

---

# **Einfluss von Höhenschwindel auf Blick-, Gang- und Standverhalten.**

Günter Anton Kugler

---



München 2018

Deutsches Schwindel- und Gleichgewichtszentrum  
Interdisziplinäres Zentrum der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Thomas Brandt

# **Einfluss von Höhenschwindel auf Blick-, Gang- und Standverhalten.**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Günter Anton Kugler

aus

Neuburg a.d. Donau

2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Stefan Glasauer
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Benedikt Schoser Prof. Dr. Oliver Pogarell Prof. Dr. Ernst Pöppel
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Prof. Dr. Erich Schneider
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündlichen Prüfung:	27.02.2018

## **Eidesstattliche Versicherung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema „**Einfluss von Höhenschwindel auf Blick-, Gang- und Standverhalten**“ selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 07.03.2018

Günter Anton Kugler

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
Summary .....	2
1. Einleitung .....	3
1.1 Haltungsregulation .....	3
1.2. Physiologischer Hörschwindel.....	4
1.3. Akrophobie und Hörschwindel.....	6
1.4. Neurophysiologische Messungen .....	7
1.5. Messtechnik zum Blickverhalten .....	9
1.6. Ziel dieser Arbeit.....	11
2. Kumulative Dissertation .....	12
2.1. Wie Hörschwindel die visuelle Exploration und den Gang beeinträchtigt [How acrophobia impairs visual exploration and gait].....	13
2.2. Fear of heights freezes gaze to the horizon. ....	14
2.3. Visual Exploration during Locomotion Limited by Fear of Heights.....	15
2.4. Quantification of gait changes in subjects with visual height intolerance when exposed to heights .....	16
2.5. Acrophobia impairs visual exploration and balance during standing and walking.....	17
3. Diskussion.....	18
3.1 Ergebnisse.....	18
3.2 Interpretation.....	18
Literaturverzeichnis .....	22
A. Anhang .....	25
Danksagung.....	28

# Zusammenfassung

Höhenschwindel ist eine weitverbreitete Symptomatik, die mit signifikanten Einschränkungen der Lebensqualität einhergehen kann. Betroffene zeigen ein ausgeprägtes Vermeidungsverhalten von Höhensituationen, die potentiell angstauslösend sind. Obwohl der Höhenschwindel allgemein als angstinduziertes Syndrom angesehen wird, kann eine physiologische Genese der Symptomatik angenommen werden: Demzufolge kommt es zu einer visuellen Destabilisierung der Haltung, wenn beim Blick aus der Höhe der Abstand zwischen Augen und den nächsten Kontrasten im Gesichtsfeld eine kritische Distanz erreicht. Trotz dieses Zusammenhangs ist über das Blickverhalten von Personen mit Höhenschwindel bislang wenig bekannt. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Blickverhalten, sowie Veränderungen in der Gang- und Standregulation bei Personen mit Höhenschwindel unter realer Höhenexposition systematisch zu untersuchen. Mit Hilfe unterschiedlicher sensorischer und kognitiver Manipulationen während der natürlichen Höhenexposition sollten zudem die kritischen Auslösereize und Wirkmechanismen des Höhenschwindels näher spezifiziert werden. Die Untersuchungen ergeben, dass das Blickverhalten während des Stehens und Gehens von Betroffenen in Höhe durch eine Einschränkung des visuellen Explorationsbereiches sowie eine deutliche Abnahme der spontanen Augen- und Kopfbewegungen gekennzeichnet ist. Betroffene zeigten zudem eine vorsichtige, ängstliche Haltungsregulation während des Stehens und Gehens. Bei kognitiver Ablenkung normalisierten sich die Verhaltensparameter teilweise. Zusammenfassend konnten charakteristische Veränderungen in der Blick-, Gang- und Standregulation von Betroffenen unter natürlicher Höhenexposition beschrieben werden. Diese lassen sich auf ein Zusammenspiel von spezifischen sensorischen Auslösereizen und kognitiven Einflussfaktoren zurückführen.

## Summary

Fear of heights is a widespread phenomenon, that is linked to a potential reduction of the quality of life of thus afflicted. Susceptibles to fear of heights show a pronounced avoidance of situations, which potentially incite fear. Although fear of heights is generally assumed to be an anxiety-induced syndrome, a physiological origin of these symptoms has been supposed: Accordingly, posture becomes visually destabilized when the distance between the observer and visible stationary contrasts in the visual surround becomes critically large. Despite this direct link to the visual system, so far only little is known about the gaze behavior of susceptibles to fear of heights. The aim of the here presented studies was to systematically investigate the gaze behavior, as well as upright stance and locomotion of susceptibles during natural height exposure. Specific sensory and cognitive manipulations during the height exposure were used to further specify trigger cues and disclose causative factors for symptoms of fear of heights. The experiments show that the gaze behavior during stance and gait of susceptibles at heights is characterized by a reduction in the visually explored area as well as diminished spontaneous eye and head movements. Susceptibles further exhibit a cautious balance regulation during standing and walking. Cognitive distraction during height exposure results in a partial normalization of behavioral parameters. In summary, the present studies revealed characteristic alterations in the gaze, stance and gait regulation of susceptibles to fear of heights during natural height expositions. These alterations can be attributed to an interaction between specific sensory triggering cues and cognitive factors.

# 1. Einleitung

Höhenschwindel ist ein weitverbreitetes Phänomen, von dem über ein Viertel der Bevölkerung berichtet (Huppert et al. 2013). In vielen Fällen bedeutet dies für Betroffene eine deutliche Einschränkung der Lebensqualität (Schäffler et al. 2014, Huppert et al. 2013). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Höhenschwindel unter besonderem Augenmerk auf das Blickverhalten und die posturale Kontrolle während des Stehens und Gehens in Höhsituationen. Sie hat das Ziel, die Einflüsse und Wirkmechanismen in der Entstehung von Höhenschwindel zu beleuchten, um zu einem genaueren Verständnis der Symptomatik beizutragen und die Grundlage für mögliche Therapien zu erweitern.

Die Einleitung setzt das Phänomen Höhenschwindel in einen größeren Kontext. Ausgehend von grundlegenden sensomotorischen Mechanismen in der menschlichen Haltungsregulation werden die spezifisch visuellen Einflüsse für die physiologische Destabilisierung der Haltung während Höhenexposition erörtert. Darauf folgt ein Überblick über die verschiedenen Ausprägungsformen des Höhenschwindels. Zuletzt werden die methodischen Hintergründe der einzelnen Studien sowie die übergreifende Fragestellung der Arbeiten erläutert. Im Hauptteil sind die Publikationen des Autors zum Thema aufgeführt. Daran anschließend folgt eine Diskussion, die die Ergebnisse zusammenfasst und im Kontext der aktuellen Literatur diskutiert.

