

Seismokardiographie: Eine neue, non-invasive Methode zur objektiven Bestimmung der Schlafqualität bei Feldstudien über Fluglärmwirkungen

Mark Brink, Katja Wirth & Christoph Schierz

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie
ETH-Zentrum, NW-F83, CH-8092 Zürich, E-Mail: brink@ethz.ch

Objektive Messungen von Schlafverlauf und Schlaf-tiefe mittels „klassischer“ polysomnographischer Methoden (EEG, EOG, EMG) lassen sich in gross-angelegten Feldstudien mit vielen Probanden i.d.R. kaum mit vernünftigem Aufwand durchführen. Rein aktimetrische Verfahren, die als Alternative in verschiedenen Untersuchungen zu Fluglärmwirkungen zum Einsatz kamen, weisen aber ebenfalls gewichtige Mängel auf. So sind diese etwa nicht in der Lage, die unterschiedlichen Schlafstadien mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen. Wir schlagen deshalb einen Zwischenweg vor, der einerseits auf die Ableitung von Hirnstromkurven verzichtet, andererseits aber neben der Messung aktimetrischer Daten zusätzlich die physiologischen Parameter Herzrate und Atmungsaktivität erfasst. Das von uns entwickelte bzw. in Entwicklung begriffene Verfahren, der Dormograph, basiert auf dem Prinzip der indirekten Aktimetrie bzw. Seismokardiographie. Die Bewegungen der schlafenden Person werden dabei durch die Matratze und das Bettgestell an vier druckempfindliche Sensoren unter den einzelnen Bettpfosten weitergegeben und eine elektronische Schaltung rechnet diese Signale in X/Y-Koordinaten der aktuellen Bett-Schwerpunktlage um. Die unverstärkten Rohsignale liefern aktimetrische Daten, bei ausreichend hoher Abtastrate und passender Verstärkung lassen sich anhand der durch Herz-tätigkeit und Atmung verursachten impulsartigen Schwerpunktsverschiebungen des Körpers auch Herz- und Atemfrequenz aus dem Signal extrahieren.

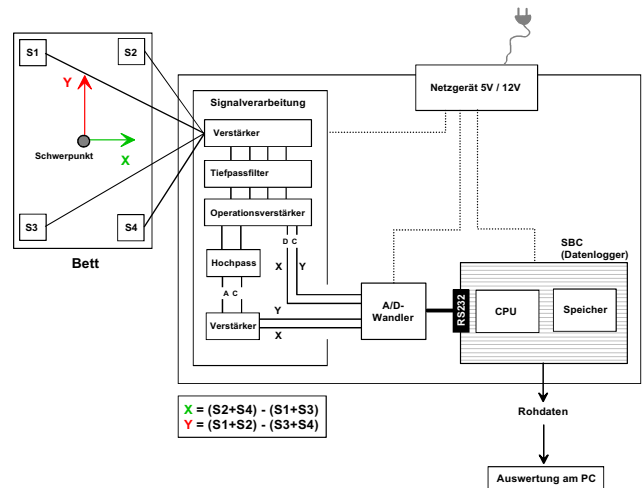


Abb. 2: Schaltschema des Systems "Dormograph"

deren Abstand ist, desto geringer ist die Lichtstreuung die von einer Fozelle registriert und in ein Spannungssignal umgewandelt wird.

Die vier Sensoren liefern für jeden Takt des Oszillators einen Wert der unverstärkt die aktimetrischen Daten, also Beschleunigungswerte des Körpers wiedergibt (DC-Komponente). Aus den um die Frequenz von ca. 1 Hz maximal verstärkten Signalen lassen sich die Parameter Herzrate und Atembewegungen extrahieren, dieses Signal wird laufend auf einen Ausgangswert kalibriert (AC-Komponente). Die relative Schwerpunktlage wird für die Körperlängsachse (Y-Achse) durch Subtraktion der Summe der beiden Sensorwerte am Kopfende von der Summe der beiden Sensorwerte am Fussende errechnet, den korrespondierenden X-Wert erhält man durch die entsprechende Rechnung in der Querachse. Ein 16-bit A/D-Wandler liefert für jeden Sensor einen numerischen Wert.

