in Schwerelosigkeit und Bettruhe auftreten, führen auf Grund von fehlender Belastung zu Inaktivitätsatrophie und –osteoporose. Bereits nach kurzer Zeit wird dies durch einen verstärkten Knochenabbau und somit gesteigerte Exkretion der Knochenresorptionsmarker sichtbar. Kraft- und Vibrationstraining senkt den immobilisationsbedingten Knochenabbau, jedoch nicht vollständig. Vielmehr zeigen aktuelle Ergebnisse aus Langzeitmissionen, dass eher eine Kombination von sowohl adäquatem Training wie auch adäquater Ernährung die Knochenmasse erhalten kann. So konnten wir während einer Langzeitmission feststellen, dass die Kombination eines Krafttrainings mit einer ausreichenden Versorgung mit Vitamin D, Protein und Energie, zum Erhalt der Knochenmasse führt. Neben körperlicher Aktivität spielt also auch eine adäquate Ernährung für den Erhalt der Knochenstruktur eine wichtige Rolle. Hierbei rückt der Einfluss einer hohen Proteinzufuhr auf das muskuloskeletale System in den Fokus aktueller Forschung. Wir untersuchten die Wirkung einer erhöhten Zufuhr von Protein auf das muskuloskeletale System. Da eine erhöhte Zufuhr von tierischem Protein, auf Grund des hohen Gehalts an schwefelhaltigen Aminosäuren und des geringen Gehalts an Basenvorläufern die Knochenresorption zu steigern

scheint, sollte dies in der MTBR Bettruhestudie in Toulouse durch die Supplementation eines Alkalisalzes kompensiert werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Kraft- und Vibrationstraining zu einer niedrigeren Knochenresorptionsrate in Immobilität führt und die immobilisationsbedingten Proteinverluste senkt. Gleichzeitig wird die Knochenformationsrate gesteigert. Durch die Supplementation eines Alkalisalzes (KHCO3) wird die erhöhte Säurelast der Diät bei erhöhter Proteinzufuhr kompensiert. Dies wirkt einer Steigerung der Knochenresorptionsrate sowie Steigerung der Calciumexkretion entgegen. Weitere Studien, die den Einfluss der Ernährung auf den Knochenstoffwechsel in Immobilisation und Schwerelosigkeit untersuchen, sind geplant.

Hautphysiologische Experimente im All (Skin B)

Nicole Gerlach, Ulrike Heinrich
DermaTronnier GmbH & Co. KG, Institut für experimentelle Dermatologie an der Universität Witten/Herdecke

Nach einer NASA Studie sind Verschlechterungen der Haut mit einer der am häufigsten beschriebenen negativen Auswirkung auf die Gesundheit der Astronauten bei Langzeit-Missionen. In einem ersten Grundlagenforschungsprojekt (Skin A) 2006 wurde daher die Haut eines einzelnen Astronauten unter Langzeit-Einfluss von Schwerelosigkeit untersucht. Die Hautoberfläche, die Epidermis und die Dermis wurden dazu vorher, während und nach dem Aufenthalt auf der ISS analysiert. Die Haut des Astronauten zeigte eine stärker strukturierte Epidermis auf, Hautpartien wurden rauer und die Elastizität war vermindert und wies teilweise Cellulite-ähnliche Strukturen auf. Die Veränderungen der Epidermis und Dermis entsprachen hierbei einer vorzeitig gealterten Haut. Ziel des in 2011 gestarteten Projektes „Skin B“ war es diese Ergebnisse an einer höheren Anzahl an Astronauten zu validieren. Neue Geräte wurden durch die OHB-System AG innerhalb von 12 Monaten „space flight“ tauglich modifiziert und die Flugmodelle für die strengen Anforderungen im Weltraum qualifiziert bevor sie in einem 6-stündigen Flug zur ISS transportiert worden sind. Erste vorläufige Daten des Skin B Experimentes basieren auf einem Pre-, Inflight und Postflight Datensatz von vier der sechs rekrutierten Astronauten. Einige Crewmitglieder berichteten von einer schnelleren Wundheilung, einer weniger rissigen Haut und dem geringeren Gebrauch von Lotion während des ISS-Aufenthaltes. Diese positiven Erfahrungen korrelieren gut mit den gemessenen hautphysiologischen Daten. Erste Inflight Daten zeigen eine Verbesserung der Hauthydration, der Hautbarriere und der Hautoberfläche. Die Hautdichte und Hautdicke ist eher unverändert im Vergleich zu den Preflight Daten. Diese Ergebnisse sind jedoch widersprüchlich zu den Ergebnissen des Skin A Projektes und bedürfen weiterer Untersuchungen.

Session BW VII: Neurophysiologie Donnerstag 15.00 – 16.15

Einfluss von Schwerelosigkeit auf die Auge-Hand Koordination des Menschen

Otmar Bock
Deutsche Sporthochschule Köln

Seit 1995 erforscht meine Arbeitsgruppe mit DLR-Finanzierung, wie die feinmotorischen Leistungen des Menschen durch Schwerelosigkeit beeinflusst werden. Dabei befassen wir uns mit allen beteiligten Prozessen, von der Sinneswahrnehmung über die räumlichen Orientierung und den zentrale Ressourcenbedarf bis hin zur Planung verschiedener Bewegungskategorien. Zwei Schwerpunkte sind dabei die sensomotorische Adaptation an eine ungewohnte Umwelt, sowie der Vergleich von Leistungen in standardisierten Tests mit denen unter alltagsnahen Bedingungen. Zu den wesentlichsten Erkenntnissen dieser Arbeit zählt die Drei-Faktoren-Hypothese, wonach in Schwerelosigkeit mindestens einer der Faktoren ‚Geschwindigkeit‘, ‚Genauigkeit‘ und ‚Ressourcenbedarf‘ sich nachteilig verändert; die Akteure können nach strategischen Gesichtspunkten entscheiden, welcher Faktor sich im Vergleich zu terrestrischen Bedingungen nicht verändern soll.
Nachdem wir in der Vergangenheit einen Überblick über feinmotorische Defizite in Schwerelosigkeit und deren natürliche Adaptation gewonnen haben, wollen wir künftig auch erforschen, wie man die natürliche Adaptation durch preflight-Training unterstützen kann. Dazu haben wir bereits begonnen, Konzepte und Methoden des mentalen Trainings aus den Anwendungsbereichen ‚Sport‘ und ‚Rehabilitation‘ auf die Weltraumfahrt zu übertragen.

Der Mensch im Weltraum - Auswirkung von Schwerelosigkeit und Inaktivität auf neuromuskuläre Korrelate menschlicher Bewegung

Ramona Ritzmann, Kathrin Freyler, Anne Krause, **Albert Gollhofer**
Institut für Sport und Sportwissenschaften, Universität Freiburg

Einleitung: Menschen, die sich über einen längeren Zeitraum in der Schwerelosigkeit befinden oder inaktiv sind, erfahren strukturelle und funktionelle Veränderungen des Bewegungsapparates: die Beeinträchtigung der Posturalen Kontrolle, der Lokomotion, des Kraftvermögens und der Bewegungskoordination sind neben dem Verlust von Muskulatur und Knochensubstanz eine der zentralen Herausforderungen der humanwissenschaftlichen Weltraumforschung. Grund für die negativen Anpassungserscheinungen ist die Abwesenheit der Schwerkraft, welche unter terrestrischen Bedingungen den essentiellen Reiz für Anpassungen des Sensomotorischen Systems und der damit einhergehenden neuromuskulären Kontrolle darstellt. *Fragestellung und Forschungsmethodik:* In komplementärer Kooperation mit Knochen- und Muskelforschern befassen wir uns als Experten explizit mit dem Nerv-Muskel-System. Ziel unserer Studien ist es, ein integratives Verständnis der zugrundeliegenden neuromuskulären Mechanismen der menschlichen Lokomotion (Gehen oder Springen), der Standkontrolle sowie der Kraftentwicklung im Kontext veränderter Gravitations- und Belastungsbedingungen zu erlangen. Neurophysiologisch-biomechanische Zugänge ermöglichen es uns, Veränderungen in der Ansteuerung der Skelettmuskulatur zu detektieren und den spezifischen hierarchischen Ebenen des zentralen Nervensystems zuzuordnen. Im Fokus stehen dabei Paradigmen alltäglicher motorischer Aufgaben, welche einerseits für das Leben auf der Erde relevant sind, anderseits aber auch das Gelingen und die Sicherheit auf Weltraum-Missionen gewährleisten. *Anwendung:* Erkenntnisse über die Anpassungen des neuromuskulären Systems an Schwerelosigkeit sind von entscheidender Relevanz um Countermeasure-Interventionen im Hinblick auf ihre Wirksamkeit gegen degenerative Prozesse in Schwerelosigkeit und Inaktivität zu bewerten und zu validieren. Trainingsinterventionen, die hohe mechanische Belastungen auf das muskulo-skelettale System übertragen und somit die strukturellen und funktionellen Komponenten des Bewegungsapparats optimal beanspruchen und erhalten können (Sprungkrafttraining und Ganzkörpervibrationstraining), stehen aktuell im Fokus unseres interdisziplinären Diskurses. *Ausblick:* Die dadurch bisher erforschten Grundlagenkenntnisse und weltraumassoziierten Trainingsformen finden unter anderem auch Anwendung in der klinischen Rehabilitation. Beispiele hierfür sind neben der Anwendung eines Perturbationstrainings zur Sturzprävention auch übertragbare positive Effekte von Ganzkörpervibrationstraining bei neuropathologischen Erkrankungen (bspw. bei Patienten mit Multipler Sklerose oder Infantiler Zerebralparese).

X.CAMPUS – Neuroplastizität des Hippocampus im Weltraum und extremen Umwelten

Alexander Stahn
Charité Universitätsmedizin Berlin, Zentrum für Weltraummedizin und Extreme Umwelten

Das vorliegende Projekt untersucht den Einfluss von Langzeitmissionen im Weltraum auf die strukturelle und funktionelle Plastizität des Gehirns. Eine besondere Bedeutung wird dabei dem Hippocampus und seinen Subfeldern zugeschrieben, da für diese Bereiche bislang einzigartig eine Neurogenese im erwachsenen Organismus beobachtet werden konnte. Bislang konnten diese Effekte beim Menschen jedoch nicht systematisch untersucht werden. Durch die Verwendung einer hochauflösenden und speziell entwickelten Bildgebungssequenz der Magnetresonanztomographie wird im vorliegenden Projekt eine detaillierte Untersuchung hippocampalen Strukturen und des präfrontalen Kortex gewährleistet. Dazu werden eine Reihe von Studien sowohl unter realen Weltraumbedingungen (ISS) als auch in terrestrischen Analogmodellen wie Bettruhe- und Isolationsstudien ebenso wie Langzeitmissionen in der Antarktis durchgeführt. Diese Experimente ermöglichen erstmals eine differenzierte Untersuchung von Stressoren auf die hippocampale Plastizität im Längsschnitt und schaffen damit die Grundlage für die Untersuchung von Kausalitäten, die bislang nur für das Tiermodell beschrieben werden konnten. Gleichzeitig sollen dabei mögliche neurophysiologische Mechanismen aufgedeckt werden, indem ein interdisziplinärer und Ansatz unter Verwendung von „cutting edge“ Techniken der Bildgebung, Verfahren der elektrokortikalen Signalerfassung, biochemischer Marker und Testverfahren zur Bestimmung kognitiver Funktionen zum Tragen kommt. Ferner ist vorgesehen, dass durch die Kooperation mit internationelen Partnern die Studien durch parallele Untersuchungen im Tiermodell vervollständigt und durch Verwendung analoger Untersuchungsverfahren bei Tier und Mensch einer translationalen Forschung Vorschub geleistet wird. Das vorliegende Vorhaben könnte damit neben seinem Verwertungspotential in der Weltraumforschung auch wichtige Hinweise für demenzielle Erkrankungen ergeben und neue Ansätze der Prävention und Therapie wie beispielsweise dem Einsatz von körperlichem Training und Antioxidantien bedeutende Impulse verleihen.

Veränderungen des zentralen Nervensystem nach einer 60-tätigen Immobilisation der Wadenmuskulatur

Alexander Kurz, Albert Gollhofer**,** Christian Leukel
Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Freiburg, Deutschland

Ein Aufenthalt in der Schwerelosigkeit ist für Astronauten mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen verbunden. Durch das Fehlen der Schwerkraft kommt es zu Anpassungserscheinungen, die sich negativ auf die Knochen, die Muskeln, das Nervensystem und auch die Kreislauffunktionen des menschlichen Körpers auswirken. Wir haben uns in der folgenden Studie mit Veränderungen des zentralen Nervensystems beschäftigt und Veränderungen im All durch eine 60-tägige Immobilisation der Wadenmuskulatur simuliert. Das zentrale Nervensystem wurde mittels elektrophysiologischer Techniken (transkranielle Magnetstimulation, periphere Nervenstimulation) vor und nach Ende der Immobilisation untersucht. Neben den elektrophysiologischen Messungen wurden Veränderungen in der Gleichgewichtsfähigkeit getestet. Schließlich erfolgte nach der Immobilisationsphase ein physisches Training der Unterschenkelmuskulatur, das ein Rehabilitationsprogramm simulieren sollte. Hierbei wurden bei der Hälfte der Teilnehmer motorische Anteile des Großhirns mittels anodaler transkranieller Gleichstromstimulation stimuliert, um eine Verbesserung des Rehabilitationsverlaufs durch diese Art der Stimulation zu prüfen. Die neurophysiologischen Messungen weisen auf eine differenzierte Anpassung des zentralen Nervensystems durch die Immobilisation hin. Die Reflexbögen auf Rückenmarksebene zeigen mit unseren Methoden keine Veränderungen nach einer 8-wöchigen Immobilisation. Oberhalb des Rückenmarks liegende Strukturen wie der primär motorische Kortex weisen messbare Anpassungsprozesse auf. Die Ergebnisse der funktionellen Tests lassen den Schluss zu, dass eine Verschlechterung sowohl der statischen als auch der dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit stattfindet. Die anodale Gleichstromstimulation der motorischen Areale des Großhirns bei gleichzeitigem physischen Training hatte das Ziel, den Rehabilitationsverlauf zu beschleunigen. Unsere Ergebnisse weisen auf einen Akuteffekt der Stimulation in der ersten Trainingseinheit nach der Immobilisation hin. Langzeiteffekte im Sinne einer verbesserten Leistung gegenüber der Kontrollgruppe (ohne Stimulation) bei den folgenden Trainingseinheiten konnte nicht gezeigt werden. Die Nutzung der anodalen Gleichstromstimulation ist eine vielversprechende Therapieergänzung beim motorischen Training, allerdings sind viele Aspekte hierbei noch nicht erforscht. Die hier durchgeführte Studie ist nach unserem Wissen die erste Arbeit, die die Technik nach einer Immobilisation anwandte. Unsere Ergebnisse sind ein weiterer wichtiger Schritt im Hinblick auf das Verständnis von Anpassungen des zentralen Nervensystems bei einem längeren Aufenthalt im Weltall. Durch ein umfassendes Verständnis können Maßnahmen entwickelt werden, um Veränderungen zu minimieren und (motorische) Funktionen aufrechtzuerhalten.

