

# Markerlose Bewegungsaufzeichnung und Bewertungsmethoden für die menschenzentrierte Produktentwicklung

Jörg Miehling und Sandro Wartzack  
*Lehrstuhl für Konstruktionstechnik;  
Universität Erlangen-Nürnberg*

Human-centered design focuses on the adaption of product specifications to meet the users' requirements. In order to save development time, reduce product development costs as well as to enhance the products' quality, the virtual product development paradigm emphasizes the use of virtual prototypes instead of physical ones. To meet these objectives a digital human modeling system is needed which is capable of representing the human-product interaction. Up to now it is not possible to accurately model real motion sequences at the computer, thus motion capturing is needed. The presented contribution illustrates a system for the markerless tracking of human body movements, which can be used to drive biomechanical simulations, using Microsoft's Kinect sensor. Additionally further directions for the development of a system to evaluate and visualize the resultant simulation data are outlined.

## 1 Einleitung und Motivation

In der Produktentwicklung muss heutzutage immer größerer Wert auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Produktnutzer gelegt werden. Insbesondere ältere Menschen haben ganz spezielle Anforderungen an die Produktergonomie. Aufgrund der wachsenden Lebenserwartung sowie der zunehmenden Überalterung in Deutschland wird dieser Teil der Gesellschaft immer mehr an

---

Bedeutung gewinnen. Die frühzeitige Berücksichtigung der damit verbundenen Herausforderungen kann in Zukunft einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil begründen. Mit zunehmendem Alter werden vor allem die Mobilität und damit mobilitätserhaltende Produkte zur Unterstützung der eigenständigen Lebensführung immer wichtiger [1]. Bei der sogenannten menschenzentrierten Produktentwicklung müssen deshalb auch diese Belange in die Modellbildung mit einfließen. Im Zusammenspiel mit der virtuellen Produktentwicklung sollen nutzerorientierte Produkte entstehen, deren Entwicklung möglichst ohne Versuche an realen Prototypen (Physical Mock-Up) auskommt. Die frühzeitige, virtuelle Abbildung der Produkteigenschaften (Digital Mock-Up) soll dabei an einem virtuellen Modell (Virtual Prototyping) erfolgen, um die Kosten für die Fertigung realer Produktmodelle und Nutzertests einzusparen, die Durchlaufzeiten zu senken sowie die Produktqualität zu erhöhen. [2]

Zur erfolgreichen Kombination der beiden Paradigmen muss die sogenannte Mensch-Maschine-Schnittstelle virtuell abgebildet werden. Dafür werden digitale Menschmodelle benötigt. Diese müssen in der Lage sein sich so realitätsnah wie möglich bewegen zu können, wofür die biomechanischen Menschmodelle prädestiniert sind. Da jedoch selbst einfach erscheinende Bewegungsabläufe auf einem komplexen Zusammenspiel kinematischer Ketten basieren, können diese noch nicht vollkommen realistisch am Computer animiert werden, weshalb diese aufgezeichnet werden müssen.

Die Aufzeichnung menschlicher und tierischer Bewegungen, das sogenannte *Motion Capturing*, wird vor allem in der Unterhaltungsindustrie zur Animation computergenerierter Figuren eingesetzt. Darüber hinaus kommen die Bewegungsaufzeichnung sowie deren anschließende Analyse aber auch in wissenschaftlichen Disziplinen, wie der Medizin oder der menschenzentrierten Produktentwicklung, vermehrt zum Einsatz. In der Medizin werden vorwiegend Abweichungen vom normalen Bewegungsverhalten und deren Auswirkungen für den betroffenen Patienten analysiert, woraus schließlich individuelle Therapieempfehlungen abgeleitet werden sollen. Bei der menschenzentrierten Produktentwicklung hingegen geht es darum, Produkteigenschaften den Bedürfnissen einer Zielgruppe entsprechend anzupassen. Denkbar sind Ergonomiebetrachtungen, bei denen größtenteils die Erreichbarkeit von Steuerelementen untersucht wird, sowie Analysen der Belastungen des menschlichen Körpers, welche bei der Verwendung der technischen Produkte auftreten. [3]

