

## **Parametrisierung eines auf der Kinect® Version 2 basierenden Unterstützungssystems zur Bewertung des Leitmerkmals Körperhaltung**

Sabine WENZEL<sup>1</sup>, Rüya-Ilayda AKINCI<sup>1,2</sup>, Tobias NOWACK<sup>1</sup>,  
Hartmut WITTE<sup>2</sup>, Peter KURTZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Fachgebiet Arbeitswissenschaft, Technische Universität Ilmenau  
Max-Planck-Ring 12, D-98693 Ilmenau*

<sup>2</sup> *Fachgebiet Biomechatronik, Technische Universität Ilmenau  
Max-Planck-Ring 12, D-98693 Ilmenau*

**Kurzfassung:** Zur Gefährdungsanalyse von manuellen Lastenhandhabungen empfiehlt die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) unter anderem die Leitmerkmalmethode Heben, Halten, Tragen (2001). Die Beurteilung des Leitmerkmals *Körperhaltung* erfolgt subjektiv. Die Verwendung einer Tiefenkamera mit integrierter *stick figure*-Generierung (markerloser Erkennung) hilft mögliche Variationen in der Bewertung zu minimieren. Über Probandenstudien erfolgt die Identifikation von Parametern, auf deren Basis die interne Auswertung (Klassifikation der Körperhaltung nach Leitmerkmalmethode) im Unterstützungssystem erfolgen soll. Die Parameter werden durch die *joint*-Daten der *stick figure* beschrieben.

**Schlüsselwörter:** Tiefenkamera Kinect®, Körperhaltungsanalyse, Leitmerkmalmethode, *stick figure*, Ergonomie

### **1. Einleitung**

Muskel-Skelett-Erkrankungen bildeten 2015 mit 21,7 % den größten Anteil am Krankenstand (Marschall et al. 2016). Ursache für Fehlbelastungen des Muskel-Skelett-Systems insbesondere der Lendenwirbelsäule ist oft die manuelle Lastenhandhabung. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) empfiehlt zur Gefährdungsanalyse von Arbeitsplätzen nach §§ 5 und 6 des Arbeitsschutzgesetzes sowie nach § 2 der Lastenhandhabungsverordnung u. a. die Leitmerkmalmethode (LMM) Heben, Halten, Tragen (2001).

Microsoft® (MS) entwickelte für die Steuerung der Spielekonsole Xbox® die Tiefenkamera Kinect®. Durch das Kinect® for Windows® Software Development Kit (Kinect® SDK) liefert MS ein Entwicklertool, welches auch den Einsatz der Tiefenkamera in der Industrie (z. B. zur Haltungsanalyse oder Gestenerkennung, vgl. Nowack et al. 2016) ermöglicht.

Durch die Verwendung der MS Kinect® mit integrierter *stick figure*-Generierung soll die subjektive Körperhaltungsbewertung nach LMM reproduzierbar gestaltet werden. Für das Unterstützungssystem erfolgt die Kategorisierung nach LMM anhand definierter Parameter, welche auf Basis der *joint*-Daten der *stick figure* berechnet werden.

## 2. Tiefenkamera Microsoft® Kinect® V2

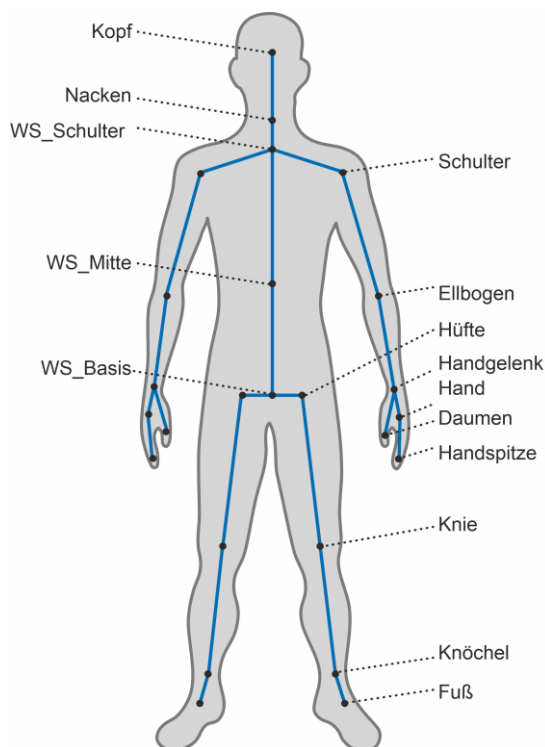
Das bisherige Konzept (siehe 3.) basierte auf den *stick figures* bzw. deren *joint*-Daten der MS Kinect® Version 1. In Tabelle 1 sind die technischen Daten der ersten und zweiten Generation der MS Kinect® aufgelistet. Aufgrund der Änderung des Funktionsprinzips, der *stick figure*-Generierung und des Öffnungswinkels sind erneute Überlegungen zur Parametrisierung notwendig.

