

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEUREDigitale Fabrik  
Ergonomische Abbildung des Menschen  
in der Digitalen FabrikDigital factory  
Ergonomic representation of humans  
in the digital factory

VDI 4499

Blatt 4 / Part 4

Ausz. deutsch/englisch  
Issue German/English*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.**The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung .....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>6</b>	<b>1 Scope</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Normative Verweise</b> .....	<b>9</b>	<b>2 Normative references</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Begriffe</b> .....	<b>9</b>	<b>3 Terms and definitions</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Grundlagen</b> .....	<b>12</b>	<b>4 Basics</b> .....	<b>12</b>
4.1 Arten digitaler Menschmodelle.....	12	4.1 Types of digital human models.....	12
4.2 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	14	4.2 Legal framework.....	14
<b>5 Aspekte ergonomischer Analysen</b> .....	<b>16</b>	<b>5 Aspects of ergonomic analyses</b> .....	<b>16</b>
5.1 Geometrie.....	16	5.1 Geometry.....	16
5.2 Menschmodell.....	17	5.2 Human model.....	17
5.3 Arbeitsplatzmodell.....	22	5.3 Workplace model.....	22
5.4 Kinematik.....	26	5.4 Kinematics.....	26
5.5 Statik.....	34	5.5 Statics.....	34
5.6 Dynamik.....	38	5.6 Dynamics.....	38
5.7 Kollisionen.....	42	5.7 Collisions.....	42
<b>6 Anwendungsbeispiele</b> .....	<b>44</b>	<b>6 Application examples</b> .....	<b>44</b>
6.1 Anthropometrische Analyse und Gestaltung (Geometrie und Kinematik) ....	45	6.1 Anthropometric analysis and design (geometry and kinematics).....	45
6.2 Arbeitsphysiologische Analyse und Gestaltung (Statik und Dynamik).....	47	6.2 Work physiology analysis and design (statics and dynamics).....	47
Schrifttum .....	50	Bibliography .....	50

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)

Fachbereich Fabrikplanung und -betrieb

VDI-Handbuch Fabrikplanung und -betrieb, Band 2: Modellierung und Simulation

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/4499](http://www.vdi.de/4499).

## Einleitung

Digitale Menschmodelle spielen bei der Planung von Teilefertigungs- und Montagesystemen eine immer bedeutendere Rolle, erlauben sie es doch, zukünftige Arbeitssysteme im Vorhinein in ergonomischer und zeitwirtschaftlicher Hinsicht zu bewerten. Vor diesem Hintergrund wendet sich diese Richtlinie vorrangig an die Planer von Teilefertigungs-, Montage- und Logistiksystemen, darüber hinaus aber auch an alle Verantwortliche und Interessierte aus den Bereichen Ergonomie, Arbeitsplatzgestaltung und Personalwirtschaft.

Nachfolgend wird auf Anwendungsbereiche derartiger Modelle eingegangen. Im Anschluss an eine inhaltliche Abgrenzung dieser Richtlinie werden notwendige Begriffe definiert, Arten digitaler Menschmodelle im Anwendungsbereich der Fabrikplanung, insbesondere der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung, dargestellt und auf wesentliche rechtliche Aspekte der Menschmodellierung hingewiesen.

Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik ([1]; Definition siehe VDI 4499 Blatt 1) waren ursprünglich vorrangig darauf ausgerichtet, Fabrikgebäude und deren Infrastruktur sowie das Zusammenwirken von Maschinen und Materialflusseinrichtungen zunächst statisch, später dann auch in ihrem dynamischen Ablauf zu analysieren und zu visualisieren. Da die Abläufe in einer Fabrik in der Realität aber nicht ohne Mitwirkung des Menschen vonstattengehen können, ist die Abbildung des Menschen in den Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik von Bedeutung. Die Ursprünge dieser Entwicklung lagen dabei in CAD-Drahtmodellen, die sowohl den Arbeitsplatz als auch den

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/4499](http://www.vdi.de/4499).