In diesem Beitrag wird ein System vorgestellt, das die markerlose Aufzeichnung sowie Übertragung von Bewegungen des gesamten menschlichen Bewegungsapparates auf ein digitales Menschmodell ermöglicht, welche wiederum als Eingangsgröße für digitale Menschsimulationen verwendet werden

---

können. Die daraus resultierenden Ergebnisse sollen schließlich mit Hilfe geeigneter Methoden visualisiert und bewertet werden. Ziel ist die Ableitung von Handlungsvorschlägen für die Entwicklung nutzergerechter Produkte, da der Produktentwickler üblicherweise kein fundiertes Wissen in den Bereichen Biomechanik und Ergonomie aufweisen kann.

## 2 Optische Verfahren für die Aufnahme von Bewegungen des gesamten menschlichen Bewegungsapparates

Beim Motion Capturing werden optische und nicht-optische Verfahren unterschieden, wobei im Folgenden nur auf die optischen Verfahren eingegangen wird. Die optischen Verfahren arbeiten mit Kameras und können in Systeme, die auf Markern basieren und markerlose Systeme gegliedert werden. Die markerbasierten Systeme zeichnen sich durch sehr hohe Abstraten und Genauigkeiten aus. Da sich die Identifikation der Marker aber oft als schwierig herausstellt und Verdeckungen auftreten können, ist eine aufwändige Nachbearbeitung der gewonnenen Daten unerlässlich. Deshalb sind diese Systeme meist nicht echtzeitfähig. Weiterhin sind die benötigten Kameras sehr teuer. Einen weiteren Nachteil der markerbasierten Systeme stellt das große Datenvolumen, das gespeichert und verarbeitet werden muss, dar. Neben den markerbasierten Verfahren gibt es heute auch Entwicklungen, die ohne das Aufkleben physischer Marker auf den Akteur auskommen. Zwei der gängigsten sind das Time-of-Flight- und das Structured Light-Verfahren. [4]

Time-of-Flight-Kameras ermöglichen die direkte Aufnahme eines Tiefenbildes in Echtzeit auf Basis des Lichtlaufzeitverfahrens. Sie beinhalten einen PMD-Sensor (Photomischdetektor) sowie eine Beleuchtungseinheit. Durch Messen der vergangenen Zeit vom Aussenden des Lichtes bis zum Auftreffen auf den Bildsensor wird schließlich die Entfernung für jeden Bildpunkt berechnet. Nachteile dieser Kameraart sind jedoch die geringe laterale Auflösung und der noch sehr hohe Preis. [5]

Structured Light ist ein Verfahren, das ein bekanntes Lichtmuster auf eine Szene projiziert. Als Muster kommen hierbei Streifen, auch bekannt als Streifenprojektion, Gitter oder auch einfache Punktmuster zum Einsatz. Die Structured Light-Systeme bestehen aus einem Laser- oder LCD-Projektor und Kameras. Der Aufbau ist exemplarisch in Bild 1 dargestellt. Der Projektor dient der Beleuchtung der Szene mit dem Muster. Trifft das Lichtmuster auf eine Oberfläche, wird es geometrisch verzerrt, sofern es aus einem anderen Blickwinkel betrachtet wird. Dieses verschobene Muster wird von einer oder mehreren Kameras aus einer vorbestimmten Perspektive aufgezeichnet. Das aufgenommene Muster wird mit dem bekannten ausgesendeten Lichtmuster

verglichen, wobei aus den resultierenden Verschiebungen durch aktive Triangulation die Tiefeninformation berechnet wird. Bei diesem Verfahren müssen die optischen Komponenten, die Kameras und Projektoren, genauestens ausgerichtet sein, um gute Ergebnisse erzielen zu können. [5]

