

## Ergonomie – Arbeitsplatz

### Anthropometrische und biomechanische Grundlagen

Anpassung der Arbeit an den Menschen als Hauptaufgabe der Ergonomie bedeutet für die Arbeitsplatzgestaltung, daß am Menschen Maß zu nehmen ist. Wenn also gelten soll, daß "der Mensch das Maß aller Dinge" sei, dann sind anthropometrische Grundlagen unverzichtbar. Das gilt (in einer Makrobetrachtungsweise) sowohl für die Auslegung von Arbeitsplätzen als auch (in einer Mikrobetrachtungsweise) für die Gestaltung und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen als ortsfest eingebauten Arbeitsmitteln sowie von Werkzeugen als frei im Raum fuhbaren Arbeitsmitteln.

Anthropometrie (zurückgeföhrt auf den griechischen Wortstamm "anthropos" = der Mensch und "metrein" = Ermittlung bzw. Bestimmung) heißt allgemein – zusammen mit biomechanischen Gesetzmäßigkeiten – Erfassung und Aufbereitung der Maßverhältnisse des menschlichen Körpers. Das bezieht sich auf folgende Kriterienbereiche, aus denen gesicherte arbeitswissenschaftliche Kenntnisse als Grundlage für die Arbeitsplatzgestaltung benötigt werden:

- Abmessungen des menschlichen Körpers und wichtiger Teile, wie Kopf und Extremitäten;
- Körperstellung und Körperhaltung sowie das Problem der "Blindleistung" bei der Arbeit;
- Bewegungsbereiche der Gelenke und Länge der Gliedmaßen, sowie daraus resultierende Greifräume;
- Körperkräfte im Bewegungsraum;
- Blickfeld und Gesichtsfeld als anatomisch-optische Randbedingungen für die räumliche Gestaltung der Sichtverhältnisse unter Berücksichtigung der entspannten Sehachse.

#### 1. Körperabmessungen – Perzentile

Verschiedene Abmessungen des menschlichen Körpers haben als Richtwerte für die Bemessung von Maschinen, Apparaten, Einrichtungen und Geräten zu dienen, wobei je nach Nutzergruppe für eine Klassifizierung der Daten die Unterscheidungsmerkmale "Geschlecht", "Alter", "Rasse", "regionale Besonderheiten des Körperbaus" und der Einfluß der "Akzeleration" relevant sein können.

Um national und international repräsentative Daten zu schaffen, ist man dem Menschen gleichsam mit dem Bandmaß auf den Leib gerückt und hat nach festgelegten Meßverfahren, in der Regel am nackten Menschen verschiedene Körpermaße ermittelt. Da es einer allgemeinen Erfahrung entspricht, daß Körpermaße wie z.B. die Körperlänge interindividuell recht unterschiedlich

sein können, wäre eine statistische Auswertung des Datenmaterials mit der alleinigen Berechnung arithmetischer Mittelwerte aus einer Meßreihe wenig zweckmäßig für den Fall, daß man für die Mehrzahl von Beschäftigten passende Arbeitsplatzbedingungen schaffen will. Deshalb müssen auch Grenzwerte für ausgesprochen große bzw. kleine Nutzergruppen vereinbart werden. Deren Einhaltung soll u.a. sicherstellen, daß Freiräume für "Groß" und "Klein" vorhanden sind, und daß auch unterschiedlich große Arbeitnehmer die verschiedenen Arbeitsmittel im Raum noch erreichen können.

Trägt man z.B. die Häufigkeit der Körperlänge von 100 Männern über verschiedene Klassen (z.B. mit einer Klassenbreite von jeweils 5 cm) auf, dann ergeben sich qualitativ etwa die in *Abb. 1* dargestellten Verhältnisse. Ca. 30 Personen werden in die mittlere Körpergrößenklasse von 170-175 cm einzuordnen sein. Deutlich weniger, vielleicht je 15 werden in der nächst größeren bzw. kleineren Klasse liegen und möglicherweise jeweils 10 Personen werden die Größenklassen 160-165 bzw. 180-185 cm belegen. Je 5 Personen bilden wahrscheinlich die Anzahl derer, die in die Klassen 155-160 cm und 185-190 cm fallen, und der Rest von 10 Personen wird, etwa gleich verteilt, im Bereich unterhalb bzw. oberhalb dieser Klassen anzutreffen sein, d.h. kleiner als 155 cm bzw. größer als 190 cm sein. Das entspricht der natürlichen Tatsache, daß großwüchsige und kleinwüchsige Menschen weniger häufig als "durchschnittlich" gewachsene Menschen vorkommen.

Je mehr Personen in eine solche Häufigkeitsverteilung einbezogen werden, umso deutlicher wird sich die, durch die ausgezogene Kurve dargestellte glockenförmige, symmetrische Normalverteilung mit einer Häufung um einen Mittelwert  $\bar{X}$  ergeben. Eine solche Normal- bzw. Gaußverteilung kann in ihrer Form nicht allein durch den arithmetischen Mittelwert  $\bar{X}$  beschrieben werden, sondern zur ausreichenden Kennzeichnung ihrer Form bedarf es der Standardabweichung als Streuungsmaß. Liegen die Werte dichtgedrängt um das Maximum (den arithmetischen Mittelwert), dann wird die Standardabweichung (S) klein ausfallen. Streuen die Werte stärker, wird auch die Standardabweichung größer sein. Unter der Häufigkeitsverteilungskurve normal verteilter Meßwerte liegt im Bereich von  $\bar{X} - S$  bis  $\bar{X} + S$  eine Menge von 68% der Gesamtheit. Erweitert man den Streubereich auf  $\bar{X} - 1.65 \times S$  bis  $\bar{X} + 1.65 \times S$ , werden innerhalb dieser Spannweite bereits 90% aller Werte erfaßt, und nur noch jeweils 5% werden unterhalb bzw. oberhalb dieses Bereiches liegen.

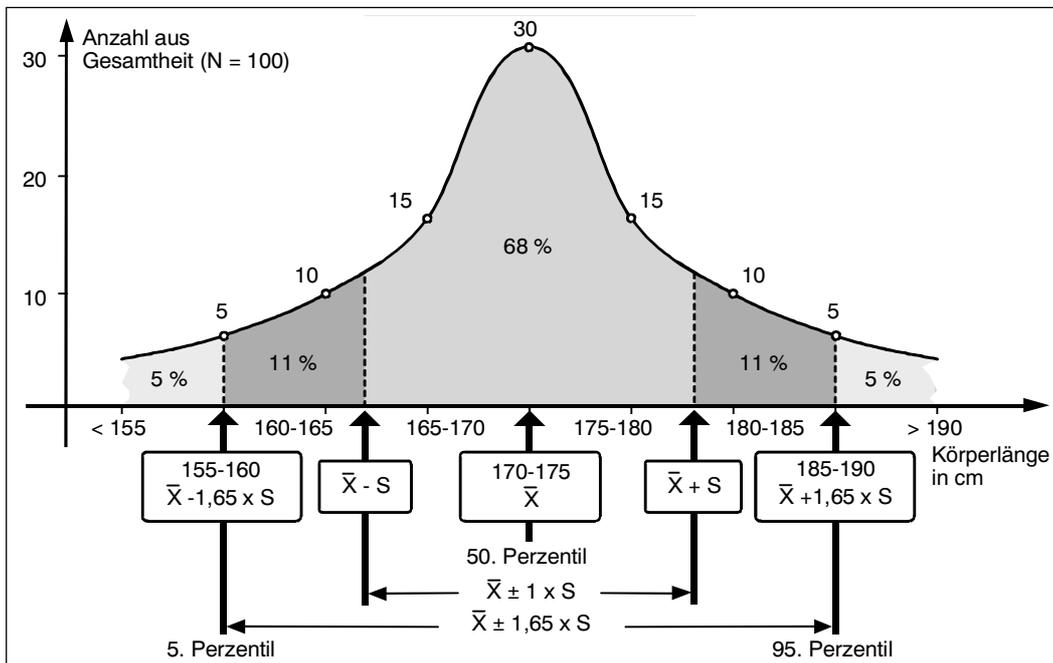


Abb. 1: Beispiel einer Normalverteilung der Körperlänge mit arithmetischem Mittelwert  $\bar{X}$  und Standardabweichung  $S$  sowie daraus berechneten Perzentilen als Lokalisationsmaßen, die angeben, wieviel Prozent der Gesamtheit unter dem jeweiligen Perzentilwert liegen. Z.B. entsprechen die Größenklassen (155-160) cm und (185-190) cm dem 5.- bzw. dem 95.-Perzentil

Im Beispiel von Abb. 1 markiert also die Klasse 155-160 cm die Körperlänge, unterhalb der noch 5% der untersuchten Gruppe liegen. Die Körperlänge um 165 cm entspricht etwa der durchschnittlichen Körperlänge  $\bar{X}$  minus der Standardabweichung und steht für eine Größe, unterhalb der 16% ((100% - 68%)/2) liegen. Die durchschnittliche Körperlänge ( $\bar{X}$ ) ist demnach ein Grenzmaß, bis zu dem 50% zu liegen kommen und der Wert  $\bar{X} + 1,65 \times S$  ist eine Klasse, über der noch 5% der Gesamtheit erwartet werden können bzw. unterhalb der insgesamt 95% liegen. Die Maße  $\bar{X} - 1,65 \times S$  bzw.  $\bar{X} - S$ ; oder auch  $\bar{X} + 1,65 \times S$  bzw.  $\bar{X} + S$  sind als Lokalisationsmaße, als Ortsangaben (lat. Locus = der Ort) in einer Verteilung aufzufassen, die angeben, wieviel Prozent der Gesamtheit jeweils bis zu diesem Wert zu liegen kommen. Sie werden Perzentile genannt und bekommen den zahlenmäßigen Wert zugeordnet, der der Summe aller Meßwerte bis zu diesem Wert in der Verteilungskurve entspricht. Wenn also die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Wertes 5% beträgt, dann wäre das bei der Körpergröße der 5.-Perzentilwert (155-160 cm). Im Falle der Abb. 1 entspricht die Klasse 155-160 cm ( $\bar{X} - 1,65 \times S$ ) also dem 5.-Perzentil, die Klasse 170-175 cm ( $\bar{X}$ ) dem 50.- und die Klasse 185-190 cm ( $\bar{X} + 1,65 \times S$ ) dem 95.-Perzentil.

In DIN 33 402, Teil 2 sind für die deutsche Bevölkerung aus größeren Reihenuntersuchungen an Männern und Frauen, die in ihrer regionalen und sozialen Herkunft der Gesamtbevölkerungsstruktur der Bundesrepublik Deutsch-

land entsprechen, insgesamt 56 verschiedene Körpermaße, getrennt nach Geschlecht und Alter und perzentiliert aufgeführt. Faßt man die verschiedenen Altersgruppen der 16- bis 60-jährigen Männer und Frauen jeweils zu einer Klasse zusammen, dann ergibt sich bspw., daß nach Abb. 2 die Spannweite von der 5-Perzentil-Frau bis zur 95-Perzentil-Frau über 20 cm reicht, und daß Männer bei etwa gleicher Spannweite jeweils ca. 10 cm größer sind. Männer mit einer Körperlänge über 184 cm sind demnach nur mit einer Häufigkeit von 5% vertreten.

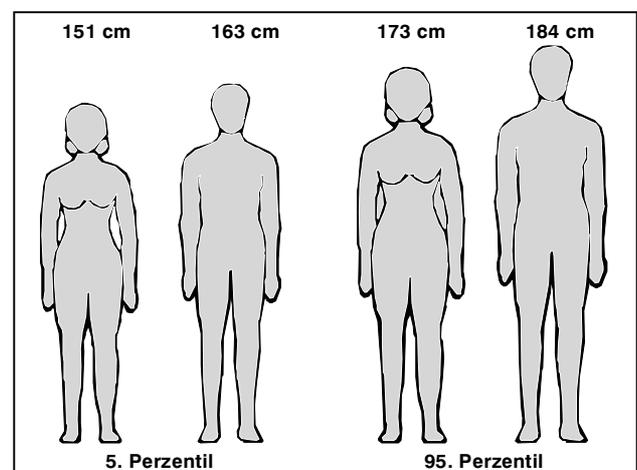


Abb. 2: Variabilität der Körperhöhe der bundesdeutschen Bevölkerung (16- bis 60-jährige Männer und Frauen) zwischen 5.- und 95.-Perzentil



Als generelle Gestaltungsregel für Arbeitsplätze muß stets gelten, daß Innenmaße an der größten, Außenmaße an der kleinsten Gestalt zu orientieren sind. Dadurch wird bspw. sichergestellt, daß auch kleinere Personen genügend Platz finden und Gegenstände im Außenbereich zu erreichen vermögen. Für größere Personen befinden sich diese Gegenstände dann ohnehin in Reichweite. Wird vereinbart, daß "kleine" bzw. "große" Personen durch die 5.- bzw. 95.-Perzentilwerte repräsentiert sein sollen, dann können ohne Sondermaßnahmen (nach diesem allgemein akzeptierten Kompromiß) einigermaßen passende Arbeitsverhältnisse für 90% der Bevölkerung geschaffen werden. Für manche Gestaltungsmaßnahmen gilt es allerdings darüber hinauszugehen. So wäre es bspw. unvertretbar, für Durchgänge und Türen lediglich den 95.-Perzentilwert des Maßes Nr. 1 von Abb. 3 (die Körperhöhe) des Mannes festzulegen. Der 50.-Perzentilwert,

der bei manchen anderen Körperteilen für Gestaltungsmaßnahmen oftmals irrtümlicherweise zugrundegelegt wird, wäre hier verständlicherweise höchst fatal, zumal dabei die Hälfte der Population in Konflikt mit dem Türrahmen geraten würde. Für Innenräume, in denen in der Körperstellung Stehen gearbeitet werden muß, ist mindestens der 95.-Perzentilwert des Maßes Nr. 1 anzustreben. Gleiches gilt auch für das Maß Nr. 4, durch das wenigstens sichergestellt sein soll, daß bspw. in einem PKW die Distanz Sitzfläche – Dach ausreichend bemessen wird. Ansonsten wird ein Teil potentieller Käufer a priori von der Benutzung ausgeschlossen bzw. zu unnatürlichen Sitzhaltungen gezwungen. Auf eine geradezu fahrlässige Fehlorientierung an 50.-Perzentilwerten wurde vor einigen Jahren durch eine Untersuchung des ADAC hingewiesen.

In einer heute noch gültigen (veralteten) Europannorm wurde beim Maß Nr. 4 (der Stammlänge) bzw. beim Maß Nr. 5 (der Augenhöhe im Sitzen) fälschlicherweise auf den 50.-Perzentil-Mann abgehoben. Überdurchschnittlich große Menschen hatten sich demnach bei der Mehrzahl von danach in Automobilen ausgelegten Kopfstützen einem latenten Gefahrenrisiko ausgesetzt, weil sich diese oftmals nicht korrekt einstellen ließen. Kann die Kopfstütze nicht unmittelbar in Augen-Ohren-Höhe hinter den Hinterkopf positioniert werden – und das war bei der Mehrzahl von 100 getesteten Autotypen nicht möglich – dann ist im Falle eines Auffahrunfalles ein Schleudertrauma im Bereich der Halswirbelsäule (im Extremfall ein Genickbruch) geradezu vorprogrammiert.

