

## Das CUELA-Messsystem

### 1 Einleitung

Zur objektiven Ermittlung von Muskel-Skelett-Belastungen in der Prävention, aber auch zur Unterstützung bei Ermittlungsverfahren im Zusammenhang mit der Berufskrankheit 2108 hat das BIA ein Messsystem entwickelt, um Individualmessungen am Arbeitsplatz personengetragen durchführen zu können. Seit etwa 1997 wird das CUELA-System (Computer unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt. Dazu wurden am Aufbau des Systems kontinuierlich Verbesserungen vorgenommen, abhängig von der Problemstellung der Messaufgabe wie auch bedingt durch die technische Entwicklung im Bereich der verwendeten Elektronik. Das vorliegende Messsystem weist einen Entwicklungsstand auf, der die Anwendung durch entsprechend eingewiesene und geschulte Personen zulässt. Dadurch ist es möglich, das System im Rahmen einer Kleinserie einem erweiterten Nutzerkreis zugänglich zu machen.

### 2 Das Messkonzept

Das CUELA-System ist ein mechanisch/elektronisches System zur Erfassung von Körperbewegungen und Bodenreaktionskräften. Mit Hilfe von mechanischen Komponenten (Gurten und Klettbindern) werden verschiedenartige Sensoren am Menschen befestigt, die die Bewegungen des Rückens und der Beine für Zeiträume von bis zu acht Stunden erfassen. Zusätzlich werden durch den Einsatz von Fußdruckmesssohlen die Bodenreaktionskräfte bestimmt. Mit diesen Informationen lässt sich ein objektives Bild von wesentlichen Belastungsgrößen des Muskel-Skelett-Systems (Körperbewegungen und gehandhabte Lastgewichte) einer arbeitenden Person während einer Arbeitsschicht – auch unter extremen Praxisbedingungen – ermitteln. Das System ist batteriebetrieben und deshalb ortsungebunden. Somit ist es nicht auf eine Laborumgebung angewiesen und ermöglicht eine weitgehend realistische Belastungserfassung unter Praxisbedingungen am Arbeitsplatz.

Zur Analyse der Tätigkeit wird während der Messung ein Video aufgezeichnet. Bei der späteren Auswertung der Messwerte am Computer kann dieses Video mit den Messdaten synchronisiert werden. Damit ist die gleichzeitige Betrachtung von Messwerten und der realen Tätigkeitssituation, d.h. ein optimaler Überblick und eine effektive Auswertung, möglich.

### 3 Aufbau und Anordnung

Die gesamte Messtechnik wird über der Arbeitskleidung des Probanden angebracht. Durch die Variabilität der Befestigungspunkte ist für einen großen Personenkreis – Personen mit einer Körpergröße von 1,60 m bis 2,05 m – eine komfortable Anbringung möglich. Naturgemäß muss zwischen der Notwendigkeit einer verrutschungs-



sicheren Befestigung und dem Tragekomfort ein Kompromiss gefunden werden. Die beabsichtigte Dauer der Messung wie auch die körperliche Konstitution der Versuchsperson sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die gesamte Masse des in Abb. 1 dargestellten Systems beträgt ungefähr 3 kg.



Abb. 1: CUELA-Messsystem

### 3.1 Winkelsensoren für Knie und Hüfte

Die Winkelmessung an Knien und Hüfte erfolgt mittels Potentiometern. Es werden die Flexionswinkel in der Sagittalebene erfasst. Die Fixierung der Sensoren erfolgt durch Kunststoffschalen an einem Hüftgurt und an den Knien. Die elastische Verbindung zwischen den Hüft- und Kniesensoren wird durch einstellbare Elastikbänder längs der Oberschenkel hergestellt.

### 3.2 Winkelerfassung der Wirbelsäule

Die Bewegung des Oberkörpers wird mittels Gyroskop-, Inklinometer- und Drehsensoren in drei Dimensionen vermessen. Die Messung erfolgt im Bereich der Lendenwirbelsäule (LWS) und der Brustwirbelsäule (BWS). Dabei werden der Flexionswinkel in der Sagittalebene und die Seitneigungswinkel in der Lateralebene durch Gyroskope und Inklinometer als absolute Raumwinkel erfasst. Die Kombination dieser Sensoren erlaubt eine präzise Erfassung von Winkeländerungen bis zu 300 °/sec. und gewährleistet ebenso eine hinreichende Langzeitgenauigkeit über mehrere Stunden.



