

SEMESTERARBEIT  
Sturzdetektion  
Zuverlässige Sturzdetektion mit 9DOF-Schuhen

Autor: Andreas Ziegler

Betreuer: Stefan Zollinger, M.Sc. FHO  
Examinator: Prof. Dr. Guido Schuster  
Aufgabenstellung: Sturzdetektion  
Themengebiet: Elektrotechnik, Digitale Signalverarbeitung

21. Dezember 2012



FHO Fachhochschule Ostschweiz



Dieses Dokument wurde mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X gesetzt.

## **Danksagung**

Ich danke meinem Betreuer für die Unterstützung und das konstruktive Feedback, welches ich jeweils bekommen habe.

Herrn Dr. med. Ludwig Labler danke ich für die Informationen zum Sturzverhalten älterer Menschen.

Ebenfalls danken möchte ich den Testpersonen, welche ihre Zeit geopfert haben um mir bei meiner Arbeit zu helfen. Ohne sie wäre ich zu keinen Testdaten gekommen.

Danken möchte ich auch meiner Familie, welche mich unterstützte. Meiner Mutter für die kritischen Fragen, welche mich oft weitergebracht hatten, meinem Vater für das Lesen und Korrigieren meiner Arbeit und meiner Freundin für die Tipps, welche sie mir gegeben hat und für die Geduld, welche sie mir gegenüber hatte.



# **Zusammenfassung**

## **Ausgangslage**

Das Institut für Kommunikationssysteme (ICOM) an der HSR entwickelte die “9 degree of freedom”-Schuhe (9DOF), welche bisher für Ganganalysen eingesetzt wurden. Diese Schuhe verfügen über je ein Modul welches mit einem Beschleunigungssensor, einem Drehratensensor und einem Magnetfeldsensor bestückt ist. Die zeitsynchronen Messdaten dieser Sensoren werden auf eine microSD-Karte gespeichert, über welche man die Daten gewinnen kann. Mit Hilfe eines MATLAB-Programmes lassen sich diese Messwerte auslesen und verarbeiten.

## **Ziel der Arbeit**

Bis jetzt wurden diese 9DOF-Schuhe nur für Projekte, die sich mit der Ganganalyse beschäftigen, eingesetzt. Mit dieser Arbeit soll untersucht werden, ob sich ein auf dieser bestehenden Infrastruktur aufbauendes Sturzdetektionssystem umsetzen lässt. Dazu sollen zuerst bestehende Sturzdetektionssysteme analysiert und in Bezug auf diese Anwendung diskutiert werden. Danach sollen für dieses System am besten geeignete Verfahren mit MATLAB getestet und verglichen werden. Von den verschiedenen Verfahren soll ein erfolgsversprechender Ansatz mit MATLAB umgesetzt und unter bestimmten Bedingungen getestet werden. Diese Resultate sollen zeigen, ob sich ein Sturzdetektionssystem auf der Basis dieser Sensormodule realisieren lässt, welches dann später als Echtzeit-System zum Einsatz kommen soll.

## **Resultat**

Nachdem Studium verschiedener Veröffentlichungen zu Sturzdetektionssystemen wurden drei verschiedene Ansätze getestet und verglichen. Der Ansatz mit Spitzenwert-Detektion und anschliessender Quittierung wurde dann in MATLAB umgesetzt und anschliessend mit Messdaten getestet. Die Resultate zeigen, dass ein Sturzdetektionssystem an den Schuhen realisierbar ist, wenn aggressive “activity of daily life” (ADL) wie Hinlegen, Hinknien, schnelles Gehen und Rennen ausgeschlossen werden können.

## **Beiliegende DVD**

Die beiliegende DVD enthält folgende Verzeichnisse:

Dokumentation	Dieses Dokument als pdf und L <sup>A</sup> T <sub>E</sub> X Quelltext
MATLAB	MATLAB-Quellcode der Implementation
Messdaten	Rohdaten (Sensordaten links und rechts, Audio, Video) und geschnittene .mat-Dateien
Kurzprotokolle	Kurzprotokolle der Besprechungen
Literatur	Quellen als pdf falls verfügbar

## **Akronyme**

**ICOM** Institut for Communication Systems

**HSR** Hochschule für Technik Rapperswil

**9DOF** 9 degree of freedom

**ADL** Activity of daily life

**BAN** Body area network

**SVM** Support Vector Machine

## **Definitionen**

### **Mittelwert**

Als Mittelwert gilt in dieser Arbeit der arithmetische Mittelwert mit der folgenden Definition.

$$\overline{x_{1-n}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

### **Gehen**

Für normales Gehen wird gemäss [9] mit *1km pro 15 Minuten* gerechnet. Dies entspricht einer Geschwindigkeit von  $v = 1.1 \frac{m}{s}$ . Normales Gehen wird in dieser Arbeit mit dieser Geschwindigkeit definiert. Gehen mit einer Geschwindigkeit von weniger als  $v = 1.1 \frac{m}{s}$  wird als langsames Gehen bezeichnet und bei schnellem Gehen wird mit einer Geschwindigkeit von mehr als  $v = 1.1 \frac{m}{s}$  gerechnet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Equipment</b>	<b>2</b>
2.1. Hardware . . . . .	2
2.2. Software . . . . .	3
<b>3. Vorhandene und ähnliche Lösungen</b>	<b>4</b>
3.1. Sturzdetektoren . . . . .	4
3.2. Klassifizierer . . . . .	5
<b>4. Diskussion der vorhandenen Lösungen</b>	<b>6</b>
4.1. Sturzdetektor oder Klassifizierer . . . . .	6
4.2. Sensor am Schuh oder am Körper . . . . .	6
4.3. Lösung . . . . .	6
<b>5. Bewegungsabläufe</b>	<b>7</b>
5.1. Normale Bewegungen - ADL . . . . .	8
5.1.1. Normaler Gang . . . . .	8
5.1.2. Hinlegen . . . . .	8
5.1.3. Treppe hinauf steigen . . . . .	10
5.1.4. Treppe hinab steigen . . . . .	10
5.2. Stürze . . . . .	12
5.2.1. Vorwärtssturz . . . . .	12
5.2.2. Seitwärtssturz . . . . .	13
5.2.3. Rückwärtssturz . . . . .	13
5.3. Erkenntnisse . . . . .	14
<b>6. Lösungsansätze</b>	<b>15</b>
6.1. Peak-Detektor . . . . .	15
6.2. Positionsbestimmung . . . . .	16
6.3. Peakdetektor mit Quittierung . . . . .	16
<b>7. Sturzdetektion</b>	<b>17</b>
7.1. Übersicht . . . . .	17
7.2. Kalibrierung des Beschleunigungsvektors und Drehratenvektors . . . . .	17
7.3. Peak-Detektor . . . . .	18
7.4. Ruheposition-Detektor . . . . .	18
7.5. Normalposition-Detektor . . . . .	20
7.6. Sturz-Detektor . . . . .	22

<b>8. Test</b>	<b>28</b>
8.1. Verfahren . . . . .	28
8.2. Testpersonen . . . . .	28
8.3. Testumgebung . . . . .	28
8.3.1. Indoor . . . . .	28
8.3.2. Outdoor . . . . .	29
8.4. Durchgeführte Bewegungen . . . . .	30
8.4.1. Falsche Gewichtsverlagerung . . . . .	31
8.4.2. Kontaktverlust zu externem Objekt . . . . .	32
<b>9. Resultat</b>	<b>33</b>
9.1. Bedingungen . . . . .	33
9.2. Gewählte Parameter . . . . .	34
9.3. Ergebnis . . . . .	35
<b>10. Diskussion des Resultats</b>	<b>38</b>
10.1. Allgemein . . . . .	38
10.2. ADL . . . . .	38
10.3. Stürze . . . . .	38
<b>11. Vorausschau</b>	<b>39</b>
<b>A. Verzeichnisse</b>	<b>40</b>
Literaturverzeichnis . . . . .	40
Abbildungsverzeichnis . . . . .	41
Tabellenverzeichnis . . . . .	42
Algorithmverzeichnis . . . . .	43
<b>B. Erklärung zur Urheberschaft</b>	<b>44</b>
<b>C. Zusätzliche Plots</b>	<b>45</b>
C.1. Vorwärtsgehen (langsam bis schnell) . . . . .	45
C.2. Treppe runter steigen . . . . .	47
C.3. Langsamer Rückwärtssturz . . . . .	48



## 1. Einleitung

In bisherigen Studien wurden die 9DOF-Schuhe verwendet, um das Laufverhalten des Trägers zu analysieren. Mit Hilfe der Inertialsensoren (Beschleunigungssensoren und Drehratensensoren) und den Magnetfeldsensoren, jeweils für alle drei Achsen, wurde das Gehverhalten aufgezeichnet und danach ausgewertet. Mit Hilfe dieser Daten ist es möglich Krankheiten, wie zum Beispiel Parkinson, frühzeitig zu erkennen.

Bei Präsentationen der 9DOF-Schuhen wurde immer wieder gefragt, ob es damit nicht auch möglich ist, einen Sturz des Trägers zu erkennen, denn speziell für ältere Menschen stellen Stürze ein grosses Problem dar. In einem ersten Versuch soll nun untersucht werden, ob es mit den rohen Sensordaten möglich ist, einen Sturz zu erkennen. In diesem ersten Versuch werden Trainings- und Testdaten aufgenommen und danach mit Hilfe von Algorithmen versucht, Stürze von ADL zu unterscheiden. Wenn dieser Versuch erfolgreich ist, kann versucht werden die Sturzdetektion in Echtzeit zu realisieren.

Bevor mit dem Versuch gestartet wird soll recherchiert werden, ob und welche Arten von Sturzdetektion schon existieren und wie sie umgesetzt wurden. Wenn die Recherchen zeigen, dass es schon gleiche oder ähnliche Versuche gibt, soll eine Verbesserung des Verfahrens angestrebt werden.

## 2. Equipment

Die Infrastruktur (Hardware und Software), die für diese Semesterarbeit benötigt wurde, konnte teilweise von einem vorhergehenden Projekt übernommen werden.

### 2.1. Hardware

Bei der Hardware handelt es sich um verschiedene Module: Zwei Sensor-Module, auf welchen ein Beschleunigungssensor (BMA180), ein Drehratensensor (ITG-3200), ein Magnetfeldsensor (HMC5883) und eine microSD-Karte installiert sind. Ein Modul, welches der Videokamera das Zeitsignal als Audiosignal liefert und ein Modul, welches die drei anderen Module synchronisiert und fernsteuert. Um die Bewegungen jeweils bildlich festzuhalten, wurde die Videokamera (Contour Model 1509) verwendet. Die Sensormodule nehmen pro Sekunde 100 zeitsynchrone Samples auf und speichern jeweils den Beschleunigungsvektor  $\mathbf{a} = (a_x \ a_y \ a_z)^T$ , den Drehratevektor  $\boldsymbol{\omega} = (\omega_x \ \omega_y \ \omega_z)^T$  und den Magnetfeldvektor  $\mathbf{m} = (m_x \ m_y \ m_z)^T$  auf die microSD-Karte.

Für diese Semesterarbeit wurden die Sensor-Module an den oberen Seiten der Schuhe befestigt. In Abbildung 2.1 ist diese Installation zu sehen.



*Abbildung 2.1: Schuh mit dem angebrachtem Sensormodul*

## 2.2. Software

Um die Messdaten, welche auf den microSD-Karten gespeichert werden, zu laden und weiter zu verwenden, wurde das MATLAB-Programm “read\_9DOF\_measurements\_and\_video” verwendet. Dieses MATLAB-Programm wurde in einem früheren Projekt entwickelt und konnte übernommen werden. Mit diesem Programm können die Sensordaten, die Audiodatei und die Videodatei geladen, geschnitten und danach als “.mat”-Datei exportiert werden.

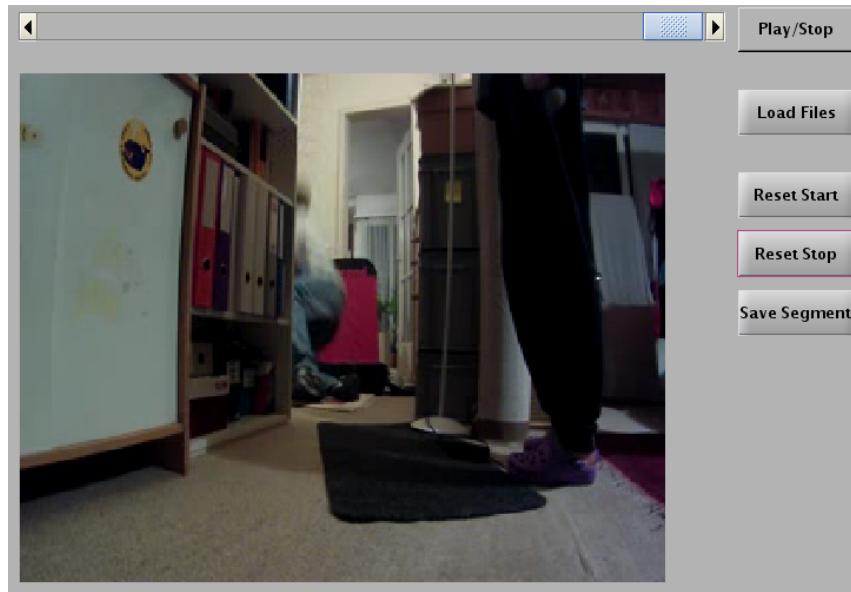


Abbildung 2.2: Die Benutzeroberfläche des Tools “read\_9DOF\_measurements\_and\_video”

### 3. Vorhandene und ähnliche Lösungen

Zum Thema Bewegungsanalyse und Sturzdetektion gibt es schon einige Forschungen. Grundsätzlich lassen sich die Verfahren in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe bilden die Sturzdetektoren. Sturzdetektoren versuchen Stürze, sogenannte abnormale Bewegungen, von normalen Alltagsbewegungen zu unterscheiden. Die zweite Gruppe bilden die Klassifizierer. Klassifizierer verfolgen das Ziel, aus den Sensordaten zwei oder mehrere verschiedene Bewegungsmuster wie z.B. gehen, rennen, Treppen steigen zu klassifizieren.

