

# Konzept zur ergonomischen Bedienung eines Exoskeletts für die manuelle Lastenhandhabung

Verena KNOTT, Klaus BENGLER

*Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München  
Boltzmannstraße 15, D-85747 Garching b. München*

**Kurzfassung:** Körpergetragene Systeme als Unterstützung der manuellen Lastenhandhabung erfordern neben der optimalen Auslegung der Kraftunterstützung auch ein intuitiv bedienbares User-Interface. Im Folgenden wird ein Konzept für eine ergonomische Bedienung einer körpergetragenen Hebehilfe vorgestellt, das aus drei Komponenten besteht: Ein intelligenter Handschuh dient hierbei zur Aktivierung der Kraftunterstützung. Systemeinstellungen wie Kraftunterstützungsgrad oder Betriebsmodus erfolgen über ein am Exoskelett befestigtes Bedienpanel, das gleichzeitig zur Anzeige der wichtigsten Informationen dient. Für die detaillierte Wiedergabe von textuellen Detailinformationen wird ein stationäres System mit Applikationsanzeige genutzt.

**Schlüsselwörter:** Lastenhandhabung, Exoskelett, Bedienkonzept, Körpergetragene Hebehilfe, User-Interface

## 1. Manuelle Lastenhandhabung – Motivation

Produktions- und Logistiksysteme stehen derzeit vor der Herausforderung die steigende Anzahl an Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) zu reduzieren. Statistiken zufolge stellen MSE mit 26,5% aller Erkrankungen die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeit in Deutschland dar (BKK Bundesverband 2012). Zurückzuführen sind diese Erkrankungen im Bereich der Produktion und Logistik insbesondere auf die manuelle, repetitive Handhabung von Lasten hohen Gewichts, ungünstige Gelenkpositionen sowie hohe Aktionskräfte (Spallek et al. 2010; Hölzel et al. 2014). Mit der zunehmenden Entwicklung von Unterstützungssystemen für die manuelle Lastenhandhabung im Gewichtsbereich bis etwa 30 kg will eine erhöhte Anzahl an Forschungsinstituten diesen Herausforderungen entgegenwirken und die Belastungen auf den menschlichen Körper reduzieren. Ziel ist es, diese körpergetragenen Systeme beispielsweise im Arbeitsumfeld der manuellen Kommissionierung oder der Montage einzusetzen und den Arbeitnehmer während der Vorgänge des Anhebens, Tragens und Absetzens zu unterstützen.

Im Rahmen des dreijährigen deutschen Forschungsprojekts „Körpergetragene Hebehilfe“, das im September 2013 begann und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird, wird ebenfalls ein Assistenzsystem entwickelt, das Arbeitnehmern der Logistikbranche optimierte Arbeitsbedingungen im Bereich manueller Kommissioniertätigkeiten bieten soll. Neben den Anforderungen einer geringen Belastung durch das System sowie einer anthropometrischen Einstellbarkeit des Exoskeletts auf unterschiedliche Nutzergrößen ist auch eine intuitiv bedienbare Schnittstelle zur Mensch-Maschine-Interaktion erforderlich, wobei Aspekte wie Tragekomfort, Robustheit und Bedienbarkeit zu berücksichtigen sind.

Die Mensch-Maschine-Interaktion in diesem Kontext ist geprägt von einem bidirektionalen Informationsfluss zwischen den beiden Komponenten „Nutzer“ und „Hebehilfe“. Zum einen muss ein Informationsfluss vom Mensch in Richtung Maschine stattfinden. Hierbei werden der Maschine beispielsweise Informationen über Einstellungen oder der Aktivierung der Kraftunterstützung gegeben. In entgegengesetzter Richtung erwartet der Nutzer jedoch auch Informationen vom System in Form einer Rückmeldung beispielsweise zum Betriebszustand, den aktuellen Akku-Zustand oder über eventuelle Systemfehler, die vorhanden sind. Dementsprechend stellt sich die Frage, welche Modalitäten sich zur Kommunikation zwischen Mensch und Hebehilfe nutzen lassen?

## **2. Ansätze zur Bedienung von Exoskeletten – Stand der Technik**

### *2.1 Eingabe von Informationen*

Die Literatur verweist darauf, dass das Eingangssignal eine ausschlaggebende Rolle bei der Bedienung von körpergetragenen Systemen spielt (Gunasekara et al., 2012). Derzeit am Markt und in der Forschung existierende Exoskelette können demzufolge anhand des Eingangssignals klassifiziert werden.

