

B V-9 Handgeführte Werkzeuge und handbetätigte Stellteile

H. STRASSER und H.-J. BULLINGER

Zusammenfassung

Nach wie vor werden heutzutage von Handwerkern und Arbeitnehmern Werkzeuge und Stellteile, d.h. frei im Raum führbare und ortsfest angebrachte, handbetätigte Arbeitsmittel benutzt. Damit vor allem bei ihrem repetitiven Einsatz Cumulative Trauma Disorders, arbeitsbedingte Erkrankungen oder sogar Berufskrankheiten vermieden werden, muss für die Arbeitsmittel die Gleichung „menschengerecht = handgerecht“ erfüllt sein. Das heißt, bei der ergonomischen Gestaltung unter dem Aspekt der Kompatibilität müssen die Eigengesetzlichkeiten des menschlichen Hand-Arm-Systems, z.B. die Bewegungsmöglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Gelenke berücksichtigt werden. Demnach erfordert eine systematische ergonomische Auslegung der Handseite von Arbeitsmitteln hinsichtlich Form, Abmessungen, Material und Oberfläche eine vorausgehende gründliche Analyse,

z.B. was, wie und wo, unter welchen Randbedingungen mit dem Arbeitsmittel, in welcher Greif- und Kopplungsart verrichtet werden muss. Sowohl bei der Analyse als auch bei der darauf folgenden Gestaltung gilt es stets, in einer systematischen Vorgehensweise möglichst nicht nur sektorale, sondern ganzheitliche Ziele zu verfolgen, und die Interdependenzen zwischen verschiedenen Gestaltungskriterien zu bedenken. Mehrere Praxisbeispiele, zusammen mit Evaluierungsstudien zur Prüfung der ergonomischen Qualität von handgeführten Arbeitsmitteln mit elektromyographischen und subjektiven Verfahren, zeigen die Nützlichkeit der systematischen Vorgehensweise, die auch hilfreich ist für die treffende Auswahl von wirklich ergonomisch gestalteten Handwerkzeugen aus einem vorhandenen Sortiment verschiedener Varianten.

Zur Bedeutung von Handwerkzeugen im Wandel der Zeit

Handwerkzeuge haben eine lange Tradition, begründete doch ihr Einsatz über Jahrhunderte hinweg den „goldenen Boden“ des Handwerkerstands, und damit eines großen Teils der Bevölkerung. In der Blütezeit des Handwerks hatten diese Arbeitsmittel eine erstaunlich hohe Nutzerqualität, zumal damals Werkzeuge tatsächlich nach des Menschen Maß angefertigt wurden. Die Handwerksgesellen nahmen auch die hochwertigen und mitunter liebevoll verzierten, und wie einen Schatz gehüteten Gerätschaften mit „auf die Walz“ zur jeweiligen Arbeitsstelle. Beim Einsatz der Arbeitsmittel war – wie heutzutage im industriellen Bereich Gang und Gebe – eine Mehrfachverwendung überhaupt nicht vorgesehen, und bei den individuellen Gestal-

tungsmaßnahmen dominierten „Volksnormen“ und „Faustregeln“, waren die „Gliedermaße“ im wahrsten Sinne des Wortes maßgebend für die Abmessungen und oft auch für die Form der Handwerkzeuge.

So war z.B. die Stiellänge einer Axt „angemessen“ lang, wenn sie von der Achselhöhle bis zu den Fingerspitzen reichte, wenn sie sechs Hand breit war, wenn sie drei Handspannen oder zwei Fuß des einzelnen Nutzers entsprach. Bedauerlicherweise kann das bei der Massenfertigung von Werkzeugen in der heutigen Zeit kaum Beachtung finden, und in der Regel dominieren in den Regalen der Hobby- und Heimwerkermärkte ebenso wie auch in den

Profimärkten Einheitsgrößen nach dem metrischen System, finden sich Griffe an Gerätschaften, die wegen falscher Formgebung oder individuell nicht passenden Abmessungen zu Verlusten bei der Kraftübertragung, zu unausgewogener Druckverteilung im Handgewölbe und an den Fingern mit Blasenbildung, und damit zu Beeinträchtigungen des Tastsinns führen. Wenn beim Handwerkzeug nicht Maß genommen wird an der Hand und am Hand-Arm-System mit diversen anatomischen und physiologischen Besonderheiten, muss mit erheblichen Beeinträchtigungen der Arbeitseffizienz einerseits und mit Rückwirkungen auf den Menschen andererseits gerechnet werden. Das gilt natürlich besonders für Schneidwerkzeuge mit erhöhter Verletzungsgefahr. Bei repetitivem Einsatz schlecht gestalteter Arbeitsmittel sind sogar arbeitsbedingte Erkrankungen und Berufskrankheiten zu befürchten.

Nicht selten versuchen deshalb Arbeitnehmer heutzutage selbst mit Heftpflastern und nachträglich aufgebrachten Gummihülsen auf Rohren und Rundlingen an Maschinen und Gerätschaften, die den Namen „Griff“ nicht verdienen, deren miserable ergonomische Qualität zu verbessern. Andererseits wird aber auch in der Werbung vorschnell und leichtfertig mit dem Begriff „Ergonomie“ umgegangen, indem einem Produkt dieses Qualitätsmerkmal zugeschrieben wird, auch wenn es einer kritischen Überprüfung nicht Stand zu halten vermag, da nur punktuelle Gestaltungsansätze verwirklicht wurden. Saloppen Werbesprüchen in Form rhetorischer Fragen, wie *„Hält dieses Werkzeug (die Hand) ein Leben lang?“* mit der Überschrift *„Das kommt ganz auf dieses Werkzeug an“* zum Foto eines neu entwickelten Produkts, sollte man skeptisch gegenüberstehen. *„Ergonomisch durchgestaltet“* bedeutet nämlich etwas mehr als nur die neue Form eines von Designern entwickelten Produkts.

