

Das Spannungsfeld der Mensch-Maschine-Interaktion

Zusammenfassung

Trotz ihres gemeinsamen Ursprungs haben sich die arbeitsmedizinisch orientierte Ergonomie und die verhaltens- und ingenieurwissenschaftliche Ergonomie (Ingenieurpsychologie; im Englischen üblicherweise als „human factors“ bezeichnet) parallel und zu meist ohne fruchtbare Interaktion entwickelt. Die Konsequenzen dieser Sachlage zeigen sich bei der arbeitsmedizinischen Orientierung in der Fixierung auf das Dosismodell und bei der ingenieurpsychologischen Orientierung in der fast ausschließlichen Suche nach optimaler Arbeitsteilung in Mensch-Maschine-Systemen ohne Berücksichtigung gesundheitlicher Konsequenzen.

An einem Beispiel wird gezeigt, wie die Zusammenführung dieser Orientierungen zu einer überzeugenden Problemlösung führen kann. Abschließend wird gezeigt, dass die Einbeziehung von Techniken der virtuellen Realität zu einer verallgemeinerbaren neuen Lösung für die gleichermaßen gesundheits- und effektivitätsorientierte Arbeitsteilung in Mensch-Maschine-Systemen führen kann.

Schlüsselwörter

Ergonomie · Ingenieurpsychologie · Mensch-Maschine-Interaktion · Dosismodell · Kritische Ereignisse

Seit der Entwicklung der ersten Werkzeuge, speziell aber seit der Entwicklung von Maschinen, die analog oder digital gesteuert werden können, ist festzustellen, dass die Interaktion zwischen dem Menschen und den Artefakten bzw. der Maschine asymmetrisch verläuft: Der Mensch passt sich der Maschine an, selbst wenn es sich um ein „intelligentes“ Artefakt wie den Computer handelt und nicht vice versa. Der Grund dafür liegt darin, wie Hermann Haken mit der Theorie der Synergetik [3] gezeigt hat, dass ganz allgemein Systeme, die sich schnell anpassen, von Systemen *versklavt* werden, die sich langsam – oder gar nicht – anpassen. Die extremen Anpassungsleistungen, zu denen der Mensch fähig ist, führen also gerade dazu, dass er den „Preis“ für die in Mensch-Maschine-Systemen von ihm geforderte Anpassung in Form von gesundheitlichen Beschwerden „zahlen“ muss.

Die Entwicklung des Arbeitsschutzes seit dem 19. Jahrhundert greift dieses Problem zum einen in Form von Kompensationen und zum anderen in Form von präventiven oder rehabilitativen Maßnahmen auf. Kompensationen können direkt monetär geleistet werden (z. B. werden zurzeit pro Jahr in den USA 20 Mrd. \$ an Kompensationszahlungen für arbeitsbedingte Rückenschmerzen gezahlt) oder über Versorgungsleistungen [berufskrankheitsbedingte Umschulungen oder Frühverrentungen; in den USA für arbeitsbedingte Rückenerkrankungen weitere 30 Mrd. \$/Jahr, beides Angaben der „Occupational Safety and Health Administration“ (OSHA) der US-Regierung, aus dem Jahr 2001], [6]. Die Höhe der Kompensationsleistungen macht schon allein die volkswirtschaft-

liche und damit gesellschaftliche Relevanz der menschengerechten Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen deutlich, wobei festzuhalten ist, dass andererseits diese Mensch-Maschine-Systeme Grundlage einer jeden modernen Volkswirtschaft sind.

Dass die OSHA in der volkswirtschaftlichen Argumentation der ebenso wie in den meisten der von ihr publizierten „success stories“ Rückenbeschwerden bzw. -erkrankungen anführt, liegt daran, dass dieser Bereich zurzeit weltweit in Industriegesellschaften am häufigsten zu Arbeitsausfällen bzw. zur Aufgabe der Erwerbstätigkeit führt. Dies schlägt sich in den neuesten Standards der OSHA nieder, in denen ergonomische Maßnahmen vorgeschlagen werden, die speziell Belastungen im Rückenbereich entgegenwirken sollen (am 16.01.2001 in Kraft getreten, zwischenzeitlich vom Präsidenten der USA als „schädlich für die Industrie“ außer Kraft gesetzt).