**Tabelle 1:** Auflistung technischer Daten der Microsoft® Kinect® Version 1 und Version 2  
 MS = Microsoft®, FOV = field of view (dt.: Öffnungswinkel), fps = frames per second (dt.: Bilder pro Sekunde) (Kim et al. 2015; Lun & Zhao 2015; Microsoft 2016)

Spezifikation		MS Kinect® Version 1	MS Kinect® Version 2
Infrarot-Tiefenkamera	Funktionsprinzip	Triangulation mit Structured-Light	Time-of-Flight
	Auflösung	320 px x 240 px	512 px x 424 px
	FOV	57,5° x 43,5°	70,6° x 60°
	Reichweite	0,4 m bis 3 m (Nahmodus) 0,8 m bis 4 m (Fernmodus)	0,5 m bis 4,5 m
	Framerate	30 fps	30 fps
<i>stick figure</i> -Generierung	max. Anzahl	2	6
	max. Anzahl <i>joint</i> -Punkte	20 bzw. 15*	25**
RGB-Kamera	Auflösung	640 px x 480 px	1920 px x 1080 px (Full HD)
	FOV	62° x 48,6°	84,1° x 53,8°
	Framerate	30 fps	30 fps (bei schlechten Lichtverhältnissen: 15 fps)

\* Software Java™ + OpenNI®-Bibliothek (Suzaly et al. 2015)

\*\* Software C#® + Microsoft®-Bibliothek



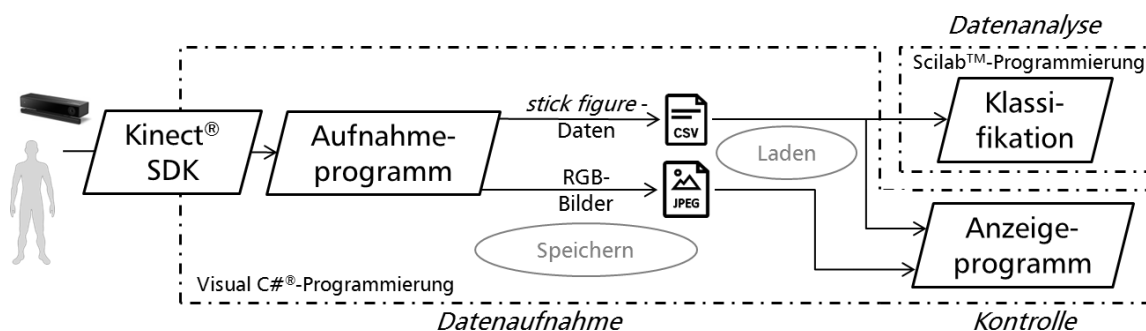
**Abbildung 1:** Positionen und Begriffszuordnung der 25 *joint*-Punkte der *stick figure* der Microsoft® Kinect® V2 im Bezug zum menschlichen Körper (Frontalansicht)  
 Begriffe an linker Körperseite auch für rechte Körperseite gültig, WS = Wirbelsäule

Im Folgenden wird zur Vereinfachung von der MS Kinect® Version 2 (Erscheinungsjahr 2014) als Kinect® gesprochen. Über das Time-of-Flight-Verfahren generiert die Kinect® ein Infrarot-Tiefenbild. Auf dessen Basis wird über eine interne MS-Bibliothek eine *stick figure* über eine pseudoskelettale Menschstruktur (siehe Abbildung 1) gelegt. Für das Unterstützungssystem werden ausgewählte *joint*-Daten (x-, y-, z-Koordinate und Trackingstatus) der *stick figure* ausgewertet. Des Weiteren werden die Daten der RGB-Kamera für eine Realbild-Darstellung verwendet.

