

# Ergonomie und Wirtschaftlichkeit - "rechnet" sich die Arbeitsgestaltung?

von K. Landau

---

## Mit freundlicher Genehmigung aus

### angewandte Arbeitswissenschaft

Zeitschrift für die Unternehmenspraxis, Nr. 172, S. 49-67 (2002)

herausgegeben vom [Institut für angewandte Arbeitswissenschaft](#) (IfaA)

---

#### Kurzgliederung

- 1 *Konsequenzen mangelhafter Arbeitsgestaltung*
- 2 *Zusammenhang zwischen Arbeitgestaltung, Leistungseinbußen und Ausfallzeiten*
- 3 *"Rechenbarkeit" ergonomischer Arbeitsgestaltung*
- 4 *Fallbeispiele betriebsepidemiologischer Untersuchungen*
- 5 *Ausblick*
- 6 *Literatur*

#### Zusammenfassung

*Ein Großteil der arbeitsbedingten Erkrankungen und Unfälle in Industrie, Handel und Dienstleistung wird durch mangelhafte Arbeitsgestaltung und -organisation mit verursacht. Die Arbeitsausfälle und die dadurch für die Unternehmen entstehenden Kosten sind enorm. Oft können bereits mit kleinen Investitionsmaßnahmen große Erfolge in der Ergonomie und Sicherheit der Arbeitsplätze erreicht werden.*

*Dieser Überblicksartikel geht auf die Zusammenhänge zwischen Arbeitsgestaltung, Leistungseinbußen und Ausfallzeiten ein. Anhand von Fallbeispielen werden häufige Gestaltungsmängel an charakteristischen Arbeitsplätzen und ihre Folgen für Leistung und Gesundheit aufgezeigt. Die Kostenwirkungen solcher Gestaltungsfehler werden abgeschätzt.*

#### Schlüsselwörter

*Arbeitgestaltung, Ausfallzeit, Ergonomie, Leistungseinbuße, Kosten-Nutzen-Rechnung, Wirtschaftlichkeit*

# 1 Konsequenzen mangelhafter Arbeitsgestaltung

Betrachtet man die Situation der Arbeitsunfähigkeits(AU)tage (Abb. 1), dann wird deutlich, dass der gesellschaftliche Beitrag ergonomiegerechter Arbeitsplätze nicht unterschätzt werden kann: Muskel-Skelett-Erkrankungen und verletzungsbedingte Arbeitsunfähigkeit machen zusammen fast die Hälfte der AU-Tage aus.

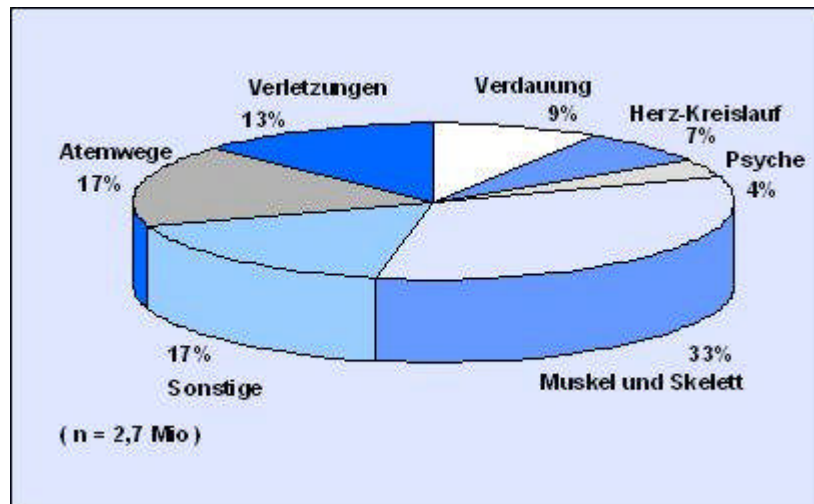


Abb. 1: Diagnosespektrum der Arbeitsunfähigkeit

Auch dem einzelnen Betrieb ist im Regelfall klar, dass krankheitsbedingter Personalausfall die Leistungsfähigkeit des Betriebes gegenüber dem Kunden mindert. Unter Umständen kann ein größerer Produktionsausfall auch existenzgefährdend sein. Allerdings wird häufig die Erkrankung zu wenig arbeitsbezogen und zu stark mitarbeiterbezogen gesehen. Wie sonst sollte man sich das Sparen bei kleinen Arbeitsschutzmitteln und technischen Gestaltungsmaßnahmen erklären? In unseren Betriebsbegehungen stellen wir oft fest, dass an Sicherheitsschuhen, Schutzhandschuhen usw. aber auch an höhenverstellbaren Arbeitstischen, Podesten, Armstützen usw. gespart wird oder aber dass die Einsicht in die Notwendigkeit dieser Maßnahmen (auch aus ökonomischer Sicht) fehlt.

So unterbleibt bei einem Mitarbeiter beispielsweise der Schutz der Hände mit einem Arbeitshandschuh für wenige Euro, stattdessen wird das Ausfallrisiko des Mitarbeiters im fünf- oder sechststelligen Euro-Bereich in Kauf genommen.

## 2 Zusammenhang zwischen Arbeitsgestaltung, Leistungseinbußen und Ausfallzeiten

### 2.1 Gestaltungsmängel und Verantwortungsbereiche

Es kann leicht anhand von Beispielen gezeigt werden, dass von einer systematischen und institutionalisierten ergonomischen Arbeitsgestaltung in der Mehrzahl der Betriebe nicht ausgegangen werden kann. Zum einen hat der Konstrukteur eines Bauteils, eines Erzeugnisses oder einer Vorrichtung oft nur unzureichend Kenntnis über das Arbeitssystem, in dem später seine Konstruktion eingesetzt wird. Zum anderen kann es auch bei ergonomisch optimierter Konstruktion eines einzelnen Systemelements zu

- Fehlentscheidungen bei der Selektion der weiteren Systemelemente und
- Kombinationsunverträglichkeiten zwischen den Systemelementen eines Arbeitssystems kommen.

Eine empirische Untersuchung zu ergonomischen Mängeln an Arbeitsplätzen zeigte folgende Mängelschwerpunkte (Gutberlet, 1990):

- Nichtbeachtung des Funktionsraumes der Extremitäten
- räumliche Behinderungen
- fehlende oder mangelhafte Verstellbarkeit
- Fehlen von Systemelementen (insbesondere Stützen)
- ungeeignete Formgebung in Bezug auf Verletzungsgefahren
- Nichtbeachtung der Sichtgeometrie
- mangelhafte Stabilität bzw. Fixierung von Objekten
- Mängel bezüglich der physikalisch-chemischen Umgebungseinflüsse

Ordnet man diese Untersuchung den Gestaltungsobjekten zu, dann ergibt sich die in Abb. 2 dargestellte Verteilung.