Untersuchung der Degradation von Pilotenfähigkeiten in Isolation unter Verwendung eines Raumfahrzeugsimulators - Projekt „SIMSKILL“

Andreas Fink, Stefanos Fasoulas
Institut für Raumfahrtsysteme, Universität Stuttgart

Auf zukünftigen bemannten Missionen zu erdnahen Asteroiden, dem Mars und darüber hinaus werden Astronauten mehrere Monate bis Jahre unterwegs sein. Bei ihrer Ankunft am Ziel müssen sie komplexe, missionskritische Aufgaben durchführen, die sie seit ihrem Abflug von der Erde nicht mehr trainiert haben. Ein Beispiel ist das Andocken an ein anderes Raumfahrzeug am Ende einer langen Mission. Hierbei kann eine schnelle, präzise und fehlerfreie Ausführung entscheidend für den Erfolg der Mission und die Sicherheit von Raumfahrzeug und Besatzung sein. Bisher ist noch nicht vollständig erforscht, wie sich die für solche Aufgaben notwendigen Fähigkeiten unter Isolationsbedingungen mit der Zeit verändern und mit welchen Mitteln einer Degradation dieser Fähigkeiten gegebenenfalls begegnet werden kann. Zur Klärung dieser Fragestellung wird das Institut für Raumfahrtsysteme der Universität Stuttgart zusammen mit seinen Partnern das Projekt SIMSKILL durchführen.
Hierfür werden zwei Raumflugsimulatoren auf den antarktischen Forschungsstationen Halley VI und Concordia installiert. Die Stationen bieten im Hinblick auf Isolation und Atmosphärendruck ähnliche Umgebungsbedingungen, wie sie auch an Bord eines zukünftigen Raumfahrzeugs zu erwarten sind. Die Besatzung vor Ort wird im Rahmen des Experiments am Simulator geschult und während der Überwinterung 2016 und 2017 einen bemannten Langzeit-Raumflug nachstellen. Während des Experiments wird die Degradationskurve der Pilotenfähigkeiten der Teilnehmer durch Performancemessungen am Simulator ermittelt. Durch Vergleiche mit einer nicht isolierten Referenzgruppe in Stuttgart kann der Einfluss von Isolation und niedrigem Umgebungsdrucks bestimmt werden. Die Ergebnisse sollen neue Erkenntnisse für die Erforschung und operationelle Planung zukünftiger bemannter Langzeit-Missionen zum Mars oder zu Asteroiden liefern.

---

12 Jahre Plasmakristall-Forschung auf der Internationalen Raumstation ISS mit PKE-Nefedov und PK-3 Plus

Hubertus Thomas
DLR-Forschungsgruppe Komplexe Plasmen, Oberpfaffenhofen

Die komplexe Plasmaforschung ist durch ihre besonderen Eigenschaften sehr interdisziplinär. Untersuchungen von Festkörper-, Kolloid- und flüssigen Phänomenen lassen sich ebenso durchführen wie zu plasmaphysikalischen Effekten. Als komplexes Plasma wird ein Plasma bezeichnet, das mit sogenannten Mikropartikeln angereichert ist. Diese Mikropartikel laden sich im Plasma auf und deren elektrostatische Wechselwirkung bildet die Basis für die starke Kopplung des Systems und damit die Möglichkeit flüssige und auch kristalline Systeme, den sogenannten Plasmakristall, zu bilden. Jedes einzelne Atom (Mikropartikel) kann im Detail verfolgt werden, was einen ganz neuen Zugang zur Physik der kondensierten Materie eröffnet. Man kann also ein komplexes Plasma auch als Modellsystem für Festkörper und Flüssigkeiten ansehen. Die Schwerkraft stört dieses System und führt zur Sedimentation der Mikropartikel. Deshalb wird seit ca. 20 Jahren diese Forschung auch unter Schwerelosigkeitsbedingungen durchgeführt.
Das PK-3 Plus Labor hat wie schon sein Vorgänger PKE-Nefedov eine Vielzahl an Untersuchungen ermöglicht, die für die Grundlagenphysik wichtig waren. Die Themen zu Kristallstruktur, Kristallisation und Schmelzen ziehen sich über die letzten 10 Jahre Forschung auf der ISS hinweg und liefern immer wieder neue Einblicke. In Experimenten mit PK-3 Plus war es z. B. möglich sehr große Systeme zu kristallisieren, deren 3-dimensionale Struktur zu erfassen und auch den Kristallisations- und Schmelzvorgang im Detail zu untersuchen. Andere herausragende Themen der Forschung auf der ISS beschäftigten sich mit Phasenübergängen, z.B. in binären Systemen, also einer Mischung aus zwei unterschiedlichen Teilchengrößen. Hierzu gehören die Phänomene des Lanings und der Entmischung und Bildung eines Tropfens.

Das Plasmakristallexperiment 4 (PK-4)

Markus Thoma
Justus-Liebig-Universität Giessen

Das Experiment PK-4 dient zur Untersuchung komplexer Plasmen, d.h. Niedertemperaturplasmen, die Mikropartikel („Staub“) enthalten, im Labor und unter Schwerelosigkeit. Insbesondere werden damit zurzeit und in Zukunft Versuche auf der ISS durchgeführt, ähnlich wie bei den Vorgänger-experimenten PKE-Nefedov und PK-3 Plus. Dabei wird aber im Gegensatz zu den Vorläufern, bei denen Hochfrequenzentladungen eingesetzt wurden, das Plasma in einer Glasröhre mittels einer Gleichstromentladung gezündet. Dies erlaubt neuartige Grundlagenforschungen an komplexen Plasmen, insbesondere im Zusammenhang mit Strömungen in der flüssigen Phase dieser Systeme. Die Entwicklung von Labor- und Parabelflugeinheiten und die Durchführung von Experimenten damit wurden im Rahmen von DLR-Vorhaben seit 2002 gefördert. Der Bau der ISS-Modelle dagegen war Gegenstand eines ESA-Projekts. PK-4 befindet sich seit Oktober 2014 im Columbus-Labor und erste Tests und Versuche wurden erfolgreich absolviert. Im Vortrag werden nach einer kurzen Einführung in die Physik der komplexen Plasmen die Experimenteinheit PK-4 vorgestellt und ausgewählte Labor- und Parabelflugexperimente diskutiert.

PlasmaLab/EKOPlasma – Das zukünftige Labor zur Erforschung komplexer Plasmen in Schwerelosigkeit auf der Internationalen Raumstation ISS

Christina Knapek
DLR-Forschungsgruppe Komplexe Plasmen, Oberpfaffenhofen

Das Projekt PlasmaLab begann als deutsch-russische Kooperation mit dem Ziel, neuartige Plasmakammern für die zukünftige Forschung im Bereich komplexer Plasmen in Schwerelosigkeit auf der Internationalen Raumstation (ISS) zu entwickeln. Komplexe Plasmen sind ein Zustand der weichen Materie, der durch das Einbringen mikrometer-großer Partikel in ein Plasma erzeugt wird. Die Partikel werden durch Plasmabestandteile elektrisch geladen, und bilden ein wechselwirkendes System innerhalb der Plasmaumgebung. Da die Partikel mit Hilfe einfacher optischer Systeme individuell sichtbar gemacht werden können, ermöglicht die Erforschung komplexer Plasmen einen einmaligen Einblick in das dynamische Verhalten von

Vielteilchensystemen auf dem atomaren Level. Ein ungestörtes System kann jedoch nur unter Schwerelosigkeit beobachtet werden, da auf der Erde die Partikel durch die Schwerkraft sedimentieren.
Eine der entwickelten Plasmakammern – die "Zyflex"-Kammer, soll nun auf die Mission EKOPlasma vorbereitet werden – ein für 2019/2020 geplantes, zukünftiges Labor auf der ISS. Dort soll sie an die erfolgreichen Forschungsprojekte PKE-Nefedov, PK-3 Plus und das seit 2014 auf der ISS akkommodierte Projekt PK-4 nahtlos anschließen, um die Kontinuität im Forschungsbereich komplexe Plasmen zu gewährleisten.
Die "Zyflex"-Kammer ist eine große, zylindrische Plasmakammer mit parallelen Elektroden, die zur Plasmaerzeugung mit Hochfrequenz angetrieben werden. Ihr innovatives Design enthält eine flexible innere Geometrie und ermöglicht die Erweiterung des erreichbaren Plasmaparameterbereichs um ein Vielfaches. Sie soll den Forschern ermöglichen, aktuelle Themen wie z.B. Phasenübergänge, atomare Dynamik von Flüssigkeiten oder Entmischung zu untersuchen. Aktuelle Ergebnisse von Experimenten mit der Zyflex-Kammer in Parabelflügen und im Labor verdeutlichen das Potential der Kammer.

Dynamische Phänomene in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit: Entstehung von Vortices in ausgedehnten Staubwolken

Tim Bockwoldt, A. Piel
Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Im Plasma einer Hochfrequenzentladung laden sich makroskopische Partikel negativ auf und werden so durch die anwesenden elektrischen Felder beeinflusst. In diesen *staubigen* Plasmen sedimentieren mikrometergroße Kunststoffpartikel aufgrund der Gravitation meist zu einer Flachen Schicht im starken Randschichtfeld einer Elektrode. Erst unter Schwerelosigkeit bilden sich ausgedehnte Staubwolken, in denen neue, großskalige Phänomene beobachtet werden können. Gleichgewicht und Dynamik der Partikel in der Wolke werden dann nicht nur durch das elektrische Feld der Entladung bestimmt, sonder auch wesentlich durch die aus der Entladung strömenden Ionen beeinflusst. Des Weiteren bewirkt die Reibung am Neutralgas eine Dämpfung der dynamischen Phänomene, sodass die Wolke durch Variation des Gasdrucks eine Vielzahl an Phänomenen zeigt.
Bei geringem Gasdruck konnten Entstehung und Verhalten von Staubdichtewellen beobachtet werden, die mit einem gasartigen Zustand der Staubwolke einhergingen. Im Gegensatz dazu zeigt die Staubwolke bei einem Gasdruck oberhalb von etwa 20 Pa Eigenschaften einer Flüssigkeit und bildet zum Beispiel großskalige Wirbelströmungen, sogenannte Vortices. Der Antrieb dieser Vortices wurde in der Literatur kontrovers diskutiert und sowohl einem Gradienten in der Einzelpartikelladung als auch der Ionenströmung zugeordnet.
In neuen experimentellen Beobachtungen auf Parabelflügen konnten sowohl dipolare als auch quadrupolartige Topologien beobachtet werden. Die Modellierung der Kraftfelder mittels einfacher Entladungssimulationen ermöglicht beim Vergleich mit den Experimenten neue Erkenntnisse über die Entstehung der Vortices. Es wird gezeigt, wie die Kombination aus Ionenströmung und Ladungsgradienten die Topologien beeinflussen kann.

Dynamische Phänomene in staubigen Plasmen unter Schwerelosigkeit: Lasermanipulation und Stereoskopie von Partikeltrajektorien

André Melzer
Institut für Physik, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Staubige (komplexe) Plasmen bestehen aus Mikropartikeln (1-10 Mikrometer Durchmesser), die in einer Plasmaumgebung eingefangen werden, wo sie sich aufgrund des Zustroms von Ladungsträgern aus dem Plasma (Elektronen/Ionen) stark negativ aufladen. Diese komplexen Plasmen erlauben das Studium kristalliner und flüssiger Zustände auf quasi-atomarer Ebene, weil hier eben diese Mikropartikel als grundlegende Bausteine fungieren, deren Anordnung und Bewegung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung beobachtet werden können.
Ausgedehnte dreidimensionale Staubstrukturen lassen sich im Plasmavolumen auf Parabelflügen erzeugen und beobachten. Diese Staubwolken zeigen interessante Strukturen bei der Anordnung der Partikel oder dynamische Effekte, wie selbsterregte Wellen. Die wissenschaftlichen Ziele unserer DLR-Vorhaben bestand nun u.a. in der Bestimmung der dreidimensionalen Dynamik der Staubpartikel in einem Plasma unter Schwerelosigkeit. Dazu wurde eine Stereoskopieeinheit entwickelt, die die 3D-Bewegung der Partikel lokal in einem begrenzten Ausschnitt des gesamten Entladungsvolumens aufzeichnet. Dieses System ist in der Lage, etwa einige hundert Staubpartikel in einem Volumen von ca. 1 cm^3 in 3D zu erfassen und zu verfolgen. Damit erhält man die vollständige dreidimensionale Information über die Position und die Bewegung der Partikel.

Des weiteren wurde ein Lasermanipulationssystem aufgebaut, mit dem einzelne Partikel unter Schwerelosigkeitsbedingungen gezielt angeschossen werden können. Damit können definierte Bewegungen der Partikel angeregt werden, um quantitative Aussagen über die beteiligten Kräfte zu machen.
Experimentelle Ergebnisse zur mikroskopischen Dynamik von Teilchen in Wellen und zu den wirkenden Kräften werden hier präsentiert.

Session MW VI:Materialwissenschaften I Donnerstag 15.00 – 16.15

Züchtung von dotierten Ge-Kristallen unter µg- und 1g-Bedingungen zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Konvektionszustände

Arno Cröll, Tina Sorgenfrei, A. Hess, J. Zähringer
Kristallographie - Universität Freiburg

Die Anforderungen an Halbleitermaterialien für Anwendungen als elektronische Bauelemente oder Detektoren steigen konstant. Da die allermeisten Halbleiter über Kristallzüchtung aus der Schmelze hergestellt werden, ist das Verständnis des Einflusses von Konvektionsströmungen in diesen Schmelzen sowie von Kapillarphänomenen (Benetzung) auf die Kristallqualität von entscheidender Bedeutung für die kontinuierliche Verbesserung dieser Materialien. Prozessierung unter Mikrogravitation ist dabei ein wichtiges Werkzeug sowohl um diese Effekte zu untersuchen als auch Werkzeuge zur Beeinflussung von Strömungen zu testen, da hier der Einfluss von Auftriebskonvektion vernachlässigt werden kann. Das Gesamtziel des KUBUS-Vorhabens ist die Erweiterung der Möglichkeiten zur aktiven Beeinflussung der strukturellen und elektrischen Eigenschaften von Halbleiterkristallen während der Züchtung aus der Schmelze oder der Schmelzlösung. Dies bezieht sich zum einen auf die aktive Kontrolle der mikroskopischen und makroskopischen Segregation von Dotierstoffen und Verunreinigungen, zum anderen auf die strukturelle Verbesserung der Kristalle (Versetzungsdichte, Spannungen, Einschlussbildung). Die Methoden sind einerseits die Erzeugung von definierten Strömungszuständen durch rotierende Magnetfelder und Vibrationen, sowie andererseits die wandabgelöste Züchtung bei gerichteter Erstarrung („detached/dewetted Bridgman“).
2014 wurden auf dem Satelliten FOTON-M4 zu diesem Zweck vier Experimente unter µg-Bedingungen durchgeführt. Drei davon untersuchen den Einbau von Gallium bei der Züchtung von Germanium-Einkristallen bei definierten Strömungszuständen (laminar, oszillatorisch, turbulent) unter dem Einfluss eines rotierenden Magnetfeldes und unter Vibration. Das vierte befasste sich mit dem wandabgelösten Wachstum von Germanium-Silizium (Ge-Si). Ergebnisse dieser Experimente werden hier präsentiert und mit Referenzexperimenten unter 1g-Bedingungen verglichen.

ParSiWal - wie Experimente unter Schwerelosigkeit helfen, die Herstellung von Silizium für die Photovoltaik zu verbessern

Jochen Friedrich[1], C. Reimann[1], M. Azizi[1*], A. Cröll[2], T. Sorgenfrei[2], T. Jauss[2], H. Emmerich[3], J. Kundin[3], H. Hörstermann[3]
1Fraunhofer IISB, Erlangen 2University Freiburg, Institute for Geosciences 3University Bayreuth, Chair of Material and Process Simulations

Bei der Produktion von Siliziumkristallen für die Photovoltaik spielen Partikel in Form von Siliziumkarbid (SiC) und Siliziumnitrid (Si_3N_4) eine große Rolle. Die Partikel sind problematisch für die mechanische Bearbeitung der Kristalle und können den Wirkungsgrad von Solarzellen verschlechtern. Der Einbau der Partikel in den Siliziumkristall muss deshalb vermieden werden. Die Partikel entstehen während der Kristallisation beim Überschreiten der Löslichkeitsgrenze in einer mit Kohlenstoff und/oder Stickstoff verunreinigten Siliziumschmelze. Die Fremdpartikel bewegen sich aufgrund der Schmelzströmung durch das gesamte Schmelzvolumen und können schließlich in den Siliziumkristall eingebaut werden.
Für den Einbau der Partikel wird angenommen, dass die Wachstumsgeschwindigkeit bei der Kristallisation eine wichtige Rolle spielt. So definieren verschiedene theoretische Modelle eine kritische Wachstumsgeschwindigkeit, ab der die Partikel vom wachsenden Kristall eingefangen werden. Die theoretischen Modelle können bislang nicht den experimentell beobachteten Einbau der Fremdpartikel bei der Siliziumerstarrung erklären. Hier kommt nun die Schwerelosigkeit ins Spiel. Die Schwerkraft beeinflusst maßgeblich die Strömung in der Schmelze, die ihrerseits wiederum die Verteilung der Partikel im Schmelzvolumen bestimmt. Die Schwerkraft lässt außerdem die Partikel absinken, da sie eine höhere Dichte besitzen als Silizium. Im Weltall werden die schwerkraftgetriebenen Effekte ausgeschaltet. Das verringert die Komplexität der Vorgänge erheblich und erleichtert damit auch deren physikalische Beschreibung. Somit kann

unter Schwerelosigkeit geprüft werden, ob die existierenden Theorien für den Partikeleinfang auch bei Silizium gültig sind oder ob sie um bislang noch nicht berücksichtigte physikalische Effekte erweitert werden müssen.
Im Rahmen des ParSiWal Experimentes („Bestimmung der kritischen Einfanggeschwindigkeit von Partikeln bei der gerichteten Erstarrung von Solarsilizium im Weltall“) wurde auf der Mission TEXUS 51 im April 2015 unter Weltraumbedingungen in der bereits im Weltraum erprobten Spiegelofenanlage ELLI des DLR ein Siliziumkristall, der ein Depot an SiC-Partikeln enthielt, partiell aufgeschmolzen und wieder erstarrt. Im Beitrag werden die vorläufigen Ergebnisse dieses Weltraumexperimentes im Vergleich zu den terrestrischen Voruntersuchungen vorgestellt. Außerdem wird abgeleitet, wie diese Erkenntnisse helfen können, um die Herstellung und das Recycling von Photovoltaiksilizium zu verbessern.