Durch die Verknüpfung von Realbild und der *stick figure*-Generierung wird ein Erkennungsbereich von 70° x 53° in einem Abstand von 0,5 m bis 4,5 m erreichbar. Die Framerate liegt bei 30 fps. Neben der Kinect® ist ein leistungsfähiger Rechner für das Unterstützungssystem notwendig, weil die Tiefenkamera einen Großteil der Verarbeitung auf die GPU (Grafikprozessor) des Rechners auslagert. Dieser Bedarf ist bei der MS Kinect® Version 1 noch nicht aufgetreten. (Microsoft 2016)

### 3. Methodik

Das Konzept von Suzaly et al. (2015) wird für die Verwendung der Kinect® aufgegriffen. Auf Basis der *joint*-Daten können Abstände, Winkel und zusätzlich der Trackingstatus bestimmt werden. Diese eingeführten Parameter dienen als Grundlage für einen Entscheidungsbaum. Über empirisch ermittelte Schwellwerte, welche an den charakteristischen Körperhaltungen und Lastpositionen orientiert sind, erfolgt die Einteilung in die Wichtungskategorien des Leitmerkmals Körperhaltung. Zum Schluss unterstützt eine Farbkodierung die Beurteilung jeder quasi-statischen Körperhaltung.

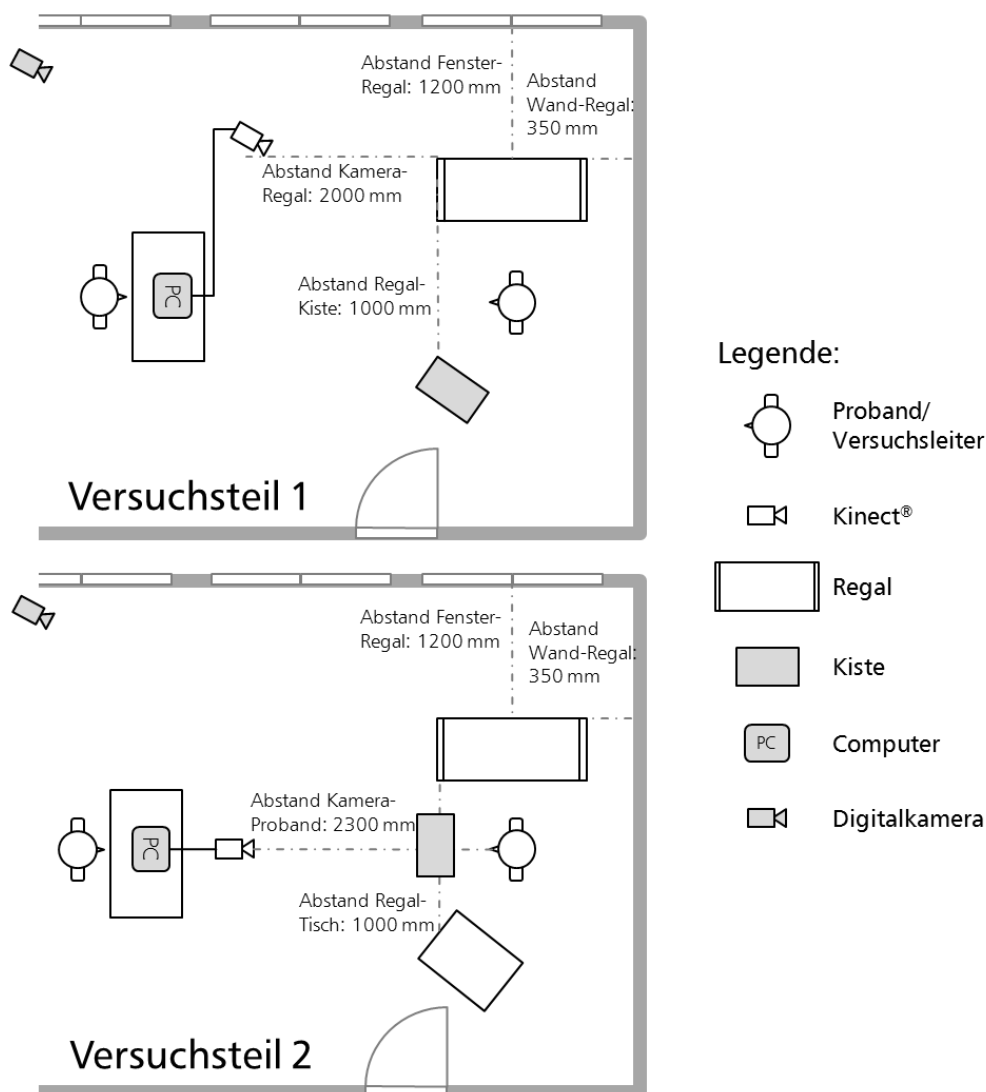


**Abbildung 2:** Prozessablauf zur Entwicklung des Algorithmus zur Klassifikation  
 SDK = Software Development Kit

Die Entwicklung des Algorithmus zur Klassifikation erfolgt in einem mehrstufigen Prozess (siehe Abbildung 2). Die Versuchsdaten werden über die Kinect® mittels eines eigens implementierten Aufnahmeprogramms gespeichert. Das Kinect® SDK ermöglicht den Zugriff auf die Kinect®-Daten. In