Die Klassifizierung nach Gunasekara et al. (2012) ermöglicht die Einteilung in folgende Bereiche, für die im Folgenden Beispiele erläutert werden: Exoskelette basierend auf menschlichem, biologischem Eingangssignal und Exoskelette basierend auf nicht-biologischen Signalen.

#### *2.1.1 Kontrollmethoden basierend auf biologischem Eingangssignal*

Exoskelette dieser Kategorie verwenden das EMG-Signal als primäres Eingangssignal zur Steuerung des körpergetragenen Systems. Das weltweit am weitesten entwickelte Exoskelett ist das von der Tsukuba Universität und der Firma Cyberdyne Inc. entwickelte Hybrid Assistive Limb (HAL)-System, das derzeit im Bereich der Rehabilitation erprobt wird. Wenn eine Person versucht, sich zu bewegen, werden Nervensignale über Motoneuronen aus dem Gehirn an die Muskeln gesendet. Eine Bewegung des Muskel-Skelett-Systems ist die Folge. In diesem Moment können sehr schwache Biosignale auf der Oberfläche der Haut über Sensoren festgestellt werden. Diese Signale werden an die Servo-Einheit weitergeleitet und das zu unterstützende Gelenk bewegt sich. Weitere Anwendungsfälle wären die Alltagsunterstützung, Katastropheneinsatz oder auch Bauarbeiten, allerdings bringt die Steuerung über Biosignale auch Nachteile für den Einsatz im Bereich der Produktion und Logistik mit sich. Ziel in der Industrie ist, dass das System von unterschiedlichen Nutzern verwendet werden kann. Auch hinsichtlich hygienischer Gründe sowie Robustheit sind Herausforderungen bei dieser Umsetzung der Bedienung für das Arbeitsumfeld vorhanden.

#### *2.1.2 Kontrollmethoden basierend auf nicht-biologischen Eingangssignalen*

Im Gegensatz zu dem unter 2.1.1 vorgestellten System verwenden körpergetragene Unterstützungen dieser Kategorie keine biologischen Eingangssignale, sondern verfolgen die Umsetzung der Bewegungsintention über die Direkt-eingabe mithilfe von Drucktastern oder anderer Sensorik. Beispiele hierfür sind das

System ECO Pick® (Gebhardt Logistics Solution GmbH, Germany), Strong Arm Vest (Strong Arm Technologies, Inc., USA) oder das System BLEEX der University California-Berkeley (USA). Genauere Erläuterungen zu diesen Systemen finden sich in Knott et al. (2014).

## 2.2 Ausgabe von Informationen

Da sich der größte Teil der Exoskelette derzeit noch in der Forschungs- oder Erprobungsphase befindet, existieren in der Literatur keine Informationen zur Fragestellung der nutzerorientierten Rückmeldung von Informationen in körpergetragenen Systemen an den Anwender.

## 3. Ergonomische Bedienung eines Exoskeletts – Konzept

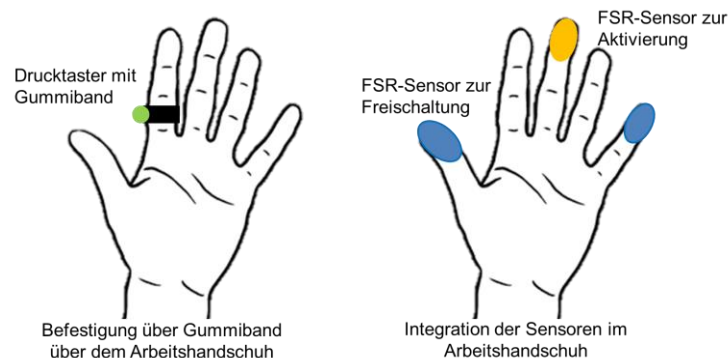
Basierend auf Tätigkeitsanalysen (Knott et al. 2014), die im Bereich logistischer Tätigkeiten wie manueller Kommissionierung und Postlogistik vom Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München durchgeführt wurden, können die Voraussetzungen für die notwendige Bedienung eines anzuwendenden Logistiksystems ermittelt werden. Grundsätzlich besteht ein Hebevorgang aus folgenden Komponenten: Hinlangen, Greifen, Bringen, Vorrichten, Fügen und Loslassen. Auch Nebentätigkeiten, wie das Aufschreiben einer Notiz, ein Telefonat oder auch das Aufschneiden von Paletten mithilfe eines Messers sind zu berücksichtigen. Neben Einfachheit und Intuitivität in der Anwendung erfordert die Umgebung demzufolge ein robustes Bediensystem, das zuverlässig in allen Situationen – sei es im Gebäude oder im Freien – funktioniert. Auch der Sicherheitsaspekt sollte nicht vernachlässigt werden. Zudem sollte zusätzlich Rückmeldung an den Nutzer gegeben werden können. Um hierbei die unterschiedlichen Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen, ist eine multimodale Rückmeldung über verschiedene Kanäle (visuell, akustisch, taktil) zu empfehlen. Feedback über den aktuellen Systemzustand (z.B. Ladestand oder Systemfehler) sind von nicht vernachlässigbarem Wert und deshalb in folgendem Konzept des Forschungsprojekts „Körpergetragene Hebehilfe“ berücksichtigt.

