

## **Berührungsfreie, patientenfreundliche Herzfrequenzmessung**

*Basierend auf einer Diplomarbeit von*

*Sami M. Nurmi, Test Design Engineer, Murata Electronics Oy*

*Joonas Makkonen, Product Manager, Murata Electronics Oy.*

*Ulf Meriheinä, Senior MEMS Application Specialist, Murata Electronics Oy*

*Marika Juppo, Business Development Manager, Murata Electronics Oy*

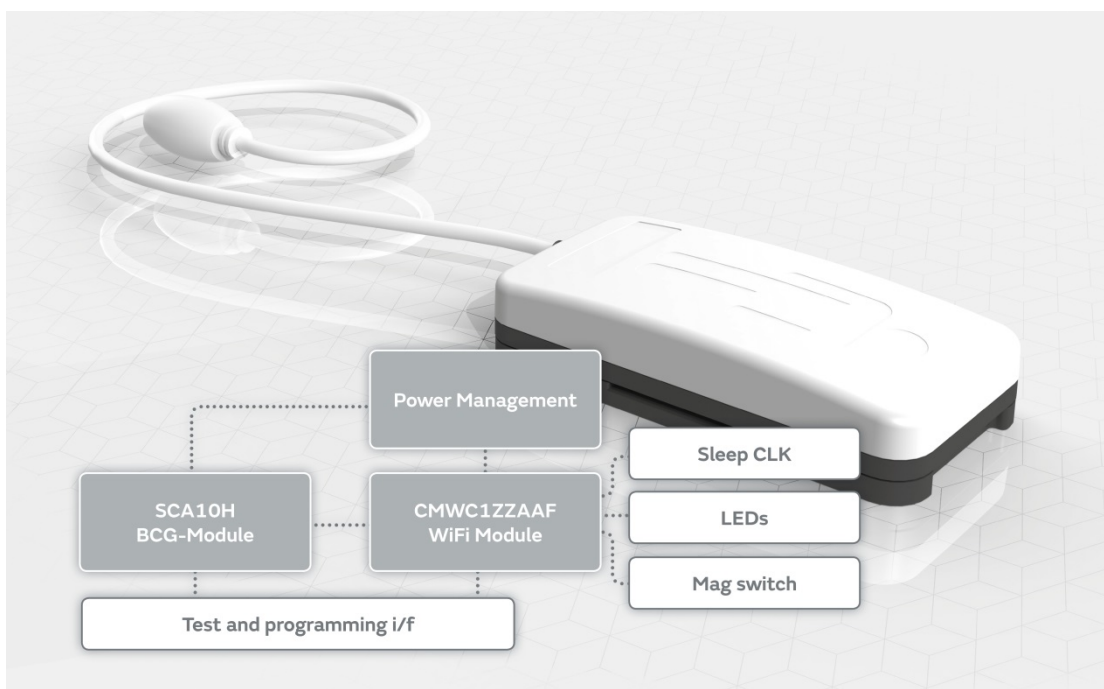
Schlafstörungen sind in unserer heutigen Gesellschaft ein immer häufiger vorkommendes Phänomen, das – wenn es nicht behandelt wird – durchaus die allgemeine Gesundheit und Lebensqualität der Menschen beeinträchtigen kann. Die Ursachen vieler Schlafprobleme, wie zum Beispiel Stress in der Arbeit oder ein Trauerfall in der Familie, lassen sich einfach identifizieren oder sind nur zeitweilig. Es gibt jedoch auch Situationen, in denen eine genauere Schlafanalyse erforderlich ist, um die wirkliche Ursache zu ergründen. Die etablierte Methode hierfür ist die Polysomnographie (PSG). Dabei wird der Körper des Patienten, der sich hierzu in ein spezielles Schlaflabor begibt, über Nacht mit mehreren Sensoren versehen. Geschulte Techniker und Ärzte überwachen den Patienten und analysieren die Ergebnisse, wobei aus den aufgezeichneten Daten eine visuelle Darstellung des Schlafmusters erzeugt wird. Dieser gesamte Prozess ist nicht nur teuer, sondern wegen der vielen Sensoren am Körper auch überaus störend für den Patienten. Es dürfte wohl für jeden Menschen unangenehm sein, derart verkabelt in einem fremden Bett zu schlafen.