## 1.1 Haltungsregulation

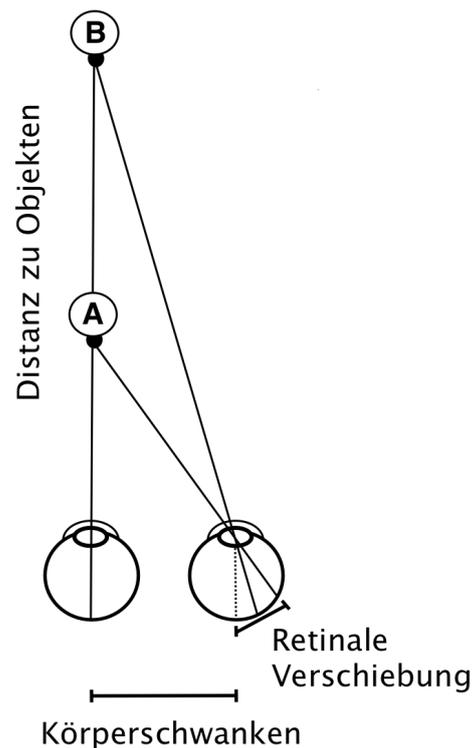
Die bipedale, aufrechte Haltung des Menschen ist biomechanisch inhärent instabil. Eine Auslenkung des Körperschwerpunktes aus der Gleichgewichtslage führt zu einem gravitationsinduzierten Drehmoment, das den Körper in Richtung der Auslenkung beschleunigt und dadurch selbstverstärkend wirkt (Peterka 2002). Ohne weitere Kontrollmechanismen würden selbst kleine Störungen des Haltungsgleichgewichts unweigerlich zu Stürzen führen. Folglich müssen destabilisierende Veränderungen der Körperhaltung, die aus äußeren Einflüssen oder durch Eigenbewegungen resultieren können, kontinuierlich durch sensomotorische Kontrollmechanismen kompensiert werden.

Für eine stabile Handlungsregulation sind Informationen über die Position und Bewegung des Körpers im Raum unerlässlich. Für deren Ermittlung stehen visuelle, vestibuläre und propriozeptive Sinneswahrnehmungen zur Verfügung. Die verschiedenen Sinnessysteme interagieren und ergänzen sich dabei gegenseitig (Gurfinkel und Levik 1991). Eine wesentliche Funktion in der sensomotorischen Haltungskontrolle spielt die Unterscheidung zwischen denjenigen Sinneswahrnehmungen, die aus willkürlicher Bewegung des Körpers resultieren („Reafferenzen“) und denjenigen, die aus Veränderungen der Umwelt resultieren („Exafferenzen“, Cullen 2004). Diese Unterscheidung kann durch Auswertung der Sinnesinformationen alleine nicht getroffen werden. Hierfür bedarf es nach dem Reafferenzprinzip (Von Holst und Mittelstaedt 1950) zusätzlich der Steuerungssignale an die Muskeln („Efferenzen“), die neben ihrer Funktion zur Muskelsteuerung auch zur Vorhersage der in Folge von Eigenbewegungen resultierenden Sinnesinformationen benutzt werden. Von Holst und Mittelstaedt sprechen dabei von einer „Efferenzkopie“. Die Vorhersage der Veränderung des Eigenzustandes wird durch ein internes Vorwärts-Modell generiert (Miall und Wolpert 1996). Durch den Vergleich zwischen diesen Vorhersagen und den tatsächlichen Afferenzen kann eine Unterscheidung zwischen Re- und Exafferenzen getroffen werden. Dieses Prinzip ist grundlegend für die Wahrnehmung einer stabilen Außenwelt bei willkürlichen Eigenbewegungen und für die Regulation der Körperhaltung in Relation zur Außenwelt.

## **1.2. Physiologischer Höhengschwindel**

Während vestibuläre und propriozeptive Sinneswahrnehmungen nur wenig von der Umwelt abhängen, sind die visuellen Informationen stark von der Umgebung geprägt. Eine entscheidende Größe ist hierbei die Distanz zu den betrachteten Objekten. Diese Distanz hat direkten Einfluss darauf, wie stark eine Kopfbewegung sich in einer Bildverschiebung des Objektes auf der Retina äußert. Es ergibt sich eine direkte Proportionalität zwischen der Distanz und der retinalen Bildverschiebung, wenn eine gleich große Körperbewegung vorausgesetzt wird (Abbildung 1). Damit ändert sich die Reafferenz über den visuellen Kanal bei Körperschwankungen in Abhängigkeit von der Distanz zur

visuellen Szene. Die durchschnittliche Entfernung zu Objekten kann sich von Umgebung zu Umgebung stark unterscheiden; eine offene Wiese bietet ein anderes Bild als ein Wald. Typischerweise ist jedoch die Distanz zum Boden vor den Füßen nahezu konstant und entspricht näherungsweise einem Wert in der Größenordnung der eigenen Körpergröße. Diese gewohnte Perspektive ändert sich, wenn Personen vor einem Abgrund stehen. In einer solchen Situation verstärkt sich typischerweise die Amplitude der Körperschwankungen (Brandt et al. 1980, Bles et al. 1980) in Abhängigkeit von der Höhe, also der Distanz zu den nächsten visuell erfassbaren Objekten. Durch die erhöhten Körperschwankungen kann die Verringerung der retinalen Bildverschiebung teilweise kompensiert werden. Dieses Kompensationsverhalten ist aber begrenzt durch ein natürliches Limit der Haltungsstabilität, das bei einer Schwankamplitude von etwa 10 cm erreicht ist (Salassa und Zapala 2009). Dieses Limit wird bei einer visuellen Distanz von etwa 20 m erreicht, so dass ab dieser Höhe die erhöhten Körperschwankungen zu retinalen Bildverschiebungen unterhalb des retinalen Auflösungsvermögens führen und daher nicht mehr visuell erfasst werden können. Ab dieser Höhe sättigt sich folglich der Effekt des erhöhten Körperschwankens. In größeren Höhen konnten keine erhöhten Schwankungen mehr festgestellt werden (Bles et al. 1980). Dieses Phänomen wird als physiologischer Höhenschwindel (Brandt et al. 1980, Bles et al. 1980) bezeichnet. Es äußert sich als ein Distanzschwindel, hervorgerufen durch die visuelle Destabilisierung der Haltung, wenn der

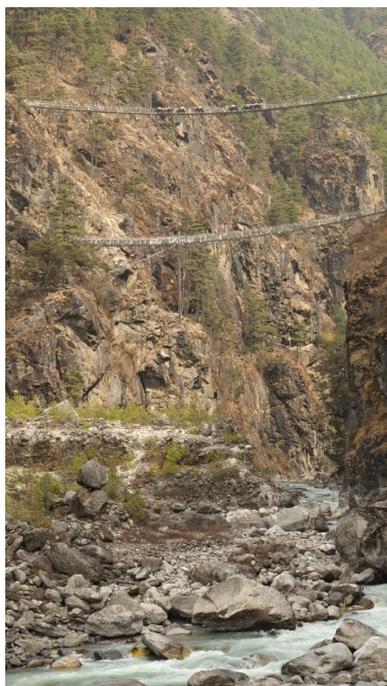


**Abbildung 1** Die retinale Bildverschiebung in Abhängigkeit von der Entfernung zum Objekt. Bei gleich großen Körperschwankungen verringert sich die Bildverschiebung mit zunehmender Distanz zum Objekt. Adaptiert nach Brandt et al. (Brandt et al. 1980)

Abstand zwischen Beobachter und den nächsten visuellen Kontrasten in der Umgebung eine kritische Distanz erreicht. In dieser Situation entsteht ein sensorischer Konflikt zwischen den visuellen Informationen, die scheinbare Stabilität vermitteln, und den Informationen des vestibulären und propriozeptiven Systems, die das Schwanken weiterhin erfassen. Physiologischer Höhengschwindel ist aufgrund der natürlichen Beschaffenheit des posturalen Kontrollsystems unausweichlich, und betrifft damit alle Personen.