Die Maße Nr. 2 und 5 (Augenhöhe im Stehen und im Sitzen) müssen Bezugspunkte sein für Überlegungen, in welcher Höhe Sichtgeräte und Instrumente anzuordnen sind. Die Maße Nr. 3 und 6 (Schulterhöhe im Stehen und im Sitzen) werden als 95.-Perzentilwerte für minimale vertikale Freiräume dienen müssen, wenn unter allgemein beengten Verhältnissen zu arbeiten sein wird. Die Maße Nr. 7 und 8 repräsentieren die Ellenbogenhöhe im Stehen und Sitzen und werden infolgedessen für die Arbeitsplatzhöhe im Stehen und im Sitzen ausschlaggebend sein. Welcher Perzentilwert für Steharbeiten als bestmöglicher Kompromiß zu gelten hat, wird in einem eigenen Kap. erörtert werden. Die Maße Nr. 9 und 10, die sich auf die Abmessungen des gestreckten Hand-Arm-Systems (vom Schulterblatt aus gemessen) und die Länge des Unterarms beziehen, sind für die Bemessung von Greifräumen entscheidend, wobei 5.-Perzentilwerte zugrundegelegt sein werden. Das Maß Nr. 11 (die Oberschenkeldicke) stellt den Engpaß für den Freiraum unter einer Arbeitsplatte bei Tätigkeiten im Sitzen dar, so daß hierfür der 95.-Perzentilwert, in der Regel der Wert der Frau vorzusehen ist. Bei den Maßen Nr. 12 und 13 (Gesäß-Knie-Länge und Kniehöhe über der Fußsohle) werden – um genügend Freiraum unter einer Arbeitsplatte in der Tiefe und Höhe zu schaffen – ebenfalls 95.-Perzentilwerte zu berücksichtigen sein. Das Maß Nr. 14 (Unterschenkelhöhe) hingegen

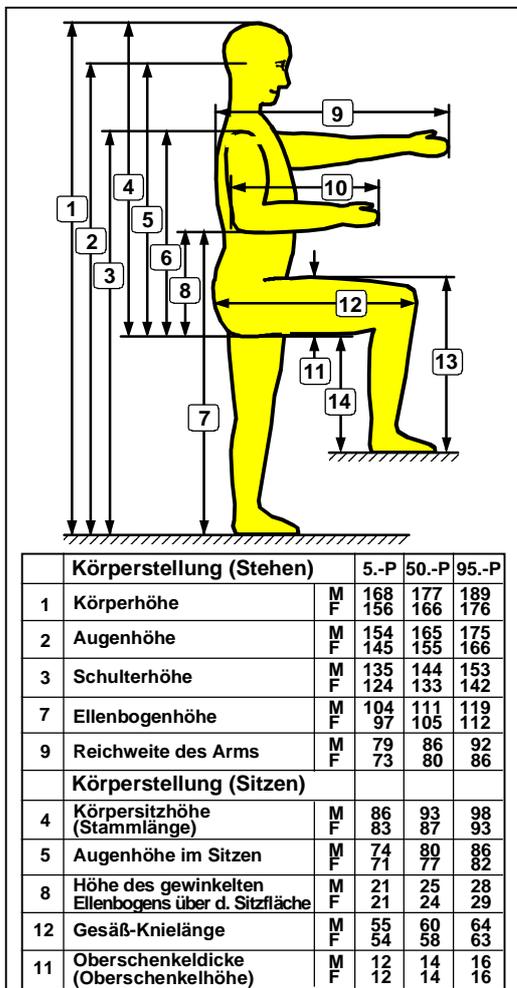
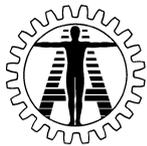


Abb. 3: Einige, für räumliche Arbeitsplatzgestaltungsmaßnahmen relevante Körpermaße des Menschen (1-14) mit Wertetabelle (Auszug aus DIN 33 402, Teil 2) von 5.-, 50.- und 95.-Perzentilen sozial und regional repräsentativer Männer (M) und Frauen (F) der zukünftig wichtigen Altersklasse 20- bis 35-jähriger aus der Bundesrepublik (Werte in cm)



wird z.B. als 5.-Perzentilwert maßgebend sein für die Höhe eines nicht höhenverstellbaren Hockers, Stuhles oder einer Bank. Eine danach bemessene Höhe stellt einen allgemein verträglichen Kompromiß dar, weil es den größer gewachsenen Nutzern eher zumutbar ist, die Beine ohne größere Komfortbeeinträchtigung abzustrecken, als daß (bei einem 50.- oder 95.- Perzentilwert als Richtschnur) bei der Hälfte oder bei 95% der Nutzer die Beine in der Luft baumeln.

Nicht nur diese, für Höhenmaße und vertikale Freiräume maßgeblichen Abmessungen, sondern auch alle anderen, der zur Zeit insgesamt 56 verschiedenen genormten Körperabmessungen (z.B. neben Breitenmaßen des Rumpfes, die Spannweite der Arme, transversaler und sagittaler Kopfbogen, Abstand der Pupillen, Abmessungen der Füße, der Hände und Finger) waren isoliert voneinander zu ermitteln, da in der Regel kaum Korrelationen zwischen den Abmessungen des Menschen bestehen. So wohlproportioniert sind also die einzelnen Körperteile nicht. Gewisse Korrelationen bestehen allenfalls zwischen der Spannweite und der Körperhöhe, die sich oftmals auf den cm genau entsprechen, oder zwischen der (für die Arbeitsgestaltung natürlich nicht relevanten) Nasenlänge und der Distanz von Daumen- und Mittelfingerlänge. Das Differenzmaß "Ellenbogenhöhe über der Sitzfläche" variiert kaum zwischen Männern und Frauen sowie nur "in Grenzen" innerhalb des 5.- bis zum 95.-Perzentilbereiches, so daß weniger stark abhängig von "großen" und "kleinen" Frauen und Männern zumindest ein für alle geltender ergonomischer Zielbereich mit hoher Priorität abgeleitet werden kann (siehe Kap. 2.4.2.).

Alle diese aus umfangreichen Reihenuntersuchungen gewonnenen Werte bedürfen von Zeit zu Zeit (etwa alle 10 Jahre) einer Überarbeitung, um mit dem zunehmenden Längenwachstum der heutigen Jugend "Schritt zu halten". Es ist allgemein bekannt, daß infolge dieser Akzeleration die Söhne und Töchter der letzten Generationen ihre Eltern jeweils um einige Zentimeter an Körperlänge überragten, wobei diese Wachstumsschübe verschiedene, hier nicht näher zu erörternde Gründe haben.

Sollen Gebrauchsgüter und Produkte, die für den Export bestimmt sind, benutzergerecht gestaltet sein, dann muß geklärt werden, ob die anthropometrischen Maße der deutschen Bevölkerung für das Layout herangezogen werden dürfen. Bereits zwischen Mittel- bzw. Nordeuropäern und Südeuropäern gibt es beträchtliche Unterschiede. Aus einer vor Jahren veröffentlichten Studie der Kommission für Arbeitssicherheit wird als Grund für zahlreiche Arbeitsunfälle in der Türkei genannt, daß die meisten Einheimischen für die aus Westeuropa importierten Maschinen und Arbeitsgeräte zu klein seien. Nach branchenspezifischen Erhebungen (in der Druck- und Elektro-

Industrie, in der Chemie-, Bekleidungs- und Möbelindustrie) sind die türkischen Arbeiter mit einer Durchschnittsgröße von 168 cm die kleinsten in Europa. Ihnen fehlen fast 10 cm, um an ihre deutschen Kollegen dieser Branchen (177 cm) heranzureichen. Nach DIN 33 402, Teil 2 wird zwar der 50.-Perzentilwert der Körperhöhe des Mannes mit 173 cm angegeben, wobei es sich aber um Durchschnittswerte aus dem Altersbereich von 16-60 Jahren handelt, die nicht unbedingt mit einer branchenspezifischen Erhebung identisch sein müssen. Die Altersklasse der 20- bis 35-jährigen Männer hat bereits nach dem unteren Teil von *Abb. 3* eine mittlere Körperhöhe von 177 cm. Noch krasser sind die Unterschiede der Bevölkerung in Südostasien. Ein 95.-Perzentil-Vietnamese, und damit ein ausgesprochen großgewachsener Mann dieser Region kommt gerade etwa einem 10.-Perzentil-Mitteuropäer gleich. Die Spannweite von 5.- bis zum 95.-Perzentil-Mann der Region "Südostasien" beträgt nach dem "Internationalen anthropometrischen Datenatlas" (Jürgens, Aune und Pieper) 153-172 cm. Ihr Niveau liegt somit fast auf den Zentimeter genau auf dem der deutschen Frauen. Die Frauen dort wiederum sind um etwa 10 cm kleiner als hierzulande.

Um einen im Hinblick auf den Konstruktionsaufwand export-orientierter Firmen pragmatischen Kompromiß zu ermöglichen, wurde die Weltbevölkerung in die beiden Untergruppen "kleiner Typ" und "großer Typ" gegliedert. Nach diesem 2-Stufen-Prinzip kann in manchen Fällen auf einigermassen praktikable Art und Weise vorgegangen werden, wenn der in Frage kommende Handelsraum in etwa durch einen dieser beiden Typen abgedeckt wird (vgl. N.N., 1990).

Für das vereinfachte Anwenden eines Großteils von genormten Körpermaßen in der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung stehen heutzutage verschiedene konstruktive Hilfsmittel zur Verfügung. Ein einfaches "Werkzeug" stellen Zeichen-Schablonen im Maßstab 1:10 dar, die für 4 Größenklassen geschaffen wurden. Die von der Firma BOSCH entwickelten und in DIN 33 416 genormten Zeichenschablonen für die menschliche Gestalt in typischen Arbeitshaltungen (vgl. *Abb. 4*) repräsentieren – jeweils unter Berücksichtigung von Kleidung und Schuhwerk – in den Ausführungen für die Körpergrößen 190 cm den "großen (95.-Perzentil-) Mann", in der Größe von 176 cm die "große (95.-Perzentil-) Frau" (etwa dem mittelgroßen Mann entsprechend), in der Körperhöhe 163 cm den "kleinen (5.-Perzentil-) Mann" (etwa der mittelgroßen Frau entsprechend) und in der Körpergröße 150 cm die "kleine (5.-Perzentil-) Frau". Alle Schablonen, deren Umrisse mit einem Stift in eine Maßstabszeichnung (1:10) zu übertragen sind, können in Seitenaufriß, Draufsicht und Frontalansicht (sitzend und stehend) eingesetzt werden, wobei sie um wichtige Körpergelenke drehbar sind.

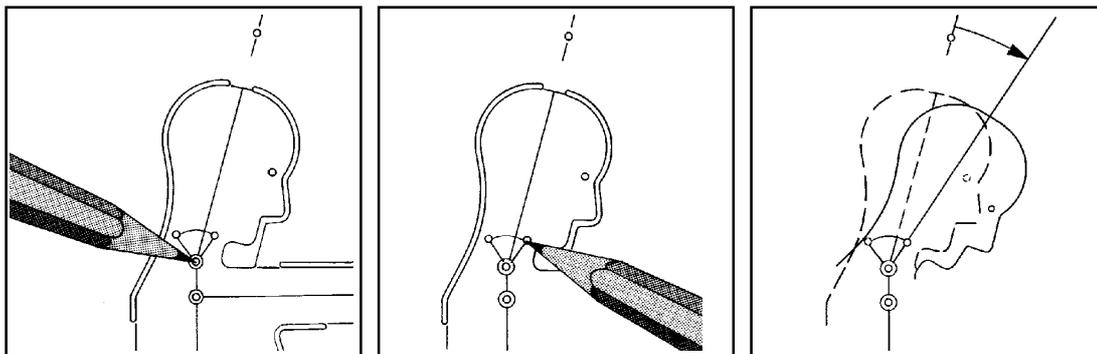
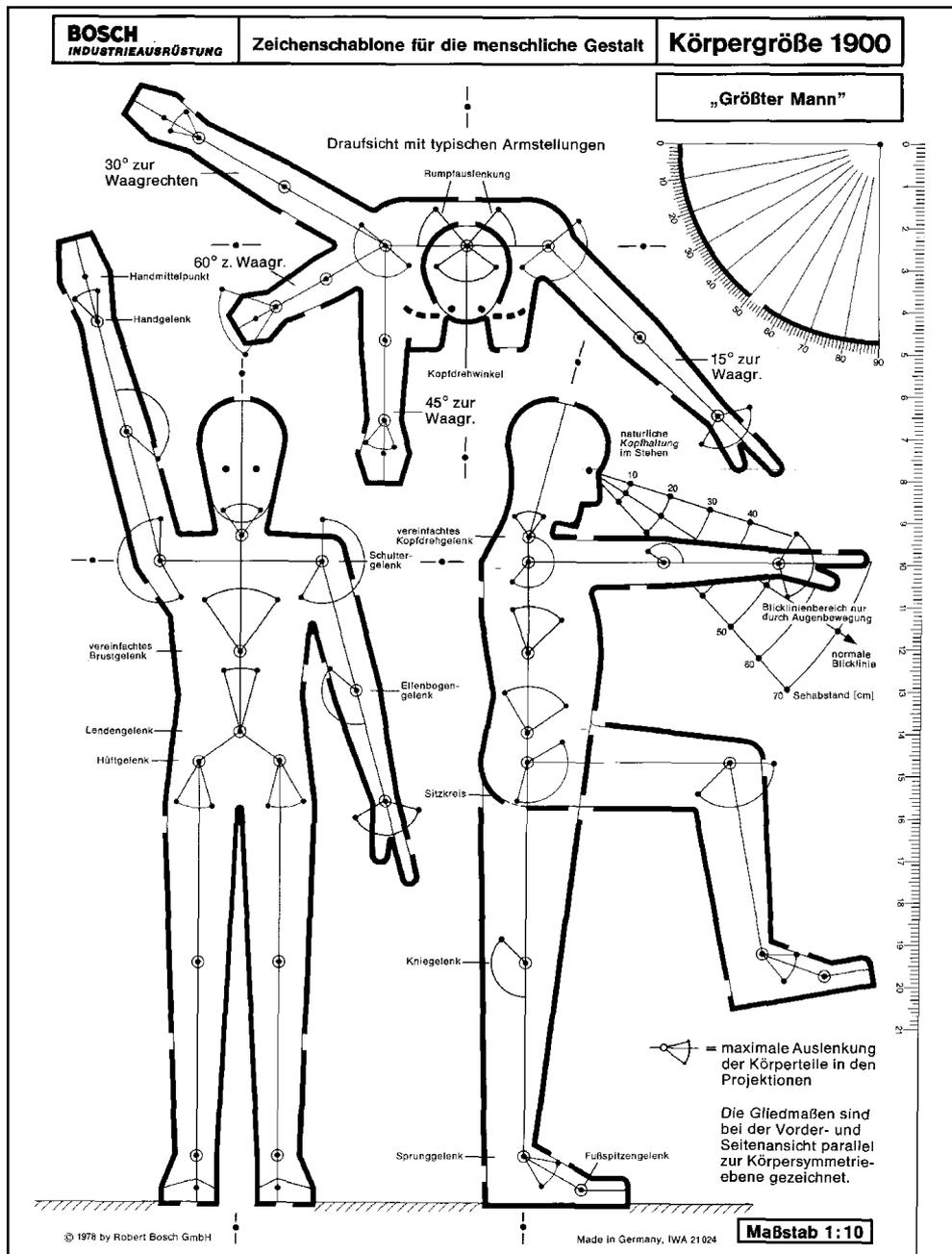
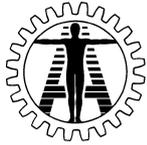


Abb. 4: Zeichenschablone (im Maßstab 1:10) für den 95.-Perzentil-Mann in Draufsicht, Frontalansicht und Seitenaufriß (oben). Die Umrissse der menschlichen Gestalt sind mit Zeichengeräten einzutragen, wobei die Schablone um Gelenke drehbar ist, die durch Löcher mit Kreisen gekennzeichnet sind (unten)

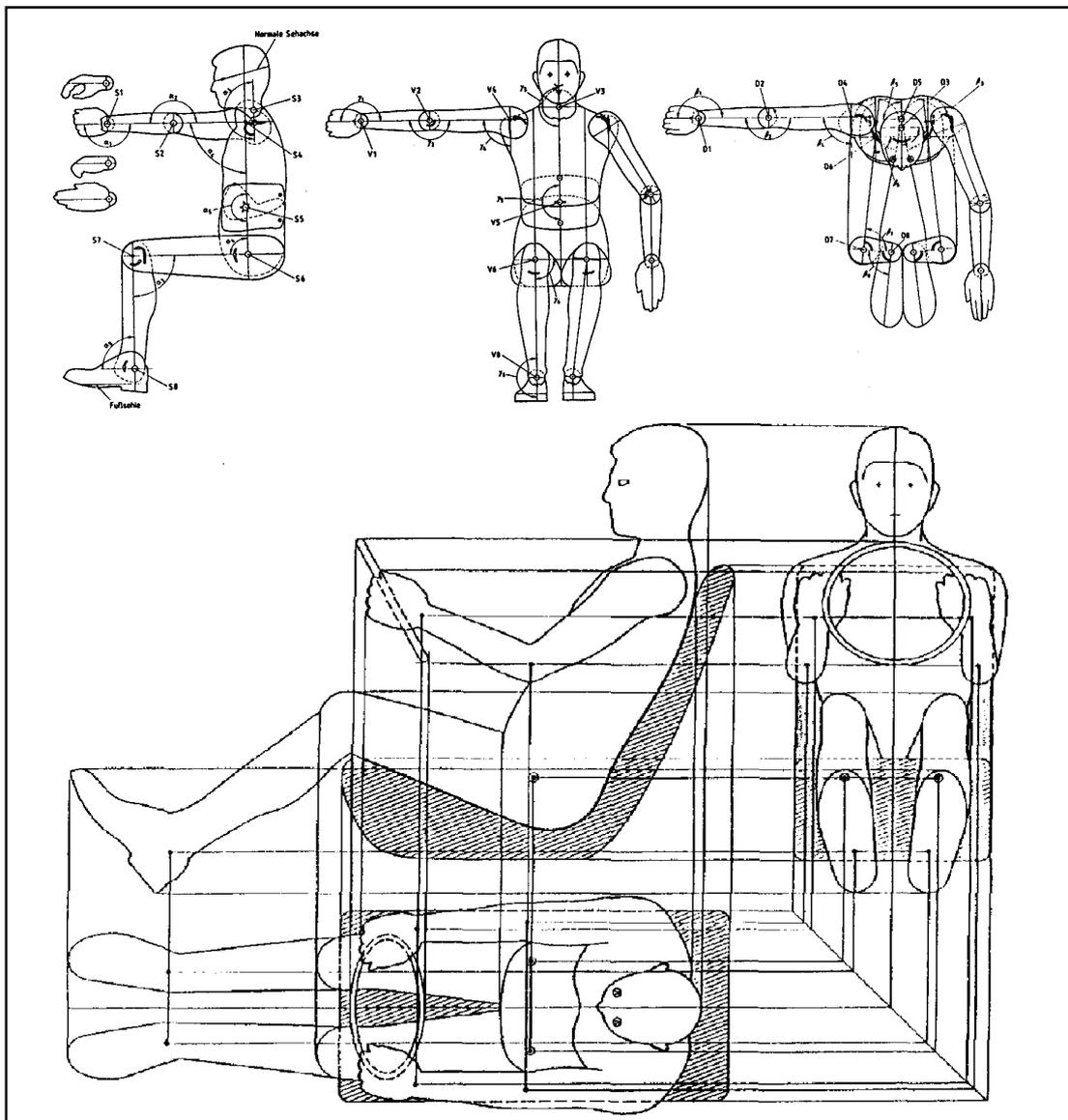


Abb. 5: Körperumrißschablonen in Seitenansicht, Vorderansicht und Draufsicht (nach DIN 33 408 im Maßstab 1:1) zur Verwendung bei der maßlichen Auslegung von Sitzplätzen (z.B. in einem Personenkraftwagen)

DIN 33 408 legt alternativ zum Maßstab 1:10 die Verwendung der "Kieler Puppe" in Originalgröße (in der ersten Ausgabe nur in Seitenansicht) für die Überprüfung und Gestaltung von Sitzarbeitsplätzen nahe (vgl. Abb. 5). In letzter Zeit wurden auch verschiedenste CAD-Arbeitshilfen entwickelt, die eine softwaremäßige Gestaltung und Überprüfung von Arbeitsplätzen ermöglichen sollen (Übersicht siehe bei Karwowski et al.). Zur ergonomischen Überprüfung von Konstruktionszeichnungen bzw. Entwurfsskizzen von Arbeitsplätzen ist inzwischen auch die Video-Somatographie zu einem brauchbaren arbeitsgestalterischen Hilfsmittel geworden (vgl. u.a. Bullinger und Lorenz, 1990; Waller und Reiff, 1990). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß nicht eine synthetisierte Normgestalt, sondern der reale Mensch das Maß darstellt.

