

Unterstützung der Körperhaltungsbewertung laut Leitmerkmalmethode „Ziehen und Schieben“ mit Hilfe einer Tiefenkamera

Sabine WENZEL, Tobias NOWACK, Peter KURTZ

*Fachgebiet Arbeitswissenschaft, Technische Universität Ilmenau
Max-Planck-Ring 12, D-98693 Ilmenau*

Kurzfassung: Die manuelle Handhabung von Lasten kann den Muskel-Skelett-Apparat schädigen. Durch Prävention sollen arbeitsbedingten muskuloskelettalen Erkrankungen vorgebeugt werden. Für das Ziehen und Schieben von Lasten empfiehlt die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin eine Beurteilung der Körperhaltung als Teil der Leitmerkmalmethode (LMM). Diese erfolgt bisher durch die subjektive Einschätzung des Beobachters. Durch die Verwendung einer Tiefenkamera mit integrierter Pseudo-Skelett-Erkennung besteht die Möglichkeit einer reproduzierbaren Haltungsbewertung. Anhand von Vorversuchen wurden Aufnahmeanforderungen bestimmt. Über aufgenommene und berechnete Gelenkdaten erfolgt mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes die Beurteilung der Körperhaltung entsprechend der Wichtungskategorien nach LMM.

Schlüsselwörter: Ziehen und Schieben, Körperhaltungsanalyse, Leitmerkmalmethode, Tiefenkamera, Pseudo-Skelett-Erkennung

1. Einleitung

Zur Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsplätzen mit manueller Handhabung von Lasten empfiehlt die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin verschiedene Leitmerkmalmethoden (LMM) nach §§ 5 und 6 des Arbeitsschutzgesetzes sowie nach § 2 der Lastenhandhabungsverordnung. Dabei wird die Arbeitssituation über Wichtung von Last, Haltung, Ausführungsbedingungen und Zeit beurteilt.

Aufbauend auf Suzaly et al. (2015) zur LMM Heben, Halten und Tragen wird gegenwärtig die Methode zur Körperhaltungsbeurteilung mit Hilfe einer Tiefenkamera auf die LMM Ziehen, Schieben (2002) erweitert.

Aktuell erfolgt auch bei dieser LMM die Beurteilung der Körperhaltung subjektiv durch den jeweiligen Beobachter. Sie kann in Abhängigkeit des Beobachters unterschiedlich gewichtet werden. Durch die Verwendung einer Tiefenkamera mit einer integrierten Pseudo-Skelett-Erkennung (z. B. Microsoft Kinect V2) wird dieser Bewertungsprozess unterstützt. Es wird ein Werkzeug geschaffen, mit dem Körperhaltungen reproduzierbar einer Wichtung zuzuordnen sind und somit eine vergleichbare Beurteilung gewährleisten.

2. Vorversuche

Wie bei der LMM Heben, Halten und Tragen werden bei der LMM Ziehen, Schieben die vorhandenen Arbeitsbedingungen nach verschiedenen Leitmerkmalen erfasst und Kategorien zugeordnet. Aus den Einschätzungen der Leitmerkmale wird

ein tätigkeitsbezogener Punktwert ermittelt, der eine Risikoabschätzung ermöglicht. Wie auch bei Suzaly et al. (2015) soll nur die Bewertung des Leitmerkmals „Körperhaltung“ mit Hilfe einer Tiefenkamera unterstützt werden.

Für die Bewertung wird im Vergleich zum Vorjahr auf eine robustere Skeletterkennung mit 25 Skelettpunkten (Abb. 1) zurückgegriffen. Ebenfalls wird eine Information zu dem Erkennungsstatus (Trackingstatus) jedes Skelettpunktes geliefert. Hier erfolgt eine Unterteilung in sicher erkannte, extrapolierte (Lage des Punktes auf Basis der Skelettstruktur geschätzt) und nicht erkannte Punkte.