Kompatibilität als oberste Leitlinie ergonomischer Arbeitsgestaltung

Arbeitsgestaltung sollte stets ganzheitlich und systematisch erfolgen, indem – wie in *Abbildung 1* oben visualisiert – sämtliche Elemente des Regel-

kreises „Arbeit“ aufeinander abgestimmt werden. Da ist z.B. zur räumlichen Arbeitsplatzgestaltung am Menschen Maß zu nehmen, da müssen arbeitsphysiologisch vertretbare Arbeitsabläufe und ansprechende Arbeitsinhalte als Sollwerte des Regelkreises vorgegeben werden, die nicht einfach technischen Zwängen untergeordnet, vereinfacht und möglicherweise sinnentleert werden dürfen. Da sollte vom Menschen als Regler nicht wie von einem technischen Servoelement „rund um die Uhr“ stets die gleiche Leistung erwartet werden. Und da muss vor allem unter Minimierung negativer Einflüsse aus der physikalischen Arbeitsumgebung für optimale Arbeitsmittelgestaltung in der sensorischen und motorischen Nahtstelle gesorgt werden. Stets sind dabei – bezogen auf den ganzen Regelkreis wie auch seine Elemente – die Gesamtzusammenhänge kritisch zu hinterfragen, müssen auch die Interdependenzen zwischen den verschiedenen Gestaltungszielen bedacht werden, um letzten Endes möglichst ganzheitlichen und nicht nur sektoralen Bemühungen um menschengerechte Arbeitsbedingungen entsprechen zu können. Verbesserungen im Detail wären möglicherweise nicht viel mehr als eine kosmetische Reparatur an einem vom Ansatz her nicht richtig gestalteten Arbeitssystem. Leitlinie für Gestaltungsmaßnahmen muss immer das Prinzip der Kompatibilität sein, wobei sich die technisch gestaltbaren Vorgaben an anatomisch-physiologischen Eigengesetzlichkeiten des Menschen (d.h. den Formen von Gelenken und Auslenkmöglichkeiten der Hand mit ihren Abmessungen) zu orientieren haben. So wie z.B. für informationsgebende Arbeitsmittel, für Displays und Bildschirme in der sensorischen Nahtstelle eines Mensch-Maschine-Systems der Adaptations-, Akkommodations- und Fixationsaufwand der Augen in Grenzen zu halten ist, um durch geeignete Gestaltungsmaßnahmen eine optimale Informationsaufnahme mit dem Ziel der Reiz-Reiz-Kompatibilität sicherzustellen (*Abb. 1 unten*), muss in der motorischen Nahtstelle das Bemühen um Reaktions-Reaktions-Kompatibilität oberstes Gebot sein (Strasser 1993). Das heißt bei der Erfüllung der Gleichung *„Menschengerecht = Handgerecht“* ist darauf zu achten, dass für die Hand (reaktions-reaktions-)kompatible Eingriffsmöglichkeiten geschaffen werden.

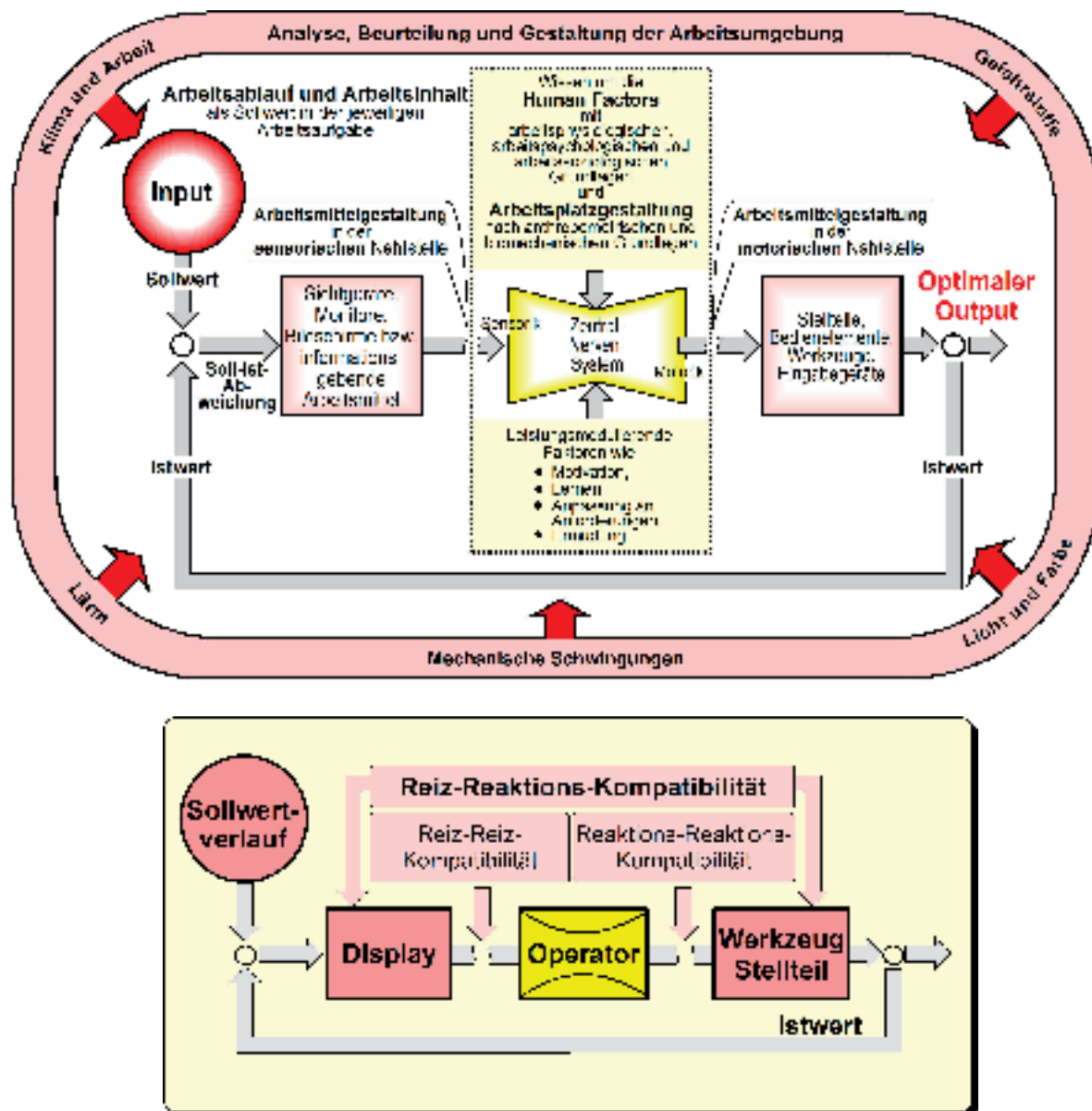


Abb. 1: Visualisierung der Hauptaufgaben der Ergonomie in der Anpassung der technisch gestaltbaren Systemelemente in der Arbeit an die „Human Factors“ des Menschen als Regler in einem Mensch-Maschine-System (oben) und Kompatibilität bei der Anpassung von technischem Gerät an die menschlichen Eigenschaften in der sensorischen und motorischen Nahtstelle sowie sinnvolle Zuordnung von Ursache und Wirkung bzw. Anzeige und Stellteil-Effekt (unten).