#### 3.1. Sturzdetektoren

Sturzdetektoren verwenden einen Schwellenwert um Stürze zu erkennen. Als Sensoren kommen Beschleunigungs- und Drehratensensoren, so genannte Inertialsensoren zum Einsatz.

In [7] wurde der Inertialsensor, welcher die Messdaten liefert, auf Brusthöhe getragen. Um das System zu testen, wurden folgende Aktivitäten ausgeführt: Sich auf einen Stuhl setzen, auf dem Boden knien, einen Gegenstand vom Boden aufheben, sich auf eine Matratze hinlegen, gehen, husten, vorwärts fallen, rückwärts fallen und seitwärts fallen. In diesem System wurde die vertikale Geschwindigkeit als Indikator verwendet, welche durch numerisches Integrieren des vertikalen Beschleunigungssignal  $a_v$  gewonnen werden konnte. Die vertikalen Geschwindigkeiten bei ADL, waren im Bereich zwischen  $v_{v,min} = -0.058 \frac{m}{s}$  beim Husten und  $v_{v,max} = -1.298 \frac{m}{s}$  beim sich Hinlegen auf eine Matratze. Die vertikalen Geschwindigkeiten bei Stürzen waren zwischen  $v_{v,min} = -2.153 \frac{m}{s}$  beim Vorwärtssturz und  $v_{v,max} = -3.043 \frac{m}{s}$  beim Rückwärtssturz. Mit einem Schwellenwert bei der vertikalen Geschwindigkeit von  $-1.3 \frac{m}{s}$  wurden somit keine ADL als Sturz detektiert und eine Spezifität von 100% erreicht.

In [2] wurde ein “body area network“ (BAN) verwendet mit je einem Inertialsensor am Oberschenkel und an der Taille. Dieser Versuch konzentrierte sich auf die Winkelbewegungen des Oberschenkels und des Körpers. Die Hypothese, die die Studie aufstellt lautet: “Am Oberschenkel kommen bei normalen täglichen Aktivitäten keine Winkelbewegungen seitwärts und nach vorne vor, die ein gewisses Mass übersteigen“. Es wurde ein Schwellenwert von  $\pm 10^\circ$  gewählt, welcher den optimalen Level, mit Kompromiss zwischen lead-time<sup>1</sup> und der Anzahl an Fehlerkennungen, lieferte. Die Motivation eine möglichst hohe lead-time zu erreichen kommt davon, dass man einen Sturz möglichst früh erkennen will. Mit einer frühzeitigen Sturzerkennung wäre es möglich Präventionssysteme, wie zum Beispiel einen Airbag auszulösen und so einen Sturz abzudämpfen.

---

<sup>1</sup>lead-time ist die Zeit von der Detektion des Sturzes bis zum Aufschlagen des Körpers

### 3.2. Klassifizierer

Klassifizierer verwenden Verfahren, wie z.B. "Support Vector Machines" (SVM) oder neuronale Netze um aus den Sensordaten Bewegungen zu klassifizieren.

In [1] wurden die Bewegungsmuster fallen, gehen und rennen mit SVM klassifiziert. Dabei wurden 98.2% der Aktivitäten korrekt klassifiziert. Bei diesem Versuch wurde der Beschleunigungssensor am Fuss angebracht und sendete die Daten drahtlos an den Monitor-Knoten.

## 4. Diskussion der vorhandenen Lösungen

### 4.1. Sturzdetektor oder Klassifizierer

Klassifizierer haben den Vorteil, dass nicht nur Stürze sondern auch andere Bewegungen erkannt werden können. Für eine reine Sturzdetektion ist die Klassifizierung von anderen Bewegungen als Stürzen jedoch nicht nötig. Was bei Klassifizierungsverfahren wie SVM der Nachteil ist, ist die Komplexität und der damit verbundene, erhöhte Ressourcenbedarf.

### 4.2. Sensor am Schuh oder am Körper

Wie Forschungen in [3] und [7] zeigen ist es gut möglich, mit einem Sensor in der Nähe des Körperzentrums Stürze mit 100% Sensitivität und 100% Spezifität zu erkennen. Diese Systeme sind zwar erfolgreich in der Erkennung von Stürzen, jedoch hat die Realität gezeigt, dass sich das Tragen eines Sensors am Körper als Problem erweist. Grund dafür ist, dass das Tragen eines Sensors von Menschen als unangenehm empfunden wird. Die Sensoren in Schuhen zu installieren stellt technisch kein Problem dar und wird vom Träger auch nicht störend empfunden. Speziell ältere Menschen, welche die Zielgruppe darstellen, sollten sich mit Sensoren in Schuhen wohler fühlen als mit einer speziellen Trageeinheit.

### 4.3. Lösung

In der Realität hat sich gezeigt, dass nur Sturzdetektoren in Frage kommen, welche von den Trägern auch akzeptiert werden. In dieser Semesterarbeit soll gezeigt werden, dass ein Sturzdetektorsystem, welches Inertial- und Magnetfeldsensoren an den Schuhen vorsieht, realisierbar ist.

## 5. Bewegungsabläufe

In Tabelle 5.1 sind die Ursachen mit den höchsten Sturzwahrscheinlichkeiten gemäss [8] abgebildet. Die Tabelle 5.2 listet die häufigsten Aktivitäten, aus welchen sich Stürze gemäss [8] ereignen können.

Ursache	Anteil aufgenommene Stürze
Falsche Gewichtsverlagerung	41%
Stolpern, Einhängen	21%
Stoss	11%
Kontaktverlust zu externem Objekt	11%
Zusammenbruch, Ohnmacht	11%
Ausrutschen	3%

Tabelle 5.1: Sturzwahrscheinlichkeit verschiedener Ursachen

Bewegung	Anteil aufgenommene Stürze
Vorwärtsgehen	24%
Stehen	13%
Sich setzen	13%
Beginnen zu gehen	11%
Aufstehen	9%
Rückwärts- und Seitwärtsgehen	7%
Im Gehen drehen	7%
Im Stand drehen	6%

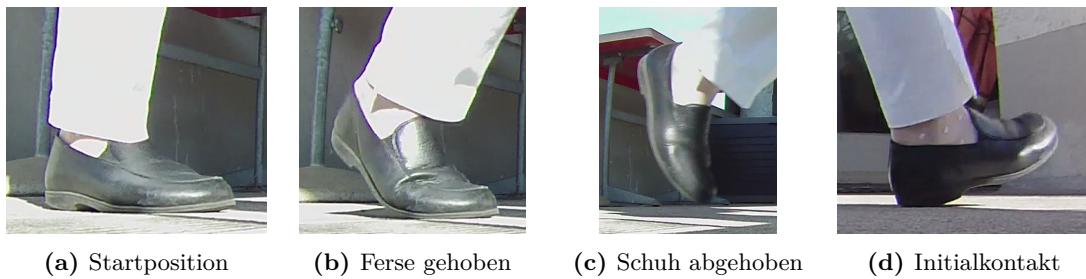
Tabelle 5.2: Sturzwahrscheinlichkeit verschiedener Bewegungen

Um Lösungsansätze für mögliche Sturzdetektionsverfahren zu entwickeln, müssen als erstes verschiedene Bewegungsabläufe analysiert werden, um Merkmale zu finden, wo sich die verschiedenen Bewegungsabläufe unterscheiden oder Gemeinsamkeiten aufweisen.

## 5.1. Normale Bewegungen - ADL

### 5.1.1. Normaler Gang

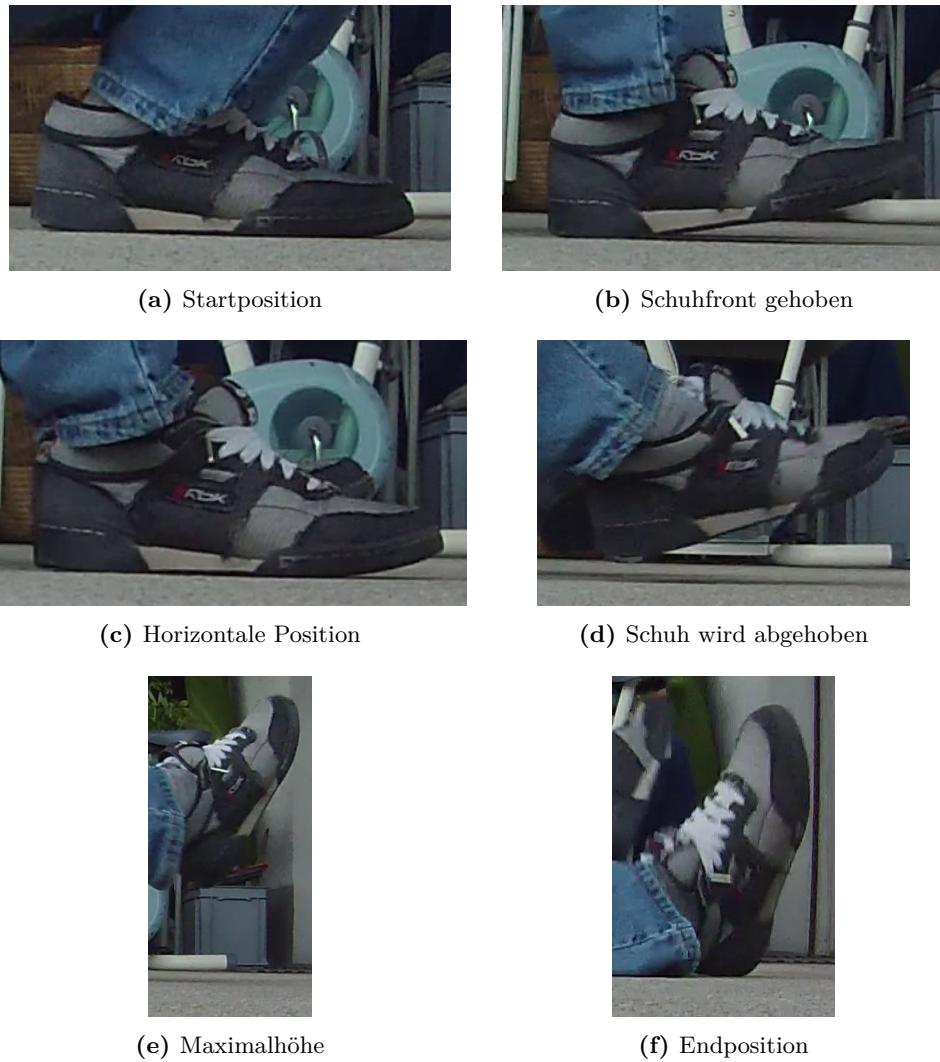
Gemäss [11] gibt es beim normalen Gehen vier wichtige Phasen: Mit der Startposition (5.1a) beginnt und endet jeweils der Bewegungsablauf eines Fusses. Danach wird der Fersenbereich des Schuhes gehoben (5.1b). In der nächsten Phase verliert der Schuh den Kontakt zum Untergrund (5.1c). Die letzte Phase vor der Endposition ist, wenn der Schuh wieder Kontakt mit dem Untergrund hat (5.1d). Beim Gehen führen die beiden Füsse zeitverschoben die gleichen Bewegungen durch.



*Abbildung 5.1: Bewegungsablauf beim normalen Gang*

### 5.1.2. Hinlegen

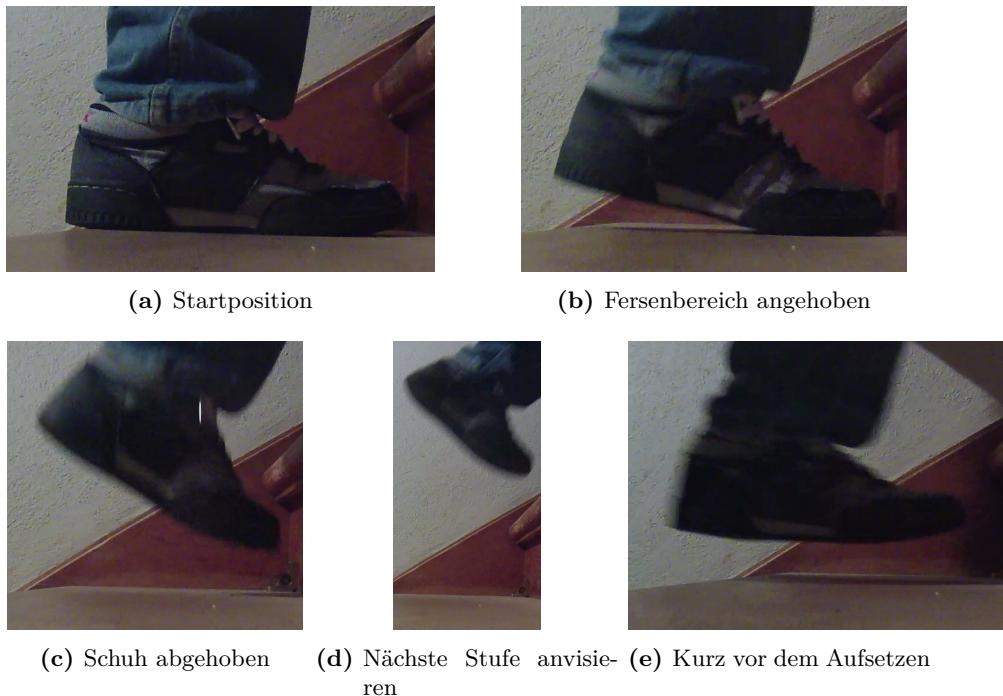
Beim Hinlegen wird von der Startposition (5.2a) zuerst die Schuhfront gehoben (5.2b) bis der Schuh in der Sitzposition den Untergrund wieder fast komplett berührt (5.2c). Beim Ausstrecken der Beine wird der Schuh wieder abgehoben (5.2d) und nach dem Erreichen der Maximalhöhe (5.2e), steht der Schuh mit  $90^\circ$  auf dem Grund (5.2f).