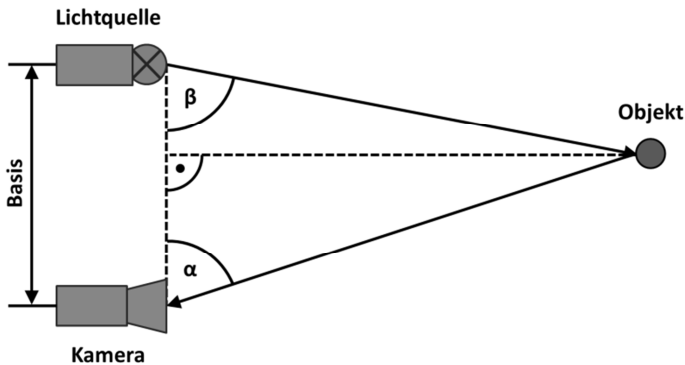


Bild 1: Prinzip der aktiven Triangulation

### 3 Werkzeug zur markerlosen Bewegungsaufzeichnung

Das erarbeitete markerlose Bewegungserfassungssystem verwendet die kostengünstige Spielesteuerung Microsoft Kinect als Eingabegerät in Verbindung mit den Open-Source-Bibliotheken OpenNI und Primesense NITE, die der Interpretation des Datenstromes aus dem Kinect-Sensor dienen. Bei dem biomechanischen Menschmodell, auf das die aufgenommenen Bewegungen übertragen werden, handelt es sich um ein OpenSim-Ganzkörpermodell. Im Folgenden wird kurz auf die verwendeten Hard- und Softwarekomponenten eingegangen.

#### 3.1 Hard- und Softwarekomponenten

##### 3.1.1 Microsoft Kinect

Microsoft Kinect [5] ist eine für die Spielekonsole Xbox 360 entwickelte Sprach- und Gestensteuerung. In letzter Zeit findet sie immer mehr Aufmerksamkeit unter Programmierern und in der Wissenschaft für unterschiedlichste Einsatzzwecke, von der Robotersteuerung bis hin zu medizinischen Anwendungen. Die Kinect besitzt eine RGB-Farbkamera, einen Infrarotsensor, einen laserbasierten Infrarotprojektor sowie ein Array aus vier Mikrofonen. Die Daten werden über eine USB-Schnittstelle an eine Xbox 360 oder einen PC über-

---

tragen. Die RGB-Kamera erfasst Videos mit bis zu 640 x 480 Pixeln bei maximal 30 Bildern pro Sekunde. Die Erzeugung des Tiefenbildes beruht auf der PrimeSense Light Coding-Technologie, die dem Structured Light-Verfahren zuzuordnen ist. Der Infrarotprojektor strahlt kontinuierlich dasselbe Punktmuster, im Englischen *Speckle Pattern* genannt, mit 633 x 495 Punkten, in den Raum aus. Das von den angestrahlten Oberflächen reflektierte Licht wird dann vom Infrarotsensor (monochromer CMOS-Sensor) aufgezeichnet. Das Referenzmuster, mit dem das aufgenommene Punktmuster aus den Infrarotbildern verglichen wird, ist in der Hardware gespeichert. Die korrespondierenden Punkte werden mit Hilfe von Kreuzkorrelation gefunden. Aus den Verschiebungen wird schließlich ein Tiefenbild mit maximal 640 x 480 Pixeln errechnet, wobei auch hier die maximale Wiederholungsrate 30 Bildern pro Sekunde entspricht.

### 3.1.2 OpenNI und PrimeSense NITE

OpenNI [6] ist eine, von PrimeSense ins Leben gerufene, Non-Profit-Organisation, die darauf ausgelegt ist die Kompatibilität und Interoperabilität von Geräten, Programmen und Middleware für die natürliche Interaktion (Natural Interaction) zu gewährleisten. Natural Interaction (NI) beschreibt Mensch-Maschine-Schnittstellen, die auf den Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung beruhen. Der Fokus liegt dabei auf dem Hören und dem Sehen. Alltägliche Szenarien wären die Erkennung von Sprache und Handgesten zum Aktivieren und Steuern von Geräten oder auch das Tracking des gesamten Körpers für Spieleanwendungen. Für die Realisierung dieser Ziele hat OpenNI das gleichnamige Open-Source-Framework herausgegeben, welches eine einheitliche Programmierschnittstelle (API) für Treiber und Middleware beliebiger Anbieter enthält. Es ermöglicht die Kommunikation mit Modulen, wie 3D-Sensoren, RGB-Kameras, Infrarot-Kameras und Audiogeräten. Das OpenNI-Framework erlaubt zum Beispiel auch die Kinect am PC zu verwenden und auf deren Audio-, Video- und Tiefensensoren zuzugreifen. Zusätzlich bietet OpenNI aber auch komplexere Lösungen an, um die mit den Sensoren aufgenommenen Daten verstehen und interpretieren zu können, wie etwa das visuelle Tracking.

