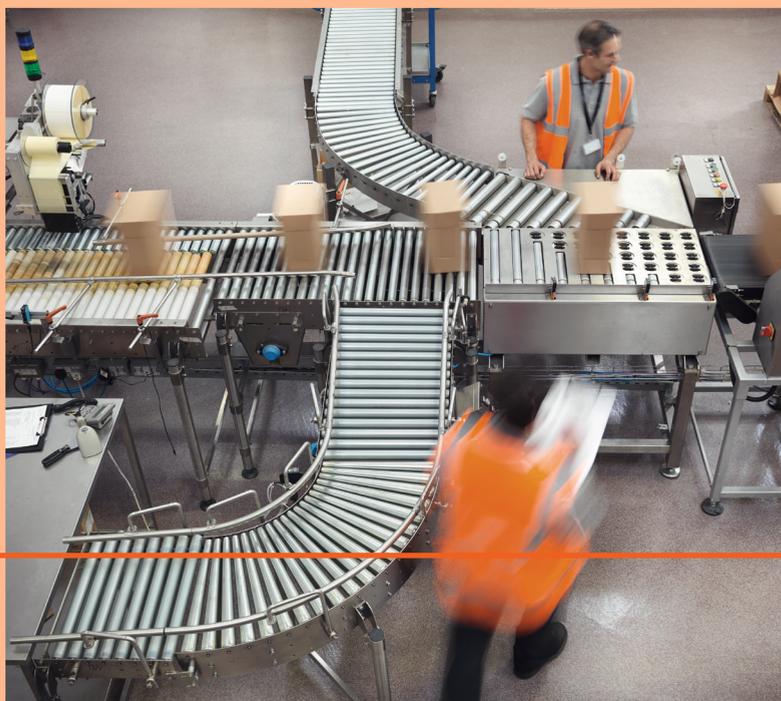


Martin Schmauder  
Birgit Spanner-Ulmer

# Ergonomie

Grundlagen zur Interaktion von Mensch,  
Technik und Organisation



2., überarbeitete Auflage

HANSER

REFA





**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Martin Schmauder/Birgit Spanner-Ulmer

# Ergonomie

Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation

2., überarbeitete Auflage

HANSER

## Die Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder, Professur Arbeitswissenschaft Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, TU Dresden

Prof. Dr. Dr.-Ing. Birgit Spanner-Ulmer, Lehrstuhl Produktion und Technik in der Medienbranche, TU München



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en, Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en, Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

Internet: [www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Frank Katzenmayer

Herstellung: Frauke Schafft

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelbild: © [gettyimages.de](http://gettyimages.de)/Monty Rakusen

Satz: Dr. Svetlana Wähnert

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-47106-1

E-Book-ISBN 978-3-446-47358-4

## **Vorwort zur 1. Auflage**

Dieses Buch soll Studierenden und Interessierten eine Einführung in die Ergonomie geben. In sieben Kapiteln wird dargelegt, welchen Beitrag die Ergonomie zur wirtschaftlichen und humanen Gestaltung von Produkten und Prozessen leisten kann. Das Anliegen der menschengerechten Gestaltung von Arbeit wird vermittelt und Methoden und Vorgehensweisen dazu werden aufgezeigt. Das Werk ist als Lehrbuch angelegt und ergänzt die Vorlesungen in der Arbeitswissenschaft. Die Anwendungsorientierung mit konkreten Gestaltungshinweisen und Beispielen steht im Vordergrund und soll zu einer eigenen vertiefenden Beschäftigung mit der Materie anregen.

Ein herzlicher Dank ergeht an alle, die dieses Werk ermöglicht haben. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Professuren für Arbeitswissenschaft an der TU Chemnitz und der TU Dresden haben durch ihre Forschungsarbeiten das Wissen um ergonomische Grundlagen und Gestaltungslösungen erweitert. Die Ergebnisse sind mit in dieses Buch eingeflossen. Sie haben fachkundig Manuskripte gegengelesen, Literatur ergänzt und Grafiken optimiert. Lehrmeinungen und Fachinhalte aus den Instituten unserer Hochschullehrer in München und Stuttgart wurden entsprechend unserer eigenen Arbeiten zusammengeführt und weiterentwickelt. Ganz besonders herzlich möchten wir an dieser Stelle unseren Doktorvätern und Mentoren, Herrn Prof. Heiner Bubb und Herrn Prof. Hans-Jörg Bullinger, danken. Sie haben unser arbeitswissenschaftliches Denken geprägt und uns die Freude an diesem interdisziplinären Fachgebiet vermittelt.

Ein besonderer Dank ergeht an Herrn Dipl.-Ing. Philipp Jung, der die Arbeiten an den einzelnen Kapiteln koordiniert hat. Herr Dipl.-Wirtsch.-Ing. Frank Dittrich, Frau Dipl.-Wirtsch.-Ing. Anne Höhnel, Herr Dr.-Ing. Jens Mühlstedt, Frau Dipl.-Ing. Kerstin Röhner und Herr Dipl.-Ing. Andreas Wagner haben ebenfalls mitgewirkt, die Herren Dipl.-Wi.-Ing. Sebastian Rank und M.Sc. Martin Däumler haben den Satz und Herr Goetz Weigel die Grafiken erstellt.

Zu Dank verpflichtet sind wir auch dem REFA Bundesverband, der es ermöglicht hat, das Werk in seiner Fachbuchreihe zu veröffentlichen. Wir hoffen, dass durch das Buch die Verbreitung ergonomischen Gestaltungswissens gefördert wird.

München und Dresden, Juli 2014

Birgit Spanner-Ulmer  
Martin Schmauder

## **Vorwort zur 2. Auflage**

Die erste Auflage dieses Buches hat bei Studierenden des Maschinenbaus, des Wirtschaftsingenieurwesens und auch der Psychologie eine gute Resonanz gefunden. Zunehmend bekommt die Ergonomie auch in der Betriebspraxis eine hohe Bedeutung, sowohl bei der Entwicklung von Produkten als auch bei der Gestaltung der Arbeitsbedingungen. Nachdem die erste Auflage des Werkes vergriffen ist, haben wir uns zur Erarbeitung einer zweiten Auflage entschlossen. Sowohl die positiven Rückmeldungen der Studierenden als auch der Betriebspraktiker, die insbesondere die aufeinander bezogene und vernetzte Kapitelstruktur hilfreich finden, haben uns darin bestärkt, den Grundaufbau des Werkes nicht zu verändern. Regelmäßig gibt es Änderungen im Vorschriften- und Regelwerk sowie in der Normung und insgesamt entwickelt sich der Stand der Technik weiter. Diese Änderungen haben wir eingearbeitet und auch das Quellenverzeichnis aktualisiert. Weiterentwickelt haben sich auch die Ansprüche an eine gendergerechte Sprache. Hier haben wir aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf eine Anpassung verzichtet.

Ohne die Mitwirkung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Professur für Arbeitswissenschaft der TU Dresden wäre eine solche Aktualisierung nicht möglich. Ein herzlicher Dank ergeht deshalb an Frau Dr. Christiane Kamusella, Frau Dipl.-Ing. Laura Herzog, Frau Dipl.-Ing. Carolin Kreil und Herrn M. Sc., M. Eng. Marcus Wilde, die neben ihren Aufgaben in Forschung und Lehre sich noch der Überarbeitung einzelner Kapitel gewidmet haben. Ein besonderer Dank geht an Frau Dr. Svetlana Wähner, die neben der inhaltlichen Mitwirkung auch noch die Änderungen eingearbeitet und die Druckvorlage erstellt hat.

Ein herzlicher Dank ergeht schließlich auch an den HANSER-Verlag, der diese 2. Auflage ermöglicht hat und mit einer angepassten Titelgrafik das Werk in sein Programm eingliedert sowie gleichzeitig die bewährte Verbindung mit REFA verdeutlicht.

München und Dresden, Januar 2022

Birgit Spanner-Ulmer  
Martin Schmauder

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung in die Ergonomie</b>	<b>13</b>
A 1 Bedeutung und Lernziele . . . . .	13
B 1 Grundlagen . . . . .	13
B 1.1 Prinzipien und Konzepte der Ergonomie . . . . .	19
B 1.2 Systemmodelle . . . . .	21
B 1.2.1 REFA-Arbeitssystem . . . . .	23
B 1.2.2 Strukturschema menschlicher Arbeit . . . . .	25
B 1.3 Historische Einordnung . . . . .	27
B 1.4 Gebiete der Arbeitswissenschaft . . . . .	29
B 1.5 Zukünftige Aufgabenfelder . . . . .	31
B 1.6 Ergonomie als Innovationsbeitrag . . . . .	36
B 1.7 Bewertungskriterien für menschliche Arbeit . . . . .	39
C 1 Methoden . . . . .	43
E 1 Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	47
E 1.1 Systematik des Vorschriften- und Regelwerks . . . . .	47
E 1.2 Ergonomie und Gesetze . . . . .	48
E 1.3 Stand der Technik und Vermutungswirkung . . . . .	49
E 1.4 Gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse . . . . .	49
F 1 Literatur . . . . .	50
<b>2 Interaktionsergonomische Gestaltung</b>	<b>55</b>
A 2 Bedeutung und Lernziele . . . . .	56
B 2 Grundlagen zur Interaktionsergonomischen Gestaltung . . . . .	58
B 2.1 Modell des Menschen . . . . .	58
B 2.1.1 Informationsfluss im Menschen . . . . .	58
B 2.1.2 Wahrnehmungssysteme . . . . .	60
B 2.1.3 Zusammenwirken der Wahrnehmungssysteme . . . . .	62
B 2.1.4 Ursachen und Klassifizierung menschlicher Arbeitsfehler . . . . .	64
B 2.2 Modell des Arbeitsmittels . . . . .	66
B 2.2.1 Stellteile . . . . .	67
B 2.2.2 Anzeigen . . . . .	73
B 2.2.3 Zusammenwirken von Anzeigen und Stellteilen . . . . .	77
C 2 Methoden . . . . .	84
C 2.1 Vorgehensweise bei der Stellteilauswahl und -gestaltung . . . . .	84
C 2.2 Usability . . . . .	86
C 2.2.1 Usability-Engineering . . . . .	88
C 2.2.2 Usability-Testing . . . . .	90
C 2.2.3 Heuristische Evaluation . . . . .	91
C 2.2.4 Nutzertest . . . . .	92
D 2 Fallbeispiele . . . . .	93
D 2.1 Stellteile . . . . .	93
D 2.2 Anzeigen . . . . .	94
D 2.3 Interaktion zwischen Anzeige und Stellteil . . . . .	95
D 2.4 Usability . . . . .	97