## Introduction

Digital human models (also referred to as digital manikins) play an increasingly important role in the planning of parts manufacturing and assembly systems, as they allow the planner to evaluate the future work systems beforehand in terms of ergonomics and time management. With this in mind, this standard is intended mainly for planners of parts manufacturing, assembly, and logistics systems, but also for those in charge of and interested in ergonomics, workplace design, and human resources management.

In the following, we will deal with the scopes of application of such models. After delineating the content of this standard, the necessary terms and definitions, present the types of digital human models used in factory planning applications, especially in ergonomic workplace design are listed, and relevant legal aspects in the modelling of humans are pointed out.

The methods and tools of the digital factory ([1]; for definition see VDI 4499 Part 1) have originally been geared primarily towards the analysis and visualisation of factory buildings and their infrastructure as well as the interaction of machines and material flow equipment, which has first been static and later on also viewed in its dynamic flow. However, as the processes in a factory cannot happen without the assistance of humans, it is important to also represent humans in the digital factory's methods and tools. CAD wireframe models have been the origin of this development; they have represented both the workplace and the person working in it, and they have enabled the performance of first

dort tätigen Menschen abbildeten und erste ergonomische Bewertungen ermöglichten, vor allem hinsichtlich der Erreichbarkeit und Einsehbarkeit von Arbeitsgegenständen, Anzeigen und Stellteilen (vgl. zu frühen Verfahren [2; 3]).

Die Abbildung des Menschen in Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik ist inzwischen weiter vorangeschritten (siehe z.B. [4]), sodass der Entwicklungsstand in dieser Richtlinie zusammengestellt werden kann. Gegenstandsbereich ist dabei die digitale Modellierung von Arbeitspersonen im Zusammenwirken mit Arbeitsgegenständen und Arbeitsmitteln in einer Arbeitsumgebung (also mit Maschinen, Vorrichtungen, Transportmitteln usw.). Dies dient dann dem Zweck, Arbeitssysteme unter ergonomischen, arbeitsmethodischen und zeitwirtschaftlichen Gesichtspunkten zu analysieren und zu bewerten, um so eine Hilfestellung bei der Planung zu geben. Die realitätsnahe grafische Abbildung kann sowohl im Standbild (Visualisierung) als auch in bewegten Bildern (Video, Animation) erfolgen.

In Bezug auf Bewegungsfolgen beschränkt sich diese Richtlinie auf die Abbildung im Bereich von mehreren Sekunden bis wenigen Minuten. Im Gegensatz zur Modellierung des Menschen in Videospielen und Filmen geht es dabei nicht vorrangig um die möglichst fotorealistische Gestaltung des Menschen und seiner Umgebung. Vielmehr ist die Zielrichtung die ergonomische Bewertung von Arbeitsvorgängen hinsichtlich Ausführbarkeit und Erträglichkeit (siehe das Beurteilungskonzept der Arbeitswissenschaft nach [5; 6], ergänzend auch [7]). Hieraus lassen sich dann erste Beurteilungen, z.B. im Hinblick auf Gesundheitsrisiken, ableiten.

Nachfolgend werden die Modellierung und insbesondere die Prognose der auf den arbeitenden Menschen wirkenden Einflüsse aus der Arbeitsaufgabe betrachtet. Physikalische, chemische und biologische Einflüsse aus der Arbeitsumgebung werden hingegen nicht behandelt. Die Erörterung derartiger Möglichkeiten im Rahmen von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik soll Gegenstand eines weiteren Blatts der Richtlinienreihe VDI 4499 sein. Nicht behandelt werden in dieser Richtlinie außerdem organisatorische und soziale Einflüsse.

Die in dieser Richtlinie betrachtete Abbildung des Menschen grenzt sich von der personalintegrierten und -orientierten Simulation ab (siehe hierzu VDI 3633 Blatt 6). Während die hier diskutierten Methoden und Werkzeuge eine hohe grafische Detailtreue und eine Visualisierung im Bereich von einigen Sekunden bis zu wenigen Minuten ermöglichen, zielt die Simulation auf eine integrierte Betrachtung des Menschen in einer Arbeitssituation ab,

ergonomische Evaluierungen, particularly concerning the accessibility and visibility of work objects, displays, and controls (for historical methods see [2; 3]).