Systematik zur Gestaltung der Handseite von Arbeitsmitteln

Handwerkzeuge sind – im Gegensatz zu Stellteilen, die ortsfest als Bedienelemente an Maschinen und Konsolen angebracht sind – frei im Raum fuhbare Arbeitsmittel, an die „Hand anzulegen“ ist. Bei zwei-

schenkligen Ausführungen, wie z.B. Zangen und Scheren wird meist eine fingerdynamische Bewegung erforderlich, deren Umfang – der anatomischen Gegebenheiten der Finger wegen – zwangsläufig stark begrenzt ist. Bei einschenkligen Werkzeugen, wie z.B. Schraubendrehern, Maurerkellen, Feilenheften, Teppich- und Schneidmessern und bei Sägen, Bohrmaschinen oder Presslufthäm-

mern (mit Beidhandbedienung), die in der Regel in einem Umfassungsgriff oder einem Zufassungsgriff gehalten und geführt werden müssen, wird nur gelegentlich (z.B. zum Arretieren oder Schalten) eine Fingerbewegung erforderlich. Andererseits müssen aber mitunter großräumige geradlinige Translationsbewegungen und rotatorische Drehbewegungen von Teilen oder vom ganzen Hand-Arm-Schulter-System bei weniger hoher Genauigkeit, jedoch mit höherem Kraftaufwand ausgeführt werden. Neben verschiedenen, in den folgenden Kapiteln näher angesprochenen Gestaltungskriterien der Handseite werden auch Kriterien der Arbeitsseite, wie z.B. die gewünschte Funktions- und Krafrichtung, zu überwindender Arbeitswiderstand, mögliche Genauigkeit und Schnelligkeit der Arbeitsausführung

mit dem Arbeitsmittel von der Ausgestaltung der Handseite mitbestimmt.

Für die ergonomische Gestaltung von handgeführten Arbeitsmitteln, d.h. für Werkzeuge und Stellteile, hat sich eine von Bullinger und Solf bereits Ende der 70er Jahre des letzten Jahrhunderts entwickelte Systematik bestens bewährt (Bullinger u. Solf 1979a, b, Bullinger 1994). Wie in *Abbildung 2* dargestellt, sollte der eigentlichen Gestaltung der Handseite von Arbeitsmitteln, die sich auf die richtige *Form*, passende *Abmessungen*, *Material* und *Oberfläche* bezieht, stets eine Grob- und Feinanalyse mit diversen Unterpunkten vorausgehen, in der alle Randbedingungen zu hinterfragen sind, die letztlich Einfluss auf die Gestaltung haben können.

