

# MOBILE AKZELEROMETRIE ZUR MESSUNG DER LAGE IN RUHE UND SCHLAF

Aigner G<sup>1</sup>, Schreier G<sup>2</sup>, Daumer M<sup>3,4</sup>

## **Kurzfassung**

*In der Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, das Statistiken über die Änderungen der nächtlichen Liegepositionen erstellt. Dazu wird vom Schlafenden ein Akzelerometer in einem flexiblen Gürtel getragen (actibelt©), mit dessen Messdaten es möglich ist, den Winkel einer liegenden Person zum horizontalen Schlafuntergrund zu berechnen. Die Methode wurde zur Erläuterung an zwei Teilnehmern über 4 Tage und Nächte angewandt und die Ergebnisse der Statistiken visualisiert. In der Diskussion werden nötige Schritte zur weiteren Validierung besprochen, sowie mögliche medizinisch-relevante Fragestellungen gelistet.*

## **Abstract**

*This work presents a way to create statistics about the nightly lying position and its alteration. Therefore an accelerometer (actibelt©) is worn in a flexible belt to calculate the lying angle. The method was tested on two participants wearing the accelerometer for four consecutive Nights and the results were visualized. Necessary validation steps as well as possible medical applications are discussed.*

**Keywords – Schlafforschung, Akzelerometrie, actibelt, mHealth**

## **1. Einleitung**

Die Akzelerometrie wird seit längerem in der Schlafforschung eingesetzt und konnte sich als Instrument zur Unterscheidung zwischen Wach- und Schlafzustand mit akzeptabler Validierung [7] etablieren. Wie in [4] zusammengefasst liegen die Schwierigkeiten der Akzelerometrie dabei in der geringen Spezifität der Wach-Schlaf Unterscheidung innerhalb mancher Bevölkerungsgruppen (z.B. Ältere oder Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen). Der akzelerometrischen Sensorik wird dennoch eine hinreichend genaue Fähigkeit zugesichert, im Zuge mehrtägiger Untersuchungen intrapersonelle Schlafmusteränderungen – wie auch immer induziert – zu erkennen.

Als Vorteil der Akzelerometrie gegenüber der Polysomnographie kann neben dem geringeren Ressourcenaufwand die Vereinfachung der Aufnahme von Daten in einer bekannten Schlafumgebung

---

1 Safety and Security Department, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien

2 Safety and Security Department, AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Graz

3 Sylvia Lawry Centre for Multiple Sclerosis Research e.V.– The Human Motion Institute, München

4 Trium Analysis Online GmbH, München

angeführt werden. Im Vergleich zum wachsenden Interesse an der Wach-Schlafunterscheidung, der Schlafqualität und der damit verbundenen Analyse von gängigen Schlafparametern ist die Frage nach der Schlafposition in der wissenschaftlichen Literatur bisher unterrepräsentiert.

Die Mehrzahl der publizierten Studien [4] berichten von Systemen, in denen der verwendete Akzelerometrie-Sensor in einem Armband oder Fußband getragen wird, um anschließend in kleinen Zeitintervallen über einen längeren Zeitraum Bewegungsdaten ein- bis dreidimensional aufzuzeichnen und zur Analyse zur Verfügung zu stellen. Diese Art der Systemumsetzung kommt bereits in kommerziellen Produkten zur Anwendung<sup>1</sup>.

Da sich neben dem Arm- oder Fußgelenk auch der Rumpf als Befestigungsort [2] für einen Akzelerometer eignet, wird in dieser Arbeit eine Lösung präsentiert, die die speziellen geometrischen Vorteile einer rumpfbasierten Messung nutzt, um sich der Fragestellung der Schlafpositionen bzw. ihrer Wechsel anzunehmen. Der wichtigste Vorteil der Rumpffpositionierung für diese Arbeit ist dabei die genaue Bestimmbarkeit der körperlichen Lage zur horizontalen Ebene der Schlafstätte: diese kann als der Winkel dargestellt werden, den die Sagittalebene mit der Horizontalen bildet. Die ansonsten übliche Klassifikation der Schlafposition in Rückenlage, Bauchlage, Links und Rechts wird durch eine kontinuierliche Skala von 0-360° ersetzt.