NITE [7] ist eine von PrimeSense bereitgestellte, auf dem OpenNI-Framework aufbauende Middleware zur Verfolgung menschlicher Bewegungen, welche vor allem das Handtracking erweitert. Sie definiert Standardgesten, wie etwa Wink-, Klick und Kreisbewegungen, wobei auch weitere benutzerdefinierte Gesten implementiert werden können. In Verbindung mit OpenNI ermöglicht PrimeSense NITE aus den Tiefenbildern ein Vektorskelett mit 15

---

Gelenkknoten zu berechnen und auf die gefilmte Person zu legen, wodurch ein Motion Capturing in Echtzeit realisierbar ist.

### 3.1.3 OpenSim

OpenSim [8] ist eine frei verfügbare Software für die Erstellung und Simulation biomechanischer Modelle des muskuloskeletalen Systems. Diese Modelle ermöglichen neben der geometrischen Darstellung des menschlichen Körpers auch die Abbildung des dynamischen Verhaltens des Muskelskelettsystems. Das Skelett setzt sich dabei aus den Knochen zusammen, welche als starre Körper modelliert werden und über die Gelenke miteinander verbunden sind. An diesem Mehrkörpersystem setzen die Muskeln an, die als Aktuatoren dienen.

## 3.2 Skalierung

Ein System zum markerlosen Tracking menschlicher Bewegungen ist nur dann sinnvoll anwendbar, wenn auch eine Möglichkeit besteht, die anthropometrischen Daten des Akteurs auf ein Menschmodell zu übertragen. Wird eine Bewegung einer Person mit abweichenden Körpermaßen auf ein standardisiertes Modell übertragen, ergeben sich ganz andere Analysedaten, als mit einem auf die entsprechende Person skalierten Menschmodell, weshalb die Skalierung unverzichtbar ist.

Das implementierte System macht sich die Fähigkeit von OpenNI zunutze, Tiefenbilder aus dem Kinect-Sensor auszulesen. Nach Einnahme der sogenannten Kalibrierpose startet automatisch die Kalibrierung. Dabei wird versucht, ein Vektorskelett in den dem Akteur zugeordneten Umriss hineinzulegen. Für die im Vektorskelett enthaltenen Gelenkpunkte werden dann jeweils die Positions- und Orientierungsparameter bereitgestellt, welche in Bezug auf das globale Koordinatensystem, das dem Infrarotsensor der Kinect entspringt, angegeben werden.

Das Skalierungswerkzeug berechnet zunächst die Segmentlängen im Vektorskelett. Diese entsprechen dem euklidischen Abstand der zugehörigen Gelenkpunkte. Aus diesen Daten und den aus dem generischen OpenSim-Modell bekannten Gelenkabständen werden die Skalierungsfaktoren für die einzelnen Körperteile ermittelt. Die so gewonnenen Daten werden anschließend in eine für OpenSim lesbare Skalierungsdatei geschrieben.

In Bild 2 ist links das generische OpenSim-Modell und auf der rechten Seite exemplarisch ein skaliertes Modell zu sehen.

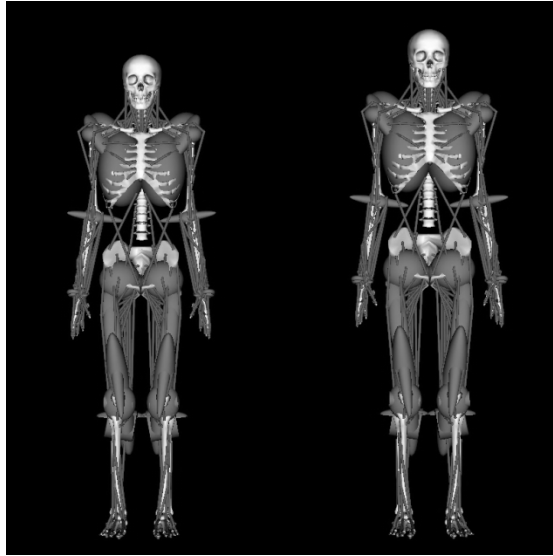


Bild 2: OpenSim-Modell unskaliert (links) bzw. skaliert (rechts)

