

# Untersuchung der Selbstorientierung bei veränderten Gravitationsbedingungen (kurz: SelfOG)

Investigation of Self-Orientation under Varying Gravity States.

(Förderkennzeichen: 50WB1627)

Sandra Felsner, Rainer Herpers  
Timur Saitov, David Scherfgen  
Laurence Roy Harris, Michael Jenkin  
Nils Bury

Publisher: Dean Prof. Dr. Wolfgang Heiden

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg – University of Applied Sciences,  
Department of Computer Science

Sankt Augustin, Germany

December 2019

Technical Report 04-2019



Hochschule  
Bonn-Rhein-Sieg  
University of Applied Sciences

---

ISSN 1869-5272

ISBN 978-3-96043-078-0

## Zusammenfassung

Die Wahrnehmung des perzeptionellen Aufrecht (perceptual upright, PU) variiert in Abhängigkeit der Gewichtung verschiedener gravitationsbezogener und körperbasierter Merkmale zwischen Kontexten und aufgrund individueller Unterschiede. Ziel des Vorhabens war es, systematisch zu untersuchen, welche Zusammenhänge zwischen visuellen und gravitationsbedingten Merkmalen bestehen. Das Vorhaben baute auf vorangegangenen Untersuchungen auf, deren Ergebnisse indizieren, dass eine Gravitation von ca. 0,15g notwendig ist, um effiziente Selbstorientierungsinformationen bereit zu stellen (Herpers et. al, 2015; Harris et. al, 2014).

In dem hier beschriebenen Vorhaben wurden nun gezielt künstliche Gravitationsbedingungen berücksichtigt, um die Gravitationsschwelle, ab der ein wahrnehmbarer Einfluss beobachtbar ist, genauer zu quantifizieren bzw. die oben genannte Hypothese zu bestätigen. Es konnte gezeigt werden, dass die zentripetale Kraft, die auf einer rotierenden Zentrifuge entlang der Längsachse des Körpers wirkt, genauso effektiv wie Stehen mit normaler Schwerkraft ist, um das Gefühl des perzeptionellen Aufrechts auszulösen. Die erzielten Daten deuten zudem darauf hin, dass ein Gravitationsfeld von mindestens 0,15 g notwendig ist, um eine effektive Orientierungsinformation für die Wahrnehmung von Aufrecht zu liefern. Dies entspricht in etwa der Gravitationskraft von 0,17 g, die auf dem Mond besteht. Für eine lineare Beschleunigung des Körpers liegt der vestibuläre Schwellenwert bei etwa 0,1 m/s<sup>2</sup> und somit liegt der Wert für die Situation auf dem Mond von 1,6 m/s<sup>2</sup> deutlich über diesem Schwellenwert.

## Abstract

Perception of upright (PU) varies depending on the weighting of different gravitational and physical factors, between contexts and due to individual differences. The aim of the project was to systematically investigate the relationships between visual and gravitational features. The project was based on previous studies, the results of which indicate that a gravitation of about 0.15g is necessary to provide efficient self-orientation information (Herpers et. al, 2015; Harris et. al, 2014).

In the project described here, artificial gravitational conditions were specifically taken into account in order to quantify the gravitational threshold above which a perceptible influence can be observed more precisely or to confirm the above hypothesis. It could be shown that the centripetal force acting on a rotating centrifuge along the longitudinal axis of the body is as effective as standing with normal gravity to trigger the feeling of the perceptual upright. The data also suggest that a gravitational field of at least 0.15g is necessary to provide effective orientation information for the perception of upright, which is close to the gravitational force found on the Moon of 0.17g. For whole-body linear acceleration, the vestibular threshold is around 0.1m/s<sup>2</sup> and so the lunar value of 1.6m/s<sup>2</sup> is clearly well above threshold.

**Copyright © 2019, by the author(s).** All rights reserved. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, to republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission.

**Das Urheberrecht des Autors bzw. der Autoren ist unveräußerlich.** Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Das Werk kann innerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes (UrhG), *German copyright law*, genutzt werden. Jede weitergehende Nutzung regelt obiger englischsprachiger Copyright-Vermerk. Die Nutzung des Werkes außerhalb des UrhG und des obigen Copyright-Vermerks ist unzulässig und strafbar.

Digital Object Identifier [doi:10.18418/978-3-96043-078-0](https://doi.org/10.18418/978-3-96043-078-0)  
DOI-Resolver <https://dx.doi.org/>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



# Abschlussbericht

zum Vorhaben

**„Untersuchung der Selbstorientierung bei veränderten  
Gravitationsbedingungen“** (kurz: SelfOG)

Förderkennzeichen 50WB1627

Laufzeit: 1.10.2016-31.12.2018

S. Felsner<sup>1</sup>, R. Herpers<sup>1</sup>, T. Saitov<sup>1</sup>, D. Scherfgen<sup>1</sup>  
L. Harris<sup>2</sup>, M. Jenkin<sup>2</sup>, N. Bury<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Visual Computing, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (H-BRS), Sankt Augustin

<sup>2</sup> Centre for Vision Research, York University, Toronto, Kanada

## I.1. Kurze Darstellung zur Aufgabenstellung

Ziel des SelfOG-Projekts ist es, systematisch zu untersuchen, welche Zusammenhänge zwischen visuellen und gravitationsbedingten Merkmalen in der Orientierungswahrnehmung (wo ist oben?) bestehen.

Die Wahrnehmung des perzeptionellen Aufrechts (perceptual upright, PU) variiert in Abhängigkeit der Gewichtung verschiedener gravitationsbezogener und körperbasierter Merkmale zwischen Kontexten und aufgrund individueller Unterschiede. Ziel des Vorhabens war es, systematisch zu untersuchen, welche Zusammenhänge zwischen visuellen und gravitationsbedingten Merkmalen bestehen. Das SelfOG-Projekt baute auf vorangegangenen Untersuchungen auf, deren Ergebnisse indizieren, dass eine Gravitation von ca. 0,15 g notwendig ist, um effiziente Selbstorientierungsinformationen bereitzustellen (Herpers et al., 2015; Harris et al., 2014).