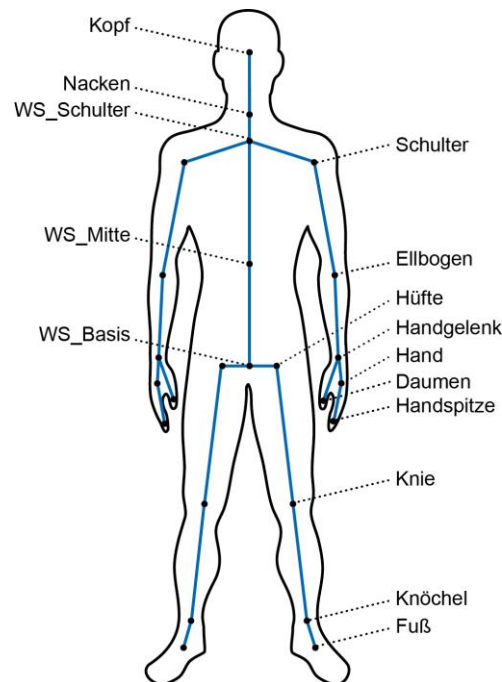


Abbildung 1: Positionen und Begriffszuordnung der 25 Skelettpunkte des Pseudo-Skelett-Modells der Microsoft Kinect V2 im Bezug zum menschlichen Körper (Frontalansicht); Begriffe an linker Körperseite auch für rechte Körperseite gültig; WS = Wirbelsäule

Im Gegensatz zum *Heben, Halten und Tragen* ist das *Ziehen und Schieben* ein dynamischer Prozess, bei dem zumeist durch Bewegung großer Lasten ein Weg zurückgelegt wird. Es gilt die Momentaufnahmen (Piktogramme) der LMM auf die Bewegung abzubilden, dazu kann der dynamische Prozess als Abfolge von diskreten Körperhaltungen beschrieben werden. Die Microsoft Kinect V2 liefert die Beschreibung der Bewegung als Abfolge von 30 Bildern pro Sekunde. Die Körperhaltung kann somit über einen Algorithmus Bild für Bild in die Wichtungskategorien nach LMM eingeordnet werden. Dies entspricht einer Analyse quasi-statischer Körperhaltungen.

Beim *Ziehen und Schieben* werden größere Lasten bewegt. Durch die Verwendung von Flurförderzeug sind die Körperkräfte jedoch deutlich geringer, aber auch vielseitiger (LMM Ziehen, Schieben 2002). Die Lastposition hat somit im Gegensatz zur LMM Heben, Halten und Tragen keinen Einfluss auf die Bewertung der Körperhaltung.

Durch die Bewegung beim *Ziehen und Schieben* ändert sich je nach Startpunkt die Aufnahmesituation von frontal (vorn), über lateral (seitlich), nach dorsal (hinten). In den Vorversuchen wurden charakteristische Körperhaltungen nach LMM Ziehen, Schieben (2002) aufgenommen. Durch Aufnahmen mit fünf verschiedenen Blickwinkeln ($0^\circ \triangleq$ frontal, 30° , 45° , $90^\circ \triangleq$ lateral, $180^\circ \triangleq$ dorsal) wurde der Einfluss des

Kamerawinkels auf das Skeletttracking anhand folgender Fragestellungen untersucht. Wie schnell wird ein Mensch erkannt? Wie robust ist das Skeletttracking (Skelettpose im Vergleich zum RGB-Realbild)? Welchen Einfluss haben Verdeckungen auf die Skeletterkennung bzw. auf den Trackingstatus?

Die Testmessungen ergaben, dass der Proband bei einer Aufnahme von dorsal später erkannt wird als von frontal. Ebenfalls ist zu beachten, dass die Skeletterkennung nur möglich ist, wenn sich Kopf- und Schulterpunkte im Bild befinden. Aufgrund der zunehmenden Lastgrößen und deren Hilfsmittel (z. B. Transportwagen mit Kisten) sind (Teil-)Verdeckungen des Probanden möglich. Gerade bei Aufnahmen von frontal wird der Proband (fast) komplett verdeckt. Somit kann die Tiefenkamera den Menschen nicht (vollkommen) erkennen und es läuft kein oder nur ein nicht-hinreichendes Skeletttracking. Bei Aufnahmen von lateral besteht die Gefahr, dass eine Körperseite die andere verdeckt (z. B. beim Gehen: kameranahe Bein verdeckt zwischenzeitlich kamerafernes Bein).