Theoretische und methodische Ansätze

Grundlage der Vorgehensweise der OSHA wie auch der bundesdeutschen Gesetzgebung hinsichtlich der Anerkennung von Rückenerkrankungen als Berufskrankheiten seit Beginn der 90er

© Springer-Verlag 2002

Prof. Dr. Alf C. Zimmer
Lehrstuhl für Experimentelle Angewandte
Psychologie, Universität Regensburg,
Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg
E-Mail: Alf.Zimmer@psychologie.
uni-regensburg.de

A. C. Zimmer

The essential tension of human-machine systems

Abstract

The initially interchangeable terms ergonomics and human factors have taken on different meanings over the last 50 years. Especially in the area of occupational health hazards, the scope of ergonomics has been narrowed down to the analysis of musculoskeletal stress to determine critical values, which has led to the dose model. In contrast, human factors (sometimes replaced by engineering psychology) have focussed on the optimization of allocating tasks in human-machine systems. An example from the BMW plant in Regensburg shows that in a workplace where the musculoskeletal stress remains below the critical values humans are better than machines, but that situations leading to traumata can nevertheless arise.

In conclusion, possibilities provided by virtual reality are discussed regarding the integration of optimal human-machine systems with principles of preventing occupational hazards.

Keywords

Ergonomics · Engineering psychology or human factors · Man-machine interaction · Critical dose effects · Critical incidents

Zum Thema: Arbeitsmedizin

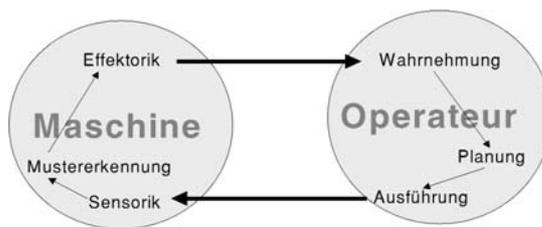


Abb. 1 ◀ Hollnagels gekoppelte kognitive Systeme

Jahre ist eine Betrachtung dieser Erkrankungen als durch Dosiswirkung verursacht, d. h. eine Zahlung von Kompensationen bzw. eine Anerkennung als Berufskrankheit ist nur dann möglich, wenn der Betroffene einer überschweligen Dosis an spezifischen Belastungen über einen längeren Zeitraum ausgesetzt gewesen ist. Dieses Dosisverursachungsmodell betrachtet implizit den Menschen wie eine Maschine, wobei Ausfallerscheinungen ausschließlich auf Verschleiß (wear and tear) zurückgeführt werden; damit werden plötzliche Ausfälle aus der Betrachtung ausgeschlossen, die durch – möglicherweise einmalige – ungünstige situative Konstellationen verursacht sind: beim Com-

puter sind dies z. B. Systemabstürze, beim Menschen vielfach Traumata.

Sicher werden viele Erkrankungen durch das Dosismodell erfasst und das Modell ist speziell für die Arbeitsmedizin auch deswegen so attraktiv, weil sich dafür vergleichsweise einfach Gestaltungsrichtlinien entwerfen bzw. erfolgreiche Präventionsmaßnahmen realisieren lassen (z. B. [8]), aber Traumata, die durch seltene situative Kombinationen unterschiedlicher Belastungen bewirkt werden, fallen durch dieses Erfassungsraster.