In dem hier beschriebenen Projekt sollten nun gezielt künstliche Gravitationsbedingungen berücksichtigt werden, die helfen, die Gravitationsschwelle, ab der ein wahrnehmbarer Einfluss beobachtbar ist, genauer zu quantifizieren bzw. die oben genannte Hypothese zu bestätigen.



Abbildung 1. Darstellung des Versuchsaufbaus. Die Probanden lagen mit angewinkelten Beinen auf dem Rücken. Die Abschirmung, in der die visuellen Informationen der Experimente dargeboten wurden, ist mit dem roten Pfeil markiert.

## I.2. Kurze Darstellung zu Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde mit der Intention durchgeführt, Untersuchungen weiter zu entwickeln, die das bearbeitende Team im Jahre 2012 an der SAHC (Short Arm Human Centrifuge) zum Thema „Wahrnehmung von Aufrecht“ (PUG) begonnen hat (Herpers et al., 2015; Harris et al., 2014). Das Ergebnis dieser ersten Untersuchungen hat verschiedene Fragen und mögliche Artefakte aufgedeckt, welche mit den hier beschriebenen Experimenten näher beleuchtet werden sollten (näheres dazu unter I.3).

Die Experimente wurden am DLR in Köln in der SAHC durchgeführt. Die Probanden befanden sich in einer liegenden Position mit angewinkelten Beinen (um die Wirkung der

Gravitationskräfte auf den Blutkreislauf zu minimieren; siehe Abbildung 1). Der Bildschirm, auf dem die visuellen Informationen der Experimente dargeboten wurden, war in einer lichtundurchlässigen Abschirmung direkt vor den Augen der Probanden angebracht.

### I.3. Kurze Darstellung zu Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Oriented Character Recognition Test (OCHART) wurde entwickelt, um das perzeptionelle Aufrecht einer Versuchsperson zu quantifizieren (siehe Abbildung 2). Hierzu wird das mehrdeutige Symbol  $d$  in verschiedenen Orientierungen (Rotation in  $360^\circ$  um den Buchstabenmittelpunkt) dargestellt (Dyde et al., 2006). Zusätzlich kann ein Hintergrundbild in verschiedenen Orientierungen dargestellt werden. Nach einer 500 ms andauernden Einblendung des Symbols mit Hintergrundbild soll der Proband jeweils angeben, ob er das Symbol als „p“ oder als „d“ wahrgenommen hat.



Abbildung 2. Exemplarische Darstellung der Präsentation des Symbols „d“ im OCHART-Experiment. Das Symbol und das Hintergrundbild wurden in jeweils unterschiedlichen Orientierungen dargeboten. Der Hintergrund konnte auch einfarbig grau sein.

In der vorangegangenen PUG-Untersuchung (Herpers et al., 2015; Harris et al., 2014) wurde primär untersucht, ab welcher Gravitationsschwelle eine Veränderung der Wahrnehmung des perzeptionellen Aufrechts durch künstlich induzierte Gravitation beobachtbar und messbar ist. Dazu wurden insbesondere Gravitationsbedingungen zwischen 0,02 g und 0,1 g bei insgesamt 10 Probanden bei Einsatz des OCHART-Experiments systematisch untersucht und ausgewertet. Bei der Gravitationsbedingung 0,06 g wurden bei 8 von 10 Probanden bei mehreren (within subject) Wiederholungen Artefakte beobachtet, die nicht schlüssig zu den benachbarten Messdaten bei 0,04 g und 0,08 g passten und die sich nicht konsistent zu dem allgemeinen Trend der Daten insgesamt verhielten. Eine Klärung dieser Artefakte bzw. dieses Phänomens war auf der Grundlage der bisher verfügbaren Datenlage leider nicht möglich.

Daher wurden im SelfOG-Projekt gezielt Gravitationsbedingungen in kleineren Abständen zwischen 0 g und 0,5 g variiert, um detaillierter zu untersuchen, wie groß in diesem Bereich der gravitative Einfluss auf die Wahrnehmung der Probanden ist.

Untersucht wurden dabei insgesamt 16 Probanden (acht männlich, acht weiblich). Bei einer Voruntersuchung, die zusätzlich als Kontrolluntersuchung diente, führten die Probanden den OCHART im Stehen, auf dem Rücken liegend und auf der Seite liegend durch. Die Zentrifugation der Probanden erfolgte an zwei Tagen, wobei in pseudorandomisierter Abfolge jeweils 12, also insgesamt 24 unterschiedliche Gravitationsstufen untersucht wurden: 0,04 g, 0,045 g, 0,05 g, 0,056 g, 0,062 g, 0,069 g, 0,077 g, 0,086 g, 0,096 g, 0,107 g, 0,12 g, 0,134 g, 0,149 g, 0,167 g, 0,186 g, 0,208 g, 0,232 g, 0,259 g, 0,289 g, 0,322 g, 0,36 g, 0,401 g, 0,448 g und 0,5 g. Nach 6 Gravitationsstufen wurde eine ca. halbstündige Pause eingelegt. Vor der ersten Untersuchung des Tages wurde zudem ein Durchgang ohne Zentrifugation durchgeführt (0 g).

Durch die gute und kollegiale Zusammenarbeit mit den Kollegen des DLR/ME (Studien- und Zentrifugenteam) hat sich, zusätzlich zu den geplanten Zentrifugenexperimenten, die Möglichkeit ergeben, erste Voruntersuchungen für weitere Experimente an der Zentrifuge durchzuführen. Zwei Probanden des DLR haben dazu im Februar 2017 ein Wahrnehmungsexperiment zur Größenkonstanz mit einem Head-Mounted Display (HMD) auf der Zentrifuge durchgeführt (siehe Abbildung 3). Dadurch haben wir erste Erkenntnisse zur Wirkweise der Technik bei veränderter Schwerkraft erhalten. Diese Erkenntnisse sind für unser Forschungsteam notwendige Grundlage für die Vorbereitung zukünftiger geplanter Experimente an Bord eines Parabelflugzeugs. Eine Vorhabenbeschreibung für derartige Parabelflug-Untersuchungen wurde von unserem Forschungsteam beim DLR eingereicht.

