

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Zunehmende Bedeutung der Ergonomie .....	2
1.3 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	5
<b>2 Situationsanalyse der Ergonomie in der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung</b>	<b>6</b>
2.1 Ergonomische Grundlagen und Begriffsdefinition .....	6
2.1.1 Allgemeine Definitionen zur Ergonomie.....	6
2.1.2 Belastung und Beanspruchung .....	7
2.1.3 Vielfalt der ergonomischen Verfahren und Daten.....	8
2.1.4 Ergonomie als Qualitätskriterium.....	9
2.1.5 Begriffsdefinition.....	9
2.2 Mangelnde ergonomische Qualität als Kostenfaktor.....	10
2.2.1 Ergonomische Qualität und Kosten .....	10
2.2.2 Kostenverursachende Faktoren und Verbesserungspotential.....	11
2.2.3 Volkswirtschaftliche Betrachtung .....	13
2.3 Produktlebenszyklus und ergonomische Eigenschaften .....	13
2.3.1 Lebensphasen des Produktes und ergonomische Anforderungen .	13
2.3.2 Konventionelles Vorgehen bei der ergonomischen Gestaltung ....	15
2.3.2.1 Überblick der Methoden .....	15
2.3.2.2 Richtlinien und Tabellen zur Produkt- und Arbeitssystemgestaltung .....	16
2.3.2.3 Versuchsaufbauten und Bau von Prototypen.....	16
2.3.2.4 Belastungs- und Beanspruchungsermittlung .....	17
2.3.2.5 Mögliche Maßnahmen bei ergonomischen Schwachstellen .....	18
2.4 Schwachstellen im Entwicklungsprozeß .....	19

2.4.1	Schlechte ergonomische Qualität als Folge später Fehlererkennung .....	19
2.4.2	Hoher Aufwand der Durchführung ergonomischer Analysen .....	20
2.4.3	Aufwendige Variantenerstellung .....	21
2.5	Verfügbare Hilfsmittel, Stand der Technik .....	22
2.5.1	Klassifizierung bestehender Methoden .....	22
2.5.2	Wissensorientierte Methoden und Hilfsmittel zur ergonomischen Gestaltung .....	23
2.5.3	Geometrisch orientierte Methoden zur ergonomischen Gestaltung .....	23
2.5.3.1	Methodenbeschreibung .....	23
2.5.3.2	Existierende Hilfsmittel .....	24
2.5.4	Probandenorientierte Methoden und Hilfsmittel .....	27
2.5.5	Bewertung der existierenden Methoden .....	27
2.6	Zusammenfassung und Fazit .....	30
<b>3</b>	<b>Konzeption und Systementwurf</b>	<b>31</b>
3.1	Zielsetzung des Planungssystems .....	31
3.2	Gesamtkonzeption des Planungssystems .....	32
3.2.1	Planungssystematik .....	32
3.2.2	Einordnung des Planungssystems .....	34
3.2.3	Planungssystem als integratives Hilfsmittel .....	34
3.3	Anforderungen an das zu entwickelnde Planungssystem .....	35
3.3.1	Flexible Anpaßbarkeit des Planungssystems .....	35
3.3.2	Einfache und schnelle Variantenerstellung und Variantenbewertung .....	36
3.3.3	Weitere Anforderungen .....	37
3.4	Grundstruktur des zu entwickelnden Planungssystems .....	37
3.5	Beschreibung der Entwicklungsumgebung .....	39
3.6	Notwendige Entwicklungen zur Umsetzung des Konzeptes .....	40

<b>4 Internationales, parametrisiertes Menschmodell</b>	<b>42</b>
4.1 Zielsetzung dieses Kapitels.....	42
4.2 Analyse der Anwendung anthropometrischer Daten .....	43
4.2.1 Perzentilierung anthropometrischer Maße.....	43
4.2.2 Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Körpermaßen..	44
4.2.3 Vergleichbarkeit und Anwendbarkeit anthropometrischer Daten .	44
4.2.4 Mögliche Personengruppen und relevante Perzentilgrenzen.....	45
4.3 Analyse des existierenden Menschmodells .....	47
4.4 Anforderungen an das zu entwickelnde Modell .....	48
4.5 Konzeption des flexibel anpaßbaren Menschmodells.....	49
4.6 Realisierung der Grundstruktur des Menschmodells .....	50
4.6.1 Integration eines detaillierten Handmodells .....	50
4.6.2 Kinematikstruktur des Referenzmodells.....	51
4.6.2.1 Kinematische Struktur des Gesamtmodells .....	51
4.6.2.2 Idealisierungen im kinematischen Modell .....	52
4.6.3 Geometrieobjekte.....	52
4.7 Anpassung der Maße der Grundstruktur über die Simulationsschnittstelle .....	53
4.7.1 Mathematische Grundlagen zur Beschreibung und Manipulation der Maße der Kinematikstruktur .....	53
4.7.2 Vorgehen bei der flexiblen Anpassung der Grundstruktur.....	54
4.7.3 Schnittstelle zur Anpassung der kinematischen Struktur .....	55
4.7.4 Anpassung der geometrischen Struktur .....	57
4.7.4.1 Referenzsysteme der Geometrieobjekte .....	57
4.7.4.2 Generierung von Geometrieobjekten.....	58
4.8 Ermittlung von Kenndaten des erzeugten Menschmodells.....	58
4.8.1 Berechnung anthropometrischer Maße.....	58
4.8.2 Berechnung und Darstellung aufgabenorientierter Funktionsräume .....	59
4.8.3 Ermittlung von Gewichten und Trägheitsachsen.....	60
4.9 Anbindung einer internationalen anthropometrischen Datenbasis .....	62

