

# **Stürze bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen:**

von der Epidemiologie zur Rehabilitation

Cornelia Schlick

Aus dem Deutschen Schwindel- und Gleichgewichtszentrum  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Thomas Brandt, FRCP, FEAN, FANA

**Stürze bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen:  
von der Epidemiologie zur Rehabilitation**

**Falls in vertigo and balance disorders:  
from epidemiology to rehabilitation**

Dissertation

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

vorgelegt von

**Cornelia Schlick**

aus Neuwied am Rhein

2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

**Berichterstatter:**

Prof. Dr. med. Klaus Jahn

**Mitberichterstatter:**

Priv.-Doz. Dr. med. Eduard Kraft

Prof. Dr. med. Wolfgang Fries

**Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:**

Dr. med. Roman Schniepp

**Dekan:**

Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

**Tag der mündlichen Prüfung:**

19.06.2017

---

Die vorliegende Dissertation wurde nach § 4a der Promotionsordnung für die Medizinische Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München als kumulative Dissertation gestaltet

---

*MEINEM VATER GEWIDMET*

*„Nicht die Jahre in unserem Leben zählen, sondern das Leben in unseren Jahren.“*

*Adlai Ewing Stevenson (1900-1965)*

### Eidesstattliche Versicherung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

#### **Stürze bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen: von der Epidemiologie zur Rehabilitation**

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen Literatur 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 der 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 19.06.2017

Cornelia Schlick

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	ii
Publikationsliste .....	iii
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
Hintergrund und Gegenstand der Dissertation .....	1
Sturzrisiko und Sturzangst bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen .....	3
Gangpathologie als Marker für das Sturzrisiko .....	4
Implikationen für ein klinisches Sturz-Screening .....	7
Gangtraining als Bestandteil des Sturzmanagements am Beispiel Morbus Parkinson .....	9
Literatur .....	11
<b>2 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>14</b>
<b>3 SUMMARY .....</b>	<b>15</b>
<b>4 PUBLIKATIONEN (Fundstellen) .....</b>	<b>16</b>
Publikation I .....	16
Publikation II .....	17
Publikation III .....	18
Publikation IV .....	19
<b>5 DANKSAGUNG .....</b>	<b>20</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
BVP	Bilaterale Vestibulopathie
CV	Variationskoeffizient ( <i>englisch</i> : Coefficient of Variation)
DBN	Downbeat Nystagmus Syndrom
FES-I	Falls Efficacy Scale-International
PNP	Polyneuropathie
SARA	Scale for the Assessment and Rating of Ataxia
TUG	Timed Up and Go Test
ZA	Zerebelläre Ataxie



## Publikationsliste

### *Fachartikel*

- 1) Schniepp R, **Schlick C**, Schenkel F, Pradhan C, Jahn K, Brandt T, Wuehr M. Clinical and neurophysiological risk factors for falls in patients with bilateral vestibulopathy. *J Neurol*. 2017; 264(2) [Epub ahead of print].
- 2) Schniepp R, **Schlick C**, Pradhan C, Dieterich M, Brandt T, Jahn K, Wuehr M. The interrelationship between disease severity, dynamic stability, and falls in cerebellar ataxia. *J Neurol*. 2016; 263(7): 1409-17.
- 3) **Schlick C**, Schniepp R, Loidl V, Wuehr M, Hesselbarth K, Jahn K. Falls and fear of falling in vertigo and balance disorders: A controlled cross-sectional study. *J Vestib Res* 2016; 25: 241-51.
- 4) **Schlick C**, Ernst A, Bötzel K, Plate A, Pelykh O, Ilmberger J. Visual cues combined with treadmill training to improve gait performance in Parkinson's disease: A pilot randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2016; 30(5): 463-71.
- 5) Jahn K, Wuehr M, Selge C, Hesselbarth K, **Schlick C**, Schniepp R. Stand- und Ganganalyse bei Schwindel. *Akt Neurol*. 2015; 42: 509-14.
- 6) Plate A, Sedunko D, Pelykh O, **Schlick C**, Ilmberger J, Bötzel K. Normative data for arm swing asymmetry: how (a)symmetrical are we? *Gait Posture*. 2015; 41(1): 13-8.
- 7) Pelykh O, Klein AM, Feist-Pagenstert I, **Schlick C**, Ilmberger J. Treatment outcome of visual feedback training in an adult patient with habitual toe walking. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2014 [Epub ahead of print].
- 8) Schniepp R, Wuehr M, Huth S, Pradhan C, **Schlick C**, Brandt T, Jahn K. The gait disorder in downbeat nystagmus syndrome. *PLoS One*. 2014; 9(8): e105463.
- 9) **Schlick C**, Joachin M, Briceno L, Moraga D, Radon K. Occupational injuries among children and adolescents in Cusco Province: prevalence and risk factors. *BMC Public Health*. 2014; 14: 766-73.
- 10) Wuehr M, Schniepp R, **Schlick C**, Huth S, Pradhan C, Dieterich M, Brandt T, Jahn K. Sensory loss and walking speed related factors for gait alterations in patients with peripheral neuropathy. *Gait Posture*. 2014; 39(3): 852-8.
- 11) Schniepp R, Wuehr M, **Schlick C**, Huth S, Pradhan C, Dieterich M, Brandt T, Jahn K. Increased gait variability is associated with history of falls in patients with cerebellar ataxia. *J Neurol*. 2014; 261(1): 213-23.
- 12) **Schlick C**, Struppler A, Boetzel K, Plate A, Ilmberger J. Dynamic visual cueing in combination with treadmill training for gait rehabilitation in Parkinson's disease (case report). *Am J Phys Med Rehabil*. 2012; 91(1): 75-9.
- 13) Szecsi J, **Schlick C**, Schiller M, Pöllmann W, Koenig N, Straube A. Functional Electrical Stimulation-assisted cycling of patients with Multiple Sclerosis: Biomechanical and functional outcome – a pilot study. *J Rehabil Med*. 2009; 41: 674-80.

### *Kongressbeiträge*

- 1) **Schlick C**, Schniepp R, Jahn K. Situational factors of fear of falling in vertigo and balance disorders. 2<sup>nd</sup> Congress of the European Academy of Neurology, Copenhagen 2016.

- 2) **Schlick C**, Wuehr M, Gerth J, Schniepp R, Jahn K. Prediction of falls through gait variability and symptom severity in cerebellar syndromes. 60. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung, Düsseldorf 2016.
- 3) **Schlick C**, Schniepp R, Gerth J, Wuehr M, Jahn K. Incidence, circumstances and prediction of falls in cerebellar syndromes. 3<sup>rd</sup> European Congress of NeuroRehabilitation, Wien 2015. [ausgezeichnet mit: EFNR Award for Young Researcher].
- 4) Jahn K, **Schlick C**, Schniepp R. Falls and fear of falling in dizzy patients. Congress of the International Society for Posture and Gait Research, Sevilla 2015.
- 5) **Schlick C**, Wagner S, Ernst A, Ilmberger J. Visual cueing combined with treadmill training in Parkinson's disease: effects on gait and balance. 1<sup>st</sup> Clinical Movement Analysis World Conference, Rom 2014.
- 6) **Schlick C**, Schniepp R, Jahn K. Sturzgefahr bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen: Prävalenzdaten aus einer Spezial-Ambulanz. 87. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie, München 2014.
- 7) Jahn K, **Schlick C**, Schniepp R. High rate of falls among patients with vertigo and dizziness - data from a tertiary care center. Congress of the International Society for Posture and Gait Research, Vancouver 2014.
- 8) **Schlick C**, Schniepp R, Jahn K. Stürze bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen: Prävalenzstudie in einer Spezial-Ambulanz. 58. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung, Berlin 2014.
- 9) **Schlick C**, Schniepp R, Jahn K. Stürze als Komplikation motorischer und kognitiver Einschränkungen bei neurologischen Erkrankungen: Epidemiologie und Algorithmen zur Erfassung. 86. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Neurologie, Dresden 2013.