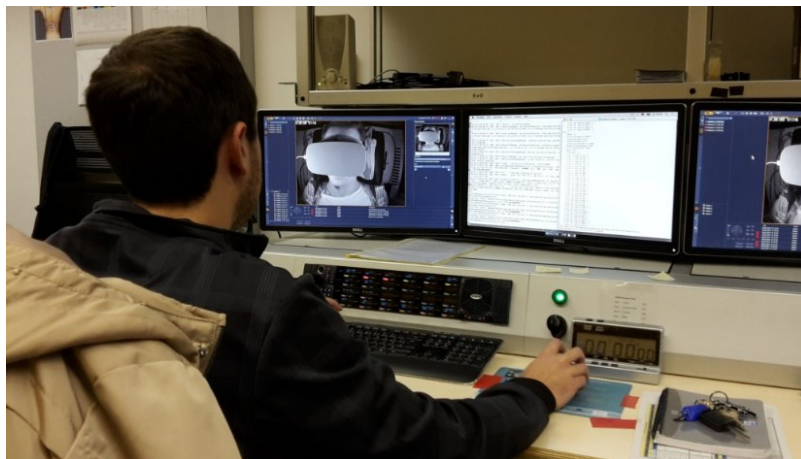


Abbildung 3. Kontrollzentrum der ESA-Zentrifuge (SAHC) in Köln. Auf dem Bildschirm sieht man einen Probanden mit einem Head-Mounted Display (HMD) auf der Zentrifuge. Im Vordergrund der Versuchsleiter.

## I.4. Kurze Darstellung zu wissenschaftlichem und technischem Stand

(an den angeknüpft wurde, insbesondere Angabe bekannter Konstruktion, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden, sowie Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste)

Traditionellerweise wird die Wahrnehmung der räumlichen Orientierung dadurch gemessen, dass die Probanden eine Linie ziehen sollen, die subjektiv vertikal ist. Diese Linie ist als „subjektives visuelles Vertikal“ bzw. „subjective visual vertical“ (SVV) bekannt. Da dieses Maß jedoch von der Gravitation abhängt, kann es in Umgebungen ohne Gravitation nicht genutzt werden.

Eine Methode, die erfolgreich in Mikrogravitation an Bord des Neurolab angewendet wurde, um die Orientierung des Selbst zu messen, nutzt daher das sogenannte „shape from shading“-Prinzip (Oman et al., 2003). In diesem Test wird die wahrgenommene Krümmung einer schattierten Scheibe (konvex oder konkav?) bestimmt und aus der wahrgenommenen Richtung des umgebenden Lichtes geschätzt. Da Menschen in der Regel annehmen, dass das Licht von oben kommt (Ramachandran, 1988), stellt dieser Test ein von der Gravitation unabhängiges, also indirektes Maß für Oben und des wahrgenommenen Vertikals dar (Jenkin et al., 2004).

Die Annahme, dass das Licht von oben kommt, ist jedoch nicht immer gültig (Sun & Perona 1998; Mamassian & Goutcher 2001) und muss insbesondere in unüblichen oder künstlichen Umgebungen hinterfragt werden.

Daher wurde ein neuer Test entwickelt, der nicht auf externen Annahmen beruht, der von den Probanden keine Einschätzung der Gravitationsrichtung verlangt und der in einer kurzen Zeitperiode angewendet werden kann. Diese Art von Test adressiert ein anderes Verständnis von „oben“: eine Richtung, welche wir als perzeptuelles Aufrecht (perceptual upright, PU) bezeichnen. Das PU wird als Orientierung definiert, in welcher Objekte am schnellsten und leichtesten identifiziert werden (Jolicoeur 1985). Die Orientierung des PU ist determiniert durch die Kombination von Informationen verschiedener Quellen, besonders der visuellen Wahrnehmung und des otholitischen Teils des Vestibularsystems, welches häufig in Zusammenarbeit mit somatosensorischen Reizen, die Richtung der Gravitation anzeigt. Eine internale Repräsentation der Körperachse – die manchmal als idiotropischer Vektor bezeichnet wird (Mittelstaedt, 1983, 1985) – leistet auch einen bedeutenden Beitrag.

Eine Möglichkeit zur Messung des PU ist die Anwendung des Oriented Character Recognition Tests (OCHART, Dyde et al., 2006). Der OCHART nutzt das mehrdeutige Symbol  $d$ , dessen Identität („p“ oder „d“) von seiner wahrgenommenen Orientierung abhängt. Die beiden Punkte maximaler Zweideutigkeit (an denen der Proband eine zufällige Diskriminierungsleistung zeigt) können identifiziert werden. Die Orientierung minimaler Zweideutigkeit ist als halbe Strecke zwischen diesen maximal zweideutigen Orientierungen definiert und wird als perceptual upright (PU) bezeichnet. Wenn das PU in Situationen bestimmt wird, in denen die einzelnen Hinweisreize (Körperachse, visuelle Wahrnehmung und Gravitation) in Konflikt stehen, kann der relative Beitrag jeder Quelle bestimmt werden.

Der OCHART ist bereits in vielen verschiedenen Umgebungssituationen genutzt worden, um die Rolle der verschiedenen sensorischen Reize zu untersuchen und zu quantifizieren, beispielsweise unter Wasser (Jenkin et al., 2009), bei Parabelflügen (Dyde et al., 2009) und auf der International Space Station (ISS, „Bodies in Space Environment“-Studie). Diese Tests offenbaren, dass unter Wasser und in Mikrogravitation die Verlässlichkeit der visuellen Reize im Gegensatz zur Leistung im Labor reduziert ist.