In den letzten Jahren wurde eine weniger unangenehme und außerdem kostengünstigere Alternative zur PSG entwickelt. Die so genannte Ballistokardiographie (BKG) misst die während des Schlafs vom Körper ausgehenden mechanischen Kräfte. Die BKG-Technik wird als geeignet für den Langzeit-Einsatz angesehen. Die Erfassung der Daten erfolgt mithilfe eines Beschleunigungssensors, der dazu nicht unmittelbar am Körper des Patienten angebracht werden muss. In klinischen Tests, die kürzlich von der Aalto Universität, School of Electrical Engineering in Zusammenarbeit mit der Turku Universität (Finnland) durchgeführt wurden, ging es um den Nachweis, dass die mit einem BKG-Sensor aufgezeichneten Daten im Vergleich zu den standardmäßigen PSG-Daten so genau sind, dass sich diese Technik zur Schlafanalyse im häuslichen Umfeld eignet. Die nachts durchgeführten Tests erfolgten in einem Schlaflabor an 20 gesunden Personen (17 Männern und 3 Frauen) im Alter von 24 bis 46 Jahren. Von den Tests ausgeschlossen waren Personen, die bereits über Schlafprobleme klagten sowie solche, die größere Mengen Alkohol oder Koffein konsumierten oder Medikamente einnahmen.



*Bild 1. Vergleich der Messausrüstungen von BKG (a) und PSG (b)*

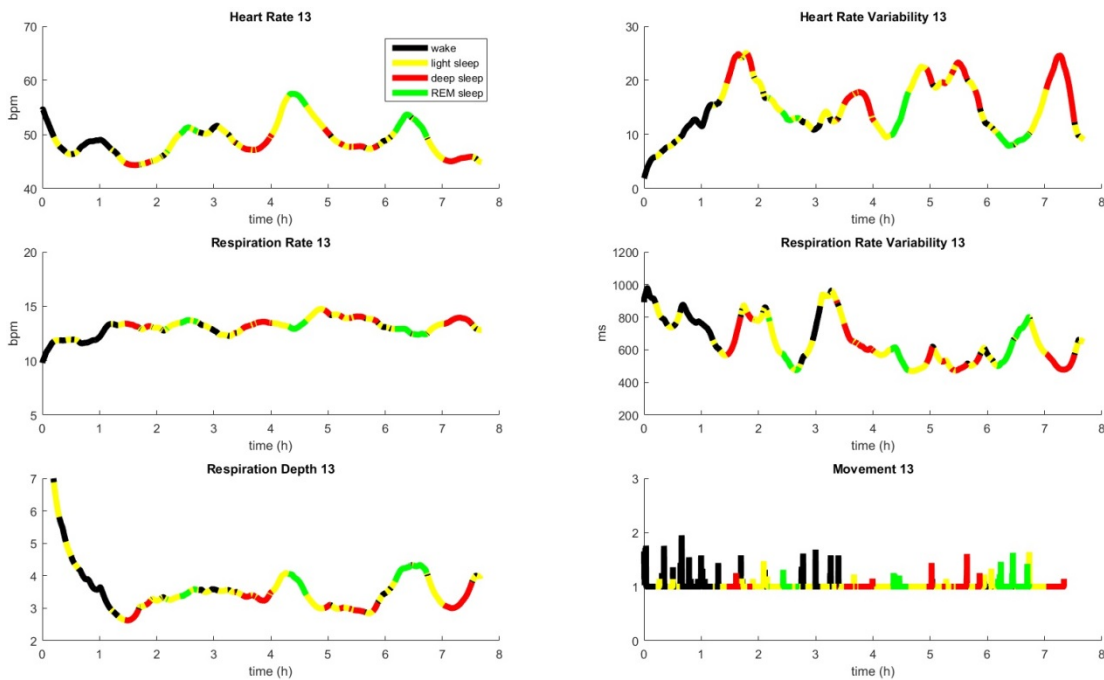
Ein mit Klebeband unter der Matratze befestigter BKG-Sensorknoten des Typs Murata SCA11H erfasste die BKG-Messwerte (Bild 1a). Wie man in der Abbildung sieht, kamen bei den Versuchen zwei Sensorknoten zum Einsatz, von denen einer aufbereitete Vitalzeichen-Daten lieferte, während der andere das rohe Beschleunigungssensor-Signal zur Verfügung stellte. Im Bild 1b ist deutlich die wesentlich komplexere Sensoranordnung für das PSG-Verfahren zu sehen. Dabei kommen die Messwerte von insgesamt 18 Sensoren – darunter sechs für die Elektroenzephalografie, die Messung der Augenbewegungen mithilfe der Elektrookulografie (EOG), die Messung der Muskelspannung per Elektromyografie (EMG) und die Messung der Atemfrequenz mit Brustgurt und Nasensonde. Mithilfe der Elektrokardiografie (EKG) wird außerdem die Herzfunktion gemessen. Herz- und Atemfrequenz als entscheidende Parameter wurden aus dem EKG bzw. den Brustgurt-Messwerten ermittelt.