# 1 EINLEITUNG

## *Hintergrund und Gegenstand der Dissertation*

Stürze sind eine verbreitete Komplikation des Alterns. Studien zeigen, dass über 30 % der Personen jenseits ihres 60. Lebensjahres mindestens einmal jährlich stürzen (1, 2). Rund die Hälfte aller Stürze verursachen leichte Verletzungen und etwa 5 bis 10 % haben schwerwiegende Folgen, z.B. Frakturen oder Kopfverletzungen (2-4). Häufig entstehen neben physischen ebenso psychische Beeinträchtigungen, wie Sturzangst, Gefühle von Hilflosigkeit und soziale Isolation (5, 6).

Erkrankungen, die das Gang- und Gleichgewichtsvermögen stören, steigern die Sturzgefahr erheblich. Bei der Parkinson-Erkrankung zum Beispiel beträgt die jährliche Sturzinzidenz bis zu 70 % (7). Veränderungen des Stand- und Gangmusters, insbesondere ein verlangsamtes Gehtempo, eine übermäßige Variabilität der Schrittfolge und eine verminderte Dual-Task-Fähigkeit, stellen bei neurologischen und geriatrischen Patienten entscheidende Indikatoren für ein erhöhtes Sturzrisiko dar (8-12).

Bei vestibulären Erkrankungen unterschiedlicher Ätiologie stehen neben Schwindelbeschwerden häufig Stand- und Gangstörungen im Vordergrund. In der Spezialambulanz des Deutschen Schwindel- und Gleichgewichtszentrums, in der außer den klassischen vestibulären Störungen auch neurodegenerative Erkrankungen und Polyneuropathien mit Leitsymptom Schwindel behandelt werden, berichten rund 40 % der Patienten unter Schwierigkeiten beim Gehen und Stehen zu leiden (13). Die Auswirkungen auf das Sturzrisiko sind bei der Mehrheit dieser Patienten bislang nicht hinreichend untersucht worden. Damit ist derzeit ebenso unklar, in welchem Umfang und durch welche Maßnahmen Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen im Hinblick auf drohende Sturzereignisse untersucht und präventiv behandelt werden sollten.

Die vorliegende Dissertation fasst eigene Forschungsergebnisse aus einem umfangreichen wissenschaftlichen Projekt zusammen, in dessen Rahmen das krankheitsspezifische Sturzrisiko sowie potentielle Sturzindikatoren bei Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen untersucht werden. Perspektivisches Ziel ist es, aus der Beurteilung des Sturzrisikos Konsequenzen und Strategien zur Prophylaxe abzuleiten. Die Studien, die in diese Dissertation einbezogen sind, tragen hauptsächlich dazu bei, das Sturzrisiko auf Basis der zugrundeliegenden Erkrankung einschätzen und in einem weiteren Schritt mittels spezieller diagnostischer Mobilitätsmarker quantifizieren zu können.

Die erste Publikation beinhaltet die Ergebnisse einer Querschnitterhebung, die das Ausmaß des Sturzrisikos und potentieller Sturzbedenken innerhalb des gesamten Spektrums zentraler, peripherer und funktioneller Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen untersuchte (14)<sup>1</sup>. Primäres Ziel war es, das Sturzrisiko für die einzelnen Störungsbilder zu ermitteln und die Sturzprofile untereinander zu vergleichen. Damit wurde eine krankheitsspezifische Graduierung des Sturzrisikos ermöglicht, um in einem nächsten Schritt für Patienten mit erhöhter Sturzgefährdung entsprechende Risikofaktoren zu identifizieren.

Die zweite Publikation ist Teil einer Studienserie, bei der verschiedene Untersuchungen durchgeführt wurden, um jeweils die krankheitsspezifische Gangstörung in den Patientengruppen mit vermehrter Sturzneigung zu charakterisieren. Ein besonderer Fokus lag dabei auf der Quantifizierung der Gangstabilität, die einen relevanten Marker für das Sturzrisiko darstellt. Bis dato wurden folgende Krankheitsbilder untersucht: Downbeat Nystagmus Syndrom (15)<sup>2</sup>, zerebelläre Ataxie und bilaterale Vestibulopathie (16) sowie Polyneuropathie (17)<sup>3</sup>.

In den vorangegangenen Studien stellte sich heraus, dass die Beeinträchtigung der Gangstabilität und das Sturzrisiko bei Kleinhirnstörungen stark ausgeprägt sind. Die Studie, die in der dritten Publikation vorgestellt wird, untersuchte daher die Wechselbeziehung zwischen der erhöhten Gangvariabilität, dem Krankheitsschweregrad und dem Sturzrisiko bei Patienten mit zerebellärer Ataxie (18)<sup>4</sup>. Die Studie wurde als Erweiterung einer vorangestellten Untersuchung durchgeführt, die eine Assoziation zwischen Gangvariabilität und Sturzfrequenz aufdeckte (19)<sup>3</sup>.

Dass Patienten mit Morbus Parkinson einer hohen Sturzgefahr ausgesetzt sind, die vor allem durch die krankheitstypische Gangstörung verursacht wird, ist bereits umfassend belegt (20, 21). Für diese Patientengruppe wurde parallel zu den anderen Studien ein spezielles Gangtraining entwickelt und evaluiert. Die entsprechende Interventionsstudie bildet als vierte Publikation den abschließenden Teil dieser Dissertation (22)<sup>5</sup>.

---

<sup>1</sup> **Publikation I, Erst-Autorenschaft**, Eigenanteil: Konzept (70%), Design (80%), Datenerhebung (60%), Datenanalyse (90%), Dateninterpretation (70%), Manuskript (90%)

<sup>2</sup> **Publikation II, Ko-Autorenschaft**, Eigenanteil: Datenerhebung (50%), Datenanalyse (10%), Dateninterpretation (10%), Manuskript (10%)

<sup>3</sup> **Ko-Autorenschaft**, nicht Gegenstand dieser Dissertation aufgrund anderweitiger Verwendung

<sup>4</sup> **Publikation III, Ko-Autorenschaft**, Eigenanteil: Studiendesign (20%), Datenerhebung (40%), Datenanalyse (20%), Dateninterpretation (20%), Manuskript (15%)