Vorangegangene Untersuchungen der Forschergruppe des hier beschriebenen Projekts indizieren, dass eine Gravitation von ca. 0,15 g notwendig ist, um effiziente Selbstorientierungsinformationen bereitzustellen (Herpers et al., 2015; Harris et al., 2014). Dieser ermittelte Wert ist vergleichbar mit Ergebnissen von Untersuchungen von Parabelflügen (De Winkel et al., 2012) und liegt nahe an der Gravitationskraft auf dem Mond von 0,17 g. Da in den oben genannten Voruntersuchungen der Untersuchungsfokus sowohl auf der Bestimmung der Schwelle, ab wann eine künstliche Gravitation einen wahrnehmbaren Einfluss auf die Selbstorientierung hat, als auch auf der grundsätzlichen Verifikation des Einflusses einer künstlichen Gravitation bei 1 g im Vergleich zur natürlichen Gravitation auf der Erde lag, wurden primär Gravitationsbedingungen  $\leq 0,1$  g sowie  $\geq 0,6$  g untersucht. In dem hier beschriebenen Vorhaben sollten nun gezielt künstliche Gravitationsbedingungen berücksichtigt werden, die helfen, die Gravitationschwelle, ab der ein wahrnehmbarer Einfluss beobachtbar ist, genauer zu quantifizieren bzw. die oben genannte Hypothese zu bestätigen. Dieser Gravitationsbereich ist insbesondere deshalb von besonderem Interesse, da die Gravitationskräfte auf dem Mond 0,17 g betragen und auf dem Mars 0,38 g.

Neben den bereits erwähnten Ergebnissen wurde außerdem eine Inkonsistenz mit dem allgemeinen Trend der Probandenantworten bei 0,06 g festgestellt. Diese konnte bis heute nicht auf der Grundlage der verfügbaren Daten von zehn Probandenuntersuchungen erklärt werden, stellt aber unter Umständen eine wesentliche Einschränkung bzw. Beobachtung eines ggf. noch nicht bekannten Phänomens dar. In dem beschriebenen Vorhaben wurden deshalb insbesondere die g-Stufen in diesem Bereich stärker untersucht, um herauszufinden, ob diese Artefakte eine statistische Anomalie darstellen oder ob es sich dabei um ein Artefakt handelt, das zufällig durch den damaligen Probandenpool zustande gekommen ist.

## **I.5. Kurze Darstellung der Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Das Team, bestehend aus den Prof. Laurence Harris und Prof. Michael Jenkin, beide von der York University, Toronto, Kanada, und aus dem Antragsteller, Prof. Rainer Herpers, sowie seiner Mitarbeiter David Scherfgen und Sandra Felsner, arbeiten schon seit vielen Jahren sehr erfolgreich und vertrauensvoll zusammen (siehe dazu die gemeinsame Publikationsliste in Kap. II.6). Die vorangegangene Untersuchung wurde von eben diesem Team bearbeitet, sowie im Vorfeld diverse weitere Forschungsprojekte. Darüber hinaus verfügen alle drei Professoren über persönliche umfangreiche Erfahrungen in der Durchführung von Untersuchungen an der SAHC am DLR in Köln-Porz sowie mit Parabelflügen, Bedrest Studies und Missionen in der ISS.



Während der Laufzeit des Projekts fanden mehrere persönliche Treffen der Team-Mitglieder statt. Im Vorfeld der Experimente an der Zentrifuge reisten die kanadischen Professoren Harris und Jenkin im Oktober 2016 nach Deutschland, um die Experimente an der Zentrifuge zu implementieren. Prof. Harris war außerdem im Dezember 2016 in Köln, um sich vom Fortschritt der Untersuchungen an der Zentrifuge zu überzeugen. Im Rahmen dieses Besuchs hielt er außerdem einen Vortrag im IVC-Kolloquium an der H-BRS mit dem Titel „Self-motion and Self-orientation: Studies using Virtual Reality and the Human Centrifuge“.

Ein weiterer gemeinsamer Besuch der Kanadier in Deutschland fand im Februar/März 2017 statt. Wir hatten dabei die Möglichkeit, gemeinsam mit den Kollegen vom DLR/ME ergänzende Zentrifugenexperimente durchzuführen, um Hardware für weitere geplante Experimente zu testen (siehe auch Abschnitt I.3). Während dieses Besuchs wurden zudem erste Ergebnisse der Zentrifugenexperimente ausgewertet und das weitere Vorgehen besprochen. Außerdem hielt Prof. Jenkin einen Vortrag im IVC-Kolloquium mit dem Titel „Visually guided underwater robots“.

Im Juni 2017 reisten Prof. Herpers und seine wissenschaftlichen Mitarbeiter S. Felsner und D. Scherfgen nach Toronto, um dort erste Ergebnisse der durchgeführten Zentrifugenexperimente auf der CVR Conference (<http://cvr.yorku.ca/content/conference-2017>) einem interessierten Fachpublikum zu präsentieren. Gemeinsame Projekttreffen mit den Themen Datenauswertung und weitere Publikationsaktivitäten rundeten diesen Besuch ab.

Im März 2018 waren die Kanadischen Kollegen erneut zu Besuch an der H-BRS. Während dieser Treffen wurden die Teilnahme an der VSS 2018 in Florida (<https://www.vision-sciences.org/>) [SelfOG4] geplant, sowie je ein Abstract für die IAC in Bremen im Oktober 2018 (<https://www.iac2018.org/>) [SelfOG2], und das ISGP Meeting in Noordwijk im Juni 2018 ([https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal\\_/isgp/isgpwebsite](https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal_/isgp/isgpwebsite)) [SelfOG3] angefertigt. Des Weiteren wurde die Datenauswertung weiter vorangetrieben, und es fand ein Treffen mit den Kollegen vom DLR/ME statt, bei dem zukünftige Zentrifugenexperimente besprochen wurden.

Prof. Harris stellte am 21.05.2018 erste Ergebnisse der Gender-/Sex-basierten Auswertungen auf dem 18<sup>th</sup> Annual Meeting of the Vision Science Society (VSS) in St. Pete Beach, Florida, USA unter dem Titel „Sex bias in the influence of gravity on perception“ [SelfOG4] vor.