The representation of humans with the methods and tools of the digital factory has made considerable progress since (see e.g. [4]), and this standard gives an overview of the state of the art. Its application is the digital modelling of working persons acting together with work objects and equipment in a work environment (i.e. with machines, fixtures, vehicles, etc.). It serves the purpose of analysing and evaluating work systems under the aspects of ergonomics, work methodology, and time management, with the aim of providing planning support. A realistic graphic representation can be done with both still images (visualisation) and moving images (video, animation).

With regard to movement sequences, this standard focuses on representations with durations between several seconds and a few minutes. Unlike in the modelling of humans in video games and motion pictures, it is not intended to render humans and their environment as photo-realistically as possible. The aim is rather to perform an ergonomic evaluation of work operations with regard to their executability and tolerability (see the assessment concept from work science according to [5; 6], additionally also [7]). This allows for deriving first assessments, e.g. concerning health risks.

In the following, we will deal with modelling the work task and particularly with predictions of its influences on the worker. Physical, chemical, and biological influences from the work environment will for now be neglected. Such aspects of the methods and tools of the digital factory will be discussed in a separate part of the series of standards VDI 4499. Neither organisational nor social influences are discussed in this standard.

The representation of humans that is the topic of this standard differs from personnel-integrated and personnel-oriented simulation (see VDI 3633 Part 6). While the methods and tools discussed here allow a high degree of graphic detail and visualisation durations of some seconds to a few minutes, simulation aims at an integrated representation of humans in their work situation that goes well beyond a few minutes and, especially for capacity

die weit über den Minutenbereich hinausgeht und insbesondere bei der Kapazitätsplanung und Produktivitätsanalyse bis in den Bereich von mehreren Monaten hineinreichen kann. Realitätsnahe grafische Repräsentationen treten dafür gegenüber zeitreihenbezogenen Darstellungen und statistischen Grafiken in den Hintergrund.

**Gliederung dieser Richtlinie**

Die Gliederung dieser Richtlinie orientiert sich an den mechanischen Phänomenen in gegenständlichen Räumen in Verbindung mit einer ergonomischen Betrachtungsweise (Bild 1). Daher beginnen die nachfolgenden Ausführungen mit der Geometrie, wobei neben der geometrischen Gestalt eines Arbeitsplatzes auch dessen unmittelbare räumliche Umgebung Betrachtungsgegenstand ist (wie dies bereits in VDI 4499 Blatt 1 vorausgesetzt wird). Dabei ist einerseits die Geometrie des Arbeitsgegenstands und der Einrichtungsgegenstände am Arbeitsplatz von Bedeutung. Andererseits ist die Geometrie des menschlichen Körpers zu betrachten; Grundlage hierfür ist die Anthropometrie.

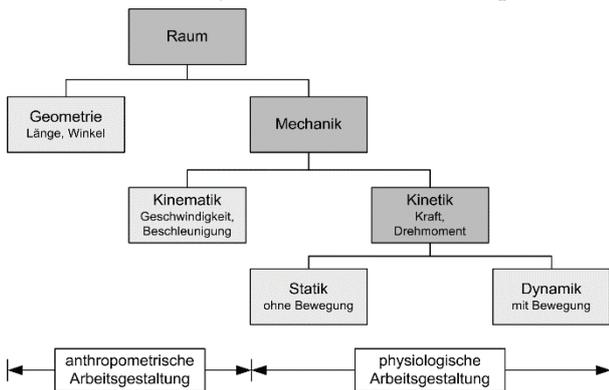


Bild 1. Zusammenhang zwischen Begriffen der Mechanik und der Ergonomie (nach [8])

Wesentliches Beurteilungskriterium geometrischer Untersuchungen sind die Erreichbarkeit und Einsehbarkeit von Orten, die für die Durchführung des jeweiligen Arbeitsvorgangs von Bedeutung sind. Bei der geometrischen Analyse wird das Abbildungsobjekt zunächst als unbeweglich betrachtet, allein die Dimensionen von Längen, Umfängen, Winkeln u.Ä. sind maßgebend. Außer den Körpermaßen des Menschen (z.B. seine Körperhöhe) sind demzufolge auch die Funktionsmaße (z.B. maximale Reichweite des Arms nach vorn) von Bedeutung.