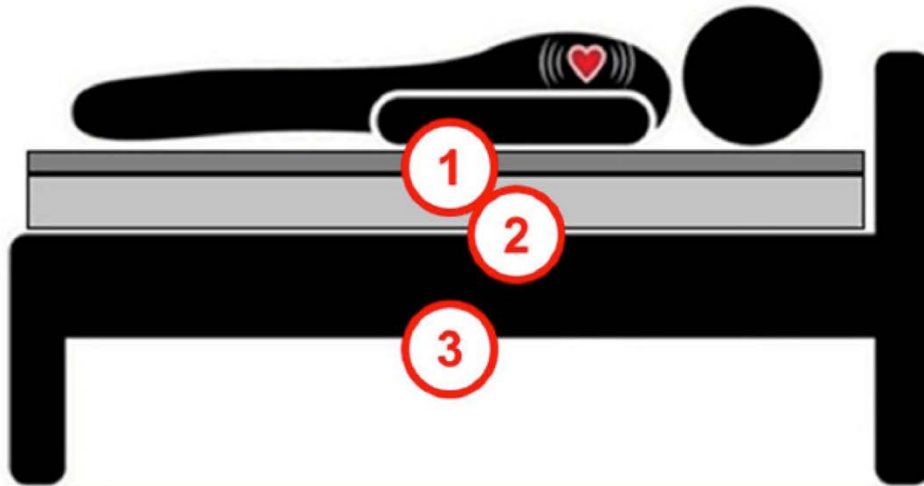


*Bild 2. Ansicht und Blockschaltbild des BKG-Sensors Murata SCA11H*

	<i>Power-Management</i>	
		<i>Sleep CLK</i>
<i>BKG-Modul SCA10H</i>	<i>Wi-Fi-Modul CMWC1ZZAAF</i>	<i>LEDs</i>
		<i>Magnetschalter</i>
<i>Test- und Programmierschnittstelle</i>		

Der kontaktlose BKG-Sensor SCA11H besteht aus einem BKG-Sensormodul des Typs Murata SCA10H mit einem 1-Achsen-Beschleunigungssensor, einem Wi-Fi-Kommunikationsmodul gemäß IEEE 802.11b/g/n und einem Hostprozessor (siehe Bild 2). Der Beschleunigungsaufnehmer arbeitet mit einer Abtastfrequenz von 1 kHz und erreicht eine Auflösung von 90  $\mu\text{g}$ . Mithilfe eines proprietären Algorithmus von Murata lässt sich das erfasste Signal so aufbereiten, dass jede Sekunde mehrere Parameter ausgegeben werden können. Dazu gehören die Herzfrequenz (Heart Rate – HR), die Atemfrequenz (Respiratory Rate – RR), das relative Herzschlagvolumen (Stroke Volume – SV) und die Herzfrequenzvariabilität (Heart Rate Variability – HRV). Übermittelt werden darüber hinaus auch einige nicht-klinische Werte wie der Belegungszustand des Betts, die Signalstärke und ein Zeitstempel.