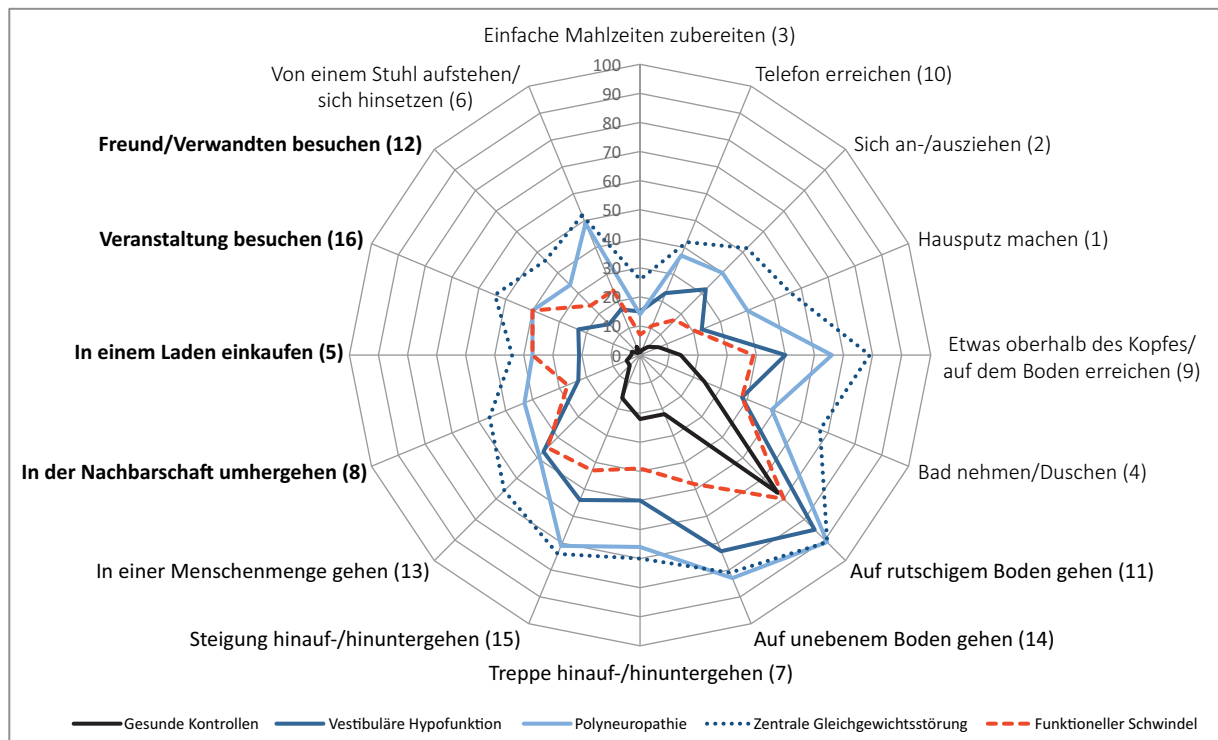
<sup>5</sup> **Publikation IV, Erst-Autorenschaft**, Eigenanteil: Konzept (30%), Design (40%), Datenerhebung (40%), Datenanalyse (90%), Dateninterpretation (70%), Manuskript (90%)

### ***Sturzrisiko und Sturzangst bei Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen***

Die Querschnittstudie ergab einen graduellen Anstieg des Sturzrisikos ausgehend von den funktionellen über die peripheren bis hin zu den zentralen Krankheitsbildern (14). Bei den zentralen Erkrankungen, also vor allem bei Hirnstamm- und Kleinhirnstörungen sowie bei Parkinson-Syndromen, lag das Sturzrisiko rund 15 Mal höher als in einer gesunden Vergleichsgruppe. Besonders relevant zeigte sich bei den Kleinhirn- und Basalganglienerkrankungen das erhebliche Verletzungsrisiko, mindestens ein Drittel der gestürzten Patienten musste medizinisch behandelt werden. Innerhalb der zerebellären Störungen wurde darüber hinaus mit Hilfe einer Subgruppenanalyse festgestellt, dass Patienten mit isolierter Okulomotorikstörung, vorwiegend Downbeat Nystagmus Syndrom, genauso häufig von Stürzen betroffen sind wie Patienten, die zusätzlich an einer Gangataxie leiden. Bei den peripheren Erkrankungen, zu denen Funktionsstörungen des Vestibularorgans und polyneuropathische Syndrome zählen, war das Sturzrisiko moderat ausgeprägt. Tendenziell waren Patienten mit Polyneuropathie und bilateraler Vestibulopathie etwas stärker von Stürzen betroffen (vier- bis fünffach erhöhtes Sturzrisiko) als Patienten mit unilateraler vestibulärer Störung (zwei- bis dreifach erhöhtes Sturzrisiko). Bei funktionellen Schwindelsyndromen, z.B. beim phobischem Schwankschwindel, zeigte sich kein gesteigertes Risiko zu stürzen. Darüber hinaus war ein fortgeschrittenes Alter (> 65 Jahre) unabhängig von einer zugrundeliegenden Erkrankung mit einem erhöhten Sturzrisiko assoziiert (14).

Sturzbedenken wurden von nahezu allen Patienten über das gesamte Krankheitsspektrum, einschließlich funktioneller Schwindelbeschwerden, geäußert. Die Ausprägung war bei funktionellen und peripheren Störungen moderat und bei zentralen Erkrankungen erheblich (14). Eine erweiterte Auswertung der Sturzangst-bezogenen Daten ergab, dass das Auftreten von Sturzbedenken bei funktionellen und peripheren Störungen häufig von situativen Faktoren abhängig ist, während Sturzängste zwar viele Patienten mit zentralen Erkrankungen betreffen, aber kaum situationsabhängig auftreten (Abbildung 1) (23). Patienten mit funktionellem Schwindel fürchteten Stürze vor allem in einem sozialen Kontext, z.B. beim Besuch einer gesellschaftlichen Veranstaltung. In dieser Situation hatten 40 % der Patienten mit funktionellem Schwindel Sorge zu stürzen, während lediglich von einem Prozent der gesunden Probanden und 12 Prozent der Patienten mit Vestibulopathie Sturzbedenken geäußert wurden. Sturzangst-auslösend wirkten bei der Mehrheit der funktionellen Patienten zudem Situationen mit erschwerten Gangbedingungen, z.B. das Gehen auf unebenen Untergründen, Treppensteigen oder das Umhergehen in einer Menschenmenge. Im Gegensatz zu dem sozialen Kontext galt dies ebenso für Patienten mit vestibulären Funktionsstörungen.

Da die epidemiologischen Daten bei peripheren und zentralen Störungen für eine mittlere bzw. hohe Sturzgefahr sprechen, sollten für diese Patientengruppen weitere Untersuchungen zur Identifizierung krankheitsspezifischer Sturzrisikofaktoren durchgeführt werden. Innerhalb der klinischen Versorgung empfiehlt es sich, vorangegangene und drohende Sturzereignisse diagnostisch und therapeutisch zu berücksichtigen, z.B. in Form eines klinischen Sturz-Screenings mit darauffolgender Prophylaxe-Empfehlung. Bei funktionellen Schwindelbeschwerden sollten trotz eines geringen Sturzrisikos mögliche Sturzängste Beachtung finden. Situative Triggerfaktoren könnten dabei richtungsweisend für die Wahl psycho- und physiotherapeutischer Interventionen sein.



**Abbildung 1:** Prozentualer Anteil der Patienten, die mindestens einige Sturzbedenken auf der internationalen Version der Falls Efficacy Scale (FES-I) (24, 25) angaben. Die Fragebogen-Items sind einzeln dargestellt (23). Patienten mit funktionellem Schwindel gaben Sturzbedenken vor allem in einem sozialen Kontext (Item 5, 8, 12 und 16) und unter erschwerten Gangbedingungen (Item 7, 11, 13, 14 und 15) an.

### **Gangpathologie als Marker für das Sturzrisiko**

Zur Einschätzung der individuellen Sturzgefahr spielen Risikofaktoren eine bedeutende Rolle. In einem umfangreichen Bericht zur Sturzprävention für die ältere Bevölkerungsschicht gliedert die Weltgesundheitsorganisation Sturz-begünstigende bzw. -präventive Faktoren in vier Kategorien (1):

1. biologische Faktoren (z.B. Alter, Geschlecht, chronische Erkrankungen, Gang- und Balancestörungen, kognitive Leistungsfähigkeit),

2. behaviorale Faktoren (z.B. multipler Medikamentengebrauch, Bewegungsmangel),
3. Umwelt-bezogene Faktoren (z.B. rutschige Böden und Treppen im privaten und öffentlichen Raum), und
4. sozioökonomische Faktoren (z.B. niedriges Bildungsniveau).

