

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. W. R. HESS).

Die Abhängigkeit der Präzisionsleistung von der Arbeitssituation.

Von

WERNER KOELLA und SILVIO BARANDUN.

Mit 3 Textabbildungen.

(Eingegangen am 21. Januar 1951.)

Die menschliche Arbeitskraft dient in der Industrie nicht nur als Energiequelle. Besonders der moderne Betrieb ist, wie allgemein bekannt, nicht mehr darauf eingestellt, daß die im Rahmen eines Werkvorganges benötigte Arbeit (im physikalischen Sinne gemeint!) ausschließlich oder zum größten Teil vom arbeitenden Menschen geliefert wird; mehr und mehr wird diese von technischen Motoren abgegeben und der denkende Arbeiter dort eingesetzt, wo er seine spezifischen, durch maschinelle Einrichtungen nicht oder nur schwer ersetzbaren Eigenschaften sich auswirken lassen kann; er wird zum Kontroll- und Steuerorgan.

Mit diesem Funktionswandel geht eine Schwerpunktsverschiebung der am meisten belasteten physiologischen Funktionssysteme parallel. Während beim sog. Schwerarbeiter das Muskelsystem und seine Hilfsaggregate, d. h. Kreislauf und Atmung, sowie Temperaturregulierung und Ausscheidung hinsichtlich Bedeutung und Beanspruchung im Vordergrund stehen, liegt bei der erwähnten, energetisch nicht mehr stark betonten Arbeitsart der Akzent bei der *Präzision* der motorischen und auch sensorischen Funktionen; das koordinatorische Moment und die hier der Leistung gesetzten Grenzen spielen die beherrschende Rolle.

Räumliches Verhältnis der Bedienungseinrichtungen in Bezug auf den Arbeiter, Form und Gewicht der Werkzeuge, Bewegungswiderstände, Arbeitszeit und -rhythmus und eine Großzahl anderer äußerer Bedingungen werden heute auf Grund arbeitsphysiologischer Forschungsergebnisse derart gestaltet, daß die Fähigkeit des Organismus, energetische Leistungen zu vollbringen, sich optimal entwickeln kann. Nach Erwähntem muß sich hier aber auch die Frage erheben, ob sich durch Adaptierung der Arbeitsbedingungen auch die eben charakterisierte Leistung besonderer Art — die Koordinationsfähigkeit, verbessern läßt.

In Verfolgung dieser Frage haben wir es unternommen, die Beeinflussung solcher *Präzisionsleistungen* in einer Reihe von Experimenten einer näheren Prüfung zu unterziehen. Im Speziellen wurde versucht, an

Hand von verschiedenen, in ihrer Art recht einfachen Versuchsanordnungen den Einfluß von *Körperlage* und *-haltung* abzuklären. Im vorliegenden Aufsatz werden wir über drei derartige Versuchsreihen berichten, wobei sowohl motorische, als auch sensorische Funktionen auf ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich Präzision in Abhängigkeit von den genannten Arbeitssituationen geprüft worden sind. Für die vorliegenden Versuche lautete unsere *Fragestellung* wie folgt:

Wie wirkt sich eine bestimmte Körperlage und -haltung 1. auf eine ohne optische Kontrolle auszuführende Zielbewegung mit der Hand, 2. auf das sog. Augenmaß und 3. auf die Sicherheit einer unter Führung der Augen ausgeführten Bewegung aus?

In Anbetracht der Tatsache, daß das Versuchsdispositiv bei den einzelnen Serien recht unterschiedlich war, werden wir die speziell zur Anwendung gelangende Methodik jeweils vorgängig den Resultaten der einzelnen Versuchsgruppen beschreiben. Über die verwendete Technik wurde schon an anderer Stelle kurz berichtet (KOELLA¹). Die Untersuchungen erfolgten an gesunden Studenten, Assistenten und Institutsfunktionären.

Methodik und Resultate.