Im Juni 2018 nahm Prof. Herpers am ISGP & ESA Life Sciences Meeting in Noordwijk teil und präsentierte dort ein Poster zum Projekt [SelfOG3].

## **II.1. Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele**

Wie viel Schwerkraft ist notwendig, um eine angemessene Wahrnehmung von „aufrecht“ für Astronauten zu gewährleisten? Gibt es geschlechtsspezifische Verzerrungen in den relativen Beiträgen des visuellen Effektes (Vision), der Schwerkraft (Gravitation) und der inneren Repräsentation des Körpers (Body) zur Wahrnehmung des perzeptionellen Aufrechts? Um Antworten auf diese Fragen zu finden, wurden Experimente mit Probanden

auf der Kurzarmzentrifuge (SAHC) der ESA durchgeführt, um die Schwerkraft entlang der Längsachse des Körpers zu simulieren. Insgesamt 16 Teilnehmer (davon acht Frauen) wurden im Liegen auf der Zentrifuge untersucht. Die Wahrnehmung des perzeptionellen Aufrechts wurde mit dem Oriented Character Recognition Test (OCHART) gemessen. OCHART verwendet das Symbol „p“, das in verschiedenen Orientierungen dargestellt wird, um das perzeptionelle Aufrecht zu untersuchen. Die Teilnehmer entschieden, ob das zweideutige Symbol entweder ein „p“ oder ein „d“ darstellt, und das perzeptionelle Aufrecht wurde basierend auf den Punkten der maximalen Mehrdeutigkeit der „p“-zu-„d“- und „d“-zu-„p“-Übergänge berechnet. Der relative Beitrag des visuellen Effekts, der Gravitation und der inneren Repräsentation des Körpers wurde für jeden der dargestellten visuellen Hintergründe und simulierten Gravitationszustände berechnet. Kontrollversuche wurden außerhalb der Zentrifuge durchgeführt, jeweils im aufrechten, auf dem Rücken liegenden und auf der linken Seite liegenden Zustand. In dem SelfOG-Projekt wurde die Zentrifuge jeweils so rotiert, dass Gravitationswerte logarithmisch aufgeteilt im Bereich von 0,04 g – 0,5 g untersucht werden konnten (untersuchte g-Werte: 0,04 g, 0,045 g, 0,05 g, 0,056 g, 0,062 g, 0,069 g, 0,077 g, 0,086 g, 0,096 g, 0,107 g, 0,12 g, 0,134 g, 0,149 g, 0,167 g, 0,186 g, 0,208 g, 0,232 g, 0,259 g, 0,289 g, 0,322 g, 0,36 g, 0,401 g, 0,448 g und 0,5 g).

Es konnte gezeigt werden, dass die zentripetale Kraft, die auf einer rotierenden Zentrifuge entlang der Längsachse des Körpers wirkt, genauso effektiv wie Stehen mit normaler Schwerkraft ist, um das Gefühl des perzeptionellen Aufrechts auszulösen. Dies geschieht, obwohl Probanden auf einer Zentrifuge tatsächlich eine Summierung der Zentripetalkraft und der Schwerkraft (eine kombinierte Beschleunigung von  $13 \text{ m/sec}^2$ ) erfahren. Die fehlende Wirkung der Gravitationskomponente außerhalb der Bildschirmenebene wird auch durch den größeren visuellen Effekt unterstützt, der sowohl hier als auch in früheren Studien beiliegenden Probanden (ohne Zentrifugenbewegung) festgestellt wurde. Die erzielten Daten deuten darauf hin, dass ein Gravitationsfeld von mindestens 0,15 g notwendig ist, um eine effektive Orientierungsinformation für die Wahrnehmung von Aufrecht zu liefern. Dies entspricht in etwa der Gravitationskraft von 0,17 g, die auf dem Mond besteht. Für eine lineare Beschleunigung des Körpers liegt der vestibuläre Schwellenwert bei etwa  $0,1 \text{ m/s}^2$  (obwohl andere Studien Werte von  $0,014 \text{ m/s}^2$  bis  $0,25 \text{ m/s}^2$  berichten) und somit liegt der Wert für die Situation auf dem Mond von  $1,6 \text{ m/s}^2$  deutlich über diesem Schwellenwert.

Darüber hinaus wurde eine Veränderung der Verteilung der Gewichte der relativen Beiträge des visuellen Effekts, der Gravitation und der inneren Repräsentation des Körpers bei Frauen festgestellt. Der visuelle Effekt war bei den meisten Frauen (mit einer dramatischen Ausnahme einer Probandin) kleiner als bei Männern ( $p < 0,0005$ ) – siehe hierzu Abbildung 4.

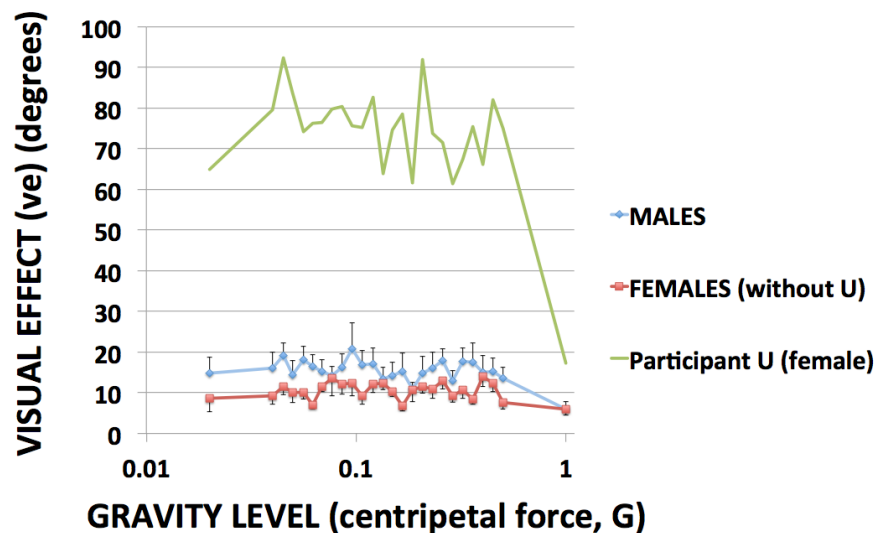


Abbildung 4. Der visuelle Effekt in der Zentrifuge war bei den meisten weiblichen Probanden (Ausnahme: Probandin U) kleiner als bei den männlichen Probanden. Im Kontrollexperiment, wenn die Probanden das Experiment im Stehen durchführten, war hingegen kein signifikanter Unterschied feststellbar.