## 2. Körperstellung – Körperhaltung – Arbeitsbedingte Körperhaltungswechsel – Günstige bzw. weniger günstige Bewegungsrichtungen – Blindleistung

Aus arbeitsphysiologischer und orthopädischer Sicht sind verschiedene Körperstellungen und Körperhaltungen mit Vorteilen und Nachteilen verbunden, deren Kenntnis für die zu wählenden Arbeitspositionen nützlich, mitunter sogar ausschlaggebend sein kann. Zwangsläufig werden damit jeweils andere Abmessungen des Körpers für die Arbeitsplatzgestaltung entscheidend. Bereits in der Festlegung der Dauerleistungsgrenze durch das Kriterium "Arbeitspulse", als langfristig zulässige arbeitsbedingte Erhöhungen der Schlagzahl des Herzens über dem individuell unterschiedlich hohen Ruhepuls, kommt zum Aus-

druck, daß die Grundstellungen "Liegen", "Sitzen" und "Stehen" den Kreislauf unterschiedlich beanspruchen. Hettinger (1970) setzt für die Dauerleistungsgrenze etwa 30–40 Arbeitspulse an, wobei der untere bzw. obere Grenzwert für Arbeiten gilt, bei denen der individuell zu bestimmende Ruhepuls im Stehen bzw. im Liegen gemessen wurde. Zu dem im Stehen ermittelten Ruhepuls sind also nur noch arbeitsbedingte Erhöhungen um ca. 30 Schläge tolerabel, wogegen bei Bestimmung des Ruhepulses im Liegen das Kreislaufsystem entsprechend dem in der Regel etwa 10 Schläge/min niedrigeren Ausgangsniveau stärker in Anspruch genommen werden darf. Für die zwischen den beiden Extrema liegende Körperstellung "Sitzen" wird allgemein von etwa 35 zulässigen Arbeitspulsen ausgegangen.

Eine analoge Abstufung der Grundbelastung des Organismus durch die gewählte Körperstellung zeigt sich erwartungsgemäß auch im Energieumsatz, zu dessen langfristiger Sicherstellung der Transport von O<sub>2</sub> und Nährstoffen auf dem Wege der Blutbahn über die Kreislaufregulation erforderlich ist. Die energetischen "Kosten" der Körperstellungen "Sitzen" und "Stehen" liegen nach Abb. 6 um bis zu 5% bzw. 10% über dem Ruheumsatz im Liegen.

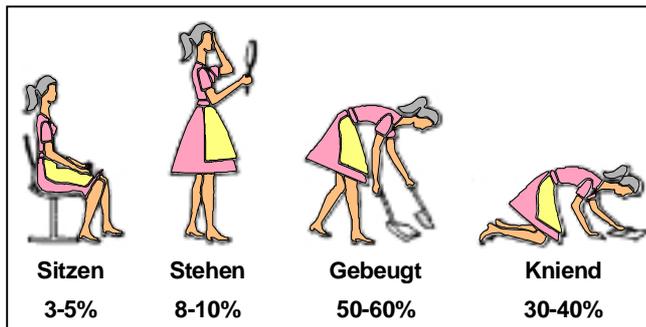


Abb. 6: Körperstellungen und Körperhaltungen bei der Hausarbeit mit Mehrenergieverbrauch in Prozent (gegenüber der Körperstellung Liegen) (aus Grandjean, 1980)

Körperhaltungen als Variationen einer bestimmten Körperstellung (z.B. nach vorne gebeugtes, nicht abgestütztes Stehen oder gebückte Körperhaltungen, vordere, aufrechte oder hintere Sitzhaltung) können den Energiebedarf der "chemodynamischen Kraftmaschine Mensch" maßgeblich modulieren. Für Arbeiten mit gebeugtem Rücken sind (abgesehen von den Problemen der statischen Belastung) mit Erhöhungen von ca. 50% durchaus energetische Engpässe für die Muskeln zu erwarten, die für die jeweilige Rumpfhaltung bzw. Körperposition zuständig sind.

Nach Abb. 7 oben ist es aufgrund von Vergleichsmessungen des O<sub>2</sub>-Bedarfs offensichtlich für den Organismus ökonomischer, eine Last z.B. in Form eines Schulranzens körpernah und symmetrisch verteilt zu tragen als asym-

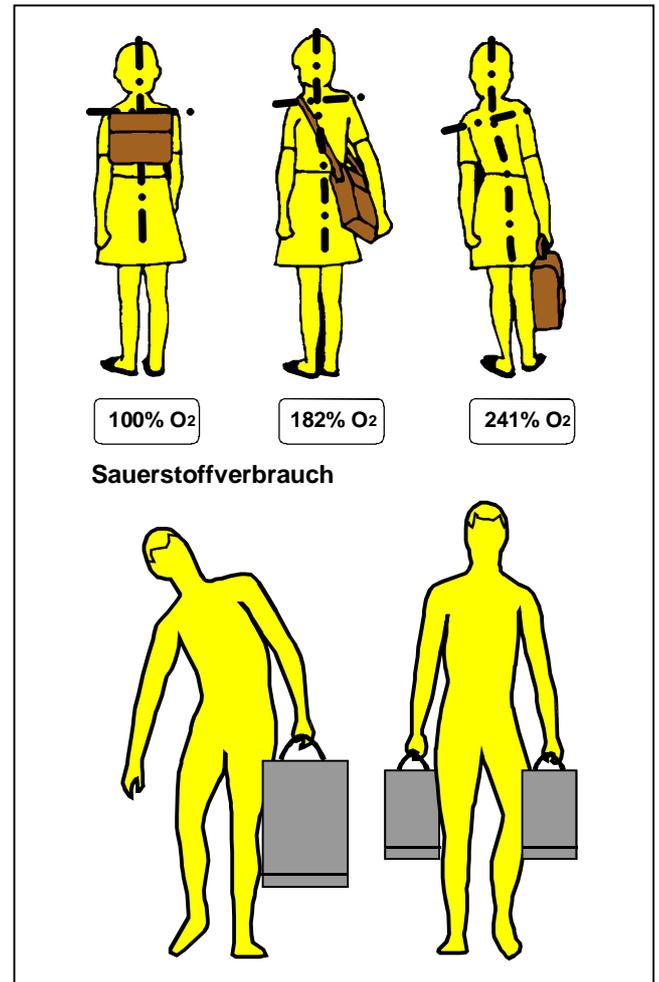


Abb. 7: Auswirkungen des Tragens einer Schultasche mit der Hand bzw. mit einem Tragegurt auf den Sauerstoffverbrauch und die Form der Wirbelsäule relativ zum Tragen eines Schulranzens auf dem Rücken (aus Grandjean, 1980)

metrisch, etwa in Form einer gleich schweren, an einer Hand getragenen Schultasche. Dieses Prinzip gilt natürlich auch für das Arbeitsleben (Abb. 7 unten). Selbst das Tragen von Gepäckstücken ist bekanntlich einfacher, wenn sich die Gesamtlast auf zwei Koffer verteilen läßt. Aber auch in einem solchen Fall ist nicht allein das Gewicht, sondern die Form der Gepäckstücke oder Koffer für die physiologischen Kosten ausschlaggebend. Der rechte Teil von Abb. 7 oben weist darüber hinaus auf einen oftmals noch problematischeren Sachverhalt hin. Andauernde einseitige Belastungen des Stützapparates provozieren seitliche Verkrümmungen der Wirbelsäule, die langfristig nicht ohne Folgen bleiben. Gerade bei Kindern mit noch nicht verfestigter Wirbelsäule können sich typische Haltungsschäden herausbilden, die oftmals erst nach Jahrzehnten zu Beschwerden im Rücken führen.

Werden dem arbeitenden Menschen beim Tragen von Lasten Fehlhaltungen aufgezwängt (vgl. z.B. Abb. 8) oder wird nicht ausreichend auf eine symmetrische Arbeitsplatzgestaltung geachtet, kann sich eine arbeitsbedingte Skoliose herausbilden. Ein Problem in dieser Hinsicht stellen z.B. Kassensysteme im Selbstbedienungsbereich dar. Besonders an Umpackkassen (nach dem Wagen-in-Wagen-System), aber auch an Bandkassen bestanden oftmals zu hohe Rechts-Links-Unterschiede in den Arbeitshöhen. Mitunter ungebührlich hohe Kompakt-Registrierkassen, die mit der rechten Hand zu bedienen waren, in Relation zur Arbeitshöhe der linken Hand-Arm-Partie, die für das Warenhandling zuständig ist, konnten Fehlhaltungen des Rückens auslösen (vgl. Strasser und Müller-Limmroth).

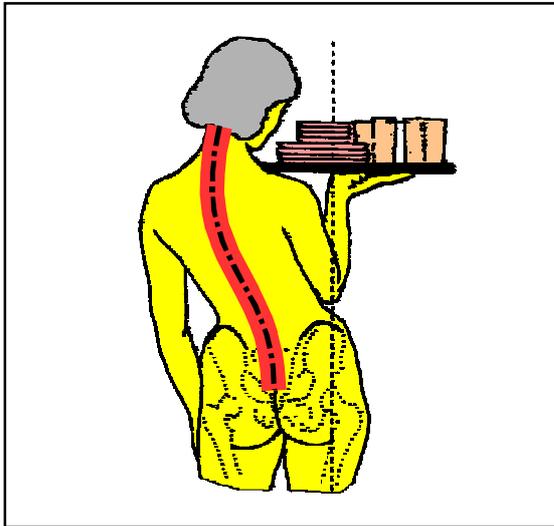


Abb. 8: Berufliche Haltungsskoliose infolge der Tragehaltung eines Tabletts

Fahrzeuge, bei deren Konstruktion nicht streng auf eine Lenkrad-Sitz-Symmetrie geachtet wurde (z.B. Toleranzen der Lenkrad-Sitz-Asymmetrie bis zu  $\pm 3$  cm bei Personenkraftwagen), können für Berufskraftfahrer infolge einer eventuell aufgezwungenen schiefen Körperhaltung ebenfalls ein Risiko für bleibende skoliotische Fehlhaltung der Wirbelsäule sein.

Wie schon von Lehmann nachgewiesen, ist das Tragen von Eimern mit der herkömmlichen konischen Form stärker beanspruchend als das Tragen von gleich schweren Eimern, die an der Innenseite abgeflacht sind (vgl. Abb. 9). Die während Trageversuchen in den Arbeitspulsen zum Ausdruck kommende Mehrbeanspruchung hat ihre Ursache in einer größeren horizontalen Distanz des Schultergelenks zum Schwerpunkt der Last. Der längere Hebelarm erfordert höheren (statischen) Muskelaufwand für das Abspreizen (für die Abduktion) der Oberarme, um das Anschlagen der Eimer an die Beine zu vermeiden. Gleiche Lasten können also je nach Armstellung und Körperhaltung ein Mehr oder Weniger an "physiologi-

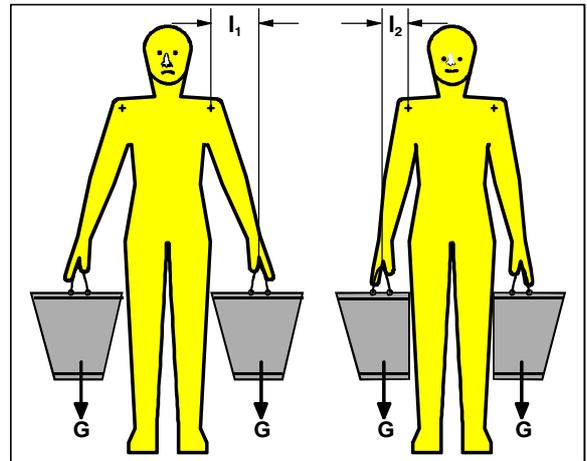


Abb. 9: Einfluß von zwei gleichen Lasten auf die statische Beanspruchung des Trägers bei Verwendung von Normaleimern ( $G \times l_1$ ) und innen abgeflachten Eimern ( $G \times l_2$ ). Ein größerer Lastarm verursacht Mehrbeanspruchung

schen Kosten" bedingen. Das kann oftmals schon, wie in Abb. 10, anhand einfacher biomechanischer Überlegungen evident gemacht werden. Sind die beiden (von den Armkräften aufzubringenden) Kraftvektoren nicht parallel (wie im linken Bildteil) sondern "abgespreizt", müssen zusätzlich auch Querkraft vom Organismus aufgebracht werden, ohne daß diese selbst für den Arbeitsvollzug nutzbar gemacht werden können. Bei einem Spreizwinkel der Arme von  $90^\circ$  sind zum Halten der 50 kg nicht lediglich statische Körperkräfte in Höhe von je 245 N zu mobilisieren, sondern in Höhe von je 347 N für eine scheinbare Last von 70 kg (je 35 kg für beide Arme) zu entfalten. Der Mehraufwand entspricht einer Art "Blindleistung", die bei ungünstigen Körperhaltungen und Körperstellungen stets einzukalkulieren ist.

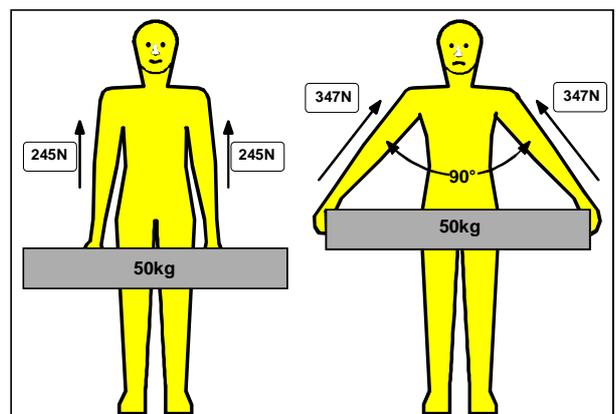


Abb. 10: Günstiger und ungünstiger "Zugriff" beim Tragen einer gleich schweren Last mit unterschiedlichem biologischen Kraftaufwand je nach Spreizwinkel der Arme (ohne bzw. mit, nach dem Kräfteparallelogramm zu entfaltenden zusätzlichen Körperkräften)

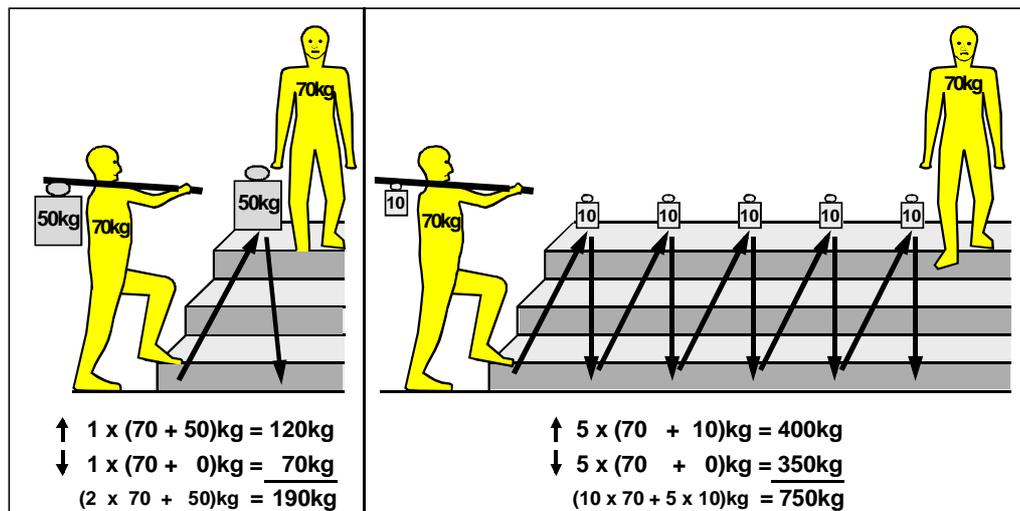


Abb. 11: Unterschiedlicher Aufwand (physiologische Kosten) für gleiche Arbeit (Transport eines Gewichtes von 50 kg) je nach Portionierung der zu befördernden Last infolge des Mittransports des eigenen Körpergewichtes

Auch im Falle dynamischer Arbeit kann durch das Mitbewegen des eigenen Körpers oder größerer Körperteile die dadurch bedingte "Blindleistung" mitunter erheblich höher sein als die aus der Arbeitsbelastung resultierende abgegebene (äußere) Leistung.