### 3.3 Bewegungsaufzeichnung

Das Bewegungsaufzeichnungsmodul zeichnet zunächst die Bewegungsparameter auf, berechnet daraus die Gelenkwinkel, bereinigt und filtert diese und überführt schließlich die gewonnenen biomechanischen Daten in eine für OpenSim lesbare Datenstruktur. Bild 3 zeigt den Prozess der Bewegungsaufzeichnung bildlich, wobei im Folgenden die Einzelschritte genauer betrachtet werden.

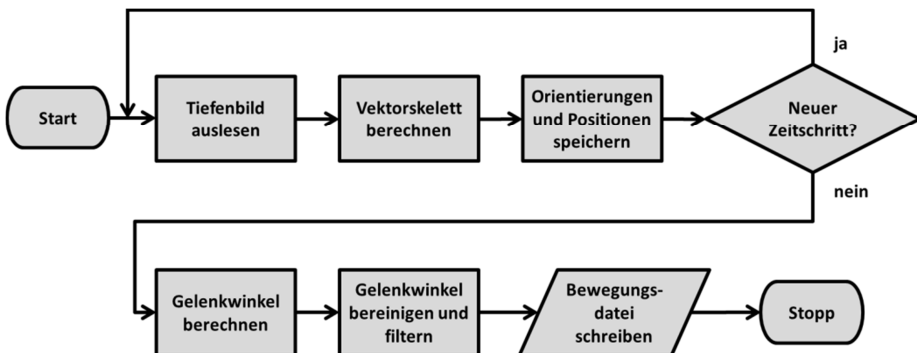


Bild 3: Ablauf der Bewegungsaufzeichnung

---

### 3.3.1 Aufzeichnung der globalen Gelenkorientierungen sowie der Translation

Das Bewegungsaufzeichnungsmodul speichert zunächst die Gelenkorientierungen sowie die Translation der Gesamtperson für jeden Zeitschritt unabhängig vom nachher verwendeten Menschmodell in einer dafür geeigneten Datenstruktur ab. Die Gelenkorientierungen werden von OpenNI als 3x3-Matrizen und die Translationen als Vektoren, welche die drei kartesischen Koordinaten der entsprechenden Gelenkpunkte enthalten, ausgegeben. Die Translation sowie die Orientierung der Gesamtperson werden am Rumpf erfasst. Für die anderen Gelenke werden die Positionen im Raum nicht benötigt, da sich diese aus den jeweiligen Rotationen und Segmentlängen ergeben.

### 3.3.2 Berechnung der Gelenkwinkel

OpenSim kann, wie die meisten anderen digitalen Menschmodelle auch, nicht mit den globalen Gelenkorientierungen aus dem Vektorskelett umgehen, da die Körperteile der biomechanischen Menschmodelle größtenteils mittels aufeinanderfolgender Rotationen bewegt werden. In OpenSim können bis zu drei Drehungen um die lokalen, körperfesten Koordinatenachsen der Körperteile miteinander kombiniert werden. Die Drehreihenfolge hängt dabei von den Drehwinkeln, den sogenannten Eulerwinkeln, ab. Hier setzt die Transformation der von OpenNI ausgegebenen Orientierungen auf die entsprechenden Gelenkwinkel von OpenSim an. Unter Berücksichtigung der Drehfolge und der lokalen Verdrehung zwischen zwei hintereinander geschalteten Gelenken können die Eulerwinkel berechnet werden. Bei der Verwendung von Eulerwinkeln muss darauf geachtet werden, dass die Drehachsen orthogonal zueinander sind, was beim verwendeten OpenSim-Modell erfüllt ist.