E 2	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	99
F 2	Literatur . . . . .	100
<b>3</b>	<b>Anthropometrische und biomechanische Gestaltung</b>	<b>103</b>
A 3	Bedeutung und Lernziele . . . . .	103
B 3	Grundlagen zur Anthropometrie . . . . .	105
B 3.1	Abmessungen des menschlichen Körpers . . . . .	106
B 3.2	Funktionsmaße (Funktionsräume) . . . . .	117
B 3.2.1	Wirkraum des Hand-Arm-Systems und Greifraum . . . . .	117
B 3.2.2	Wirkraum des Bein-Fuß-Systems . . . . .	121
B 3.2.3	Sichtgeometrie . . . . .	122
B 3.2.4	Körperfreiraum . . . . .	131
B 3.2.5	Sicherheitsmaße . . . . .	133
B 3.3	Biomechanik . . . . .	136
B 3.3.1	Körperhaltungen . . . . .	143
B 3.3.2	Körperkräfte . . . . .	145
B 3.3.3	Bewegungen . . . . .	147
C 3	Methoden . . . . .	151
C 3.1	Berechnung von Arbeitsplatzmaßen nach E DIN EN ISO 14738 . . . . .	151
C 3.2	Maßliche Gestaltung mittels Tabellenwerk . . . . .	152
C 3.3	Schablonensomatographie . . . . .	156
C 3.4	Digitale Menschmodelle . . . . .	158
C 3.4.1	Aktueller Entwicklungsstand . . . . .	158
C 3.4.2	Beispiele zur Sichtbewertung . . . . .	162
C 3.4.3	Beispiel zur Bewertung von Körperhaltungen und Ganzkörperkräften . . . . .	165
D 3	Fallbeispiel . . . . .	168
E 3	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	170
F 3	Literatur . . . . .	173
<b>4</b>	<b>Gestaltung der Arbeitsaufgabe</b>	<b>177</b>
A 4	Bedeutung und Lernziele . . . . .	177
B 4	Grundlagen zur Gestaltung der Arbeitsaufgabe . . . . .	179
B 4.1	Das Belastungs- und Beanspruchungsmodell . . . . .	179
B 4.2	Physische Belastung und Beanspruchung . . . . .	186
B 4.2.1	Statische und dynamische Muskelarbeit . . . . .	187
B 4.2.2	Lastenhandhabung . . . . .	190
B 4.2.3	Dauerleistungsgrenze (DLG) . . . . .	196
B 4.3	Psychische Belastung und Beanspruchung . . . . .	198
B 4.3.1	Auswirkungen von psychischer Belastung und Beanspruchung . . . . .	200
B 4.3.2	Motivationsmodelle . . . . .	203
B 4.4	Gesundheit, Tagesrhythmik und Ermüdung . . . . .	210
B 4.4.1	Gesundheit . . . . .	211
B 4.4.2	Tagesrhythmus . . . . .	217
B 4.4.3	Ermüdung und Erholung . . . . .	219

B 4.5	Grundlegende Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsaufgaben . . . . .	223
B 4.5.1	Handlungsspielraum . . . . .	223
B 4.5.2	Das Prinzip der vollständigen Tätigkeiten und persön- lichkeitsförderliche Gestaltung von Arbeitsaufgaben . . . . .	224
B 4.5.3	Gesundheitsgerechte Arbeitsaufgabengestaltung . . . . .	225
C 4	Methoden . . . . .	230
C 4.1	Psychophysiologische Messmethoden . . . . .	231
C 4.2	Bewertungsverfahren für die physische Belastung . . . . .	233
C 4.2.1	Spezielles Screening „Leitmerkmalmethoden“ . . . . .	234
C 4.2.2	NIOSH-Verfahren . . . . .	237
C 4.2.3	OWAS-Methode . . . . .	240
C 4.2.4	Montagespezifischer Kraftatlas . . . . .	244
C 4.3	Bewertungsverfahren für psychische Belastung und Beanspruchung . . . . .	245
C 4.3.1	Objektive Verfahren: Beispiel KPB . . . . .	246
C 4.3.2	Subjektive Verfahren: Beispiel SALSA . . . . .	246
D 4	Fallbeispiel . . . . .	247
E 4	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	249
F 4	Literatur . . . . .	250
<b>5</b>	<b>Gestaltung der Arbeitsorganisation</b>	<b>255</b>
A 5	Bedeutung und Lernziele . . . . .	256
B 5	Grundlagen zur Arbeitsorganisation . . . . .	258
B 5.1	Grundlagen zur Ablauforganisation . . . . .	260
B 5.1.1	Sachlich-logische Ablaufgestaltung . . . . .	260
B 5.1.2	Zeitliche Ablaufgestaltung . . . . .	263
B 5.1.3	Räumliche Ablaufgestaltung . . . . .	270
B 5.1.4	Dienstleistungen . . . . .	273
B 5.2	Grundlagen zur Aufbauorganisation . . . . .	275
B 5.2.1	Klassische Organisationsdesigns . . . . .	275
B 5.2.2	Gruppenarbeit . . . . .	280
B 5.3	Grundlagen zur Gestaltung des organisatorischen Rahmens . . . . .	280
B 5.3.1	Anforderungsermittlung und Arbeitsbewertung . . . . .	280
B 5.3.2	Entgeltmanagement . . . . .	287
B 5.3.3	Arbeitszeitmanagement . . . . .	299
B 5.4	Grundlagen zur Prozessgestaltung . . . . .	304
B 5.4.1	Historische Entwicklung von Produktionssystemen . . . . .	306
B 5.4.2	Vorgehensweise bei der Prozessgestaltung . . . . .	312
B 5.4.3	Verschwendung vermeiden . . . . .	315
C 5	Methoden . . . . .	317
C 5.1	REFA-Methodenlehre . . . . .	317
C 5.1.1	Historische Entwicklung . . . . .	317
C 5.1.2	Zeitwirtschaftliche Methoden . . . . .	319
C 5.2	Methoden zur Prozessoptimierung . . . . .	320
C 5.2.1	Poka-Yoke . . . . .	320
C 5.2.2	5S- bzw. 5A-Methode . . . . .	322

C 5.2.3	Kanban . . . . .	324
C 5.2.4	Just-in-Time (JIT) . . . . .	326
C 5.2.5	Wertstromdesign . . . . .	328
C 5.2.6	Heijunka-Produktionsnivellierung . . . . .	330
C 5.2.7	Total Quality Management (TQM) . . . . .	332
C 5.2.8	Total Productive Maintenance (TPM) . . . . .	334
C 5.2.9	Kaizen/KVP . . . . .	336
C 5.3	Lean Office . . . . .	337
C 5.3.1	Entstehung des Lean Office . . . . .	337
C 5.3.2	Notwendigkeit von Lean Office . . . . .	338
C 5.3.3	Vorgehensweise beim Lean Office . . . . .	339
C 5.3.4	Methoden des Lean Office . . . . .	339
C 5.3.5	Ansätze zur Umsetzung des Lean Office . . . . .	341
C 5.4	Veränderungsmanagement . . . . .	342
D 5	Fallbeispiel . . . . .	343
E 5	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	345
F 5	Literatur . . . . .	345
<b>6</b>	<b>Gestaltung der Arbeitsumwelt</b>	<b>351</b>
A 6	Bedeutung und Lernziele . . . . .	352
6.1	Lärm . . . . .	353
B 6.1	Grundlagen zu Lärm . . . . .	353
B 6.1.1	Physiologische Grundlagen . . . . .	353
B 6.1.2	Schalltechnische Grundgrößen . . . . .	355
B 6.1.3	Schallkennwerte . . . . .	357
B 6.1.4	Lärmbewertung . . . . .	361
B 6.1.5	Grenzwerte und Empfehlungen . . . . .	362
B 6.1.6	Lärminderungsmaßnahmen . . . . .	363
C 6.1	Methoden zur Lärmmessung . . . . .	365
D 6.1	Fallbeispiel Lärm . . . . .	370
D 6.1.1	Lärmanalyse . . . . .	370
D 6.1.2	Lärminderung . . . . .	371
E 6.1	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zu Lärm . . . . .	372
6.2	Vibrationen . . . . .	373
B 6.2	Grundlagen zu Vibrationen . . . . .	373
B 6.2.1	Physiologische Grundlagen . . . . .	374
B 6.2.2	Vibrationskennwerte . . . . .	377
B 6.2.3	Vibrationsbeurteilung . . . . .	381
B 6.2.4	Vibrationsminderung . . . . .	384
E 6.2	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zu Vibrationen . . . . .	385
6.3	Umgebungsklima . . . . .	386
B 6.3	Grundlagen zum Umgebungsklima . . . . .	386
B 6.3.1	Klimagrößen . . . . .	386
B 6.3.2	Physiologische Grundlagen . . . . .	388
B 6.3.3	Klimabereiche . . . . .	391
C 6.3	Methoden zur Klimamessung . . . . .	394