Gegen die Annahme eines konzeptuell vom Dosismodell unterscheidbaren Traumamodells wird häufig epidemiologisch argumentiert, weil nämlich auch bei Traumata die Auftretenswahr-

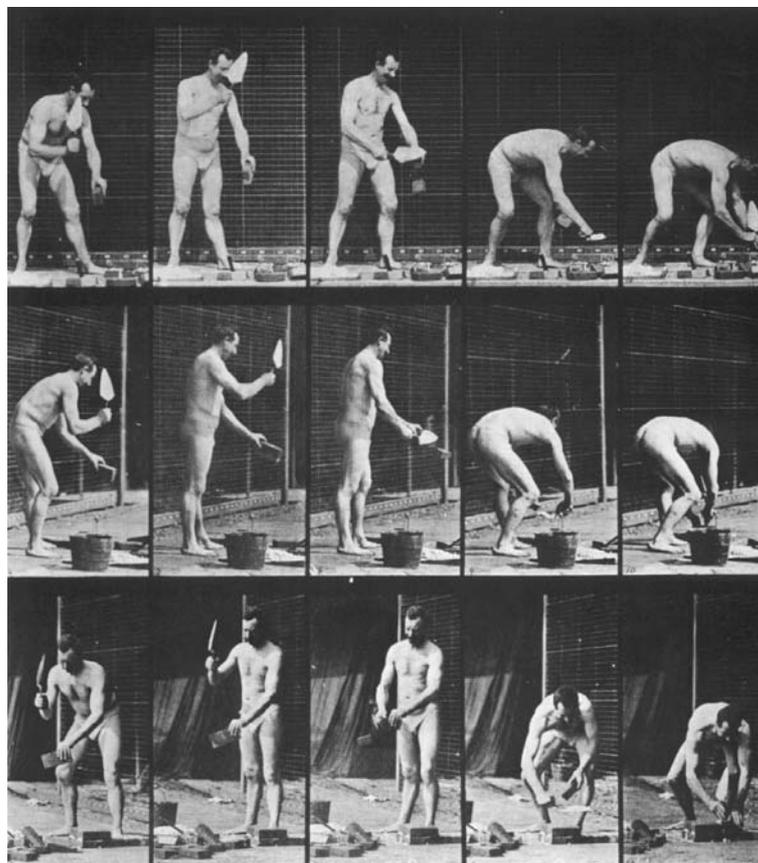


Abb. 2 ▲ Muybridge „man laying brick“, die Sequenzdarstellungen aus mehreren Perspektiven erlaubt die genaue Bestimmung der Gelenkwinkel und der notwendigen bzw. resultierenden Kräfte

Tabelle 1

Allokation von Funktionen auf Operateure und Maschinen (kursiv gedruckt sind die Funktionen, bei denen es zu situativen Konstellationen kommen kann, die Traumata auslösen)

1) Informationsaufnahme

Signalaufnahme multimodal und in großen Bereichen
Detektion schwacher Signale durch Aufmerksamkeitssteuerung und Kontrastverstärkung

Automatische Form- und Raumwahrnehmung

Effiziente Bewegungswahrnehmung

Detektion von Signalen außerhalb des menschlichen Wahrnehmungsbereiches

Hoch präzise Registrierung und Speicherung von Messdaten

Synthetische Datenintegration nach vorgegebenen Regeln

2) Informationsverarbeitung

Kontextspezifische und schemageleitete effektive Suche im Gedächtnis

Schneller Strategiewechsel bei Misserfolg

Flexibilität hinsichtlich Perspektivenwechsel

Schnelle Plausibilitätsüberprüfung

Effiziente Suche nach bedeutungsgleichen oder ähnlichen Begriffen

Schnelles Erfassen von Kernaussagen bei Texten (gist)

(Tiefe) Verarbeitung: Repräsentation unabhängig von der grammatikalischen Struktur

Automatische und vollständige Suche in großen Datenmengen – schlagwortgesteuert

Vollständige Durchführung aller spezifizierten Optionen inkl. Permutationen von Reihenfolgenhängig

Parallele Abarbeitung mehrerer komplexer Funktionen

Schnelle Suche nach spezifischen Suchworten und ihren logischen Verknüpfungen

3) Planung und Entscheidung

Voraussage und Antizipation komplexer Abläufe

Adaptivität, schnelles Lernen durch Rückmeldung

Induktives Schließen

Lösung unvollständig spezifizierter oder neuer Probleme

Komplexe Entscheidungen auch bei unvollständiger oder widersprüchlicher Information