Der relative Anteil des visuellen Effektes am perzeptionellen Aufrecht war bei Frauen im Vergleich zu Männern geringer ( $t = -18,48, p \leq 0.01$ ). Frauen legten stattdessen mehr Wert auf die Gravitationsmerkmale ( $f: 28,4 \%, m: 24,9 \%$ ) während die Gewichte der inneren Repräsentation des Körpers konstant blieben ( $f: 63,0 \%, m: 63,2 \%$ ) – siehe hierzu Abbildung 5.

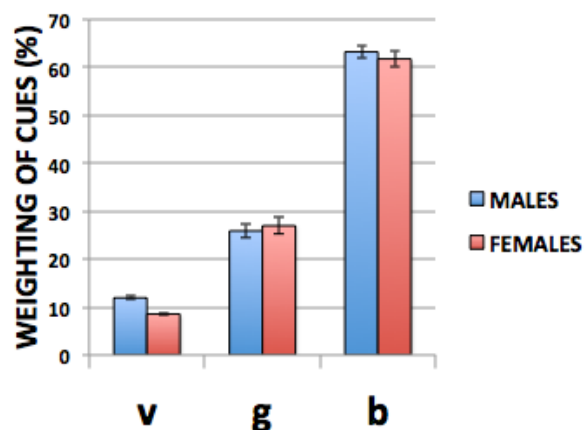


Abbildung 5: Beitrag der verschiedenen Reize (v: visuelle Wahrnehmung, g: Gravitation, b: Orientierung des Körpers im Raum) auf das perzeptionelle Aufrecht getrennt nach männlichen und weiblichen Probanden. Die Daten von Probandin U wurden entfernt Abbildung 4).

Ergebnisse dieser Analysen waren Bestandteil einer Präsentation auf dem 69<sup>th</sup> International Astronautical Congress 2018 im SPACE LIFE SCIENCES SYMPOSIUM am 05.10.2018 in Bremen [SelfOG2].

Der reduzierte relative Beitrag des visuellen Effektes kann ggf. mit der Reaktion von Frauen auch bei anderen Situationen des visuell-vestibulären Konfliktes, in denen sie ebenfalls ein anderes Verhalten zeigen, erklärt werden. Darlington und Smith sowie Kennedy et al. zeigten deutlich kürzere Latenzen für Circularvection (einen visuell-vestibulären Konflikt) bei Frauen im Vergleich zu Männern. Viaud-Delmon et al. zeigten, dass Frauen weniger von visuell-vestibulären Konflikten betroffen waren als Männer. Warum dies der Fall ist und an welchem Punkt die Wahrnehmungsänderung stattfindet, bedarf weiterer Forschung.

Der Großteil der Zuwendung wurde für die Nutzung der Zentrifuge verwendet. Dies war notwendig, um die Versuche überhaupt durchführen zu können. Weitere größere Posten waren Reisekosten, sowie Personalkosten der wissenschaftlichen Mitarbeiter. All diese Zuwendungen waren für die Durchführung des Vorhabens, die Erfassung, Verarbeitung und Analyse der Daten und das Erreichen der beschriebenen Ziele unentbehrlich.

Der oben beschriebene Gender-/Sex-Effekt war im Rahmen der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung nicht als wissenschaftliche Hypothese definiert worden und stellt somit ein zusätzliches, nicht unmittelbar erwartetes Ergebnis dar. In diesem Zusammenhang muss jedoch betont werden, dass bei den ursprünglich in SelfOG durchgeführten Untersuchungen jeweils Daten von 8 Männern und 8 Frauen erhoben wurden und dies noch keinen Datenbestand darstellt, der einen Gender-/Sex-Effekt zweifelfrei belegen kann, insbesondere wenn berücksichtigt wird, dass die Daten einer Probandin vollkommen atypische Werte gezeigt haben, so dass dieser Datensatz bei der genderbasierten Auswertung ausgeschlossen wurde.

Im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung konnten im Herbst 2018 vier weitere Probanden auf der SAHC untersucht werden. Auf der Grundlage erster Analysen der bisherigen Daten wurden diese vier Probanden einer Belastung von bis zu 1 g ausgesetzt, um zumindest erste Informationen bei höheren g-Belastungen analysieren zu können. Folgende g-Belastungen wurden mit drei männlichen Probanden und einer weiblichen Probandin realisiert: 0,1 g, 0,42 g, 0,49 g, 0,56 g, 0,65 g, 0,75 g, 0,87 g und 1 g.

Darüber hinaus wurden Kontrollexperimente unter Wasser an der Sporthochschule Köln durch Dr. N. Bury durchgeführt. Erste Ergebnisse wurden am 8. Dezember 2018 auf dem Human Physiology Workshop im Envihab am DLR in Köln veröffentlicht [SelfOG1].

## **II.2. Eingehende Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

### **Position 0812**

Kosten für die wissenschaftlichen Mitarbeiter, Frau S. Felsner und Herrn D. Scherfgen, an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg. Frau Felsner leitete die Planung, Durchführung und Auswertung auf deutscher Seite. Herr Scherfgen nahm einige Anpassungen am Programmcode der Software vor und war ebenfalls als Versuchsleiter eingeteilt.