### 1.3. Akrophobie und Höhengschwindel

Neben einer Zunahme der Körperschwankungen sind eine Reihe von weiteren Symptomen bekannt, die bei Exposition zur Höhe (Abbildung 2) entstehen können und nicht mehr alleine vom physiologischen Höhengschwindel erklärt werden. Symptome dieser Art sind beispielsweise Angstreaktionen, Atemnot, Herzklopfen, Schwitzen, Vorstellungen in die Tiefe zu stürzen, innere Unruhe, oder Zittern (Huppert et al. 2013, Kapfhammer et al. 2015). Betroffene berichten auch von einem „Sog“ in die Tiefe. Folglich stellt sich bei Betroffenen nicht selten ein ausgeprägtes Vermeidungsverhalten ein (Coelho und Wallis 2010). Je nach Region im deutschsprachigem Raum werden zur Beschreibung dieser Symptome die Begriffe „Höhenschwindel“ oder „Höhenangst“ verwendet. Entsprechend wird als Voraussetzung für die Begehung von manchen Wanderwegen im Gebirge der Begriff „schwindelfrei“ angegeben. Im psychiatrischen Sinne



**Abbildung 2:** *Hängebrücken im Sagarmatha-Nationalpark in Nepal. Der Blick von einer solchen Brücke (rechts) kann Auslöser für Schwindel und Angst sein. Oft führt bereits die Erwartung einer möglichen Exposition dazu, dass diese Situation vermieden wird.*

versteht man unter Höhenangst genauer die „Akrophobie“, die in Klassifizierungen (ICD-10, F40.2, World Health Organization 1993; oder DSM-V, American Psychological Association 2013) als spezifische Phobie eingeordnet wird; d.h. eine auf spezifische Situationen – hier die Exposition zur Höhe – beschränkte Phobie. Der Begriff Akrophobie ist von den griechischen Wörtern „akros“ (Gipfel, Spitze, Höhe) und „phobos“ (Angst) abgeleitet. Wesentliche Kennzeichen sind übertriebene Angstsymptome bis hin zu Panikattacken, deutliche emotionale Belastung im Zusammenhang mit Höhe und ein daraus resultierendes stark ausgeprägtes Vermeidungsverhalten. Die Lebenszeitprävalenz von Akrophobie liegt im Bereich von 3-6% (LeBeau et al. 2010, Depla et al. 2008). Eine jüngere Studie zur Epidemiologie von Höhenschwindel (Huppert et al. 2013) ergab eine deutlich höhere Lebenszeitprävalenz von 28% in der deutschen Bevölkerung. Dieser Unterschied erklärt sich durch die verschiedenen Kriterien, die bei der Erhebung angesetzt wurden. Die Studie von Huppert et al. deckt ein größeres Spektrum an Symptomen und Schweregraden ab als die engere Definition von Akrophobie und schließt damit im Wesentlichen diese Gruppe mit ein. Folglich entspricht diese Erhebung eher dem geläufigen Begriff des „Höhenschwindels“. Die Untersuchung zeigt auf, dass es über die Akrophobie hinaus eine große Gruppe Betroffener gibt, die ein breites Spektrum unterschiedlich stark ausgeprägter Symptome zeigt (Salasa und Zapala 2009, Huppert et al. 2013), beginnend vom leichten Unwohlsein bis hin zu Kennzeichen einer Phobie.

#### **1.4. Neurophysiologische Messungen**

Neurophysiologische Untersuchungen zum Höhenschwindel, insbesondere zum Blick- Stand- und Gangverhalten, sind rar. Im Fokus der folgenden Untersuchungen steht deshalb die quantitative Beschreibung der charakteristischen Verhaltensänderungen von Personen mit Höhenschwindel bei natürlicher Höhenexposition (siehe Abbildungen 3 und 4). Da sich der physiologische Höhenschwindel auf Beeinträchtigung der visuellen Reafferenz bei Exposition zur Höhe zurückzuführen lässt, ist die visuelle Strategie während der Exposition von besonderem Interesse. Ein Einfluss von Angst auf das Blickverhalten ist bekannt (Staab 2014). Bei anderen spezifischen Phobien, wie

Spinnen- oder Schlangenangst zeigt sich, dass der angstausslösende Reiz überwiegend vermieden wird (Tolin et al. 1999). Oft lässt sich initial eine erhöhte Aufmerksamkeit für den Reiz beobachten, die im Verlauf aber in ein Vermeidungsverhalten umschlägt. Dieses Verhaltensmuster wird als „hypervigilance-avoidance pattern“ bezeichnet (Pflugshaupt et al. 2005, Rinck und Becker 2006). Es findet sich auch bei anderen Angststörungen wie der Sozialphobie (Shecher et al. 2013, Bögels und Mansell 2004). Hinter diesem Muster wird ein Zusammenspiel unterschiedlicher Prozesse vermutet (Cisler und Koster 2010): an den initialen Reflex zur Gefahrenerkennung schließen sich Kontrollmechanismen der Aufmerksamkeit und eine emotionale Regulationsstrategie an, die in ein Vermeidungsverhalten einmünden. Einen Hinweis, dass das Blickverhalten auch bei Höhenangst beeinträchtigt sein könnte, findet sich in einer Studie zu visuellen Höhenschätzung, die bei Personen mit Akrophobie deutlich verzerrt ist (Stefanucci und Proffitt 2009).

Im Zusammenhang mit der Untersuchung des Blickverhaltens sind zudem die Auswirkungen des Höhenschwindels auf die posturale Kontrolle bei Gang und Stand von Interesse. Die Anforderungen an die visuelle Rückkopplungskontrolle der Haltung während des Stehens und Gehens unterscheiden sich wesentlich. Während sich die visuelle Rückkopplung beim Stehen im Wesentlichen auf die Detektion von Körperschwankungen beschränkt, kommt ihr bei der Lokomotion eine Reihe von weiteren Aufgaben zu, wie z.B. die Kontrolle des Pfades nach Hindernissen und die Einhaltung der Gangrichtung (Schubert et al. 2003, Logan et al. 2010, Matthis und Fajen 2014). Asymmetrien im visuellen Fluss wirken sich verlangsamernd auf den Gang aus (Chou et al. 2009). Insbesondere Patienten mit Akrophobie empfinden während der Lokomotion in Höhensituationen eine gesteigerte Angst (Coelho et al. 2008).

Die neurophysiologischen Untersuchungen des Blick-, Stand- und Gangverhaltens unter natürlicher Höhenexposition werden komplementiert durch eine Reihe von Versuchen, in denen die visuelle Rückkopplung (etwa durch veränderte Kopfhaltung oder geschlossene Augen) gezielt manipuliert wird. Die Analyse der Einflüsse dieser Manipulationen auf die Haltungskontrolle (insbesondere Stand- und Gangregulation sowie Muskeltonus) ermöglicht dabei Rückschlüsse auf die spezifischen Auslösereize und Wirkmechanismen des

Höhenschwindels. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Versuche, bei denen die Rolle kognitiver Einflüsse auf den Höhengschwindel durch gezielte Ablenkung der Aufmerksamkeit untersucht wird. Kognitive Interferenzen können die Haltungskontrolle maßgeblich beeinflussen, wie etwa Untersuchungen beim phobischen Schwankschwindel (Wuehr et al. 2013) gezeigt haben. Ein kognitiver „Dual Task“ ermöglicht die Einflussnahme auf die verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen für die posturale Kontrolle und kann so aufzeigen, inwiefern kognitive Faktoren bei Höhengschwindel zur Symptomatik beitragen.