## 2. Methoden

### 2.1. actibelt Plattform

Der actibelt© ist ein in eine Gürtelschnalle integrierter 3D-Akzelerometer und wurde entwickelt, um körperliche Aktivität sowie Gang- und Bewegungsstörungen im Langzeitverlauf objektiv zu quantifizieren [1]. Die Sampling-Frequenz beträgt 100Hz, der gemessene Beschleunigungswert zwischen  $\pm 5g$  wird pro Achse auf 12 Bit aufgelöst. Der eingebaute Speicher von 512Mb, der für ca. 10 Tage Rohdatenerfassung ausreicht, wird durch eine per USB wiederaufladbare Batterie ergänzt, die eine theoretische Laufzeit des actibelt von ca. 20 Tagen ermöglicht.

Scheermesser et. al. schreiben in einer unabhängigen Studie über den Gebrauch des actibelt: „Die empirische Benutzerakzeptanzanalyse im Rahmen der zweiten Fallstudie „MS Nurses“ zeigt insgesamt, dass die Akzeptanz gegenüber der Technologie actibelt von allen beteiligten Akteuren generell als hoch bewertet wird“ [5].

Zur nächtlichen Datenaufzeichnung, wie auch beim Sport, wird anstatt des normalen Ledergürtels und einer Metallschnalle der aus Kunstleder und einem Elastikband gefertigte „flexbelt“ verwendet (*Abbildung 1*), der wie ein normaler Gürtel getragen wird und somit einer Messung der Beschleunigung des Körperschwerpunkts nahe kommt.



Abbildung 1: Der actibelt in der flexbelt-Befestigung und wie er am Körper getragen wird.

<sup>1</sup> Siehe u.a.: [www.actisleep.com](http://www.actisleep.com)

Die verschlüsselten Rohdaten werden zunächst per USB auf einem PC gespeichert und können anschließend auf einen zentralen Server geladen werden. Dort stehen sie für Analysen zur Verfügung.

## 2. 2. Algorithmus zur Schlaf- und Ruhedetektion und Winkelmessung

Folgender Algorithmus mit empirisch bestimmten Grenzwerten wurde nach der visuellen Analyse von Testdaten entwickelt.

- Das Beschleunigungssignal wird in Epochen zu je fünf Sekunden unterteilt.
  - Für jede Epoche wird die Standardabweichung für jede Achse berechnet. ( $SD_x$ ,  $SD_y$ ,  $SD_z$ )
  - Der Mittelwert aller drei Achsen wird berechnet. ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ )
- Für alle Epochen: Wenn die  $SD_x$ ,  $SD_y$  und  $SD_z < 0,001g$  UND der  $M_x > \text{als } 1/3 g$  ist (d.h. die Person befindet sich in einer liegeähnlichen Position), DANN ist eine Epoche als Liegeepoche klassifiziert, und wird mit den unmittelbar nachfolgenden Liegeepochen verbunden.
- Da kleine Bewegungen im Schlaf nicht unüblich sind, aber keine direkte Lageänderung nach sich ziehen, werden im dritten Schritt die Epochen weiter zusammengefügt. Dazu werden solange zuvor klassifizierte Liegeepochen mit ihren Nachbarn verbunden, solange folgende Bedingungen gegeben sind:
  - Die zeitliche Distanz zweier benachbarter Liegeepochen ist gering ( $< 15\text{Sek}$ ).
  - Die Liegewinkel des Schläfers haben sich nur minimal geändert ( $\pm 5^\circ$ ).

Das Ergebnis des Algorithmus ist also eine Kette von Schlafphasen, die höchstens kurze Unterbrechungen und ähnliche Winkel aufweisen. Eine Änderung der Lage (z.B. von Rücken- auf Bauchlage) bedeutet also eine neue Schlafphase.