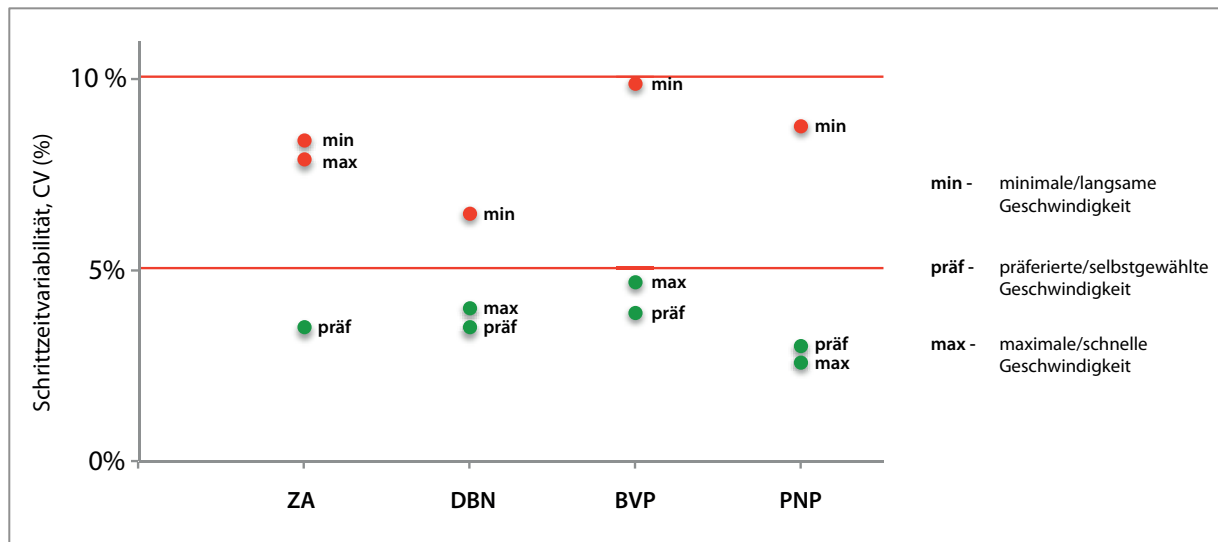
Zu den gewichtigsten Faktoren gehören laut einer Metaanalyse neben einer positiven Sturzanamnese und der Einnahme bestimmter Medikamente vor allem Schwierigkeiten beim Gehen und die Nutzung einer Gehhilfe (4).

Gangstörungen äußern sich u.a. in Veränderungen der zeitlichen und räumlichen Gangparameter, und lassen sich so quantifizieren. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine gesteigerte Variabilität dieser Parameter, beispielsweise die Schritt-zu-Schritt-Fluktuation der Schrittzeit, bei älteren Menschen in Zusammenhang mit dem Auftreten von Stürzen steht (9, 12, 26, 27). Ähnliches fand sich für Patienten mit Morbus Parkinson, bei denen eine erhöhte Schrittzeitvariabilität zusammen mit dem Erkrankungsschweregrad ein vermehrtes Sturzrisiko indizierte (21, 28). Da Technologien zur Ganganalyse zunehmend Einzug in klinische Settings erhalten, könnten Beeinträchtigungen der Gangstabilität künftig als quantitative Prädiktoren für Stürze in ein klinisches Sturz-Screening einfließen (13, 29).

Vor diesem Hintergrund wurde eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, um die Stabilität des Gangmusters bei Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen und vermehrter Sturzneigung zu charakterisieren. Unter den Erkrankungen mit hoher Sturzgefährdung wurden Patienten mit zerebellärer Ataxie (16) und Downbeat Nystagmus Syndrom (15) untersucht, unter den Erkrankungen mit moderatem Sturzrisiko wurden Patienten mit bilateraler Vestibulopathie (16) und Polyneuropathie (17) getestet. Die jeweiligen Studien überprüften, ob sich das Gangmuster der Patienten im Hinblick auf die Geschwindigkeit und die Variabilität der spatiotemporalen Gangparameter von einer gesunden Vergleichsgruppe unterscheidet. Dabei wurde die Gangvariabilität u.a. mit Hilfe des Variationskoeffizienten (CV; *englisch: Coefficient of Variation*) der Schrittzeit quantifiziert:

$$CV (\%) = (\text{Standardabweichung} / \text{Mittelwert}) \times 100.$$

Sowohl bei den zentralen als auch bei den peripheren Störungen war die Stabilität des Gangmusters geschwindigkeitsabhängig beeinträchtigt. Dies äußerte sich durch eine erhöhte Gangvariabilität außerhalb des selbstgewählten Geschwindigkeitssektors. Bei Patienten mit Downbeat Nystagmus Syndrom (15), bilateraler Vestibulopathie (16) und Polyneuropathie (17) war die Schrittzeitvariabilität bei langsamer Ganggeschwindigkeit erhöht, bei zerebellärer Ataxie zusätzlich im maximalen Geschwindigkeitssektor (16) (Abbildung 2).



**Abbildung 2.** Amplitude der temporalen Gangvariabilität im jeweiligen Geschwindigkeitssektor bei zerebellärer Ataxie (ZA) (16), Downbeat Nystagmus Syndrom (DBN) (15), bilateraler Vestibulopathie (BVP) (16) und Polyneuropathie (PNP) (17). Die Schrittzeitvariabilität lag in der gesunden Vergleichsgruppe in allen Geschwindigkeitssektoren unterhalb der 5%-Marke.

Infolge der Untersuchungen zur Gangstabilität wurde im nächsten Schritt der Zusammenhang zwischen der temporalen Gangvariabilität und dem Auftreten von Sturzereignissen überprüft. Das Hauptaugenmerk lag zunächst auf der Patientengruppe der zerebellären Ataxie, da hier zum einen die Sturzgefahr erheblich und zum anderen die Datenlage hinsichtlich Sturzrisikofaktoren gering ist. Zwei Studien wurden in retrospektivem Design zu dieser Fragestellung durchgeführt. Aus beiden geht hervor, dass eine erhöhte Schrittzeitvariabilität bei langsamer Ganggeschwindigkeit mit einer positiven Sturzanamnese assoziiert ist (18, 19). Dies lässt sich am ehesten dadurch erklären, dass die posturale Kontrolle bei niedrigen Ganggeschwindigkeiten stark auf sensorische Rückkopplungsmechanismen angewiesen ist, die bei Kleinhirnataxie aufgrund der gestörten zerebellären Verarbeitung sensomotorischer Signale beeinträchtigt sind (18, 19). Obwohl Patienten mit zerebellärer Ataxie zusätzlich eine gesteigerte Gangvariabilität im maximalen Geschwindigkeitssektor aufwiesen, fand sich hier kein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten von Stürzen (18, 19). Die jüngere der beiden Studien untersuchte neben der Beziehung von Stürzen und Gangvariabilität auch den wechselseitigen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern und dem klinischen Score zum Schweregrad der Ataxie (Scale for the Assessment and Rating of Ataxia, SARA). Die Korrelationsanalyse ergab erstens, dass die gesteigerte Gangvariabilität im maximalen Geschwindigkeitssektor mit dem SARA-Score assoziiert ist, und zweitens, dass der SARA-Score nicht mit dem Auftreten von Stürzen zusammenhängt (18). Eine gesteigerte Gangvariabilität im schnellen Geschwindigkeitssektor ist daher vermutlich Ausdruck einer gestörten zerebellären Steuerung und Koordination der Extremitätenbewegungen. Dieser Gangparameter



indiziert das klinische Ausmaß der Ataxie, während eine erhöhte Gangvariabilität im langsamen Geschwindigkeitssektor ein vermehrtes Sturzrisiko anzeigt (**18**).