### 1.5. Messtechnik zum Blickverhalten

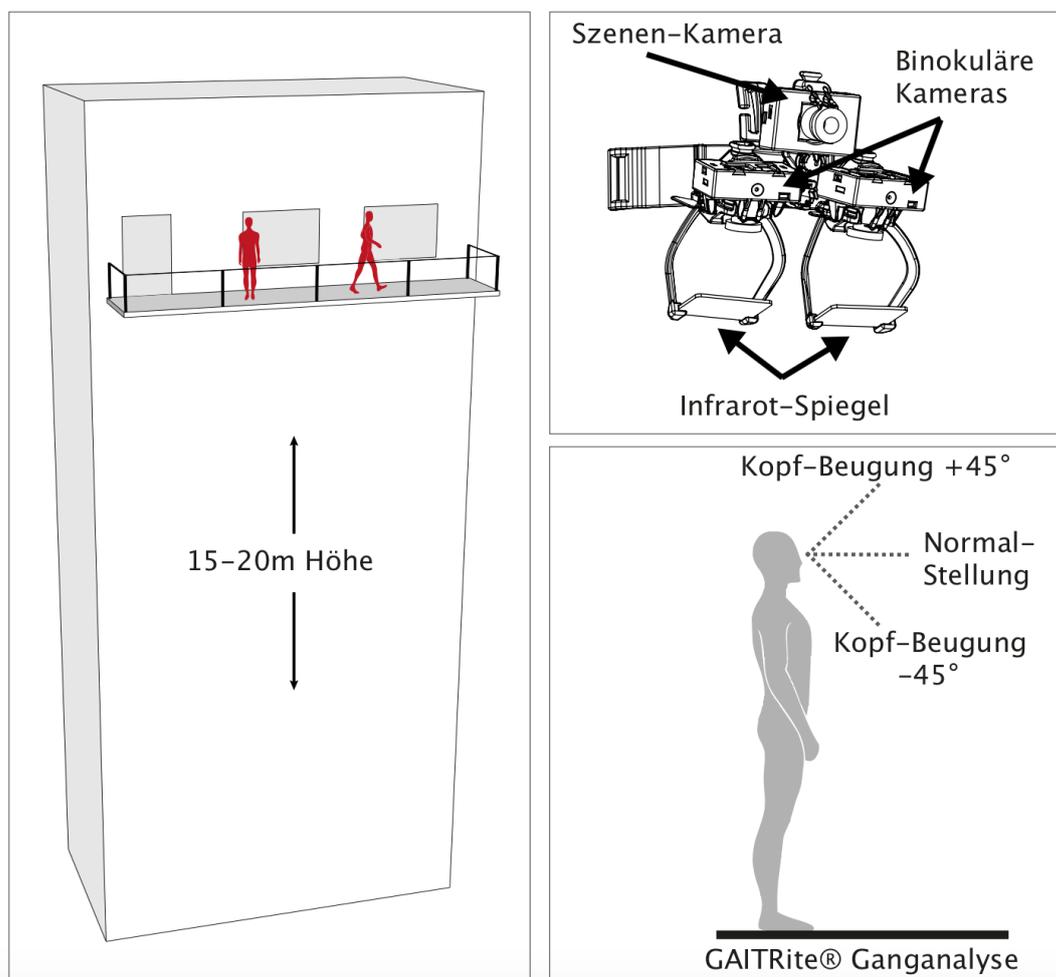
Zur Untersuchung des Blickverhaltens außerhalb des Labors ist ein mobiles Messsystem nötig, das es den Probanden erlaubt, sich frei zu bewegen. Augenbewegungen werden im kopffesten Koordinatensystem gemessen, Kopfbewegungen im raumfesten System. Um schließlich die Blickrichtung im Raum zu erhalten, und damit das visuelle Explorationsverhalten vollständig abzubilden, müssen diese Messungen kombiniert werden. Das Messsystem EyeSeeCam (Abbildung 3, Brandt et al. 2006, Schneider et al. 2009) ermöglicht die simultane Erfassung von Augen- und Kopfbewegungen. Mit Hilfe von Infrarotkameras und aktiver Infrarot-Beleuchtung werden dabei die Augenbewegungen gemessen. Die Pupillenposition wird im aufgezeichneten Video Bild für Bild mittels Bildauswertungsalgorithmen ermittelt. Die Zuordnung der ermittelten Pupillenposition zu Blickwinkeln erfolgt über eine affine



**Abbildung 3:**

Eine von Höhengschwindel betroffene Person, stehend auf dem Fluchtbalkon in 20 m Höhe. Sie trägt zur binokulären Blickbewegungsmessung eine Version der EyeSeeCam (Schneider et al. 2009).

Abbildung. Darüber hinaus sind in das Messsystem Inertialsensoren integriert, die sowohl Winkelgeschwindigkeit als auch Linearbeschleunigung des Kopfes aufzeichnen. Die Kopfbewegung ist wesentlich für das visuelle Explorationsverhalten; gleichzeitig gibt sie ein Maß für die Größe der auftretenden vestibulären Reize. Zudem erlaubt die Messung der Linearbeschleunigung des Kopfes eine Identifizierung der einzelnen Schrittereignisse während des Gehens. Eine zusätzliche Kamera, die am Kopf nach vorne gerichtet angebracht ist, zeichnet die kopffeste visuelle Szene auf. Mit Hilfe dieser Aufzeichnung lässt sich, über die Detektion bestimmter Landmarken, d.h. fester Punkten in der visuellen Szene, die Kopforientierung im Raum bestimmen.



**Abbildung 4:**

Illustration der Methoden und verwendete Technik. Links: Expositionssituation am Fluchtbalkon. Rechts: Schematische Darstellung des Blickmessgerätes (oben) und der Ganganalyse (unten). Modifiziert nach Publikation 2.5.

## **1.6. Ziel dieser Arbeit**

Das übergeordnete Ziel der folgenden Untersuchungen ist es, einen Beitrag zum Verständnis der Auslösereize und Wirkmechanismen von Höhenschwindel zu leisten. Dafür wurden in mehreren Studien sensomotorische und kognitive Komponenten bei Höhenschwindel während natürlicher Höhenexposition untersucht. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Analyse des Blickverhaltens von Personen mit Höhenschwindel im Vergleich zu nicht betroffenen Personen. Das visuelle Explorationsverhalten in Höhsituationen war bislang in der Literatur nur unzureichend untersucht. Wie dargelegt ist der visuelle Beitrag zur Haltungskontrolle in der Höhe von besonderem Interesse, da die Höhsituation zu einer systematischen visuellen Destabilisierung der Haltungskontrolle führt. Darüber hinaus widmen sich die folgenden Untersuchungen dem Stand- und Gangverhalten von Personen mit Höhenschwindel. Von besonderem Interesse sind die dabei Auswirkungen unterschiedlicher visueller und kognitiver Manipulationen auf die Haltungsregulation während der Exposition zur Höhe. Die Untersuchung tragen zu einem vertieften Verständnis der spezifischen Auslösereize und Wirkmechanismen des Höhenschwindels bei und schaffen damit die Grundlage für zukünftige Therapieansätze.

## 2. Kumulative Dissertation

Im folgenden Hauptteil der Arbeit sind die fünf Fachartikel der kumulativen Dissertation aufgeführt. Diese sind in international anerkannten Journalen mit wissenschaftlicher Begutachtung erschienen. Die Arbeiten stellen den wissenschaftlichen Beitrag des Autors zur vorgelegten Dissertation dar. Für jede Publikation werden die Beiträge der einzelnen Autoren zur jeweiligen Publikation aufgeführt.

Eine vollständige Publikationsliste des Autors findet sich im Anhang.

**1. Wie Höhengwindel die visuelle Exploration und den Gang beeinträchtigt [How acrophobia impairs visual exploration and gait].**

Kugler G, Huppert D, Schneider E, Brandt T. *Nervenarzt*. 2013; 84(10):1233-7

**2. Fear of heights freezes gaze to the horizon.**

Kugler G, Huppert D, Schneider E, Brandt T. *J Vestib Res*. 2014; 24(5), 433–441.

**3. Visual Exploration during Locomotion Limited by Fear of Heights.**

Kugler G, Huppert D, Eckl M, Schneider E, Brandt T. *PLoS ONE*. 2014; 9(8).

**4. Quantification of gait changes in subjects with visual height intolerance when exposed to heights**

Schniepp R, Kugler G, Wuehr M, Eckl M, Huppert D, Huth S, Pradhan C, Jahn K, Brandt T. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8:963.