Über eine standardisierte RS 232-Schnittstelle werden die Daten an einen im Dormographen integrierten Rechner (Datenlogger) übermittelt und abgespeichert. Die Auswertung erfolgt später am PC oder Mac (Abb. 2).

Sensoren und Signalverarbeitung

Die unter jedem Bettpfosten angebrachten Sensoren (Abb. 1) bestehen aus zwei übereinanderliegenden Aluminiumplatten, zwischen denen sich der eigentliche Messfühler befindet. Eine auf der Innenseite einer Platte angebrachte LED emittiert Licht, welches von einem gegenüberliegenden Reflektor zurückgeworfen wird. Je grösser der Druck ist, der auf die beiden Platten ausgeübt wird, d.h. je geringer



Abb. 1: Sensor

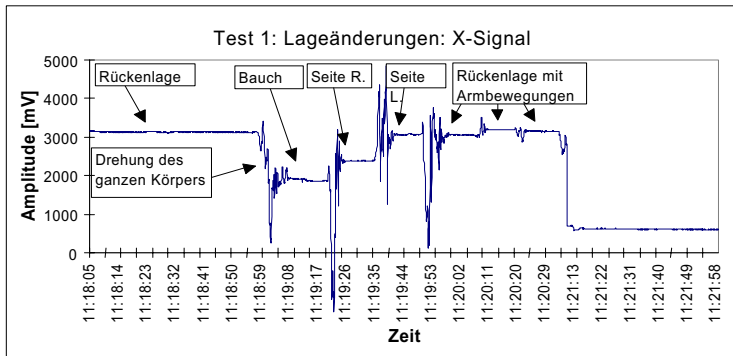


Abb. 3: Auswirkungen von Lageänderungen auf das X-Signal

Aufzeichnung von Bewegungsaktivität, Atmung und Herzschlag

Eine auf dem Bett liegende Person verursacht nun durch Veränderungen der Körperlage eine ungleichmässige Belastung der vier unter den Bettpfosten angebrachten Sensoren. Diese Veränderung lässt sich eindimensional als Schwerpunktsveränderung einer Achse (Abb. 3) oder als Schwerpunktsveränderung in einem zweidimensionalen Koordinatensystem darstellen. Anhand des Zeitverlaufs von Frequenz und Amplitude lässt sich aus diesen unverstärkten Signalen sehr zuverlässig auf die Bewegungsaktivität eines Probanden schliessen.

In Ruhelage schliesslich ergeben sich aus den Bewegungen des sich hebenden und senkenden Brustkorbes eine atmungsfrequenzabhängige Belastung der Sensoren. Die durch jede Herzkontraktion ausgelösten Druckwellen in den Arterien führen zu kleinen Erschütterungen des ganzen Körpers, die durch den Bettinhalt an die Sensoren weitergegeben und ebenfalls zuverlässig detektiert werden können. Eine

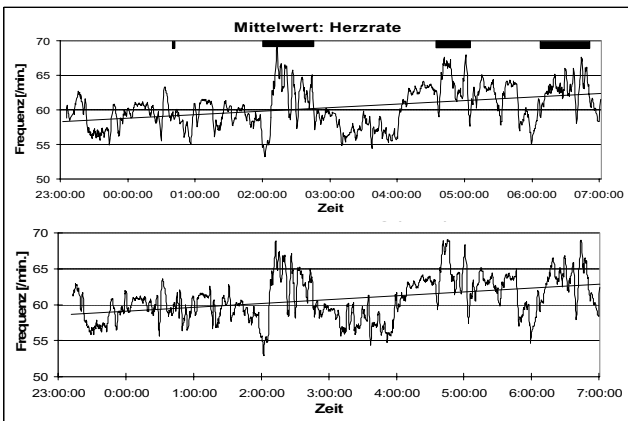


Abb. 4: Vergleichsmessung des Herzratenmedians in 1-Minuten Intervallen. Oben: Messung mittels Dormograph; Unten: Messung mittels EKG; die schwarzen Balken zeigen das REM-Stadium an