E 6.3	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zum Umgebungsklima . . . . .	394
6.4	Gefahrstoffe . . . . .	395
B 6.4	Grundlagen zu Gefahrstoffen . . . . .	395
B 6.4.1	Wirkung auf den Menschen . . . . .	397
B 6.4.2	Umgang mit und Schutz vor Gefahrstoffen . . . . .	398
C 6.4	Methoden zu Gefahrstoffen . . . . .	402
E 6.4	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zu Gefahrstoffen . . . . .	402
6.5	Licht und Farbe . . . . .	403
B 6.5	Grundlagen zu Licht und Farbe . . . . .	403
B 6.5.1	Physiologische Grundlagen . . . . .	404
B 6.5.2	Lichttechnische Grundgrößen . . . . .	407
B 6.5.3	Gütemerkmale der Beleuchtung . . . . .	409
B 6.5.4	Beleuchtungstechnik . . . . .	411
B 6.5.5	Farbwirkungen . . . . .	415
C 6.5	Methoden zu Licht und Farbe . . . . .	420
C 6.5.1	Gestaltung von Beleuchtungsanlagen . . . . .	420
C 6.5.2	Rasterverfahren . . . . .	421
C 6.5.3	Wirkungsgradverfahren . . . . .	421
C 6.5.4	Farbgestaltung . . . . .	422
D 6.5	Fallbeispiel Beleuchtungsgestaltung . . . . .	423
E 6.5	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zu Licht und Farbe . . . . .	424
6.6	Strahlung . . . . .	425
B 6.6	Grundlagen zur Strahlung . . . . .	425
B 6.6.1	Auswirkungen von Strahlung . . . . .	425
B 6.6.2	Schutz vor Strahlung . . . . .	427
E 6.6	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) zu Strahlung . . . . .	427
F 6	Literatur . . . . .	428
<b>7</b>	<b>Gestaltung des Arbeitsschutzes</b>	<b>435</b>
A 7	Bedeutung und Lernziele . . . . .	436
B 7	Grundlagen des Arbeitsschutzes . . . . .	437
B 7.1	Historische Entwicklung . . . . .	437
B 7.2	Arbeitsschutzverständnis . . . . .	440
B 7.3	Überbetriebliches (duales) Arbeitsschutzsystem . . . . .	441
B 7.4	Betriebliches Arbeitsschutzsystem . . . . .	444
B 7.4.1	Prävention . . . . .	447
B 7.4.2	Entstehung von Unfällen und Erkrankungen . . . . .	451
B 7.4.3	Maßnahmenhierarchie . . . . .	463
B 7.4.4	Organisation des Arbeitsschutzes im Betrieb . . . . .	469
B 7.5	Maschinensicherheit . . . . .	476
C 7	Methoden . . . . .	484
C 7.1	Gefährdungsbeurteilung . . . . .	484
C 7.2	Arbeitsschutzmanagement . . . . .	495
E 7	Empfehlungen und Regeln (Vorschriften) . . . . .	500
F 7	Literatur . . . . .	505

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>509</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>513</b>
<b>Index</b>	<b>521</b>

---

# 1 Einführung in die Ergonomie

Im ersten Kapitel wird eine Einführung in die Ergonomie gegeben. Grundlegende Prinzipien und Konzepte werden angesprochen, und es erfolgt die Vorstellung der Kriterien zur Bewertung von menschlicher Arbeit. Die Bedeutung der Ergonomie für innovative Produkte wird aufgezeigt, und es wird erläutert, wie arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse in die Rechtssystematik eingeordnet sind.

## A 1 Bedeutung und Lernziele

Ergonomie ist die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik befasst. Wirtschaftlichkeit und Humanität sind zwei Zielsetzungen, die gleichrangig bei der Gestaltung von Arbeitssystemen und Produkten verfolgt werden. Hierzu ist Wissen um menschliche Leistungsvoraussetzungen und ökonomische Zusammenhänge notwendig. Die Erkenntnisse der Ergonomie werden durch Empfehlungen und Methoden bei der Gestaltung von Produkten (Waren und Dienstleistungen) und Prozessen umgesetzt.



In diesem Kapitel soll der Leser ein Verständnis bekommen:

- wie Ergonomie bzw. Arbeitswissenschaft definiert ist,
- welche historische Entwicklungen vorhanden sind,
- welche Prinzipien und Konzepte die Ergonomie bestimmen,
- wie der Systembegriff zur Modellbildung genutzt wird,
- welche Teilgebiete die Ergonomie umfasst,
- mit welchen Kriterienhierarchien Arbeit bewertet werden kann,
- welche Vorgehensweisen bei der konzeptiven und korrektiven Gestaltungsarbeit empfohlen werden und
- wie die Erkenntnisse der Ergonomie in die Rechtssystematik eingeordnet werden.

## B 1 Grundlagen

Ergonomie ist ein Kunstwort, das sich aus dem griechischen

ergon (εργον) = Arbeit und

nomos (νομος) = Gesetz; Gesetzmäßigkeit

zusammensetzt.

Ergonomie kann damit als die Lehre von der menschlichen Arbeit bezeichnet werden. Menschliche Arbeit benötigt eine gegenüber der Physik erweiterte Definition. In der Physik ist Arbeit das Produkt aus Kraft und Weg ( $W = F * s$ ). Wird über einen Zeitraum hinweg Arbeit verrichtet, spricht man von Leistung ( $P = W/t$ ). Ist die Richtung der Kraft senkrecht zum Weg, dann wird keine physikalische Arbeit verrichtet. Der physikalische Begriff entspricht also nicht dem allgemeinen Verständnis, nach dem beispielsweise für am Schreibtisch verrichtete Arbeit ein Entgelt bezahlt wird.

Für die Ergonomie sind folgende Definitionen von Arbeit geeignet:



### **Arbeit**

„Arbeit ist jedes ziel- und zweckgerichtete Handeln zur Erzeugung von Gütern und Denkleistung“ (Hilf, 1976).

Oder etwas ausführlicher:

„Arbeit ist eine Aktivität oder Tätigkeit, die im Rahmen bestimmter Aufgaben entfaltet wird und zu einem materiellen und/oder immateriellen Arbeitsergebnis führt, das in einem Normensystem bewertet werden kann; sie erfolgt durch den Einsatz der körperlichen, geistigen und seelischen Kräfte des Menschen und dient der Befriedigung seiner Bedürfnisse“ (Hoyos, 1974).

Arbeit ist zielgerichtet, da die Aktivität die Erstellung von Gütern (z. B. Maschinen) oder Dienstleistungen (z. B. Reparaturen) zum Ziel hat. Weiterhin kann in geistige und körperliche Aktivität differenziert werden, da auch z. B. das Erstellen einer Konstruktionszeichnung ein Arbeitsergebnis ist. Damit wird zunächst nicht zwischen Erwerbsarbeit zur Existenzsicherung und privatwirtschaftlicher Arbeit wie z. B. Hausarbeit, private Pflege oder Hobby differenziert, wobei bei einer zunehmenden Entgrenzung der Arbeit diese Grenze unscharf wird.

### **Wirkungen und Bedeutung von Arbeit**

Positive Wirkungen von Arbeit wurden in der Antike nicht gesehen. Arbeit war etwas für Sklaven und nicht für freie Bürger. Im Germanischen bedeutete „arbejo“ so viel wie „bin ein verweistes (und darum zur Arbeit verdingtes) Kind“. Auch im mittelhochdeutschen bedeutete das Wort „arebeit“ so viel wie Not und Mühsal. Eine Differenzierung so wie im französischen in „oeuvre“ (Werk, Arbeitsergebnis) und „travail“ (Arbeit) kennt die deutsche Sprache nicht. Der lateinische Begriff „labor“ bedeutet Arbeit, die mit Mühe und Anstrengung verbunden ist. Arbeit „im Schweiß des Angesichts“ wird im alten Testament als notwendig gesehen, um das Leben zu fristen, unterbrochen vom wöchentlichen Ruhetag (Sabbat). Im klösterlichen Leben der Mönche ist der Grundsatz „ora et labora“ (bete und arbeite) entstanden, der auf die Zusammengehörigkeit von Körper und Geist hinweist.

Die Bedeutung von Arbeit für den Menschen hat in der Philosophie einen hohen Stellenwert. Karl Marx hat den Begriff der „entfremdeten Arbeit“ des Menschen geprägt, wenn der Mensch gezwungen ist, seine Arbeitskraft zu verkaufen. Hier zeigt sich auch der Wandel von der selbstständigen, handwerklich geprägten Arbeit hin zur Industriearbeit.