**5. Acrophobia impairs visual exploration and balance during standing and walking.**

Brandt T, Kugler G, Schniepp R, Wuehr M, Huppert D. *Ann NY Acad Sci*. 2015 1343: 37–48.

## 2.1. Wie Hörschwindel die visuelle Exploration und den Gang beeinträchtigt [How acrophobia impairs visual exploration and gait].

Kugler G, Huppert D, Schneider E, Brandt T. *Nervenarzt*. 2013; 84(10) :1233-7

### Beiträge der Autoren:

Kugler, G.            **ABCDE GH**

Huppert, D.        **AE H**

Schneider, E.     **ADE H**

Brandt, T.         **AE FG**

Experimente und Auswertung	<b>A</b> Idee und Design
	<b>B</b> Durchführung
	<b>C</b> Datenanalyse
	<b>D</b> Beitrag von Reagenzien/Materialien/Analyse-Tools
	<b>E</b> Supervision und Interpretation der Datenanalyse
Manuskript	<b>F</b> Schreiben des ersten Entwurfs
	<b>G</b> Erstellen von Abbildungen
	<b>H</b> Kritische Revision

Fundstelle:

<https://doi.org/10.1007/s00115-013-3905-6>

## 2.2. Fear of heights freezes gaze to the horizon.

Kugler G, Huppert D, Schneider E, Brandt T. *J Vestib Res.* 2014; 24(5), 433–441.

### Beiträge der Autoren:

Kugler, G.            **ABCDE FG**

Huppert, D.        **AE       F**

Schneider, E.     **ADE     H**

Brandt, T.         **AE       F**

Experimente und **A** Idee und Design  
Auswertung

**B** Durchführung

**C** Datenanalyse

**D** Beitrag von Reagenzien/Materialien/Analyse-Tools

**E** Supervision und Interpretation der Datenanalyse

Manuskript        **F** Schreiben des ersten Entwurfs

**G** Erstellen von Abbildungen

**H** Kritische Revision

Fundstelle:

<https://doi.org/10.3233/VES-140529>

### 2.3. Visual Exploration during Locomotion Limited by Fear of Heights.

Kugler G, Huppert D, Eckl M, Schneider E, Brandt T. *PLoS ONE*. 2014; 9(8).

#### Beiträge der Autoren:

Kugler, G.	<b>ABCDE</b>	<b>FG</b>
Huppert, D.	<b>AE</b>	<b>F</b>
Eckl, M.	<b>BC</b>	<b>H</b>
Schneider, E.	<b>ADE</b>	<b>H</b>
Brandt, T.	<b>AE</b>	<b>F</b>

Experimente und Auswertung	<b>A</b> Idee und Design
	<b>B</b> Durchführung
	<b>C</b> Datenanalyse
	<b>D</b> Beitrag von Reagenzien/Materialien/Analyse-Tools
	<b>E</b> Supervision und Interpretation der Datenanalyse
Manuskript	<b>F</b> Schreiben des ersten Entwurfs
	<b>G</b> Erstellen von Abbildungen
	<b>H</b> Kritische Revision

Fundstelle:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105906>

## 2.4. Quantification of gait changes in subjects with visual height intolerance when exposed to heights

Schniepp R, Kugler G, Wuehr M, Eckl M, Huppert D, Huth S, Pradhan C, Jahn K, Brandt T. *Front Hum Neurosci.* 2014; 8, 963.

### Beiträge der Autoren:

Schniepp, R.	<b>ABCE</b>	<b>FG</b>
Kugler, G.	<b>ABE</b>	<b>H</b>
Wuehr, M.	<b>ABCE</b>	<b>H</b>
Eckl, M.	<b>B</b>	<b>H</b>
Huppert, D.	<b>AE</b>	<b>H</b>
Huth, S.	<b>D</b>	<b>H</b>
Pradhan, C.	<b>D</b>	<b>H</b>
Jahn, K.	<b>E</b>	<b>H</b>
Brandt, T.	<b>AE</b>	<b>H</b>

Experimente und Auswertung	<b>A</b> Idee und Design
	<b>B</b> Durchführung
	<b>C</b> Datenanalyse
	<b>D</b> Beitrag von Reagenzien/Materialien/Analyse-Tools
	<b>E</b> Interpretation der Daten
Manuskript	<b>F</b> Schreiben des ersten Entwurfs
	<b>G</b> Erstellen von Abbildungen
	<b>H</b> Kritische Revision

Fundstelle:

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00963>

## 2.5. Acrophobia impairs visual exploration and balance during standing and walking.

Brandt T, Kugler G, Schniepp R, Wuehr M, Huppert D. *Ann NY Acad Sci.* 2015 1343: 37–48.

### Beiträge der Autoren:

Brandt, T.	<b>A</b>	<b>F</b>
Kugler, G.	<b>A</b>	<b>GH</b>
Schniepp, R.	<b>A</b>	<b>H</b>
Wuehr, M.	<b>A</b>	<b>GH</b>
Huppert, D.	<b>A</b>	<b>F</b>

Experimente und Auswertung **A** Design, Durchführung, Auswertung

Manuskript **F** Schreiben des ersten Entwurfs

**G** Erstellen von Abbildungen

**H** Kritische Revision

Fundstelle:

<https://doi.org/10.1111/nyas.12692>

## **3. Diskussion**

### **3.1 Ergebnisse**

Die wesentlichen Ergebnisse der Studien sind im Folgenden zusammengefasst. Es zeigte sich ein ausgeprägter Unterschied im visuellen Explorationsverhalten von Personen mit Hörschwindel im Vergleich zu Kontrollpersonen sowohl während des Stehens als auch während des Gehens. Insbesondere zeigten von Hörschwindel Betroffene einen eingeschränkten Explorationsbereich und vermieden den Blick in die Tiefe. Sakkadische Augenbewegungen waren während des Stehens in Frequenz und Amplitude reduziert, während diese Parameter beim Gehen keine signifikanten Unterschiede zu Kontrollen aufzeigten. Zudem zeigte sich bei Betroffenen eine deutliche Einschränkung der spontanen Kopfbewegungen während des Stehens und Gehens. Die Einschränkung der visuellen Exploration war positiv korreliert mit der subjektiv empfundenen Angst der Betroffenen. Das Gangverhalten in Höhe von Betroffenen war charakterisiert durch eine vorsichtige, ängstliche Gangstrategie, mit Verlangsamung der Lokomotionsgeschwindigkeit und längeren Doppelstandphasen. Eine gezielte Ablenkung der Aufmerksamkeit von Betroffenen führte jedoch zu einer Normalisierung des Gangverhaltens.

### **3.2 Interpretation**

Von Hörschwindel Betroffene vermeiden den Blick in die Tiefe und damit die direkte Höhenexposition. Bei den Experimenten im Stehen, in denen für die Probanden nahe visuelle Kontraste nicht zugänglich waren, zeigte sich bei Betroffenen die Präferenz, mit dem Blick am Horizont zu verharren, oder generell den visuellen Explorationsbereich stark einzuschränken. Beim Gehen vermieden die Betroffenen die offene Seite des Balkons, und bevorzugten den Bereich in Richtung der Lokomotion. Dass Betroffene generell Situationen mit potentieller Höhenexposition vermeiden, ist bereits bekannt (Huppert et al. 2013). In den durchgeführten Experimenten zeigte sich, dass dieses Vermeidungsverhalten auch während der akuten Exposition kohärent fortgeführt wird. Ein vergleichbares Vermeidungsverhalten angstauslösender Reize ist bekannt von Betroffenen verschiedener spezifischer Phobien (Tolin et

al. 1999). Es wird interpretiert als eine Strategie, die empfundene Angst zu kontrollieren (Cisler und Koster 2010). Die Vermeidung des Blicks in die Tiefe kann zudem als stabilisierendes, hilfreiches Verhalten interpretiert werden. Die Höhenexposition, mit dem angstausslösendem Stimulus „Tiefe“, hat im Vergleich zu anderen spezifischen Phobien die Besonderheit, dass der Blick in die Tiefe sich destabilisierend auf die Haltung auswirkt (Brandt et al. 1980). Nahe Kontraste hingegen liefern zuverlässige Informationen für das posturale Kontrollsystem. In diesem Licht lässt sich das beobachtete Blickverhalten von Betroffenen auch interpretieren als sinnvolle Strategie, den Blick so einzusetzen, dass die posturale Stabilität maximiert wird.