*Abbildung 5.2: Bewegungsablauf beim Hinlegen*

### 5.1.3. Treppe hinauf steigen

Von der Startposition (5.3a) wird zuerst der Fersenbereich angehoben (5.3b) bis sich der komplette Schuh in der Luft befindet (5.3c). Der Schuh wird dann weiter angehoben (5.3d) um die nächste Stufe erreichen zu können. Danach nimmt der Schuh wieder eine horizontale Position ein (5.3e) um dann wieder in die Startposition zu kommen. Auch beim Treppe hinauf steigen führen die Füsse die gleichen Bewegungen zeitversetzt durch.



*Abbildung 5.3: Bewegungsablauf beim Treppen hinauf steigen*

### 5.1.4. Treppe hinab steigen

Bei der Startposition (5.4a) hat die ganze Schuhsohle Kontakt mit dem Untergrund. Zuerst wird der Fersenbereich des Schuhs angehoben (5.4b) bis der ganze Schuh in der Luft ist (5.4c). Der Schuh wird gesenkt (5.4d und 5.4e) um die nächste Stufe zu erreichen. Um wieder in die Startposition zu kommen, wird der Schuh auf dem vorderen Bereich abgesetzt (5.4f). Die Füße führen wie auch beim Treppe hinauf steigen die gleichen Bewegungen zeitversetzt durch.



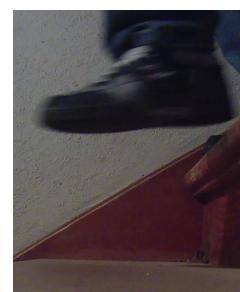
(a) Startposition



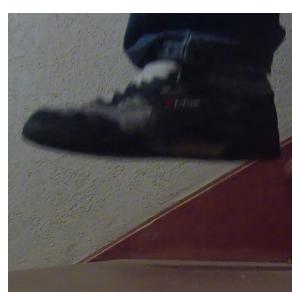
(b) Fersenbereich angehoben



(c) Schuh abgehoben



(d)



(e) Nächste Stufe anvisieren



(f) Kurz vor dem Aufsetzen

*Abbildung 5.4: Bewegungsablauf beim Treppen hinab steigen*

## 5.2. Stürze

### 5.2.1. Vorwärtssturz

Der Vorwärtssturz startet in einer stabilen Grundposition (5.5a). Dann verliert zuerst der Fersenbereich des Schuhs den Kontakt mit dem Untergrund (5.5b). Der Winkel zwischen der Schuhsohle und dem Untergrund wird grösser und grösser, bis er am Ende mehr als  $90^\circ$  beträgt (5.5g).



(a) Startposition



(b) Ferse angehoben



(c)



(d)



(e)



(f)

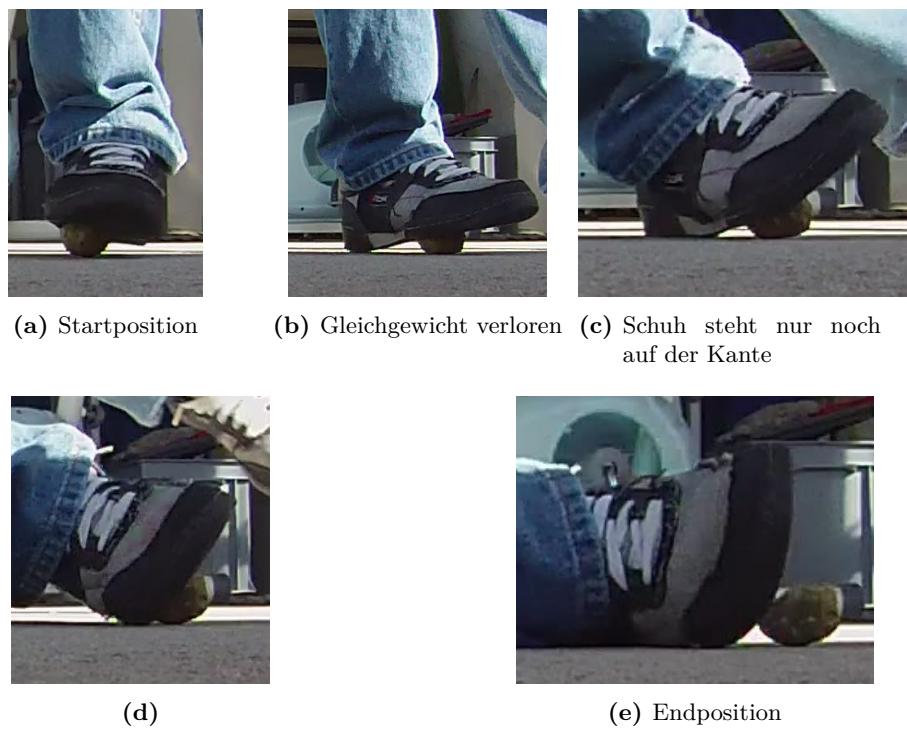


(g) Endposition

Abbildung 5.5: Bewegungsablauf bei einem Vorwärtssturz

### 5.2.2. Seitwärtssturz

Bei diesem aufgenommenen Seitwärtssturz ist die Testperson auf einen kleinen Stein getreten und hat so das Gleichgewicht verloren, was den Sturz auslöste. Von der Startposition (5.6a), in welcher die Testperson das Gleichgewicht verliert, kippt der Schuh über die Kante (5.6b) zur Seite (5.6c und 5.6d) und endet in der Endposition (5.6e).



*Abbildung 5.6: Bewegungsablauf bei einem Seitwärtssturz*

### 5.2.3. Rückwärtssturz

Dieser Rückwärtssturz startet in der Grundposition (5.7a). Sobald das Gleichgewicht verloren ist, beginnt der vordere Schuhteil abzuheben (5.7b). Während dem Sturz wird der Winkel zwischen dem Schuh und dem Untergrund grösser und grösser (5.7c und 5.7d). Beim Aufschlagen des Körpers befindet sich der Schuh mit  $90^\circ$  zum Untergrund (5.7e) bis die Schuhe wieder abheben (5.7f). Nachdem der höchste Punkt erreicht wurde (5.7g), befinden sich die Schuhe in der Endposition (5.7h) am Boden.



(a) Startposition



(b) Gleichgewicht verloren



(c) Schuh steht nur noch auf der Kante



(d)



(e)



(f)



(g)



(h) Endposition

### 5.3. Erkenntnisse

Beim normalen Gehen und Treppen steigen werden mit beiden Schuhen jeweils zeitversetzt die gleichen Bewegungen durchgeführt. Im Unterschied zum Gehen und Treppen steigen sind beim Hinlegen, Hinknien und bei den meisten Stürzen die Bewegungen der beiden Schuhe jeweils ungefähr zeitgleich. Bei fast allen ADL kommt es während dem Bewegungsablauf immer wieder zu Ruhepositionen, bei denen sich die Schuhe im Stillstand befinden wie zum Beispiel bei (5.1a und 5.2a). Ein weiterer Unterschied zwischen dem Gehen, Treppen steigen und dem Hinknien, Hinlegen und bei Stürzen ist die Tatsache, dass letztere meist in einer Ruheposition enden (5.2f und 5.5g). Nach einem Sturz befinden sich die Schuhe zudem nicht mehr horizontal zum Untergrund.

## 6. Lösungsansätze

### 6.1. Peak-Detektor

Die offensichtlichsten Merkmale bei einem normalen Sturz sind die hohen Werte bei den Beschleunigungen sowie den Drehraten. Ein erster Ansatz besteht darin, Stürze wie bei [7] mit einem simplen Peak-Detektor zu detektieren. Bei Versuchen zeigte sich jedoch, dass die Beschleunigungs- und Drehratenwerte bei aggressiveren ADL, wie z.B. Treppen steigen (6.1a) höher sind als bei langsamen Stürzen (6.1b).

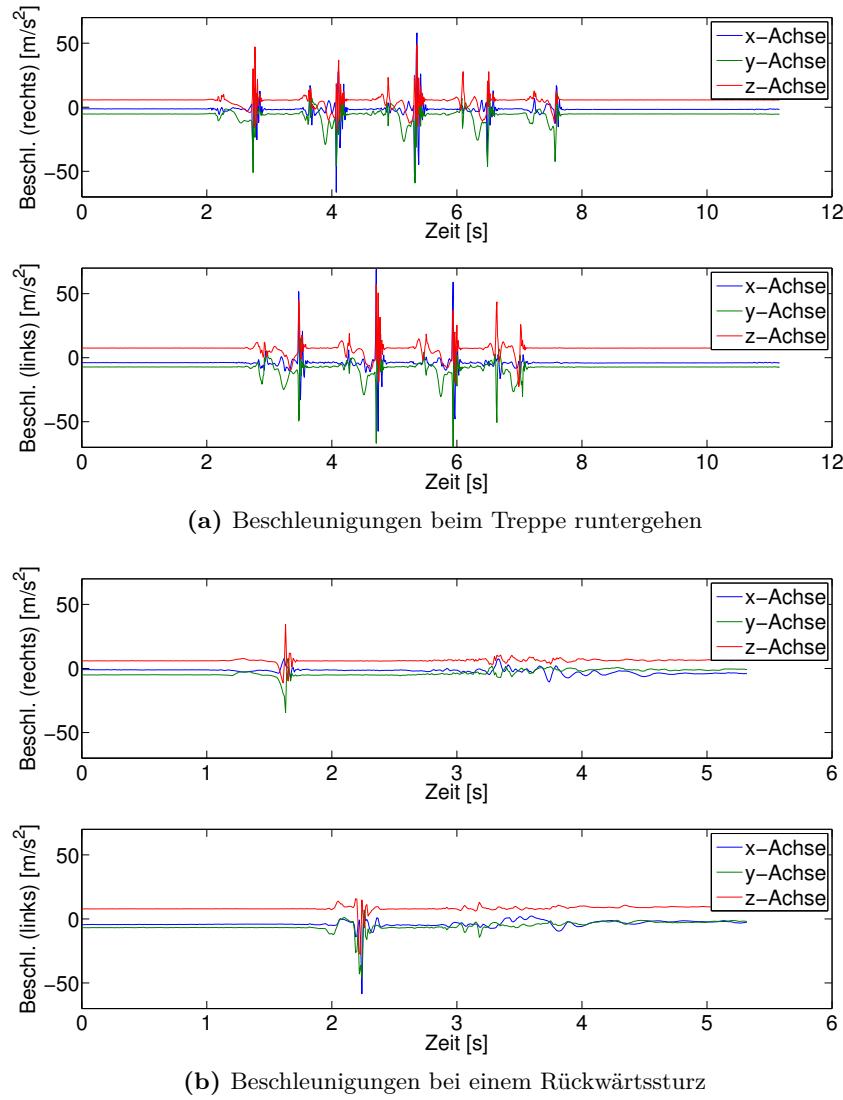


Abbildung 6.1: Drehraten bei verschiedenen Bewegungsabläufen

## 6.2. Positionsbestimmung

Der nächste Ansatz der verfolgt wurde, war die Bestimmung der Position in den Ruhephasen. Ruhephasen kommen bei den meisten ADL vor und auch in der Endposition nach einem Sturz tritt eine Ruhephase ein. Mit der Hilfe der Erdanziehung kann die Position der Schuhe bestimmt werden, sofern keine anderen Beschleunigungen auftreten. Wenn sich die aktuelle Position zur Position der letzten Ruhephase stark unterscheidet, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die Schuhe in einer abnormalen Position befinden.

Der Ansatz mit der Positionsbestimmung hat sich als wesentlich zuverlässiger gezeigt, jedoch konnte die gewünschte Spezifität nicht erreicht werden. Ein Grund dafür ist, dass dieser Ansatz bei Bewegungen, bei denen keine Ruhephasen existieren, wie z.B. wenn sich die Person nach einem Sturz noch bewegt, nicht funktioniert.

## 6.3. Peakdetektor mit Quittierung

Der nächste Ansatz der verfolgt wurde, ist eine Kombination aus den vorherigen zwei Ansätzen. Der Peakdetektor erkennt potentielle Bewegungen, welche Stürze sind oder zu einem Sturz führen können. Wenn ein Peak detektiert wurde, hat das System eine gewisse Zeit zur Verfügung um zu quittieren, dass kein Sturz aufgetreten ist. Ansonsten handelt es sich um einen Sturz. Damit quittiert werden kann, muss sich der Schuh während dieser Zeit mindestens ein Mal in Ruhe befinden und die aktuellen Winkel dürfen sich von den Winkeln der letzten Ruhephase nicht mehr als mit einem definierten Wert unterscheiden.

## 7. Sturzdetektion

### 7.1. Übersicht

In Abbildung 7.1 ist das Prinzip des Sturzdetektionssystems ersichtlich.

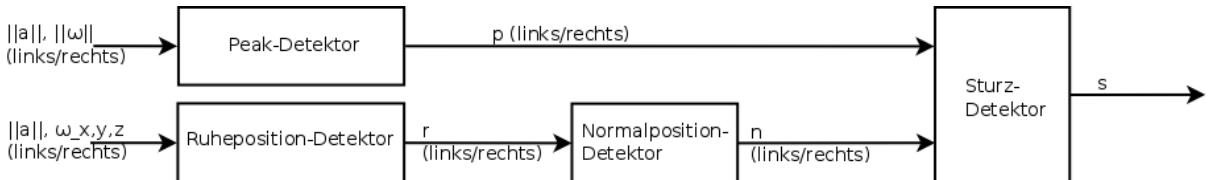


Abbildung 7.1: Übersicht des Sturzdetektionsverfahren

Als erstes werden die Signale der Beschleunigungen und der Drehraten kalibriert und anschließend daraus die Beträge berechnet. Die Inputs des Systems sind der Betrag der Beschleunigung, der Betrag der Drehraten und die Drehraten der drei Achsen, jeweils beider Seiten (links und rechts). Wie in Abschnitt 6.3 beschrieben, besteht das Sturzdetektionssystem aus mehreren Komponenten, welche die beiden Seiten separiert behandeln. Der Peakdetektor erkennt potentielle Stellen mit einem Schwellenwert beim Betrag der Beschleunigung und beim Betrag der Drehrate. Der Ruheposition-Detektor ermittelt Positionen, bei denen sich der Schuh in Ruhe befindet. Beim Normalposition-Detektor werden bei den Ruhositionen die Normalpositionen detektiert. Dazu wird bei den Ruhephassen die Abweichung der aktuellen Position zur Position der letzten Ruhephase gemessen und verglichen. Beim Sturz-Detektor, dem letzte Schritt, bei welchem die Signale des Peak-Detektors und die des Normalposition-Detektors zusammengeführt werden, wird entschieden, ob es sich um einen Sturz handelt oder nicht. Dabei wird überprüft, ob nach einem Peak in einer gewissen Zeit mindestens ein Mal eine Normalposition aufgetreten ist. Ist das der Fall, so kann “quittiert” werden und es handelt sich um keinen Sturz. Wenn nicht “quittiert” werden kann, so handelt es sich um einen Sturz. Als letzte Operation werden die beiden Seiten (links und rechts) zusammengeführt. Ein Sturz ist es nur, wenn sich in einer gewissen Zeitspanne auf beiden Seiten ein Sturz ereignet.