Die Verknüpfung zwischen Sturzfrequenz und Ganginstabilität wird von unserer Arbeitsgruppe derzeit in einer prospektiven Kohortenstudie für die Erkrankungsgruppen mit hohem und mittlerem Sturzrisiko untersucht (Registrierungsnummer: DRKS00006243). Eine vorläufige Analyse bestätigte den Zusammenhang zwischen der initial erhobenen Schrittzeitvariabilität und der Sturzinzidenz bei Patienten mit zerebellärer Ataxie. Dies galt insbesondere für Stürze, die durch Stolpern bei ungehindertem Gehen auftraten und weniger für solche, die beim Treppen steigen oder Wechseln der Körperposition passierten (Tabelle 1) (30). Demzufolge scheint es für verschiedene Sturzkategorien individuell zugehörige Risikofaktoren zu geben. Dies unterstreicht die komplexe Genese von Stürzen und die Notwendigkeit einer multifaktoriellen Strategie im Hinblick auf die Diagnostik des Sturzrisikos sowie die Prävention von Sturzereignissen.

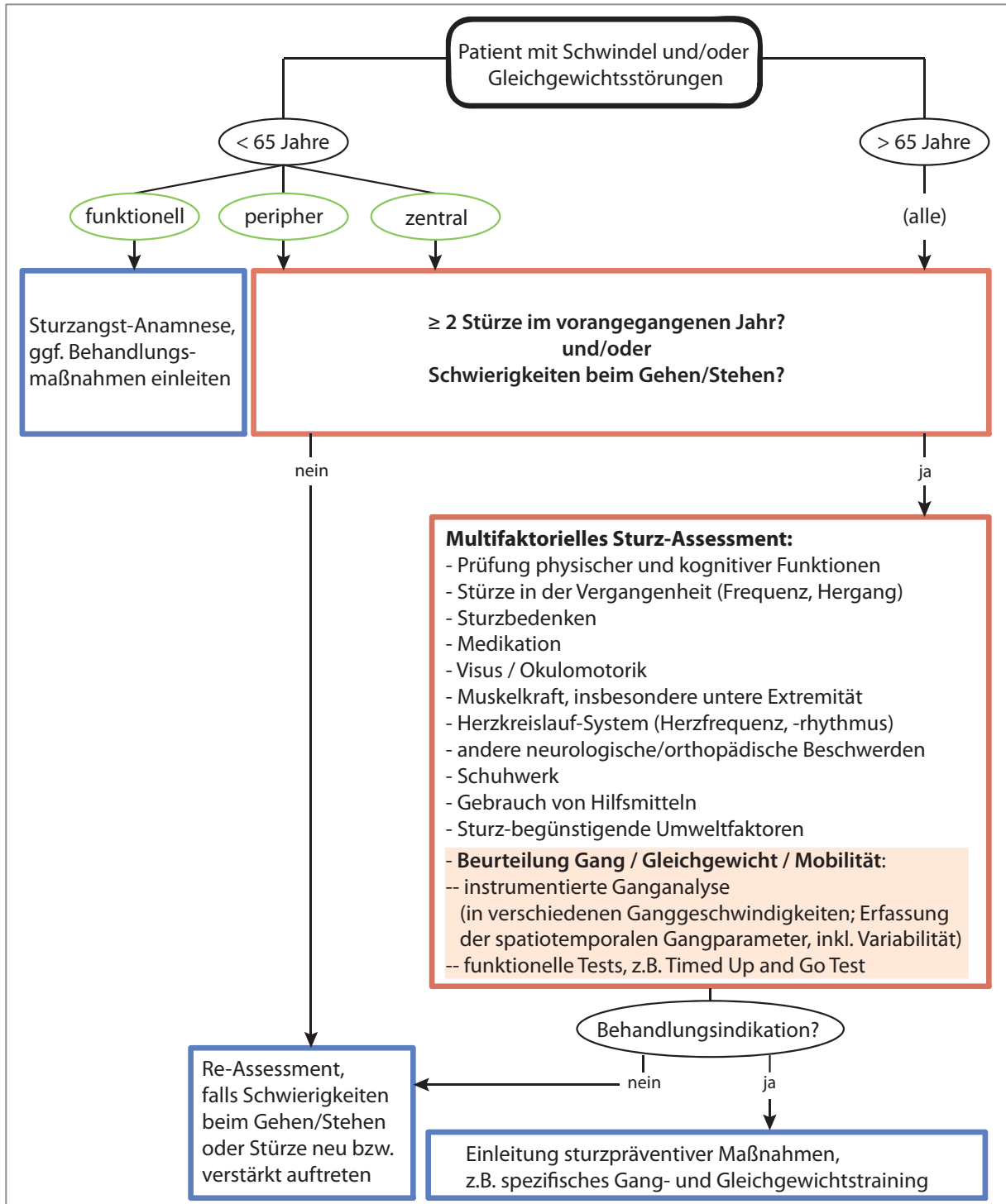
**Tabelle 1.** Zusammenhang zwischen Gangvariabilität und Sturzkategorie (30).

Sturzkategorie	Odds Ratio (adjustiert für Alter und Geschlecht)	
	Schrittzeit, CV* (%)	Schrittzykluslänge, CV* (%)
Stürze bei ungehindertem Gehen	<b>3.9 [1.2; 12.5]</b>	<b>2.5 [1.1; 6.1]</b>
Stürze beim Treppe steigen	1.0 [0.7; 1.4]	1.0 [0.8; 1.3]
Stürze beim Transfer	1.0 [0.7; 1.4]	1.3 [0.9; 1.8]

\*CV – Coefficient of Variation

### ***Implikationen für ein klinisches Sturz-Screening***

Auf Basis der bisherigen Datenlage lassen sich vorläufige Empfehlungen für ein Sturz-Screening bei Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen ableiten. Eine entsprechende Handlungsstrategie zur Anwendung in der klinischen Praxis wurde in Anlehnung an die geltenden Richtlinien zur Beurteilung der Sturzgefährdung älterer Personen konzipiert (31). Der modifizierte Algorithmus ist in Abbildung 3 dargestellt. Dieser berücksichtigt die Ergebnisse aus der oben beschriebenen Querschnittstudie (**14**), indem zunächst in Alter und Ätiologie der Erkrankung (zentral, peripher oder funktionell) untergliedert wird. Patienten mit funktionellem Schwindel werden in Bezug auf potentielle Sturzbedenken befragt, z.B. mit Hilfe der Falls Efficacy Scale-International (FES-I), und ggf. behandelt. Ab welchem Schwellenwert der FES-I-Punktzahl eine Behandlungsbedürftigkeit besteht und welche Therapieverfahren in Frage kommen, ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht untersucht. Eine vorerst pragmatische Herangehensweise könnte sein, Patienten mit moderater und hoher Sturzangst (FES-I-Punktzahl > 20 bzw. > 29 (32)) ein etabliertes psychotherapeutisches Verfahren zur Angstreduktion zu empfehlen. Aufgrund des hohen bzw. moderaten Sturzrisikos



**Abbildung 3.** Algorithmus zur Erfassung des individuellen Sturzrisikos bei Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen. Modifiziert nach: *Updated American Geriatrics Society / British Geriatrics Society Clinical Practice Guideline for Prevention of Falls in Older Persons* (31).

werden Patienten mit zentralen und peripheren Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen unabhängig von ihrem Alter hinsichtlich einer weiterführenden Diagnostik des Sturzrisikos berücksichtigt. Bei einer positiven Sturzangst-Anamnese ( $\geq$  zwei Stürze/Jahr) und/oder klinisch auffälligen Gang- oder Standschwierigkeiten folgt dann ein multifaktorielles Sturz-Assessment. Der modifizierte