Im Gegensatz zu Betroffenen zeigte die Kontrollgruppe während der Höhenexposition eine deutlich freiere visuelle Exploration mit einer größeren Aufmerksamkeit für Tiefenreiz. Bemerkenswerterweise ergab sich bei diesen Probanden keine Angst, obwohl ein stärkerer physiologischer Höhengschwindel eintreten sollte durch den Blick in die Tiefe. Das Blickverhalten scheint also nicht der Auslöser für das Entstehen des Schwindels, bzw. der Angst zu sein. Eine mögliche Erklärung für diesen Befund ist die Annahme, dass von Höhengschwindel Betroffene sich in der multisensoriellen Haltungskontrolle generell stärker auf die visuelle Rückkopplungsinformation verlassen. Dies würde erklären, warum die Höhenexposition bei Betroffenen zu einer subjektiven Haltungsinstabilität führt, während die Kontrollgruppe keine Instabilität berichtet. In Folge der empfundenen Instabilität könnte dann eine berechtigte Angst entstehen. Sollten von Höhengschwindel Betroffene durch den Blick in die Tiefe tatsächlich stärker destabilisiert werden, so wäre das gezeigte Verhalten, sich mit dem Blick an den nahen Objekten zu halten, eine sinnvolle Kompensationsstrategie. Untermauert wird diese Hypothese durch die Ergebnisse einer Studie von Hüweler et al. (Hüweler et al. 2009), die zeigte, dass Betroffene stärker auf Konflikte zwischen visuellem Fluss und somatosensorischen Informationen reagieren als Kontrollpersonen. Diese Studie legt somit nahe, dass sensomotorische Mechanismen zur Entstehung des Höhengschwindels beitragen. Die Einschränkung spontaner Kopfbewegungen bei Betroffenen kann in Bezug auf die Ergebnisse dieser Studie als Strategie interpretiert werden, visuelle und vestibuläre Reize während der

Höhenexposition zu minimieren und damit potentielle intersensorische Konflikte zu vermeiden.

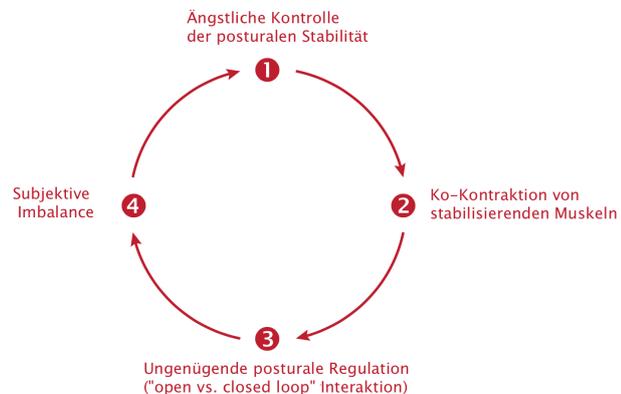
Neben sensomotorischen Ursachen müssen kognitive Einflussfaktoren auf die Entstehung von Höhenschwindel in Betracht gezogen werden. Ein kognitiver „Dual Task“ führte bei Betroffenen zu einer Normalisierung des Gang- und Standverhaltens unter Höhenexposition (Wuehr et al. 2014). Zudem nimmt die charakteristische muskuloskelettale Versteifung der Haltung bei Betroffenen in Folge einer gezielten Ablenkung der Aufmerksamkeit ab (Wuehr et al. 2014). Diese Beobachtungen unterstreichen die Rolle kognitiver Einflüsse auf die Störung der Haltungskontrolle bei Höhenschwindel. Übereinstimmend hierzu konnte gezeigt werden, dass Aufmerksamkeit und Angst einen direkten Einfluss auf vestibuläre Haltungsreflexe haben (Horslen et al. 2014). Angstinduzierte kognitive Interferenz trägt demnach wesentlich sowohl zur Entstehung des Höhenschwindels als auch zur permanenten Verfestigung der Symptomatik bei. Unterstützt wird diese Interpretation zudem durch Ergebnisse einer Studie von Teersteg et al. (Teersteg et al. 2012), die zeigen konnte, dass beim Gehen in einer Höhe von 3 m das Wissen um die Höhe und nicht die veränderte visuelle Rückmeldung den entscheidenden Beitrag zu einem vorsichtigen Gangverhalten lieferte.

Während die Augenbewegungen bei Betroffenen während des Stehens unter Höhenexposition deutlich eingeschränkt waren, zeigte sich dies nicht in Sakkadenhäufigkeit und -amplitude während des Gehens. Betrachtet man über die reinen Augenparameter hinaus jedoch den abgedeckten Explorationsbereich, so lässt sich feststellen, dass dieser bei Betroffenen im Vergleich zu Kontrollpersonen nicht nur während des Stehens sondern auch während des Gehens eingeschränkt ist. Folglich kann vermutet werden, dass die Augenbewegungen von Betroffenen beim Gehen weniger der Exploration dienen, als vielmehr der Bewältigung essentieller Aufgaben während der Lokomotion, wie Navigation und Überprüfung des Pfades auf Hindernisse.

Für die Verfestigung der Symptomatik bei Höhenschwindel lässt sich ein selbstverstärkender Wirkmechanismus vermuten, der sowohl kurzfristig als auch langfristig für eine Aufrechterhaltung der Angst in der exponierten Situation sorgt. Schon durch die Erwartung einer höhenexponierten Situation

spüren betroffene Personen Symptome wie Aufregung und Ängstlichkeit (Schäffler et al. 2014). Diese Symptome führen zu charakteristischen Verhaltensänderungen, insbesondere einer reduzierten visuellen Exploration sowie einer vorsichtigen, inadäquaten Stand- und Gangkontrolle (Wuehr et al. 2014). Folge dieser Verhaltensänderungen ist jedoch eine verstärkte Wahrnehmung subjektiver Haltungsinstabilität, die zu einer Steigerung des initialen Angstempfindens führt (siehe Abbildung 5). Ein ähnlicher, sich selbst verstärkender Mechanismus wird bei phobischem Schwankschwindel vermutet (Wuehr et al. 2013). Die reduzierte visuelle Exploration während der Exposition könnte zudem dazu beitragen, dass keine realistische Gefahrenabschätzung getroffen werden kann.

Insgesamt zeigen sich sowohl sensomotorische Beiträge wie auch kognitive Beiträge zum Hörschwindel. Ausgehend von diesen Ergebnissen können Verhaltensvorschläge zur Bewältigung akuter Angst, bzw. Stabilisierung gemacht werden (Publikation 2.5, Tabelle 1). Langfristig gesehen könnte die verminderte



**Abbildung 5:**

Hypothetischer selbstverstärkender Mechanismus des Hörschwindels. Abbildung modifiziert nach Publikation 2.5.