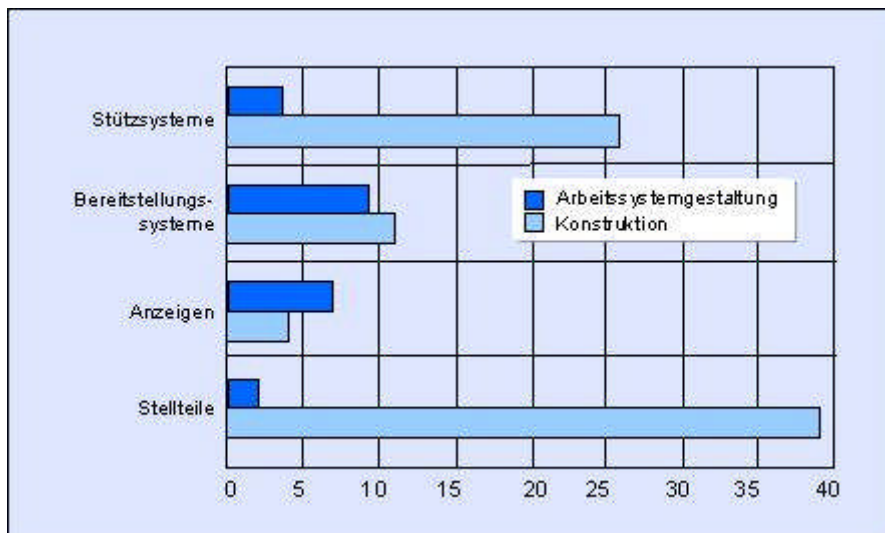


Abb. 2: Verteilung von  $n = 221$  Gestaltungsmängeln auf Gestaltungsobjekte und Verantwortungsbereiche (nach Gutberlet 1990)

Es ist also offensichtlich, welch großes Augenmerk der anthropometrischen, bewegungs- und informationstechnischen Arbeitsgestaltung gebührt und wie wichtig auch die Bereitstellung von softwaregestützten Hilfen zur ergonomischen Arbeitsgestaltung ist. Die Folgen von Fehlern bei der Planung manueller Arbeitsplätze machen sich in der Regel erst in der Einsatzphase durch verminderte Leistung, ergonomisch nicht vertretbare körperliche Belastungen und unnötige Ermüdung, vor allem aber durch erhöhte Ausfallzeiten bemerkbar.

Um bereits in der Entwurfsphase fundierte Aussagen über die Effektivität von Arbeitsabläufen, deren Durchführbarkeit und deren ergonomische Qualität machen zu können, reichen herkömmliche statische Betrachtungen nicht aus. Es müssen dynamische Simulationen hinzukommen, also eine virtuelle Realität von Arbeitsplatz und Arbeitsablauf muss geschaffen werden.

Der ergonomisch geschulte, mit einer intelligenten Simulationssoftware arbeitende Planer verbessert damit nicht nur die Kosten-Nutzen-Relation von Arbeitsplätzen, er leistet auch einen Beitrag zur Sicherung der persönlichen Unversehrtheit und der sozialen Situation des einzelnen Mitarbeiters, also zu dessen - auch gesetzlich verbrieften - umfassenden gesundheitlichen Schutz am Arbeitsplatz.

### 3 „Rechenbarkeit“ ergonomischer Arbeitsgestaltung

#### 3.1 Wie lässt sich ergonomische Gestaltung "rechnen"?

Ohne Zweifel sind die betrieblichen Entscheider am besten von der Notwendigkeit einer ergonomischen Gestaltungsmaßnahme zu überzeugen, wenn der monetäre Nachweis des betrieblichen Nutzens gelingt.

Ausgangspunkt aus betriebswirtschaftlicher Sicht sind die klassischen Investitionsrechnungsverfahren, die zur Beurteilung von Investitionen und Projekten herangezogen werden. Hier sind z.B. die Kostenvergleichsrechnung, die Gewinnvergleichsrechnung, die Rentabilitätsrechnung als statische Verfahren sowie Kapitalwertmethode, Annuitätenmethoden usw. als dynamische Verfahren zu nennen. Hinzu kommen arbeitswissenschaftliche Kriterien, die aus den althergebrachten Verfahren dann tatsächlich eine erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR) machen. So ergeben sich im Regelfall komplexe, mehrstufige und integrative Verfahren. Solche Verfahren sind bereits Ende der siebziger Jahre in Großunternehmen angewendet worden.

Es handelt sich in der Regel um nutzwertanalytische Verfahren (vgl. z.B. *Zangemeister*, 1970), die die Maximierung des ‚Gesamtwertes‘ eines Arbeitssystems mit

$$G_j \rightarrow \text{Max}$$

zum Ziel haben. Dabei ermittelt man die Wertigkeit einer bestimmten Variante  $j$  eines Arbeitssystems zu

$$w_j = \frac{G_j}{w_{\max} \sum_{i=1}^n g_i} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot w_{ij}}{w_{\max} \sum_{i=1}^n g_i}$$

Im Zähler steht dabei die aufsummierte, im Regelfall gewichtete Merkmalsausprägung jeder Variante, im Nenner die Summe der möglichen Merkmalsausprägungen, mit dem maximalen Gewicht multipliziert.

Üblicherweise trennt man in der Höheren Konstruktionslehre (s. z.B. *Pahl, Beitz* 1993) oder der entsprechenden VDI-Richtlinie (*VDI 2225*, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren) nach technischen und ökonomischen Teil-Wertigkeiten auf. In unserem Fall empfiehlt sich die Ableitung einer dritten, ergonomischen Teil-Wertigkeit.

Gelegentlich wird auch zwischen sachbezogenen und personenbezogenen Arbeitssystemwert unterschieden; hierfür sind z. B. die Untersuchungen von *Metzger* (1977) für die Montageplanung ein Beispiel.

Neuere Beispiele zur Methodik der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung werden bei *Schweres* (1999) und *Zangemeister* (2000) dargestellt.

#### 3.2 Ergonomische "Kosten" konstruktiver und planerischer Entscheidungen

Die folgende Abb. 3 fasst Maßnahmen und erwartete Wirkungen von Arbeitsgestaltungs- und arbeitsmedizinischen Maßnahmen zusammen. In dem Diagramm werden auf den Koordinatenachsen aufgetragen: Kosten, Eingriff in die Organisationsstruktur und erwarteter Wirkungseintritt. Verschiedene Maßnahmen der Verhaltensprävention und der Verhältnisprävention werden - in vorwiegend qualitativer Art - als Ergebnis von mittlerweile über fünfzig am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt begleiteten Interventionsmaßnahmen am Arbeitsplatz dargestellt.