Mineralisation von Zement unter Schwerelosigkeit

Johann Plank, Markus. R. Meier
Technische Universität München

Zement ist mit einem Produktionsvolumen von 4 Mrd. Tonnen (2014) das größte Industrieprodukt weltweit. Wenngleich seine Entdeckung bereits mehr als 2000 Jahre zurückreicht, sind die bei der Aushärtung ablaufenden chemischen Reaktionen mit Wasser (die sog. Hydratation) bis heute Gegenstand intensiver Forschung. Ziel ist es, ein besseres Verständnis für die sehr komplexen Auflösungs- und Kristallisationsprozesse bei der Hydratation des Zements zu erhalten. So lösen sich einige Zementbestandteile direkt nach der Zugabe von Wasser auf – es entsteht eine übersättigte Lösung v.a. von Calciumhydroxid, Silikat und Aluminat. Aus dieser Lösung kristallisieren anschließend sog. Zement-Hydrat-Phasen, die miteinander verwachsen und so ein festes Zementstein-Gefüge ausbilden – der Zement ist erhärtet. Erste Hydratphasen bilden sich bereits innerhalb von Sekunden nach Wasserzugabe in Form von Kristallen mit einer Größe von nur wenigen Nanometern, die jedoch für die Verarbeitungseigenschaften des Zements von entscheidender Bedeutung sind. Auf diesen ersten Sekunden der Zement-Hydratation liegt deshalb der Fokus unserer Forschung.
Die Ergebnisse aus der ersten Parabelflug-Kampagne (Oktober 2014) haben gezeigt, dass die Zementhydrate in Schwerelosigkeit allgemein kleinere Kristalle bilden, d. h. das Kristallwachstum ist verlangsamt. Die Kristalle sind jedoch zahlreicher und weisen weniger Defekte auf, wobei sich die Kristallstruktur unter 0 *g* nicht ändert.
Die Untersuchungen tragen einerseits zum fundamentalen Verständnis der Mineralisation und Kristallbildung anorganischer Salze unter Schwerelosigkeit bei (dazu gibt es bisher kaum Beispiele). Andererseits helfen sie, die frühe Zement-Hydratation und insbesondere die Kristallisationsprozesse der Hydratphasen besser zu verstehen. Diese Hydratphasen bestimmen die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des erhärteten Betons, sodass die gewonnenen Erkenntnisse direkt in die Entwicklung neuartiger Zement- oder Baustoffsysteme einfließen können. Auch für künftige Bauten auf dem Mond oder Mars lassen die beschriebenen Erkenntnisse bereits jetzt Rückschlüsse hinsichtlich des Abbindeverhaltens und der Festigkeitsentwicklung zementähnlicher Bindemittel unter reduzierter Schwerkraft zu.

Erstarrung von Titanaluminiden: Raketen- und Zentrifugenexperimente

Ulrike Hecht, Laszlo Sturz, Eshwar Ramasetti, Alexandre Viardin, Christoph Pickmann, Stephan Rex
Access e.V., Aachen

Titanaluminide sind intermetallische Werkstoffe für den Einsatz bei Temperaturen von 650°C bis 800°C. Dank ihrer geringen Dichte (3.8 bis 4.3 g/cm³) und ihrer spezifischen Festigkeit werden sie zunehmend als Niederdruck-Turbinenschaufeln in Flugzeug- Triebwerken eingesetzt. Die Herstellung solcher Schaufeln kann durch endkonturnahes Gießen erfolgen, vornehmlich durch Zentrifugalgießen in keramische Formschalen. Die für die Luftfahrt typischen Anforderungen an die Qualität solcher Schaufeln sind eng gesteckt und die Umsetzung einer „Null-Fehler-Strategie“ in allen Fertigungsschritten ist notwendiger Teil eines fundierten F&E Programms bei Access. Ergänzend dazu werden grundlegende Aspekte der Mikrostrukturbildung bei der Erstarrung von Titanaluminiden mit Hilfe von Raketen- und Zentrifugenexperimenten untersucht. Damit ist es möglich, den Einfluss der Beschleunigungskräfte auf die Mikrostruktur und die Defektbildung gezielt und systematisch zu analysieren. Ein Europäisches Forschungsteam widmet sich im ESA-MAP Projekt „GRADECET“ diesen Fragen und bündelt experimentelle Arbeiten, Modelle und numerische Simulationen, um schließlich das Gefüge in einer ganzen Turbinenschaufel vorhersagen zu können. Dieser Vortrag stellt die Arbeiten und die aktuellen Ergebnisse vor: Erste Experimente in ESAs großer Zentrifuge, die unter 5g, 10g, 15g und 18g durchgeführt wurden, werden erläutert ebenso wie die Vorbereitung der Raketen-Experiment, die auf MAXUS 9 im Herbst 2016 stattfinden werden. Ein Ausblick auf zukünftige Forschungsthemen unter µg und hyper-g Bedingungen wird abschließend gegeben.

Erstarrungsforschung unter Schwerelosigkeit im europäischen Kontext

Gerhard Zimmermann, Laszlo Sturz, Micheal Mathes, Christoph Pickmann
Access e.V., Aachen

In Metall-Legierungen hängen die Materialeigenschaften entscheidend vom Gefüge ab. Dies wird maßgeblich durch das Erstarrungsverhalten festgelegt, insbesondere durch das Zusammenwirken von Wärme- und Stofftransport. Die Zusammenhänge sind dabei gerade in technisch relevanten Werkstoffen sehr komplex und können durch Experimente unter reduzierter Schwerkraft vereinfacht werden, da Auftriebs- und Strömungseffekte unterdrückt werden können.
Unter anderem in Abhängigkeit von den Abkühlbedingungen erfolgt in der Regel ein gerichtetes oder ungerichtetes Wachstum des Materialgefüges. Von besonderer Relevanz ist dabei die Kenntnis des Überganges zwischen beiden Wachstumsformen (CET = columnar-equiaxed transition), da dies zu unerwünschten Materialeigenschaften oder Defekten im Bauteil führen kann. Diese Thematik wird hier in Aluminium-Silizium-Gusslegierungen und an transparenten Modelllegierungen untersucht, wobei letztere eine direkte Beobachtung der Erstarrung erlauben. Die auf der ISS und auf Raketenflügen durchgeführten Experimente liefern eine wertvolle Datenbasis für die numerische Beschreibung dieses Erstarrungsphänomens. Strömung bei der Erstarrung von Metall-Legierungen verändert lokal die Elementverteilung in der Schmelze und somit das Gefüge. Bilden sich zusätzlich intermetallische Phasen, ist insbesondere entscheidend für die späteren Materialeigenschaften, wie diese im dendritischen Gefüge eingebaut werden. Durch vergleichende Experimente auf der ISS wurde gefunden, dass solche intermetallische Phasen in AlSiFe-Legierungen die Strömung deutlich verlangsamen können.
Die Realisierung von Erstarrungsexperimenten unter Schwerelosigkeit ist anspruchsvoll und aufwändig. Deshalb werden die hier genannten Fragestellungen nicht nur im Rahmen des Nationalen Programms sondern auch in internationalen Verbundprojekten (hier: ESA-MAPs CETSOL, MICAST und XRMON) arbeitsteilig von mehreren europäischen Partnern gemeinsam bearbeitet.

Session BW VIII: Astrobiologie Donnerstag 16.45 – 18.00

Einsatz von neuen antimikrobiellen Oberflächenbeschichtungen auf der ISS

Emanuel Clauß-Lendzian[1], Ankita Vaishampayan[2], Jan Kok[3], Anne de Jong[3], Carsten Meyer[4], Uwe Landau[4] and **Elisabeth Grohmann[2]**
1Infektiologie, Medizinische Klinik II, Universitätsklinikum Freiburg 2Life Sciences and Technology, Microbiology, Beuth Hochschule für Technik Berlin 3Department of Molecular Genetics, University of Groningen, the Netherlands 4Largentec GmbH, Berlin

Wir untersuchen den Langzeiteinsatz von neuartigen antimikrobiellen Oberflächenbeschichtungen auf Silber und Ruthenium Basis im Rahmen des BIORISK Experiments auf der ISS. Erste mikrobielle Daten zur Keimreduktion nach Exposition des antimikrobiellen Materials namens AGXX auf unterschiedlichen Trägermaterialien nach sechsmonatiger bzw. einjähriger Exposition auf der ISS haben auf beeindruckende Weise gezeigt, dass AGXX die Verkeimung und Biofilmbildung durch human pathogene Bakterien drastisch reduzieren kann und dass es wesentlich stärker bakterizid wirkt als konventionelle Silberbeschichtungen. Die Exposition der AGXX Oberflächen auf der ISS für eineinhalb Jahre dauert noch an. Eine Zusammenfassung der mikrobiologischen und molekularbiologischen Daten zu ausgewählten Krankheitserregern wird präsentiert und diskutiert werden.
Außerdem konnten wir in Zusammenarbeit mit der Universität Groningen und der Herstellerfirma der Oberflächenbeschichtungen erste interessante Daten zum Wirkmechanismus von AGXX erzielen. RNA Sequencing Daten zur molekularen Antwort der Krankheitserreger, *Enterococcus faecalis* und *Staphylococcus aureus*, auf den Kontakt mit AGXX sowie Studien zu den von AGXX freigesetzten Substanzen sprechen für einen synergistischen Wirkmechanismus, der durch die Freisetzung von reaktiven Sauerstoffspezies und geringen Mengen an Silber Ionen hervorgerufen wird.

Resistenz der Flechte *Xanthoria elegans* und ihrer Symbionten gegenüber extremen extra-terrestrischen Bedingungen: Weltraum und Mars-analoge Bedingungen auf der ISS (EXPOSE-E) und simulierte Weltraumstrahlung

Annette Brandt[1], Joachim Meeßen[1], Reiner U. Jänicke[2], Jean-Pierre de Vera[3], Silvano Onofri[4], **Sieglinde Ott[1]**
1Institut für Botanik, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (HHU) 2Molekulare Radioonkologie HHU, 3Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),4Università degli Studi della Tuscia, Viterbo, Italien

Über einen Zeitraum von 1,5 Jahre wurde die Flechte *Xanthoria elegans* im Lichen and Fungi Exposure Experiment (LIFE) außerhalb der Internationalen Raumstation (ISS) dem Einfluss des Weltraums und - als Teil des LIFE Experimentes - auch Mars-analogen Bedingungen ausgesetzt (de Vera 2008). Erstmalig wurde in diesem Projekt (BMWI 50W1216) untersucht, welchen Einfluß die abiotischen Faktoren, die bei der Langzeitexposition an der ISS wirken, auf einen symbiotischen Organismus und die Symbionten nehmen. Flechten sind Symbiosen aus Pilzen (Mycobiont) und autotrophen, einzelligen Algen (Photobiont, PB). Die Flechte *X. elegans* besiedelt weltweit u.a. (hoch-) alpine Lebensräume und ist somit an starke Lichteinstrahlung angepaßt. Zu den Besonderheiten der wechselfeuchten Flechten gehören die Fähigkeit zur Anhydrobiose (latentes Leben), als auch unterschiedliche anatomische und morphologische Schutzmechanismen gegenüber abiotischen Umweltfaktoren, die für *X. elegans* und weitere astrobiologische Modellorganismen charakterisiert wurden (Meeßen et al. 2013). Die Analyse der Stoffwechselaktivität der auf der ISS exponierten Proben erfolgte mit einer Fluoreszenzfärbemethode am konfokalen Laser-scanning Mikroskop (CLSM), wobei die Methode für Flechten modifiziert und etabliert wurde (Brandt et al. 2015). Photosyntheseaktivitäts-Messungen und die Kultur von aus der Flechte isolierten PB zeigten, daß die Algen nach der Langzeitexposition weiterhin wachstumsfähig waren, insbesondere nach der Exposition unter Mars-analogen Bedingungen. Ultrastrukturanalysen mit Transmissionselektronen- und Rasterelektronen –Mikroskopie ergaben, daß vornehmlich das lang anhaltende Vakuum die Zellintegrität gefährdet hat. Demgegenüber beeinflußte die hohe UV-Strahlung im *low-Earth-orbit* die Vitalität der intakten Flechte in diesen Experimenten nicht (Brandt et al. 2015b, *in review*). In Kooperation mit dem DLR Köln und dem HIMAC-Institut (Chiba, Japan) wurden u.a. *Xanthoria elegans* Proben (in anhydrobiotischem Zustand) mit hohen Dosen ionisierender Strahlung bestrahlt, um kosmische Strahlung jenseits des Erdmagnetschutzschildes zu simulieren und die Grenzen der Resistenz gegenüber akuten Dosen ionisierender Strahlung einzuschätzen (Brandt et al. 2015, *subm.*, Meeßen et al. 2015, *subm.*). Für X. elegans wurden ergänzend in Kooperation mit der Molekularen Radioonkologie, HHU Düsseldorf) Röntgenbestrahlungsexperimente mit aktivierten, feuchten Flechten durchgeführt. Der Vortrag faßt die Ergebnisse des Projektes zusammen, mit Blick auf die Resistenz von *X. elegans* gegenüber den experimentellen Bedingungen im *low-Earth-orbit*, bei Mars-analogen Bedingungen und hohen Dosen ionisierender Strahlung.

Der Effekt extraterrestrischer Stressoren auf die Vitalität der astrobiologischen Modellorganismen *Buellia frigida*, *Circinaria gyrosa* und deren isolierten Photobionten

Joachim Meeßen[1], Theresa Backhaus[1], Rosa de la Torre[2], Jean-Pierre de Vera[3], Sieglinde Ott[1]
1Institute für Botanik, Heinrich-Heine-Universität (HHU) Düsseldorf, 2Departamento de Observación de la Tierra, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA),Madrid, Spanien 3Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR),Berlin

Flechten stellen eine Symbiose aus einem Pilz (Mycobiont) und einer Grünalge (Photobiont) dar, die es beiden Symbionten erlaubt, auch die extremsten terrestrischen Lebensräume erfolgreich zu besiedeln. Daher werden Flechten als Modellorganismen für die Astrobiologie genutzt, um die Grenzen irdischen Lebens auszuloten. Vorangegangene Studien an Flechten demonstrierten eine hohe Vitabilität und ein hohes Resistenzpotential beider Symbionten nach Exposition gegenüber simulierten (de Vera et al. 2003, 2004a, 2004b, Sánchez et al. 2012, 2014) und realen Weltraumbedingungen. So überstand *Xanthoria elegans* eine 1,5-jährige Exposition unter Mars- - und Weltraumbedingungen außerhalb der ISS (LIFE on EXPOSE-E, Onofri et al. 2012, Brandt et al. 2015) während in einer Folgestudie *Buellia frigida* and *Circinaria gyrosa* vergleichbaren Bedingungen ausgesetzt sind (BIOMEX on EXPOSE-R2, Meeßen et al. 2015). Im Rahmen unseres BMWi-finanzierten Projektes (50W1153) wurde nicht nur das Weltraumexpositionsexperiment mit der Flechte *Buellia frigida* vorbereitet und durchgeführt. Vielmehr wurden verschiedene astrobiologisch relevante Flechten und ihre Symbionten eingehend charakterisiert, um Effekte und Schäden extraterrestrischer Stressoren auf diese Modellorganismen zu erforschen und das Ausmaß und die Mechanismen ihrer Resistenz zu bestimmen. Dazu wurden die morphologisch-anatomischen (Meeßen et al. 2013) und biochemischen (Meeßen et al. 2014a)

Merkmale der Flechten charakterisiert, sekundäre Flechteninhaltsstoffe auf ihre prinzipielle Eignung als Biomarker getestet (Böttger et al. 2014), die Resistenz der Photobionten gegenüber UVC-Strahlung innerhalb der Flechten (Sánchez et al. 2012, Sánchez et al. 2014) als auch im isolierten Zustand der Bionten untersucht (Meeßen et al. 2014b, Backhaus et al. 2014), die Wasseraufnahme- und Wasserhaltefähigkeiten unter Marsbedingungen ermittelt (Jänchen et al. 2015) und die Vitalität und die Schäden beider Symbionten in umfangreichen Simulationsexperimenten mit einzelnen als auch kombinierten Weltraum- und Marsparametern ermittelt (Meeßen et al. 2015). Ergänzende Studien charakterisieren zudem die Wirkung ionisierender Strahlung auf die Modellorganismen bzw. ihre Symbionten (Brandt et al. 2015, *subm.*, Meeßen et al. 2015, *subm.*). Der Vortrag gibt einen Überblick über die bereits gewonnenen Erkenntnisse und setzt sie in den Kontext bisheriger astrobiologischer Untersuchungen.