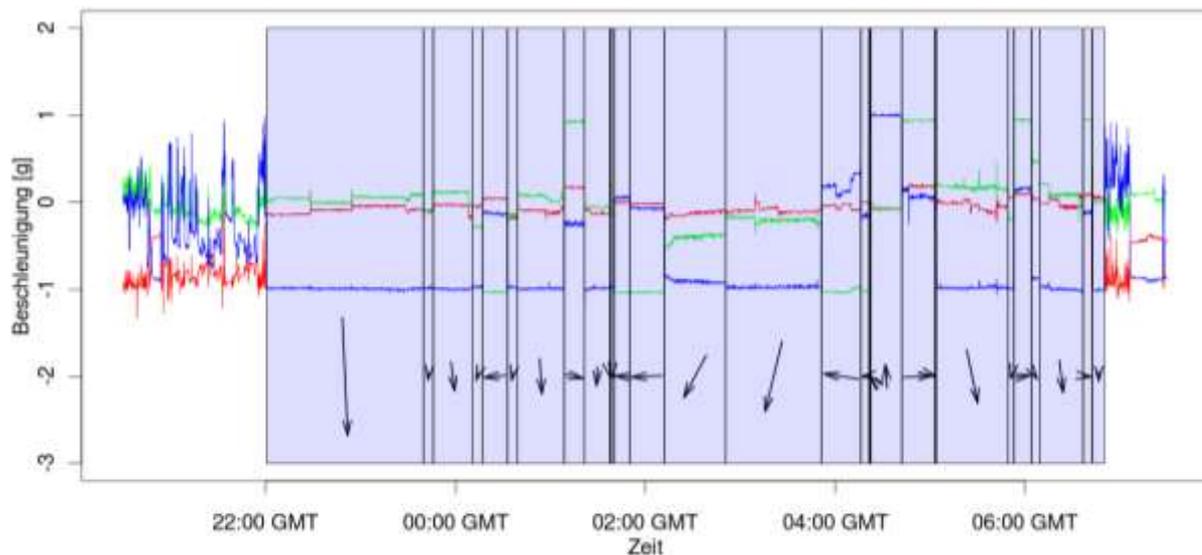
Berechenbare Kennzahlen für zusammengehörige Ruhe/Schlafphasen (mehrere Stunden / Nacht) sind (a) Anzahl und Verteilung der Phasen mit unterschiedlicher Lage, (b) Gesamtdauer aller Schlafphasen und (c) längere Pausen (z.B.: Toilettengang).

Für jede Schlafphase mit gleicher Lage kann die (a) Anzahl/Rate der kurzen ( $< 15\text{Sek}$ ) Bewegungsunterbrechungen (b) der Liegewinkel und (c) die Dauer der Phase berechnet werden.

## 2. 3. Versuchsaufbau

Um die generelle Funktionalität und Plausibilität der Messergebnisse zu zeigen, und die Erarbeitung neuer Ideen basierend auf den berechneten Kennzahlen anzuregen, sollten zwei Probanden den actibelt für 4 Nächte tragen. Zur Visualisierung der gewonnenen Daten sollten neue Graphiken entwickelt werden, die die Lagewinkel sowie die Dauer der Schlafphasen zusammenfassend präsentieren.

In der wissenschaftlichen Literatur zum Thema findet man oft die Einteilung der Schlafposition in Bauch, Rücken, seitlich (Links) und seitlich (Rechts). Eine Möglichkeit, die berechneten Lagewinkel auf diese Art der Einteilung zurückzuführen war ebenfalls gewünscht.



**Abbildung 2: Schlafprofil einer Nacht (Teilnehmer 1, Nacht 3).**

Dargestellt sind Beschleunigungssignal der Auf-Ab, Links-Rechts, Vor-Zurück Achsen über den Zeitraum einer Nacht. Die vom Algorithmus gefundenen, zusammengehörigen Schlafphasen sind mit blau-transparenten Blöcken visualisiert. Der Pfeil zeigt die Blickrichtung des Schläfers (z.B.: Pfeil nach unten = Bauchlage). Die Länge der Pfeile entspricht der Zeitdauer der jeweiligen Phase.

### 3. Ergebnisse

Die beiden männlichen Teilnehmer (Teilnehmer 1: 46 Jahre, 183cm, 79kg und Teilnehmer 2: 29 Jahre, 184cm, 85kg, beide gesund) trugen den actibelt durchgehend für 4 Tage und 4 Nächte. Die Phasen der Nachtzeit wurden grob visuell aus dem Plot der Gesamtdaten bestimmt. Daraus wurden insgesamt 8 Dateien erstellt (eine solche Datei ist exemplarisch in *Abbildung 2* dargestellt). Die Summe der Aufzeichnungszeiten der 8 Aufnahmen betrug 77,4 Stunden. Der anschließend darauf angewendete Algorithmus berechnete für Teilnehmer 1(T1) 27,9 und für Teilnehmer 2(T2) 29,8 Stunden Schlaf.