Die Reduzierung der Belastung kann manchmal sogar zu einer fraglichen, wenn nicht sogar inhumanen Maßnahme werden. Abb. 11 soll veranschaulichen, daß der biologische Aufwand für das Befördern einer Last über eine bestimmte Höhendistanz auch die "Kosten" abdecken muß, die für den Transport des eigenen Körpergewichtes (treppauf und treppab) entstehen. In diesem Fall würde sich die (scheinbare) Arbeitserleichterung durch die Portionierung einer ursprünglichen Last von 50 kg in kleinere Teillasten von 5 x 10 kg als Arbeiterschwernis erweisen. Der arbeitsbedingte Mehraufwand im Energieumsatz wäre

bei gleicher Gesamtarbeit für den im rechten Teil dargestellten Fall erheblich höher, weil die Blindleistung für das Mitbewegen des eigenen Körpergewichtes nicht nur einmal, sondern 5 mal anfällt.

Selbst bei einseitig dynamischer Muskelarbeit und nicht nur bei Ganzkörperbelastung kann vom Organismus erstaunlich viel an "Gewichtstonnage" verkraftet werden, so lange sich die Blindleistung in Grenzen hält. Nach Strasser und Müller-Limmroth liegt z.B. an Kassenarbeitsplätzen mit Umpacksystemen grundsätzlich eine physikalische Mehrbelastung gegenüber Bandsystemen vor, die im zusätzlichen vertikalen Anheben von Gewichten über den Wagenrand bzw. den Warenkorb besteht. In einfachen Rechenbeispielen nach Abb. 12 läßt sich nachweisen, daß im Zuge des Warenhandlings bei einer abverlangten Leistung von 1 Watt (die deutlich unter der

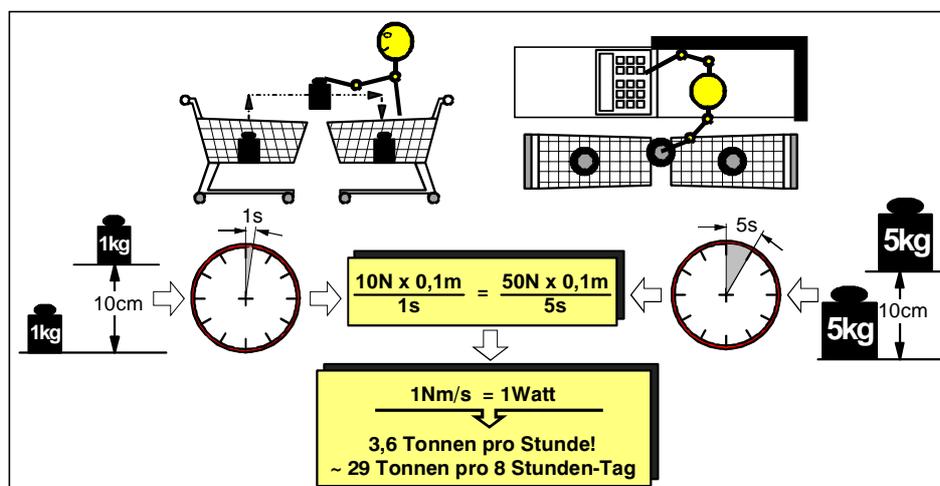
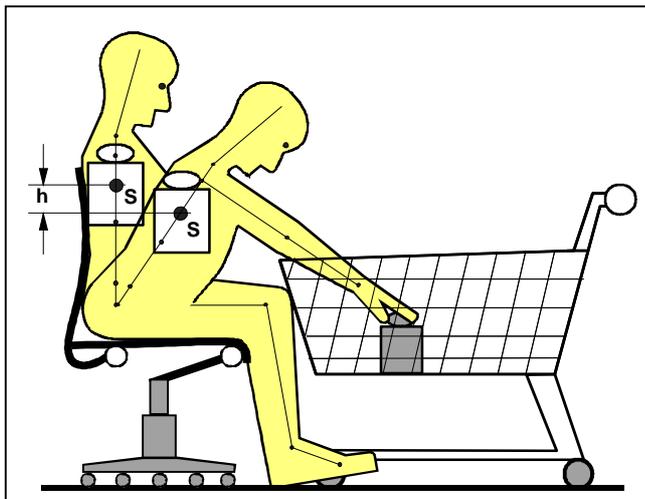


Abb. 12: Rechenbeispiele zur Abschätzung der physischen Zusatzbelastung infolge manuellen Warentransports an Kassenarbeitsplätzen bei Wagen-Wagen-Systemen gegenüber Bandsystemen. Selbst bei einem Warendurchsatz von mehreren Tonnen pro Tag wäre (z.B. bei einer abverlangten Leistung von 1 Watt) die Dauerleistungsgrenze für Ein-Arm-Arbeit nicht überschritten

Dauerleistungsgrenze von Ein-Arm-Tätigkeiten für Frauen liegt) bereits in einer Stunde eine umgesetzte Warenmenge von 3.6 Tonnen resultieren würde. Für den Fall, daß realistischere pro 8-Stunden-Tag Waren von ca. 5 Tonnen manuell bewegt werden müssen, wird dadurch die Erträglichkeit menschlicher Arbeit keineswegs in Frage gestellt, selbst wenn die biologische Leistung auch das Gewicht des Hand-Arm-Systems für jeden Arbeitshub mit abzudecken hat. Wenn allerdings bei jedem Arbeitshub infolge zu niedriger Arbeitshöhe auch das Oberkörpergewicht mit angehoben werden muß (vgl. Abb. 13), dann kann eine an und für sich leichte Arbeit leicht zu einer unerträglichen Beanspruchung werden. Selbst wenn in einer vereinfachten Rechnung das Oberkörpergewicht einer Kassiererin nur mit 20 kg angesetzt wird, fallen also die Tonnen, resultierend aus der äußeren Belastung beim Hantieren von 1-kg-Gewichten kaum noch ins Gewicht. Ähnliches gilt auch für das Vermauern von Steinen auf dem Bausektor, wo das Aufnehmen von leichten Ziegelsteinen gegenüber größeren und schwereren Hohlblocksteinen eine möglicherweise um ein vielfaches größere Blindleistung nach sich zieht.

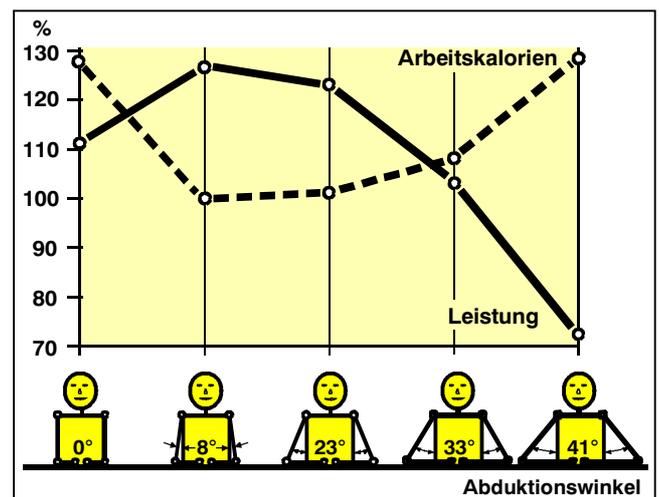


**Abb. 13:** Eine an und für sich leichte Arbeit (mit z.B. 1 Watt Leistungsabgabe) kann infolge des arbeitsbedingten Mitbewegens größerer Körperteile (Blindleistung) zu einer unerträglichen Beanspruchung werden

Im Zuge ergonomischer Arbeitsplatz- und Produktgestaltung ist also vornehmlich darauf zu achten, daß durch konstruktive Maßnahmen Blindleistung vermieden wird. Ungünstige Körperhaltung und Körperstellung sowie arbeitsbedingt mitbewegte Körperteile verursachen Verluste, so daß von einer theoretischen Gesamtleistung (dem Angebot des Menschen an der Dauerleistungsgrenze) oftmals nur noch ein Bruchteil für den eigentlichen Arbeitsvollzug zur Verfügung steht.

Für das Feinlayout von Arbeitsplätzen im Montage- oder Dienstleistungsbereich mit repetitiven manuellen Tätigkeiten ist ferner die Kenntnis optimaler und pessimaler Bewegungsrichtungen des Hand-Arm-Systems und dessen zweckmäßige Ausrichtung in Relation zum Rumpf von Bedeutung.

Nach Abb. 14 liegt für Tätigkeiten, wie das Verpacken von Lebensmitteln das Optimum in physiologischer und operationeller Hinsicht nicht bei senkrecht herabhängenden und am Rumpf angelegten Oberarmen, sondern bei einem individuell etwas unterschiedlich großen seitlichen Abspreizwinkel, der allerdings keinesfalls mehr als ca. 20 bis 30° betragen sollte. Das aus der Abbildung ablesbare Optimum in der erbrachten Leistung bei minimalem physiologischen Aufwand (gemessen durch den Arbeitsenergieumsatz) darf allerdings (aus versuchs-technischen Gründen bei lediglich einigen Stützstellen gemessen) nur als grobe Zielvorgabe verstanden werden.



**Abb. 14:** Auswirkungen des seitlichen Abspreizwinkels des Oberarmes auf Energieverbrauch und Leistung bei repetitiven manuellen Tätigkeiten (beim Verpacken von Lebensmitteln, nach Grandjean, 1980)

Ähnliches gilt nach Bullinger und Solf (1979) für beidhändig geführte Bewegungen des mit einem Arbeitsmittel eine geschlossene kinematische Kette bildenden Hand-Arm-Systems. Nach Abb. 15 liegt beim Arbeiten mit einer Waldsäge eine günstige Bewegungsrichtung dann vor, wenn die Frontalebene der Arbeitenden und das Sägeblatt einen Winkel von ca. 60° bilden. Es muß also eine bestimmte Körperausrichtung auf das Arbeitsobjekt gegeben sein, die sich allerdings bei "freier" Arbeit ohne "fremdes Zutun", ohne "Gestaltung" auf Grund von Gewöhnung von alleine einstellen kann, da in der Regel keine limitierenden bzw. einengenden Gegebenheiten bestehen.

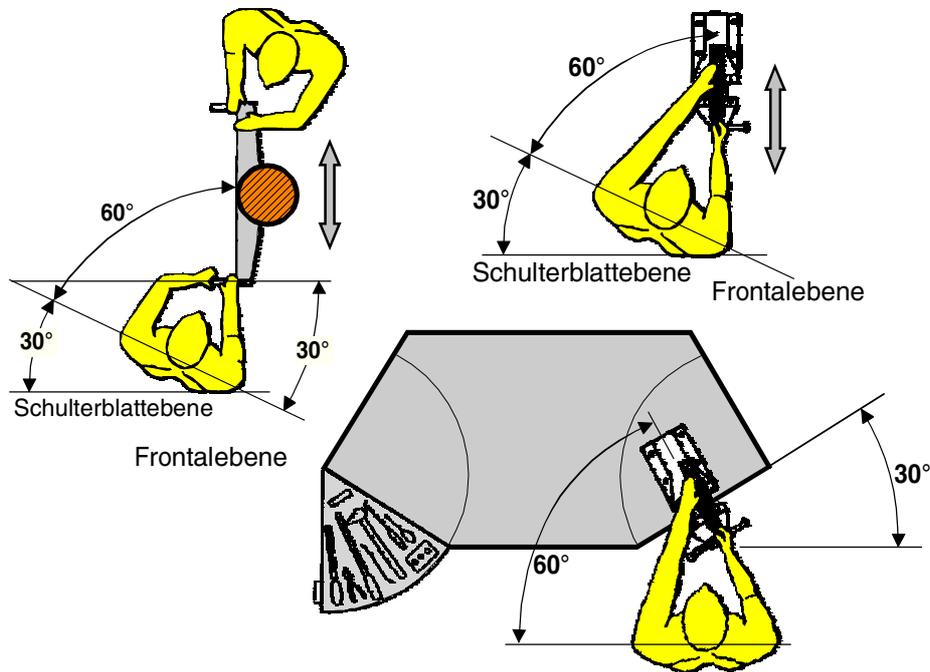


Abb. 15: Optimale Bewegungsrichtung der (beidhändig) geschlossenen kinematischen Kette "Hand-Arm-System/Arbeitsmittel" beim Sägen und Feilen sowie Konsequenzen für die ergonomisch optimale räumliche Anbringung des Schraubstocks

Ein günstiger Winkel von ebenfalls ca. 60° zwischen Frontalebene und Arbeitsrichtung beim Sägen oder Feilen an einem Schraubstock hat bereits Konsequenzen für eine zweckmäßige Voreinstellung des Schraubstocks an einer Werkbank nach Abb. 15 unten. Damit läßt sich sicherstellen, daß bei frontaler Ausrichtung zur Werkbank in bequemer Körperhaltung gearbeitet werden kann.

Begründet in der Anatomie und Biomechanik des Hand-Arm-Systems gibt es ferner günstige und weniger günstige Bewegungsrichtungen für Ein-Arm-Tätigkeiten, die etwa beim Sortieren, beim repetitiven Hantieren mit kleinen Gegenständen in einer horizontalen Arbeitsebene oder bei Montagetätigkeiten, sowie auch bei diversen Geschicklichkeitsarbeiten zum Tragen kommen sollen. Will man vermeiden, daß dem arbeitenden Menschen unnötiger biologischer Aufwand abverlangt wird, dann müssen jeweils günstige Bewegungsrichtungen vorgesehen werden.

Bereits in den 60er Jahren wurde von Bouisset und Monod mit Hilfe des O<sub>2</sub>-Verbrauchs als globaler Meßmethode zur Ermittlung der menschenbezogenen Belastung bei Variation der horizontalen Arbeitsrichtung (zwischen 0 und 90°, gemessen von der Körperfrontalebene aus) ein grob fixiertes Optimum in den physiologischen Kosten bei der Bewegungsrichtung eines Armes von 30° festgestellt (vgl. Abb. 16).

Mit Hilfe der Mehrkanal-Elektromyographie, die einen genaueren Einblick in die lokale physische Beanspruchung gestattet, wurden z.B. von Strasser et al. (1989) mit einer von Müller, Ernst und Strasser (1988) entwickelten Methode Profile der statischen und dynamischen Muskelbeanspruchung in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung in einer horizontalen Ebene ermittelt.

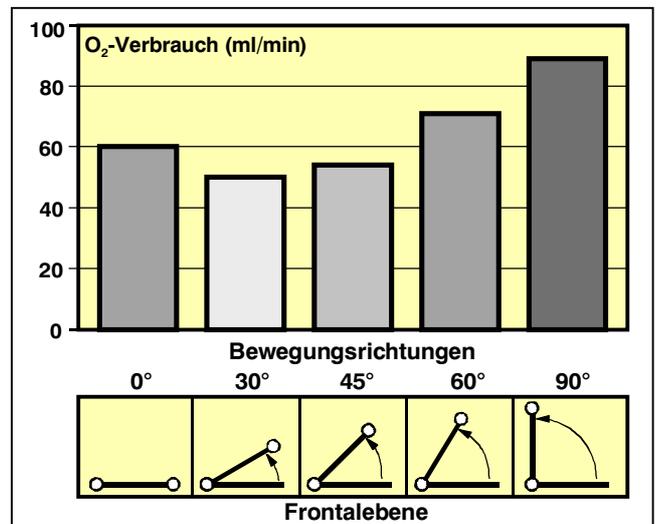


Abb. 16: Arbeitsbedingter O<sub>2</sub>-Verbrauch beim repetitiven Verlagern von 1-kg-Gewichten aus unterschiedlichen Richtungen (zwischen 0° und 90°)

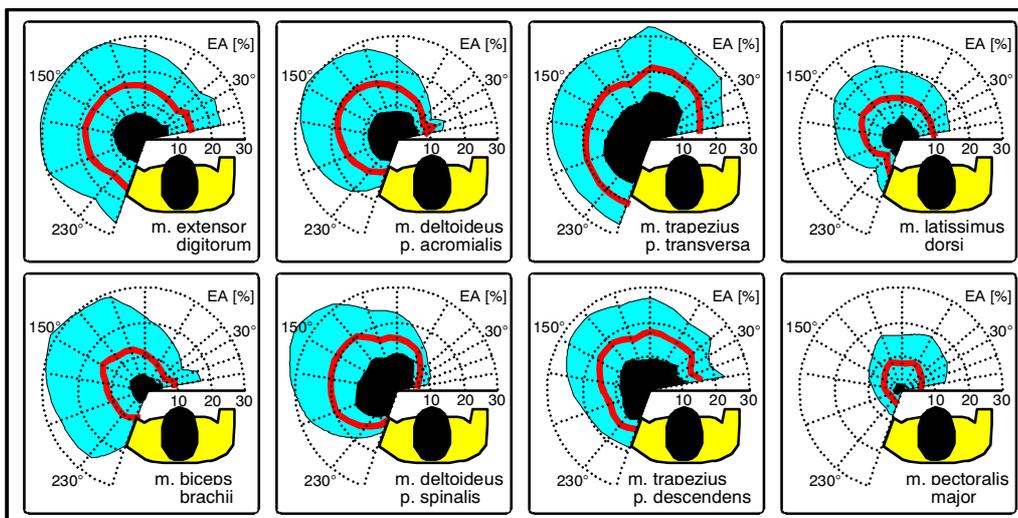


Abb. 17: Aus normierten Elektromyographischen-Aktivitäts- (EA-) Werten ermittelte Beanspruchung (in % der maximalen EA) von Muskelgruppen des Unter- und Oberarms sowie der Schultern und von Muskeln des oberen Teils des Rumpfes bei unterschiedlichen Arbeitsrichtungen (Mittelwerte aus 11 Arbeitspersonen, die 24 mal pro Minute Gewichte von 1 kg über eine Distanz von 38 cm von unterschiedlichen Ausgangspunkten zwischen 10° und 230° zu einem körpernen Zielpunkt umsetzen mußten)

Aus Diagrammen wie in Abb. 17 können zur Vermeidung von Engpässen in einzelnen Muskeln für praktisch relevante Arbeitsrichtungen allgemeine Gestaltungsempfehlungen abgeleitet werden. Ein Anwendungsfall für die Ausrichtung und Laufrichtung von Bändern an Kassearbeitsplätzen wird von Strasser (1990a) beschrieben.