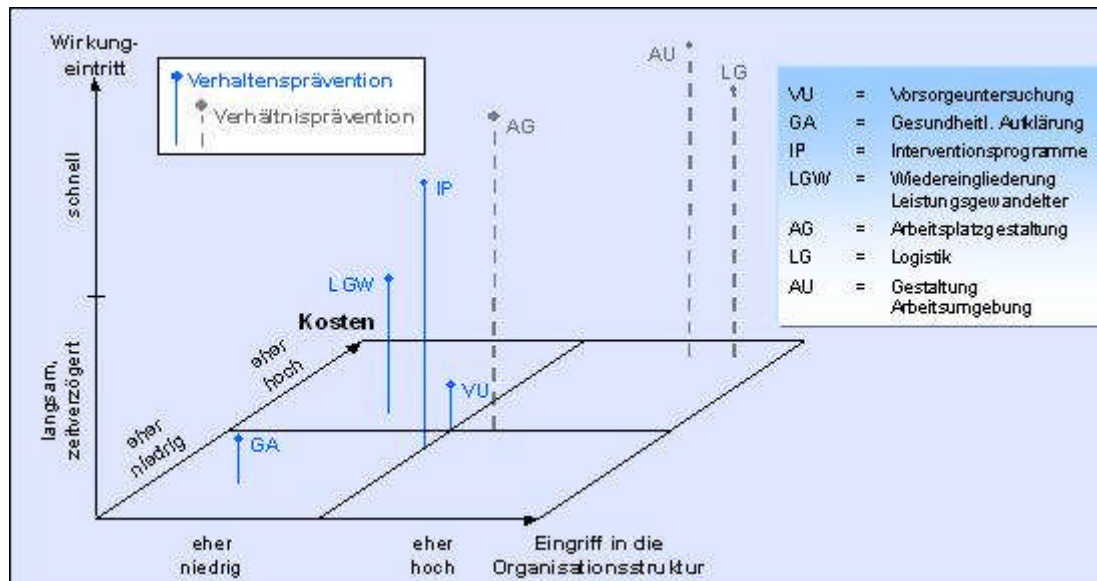


Abb. 3: Gesundheit am Arbeitsplatz - Maßnahmenvergleich

Es zeigt sich, dass die verhaltenspräventiven Maßnahmen im unteren bis mittleren Kostenspektrum liegen und weniger stark in die Organisationsstruktur eines Betriebes eingreifen. Der Wirkungseintritt ist - bis auf Interventionsprogramme - eher langsam und zeitverzögert. Methoden der Arbeitsplatzgestaltung, der Verbesserung in der Logistik sowie der Gestaltung der Arbeitsumgebung verursachen in den meisten Fällen höhere Kosten, greifen sehr stark in die Organisationsstruktur ein, haben jedoch den Vorteil, dass die Wirkungen sehr schnell eintreten können. Allerdings gibt es auch viele der Maßnahmen zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung mit ausgesprochen geringen Kosten, wie z. B. Bereitstellung eines Podestes, eines anderen Arbeitsstuhles, einer Fußstütze usw., so dass es fast sträflich wäre, auf diese Maßnahmen zu verzichten.

Möglichst bereits im Planungsstadium eines Arbeitssystems oder eines Produktes sollen die Wirkungen einer Gestaltungsmaßnahme auf den Mitarbeiter oder den späteren Benutzer eines Produktes prognostiziert werden können.

Hier haben wir jedoch bei der Beurteilung der langfristigen Erträglichkeit einer Gestaltungsmaßnahme bis auf den heutigen Tag erhebliche Defizite: Der Konstrukteur oder Fertigungsplaner ist in die Lage zu versetzen, für eine gewählte Gestaltungslösung die daraus resultierende energetische und informatorische Belastung analysieren und bewerten zu können. Der Konstrukteur muss also erkennen können, welches Ausmaß statischer und dynamischer Arbeit eine Gestaltungslösung impliziert. Die Folge einer solchen Lösung können bestimmte Körperhaltungen sein, statische Belastungen verschiedener Körperregionen, einseitige und schwere dynamische Arbeit ebenfalls verschiedener Körperregionen. Daraus leiten sich organismische Engpässe ab.

Es geht also um die schrittweise Untersuchung von Einfluss- und Wirkungsmechanismen zwischen

- Konstruktionsmerkmalen und Arbeitsformen,
- Arbeitsformen und organismischen Engpässen,
- Engpässen und Indikator-Variablen und schließlich
- Indikator-Variablen und möglichen arbeitsbedingten Erkrankungen (siehe Abb. 4).

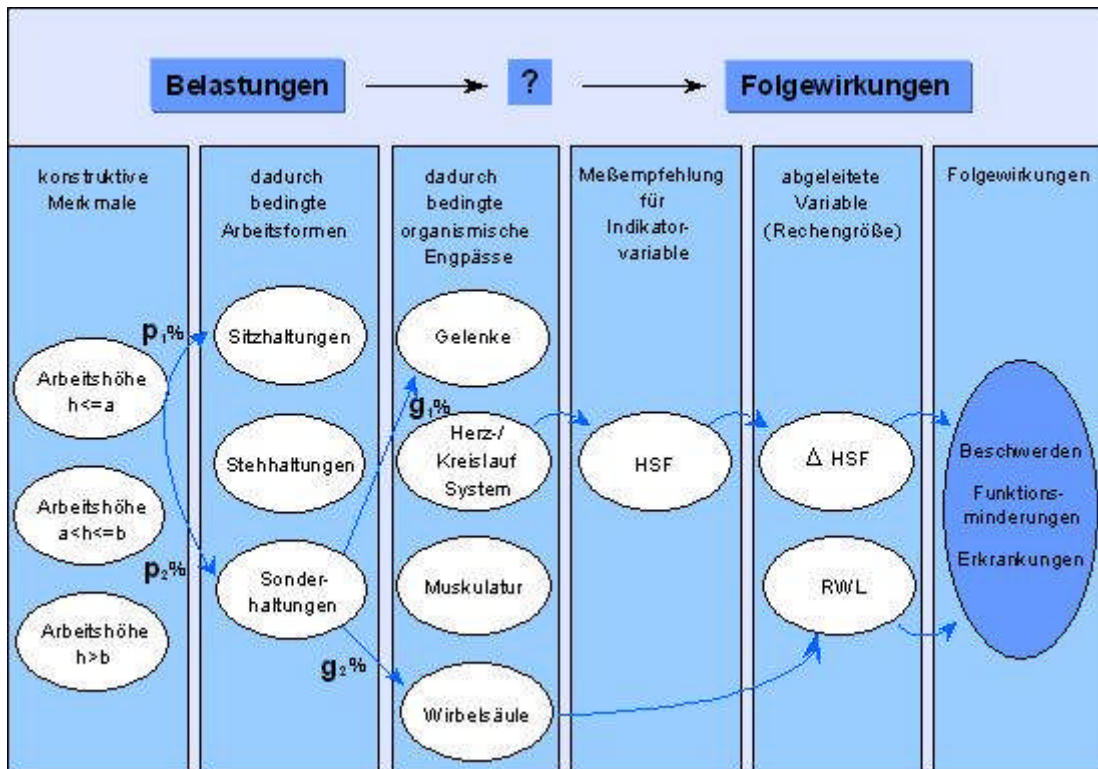


Abb. 4: Wirkungskettenmodell am Beispiel der Gestaltung der Arbeitshöhe bei der Flugzeugbeladung