BOSS 1 - Das Überleben von *Deinococcus geothermalis* unter Weltraum- und Mars-ähnlichen Bedingungen - Auswirkungen der extraterrestrischen Strahlung

[1]Corinna Panitz, [2]Jan Frösler, [2]Hans-Curt Flemming, [2]Jost Wingender, [3]Petra Rettberg
1Uniklinik/RWTH Aachen, Institut für Pharmakologie und Toxikologie 2Universität Duisburg-Essen, Biofilm Centre, Arbeitskreis Aquatische Mikrobiologie 3Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Abteilung Strahlenbiologie, Köln

Auf der Erde wird heute in immer neuen extremen Standorten Leben entdeckt, in denen es noch vor wenigen Jahrzehnten für unmöglich gehalten wurde. In diesem Zusammenhang kann auch der Weltraum als ein weiteres außergewöhnliches Umfeld mit einer einzigartigen Mischung von Stress-faktoren, wie extraterrestrischer Strahlung und extremen Druck- und Temperaturverhätnissen, betrachtet werden. Im Weltraum und auf anderen Planeten nach dem Ursprung, der Evolution, der Verteilung und der Zukunft des Lebens zu suchen ist Mittelpunkt der astrobiologischen Forschung in dessen Rahmen auch das hier vorgestellte Weltraumexperiment **BOSS** (**B**iofilm **O**rganisms **S**urfing **S**pace) durchgeführt wird.
Das wesentliche Ziel des Vorhabens ist die vergleichende Untersuchung der unterschiedlichen Stressantworten des extrem widerstandsfähigen Mikroorganismus *Deinococcus geothermalis* in Abhängigkeit von seiner Lebensform. *Deinococcus* kann sowohl als einzelne Zelle (planktonischer Zustand), als auch in einem mikrobiellen Konsortium (Biofilm-Zustand) leben. Im Rahmen der seit Juli 2014 laufenden EXPOSE-R2 Mission wurden in mehreren vorbereitenden Versuchen in der Planeten- und Weltraumsimulationsanlagen des DLR in Köln alle auf der Erde simulierbaren, weltraumrelevanten Parameter einzeln oder in Kombination getestet. Neben der Stressantwort gegenüber Austrocknung, Vakuum oder Mars-Atmosphäre und Temperaturextremen ist die Resistenz gegenüber der extraterrestrischen Strahlung entscheidend für die Überlebensfähigkeit. Insgesamt zeigten beide Lebensformen eine fluenzabhängige Reduzierung der Kultivierbarkeit gegenüber UV-, Gamma-, und Röntgenstrahlung in Abhängigkeit der Lebensform, wobei die Biofilme den planktonischen Zellen meist überlegen waren. Neben der Kultivierbarkeit wurden mit Hilfe von randomly amplified polymorphic DNA –PCR (RAPD-PCR) und quantitative PCR (qPCR) Analysen Unterschiede in den an der DNA entstandenen Schäden näher untersucht.
Mit Spannung wird das Ende der EXPOSE-R2 Mission und die Rückkehr des BOSS Experiments aus dem Weltraum für Mai 2016 erwartete. Die Ergebnisse des BOSS Experiments werden zum generellen Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen des Lebens unter den extremen Umgebungsbe-dingungen des Weltraums oder dem Mars beitragen.

BOSS 2 - Das Überleben von *Deinococcus geothermalis* unter Weltraum- und Mars-ähnlichen Bedingungen - Toleranz gegenüber Austrocknung, Vakuum, Mars-Atmosphäre und Temperaturextremen

Jan Frösler[1], Jost Wingender[1], Hans-Curt Flemming[1], Corinna Panitz[2], Petra Rettberg[3]
1Universität Duisburg-Essen, Biofilm Centre, Arbeitskreis Aquatische Mikrobiologie, 2Uniklinik/RWTH Aachen, Institut für Pharmakologie und Toxikologie 3Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Abteilung Strahlenbiologie

Die Bildung von Biofilmen an Grenzflächen ist eine erfolgreiche Überlebensstrategie von Mikroorganismen. Im Gegensatz zu planktonisch lebenden Zellen sind Biofilm-Zellen in eine komplexe Matrix aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) eingebettet, die den Biofilm-Zellen Schutz vor schädlichen Umwelteinflüssen (z. B. periodischer Austrocknung) bietet und ihnen so ermöglicht, auch in extremen Habitaten zu überleben. Sowohl Weltraum als auch Mars weisen, bedingt durch die dort vorherrschenden Strahlungs-, Druck- und Temperaturextreme, lebensfeindliche Bedingungen auf. Im Projekt **BOSS** (**B**iofilm **O**rganisms **S**urfing **S**pace)

soll die Hypothese überprüft werden, dass Mikroorganismen für eine gewisse Zeit in diesen Habitaten überleben können, sofern sie als Biofilm organisiert und von einer schützenden EPS-Matrix umgeben sind.
Als Testorganismus wurde das strahlungs- und austrocknungsresistente Bakterium *Deinococcus geothermalis* ausgewählt. Biofilme und planktonische Zellen von *D. geothermalis* wurden verschiedenen Weltraum- bzw. Mars-relevanten Stressoren (Austrocknung, Vakuum/Mars-Atmosphäre, Temperaturextreme) ausgesetzt, und ihr Überleben anschließend anhand verschiedener Vitalitätsmarker ermittelt. Da Bakterien als Antwort auf Stress in einen Zustand übergehen können, in dem sie nicht mehr kultivierbar aber dennoch lebensfähig sind („viable but nonculturable"; VBNC), wurden neben dem kulturellen Nachweis auch kultivierungsunabhängige Vitalitätsparameter berücksichtig (Membranintegrität, Bildung von ATP, intakte 16S rRNA). *D. geothermalis* blieb unter allen Stress-Bedingungen für die maximale Untersuchungsdauer von 174 Tagen lebensfähig. Dabei zeigten Biofilme oft eine deutlich höhere Vitalität als planktonische Zellen. Die getesteten Druck- und Temperaturbedingungen beeinflussten die Vitalität von *D. geothermalis* nicht signifikant. Austrocknung bewirkte eine Reduzierung der Kultivierbarkeit, beeinflusste kultivierungsunabhängige Vitalitätsmarker aber nur in geringerem Maße. Proteine und Kohlenhydrate wurden als die Hauptbestandteile der EPS von *D. geothermalis*-Biofilmen identifiziert. Beide Stoffklassen können hygroskopisch sein und damit bei Austrocknung den Zellen als Wasserspeicher dienen.
Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bildung von Biofilmen mit einer schützenden EPS-Matrix und der Übergang in den VBNC-Zustand einen Vorteil für das Überleben von *D. geothermalis* bei Stress unter Weltraum- bzw. Mars-ähnlichen Bedingungen darstellt.

Session BW IX: Strahlenbiologie — Freitag 8.45 – 9.30

Die DOSIS und DOSIS3D Experimente auf der Internationalen Raumstation – Aktueller Status und neueste Daten von den Kieler DOSTEL Instrumenten

Sönke Burmeister
Universität Kiel

Neben den Auswirkungen der mangelnden Schwerkraft, den in begrenzten Räumen auftretenden psychologischen und psychosozialen Problemen ist die Kosmische Strahlung ein Hauptproblem bei bemannten Langzeitmissionen im Weltraum. Das Strahlungsfeld im Weltraum unterscheidet sich erheblich von der natürlichen Strahlungsumgebung bei uns auf der Erde. Es besteht hauptsächlich aus sehr energiereichen Ionen von Protonen bis hin zu vollständig ionisiertem Eisen. Dieses Feld führt bei längeren Aufenthalten im Weltraum zu deutlichen Überschreitungen der auf der Erde geltenden Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen. Aus diesem Grund ist es essentiell, die physikalischen Eigenschaften des Strahlungsfeldes in Abhängigkeit vom solaren Zyklus, von verschiedenen Abschirmungsbedingungen durch das Erdmagnetfeld sowie verschiedene Abschirmungen zu untersuchen.
Um sowohl die räumliche als auch die zeitliche Variation des Strahlungsfeldes innerhalb des COLUMBUS Moduls zu untersuchen, wurde im Juli 2009 unter der Leitung des DLR (Luft- und Raumfahrtmedizin, Dr. Thomas Berger) das DOSIS (Dose Distribution Inside the ISS) Experiment zur ISS gebracht. Es besteht aus einer Kombination aus passiven Detektor Paketen, die an elf verschiedenen Plätzen in COLUMBUS verteilt wurden sowie zwei aktiven Strahlungsdetektoren (Dosimetrie Teleskope DOSTELs) mit einer dazugehörigen Stromversorgungs- und Datenspeichereinheit (DDPU). Das Paket aus den zwei DOSTELs und der DDPU ist an einem festen Platz am EPM Rack befestigt. Das DOSIS Experiment lief von Juli 2009 bis Juni 2011. Nach Überarbeitung der Instrumente wurden die DOSTELs im Mai 2012 wieder aktiviert und liefern seitdem kontinuierlich Daten. Diese Daten, insbesondere die ermittelten Dosisleistungen, Aquivalentdosisleistungen und die dazugehörigen LET Spektren sollen hier präsentiert werden.

Einfluss ionisierender Strahlung auf die elektrophysiologischen Eigenschaften kardialer Zellen

J. L. Frieß[1], A. Heselich[2], S. Ritter[2], P. G. Layer[3] and **Christiane Thielemann[1]**
1University of Applied Sciences Aschaffenburg, biomems lab, 2GSI, Biophysics, Darmstadt; 3TU Darmstadt, Developmental Biology and Neurogenetics

Bei längeren interplanetaren Missionen sind gesundheitsschädigende Einflüsse von Weltraumstrahlung auf das kardiovaskuläre System der Astronauten nicht auszuschließen. So traten bereits verschiedene kardiale

Krankheiten wie ventrikuläre Arrhythmien, verfrühte atriale und ventrikuläre Kontraktion bei Astronauten auf. Die Effekte von Weltraumbedingungen auf das kardiovaskuläre System sind nicht vollständig verstanden und könnten aus einer Kombination aus Schwerionenstrahlung und anderer Stressoren resultieren, wie beispielsweise Mikrogravitation oder Stress.
Ziel unserer Arbeiten ist deshalb die Erforschung der Einflüsse ionisierender Strahlung auf die funktionalen Eigenschaften kardialer Zellen. Als ionisierende Strahlungen finden die dünn-ionisierende Röntgenstrahlung und die dicht-ionisierende Schwerionen-Strahlung Anwendung. Für die Experimente wurden zwei kardiale Zellsysteme verwendet, zum einen primäre Zellen, isoliert aus den Herzen von Hühnerembryonen und humane aus induzierten pluripotenten Stammzellen differenzierte (hiPSC-) Kardiomyozyten. Erstere zeichnen sich durch ihre einfache Handhabung, Zuverlässigkeit und Zugänglichkeit aus. Die humanen iPSC-Kardiomyozyten hingegen haben den Vorteil der Übertragbarkeit, denn in zahlreichen Studien wurde die Ähnlichkeit der induzierten Kardiomyozyten zu denen adulter Menschen beschrieben. Zur Untersuchung der Elektrophysiologie findet die Mikroelektroden-Array (MEA)-Technologie Verwendung. Die MEA-Technologie ist eine nicht-invasive Methode, die genutzt werden kann um die Rate und Form von Aktionspotentialen zu analysieren. Neben der Elektrophysiologie wurden ergänzend auch noch zelluläre Strahlenantworten wie DNA-Schäden und –Reparatur, Zellzyklusspropagation, die Entstehung von reaktiven Sauerstoffspezies und die Induktion von Apoptosen als strahlenbiologische Endpunkte untersucht. Zusätzlich zur Behandlung mit Röntgen- oder Schwerionenstrahlung werden die elektrophysiologischen Strahleneffekte auf Kardiomyozytennetzwerke in Kombination mit Pharmazeutika thematisiert. Hierbei werden zwei Stressoren gleichzeitig appliziert und deren Einfluss auf die Elektrophysiologie der Zellkulturen bestimmt.

Genauigkeit der DNA-Doppelstrangbruch-Reparatur, Manifestation von genetischen Instabilitäten und Krebsrisiko in bestrahlten humanen hämatopoetischen Stammzellen

Lisa Wiesmüller[1], Claudia Fournier[2], Gisela Taucher-Scholz[2] , Halvard Bönig[3]
1Universität Ulm, 2GSI Darmstadt, 3Deutsches Rotes Kreuz Frankfurt

Die zelluläre Strahlenantwort ist für den Strahlenschutz bei bemannten Raumfahrt-Missionen ein zentrales Thema, da Astronauten im Weltraum einer komplexen Mischung aus Hoch- und Niedrig-LET-Strahlentypen (hochenergetische Photonen, Neutronen und geladene Partikel wie Protonen, He-Ionen und schwere Ionen - HZE-Partikel) ausgesetzt sind. Unter Einsatz eines an der Univ. Ulm entwickelten Testsystems (Europäisches Patent EP1399576) sowie weiteren Methoden wie Chromosomenfärbung, Immunfluoreszenzmikroskopie, genomischer PCR und Proteinexpressionsanalyse in Kombination mit gezielter Geninaktivierung konnten wir in diesem DLR-Projekt (50WB1225) (i) Defekte in der Reparatur von Strahlenschäden im Genom von Stamm- und Vorläuferzellen des Blutes, also den Ursprungszellen von strahleninduzierter Leukämie, feststellen, und (ii) diese durch einen präzisen, pharmakologisch angreifbaren Mechanismus (PARP1-NFkB Signalkette) erklären. Unsere Versuche weisen weiter auf Unterschiede in der destabilisierenden Wirkung von Photonen- und Schwerionenstrahlung hin, die in Bezug auf Rearrangements in der sogenannten *MLL*-Bruchpunktregion des menschlichen Genoms untersucht wurden (Kraft, Rall, Volcic et al. 2015. Leukemia; Rall, Kraft et al. Manuskript in Vorbereitung). Der einmalige Zusammenschluss von Forschern aus der DNA-Reparatur-Forschung (Univ. Ulm), Spezialisten für Photonen- und Schwerionen-Strahlung (GSI Darmstadt) und Experten für menschliche HSPC (Deutsches Rotes Kreuz, Frankfurt) ermöglichte es hier ganz neue und für den Menschen im Weltall wie auch Krebspatienten in Schwerionentherapie wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Unsere Ergebnisse liefern erstmalig konkrete Hinweise auf molekulare Zielstrukturen, die an der Destabilisierung des Genoms nach Strahlung in den Ursprungszellen der strahleninduzierten Leukämie beim Menschen ursächlich beteiligt sind. Um Astronauten im Weltall vor diesen strahleninduzierten Leukämien schützen zu können, müssten Aktivatoren des betroffenen DNA-Reparaturwegs oder Inhibitoren der Leukämie verursachenden Rearrangements gefunden werden. Da wir geeignete Tests entwickelt haben, die es erlauben exakt diese Prozesse automatisiert zu messen, besteht die Möglichkeit in zukünftigen Projekten durch Screening ganzer Substanzbanken Stoffe zu identifizieren, die die schädliche Wirkung der Strahlung abschwächen können. Tatsächlich konnten wir in noch unpublizierten Arbeiten bereits Belege für die Tragfähigkeit dieses Konzeptes liefern.