Exakte Wiederholung spezifizierter Prozesse mit großen Datenmengen (z. B. Matrizen)

Vollständige Durchführung deduktiver Schlüsse

Vollständige Suche nach Entscheidungsalternativen, die mit allen Daten kompatibel sind und Bewertung nach vorgegebener Strategie

4) Ausführung und Regelung

Adaptive Regelung bei wechselnden Randbedingungen

Schnelle Detektion relevanter Stellgrößen

Feed-forward-Regelung

Kontext-/Situationsspezifität

Effizientes Differenzieren und Integrieren

Schnelle Reaktionen auf vorher definierte Signalmuster und Parameter

Feed-back-Regelung

Kontext unabhängig

scheinlichkeit mit der Expositionszeit ansteigt. Dies stützt aber nur scheinbar das Dosismodell, denn durch die längere Expositionszeit steigt lediglich die Anzahl möglicher Trauma auslösender Situationen an, ohne dass sich – wie im Dosismodell impliziert, die individuelle Disposition verändert, indem sich etwa eine besondere „Anfälligkeit“ über die Zeit entwickelte.

Der Gegensatz zwischen diesen beiden Modellen inklusive der rechtlichen Implikationen verschwindet, wenn die Mensch-Maschine-Interaktion als ein System betrachtet wird, wie es Fitts [2] vorgeschlagen hat. Hollnagel (2000) hat dies, bezogen auf kognitive Funktionen, folgendermaßen dargestellt (Abb. 1).

Vor dem integrativen Ansatz von Fitts [2] haben in den Arbeitswissenschaften (occupational safety and health

sciences) biomechanische Ansätze zur Optimierung effektiver Kräfte bzw. zur Minimierung des resultierenden Verschleißes dominiert: Von Jastrzebowski [4], der den Begriff der Ergonomie ein-

führte, bis hin zum Konsensdokument „exposure assessment of upper limb repetitive movements“ von Colombini et al. [1], wo praktisch ausschließlich von einer Addition einzelgelenkbezogener

Abb.3 ► **Klassifikation der möglichen Formen von Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine in Abhängigkeit von der jeweiligen Leistungsfähigkeit. Typische industrielle Tätigkeiten sind in Ovalen angegeben**

Organisation der Arbeitsverteilung zwischen Mensch und Maschine

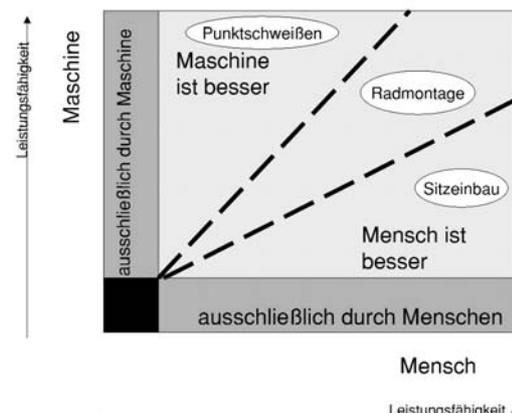


Tabelle 2

Klassische Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Schädigungen durch den Arbeitsplatz (OSHA)

Kraft

- Häufige gleichförmige Wiederholungen
- Erzwungene „unnatürliche“ (awkward) Haltungen
- Statische Haltungen
- Schnelle Bewegungen
- Belastung durch Kompression oder seitlichen Druck
- Vibration
- Niedrige Temperaturen

Daten ausgegangen wird. Methodisch-technische Voraussetzung für den Erfolg dieses Ansatzes war die von Muybridge [5] in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte Serienphotographie von Arbeitsabläufen (Abb. 2), wie sie v. a. in Taylors [7] „Scientific management“ (1911) zuerst umgesetzt wurde. Erweiterungen bzw. Ergänzungen stellen Film-aufnahmen, Lichtspuraufnahmen und elektronische dreidimensionale Bewegungsregistrierungen (wie z. B. „peak performance“ und andere) dar; allen diesen Ansätzen gemeinsam ist die Erfassung der menschlichen Bewegung relativ zur Maschine, damit wird ein Ansatz impliziert, der v. a. auf die Optimierung der adaptierbaren menschlichen Bewegungsabfolge abhebt und nur im Falle sogenannter unphysiologischer Positionen oder Bewegungen auf die zu verändernde Maschinengestaltung.

