

**7. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
19. - 21. Oktober 2007 in
München**



**„Machbarkeitsstudie zur Aktivitätsüberwachung von
Astronauten unter partieller Gravitation mit einem 3D-
Accelerometer - actibelt®“**

G. Kreuzer, M. Daumer
Sylvia Lawry Centre for Multiple Sclerosis Research, München
E-Mail: info@slcmsr.org

M. Daumer
Trium Analysis Online GmbH, München

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 267 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin, 7. Workshop, Tagungsband“
Editors: Ralf Tita, Robert Riener, Martin Buss, Tim C. Lüth
ISBN: 978-3-18-326717-0
Pages: 35-37

Machbarkeitsstudie zur Aktivitätsüberwachung von Astronauten unter partieller Gravitation mit einem 3D-Accelerometer - actibelt®

G. Kreuzer¹, M. Daumer^{1,2}

¹Sylvia Lawry Centre for Multiple Sclerosis Research, Hohenlindener Straße 1, 81677 München

²Trium Analysis Online GmbH, Hohenlindener Straße 1, 81677 München

info@slcmsr.org

EINLEITUNG

Für die Gesundheit des Menschen ist physische Aktivität äußerst wichtig. Daher sind verlässliche und stichhaltige Messmethoden von Bewegungsmustern bei verschiedenen Aktivitäten, auch bei klinischen Studien und Prozessen in der Raumfahrt äußerst wichtig. Die neuesten Entwicklungen in der Mikrosystem-Technologie ermöglichen das Messen des Aktivitätslevels mit Miniatur-Accelerometern. Diese kleinen, billigen und robusten Bausteine können vom Benutzer mit geringem Zusatzaufwand getragen werden. Daher hat unser Team auf Basis dieser Sensoren ein Gerät entwickelt, das Aktivitätsprofile identifizieren kann - den actibelt®.

MATERIALIEN UND METHODEN

Der actibelt® [Abb.1] ist eine High-Tech-Gürtelschnalle mit einem integrierten, autonomen Mikrochip, auf dem ein 3D-Accelerometer [Abb.2] fixiert ist. Dazu sind diverse Algorithmen zum Messen, Speichern und Analysieren von Aktivitätsmustern implementiert. Das System ist fähig, zwischen Gehen, Laufen, Sitzen, Stehen und Liegen zu unterscheiden und diese Bewegungen zu quantifizieren [Daumer2006].

Abb.1: Der actibelt® von vorne; versteckt hinter der Edelstahlschnalle befindet sich das gesamte Innenleben des Systems.



Abb.2: Die Platine mit Mikrochip, Flashspeicher, 3D-Accelerometer und Akku wird durch eine Plastikbox geschützt und in der Schnalle verankert.



Jedes Parabelmanöver beginnt mit einem 20 s andauernden 45°-Steigflug, dem pull-up, wobei im Flugzeuginneren Hyper-g (1,8 g) wirkt. Anschließend wird der Schub binnen 5 s drastisch reduziert, bis er nur

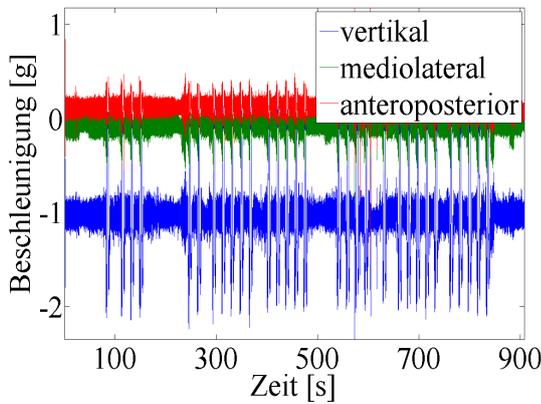
noch den Luftwiderstand ausgleicht. Dabei nimmt die Schwerkraft spürbar ab. Die Maschine fliegt nun 25 s auf einer Parabelbahn, so dass in der Kabine Mikrogravitation (ca. 10⁻² g) vorliegt. Die Parabel endet mit einem 45°-Sinkflug, dem pull-out, wobei 20 s lang 1,8 g vorherrschen. Der Airbus wird durch Hochfahren der Turbinen und Ziehen am Höhenruder abgefangen. Zwischen den Parabeln liegt eine Pause von zumindest zwei Minuten. Während der drei- bis vierstündigen Flugzeit wurden im Airbus A 300 Zero-G [Abb.3], betrieben von Novespace, 31 Parabeln geflogen.