Das Bedienkonzept des Exoskeletts gliedert sich demzufolge in drei eigenständige Komponenten, die im Folgenden näher beschrieben werden: Ein Handschuh, ein Bedienpanel sowie ein stationäres System (Tablet). Sowohl der Nutzer als auch der Service profitieren von dieser dreiteiligen Lösung. Während der Anwender der Hebehilfe nur bei Interesse detaillierte Informationen empfängt, bietet dieser Ansatz dem Service eine Hilfestellung bei der Wartung.

### 3.1 Handschuh

Der Handschuh im System Hebehilfe dient dem Nutzer zur aktiven Steuerung der Kraftunterstützung. Der Anwender übergibt die Informationen über die Notwendigkeit der Kraftunterstützung an das System über zwei Möglichkeiten, die je nach Anwendungsfall eingesetzt werden können. In einer Umgebung ohne Sicherheitsbedenken, d.h. wenn keine gefährlichen Gegenstände (z.B. Messer) eingesetzt werden, besteht die Bedienung aus einem Drucktaster der am linken Zeigefinger am Grundgelenk über ein Gummiband über dem Arbeitshandschuh befestigt ist (siehe Abbildung 1 links). Über Betätigung des Drucktasters mit dem Daumen während

einer notwendigen Kraftunterstützung ist diese aktiv und der Nutzer erhält automatisch haptische Rückmeldung. Für den Fall einer sicherheitskritischen Anwendung wird die in Abbildung 1 rechts dargestellte Version der Bedienung empfohlen. Dadurch, dass zwei FSR-Sensoren an Daumen und kleinem Finger in Kontakt gebracht werden, erfolgt als Sicherheitsgeste die Freischaltung zur Kraftunterstützung. Innerhalb der nächsten 5 Sekunden kann nun das Paket gegriffen werden und über den dauerhaften Kontakt des FSR-Sensors am Mittelfinger zum Paket wird die Kraftunterstützung aktiviert. Wird innerhalb dieser 5 Sekunden nach Freischaltung der Sensor am Mittelfinger nicht verwendet, wird die Freischaltung deaktiviert. Insbesondere im Kontext der manuellen Kommissionierung, bei der gefährliche Gegenstände wie ein Messer zum Aufschneiden von Paletten verwendet werden, ist dies ein unabdingbarer Sicherheitsaspekt.



**Abbildung 1:** Zwei Möglichkeiten zur Aktivierung der Kraftunterstützung abhängig von der Sicherheitskritikalität der Arbeitsumgebung

### 3.2 Bedienpanel

Ein am linken Arm des Exoskeletts angebrachtes Bedienpanel dient zur Eingabe von Systemeinstellungen wie Kraftunterstützungsgrad oder Betriebsmodus sowie zur Mitteilung der wichtigsten Informationen (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2:** CAD-Modell des Bedienpanels für den linken Arm (Abmaße: 120 x 60mm) als schematische Darstellung der Positionen der Bedienelemente und Anzeigen