Wie sehr diese auf Kräfte und Krafteinsatz konzentrierte Sicht der Arbeitsgestaltung heute noch bestimmend ist, zeigt die fast ausschließliche Berücksichtigung von Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) im OSHA-Dokument 3125 „Ergonomics: the study of work“ (2000).

Spätestens aber mit der Entwicklung programmierbarer Produktionssysteme (erstes Beispiel der Jacquard-Mechanismus für Brokatwebstühle von ca. 1830) und der Entwicklung von Servomechanismen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stellte sich die Frage nach einer optimalen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, d. h. wo und nach welchen Kriterien ist der Mensch besser und wo die Maschine, dementsprechend postulierte Fitts 1951

Tabelle 3

Originalbericht der BWW AG zur Einführung eines Roboters zur Einpassung von Sitzen (Automatisierung „Sitze Einlegen“)

Gründe für Automatisierung

- Ein E46-Sitz wiegt durchschnittlich ca. 30 kg (maximal 40 kg). Früher musste ein Mitarbeiter den Sitz von der Palette heben, ihn zum Fahrzeug tragen und ihn (in gebeugter Haltung) ins Fahrzeug einlegen ohne dabei den Sitz, bzw. das Fahrzeug zu beschädigen (Kratzer, Beulen etc.). Jeder Mitarbeiter musste an dieser Station also ca. 12.600 kg/Arbeitstag (420 Fzg./Schicht, 1 Sitz/Fzg.*30 kg) aus eigener Kraft in ergonomisch ungünstiger Haltung schleppen. Laut Gesundheitsdienst und Betriebsrat ist diese Tätigkeit auf Dauer gesundheitsschädlich (Rückenschäden etc.). Der Arbeitsplatz wurde somit als „rot“ eingestuft, d. h. es bestand dringender Handlungsbedarf um die Mitarbeiter von dieser Tätigkeit zu befreien

Aufgabe

- Das Einlegen der Sitze musste automatisiert werden, um den roten Arbeitsplatz zu beseitigen

Planung/Realisierung: Bei zahlreichen Untersuchungen stellte sich heraus, dass für die Automatisierung folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

- Der Roboter (KUKA, KR125) soll die Sitze an einem Punkt greifen, der bei allen Sitzvarianten gleich ist und möglichst nah am Schwerpunkt des Sitzes liegt → Das Sitzgestell zwischen Sitzfläche und Lehne ist als Greifpunkt für den Roboter geeignet. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten können durch konstruktive Maßnahmen am Greifer ausgeglichen werden
- Anlieferpositionen der Sitze auf der Palette müssen immer gleich sein → Zentrierung der Sitzschienen auf den Paletten (vor Entnahme der Sitze mit Kameras kontrolliert) und Zentrierung der Paletten an der Entnahmestelle
- Die Fahrzeuge/C-Gehänge müssen in der Linie sehr genau positioniert werden (±5 mm) → Feinpositionierung mit mehreren induktiven Schaltern und deren permanente Überwachung während des Einlegens
- Da der Bewegungsfreiraum im Fahrzeug sehr beschränkt ist, muss gewährleistet sein, dass die Sitze im Anlieferungszustand immer gleich eingestellt sind (Lehnenneigung, Kopfstützenposition, Sitzflächenhöhe, Sitzlängsverstellung, etc.) → Einstelllehren beim Sitzlieferanten → Abtasten der Sitze durch den Roboter vor der Entnahme
- Da auch der Fahrersitz durch die Öffnung der ausgebauten Beifahrertür eingelegt wird, müssen im Fahrzeuginnenraum alle beweglichen Störkonturen (Armauflage, Lenksäulenverstellung, Schalthebel, etc.) in eine definierte Lage gebracht werden → Überprüfen des Fahrzeuginnenraums beim Einlauf des Fahrzeugs in die Roboterzelle
- Es muss sichergestellt werden, dass die entnommenen Sitze auch tatsächlich zu dem positionierten Fahrzeug gehören → Sowohl die Fahrzeuge, als auch die Sitzepaletten sind mit Datenträgern ausgestattet, die in der Roboterzelle vor Entnahme der Sitze ausgelesen werden. Die Daten werden per Funk an die Leitsteuerung übertragen und dort auf Gleichheit geprüft, bevor der Roboter die Sitze entnehmen darf
- Da die im Werk Regensburg gefertigten Fahrzeugvarianten unterschiedliche Abmessungen und Störkonturen haben und somit auch der Roboter variantenspezifische Programme abfährt muss sichergestellt sein, dass das zu dem aktuellen Fahrzeug gehörende Roboterprogramm gestartet wird → Mittels Lichtschranken wird die aktuelle Fahrzeugvariante erkannt und mit den Daten der Leitsteuerung verglichen, bevor die Sitze eingelegt werden