Abb.3: Der Airbus A 300 Zero-G bei der Injektion in eine Parabel [Novespace2007]. Die Maschine befindet sich gerade im pull-up, dem 45°-Steigflug.



Im Vorfeld der Studie wurde der Einsatz des actibelt® von der französischen Ethikkommission genehmigt. Die Versuche wurden an vier Tagen mit je fünf actibelts® durchgeführt; davon war je eine Platine aus der ersten (externe Energieversorgung und MDA als Speicher), je zwei Gürtel der zweiten und je zwei Prototypen der aktuellen Reihe. Eine „neue“ Platine wurde als Referenz [Abb.4] im Flugzeug befestigt, die restlichen vier wurden täglich an zwei mehr und zwei weniger aktive, neue Probanden ausgehändigt. Alle Subjekte waren entweder DLR-Angestellte, die an ihren eigenen Projekten arbeiteten, oder Mitarbeiter von Novespace, die für die Organisation und Sicherheit im Flugzeug verantwortlich waren. Am letzten Flugtag wurde eine weitere Platine (aktuelle Serie) mit einer Schnur in der Kabine fixiert, um ein möglichst reines Signal ohne zusätzliche Störfaktoren wie externes Rauschen oder mechanische Eigenschwingungen des Flugzeugs zu erhalten. Des Weiteren führte eine Person eine vorher festgelegte Choreographie durch und wurde dabei gefilmt. Die Choreographie sollte einen standardisierten und leicht nachvollziehbaren Trainingsablauf simulieren, die Videoaufnahmen gewährleisteten einen noch besseren Abgleich zwischen actibelt®-Daten und den Aussagen des Probanden.

Abb.4: Referenzdaten, aufgezeichnet am ersten Flugtag; starke Ausschläge der blauen Beschleunigungskurve nach unten markieren die 1,8-g-Hypergravitationsphasen, die die Phasen der Schwerelosigkeit umgeben. Jede Parabel wird durch zwei solche Ausschläge eingegrenzt. Auf der Abbildung sind folglich alle 31 Parabeln gut zu identifizieren.



Die actibelts® wurden täglich auf Funktionalität getestet und danach an die Probanden übergeben. Nach Erklärung der Gürtelbedienung unterzeichneten sie ihre informed consents und gingen an Bord. Nach dem Flug wurden die Gürtel eingesammelt und ausgelesen. Hierauf berichteten die Subjekte in einer vom Forschungsteam protokollierten Befragung von ihren Aktivitäten an Bord und von eventuellen Aufnahme Fehlern des actibelt®. Messdaten wurden ausgedruckt und zur Verifikation diskutiert. Bei der Bestimmung der aktiven und inaktiven Phasen wurden wiederholt on-board-Videos zur Kontrolle herangezogen [SLC2007].

ERGEBNISSE

Bei der DLR-Parabelflug-Kampagne im November 2006 wurden über 50 Stunden an Daten im Rahmen von vier Flugtagen a 31 Parabeln gesammelt. Davon sind drei Stunden menschliche Aktivität und eine Stunde Referenzmessungen in Mikrogravitation, sechs und zwei Stunden unter Hyper-g. An einem Tag ließ sich der MDA-Gürtel nicht starten, an einem weiteren fro die Aufzeichnung nach der halben Flugzeit ein, so dass hier weitere 14 Parabeln fehlen. Einer der Prototypen fiel unbemerkt für sieben Parabeln aus. Das gleiche Phänomen wurde am letzten Flugtag beobachtet, woraufhin die Aufzeichnung unmittelbar neu gestartet wurde. Dadurch fehlen lediglich vier Parabeln.