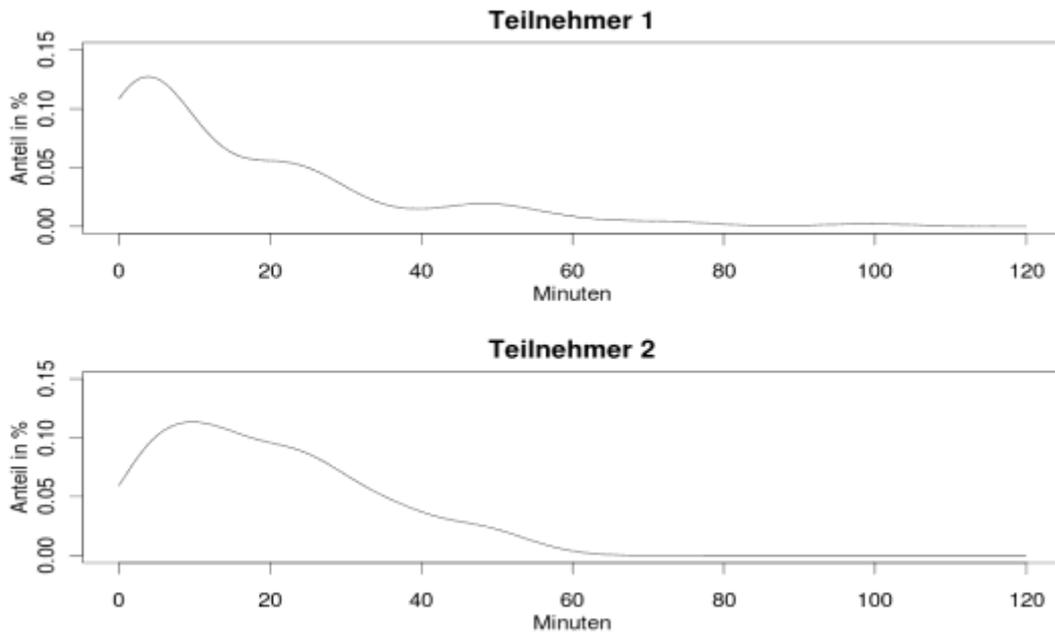
Die mittlere Anzahl der Schlafphasen pro Nacht betrug für T1  $25,5 \pm 3,1$  und für T2  $22,75 \pm 3,3$ . Als mittlere Dauer dieser Phasen in Minuten wurden für T1  $16,4 \pm 19,2$  min und für T2  $19,6 \pm 13,7$  min berechnet. Eine Übersicht zur Verteilung der Dauer der Phasen liefert *Abbildung 3*.

Die analysierten Daten wurden auf die zuvor genannten, gebräuchlichen Lagebeschreibungen zurückgeführt und in *Tabelle 1* bereitgestellt.

Zur Visualisierung der Lagewinkel einer Schlafphase wurde die Grafik wie in *Abbildung 4* zu sehen entwickelt.

**Tabelle 1: Mittlere Verweildauer in der jeweiligen Schlafphase in Minuten über alle 4 Nächte, sowie die gesamte Verweildauer in Minuten in einer der vier Lagen während der gesamten Untersuchung und pro Nacht für Teilnehmer 1 und 2.**

	<i>Rücken</i>	<i>Bauch</i>	<i>Rechts</i>	<i>Links</i>
T1	9,3±9,9	20,7±23,3	11,9±15,0	16,3±16,1
T2	15,7±15,5	20,0±12,4	20,1±13,4	19,8±15,3
T1 Gesamt/pro Nacht	84/21	912/228	335/83,75	342/85,5
T2 Gesamt/pro Nacht	110/27,5	562/140,5	583/145,75	534/133,5