Diese Thematik leitet über zur Kinematik des Menschen, bei der die Geschwindigkeit als weitere physikalische Größe zur geometrischen Gestalt hinzukommt. Somit ist die Bewegung von Arbeitsgegenständen und Arbeitsmitteln, aber auch die des Menschen in seiner Gesamtheit (z.B. Gehge-

planning and productivity analyses, can cover times of up to several months. It gives priority to time series-related representations and statistical graphs rather than realistic graphic representations.

**Structure of this standard**

The structure of this standard is oriented towards the mechanical phenomena in physical space in combination with an ergonomic point of view (Figure 1). This is why the reflections below will begin with geometry, the object of observation being the geometric structure of a workplace and its immediate spatial environment (as has already been assumed in VDI 4499 Part 1). On the one hand, the geometry of the object of work and the workplace equipment is of importance. On the other hand, the geometry of the human body must be examined, based on the principles of anthropometry.

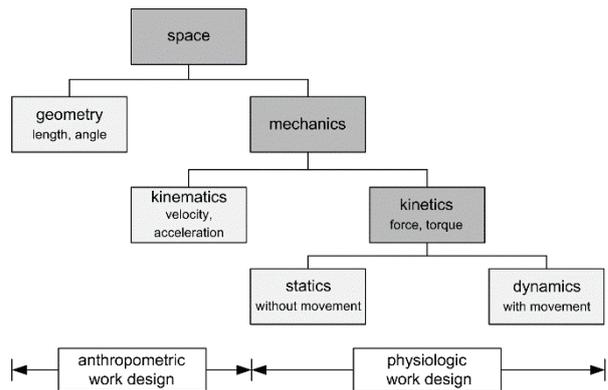


Figure 1. Relationship between concepts of mechanics and ergonomics (according to [8])

Major assessment criteria in geometric examinations are the accessibility and visibility of places that are of importance for performing the work operation at hand. In a geometric analysis, the represented object is initially considered immobile, with only lengths, circumferences, angles, etc. as the relevant features. Besides a person's body measurements (e.g. his height), functional dimensions such as the maximum arm reach, are also of importance.

This leads us to human kinematics, which complements geometry with another physical quantity, namely velocity. Here, the relevant factors are the movement of work objects and equipment, but also of the whole person (e.g. his walking speed) or of his individual limbs (e.g. time needed for a reach-

schwindigkeit) sowie einzelner seiner Gliedmaßen (z.B. Zeitbedarf für eine Hinlangbewegung des Hand-Arm-Systems) von Bedeutung. Ein wesentliches Bewertungskriterium kinematischer Analysen ist der Zeitbedarf für das Ausführen von Arbeitsvorgängen, in Einzelfällen aber auch die Wahrnehmbarkeit bewegter Sehobjekte. Wichtigstes Beurteilungskriterium ist somit die Ausführbarkeit.

Der nachfolgende Themenkreis befasst sich mit der statischen Sicht bei der Modellierung des Menschen. Eine solche Modellierung geht von den geometrischen Verhältnissen aus und betrachtet zusätzlich die Kräfte und Drehmomente, die bei einem Arbeitsvorgang auftreten. Sie vernachlässigt jedoch im Grundsatz die Bewegungsgeschwindigkeit. Wichtige Aspekte der statischen Bewertung sind die vom Menschen ausübenden Kräfte und Drehmomente; das maßgebliche Beurteilungskriterium ist deren Erträglichkeit (z.B. beim Heben von Lasten).

Schließlich kommt als weitere Sicht die durch Kräfte und Drehmomente erzeugte Dynamik der Bewegungen hinzu. Dabei kann es sich um durch menschliche Energie erzeugte Bewegungen handeln (aktive Bewegungen) oder um durch Arbeitsmittel sowie Arbeits- und Einrichtungsgegenstände fremd erzeugte (passive Bewegungen). Das Bewertungskriterium dieser vierten Sicht beinhaltet auch die vom Menschen aufzuwendende Arbeitsenergie; das wesentliche Beurteilungskriterium ist die Erträglichkeit.