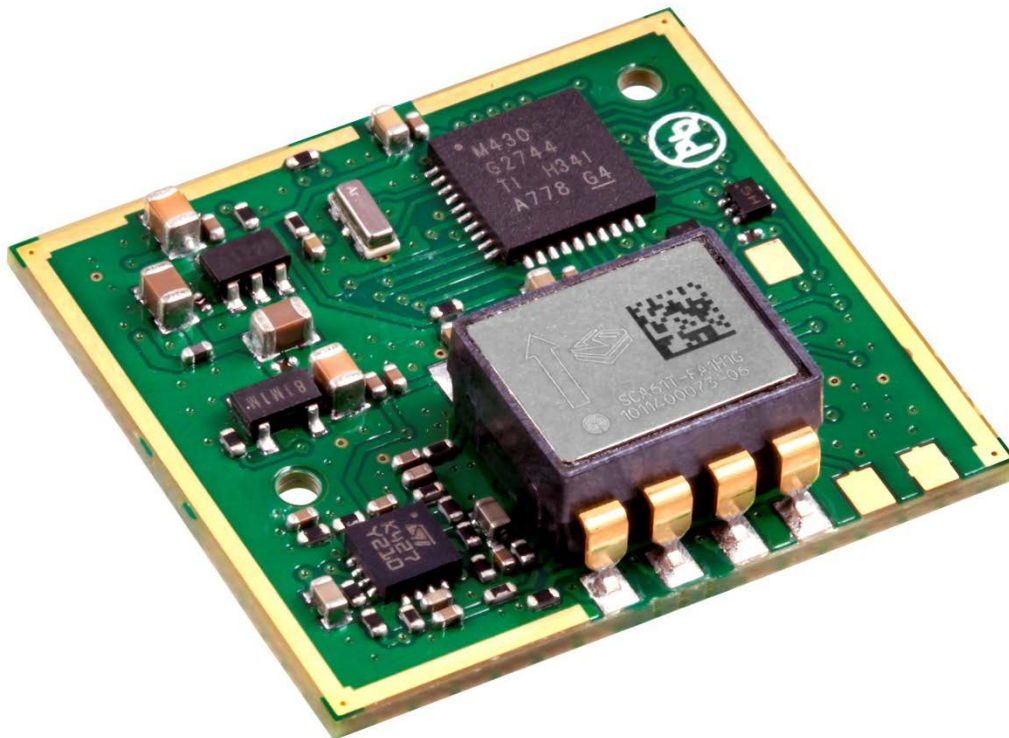




*Bild 3. Beispiel für die Testergebnisse aus einer Nacht*

Aus den Ergebnissen der Tests war zu entnehmen, dass die BKG-Ergebnisse präzise waren und sich gut mit den PSG-Resultaten deckten. Bild 3 zeigt die HR- und RR-Daten einer Nacht. Man war sich daraufhin einig, dass die BKG-Technik eine zuverlässige Lösung für die Schlafanalyse ist. Bild 3 zeigt ferner, welches hohe Niveau die Herzfrequenz während der Wach- und REM-Phasen gegenüber den Phasen mit tiefem und leichtem Schlaf hat. Der HRV-Wert war während des Tiefschlafs am höchsten und lag während der Wach- und REM-Phasen am niedrigsten. Beim RR-Wert zeigten sich keine klaren Unterschiede in den verschiedenen Schlafphasen. Die Variabilität der Atemfrequenz, die während des Tiefschlafs typischerweise am geringsten war, zeigte in den REM- und Wachphasen höhere Werte. Der BKG-Sensor konnte darüber hinaus Bewegungen der Probanden während des Messvorgangs aufzeichnen, was beim PSG-Verfahren nur durch visuelle Beobachtung möglich ist. Die einzelnen Schlafphasen wurden aus den aufgezeichneten PSG-Daten hergeleitet und nach den Kriterien der American Academy of Sleep Medicine (AASM) kategorisiert.

Der Sensorknoten SCA11H hat eine Größe von nur 83,7 x 40,7 x 17,6 mm, besitzt ein wasserdichtes Kunststoffgehäuse der Schutzart IP55 und wird mit einer Gleichspannung von nominell 9 V versorgt. Firmware-Updates können aus der Ferne, 'over the air' (OTA) vorgenommen werden. Der Knoten ist entweder lokal per TCP/IP zugänglich oder lässt sich so konfigurieren, dass er die Daten direkt an die Cloud des jeweiligen Kunden übermittelt.



*Bild 4. Anbringungsoptionen für den BKG-Knoten*

Im Bild 4 sind die empfohlenen Anbringensorte für den BKG-Sensor dargestellt. Der Punkt 1 befindet sich unter der Matratze bzw. möglicherweise zwischen einer Auflage und der eigentlichen Matratze. Beim Punkt 2 handelt es sich um die Oberseite des Bettgestells, während sich der Punkt 3 seitlich am Bettgestell befindet.

Das Kernstück des Sensorknotens SCA11H ist ein Beschleunigungssensor-Modul des Typs Murata SCA10H, das einen 1-achsigen Beschleunigungsaufnehmer enthält. Die Kommunikation mit dem MEMS-Modul erfolgt über eine standardmäßige UART-Schnittstelle. Ein detailliertes Spezifikationsdokument zum Binärprotokoll gibt Auskunft über die Daten- und Nachrichtenrahmen-Formate, die das Modul für die UART-Kommunikation nutzt. Sowohl der Knoten SCA11H als auch das Modul SCA10H sind umgehend verfügbar. Während der SCA11H für Systemhersteller konzipiert ist, dürfte verschiedene Gerätehersteller den größten Interessentenkreis des SCA10H stellen.

*Bild 5. Ansicht des Moduls SCA10H*

Die vergleichenden klinischen Tests der Schlafmessverfahren PSG und BKG ergaben, dass die BKG-basierte Methode der Schlafanalyse eine kostengünstige und wenig störende Möglichkeit darstellt, den Schlaf über mehrere Nächte hinweg zu messen. Dies ist beispielsweise auch zu Hause möglich. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die per BKG gemessenen HR- und HRV-Werte genau waren und mit den PSG-Daten übereinstimmten. Hieraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die BKG-Produkte von Murata genügend Zuverlässigkeit für die Schlafanalyse bieten.