Wir erforschen derzeit am Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt vor allem Belastungsfaktoren und ihre Wirkungen auf die untere Wirbelsäule, auf Hand-, Knie- und Schultergelenk. Für industrielle Tätigkeiten können hier bereits die ersten Modelle vorgewiesen werden, nicht jedoch für Bürotätigkeiten. Zwar gibt es für Bildschirmarbeiten bereits seit über zwanzig Jahren Berichte über gesundheitliche Beschwerden und medizinische Befunde, jedoch ist in den seltensten Fällen eine statistische Absicherung zu den auslösenden oder mitwirkenden Belastungsfaktoren gelungen.

Abb. 4 stellt also nur exemplarisch (für das Beispiel einer Flugzeugbeladung) eine Analyse und Gestaltungskette dar ( $p_i$  und  $g_i$  sollen darauf hinweisen, dass es sich hier um Wahrscheinlichkeitsaussagen handelt;  $\Omega$  HSF: Arbeitsherzschlagfrequenz; RWL: Empfohlene Lastgrenze). Rückkopplungen sind noch nicht eingezeichnet, berücksichtigt wurden nur ausgewählte, ausschließlich ergonomische Sachverhalte. Da jeder Knoten nur einen unmittelbaren Vorgänger hat, liegen hier keine allgemeinen Netzwerke vor, sondern Bäume - genauer gesagt Kausalbäume -, die wahrscheinlichkeitstheoretisch behandelt werden können.

Manche der Relationen zwischen Körperhaltungen und organismischen Engpässen können durch gesicherte Erkenntnisse belegt werden, z. B. bei den Körperhaltungen durch Angaben von *Sämann* (1970), bei statischer Arbeit durch die *Rohmert'schen* Gesetze. Bei den anderen Relationen werden jedoch beachtliche Forschungsdefizite deutlich, oft können nur Bereichsangaben gemacht werden oder Ungleichungssysteme für Dauerleistungs-, Erträglichkeits- oder Schädigungsgrenzwerte aufgestellt werden.

Diese Analysen und Gestaltungsketten sind in mancher Hinsicht mit ihren Vorkoppelungen vergleichbar mit den Ansätzen *Ehrlenspiels* (1985) zum kostengünstigen Konstruieren. Er verfolgte das Ziel der Kostenfrüherkennen beim Konstruktionsprozess.

Man kann nun fragen, ob diese Analyse- und Gestaltungsketten mit einer Früherkennung ergonomischer Folgekosten vom Konstrukteur nicht zuviel verlangen. In der Tat sind profun-

de arbeitswissenschaftliche Kenntnisse erforderlich. Junge Konstrukteure wären möglicherweise damit überfordert; lösbar ist dieses Problem deshalb nur im Team mit einem ergonomisch geschulten Arbeitsgestalter unter der Verwendung rechnergestützter Systeme.

Hinzu kommen aber noch die generellen Schwierigkeiten bei der Erklärung arbeitsbedingter Erkrankungen.

Die in Abb. 4 skizzierten Wirkungsketten können bestenfalls als Einstieg in eine makroskopische Wirkungserklärung verstanden werden. Die Entstehung arbeitsbedingter Erkrankungen ist im Regelfall multidimensional und nicht eindimensional zu verstehen. Die Abhängigkeiten in der Breite bzw. Variation der Arbeitsaufgaben, in der Länge des Arbeitszykluses, im Schicht- und Pausenregime müssen ebenfalls mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Verknüpfungen berücksichtigt werden. Hinzu kommen die nicht zu vernachlässigenden Einflüsse der Privatsphäre - Geschlecht, Alter, Konstitution, aber auch Lebensgewohnheiten (von Sport bis zum Nebenerwerb) - bei der derzeitigen epidemiologischen Datenlage sicher ein aussichtsloses Unterfangen.

Im folgenden Abschnitt werden exemplarisch derzeit übliche Erklärungsversuche (und deren Defizite) zum Entstehen arbeitsbedingter Erkrankungen am Beispiel des Hand/Arm-Systems gezeigt.

## 4 Fallbeispiele betriebsepidemiologischer Untersuchungen

### 4.1 Vorbemerkung

Betriebe, die sich für die Förderung des Humankapitals engagieren, fragen häufig nach den Zusammenhängen zwischen den *Gestaltungsparametern* und möglichen *arbeitsbedingten Erkrankungen*. Dabei genügen Berufsangaben und Erkrankungsbezeichnungen keinesfalls, da diese Zusammenhänge für die Optimierung des Arbeitsplatzes und des Arbeitsablaufs zu unspezifisch sind. Nahezu keine dem Verfasser bekannte Studie beinhaltet jedoch hinreichend präzise technisch/organisatorische Angaben, die detaillierten ärztlichen Befunden gegenübergestellt würden. Im besten Falle werden einige typische Verrichtungen (z.B. „häufiges Drehen und Wenden“) genannt, die jedoch nur einen ersten Eindruck vermitteln können und auf andere Betriebe oder gar Branchen nicht übertragbar sind, da weitere Präzisierungen (z.B. bei körperlicher Arbeit Kräfte, Drehmomente, Winkel usw.) fehlen und darüber hinaus ceteris paribus-Bedingungen (die übrigen, nicht speziell analysierten Faktoren bleiben konstant) nicht eingehalten werden können.

Konstruktive Arbeitsgestaltungshinweise fehlen im Regelfalle ganz. Das hängt damit zusammen, dass diese Untersuchungen von Epidemiologen, Arbeitsmedizinern oder Ärzten in der Rehabilitation durchgeführt werden – Personen also, die medizinisch-kurativ dokumentieren und nicht ingenieurmäßig-konzeptiv.