Algorithmus umfasst dabei neben der Untersuchung der bekannten altersbedingten Risikofaktoren zusätzlich die Messung krankheitsspezifischer Mobilitätsparameter, die als quantitative Indikatoren für das Sturzrisiko in Frage kommen. Dazu gehören insbesondere die Variabilitätsmaße der spatiotemporalen Gangparameter. Die Ganguntersuchung sollte unbedingt über das gesamte Geschwindigkeitsspektrum erfolgen. Aufgrund der aktuellen Studienlage kann davon ausgegangen werden, dass Patienten mit zerebellärer Ataxie, bei denen die Schrittzeitvariabilität im langsamen Geschwindigkeitssektor die 5%-Marke überschreitet, vermehrt sturzgefährdet sind und präventiv behandelt werden sollten (18, 19). Darüber hinaus können verschiedene funktionelle Mobilitätstests hinzugezogen werden, z.B. der **Timed Up and Go Test (TUG)**, bei dem die benötigte Zeit zur Durchführung des Tests beurteilt wird. Bei Patienten mit vestibulären Funktionsstörungen oder Morbus Parkinson sprechen Werte über 11,1 bzw. 11,5 Sekunden für ein erhöhtes Sturzrisiko (33, 34). Die Bestimmung solcher Schwellenwerte trägt entscheidend dazu bei, Patienten mit erhöhtem Sturzrisiko zu identifizieren. Zum heutigen Zeitpunkt ist jedoch weitgehend unklar, bei welcher Ausprägung und Konstellation der Risikofaktoren eine sturzpräventive Behandlung indiziert ist und wie diese gestaltet werden sollte. Die Einleitung entsprechender Maßnahmen orientiert sich daher zunächst anhand des ermittelten Risikofaktorenprofils. Evidenzbasierte Methoden zur Modifikation allgemeiner Risikofaktoren beinhalten z.B. eine sicherheitsfördernde Gestaltung der häuslichen Umgebung (35, 36). Solche krankheitsunspezifischen Maßnahmen können auch bei Patienten mit Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen Anwendung finden. Die Veränderung krankheitsbedingter Risikofaktoren, wie z.B. eine spezifische Abweichung des Gangmusters, erfordert jedoch spezielle Trainingsprogramme, um Sturzereignissen bei diesen Patientengruppen gezielt vorbeugen zu können.

### ***Gangtraining als Bestandteil des Sturzmanagements am Beispiel Morbus Parkinson***

Als spezifische Therapieverfahren zur Verbesserung der Parkinson-typischen Festination („Kleinschrittigkeit“) und Verlangsamung der Ganggeschwindigkeit haben sich verschiedene Cueing-Strategien und das Gangtraining auf dem Laufband als besonders geeignet erwiesen (37, 38). Dabei haben die sogenannten Cues, die beispielsweise in Form von visuellen Schrittvorgaben auf der Lauffläche präsentiert werden, vor allem einen normalisierenden Effekt auf die spatiotemporalen Gangparameter (39), während das Laufbandtraining insbesondere die Ganggeschwindigkeit positiv beeinflusst (38). Innerhalb einer Machbarkeitsstudie, die den Einsatz eines Cueing-Programms zur Sturzprophylaxe überprüfte, berichtete die große Mehrheit der Patienten in den folgenden sechs Monaten weniger zu stürzen (40). Cueing-Techniken werden in den Leitlinien zum Sturzmanagement bei Morbus Parkinson empfohlen (20).

Darauf basierend wurde innerhalb eines Kooperationsprojektes aus universitären und industriellen Partnern (Klinikum der Universität München, Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation; Fa. zebris Medical GmbH; Fa. realtime visions GmbH; eurom, Universität Bochum) ein



Abbildung 4. Kombinierte Therapie aus visuellem Cueing und Laufbandtraining.

dem visuelle Schrittvorgaben auf die Lauffläche des Laufbandes projiziert werden (Abbildung 4). Innerhalb einer randomisierten kontrollierten Pilotstudie mit 23 mittel- bis hochgradig betroffenen Parkinson-Patienten wurden die Effekte der kombinierten Trainingsstrategie mit einem herkömmlichen Laufbandtraining verglichen (22). Während eine Zunahme der Schrittlänge und Ganggeschwindigkeit (gemessen auf dem Laufband) mit Hilfe beider Interventionen erreicht werden konnte, stellte sich eine Verbesserung im TUG ausschließlich aufgrund der kombinierten Trainingsstrategie ein (22). Der TUG eignet sich bei der Parkinson-Erkrankung einerseits als funktioneller Mobilitätsparameter (41) und andererseits als Indikator für das individuelle Sturzrisiko (34). Daraus lässt sich ableiten, dass der zusätzliche Einsatz visueller Cues den Übertrag des Trainingserfolges von der artifiziellen Gehfläche des Laufbandes auf eine natürliche Gehfläche fördert. Des Weiteren könnte mit der kombinierten Trainingsstrategie eine Reduktion des Sturzrisikos erzielt werden. Die benötigte Zeit zur Durchführung des TUG verkürzte sich in der entsprechenden Trainingsgruppe von initial 14,4 ( $\pm$  6,8) auf 10,9 ( $\pm$  4,4) Sekunden (22) und lag damit nach Studienende unter dem Schwellenwert, der ab 11,5 Sekunden ein erhöhtes Sturzrisiko indiziert (34). Weiterführende Forschungsarbeiten sind notwendig, um die sturzpräventive Wirkung zu verifizieren. Dabei sollten als Parameter des Sturzrisikos neben funktionellen Mobilitätstests auch Variabilitätsmaße des Gangmusters sowie die tatsächliche Sturzinzidenz vor und nach der Intervention einbezogen werden.

Rehabilitationsansätze zur Verbesserung von Gleichgewicht und Lokomotion werden ebenso für Patienten mit zerebellären und vestibulären Funktionsstörungen vorgeschlagen und in der Praxis angewendet (42-45). Die Wirksamkeit im Hinblick auf eine Reduktion des Sturzrisikos ist bis dato jedoch nicht hinreichend untersucht worden. Spezifische Programme zur Sturzprävention sollten für die verschiedenen Schwindel- und Gleichgewichtserkrankungen unter Berücksichtigung der jeweiligen Gangpathologie entwickelt und evaluiert werden.

**Literatur**

1. World Health Organization. WHO global report on falls prevention in older age. 2007.
2. Masud T, Morris RO. Epidemiology of falls. *Age and ageing*. 2001; 30 Suppl 4: 3-7.
3. Rubenstein LZ. Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and ageing*. 2006; 35 Suppl 2: ii37-ii41.
4. Deandrea S, Lucenteforte E, Bravi F, Foschi R, La Vecchia C, Negri E. Risk factors for falls in community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis. *Epidemiology*. 2010; 21(5): 658-68.
5. Howland J, Lachman ME, Peterson EW, Cote J, Kasten L, Jette A. Covariates of fear of falling and associated activity curtailment. *The Gerontologist*. 1998; 38(5): 549-55.
6. Howland J, Peterson EW, Levin WC, Fried L, Pordon D, Bak S. Fear of falling among the community-dwelling elderly. *Journal of aging and health*. 1993; 5(2): 229-43.
7. Wood BH, Bilclough JA, Bowron A, Walker RW. Incidence and prediction of falls in Parkinson's disease: a prospective multidisciplinary study. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2002; 72(6): 721-5.
8. Kressig RW, Herrmann FR, Grandjean R, Michel JP, Beauchet O. Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients? *Aging clinical and experimental research*. 2008; 20(2): 123-30.
9. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2001; 82(8): 1050-6.
10. Plotnik M, Giladi N, Dagan Y, Hausdorff JM. Postural instability and fall risk in Parkinson's disease: impaired dual tasking, pacing, and bilateral coordination of gait during the "ON" medication state. *Experimental brain research*. 2011; 210(3-4): 529-38.
11. Baetens T, De Kegel A, Palmans T, Oostra K, Vanderstraeten G, Cambier D. Gait analysis with cognitive-motor dual tasks to distinguish fallers from nonfallers among rehabilitating stroke patients. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2013; 94(4): 680-6.
12. Mortaza N, Abu Osman NA, Mehdikhani N. Are the spatio-temporal parameters of gait capable of distinguishing a faller from a non-faller elderly? *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2014; 50(6): 677-91.
13. Jahn K, Wuehr M, Selge C, Hesselbarth K, Schlick C, Schniepp R. Stand- und Ganganalyse bei Schwindel. *Aktuelle Neurologie*. 2015; 42: 509-14.
14. Schlick C, Schniepp R, Loidl V, Wuehr M, Hesselbarth K, Jahn K. Falls and fear of falling in vertigo and balance disorders: A controlled cross-sectional study. *Journal of vestibular research: equilibrium & orientation*. 2016; 25(5-6): 241-51.
15. Schniepp R, Wuehr M, Huth S, Pradhan C, Schlick C, Brandt T, et al. The gait disorder in downbeat nystagmus syndrome. *PloS one*. 2014; 9(8): e105463.
16. Schniepp R, Wuehr M, Neuhaeusser M, Kamenova M, Dimitriadis K, Klopstock T, et al. Locomotion speed determines gait variability in cerebellar ataxia and vestibular failure. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*. 2012; 27(1): 125-31.
17. Wuehr M, Schniepp R, Schlick C, Huth S, Pradhan C, Dieterich M, et al. Sensory loss and walking speed related factors for gait alterations in patients with peripheral neuropathy. *Gait & posture*. 2014; 39(3): 852-8.
18. Schniepp R, Schlick C, Pradhan C, Dieterich M, Brandt T, Jahn K, et al. The interrelationship between disease severity, dynamic stability, and falls in cerebellar ataxia. *Journal of neurology*. 2016; 263(7): 1409-17.