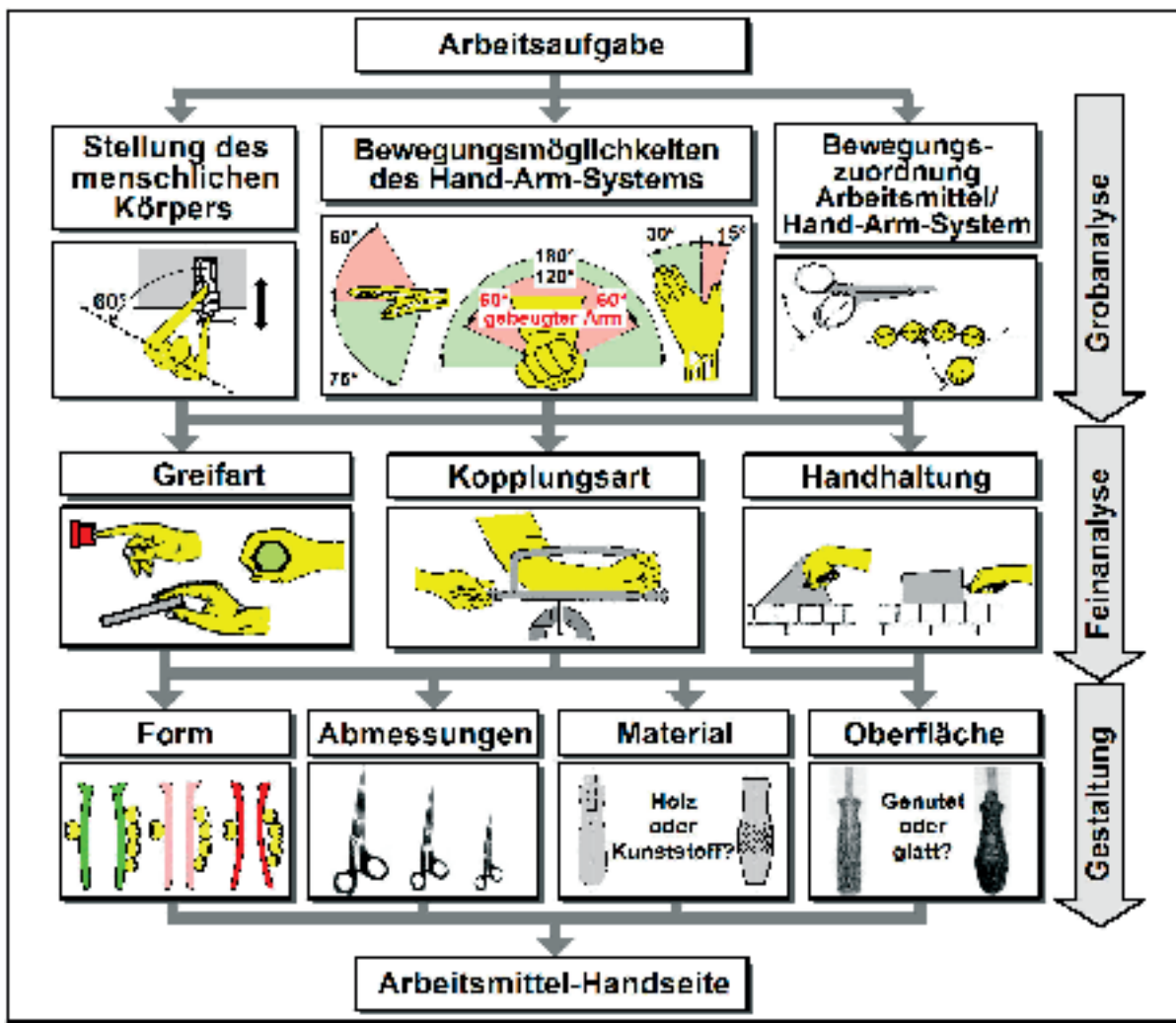


Abb. 2: Vorgehensweise zur Gestaltung der Handseite von Arbeitsmitteln

Sind mit dem Werkzeug oder Stellteil z.B. große Arbeitswiderstände (Kräfte oder Drehmomente) zu überwinden, kommt eigentlich nur ein Umfassungsgriff in Frage, wogegen bei kleinen, repetitiv aufzubringenden Kräften der Kontaktgriff angebracht ist. Der feinkoordinativen, genauigkeitsbetonten Arbeit am Computer nicht zuträglich ist z.B. eine im Umfassungsgriff zu führende „Maus“, auch wenn sie angeblich dem Karpaltunnelsyndrom vorbeugen soll und elektromyographisch ermittelte Entlastungen der Schultermuskulatur ihre angebliche ergonomische Qualität belegen sollen (N.N. 2003). Soll sowohl schnell als auch genau gearbeitet werden, ist ein Reibschluss mit der Möglichkeit des raschen Nach- oder Umgreifens am Arbeitsmittel dem Formschluss überlegen, auch wenn die dabei entfaltbaren Drehmomente nur suboptimal sind. Liegen vor allem bei Outdoor-Arbeiten ungünstige Umgebungseinflüsse (Hitze oder Kälte) und handschweißfördernde Bedingungen vor, sind blanke Metalloberflächen an Griffen wegen der Gefahr der Überwärmung oder des Wärmeentzugs der Hand zumindest durch Kunststoffummantelungen zu ersetzen oder Handschuhe bereitzustellen. Diese erfordern möglicherweise größere Abmessungen des Arbeitsmittels.

Grobanalyse

Bei der Analyse der „*Arbeitsaufgabe*“ ist also stets zu fragen, was mit dem Arbeitsmittel wie, wo und unter welchen Arbeits- und Umgebungsbedingungen (z.B. bei trockenen oder „ölig“ Oberflächen der Griffe) zu erledigen ist. Dafür sind eine Reihe von Kriterien wichtig, die bereits entscheidend Auswirkungen auf die folgenden „Blöcke“ im Ablaufschema von *Abbildung 2* haben. Die in *Tabelle 1* zusammengestellten Fragen sollen thematisieren, worauf in einer systematischen Arbeitsanalyse zu achten ist. Nicht nur der allgemeinen arbeitsmedizinischen und ergonomischen Sorgfaltsverpflichtungen wegen, sondern auch gesetzlich-normativen Vorgaben zufolge (BetrSichV, BGV A1, GPSG, DIN EN 894-3, DIN 31 001, VDI 2242) haben Sicherheitsaspekte für die Auslegung und Benutzung handgeführter Arbeitsmittel – auch wenn diese in *Tabelle 1* erst am Ende aufgeführt sind – eine hohe Priorität.

Der Block „*Stellung des menschlichen Körpers*“ steht für Körperstellungen und Körperhaltungen, die in der Arbeit eingenommen werden müssen, wobei Körperhaltungen als Variationen der Grundstellun-

gen Sitzen und Stehen aufzufassen sind. Ungünstige Körperhaltungen, wie ein seitlich verdrehter Oberkörper oder ein Rundrücken führen zu vorzeitiger Ermüdung und sind langfristig für den Stützapparat problematisch und deshalb durch gestalterische Maßnahmen zu vermeiden. Gleiches gilt für Zwangshaltungen des Hand-Arm-Systems, des Oberkörpers oder auch der Beine, die durch ergonomisch nicht durchgestaltete Arbeitsmittel bzw. schlechte Zugänglichkeit des Arbeitsorts und Arbeitsmittels dem Benutzer abverlangt werden. Sie involvieren statische Muskelarbeit, bei der die Durchblutung gedrosselt wird und sich damit Energiebedarf und Energiebereitstellung nicht die Waage halten können.

Insbesondere dann, wenn bei einer geschlossenen kinematischen Kette Beidhand-Tätigkeit vorliegt, sind Vorzugsrichtungen der Arbeitsbewegungen in Bezug zur Frontalebene, z.B. 60° beim Feilen am Schraubstock, vorzusehen. Für repetitive Bewegungen des Hand-Arm-Systems (als offener kinematischer Kette) in der Horizontalebene erwies sich ein Winkel von 30° zwischen Frontalebene und Bewegungsrichtung als optimal. Bewegungen des Arms in alle anderen Richtungen sind anstrengender. In einem Winkel von z.B. 90°, d.h. in der Sagittal- bzw. Medianebene beanspruchen sie die Oberarm- und Schultermuskulatur sogar etwa doppelt so stark (Strasser u. Müller 1999).

Für das freie Halten von schweren Handwerkzeugen sind Zugriffsmöglichkeiten zu schaffen, die z.B. bei einem Beugewinkel im Ellenbogen von ca. 100° ein Optimum des Kräftepotenzials ermöglichen. Bei deutlich kleineren, aber auch größeren Winkeln zwischen Unter- und Oberarm kann der Bizeps als kräftiger Armbeugemuskel nicht mehr sein Maximum erreichen.

Wird ein großer Bewegungsumfang mit hohem Krafteinsatz gefordert, ist grundsätzlich die Körperstellung Stehen geboten. Stehen fein-koordinative Aufgaben im Vordergrund, ist stets die Körperstellung Sitzen vorteilhaft, die auch allgemein weniger zu Ermüdung führt. Aber auch Rückenlehnen, Fußstützen und Armauflagen sind bei längeren Ausführungszeiten zur Vermeidung von Ermüdung erforderlich.

Die Analyse der „*Bewegungsmöglichkeiten des Hand-Arm-Systems*“ ist ein elementares Kapitel, wobei die Kenntnis der verschiedenen Gelenke des Hand-Arm-Schulter-Systems mit ihren Bewegungsspiel-