Der Verdrehungswinkel (Torsion) des Oberkörpers wird mit einem kontaktlos arbeitenden Winkelsensor gemessen. Die Anbringung des Sensors erfolgt im Bereich der BWS, das Wellenende des Drehsensors wird über eine biegsame Welle mit der Sensorbox im Bereich der LWS gehalten. Durch Extrapolation des Messwinkels erfolgt eine Abschätzung des Torsionswinkels der Wirbelsäule.

### 3.3 Fußdruckmesssohlen

Die Bodenreaktionskräfte werden mit Hilfe von Messsohlen erfasst, die in die Schuhe der Versuchsperson eingelegt werden (Abb. 2). Als Messsohlen werden Sohlen aus dem Parotec®-System der Firma Paromed, Neubeuren, eingesetzt.

Die Messsohlen bestehen aus einer Matrize, in die 24 drucksensitive Hydrozellen pro Sohle eingearbeitet sind. Die Messsohlen werden von Größe 23/24 bis Größe 47/48 angeboten.



Abb. 2: Messsohlen zur Erfassung der Bodenreaktionskräfte (Bildquelle: Firma Paromed)

### 3.4 Datenspeichereinheit (Datenlogger)

Die Datenspeichereinheit ist die zentrale Baugruppe des CUELA-Messsystems (Abb. 3). Hier werden die analogen Messsignale aus den Sensoren eingelesen, digitalisiert und auf eine Compact-Flash-Karte abgelegt. Die Abtastfrequenz ist einstellbar und beträgt im Normalfall 50 Hz. Der Datenlogger ist in der Lage, bis zu 96 Kanäle mit einer Auflösung von 10 Bit zu erfassen. Parallel werden die Druckwerte der Messsohlen, ebenfalls bis zu 96 Zellen, erfasst. Bei einer Standard-Sensor-Konfiguration aus Bewegungserfassung und einem Paar Messsohlen ergibt sich ein Speicherbedarf von ca. 22 MB/h, d.h., auf einer handelsüblichen Compact-Flash-Speicherkarte von 192 MB können über acht Stunden Daten einer Messung aufgezeichnet werden. Der geringe Energieverbrauch lässt mit einem kompakten Li-Ionen-Akku einen Betrieb von vier Stunden



zu. Die Signalanbindung der Sensorboxen LWS und BWS an den Datenlogger erfolgt über ein speziell entwickeltes Bus-System. Dadurch ist der Verdrahtungsaufwand erheblich reduziert und ein Vertauschen der Sensorboxen wird durch die automatische Erkennung ausgeschlossen. Die Bedienung des Datenloggers ist denkbar einfach. Ein kombinierter Start/Stopp-Taster genügt, um das CUELA-Messsystem zu bedienen. Vier Status-LEDs zeigen den aktuellen Betriebszustand, z. B. „Boot-Vorgang“, „Messung bereit“, „Messung läuft“ oder „Daten speichern“ an.



Abb. 3: Datenlogger

### 3.5 Die Auswertesoftware WIDAAN

Die WIDAAN-Software (Winkel-Daten-Analyse) ist das Verarbeitungs- und Auswertungsprogramm zum CUELA-System. Alle Messdaten, die mit dem CUELA-System aufgezeichnet werden, können mit WIDAAN angezeigt und weiterverarbeitet werden. Eine CUELA-Messung, wie sie im Bereich der Prävention erstellt wird, besteht aus der Körperhaltung, den Daten der Fußdrucksohlen und der Videodokumentation.

Mit WIDAAN ist es möglich, sich zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Messung die Körperhaltung anhand einer dreidimensionalen Computerfigur anzeigen zu lassen sowie beliebige Körperwinkel als Winkelgraphen und das Videobild zu betrachten. Dadurch erhält man bei jeder Messung einen optimalen Überblick über die Körperhaltung, die getragenen Lastgewichte, die einzelnen Tätigkeiten und die Arbeitsumgebung (Abb. 4).