In den nächsten Abschnitten werden die einzelnen Komponenten des Sturzdetektionsverfahrens wie in Abbildung (7.1) beschrieben.

### 7.2. Kalibrierung des Beschleunigungsvektors und Drehratenvektors

Die unkalibrierten Beschleunigungssignale  $\mathbf{a}_r$  werden mit Hilfe von bestehenden Koeffizienten  $\mathbf{K}_a$  und  $\mathbf{b}_a$  aus einem vorgängigem Projekt kalibriert.

$$\begin{aligned}
\mathbf{a}_r &= \begin{pmatrix} a_{r,x} \\ a_{r,y} \\ a_{r,z} \end{pmatrix} \\
\mathbf{K}_a &= \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ 0 & k_{22} & k_{23} \\ 0 & 0 & k_{33} \end{bmatrix} \\
\mathbf{b}_a &= \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} \\
\mathbf{a} &= \mathbf{K}_a \mathbf{a}_r - \mathbf{b}_a
\end{aligned} \tag{7.1}$$

Bei den Drehraten wird der Mittelwert der ersten 30 Samples  $\overline{\omega_{r,1-30}}$  von allen Messwerten  $\omega_r$  subtrahiert um die Daten zu kalibrieren.

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\omega}_r &= \begin{pmatrix} \omega_{r,x} \\ \omega_{r,y} \\ \omega_{r,z} \end{pmatrix} \\
\mathbf{w} &= \mathbf{w}_r - \overline{\mathbf{w}_{r,1-30}}
\end{aligned} \tag{7.2}$$

### 7.3. Peak-Detektor

Ein Peak wird detektiert, wenn beim akutellen Sample  $i$ ,  $\|\boldsymbol{\omega}_i\|$  oder  $\|\mathbf{a}_i\|$  grösser  $\epsilon_\omega$  respektive  $\epsilon_a$  ist.

$$p_i = \begin{cases} 1 & \text{für } (\|\boldsymbol{\omega}_i\| > \epsilon_\omega) \cup (\|\mathbf{a}_i\| > \epsilon_a) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \tag{7.3}$$

### 7.4. Ruheposition-Detektor

In Abbildung 7.2 ist eine Übersicht des Ruheposition-Detektors abgebildet.

Der Ruheposition-Detektor beginnt mit dem detektieren von Samples, welche keine Beschleunigung aufweisen. Da bei den Beschleunigungssensoren immer auch  $\|\mathbf{g}\| = 9.81 \frac{m}{s^2}$  mitgemessen wird, muss dieser Betrag als erstes subtrahiert werden. Danach wird dieses Ergebnis mit  $\xi_a$  verglichen. Ist das Ergebnis kleiner als  $\xi_a$ , so ist es eine potentielle Stelle, welche keine Beschleunigung

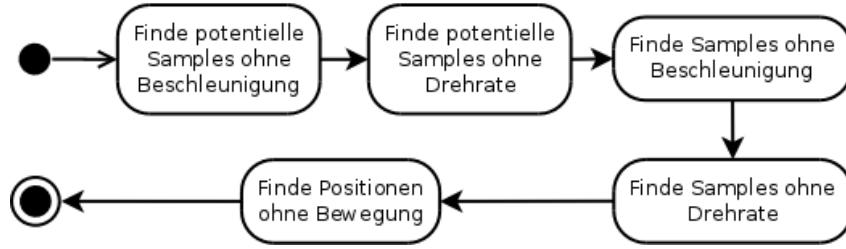


Abbildung 7.2: Übersicht des Ruheposition-Detektors

aufweist.

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{für } |\|\mathbf{a}_i\| - \|\mathbf{g}\| | < \xi_a \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.4)$$

Als nächstes werden die Samples detektiert, welche keine Drehraten aufweisen. Dafür werden die Signale  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  und  $\omega_z$  mit  $\xi_{\omega_x}$ ,  $\xi_{\omega_y}$  respektive  $\xi_{\omega_z}$  verglichen. Sind die Samples kleiner als  $\xi_{\omega_x}$ ,  $\xi_{\omega_y}$  respektive  $\xi_{\omega_z}$ , so handelt es sich um potentielle Stellen, welche keine Drehraten aufweisen.

$$c_{x,i} = \begin{cases} 1 & \text{für } |\omega_{x,i}| < \xi_{\omega,x} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.5)$$

$$c_{y,i} = \begin{cases} 1 & \text{für } |\omega_{y,i}| < \xi_{\omega,y} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.6)$$

$$c_{z,i} = \begin{cases} 1 & \text{für } |\omega_{z,i}| < \xi_{\omega,z} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.7)$$

Im nächsten Schritt wird pro Signal geprüft, ob es sich bei den Positionen ohne Beschleunigung respektive ohne Drehrate um Nulldurchgänge (z.B. beim Graph der Beschleunigung  $\|\mathbf{a}\|$  in Abbildung 7.3 etwas vor dem Zeitpunkt 2.5 s) handelt, oder ob es wirklich Positionen ohne Beschleunigung respektive Drehrate sind. Dafür wird vom aktuellen Sample  $i$  ausgehend in beide Richtungen gezählt wie viele direkte Nachbarn das aktuelle Sample hat, welche auch keine Beschleunigung respektive Drehraten aufweisen. Ist diese Anzahl grösser als  $N_S$ , so hat das aktuelle Sample keine Beschleunigung respektive Drehrate. In Algorithmus 1 ist das Verfahren für die Beschleunigung gezeigt. Für die Drehraten wird das gleiche Verfahren verwendet. Die Signale der Positionen ohne Beschleunigung respektive ohne Drehrate sind dann  $d$ ,  $e_x$ ,  $e_y$ , und  $e_z$ .

Als letztes werden die Signale, ohne Beschleunigung  $d$ , ohne Drehrate  $e_x$ ,  $e_y$  und  $e_z$ , UND-

---

**Algorithmus 1** Detektieren der Positionen ohne Beschleunigung

---

**Ensure:**  $k = i - N_S$

**while**  $(b_k = 1) \cap (k > i - N_S)$  **do**

$k = k - 1$

$n_d = n_d + 1$

**end while**

**Ensure:**  $k = i + N_S$

**while**  $(b_k = 1) \cap (k < i + N_S)$  **do**

$k = k + 1$

$n_d = n_d + 1$

**end while**

**if**  $n_d \geq N_S$  **then**

$d_i = 1$

**end if**

---

verknüpft, um daraus die endgültigen Ruhephasen  $r$  zu bestimmen.

$$r_i = \begin{cases} 1 & \text{für } (d_i \cap e_{x_1} \cap e_{y_i} \cap e_{z_i}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (7.8)$$

In Abbildung 7.3 ist der Ablauf des Ruheposition-Detektors anhand eines Beispiels ersichtlich. Im ersten Graphen ist der Betrag der Beschleunigung  $\|\mathbf{a}\|$  zu sehen, im mittleren Graphen sind die potentiellen Stellen ohne Beschleunigung  $b$  abgebildet und im letzten Graphen sieht man die Positionen ohne Beschleunigung  $d$ .

## 7.5. Normalposition-Detektor

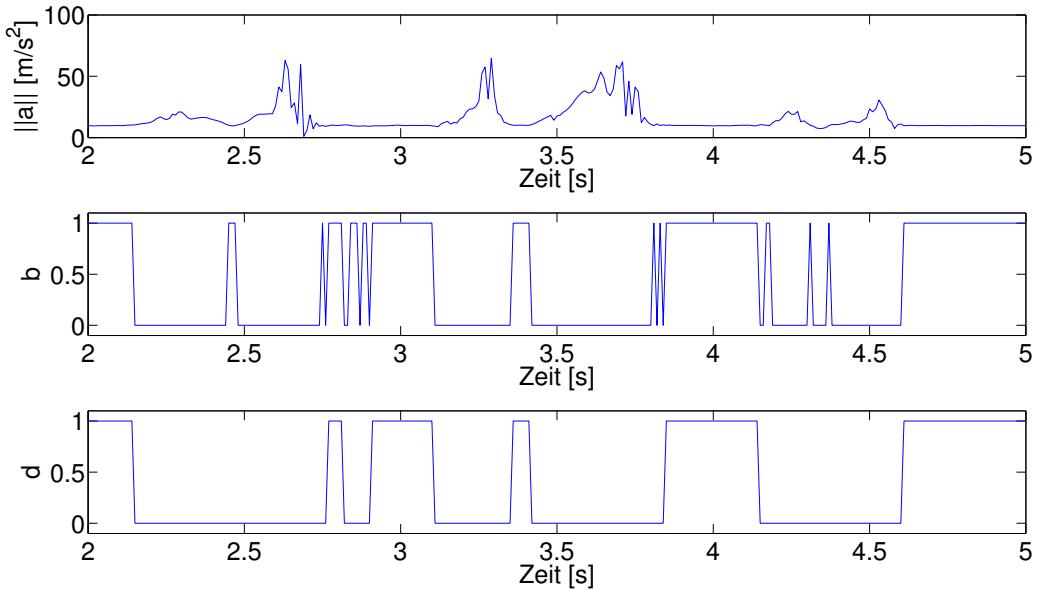
In Abbildung 7.4 ist eine Übersicht des Normalposition-Detektors abgebildet.

Der Normalposition-Detektor prüft die Unterschiede der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  der aktuellen Position  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  mit denen der letzten Ruhephase  $\alpha_0$  und  $\beta_0$ .

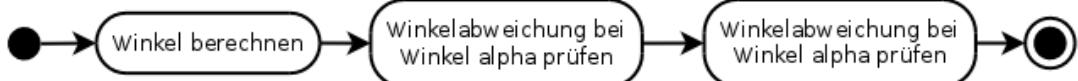
Als erstes müssen dafür die Winkel  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  berechnet werden. Die Winkel  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  werden mit Hilfe der Arkustangens-Funktion folgendermassen berechnet.

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{-y_{g_i}}{z_{g_i}}\right) \quad (7.9)$$

$$\beta_i = \arctan\left(\frac{-x_{g_i}}{z_{g_i}}\right) \quad (7.10)$$



**Abbildung 7.3:** Graph der Beschleunigung  $\|a\|$ , der potentiellen Samples ohne Beschleunigung  $b$  und der Samples ohne Beschleunigung  $d$



**Abbildung 7.4:** Übersicht des Normalposition-Detektors

Da unser Definitionsbereich  $\mathbb{D}_f = [-\pi, \pi]$  grösser ist, als der Definitionsbereich von Arkustangens mit  $\mathbb{D}_f = [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$  und es so zu Fallunterscheidungen kommt, muss beim Berechnen der Winkel  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  zwischen den Quadranten unterschieden werden. Um das Prüfen der verschiedenen Fälle zu umgehen, wurde für die Implementation in MATLAB die Funktion `atan2(y,x)` verwendet, welche den Definitionsbereich  $\mathbb{D}_f = [-\pi, \pi]$  hat.

Der eigentliche Normalposition-Detektor ermittelt den Unterschied zwischen den aktuellen Winkeln  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  und den Winkeln der letzten Ruhephase  $\alpha_0$  respektive  $\beta_0$ . Sind diese Unterschiede kleiner respektive grösser als die Parameter  $\xi_{\alpha,\text{pos}}$ ,  $\xi_{\alpha,\text{neg}}$ ,  $\xi_{\beta,\text{pos}}$  respektive  $\xi_{\beta,\text{neg}}$ , so handelt es sich um eine potentielle Normalposition. Auch hier müssen Nulldurchgänge herausgefiltert werden, damit nur noch wirkliche Normalpositionen detektiert werden. Dazu wird wieder überprüft, ob das aktuelle Sample  $M$  direkte Nachbarn hat, welche auch in Normalposition sind. Im Falle einer Normalposition, werden die Winkel  $\alpha_0$  und  $\alpha_0$  mit dem Winkel  $\alpha_i$  respektive  $\beta_i$  erneuert (siehe Algorithmus 2).

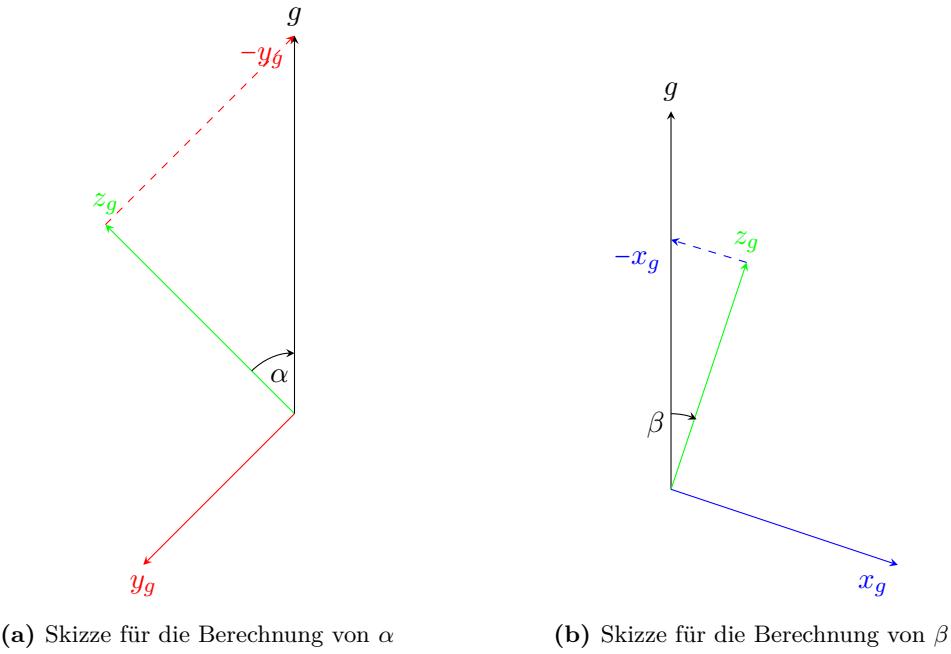


Abbildung 7.5: Skizzen für die Winkelberechnungen

**Algorithmus 2** Detektieren der Normalpositionen

```

Ensure:  $i = 0$ 
while  $i \leq N_S$  do
    if  $r_i = 1$  then
        if  $(\alpha_i - \alpha_0) < \xi_{\alpha, pos}$  then
            neighborNormalCheck()
        else if  $(\alpha_i - \alpha_0) > \xi_{\alpha, neg}$  then
            neighborNormalCheck()
        end if
        if  $(\beta_i - \beta_0) < \xi_{\beta, pos}$  then
            neighborNormalCheck()
        else if  $(\beta_i - \beta_0) > \xi_{\beta, neg}$  then
            neighborNormalCheck()
        end if
    end if
     $i = i + 1$ 
end while

```

**7.6. Sturz-Detektor**

In Abbildung 7.6 ist eine Übersicht des Sturz-Detektors abgebildet.