Globale Genexpression und morphologische Analyse im Skelettmuskel von Mäusen nach 30 Tagen in einem Biosatelliten (BION-M1 Experiment)

Guido Gambara[1,2], Michele Salanova [1,2], Hanns-Christian Gunga[2], Ute Ungethüm[3] und Dieter Blottner [1,2]
Charité Berlin, AG Neuromuskuläres System,1 ZWMB,2 LFGC3

Hintergrund Der Einfluss der Schwerelosigkeit auf die Genexpression von höheren Wirbeltieren wird gegenwärtige intensiv erforscht. Eine veränderte muskelspezifische Genexpression von Mäusen in längerer Schwerelosigkeit ist bisher noch nicht dokumentiert. Hiermit können wichtige Eckdaten zur Klärung über die Bedeutung gravitationsdbedingter Kräfte auf den Skelettmuskel insbesondere bezüglich der mikrogravitations-bedingten Muskelatrophie für spätere Vergleichsuntersuchungen an Astronauten nach längerem Aufenthalt im Weltraum herangezogen werden. **Studienhypothese** Die globale Genexpression im Skelettmuskel von Mäusen in Schwerelosigkeit ist in zwei Referenzmuskeln der Hinterpfote (*Soleus* vs. *Extensor digitorum longus)* gegenüber Bodenkontrollen signifikant verändert. **Methoden** Im Rahmen der BION-M1 Mission (April 19 - Mai 19, 2013) der russischen Raumfahrtbehörde wurden C57/bl6 Mäuse für 30 Tage mit einem Biosatelliten in einem speziellen automatisierten Mäusehabitat in einer Erdumlaufbahn von ca. 550km (*near orbit*) verbracht. Nach Rückkehr zur Erde haben wir diverse Muskelproben (aus Hinterpfote, Rumpf, Zunge) von n=5 BION Mäusen (BF=*BION flight*) sowie von zwei Labor-Kontrollgruppen (FC=*flight control, d.h.* Standardkäfighaltung; BG=*BION ground, d.h.* Mäuse im BION Modul am Boden, beide n=6) morphologisch und mit Hilfe einer globalen Genexpressionsanalyse über die *Microarray Chip Technology* (Affimetrix *mouse 430A*) und *functional enrichment* (Genfamilien) analysiert. **Ergebnisse** Morphologisch wurde die Reduktion von Faserdurchmesser und Fasertypentransformation (langsam -> schnell) im SOL der BF vs. BG Mäusen und in weiteren Muskelspezies dokumentiert. Eine deutlich erhöhte Anzahl von Gentranskripten wurde im SOL gegenüber einer deutlich geringen Anzahl von Gentranskripten im EDL in BF vs. BG Mäusen gefunden. Im SOL von BF-Mäusen betraf dies insbesondere Transkripte von Strukturgenen (kontraktiler Apparat), Metabolismus, Entzündungsreaktionen und Stressreaktion. **Schlussfolgerung und Ausblick** Längere Schwerelosigkeit (30 Tage) führt bei Mäusen zu signifikant abweichender Expression muskelspezifischer Gentranskripte im atrophen Muskel gegenüber Bodenkontrollen, die der Aufrechterhaltung der normalen Muskelqualität auf der Erde dienen. Zukünftige Studien müssen zeigen, ob diese Fehlanpassungen durch geeignete Gegenmaßnahmen z.B. optimiertes Astronautentraining abgeschwächt werden. **Sponsor** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR e.V.), FKZ: 50WB1121 / 1421 (PI Blottner), mit operationaler Unterstützung durch das IBMP (Prof. B. Shenkman), Moskau, Russland.

Ein innovatives myometrisches Messgerät zur nicht-invasiven Bestimmung der neuromuskulären Fitness von Astronauten (MYOTON-PRO) ILSRA-2014-015

Dieter Blottner[1], Hanns-Christian Gunga[1], Stefan Schneider,[2] Maria Stokes,[3] Michele Salanova,[1] Aleko Peipsi[4]
Charité Berlin und ZWMB,1 DSHS Köln,2 Univ. Southhampton U.K.,3 Myoton AS, Estland4

Hintergrund Die strukturellen und biomechanischen Eigenschaften des skelettmuskulären Bewegungsapparates und seiner speziellen Hilfsstrukturen wie Faszien, Sehnen und Entheseorgane (myofaszialer Hilfsapparat) sind Gegenstand aktueller Forschung im Labor und Klinik. Bis dato wird der u.a. neuromuskulär kontrollierte Tonus (Gewebespannung) von biologischen Weichgeweben durch subjektive Palpation oder mittels aufwendiger stationärer Laborgeräte ermittelt. Der Einfluss der Mikrogravitation auf den myofaszialen Hilfsapparat des Menschen konnte daher bisher nicht bei längerer Schwerelosigkeit untersucht werden. Die Entwicklung eines neuen mobilen und handlichen Messgerätes MyotonPRO ermöglicht die digitale Palpation biologischer Weichgewebe des Menschen. Dieses nicht-invasive objektive myometrische Messprinzip erzeugte nach erster praktischen Anwendung valide und reliable Datensätze exemplarisch ausgesuchter Messpunkte (Muskeln und Sehne) gesunder Probanden im Parabelflug (ESA 55th und 57th PF, 2011, 2012) als auch an der Muskulatur des erkrankten Bewegungssystems in Klinik und Rehabilitation. **Studienhypothese** Längere Schwerelosigkeit führt zu messbaren Veränderungen biomechanischer Parameter der Muskulatur, Sehnen und Faszienstrukturen des menschlichen Körpers. Mit der mobilen MyotonPRO Technologie können spezifische Parameter (Tonus, Steifigkeit, Elastizität) objektiv gemessen und damit der Fitnessstatus von Astronauten bei Weltraumflügen noch effektiver dokumentiert werden. **Methoden** Myometrische Messungen ausgewählter Messpunkte des Körpers (Muskeln, Faszien und Sehnen der oberen, unteren Körperregion und Rücken) werden mit der MyotonPro

Technologie an Crewmitgliedern vor, während (gegenseitig) und nach einem Weltraumflug unter standardisierten Bedingungen (z.B. Position d. Gelenkstellung) durchgeführt. Mögliche Dimensionsunterschiede des subkutanen Gewebes werden nach durch lokale Ultraschalluntersuchungen zusätzlich abgeklärt. Ausgewählte Biomarker-Analysen (Blutproben) sollen die Befunde biochemisch untermauern. **Erwartbare Ergebnisse und Ausblick** Längere Schwerelosigkeit kann zu mikrogravitations-bedingten Abweichungen biomechanischer Parameter myofaszialer Strukturen führen, die für die spürbaren Bewegungseinschränkungen (z.B. erhöhte Muskelspannung, Steifigkeit und Elastizität) von Astronauten nach längerem Aufenthalt auf der ISS wesentlich beitragen, aber bisher nur wenig Beachtung fanden. Die **MyotonPRO** Technologie könnte sich als ein relativ einfach anzuwendendes myometrisches Verfahren zur Kontrolle funktionell bedeutsamer Schlüsselparameter des Bewegungsapparates bei Weltraumflügen erweisen und die bisher routinemäßig eingesetzten körperlichen Fitnesskontrollsysteme vor, während und nach Flug sinnvoll ergänzen. **Sponsor** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR e.V.), ILSRA-2014-015 (PI Blottner), AZA in Vorbereitung.

Schwerelosigkeit induzierte Genexpression in einem Nerven-Muskel-Co-Kultursystem (NEMUCO) - ILSRA-2014-040

Michele Salanova,[1,2] Guido Gambara,[1,2] Hanns-Christian Gunga[2] and Dieter Blottner[1,2]
Charité Universitätsmedizin Berlin, AG Neuromuskuläres System,1 ZWMB2

Hintergrund: Nur wenige experimentelle Studien existieren bisher in der Literatur über die Anpassungmechanismen der neuromuskulären Synapse (NS) unter Weltraumbedingungen. Neuere *in Vivo* Untersuchungen hierzu wurden in Skelettmuskelbiopsien freiwilliger Probanden in Langzeit-Bettruhestudien (60 Tage) sowie an Muskulatur der Hinterpfote nach proximaler Ischiasnerven-Durchtrennung (Ratte, Maus) publiziert. Die genauen Mechanismen spezifischer Signalkaskaden und deren spezielle Synapsenmoleküle an der neuromuskulären Endplatte bleiben möglicherweise durch die vorhandenen Gravitationskräfte auf der Erde maskiert und konnten deshalb bisher im Laborexperiment weder in Vivo noch in Vitro hinreichend erforscht werden. Die wissenschaftliche Analyse von sich entwickelnden Nerven-Muskel-Kontakten in der Zellkultur in Schwerelosigkeit könnte bisher völlig unerwartete und damit neue Hinweise über die Bildung von Synapsenkontakten zwischen Motoneuronen und seinen Skelettmuskelfasern führen, die zur weiteren Aufklärung über die Rolle der differentiellen Genexpression für synapsenspezifischer Signale beitragen.
Studienhypothese: Die Aussprossung von Axonen motorischer Neuronen in Nerven-Muskelzell-Ko-Kulturen bzw. reguläre Differenzierung synaptischer Membranaggregate an isolierten Skelettmuskelfasern wird durch Schwerelosigkeit massgeblich beeinflusst. **Methoden:** Zwei in vitro-Modelle werden auf die Internationale Raumstation (ISS) in einem modifizierten vorhandenen Zellkulturmodul geschickt: **1.** Co-Kultursystem: differenzieren sich Nerven- und Muskelzellen in vitro bis neuronale Kontakte an den Myotuben (zelluläre Vorstufen von Muskelfasern) wie im Labor ? **2.** Primäre Muskelfaserkulturen (ohne Neurone), führt das Synapsen-Induktorprotein Agrin zur Ausbildung synapsenähnlicher Membranaggregation an isolierten Skelettmuskelfasern (Maus) wie im Labor ?. Analysentechniken: Hochauflösende Laser-Mikroskopie (Nachweis synaptischer Biomarker) und Microarray (Genanalysen). **Erwartete Ergebnisse und Ausblick:** Das **NEMUCO** Experiment auf der ISS ermöglich uns erstmalig die Identifizierung von µG-induzierten spezifischen Genen für die Bildung und Stabilisierung neuromuskulärer Synapsenstrukturen. Dies könnte neben dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn auch zu bisher nicht erforschten Mechanismen möglicher Störungen des neuromuskulären Systems durch Schwerelosigkeit führen, die zu einem noch besseren Verständnis über die Ursachen der eingeschränkten Kontrolle der normalen Bewegungskoordination als Folge der bekannten µG-induzierten Muskelatrophie mit Muskelschwäche nach längerem Aufenthalt in Schwerelosigkeit führen könnten. **Sponsor:** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.), (PI Salanova), AZA in Vorbereitung.

Der Effekt von Immobilisation durch Bettruhe in 6°-Kopftieflage auf den Metabolismus des Gelenkknorpels

Anna Maria Liphardt[1,2]**,** N Hamann[1], F Zaucke[3,11], F Eckstein[4,5], W Bloch[6], A Mündermann[7], S Koo[8], TP Andriacchi[9], J Mester[10], GP Brüggemann[1,11], A Niehoff[1,11]
1 Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln, 2 Medizinische Klinik 3 – Rheumatologie und Immunologie, Universität Erlangen-Nürnberg, 3 Zentrum für Biochemie, Medizinische Fakultät, Universität zu Köln, 4 Institut für Anatomie, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg, Österreich 5 Chondrometrics GmbH, Ainring 6 Institut Kreislaufforschung und Sportmedizin, Abteilung für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin, Deutsche

Sporthochschule Köln 7 Orthopädische Klinik, Universitätsspital Basel, Schweiz 8 School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Südkorea 9Stanford University, Department of Mechanical Engineering, USA 10 Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln 11 Cologne Center for Musculoskeletal Biomechanics (CCMB), Medizinische Fakultät, Universität zu Köln

Gelenkknorpel ist ein avaskuläres, aneurales und alymphatische Gewebe, das nur eine sehr geringe Regenerationskapazität besitzt. Für die Gesundheit und den Erhalt des Gelenkknorpels ist mechanische Belastung essentiell. Bis heute ist jedoch nicht bekannt, welche Auswirkungen Immobilisation auf den Gelenkknorpel von gesunden Menschen hat. Eine geeignete Methode, um das Gleichgewicht des Knorpelstoffwechsels *in vivo* im Menschen zu untersuchen, ist die Bestimmung von Biomarkern in Blut oder Urin, die Umbauprozesse im Gelenkknorpel beschreiben. Ziel mehrerer Studien war es, den Effekt von 5- oder 21-tägiger Immobilisation durch Bettruhe in 6°-Kopftieflage auf den Metabolismus des Gelenkknorpels in gesunden männlichen Probanden zu untersuchen. Des Weiteren wurde die Reaktion des Knorpelstoffwechsels auf unterschiedliche Ernährungs- und Trainings-Countermeasures beobachtet. In Serum und Urin konnten Veränderungen in den Konzentrationen der Biomarker als Reaktion auf Immobilisation durch Bettruhe gemessen werden. Die Immobilisation führte zu Umbauprozessen im Gelenkknorpel, die auf eine Degeneration des Gewebes hinweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass Gelenkknorpel in gesunden Probanden sensitiv auf eine reduzierte mechanische Belastung reagiert und dass Immobilisation katabole Prozesse im Gelenkknorpel initiiert. Diese Ergebnisse sind wichtig für ein besseres Verständnis der Anpassungsprozesse im Knorpel an Immobilisation, was wiederum eine hohe Relevanz für die Risikoabschätzung der Gelenkgesundheit bei Langzeit-Raumflug hat. Essentiell sind diese Studien auch für ein besseres Verständnis der Entstehung und des Krankheitsverlaufs degenerativer Gelenkserkrankungen wie der Osteoarthrose, sowie der Rolle von Immobilisation im Krankheitsverlauf.

Der Effekt von Mikrogravitation auf den Metabolismus des Gelenkknorpels

Anja Niehoff[1,2], N Hamann[1], F Zaucke[2,3], F Eckstein[4,5], W Bloch[6], A Mündermann[7], S Koo[8], J Mester[9], G-P Brüggemann[1,2], A-M Liphardt[1,10]

1 Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln 2 Cologne Center for Musculoskeletal Biomechanics (CCMB), Medizinische Fakultät, Universität zu Köln 3 Zentrum für Biochemie, Medizinische Fakultät, Universität zu Köln 4 Institut für Anatomie, Paracelsus Medizinische Privatuniversität, Salzburg, Österreich 5 Chondrometrics GmbH, Ainring 6 Institut Kreislaufforschung und Sportmedizin, Abteilung für Molekulare und Zelluläre Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln 7 Orthopädische Klinik, Universitätsspital Basel, Schweiz 8 Institut für Trainingswissenschaft und Sportinformatik, Deutsche Sporthochschule Köln 9 School of Mechanical Engineering, Chung-Ang University, Seoul, Südkorea 10 Medizinische Klinik 3 – Rheumatologie und Immunologie, Universität Erlangen-Nürnberg

Gelenkknorpel ist ein braditrophes Gewebe, das nur eine sehr geringe Regenerationskapazität besitzt. Für die Gesundheit und den Erhalt des Gelenkknorpels ist mechanische Belastung essentiell und Studien an Patienten haben gezeigt, dass mehrmonatige Entlastung und Immobilisation des Kniegelenks zu Degenerationsprozessen am Gelenk führt. Bis heute ist nicht bekannt, welche Auswirkungen Immobilisation durch Mikrogravitation während eines Aufenthalts auf der ISS auf den Gelenkknorpel von gesunden Menschen hat. Durch die Bestimmung von Biomarkern in Blut oder Urin lassen sich katabole und anabole Umbauprozesse des Knorpels *in vivo* im Menschen untersuchen. Ziel dieser Studie ist es, den Effekt eines 5-6 monatigen Aufenthalts in Mikrogravitation auf den Metabolismus des Gelenkknorpels zu untersuchen. Dazu wurden vor und zu mehreren Zeitpunkten nach Aufenthalt auf der ISS Urin- und Blutproben von Astronauten gesammelt. Erste Auswertungen zeigen, dass ein mehrmonatiger Aufenthalt in Mikrogravitation trotz der derzeit durchgeführten Trainingsmaßnahmen zu Veränderungen in den Stoffwechselprozessen des Gelenkknorpels führt, die auf eine Degeneration des Gewebes hinweisen. Die Ergebnisse zeigen, dass Gelenkknorpel sensitiv auf die reduzierte mechanische Belastung reagiert und dass Immobilisation durch Mikrogravitation katabole Prozesse im Gelenkknorpel initiiert. Dabei sind die messbaren Veränderungen nicht immer vergleichbar mit den Ergebnissen aus Bettruhestudien und die interindividuellen Unterschiede sind zum Teil sehr groß. Dies ist die erste Studie *in vivo* im Menschen, die den Effekt von Mikrogravitation auf Gelenkknorpelgesundheit untersucht und wertvolle Informationen zum Metabolismus des Gewebes unter diesen Bedingungen gibt. Die Studie ist wichtig, um das Risiko von Gelenksdegeneration auf Langzeitmissionen im Rahmen der bemannten Raumfahrt besser einzugrenzen. Forschung in Mikrogravitation bietet hier aber auch ein einmaliges Modell, um die isolierten Auswirkungen von Immobilisation im gesunden Probanden auf die Gelenkgesundheit zu untersuchen.