3. Aufnahmeanforderungen

Aus den vorher beschriebenen Ergebnissen der Vorversuche ergeben sich nun folgenden Anforderungen an die Aufnahmesituation:

Ein Skeletttracking ist technisch nur in einem Abstand von 0,5–4,5 m zur Tiefenkamera und im Kamerasichtfeld von $70,6^\circ \times 53,8^\circ$ möglich (Microsoft 2015). Es kann nur der Bewegungsablauf, welcher in diesem beschränkten Aufnahmebereich stattfindet, analysiert und beurteilt werden. Während der gesamten, zu bewertenden Bewegung muss sich die Person vollkommen im Bild aufhalten.

Bei einer einseitig verdrehten Bewegung soll die Aufnahme so erfolgen, dass die Rumpfrotation in Richtung Kamera erfolgt, da hier keine Körperseiten-Verdeckung vorliegt und somit für das Skeletttracking mehr Skelettpunkte erkannt werden.

Um die Anzahl von Verdeckungen so klein wie möglich zu halten, muss der Aufnahmewinkel sich etwa in einem Winkelbereich von $30\text{--}60^\circ$ ($0^\circ \triangleq$ Frontalaufnahme, Blickrichtung in Sagittalachse) bewegen. Für die Datenanalyse (siehe Kapitel 4) muss die Kamera waagrecht zum Boden ausgerichtet werden, damit die horizontale Ebene (*yz-Ebene*) als Referenzebene verwendet werden kann.

4. Datenanalyse

In den Vorversuchen wurden die oben beschriebenen Skelettdaten aufgezeichnet und mit dem Mathematik-Programm *Scilab* ausgewertet. Tab. 1 zeigt die Wichtungskategorien nach LMM Ziehen, Schieben (2002), in welche die Körperhaltungen durch Skelettdatenanalyse eingeordnet werden sollen.

Tabelle 1: Einteilung der Körperhaltungen in vier Wichtungskategorien nach LMM Ziehen und Schieben mit eingeführter Farbkodierung (vgl. LMM Ziehen, Schieben 2002)

Farbe	Beschreibung des Risikobereiches	Wichtung
grün	Rumpf aufrecht, keine Verdrehung	1
gelb	Rumpf leicht vorgeneigt und/oder leicht verdreht	2
orange	stärkere Neigung des Körpers in Bewegungsrichtung, Hocken, Knien, Bücken	4
rot	Kombination von Bücken und Verdrehen	8

Eine Verdeckung (siehe oben) kann trotz Erfüllung der Aufnahmeanforderungen nicht ausgeschlossen werden. Somit wird für die Auswertung eine zusätzliche 5. Kategorie (grau) eingeführt. Bei einer Zuordnung zu dieser Kategorie ist keine Unterstützung bei der Einschätzung der Haltungswichtung möglich. Hier obliegt dem Beobachter die Bewertungsklassifizierung in Eigenregie.

Die Körperhaltung soll nun über einen Algorithmus in diese fünf Kategorien eingeordnet werden. Hierfür erfolgt die Analyse der, von der Tiefenkamera ermittelten, Raumdaten und des Trackingstatus der Skelettpunkte. Im Speziellen werden folgende Skelettdaten untersucht:

- Trackingstatus relevanter Skelettpunkte
- Rumpfneigung (Raumdaten der Wirbelsäulen-Skelettpunkte)
- Rumpfrotation (Raumdaten der Schulter-, WS_Mitte- und Hüft-Skelettpunkte)
- Kniewinkel (Winkel zwischen Hüft-, Knie- und Knöchelpunkt eines Beines).

Diese Daten dienen als Eingangswerte für den entwickelten Entscheidungsbaum (Abb. 2) für die Körperhaltungsbewertung.