Die Eulerwinkel beschreiben drei aufeinanderfolgende Rotationen. Damit können Orientierungen im dreidimensionalen Raum mit nur drei Parametern eindeutig angegeben werden. Bei Eulerwinkeln ist zu beachten, dass die Drehungen nicht um die globalen Koordinatenachsen, sondern im körperfesten, mitbewegten Koordinatensystem erfolgen. Ein und dieselbe Orientierung kann auch als aufeinanderfolgende Drehungen um die globalen Koordinatenachsen beschrieben werden. Dies entspricht jedoch nur der Umkehrung der Drehreihenfolge der Eulerwinkel und hat keinerlei Einfluss auf die Lösung. Es ist zu beachten, dass ein Satz Eulerwinkel immer mit einer speziellen Rotationsreihenfolge einhergeht und nicht isoliert betrachtet werden darf. Eine Drehung um dieselben Winkel, aber in einer anderen Rotationsreihenfolge, würde zu einer völlig anderen Raumorientierung führen. [4]



Im Folgenden wird kurz auf die Zerlegung der globalen Orientierungen in deren Eulerwinkel eingegangen. Eine Drehung um die körperfeste x-Achse, die anfangs noch mit der globalen x-Achse zusammenfällt, gefolgt von einer Drehung um die z- und schließlich um die y-Achse des mitgedrehten, körperfesten Koordinatensystems wird zum Beispiel als XZY-Eulerwinkel bezeichnet. Dies entspricht genau der Drehreihenfolge beim Hüftgelenk, welche exemplarisch in Bild 4 dargestellt ist. Die erste Abbildung zeigt die Ausgangsstellung. Im zweiten Teilbild wurde der Oberschenkel um den Winkel  $\alpha = 60^\circ$  um die körperfeste x-Achse gedreht. Darauf folgt in der dritten Darstellung eine Rotation um die mitgedrehte, körperfeste z-Achse mit dem Winkel  $\beta = -30^\circ$  und schließlich noch eine Drehung um die y-Achse mit dem Winkel  $\gamma = 40^\circ$ .

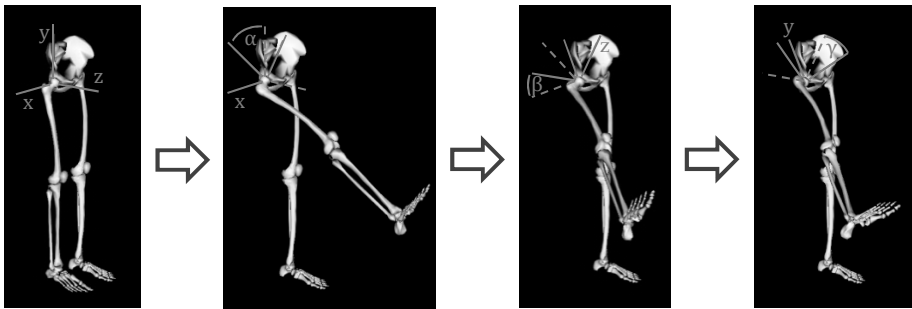


Bild 4: Eulerwinkel des Hüftgelenks

Die für jedes Gelenk zu jedem Zeitschritt gespeicherten Drehmatrizen geben, wie schon erwähnt, die Gelenkorientierungen in Bezug auf das globale Kinect-Koordinatensystem an. Die Gelenkwinkel in OpenSim beziehen sich jedoch immer nur auf die Verdrehung in Bezug auf das in der Hierarchie vorherige Gelenk. Aus den Drehmatrizen des aktuellen und des vorhergehenden Elements kann die lokale Verdrehung, die zwischen diesen beiden Elementen stattfindet, berechnet werden. Da die Drehmatrix orthogonal ist, entspricht ihre Inverse ihrer Transponierten. Die Rotationsmatrix für die lokale Verdrehung zwischen dem Gelenk e und seinem Vorläufergelenk p ergibt sich dann zu:

$$R_{e,p} = R_p^{-1} \cdot R_e = R_p^T \cdot R_e$$

Die Gesamtrotation für die Drehreihenfolge XZY folgt beispielsweise der Beziehung: [4]

$$R_{XZY}(\alpha, \beta, \gamma) = R_X(\alpha) \cdot R_Z(\beta) \cdot R_Y(\gamma)$$

---

Die Drehmatrizen für die Einzeldrehungen können [4] entnommen werden. Durch Ausnutzen der beiden genannten Zusammenhänge werden schließlich die Eulerwinkel berechnet.