Tabelle 3 (Fortsetzung)

Originalbericht der BMW AG zur Einführung eines Roboters zur Einpassung von Sitzen (Automatisierung „Sitze Einlegen“)

<p>Kenndaten (Stand 06/2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bearbeitungszeiten: - Fahrersitz (Abtasten/Entnahme/Einlegen): ca. 34 s - Beifahrersitz (Abtasten/Entnahme/Einlegen): ca. 28 s Durch fast paralleles Ein- und Ausfordern der Fahrzeuge und der Sitzpalette wird eine Gesamttaktzeit von ca. 65 s erreicht • Verfügbarkeit: Derzeit werden ca. 840 Fahrzeugen pro Tag produziert; d. h. es müssen 1680 Sitze/Tag eingelegt werden, von denen der Roboter ca. 15 nicht einlegen/entnehmen kann, weil z. B. die Einstellung oder die Positionierung der Sitze nicht passt. Die Fehlerrate liegt also unter 1%
<p>Ergebnis der Automatisierung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Der „rote Arbeitsplatz“ ist abgeschafft → das Ziel der Maßnahme ist erreicht • Durch die Automatisierung wurden einige Mitarbeiter, die die Tätigkeit früher manuell erledigen mussten, durch gezielte Maßnahmen (z. B. Roboterschulungen etc.) zu Anlagenführern weiterqualifiziert, <i>was sich sehr stark auf deren Verantwortungsbewusstsein und Selbstwertgefühl ausgewirkt hat [persönliche Meinung des Autors].</i> Die Anlage läuft nun bereits seit mehreren Jahren

in seinem systemischen Ansatz die optimale Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, zu diesem Zweck stellte er aufgrund des vorliegenden technischen und psychologischen Wissens erste sog. *maba-maba*-Listen auf (*men-are-better-at machines-are-better-at*); in dieser systemischen Betrachtung stehen nicht mehr Einzelbewegungen bezogen auf Gelenke im Vordergrund, sondern komplexe Verhaltens- bzw. Funktionsabläufe; in Tabelle 1 wird der aktuelle Stand zur optimalen Allokation von Funktionen auf Menschen bzw. Maschinen wiedergegeben.

Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass generell alle perzeptuellen, kognitiven und motorischen Tätigkeiten, die sich genau hinsichtlich der anzuwendenden Regeln und der erforderlichen Sinne berechnen lassen, zu einer Automatisierung geeignet sind; speziell repetitive Bewegungen mit hohen Anforderungen an Präzision und Kraft können dauerhaft besser von Maschinen übernommen werden, dies impliziert, dass die aus derartigen Belastungen resultierenden Muskel-Skelett-Schädigungen zurückgehen werden. Ganz allgemein lässt sich die optimale Arbeitsteilung entsprechend dem in Abb. 3 gezeigten Schema darstellen.