Vergleichsmessung mit einem EKG bestätigte die Reliabilität des Systems bei der Aufzeichnung der Herzrate (Abb. 4). Die Atmungsaktivität kann aus dem bestehenden Rohsignal durch Bildung des gleitenden Mittelwerts eruiert werden. Der Herzschlag wiederum ergibt sich durch die lokalen Minima

im Zeitverlauf des Rohsignals der einen oder anderen Achse (Abb. 5).

Ein entscheidender Vorteil dieses Systems ist die Möglichkeit der automatisierten und berührungsfreien Messung über mehrere Nächte ohne Störung der Versuchspersonen durch Elektroden, Kabel oder Versuchsleiter...

Approximierung von Schlafstadien

Im Schlaflabor erfolgt die Identifikation der einzelnen Schlafstadien anhand bestimmter Frequenzmuster der neuronalen Aktivität des Gehirns, die nur mit EEG-Aufzeichnungen registriert werden können. Eine PSG-ähnliche Schlafstadienbestimmung ist bei der Verwendung des Dormographen nicht möglich. Die Schlafstadien widerspiegeln sich jedoch auch in den Herzschlagparametern die vom Dormographen registriert werden. Diese Parameter können für die annäherungsweise Bestimmung der Schlafstadien herangezogen werden. Die Herzrate in der Nacht ist z.B. von der Schlaftiefe abhängig. Die subsequenten Stadienwechsel

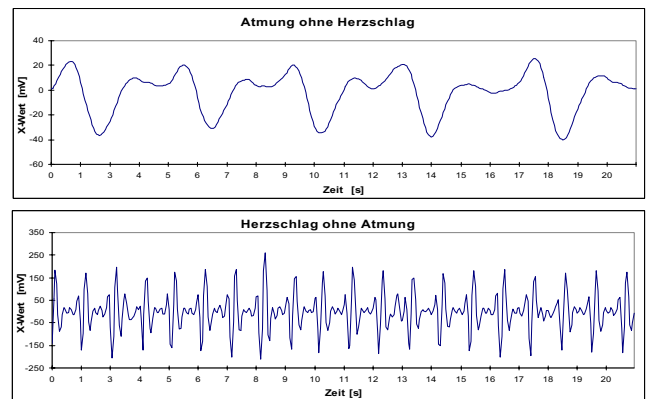


Abb. 5: Oben: Anhand des Rohdatenverlaufs extrapolierte Atemkurve; Unten: Um die Atemkurve bereinigter Herzratenverlauf

vom Leichtschlaf (Stadium 1) bis zum Tiefschlaf (Stadien 3 und 4) widerspiegeln sich in einer relativen Abnahme der Herzrate. Während des REM-Schlafes ist die Herzrate um ca. 10% erhöht, aber auch die Variabilität des Inter-Beat-Intervalles ist im REM-Schlaf grösser als im NonREM-Schlaf. Ferner wurde in verschiedenen Untersuchungen festgestellt, dass zwischen dem Nachtmittelwert der Herzperiode (Inter-Beat-Intervall) und dem Anteil des REM-Schlafes in der Nacht ein negativer Zusammenhang besteht. Durch die Hinzunahme der aktimetrischen Daten lässt sich die Approximierung der Schlafstadien weiter verfeinern. Starke Bewegungsaktivität etwa lässt auf das Wachstadium schliessen während eine herabgesetzte Bewegungsaktivität, welche mit einem schwachen Muskeltonus einhergeht, vor allem in Stadium 4 und im REM-Schlaf beobachtet werden kann.

In der grossangelegten Untersuchung „Lärmstudie 2000“ im Umkreis des Flughafens Zürich wird die aktuellste Version des Systems bei Probanden zuhause zum Einsatz kommen.

<http://www.laerm2000.ethz.ch>