einer .csv-Datei werden alle relevanten Informationen der Aufnahme (wie Framenummer, Zeit und *joint*-Daten) gespeichert. Die Realbilder der einzelnen Frames liegen im Format .jpeg vor. Die Datenauswertung erfolgt nun mittels Scilab™. Hier werden die Daten der *joint*-Punkte zur Klassifikation aufbereitet. Diese Vorgehensweise entspricht einer Schwellwertermittlung relevanter Punkte und Winkel. Über das eigens implementierte Anzeigeprogramm kann eine Kontrolle der Zahlenwerte erfolgen, indem die *stick figure* wieder über das Realbild gelegt werden kann. Der Realbild-Bezug ermöglicht so das Nachvollziehen der Bewegung.

#### 4. Probandenstudien

Für die Identifikation relevanter Parameter und deren Schwellwertbestimmung wurden Probandenstudien durchgeführt. Entsprechend der LMM Heben, Halten, Tragen (2001) wurden durch den Aufbau und die Befehlsfolge die charakteristischen Körperhaltungen ausgelöst. Während des Versuches wurden die vorher dargestellten Kinect®-Daten (Realbild und *joint*-Daten) aufgezeichnet. Zur späteren Versuchskontrolle lief eine Digitalkamera mit. Die Kamera hatte den Raum und den Gesamtaufbau im Blick und ermöglicht somit Störungen im Versuchsablauf (z. B. Öffnen der Tür) nachzuvollziehen. Abbildung 3 zeigt die Versuchsaufbauten für die zwei Versuchsteile. An dem Versuch nahmen bisher 13 Probanden ( $n_{\text{männlich}} = 9$ ) teil. Diese waren Studenten im Alter von 18 Jahren bis 26 Jahren (Median = 23 Jahre). Dieser Datenpool wird kontinuierlich erweitert.