Präzisionsmessungen thermophysikalischer Daten metallischer Schmelzen zur Modellierung industrieller Gieß- und Erstarrungsprozesse

Hans Fecht und Rainer Wunderlich
Universität Ulm, Institut für Mikro- und Nanomaterialien

Das Projekt THERMOLAB basiert auf den beiden ESA-Projekten **ThermoLab-ISS** und **ThermoProp**. Die Experimentdurchführung und -analyse erfolgt in einem hochkompetenten internationalen Team bestehend aus 25 Arbeitsgruppen in Deutschland (Koordination), Frankreich, Italien, UK, Schweiz, Japan, USA, Kanada, China und Indien, sowie einer Reihe von namhaften Industrieunternehmen.
Während im Vorhaben ThermoLab-ISS die Experimente an einer Reihe von generischen binären, ternären und komplexen glasbildenden Legierungen grundlegender Natur durchgeführt werden, ist das Projekt ThermoProp auf Messungen an industriell relevanten Legierungen mit vorwettbewerblichem Charakter fokussiert. Dies sind z.B. hochfeste Stahlsorten im Automobilsektor, Hochtemperaturwerkstoffe auf Ni- und Ti-Basis für hochbelastbare Turbinen mit höherer Energieeffizienz oder auch neuartige intermetallische Verbindungen.
Das wesentliche Ziel des Vorhabens ist die Messung der für den Wärme- und Stofftransport wichtigen thermophysikalischen Größen von Metallschmelzen mit bislang unbekannter Präzision. Wegen der hohen chemischen Reaktivität von Metallschmelzen in der flüssigen Phase im Temperaturbereich zwischen 700 und 2200 ^{0}C werden diese Messungen unter kontaktfreién Bedingungen in einer elektromagnetischen Levitationsanlage (TEMPUS für Parabel- und Texusflüge und MSL-EML für ISS) durchgeführt. Zudem werden neue hochpräzise Meßmethoden und die entsprechenden theroretischen Grundlagen (AC Kalorimetrie zur Messung der spezifischen Wärme, Wärmeleitfähigkeit, Emissivität und Wärmetönungen bei Phasenübergängen, sowie optische Methoden zur Messung der Oberflächenspannung, Viskosität, Dichte und CTE) in dem internationalen Team entwickelt. Damit wird ein komplettes Set von zehn verschiedenen thermophysikalischen Oberflächen- und Volumeneigenschaften erhalten, welches den Wärme- und Stofftransport auch unter Einfluß von variablen Magnetfeldern (stationäre / turbulente Strömung) für die ausgewählten Probensysteme über große Temperaturintervalle bis in den Bereich der unterkühlten Schmelze vollständig beschreibt. Das Projekt wird unterstützt durch DLR und ESA, sowie NASA, JAXA, CNES, SSO und CSA für die Arbeiten auf der ISS.

NEQUISOL: Präzise Messungen dendritischer Wachstumsgeschwindigkeiten in unterkühlten Al-Ni Schmelzen auf der Internationalen Raumstation

Dieter Herlach
Ruhr-Universität Bochum, Institut für Experimentalphysik IV

Das Projekt NEQUISOL bedeutet NON-EQUILIBRIUM SOLIDIFICATION, MODELLING FOR MICROSTRUCTURAL ENIGINEERING OF INDUSTRIAL ALLOYS. Es wird durch die ESA als Microgravity Application Project (MAP) Projekt unterstützt und gefördert. Gleichzeitig werden die begleitenden terrestrischen Referenzexperimente und Untersuchungen von deutscher Seite durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert. Das internationale Forscherteam setzt sich aus Wissenschaftlern aus Frankreich, Kanada, Großbritannien, Spanien, den Niederlanden und Deutschland zusammen. Ziel dieses Projektes ist es die Kinetik des dendritischen Wachstums in unterkühlten Schmelzen der in Luft- und Raumfahrt wichtigen Werkstoffe auf Al-Ni Basis zu vermessen. Das dendritische Wachstum steuert die Mikrostrukturentwicklung aus dem flüssigen Zustand der Schmelze. Da die Mikrostruktur die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Erstarrungsprodukts vorgibt, bietet die Vermessung der dendritischen Wachstumsgeschwindigkeiten ein wirkungsvolles Instrument den Herstellungsprozess durch Computer-Unterstützte Modellierung effektiv zu optimieren. Wird die Schmelze vor der Erstarrung unterkühlt, so entsteht eine unterkühlte Schmelze. Dies ist ein metastabiler Zustand der flüssigen Phase der das Potential zur Herstellung neuartiger metastabiler Werkstoffe mit spezifischen Eigenschaften in sich birgt. Die präzise Vermessung der dendritischen Wachstumsgeschwindigkeiten in der unterkühlten Schmelze erfolgt mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera, die die rasche Propagation der Erstarrungsfront an flüssigen Metalltropfen vermisst. Die Proben werden mittels der Elektro-Magnetischen Levitation berührungsfrei erschmolzen und unterkühlt. Dieses Verfahren bietet entscheidende Vorteile: Zum Einen wird eine heterogene Keimbildung an Tiegelwänden vollständig ausgeschaltet so dass ein weiter Bereich von Unterkühlungstemperaturen erreichbar wird. Zum Anderen bietet ein frei suspendierter Schmelztropfen den zusätzlichen Vorteil, dass dessen Eigenschaften und Erstarrung der externem Diagnostik zugänglich ist, ohne dass Reaktionen an Tiegelwänden die Vermessung der Eigenschaften und der Erstarrungskinetik behindern bzw. verfälschen. Das elektro-magnetische Levitieren auf der Erde erfordert starke elektromagnetische Felder die ihrerseits zur forcierten

Konvektion in der Schmelze führen und daher die Erstarrungskinetik beeinflussen können. In reduzierter Schwerkraft sind die elektro-magnetischen Felder zur Positionierung einer Probe um etwa drei Größenordnungen geringer so dass durch vergleichende Experimente auf der Erde und im Weltraum der Einfluss der Konvektion als neuer Experimentparameter in der kontrollierten Erstarrung der direkten Untersuchung zugänglich wird. Im vorliegenden Beitrag wird das Verfahren der elektromagnetischen Levitation auf der Erde und im Weltraum vorgestellt. Dieses Verfahren wurde im Institut für Materialphysik im Weltraum (früher Institut für Raumsimulation) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelt. Besonders ein neues Konzept unter Verwendung zweier überlagerter Positionier- und Heizfelder ermöglicht in der Weltraumanlage unabhängiges Heizen und Positionieren und führt zu einer Vergrößerung des Wirkungsgrades von ca. 1% bei konventionellen Laboranlagen auf ca. 30 % Effizienz in der Weltraumanlage [1], eine notwendige Voraussetzung für Experimente in Weltraum Missionen mit ihren beschränkten Energieressourcen. Es werden exemplarische Messungen zur dendritischen Erstarrungskinetik in unterkühlten Al-Ni Schmelzen vorgestellt, die einerseits die Relevanz der Weltraumexperimente zeigen, und andererseits ein vollständig unerwartetes Ergebnis zur Erstarrungskinetik Al-reicher Al-Ni Legierungen aufweisen, dessen physikalischer Ursprung mittels der Weltraumexperimente untersucht wird.

Untersuchungen an Silizium-Germanium-Schmelzen unter Weltraumbedingungen

Yuansu Luo, Bernd Damaschke und Konrad Samwer
I. Physikalisches Institut, Universität Göttingen

Im Rahmen des ESA-Projekts „SEMITHERM“ werden die thermischen Eigenschaften von Si-Ge Schmelzen an Bord der Raumstation ISS im elektromagnetischen Levitator (MSL-EML) berührungslos untersucht. Die Materialien Si und Ge sind die bekanntesten und wichtigsten Halbleiter für die moderne Elektronik. Ihre Legierungen weisen zusätzlich eine anpassungsfähige Bandlücke auf und sind deshalb sehr flexibel einsatzbar. Der EML basiert auf der elektromagnetischen Kopplung von elektrisch leitfähigen Proben mit einem hochfrequenten Spulensystem. Die Prozessierbarkeit von halbleitenden Materialien war wegen der geringen elektrischen Leitfähigkeit eine große Herausforderung, welche durch den Einsatz von hochdotierten Halbleitern gemeistert werden konnte. In Parabelflugexperimenten konnten die temperaturabhängigen Volumina und die Wärmeausdehnung der Schmelze mittels digitaler Bildverarbeitung bestimmt werden. Die Viskosität und die Oberflächenspannung der Schmelze wurden mittels Tropfen-Oszillations-Methode bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Für die Schmelze des Si-Ge-Systems wurde theoretisch ein flüssig-flüssig Phasenübergang vorhergesagt, der jedoch bisher experimentell nicht nachgewiesen werden konnte. Die in diesem Projekt geplanten Präzisionsmessungen auf der ISS sollen diesen wissenschaftlichen Disput im zugänglichen Temperaturbereich klären. Wir danken dem DLR in Bonn für finanzielle Unterstützung (50WM1036) und dem MUSC Team des DLR in Köhn für die Hilfe bei Parabelflugexperimenten.

Metastable phase formation in peritectic systems under terrestrial and microgravity conditions (PARMAG)

Olga Shuleshova[1*], Thomas Volkmann[2], Christian Karrasch[2,4], Douglas Matson[3], Wolfgang Löser[5]
1Institute for Complex Materials, IFW Dresden 2 Institute of Materials Physics in Space, German Aerospace Center 3 Institute of Experimental Physics, Ruhr University of Bochum 4 Department of Mechanical Engineering, Tufts University, USA 5 Institute for Solid State Research, IFW Dresden

Metastable phase formation from an undercooled melt is often found in metallic alloy systems with peritectic type of solidification. It is known that this process is strongly affected by the convection in the liquid. To attain different levels of melt flow under terrestrial conditions containerless techniques, such as electromagnetic and electrostatic levitation, EML and ESL, respectively, are employed. Furthermore, to minimize the melt flow the EML facility (TEMPUS) has been adopted for microgravity experiments during parabolic flight campaigns. The Materials Science Laboratory Electromagnetic Levitator (MSL-EML), recently installed on the board of ISS, is aiming to add to these studies providing access to a predefined level of convection within the liquid. The upcoming on-orbit experiments under the projects MAGNEPHAS, PARSEC, and ELFSTONE are focused on the industrially relevant Fe-Co, Fe-Ni, and Ti-Al peritectic alloys. Current state of these projects is presented. It includes the survey of the up to day knowledge on transient formation of metastable phases from an undercooled melt in these systems, comparison of the phase selection observed with EML and ESL methods in contrast to the parabolic flight results, and analysis of the growth kinetics of stable phase and its metastable counterpart at

different levels of melt undercooling. The authors would like to acknowledge the financial support from the DLR Space Administration, Bonn, Germany (PARMAG, contract no. 50WM1546), the ESA in the frame of the projects MAGNEPHAS (contract no. 4200014980) and PARSEC, and the NASA in the frame of ELFSTONE project (NASA grant NNX14AB74G).

Session MW VIII: Kosmischer Staub und Granulare Materie Freitag 9.45

Astrophysikalische und planetologische Experimente unter realistischen Bedingungen

Jürgen Blum, Rainer Schräpler, Ingo von Borstel, René Weidling, Aljoscha Dolff
Technische Universität Braunschweig

Durch die Förderung des DLR konnten wir in den letzten Jahren nicht nur die vielfältigen Möglichkeiten des Fallturms Bremen und der Parabelflüge in Bordeaux nutzen, sondern auch eigene Aufbauten zu Kurzzeit-Experimenten unter reduzierten und erhöhten Schwerkraftbedingungen entwickeln. Neben einem Laborfallturm, in dem wir Stoßexperimente bei extrem kleinen Geschwindigkeiten durchführen können, betreiben wir mittlerweile eine elektromagnetische Schiene für Experimente im Beschleunigungsbereich zwischen 0 und etwa 20 m/s^2. Darüber hinaus sind wir Pioniere im Bereich der Nutzung kommerzieller Raketen für längere Schwerelosigkeitsphasen von bis zu drei Minuten Dauer. Unsere mit diesen Methoden durchgeführten Experimente befassen sich mit den Themen der Schichtung und Größenseparation von Regolith auf planetaren Körpern, mit der Bildung der ersten festen Körper im jungen Sonnensystem sowie mit fundamentalen Prozessen der Stoßphysik. Der Vortrag soll einen Überblick über die verwendeten Methoden sowie einen Einblick in die Themen der Forschung unserer Arbeitsgruppe an der TU Braunschweig gewähren.

Regolithschichten des Mars und planetarer Körper als natürliche Niederdruck-Gaspumpen im Mikrogravitationsexperiment

Mathias Schywek, G. Wurm, C. de Beule, J. Teiser
Universität Duisburg-Essen

Der Mars ist zu großen Teilen von Regolith bedeckt. Beobachtungen durch Raumsonden und Robotern auf der Marsoberfläche zeigen eine hohe Staubaktivität an der Oberfläche und in der Atmosphäre. Diese reicht von lokalen Ereignissen (z.B. Staubteufel) [1] bis hin zu globalen Staubstürmen [2].
Der Grund für die Bewegung der Staubpartikel auf der Marsoberfläche ist immer noch ungeklärt. Windgeschwindigkeiten sind in der Regel nicht schnell genug um Staubpartikel auf einer Oberfläche mit Niederdruck (2 – 6 mbar) anzuheben. Ein wichtiger unbeachteter Effekt ist möglicherweise ein Gasfluss innerhalb der Oberfläche, der entsteht sobald bei niedrigem Gasdruck ein Temperaturgradient an ein poröses Medium angelegt wird. Fallturmexperimente im Rahmen des DLR-Projekts 50WM1242 (EULE) [3] zeigten, dass lichtinduzierte Temperaturgradienten stark genug sind Partikel von der Oberfläche zu lösen und Gasströmungen von ca. 1 cm/s innerhalb des Regolith erzeugen.
Das Ziel des Vorhabens MAREG (50WM1542) ist es, diesen Gasfluss besser zu quantifizieren. Dabei geht es vor allem um die Massentransportraten und um die Strömungsgeschwindigkeiten. Im Rahmen einer Parabelflugkampagne konnten dabei erste Geschwindigkeiten und ihre Abhängigkeit vom Druck und von der Gasart gemessen werden (in Arbeit). Weitere Fallturmexperimente dienen dazu den Einfluss der Porengeometrie auf die Gasströmung zu studieren. Literatur: [1] Reiß, D. et al. 2011, Icarus, 215, 358-369. [2] Shirley, J.H., Icarus, Volume 251,
p. 128-144. [3] de Beule, C. et al. 2014, Nature Physics, Volume 10, Issue 1, pp. 17-20.