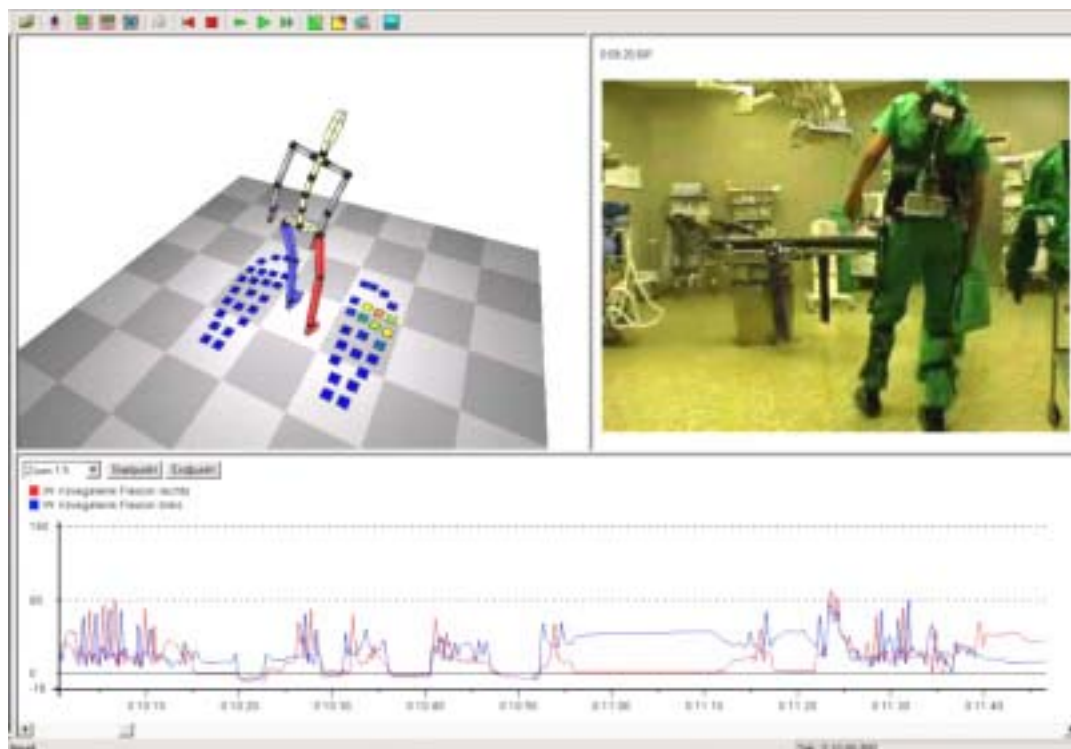


Abb. 4: Computerfigur mit Fußdruckvisualisierung, Video und Winkelgraph

Nach der Messung ist es möglich, beliebige Tätigkeiten oder Situationen zu markieren, um bestimmte Arbeitssituationen hervorzuheben oder auswerten zu können (Abb. 5). WIDAAN erstellt automatisch eine Reihe von statistischen Auswertungen, um einen schnellen Überblick über extreme oder statische Körperhaltungen zu erhalten. Weiterhin kann zu jeder Messung eine Haltungsanalyse nach dem OWAS-Verfahren<sup>1</sup> erzeugt werden. WIDAAN erkennt automatisch die nach der OWAS-Methode klassifizierten Haltungen und wertet sie statistisch aus. Alle vom CUELA-System gemessenen Körperhaltungswinkel lassen sich durch das WIDAAN-Programm auch als einfache Textdatei ausgeben, um mit diesen Daten in Excel, SPSS oder anderen statistischen Auswertungsprogrammen weiterarbeiten zu können.