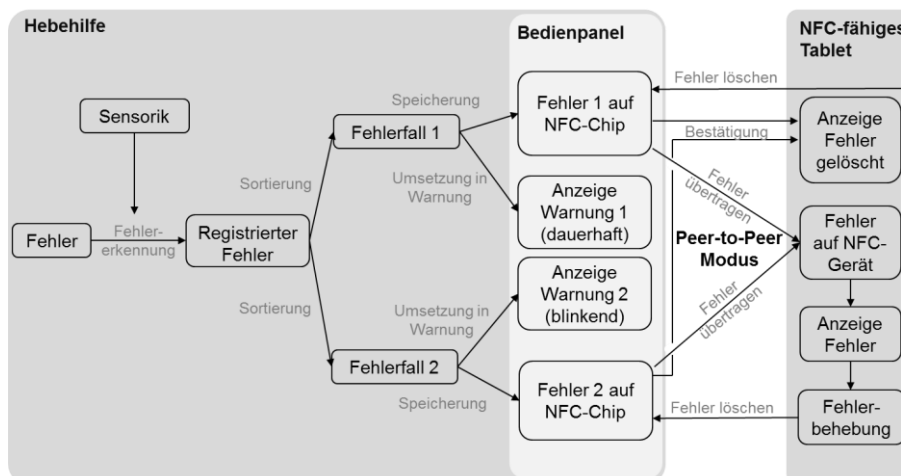
Eingaben, die am Bedienpanel getätigt werden können, sind die Einstellung des Kraftunterstützungslevels (Assistance), wobei zwischen fünf verschiedenen Stufen gewählt werden kann. Zudem ist ein Umschalten des Betriebsmodus (Suspend) möglich. Zur einfacheren Bedienung mit dem rechten Daumen sind die Eingabetaster am unteren Rand des Bedienpanels angebracht. Im oberen Teil befinden sich die Anzeigen zum Ladestand (Battery), die Anzeige, falls der Notastaster betätigt wurde (Stop) sowie eine Warnanzeige in Form eines Dreiecks.

Über die Drucktaster „-“ und „+“ kann das Unterstützungslevel gewählt werden, wobei über eine mittig angeordnete gelbe LED-Leiste angezeigt wird, welcher Unterstützungsgrad gewählt wurde. Sobald über den unter 3.1 beschriebenen Handschuh die Kraftunterstützung aktiviert wird, ändert sich als visuelle Rückmeldung die Farbe der LEDs in grün. Auch innerhalb dieser Komponente ist wiederum der Sicherheitsaspekt bedacht. Im Falle, dass mit dem körpergetragenen System, das aktive Antriebe besitzt, beispielsweise ein Flurförderzeug bedient werden muss, ist der Suspend-Drucktaster zu betätigen. Der Ladestand wird dem Nutzer über eine grüne LED-Leiste im oberen Teil des Bedienpanels mitgeteilt. Im Fall einer kritischen Situation kann der Nutzer einen Not-Aus über eine Kopfbedienung aktivieren. Eine rote LED am Panel signalisiert die Aktivierung dieses Zustands. Eine Warnmöglichkeit von Seiten des Systems kann dem Nutzer über das Warndreieck im rechten oberen Teil der tragbaren Einheit mitgeteilt werden. Hier wird zudem zwischen zwei Warnzuständen unterschieden: Nicht-kritische Warnzustände (Fehlerfall 1) leuchten dauerhaft und deuten dem Anwender eine Überprüfung des Systems zu Schichtende an. Kritische Warnzustände (Fehlerfall 2) werden blinkend dargestellt und signalisieren dem Nutzer, dass er das System Hebehilfe sofort ablegen muss. Neben den visuellen Rückmeldungen wird zudem auch ein synchrones akustisches sowie taktiles Feedback genutzt, um den Nutzer auf einen Blick auf das Bedienpanel aufmerksam zu machen.