Exploration analog zur kompletten Vermeidung dazu beitragen, dass sich Betroffene nicht mit der Hörsituation vertraut machen und entsprechend keinen positiven Trainings- bzw. Gewöhnungseffekt erleben. Ausgehend davon sollte in der Therapie das visuelle Explorationsverhalten, insbesondere die Kopfbewegungen, berücksichtigt werden. Bei der gebräuchlichen Konfrontationstherapie (Coelho et al. 2009) könnte eine erweiterte visuelle Exploration mit ins Habituationstraining aufgenommen werden. Die vorliegenden Ergebnisse sollten in weiteren Studien auf ihre Nutzbarkeit und Effektivität hinsichtlich therapeutischer Ansätze untersucht werden.

# Literaturverzeichnis

American Psychological Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5. 5th ed. 2013. American Psychiatric Publishing, Washington, DC.

Bles W, Kapteyn TS, Brandt T, Arnold F. The mechanism of physiological height vertigo. II. Posturography. *Acta Otolaryngol.* 1980; 89(5-6):534–40.

Bögels, SM, Mansell W. Attention processes in the maintenance and treatment of social phobia: hypervigilance, avoidance and self-focused attention. *Clin Psychol Rev.* 2004; 24:827–856.

Brandt T, Arnold F, Bles W, Kapteyn TS. The mechanism of physiological height vertigo. I. Theoretical approach and psychophysics. *Acta Otolaryngol.* 1980; 89(5-6):513–23.

Brandt T, Glasauer S, Schneider E. A third eye for the surgeon. *J Neurol Neurosurg Psychiatr.* 2006; 77:278.

Chou Y-H, Wagenaar RC, Saltzman E, Giphart JE, Young D, Davidsdottir R, Cronin-Golomb A. Effects of optic flow speed and lateral flow asymmetry on locomotion in younger and older adults: a virtual reality study. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* 2009; 64:222–231.

Cisler JM, Koster EH. Mechanisms of attentional biases towards threat in anxiety disorders: An integrative review. *Clin Psychol Rev.* 2010; 30:203–216.

Coelho CM, Santos JA, Silva C, Wallis G, Tichon J, Hine TJ. The role of self-motion in acrophobia treatment. *Cyberpsychol Behav.* 2008; 11:723–725.

Coelho CM, Wallis G. Deconstructing acrophobia: physiological and psychological precursors to developing a fear of heights. *Depress Anxiety.* 2010; 27:864–870

Cullen KE, Sensory signals during active versus passive movement, *Curr Opin Neurobiol.* 2004; 14(6):698–706.

Depla M, ten Have ML, van Balkom A, de Graaf R. Specific fears and phobias in the general population. Results from the Netherlands Mental Health Survey and Incidence Study (NEMESIS). *Soc Psychiatry Psychiatr Epidemiol.* 2008; 43:200–208.

Gurfinkel V, Levick YS. Perceptual and automatic aspects of the postural body scheme. In: Paillard J, editor. Brain and space. Oxford University Press, New York. 1991:147–162.

Grasso R, Prévost P, Ivanenko YP, Berthoz A. Eye-head coordination for the steering of locomotion in humans: an anticipatory synergy. *Neurosci Lett.* 1998; 253(2): 115–118.

von Holst E, Mittelstaedt H. Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften* 1950; 37:464–476.

Horslen BC, Dakin CJ, Inglis JT, Blouin JS, Carpenter MG. Modulation of human vestibular reflexes with increased postural threat. *J Physiol*. 2014; 592:3671–3685.

Huppert D, Grill E, Brandt T. Down on heights? One in three has visual height intolerance. *J Neurol*. 2013; 260:597–604.

Kapfhammer HP, Huppert D, Grill E, Fitz W, Brandt T. Visual height intolerance and acrophobia: clinical characteristics and comorbidity patterns. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci*. 2015; 265:375.

LeBeau RT, Glenn D, Liao B, Wittchen HU, Beesdo-Baum K, Ollendick T, Craske MG. Specific phobia: a review of DSM-IV specific phobia and preliminary recommendations for DSM-V. *Depress Anxiety* 2010; 27(2):148–167.

Logan D, Kiemel T, Dominici N, Cappellini G, Ivanenko Y, Lacquaniti F, Jeka JJ. The many roles of vision during walking. *Exp Brain Res*. 2010; 206:337–350.

Matthis JS, Fajen BR. Visual control of foot placement when walking over complex terrain. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*. 2014; 40(1):106–115.

Miall RC, Wolpert DM. Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Netw*. 1996; 9(8):1265–1279.

Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol*. 2002; 88(3):1097–1118.

Pflugshaupt T, Mosimann UP, von Wartburg R, Schmitt W, Nyffeler T, Müri RM. Hypervigilance-avoidance pattern in spider phobia. *J Anxiety Disord*. 2005; 19: 105–111.

Rinck M, Becker ES. Spider fearful individuals attend to threat, then quickly avoid it: evidence from eye movements. *J Abnorm Psychol*. 2006; 115:231–238.

Salassa JR, Zapala DA. Love and fear of heights: the pathophysiology and psychology of height imbalance. *Wilderness Environ Med*. 2009; 20:378–382.

Schäffler F, Müller M, Huppert D, Brandt T, Tiffe T, Grill E. Consequences of visual height intolerance for quality of life: a qualitative study. *Qual Life Res*. 2014; 23:697–705.

Schneider E, Villgrattner T, Vockeroth J, Bartl K, Kohlbecher S, Bardins S, Ulbrich H, Brandt T. EyeSeeCam: an eye movement-driven head camera for the examination of natural visual exploration. *Ann NY Acad Sci*. 2009; 1164:461–467.

Schubert M, Bohner C, Berger W, Sprundel MV, Duysens JEJ. The role of vision in maintaining heading direction: effects of changing gaze and optic flow on human gait. *Exp Brain Res*. 2003; 150:163–173.

Shechner T, Jarcho JM, Britton JC, Leibenluft E, Pine DS, Nelson EE. Attention bias of anxious youth during extended exposure of emotional face pairs: an eye-tracking study. *Depress Anxiety*. 2013; 30:14–21.

Staab JP. The influence of anxiety on ocular motor control and gaze. *Curr Opin Neurol*. 2014; 27:118–124.

Stefanucci JK, Proffitt DR. The roles of altitude and fear in the perception of height. *J Exper Psychol Hum Percept Perform*. 2009; 35:424–438.

Tolin DF, Lohr JM, Lee TC, Sawchuk CN. Visual avoidance in specific phobia. *Behav Res Ther*. 1999; 37:63–70.

Walk RD, Gibson EG.. A comparative and analytical study of visual depth perception. *Psychol Monogr*. 1961; 75(15), no. 519.

World Health Organisation. The ICD-10 Classification of Mental and Behavioral Disorders, Clinical Description and Diagnostic Guidelines. 1993; WHO, Geneva.

Wuehr M, Pradhan C, Novozhilov S, Krafczyk S, Brandt T, Jahn K, Schniepp R. Inadequate interaction between open- and closed-loop postural control in phobic postural vertigo. *J Neurol*. 2013; 260:1314–1323.

Wuehr M, Kugler G, Schniepp R, Eckl M, Pradhan C, Jahn K, Huppert D, Brandt T. Balance control and anti-gravity muscle activity during the experience of fear at heights. *Physiol Rep*. 2014; 2:2.