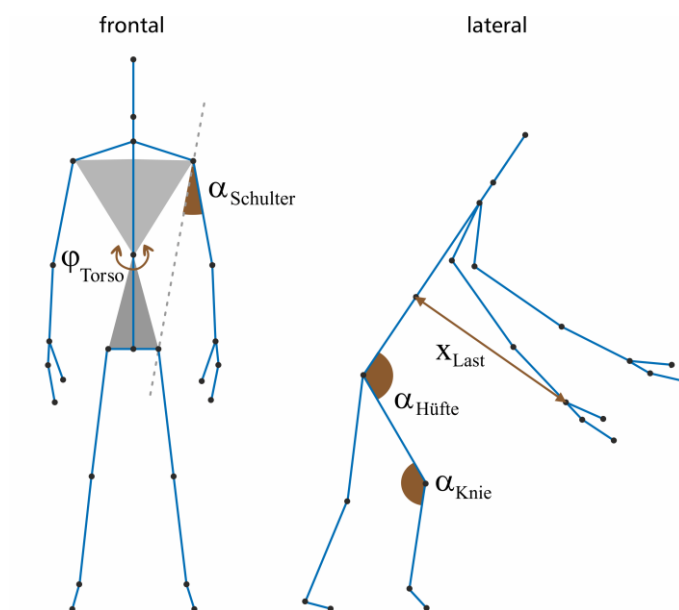
**Abbildung 3:** Draufsicht der Versuchsaufbauten: Versuchsteil 1 (oben) - Abbildung verschiedener Höhen, Versuchsteil 2 (unten) - Provokation von Drehbewegungen des Oberkörpers

Im Versuchsteil 1 müssen die Probanden die Kiste vom Boden ins Regal, dort in verschiedenen Höhen (200 mm, 800 mm, 1300 mm und 1700 mm) und wieder auf den Boden positionieren. Im Versuchsteil 2 soll vor allem die Verdrehung des Ober-

körpers provoziert werden. Hierfür erfolgt die Positionierung der Kisten vom Boden auf den Tisch, vom Tisch ins Regal und vom Regal wieder auf den Tisch. Für die Versuche wurden folgende Kisten aus Kunststoff verwendet: groß (Abmessungen: 600 mm x 400 mm x 320 mm) mit einer Masse von 2,5 kg, 5 kg und 7,5 kg sowie klein (Abmessungen: 400 mm x 300 mm x 220 mm) mit einer Masse von 1,5 kg und 5 kg. Die dargestellte Kinect®-Positionierung wurde aufgrund von Vorversuchen ermittelt. Eine Aufnahme von frontal (0°) bis lateral (90°) ist einer Aufnahme von dorsal (90°) vorzuziehen (vgl. Wenzel et al. 2016).

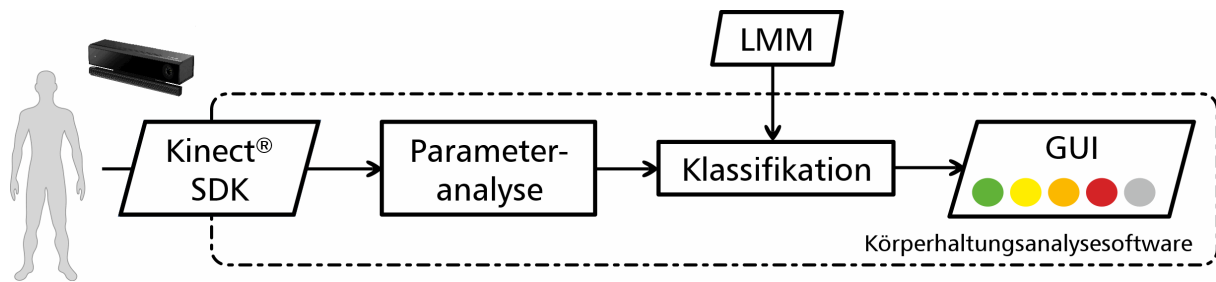
## 5. Diskussion

Aus den bisherigen Datenaufnahmen ergeben sich folgende Parameter als Analysegrundlage zur Klassifikation der Körperhaltung nach LMM Heben, Halten, Tragen (2001) (siehe Abbildung 4): die Verdrehung des Oberkörpers wird durch den Drehwinkel ( $\varphi_{\text{Torso}}$ ) zwischen oberem (aufgespannt von *WS\_Mitte* und *Schulterpunkten*) und unterem Torsodreieck (aufgespannt von *WS\_Mitte* und *Hüftpunkten*) beschrieben. Für die Lastposition wird der Zusammenhang zwischen Schulterwinkel ( $\alpha_{\text{Schulter}}$ ) und Lastabstand zum Körper ( $x_{\text{Last}}$ ) bewertet. Dabei wird der Schulterwinkel als Winkel zwischen den Vektoren *Schulter-Hüfte* und *Schulter-Ellbogen* definiert. Der Lastabstand wird durch den Abstand zwischen *WS\_Mitte* und *Handgelenk* beschrieben. Die Betrachtung des Hüft- ( $\alpha_{\text{Hüfte}}$ ) und Kniewinkels ( $\alpha_{\text{Knie}}$ ) ermöglicht die Beurteilung der Vorneigung des Oberkörpers sowie die Auskunft, ob eine hockende oder kniende Position eingenommen wurde.