Der erste Schritt beim Sturz-Detektor ist die Quittierung. Wie in Abschnitt 6.3 beschrieben, wird hier geprüft, ob nach einem detektierten Peak in der Zeit  $t_q$  eine Normalposition vorkommt. Trifft

---

**Algorithmus 3** neighborNormalCheck()

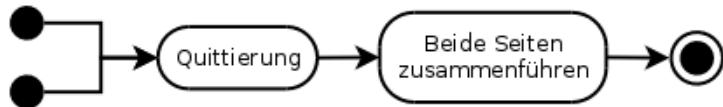
---

```

Ensure:  $k = i$ 
  while  $\neg \left( ((\alpha_i - \alpha_0) < \xi_{\alpha, pos}) \cup ((\alpha_i - \alpha_0) > \xi_{\alpha, neg}) \cup ((\beta_i - \beta_0) < \xi_{\beta, pos}) \cup ((\beta_i - \beta_0) > \xi_{\beta, neg}) \right) \cap$ 
     $(k \geq i - M)$  do
       $n_d = n_d + 1$ 
       $k = k - 1$ 
    end while
Ensure:  $k = i$ 
  while  $\neg \left( ((\alpha_i - \alpha_0) < \xi_{\alpha, pos}) \cup ((\alpha_i - \alpha_0) > \xi_{\alpha, neg}) \cup ((\beta_i - \beta_0) < \xi_{\beta, pos}) \cup ((\beta_i - \beta_0) > \xi_{\beta, neg}) \right) \cap$ 
     $(k \leq i + M)$  do
       $n_d = n_d + 1$ 
       $k = k + 1$ 
    end while
if  $n_d \geq M$  then
   $n_i = 1$ 
end if

```

---

**Abbildung 7.6:** Übersicht des Sturz-Detektors

dies zu, so kann dieser Peak quittiert werden und es handelt sich nicht um einen Sturz. Kann nicht quittiert werden, so handelt es sich um einen Sturz auf der entsprechenden Seite (siehe Algorithmus 4).

Im letzten Schritt werden die beiden Seiten (rechts und links) zusammengeführt. Dies geschieht folgendermassen: Wurde auf der einen Seite ein Sturz detektiert, so muss auf der anderen Seite zwischen  $\pm t_{var}$  auch ein Sturz detektiert werden, damit der Sturz gezählt wird. Dieses Verfahren wird verwendet, da bei einem Sturz beide Schuhe involviert sind und abnormale Positionen einnehmen (siehe Algorithmus 5).

In den Abbildungen 7.7 und 7.8 sind die Graphen einer ADL und in Abbildung 7.9 und 7.10 sind die Graphen eines langsamsten Sturzes als Beispiel abgebildet. Die Graphen zeigen den Betrag der Beschleunigung/Drehrate, die Peaks, die Normalpositionen und die Stürze der beiden Seiten. Die ADL, die in diesem Beispiel ausgeführt wurde, ist das Treppen steigen. In Abbildung 7.11 ist das Zusammenführen der beiden Seiten anhand des Beispiels "Langsamer Rückwärtssturz" gezeigt.

**Algorithmus 4** Quittierung

---

**Ensure:**  $l = i$ ,  $f_{ks} = 0$ 

```
while  $l \leq N_S$  do
    if  $p_i = 1$  then
         $k = i$ 
        while  $k \leq i + t_q$  do
            if  $n_i = 1$  then
                 $f_{ks} = 1$ 
            end if
             $k = k + 1$ 
        end while
        if  $f_{ks} = 1$  then
             $s_{r/l, i} = 0$ 
        else
             $s_{r/l, i} = 1$ 
        end if
    end if
     $l = l + 1$ 
end while
```

---

**Algorithmus 5** Zusammenführen beider Seiten

---

**Ensure:**  $k = 0$ ,  $l = i - t_{var}$ 

```
while  $k \leq N_S$  do
    if  $s_{r/l, k} = 1$  then
        while  $l \leq i + t_{var}$  do
            if  $s_{l/r, l} = 1$  then
                 $s_i = 1$ 
            end if
             $l = l + 1$ 
        end while
    end if
     $k = k + 1$ 
end while
```

---

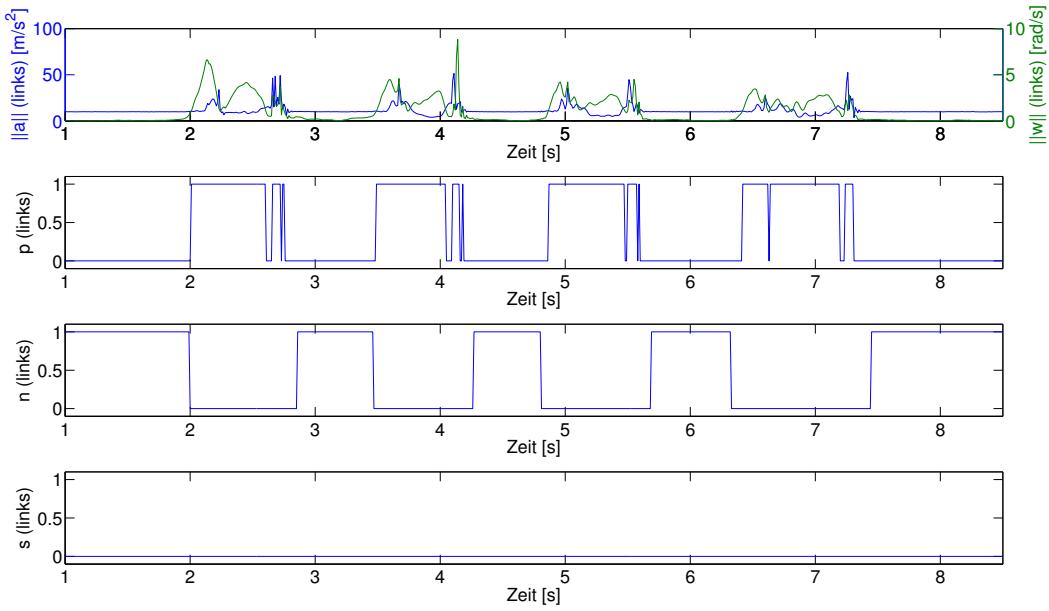


Abbildung 7.7: Treppe rauf (linke Seite)

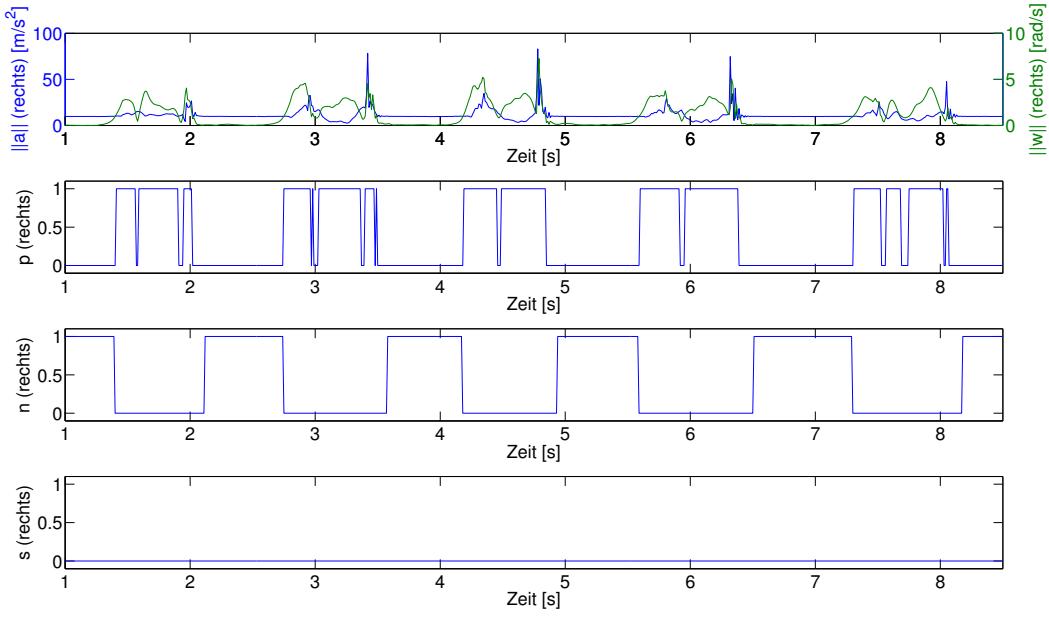


Abbildung 7.8: Treppe rauf (rechte Seite)

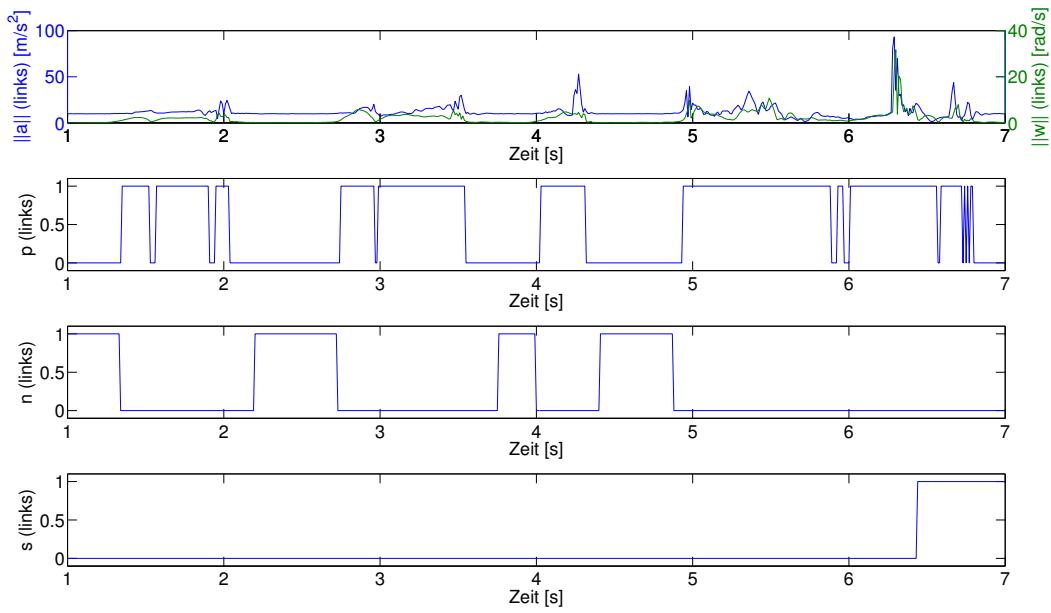


Abbildung 7.9: Langsamer Sturz (linkse Seite)

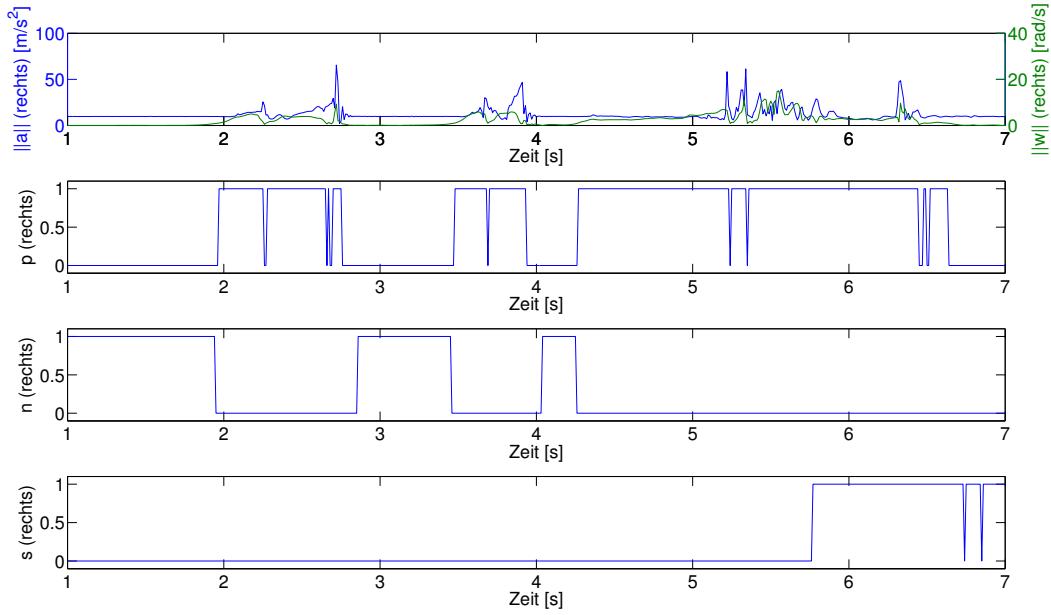


Abbildung 7.10: Langsamer Sturz (rechte Seite)