# A. Anhang

## A.1 Publikationen in Journalen.

1. **Kugler G**, Huppert D, Schneider E, Brandt T. Wie Höhenschwindel die visuelle Exploration und den Gang beeinträchtigt [How acrophobia impairs visual exploration and gait.]. *Der Nervenarzt*. 2013; 84(10):1233-7.
2. Wuehr M, **Kugler G**, Schniepp R, Eckl M, Pradhan C, Jahn K, Huppert D, Brandt T. Balance control and anti-gravity muscle activity during the experience of fear at heights. *Physiol Rep*. 2014; 2(2).
3. **Kugler G**, Huppert D, Eckl M, Schneider E, Brandt T: Visual Exploration during Locomotion Limited by Fear of Heights. *PLoS ONE*. 2014; 9(8).
4. Schniepp R, **Kugler G**, Wuehr M, Eckl M, Huppert D, Huth S, Pradhan C, Jahn K, Brandt T. Quantification of gait changes in subjects with visual height intolerance when exposed to heights. *Front Human Neurosci*. 2014; 8: 963.
5. **Kugler G**, Huppert D, Schneider E, Brandt T. Fear of heights freezes gaze to the horizon. *J Vestib Res*. 2014; 24(5):433-41.
6. Brandt T, **Kugler G**, Schniepp R, Wuehr M, Huppert D: Acrophobia impairs visual exploration and balance during standing and walking: Acrophobia impairs exploration, stance, and gait. *Ann NY Acad Sci*. 2015; 1343(1):37-48.
7. Brandt T, Huber M, Schramm H, **Kugler G**, Dieterich M, Glasauer S. "Taller and Shorter": Human 3-D Spatial Memory Distorts Familiar Multilevel Buildings. *PLoS ONE*. 2015; 10(10).
8. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, Einhäuser W, Schneider E. Visual Search in the Real World: Color Vision Deficiency Affects Peripheral Guidance, but Leaves Foveal Verification Largely Unaffected. *Front Hum Neur*. 2015; 9:680.
9. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Einhäuser W, Schneider E. Gaze in Visual Search Is Guided More Efficiently by Positive Cues than by Negative Cues. *PLoS ONE*. 2015; 10(12).

## A.2 Konferenzbeiträge

1. Jahn K, Wuehr M, **Kugler G**, Schniepp R, Huppert D, et al. Postural control changes in visual height intolerance: balance control and anti-gravity muscle activity, 2014, ISPGR World Congress, Vancouver
2. Zwergal A, Schöberl F, **Kugler G**, Kohlbecher S, Werner P, et al. The cerebral correlates of 3D representation of space in humans, 2014, ISPGR World Congress, Vancouver
3. **Kugler G**, Kohlbecher S, Kremmyda O, Jahn K, Schneider E. Motion sickness of car passengers is linked to spatial distribution of gaze. 2014, Barany Society Meeting, Buenos Aires
4. **Kugler G**, Huppert D, Schneider E, Brandt T. Einfluss von Höhenschwindel auf Gang und visuelle Exploration. 2014, DGKN Congress, Berlin
5. Wuehr M, **Kugler G**, Schniepp R, Huppert D, Brandt T. Physiologic alterations associated with visual height intolerance: balance control and muscle activity. 2014, DGKN Congress, Berlin
6. Schöberl F, **Kugler G**, Kohlbecher S, Werner P, Xiong G, et al. Hinaktivierung während realer 3D-Navigation, 2014, DGKN Congress Berlin
7. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, König P, Einhäuser W, et al. Visual Search: Ignoring targets by colour, 2013, ECEM, Lund
8. **Kugler G**, Huppert D, Schneider E, Brandt T. Visual Height Intolerance: Gaze behavior at upright stance, 2013, ISPGR World Meeting 2013, Akita
9. **Kugler G**, Schneider E, Gaze behavior with Height Intolerance, Scanpath Workshop, Bielefeld
10. Zwergal A, Schöberl F, **Kugler G**, Kohlbecher S, Fuchs S, et al. Spatial orientation deficits in mild cognitive impairment correlate with hippocampal dysfunction, 2013, Meeting of the ENS, Barcelona
11. Schöberl F, Zwergal A, Engmann J, **Kugler G**, Kohlbecher S, et al. Unterschiedliche Navigationsstrategien von Frauen und Mannern in realer Umgebung und ihre Korrelate im Hirnaktivierungsmuster, 2013, DGKN Congress Leipzig
12. Zwergal A, Schöberl F, **Kugler G**, Kohlbecher S, Engler J, et al. Spatial orientation deficits in mild cognitive impairment, 2013, DGKN Congress Leipzig

13. **Kugler G**, Huppert D, Schneider E, Brandt T. Visual Height Intolerance: Gaze behavior and Locomotion, 2013, The Vestibular System: A clinical and scientific update, Siena
14. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Deuteranomaly in Natural Visual Search, 2011, SfN Conference Washington D.C., picked as "hot topic"
15. 't Hart BM, **Kugler G**, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Real-world search strategies with normal and deficient color-vision, 2011, ECVF Toulouse
16. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Color-based target preselection in real world visual search, 2011, ECEM Marseille
17. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Color Vision Deficiency in Natural Visual Search, 2011, Gordon Conference on Eye Movements, Biddeford
18. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Looking for Candy – Real-world, feature-based search, 2011, GNS annual meeting, Göttingen
19. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Eye movements in the real world during visual search for colored candies, 2011, A tribute to John Leigh, Buenos Aires
20. Zwergal A, la Fougère C, Xiong G, **Kugler G**, Schlichtiger J, et al. Navigational behaviour and brain activation during real navigation in bilateral vestibulopathy, 2011, DGN Congress, Münster
21. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Farb- und formbasierte visuelle Suche bei unterschiedlichen Farbsehfähigkeiten in natürlicher Umgebung, 2011, DGKN Congress, Münster
22. Zwergal A, la Fougère C, Xiong G, **Kugler G**, Schlichtiger J, et al. Wenn dem Gehirn der vestibuläre Kompass fehlt – reale Navigation bei bilateraler Vestibulopathie im PET, 2011, DGKN Congress, Münster
23. **Kugler G**, 't Hart BM, Kohlbecher S, Bartl K, Schumann F, et al. Color-based target preselection in real world visual search, 2011, MüTüZü Ocularmotor meeting, Munich

# Danksagung

Bei der Entstehung dieser Dissertation haben mich drei erfahrene Wissenschaftler wesentlich unterstützt. Dafür möchte ich mich bei allen herzlich bedanken. An erster Stelle ist mein Doktorvater Prof. Dr. Stefan Glasauer zu nennen, der die Entstehung dieser Arbeit von Anfang bis Ende betreut hat. Ich konnte ihn immer um Rat fragen und habe großen Respekt vor seiner wissenschaftlichen und menschlichen Integrität. Prof. Dr. Erich Schneider hat mich lange intensiv betreut und mich vor allem bei Fragen hinsichtlich Methodik und Technologie hervorragend unterstützt. Prof. Dr. Thomas Brandt hat mich besonders inhaltlich-thematisch unterstützt und sehr viel zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen.

Am wichtigsten für die Motivation waren meine Kollegen Klaus Bartl, Markus Huber und Stefan Kohlbecher, denen ich meinen tiefempfundenen Dank ausspreche. Außerhalb meines Büros und meiner Arbeitsgruppe fühle ich mich besonders Max Wühr, Conny Schlick und Maria Eckl verbunden. Herzlichen Dank für die gemeinsame Zeit!

Ich möchte mich außerdem bei den Menschen bedanken, die im Forschungshaus arbeiten, ganz besonders bei Thomas Eggert und Virginia Flanagin, sowie bei allen Ko-Autoren und allen anderen Personen, die zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen haben.

Allen Teilnehmern der Studien möchte ich herzlich danken. Sie haben für die Untersuchungen mehrere Stunden ihrer Zeit zur Verfügung gestellt und viele von ihnen haben sich dabei ihrer eigenen Angst ausgesetzt. Dafür habe ich großen Respekt.

Abschließend möchte ich meinen Freunden, meiner Familie und allen Menschen danken, die in den Jahren der Entstehung dieser Arbeit Teil meines Lebens waren und mich unterstützt haben.