**Abbildung 4:** Frontal- und Lateralansicht einer stick figure mit Angabe der Analyseparameter

Die Verfeinerung der Parameterschwellwerte erfolgt durch weitere Probandenaufnahmen und deren erweiterte Auswertung. Über simplere Lösungen wird ebenfalls nachgedacht. So ermöglicht eine waagerechte Positionierung der Kamera zum Untergrund (Boden), dass die horizontale Ebene (*yz-Ebene*) als Referenzebene verwendet werden kann. Die Verwendung von definierten, schwellwertbasierten Parametern verhindert, dass bei gleicher Körperhaltung unterschiedliche Haltungswichtungen ermittelt werden.



**Abbildung 5:** Unterstützungssystem mit Programmablauf der Software zur Körperhaltungsanalyse  
SDK = Software Development Kit, LMM = Leitmerkalmethode, GUI = grafische Benutzeroberfläche

Für das Unterstützungssystem (Kinect® und Rechner mit Online-Programm) wird in einer Analysesoftware die Datenanalyse und Klassifikation sowie eine Echtzeit-Anzeige integriert (siehe Abbildung 5). Mit Hilfe einer GUI (grafischen Benutzeroberfläche) kann eine Darstellung der *stick figure* auf dem Realbild realisiert werden. Ausgehend von den *joint*-Daten, die mit Hilfe des Kinect® SDK generiert werden, erfolgt die Parameteranalyse und Kategorisierung der Körperhaltung in weicher Echtzeit. Durch die farbliche Anpassung der *stick figure* an die jeweilige Körperhaltungskategorie (entsprechend einem Ampelsystem) kann eine direkte Rückkopplung an den Beobachter gewährleistet werden.

## 6. Literatur

- Kim C, Yun S, Jung SW, Won CS (2015) Color and depth image correspondence for kinect v2. In: Advanced multimedia and ubiquitous engineering, Future information technology. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 111-116.
- Leitmerkalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen (2001) Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefahrungsbeurteilung.html> (14. Nov. 2016).
- Lun R, Zhao W (2015) A survey of applications and human recognition with microsoft kinect. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 29(05):1-48.
- Marschall J, Hildebrand S, Sydow H, Nolting HD (2016) Gesundheitsreport 2016 – Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. In: Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung. Heidelberg: medhochzwei Verlag 13:19.
- Microsoft (2016) Kinect hardware. <https://dev.windows.com/en-us/kinect/hardware> (04. Dez. 2016).
- Nowack T, Lutherdt S, Jehring S, Xiong Y, Wenzel S, Kurtz P (2016) Detecting deictic gestures for control of mobile robots. In: Advances in human factors in robots and unmanned systems, Proceedings of the AHFE 2016 international conference on human factors in robots and unmanned systems. Florida: Springer International Publishing, 87-96.
- Suzaly N, Sprenger S, Nowack T, Witte H, Kurtz P (2015) Beurteilung der Körperhaltung beim Heben und Tragen von Lasten mit Hilfe Kinect™ Kamera. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft. Bericht zum 61. Arbeitswissenschaftlichen Kongress. Dortmund: GfA-Press, 1-4.
- Wenzel S, Nowack T, Kurtz P (2016) Unterstützung der Körperhaltungsbewertung laut Leitmerkalmethode Ziehen und Schieben mit Hilfe einer Tiefenkamera. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Bericht zum 62. Arbeitswissenschaftlichen Kongress. Dortmund: GfA-Press, 1-6.