### 3. Bewegungsbereiche der Gelenke und Länge der Gliedmaßen, sowie daraus resultierende Greifräume

Die Abmessungen der Extremitäten und die Bewegungsmöglichkeiten ihrer Gelenke bestimmen den Greifraum des Menschen, wobei verschiedene Bereiche voneinander abgrenzbar sind, die durch das Hand-Arm-System in unterschiedlicher Weise erreichbar sind. Nach Abb. 18 ist ein anatomisch maximaler Greifraum definierbar, der sich aus dem Raum ergibt, der mit weitgehend gestrecktem Hand-Arm-System und gestreckten Fingern unter Mitbewegungen der Schulter als beweglichem Sockel in horizontaler und vertikaler Richtung überstrichen werden kann. Ein derartiges Maximum kann allerdings bei repetitiven, d.h. häufigen Bewegungen nicht ohne negative Folgen im Hinblick auf Muskelermüdung abverlangt werden. Ferner wächst in den Randlagen des Ellenbogengelenks der Gelenkwideerstand überproportional an und mit zunehmendem Lebensalter wird eine Streckung des Unterarmes auf 180° immer weniger möglich.

Weil also zweckmäßigerweise aus arbeitstechnischer und ergonomischer Sicht ein vorhandenes Leistungspotential prinzipiell nicht voll ausgeschöpft werden darf, erscheint die Abgrenzung eines physiologisch maximalen vom anatomisch maximalen Greifraum geboten. Dieser

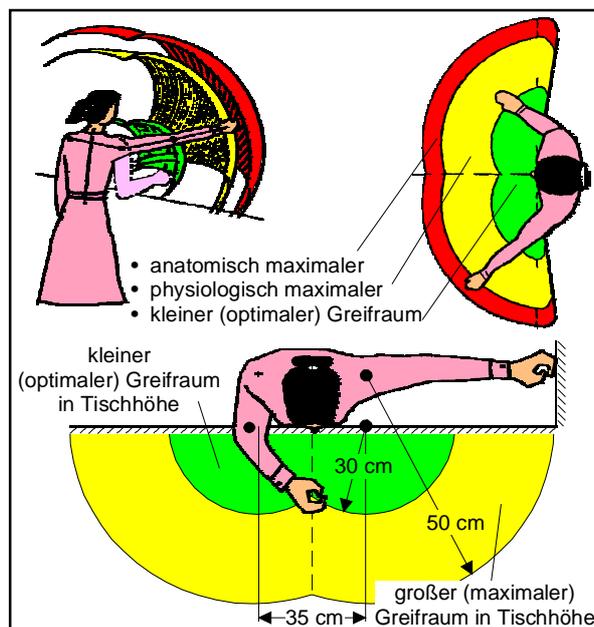
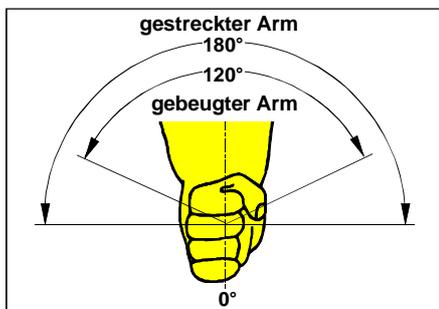


Abb. 18: Zur Definition verschiedener, an physiologischen Kriterien orientierter Greifräume (oben) und Horizontalschnittebene in Tischhöhe des kleinen und großen Greifraumes der 5.-Perzentil-Frau in aufrechter Sitzhaltung (mit näherungsweise gültigen Wertangaben)

umfaßt den 3-dimensionalen Raum, der ohne Mitbewegungen der Schulter und bei nicht völlig gestrecktem Arm erreichbar ist. Ein so definierter (großer) Greifraum ist vor allem für das Arbeiten im Stehen (für die Entfaltung größerer Körperkräfte in einem weiten Arbeitsfeld) geeignet. Er ermöglicht aber auch bei weitgehend gestrecktem Arm

und damit bei Nutzung des Kugelgelenks, über das der Oberarm mit der Schulter verbunden ist, eine hohe axiale Verdrehbarkeit der Hand (bis zu ca. 180°). So kann eine, für viele Tätigkeiten geforderte hohe Beweglichkeit und Flexibilität der menschlichen Greifzange "Hand" erreicht werden.

Werden die Oberarme angewinkelt, wird der manuell erreichbare Raum im wesentlichen durch die Länge der Unterarme bestimmt. Der daraus resultierende kleine Greifraum ist vornehmlich geeignet für zielgerichtete, feinmotorische Tätigkeiten, für geschicklichkeitsbetonte Arbeiten mit schnellen und genauen Bewegungen. Es wäre allerdings unzulässig, diesen kleinen Greifraum generell als optimal zu bezeichnen, weil z.B. bei angewinkeltem Unterarm die axiale Beweglichkeit der Hand nach *Abb. 19* deutlich eingeschränkt ist, und weil nach biomechanischen Überlegungen aus einer stark gebeugten Armhaltung heraus weniger große Körperkräfte entfaltbar sind (siehe hierzu den folgenden Abschnitt). Wenn also hohe Anforderungen an die Verdrehbarkeit des Hand-Arm-Systems um seine Längsachse (für das Greifen unsortierter Gegenstände) und/oder an die Ausbringung größerer Körperkräfte in der Arbeit bestehen, dann sind für das manuelle "Zugreifen" eher Bereiche im großen (physiologisch maximalen) Greifraum geeignet. Außerdem würde bei nicht vorhandenen Unterarmauflagen allein das statische Halten des Unterarmes eine bedeutsame Zusatzbelastung darstellen.

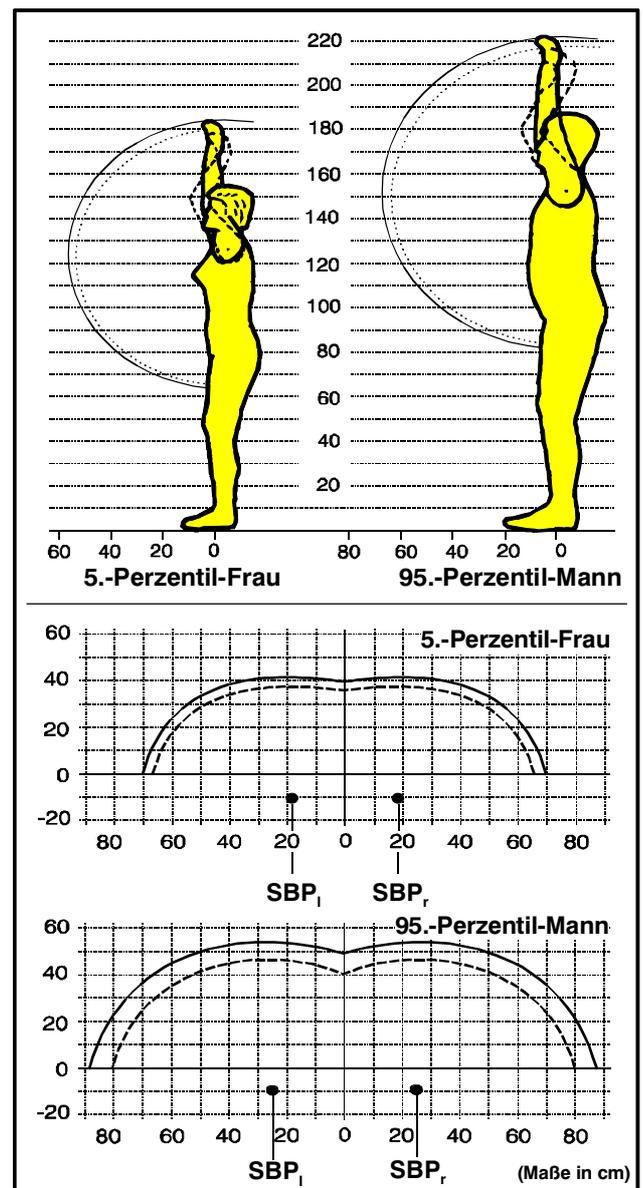


*Abb. 19: Axiale Verdrehbarkeit der Hand bei gestrecktem und angewinkeltem Unterarm*

Die bislang beschriebenen Greifräume, für die bei der Arbeitsplatzgestaltung zweckmäßigerweise 5.-Perzentilwerte der Unterarmlänge und des gesamten Hand-Arm-Schulter-Systems maßgebend sein müssen, um sicherzustellen, daß auch relativ kleine Arbeitspersonen Gegenstände im Arbeitsraum erreichen können, die für alle großen ohnehin in Reichweite liegen, gelten strenggenommen nicht für das "Greifen", sondern allenfalls für das Berühren mit den Fingerspitzen. Muß also bei der Arbeit anstelle des Kontaktgriffes ein Zufassungs- oder Umfassungsgriff realisiert werden, ist das entsprechend der veränderten Fingerhaltung nur in einem kleineren Raum möglich. So definierte, an der Funktion der "Greifzange Hand" orientierte Bereiche werden als funktionale

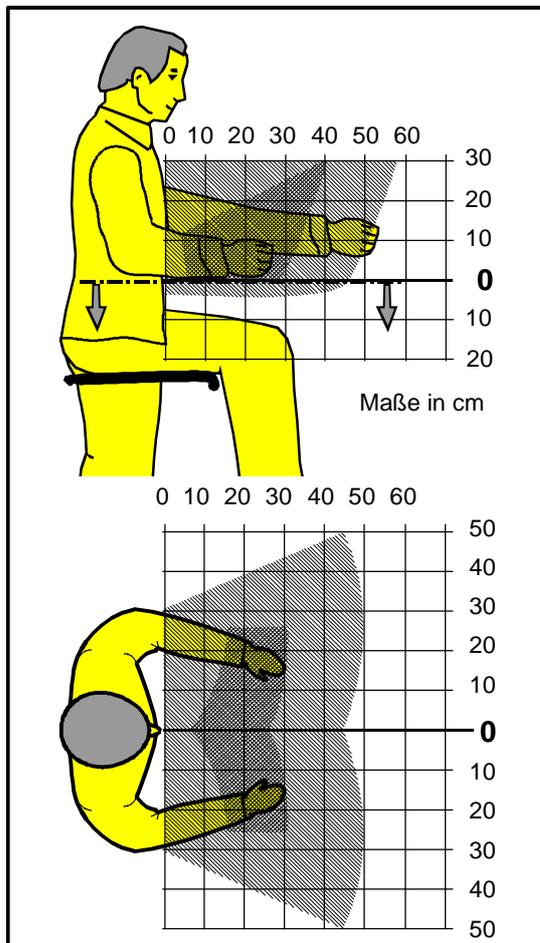
Greifräume bezeichnet. Dominiert in einem Arbeitsbereich bspw. der Umfassungsgriff, dann ist für die Anordnung der Arbeitsmittel im Raum von 5.-Perzentilwerten der Länge von Unterarm bzw. des gesamten Armes bis zur Griffachse bei der geschlossenen Faust auszugehen.

*Abb. 20* veranschaulicht den erheblichen Variationsbereich des (physiologisch) maximalen und funktionalen Greifraumes im Seitenaufriß und in einer horizontalen Schnittebene (gültig für die aufrechte Sitzhaltung) zwischen 5.-Perzentil-Frau und 95.-Perzentil-Mann.



*Abb. 20: Maximaler und funktionaler Greifraum (durchgezogene bzw. gestrichelte Linien) der 5.-Perzentil-Frau und des 95.-Perzentil-Mannes in Seitenaufriß für gelockerte Haltung im Stehen (oben) und in Draufsicht für die Körperstellung Sitzen mit Schulterbezugspunkten (SBP) links (l) und rechts (r)*

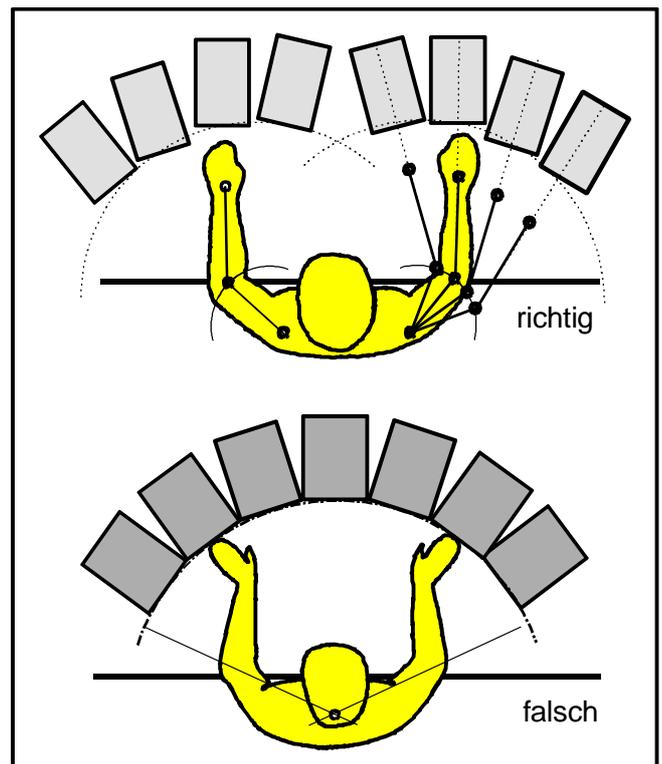
Es ist zwar verständlich, daß die Praxis nach wenigen konkreten Daten verlangt. Andererseits ist es aber problematisch, die Präzisierung von Greifräumen (wie oftmals in einer einzigen Horizontalschnittebene geschehen) auf die Angabe von Radiuswerten für Kreise um Schulter- oder Ellbogenbezugspunkte für Mann und Frau zu beschränken (vgl. *Abb. 18* unten). Derart auf den cm genau festgelegte Greifräume können nur Richtwertcharakter für eng umgrenzte Arbeitshaltungen haben und nicht Allgemeingültigkeit erlangen. Für eine praktikable und dennoch am Menschen maßgenommene Arbeitsplatzgestaltung muß deshalb der Einsatz von Meßpuppen und Schablonen, wie bereits vorher beschrieben, empfohlen werden. Grundsätzlich gelten allerdings auch hierfür Einschränkungen derart, daß nach den einfach schraffierten Bereichen in *Abb. 21* Arbeitsebenen etwa oberhalb der Schulterhöhe und bei sitzender Tätigkeit größere Abweichungen unterhalb der Ellenbogenhöhe zu vermeiden sind.



*Abb. 21:* Vertikalschnitt und Horizontalschnitt des für ständiges Arbeiten nutzbaren Greifraumes mit optimalem Bereich für schnelle und genaue Bewegungen der Hände (doppelt schraffierter Bereich). Die Richtwerte für Höhen und äußere Begrenzungen (nach Kroemer) gelten für mittelgroße Frauen bzw. für kleine Männer

Das Überschreiten des oberen Grenzbereiches würde zu starken statischen Belastungen der Haltermuskulatur des Oberarms und der Schulter-Gürtel-Partie führen. Bekanntlich ist derartige Überkopf-Arbeit mit schnell einsetzender muskulärer Ermüdung verbunden. Der freizuhaltenen minimale Raum von ca. 20 cm für die Oberschenkel markiert den unteren Grenzbereich. Für Beidhändigkeit muß der Greifraum in der Horizontalebene zwangsläufig erheblich eingeschränkt sein. Mit der rechten Hand kann man schlecht in die linke Hosentasche fassen!

Der Greifraum stellt in jeder Horizontalschnittebene stets eine Art halbnierenförmige Gestalt mit Radien um das Ellenbogen- oder Schultergelenk und keinesfalls konzentrische Kreise um einen gedachten Körpermittelpunkt dar. Bei einer derartigen Vereinfachung würde auch die konzentrische Anordnung von Greifbehältern z.B. für Montagetätigkeiten ungünstig sein. Für das Greifen in die seitlich angeordneten Behälter wäre stets eine ulnare Abduktion der Hand erforderlich, die bei der Anordnung nach *Abb. 22* oben vermieden werden kann.



*Abb. 22:* Richtige Anordnung von Griffschalen auf zwei Kreisbögen für Montagetätigkeiten (oben) zur Vermeidung der ulnaren Abduktion der Hände. Die Anordnung auf einem Kreisbogen um die Körpermitte herum (unten) ist unzweckmäßig (aus Stier und Meyer)

Nach Abb. 23 lassen sich, beschränkt auf die Körperstellung Sitzen, grundsätzlich zwei unterschiedliche Arbeitsbereiche für die Füße angeben. Das doppelt schraffierte Areal, das bei herabhängenden Unterschenkeln mit den Füßen erreichbar ist, und das einen gewissen, aus dem Knöchelgelenk heraus betätigbaren Fußwirkraum einschließt, ist für feinkoordinative, weniger kraftbetonte Betätigungen geeignet.