Tab. 1: Kriterien einer systematischen Analyse der Arbeitsaufgabe

Vom Arbeitsmittelgestalter oder Nutzer zu klärende Fragen bezüglich
Arbeitswiderstand
<ul style="list-style-type: none">• Wie groß ist der Arbeitswiderstand, welche Kräfte oder Drehmomente müssen überwunden werden?• Ist die Abhängigkeit des Arbeitswiderstands vom Weg konstant, veränderlich, linear, progressiv, degressiv, stetig oder unstetig?• Wie ist die Abhängigkeit des Arbeitswiderstands von der Zeit, liegen Beschleunigungen oder Verzögerungen vor, sind statische oder dynamische Kräfte aufzubringen?• Wird die Kraftaufbringung durch Anschläge begrenzt?• Enthält die Angabe des Arbeitswiderstands das Eigengewicht des Arbeitsmittels und ist die Schwerpunktage bereits berücksichtigt?• Um welche Bewegungsform (Translation, Rotation oder eine Kombination daraus) handelt es sich?• Wie groß ist der Bewegungsumfang, der Stellweg oder Drehwinkel?• In welcher Richtung erfolgt die Bewegung (horizontal-frontal, frontal-sagittal, sagittal-horizontal)?• In welchem Raumfeld findet die Bewegung statt?• Wird das Einhalten der Bewegungsrichtung durch Führungshilfen unterstützt?• Ist die Bewegung stetig und welche Bewegungsform dominiert bei der Ausübung?
Genauigkeit
<ul style="list-style-type: none">• Wie genau muss der Arbeitswiderstand in Abhängigkeit von Weg und Zeit eingehalten werden?• Wie genau muss die Bewegungsform und die Bewegungsgröße eingehalten werden?• Wie genau müssen Richtungsänderungen durchgeführt werden?• Gibt es Genauigkeitsunterschiede der Bewegungskombinationen?• Wird die Genauigkeit durch technische Hilfen (durch Führungen oder Anschläge) erzwungen?
Zeitbedarf
<ul style="list-style-type: none">• Wie lange dauert die Durchführung der gesamten Aufgabe?• Wie lange dauern Teilaufgaben mit jeweiligen Arbeitswiderständen und/oder Bewegungsarten?• Sind Zeitgrenzen nur für die gesamte Aufgabe oder auch für Teilaufgaben einzuhalten?• Ist Nach- oder Umgreifen am Arbeitsmittel erforderlich?• Wird die Bewegung geführt und/oder sind Anschläge vorhanden?• Ist guter Sichtkontakt zur Arbeitsseite gegeben?• Wird eine schnellere Arbeitsmittelführung durch den Arbeitswiderstand und/oder Genauigkeitsforderungen begrenzt?
Ergebnisrückkopplung
<ul style="list-style-type: none">• Behindern Arbeits- und/oder Handseite des Arbeitsmittels den Blickkontakt zur Bearbeitungsstelle?• Sind durch das Arbeitsmittel (insbesondere Stellteile) ausgelöste Bewegungen beobachtbar?• Sind verschiedene Positionen durch Sichtkontakt zu unterscheiden?• Erfolgt die Rückkopplung über sekundäre Lichtsignale?• Ist das Erreichen von Zwischen- und/oder Endpositionen (Rasten) hörbar?• Ist das Erreichen von Zwischen- und/oder Endpositionen tastbar?• Sind visuelle, auditive und taktile Formen der Ergebnisrückkopplung kombiniert?
Umgebungseinflüsse
<ul style="list-style-type: none">• Erfolgt durch und/oder bei der Arbeit eine Verschmutzung des Arbeitsmittels?• Wirkt eine mögliche Verschmutzung reibungskoeffizientmindernd auf die Handseite des Arbeitsmittels?• Verhärtet der Schmutzfilm und/oder Materialrückstände?• Wird das Arbeitsmittel zur Reinigung in Lösungsmitteln aufbewahrt?• Bestehen besondere Hygieneanforderungen, muss Sterilität sichergestellt sein?• Vibriert das Arbeitsmittel durch Erregung an der Arbeits- und/oder Antriebsseite?• Gibt es bevorzugt horizontale, vertikale oder kombinierte Schwingungsrichtungen?• Muss das Arbeitsmittel mit Handschuhen betätigt werden?• Liegen ungünstige Klimawerte (Temperaturen, Luftfeuchtigkeiten, Windgeschwindigkeiten) vor?
Arbeitsicherheit
<ul style="list-style-type: none">• Besitzt das Arbeitsmittel und/oder Arbeitsobjekt elektrische Antriebe?• Welche Gefahren bestehen beim Abgleiten vom Arbeitsmittel durch scharfe Gegenstände, bewegte Maschinenteile, Kontakt mit Chemikalien usw.?• Welche Festigkeitseigenschaften sind für die Handseite des Arbeitsmittels erforderlich?• Wie weit ist die Handseite vom Gefahrenbereich (von Messern, Presswerkzeugen usw.) entfernt?• Wird die Hand durch Schutzbügel oder vergleichbare Hilfen geschützt?• Welche Konsequenzen hat unbeabsichtigtes Stellen?• Birgt die betriebsübliche Handseitentemperatur die Gefahr des Wärmeentzugs aus der Hand?

räumen (Sommer 1984) unerlässlich ist. Die einzelnen Fingerglieder, die Unterarm- und Oberarmknochen sind über verschiedenste Gelenkarten mit unterschiedlicher Anzahl von Freiheitsgraden, angefangen bei Scharnier- und Zapfengelenken (jeweils 1 Freiheitsgrad) über Sattelgelenke (2 Freiheitsgrade) bis zu Kugelgelenken (mit 3 rotatorischen Freiheitsgraden), miteinander verbunden. Werden die beschränkten Auslenkbereiche von peripheren Gelenken überschritten, müssen zwangsläufig die zum Rumpf hin nächst gelegenen Gelenke in Aktion treten. So kann es schließlich zu, an sich unnötigen, Bewegungen größerer Körperteile bis hin zu Rumpfbewegungen kommen, die außerordentlich erschwerend werden können.

Das Handgelenk, als vielleicht wichtigstes Gelenk, gestattet zwar in Richtung zum Handrücken (in dorsaler Richtung) und zur Hohlhand (in volarer Richtung) erhebliche translatorische Auslenkungen (Abb. 2 oben Mitte). Dennoch kann selbst der „Spielraum“ von 60° – wie in einem Fallbeispiel zu zeigen sein wird – für Arbeitstätigkeiten limitierend wirken und zu Zwangshaltungen führen. Besonders problematisch ist jedoch der in ulnarer Richtung auf ca. 30° begrenzte Auslenkbereich der Hand. Muss mit derart ausgelenkter Hand repetitiv fingerdynamisch gearbeitet werden, drohen Beschwerden und in letzter Konsequenz sogar Sehnenscheidenentzündungen.

Wie in *Abbildung 3* dargestellt, sollte bei Werkzeugen auch an die Vor- und Nachteile einer horizontal und vertikal angeordneten Griffachse gedacht werden. Bei einem Steckschlüssel (*Abb. 3 re.*) oder einem Spannfutterhebel an einer Drehbank mit vertikaler Griffachse wirken sich z.B. die limitierenden horizontalen Auslenkbereiche der Hand nicht aus, und bei der Überwindung eines Losbrechmoments einer festsitzenden Schraube droht nicht das Abrutschen von den Griffen, da der Steckschlüssel formschlüssig gehalten wird.