Nicht zu verschweigen ist an dieser Stelle auch die Parole „Arbeit macht frei“ in den Konzentrationslagern während der Zeit des Nationalsozialismus. Es handelte sich um eine zynische Umschreibung für den angeblichen Erziehungszweck der Lager, wobei es um die Vernichtung von Menschen durch menschenverachtende Bedingungen ging.

Das „Recht auf Arbeit“ wird in Artikel 23 der Deklaration der Menschenrechte der Vereinten Nationen als elementares Menschenrecht benannt. Die Bundesrepublik Deutschland hat die Menschenrechtsdeklaration unterzeichnet. Im Grundgesetz ist jedoch kein Bürgerrecht auf Arbeit enthalten, da das Grundgesetz nur Rechte enthält, die vor ordentlichen Gerichten einklagbar sind.

Arbeit wird neben Boden und Kapital in der Volkswirtschaftslehre als Produktionsfaktor bezeichnet. In der Betriebswirtschaftslehre werden menschliche Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe als Elementarfaktoren der Produktion gesehen. Durch den derzeitigen Wandel von der Industriegesellschaft hin zur Dienstleistungs- bzw. Informationsgesellschaft verlieren Betriebsmittel und Werkstoffe an Bedeutung, wohingegen die der menschlichen Arbeit innewohnenden Kreativitätspotentiale an Bedeutung gewinnen.

Erwerbsarbeit hat aus der Sicht der jeweiligen Akteure unterschiedliche Ansprüche und Facetten, die in Abbildung 1.1 im Überblick aufgeführt werden.

<b>Arbeit aus Sicht der:</b>		
<b>Arbeitgeber</b>	<b>Arbeitnehmer</b>	<b>Gewerkschaften</b>
Mittel zur Erreichung der Unternehmensziele	Sicherung der Lebensgrundlage – Geld –	nicht nur Mittel zum Zweck
Leistung und Wert	Identitätsbildung; Selbstbestätigung durch Arbeit	angepasste Entlohnung
Kosten	Last und Pflicht	gesundes Verhältnis zwischen Lohn und Arbeitszeit
Organisationsbedarf	Persönlichkeitsentfaltung (Fähigkeiten)	wichtiger Bestandteil der sozialen Struktur
	Mobilität, Flexibilität	

**Abbildung 1.1:** Unterschiedliche Sichtweisen menschlicher Arbeit

### Ziele der Ergonomie

Der Aspekt, dass Arbeit sowohl positive als auch negative, d. h. gesundmachende und krankmachende, Wirkungen hat, wird in den einzelnen Kapiteln des Buches behandelt. Es geht darum, durch die Anwendung der Regeln der Ergonomie positive Wirkungen zu verstärken und negative zurückzudrängen.

Primär steht in diesem Buch die Gestaltung der Erwerbsarbeit im Vordergrund, wenngleich die Erkenntnisse genauso auf die privatwirtschaftliche Arbeit angewandt werden können. So ist z. B. ein nach ergonomischen Kriterien gut gestaltetes Werkzeug sowohl im Arbeits- als auch im Privatleben von Vorteil.

Der Begriff der Ergonomie ist heutzutage aus der Beschreibung von Produkten (z. B. in der Werbung) nicht mehr wegzudenken und hat in den letzten Jahrzehnten enorm an Bedeutung gewonnen. Die Gestaltung von Produkten nach den Regeln der Ergonomie, egal ob es sich um Soft- oder Hardware handelt, ist ein wichtiges Differenzierungs- und Qualitätsmerkmal geworden. Hat in der Vergangenheit oft jeder sich selbst die auf ihn passenden Werkzeuge hergestellt, so ist es inzwischen notwendig, dass das zur guten Gestaltung notwendige Wissen verallgemeinert und systematisiert vorliegt.

Die Anpassung der Technik an den Menschen kann, kurz gefasst, als Ziel der Ergonomie gesehen werden. In allen Kapiteln wird deshalb die Wirkung der jeweiligen Belastungsfaktoren auf den Menschen betrachtet, und es werden die für die menschengerechte Gestaltung von Arbeit notwendigen Grundlagen zu den physischen und psychischen Leistungsvoraussetzungen des Menschen behandelt.

Im englischsprachigen Raum wird unter dem Begriff „ergonomics“ (oder auch „human factors“) das Wissenschaftsgebiet der Arbeitswissenschaft bezeichnet. Arbeitswissenschaft ist eine interdisziplinäre Wissenschaft und umfasst unterschiedliche Teilgebiete (siehe Abschnitt B 1.4).

Folgende Kerndefinition hat sich nach einem Diskursprozess im Jahr 1987 im deutschsprachigen Raum verbreitet (Luczak, Volpert, Raeithel & Schwier, 1989):

„Arbeitswissenschaft ist die Systematik der Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen:

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden,
- Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen,
- Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen Persönlichkeiten erhalten und entwickeln können.“

Ergonomie als wesentliche Teildisziplin der Arbeitswissenschaft hat im Schwerpunkt die technischen und organisatorischen Bedingungen der Arbeit zum Gegenstand. Anhand des Gegenstandsbereichs wird in Produktergonomie (micro ergonomics) und in Produktionsergonomie (macro ergonomics) differenziert. Die Ergonomie liefert somit Beiträge zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Beschäftigten bei der Herstellung von Waren und der Erbringung von Dienstleistungen (Produktionsergonomie, macro ergonomics) und zur Gestaltung von Arbeitsmitteln, wie z. B. Geräte, Fahrzeuge, Maschinen und Werkzeuge (Produktergonomie, micro ergonomics).

Mit der DIN EN ISO 26800 (2011) „Ergonomie – Genereller Ansatz, Prinzipien und Konzepte“ wurde eine Übersichtsnorm erarbeitet. Hier wird Ergonomie mit Arbeitswissenschaft gleichgesetzt und folgendermaßen definiert:



### **Ergonomie/Arbeitswissenschaft**

Ergonomie/Arbeitswissenschaft ist die wissenschaftliche Disziplin, die sich mit dem Verständnis der Wechselwirkungen zwischen menschlichen und anderen Elementen eines Systems befasst, und der Berufszweig, der Theorie, Grundsätze, Daten und Verfahren auf die Gestaltung von Arbeitssystemen anwendet mit dem Ziel, das Wohlbefinden des Menschen und die Leistung des Gesamtsystems zu optimieren (DIN EN ISO 26800, 2011).

Diese Definition stimmt mit der von der International Ergonomics Association [IEA] (2021) erarbeiteten Definition überein.

Ergänzend wird ausgeführt: „Dies beinhaltet insbesondere die Ziele der Erleichterung der Ausführung der Aufgabe, des Schutzes und der Förderung der Sicherheit, Gesundheit und des Wohlbefindens des Arbeitenden oder des Benutzers/Operators von Produkten/Ausrüstungen durch die Optimierung der Aufgaben, der Arbeitsmittel, der Dienstleistungen, der Umgebung oder – allgemeiner – sämtlicher Elemente eines Systems und deren wechselseitiger Beziehungen. Das Erreichen dieser Ziele trägt potentiell zur Nachhaltigkeit und gesellschaftlicher Verantwortung bei.“

### **Nachhaltigkeit**

Als Beitrag der Ergonomie zur Nachhaltigkeit wird folgendes gesehen (DIN EN ISO 26800, 2011): Eine nachhaltige Gestaltung erfüllt die Bedürfnisse der aktuellen Generation ohne die Bedürfnisse der folgenden Generation zu gefährden. Durch ein Gleichgewicht zwischen wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und umgebungsbedingten Gestaltungszielen kann dieses erreicht werden.

- **Wirtschaftlich:**  
Die Anpassung des Gestaltungsobjekts an die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Menschen erhöht die Verwendungsfähigkeit und die Qualität, optimiert die Effizienz, stellt preisgünstige Lösungen bereit und verringert die Wahrscheinlichkeit der Ablehnung des Systems, des Produkts oder der Dienstleistung durch den Benutzer.
- **Gesellschaftlich:**  
Die Anwendung der Ergonomie führt zu Aufgaben, Tätigkeiten, Produkten, Werkzeugen, Arbeitsmitteln, Systemen, Organisationen, Dienstleistungen, Einrichtungen und Umgebungen, die für die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen, einschließlich der Bedürfnisse älterer Menschen und solcher mit Behinderungen, vorteilhafter sind. Die sich daraus ergebende Verbesserung der Effektivität und Effizienz sowie der Zufriedenheit hat auch Auswirkungen auf akzeptable Beschäftigungsverhältnisse.

- Umweltbezogen:

Die Anwendung der Ergonomie bei der Gestaltung verringert das Risiko, dass Menschen Aufgaben, berufliche Tätigkeiten, Produkte, Werkzeuge, Arbeitsmittel, Systeme, Organisationen, Dienstleistungen und Einrichtungen ablehnen oder die Gestaltung zu Fehlern führt, die eine Schädigung der natürlichen Umgebung oder die Verschwendung natürlicher Ressourcen verursachen. Dadurch wird dazu beigetragen, die gesamten Umweltauswirkungen eines jeden Gestaltungsobjekts zu minimieren. Der Prozess unterstützt außerdem jene, die an einer langfristigen/lebenszyklusorientierten Gestaltung interessiert sind.