19. Schniepp R, Wuehr M, Schlick C, Huth S, Pradhan C, Dieterich M, et al. Increased gait variability is associated with the history of falls in patients with cerebellar ataxia. *Journal of neurology*. 2014; 261(1): 213-23.
20. van der Marck MA, Klok MP, Okun MS, Giladi N, Munneke M, Bloem BR, et al. Consensus-based clinical practice recommendations for the examination and management of falls in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & related disorders*. 2014; 20(4): 360-9.
21. Schaafsma JD, Giladi N, Balash Y, Bartels AL, Gurevich T, Hausdorff JM. Gait dynamics in Parkinson's disease: relationship to Parkinsonian features, falls and response to levodopa. *Journal of the neurological sciences*. 2003; 212(1-2): 47-53.
22. Schlick C, Ernst A, Botzel K, Plate A, Pelykh O, Ilmberger J. Visual cues combined with treadmill training to improve gait performance in Parkinson's disease: a pilot randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*. 2016; 30(5): 463-71.
23. Schlick C, Schniepp R, Jahn K. Situational factors of fear of falling. *European Journal of Neurology*. 2016; 23 Suppl 1: 904.
24. Yardley L, Beyer N, Hauer K, Kempen G, Piot-Ziegler C, Todd C. Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age and ageing*. 2005; 34(6): 614-9.
25. Dias N, Kempen GI, Todd CJ, Beyer N, Freiburger E, Piot-Ziegler C, et al. [The German version of the Falls Efficacy Scale-International Version (FES-I)]. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*. 2006; 39(4): 297-300.
26. Hausdorff JM, Edelberg HK, Mitchell SL, Goldberger AL, Wei JY. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 1997; 78(3): 278-83.
27. Hausdorff JM, Edelberg HK, Cudkowicz ME, Singh MA, Wei JY. The relationship between gait changes and falls. *Journal of the American Geriatrics Society*. 1997; 45(11): 1406.
28. Hausdorff JM, Schaafsma JD, Balash Y, Bartels AL, Gurevich T, Giladi N. Impaired regulation of stride variability in Parkinson's disease subjects with freezing of gait. *Experimental brain research*. 2003; 149(2): 187-94.
29. Kressig RW, Beauchet O, European GNG. Guidelines for clinical applications of spatio-temporal gait analysis in older adults. *Aging clinical and experimental research*. 2006; 18(2): 174-6.
30. Schlick C, Schniepp R, Gerth J, Wuehr M, Jahn K. Incidence, circumstances and prediction of falls in cerebellar syndromes. *Neurologie & Rehabilitation*. 2015; 21 Suppl 1: S29.
31. Panel on Prevention of Falls in Older Persons AGS/BGS. Summary of the Updated American Geriatrics Society/British Geriatrics Society clinical practice guideline for prevention of falls in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2011; 59(1): 148-57.
32. Delbaere K, Close JC, Mikolaizak AS, Sachdev PS, Brodaty H, Lord SR. The Falls Efficacy Scale International (FES-I). A comprehensive longitudinal validation study. *Age and ageing*. 2010; 39(2): 210-6.
33. Whitney SL, Marchetti GF, Schade A, Wrisley DM. The sensitivity and specificity of the Timed "Up & Go" and the Dynamic Gait Index for self-reported falls in persons with vestibular disorders. *Journal of vestibular research: equilibrium & orientation*. 2004; 14(5): 397-409.
34. Nocera JR, Stegemoller EL, Malaty IA, Okun MS, Marsiske M, Hass CJ, et al. Using the Timed Up & Go test in a clinical setting to predict falling in Parkinson's disease. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2013; 94(7): 1300-5.
35. Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ, Sherrington C, Gates S, Clemson LM, et al. Interventions for preventing falls in older people living in the community. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2012; 9: CD007146.

36. Stubbs B, Brefka S, Denkinger MD. What Works to Prevent Falls in Community-Dwelling Older Adults? Umbrella Review of Meta-analyses of Randomized Controlled Trials. *Physical therapy*. 2015; 95(8): 1095-110.
37. Rocha PA, Porfirio GM, Ferraz HB, Trevisani VF. Effects of external cues on gait parameters of Parkinson's disease patients: a systematic review. *Clinical neurology and neurosurgery*. 2014; 124: 127-34.
38. Mehrholz J, Kugler J, Storch A, Pohl M, Hirsch K, Elsner B. Treadmill training for patients with Parkinson's disease. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2015; 9: CD007830.
39. Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ. Stride length regulation in Parkinson's disease. Normalization strategies and underlying mechanisms. *Brain: a journal of neurology*. 1996; 119(Pt 2): 551-68.
40. Martin T, Weatherall M, Anderson TJ, MacAskill MR. A Randomized Controlled Feasibility Trial of a Specific Cueing Program for Falls Management in Persons With Parkinson Disease and Freezing of Gait. *Journal of neurologic physical therapy*. 2015; 39(3): 179-84.
41. Brusse KJ, Zimdars S, Zalewski KR, Steffen TM. Testing functional performance in people with Parkinson disease. *Physical therapy*. 2005; 85(2): 134-41.
42. Ilg W, Timmann D. Gait ataxia--specific cerebellar influences and their rehabilitation. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*. 2013; 28(11): 1566-75.
43. Synofzik M, Ilg W. Motor training in degenerative spinocerebellar disease: ataxia-specific improvements by intensive physiotherapy and exergames. *BioMed research international*. 2014; 2014: 583507.
44. Whitney SL, Alghwiri A, Alghadir A. Physical therapy for persons with vestibular disorders. *Current opinion in neurology*. 2015; 28(1): 61-8.
45. McDonnell MN, Hillier SL. Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2015; 1: CD005397.

## 2 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Dissertation war es, zunächst das krankheitsspezifische Sturzrisiko bei Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen zu ermitteln und daraufhin die Gangstabilität als potentiellen Sturzrisikomarker in den Erkrankungsgruppen mit erhöhter Sturzgefährdung zu untersuchen. Parallel dazu wurde ein spezifisches Gangtraining für Patienten mit Morbus Parkinson, bei denen eine starke Disposition für Stürze bereits durch umfangreiche Forschungsarbeiten bekannt ist, entwickelt und evaluiert.