Heutige Umsetzung des integrierten Ansatzes der Arbeitsgestaltung

In modernen Fertigungsanlagen wie z. B. im BMW-Werk Regensburg oder im Porsche-Werk in Stuttgart-Zuffenhausen sind die Arbeitsplätze und -abläufe auf der Grundlage dieser Modellierung der Mensch-Maschine-Interaktion gestaltet. Die dortigen Erfahrungen zeigen, dass bei einer generellen Anwendung dieser Prinzipien der Arbeitsplatzgestaltung die „klassischen“ Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Schädigungen in Zukunft an Bedeutung verlieren werden, weil Dosisüberschreitungen nicht mehr zu erwarten sind. Diese Tendenz zeigt sich schon in der Statistik der Unfälle, die zu Schädigungen im Muskel-Skelett-Apparat mit Arbeitsausfall geführt haben: In den USA sind diese Zahlen von 763.000 in 1993 auf 582.000 in 1999 zurückgegangen.

Die „klassischen“ Risikofaktoren, wie von der OSHA den Standards zugrunde gelegt sind, finden sich in Tabelle 2. Es ist interessant anzumerken, dass in der Missbilligungserklärung des US-Kongresses hinsichtlich der OSHA-Standards (20.03.2001), der zum Rückzug dieser Standards durch Präsident Bush geführt hat, vor allem auf Durchführbarkeit und Kosten speziell für kleinere Unternehmen abgehoben wird, nicht aber auf die Notwendigkeit eines erweiterten

wissenschaftlichen Ansatzes, der den Änderungen in der Arbeitsgestaltung Rechnung trägt.

Während die Schädigungen aufgrund dieser Faktoren v. a. bei Arbeitsplätzen auftreten, die prinzipiell für Automatisierung geeignet sind, gewinnen auf der anderen Seite Überwachungs-, Kontroll- und Manipulations-tätigkeiten an Bedeutung, wo entweder Risikofaktoren nicht durch die Arbeitstätigkeit oder die Arbeitsgestaltung verursacht werden, sondern Ergebnis z. B. von mentaler Belastung, Vigilanzanforderungen etc. sind, oder wo eigentlich der Mensch besser in der Lage ist, eine Funktion zu erfüllen, aber dann einem zu hohen Traumarisiko ausgesetzt ist.

Ein Beispiel für Aufgaben mit hohem Traumarisiko, wo der Mensch der Maschine überlegen ist, sind Positionierungsaufgaben mit komplexen Trajektorien, wie sie z. B. beim Transportieren von Geräten in engen Räumen mit komplizierter Geometrie auftreten; in Tabelle 1 sind die dabei beteiligten Funktionen kursiv gedruckt. Aufgrund ihrer sensumotorischen Koordinationsleistungen sind Menschen in der Lage, sehr schnell und fehlerfrei geeignete, d. h. der Geometrie angemessene Trajektorien zu finden, Rotationen der zu transportierenden Geräte im Raum vorzunehmen und Beschleunigungskräfte effektiv einzusetzen. Wie effektiv die sensumotorischen Koordinationsleistungen sind, kann man sich z. B. an der relativ leicht lernbaren Aufgabe verdeutlichen, einen umgedrehten Besen auf der flachen Hand zu balancieren und dabei durch einen Hindernisparcours zu gehen. Diese Leistung wird dadurch erreicht, dass solche koordinativen Leistungen nicht wie bei Maschinen durch Feed-back-Regulation, sondern durch eine Kombination von Feed-forward- und Feed-back-Regulation erreicht werden. Die Schwierigkeit, für solche Aufgaben Roboter zu programmieren, liegt darin, die für die Feed-forward-Regulation notwendigen Informationen und Regeln zu erfassen, da diese bei Experten in solchen Aufgaben nicht mehr explizit, sondern implizit repräsentiert sind und daher sprachlich nicht wiedergegeben werden können.