Partikeltransport im frühen Sonnensystem durch Photophorese

Jens Teiser, G. Wurm, C. de Beule, M. Küpper, M. Schywek
Universität Duisburg-Essen

Untersuchungen von Meteoriten und Kometen zeigen, dass während der Planetenentstehung im frühen Sonnensystem Material gemischt und radial transportiert wurde [1,2]. In protoplanetaren Scheiben driften kleine Körper durch Gasreibung nach innen. Der Materialtransport vom inneren ins äußere Sonnensystem ist hingegen noch nicht vollständig verstanden. Photophorese ist ein möglicher Mechanismus für den

Materialtransport von innen nach außen [3]. Photophorese ist eine Wechselwirkung zwischen einem beleuchteten Partikel und dem umgebenen Gas. Sie wirkt besonders effizient bei niedrigen Gasdrücken, wie sie im frühen Sonnensystem vorhanden waren (10^{---3} – 1 mbar). Lichteinstrahlung erzeugt einen Temperaturgradienten im Partikel und Impulsübertrag zwischen der Oberfläche und den Gasmolekülen sorgt für eine Nettokraft entlang des Druckgradienten. Mehrere theoretische Studien zeigen, dass Photophorese ein effizienter Mechanismus für radialen Materialtransport und für Sortierungsprozesse ist [4,5].
Experimente in Mikrogravitation mit Chondren [6] und Staubagglomeraten [7] zeigen, dass Photophorese kleine Partikel bei niedrigen Drücken effektiv beschleunig. Allerdings konnten nur Kurzzeit---Experimente am Bremer Fallturm durchgeführt werden weshalb keine thermischen Gleichgewichtsbedingungen erreicht werden konnten. Hierzu sind Experimente von deutlich längerer Dauer (Minute oder länger) nötig, was in Suborbitalflügen erreicht werden kann.
In meinem Vortrag werde ich Ergebnisse aus Mikrogravitationsexperimenten vorstellen, welche im Rahmen des DLR---Projekts 50WM1242 (EULE) im Bremer Fallturm durchgeführt wurden. Zusätzlich werde ich einen neuen experimentellen Aufbau für Experimente im Suborbitalflug vorstellen, welche im Rahmen des DLR---Projekts 50WM1542 (MAREG) in Zusammenarbeit mit XCOR Aerospace geplant sind.

[1] Hewins, R.H., 1996. In Hewins, R.H., Jones, R.H., Scott, E.R.D., Editoren, Chondrules and the Protoplanetary Disk, Cambridge Univ. Press. [2] Zolenski, M.E. et al., 2006, Science 314: 931---941. [3] Wurm, G. & Haack, H., M&PS, 44: 689---699. [4] Lösche, C. & Wurm, G., 2012, A&A., 545, id. A36, 9pp. [5] Lösche, C. et al., 2013, ApJ, 778, 2, art.---id. 101, 10pp. [6] Lösche, C. et al., 2014, ApJ, 792, 1, art.---id. 73, 9pp. [7] Küpper, M. et al., 2014, Journal of Aerosol Science, 76, 126---137.

Experimentelle Untersuchung granularer Gase unter Mikrogravitation

Ralf Stannarius, Kirsten Harth, Torsten Trittel
Institut für Experimentelle Physik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Unter den vielfältigen Erscheinungsformen granularer Materialien, mit denen wir im täglichen Leben zu tun haben, stellen granulare Gase eine besondere Form dar: sie sind verdünnte Ensembles makroskopischer Körner, die miteinander durch unelastische Stöße wechselwirken. Typische Beispiele dafür sind die Saturnringe, Schneelawinen oder Staubstürme. Granulare Gase sind hervorragend als Modelle geeignet, um statistische Dynamik in Nichtgleichgewichtssystemen zu untersuchen. Konzepte wie eine granulare Temperatur lassen sich aus der Gleichgewichtsthermodynamik übertragen.
Permanente mechanische Anregung ist notwendig, um einen stationären dynamischen Zustand aufrecht zu erhalten, ansonsten wird die kinetische Energie kontinuierlich dissipiert, das granulare Gas verliert Bewegungsenergie, es „kühlt ab“. Zahlreiche theoretische Untersuchungen in der Literatur befassen sich mit der Simulation solcher Systeme, wogegen Experimente in der Vergangenheit praktisch nur in zweidimensionaler (2D) Geometrie und/oder kleinen Ensemblegrößen durchgeführt worden sind.
Experimente unter Mikrogravitation auf einem suborbitalen Raketenflug und im Bremer Fallturm haben uns gestattet, erstmals statistische Daten in einem permanent angeregten als auch in einem abkühlenden granularen Gas in drei Dimensionen aufzuzeichnen und auszuwerten. Die wichtigsten bisherigen Resultate sind der Nachweis der nicht-Gauß’schen Geschwindigkeitsverteilungsfunktion und der Verletzung des Gleichverteilungssatzes der kinetischen Energien auf die einzelnen Bewegungsfreiheitsgrade, sowie einer Korrektur des Haff’schen Gesetzes, das die Abnahme der kinetischen Energie in einem granularen Gas beschreibt, für Ensembles nichtsphärischer Partikel.

Session P2: Plenarvorträge zur ISS Freitag 11.15 – 12.30

ICARUS – ein neues globales Beobachtungssystem für kleine Objekte (Tiere)

Martin Wikelski
Max-Planck-Institut für Ornithologie, Radolfzell

Die Welt der Tiere gehört zu den wichtigsten Merkmalen, die unsere Erde auszeichnet. Die Menschen teilen mit ihnen den gemeinsamen Lebensraum. Unser Wohlergehen ist direkt mit der Existenz der Tiere verbunden, sei es als Nahrungsquelle, der Ursprung bzw. Überträger von Krankheiten, oder auch als Indikator für die Einflussnahme des Menschen auf die Natur. Ständig wandern Milliarden von Tieren um den Erdball. Sie verbinden die entlegensten und unzugänglichsten Regionen auf der Erde und in den Ozeanen, und können dabei unsere Sensoren – Augen, Ohren und Nasen – für das Wohlergehen unseres Planeten Erde sein.

Bis heute können fundamentale Fragen zur Biologie am freilebenden Tier über mittlere bis große Zeiträume nur wenig bis gar nicht beantwortet werden, weil wir weder ihre Standorte, ihr Verhalten noch die Gründe wo und warum die Tiere sterben kennen. Speziell wenn es um kleine Tiere geht, die für uns Menschen von größter Relevanz sind, z.B. als Krankheitsverbreiter (allen voran Fledermäuse) fehlen uns die notwendigen Informationen. Wir müssen wissen wo und wann Tiere in Schwierigkeiten geraten um deren essentielle Ökosystem Dienstleistungen zu erhalten und die Lebensgrundlagen der Menschheit zu schützen.
ICARUS (International Cooperation for Animal Research Using Space), ein Forschungsvorhaben welches Diszipline und Kontingente überschreitet, soll diese Wissenslücke schließen indem es die lokalen, regionalen und globalen Bewegungsmuster von besenderten Tieren aufzeigt. Die Deutsche Luft- und Raumfahrtagentur DLR und die Russische Raumfahrtagentur Roscosmos unterzeichneten eine Vereinbarung zur Zusammenarbeit, um die Fähigkeit des ICARUS Systems zu dokumentieren, welches auf der Internationalen Raumstation ISS für eine gemeinsame Mission installiert und zwischen Erde und Weltall kommunizieren wird. Die größte Herausforderung für ICARUS ist die Einrichtung einer Zwei-Wege-Kommunikationsverbindung per Radiofrequenz (RF) zwischen dem auf dem Tier angebrachten Sender/Empfänger (Tag) und dem ICARUS Bordsystem (Payload) auf der ISS. Ein miniaturisierter Tag, welcher zusätzlich zur Kommunikation mit der sich im Weltraum befindenden ICARUS Payload auch die Fähigkeit besitzt die absolute GPS Position in regelmäßigen Zeitabständen zu messen, das heisst das Tier mit einer sehr hohen Genauigkeit zu beobachten, wird momentan entwickelt. Dieser ICARUS Tag ist zusätzlich in der Lage die lokale Temperatur und die Bewegungsdaten des besenderten Tieres aufzuzeichnen, welche uns wichtige Erkenntnisse über das Tierverhalten liefern – und das alles bei einem Gewicht von weniger als 5 Gramm. Schnittstellen für zusätzliche Sensoren sind geplant. Während dem Kontakt mit der ISS sendet der ICARUS Tag die gespeicherten Daten und empfängt Konfigurationsbefehle indem er das ICARUS-Bordsystem und die Infrastruktur der Russischen ISS-Bodenstation zur Übertragung der Daten an das ICARUS Betriebszentrum und das wissenschaftliche Datenarchiv MOVEBANK nutzt.
Die Produktionsphase des ICARUS-Bordsytem Qualifikationsmodells hat bereits begonnen, die Flug-Hardware wird bis Ende 2016 auf dem Russischen Service Modul der ISS implementiert.

SolACES – Sonnenbeobachtung von der ISS

Raimund Brunner, Gerhard Schmidtke, Robert Schäfer, Marcel Pfeifer
Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Freiburg i. Br.

Wie beeinflusst die zyklische Schwankung der Sonnenintensität die klimatischen Bedingungen in der erdnahen Atmosphäre? Welchen Mustern unterliegen diese Schwankungen? Fundiertes Wissen über die Intensität die Variabilität von extremer Ultraviolettstrahlung (EUV) kann helfen, hierzu Antworten auf diese Fragen zu finden. Energiereiches EUV produziert ionisiertes Gas (Plasma) in der Ionosphäre und Thermosphäre nahe der Erde. Es beeinflusst die klimatischen Bedingungen auf der Erde ebenso wie die Ausbreitung von elektromagnetischen Signalen, eine Grundlage für Navigationssysteme wie GPS und Galileo.
Das von Fraunhofer IPM entwickelte Weltraumspektrometer SolACES misst EUV-Strahlung mit bisher unvergleichlicher Genauigkeit. Als erstes EUV-Spektrometer hat SolACES ein Selbstkalibrierungssystem. Es erreicht deswegen äußerst geringe Fehlerraten trotz des erheblichen Grades an Hardwaredegradation verursacht durch die mitunter widrigen Randbedingungen in Weltraum insbesondere auf der ISS. SolACES wurde im Februar 2008 auf der Internationalen Weltraumstation (ISS) als externe Nutzlast auf Columbus installiert. Die Qualität der Messdaten ist so gut, dass die Europäische Weltraumbehörde ESA mit Unterstützung der DLR die Dauer der Messkampagne bis Ende 2016 zweimal erweitert hat. Ab dem Jahr 2013 wird SolACES die Klimaforscher mit genauen Daten bezüglich der Sonnenaktivität im EUV-Spektralbereich versorgen. Die aufbereiteten Daten werden kostenlos in einer Datenbank der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Neben Vergleichen mit ähnlichen internationalen Missionen wie SDO/EVE und TIMED/SEE wird auch ein kombinierter, quasi kontinuierlicher EUV-Datensatz als Basis für zukünftige Modellierungen zur Verfügung gestellt.

Das Magnetische Fluss-Experiment MFX

Detlev Konigorski
Airbus Operations GmbH

Unter dem Motto „shaping the future – Zukunft gestalten“ hat Alexander Gerst an Bord der ISS neben operativen Aufgaben die besonderen Bedingungen des Weltraums genutzt, um etwa 35 Experimente aus Europa durchzuführen bzw. ihre mehrjährige Nutzung zu starten. Eines dieser Experimente ist das Magnetische Fluss Experiment – MFX.

MFX ist dabei ein Experiment an Bord der Internationalen Raumstation (ISS), welches qualitativ die Wechselwirkung zwischen einem bewegten Magnetfeld (generiert durch die Erde) und einem sehr guten elektrischen Leiter untersucht. MFX erbringt erste Einsichten bzgl. der prinzipiellen Machbarkeit an Bord der ISS, zukünftiger Verbesserungspotentiale und phenomenologischer Trends und Abhängigkeiten. Das Studium der Wechselwirkung erfolgt dabei mittels hochsensitiver Magnetometer auf der Stau- und Nachlaufseite des elektrischen Leiters, der das magnetische Fluid (Erdfeld) mit ca. 7,8 km/s durchfliegt.
Da diese Phänomene sowohl von technischem, als auch astrophysikalischem Interesse sind, eröffnet sich durch die Kombination ISS/MFX die Möglichkeit zur experimentellen Astrophysik, wie z.B dem Studium der Wechselwirkung zwischen der Venus und dem interplanetaren Magnetfeld, wie es sonst auf der Erde nicht möglich ist.
MFX wurde dabei als erstes Fast Track Experiment, in 15 Monaten und in engster Kooperation zwischen DLR und deutscher Industrie entwickelt, gebaut und betrieben.

Auf der Suche nach der Dunklen Materie – Das AMS Experiment auf der Internationalen Raumstation

Stefan Schael
RWTH Aachen

Das Alpha Magnet Spektrometer (AMS) wurde im Mai 2011 mit dem letzten Flug des Space Shuttles Endeavour auf der Internationalen Raumstation gebracht. An Entwicklung und Bau dieses weltweit einmaligen Forschungsinstrumentes haben über 500 Wissenschaftler aus 16 Ländern mehr als 15 Jahre lang gearbeitet. Seit Mai 2011 zeichnet AMS ununterbrochen etwa 800 Teilchendurchgänge pro Sekunde der kosmischen Strahlung mit bisher nie dagewesener Präzision auf. Die wissenschaftlichen Ergebnisse von AMS erlauben uns neue Einblicke in die Erzeugung, Beschleunigung und Ausbreitung der kosmischen Strahlung. Insbesondere bei den Anti-Materie Teilchen, den Positronen und den Anti-Protonen weisen die AMS Ergebnisse auf neue Phänomene hin, die eventuell mit den Eigenschaften der Dunklen Materie verknüpft sind.