4.9.1	Beschreibung der Datenbasis.....	62
4.9.2	Ableitung der Funktions- und Geometriemaße aus den anthropometrischen Körpermaßdaten.....	62
4.9.3	Stufenlose Generierung beliebiger Größen und Perzentile .....	64
4.10	Ergebnisse.....	64

## **5 Simulation des Bewegungsablaufs 66**

5.1	Zielsetzung dieses Kapitels.....	66
5.2	Einflußfaktoren für Körperhaltung und Bewegungsablauf.....	67
5.2.1	Mögliche Einflußfaktoren für die Gesamtkörperhaltung .....	67
5.2.2	Nähere Analyse der Bedeutung des Einflußfaktors Greifart .....	68
5.2.3	Individuelle Unterschiede und Körperhaltungsprognose .....	71
5.3	Vorhandene Möglichkeiten in der Entwicklungsumgebung .....	72
5.4	Anforderungen an die zu entwickelnden Funktionen .....	72
5.5	Konzeption der Bewegungsmodellierung.....	73
5.5.1	Vorgehensweise bei der Bewegungsmodellierung.....	73
5.5.2	Bausteine der Bewegungsmodellierung .....	74
5.5.3	Geforderte Genauigkeit .....	74
5.5.4	Flexible Anpassung der Funktionalitäten.....	75
5.6	Flexibel anpaßbare Bewegungsberechnung.....	76
5.6.1	Auf Gesamtkörper erweiterte Hand-Arm-Rücktransformation.....	76
5.6.2	Ansatz zur Körperhaltungsprognose .....	78
5.7	Automatisierte Greifmodellierung.....	79
5.7.1	Vorgehensweise bei der Erstellung des Greifmakros.....	79
5.7.2	Vorformung der Hand .....	80
5.7.2.1	Erstellung einer simulationsgerechten Systematik der Greifarten.....	80
5.7.2.2	Automatische Vorformung auf die Objektgröße .....	81
5.7.3	Plazierung der Hand .....	83
5.7.4	Schließen der Hand.....	84
5.8	Berücksichtigung weiterer Einflußgrößen .....	85

---

5.8.1	Kollisionüberprüfung .....	85
5.8.2	Sichtbarkeit und Verdeckung von Arbeitspunkten.....	85
5.8.3	Körpergleichgewicht und Kräfte .....	87
5.9	Zusammenfassung und Ergebnisse .....	87
<b>6</b>	<b>Anbindung von Verfahren zur Belastungsanalyse</b> .....	<b>89</b>
6.1	Zielsetzung dieses Kapitels.....	89
6.2	Erfassung von Belastungsarten am Arbeitsplatz.....	90
6.3	Anforderungen an die Anbindung von Verfahren zur Belastungsanalyse.....	94
6.4	Schnittstelle zur flexiblen Anbindung von Verfahren zur Belastungsanalyse.....	94
6.4.1	Aufbau der allgemeinen Schnittstelle.....	94
6.4.2	Überblick der ableitbaren Daten.....	95
6.4.3	Ableitung der geometrischen Informationen und Zeitanteile.....	96
6.4.4	Ableitung von auf den Körper wirkenden Kräften.....	97
6.4.4.1	Definition des Kraftangriffspunktes in den Händen .....	97
6.4.4.2	Erkennung der angreifenden Gewichtskräfte .....	97
6.4.4.3	Erkennung der angreifenden Wirkkräfte .....	98
6.4.4.4	Statische und dynamische Kraftaufbringung.....	99
6.4.5	Ableitung weiterer Daten.....	100
6.4.6	Kommunikation mit dem Anwender .....	100
6.4.7	Ereignisorientierte Registrierung von Funktionen .....	101
6.5	Auswahl geeigneter Verfahren zur Belastungsanalyse.....	102
6.5.1	Kriterien zur Auswahl von Verfahren zur Belastungsanalyse.....	102
6.5.2	Gliederung existierender Verfahren zur Belastungsermittlung.....	104
6.5.3	Analyse und Bewertung der Arbeitskörperhaltung .....	104
6.5.4	Biomechanische Berechnungsmodelle .....	107
6.5.5	Berechnungsverfahren für dynamische und statische Muskelarbeit .....	107
6.5.6	Verfahren zur Ermittlung des Energieumsatzes .....	108

---

6.5.7	Kombinierte Verfahren zur Analyse von Hebe- und Tragevorgängen.....	109
6.5.8	Weitere Verfahren zur Belastungsanalyse.....	110
6.5.9	Auswahl der Verfahren.....	110
6.6	Realisierung ausgewählter Verfahren zur Belastungsanalyse .....	111
6.6.1	Ermittlung der Eingangsdaten für die Verfahren.....	111
6.6.2	Simulationsgestützte OWAS-Körperhaltungsanalyse.....	112
6.6.3	Simulationsgestützte Burandt-Schultetus-Maximalkraftanalyse .....	114
6.6.4	Simulationsgestützte Analyse des Heben und Tragens von Lasten.....	115
6.6.5	Simulationsgestützte Analyse des Energieumsatzes .....	117
6.6.6	Darstellung der Analyseergebnisse .....	118
6.6.6.1	OWAS-Körperhaltungsanalyse .....	118
6.6.6.2	Burandt-Schultetus Hand-Arm-Maximalkraft.....	121
6.7	Vorteile der realisierten simulationsgestützten Belastungsanalyse .....	122
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>124</b>
7.1	Bedienpult einer international eingesetzten Maschine .....	124
7.2	Arbeitsplatzgestaltung in der spanenden Fertigung.....	125
7.3	Montage- und Wartungstätigkeiten an einer Gasheizung.....	126
7.4	Endmontageband in der Automobilindustrie.....	127
7.5	Kommissionierarbeitsplatz in der Logistik.....	128
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>130</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>133</b>