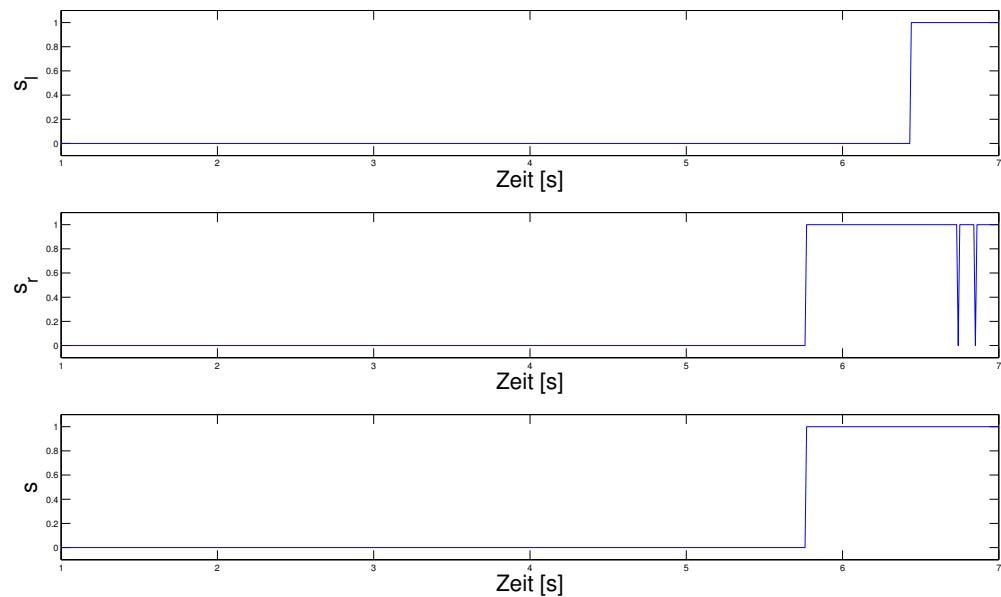


Abbildung 7.11: Kombination von  $s_r$ ,  $s_l$  mit Resultat  $r$  bei einem langsamen Sturz

## 8. Test

### 8.1. Verfahren

Um das Sturzdetektionssystem zu testen wurden von fünf Personen Messdaten aufgenommen. Es wurden sieben verschiedene ADL und sechs verschiedene Stürze aufgenommen. Die meisten ADL wurden aus Platzgründen outdoor aufgenommen, während dem alle Stürze indoor aufgenommen wurden. Um Verletzungen zu verhindern wurde bei den Stürzen eine Matte verwendet, auf welche die Testpersonen stürzten. Des weiteren wurden die Stürze nur von den jüngeren Testpersonen durchgeführt, um die Verletzungsgefahr bei den älteren Testpersonen auszuschliessen.

### 8.2. Testpersonen

Name: Alfred Ziegler

Geschlecht: männlich

Alter: 67 Jahre

Name: Ursula Ziegler

Geschlecht: weiblich

Alter: 62 Jahre

Name: Thomas Ziegler

Geschlecht: männlich

Alter: 22 Jahre

Name: Chunhwa Jung

Geschlecht: weiblich

Alter: 23 Jahre

Name: Andreas Ziegler

Geschlecht: männlich

Alter: 24 Jahre

### 8.3. Testumgebung

#### 8.3.1. Indoor

Für die Bewegungsabläufe, die indoor durchgeführt wurden, kam ein Teil eines Wohnzimmers mit einer Fläche von *4.1m auf 1.6m* zum Einsatz. Die Matte, die bei den Stürzen verwendet wurde, hat ein Volumen von *1.62m auf 1.12m mit 0.14m Dicke*. Die Indoor-Messumgebung ist in Abbildung 8.1 zu sehen.



*Abbildung 8.1: Die indoor Testumgebung*

### 8.3.2. Outdoor

Die Bewegungsabläufe, die outdoor aufgenommen wurden, wurden auf einem Garagenplatz mit einer Fläche von  $9.7m \text{ auf } 3m$  und auf einer Treppe mit 10 Tritten aufgenommen. In den Abbildungen 8.2 und 8.3 sind die Treppe und der Platz zu sehen.



*Abbildung 8.2: Die outdoor Testumgebung (Treppe)*



**Abbildung 8.3:** Die outdoor Testumgebung (Platz)

#### 8.4. Durchgeführte Bewegungen

Für den Test wurden folgende ADL aufgezeichnet:

- Vorwärtsgehen (langsam bis schnell)
- Rückwärtsgehen
- Seitwärtsgehen
- Im Stand drehen
- Treppen steigen (auf- und abwärts)
- Auf Stuhl setzen
- Von Stuhl aufstehen

Für das langsame, normale und schnelle Gehen gelten die definierten Geschwindigkeiten von  $v < 1.1 \frac{m}{s}$ ,  $v = 1.1 \frac{m}{s}$  und  $v > 1.1 \frac{m}{s}$ . Die Geschwindigkeit beim Vorwärtsgehen wurde anhand der durchschnittlichen Schrittänge  $l = 0.73 \text{ m}$ , gemäss [10], und der benötigten Zeit für einen Schritt  $t$ , mit  $v = \frac{s}{t} = \frac{0.73 \text{ m}}{t}$  berechnet. Die benötigte Zeit für einen Schritt wurde aus den Plots herausgelesen.

Diese ADL wurden gewählt, da es sich um die häufigsten Bewegungen handelt, die Personen im normalen Leben ausüben. Auf aggressive Bewegungen wie Rennen, Springen, Hinlegen und Hinknien wurde verzichtet, da diese Bewegungen von unserer Zielgruppe mit höchster Wahrscheinlichkeit nicht ausgeführt werden.

Für den Test wurden folgende Sturzursachen aufgenommen:

- Falsche Gewichtsverlagerung
- Stolpern, Einhängen
- Stoss
- Kontaktverlust zu externem Objekt
- Zusammenbruch, Ohnmacht
- Ausrutschen

Die Sturzursachen wurden so gewählt, dass gemäss Tabelle 5.1 98% aller Sturzursachen abgedeckt werden.

Zur Verständlichkeit werden in den nächsten zwei Abschnitten die Bewegungsabläufe “Falsche Gewichtsverlagerung” und “Kontaktverlust zu externem Objekt” beschrieben.

#### 8.4.1. Falsche Gewichtsverlagerung

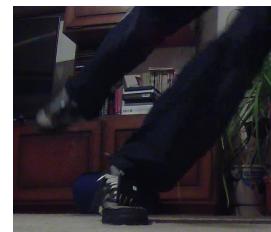
Bei der falschen Gewichtsverlagerung wurde während dem Gehen mit dem einen Fuss eine neue Richtung eingeschlagen. Der Oberkörper konnte dieser Richtungsänderung nicht folgen, was zu einem Sturz führte. Der Bewegungsablauf ist in Abbildung 8.4 abgebildet.



(a) Startposition



(b) Richtungsänderung

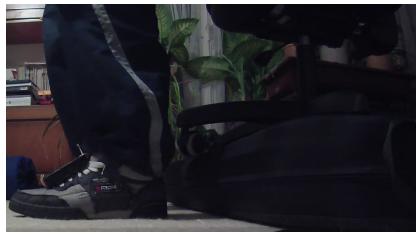


(c) Sturz

Abbildung 8.4: Bewegungsablauf bei einer falschen Gewichtsverlagerung

#### 8.4.2. Kontaktverlust zu externem Objekt

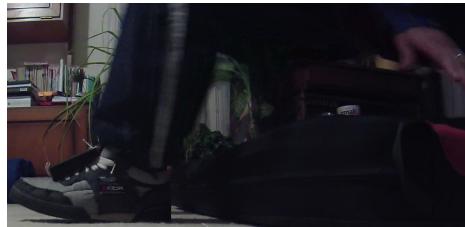
Bei diesem Bewegungsablauf wurde der Testperson, welche sich auf einen Stuhl setzen wollte, während dem Absitzen der Stuhl weggezogen. Der Bewegungsablauf ist in Abbildung 8.5 abgebildet.



(a) Startposition



(b) Stuhl wird weggezogen



(c) Sturz

*Abbildung 8.5: Bewegungsablauf bei Kontaktverlust zu einem externen Objekt*

## 9. Resultat

### 9.1. Bedingungen

Um das Resultat werten zu können ist es nötig, die Randbedingungen der Sturzdetektion zu definieren. Die Tabelle 9.1 gibt eine Übersicht, welche Bewegungen als Sturz erkannt werden müssen, welche nicht als Sturz detektiert werden dürfen und bei welchen Falschdetektionen toleriert werden.

Bewegung	Als Sturz detektieren
ADL	
Gehen (langsam bis normal)	Nein
Gehen (schnell)	Egal
Rückwärtsgehen	Nein
Seitwärtsgehen	Nein
Rennen	Egal
Im Stand drehen	Nein
Treppen steigen (normal)	Nein
Treppen steigen (schnell)	Egal
Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Aufstehen (von Stuhl)	Nein
Stürze	
Falsche Gewichtsverlagerung	Ja
Stolpern, Einhängen	Ja
Stoss	Ja
Kontaktverlust zu externem Objekt	Ja
Zusammenbruch, Ohnmacht	Ja
Ausrutschen	Ja

*Tabelle 9.1: Bedingungen der verschiedenen Bewegungen*

Bei dieser Arbeit wird die Priorität auf das Erkennen von Stürzen gelegt. Für unsere Zielgruppe kann es von existenzieller Wichtigkeit sein, dass jegliche Stürze erkannt werden, damit z.B. ein Arzt informiert werden kann. Da unsere Zielgruppe mit hoher Wahrscheinlichkeit Bewegungen wie schnelles Gehen und schnelles Treppen steigen nicht ausführt, sind diese ADL weniger wichtig.

## 9.2. Gewählte Parameter

In Tabelle 9.2 sind die verwendeten Parameter dargestellt.

Parameter	Definierter Wert
$\epsilon_\omega$	1.0 rad/s
$\epsilon_a$	25 m/s <sup>2</sup>
$\xi_a$	0.45 m/s <sup>2</sup>
$\xi_{\omega,x}$	0.8 rad/s
$\xi_{\omega,y}$	0.5 rad/s
$\xi_{\omega,z}$	0.8 rad/s
$N_S$	6 Samples
$\xi_{\alpha, pos}$	15°
$\xi_{\alpha, neg}$	-25°
$\xi_{\beta, pos}$	15°
$\xi_{\beta, neg}$	-15°
$M$	5 Samples
$t_q$	1.5s
$t_{var}$	0.9s

**Tabelle 9.2:** Übersicht der verwendeten Parameter

Die Thresholds des Peak-Detektors sind mit  $\epsilon_\omega = 1.0 \frac{rad}{s}$  und  $\epsilon_a = 25 \frac{m}{s^2}$  definiert. Die Werte sind so gewählt, dass der Peak-Detektor sensitiv ist, damit auch langsame Stürze detektiert werden können.

Beim Ruheposition-Detektor ist  $\xi_a$  mit  $0.45 \frac{m}{s^2}$  so gewählt, dass kleinere Schwankungen toleriert werden. So werden die Ruhephasen auch bei schnelleren ADL wie "rasches Gehen" problemlos detektiert. Da die Beschleunigung bei Stürzen hohe Werte annimmt, stellt dies kein Problem dar. Die  $\xi$ -Werte für die Drehraten sind für die einzelnen Achsen separat bestimmt. Der  $\xi$ -Wert für die Drehrate der x-Achse ist  $\xi_{\omega,x} = 0.8 \frac{rad}{s}$ . Dieser Wert wurde auch so gesetzt, damit Ruhephasen bei schnelleren ADL korrekt erkannt werden. Beim normalen ADL ist der Verlauf von  $\omega_x$  regelmässig und bei abnormalen Bewegungen zeigt auch  $\omega_x$  hohe Werte.  $\xi_{\omega,y}$  ist mit  $0.5 \frac{rad}{s}$  etwas kleiner, da bei normalen ADL keine grossen Drehungen um die Y-Achse auftreten sollten und  $\omega_y$  zudem unregelmässig ist. Drehungen um die Z-Achse sind bei ADL normal und regelmässig, weshalb  $\xi_{\omega,z} = 0.8 \frac{rad}{s}$  definiert wurde um Ruhephasen korrekt zu erkennen. Durch verschiedene Versuche wurde der Parameter  $N_S$  empirisch mit 6 *Samples* definiert.

Die Werte  $\xi_{\alpha, pos}$ ,  $\xi_{\alpha, neg}$ ,  $\xi_{\beta, pos}$  und  $\xi_{\beta, neg}$  beim Normalposition-Detektor wurden mit  $\xi_{\alpha, pos} = 15^\circ$ ,  $\xi_{\alpha, neg} = -25^\circ$ ,  $\xi_{\beta, pos} = 15^\circ$  und  $\xi_{\beta, neg} = -15^\circ$   $M = 5$  *Samples* empirisch so definiert, dass bei Drehungen nach hinten und zur Seite sehr schnell keine Ruhepositionen mehr existieren, da es sich dann um unnatürliche Bewegungen handelt. Hingegen sind bei Drehungen nach vorne

noch länger Ruhepositionen möglich, da es auch bei gewissen ADL zu Drehungen nach vorne kommt.

Der Parameter  $t_q$  ist beim Peak-Detektor mit  $t_q = 1.5 \text{ s}$  so definiert, dass auch bei langsam Bewegungen quittiert werden kann.  $t_{var}$  ist mit  $t_{var} = 0.9 \text{ s}$  empirisch so definiert, dass auch bei Stürzen, bei welchen die Bewegungen der beiden Schuhlen nicht so parallel abläuft, ein Sturz sicher detektiert werden kann.

### 9.3. Ergebnis

In Tabelle 9.3 sind die Ergebnisse aufgelistet.