### **Position 0835**

Vergabe von Aufträgen:

Zur Durchführung der Zentrifugenexperimente für insgesamt 16 Probanden an der SAHC im DLR in Köln-Porz war es notwendig einen Auftrag an das DLR Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin zu vergeben (laut Angebot des DLR).

Zur Unterstützung des Aufbaus und der Analyse der Experimente wurde ein Unterauftrag an die beiden Kanadischen Kollegen Prof. Laurence Harris und Prof. Michael Jenkin der York University vergeben. Die beiden Wissenschaftler waren während der Projektlaufzeit jeweils zweimal in Sankt Augustin bzw. Köln-Porz während der Durchführung der Zentrifugenexperimente sowie während der Analyse der Daten (siehe dazu auch I.5).

### **II.3. Eingehende Darstellung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Forschungen unter veränderten Schwerkraftbedingungen sind auf der Erde nur unter Nutzung besonderer Hilfsmittel möglich. Für die vorliegende Fragestellung sollte die Schwerkraft in kleinen Stufen variiert werden, um den Einfluss der Schwerkraft auf die Wahrnehmung des perzeptuellen Aufrecht quantifizieren zu können. Dafür war die Nutzung einer Zentrifuge unabdingbar.

Siehe hierzu auch Abschnitte II.1 und II.2.

Alle Arbeiten wurden gewissenhaft und im Sinne der Ziele des zuvor beschriebenen Vorhabens durchgeführt.

### **II.4. Eingehende Darstellung des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans**

Das größte Potenzial der hier durchgeführten Arbeiten liegt sicherlich im wissenschaftlichen Beitrag zum Verständnis der Wirkweise der menschlichen Wahrnehmung. Die bislang unerklärten Effekte, die bei 0,06 g im Rahmen erster Zentrifugenexperimente festgestellt wurden, konnten im Rahmen der hier durchgeführten neuen Untersuchungen nicht reproduziert werden (siehe auch CVR-Poster im Anhang sowie Abbildung 6).

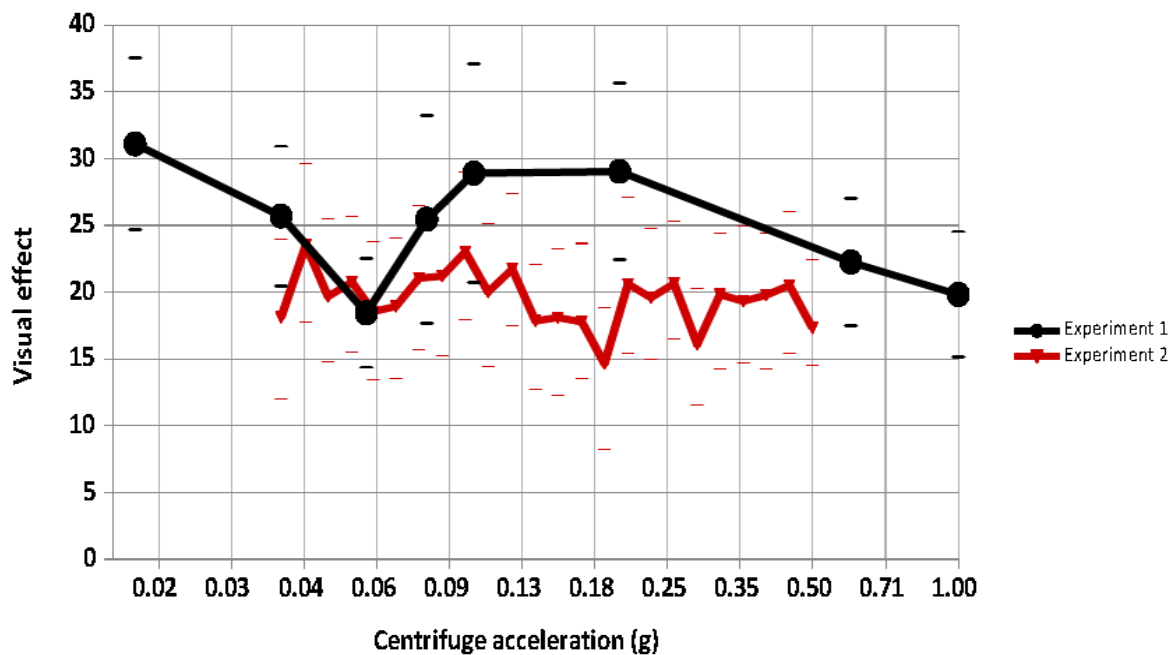


Abbildung 6: Der Sprung in der Kurve des visuellen Effekts bei ca. 0,06 g, der in der vorherigen Studie festgestellt wurde (schwarze Kurve), konnte in den neuen Untersuchungen nicht reproduziert werden (rote Kurve).

Erst wenn die Rolle der Gravitation auf die visuelle Wahrnehmung hinreichend beim Menschen entschlüsselt ist, kann darauf Einfluss genommen werden. Das bedeutet, es entsteht die Möglichkeit, Systeme zu entwickeln, die unterschiedliche Gruppen, wie z. B. Astronauten, Piloten und Taucher ggf. unterstützen können.

Ein möglicher Nebeneffekt einer solchen Forschung kann des Weiteren in Anwendungen im geriatrischen Bereich liegen. In Umgebungen, in denen offensichtlich keine klaren visuellen horizontalen und vertikalen Merkmale zur Selbstorientierung vorhanden sind (z. B. auf Treppen), kommt es insbesondere bei älteren Menschen häufiger zu Stürzen. Dies resultiert vermutlich aus einer gestörten Wahrnehmung. Wenn wir nun als Folge unserer Forschung diese Wahrnehmung besser verstehen, können auch Fehlleistungen besser erklärt und so ggf. Menschen mit defizitärer Wahrnehmung unterstützt werden.

Die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit wird als sehr gut bewertet. Sowohl die Kontakte zu den kanadischen Kooperationspartnern konnten vertieft, als auch ein äußerst fruchtbarer Kontakt zu den Kollegen des DLR hergestellt werden.