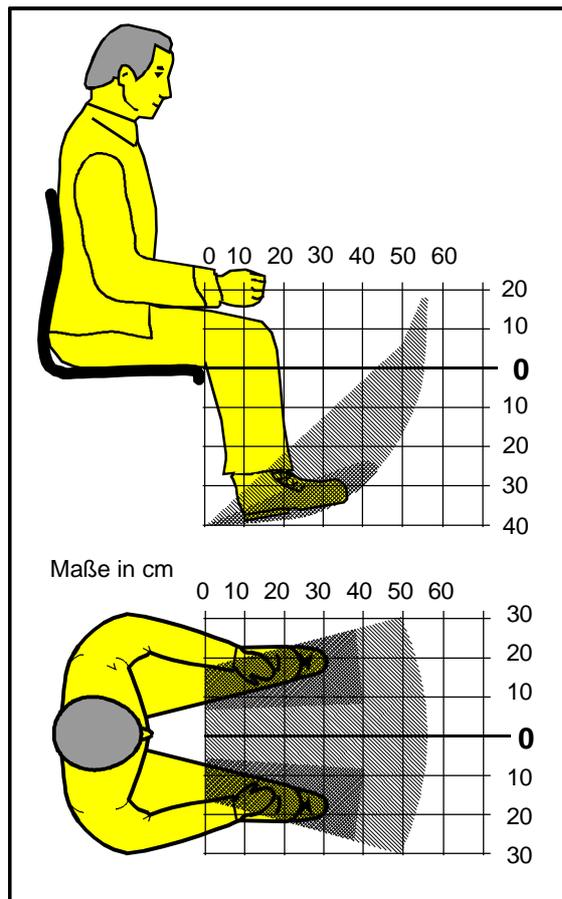


Abb. 23: Arbeitsbereich der Füße im Sitzen mit optimalem (doppelt schraffierten) Raum für feinfühligere Bewegungen bei geringen Kräften

Infolge von anatomisch-physiologischen Besonderheiten des neuromuskulären Apparates der unteren Extremität ist allerdings der mit der Beinmuskulatur erzielbare Bewegungsablauf weniger glatt und weniger fein abstufbar. Gegenüber der Muskulatur des Hand-Arm-Systems werden nämlich bei Willkürbewegungen im Zuge der zentrifugalen Innervation ca. 10 mal so viele Muskelfasern über eine einzige Nervenleitung innerviert. Eine "motorische Einheit" der Beinmuskulatur hat also auf Kosten einer weniger fein dosierbaren Muskelkoordination deutlich größere Muskelareale zu "versorgen".

Vom maximalen Bewegungsbereich des Fußgelenkes in der Vertikalrichtung in der Größenordnung um ca. 50° sind auch nur etwa 25° für optimale Drehbewegungen aus der Ferse heraus nutzbar, wobei die Ruhestellung bei einem Winkel von ca. 95° zwischen Fuß und Unterschenkel gegeben ist.

Im Rahmen der angedeuteten anatomisch-physiologischen Grenzen können also Pedale und leichtgängige Fußschalter im doppelt schraffierten Bereich betätigt werden.

Der untere Teil von Abb. 23 verdeutlicht, daß dabei auch eine horizontale Ruuehaltung der Beine zu berücksichtigen ist. Pedale für beide Beine sollten demnach nicht parallel zueinander, sondern unter einem seitlichen Öffnungswinkel (von ca.  $\pm 10^\circ$ ) für den rechten und linken Fuß innerhalb des doppelt schraffierten Bereiches angeordnet werden.

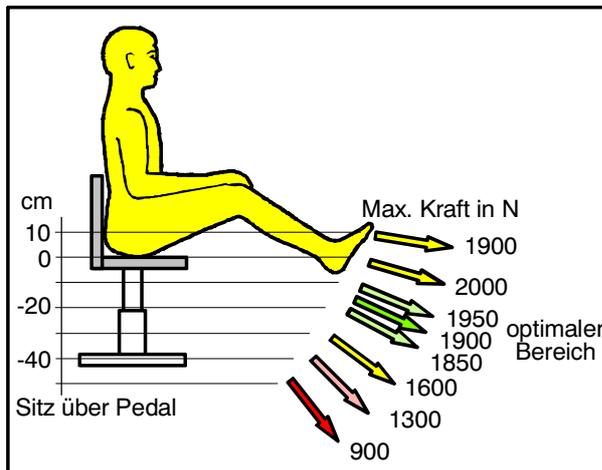
Der größere, einfach schraffierte, und den optimalen Fußwirkraum einschließende Bereich vor der Sitzfläche kann als allgemeiner Fußbetätigungsraum genutzt werden, wenn keine besonderen Anforderungen an häufigen und feinfühligere Einsatz der Füße vorliegen. Müssen große Kräfte entfaltet werden, ist das Arbeitsgebiet für die Füße (bei weitgehend gestreckten Beinen) um die Höhe der Sitzfläche bzw. etwas unterhalb dieser Bezugslinie günstig.

Sämtliche Maßangaben in den Abb. 21 und 23 sind nicht allgemein verbindlich, sondern stellen allenfalls grobe Richtwerte für kleine Männer dar. Für eine Engpaßbetrachtung der tatsächlichen Erreichbarkeit von Stellteilen und Pedalen muß die Benutzung von repräsentativen Schabloneinsatz für Männer und/oder Frauen nahegelegt werden. Ein ausgesprochen klein bemessener Fußwirkraum im Sinne der Orientierung an ausschließlich 5.-Perzentil-Maßen der Frau kann allerdings trotz der gegebenen Erreichbarkeit von Pedalen und Fußschaltern für alle größer gewachsenen Nutzer auch eine gravierende Beeinträchtigung darstellen, weil dadurch evtl. die Ruuehaltung der Beine verhindert und günstige Kraftentfaltungsmöglichkeiten "verbaut" sein können. Deshalb kommt z.B. der ausreichenden horizontalen und vertikalen Verstellbarkeit von Sitzen in Kraftfahrzeugen für die Nutzerfreundlichkeit eine entscheidende Bedeutung zu.

#### 4. Körperkräfte im Bewegungsraum

Die Gestaltung kraftbetonter Arbeiten muß sich an den biomechanischen Eigengesetzlichkeiten der "Arbeitskraft" Mensch orientieren. Die Höhe der unter den jeweiligen Arbeitsumständen ausbringbaren Kräfte oder Momente hängt dabei u.a. von den räumlich-technischen Gegebenheiten, von diversen Gelenkwinkeln, Kraftangriffspunkten und Krafrichtungen ab. Das sei im Folgenden beispielhaft verdeutlicht.

Nach *Abb. 24* variiert die mit einem Bein über ein Pedal ausbringbare maximale Tretkraft u.a. mit der Höhe des Sitzes über dem Kraftangriffspunkt. Gegenüber einer Kraft von nur ca. 900 N bei einer Distanz des Sitzes von ca. 50 cm in der Richtung "schräg nach unten" (etwa 20° abweichend von der Vertikalen), ergibt sich das maximale Kraftpotential von ca. 2000 N in fast horizontaler Richtung dann, wenn Sitzhöhe und Kraftangriffspunkt annähernd auf gleicher Höhe liegen. Dieses theoretische Maximum der Fußtretkraft ist allerdings weniger mit einer langfristig bequemen Sitzhaltung vereinbar, zumal ohne die an der Sitzfläche aufliegenden Oberschenkel eine hohe punktuelle Druckbelastung für das Gesäß resultiert. Unter Berücksichtigung einer günstigeren Gewichtsverteilung des Oberkörpers auf die gesamte Sitzfläche wird deshalb ein etwas tiefer gelegener Kraftangriffspunkt mit einem nur geringfügig niedrigeren Kraftpotential das eher arbeitsnahe realistische Optimum darstellen.

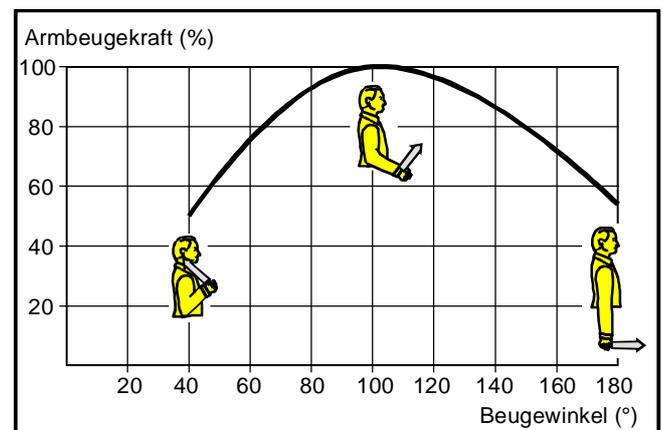


*Abb. 24: Durchschnittliche maximale Tretkraft eines Beines im Sitzen in verschiedene Wirkrichtungen bei unterschiedlichen Distanzen der Sitzebene zur Krafteinleitungsstelle*

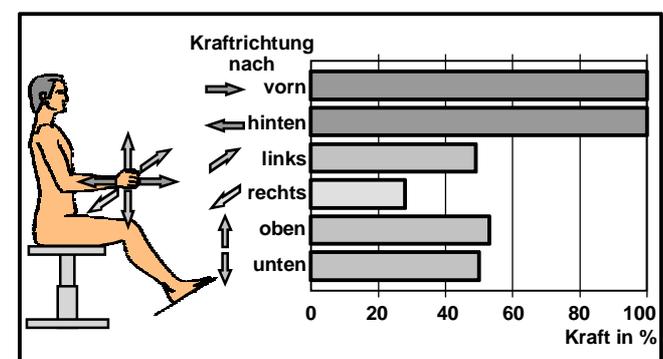
Neben der vertikalen Distanz zwischen Sitzebene und Kraftangriffspunkt sind andere räumlich-technische Gegebenheiten, wie der Abstand zwischen der Rückenlehne bzw. Beckenstütze und der Krafteinleitungsstelle, oder die Winkel zwischen Rumpf und Oberschenkel, zwischen Ober- und Unterschenkel, zwischen Unterschenkel und Fuß als unabhängige Variable mit unterschiedlichem Einfluß auf die resultierende Kraft, als abhängiger Variablen, in einer erwünschten Krafrichtung aufzufassen.

Im Hinblick darauf, daß von einem Muskel unter statischen Einsatzbedingungen nur etwa 15% der Maximalkraft auf Dauer ohne Ermüdung entfaltet werden können, gewinnt die Kenntnis der Kraftpotentiale der Beine in Abhängigkeit von räumlich-technischen Anordnungen, auch z.B. für die möglichst günstige biomechanische Kraftentfaltung bei dynamisch zu betätigenden Pedalen an Bedeutung.

Nach *Abb. 25* nimmt die Armbeugekraft, ausgehend von einem plateauartigen Maximalkraftbereich bei einem Ellenbogenwinkel um 100° sowohl in Richtung "Vergrößerung" als auch "Verkleinerung" desselben deutlich ab. Andererseits sind nach *Abb. 26* die Krafrichtungen "Drücken nach vorn" und "Ziehen nach hinten" bei konstantem Ellenbogenwinkel (von ca. 120°) und waagrecht ausgerichtetem Unterarm im Sitzen optimal. Von diesem maximalen Kraftpotential in sagittaler Richtung (100%) stehen für die Vertikale ("nach oben" und "nach unten") lediglich jeweils ca. 50% zur Verfügung. Die Betätigung schwergängiger Handräder, wie z.B. von Lenkrädern in Lastkraftwagen oder Omnibussen hat demnach eher in einer horizontalen anstatt in einer vertikalen Einbauweise (wie bei sportlichen Fahrzeugen) zu erfolgen. Mit dem rechten Arm in Richtung "nach links", d.h. auf den Körper zu, sind ebenfalls annähernd 50% des optimalen Kraftpotentials vorhanden, wogegen mit dem rechten Arm "nach rechts" bzw. mit dem linken Arm "nach links", d.h. allgemein in der Horizontalebene "nach außen" mit nur ca. 25% das absolute Kraftminimum vorliegt. Für die im dreidimensionalen Raum zu entfaltenden Körperkräfte ist zumindest die Kenntnis der hier beschriebenen Kraftverhältnisse unabdingbar.

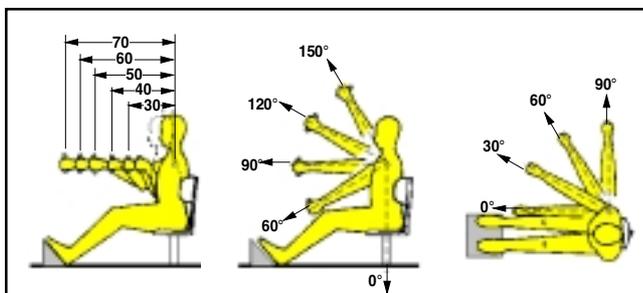


*Abb. 25: Armbeugekraft (relativ) in Abhängigkeit vom Ellenbogenwinkel*



*Abb. 26: Relative Kraftpotentiale (bezogen auf die absolute Maximalkraft) in verschiedenen Krafrichtungen (nach Hunsicker)*

Zur exakten Gestaltung oder Beurteilung von mit den Armen zu verrichtenden kraftbetonten Arbeiten muß allerdings in jeder der 6 Kraftrichtungen auch der Einfluß des Ellenbogenwinkels als weitere maßgebliche Variable berücksichtigt werden. Die Kraftrichtungen "nach vorn" und "nach hinten" weisen, ausgehend von einem globalen Maximum bei ca. 180° Ellenbogenwinkel bzw. bei "versteiftem" Hand-Arm-System eine starke, fast lineare Winkelabhängigkeit auf. Die in Frontalrichtung mit den Armen nach rechts bzw. nach links entfaltbaren Körperkräfte sind nur geringfügig vom Ellenbogenwinkel, und damit von der Arbeitshöhe abhängig. Für Kräfte in Richtung der Körperhauptachse "nach oben" und "nach unten" ist bei gestrecktem Arm (bei 180° Ellenbogenwinkel) von eher pessimalen Bedingungen auszugehen. Das Optimum kann bei ca. 120 bis 150° Armbeugewinkel erwartet werden.



Handgriffentfernung cm	Kräfte in N für vertikale Armstellungen				Kräfte in N für seitliche Armstellungen			
	60°	90°	120°	150°	0°	30°	60°	90°
	Zug				Zug			
30	300	300	310	345	313	322	327	303
50	423	353	351	370	366	383	378	370
70	476	374	380	411	430	409	398	406
	Druck				Druck			
30	314	308	278	229	285	297	275	275
50	545	580	622	438	527	635	554	468
70	484	466	602	539	614	556	499	421
	nach innen				nach innen			
30	195	179	163	162	180	180	165	171
50	179	147	131	129	154	147	152	134
70	129	114	106	92	114	112	110	106
	nach außen				nach außen			
30	107	112	109	114	126	111	106	98
50	97	91	89	87	106	93	84	80
70	83	78	80	73	84	80	76	75
	nach oben				nach oben			
30	156	159	155	148	161	157	152	147
50	124	121	120	116	116	125	126	112
70	105	107	108	112	122	108	110	92
	nach unten				nach unten			
30	274	360	363	353	343	384	346	275
50	263	282	252	221	248	273	260	237
70	196	182	190	148	181	195	180	161

Abb. 27: Durchschnittliche Maximalkräfte von Männern im Sitzen. Die Tabelle enthält 50.-Perzentilwerte der Maximalkräfte, die in Abhängigkeit von der Handgriffentfernung sowie von je 4 vertikalen und seitlichen Armstellungen in verschiedene Richtungen (vgl. Abb. 26) aufgebracht werden können (nach Rohmert, 1977)

Die oben beschriebenen Kraftverhältnisse gelten für die Ausrichtung des Armes in einer zur Medianebene parallelen vertikalen Fläche. Jedoch auch die seitliche oder vertikale Armhaltung (zwischen 0° und 90° bzw. 60° und 150°) bei zudem unterschiedlicher Handgriffentfernung von der Körperhauptachse hat nach Abb. 27 entscheidenden Einfluß auf die entfaltbaren Körperkräfte (in Richtung "nach oben/nach unten", "nach innen/nach außen" oder im Hinblick auf "Druck" und "Zug"). Die Zahlenwerte in Newton repräsentieren durchschnittliche Maximalkräfte von Männern in sitzender Position, sind also allenfalls als 50.-Perzentilwerte der Maximalkräfte zu interpretieren, wobei zudem die praktische Bedeutung wie in fast allen bisherigen "Kräfte-Atlanten" (vgl. Rohmert, 1966; Rohmert und Jenik) in Anbetracht der oftmals relativ kleinen Versuchspersonenkollektive (die nicht selten aus Studenten rekrutiert wurden) beschränkt sein muß. Daß der Aufwand für wissenschaftlich abgesichertes Datenmaterial mit praxisbezogener Relevanz auf dem Gebiet der Körperkräfte mitunter immens wird, sei dadurch angedeutet, daß selbst bei einem Kollektiv von ca. 100 Probanden (einer Altersklasse) ein 5.-Perzentilwert kaum statistisch absicherbar wäre. Eine Menge von nur n = 5 Werten, die (Normalverteilung vorausgesetzt) unter dem Bereich  $\bar{X} - 1.65 \times S$  liegen, wäre kaum repräsentativ bzw. immer noch stark zufallsbehaftet.

Wenn also – abgesehen von Spezialanwendungen – bislang allgemein verlässliches Zahlenmaterial über absolute Werte von Körperkräften verschiedenster Perzentilklassen in der Ergonomie noch Mangelware darstellt, so ist aber doch zumindest die Kenntnis der relativen Verhältnisse und systematischen Abhängigkeiten aktivierbarer Körperkräfte praktisch umsetzbar. In diesem Sinne kann mitunter auch nützlich sein, was aus Abb. 28 hervorgeht.