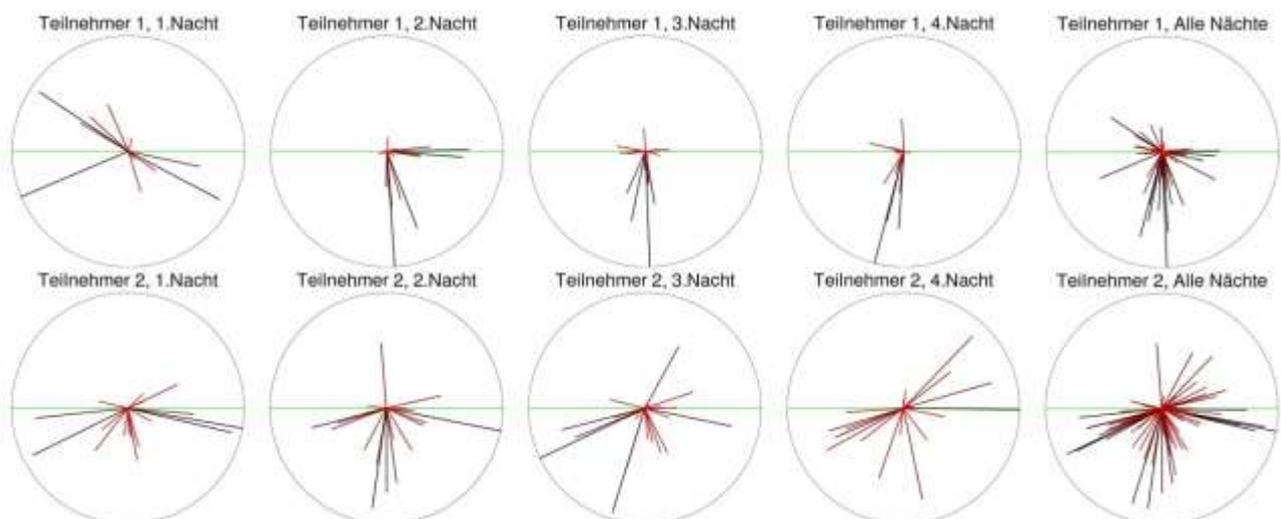


**Abbildung 3: Verteilung der Dauer aller Phasen in konstanter Schlafposition pro Teilnehmer.**

Es ist erkennbar, dass Teilnehmer 2 in keiner Schlafphase länger als ca. 60 Minuten verharrt und dass Teilnehmer 1 vereinzelt etwas länger in der gleichen Lage schläft.

#### 4. Diskussion

Wir haben exemplarisch die Möglichkeiten und Grenzen der Schlaf/Ruhe Analyse mit Hilfe eines als Gürtel getragenen Akzelerometers gezeigt. Mit Hilfe des vorgestellten Algorithmus können Statistiken zum Schlafverhalten generiert werden. Die mit dem neu entwickelten Algorithmus extrahierten Schlafparameter und deren Statistiken unterscheiden sich von den sonst üblichen akzelerometrischen Auswertungen durch die genaue Quantifizierung des Lagewinkels der jeweiligen Testpersonen.



**Abbildung 4: Für jeden Teilnehmer (a) für jede Nacht die Winkel der verschiedenen Schlafphasen und (b) die übereinandergelegten Winkel der Schlafphasen aller Nächte.** Die Länge einer Linie entspricht der Dauer der zugehörigen Phase (kurze Schlafphasen werden zusätzlich noch rot markiert). Grün markiert ist die Horizontale. Eine Linie parallel dazu würde also eine Seitenlage des Schläfers für diese Phase bedeuten.

Betrachtet man die gewonnenen Daten, fallen folgende Punkte auf:

- Die Daten von T1 deuten auf eine signifikante Abnahme der Dauer der Schlafphasen innerhalb der Nacht hin. Verallgemeinerte Aussagen ließen sich nur mit einer größeren Anzahl von Teilnehmenden treffen.
- Aus *Tabelle 1* wird klar, dass im Mittel eine Schlafphase in Bauchlage bei T1 und T2 gleich lange dauert, aber die Bauchlage von T1 wesentlich öfter gewählt wird (ersichtlich an der Gesamtdauer der Bauchlage von T1). Hieraus lässt sich ableiten, dass zur Typisierung des Schlafes nicht nur die mittlere Dauer einer Schlafphase mit gleicher Lage, sondern auch die Gesamtanzahl der Schlafphasen in dieser Lage beachtet werden muss.
- Die Darstellung der gliederungsfreien Winkel aus *Abbildung 3* legt nahe, dass durch die klassische Einteilung in vier Positionen Information über die Schlafposition verloren geht. Inwieweit diese Simplifizierung medizinisch relevante Information verwirft, muss in weitergehenden Arbeiten geklärt werden.
- Für das bestehende Problem, allein aus erhobenen Bewegungsdaten nicht auf reale Schlafzeiten schließen zu können, kann auch dieses Verfahren ohne weitere Zusatzinformationen keine Lösung bieten.