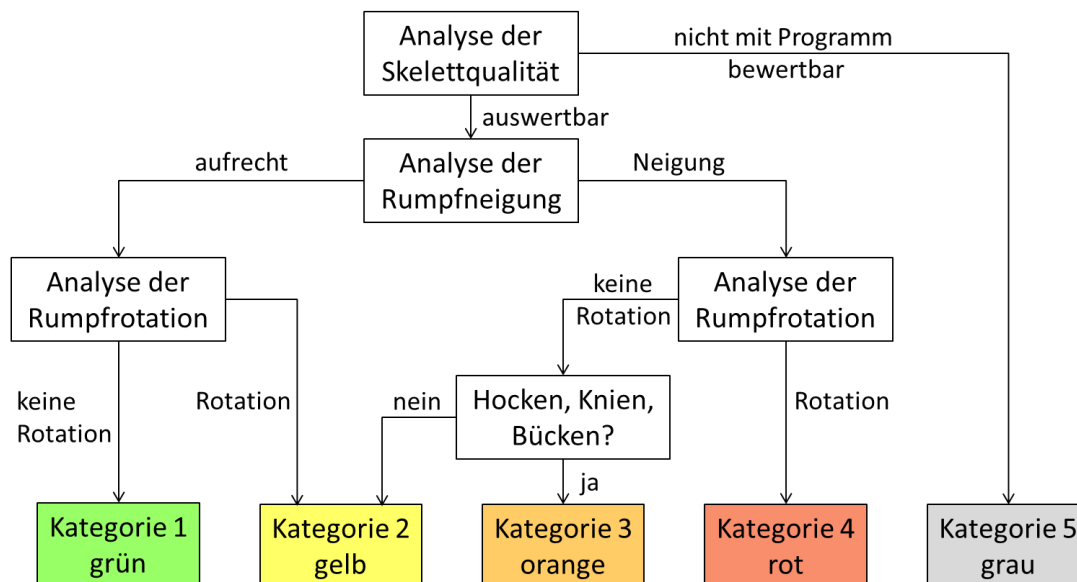


Abbildung 2: Entscheidungsbaum zur Einordnung der Körperhaltung in die vier Wichtungskategorien nach (LMM Ziehen, Schieben 2002) bzw. in die Kategorie 5 "keine Bewertungsunterstützung möglich"

Zu Beginn wird die Skelettqualität untersucht. Hierfür werden die Trackingstatus der Skelettpunkte analysiert. Dabei erfolgt eine Beschränkung auf die relevanten Skelettpunkte (alle Torso-Skelettpunkte, Hüft-, Knie- und Knöchelpunkte). Sind diese nicht alle erkannt, wird das Skelett in Kategorie 5 eingeordnet und der Beobachter muss in Eigenregie die Körperhaltung bewerten.

Ist das Skelett auswertbar, erfolgt die Bewertung der Rumpfneigung. Da die Kamera parallel zum Boden ausgerichtet wurde (siehe Kapitel 3), kann die Rumpfneigung über die Projektion der Punkte *WS_Basis* (*WSB*) und *WS_Schulter* (*WSS*) (Abb. 1) auf die *yz-Ebene* bestimmt werden. Das Verhältnis des Abstands der projizierten Punkte zur „Rumpflänge“ (Abstand *WS_Basis* zu *WS_Schulter*) ergibt mit Hilfe des Sinus den Neigungswinkel α (Formel 1). Für die Schwellwerte werden die Zonen der Rumpfneigung wie in ISO 11226 (2000) und DIN EN 1005-4 (2009) angegeben verwendet. Aufrecht entspricht einer akzeptablen Neigung von 0–20°. Eine

Neigung über 60° wird nicht empfohlen und wird als starkes Vorneigen bzw. Bücken interpretiert.

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\text{Abstand projizierter Punkte}}{\text{Rumpflänge}} = \sin^{-1} \frac{|WSB_{yz}, WSS_{yz}|}{|WSB, WSS|} \quad (\text{Formel 1})$$

Für die Analyse der Rumpfrotation wird vorerst auf den Ansatz von Suzaly et al. (2014) zurückgegriffen. Der Rumpf ist verdreht, wenn die Normalenvektoren des oberen (aufgespannt von *WS_Mitte* und *Schulterpunkte*) und unteren Torsodreiecks (aufgespannt von *WS_Mitte* und *Hüftpunkte*) nicht linear abhängig sind.