Es wurden 564 von 620 möglichen Parabeln erfolgreich aufgezeichnet, also mehr als 90 % der maximal verfügbaren Daten [Tab.1]. Dazu wurde die Fähigkeit des actibelt®, bei partieller Erdanziehung zwischen aktiven [Abb.6] und inaktiven [Abb.7] Phasen zu unterscheiden, erfolgreich getestet. Zuletzt stuften alle Teilnehmer den actibelt® als benutzerfreundlich ein und fühlten sich in ihrer Bewegungsfreiheit in keiner Weise eingeschränkt.

Tab.1: An jedem der vier Flugtage wurden 31 Parabeln geflogen; die Tabelle zeigt, wie viele Daten jeder einzelne actibelt® an jedem Flugtag aufgezeichnet hat. In den beiden Spalten pro Gürtel werden Absolut- und Relativwerte angegeben.

MDA		Serie 2		Serie 2		Prototyp		Prototyp	
abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
31	1	31	1	31	1	31	1	31	1
0	0	31	1	31	1	31	1	31	1
17	0,55	31	1	31	1	24	0,77	31	1
31	1	31	1	31	1	27	0,87	31	1
79	0,64	124	1	124	1	113	0,91	124	1
gesamt								abs.	564
								rel.	0,91

Abb.6: Ausschnitt aus einer Tagesmessung, der nur eine einzelne Mikrogravitationsphase zeigt; die starken Ausschläge auf zum Teil mehr als einfache Erdbeschleunigung deuten auf erhöhte Aktivität des Probanden hin. Nach eigener Aussage spielt das Subjekt zu jenem Zeitpunkt Volleyball und springt dadurch sehr viel in der Kabine umher.

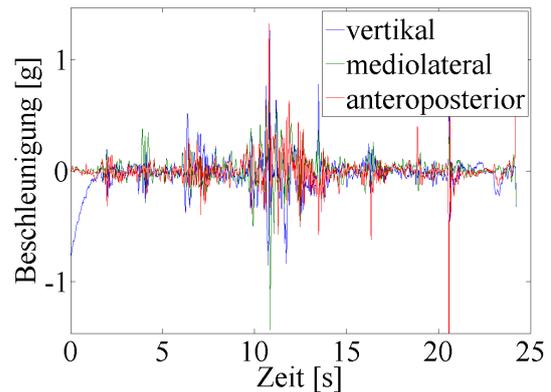
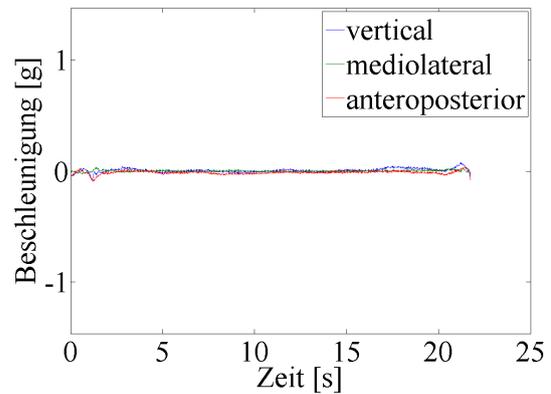


Abb.7: Ausschnitt aus einer Tagesmessung, der nur eine einzelne Mikrogravitationsphase zeigt; die Testperson saß nach eigener Aussage angeschnallt und vollkommen ruhig auf seinem Sitz. Die nahezu nicht vorhandenen Ausschläge verifizieren diese Angabe.