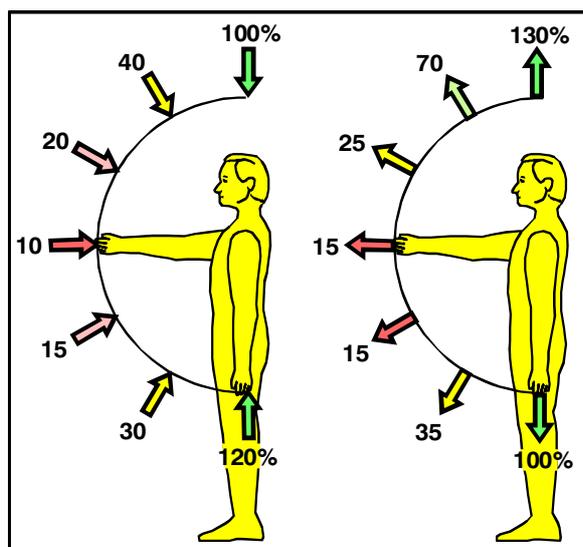


Abb. 28: Richtwerte maximal möglicher Zugkräfte und Druckkräfte von Männern im Stehen (in Prozent des Körpergewichtes, aus Grandjean, 1980)

Demnach sind die Zug- und Druckkräfte in der Körperstellung Stehen (ohne Abstützung des Rückens) in stark vereinfachter Darstellung nach Rohmert (1966) in der Körperlängsachse maximal und können um bis zu ca. 20% bzw. 30% über dem jeweiligen individuellen Körpergewicht liegen. In der Horizontalen ist in Schulterhöhe mit Zug- und Druckkräften von lediglich etwa 10% bzw. 15% von den ungünstigsten Kraftverhältnissen auszugehen. Abgesehen von den Fällen, bei denen es zu einem Abheben des Körpers vom Boden kommt, sind die Angaben in Prozent des Körpergewichtes nur als grobe Richtwerte aufzufassen, zumal außer dem Körpergewicht die individuelle Konstitution und Trainiertheit mit der jeweiligen Querschnittsfläche eines Muskels, sowie das Lebensalter und Geschlecht als maßgebliche, die Körperkraft modulierende Einflußgrößen entscheidend sind.

In der betrieblichen Praxis bewährte Gestaltungshilfen für die Ermittlung zulässiger Grenzwerte für Kräfte und Momente z.B. beim Lastenheben unter Berücksichtigung tätigkeitsorientierter Gegebenheiten und personenbedingter Einflußgrößen wie Alter, Geschlecht, Eignung und Trainiertheit finden sich u.a. in N.N. (1980). Eine Übersicht über die brauchbare Umsetzung von bisherigen Forschungsergebnissen und über Konsequenzen für die Arbeitsgestaltung vermittelt Hettinger (1991).

Als Ergebnis eines größeren Verbund-Projektes (siehe u.a. Rühmann und Schmidtke, 1989) sind in absehbarer Zeit repräsentative perzentilierte Körperkräfte von Männern und Frauen für zumindest einige Altersstufen zu erwarten. Die seit 1982 bestehende DIN 33 411 enthält – abgesehen für einen Spezialfall in Teil 3 – zwar wertvolle allgemeine Hinweise und eine hilfreiche Systematik über die Körperkräfte des Menschen, leider aber bislang nur wenig konkrete Sollvorgaben im Hinblick auf perzentilierte Körperkräfte.

Entsprechende 5.-Perzentilwerte der Körperkräfte aus größeren Reihenuntersuchungen sollen u.a. die Möglichkeit eröffnen – ähnlich wie bei der Einhaltung der Erreichbarkeit von Arbeitsmitteln für relativ kleine Nutzergruppen durch die Orientierung an 5.-Perzentil-Körperabmessungen – Ausführbarkeit und Erträglichkeit von kraftbetonten Arbeiten auch für körperlich schwächere Personen sicherzustellen.

Die ergonomische Beurteilung kraftbetonten Arbeitens darf sich allerdings nicht allein auf die daraus resultierende globale physische Beanspruchung unter obigen Gesichtspunkten beschränken, sondern muß auch die Abschätzung selektiver Effekte einschließen, wie die durch Aktionskräfte ausgelösten ungünstigen Drehmomente auf die Körperhauptachse oder Akut- und Langzeitwirkungen auf Schwachstellen im Stützapparat.

Abb. 29 rechts verdeutlicht, daß der aus Symmetriegründen oftmals gewählte achsparallele Aufbau von Bedienungseinrichtungen an Maschinen und Vorrichtungen

ungünstig ist, weil geforderte Kräfte nicht mit der geringsten Anstrengung aufgebracht werden können, und weil sie zudem ein, die Körperstellung destabilisierendes Drehmoment um die Körperlängsachse bewirken. Ideal ist dagegen eine Anordnung von Stellteilen und Hebeln, bei deren kraftbetonter Betätigung sich die Kraftlinien, herrührend aus dem Einsatz von Beugemuskelgruppen in der Körperhauptachse schneiden (Abb. 29 links). Aus entwicklungsphysiologischen (ontogenetischen) Gründen sind ferner bei dem, der Gravitationskraft ausgesetzten Menschen sämtliche Beugemuskelgruppen der Streckmuskulatur hinsichtlich der Kraftentfaltung überlegen, so daß die Richtungen "auf den Körper zu" stets günstiger sind.

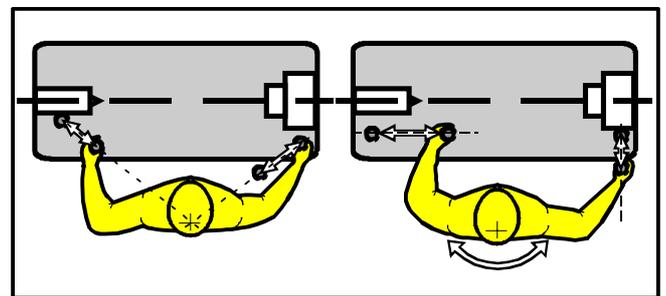


Abb. 29: Günstige Krafrichtungen beim Bedienen von Hebeln mit einem Schnittpunkt in der Körpermitte (links) und achsparallele Krafrichtungen mit Hebelwirkung und eventueller Destabilisierung der Körperposition (rechts)

Abb. 30 links veranschaulicht, daß ein körpernahe gehaltenes Gewicht von 10 kg entsprechend den Hebelgesetzen der Mechanik eine mehr als 10 mal so hohe Last bewirkt, die bei aufrechter Körperhaltung an den Bandscheiben im Lendenwirbelbereich ansetzt. Selbst eine etwa 6-7 mal so schwere äußere, auf dem Kopf getragene Last hätte keine höhere interne Bandscheibenbelastung zur Folge. Eine nach Abb. 30 rechts, am ausgestreckten Arm gehaltene Last von nur 10 kg muß aber bereits zu

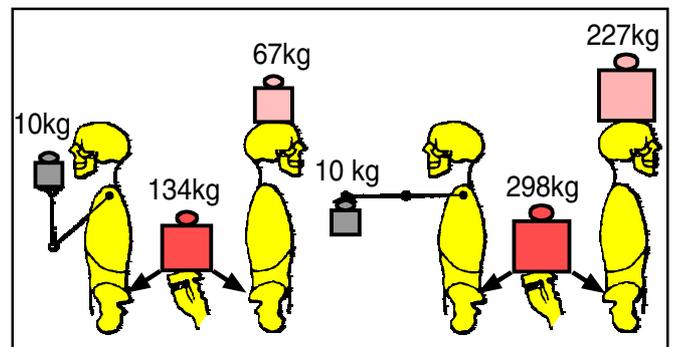
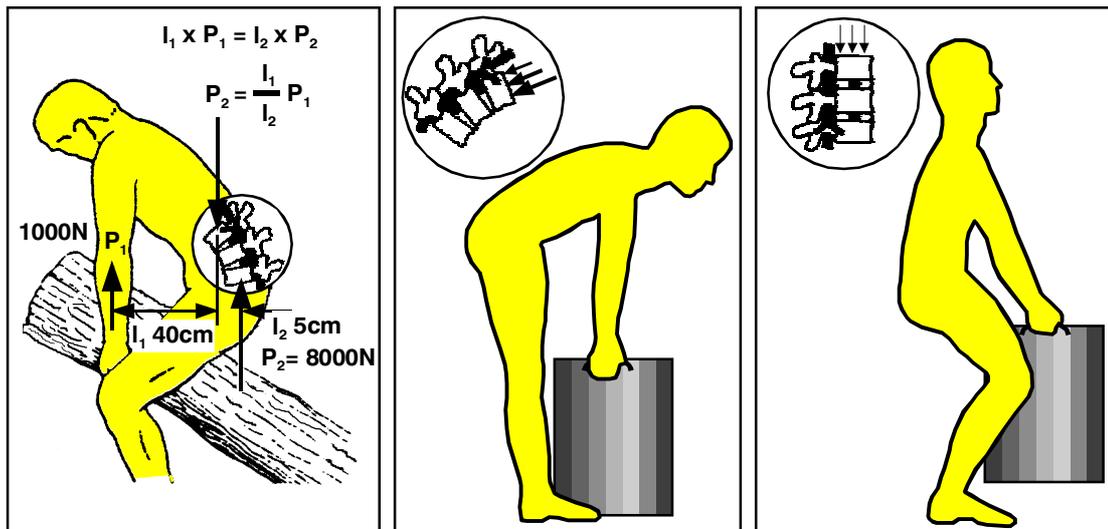


Abb. 30: Belastung der präsakralen Bandscheibe beim körpernahen Halten eines Gewichtes von 10 kg mit beiden Armen (links) und bei waagrecht ausgestreckten Armen (rechts) mit entsprechenden, auf dem Kopf tragbaren Äquivalenzlasten (jeweils rechts) (aus Junghanns)

einer annähernd 6 Zentner schweren Bandscheibenbelastung führen. Eine derartige Überlastung würde schließlich nur bei einer auf den Kopf einwirkenden ebenfalls zentnerschweren Bürde entstehen. Nach *Abb. 31* kommt es im Zuge des Anhebens einer nahezu 2 Zentner schweren Last mit den Händen entsprechend der dabei vorliegenden Hebelverhältnisse von 40 cm/5 cm zu einer 8-fachen Verstärkung und entsprechend hohen ungleichmäßigen Bandscheibenbelastung. Bei derartigen Gegebenheiten

rückt die Wahrscheinlichkeit eines akuten Bandscheiben-schadens (vor allem bei langfristig Vorgeschiedigten) bereits in den Bereich des Möglichen. Auf derartige Risiken und weitere Sonderprobleme, vor allem bei schwangeren Frauen im Zusammenhang mit, durch Kraftanstrengungen ausgelöstem erhöhten intra-abdominalen Druck und auf Gefahren des "Sich-einen-Bruch-Hebens" sei hier nicht näher eingegangen. Vielmehr sei auf das einschlägige Schrifttum (u.a. Hollmann und Hettinger; Junghanns) verwiesen.



*Abb. 31: Beispiel für eine nach den Hebelgesetzen an den Bandscheiben im Lendenwirbelbereich ansetzende Kraft  $P_2$ , herrührend von einer Last  $P_1$  mit dem Lastarm  $l_1$  (aus Hollmann und Hettinger) und schematische Darstellung der im Sinne einer gleichmäßig verteilten Flächenpressung der Bandscheiben stets gebotenen Aufnahme von Lasten mit möglichst geradem Rücken aus der Hocke heraus (rechts)*

### 5. Entspannte Sehachse, Blickfeld und Gesichtsfeld als anatomisch-optische Randbedingungen für die räumliche Gestaltung der Sichtverhältnisse

Zum Zwecke des Fixierens, d.h. des "Ins-Auge-Fassens" von visuell zu kontrollierenden Details muß die Stellung der Augen jeweils so ausgerichtet sein, daß das optisch zu erfassende Objekt mittels des brechenden Apparates (u.a. der Linse als Objektiv) auf die Netzhautgrube als dem Bereich mit dem höchsten räumlichen Auflösungsvermögen abgebildet wird (vgl. auch Kap. 2.5.3.). Das geschieht mit Hilfe von je 2 zügelartig am Augapfel ansetzenden, und diesen in der Horizontal- und Vertikal-Ebene auslenkende Muskeln. Mit zwei weiteren Muskelgruppen können auch rotatorische Bewegungen des Augapfels ausgelöst werden. Diese 6 agonistisch-antagonistisch miteinander "verschalteten" Augenmuskeln, mit denen die jeweilige Blicklinie bestimmt wird, sind nicht beim Blick "horizontal geradeaus" in einer relativen Ruhestellung, sondern dann, wenn der Blick bei aufrechtem Kopf bereits um einen Winkel von etwa 15° nach unten gesenkt ist.

In der Körperstellung aufrechtes "Stramm-Stehen" mit einer in der Vertikalen liegenden Kopfhaltung ist also nach *Abb. 32* links die entspannte Sehachse bei "Voreinstellung" der Blicklinie nach unten um einen Winkel  $\beta_0$  von 15° (gemessen von der Horizontalen) gegeben. Arbeit im Stehen erfolgt bei einigermaßen bequemer Körperhaltung mit in der Regel etwas nach vorne geneigtem Kopf. Setzt man hierfür erfahrungsgemäß einen Winkel  $\alpha$  von ca. 15° an, dann resultiert für die entspannte Sehachse ein Winkel  $\beta = \beta_0 + \alpha = 15^\circ + 15^\circ = 30^\circ$ .

In der mittleren (weitgehend aufrechten) Sitzhaltung (mit einem Leistenbeugewinkel von annähernd 90° zwischen Oberschenkel und Rumpf) wird generell eine durchschnittliche Neigung des Kopfes um etwa 25° nach vorn als angenehm empfunden. Damit ergibt sich ein Winkel  $\beta = \beta_0 + 25^\circ = 40^\circ$ , der für viele Tätigkeiten im Sitzen als entspannte Sehachse gelten kann. In einer überwiegend hinteren Sitzhaltung, wie z.B. bei Kontroll- und Überwachungstätigkeiten muß die Blicklinie für die entspannte Sehachse entsprechend der Vergrößerung des Leistenbeugewinkels angehoben, in der vorderen Sitzhaltung abgesenkt werden.

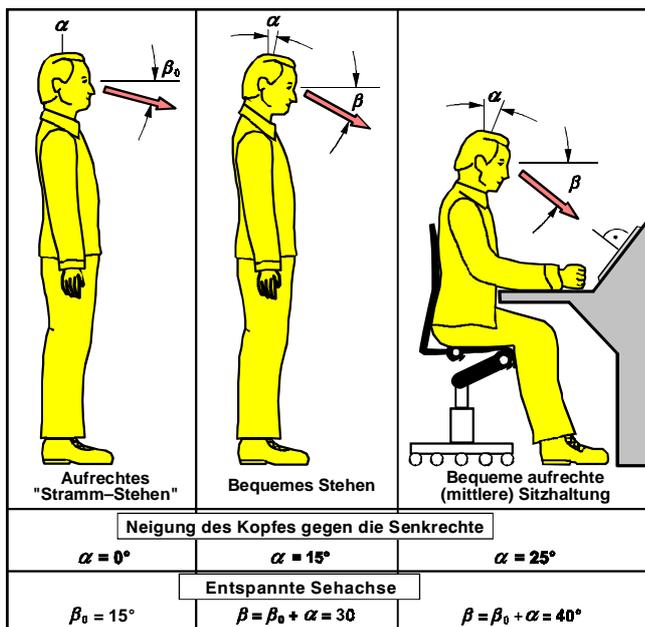


Abb. 32: Bequeme Blicklinien (entspannte Sehachse) bei verschiedenen Körperstellungen (Stehen und Sitzen) bzw. Körperhaltungen

Die Augenhöhe im Sitzen oder im Stehen und die entspannte Sehachse unter Berücksichtigung verschiedener Körperstellungen und Körperhaltungen in der Arbeit müssen richtungsweisend sein für die Anordnung von Instrumenten, Displays, Anzeigen und Monitoren im Raum, wenn Zwangshaltungen mit Muskelverspannungen im Nacken oder sonstigen, der Arbeit abträgliche negative Folgen minimiert werden sollen.

Ohne Kopfdrehungen sind die Augen nach Abb. 33 rechts aus der Mittenposition heraus je etwa  $35^\circ$  nach links und rechts in der Horizontalebene auslenkbar, d.h. innerhalb eines Blickfeldes von ca.  $70^\circ$  können visuell zu erfassende Objekte fixiert, bzw. ins Auge gefaßt werden. Dieser mit B gekennzeichnete Bereich des maximalen horizontalen Blickfeldes ist nach Abb. 33 links in der Vertikalen (mit  $40^\circ + 20^\circ$ ) infolge gewisser Einschränkungen nach unten (unter anderem resultierend aus Sichtbehinderungen durch die etwas "vorspringenden" Backenknochen) nicht ganz symmetrisch um die entspannte Sehachse gruppiert.

Analog zum anatomisch maximalen Greifraum kann das prinzipiell vorhandene maximale Blickfeld nicht unter allen Umständen genutzt werden. Vielmehr sind häufige und schnelle Augenfolgebewegungen mit bequem realisierbaren Fixationen nur in einem Bereich bis zu je  $15^\circ$  in alle Richtungen um die entspannte Sehachse möglich (vgl. Bereich A in Abb. 33). Dieses generell als optimal bezeichnete Blickfeld umfaßt demnach einen Raumwinkel von ca.  $30^\circ$ .