Auf der CVR-Konferenz im Juni 2017 konnten erste Ergebnisse [SelfOG5] einem interessierten Fachpublikum vorgestellt werden. Weitere Konferenzbeiträge wurden vorbereitet und wurden im Jahr 2018 präsentiert [SelfOG1-4]. Der rege Austausch mit der Forschungs-Community führte zudem zu einem Kontakt zum Zentrifugenbetreiber der deutschen Bundeswehr in Königsbrück, welcher am 5. Mai 2018 vertieft wurde.

## **II.5. Eingehende Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen**

Neben unserem eigenen weiterführenden Versuch (siehe II.4) ist uns keine Studie bekannt geworden, die das OCHART-Experiment während einer Zentrifugenfahrt nutzt oder den Beitrag der Gravitation gezielt bei der Bestimmung des perzeptionellen Aufrechts untersucht.

## **II.6. Veröffentlichungen des Ergebnisses**

ORCID von R. Herpers: 0000-0002-9712-598X

- [SelfOG1] N. Bury, M. Jenkin, R. Herpers, O. Bock, L. Harris: The Effect of Simulated Weightlessness on the Perception of Self-Motion, Human Physiology Workshop, Köln, 08.12.2018.
- [SelfOG2] R. Herpers, S. Felsner, M. Jenkin, L. Harris, A. Noppe, D. Scherfgen: Perception of upright: Influence of gender, vision, gravity and proprioceptive cues, 69<sup>th</sup> International Astronautical Congress 2018, SPACE LIFE SCIENCES SYMPOSIUM, Bremen, 01.-05.10.2018.
- [SelfOG3] R. Herpers, L. Harris, M. McManus, T. Hofhammer, A. Noppe, T. Frett, M. Jenkin: The somatogravic illusion during centrifugation: Sex differences, (poster and abstract) ISGP & ESA Life Sciences Meeting Noordwijk, Niederlande, 18.-22.06.2018., In Front. Physiol., DOI: 10.3389/conf.fphys.2018.26.00025.
- [SelfOG4] L. Harris, S. Felsner, M. Jenkin, R. Herpers, A. Noppe, T. Frett, D. Scherfgen: Sex bias in the influence of gravity on perception, (poster and abstract) 18th Annual Meeting of the Vision Science Society, St. Pete Beach, Florida, 21.05.2018.
- [SelfOG5] S. Felsner, D. Scherfgen, A. Noppe, T. Frett, R. Herpers, L. Harris, M. Jenkin: Investigation of Self-Orientation under Varying Gravity States (SelfOG), (Poster) CVR and VISTA Conference Vision in the Real World, York University, Toronto, Kanada, 13.-16.06.2017.
- [PUG1] L. Harris, R. Herpers, T. Hofhammer, M. Jenkin, How much gravity is needed to establish the perceptual upright?, PLOS ONE, 2014, 9(9):e106207.
- [PUG2] L. Harris, R. Herpers, T. Hofhammer, A. Noppe, M. Jenkin, Is gravity on other planets adequate to provide self-orientation cues?, 6<sup>th</sup> Int. Congress of Medicine in Space and Extreme Environments, ICMS 2014, Berlin, 16.-19.09.2014.
- [PUG3] L. Harris, M. Jenkin, T. Hofhammer, A. Noppe, R. Herpers, The effect of gravity on the perceptual upright: centrifuge experiments, 19<sup>th</sup> IAA Humans in Space Conference, Köln, 08.07.2013.
- [PUG4] L. Harris, H. Hecht, R. Herpers, T. Hofhammer, M. Jenkin, Wahrnehmung von „Aufrecht“ unter verschiedenen Gravitationsbedingungen in einer Zentrifuge, Post IWG, DLR Bonn, 21.03.2013.

## Literatur

- R. Dyde, M. Jenkin, H. Jenkin, L. Harris (2006). The subjective visual vertical and the perceptual upright, *Exp. Brain Res.*, 173:612–622.
- R. Dyde, M. Jenkin, H. Jenkin, J. Zacher, L. Harris (2009). The effect of altered gravity states on the perception of orientation, *Exp. Brain Res.*, 196:647–660.
- L. Harris, M. Jenkin, R. Dyde (2012). The perception of upright under lunar gravity, *Journal of Gravitational Physiology* (19(2): 9–16.
- H. Jenkin, M. Jenkin, R. Dyde, L. Harris (2004). Shape-from shading depends on visual, gravitational, and body-orientation cues. *Perception* 33:1453–1461.
- H. Jenkin, J. Zacher, R. Dyde, L. Harris, M. Jenkin (2009). How do SCUBA divers know which way is up? The influence of buoyancy on orientation judgements. *Journal of Vision*, vol. 9, no. 8, article 716.
- P. Jolicoeur (1985). The time to name disoriented natural objects. *Mem Cognit* 13:289–303.
- H. Mittelstaedt (1983). A new solution to the problem of the subjective vertical. *Naturwissenschaften* 70:272–281.
- H. Mittelstaedt (1986). The subjective vertical as a function of visual and extraretinal cues. *Acta Psychol* 63:63–85.
- C. Oman, I. Howard, T. Smith, A. Beall, A. Natapoff, J. Zacher, H. Jenkin (2003). The role of visual cues in microgravity spatial orientation. In: J. Buckey Jr., J. Homick (Hrsg.). *The neurolab spacelab mission: neuroscience research in space.* (pp 69–82), Houston, USA: National aeronautics and space administration, NASA SP-2003-535. National aeronautics and space administration, NASA SP-2003-535, Houston, USA pp 69–82
- V. Ramachandran (1988). The perception of shape from shading. *Nature* 331:163–166.
- J. Sun, P. Perona (1998). Where is the sun? *Nat Neurosci* 1:183–184.
- P. Mamassian, R. Goutcher (2001). Prior knowledge on the illumination position. *Cognition* 81:B1–B9.
- F. Previc, W. Ecoline (2004). Spatial disorientation in aviation. In: *Progress in Astronautics and Aeronautics.* American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 203, Reston, Virginia, USA.