### 3.3.3 Bereinigung, Filterung und Schreiben der Bewegungsdaten

Abschließend werden die Daten, wie schon erwähnt, bereinigt, gefiltert und in eine für OpenSim lesbare Bewegungsdatei geschrieben.

Die Bereinigung ist notwendig, da die Drehungen aufgrund der verwendeten atan2-Funktion in der Gelenkwinkelberechnung auf Werte von  $-\pi$  bis  $\pi$  abgebildet werden und deshalb beim Überschreiten der Ränder Sprünge auftreten.

Weiterhin sind biomechanische Rohdaten, aufgrund der Digitalisierung, immer mit Fehlern überlagert. Werden die verrauschten Rohdaten für Bewegungsanalysen verwendet, können die Fehler, beispielsweise bei Ableitungen, so groß werden, dass die Ergebnisse nutzlos sind. Es gibt Fehler, die anhand eines gewissenhaften Durchlaufs durch die Bewegungsaufzeichnung verhindert oder minimiert werden können, aber auch solche, die nicht zu verhindern sind. Die Bewegungen des Menschen folgen größtenteils tiefen Frequenzen, wobei der Rauschanteil meist hochfrequent ist, weshalb sich die Filterung mit Tiefpassfiltern anbietet. Bei deren Verwendung muss eine geeignete Grenzfrequenz gewählt werden. Alle Frequenzen darüber werden abgeschnitten, um den hochfrequenten Rauschbereich zu eliminieren. Wird die Frequenz zu hoch gewählt, kann dies zur Folge haben, dass Rauschen zurückbleibt, während bei der Wahl einer zu niedrigen Grenzfrequenz Teile der eigentlichen Bewegung mit abgeschnitten werden können. Für die Filterung menschlicher Bewegungen werden meist Grenzfrequenzen zwischen 4 Hz und 8 Hz gewählt. Zu beachten ist dabei zusätzlich, dass die Abtastfrequenz mindestens viermal so groß sein sollte als die Grenzfrequenz, damit eine erfolgreiche Filterung gewährleistet werden kann. [4]

Das beschriebene System verwendet einen Butterworth-Tiefpassfilter vierter Ordnung. Ein großer Vorteil von Butterworth-Filtern ist deren einfache Anwendung und deren begrenzter Rechenaufwand, weshalb sie die meistverwendetsten Filter in der Biomechanik darstellen. Diese Filter haben zwar einen relativ flachen Übergangsbereich zwischen den zu filternden und nicht zu filternden Frequenzen, was aber durch die Wahl höherer Ordnungen verbessert werden kann. [4]

---

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte System eignet sich hervorragend zum markerlosen Tracking menschlicher Bewegungen. Es ermöglicht die Aufzeichnung der Bewegung von 15 Gelenken und beinhaltet drei translatorische und 19 rotatorische Freiheitsgrade, womit die größeren Körperteile des OpenSim-Modells animiert werden können. Der Vorteil des vorgestellten Verfahrens gegenüber bestehenden Methoden ist die Zeitersparnis im Vorfeld sowie bei der Nachbearbeitung der gewonnenen Daten. Weiterhin entfällt der meist hohe Kalibrieraufwand. Dennoch ist kritisch anzumerken, dass die Auflösung des Tiefenbildes der Microsoft Kinect nicht hoch genug ist, um Bewegungen kleinerer Körperteile, wie etwa der Finger, aufzunehmen. Das vorgestellte Trackingsystem stellt im Vergleich zu den meisten aufwändigeren Verfahren eine kostengünstige Alternative dar, wenngleich es mit deren Genauigkeit und Abtastrate oft nicht mithalten kann. Dies könnte sich aufgrund des schnellen Fortschritts in diesem Bereich demnächst ändern. Jedoch ist dies auch nicht unbedingt notwendig, da die aus Menschsimulationen resultierenden Analysewerte eher als Tendenzen und nicht als absolute Werte interpretiert werden sollten. Zur Bewertung und Visualisierung der Simulationsergebnisse erscheint die Implementierung eines Konstruktionsassistenzsystems sinnvoll.