In der Ergonomie werden die geometrischen und kinematischen Aspekte der Menschmodellierung und die damit verbundenen Maßnahmen als anthropometrische Gestaltung bezeichnet. Die kinetischen Aspekte gehören demgegenüber zur arbeitsphysiologischen Gestaltung.

Als ein übergreifender Themenbereich kann die Betrachtung von Kollisionen aufgefasst werden. Auch diesbezüglich lassen sich im Grundsatz die verschiedenen Sichten von Geometrie, Kinematik, Statik und Dynamik unterscheiden.

Innerhalb der genannten Themengebiete wird nachfolgend eine weitere Untergliederung getroffen: Zunächst werden jeweils die Mindestausprägungen aufgeführt, die nach dem Stand der Technik in Werkzeugen zur Abbildung von Personen in der Digitalen Fabrik gefordert werden können (z.B. Körpermaße mit Schuhen). Hieran schließt sich jeweils eine Darstellung derjenigen Möglichkeiten an, die in speziellen Verfahren zusätzlich hinterlegt sind. Dies soll dem Anwender dann auch eine Hilfestellung bei der Auswahl des für seine Zwecke geeigneten Werkzeugs bieten.

ing motion of the hand/arm system). An important evaluation criterion in kinematic analyses is the time needed for performing work operations, but in some cases also the perceptibility of moving visible objects. The most important assessment criterion is thus executability.

The next topic deals with modelling humans from the static point of view. Modelling of this type is based on geometric proportions and additionally on forces and torques that are in action during a work operation. It generally neglects, however, the velocity of movement. Important aspects of static evaluation include the forces and torques to be exerted by the person; the most relevant assessment criterion is their tolerability (e.g. when lifting loads).

The final aspect to be added is the movement dynamics that is created by forces and torques. This can be movements caused by human energy (active movement) or movements created by work objects and equipment or furnishings (passive movement). The evaluation criterion of this fourth aspect also includes the work energy to be exerted by the person; the relevant assessment criterion is tolerability.

In ergonomics, the geometric and kinematic aspects of human modelling and the related actions are referred to as anthropometric design. Kinetic aspects, on the other hand, belong into the realm of work-physiological design.

A cross-discipline topic may be collision management. Here, too, different discernible views may be those of geometry, kinematics, statics, and dynamics.

For each of the mentioned disciplines, the following subdivision will be made below: First, the minimum attribute values are listed that can be presupposed as the state of the art in digital factory human representation tools (e.g. body height with shoes). This is followed by a representation of what features may be added by means of special procedures. This is an aid for the user to help him choose the tool that is suitable for his purpose.

Ergänzend zu den in Werkzeugen der Digitalen Fabrik integrierten Menschmodellen und Bewertungsmethoden werden nachfolgend weitere ergonomische Methoden angeführt, die eigenständig zur Anwendung kommen können. Sie dienen dazu, die mithilfe von Menschmodellen ermittelten Arbeitsbedingungen einer weitergehenden Bewertung und Beurteilung zu unterziehen, als dies in den bisherigen Verfahren der Digitalen Fabrik möglich ist.

## 1 Anwendungsbereich

Nachfolgend wird auf die Einsatzgebiete ergonomischer Menschmodelle und die dabei verfolgte Zielsetzung eingegangen. Die zur Beurteilung der Zielerreichung herangezogenen Kategorien beruhen auf dem für die Ergonomie grundlegenden Belastungs-Beanspruchungs-Konzept [6].

### Einsatzgebiete

Die Abbildung von Arbeitspersonen mit Werkzeugen der Digitalen Fabrik wird in Anbetracht ihrer Vorgehensweise vielfach auch als Ergonomiesimulation bezeichnet. Die Ursprünge der digitalen Modellierung von Arbeitsgegenständen und -mitteln finden sich in der Entwicklung von CAD-Systemen für die geometrische Gestaltung technischer Produkte und reichen somit in die 1960er-Jahre zurück. Die Methoden der Produktgestaltung lassen sich prinzipiell in gleicher Weise auf die Gestaltung von Arbeitsmitteln und Einrichtungsgegenständen sowie deren Kombination zu Arbeitsplätzen und damit auf die räumliche Gestaltung von Arbeitssystemen übertragen.