### Gebrauchstauglichkeit

Gebrauchstauglichkeit (englisch Usability) entsteht, wenn Produkte nach ergonomischen Gestaltungsgrundsätzen entwickelt wurden. In der DIN EN ISO 9241-11 (2018) ist Usability definiert als:

„Das Ausmaß, in dem ein Produkt oder eine Dienstleistung durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“

Die Effektivität, die Effizienz und die Zufriedenstellung sind damit die Maße der Gebrauchstauglichkeit bzw. deren Zielkriterien. Diese können in einer Zielpyramide dargestellt werden (vgl. Abbildung 1.2). Die Kriterien bauen aufeinander auf, d. h. die unteren Zielstellungen bilden die Basis für die oberen Ziele.

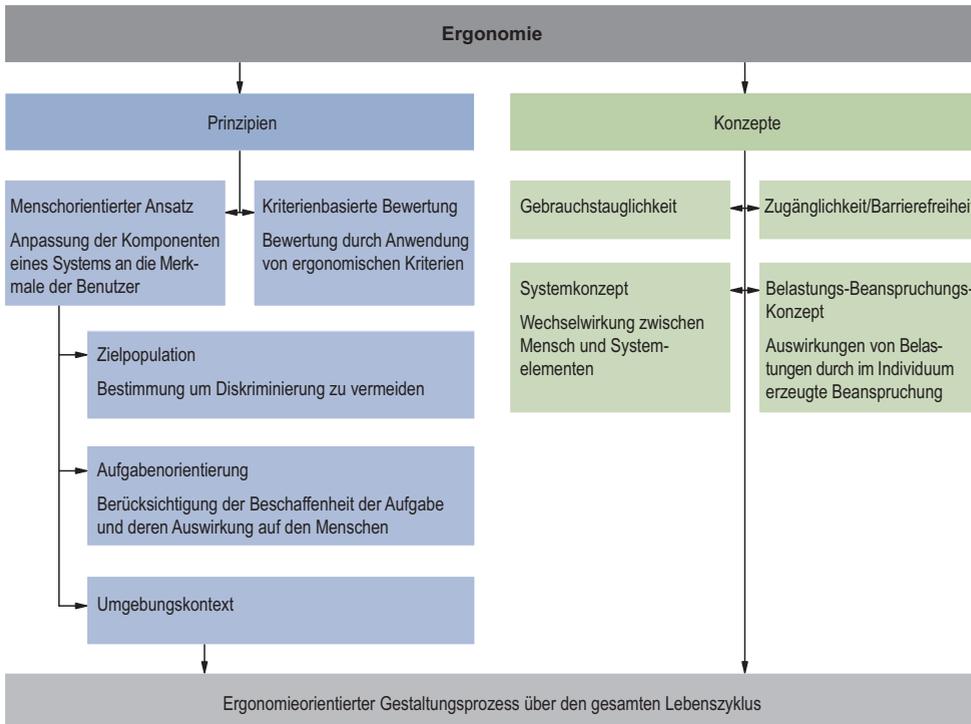


**Abbildung 1.2:** Pyramide der Gebrauchstauglichkeit

Die Effektivität eines Produktes ist das Verhältnis der Ziele eines Benutzers zur Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der er diese Ziele erreichen kann. Das bedeutet, ein Produkt ist dann effektiv, wenn es prinzipiell geeignet ist, das Ziel, für dessen Erreichen es genutzt wird, zu erfüllen. Die Effizienz ist das Verhältnis der erreichten Effektivität zum eingesetzten Aufwand. Wenn das gewünschte Ergebnis also mit einem möglichst geringen Aufwand erreicht werden kann, ist das Produkt effizient. Die Zufriedenstellung ist ein subjektives Maß über die Freiheit von Beeinträchtigungen und der positiven Einstellung gegenüber der Nutzung des Produktes.

## B 1.1 Prinzipien und Konzepte der Ergonomie

Abbildung 1.3 zeigt die in der DIN EN ISO 26800 (2011) als Gegenstand der Ergonomie aufgenommenen Konzepte und Prinzipien.



**Abbildung 1.3:** Prinzipien und Konzepte der Ergonomie (Stowasser, 2012)

Im Mittelpunkt der ergonomischen Gestaltung steht der Mensch mit seinen individuellen Leistungsvoraussetzungen (siehe Abschnitt B 4.1), wie z. B. Körpergröße, Körperkraft, Fertigkeiten aber auch Sehvermögen, Lese- und Schreibvermögen, Fachwissen. Im Rahmen der Gestaltungsarbeit muss deshalb die Zielpopulation in den Blick genommen werden. Weiterhin müssen die Beschaffenheit der Aufgabe und deren Auswirkung auf den Menschen berücksichtigt werden. Die aufgabenorientierte Gestaltung der Arbeit (siehe Abschnitt B 4.5) stellt sicher, dass die Arbeitsaufgaben dem Menschen angemessen sind. Die Berücksichtigung des Umgebungskontextes, d. h. die physischen, organisationsbezogenen, sozialen und rechtlichen Umgebungen, müssen identifiziert und beschrieben sein. Die jeweiligen Anforderungen müssen berücksichtigt werden.

Grundsätzlich denkbar ist es, dass durch gezielte Personalauswahl oder durch Qualifizierungs- bzw. Trainingsmaßnahmen der arbeitende Mensch an die vorhandenen Bedingungen angepasst wird. Aus der Sicht der Ergonomie wird diese Strategie abgelehnt, wenngleich

es notwendig sein kann, dass z. B. bei der Gestaltung von abwechslungsreichen Arbeitsaufgaben neue Fertigkeiten erlernt werden müssen oder dass auch gesundheitsgerechte Arbeitsweisen, wie z. B. das rückschonende Heben und Tragen, eingeübt werden müssen.

Für akzeptierte Gestaltungslösungen ist es unabdingbar, dass die von der Gestaltung Betroffenen (Benutzer, Operatoren, Beschäftigte, Arbeitende) in den Gestaltungsprozess eingebunden werden.

Neben dem menschorientierten Ansatz muss eine iterative Bewertung der Gestaltungslösungen erfolgen. Für Arbeitssysteme und ihre Elemente können die Kriterien der menschengerechten Gestaltung von Arbeit (siehe Abschnitt B 1.7) verwendet werden. Auch die bereits beschriebene Kriterienhierarchie der Gebrauchstauglichkeit ist insbesondere bei der Bewertung von Produkten geeignet.

Wesentliche Konzepte der Ergonomie sind das Systemkonzept und das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Durch die Modellbildung wie z. B. das Arbeitssystemmodell (siehe Abschnitt B 1.2) oder Mensch-Maschine-Modelle wird versucht, komplexe Sachverhalte zu gliedern und darin enthaltene Wechselwirkungen deutlich zu machen. Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (siehe Abschnitt B 4.1) ist ein grundlegendes Konzept, das kurz- und langfristige Auswirkungen von Arbeit auf den Menschen beschreibt und erklärt.

Neben der bereits beschriebenen Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11, 2018) ist die Zugänglichkeit bzw. Barrierefreiheit ein weiteres Konzept. In der DIN EN ISO 26800 (2011) wird bezüglich der Zugänglichkeit folgendes ausgeführt:

„Zugänglichkeit beschreibt das Ausmaß, in dem Produkte, Systeme, Dienstleistungen, Umgebungen und Einrichtungen durch Menschen aus einer in Bezug auf ihre Eigenschaften und Fähigkeiten möglichst weit gefassten Population genutzt werden können, um ein festgelegtes Ziel in einem festgelegten Nutzungskontext zu erreichen.

Das Ausmaß der Zugänglichkeit hängt sowohl von der Anzahl der Personen, die ein Produkt, ein System, eine Dienstleistung, eine Umgebung oder eine Einrichtung nutzen können, als auch von der Qualität der Nutzung ab. Bei der ergonomischen Gestaltung kann dieses Ziel sowohl durch die Erweiterung der vorgesehenen Zielpopulation als auch durch die Steigerung der Zugänglichkeit für Angehörige innerhalb der Zielpopulation erreicht werden. Deshalb müssen in Abhängigkeit von den Zielen der Gestaltung die zu berücksichtigenden Merkmale der jeweiligen Zielpopulation so unterschiedlich wie möglich sein. Beispielsweise erfordert die Berücksichtigung einer größeren Altersspanne, um dem wachsenden Anteil älterer Menschen an der Bevölkerung zu entsprechen, vom Gestalter die Beachtung der sich altersabhängig verändernden Eigenschaften beziehungsweise Merkmale. Dies kann auch die Ermittlung von bestimmten Untergruppen einschließen, die berücksichtigt werden sollten, wie beispielsweise Hörgeschädigte, Personen mit kognitiven Beeinträchtigungen, Personen, die bereits unterstützende Technologien nutzen oder solche, die individuelle Lösungen oder alternative Zugangsmöglichkeiten benötigen.“

Eine ausführlichere Darstellung des Konzepts der Zugänglichkeit ist in der ISO/TR 22411 (2008) „Ergonomische Daten und Leitlinien für die Anwendung des ISO/IEC Guide 71 in Produkt- und Dienstleistungsnormen zur Berücksichtigung der Belange älterer und behinderter Menschen“ enthalten.