DISKUSSION

Die aufgezeichneten Daten bestätigen, dass der actibelt[®] sowohl in Mikro- als auch in Hyper-g zuverlässig arbeitet. Die oben erwähnten Probleme ergaben sich bei der MDA-Version durch die instabile Stromversorgung, beim Prototyp durch unbeabsichtigtes Betätigen des Resetknopfs. Beide Fehler treten in der aktuellen Serie nicht mehr auf: Zum einen wurden bereits in der zweiten Gürtel-Version alle relevanten Komponenten in der Schnalle integriert, zum anderen wurde der Resetknopf versetzt, so dass auch das letztere Problem nicht mehr auftreten kann. Daher erwarten wir zukünftig im Rahmen der Serienproduktion eine noch höhere Zuverlässigkeit.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der actibelt[®] könnte später zur einfachen Überwachung von Bewegungsart und -dauer in partieller Gravitation verwendet werden, z.B. auf der ISS. In diesem Kontext testet die NASA den actibelt[®] derzeit an einem neuen Raumanzug [NASA2007]. Weiterhin konnten wir an einer NASA-Parabelflugkampagne im Juni 2007 teilnehmen, wo 778 Parabeln in Schwerelosigkeit und 150 Parabeln in 1/6 g aufgezeichnet wurden. Momentan wird dazu ein Analyseplan erstellt, in dem die actibelt[®]-Daten mit zusätzlich erhobenen Kalorimeter- und Pulsmessungen abgeglichen werden, um so die bereits vorhandenen Algorithmen, die auf Umgebungen mit einfacher Gravitation ausgelegt sind, derart weiterzuentwickeln, dass einerseits eine genauere Aktivitätsanalyse von Abläufen in partieller Erdanziehung und andererseits eine objektive Abschätzung bekannter Probleme des unterbelasteten Körpers in Mikrogravitation, wie z.B. Knochenschwund, ermöglicht wird. Weiterhin könnte die zusätzliche Analyse des Energieverbrauchs zur Vorbeugung beitragen – durch einen täglichen und objektiven Aktivitäts- und Energieverbrauchs-Check gefolgt von einer Empfehlung für ein weiteres Trainingsprogramm [Böckenhoff2006, Canagh2005, Smith2003].

DANKSAGUNG

Wir möchten der International School for Clinical Bioinformatics / Porticus Stiftung und der Bayerischen Forschungsstiftung für ihre finanzielle Unterstützung danken, genauso wie dem DLR und der NASA für Möglichkeit, an ihren jeweiligen Kampagnen teilzunehmen, und Novespace für ihre technische und sicherheitsrelevante Unterstützung.

LITERATURHINWEISE

- [Böckenhoff2006]
A. Böckenhoff, G. Knapp, H. Löllgen. *Meta-Analyse von Studien zur Primärprävention der Gesamtmortalität durch physische Aktivität: Ergebnisse*. Abstracts Evaluation 2006, Bochum, 93
- [Canagh2005]
P. Canagh, A. Licata, A. Rice. *Exercise and pharmacological countermeasures for bone loss during long-duration space flight*. Gravit Space Biol Bull. 2005 Jun; 18(2): 39-58
- [Daumer2006]
M. Daumer, K. Thaler, E. Kruijs, W. Feneberg, G. Staude, M. Scholz. *Steps towards a miniaturized, robust and autonomous measurement device for the long-term monitoring of the activity of patients – ActiBelt*. Accepted for publication June 2006, Biomedical Engineering
- [NASA2007]
NASA's Exploration Systems Architecture Study – Final Report. November 2005
- [Novespace2007]
http://www.novespace.fr/VFrancais/Micrograv_F/sommaire.htm. 10. Mai 2007
- [SLC2007]
http://www.slcmr.net/download/foto/ActiBelt_Zero_Gravity.SWF. 10. Mai 2007
- [Smith2003]
S. Smith, J. Davis-Street, J. Fesperman, D. Calkins, M. Bawa, B. Macias, R. Meyer, A. Hargens. *Evaluation of Treadmill Exercise in a Lower Body Negative Pressure Chamber as a Countermeasure for Weightlessness-Induced Bone Loss: A Bed Rest Study With Identical Twins*. Journal of Bone and Mineral Research. Vol 18, Number 12, 2003