Die grafische Modellierung des Menschen mit dem Ergebnis eines digitalen, visualisierbaren Menschmodells hat ihre Wurzeln in der geometrischen und visuellen Gestaltung von Benutzungsoberflächen technischer Produkte. Vorreiter hierbei war die Innenraumgestaltung von Fahrzeugen, insbesondere von Personenwagen, aber auch von Flugzeugen und militärischen Fahrzeugen. Die Verwendbarkeit von Menschmodellen zur Bewertung von Arbeitsplätzen wurde zwar immer wieder vorgestellt, hat aber in der industriellen Anwendung bisher weniger Bedeutung erlangt als bei der Gestaltung von Fahr- und Flugzeugen.

In dieser Richtlinie steht jedoch nicht die Produktgestaltung im Mittelpunkt, sondern vielmehr die Gestaltung von Arbeitsplätzen. Hierbei konzentrieren sich die Ausführungen auf Arbeitsplätze, an denen eine Person eingesetzt wird. In dem Fall, dass die Mithilfe einer weiteren Person zur Durchführung eines Arbeitsvorgangs benötigt wird, werden auch komplexere Arbeitssysteme betrachtet.

In addition to the digital human models and evaluation methods that are integrated in digital factory tools, further ergonomic methods will be discussed below that can be used on a stand-alone basis. They serve the purpose of evaluation and assessment of the working conditions identified with the help of human models, and to do this in more depth than what can be done with the existing digital factory methods.

## 1 Scope

This section deals with the applications of ergonomic human models and the objectives they pursue. The categories used for assessing the achievement of these objectives are based on the basic stress/strain concept from ergonomics [6].

### Fields of application

Given the approaches used, the representation of working persons using digital factory tools is often referred to as ergonomics simulation. The origins of digital modelling of work objects and equipment can be found in the development of CAD systems for the geometric design of technical products, which dates back to the 1960s. In principle, the methods of product design can be applied equally to the design of equipment and furnishings as well as to their combinations in workplaces and thus the spatial design of work systems.

Graphical modelling of humans with the aim of creating a digital, visualisable human model has its origins in the geometric and visual design of technical product user interfaces. A field that has been playing a pioneering role in this respect is vehicle interior design: especially in passenger cars, but also in aircraft and military vehicles. Using human models for evaluating workplaces has been given thought from time to time, but has not yet attained as much significance in industrial applications as in the design of vehicles and aircrafts.

This standard, however, does not focus on product design, but on the design of workplaces. It discusses mainly workplaces that are designed for one person only. In case the help of another person is needed for performing a work operation, more complex work systems are also examined.

Der Einsatz von Menschmodellen zur Bewertung existierender und zukünftiger Arbeitsvorgänge findet zurzeit vorrangig in der Automobilindustrie statt und dort vor allem im Rohbau und Montagebereich. Weitere Anwendungsbereiche dieser Werkzeuge finden sich in der Flugzeugindustrie sowie in einigen Bereichen des Maschinenbaus, dort vorrangig in der Serienmontage. Wenn nachfolgend vorwiegend Beispiele aus dem Montagebereich aufgeführt werden, so bedeutet dies jedoch nicht, dass derartige Werkzeuge nicht auch für die Planung anderer Arbeitsvorgänge, beispielsweise in der Teilefertigung, bei der Instandhaltung oder in verfahrenstechnischen Anlagen eingesetzt werden können.

### **Beurteilungskriterien**

In dieser Richtlinie wird unterschieden zwischen einer Bewertung und der Beurteilung einer Arbeitssituation (siehe die nachfolgenden Begriffsdefinitionen). Während zur Bewertung verschiedenste ergonomische Verfahren zur Anwendung kommen können, folgt diese Richtlinie den aus dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept resultierenden Beurteilungskategorien, nämlich Ausführbarkeit, Erträglichkeit, Zumutbarkeit und Zufriedenheit. Diese Kriterien sind hier allerdings nur in Bezug auf die Ausführbarkeit, die Erträglichkeit und – soweit durch Rechtsvorschriften dokumentiert – die Zumutbarkeit relevant.