---

<sup>1</sup> Karhus, O.; Kansi, P.; Kuoriuka, I.: Correction working postures in industry. A practical method for analysis. Appl. Ergonomics 8 (1977) Nr. 4, S. 199-201



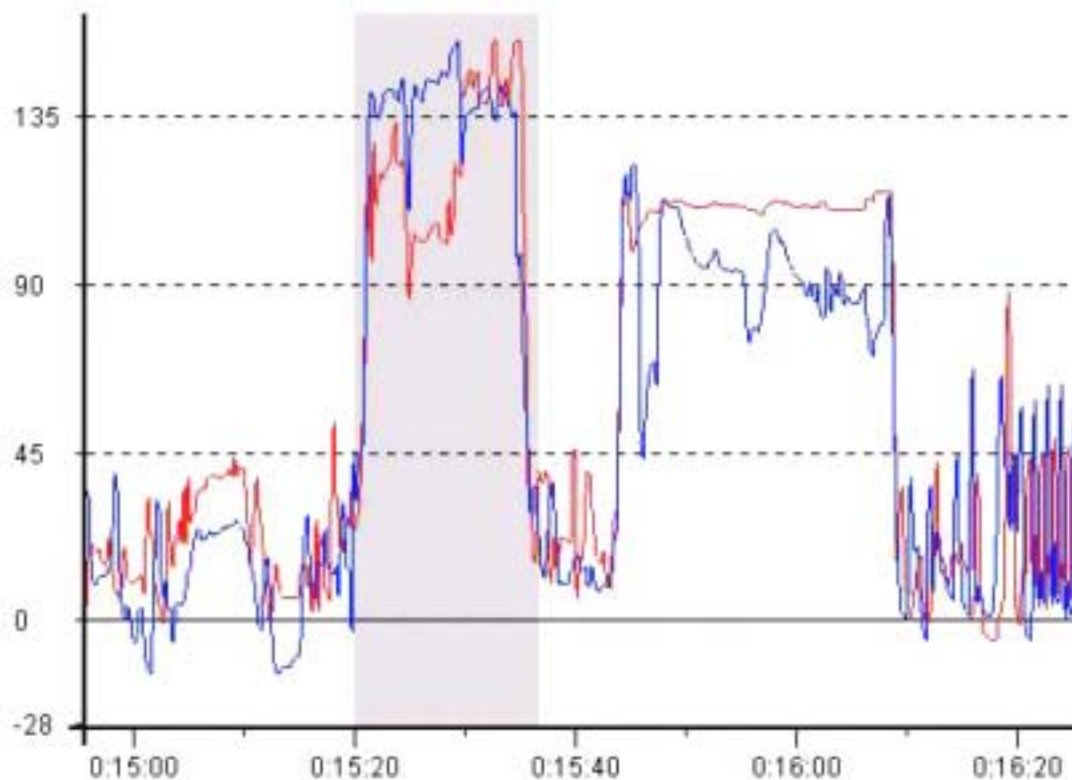


Abb. 5: Markieren bestimmter Arbeitssituationen

## 4 Anwendungen und Ausblick

Das CUELA-Messsystem ist entwickelt worden, um praxisnah objektivierbare Belastungsdaten an Arbeitsplätzen zu gewinnen. Hierbei handelt es sich üblicherweise um existierende Arbeitsplätze, die im Rahmen der Gesundheitsprävention auf mögliche Gefahren für den Arbeitnehmer untersucht werden sollen. Denkbar ist allerdings auch, im Vorfeld Einfluss auf die Arbeitsplatzgestaltung zu nehmen, indem die geplanten Arbeitsplätze oder einzelne Arbeitsabläufe nachgestellt werden, um diese im Hinblick auf mögliche gesundheitliche Gefahren zu optimieren.

Versuchsweise wurde das System auch in der klinischen Orthopädie eingesetzt, um Kenntnisse über das Gangverhalten von Diabetes-Patienten oder von Patienten mit Amputationen der unteren Gliedmaße zu gewinnen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist der Einsatz in einer Rückenschule. Dazu kann das System direkt online mit dem PC verbunden zu werden. Die Bewegungsdaten und Bodenreaktionskräfte können in Echtzeit am Bildschirm visualisiert werden.



Vorgesehen ist weiterhin eine parallele Erfassung von körperlichen Belastungsparametern wie Herzfrequenz (EKG) oder die Aktivitätsmessung einzelner Muskelgruppen (EMG).

**Autoren:** Dipl.-Ing. Ingo Hermanns  
Dipl.-Ing. Markus Post  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA  
Sankt Augustin