Im BMW-Werk Regensburg lag in der Fertigung ein solches Problem vor, nämlich beim Einbau von Sitzen, wo in Folge von „production on demand“ sehr viele unterschiedliche Karosserieförmungen

Fazit für die Praxis

jeweils spezifische Koordinationsleistungen bei der Einbringung der Sitze in die Karosserie erfordern (die dafür notwendigen Operationen sind in Tabelle 1 kursiv gedruckt). Wegen des Gewichts der Sitze und der beim Einfügen auftretenden Torsionen etc. traten bei den dort Tätigen gehäuft Muskel-Skelett-Schädigungen auf.

Im Folgenden ist das Dokument wiedergegeben (Tabelle 3), in dem seitens der BMW AG die Vorgehensweise bei der Lösung dieses Problems dargestellt wird. In diesem Bericht werden die Kosten nicht angeführt, die durch das „Trainieren“ des Roboters entstanden sind; diese Kosten betreffen die Lernzeit und die bei Fehlern auftretenden Schäden. Solche Kosten machen es zweifelhaft, ob eine derartige erfolgreiche Strategie der Arbeitsplatzgestaltung auch in kleineren und mittleren Unternehmen bei geringeren Stückzahlen einsetzbar ist. Dazu kommt die hohe Spezifität der Lösung, die nur bei Produkten anwendbar sein dürfte, die wie Automobile einen vergleichsweise langen Entwicklungs- und Produktionszyklus haben.

Das dargestellte Modell zeigt, wie ein Arbeitsplatz mit Hilfe der Robotertechnik umgestaltet werden kann, an dem gesundheitliche Störungen auftreten, die nicht durch das klassische Dosismodell erklärbar sind. Die hohen Anforderungen mit den resultierenden hohen Kosten, die dabei an die Robotertechnologie gestellt werden erklären sich aus der Tatsache, dass hier eine Arbeit automatisiert wird, die eigentlich der Mensch besser leisten kann als eine Maschine. Anzustreben wären daher Lösungen, bei denen die Kompetenzen des Menschen (hier: Manipulation sperriger Objekte in einer räumlich komplexen Situation) erhalten aber gleichzeitig gesundheitlich problematische Bewegungs- und Belastungsabläufe verhindert werden.

Eine relativ generalisierbare Lösung für die maschinelle Unterstützung solcher Tätigkeiten könnte im Einsatz von Techniken der virtuellen Realität liegen, wie sie zurzeit im Rahmen auch von EU-Projekten (z. B. VIRTUAL) erprobt werden: Hier lassen sich die in Tabelle 1 kursiv angemerkten Funktionen aufrechterhalten, in denen der Mensch den Maschinen überlegen ist, diese werden aber durch ein maschinelles Exoskelett bzw. informationelle Assistent unterstützt, das dafür sorgt, dass sich die Belastungen und Rotationen stets im sicheren Bereich halten, um so das Auftreten von situativ bedingten Traumata zu verhindern.

Literatur

1. Colombini D (2000) Exposure assessment of upper limb repetitive movements: A consensus document. In: Karwowski W (ed) International encyclopedia of ergonomics and human factors. Taylor & Francis, London, pp 52–66
2. Fitts PM (1951) Human engineering for an effective air navigation and traffic control system. National Research Council, Washington, DC
3. Haken H (1984) Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik – die Lehre vom Zusammenwirken. Ullstein, Berlin
4. Jastrzebowski W (1857) Grundriss der Ergonomie, oder die Lehre von der Arbeit, gestützt auf die aus der Naturgeschichte geschöpfte Wahrheit. (aus dem Polnischen)
5. Muybridge E (1955) The human figure in motion. Dover, New York
6. OSHA (2001) Bericht der Occupational Safety and Health Administration der US-Regierung. USA
7. Taylor FW (1911) Principles of scientific management. Harper & Row, New York
8. Weigl C (1995) A training program to minimize the strain on the muscle-joint system at the production line of an automotive industry plant. In: Aghazadeh F (ed) Advances in industrial ergonomics and safety VI. Taylor & Francis, London, pp 365–370