In der DIN EN ISO 26800 (2011) ist für das Konzept der Zugänglichkeit folgendes Anschauungsbeispiel enthalten: Die Zielpopulation für visuelle Anzeigen im Cockpit von Flugzeugen ist gesetzlich auf Individuen mit hoher Sehschärfe begrenzt. Die Zielpopulation für einen öffentlichen Informationsstand zeichnet sich hingegen durch einen größeren Bereich von Fähigkeiten und Einschränkungen aus, einschließlich (Farben-)Blindheit und Sehbehinderung, und die Personen der Zielpopulation (= Nutzergruppe) haben einen Rechtsanspruch auf Zugang zu einem solchen Informationsstand. Die Berücksichtigung dieser Faktoren erweitert die Population, für die der Informationsstand zugänglich ist.

## B 1.2 Systemmodelle

Ergonomie beinhaltet, wie im vorangegangenen Abschnitt aufgeführt, das Systemkonzept. Als System (griechisch *σύστημα* für „das Gebilde, Zusammengestellte, Verbundene“) wird allgemein eine Gesamtheit von aufeinander bezogenen bzw. miteinander verbundenen Elementen bezeichnet. Es bestehen Wechselwirkungen zwischen den Elementen, so dass das System als eine Einheit angesehen werden kann. So spricht man etwa vom Fernmeldesystem, vom Verkehrssystem, vom Ökosystem oder vom Wirtschaftssystem eines Landes. Ein System kann aus Subsystemen bestehen und selbst ein Subsystem in einem größeren System sein. So besteht z. B. eine Produktionslinie aus mehreren Teilsystemen (z. B. Arbeitsplätze) und ist selbst ein Teilsystem des übergeordneten Systems, z. B. der Fabrik. Bei der Systemgestaltung sind insbesondere auch diese Schnitt- bzw. Nahtstellen von miteinander verbundenen Systemen zu betrachten, da hier die Gefahr von Informationsverlusten (Schnittstellenproblematik) besteht.

Aus wissenschaftlicher Sicht hat sich die Systemtheorie etabliert. Systemtheorie ist ein interdisziplinäres Erkenntnismodell, in dem Systeme zur Beschreibung und Erklärung unterschiedlich komplexer Phänomene herangezogen werden. Durch die Analyse von Strukturen und Funktionen bzw. der Systemelemente und ihrer Wechselwirkungen sollen Vorhersagen über das Systemverhalten gewonnen werden. Systeme können so als Modell der Realität gesehen werden und mittels Simulationsmethoden kann das Systemverhalten vorausgesagt werden.

Die Analyse und Gestaltung von komplexen Sachverhalten wird oft erst möglich, indem Systeme mit ihren jeweiligen Grenzen definiert werden. Durch die Betrachtung der enthaltenen Systemelemente und der Wechselwirkungen können umfassende Analyse- und Gestaltungsaufgaben auf handhab- und beherrschbare Umfänge reduziert werden.

In der Ergonomie wird das Arbeitssystem als Erklärungsmodell für die Leistungserstellung herangezogen. Arbeitssysteme sind sozio-technische Systeme, da der Mensch als das zentrale Systemelement gesehen wird. Der Begriff „soziotechnisches System“ macht auch deutlich, dass einzelne Systemelemente nicht – so wie in einem rein technischen System – ausgetauscht werden können, sondern dass durch die soziale Teilkomponente implizite Wechselwirkungen und Erfahrungskomponenten vorhanden sind. Gleichartige Arbeitssysteme können deshalb mit unterschiedlichen Menschen unterschiedliche Interaktionen bewirken.

Von dem Technikphilosophen Ropohl stammt dazu folgende beispielhafte Erläuterung (Ropohl, 2009):

„Ein Computer wird erst wirklicher Computer, wenn er zum Teil einer Mensch-Maschine-Einheit geworden ist. Wenn Text geschrieben wird, tut das nicht allein der Mensch, aber es ist auch nicht allein der Computer, der den Text schreibt; erst die Arbeitseinheit von Mensch und Computer bringt die Textverarbeitung zuwege. Da freilich im benutzten Computer immer schon die Verwendung der Arbeit anderer Menschen verkörpert ist, da also die Mensch-Maschine-Einheit nicht nur durch den einzelnen Nutzer gebildet, sondern auch von anderen Menschen mitgeprägt wird, bezeichne ich sie als soziotechnisches System.“ Insbesondere bei größeren Arbeitssystemen (Makroebene) mit einer größeren Anzahl von Menschen und Arbeitsmitteln wird deutlich, dass ein soziotechnisches System aus den zwei Komponenten (Subsystemen):

- technische Teilkomponente (Arbeitsmittel) und
- soziale Teilkomponente (Mitarbeiter)

besteht. Das Besondere ist eben, dass die Teilsysteme nicht voneinander trennbar sind, sondern es bestehen ausgeformte Abhängigkeiten, die auf Gegenseitigkeit beruhen.

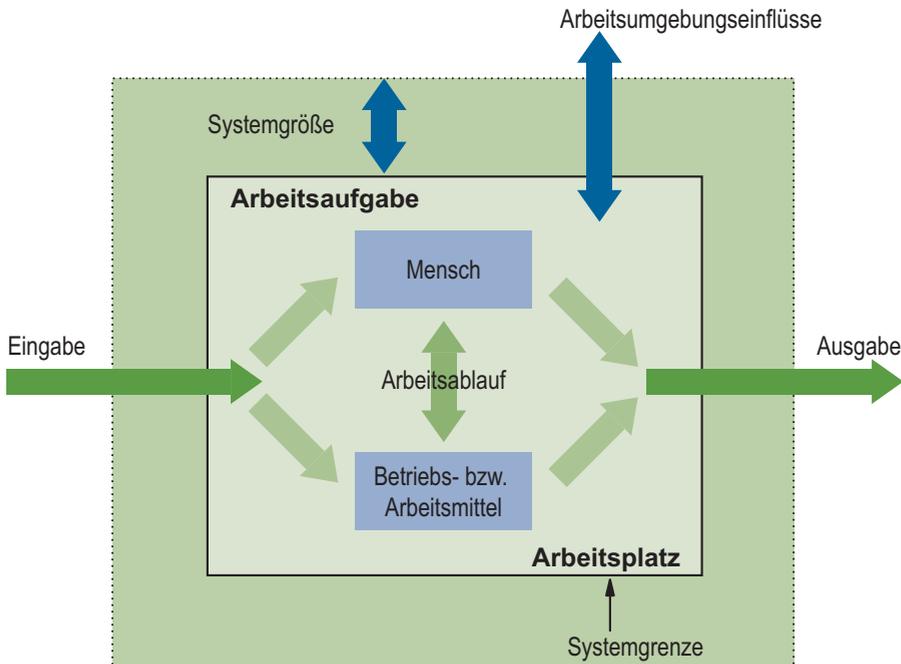
Je nach den zu erklärenden Sachverhalten bzw. den zu untersuchenden Wechselwirkungen (z. B. von Mensch zu Mensch oder zwischen Menschen und mehreren Maschinen) werden unterschiedliche Modelle verwendet.

Ein Modell des Arbeitssystems, das vorwiegend für Montage- und Teilefertigungsprozesse sowie für Dienstleistungen verwendet wird, ist in der REFA-Methodenlehre enthalten. REFA wurde 1924 als Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung gegründet und nennt sich heute Verband für Arbeitsstudien, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Das REFA-Arbeitssystemmodell ist statisch und wird in der Wirtschaft zur Beschreibung und Gestaltung von Herstellprozessen verwendet. Es dient auch zur Bewertung der Arbeit im Hinblick auf die Entgeltfindung.

Ein weiter gefasstes und allgemeineres Modell wird in Abschnitt B 1.2.2 behandelt. Dieses als „Strukturschema menschlicher Arbeit“ bezeichnete Modell betrachtet neben den einzelnen Elementen insbesondere auch die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen. Entsprechend dieses Modells ist das vorliegende Lehrbuch gegliedert. Die einzelnen Elemente finden sich in den Kapitelüberschriften und auch die Wechselwirkungen sowie die Verknüpfung mehrerer Arbeitssysteme zu einem Organisationsmodell werden behandelt.

### B 1.2.1 REFA-Arbeitssystem

Abbildung 1.4 zeigt das Arbeitssystemmodell nach REFA.



**Abbildung 1.4:** REFA-Arbeitssystemmodell (REFA, 2021)

Das REFA-Arbeitssystem wird mit Hilfe der folgenden Systembegriffe gekennzeichnet:

- Arbeitsaufgabe,
- Arbeitsablauf,
- Mensch,
- Betriebs- bzw. Arbeitsmittel,
- Eingabe (Input),
- Ausgabe (Output),
- Arbeitsplatz und
- Arbeitsumgebungseinflüsse.

Eine Arbeitsaufgabe ist eine zur Erfüllung eines vorgesehenen Arbeitsergebnisses erforderliche Aktivität oder Anzahl von Aktivitäten des Arbeitenden/Benutzers. Durch eine Arbeitsaufgabe werden Handlungsforderungen an den damit betrauten Menschen gestellt, denen dieser entsprechen muss.

Die Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe erfolgt bei sozio-technischen Systemen zwischen Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmitteln, bei technischen Systemen ausschließlich durch die Betriebs- bzw. Arbeitsmittel.

Die Arbeitsaufgabe kennzeichnet zudem den Zweck eines Arbeitssystems und definiert die Systemgröße sowie dessen Auslegung. Die Systemleistung lässt sich durch Kennzahlen, beispielsweise Mengenleistung, Durchlaufzeit etc. erfassen und bewerten.