### 4.2 Synopsen

Dem Leser soll hier ein Eindruck zur Datenlage anhand weniger synoptischer Untersuchungen vermittelt werden. Der Verfasser beschränkt sich dabei auf Erkrankungen des Schulter/Arm-Systems.

*Landau* u.a. (1996 a/1996 b) geben eine Literaturübersicht zu Studien der letzten Jahrzehnte, die degenerative HWS-Erkrankungen betreffen.

Eine erhöhte Prävalenz (s. nachfolgende Erläuterungen) für HWS-Erkrankungen zeigen z.B.:

- Binnenfischer
- Waldarbeiter, Holzfäller
- Bergleute im Vergleich zu Büroangestellten
- Fleisch(ab)träger
- Schlachthausarbeit
- Orchestermusiker insbesondere Geiger
- Zahnärzte

Keine signifikant höhere Prävalenz für HWS-Erkrankungen bzw. für das Schulter-Arm-Syndrom zeigen:

- Bergleute
- Fahrer
- Maurer
- Beton-, Bauarbeiter
- Gleisbauer usw.

Stattdessen werden in diesen Gruppen verstärkt LWS-Erkrankungen nachgewiesen.

Diverse Studien zu Prävalenz- und Inzidenzberechnungen bei Muskel-Skeletterkrankungen hat z.B. auch *Stößel* u.a. (1990) für Kranken- und Altenpflegeberufen zusammengetragen, doch wird hier nicht nach HWS-, LWS- und BWS- bzw. Schulter-Arm-Syndrom differenziert

Eine umfangreiche inhaltliche und auch statistische Auseinandersetzung mit betriebsepidemiologischen Auswertungen wird von *Kuorinka* und *Forcier* (1995) vorgenommen. Hieraus sei exemplarisch das Schulter-/Arm-Systems angesprochen:

In der für weltweit vorhandene Datensätze durchgeführten Synopse werden für verschiedene Berufsgruppen (Spalte 1 in Tabelle 1 ff.) möglicherweise arbeitsbedingte Erkrankungen (Spalte 2) dargestellt. Bei den von Kuorinka und Forcier gesammelten Daten handelt es sich im Regelfall um Beobachtungs- und nicht um Interventionsstudien. Das heißt, im Rahmen der Untersuchung wurden keine gestalterischen oder medizinischen Maßnahmen ergriffen. In *Kohortenstudien* wird zunächst die Inzidenz (Spalte 3 in Tabelle 1ff.), also das Vorkommen der jeweiligen Erkrankung und danach das relative Risiko (Spalte 4) berechnet, d.h. der Faktor, um den das Erkrankungsrisiko in der Untersuchungsgruppe größer als in einer Kontrollgruppe ist. Ein Wert = 1 für das relative Risiko bedeutet, dass offenbar kein Zusammenhang zwischen Arbeitsbedingungen und Erkrankung unterstellt werden kann. In der Kohortenstudie werden Gruppen danach ausgewählt, ob sie bestimmten Arbeitsbedingungen exponiert sind oder nicht, in der *Fall-Kontroll-Studie* vergleicht man dagegen Gruppen nach den aufgetretenen Erkrankungen. Der Odds-Ratio-Wert (Spalte 4) ist ebenfalls ein Schätzwert für das Erkrankungsrisiko, allerdings hier im Vergleich zweier Gruppen, die beide exponiert waren, aber nur bei einer Gruppe ist es zur Erkrankung gekommen. In der Prävalenzstudie wird die Prävalenz (Fallrate, Spalte 3) ebenfalls zwischen exponierter Gruppe und Kontrollgruppe berechnet, im Gegensatz zur Kohortenstudie wird hier jedoch keine Langzeituntersuchung, sondern eine einmalige zeitpunktbezogene Betrachtung durchgeführt.

Ab Spalte 5 in den folgenden Tabellen beginnt die Interpretation des Verfassers, zunächst hinsichtlich der Ursachenkombination (Spalte 5), dann der erwarteten Ausfallzeit (Spalte 6) und schließlich bezüglich der Kosten-/Nutzen-Relation von Maßnahmen der Arbeitsplatz- und Prozessgestaltung (Spalte 7) sowie verhalten-ergonomischer Maßnahmen (Spalte 8). Dabei ist die Ursachenanalyse äußerst vorsichtig zu handhaben und mit extremer Zurückhaltung zu interpretieren. Verallgemeinerungen über den untersuchten Betrieb hinaus sind im Regelfall nicht zulässig. Ebenso gelten eine Reihe von Einschränkungen betriebsepidemiologischer und statistischer Art, die hier aus Platzgründen nicht dargestellt werden können (vgl. dazu *Kuorinka* und *Forcier* 1995).

Tabelle 1 zeigt für verschiedene Datensätze die Erkrankungsrisiken in der *Schulterregion* (Schleimbeutelentzündung, Bicepssehnenentzündung, Engpasssyndrom oder Entzündung der Sehne im Schulterbereich, verschleißbedingte Gelenkerkrankung).

Die Prävalenzen sind vor allem bei den genannten Werftarbeiten, bei verschiedenen Industrietätigkeiten sowie in der Nahrungsmittelindustrie außerordentlich hoch.

In fast allen Fällen kann die Kombination aus ungünstigen Körperhaltungen und hochrepetitiven Bewegungen als mögliche Ursache vermutet werden. Beim Fleisch schneiden und bei




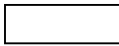
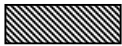


Packarbeiten kommt der hohe Krafteinsatz hinzu; bei Nährarbeiten ist die erforderliche Präzision der Finger-/Hand-Bewegungen als weiterer Risikofaktor zu benennen.

*Arbeitsgestaltungsmaßnahmen* bieten sich bei den Packarbeiten und den Nährarbeiten an. Es handelt sich hier in der Regel um den Einsatz ergonomisch sinnvollerer Arbeitstische. Der dafür erforderliche Mitteleinsatz ist überschaubar, so dass die Kosten-/Nutzen-Relation sehr positiv zu beurteilen ist.

Die i.d.R. am voluminösen, am Haken hängenden Tier durchgeführten Schneidarbeiten in Fleischfabriken sind arbeitsgestalterisch nicht ganz einfach zu verbessern; deshalb wird hier die Kosten-/Nutzen-Relation im mittleren Bereich einzuordnen sein.

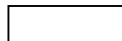
*Verhaltensergonomie* ist sicher in allen hier beschriebenen Fällen eine erwägenswerte Maßnahme, sie kann die Probleme bei Ablauf- und Arbeitsplatzgestaltung jedoch allein nicht lösen. Insbesondere bei Packarbeiten mit extremer Repetitivität, wie in Tabelle 1 gezeigt, wird die Kosten-/Nutzen-Relation verhaltensergonomischer Maßnahmen negativ beurteilt, da sie Betrieb und Mitarbeiter in einer falschen Sicherheit wiegen kann, alles Notwendige zur Gesunderhaltung der Belegschaft getan zu haben, obwohl bei solchen Packarbeiten die Lösung nur in der ergonomischen Optimierung des Packarbeitsplatzes und nicht im Ertragen solcher hoher Wiederholungsfrequenzen liegen kann.