Testperson	Bewegung	Als Sturz detektiert
	ADL's	
Alfred Ziegler	Gehen (langsam bis normal)	Nein
Alfred Ziegler	Gehen (schnell)	Nein
Alfred Ziegler	Rückwärtsgehen	Nein
Alfred Ziegler	Seitwärtsgehen	Nein
Alfred Ziegler	Im Stand drehen	Nein
Alfred Ziegler	Treppen steigen (normal)	Nein
Alfred Ziegler	Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Alfred Ziegler	Aufstehen (von Stuhl)	Nein
	Stürze	
Alfred Ziegler	Falsche Gewichtsverlagerung	*
Alfred Ziegler	Stolpern, Einhängen	*
Alfred Ziegler	Stoss	*
Alfred Ziegler	Kontaktverlust zu externem Objekt	*
Alfred Ziegler	Zusammenbruch, Ohnmacht	*
Alfred Ziegler	Ausrutschen	*
	ADL's	
Ursula Ziegler	Gehen (langsam bis normal)	Nein
Ursula Ziegler	Gehen (schnell)	Ja
Ursula Ziegler	Rückwärtsgehen	Nein
Ursula Ziegler	Seitwärtsgehen	Nein
Ursula Ziegler	Im Stand drehen	Nein
Ursula Ziegler	Treppen steigen (normal)	Nein
Ursula Ziegler	Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Ursula Ziegler	Aufstehen (von Stuhl)	Nein

Testperson	Bewegung	Als Sturz detektiert
	Stürze	
Ursula Ziegler	Falsche Gewichtsverlagerung	*
Ursula Ziegler	Stolpern, Einhängen	*
Ursula Ziegler	Stoss	*
Ursula Ziegler	Kontaktverlust zu externem Objekt	*
Ursula Ziegler	Zusammenbruch, Ohnmacht	*
Alfred Ziegler	Ausrutschen	*
	ADL's	
Thomas Ziegler	Gehen (langsam bis normal)	Nein
Thomas Ziegler	Gehen (schnell)	Ja
Thomas Ziegler	Rückwärtsgehen	Nein
Thomas Ziegler	Seitwärtsgehen	Nein
Thomas Ziegler	Im Stand drehen	Nein
Thomas Ziegler	Treppen steigen (normal)	Nein
Thomas Ziegler	Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Thomas Ziegler	Aufstehen (von Stuhl)	Nein
	Stürze	
Thomas Ziegler	Falsche Gewichtsverlagerung	Ja
Thomas Ziegler	Stolpern, Einhängen	Ja
Thomas Ziegler	Stoss	Ja
Thomas Ziegler	Kontaktverlust zu externem Objekt	Ja
Thomas Ziegler	Zusammenbruch, Ohnmacht	Ja
Thomas Ziegler	Ausrutschen	Ja
	ADL's	
Chunhwa Jung	Gehen (langsam bis normal)	Nein
Chunhwa Jung	Gehen (schnell)	Ja
Chunhwa Jung	Rückwärtsgehen	Nein
Chunhwa Jung	Seitwärtsgehen	Nein
Chunhwa Jung	Im Stand drehen	Nein
Chunhwa Jung	Treppen steigen (normal)	Nein
Chunhwa Jung	Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Chunhwa Jung	Aufstehen (von Stuhl)	Nein
	Stürze	
Chunhwa Jung	Falsche Gewichtsverlagerung	Ja
Chunhwa Jung	Stolpern, Einhängen	Ja
Chunhwa Jung	Stoss	Ja

Testperson	Bewegung	Als Sturz detektiert
Chunhwa Jung	Kontaktverlust zu externem Objekt	Ja
Chunhwa Jung	Zusammenbruch, Ohnmacht	Ja
Chunhwa Jung	Ausrutschen	Ja
	ADL's	
Andreas Ziegler	Gehen (langsam bis normal)	Nein
Andreas Ziegler	Gehen (schnell)	Ja
Andreas Ziegler	Rückwärtsgehen	Nein
Andreas Ziegler	Seitwärtsgehen	Nein
Andreas Ziegler	Im Stand drehen	Nein
Andreas Ziegler	Treppen steigen (normal)	Nein
Andreas Ziegler	Sich setzen (auf Stuhl)	Nein
Andreas Ziegler	Aufstehen (von Stuhl)	Nein
	Stürze	
Andreas Ziegler	Falsche Gewichtsverlagerung	Ja
Andreas Ziegler	Stolpern, Einhängen	Ja
Andreas Ziegler	Stoss	Ja
Andreas Ziegler	Kontaktverlust zu externem Objekt	Ja
Andreas Ziegler	Zusammenbruch, Ohnmacht	Ja
Andreas Ziegler	Ausrutschen	Ja
* Testperson verzichtete um Verletzungen zu verhüten		

Tabelle 9.3: Ergebnis der Messungen

## 10. Diskussion des Resultats

### 10.1. Allgemein

Da das Sturzdetektionsverfahren in dieser Arbeit nur mit fünf verschiedenen Testpersonen durchgeführt wurde, können diese Resultate nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Dafür wären Messreihen mit weit mehr Testpersonen nötig. Es zu vermerken, dass die Mehrheit der Testpersonen nicht der Zielgruppe entspricht, für welche die Sturzdetektion eingesetzt wird. Bei ADL fällt dies nicht so stark ins Gewicht, jedoch gilt es dies beim Resultat der Stürze zu beachten. Besonders wichtig zu erwähnen ist, dass die Sturzversuche nur von jungen Testpersonen durchgeführt wurden. Sturzversuche mit Testpersonen, die unserer Zielgruppe entsprechen, wären gefährlich. Ein weiterer Grund, weshalb das Resultat der Sturzversuche differenziert betrachtet werden muss ist, dass provozierte Stürze künstlich sind und nicht eins zu eins mit realen Stürzen verglichen werden können.

### 10.2. ADL

Wie schon im Abschnitt 10.1 geschrieben, können die Resultate der ADL ohne grössere Bedenken betrachtet werden, da es sich um natürlich ausgeführte Bewegungen handelt.

Wie die Resultate zeigen, werden beim Rückwärtsgehen, Seitwärtsgehen, Im Stand drehen, Treppen steigen, auf Stuhl setzen und von Stuhl aufstehen vom Sturzdetektionssystem richtigerweise keine Stürze detektiert. Beim Vorwärtsgehen mit normaler Geschwindigkeit, detektiert das Sturzdetektionssystem auch keine Stürze, hingegen werden beim schnellen Vorwärtsgehen Stürze detektiert. Der Grund dafür ist, dass das System bei zu schnellen Bewegungsabläufen keine Ruhepositionen mehr detektieren kann. Da diese Bewegungen nach den Bedingungen dieser Arbeit nicht korrekt detektiert werden müssen, da unsere Zielgruppe solche Bewegungen mit höchster Wahrscheinlichkeit nicht ausführt, stellt dies jedoch kein Problem dar.

### 10.3. Stürze

Im Abschnitt 10.1 wurde schon erklärt, dass das Resultat für die Stürze differenziert betrachtet werden muss. Unter den für diese Arbeit gegebenen Bedingungen wurden bei den Testdaten alle Stürze erfolgreich detektiert. Auch wenn die Stürze künstlich sind, wurden die Testpersonen immer gebeten so realistisch wie möglich zu Stürzen.

## 11. Vorausschau

Die Grenze des Sturzdetektionssystems, welches in dieser Arbeit umgesetzt und getestet wurde, ist das Erkennen von Ruhepositionen bei schnellen Bewegungen. Für das korrekte Erkennen der Position der Schuhe könnte versucht werden, von einem anderen Ansatz ausgehend, bessere Resultate zu erzielen.

Eine Methode wäre, die Drehratensignale aufzuintegrieren und davon die Position der Schuhe herzuleiten. Frühere Versuche haben jedoch gezeigt, dass damit nur ungenaue Angaben über die Position gemacht werden können.

Vielleicht wäre es auch möglich, mit einer Kombination aus den aufintegrierten Drehratensignalen und den Magnetfeld-Sensoren genauere Aussagen über die aktuelle Position der Schuhe zu machen. Jedoch ist der Magnetfeld-Sensor sehr sensibel, was in Gebäuden mit anderen elektrischen Geräten zu Problemen führen kann.

Erfolgsversprechend ist auch der Ansatz eines Kalman-Filters, der mit Hilfe der aktuellen Werte und den Schätzungen für die aktuellen Werte, eine gute Schätzung für die Position des Schuhs zum nächsten Zeitpunkt liefern könnte.

Der nächste Schritt wäre, dieses Sturzdetektionssystem in einer eingebetteten Lösung in die Schuhe zu integrieren. Dafür gilt es einerseits eine Elektronik zu entwickeln die genügend klein ist, dass man sie einfach in die Schuhe integrieren kann. Andererseits muss der Algorithmus auf dieser eingebetteten Lösung umgesetzt werden bei der weniger Rechenleistung und Speicher zur Verfügung steht als mit der MATLAB-Umgebung, die in dieser Arbeit eingesetzt wurde.

## A. Verzeichnisse

### Literatur

- [1] Charalampos Doukas, Ilias Maglogiannis, Philippos Tragias, Dimitris Liapis, Gregory Yovanof "Patient Fall Detection using Support Vector Machines", <http://www.springerlink.com/content/u4225666440411q5/>, 2007
- [2] M.N. Nyan, Francis E.H. Tay, E. Murugasu "A wearable system for pre-impact fall detection", , 4. August 2008
- [3] Ge Wu, Shuwan Xue "Portable Preimpact Fall Detector With Inertial Sensors", , 02. April 2008
- [4] N. Noury, A. Fleury, P. Rumeau, A.K. Bourke. G. O Laighin, V. Rialle, J.E. Lundy "Fall detection - Principles and Methods",, 23-26. August 2007
- [5] Benoit Mariani, Constanze Hoskovec, Stephane Rochat, Christophe Büla, Julien Penders, Kamiar Aminian "3D gait assessment in young and elderly subjects using foot-worn inertial sensors",, 02. Juli 2010
- [6] Kerem Altun, Billur Barshan, Orkun Tuncel "Comparative study on classifying human activities with miniature inertial and magnetic sensors",, 22. April 2010
- [7] A.K. Bourke, K.J. O'Donovan, G. OLaighin "The identification of vertical velocity profiles using an inertial sensor to investigate pre-impact detection of falls",, 12. Dezember 2007
- [8] Stephen N Robinovitch, Fabio Feldmann, Yijian Yang, Rebecca Schonnop, Pet Ming Lueng, Thiago Sarraf, Joanie Sims-Gould, Marie oughin "Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study", 17, Oktober 2012
- [9] Kurt Winkler, Hans-Peter Brehm, Jürg Haltmeier "Bergsport Sommer, 2. überarbeitete Auflage", 2008
- [10] Wikipedia "Schritt (Einheit)", [http://de.wikipedia.org/wiki/Schritt\\_\(Einheit\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Schritt_(Einheit))
- [11] Michael W. Whittle "Gait Analysis, An introduction, Fourth Edition", 2007

## Abbildungsverzeichnis

2.1.	Schuh mit dem angebrachten Sensormodul . . . . .	2
2.2.	Die Benutzeroberfläche des Tools “read_9DOF_measurements_and_video” . . . . .	3
5.1.	Bewegungsablauf beim normalen Gang . . . . .	8
5.2.	Bewegungsablauf beim Hinlegen . . . . .	9
5.3.	Bewegungsablauf beim Treppen hinauf steigen . . . . .	10
5.4.	Bewegungsablauf beim Treppen hinab steigen . . . . .	11
5.5.	Bewegungsablauf bei einem Vorwärtssturz . . . . .	12
5.6.	Bewegungsablauf bei einem Seitwärtssturz . . . . .	13
6.1.	Beschleunigungen bei verschiedenen Bewegungsabläufen . . . . .	15
7.1.	Übersicht des Struzdetektionsverfahren . . . . .	17
7.2.	Übersicht des Ruheposition-Detektors . . . . .	19
7.3.	Graph der Beschleunigung $\ a\ $ , der potentiellen Samples ohne Beschleunigung $b$ und der Samples ohne Beschleunigung $d$ . . . . .	21
7.4.	Übersicht des Normalposition-Detektors . . . . .	21
7.5.	Skizzen für die Winkelberechnungen . . . . .	22
7.6.	Übersicht des Sturz-Detektors . . . . .	23
7.7.	Treppe rauf (linke Seite) . . . . .	25
7.8.	Treppe rauf (rechte Seite) . . . . .	25
7.9.	Langsamer Sturz (linke Seite) . . . . .	26
7.10.	Langsamer Sturz (rechte Seite) . . . . .	26
7.11.	Kombination von $s_r$ , $s_l$ mit Resultat $r$ bei einem langsamen Sturz . . . . .	27
8.1.	Die indoor Testumgebung . . . . .	29
8.2.	Die outdoor Testumgebung (Treppe) . . . . .	29
8.3.	Die outdoor Testumgebung (Platz) . . . . .	30
8.4.	Bewegungsablauf bei einer falschen Gewichtsverlagerung . . . . .	31
8.5.	Bewegungsablauf bei Kontaktverlust zu einem externen Objekt . . . . .	32
C.1.	Vorwärtsgehen (linke Seite) . . . . .	46
C.2.	Vorwärtsgehen (rechte Seite) . . . . .	46
C.3.	Treppe runter steigen (linke Seite) . . . . .	47
C.4.	Treppe runter steigen (rechte Seite) . . . . .	47
C.5.	Langsamer Rückwärtssturz (linke Seite) . . . . .	48
C.6.	Langsamer Rückwärtssturz (rechte Seite) . . . . .	48

## **Tabellenverzeichnis**

5.1. Sturzwahrscheinlichkeit verschiedener Ursachen . . . . .	7
5.2. Sturzwahrscheinlichkeit verschiedener Bewegungen . . . . .	7
9.1. Bedingungen der verschiedenen Bewegungen . . . . .	33
9.2. Übersicht der verwendeten Parameter . . . . .	34
9.3. Ergebnis der Messungen . . . . .	37

## **Algorithmverzeichnis**

1.	Detektieren der Positionen ohne Beschleunigung . . . . .	20
2.	Detektieren der Normalpositionen . . . . .	22
3.	neighborNormalCheck() . . . . .	23
4.	Quittierung . . . . .	24
5.	Zusammenführen beider Seiten . . . . .	24