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
Vera	Abeln	Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft & Zentrum für Integrative Physiologie im Weltraum	Deutsche Sporthochschule Köln	
Aviseka	Acharya	Zentrum Physiologie und Pathophysiologie	Uniklinik Köln	21
Kirsten	Albracht	Institut für Biomechanik und Orthopädie	Deutsche Sporthochschule Köln	32
Oliver	Angerer	Raumfahrtmanagement	DLR	
Gabriele	Armbrecht	Zentrum für Muskel- und Knochenforschung	Charité Berlin	32
Natalie	Bäcker	IEL - Ernährungsphysiologie	Universität Bonn	33
Fernando	Barragán Gil	Institut für Angewandte Physik	TU Darmstadt	
Johannes	Battenberg	Institut für Angewandte Physik	TU Darmstadt	
Christa	Baumstark-Khan	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Jürgen	Bereiter-Hahn	Institut für Zellbiologie und Neurowissenschaft	Goethe-Universität Frankfurt am Main	
Thomas	Berger	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Christian	Betzel	Institut für Biochemie und Molekularbiologie	Universität Hamburg	16
Horst	Binnenbruck	ehem. Raumfahrtmanagement	DLR	
Dieter	Blottner	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Berlin	46
Jürgen	Blum	Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik	TU Braunschweig	51
Otmar	Bock	Institut für Physiologie und Anatomie	Deutsche Sporthochschule Köln	34
Tim	Bockwoldt	Institut für Experimentelle und Angewandte Physik	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	38
Maik	Böhmer		Westfälische Wilhelms-Universität Münster	22
Miquel	Bosch-Bruguera	Institut für Raumfahrtsysteme	Universität Stuttgart	
Annette	Brandt	Institut für Botanik	Heinrich Heine Universität Düsseldorf	42
Claus	Braxmaier	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	25
Raimund	Brunner	Spektroskopie und Prozessanalytik	Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM Freiburg	53
Sönke	Burmeister	Institut fuer Experimentelle und Angewandte Physik	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	44
Nils	Bury	Institut für Physiologie und Anatomie	Deutsche Sporthochschule Köln	
Alexander	Choukèr	Klinik für Anästhesiologie	Klinikum der Universität München	15
Friedhelm	Claasen	Raumfahrtmanagement	DLR	
Arne	Cröll	Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	39
Bernd	Damaschke	Erstes Physikalisches Institut	Georg-August-Universität Göttingen	50
Christian	Deutsch		MenloSystems GmbH	26
Thomas	Dreier	Institut für Verbrennung und Gasdynamik – Reaktive Fluide	Universität Duisburg-Essen	
Michael	Dreyer	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	17

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
Christine	E. Hellweg	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Margret	Ecke	Physiologische Ökologie der Pflanzen	Eberhard Karls Universität Tübingen	22
Kerstin	Eckert	Institut für Strömungsmechanik	TU Dresden	19
Ivan	Egry	ehem. Institut für Materialphysik im Weltraum	DLR	
Christian	Eigenbrod	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	23
Wolfgang	Ertmer	Institut für Quantenoptik	Leibniz Universität Hannover	14
Hans-Jörg	Fecht	Institut für Mikro- und Nanomaterialien	Universität Ulm	49
Dieter	Felsenberg	Zentrum für Muskel- und Knochenforschung	Charité Berlin	32
Svenja	Fengler	Physiologische Ökologie der Pflanzen	Eberhard Karls Universität Tübingen	22
Andreas	Fink	Institut für Raumfahrtsysteme	Universität Stuttgart	36
Frank	Fischer		SpaceBit GmbH	
Claudia	Fournier		GSI Helholtzzentrum für Schwerionenforschung	45
Jochen	Friedrich		Fraunhofer IISB Erlangen	39
Jan	Frösler	Fakultät für Chemie	Universität Duisburg-Essen	43
Paul	Galland	FB Biologie	Philipps Universität Marburg	21
Guido	Gambara	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Berlin	46
Ulf	Gast-Leinius	Zentrum für Muskel- und Knochenforschung	Charité Berlin	32
Nicole	Gerlach	DermaTronnier - Institut für Experimentelle Dermatologie	Universität Witten/Herdecke	34
Ertan	Göklü	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	31
Albert	Gollhofer	Institut für Sportwissenschaft	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	35
Daniela	Grimm		Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	20
Elisabeth	Grohmann		Uniklinikum Freiburg und Beuth Hochschule für Technik Berlin	41
Andrea	Groß	Raumfahrtmanagement	DLR	
Jens	Große		Universität Bremen und DLR	25
Hanns-Christian	Gunga	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Berlin	12
Robert	Guntlin		Access e.V.	12
Rüdiger	Hampp	Physiologische Ökologie der Pflanzen	Eberhard Karls Universität Tübingen	22
Wolfgang	Hanke	FG Membranphysiologie	Universität Hohenheim	19
Peter-Diedrich	Hansen	Institut für Ökologie	TU Berlin	16
Kirsten	Harth	Abteilung Nichtlineare Phänomene	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	18
Ulrike	Hecht		Access e.V.	40
Ulrike	Heinrich	DermaTronnier - Institut für Experimentelle Dermatologie	Universität Witten/Herdecke	34
Ruth	Hemmersbach	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
Norbert	Henn	Raumfahrtmanagement	DLR	
Dieter	Herlach	Institut für Experimentalphysik IV	Ruhr-Universität Bochum	49
Sven	Herrmann	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	30
Uwe	Hoffmann	Institut für Physiologie und Anatomie	Deutsche Sporthochschule Köln	28
Ronald	Holzwarth		MenloSystems GmbH	26
Heinz-Josef	Kaaf	Raumfahrtmanagement	DLR	
Florian	Kargl	Institut für Materialphysik im Weltraum	DLR	
Theresia	Karl	Physiologische Ökologie der Pflanzen	Eberhard Karls Universität Tübingen	
Peter	Kern		Airbus DS GmbH	
Karl	Kirsch		Charité Universitätsmedizin Berlin	
Stefan	Klein	Institut für Materialphysik im Weltraum	DLR	
Christina	Knapek	Forschungsgruppe Komplexe Plasmen	DLR	37
Miriam	Knie	Tierökologie	Universität Bayreuth	27
Bernhard	Koch	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Werner	Koehler	Physikalisches Institut	Universität Bayreuth	18
Florian	Kohn	FG Membranphysiologie	Universität Hohenheim	19
Thorben	Könemann	ZARM Fallturm-Betriebsgesellschaft mbH	ZARM	23
Detlev	Konigorski		Airbus Operations	53
Sascha	Kopp		Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	20
Jessica	Koschate	Institut für Physiologie und Anatomie	Deutsche Sporthochschule Köln	
Daniela	Kraft		GSI Helholtzzentrum für Schwerionenforschung	
Andreas	Kramer	FG Sportwissenschaft	Universität Konstanz	33
Michael	Kretschmer	I. Physikalisches Institut	Justus-Liebig-Universität Gießen	
Martha	Kruchten	Institut für Botanik	Heinrich Heine Universität Düsseldorf	42
Markus	Krutzik	AG Optische Metrologie	Humboldt-Universität Berlin	24
Hendrik	Kuhlmann			
Alexander	Kurz	Institut für Sportwissenschaft	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	36
Christian	Laforsch	Tierökologie	Universität Bayreuth	27
Claus	Lämmerzahl	Zentrum für angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation (ZARM)	Universität Bremen	30, 23
Michael	Lebert	Lehrstuhl für Zellbiologie	Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg	20, 26
Ulrich	Limper	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Anna-Maria	Liphardt	Institut für Biomechanik und Orthopädie	Deutsche Sporthochschule Köln	47
Andreas	Ludwig		Montanuniversitaet Leoben	
Yuansu	Luo	Erstes Physikalisches Institut	Georg-August-Universität Göttingen	50
Martina	Maggioni	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Universitätsmedizin Berlin	12

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
Arayik	Martirosyan	Institut für Biochemie und Molekularbiologie	Universität Hamburg	16
Joachim	Meeßen	Institut für Botanik	Heinrich Heine Universität Düsseldorf	42
André	Melzer	Institut für Physik	Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald	38
Stefan	Mendt	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Universitätsmedizin Berlin	
Karl	Menten		Max-Planck-Institut fuer Radioastronomie Bonn	
Joshua	Meskemper	Institut für Biomechanik und Orthopädie	Deutsche Sporthochschule Köln	32
Andreas	Meyer	Institut für Materialphysik im Weltraum	DLR	
Moritz	Mihm	Forschungsgruppe QOQI	Johannes Gutenberg Universität Mainz	
Ralf	Möller	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Uschi	Müller		Max-Planck-Institut Ornithologie Radolfzell	
Walter	Naumann		Max-Planck-Institut Ornithologie Radolfzell	
Andrea	Niehaus		Dt. Museum Bonn	
Anja	Niehoff	Institut für Biomechanik und Orthopädie	Deutsche Sporthochschule Köln	48
Alexandra	Noppe	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Bogdan	Okhrimenko	Institut für Angewandte Physik	TU Darmstadt	
Hergen	Oltmann		Airbus DS GmbH	
Oliver	Opatz	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Universitätsmedizin Berlin	12
Sieglinde	Ott	Institut für Botanik	Heinrich Heine Universität Düsseldorf	42
Klaus	Palme	Institut für Biologie	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	13
Corinna	Panitz	Institut für Pharmakolgie und Toxikologie	RWTH Aachen	43
Achim	Peters	AG Optische Metrologie	Humboldt-Universität Berlin	24
Jessica	Pietsch		Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	20
Dietmar	Pilz		Airbus DS GmbH	
Johann	Plank	Lehrstuhl für Bauchemie	Technische Universität München	40
Sandra	Podhajsky		OHB System AG	
Clemens	Posten	Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik	Karlsruher Institut für Technologie	27
Peter	Preu	ehem. Raumfahrtmanagement	DLR	
Barbara	Pulko	Institut für Strömungsmechanik	TU Dresden	19
Ernst	Rasel	Institut für Quantenoptik	Leibniz Universität Hannover	29
Lorenz	Ratke	Institut für Werkstoff-Forschung	DLR	
Hubert	Reijnen		Airbus DS GmbH	
Petra	Rettberg	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Peter	Richter	Lehrstuhl für Zellbiologie	Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg	20,26
Albert	Roura	Institut für Quantenphysik	Universität Ulm	30
Agapios	Sachinidis	Zentrum Physiologie und Pathophysiologie	Uniklinik Köln	21

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
Michele	Salanova	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Berlin	47
Konrad	Samwer	Erstes Physikalisches Institut	Georg-August-Universität Göttingen	50
Stefan	Schael	I. Physikalisches Institut	RWTH Aachen	54
Freyea	Scheffler-Kayser	Raumfahrtmanagement	DLR	
Volker	Schmid	Raumfahrtmanagement	DLR	
Stefan	Schneider	Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft	Deutsche Sporthochschule Köln	14
Rainer	Schräpler	Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik	TU Braunschweig	51
Antje	Schreiber	Institut für Angewandte Physik	TU Darmstadt	
Valerie	Schröder	Institut für Raumfahrtsysteme	Universität Stuttgart	
Oliver	Schüler		Westfälische Wilhelms-Universität Münster, DLR Köln	22
Andreas	Schütte		Airbus DS GmbH	
Felix	Seibert	Marien Hospital Herne	Universitätsklinikum der Ruhr-Universität Bochum	28
Olga	Shuleshova	Institut für Komplexe Materialien	Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden	50
Peter	Sickinger		OHB System AG	
Klaus	Slenzka		OHB System AG	
Wolfgang	Soellner		Airbus DS GmbH	
Tina	Sorgenfrei	Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	39
Alexander	Stahn	Zentrum für Weltraummedizin	Charité Universitätsmedizin Berlin	35
Ralf	Stannarius	Abteilung Nichtlineare Phänomene	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	18
Christian	Stenzel		Airbus DS GmbH	
Laszlo	Sturz		Access e.V.	
Benjamin	Svejgaard		Aarhus University	20
Jens	Tank	Institut für Klinische Pharmakologie	Medinzinische Hochschule Hannover	29
Cora	Thiel		Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg / Universität Zürich	
Christiane	Thielemann		Hochschule Aschaffenburg	44
Markus	Thoma	I. Physikalisches Institut	Justus-Liebig-Universität Giessen	37
Hubertus	Thomas	Forschungsgruppe Komplexe Plasmen	DLR	37
Thomas	Triller	Physikalisches Institut	Universität Bayreuth	18
Torsten	Trittel	Abteilung Nichtlineare Phänomene	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg	52
Oliver	Ullrich		Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg / Universität Zürich	15
Eckehardt	Unruh	Institut für Ökologie	TU Berlin	16
Rüdiger	Vaas		Bild der Wissenschaft	
Tobias	Vogt	Institut für Bewegungs- und Neurowissenschaft & Zentrum für Integrative Physiologie im Weltraum	Deutsche Sporthochschule Köln	
Ingo	von Borstel	Institut für Geophysik und	TU Braunschweig	51

Name	Vorname	Institut	Organisation	Seite
		extraterrestrische Physik		
Melanie	von der Wiesche	Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin	DLR	
Ines	Wagner	Institut für Bio- und Lebensmitteltechnik	Karlsruher Institut für Technologie	27
Reinhold	Walser	Institut für Angewandte Physik	TU Darmstadt	30
André	Wenzlawski	Forschungsgruppe QOQI	Johannes Gutenberg Universität Mainz	
Johannes	Weppler	Raumfahrtmanagement	DLR	
Andreas	Wicht	Ferdinand-Braun-Institut Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik	Humboldt-Universität Berlin	24
Lisa	Wiesmüller	Sektion Gynäkologische Onkologie	Universitätsfrauenklinik Ulm	45
Martin	Wikelski		Max-Planck-Institut Ornithologie Radolfzell	52
Patrick	Windpassinger	Forschungsgruppe QOQI	Johannes Gutenberg Universität Mainz	25
Jost	Wingender	Fakultät für Chemie	Universität Duisburg-Essen	43
Claus	Wittmann		Koralewski Industrie-Elektronik	
Gerhard	Wurm	Fakultät für Physik	Universität Duisburg-Essen	13
Florian	Zaussinger	Aerodynamik und Strömungslehre	Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg	17
Gerhard	Zimmermann		Access e.V.	41

Weitere Informationen

Adresse:

LVR-Landesmuseum

Colmantstr. 14-16

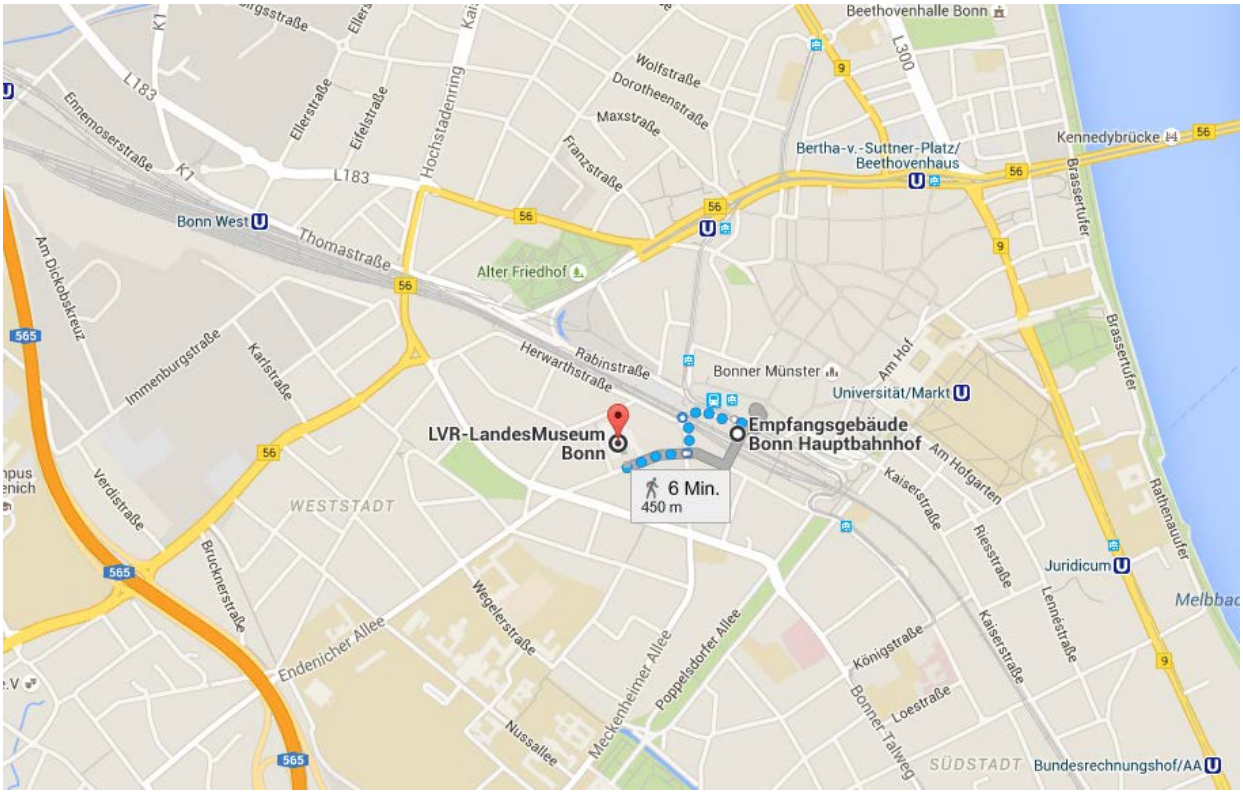
53115 Bonn

Wir empfehlen die Anreise mit öffentlichen Verkehrmitteln

Das Museum ist mit öffentlichen Verkehrsmitteln sehr gut zu erreichen. Es liegt in fußläufiger Nähe zum Hauptbahnhof Bonn. Von dort durch die Unterführung hinter dem Bahnhof rechts (Ausgang Quantiusstraße), über die Quantiusstraße zur Colmantstraße. Das Museum liegt auf der rechten Seite.

Für Autofahrer

In der Tiefgarage des LVR-LandesMuseums stehen 70 PKW-Stellplätze für Besucher zur Verfügung. Anfahrt über die Colmantstraße. Pauschaltarif für Tagungsbesucher: 3,50 Euro/Tag



Bei weiteren Fragen zu Programmstruktur und Organisation:

Dr. Anna Catharina Carstens	0228-447 367	anna.carstens@dlr.de
Dr. Thomas Driebe	0228-447 371	thomas.driebe@dlr.de
Dr. Katrin Stang	0228-447 270	katrin.stang@dlr.de
		evaluation@dlr.de

Notizen

Notizen