Da die Gelenke je nach Bauart geradlinige Bewegungen oder Drehbewegungen gestatten, die z.B. bei gebeugtem Arm mit 120° gegenüber dem gestreckten Arm (mit 180°) reduziert sind, ist auch auf Kompatibilität von funktionalen und anatomischen Gelenken zu achten. Das heißt Drehbewegungen sollten auch aus einem Gelenk mit einem rotatorischen Freiheitsgrad heraus ausgeführt werden können. In gleicher Weise gilt das auch für translatorische Bewegungen mit z.B. Scharnier- und Eigelenken. Die Erörterung derartiger Sachverhalte gilt es mit dem Block „*Bewegungszuordnung Arbeitsmittel/ Hand-Arm-System*“ vorzunehmen, wofür stellvertretend für verschiedene Fälle in *Abbildung 2* visualisiert ist, dass z.B. der Versatz des Daumensattelgelenks gegenüber den Scharniergelenken der Finger bei der Gestaltung von Scheren Konsequenzen

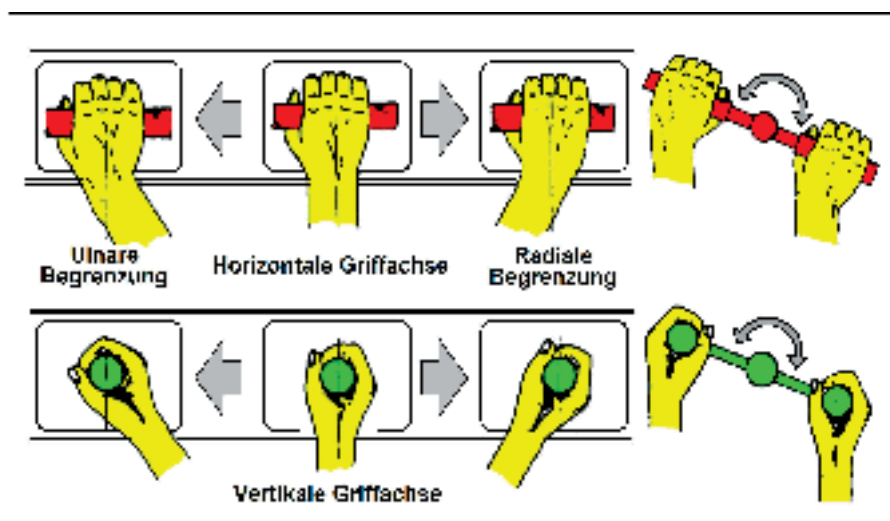


Abb. 3: Horizontale Griffachsen an einem Bedienteil einer Handstrickmaschine und an einem Steckschlüssel, die wegen der begrenzten ulnaren und radialen Auslenkmöglichkeiten der Hand zu Einschränkungen des Bewegungsumfangs führen (oben) und vertikale Griffachsen (unten), die bei einem Umfassungsgriff mit Formschluss in normaler Handhaltung großräumige Bewegungen aus dem Ellenbogen- und Schultergelenk heraus ermöglichen.

nach sich ziehen muss. Darauf soll später in einem Fallbeispiel näher eingegangen werden.

Feinanalyse

Bei der Feinanalyse der „Greifart“ sind die von der Hand grundsätzlich realisierbaren Zugriffsmöglichkeiten mit den spezifischen Vor- und Nachteilen eines Kontakt-, Zufassungs- oder Umfassungsgriffs einzukalkulieren. Der schnellen Reaktionsmöglichkeit bei einem Kontaktgriff steht z. B. die geringe Belastbarkeit der Finger gegenüber. Wogegen beim Führen eines Werkzeugs im Zufassungsgriff hohe Genauigkeit erzielt werden kann, geht diese zugunsten erheblich größerer übertragbarer Kräfte und Drehmomente beim Umfassungsgriff wieder verloren.

Bei Umfassungsgriffen, bei denen Fingerend-, Fingermittel- und Fingergrundglied von Daumen und wenigstens einem Finger u. U. zusammen mit der gesamten Handinnenfläche am Griff anliegen, ist die Kopplungsfläche stets am größten und bei einer ergonomischen Form des Griffs (s. unten) die Druckverteilung in der Hand recht gleichmäßig. Sowohl bei Form-, als auch bei Reibschluss (s. unten) ist allerdings eine passende Dimensionierung Voraussetzung für eine günstige biomechanische Kraftübertragung. Bei Zufassungsgriffen an zweiseitigen zangenähnlichen Werkzeugen liegen z. B. alle Finger an den Griffschenkeln an, wobei diese beim Schließen vom Fingerend- über Fingermittel- zum Fingergrundglied gleiten können müssen. Die einleitbare Kraft ist natürlich minimal, wenn nur die schwachen Fingerendglieder – möglicherweise bei zu weitem Griffschenkelabstand nur das Endglied des kleinen Fingers – koppeln und erreicht ein Maximum, wenn auch die Grundglieder am Griffschenkel anliegen können. Umgekehrt kann z. B. beim Koppeln von zwei oder drei Fingerendgliedern bei Pinzetten im Zweifingerzusammengriff oder bei Schreibwerkzeugen im dynamischen 3-Fingerzufassungsgriff hohe Präzision und Feinfühligkeit erwartet werden. Kontaktgriffe, bei denen nur die Fingerspitzen oder die Fingerbeeren mit der Oberfläche von z. B. Tastaturen oder Druckschaltern koppeln, gestatten schnelle, nur von der Beweglichkeit der verschiedenen Finger oder der Hand terminierte Reaktions- und Eingabemöglichkeiten. Der Daumen als der stärkste Finger kann (gemäß dem Spruch „den Daumen auf etwas halten“) auch bei größeren Arbeitswiderstän-

den zum Einsatz kommen, andererseits lässt seine Schnelligkeit zu wünschen übrig.

In der Analyse muss sich aber auch zeigen, ob die bei einer normalen „Handhaltung“ (beim „Fluchten“ von Hand und Unterarm) erwartbare Kraft beim Schließen der Finger zu einer Faust auch tatsächlich mobilisiert werden kann, oder ob durch erzwungene dorsale oder volare Auslenkung der Hand infolge der „Sehneninsuffizienz“ drastische Kraftverluste „drohen“. Wird beispielsweise bei volarer Auslenkung der Hand die an der Innenseite des Unterarms sitzende Muskulatur (M. flexor digitorum superficialis) aktiviert, d. h. kontrahiert, kann sich die Verkürzung und damit die Muskelkraft kaum auf die Fingerglieder auswirken, weil die von den Sehnencheiden ummantelten Sehnen – ähnlich einem Bowdenzug zwischen Stellmotor und Stellglied – in dieser Handhaltung zu lang sind. Bei dorsaler Auslenkung der Hand hingegen kommt es zu einer ebenfalls ungünstigen Vorspannung des Systems aus Fingerschließmuskulatur, Sehnen und Fingergliedern.