1	2	3	4	5	6	7
Tätigkeit bzw. Beruf	Krankheitsbezeichnung	Prävalenz	Relatives Risiko (Odds Ratio)	Vermutete Ursache (n)	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Arbeitsgestaltung	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Verhaltensergonomie
Schweißer (Werft)	Entzündung der Sehne im Schulterbereich	18	13	Langandauernde, statische asymmetrische Überkopfarbeit		
Stahlarbeiter (Werft)	Entzündung der Sehne im Schulterbereich	16	11	Langandauernde, statische und dynamische, vorw. asymmetrische Überkopfarbeit		
Industriearbeiter (versch. Branchen)	Verschleißbedingte Gelenkerkrankung	8	5,4	Hohe Betätigungsfrequenz (15/min) und/oder hoher Krafteinsatz im Handbereich (ca. 30 N)	?	
Packerinnen an Band (Nahrungsmittelindustrie)	Entzündung der Sehne im Schulterbereich	9	2,6	25 000 Wiederholungen/Schicht, Zwangshaltungen, stat. Haltearbeit		
Verpacker (Textil + Bekleidung)	Schleimbeutelentzündung, Bicepssehnenentzündung, Engpasssyndrom der Sehne im Schulterbereich	2,7	2,4	Zwangshaltungen, Wiederholungsfrequenzen, Krafteinsatz		
Nährarbeiter	Schleimbeutelentzündung, Bicepssehnenentzündung, Engpasssyndrom der Sehne im Schulterbereich	2,5	2,2	Zwangshaltungen, Wiederholungsfrequenz, Präzision		

Boarding	Schleimbeutel-entzündung, Bicepssehnen-entzündung, Engpasssyndrom der Sehne im Schulterbereich	2,4	2,1	Nicht spezifiziert	?	
Instandhaltungs- u. Reinigungs-kräfte	Schleimbeutel-entzündung, Bicepssehnen-entzündung, Engpasssyndrom der Sehne im Schulterbereich	2,1	1,9	Zwangshaltungen, Wiederholungsfrequenzen, Krafteinsatz		
Mitarbeiter Fleischfabrik	Entzündung der Sehne des Musculus supraspinatus	3	k.A.	Ungeführte Bewegungen unter stark asymmetrischen Zwangshaltungen, mit Krafteinsatz		

?) Stichprobe für Gestaltungsaussage zu heterogen

negativ



erwägenswert



positiv















Tab.: 1: *Schultererkrankungen, vermutete arbeitsbedingte Ursachen und Kosten/Nutzen-Relation von Arbeitsplatzgestaltung und Verhaltensergonomie (Daten in Spalten 1 bis 3 entstammen Kuorinka, Forcier 1995)*





Tabelle 2 zeigt für verschiedene Datensätze die Erkrankungsrisiken in der *Ellenbogenregion*. In fast allen Fällen kann die Kombination aus ungünstigen Körperhaltungen und hochrepetitiven Bewegungen als mögliche Ursache vermutet werden. Beim Fleisch schneiden und bei Packarbeiten kommt der hohe Krafteinsatz hinzu; bei Nährarbeiten ist die erforderliche Präzision zu nennen.




Arbeitsgestaltungsmaßnahmen bieten sich sowohl aus humanitären als auch wirtschaftlichen Erwägungen gleichermaßen bei den Packarbeiten am Band an. Oft werden durch ergonomisch ungünstige Bandkonstruktionen vorgeneigte und/oder tordierte Oberkörperhaltungen über längere Zeiträume erzwungen. Die Kombination von Zwangshaltungen mit Krafteinsatz und repetitiven Körperbewegungen erklärt den Wert von 6,4 für das relative Risiko. Die übrigen Studien in der Fleischverarbeitung – mit zum Teil Werten zwischen 6 und 10 für das relative Risiko – empfehlen ebenfalls Maßnahmen zur Arbeitsplatz- und –ablaufgestaltung, hier sind jedoch höhere Investitionen erforderlich, um die großen Arbeitsobjekte (z.B. Rinder) in eine Position mit günstiger Körperhaltung bei gleichzeitig optimaler Kraftentfaltung zu bringen. Verhaltensergonomie ist ebenso wie oben bei den Erkrankungen in der Schulterregion in allen Fällen eine erwägenswerte Maßnahme, sie kann die Probleme bei Ablauf- und Arbeitsplatzgestaltung jedoch allein nicht lösen.

Die anderen in Tabelle 2 zitierten Studien weisen kein erhöhtes Risiko für arbeitsbedingte Erkrankungen des Ellenbogens aus.

1	2	3	4	5	6	7
Tätigkeit bzw. Beruf	Krankheitsbezeichnung	Prävalenz (P) bzw. Indizienz (I)	Relatives Risiko (RR) bzw. Odds Ratio (OR)	Vermutete Ursache (n)	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Arbeitsgestaltung	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Verhaltensergonomie
Arbeiter in Fleischfabrik (Wurstmacher)	Laterale Epicondylitis	11,1 (I)	10,3 (RR)	Zwangshaltungen, Krafteinsatz, repetitive Bewegungen		
Arbeiter in Fleischfabrik (Fleisch schneiden)	Laterale Epicondylitis	6,4 (I)	7,1 (RR)	Zwangshaltungen, Krafteinsatz, repetitive Bewegungen		
Packerinnen	Laterale Epicondylitis	7 (I)	6,4 (RR)	Zwangshaltungen, Krafteinsatz, repetitive Bewegungen		
Arbeiter in Fleischfabrik (Fleisch schneiden)	Laterale Epicondylitis	8,9 (P)	6,9 (OR)	Hochrepetitive Bewegung ob. Extremitäten		
Verpacker (Textil + Bekleidung)	Laterale Epicondylitis	2,2 (P)	1,5 (OR)	Zwangshaltungen, Krafteinsatz, repetitive Bewegungen		
Näharbeiter	Laterale Epicondylitis	2,1 (P)	1,5 (OR)	Zwangshaltungen, repetitive Hand-/Armbewegungen, hohe Präzision		

Tab.: 2: Ellenbogenerkrankungen, vermutete arbeitsbedingte Ursachen und Kosten/Nutzen-Relation von Arbeitsplatzgestaltung und Verhaltensergonomie (Daten in Spalten 1 bis 4 entstammen Kuorinka, Forcier 1995)