Außer Gründen der Bequemlichkeit lassen es auch arbeitstechnische Gesichtspunkte geboten erscheinen, Instrumente und Anzeigen je nach Wichtigkeit und Häufigkeit des Ablesens mehr oder weniger nahe um die entspannte Sehachse im optimalen oder maximalen Blickfeld anzuordnen. Das Blickfeld kann zwar durch Kopfbewegungen in allen 4 Richtungen erweitert werden (vgl. D in Abb. 33 oben und unten). Das Beschleunigen und Abbremsen der um ein Vielfaches größeren Masse des Kopfes gegenüber dem Augapfel ist aber mit einem Mehr an Zeitaufwand verbunden, was in zeitkritischen Situationen entscheidend sein kann.

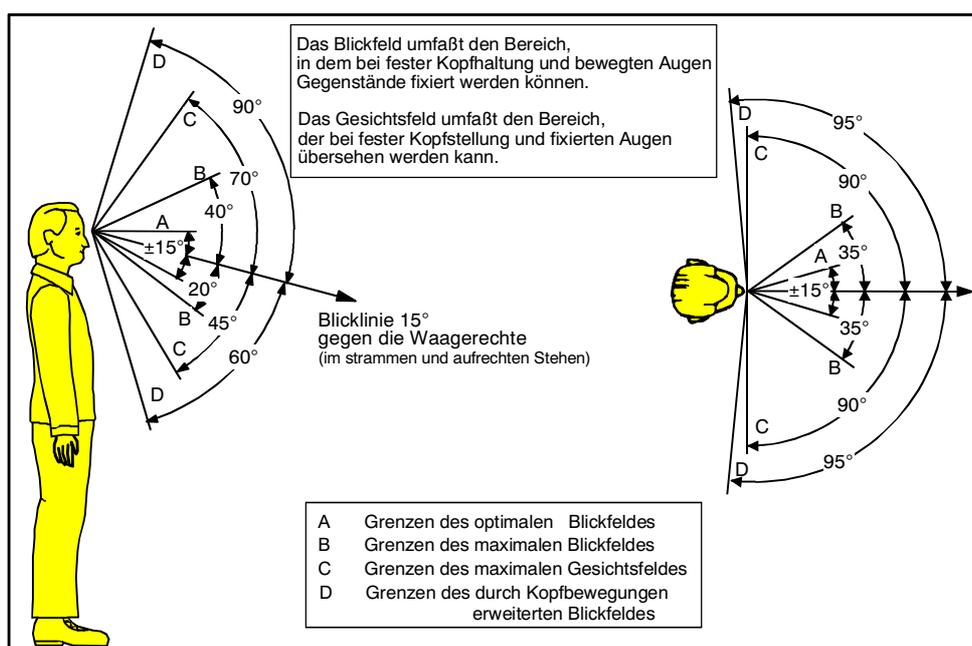


Abb. 33: Bereiche von horizontalen und vertikalen Blickfeldern bzw. des Gesichtsfeldes

Blicksprünge ohne Positionsänderungen des Kopfes allein über die Augenmuskeln sind auch erheblich exakter und besser abstufbar als motorische Einstellbewegungen, die über weniger feingliedrige Muskelgruppen zu einer veränderten Kopfposition führen. In diesem Zusammenhang sei anknüpfend an die Ausführungen im Abschnitt "Greifräume" und "Fußwirkraum" erwähnt, daß die Muskelgruppen für die Augeneinstellbewegungen bei einer "integralen Ankopplung" von größenordnungsmäßig nicht mehr als je 10-20 Muskelfasern an eine Nervenbahn die höchste räumliche "Innervierungsdichte" aufweisen.

Der menschliche Sehapparat vermittelt bei fixiertem Kopf und Ausrichtung der Blicklinie in der entspannten Sehachse optische Sinneseindrücke aus einem Bereich bis zu je 90° nach links und rechts sowie etwa 70° nach oben und 45° nach unten. In diesem Gesichtsfeld (Bereich C in Abb. 33 oben und unten) ist allerdings ohne "Nachregeln" der Kopf- und/oder der Augapfelposition bzw. ohne Fixieren kein "Scharf-Sehen" möglich. Das Gesichtsfeld kann also keine präzisen optischen Sinneseindrücke mit entsprechender Wahrnehmungs- oder sogar Schärfentiefe (vgl. Kap. 2.5.3.) liefern. Sehr wohl führen aber Auffälligkeiten, insbesondere bewegte Objekte in der Peripherie zu unwillkürlichen, meist ruckartigen Spähbewegungen und Kopfpositionsänderungen.

In gleicher Weise, wie in vertikaler Hinsicht orthogonale Draufsicht anzustreben ist – nicht zuletzt auch um Fehlablesungen, wie sie nach Abb. 34 quantifiziert wurden, zu vermeiden –, gilt es auch, an Leitwarten und Konsolen mit einer Vielzahl von Instrumenten und Anzeigen für orthogonale Draufsicht in der Vertikalen und Horizontalen zu sorgen. Auch wenn nicht mehr alle Sichtgeräte in das maximale oder sogar optimale Blickfeld zu bringen sind, sollten sie nach Abb. 35 möglichst in einer um den Operator herumgeführten gewinkelten Pultform angeordnet werden.

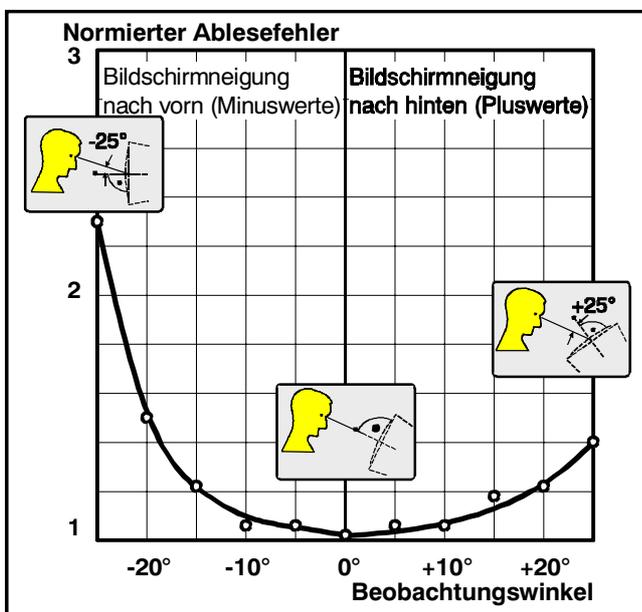


Abb. 34: Ablesefehler (normiert) auf Datensichtgeräten bei Abweichungen von der orthogonalen Draufsicht (aus Schmidtke und Rühmann)

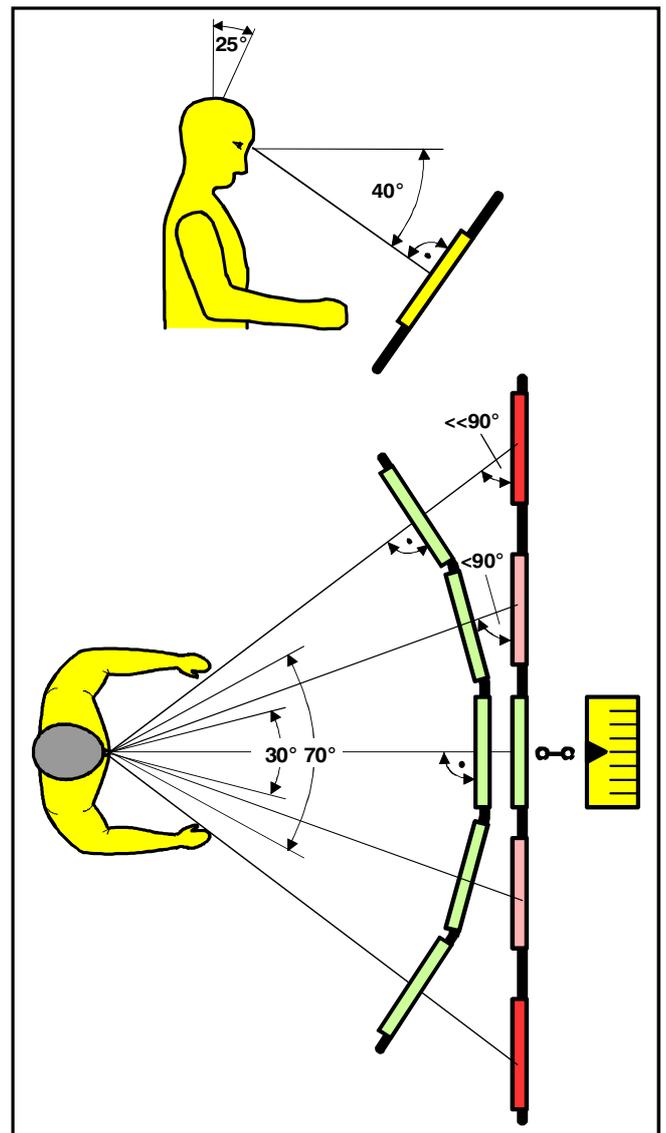
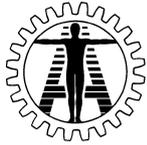
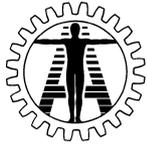


Abb. 35: Anzustrebende orthogonale Draufsicht auf Instrumente und Monitore in vertikaler und horizontaler Richtung mit möglichst gewinkelten anstatt geraden Konsolenflächen (unten)

**Literaturhinweise**

- 1) BOUISSET, S. et H. MONOD: Étude d'un travail musculaire léger. I. Zone de moindre dépense énergétique (Activité monomanuelle). Arch. Int. de Physiologie et de Biochimie 70 (2) 259-272 (1962)
- 2) BULLINGER, H.-J. und J. J. SOLF: Ergonomische Arbeitsmittelgestaltung I – Systematik. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1979
- 3) BULLINGER, H.-J. and D. LORENZ: CAD-Video-Somatographie: A Method for the Anthropometric Design of Workplaces. In: KARWOWSKI, W.; GENAIDY, A.M. and S.S. ASFOUR (Eds.): Computer Aided Ergonomics. 128-137, Taylor & Francis, London/New York/Philadelphia, 1990
- 4) DIN 33 402, Teil 1: Körpermaße des Menschen: Begriffe, Meßverfahren. 1978
- 5) DIN 33 402, Teil 2: Körpermaße des Menschen: Werte. 1981
- 6) DIN 33 402, Teil 2: Körpermaße des Menschen: Werte. Oktober 1986
- 7) DIN 33 408, Teil 1: Körperumrißschablonen, Seitenansicht für Sitzplätze. 1981
- 8) DIN 33 408, Teil 1 A1: Körperumrißschablonen, Seitenansicht für Sitzplätze, Änderung 1, 1985
- 9) DIN 33 408, Teil 1: Körperumrißschablonen für Sitzplätze, Januar 1987
- 10) DIN 33 411, Teil 1: Körperkräfte des Menschen. Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen, September 1982
- 11) DIN 33 411, Teil 2: Körperkräfte des Menschen. Zulässige Grenzwerte von Aktionskräften der Arme, Entwurf, Juni 1984
- 12) DIN 33 411, Teil 3: Körperkräfte des Menschen. Maximal erreichbare statische Aktionsmomente männlicher Arbeitspersonen an Handrädern, Dezember 1986
- 13) DIN 33 411, Teil 4: Körperkräfte des Menschen. Maximale statische Aktionskräfte (Isodynien), Mai 1987
- 14) DIN 33 416: Zeichnerische Darstellung der menschlichen Gestalt in typischen Arbeitshaltungen. 1985
- 15) GRANDJEAN, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung - Leitfaden der Ergonomie. Ott-Verlag, Thun, 1980
- 16) GRANDJEAN, E. und W. HÜNTING: Sitzen Sie richtig? Sitzhaltung und Sitzgestaltung am Arbeitsplatz. Arbeitswissenschaftliche Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Arbeit und Sozialordnung. 8. Auflage, München, 1987
- 17) HETTINGER, Th.: Angewandte Ergonomie. Bartmann-Verlag, Frechen, 1970
- 18) HETTINGER, Th.: Heben, Tragen und Umsetzen von Lasten. Arbeitswissenschaftliche Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Arbeit und Sozialordnung, München, 1991
- 19) HOLLMANN, W. und Th. HETTINGER: Sportmedizin – Arbeits- und Trainingsgrundlagen. F. K. Schattauer Verlag, Stuttgart/New York, 1976
- 20) JUNGHANN, H.: Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin. Teil I: Biomechanische und biochemische Probleme der Wirbelsäulenbelastung. Teil II: Einflüsse der Berufsarbeit auf die Wirbelsäule. Band 78 und 79, Hippokrates Verlag, Stuttgart, 1979
- 21) JÜRGENS, H. W.; AUNE, I. A. und U. PIEPER: Internationaler anthropometrischer Datenatlas. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Bd. 587, Dortmund, 1989
- 22) KARWOWSKI, W.; GENAIDY, A. M. and S. S. ASFOUR (Eds.): Computer Aided Ergonomics – Taylor & Francis, London/New York/Philadelphia, 1990
- 23) KROEMER, K. H. E.: Was man von Schaltern, Kurbeln und Pedalen wissen muß – Auswahl, Anordnung und Gebrauch von Betätigungsteilen. Sonderheft der REFA-Nachrichten, Beuth-Vertrieb GmbH Berlin/Köln/Frankfurt a.M., 1967
- 24) KROEMER, K. H. E.; KROEMER, H. J. and K. E. KROEMER-ELBERT: Engineering Physiology-Physiological Bases of Human Factors/Ergonomics. Advances in Human Factors/Ergonomics, 4. Elsevier, Amsterdam/Oxford/New York/Tokyo, 1986
- 25) LEHMANN, G.: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin. I. Band: Arbeitsphysiologie. Urban & Schwarzenberg Verlag, Berlin/München/Wien, 1961
- 26) MÜLLER, K.-W.; ERNST, J. und H. STRASSER: Eine Methode zur Fraktionierung der elektromyographischen Aktivität bei Beanspruchungsanalysen von repetitiven Tätigkeiten. Z.Arb.wiss. 42 (14NF) 3, 147-153 (1988)
- 27) N.N.: Handbuch der Arbeitsgestaltung und Arbeitsorganisation. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1980
- 28) N.N.: Körpermaße der Weltbevölkerung unter die Lupe genommen. Amtliche Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Nr. 1, 8-9 (1990)
- 29) PHEASANT, St.: Bodyspace – Anthropometry, Ergonomics and Design. Taylor & Francis, London/Philadelphia, 1986
- 30) ROHMERT, W.: Maximalkräfte von Männern im Bewegungsraum der Arme und Beine. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1616, Westdeutscher Verlag, Köln, 1966
- 31) ROHMERT, W.: Körperkräfte. In: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Taschenbuch der Arbeitsgestaltung, Kap. 3.3, 51-59, Verlag Bachem, Köln, 1977
- 32) ROHMERT, W. und P. JENIK: Maximalkräfte von Frauen im Bewegungsraum der Arme und Beine. Schriftenreihe "Arbeitswissenschaft und Praxis", Beuth-Verlag, Berlin, 1972
- 33) RÜHMANN, H.-P. and H. SCHMIDTKE: Human Strength: Measurements of Maximum Isometric Forces in Industry. Ergonomics 32(7) 865-879 (1989)
- 34) SALVENDY, G. (Ed.): Handbook of Human Factors. John Wiley & Sons, New York, Chichester/Brisbane/Toronto/Singapore, 1987
- 35) SCHMIDTKE, H.: Arbeitsplatzgestaltung. In: SCHMIDTKE, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie, Kap. 6.4, 405-422. C. Hanser Verlag, München/Wien, 1981
- 36) SCHMIDTKE, H. und H.-P. RÜHMANN: Betriebsmittelgestaltung. In: SCHMIDTKE, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie, Kap. 6.5, 422-460. C. Hanser Verlag, München/Wien, 1981
- 37) SCHULTETUS, W.: Ergonomie-Normung ist international. Angewandte Arbeitswiss. 125, 67-83 (1990)
- 38) STIER, F. und H. O. MEYER: Physiologische Grundlagen der Arbeitsgestaltung. REFA-Verband für Arbeitsstudien, Darmstadt, o.J.



- 39) STRASSER, H. und W. MÜLLER-LIMMROTH: Ergonomie an der Kasse – aber wie? Menschengerechte Gestaltung von Kassensarbeitsplätzen. Arbeitswissenschaftliche Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Arbeit und Sozialordnung. 2. Auflage, München, 1983
- 40) STRASSER, H.; MÜLLER, K.-W.; ERNST, J. and E. KELLER: Local Muscular Strain Dependent on the Direction of Horizontal Arm Movements. Ergonomics 32 (7) 899-910 (1989)
- 41) STRASSER, H.: Evaluation of a Supermarket Twin-Checkout Involving Forward and Backward Operation. Applied Ergonomics 21 (7) 7-14 (1990)
- 42) TICHAUER, E. R.: The Biomechanical Basis of Ergonomics – Anatomy Applied to the Design of Work Situations. John Wiley & Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978
- 43) WALLER, H. und S. REIFF: Videosomatographie – ein Hilfsmittel zur rationellen Gestaltung von Arbeitsplätzen. Z.Arb.wiss. 44 (16 NF) 3, 179-183 (1990)

Aus STRASSER, H.: Anthropometrische und biomechanische Grundlagen. Kap. 2.4.1. in HETTINGER, Th. und G. WOBBE (Hrsg.): Kompendium der Arbeitswissenschaft. Kiel Verlag, Ludwigshafen, 1993