## **B. Erklärung zur Urheberschaft**

### **Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

### **Ort, Datum**

Rapperswil, 20.12.2012

### **Unterschrift**

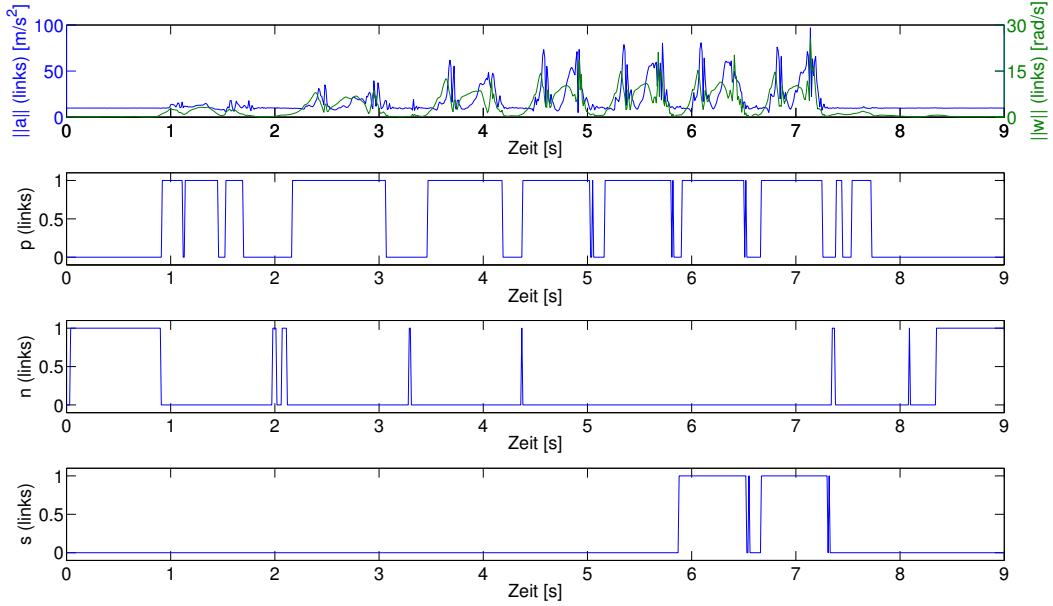
Andreas Ziegler

## C. Zusätzliche Plots

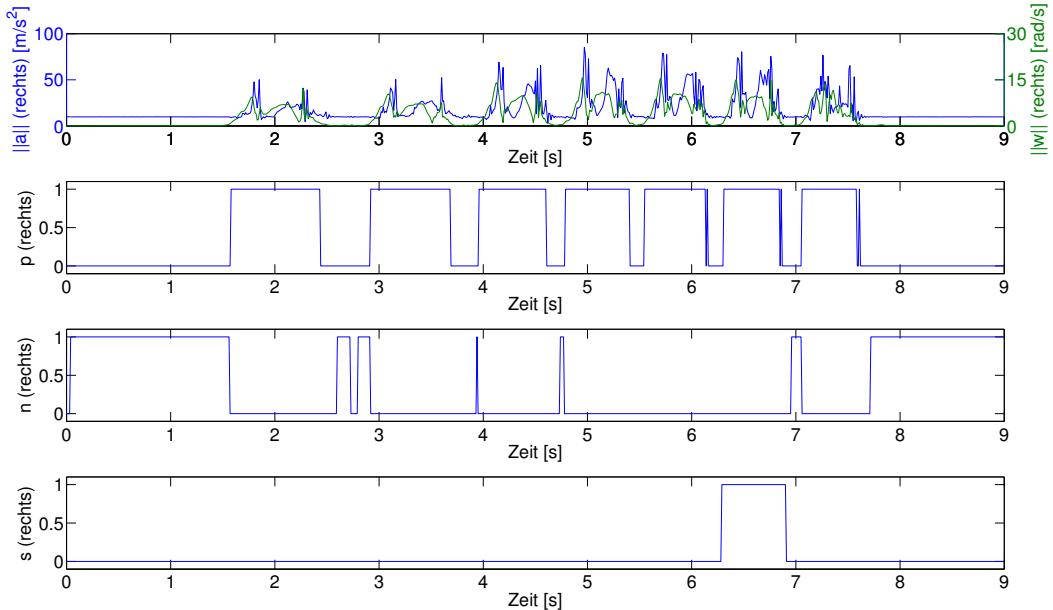
### C.1. Vorwärtsgehen (langsam bis schnell)

Die Abbildungen C.1 und C.2 zeigen den Bewegungsablauf vom langsam bis zum schnellen Gehen. Dabei ist gut zu erkennen, wie das Sturzdetektionssystem beim schnellen Gehen nicht mehr in der Lage ist Normalpositionen korrekt zu erkennen und so Stürze detektiert. In diesen zwei Abbildungen ist auch gut zu erkennen, dass der erste Sturz 1.5 Sekunden nach der letzten detektierten Normalposition eintrifft. Diese 1.5 Sekunden entsprechen gerade der Zeit  $t_q$ .

Aus den Abbildungen lässt sich auch ermitteln, dass es sich bei den Bewegungen, welche als Sturz detektiert wurden, um schnelles Gehen handelt. Dafür lässt sich der Start- und Stopppunkt eines Schrittes z.B. zu den Zeitpunkten  $t_{start} = 5.25s$  und  $t_{stop} = 5.8s$  in Abbildung C.1 herauslesen. Mit der Differenz der beiden Punkten  $t_{diff} = t_{stop} - t_{start} = 0.55s$  und der Schrittlänge  $l = 0.73m$  lässt sich daraus die Geschwindigkeit  $v = \frac{l}{t_{diff}} = \frac{0.73m}{0.55s} = 1.33 \frac{m}{s}$  ermitteln.

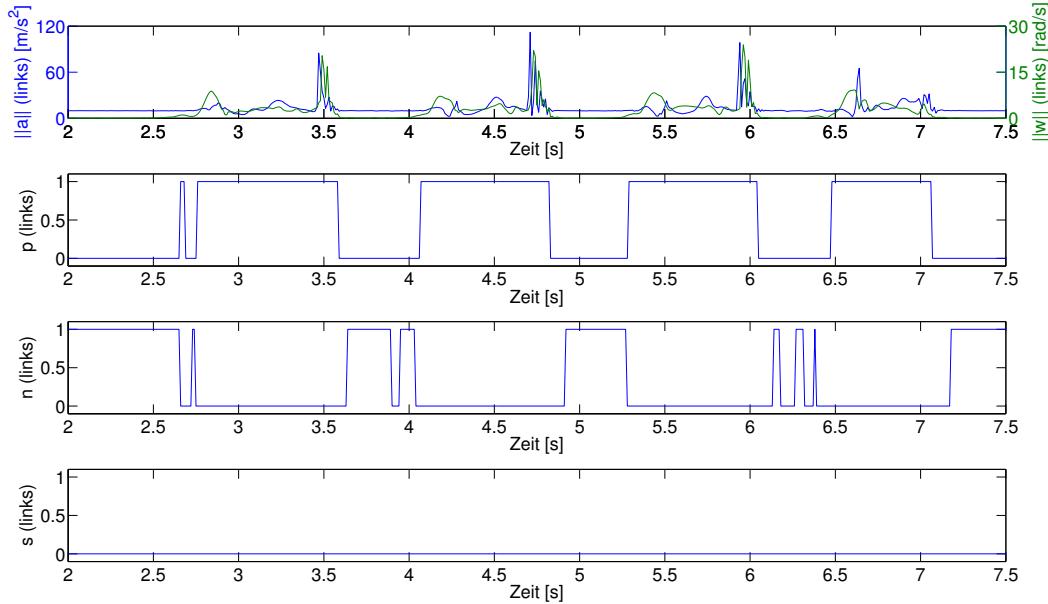


**Abbildung C.1:** Vorwärtsgehen (linke Seite)

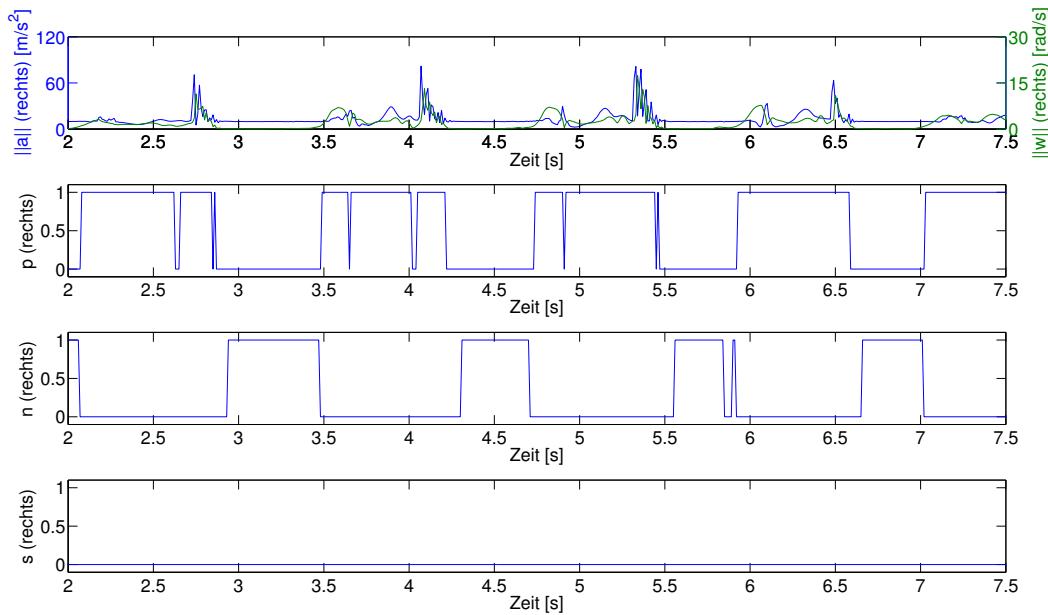


**Abbildung C.2:** Vorwärtsgehen (rechte Seite)

## C.2. Treppe runter steigen



**Abbildung C.3:** Treppe runter steigen (linke Seite)



**Abbildung C.4:** Treppe runter steigen (rechte Seite)

### C.3. Langsamer Rückwärtssturz

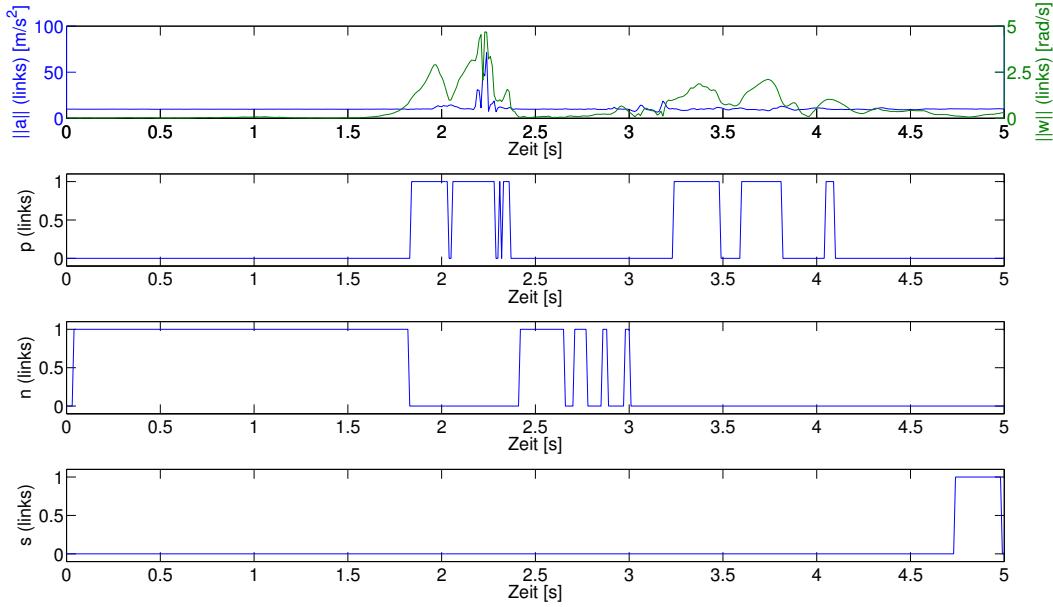


Abbildung C.5: Langsamer Rückwärtssturz (linke Seite)

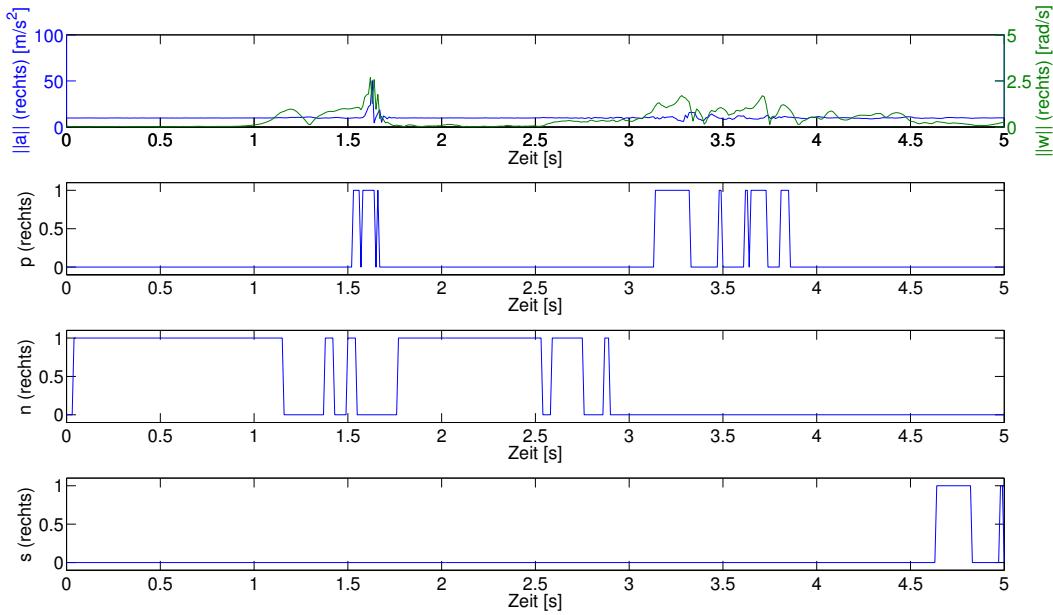


Abbildung C.6: Langsamer Rückwärtssturz (rechte Seite)