Zusätzlich wird – falls Richtwerte vorhanden sind – auf Grenzen für (Dis-)Komfort und Leistungsbeeinträchtigungen sowie auf Gefährdungsbereiche eingegangen. Gerade bei den zuletzt genannten Grenzen spielt zusätzlich eine Risikobewertung für die Arbeitsperson eine Rolle. Die Abgrenzung zwischen (Dis-)Komfort und Leistungsbeeinträchtigung erweist sich in Bezug auf deren wissenschaftliche Absicherung in vielen Bereichen als aufwendig oder gar unmöglich. Ähnliches gilt auch für die Prognose von Risiken im Sinne des Arbeits- und Gesundheitsschutzes.

### **Zielsetzung**

Die wesentliche Zielsetzung der grafischen Modellierung des Menschen, seines Arbeitsplatzes sowie der unmittelbaren Arbeitsumgebung ist die bessere Berücksichtigung des Menschen bei der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsmitteln sowie Arbeits- und Einrichtungsgegenständen. Im Rahmen des Einsatzes von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik bestehen bereits bei der Produktentwicklung Möglichkeiten für eine ergonomische Bewertung und Beurteilung der späteren Arbeitssituation.

Currently, the use of human models for evaluating existing and planned work operations is primarily happening in the automotive industry, above all in the fields of bodywork and assembly. Other applications of these tools are found in the aviation industry and in some fields of machine construction, primarily in series assembly. Although the examples below will mostly be taken from assembly, this does not mean that such tools cannot be used in planning other work operations, for example in parts production, maintenance, or in processing plants.

### **Assessment criteria**

This standard distinguishes between the evaluation and the assessment of a work situation (see the terms and definitions below). While evaluation can use a range of ergonomic methods, this standard will follow the assessment criteria resulting from the stress/strain concept, namely executability, tolerability, acceptability, and satisfaction. In this framework, however, the relevant criteria are merely those of executability, tolerability, and – as far as contained in legal provisions – acceptability.

In addition – if reference values exist – we will deal with (dis)comfort and reduced performance as well as hazard limits. Particularly for the latter type of limits, a risk assessment for the working person will also play a role. The delineation between (dis)comfort and reduced performance, being not fully scientifically substantiated, has proven to be complicated or even impossible to find in many fields. Similar considerations apply for risk prediction in the interest of occupational health and safety.

### **Objectives**

The main objective in graphically modelling humans, their workplaces, and immediate work environment is giving greater consideration to the worker in the ergonomic design of work objects as well as of equipment and furnishings. When using methods and tools of the digital factory, an ergonomic evaluation and assessment of the future work situation can be performed as early as during product design.

So lassen sich beispielsweise vielfach bereits aus der digitalen Repräsentation der geometrischen Gestalt eines Produkts, seiner Komponenten und Teile ungünstige Bedingungen für die vom Menschen durchzuführenden Arbeitsvorgänge erkennen. Ungünstige Arbeitsbedingungen können sich z.B. aus der Lage von Produktkomponenten für die einzunehmende Körperhaltung ergeben. Weiterhin können die Gewichte von Arbeitsgegenständen oder auch deren räumliche Anordnung die Ausführung von Arbeitsvorgängen behindern oder diese, z.B. wegen der Nichterreichbarkeit oder Nichteinsehbarkeit, unmöglich machen. Die für einen Arbeitsvorgang zu verwendenden Werkzeuge und Handhabungshilfen können darüber hinaus zu Kollisionen mit dem Arbeitsgegenstand führen, was die Arbeitsausführung unmöglich machen oder ihre zeitliche Verlängerung bedingen kann.

Selbst bei ausführbaren Arbeitsvorgängen können sich diese als nicht erträglich erweisen, da nur bestimmte Personen oder Personengruppen sie ausführen können, nicht aber die für den Arbeitsvorgang vorgesehene Personengruppe. Weitere Einschränkungen können sich aus rechtlichen Vorschriften ergeben, die zusätzlich auch die Beurteilungsebene der Zumutbarkeit reflektieren (z.B. bezüglich der Gewichte beim Transportieren von Lasten und der Häufigkeit dieses Arbeitsvorgangs).