1	2	3	4	5	6	7
Tätigkeit bzw. Beruf	Krankheitsbezeichnung	Prävalenz bzw. Indizienz	Relatives Risiko (RR) bzw. Odds Ratio (OR)	Vermutete Ursache (n)	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Arbeitsgestaltung	Erwartete Ko/Nu-Relation v. Verhaltensergonomie
Packerinnen in Fleischfabrik	Sehnenentzündung am Handgelenk	25,3 (I)	36 (RR)	Zwangshaltungen, Repetitivität, Krafteinsatz		
Wurstmacherinnen	Sehnenentzündung am Handgelenk	16,8 (I)	24 (RR)	Zwangshaltungen, Repetitivität		

Fleischschneider	Sehnenentzündung am Handgelenk	12,5 (I)	14 (RR)	Zwangshaltungen, Repetitivität, Krafteinsatz		
Industriearbeiter	Sehnenentzündung am Handgelenk	12 (P)	29 (OR)	Hohe Betätigungsfrequenz (15/min) und/oder hoher Krafteinsatz im Handbereich (ca. 30 N)	?	

?) Stichprobe für Gestaltungsaussage zu heterogen

Tab.: 3: Sehnenentzündung am Handgelenk, vermutete arbeitsbedingte Ursachen und Kosten/Nutzen-Relation von Arbeitsplatzgestaltung und Verhaltensergonomie (Daten in Spalten 1 bis 4 entstammen Kuorinka, Forcier 1995)

Diese Studien weisen auf einen beachtlich starken Zusammenhang zwischen Zwangshaltungen, hoher Repetitivität und Krafteinsatz und einer arbeitsbedingten Erkrankung des Handgelenks hin. Während die Arbeitsgestaltungsbedingungen der Industriearbeiter zu verschiedenartig sind, um über den Effekt ergonomischer Maßnahmen etwas aussagen zu können, sind bei den stationären Arbeitsplätzen in Fleischfabriken (Zeilen 1 u. 2) gute Kosten-/Nutzen-Relationen für ergonomische Gestaltungsmaßnahmen zu erwarten. Für die Fleischschneider werden sich bei Umgestaltungsmaßnahmen die oben bereits erwähnten technisch/ökonomischen Probleme ergeben.

#### 4.3 Eigene Untersuchungen

Der Verfasser führt derzeit mit seinem Team eigene Untersuchungen zur Kombination von arbeitsbedingten Erkrankungen und Tätigkeiten bzw. Berufen in Zusammenarbeit mit einer großen Rehabilitationseinrichtung durch. Hier soll auf die ersten Ergebnisse der berufsbezogenen Auswertung eingegangen werden. Aussagen zu Arbeitsplatzgestaltung und orthopädischen Details (Arten von Schultererkrankungen) werden Ende 2002 vorliegen.

Mit anforderungs- und fähigkeitsorientierten Prüflisten sowie eingehenden medizinischen und physiotherapeutischen diagnostischen Verfahren (vgl. dazu Landau u.a. 2002; Brauchler u.a. 2002) wurden bisher 998 Patienten bzw. deren Arbeitsplätze untersucht. 121 davon (also 12,1 %) litten unter Schultererkrankungen.

Von den Schultererkrankungen sind alle bei diesem Klinikträger versorgten Berufsgruppen gleichmäßig betroffen, da die in Abb. 5 aufgeführten prozentualen Anteile der Berufszugehörigkeit dieser Gruppen im gesamten Klinikkollektiv entsprechen.

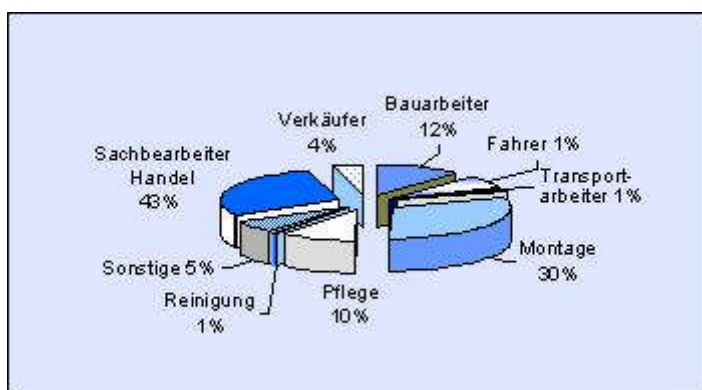


Abb. 5: Anteil der Berufsgruppen [%] bei n = 121 Rehabilitanden mit Schultererkrankungen in einer Rehabilitationsklinik

Abb. 6 gibt weiterhin einen Überblick zur Arbeitsfähigkeit bei Antritt der Rehabilitationsmaßnahme. Angehörige von Landesversicherungsanstalten sind in etwas geringerem Maß arbeitsfähig bei Reha-Antritt und leiden zu einem höheren Anteil an Schultererkrankungen als BfA-Versicherte - natürlich gilt diese Aussage nur für die Stichprobe.

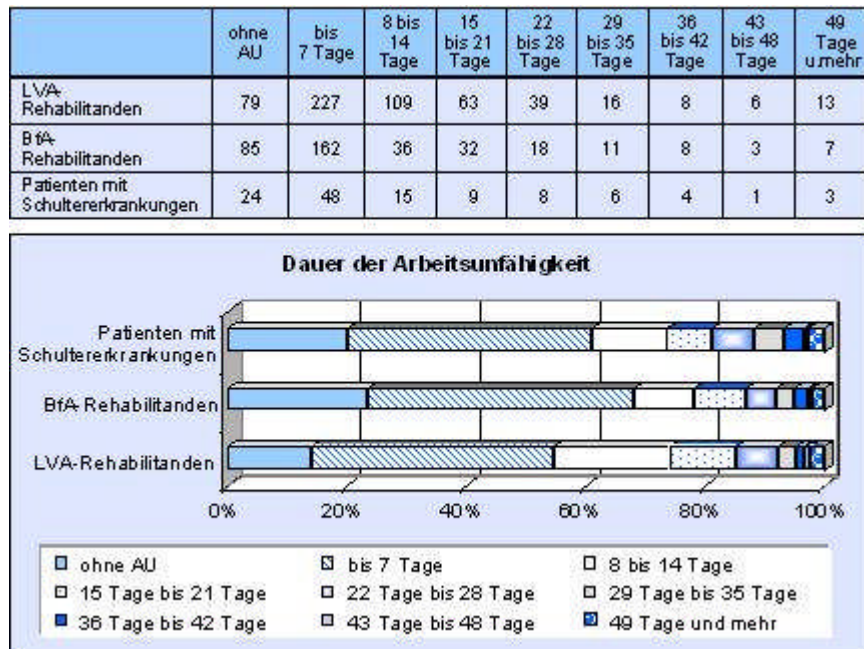


Abb. 6: Arbeitsfähigkeit und Patientenstatus (Auswertung einer Stichprobe mit  $n = 998$ )

Ebenso unterscheidet sich auch die Dauer der Arbeitsunfähigkeit bei BfA- und LVA-Angehörigen (unterer Teil von Abb. 6). Aus den Arbeitsunfähigkeitszeiten lässt sich auch das ökonomische Potenzial erkennen, das in der Umgestaltung der Arbeitsplätze und -abläufe steckt.