Ein solches Konstruktionsassistenzsystem soll es dem Produktentwickler ermöglichen, Mensch-Produkt-Interaktionen ohne großen Aufwand virtuell abzubilden und deren Ergebnisse ohne einschlägige Erfahrungen in den Bereichen Biomechanik und Ergonomie analysieren zu können. Es soll den Produktentwickler damit bei der Entscheidungsfindung im gesamten Produktentwicklungsprozess sowie bei der Optimierung nutzerorientierter Produkte unterstützen. Das angestrebte Konstruktionsassistenzsystem soll die Mensch-Produkt-Interaktion in die CAD/CAE-Umgebung integrieren [9] und schließlich die produktabhängigen Bewegungsabläufe für die dynamische Menschsimulation bereitstellen. Die in einigen CAD/CAE-Systemen integrierten Analysen verwenden nur relativ einfache Mannequins und beschränken sich auf die Evaluierung statischer Posen, wie etwa bei der RULA-Analyse (Rapid Upper Limb Assessment). Durch Hinzunahme individualisierter biomechanischer Menschmodelle, die Leistungseinbußen, wie etwa verminderte Maximalkräfte oder Einschränkungen in der Beweglichkeit, berücksichtigen, sollen mit Hilfe von Bewertungsmethoden Handlungsanweisungen für den Produktentwickler abgeleitet und schließlich die Ergebnisse visualisiert werden. Das Augenmerk soll dabei auf der Bewertung der Muskelaktivitäten, der Reaktionskräfte, der Gelenkmomente sowie der verrichteten mechanischen Arbeit liegen, die der Mensch aufbringen muss, um die gewünschte Bewegung ausführen zu können. [10]

---

## Literatur

- [1] Krüger, D.; Eilmus, S.; Schmidt, J.; Wartzack, S.; Krause, D.; Paetzold, K.: "Notwendigkeit für eine Methodenplattform zur Entwicklung von Produkten für nutzerspezifische Mobilitätsbedürfnisse", 22. DfX-Symposium, Tutzing, 2011, S. 265-276.
- [2] Krüger, D.; Stockinger, A.; Wartzack, S.: "A haptic based Hybrid Mock-Up for mechanical products supporting human-centered design", Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Design 2011 (ICED11), Vol. 10, 2011, S. 331-340.
- [3] Jackèl, D.; Neunreither, S.; Wagner, F.: "Methoden der Computeranimation", Springer-Verlag, Berlin, 2006.
- [4] Manal, K.T.; Buchanan, T.S.: "Biomechanics of Human Movement", In: Kutz, M. (Hrsg.): "Biomedical Engineering and Design Handbook. Fundamentals", Vol. 1, 2<sup>nd</sup> Edition, The McGraw-Hill Companies, New York, 2009, S. 125-151.
- [5] Dal Mutto, C.; Zanuttigh, P.; Cortelazzo, G.: "Time-of-Flight Cameras and Microsoft Kinect", Springer-Verlag, Berlin, 2012.
- [6] OpenNI: "OpenNI User Guide v3", [www.openni.org](http://www.openni.org), 2011.
- [7] PrimeSense Ltd.: "Prime Sensor NITE 1.3 Controls Programmer's Guide", [www.primesense.com](http://www.primesense.com), 2010.
- [8] Delp, S.L.; Anderson, F.C.; Arnold, A.S.; Loan, P.; Habib, A.; John, C.T.; Guendelman, E.; Thelen, D.G.: "OpenSim: Open-source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 54, 2007, S. 1940-1950.
- [9] Schmidt, J.; Krüger, D.; Eilmus, S.; Paetzold, K.; Wartzack, S.; Krause, D.: "Design for Mobility - A Methodical Approach", Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Design Conference DESIGN 2012, Dubrovnik, 2012, S. 1101-1110.
- [10] Lämkuhl, D.; Berlin, C.; Örtengren, R.: "Digital Human Modeling: Evaluation Tools", In: Duffy, V.G. (Hrsg.): "Handbook of Digital Human Modeling - Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering", CRC Press, Boca Raton, 2009, S. 1-22.