Die Eingabe (Input) eines Arbeitssystems besteht im Allgemeinen aus Arbeitsgegenständen, Informationen und Energie. Diese werden im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert oder verwendet. Im Dienstleistungsbereich kann auch der Mensch als Eingabe gelten, z. B. der Patient beim Zahnarzt.

Arbeitsgegenstände bzw. Arbeitsmittel sind z. B. Rohstoffe oder Halbfabrikate, aber auch Datenträger. Informationen werden aus Arbeitsanweisungen, Zeichnungen, Arbeitsplänen gewonnen, während Energie z. B. in Form von Wärme, Elektrizität und Druckluft bereitgestellt wird.

Der Arbeitsablauf (Workflow) ist die räumliche und zeitliche Abfolge des Zusammenwirkens von Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmittel, durch das die Eingabe gemäß der Arbeitsaufgabe in die Ausgabe überführt wird.

Der Arbeitsablauf wird auch als Prozess- bzw. Zeitverhalten des Systems bezeichnet. Im Arbeitsablauf wird erfasst:

- wer,
- wo (z. B. in welcher Abteilung und in welchem Arbeitssystem),
- wann (in welcher zeitlichen Abfolge),
- womit (z. B. mit welchen Arbeitsmitteln) und
- wie

die Eingabe (z. B. ein Arbeitsgegenstand) gemäß der Arbeitsaufgabe in die Ausgabe überführt.

Der Mensch und die Betriebs- bzw. Arbeitsmittel sind die zentralen Systemelemente. Sie bestimmen im Zusammenwirken mit der Organisation die Kapazität des Arbeitssystems. Der Mensch ist das zentrale „aktive“ Element des Arbeitssystems, welcher den Transformationsprozess maßgeblich determiniert. So ist der Mensch in der Lage, von sich aus tätig zu werden und „inaktive“ Elemente des Systems in Bewegung setzen.

Unter Betriebs- bzw. Arbeitsmitteln werden alle Anlagen, Maschinen, Werkzeuge, Organisationsmittel und sonstige Geräte zusammengefasst, die im Arbeitssystem direkt oder indirekt daran beteiligt sind, zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe beizutragen. Aus systemtechnischer Sicht handelt es sich bei den Betriebs- bzw. Arbeitsmitteln um „inaktive“ Elemente. Die Begriffe Betriebs- und Arbeitsmittel werden synonym verwendet, wobei der Begriff des Betriebsmittels in der Fertigung gebräuchlicher ist. Dagegen findet der des Arbeitsmittels häufiger im Bürobereich Verwendung. Die Ausgabe (Output) eines Arbeitssystems besteht wie die Eingabe v. a. aus Arbeitsgegenständen, Informationen und Energie. Diese wurden jedoch im Sinne der Arbeitsaufgabe verändert, verwendet oder neu erstellt. Weiterhin können auch Expositionen und Emissionen, z. B. Staub, Ausgaben sein, die auf andere Arbeitssysteme, deren Komponenten und die Umgebung wirken. Wichtige Faktoren der Ausgabe sind die Qualität des Arbeitsergebnisses sowie die erbrachte Mengenleistung. Der Arbeitsplatz stellt die Kombination und räumliche Anordnung der Arbeitsmittel, der Arbeitsgegenstände und der Ausstattungsmittel (z. B. Mobiliar) innerhalb der Arbeitsumwelt (auch Arbeitsumgebung) unter den durch die Arbeitsaufgaben erforderlichen Bedingungen sowie die zur Arbeitsausführung notwendigen Flächen dar. Die Arbeitsplatzgestaltung konzentriert sich auf die optimale Zuordnung der Betriebs- bzw. Arbeitsmittel zum Menschen und versucht dabei, dessen anatomische, biologische und psychische Grundbedürfnisse möglichst umfassend zu berücksichtigen.

Als Arbeitsumgebungseinflüsse werden alle von außen auf das System wirkenden Einflüsse und Faktoren bezeichnet. Diese physikalischen, chemischen, biologischen, organisatorischen, sozialen und kulturellen Faktoren besitzen einen Einfluss auf das Verhalten des Systems und die Eigenschaften der Elemente. Beispielsweise können im Arbeitssystem erzeugte Emissionen das Arbeitsergebnis bezüglich der erzeugten Qualität oder das Betriebs- bzw. Arbeitsmittel bezüglich des Verschleißes beeinflussen. Physikalische, chemische und biologische Umwelteinflüsse werden als Umgebungseinflüsse bezeichnet, z. B. Licht, Klima, Schall, mechanische Schwingungen, Gase, Staub und Dämpfe. Organisatorische und soziale Einflüsse sind nicht immer trennscharf, da sich Einflüsse häufig sowohl der Organisation als auch dem sozialen Bereich zuordnen lassen. Dazu zählen z. B. die Regelung der Arbeitszeit nach dem Arbeitszeitgesetz (ArbZG), die Entlohnungsgrundsätze und das Entgelt, der Führungsstil sowie gesamtwirtschaftliche Gegebenheiten (wie z. B. die Konjunktur, Gesetze und private Einflüsse).

Unter Arbeitsbedingungen werden die über die Arbeitszeit wirkenden, aber im betrachteten Arbeitssystem als konstant angenommenen Einflussgrößen verstanden. Durch die Festlegung der Arbeitsbedingungen wird eine wesentliche Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit und somit auch Wiederverwendbarkeit von Zeitdaten geschaffen. Eine Beschreibung der Arbeitsbedingungen erfolgt über sogenannte Arbeitsablaufbeschreibungen.

### B 1.2.2 Strukturschema menschlicher Arbeit

In Abbildung 1.5 ist das allgemeine Strukturschema menschlicher Arbeit dargestellt. Es ist für die Erläuterung der Grundlagen der Produkt- und Produktionsergonomie geeignet. Das Ursprungsmodell (Bubb, 1980) wurde zur Beschreibung der Systemergonomie entwickelt und in der Münchner Schule der Ergonomie weiterentwickelt. Für die Erläuterung der Zusammenhänge in den Vorlesungen zur Ergonomie bzw. Arbeitswissenschaft wurde es von den Verfassern angepasst. Das Modell wird entsprechend der Nutzung in der Lehre zur Gliederung dieses Buchs verwendet, in jedem Kapitel wird ein Systemelement mit den jeweiligen Wechselwirkungen zu den anderen Elementen behandelt.

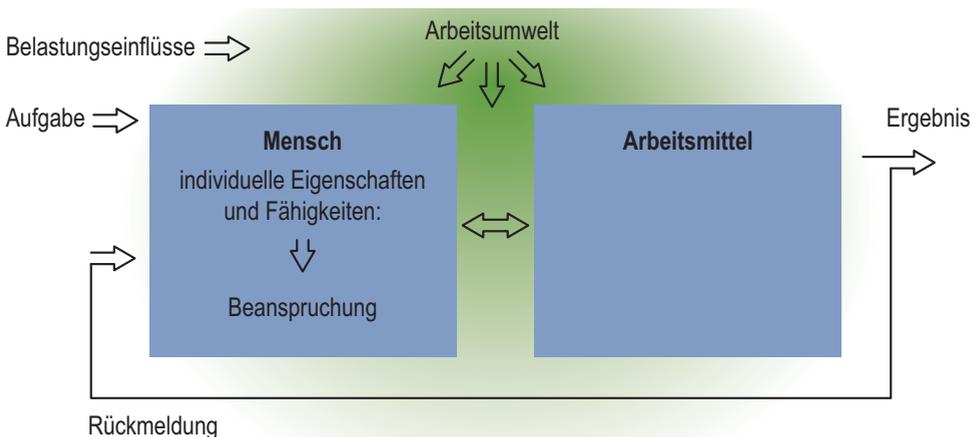
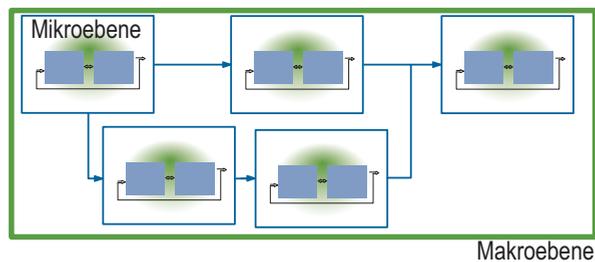


Abbildung 1.5: Strukturschema menschlicher Arbeit

Der Mensch mit seinen individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten bearbeitet die ihm gestellte Aufgabe. Er ist dabei eingebunden in die Umwelt. Hier können sich organisatorische (z. B. Abteilung) und soziale Belastungseinflüsse ergeben, die die Ausführung der Arbeitsaufgabe beeinflussen. Schon die Arbeitsaufgabe selbst mit körperlichen und geistigen Anforderungen ist ein Teil des Systems und muss folglich entsprechend gestaltet werden. Zur Arbeitsausführung sind Arbeitsmittel notwendig. Auch der Arbeitsplatz selbst mit seiner Ausstattung kann als Arbeits- oder Betriebsmittel gesehen werden. Die Rückmeldung über das produzierte Arbeitsergebnis mit seiner Ausprägung, Menge und Qualität geht wieder als Information ein, so dass ein Regelkreis gebildet wird. Damit enthält das System auch eine wichtige dynamische Komponente.