Des Weiteren wird der Kniewinkel bestimmt. Dieser entspricht dem Winkel zwischen „Oberschenkel“ (Vektor *Knie-* zu *Hüftpunkt*) und „Unterschenkel“ (Vektor *Knie-* zu *Knöchelpunkt*). Beträgt der Winkel weniger als 90° hockt oder kniet der Proband.

Über die genannten Schwellwerte der relevanten Körperwinkel (unter Beachtung der Bewegungsbereiche des Menschen) erfolgt die Einstufung anhand des Entscheidungsbaumes (Abb. 2). Die ersten Testmessungen ergaben die zuvor beschriebenen, empirischen Schwellwerte. Die genaue Bestimmung der Schwellwerte und die Validierung der Analyseparameter stehen noch aus.

5. Diskussion und Ausblick

Durch die Verwendung eines definierten, schwellwertbasierten Algorithmus kann verhindert werden, dass bei gleicher Körperhaltung unterschiedliche Haltungswichtungen ermittelt werden. Aus den Gelenkdaten des Pseudo-Skeletts werden für den Ablauf des Entscheidungsbaumes der Trackingstatus und für ausgewählte Gelenke die Gelenkwinkel bestimmt. Danach soll dem Beobachter das Pseudo-Skelettmodell in der jeweiligen Farbkodierung für die Risikobereiche dargestellt werden. Die Beurteilung erfolgt dann für jede quasi-statische Körperhaltung einzeln. Die Interpolation zwischen den Risikobereichen über die gesamte Bewegung obliegt weiterhin dem Beobachter. Zukünftig ist über eine Einbeziehung der Dynamik in die Auswertung zu überlegen. Dafür können z. B. die prozentualen Anteile der Wichtungskategorien über den gesamten Bewegungsprozess betrachtet werden, wodurch ein Vorschlag für die Interpolation angeboten werden kann.

Es kann durch eine modernere Tiefenkamera sowie einer überarbeiteten Bibliothek auf eine robustere Skeletterkennung zurückgegriffen werden. Wie die Probleme der Verdeckung zeigen, ist diese jedoch noch nicht ausreichend. Die Einschränkung des Aufnahmebereiches einschließlich der Änderung des Betrachtungswinkels, durch die Probandenbewegung zur Kamera, führt hinsichtlich der Skelettauswertung zu weiteren Schwierigkeiten. Diese Situation muss noch eingehend untersucht und eine entsprechende Lösung entwickelt werden. Hier ist z. B. über eine Vergrößerung des Bildausschnittes durch eine automatische Kameradrehung mit Nachverfolgung des Probanden nachzudenken.

Im weiteren Vorgehen muss der Algorithmus mit den Analyseparametern und deren Schwellwerte über einen Probandentest validiert werden. Danach soll eine Umsetzung in ein Online-Programm mit einer Echtzeit-Darstellung der Skelettkategorisierung erfolgen.

6. Literatur

- DIN EN 1005-4 (2009) Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen, 11.
- ISO 11226 (2002) Ergonomics – Evaluation of static working postures, 4.
- Leitmerkalmethode zur Beurteilung von Ziehen, Schieben (2002) Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Abgerufen am 07. Dezember 2015. <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Physische-Belastung/Gefaehrdungsbeurteilung.html>.
- Microsoft (2015) Kinect Hardware. Abgerufen am 07. Dezember 2015. <https://dev.windows.com/en-us/kinect/hardware>.
- Suzaly, N.; Nowack, T.; Sprenger, S.; Kurtz, P. (2014) An attempt to objectively determine part of the key indicator method using the Kinect® camera. In: Shaping the future by engineering. Kongressbeitrag zum 58. IWK - Ilmenau Scientific Colloquium. Ilmenau: ilmedia (Hrsg.), 1-6.
- 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.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Danja Voges (FG Biomechanik, TU Ilmenau) für die Unterstützung zur grafischen Gestaltung.