## 5 Ausblick

Es konnte anhand von Beispielen gezeigt werden, dass von einer systematischen und institutionalisierten ergonomischen Arbeitsgestaltung in der Mehrzahl der Betriebe derzeit nicht ausgegangen werden kann. Zum einen hat der Konstrukteur eines Bauteils, eines Erzeugnisses oder einer Vorrichtung oft nur unzureichende Kenntnisse über das Arbeitssystem, in dem später seine Konstruktion eingesetzt wird. Zum anderen kann es auch bei ergonomisch optimierter Konstruktion eines Einzelsystemelements zu

- Fehlentscheidungen bei der Selektion der weiteren Systemelemente und
- Kombinationsunverträglichkeiten zwischen den Systemelementen eines Arbeitssystems kommen.

Weiterhin fehlen validierte und in der Betriebspraxis bestandsfähige Verfahren der erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung. Die Erforschung von Wirkungsketten von der Gestaltungsentscheidung hin zu Belastungen, Beanspruchungen und möglichen Schädigungen steht erst am Anfang.

Es ist also offensichtlich, welches großes Augenmerk der anthropometrischen, bewegungs- und informationstechnischen Arbeitsgestaltung gebührt und wie wichtig die Bereitstellung von softwaregestützten Hilfen zur ergonomischen Arbeitsgestaltung ist. Die Folgen von Fehlern bei der Planung manueller Arbeitsplätze machen sich in der Regel erst in der Einsatzphase durch verminderte Leistung, ergonomisch nicht vertretbare körperliche Belastungen und unnötige Ermüdung, vor allem aber auch durch überhöhte Ausfallzeiten, bemerkbar.

Um bereits in der Entwurfsphase fundierte Aussagen über die Effektivität von Arbeitsabläufen, deren Durchführbarkeit und deren ergonomische Qualität machen zu können, reichen herkömmliche statische Betrachtungen nicht aus - es müssen dynamische Simulationen hinzukommen, es muss also eine virtuelle Realität von Arbeitsplatz und Arbeitsablauf geschaffen werden. Der Einsatz von 3D-CAD-Software zur Arbeitsgestaltung bietet hier Analyse-möglichkeiten, die dem Planer helfen, Probleme frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden. Der ergonomisch geschulte, mit einer intelligenten Simulationssoftware arbeitende Planer verbessert damit nicht nur die Kosten-Nutzen-Relation von Arbeitsplätzen, er leistet auch einen Beitrag zur Sicherung der persönlichen Unversehrtheit in der sozialen Situation des einzelnen Mitarbeiters, also zu dessen - auch gesetzlich verbrieften - umfassenden gesundheitlichen Schutz am Arbeitsplatz.

## 6 Literatur

Brauchler, R.; Bopp, V.; Landau, K.; Presl, R.; Stern, H.; Knörzer, J.: Berufsorientierter Anforderungs- und Fähigkeitsabgleich mit dem Bavaria-Rehabilitanden Assessment. Dortmund: GfA-Press, 2002

Derr, D.: Fehlzeiten im Betrieb. Köln: Bachem, 1995

Elias, H.J.: Das GIT-Verfahren zur Humanvermögensrechnung Eschborn: RKW, 1985

Ehrlenspiel, K.: Kostengünstig konstruieren. Berliner Springer, 1985

Gutberlet, T.: Konzeptentwicklung zur informatorischen Unterstützung ergonomiegerechten Konstruierens unter Einsatz rechnergestützter Wissensverarbeitung. Düsseldorf VDI-Verlag, 1990

Karhu, O.; Kansip, P.; Kuorinka, I.: Correcting working postures in industry a practical method for analysis. Applied Ergonomics 8, 199-210, 1977

Kuorinka, I.; Forcier, L. (Ed.): Work related musculo skeletal disorders (WMSFs). London: Taylor & Francis, 1995

Landau, K.; Bopp, V.; Brauchler, R.; Presl, R.; Stern, H.; Knörzer, J.: Arbeitsplatz- und Verhaltensergonomie in der Medizinisch-berufsorientierten Rehabilitation. Dortmund: GfA-Press, 2002

Landau, K.; Imhof-Gildein, B.; Mücke, S.; Rohmert, W.: AET-Belastungsanalyse und arbeitsbedingte Erkrankungen. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, 1996

Landau, K.; Rohmert, W.; Imhof-Gildein, B.; Mücke, S.; Brauchler, R.: Risikoindikatoren für Wirbelsäulenerkrankungen. Bremerhaven: Bundesanstalt für Arbeitsmedizin - Forschung, 1996

Metzger, H.: Planung und Bewertung von Arbeitssystemen in der Montage. Mainz: Krausskopf, 1977

Neubauer, G.: Erfassung der Wirtschaftlichkeit von HdA-Vorhaben: Forschungsstand und Ergebnisse. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft, 1984

Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Berlin: Springer, 1993

Sämman, W.: Charakteristische Merkmale und Auswirkungen ungünstiger Körperhaltungen. Berlin: Beuth, 1970

Schultetus, W.: Montagegestaltung. Köln: TUV Rheinland, 1980

Schweres, M.; Sengotta, M.; Roesler, J.: Gesundheits- und Arbeitsschutz in der Investitionsplanung. Fb 849. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1999

Stössel, O.; Hofmann, F.; Mlangeni, D.: Zur Belastung und Beanspruchung der Wirbelsäule bei Beschäftigten im Gesundheitsdienst. Überreicht von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienste und Wohlfahrtspflege. Freiburg: 1990

VDI-Richtlinie 2225: Technisch-wirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977

Zangemeister, O.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsanalyse (EWA). Dortmund: Wirtschaftsverlag NW, 2000

Zangemeister, O.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München: Wittmann, 1970

Anschrift des Verfassers:

Univ. Prof. Dr.-Ing. Kurt Landau  
Institut für Arbeitswissenschaft  
Technische Universität Darmstadt  
Petersenstr. 30  
64287 Darmstadt  
Tel.: 06151/16-29 87  
Fax: 06151/16-27 98  
E-Mail: Landau@iad.tu-darmstadt.de