Ein einzelnes Arbeitssystem der untersten Ordnung kann als Mikroebene gesehen werden. Sobald mehrere Arbeitssysteme und ihre Vernetzung (übergeordnete, untergeordnete, vor- und nachgeschaltete Systeme) betrachtet werden, wird von der Makroebene gesprochen. In Abbildung 1.6 wird dieser Sachverhalt dargestellt.



**Abbildung 1.6:** Mikro- und Makroebene bei der Betrachtung von Arbeitssystemen

Anhand des Strukturmodells lassen sich alle in diesem Werk behandelten Gestaltungsfelder der Ergonomie ableiten. Die jeweils entstehenden und auf den Menschen einwirkenden Belastungen werden in den einzelnen Gestaltungsfeldern im Hinblick auf die wirtschaftliche und humane Gestaltung der Arbeitsbedingungen angesprochen. In Tabelle 1.1 erfolgt eine Zuordnung der Elemente bzw. Gestaltungsfelder zu den einzelnen Buchkapiteln.

**Tabelle 1.1:** Aufbau des Buches

Elemente bzw. Gestaltungsfelder	Kapitel und Kurzbeschreibung
<b>Mensch, Arbeitsmittel und Rückmeldung</b>	<b>Kapitel 2 „Interaktionsergonomische Gestaltung“</b> Hier werden der Informationsfluss zwischen Mensch und Arbeitsmittel betrachtet und Grundlagen für die Interaktion zwischen diesen beiden Arbeitssystemelementen dargestellt.
<b>Mensch und Arbeitsmittel</b>	<b>Kapitel 3 „Anthropometrische und biomechanische Gestaltung“</b> In diesem Kapitel steht die geometrische und biomechanische Auslegung der Mensch–Technik–Schnittstelle im Vordergrund. Menschliche Körpermaße und biomechanische Zusammenhänge dienen dabei als Eingangsgröße für die Gestaltung von Arbeitsmitteln.

Elemente bzw. Gestaltungsfelder	Kapitel und Kurzbeschreibung
<b>Aufgabe, Ergebnis und Mensch</b>	<b>Kapitel 4 „Gestaltung der Arbeitsaufgabe“</b> Hier werden die Zusammenhänge zwischen den Belastungen aus der Arbeitsaufgabe, den menschlichen Leistungsvoraussetzungen und den daraus resultierenden Beanspruchungen erörtert. Auf dieser Basis folgen konkrete Gestaltungsmaßnahmen für Arbeitsaufgaben.
<b>Aufgabe und Ergebnis</b>	<b>Kapitel 5 „Gestaltung der Arbeitsorganisation“</b> Dieses Kapitel bezieht sich auf die Makro-Ebene des Arbeitssystems und betrachtet den Verbund organisatorisch miteinander in Beziehung stehender Systeme. Themenschwerpunkte sind Aufbau- und Ablauforganisation, organisatorische Rahmenbedingungen wie Arbeitszeit- und Entgeltsysteme sowie konkrete praktische Fragestellungen wie beispielsweise die Prozessoptimierung.
<b>Arbeitsumwelt</b>	<b>Kapitel 6 „Gestaltung der Arbeitsumwelt“</b> Hier werden die Arbeitsumweltfaktoren Lärm, Vibrationen, Klima, Gefahrstoffe, Licht und Farbe sowie Strahlung vorgestellt. Dabei stehen neben physiologischen Grundlagen insbesondere methodische und systematische Zusammenhänge, technische Größen und Berechnungsvorschriften im Vordergrund.
<b>Rechtliche und gesellschaftliche Aspekte</b>	<b>Kapitel 7 „Gestaltung des Arbeitsschutzes“</b> Hier werden Grundlagen zur Arbeitssicherheit, dem Gesundheitsschutz und der Gesundheitsförderung vermittelt. Methodisch spielen die Gefährdungsbeurteilung und das Arbeitsschutzmanagement eine besondere Rolle.

### B 1.3 Historische Einordnung

Ergonomie ist eine relativ junge Wissenschaftsdisziplin. 1857 schrieb Wojciech Jastrzebowski den Aufsatz „Grundriss der Ergonomie bzw. Arbeitswissenschaft“ (Jastrzebowski, 1998). Hier wird ausgeführt: „Die Bedeutung des Einsatzes unserer Lebenskräfte, ..., wird für uns zum antreibenden Moment, uns mit einem wissenschaftlichen Ansatz zum Problem der Arbeit zu beschäftigen und sogar zu ihrer Erklärung eine gesonderte Lehre zu betreiben ..., damit wir aus diesem Leben die besten Früchte bei der geringsten Anstrengung mit der höchsten Befriedigung für das eigene und das allgemeine Wohl ernten und dem eigenen Gewissen gegenüber gerecht verfahren.“

Eine weitere Quelle für den Begriff „Ergonomie“ findet sich bei Murell (1965). 1949 wurde in England eine interdisziplinäre Forschergruppe „Ergonomics Research Society“ gegründet. In Deutschland ist seit 1953 die GfA – Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (<http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de>) die relevante wissenschaftliche Fachgesellschaft. Die IEA – International Ergonomics Association (<http://www.iea.cc>) wurde 1959 gegründet.

Im deutschen Sprachraum wird als Oberbegriff der wissenschaftlichen Aktivitäten oft Arbeitswissenschaft und Ergonomie gleichbedeutend verwendet. Es kann eine Binnendifferenzierung erfolgen, in der Arbeitswissenschaft als Oberbegriff für alle wissenschaftlichen Teilgebiete einzelner Disziplinen gesehen wird, welche die menschliche Arbeit zum Ge-

genstand haben. Arbeitsforschung befasst sich eher mit übergeordneten Fragestellungen der Arbeitsorganisation und Ergonomie wird als anwendungsorientierte Arbeitsgestaltung gesehen.

Im englischsprachigen Raum wird Arbeitswissenschaft überwiegend als „ergonomics“ bezeichnet. Der ebenso gebräuchliche Begriff „Human Factors“ betrifft eher die Aspekte der menschlichen Leistungsvoraussetzungen.

In der historischen Betrachtung der Ergonomie muss auch Frederick Winslow Taylor (1856–1915) genannt werden. Beim Übergang von der durch implizites Wissen geprägten handwerklichen Fertigung (Erfahrungswissen) zur industriellen Serienproduktion war es notwendig, wissenschaftliche Erkenntnisse zur Güterproduktion zu nutzen (scientific management). Durch Arbeitsstudien (Prozessbeobachtungen) wurde für jede Verrichtung ein „one best way“ festgelegt, die Arbeitsmethode wurde also genau definiert. Eine umfassende Arbeitsaufgabe wurde in viele kleine (und damit beschreibbare) Teilschritte zerlegt. In der Folge ergab sich damit eine starke Arbeitsteilung, die dann z. B. von Henry Ford als Fließbandarbeit umgesetzt wurde. Es erfolgte eine Trennung von planenden, ausführenden und kontrollierenden Tätigkeiten und durch Zeitstudien konnten für die einzelnen Tätigkeiten auch Vorgabezeiten ermittelt und festgelegt werden. Durch die genaue Beschreibung der Tätigkeiten und die eng umgrenzten Arbeitsumfänge konnten so auch Personen ohne fachspezifische Ausbildung komplexe Produkte herstellen.

Einerseits konnte durch die Anwendung der Methoden von Taylor die Produktivität gesteigert werden, andererseits wurde auch die Trennung der Arbeit in „Kopf- und Handarbeit“ kritisiert. Durch eine Verknüpfung der Arbeitsmenge mit dem Entgelt bildeten sich Akkordlohnsysteme, die sich lediglich an den Stückzahlen orientierten. Dreh- und Angelpunkt von solchen Systemen ist die Vorgabezeit, d. h. diejenige Zeit, die bei durchschnittlicher Arbeitsleistung zur Leistungserstellung notwendig ist. An dieser Stelle gab es in der Vergangenheit oft Diskussionen zu der als „Normleistung“ anzusetzenden Vorgabe. Hier hat sich inzwischen das wissenschaftliche Methodeninventar verbessert, und die Festlegung der Vorgabezeiten unterliegt auch der Mitbestimmung, denn es muss eine Einigung der Sozialpartner (Arbeitgeber einerseits und Arbeitnehmervertretung andererseits) erfolgen.

Mit dem Rückgang des Massenmarktes durch die zunehmende Ausdifferenzierung der Produktion, d. h. der zunehmenden Variantenvielfalt, ergab sich ein Problem für die arbeitsteilige Produktionsorganisation. Die Losgrößen für gleiche Produkte wurden immer geringer, für jede Variante musste aber die Arbeitsorganisation umfassend geplant werden. Der Aufwand in den sogenannten indirekt produktiven Bereichen stieg gegenüber den direkt produktiven Bereichen deutlich an, so dass die arbeitsteilige Produktion ihre wirtschaftlichen Vorteile aufgrund der Mengeneffekte nicht mehr realisieren konnte. Selbst durch die zunehmende Automatisierung konnte diesem Effekt nicht entgegengewirkt werden, da bei kleineren Losgrößen und höherer Variantenvielfalt auch mehr unproduktive Umrüstvorgänge notwendig sind.

Als generell positiver Effekt muss die Effizienzsteigerung durch Standardisierung gesehen werden. Diese kann sowohl bei der Herstellung von Gütern als auch im Dienstleistungsbereich festgestellt werden.