## 5. Ausblick

Bevor mit der vorgestellten Methode umfangreichere Daten erhoben werden, müssen verschiedene Validierungen derselben erfolgen. Neben einer synchron geführten Videoaufzeichnung, um die Winkel der Ruhelage verifizieren zu können, wird es notwendig sein, die Anzahl der Probanden zu erhöhen, um eine bessere Überdeckung der sicherlich divergierenden Ruheverhalten einschätzen zu können. Dies kann z.B. durch Re-Analyse bereits aufgezeichneter Daten erfolgen („canned activity“).

Unter der Annahme, dass weitere Validierungen positiv verlaufen, könnte das vorgestellte Verfahren zur Beantwortung, bzw. Beleuchtung unterschiedlicher medizinischer Fragestellungen genutzt werden, wie z.B.: Kann die Auftrittswahrscheinlichkeit von Dekubitus anhand des Lageprofils bestimmt werden?

Eine grundlegende Untersuchung der Normbereiche der angeführten Schlafparameter in Abhängigkeit zu demographischen Parametern (Alter, Geschlecht, auch Größe, BMI) bei Personen mit „gesundem“ Schlaf wäre nützlich, um eine Hypothesengenerierung zu erleichtern. So könnten populärwissenschaftliche Theorien, wie etwa die von Professor *Chris Idzikowski*<sup>1</sup> aufgestellte Hypothese, der zufolge es sechs übliche Schlafpositionen gibt<sup>2</sup>, bestätigt, widerlegt oder quantitativ modifiziert werden.

Auch stellen sich folgende weiterführende wissenschaftliche bzw. medizinische Fragen:

- Eignet sich das Verfahren zur Aufdeckung von Schlafstörungen wie z.B. Schlafapnoe?
- Kann eine Typologie von Schlafmustern gefunden werden?
- Kann durch die Methode die Erhebung von Frühwarnzeichen für Diabetes (Anzahl Toilettengänge pro Nacht/Zeiteinheit) verbessert werden?

---

1 Direktor des Sleep Assessment and Advisory Service in Großbritannien

2 Siehe: [News.bbc.co.uk/2/hi/health/3112170.stm](http://News.bbc.co.uk/2/hi/health/3112170.stm) (Zugriff 25.01.2011)

- Wie lässt sich die Quantifizierung der Erschöpfung („fatigue“) bei MS, Lupus, Anämie im häuslichen Umfeld dadurch verbessern?

## 6. Literatur

- [1] DAUMER M., THALER K., KRUIS E., FENBERG W., STAUDE G., SCHOLZ M.: "Steps towards a miniaturized, robust and autonomous measurement device for the long-term monitoring of the activity of patients – ActiBelt". Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering 52, p. 149–155, 2007
- [2] HYDE, M., O'DRISCOLL, D., BINETTE, S., GALANG, C., TAN, S., VERGINIS, N., et al., Validation of actigraphy for determining sleep and wake in children with sleep disordered breathing, J. Sleep Res. (2007) 16, 213–216.
- [3] MORGENTHALER, T., ALESSI, C., FRIEDMAN, L., OWENS, J., KAPUR, V., BOEHLECKE, B., et al. Practice parameters for the use of actigraphy in the assessment of sleep and sleep disorders: an update for 2007. Sleep. 2007 Apr 1;30(4):519-29. Mayo Clinic, Rochester MN, USA.
- [4] SADEH, A., The role and validity of actigraphy in sleep medicine: An update. Department of Psychology, Tel Aviv University, Israel
- [5] SCHEERMESSER, M., KOSOW, H., RASHID, A., HOLTMANN, C., User Acceptance of Pervasive Computing in Healthcare: Main Findings of two Case Studies. Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2008. In: IEEE Xplore digital library (ISBN: 978-963-9799-15-8), p. 205-213, 2008
- [6] TAHMASIAN, M., KHAZAIE, H., SEPEHRY., A.A., RUSSO, M.B., Ambulatory monitoring of sleep disorders. J Pak Med Assoc. 2010 Jun;60(6):480-7.
- [7] WEISS, A.R., JOHNSON, N.L., BERGER, N.A., REDLINE, S., Validity of activity-based devices to estimate sleep. J Clin Sleep Med. 2010 Aug 15;6(4):336-42. USA

### Corresponding Author

Gerhard Aigner  
Saftey & Security Department  
Austrian Institute of Technology GmbH  
Donau-City-Str. 1, 1120 Wien  
Email: gerhard.aigner.fl@ait.ac.at

Schreier G, Hayn D, Ammenwerth E, editors. Tagungsband der eHealth2011. 26.-27.Mai 2011; Wien. OCG; 2011.