Eine ungünstige (ulnare) „Handhaltung“ kann u. U. auch durch die Geometrie der Arbeitsseite eines Werkzeugs, wie z. B. die dreieckige Form von Maurerkellenblättern erzwungen werden, die in anderen Kriterienbereichen vielleicht durchaus Vorteile bietet. Ulnare Handhaltungen (im Mittel ohnehin auf ca. 30° beschränkt) involvieren bei repetitiven Bewegungen der Finger die Gefahr von Sehnencheidenentzündungen (Tendovaginitis), da es an den Umlenkpunkten in den Sehnencheiden zum Verdrängen der Gleitflüssigkeit und bei Bewegungen der Sehnen zu Reibung kommt. Darauf soll im Fallbeispiel „Tastaturen“ gesondert eingegangen werden.

Von entscheidender Bedeutung ist schließlich, wie die Handkraft auf ein Werkzeug eingeleitet wird. Bei der im Block „Kopplungsart“ in *Abbildung 2* visualisierten Bügelsäge liegen für die beiden Hände sowohl der weniger günstige Reibschluss als auch Formschluss vor. Wie in *Abbildung 4* dargestellt, ist die nur mittelbare Kraftübertragung beim Reibschluss unvorteilhaft für die Fingerschließmuskulatur, die dabei zur Kraftentfaltung viel stärker gefordert wird als beim Formschluss. Die Zugriffsmöglichkeiten sollten beim Formschluss auch einer Neigung der Handgriffebene nach vorne wie bei einem Pistolengriff entsprechen. Von Vorteil ist auch, wenn Krafrichtung und Funktionsachse fluchten, weil dadurch Kippmomente vermieden werden können.

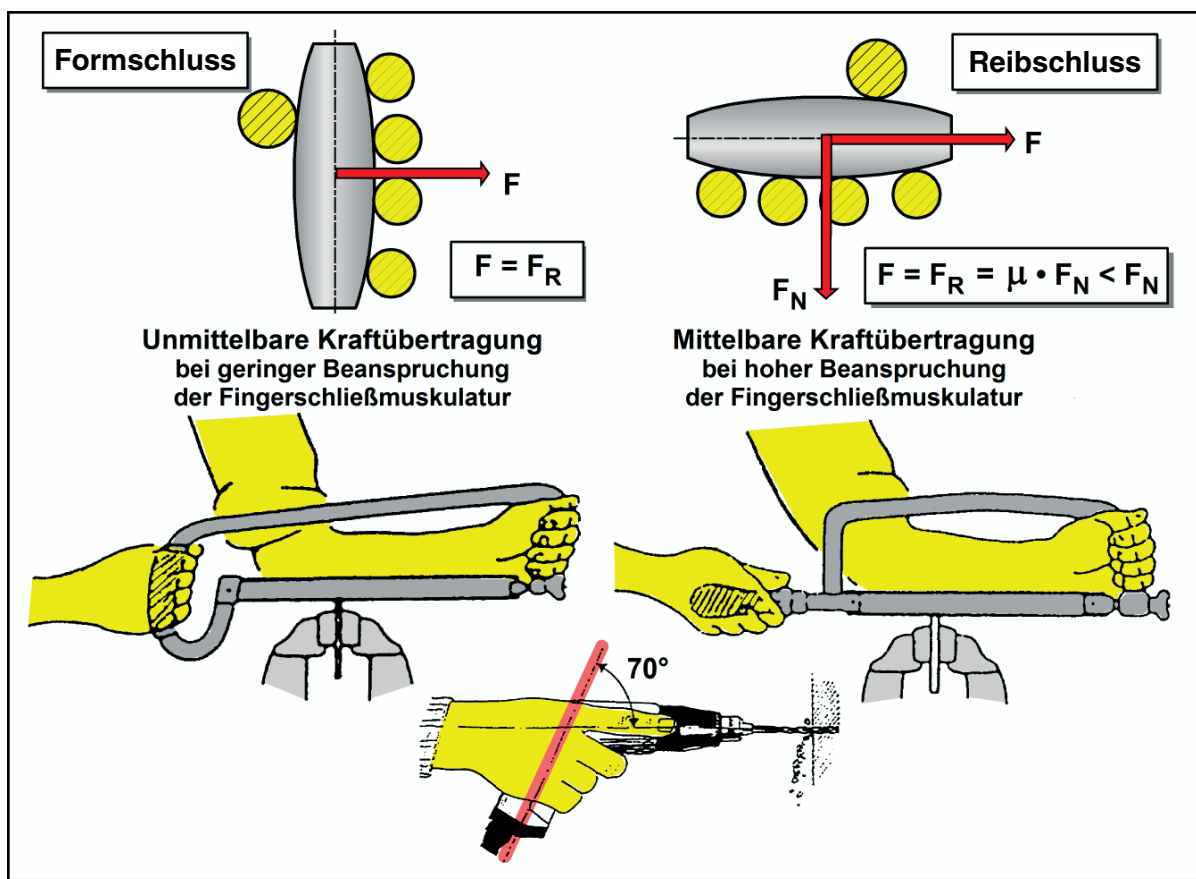


Abb. 4: Reibschluss (rechts oben) und zur Schubkraft kompatibler Formschluss an einer Metallbügelsäge (links) und formschlüssiger Pistolengriff an Bohr- bzw. Schraubwerkzeugen (unten). Beim Reibschluss wirkt die Körperreaktionskraft F_R nicht uneingeschränkt als Schubkraft F in der gewünschten Krafrichtung, weil das Produkt aus Zugriffskraft der Finger am Griff F_N und dem Reibbeiwert μ (mit Werten zwischen 0 und 1) stets kleiner ist als die biologisch mobilisierte Normalkraft F_N .

Gestaltung der Arbeitsmittel-Handseite

Was die Gestaltung der Arbeitsmittel-Handseite betrifft, so sind alle Details und Besonderheiten, die sich aus der Grob- und Feinanalyse ergeben haben, aufeinander abgestimmt und oftmals unter Eingehen auf Kompromisse zu berücksichtigen. Für die jeweilige Greif- und Kopplungsart kann natürlich eine höchst unterschiedliche „Form“ des Griffs von Werkzeugen resultieren, wobei aber doch eine Reihe von gemeinsamen Kriterien umgesetzt werden muss.