Das Sturzrisiko zeigte sich bei Erkrankungen des Kleinhirns und der Basalganglien stark und bei peripheren Störungen, wie vestibulären Dysfunktionen und Polyneuropathie, moderat ausgeprägt. Dementsprechend waren diese Patienten auch von Angst vor Stürzen betroffen. Patienten mit funktionellen Schwindelbeschwerden berichteten ebenfalls unter Sturzbedenken zu leiden, obwohl das Sturzrisiko im Vergleich zur Kontrollgruppe nicht erhöht war.

Bestimmte Gangabweichungen, insbesondere eine erhöhte Variabilität des Gangmusters, stellen Risikofaktoren für das Auftreten von Stürzen in der älteren Bevölkerung dar. Aus diesem Grund wurde eine Studienserie durchgeführt, innerhalb derer die Gangstabilität bei Patienten mit bilateraler Vestibulopathie, Polyneuropathie, Downbeat Nystagmus Syndrom und zerebellärer Ataxie quantifiziert wurde. Bei allen Krankheitsbildern war die Gangvariabilität bei langsamer Ganggeschwindigkeit gesteigert. Bei Patienten mit zerebellärer Ataxie zeigte sie sich zusätzlich bei schneller Ganggeschwindigkeit erhöht.

Der Zusammenhang zwischen Gangvariabilität und Sturzgeschichte wurde bis dato bei Patienten mit zerebellärer Ataxie überprüft. Eine gesteigerte Gangvariabilität bei langsamer Ganggeschwindigkeit ging mit einer hohen Sturzfrequenz einher, während eine erhöhte Gangvariabilität bei schneller Ganggeschwindigkeit mit einem hohen Ataxie-Schweregrad assoziiert war. Die Messung der Schritt-zu-Schritt-Fluktuation bei langsamem Gehen eignet sich daher für die Einschätzung des individuellen Sturzrisikos bei zerebellären Patienten.

Basierend auf der aktuellen Studienlage zur Gangrehabilitation bei Morbus Parkinson wurde eine kombinierte Therapie aus Laufbandtraining und visuellen Schrittvorgaben entwickelt und in einer Pilotstudie mit 23 mittel- bis hochgradig betroffenen Patienten untersucht. Der Trainingserfolg zeigte sich vor allem durch ein verbessertes Ergebnis im Timed Up and Go Test. Dies bedeutet nicht nur eine Besserung der funktionellen Gehfähigkeit, sondern spricht gleichzeitig für eine Reduktion des individuellen Sturzrisikos.



### 3 SUMMARY

The objective of this doctoral thesis was to first detect the disease-specific fall risk in patients with vertigo and balance disorders, to then investigate gait stability as a potential fall risk marker within the disease groups with an increased risk of falling. From previous research it is well known that patients with Parkinson's disease are very prone to falls. Therefore, a specific gait training was developed for this patient group in parallel to the other studies.

Fall risk was high in cerebellar and Parkinsonian disorders, and moderate in peripheral disorders, such as vestibular dysfunctions and peripheral neuropathy. Accordingly, these patients were concerned about falling. Patients with functional dizziness also reported to suffer from fear of falls, although their actual fall risk was not higher than in healthy controls.

Certain gait deviations, particularly an increased variability of the gait pattern, were found to be risk factors for falls in the elderly. Therefore, we conducted a study series to quantify gait stability in patients with bilateral vestibular failure, peripheral neuropathy, downbeat nystagmus syndrome and cerebellar ataxia. Gait variability was increased during slow walking in each of the disorders. In addition, patients with cerebellar ataxia presented with higher amplitudes of gait variability in the fast walking mode.

To date, we have investigated the relationship between gait variability and history of falls in patients with cerebellar ataxia. Increased gait variability during slow walking was linked with high frequencies of falls whereas increased gait variability during fast walking was associated with a more pronounced severity level of the ataxia. Consequently, measuring the stride-to-stride-fluctuations may help to estimate the individual fall risk in cerebellar patients.

According to the current evidence on gait rehabilitation in Parkinson's disease we developed a treatment strategy combining treadmill training and visual step targets. The approach was evaluated within a pilot trial with 23 moderately to severely affected patients. The treatment was particularly successful in improving the results of the Timed Up and Go Test. This does not only indicate enhancement of the functional walking performance, but also suggests a reduction of the individual fall risk.

## 4 PUBLIKATIONEN (Fundstellen)

### Publikation I

---

Falls and fear of falling in vertigo and balance disorders: A controlled cross-sectional study

Schlick C, Schniepp R, Loidl V, Wuehr M, Hesselbarth K, Jahn K

---

*Journal of Vestibular Research 2016; 25(5-6): 241-51*

*doi: 10.3233/VES-150564*

Published: 28 January 2016

**Publikation II**

---

The gait disorder in downbeat nystagmus syndrome

Schniepp R, Wuehr M, Huth S, Pradhan C, **Schlick C**, Brandt T, Jahn K

---

***PLoS ONE; 2014 9(8): e105463***

***doi: 10.1371/journal.pone.0105463***

Published: 20 August 2014

**Publikation III**

---

The interrelationship between disease severity, dynamic stability, and falls in cerebellar ataxia

Schniepp R, **Schlick C**, Pradhan C, Dieterich M, Brandt T, Jahn K, Wuehr M

---

***Journal of Neurology* 2016; 263(7): 1409-17**

***doi: 10.1007/s00415-016-8142-z***

Published online: 9 May 2016

**Publikation IV**

---

Visual cues combined with treadmill training to improve gait performance in Parkinson's disease:  
A pilot randomized controlled trial

**Schlick C**, Ernst A, Bötzel K, Plate A, Pelykh O, Ilmberger J

---

***Clinical Rehabilitation 2016; 30(5): 463-71***

***doi: 10.1177/0269215515588836***

Published online: 2 June 2015

## 5 DANKSAGUNG

Die Studien, auf deren Grundlage diese Dissertation angefertigt ist, wurden zum größten Teil in Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe „Stand und Gang“ am Deutschen Schwindel- und Gleichgewichtszentrum, unter Leitung von Prof. Dr. Klaus Jahn, entwickelt.

Das Studienprojekt zur Gangtherapie bei Morbus Parkinson wurde an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Physikalische Medizin und Rehabilitation, unter Leitung von Dr. Josef Ilmberger, konzipiert.

Mein aufrichtiger Dank richtet sich an meinen Doktorvater, Prof. Dr. Klaus Jahn, der mir den Rahmen der Promotion ermöglicht hat. Vor allem möchte ich mich für die sehr gute Unterstützung in allen inhaltlichen und organisatorischen Belangen der Promotion sowie die Förderung meiner beruflichen Weiterentwicklung bedanken.

Für die große Unterstützung bei der Themenfindung und die wichtigen inhaltlichen Beiträge, die für das Gelingen der Dissertation mitentscheidend waren, bedanke ich mich herzlich bei Dr. Roman Schniepp.

Mein besonderer Dank gilt außerdem Dr. Josef Ilmberger, der mir den Weg in ein wissenschaftliches Arbeitsfeld ebnete.

Des Weiteren danke ich meinen lieben Kolleginnen und Kollegen Sarah Wagner, Günter Kugler, Verena Loidl, Dr. Max Wühr und Kristin Hesselbarth, die mir während meiner Promotionszeit fachlich und freundschaftlich zur Seite standen.

Ein herzliches Dankeschön auch an Dr. Alexander Crispin für die fortwährende Bereitschaft mich durch hilfreiche statistische Tipps zu unterstützen.

Für die sprachliche Überarbeitung der Publikationen bedanke ich mich bei Judy Benson und Franz Pastorius.