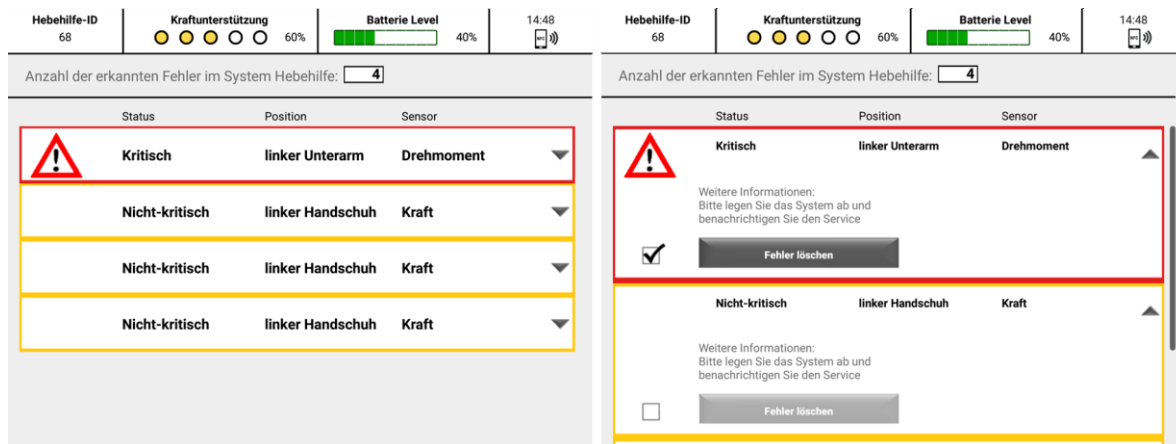
### 3.3 Tablet

Da das Bedienpanel lediglich eine vereinfachte Form der visuellen Rückmeldung darstellt, es situationsabhängig aber für den Nutzer von Interesse sein kann, detailliertere Informationen über den Warnzustand zu erhalten, erfolgt über ein stationäres System (Tablet) an der Basisstation der körpergetragenen Hebehilfe zum Aufladen die Wiedergabe von textuellen Detailinformationen über eine Applikation. Gleichzeitig kann dieser Ansatz dem Service bei der Wartung als Hilfestellung dienen. Die Übertragung der Daten kann beispielsweise über NFC (Near Field Communication) an der Basisstation erfolgen. Sender- und Empfängereinheiten werden hierfür im Bedienpanel verbaut, die wiederum mit einem NFC-fähigen Endgerät kommunizieren und die Fehlerfälle gemäß Abbildung 3 übertragen können.

Abbildung 4 stellt das grafische Interaktionskonzept der Applikation dar, die die über NFC übertragenen Warnzustände darstellt. Diese werden nach ihrer Kritikalität



**Abbildung 3:** Zusammenspiel der einzelnen Bedienkomponenten über NFC



**Abbildung 4:** Beispiel-Screenshots der Applikation auf einem HTC Nexus 9 zur textuellen Darstellung der Fehlerfälle

und Position innerhalb des Systems Hebehilfe sortiert. Einerseits ermöglicht die Darstellung einen Überblick über auftretende Fehlerfälle (Abbildung 4 links), andererseits können nach Beheben die angezeigten Fehler gelöscht werden (Abbildung 4 rechts). Wird die NFC-Verbindung unterbrochen, wird eine entsprechende Fehlermeldung als Pop-Up-Window eingeblendet.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Wie sich zeigt, spielt bei der Bedienung von körpergetragenen Systemen wie Exoskeletten nicht nur die Eingabe eine entscheidende Rolle. Auch eine auf den Nutzer abgestimmte Rückmeldung ist nicht zu vernachlässigen. Für die Beurteilung der Nutzerakzeptanz sowie der Usability im Umgang mit der Bedienung ist jedoch eine Evaluation erforderlich. Eine auf diesem Konzept basierende Umsetzung der Exoskelettbedienung wird nun im Rahmen einer Usability-Studie am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München evaluiert, um Kenntnisse bezüglich des Wirkens auf den Menschen zu erhalten.

#### 5. Literatur

- BKK Bundesverband (2012). BKK Gesundheitsreport 2012. Gesundheit fördern – Krankheit versorgen – mit Krankheit leben 2012. ISSN 1434-1603. Verfügbar unter: [http://www.bkk-bayern.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Arbeitgeber/Gesundheitsreport\\_2012.pdf](http://www.bkk-bayern.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Arbeitgeber/Gesundheitsreport_2012.pdf)
- Gunasekara J, Gopura R, Jayawardane T, Lalitharathne S (2012). Control Methodologies for upper limb exoskeleton robots. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) 16-18 December 2012. doi: 10.1109/SII.2012.6427387. pp.19-24.
- Hölzel C, Knott V, Schmidler J, Bengler K (2014). Unterstützung des Menschen in der Arbeitswelt der Zukunft. In: Weidner R, Redlich T (Hrsg.) Band zur Ersten Transdisziplinären Konferenz zum Thema: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg 2014. Best Paper Award. Verfügbar unter: <http://www.humanhybridrobot.info/wp-content/uploads/2015/01>.
- Knott, V.; Kraus, W.; Schmidt, V.; Bengler, K. (2014). Manual Handling of Loads Supported by a Body-worn Lifting Aid. In Proceedings of the 3rd International Digital Human Modeling Symposium DHM 2014, Odaiba, Japan, 20-22 May 2014.
- Spallek M, Kuhn W, Uibel S, van Mark A, Quarcoo D (2010). Work-related musculoskeletal disorders in the automotive industry due to repetitive work - implications for rehabilitation. In J Occup Med Toxicol. 2010 Apr 7;5:6. doi: 10.1186/1745-6673-5-6.