So sind z.B. bei Finger- oder Daumenkontaktgriffen an Stellteilen, Tastaturen und an frei im Raum fuhbaren Werkzeugen Formen vorteilhaft, die – den Abmessungen der koppelnden Fingerteile ange-

messen (→ Abschn. „Abmessungen“) – konkave Aushöhungen (z.B. Fingermulden) aufweisen, und dadurch ein Abgleiten bzw. Abrutschen z.B. von Druck-, Kipp- und Wippschaltern sowie Schwenkhebeln vermeiden und bei Richtungswechsel einer Stellbewegung z.B. an einem Schieberegler kein zeitaufwändiges Umgreifen erfordern (Abb. 5 oben). Bei 2-Finger-Zufassungsgriffen (z.B. an Industriepinzetten und Schlüsseln) erweisen sich die in Abbildung 5 unten skizzierten Formen als vorteilhaft, wobei fächerförmige Verbreiterungen in der Längskontur von Pinzetten eine leichtere Handhabung begünstigen. Für das Aufnehmen flacher Teile auf einer Arbeitsplatte ist auch eine Abschrägung der Pinzettenhandseite von der „Arbeitsseite“ hilfreich und lässt eine normale Handhaltung zu.

Schreibwerkzeuge, die in einem 3-Finger-Zufassungsgriff benutzt werden, sollten nicht, wie ge-

wöhnliche Kugelschreiber, einen runden, zur Schreibspitze zudem sich verjüngenden Querschnitt haben. Auch runde oder 6-kantige Bleistifte sind der Greifart nicht angemessen und können ebenfalls zu Verspannungen der Fingermuskulatur führen. Zum 3-Finger-Zufassungsgriff kompatibel ist lediglich der in *Abbildung 5* rechts unten dargestellte Querschnitt eines verrundeten Dreikants, der dem Daumenendglied, der Zeigefingerbeere und der Innenseite des etwas quergestellten Mittelfingers eine passende Auflage bietet. Gummiummantelungen bzw. leicht druckanthropomorphe (elastische) Oberflächen helfen zudem punktuelle Druckbelastungen zu vermeiden. Eine weitere Voraussetzung für entspanntes Schreiben sind nicht zu kleine Querschnitte und eine Mindestlänge des Schreibgeräts derart, dass das Ende auf jeden Fall in der Daumen-Zeigefingerfalte aufliegt. Auch für Gravier- und Dentalwerkzeuge sind oftmals 3-Kant-Formen angezeigt.

Wenn für Zufassungsgriffe z.B. die Längskontur von Zangenschenkeln (*Abb. 2 unten li.*) festzulegen ist, dann kommt stets eine ballige Form in Frage, die dem Handgewölbe folgend, das Anliegen aller Finger sicherstellt. Gleiches gilt auch für Umfassungsgriffe bei einschenkigen Werkzeugen. Zu höchst schmerzhaften Folgen können bei größeren Fingerschließkräften die geschweiften, DIN-konformen Griffschenkel werden, weil dabei nicht alle Finger ohne Verformung des Handgewölbes anliegen, und zudem bei der Krafteinleitung aneinander gepresst werden. „Normung schützt also vor Torheit“ nicht und das strikte Beachten von „Regeln der Technik“ (N. N. 1973) führt mitunter zu ergonomisch äußerst bedenklichen Werkzeugversionen. Beim Querschnitt von Zangenschenkeln, wie auch bei Messern und Schälwerkzeugen, die im 4-Finger-Zufassungsgriff mit den End-, Mittel- und Grundgliedern gehal-

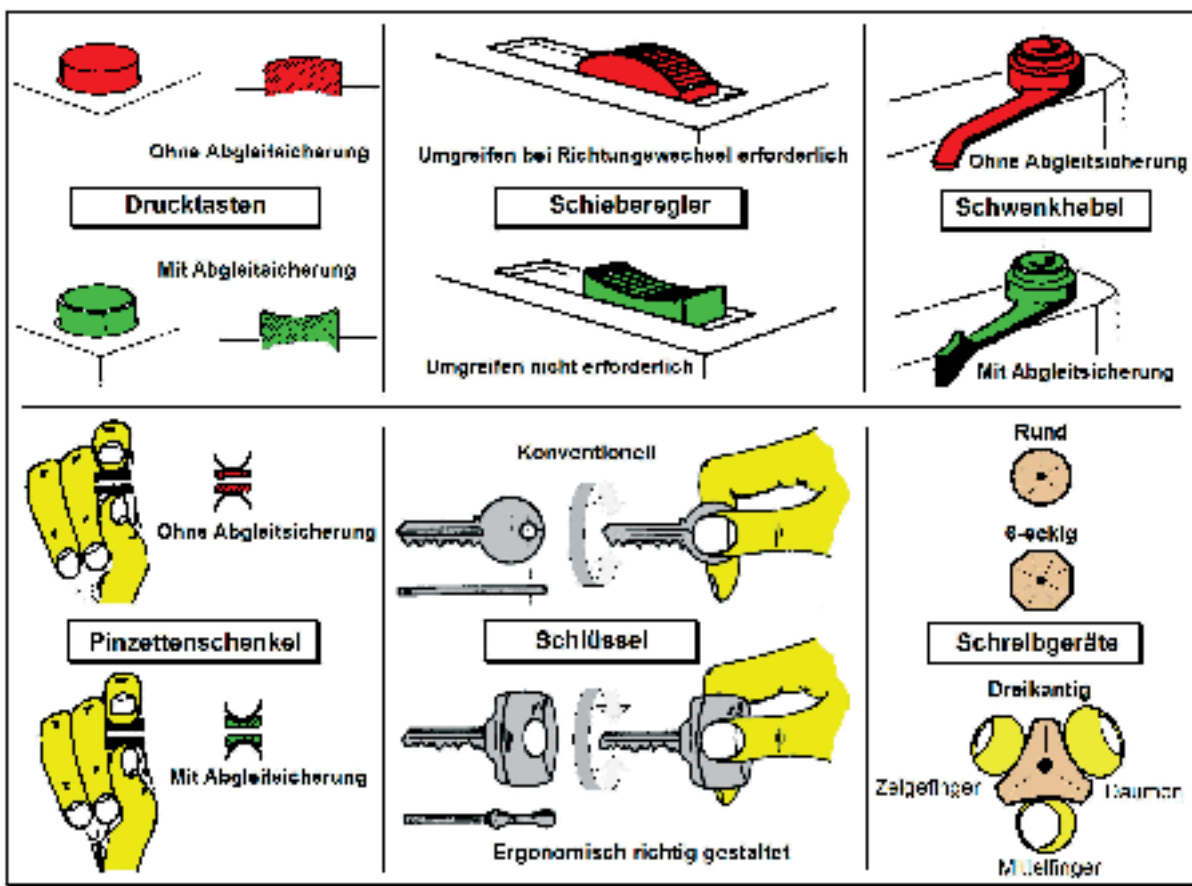


Abb. 5: Grundformen von Stellteilen und handgeführten Werkzeugen, die im Kontaktgriff (oben) und Zufassungsgriff (unten) benutzt werden, mit und ohne kompatible Querschnittsfläche und Oberflächenkontur.