Hierzu ist zu bemerken, dass es nicht für alle Belastungsarten derartige rechtliche Regelungen oder arbeitswissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse gibt. Außerdem sind ihre Wirkungen in sequenzieller Abfolge oder Überlagerung vielfach noch nicht erforscht. Darüber hinaus existieren teilweise konkurrierende Bewertungsmethoden. Vor diesem Hintergrund zielt diese Richtlinie vorrangig auf die in Deutschland gängigen Bewertungsmethoden ab.

### **Besonderheiten und Problembereiche**

Die geometrische Darstellung von Arbeitsmitteln sowie Arbeits- und Einrichtungsgegenständen wirft aufgrund des Stands der CAD-Technik keine Probleme auf. Lediglich die Repräsentation von Materialstrukturen in der Kopplungsfläche von menschlicher Hand und Arbeitsgegenstand muss derzeit noch als rudimentär bezeichnet werden. Demgegenüber beinhaltet die kinematische und dynamische Modellierung des Menschen dort Probleme, wo die Funktionsweise von Gelenken und Gelenk Ketten entweder noch nicht adäquat modellierbar ist oder aus ökonomischen Gründen vereinfacht wird.

Einen weiteren Problembereich liefern die zum Teil konkurrierenden Bewertungsmethoden. Auch auf der Ebene der Beurteilung sind vor allem Fragen offen, die sich auf die Grenzziehung zur Zumutbar-

For example, the digital geometric shape representation of a product, its components and parts often allows, from the very beginning, to identify conditions that are unfavourable for human work operations. Unfavourable working conditions can be derived, e.g., from the consequence that positions of product components have on the necessary work posture. Also, the weights of work objects or their positions in space can interfere with the performance of operations or even make them impossible, e.g. due to a lack of visibility or accessibility. The tools and handling aids needed for a work operation might also cause collisions with the object of work, which can make a work operation impossible or too long to perform.

An operation that is in principle executable may not be tolerable because it can be performed only by certain persons or groups, but not for the group of persons it has been intended for. Other restrictions can be due to legal provisions, which also reflect acceptability as an assessment level (e.g. the weight of a load in view of how often it must be transported).

It must be noted that such legal provisions or any substantiated findings from ergonomics do not exist for all types of stress. Besides, the effects of several sequential or overlapping stresses have not yet been investigated in many cases. What is more, some of the evaluation methods are in conflict with each other. That said, this standard deals primarily with the evaluation methods that are common in Germany.

### **Particularities and problems**

The geometric representation of work objects as well as equipment and furnishings does not cause any problems given the state of CAD technology. Only the representation of material structures at the interface between the human hand and the work object could be referred to as somewhat rudimentary for the time being. The kinematic and dynamic modelling of humans poses problems in applications where the functions of joints and trains of joints can either not be adequately modelled or are modelled in a simplified manner for economic reasons.

Another problem is the fact that some of the evaluation methods are in conflict with each other. Assessment, too, leaves some questions open that are related with the limits of acceptability, and the

keit beziehen, während die Kategorie der Zufriedenheit hier schon wegen ihrer Individualität ausscheidet. Auch die Ebenen der Persönlichkeitsförderlichkeit und der Sozialverträglichkeit als oberste Beurteilungskategorien menschlicher Arbeit ([7]; vgl. auch [9]) werden hier ausgeklammert, da sie nicht mit Mitteln der Menschmodellierung in der Digitalen Fabrik zugänglich sind.

## 2 Normative Verweise

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

DIN EN ISO 6385:2004-05 Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO 6385:2004); Deutsche Fassung EN ISO 6385:2004

VDI 4499 Blatt 1:2008-02 Digitale Fabrik; Grundlagen

category of satisfaction must be dropped altogether here, due to its high degree of individuality. We will also omit the levels of personality enhancement and social sustainability as the topmost assessment criteria of human work ([7]; see also [9]), because they are not accessible to human modelling with methods from the digital factory.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this standard:

DIN EN ISO 6385:2004-05 Ergonomic principles in the design of work systems (ISO 6385:2004); German version EN ISO 6385:2004)

VDI 4499 Part 1:2008-02 Digital factory; Fundamentals