I. Die Blindtreffsicherheit unter dem Einfluß verschiedener Körperlage und -haltung.

1. Methodik: Bei diesen ersten Versuchen bestand die Aufgabe der im ganzen 8 männlichen Versuchspersonen darin, ein vorher ins Auge gefaßtes, auf Millimeterpapier eingezeichnetes Kreuz nun bei geschlossenen Augen mit einer an einem Stiel befestigten Nadel 5mal hintereinander zu treffen. Die Abweichung vom Kreuzungspunkt, der gleichzeitig den Koordinatennullpunkt repräsentierte, wurde entsprechend der Millimeterteilung mit $\pm x$ und $\pm y$ angegeben. Damit war es möglich, den „Fehler“, d. h. die Entfernung des effektiv getroffenen Punktes vom Nullpunkt zu kennzeichnen und ein quantitatives Maß der Streuung zu ermitteln. In weiterer Verarbeitung der Resultate wurden die gemessenen Abweichungen vom Nullpunkt in Richtung der beiden Koordinatenachsen klassenmäßig eingeteilt und die so erhaltenen Mengen kurvenmäßig aufgetragen. Des weitern wurde für je ein Blatt, d. h. also für je 5 Treffer der Mittelwert hinsichtlich des „x“ und „y“ (gleichbedeutend dem Schwerpunkt) errechnet, die Abweichung der einzelnen Punkte von diesem Mittelwert bestimmt, diese Abweichung ins Quadrat erhoben und summiert. Diese Summe wird im folgenden als Sx^2 und Sy^2 bezeichnet. Die Versuchspersonen mußten nun diese Aufgabe vorerst in sitzender Position mit Stichrichtung nach vorn auf das vertikale Zielbrett (Position A), hierauf sitzend mit Stichrichtung vertikal nach oben auf das nun über dem Kopf angebrachte horizontale Zielbrett (Position B) und schließlich auf dem Rücken liegend, ebenfalls vertikal nach oben (Position C) ausführen. Um den Angewöhnungsfaktor nach Möglichkeit auszuschalten und doch eine große Stichprobe zu erhalten, wurden die Versuche alle an einem einzigen Tage durchgeführt und die verschiedenen Positionen 4mal hintereinander abwechselungsweise für die rechte und linke Hand durchgeprüft. Wir verfügen hier im ganzen über rund 900 Meßpunkte. Die Abweichungsquadrate, d. h. Sx^2 und Sy^2 wurden nun bei Position B und Position A einerseits, Position C und Position A andererseits ins Verhältnis gesetzt und das *geometrische Mittel* aus diesen Quotienten samt der entsprechenden Streuung berechnet. Dem geometrischen Mittel gaben wir gegenüber dem arithmetischen den Vorzug aus Gründen, die FLEISCH² seinerzeit dargelegt hat.

2. *Resultate:* Tabelle 1, sowie Abb. 1 u. 2 zeigen die erhaltenen Resultate. Man erkennt, wie bei den verschiedenen Situationen sehr unterschiedliche Ergebnisse erhalten werden. Auf Einzelheiten soll in der zusammenfassenden Besprechung eingegangen werden.

Tabelle 1.

Quotient:	B/A		C/A	
	rechts	links	rechts	links
„y“	2,58 × 5,04	3,52 × 3,54	1,64 × 5,64	1,26 × 3,81
„x“	1,09 × 2,55	1,05 × 5,07	0,99 × 3,94	1,00 × 5,02

Resultate betr. Blindzielsicherheit aus 840 Messungen. Der Quotient B/A repräsentiert das geometrische Mittel aus 28 Verhältniszahlen, die durch Division der Summe von 5 Abweichungsquadraten eines Einzelversuches bei Stellung aufrecht, vertikale Stüchrichtung (Pos. B) durch diejenige bei Stellung „aufrecht“ mit horizontaler Stüchrichtung (Pos. A) gewonnen wurden. Dasselbe gilt — mutatis mutandis — für den Quotienten C/A, betreffs Rückenlage (Pos. C) und Normalhaltung Pos. (A). Man beachte die erhebliche Zunahme des B/A für das „y“, was bedeutet, daß die Fehler wesentlich größer sind bei Position B als bei Position A. Der Unterschied hinsichtlich des „x“ ist nur klein bei den verschiedenen Arbeitssituationen.

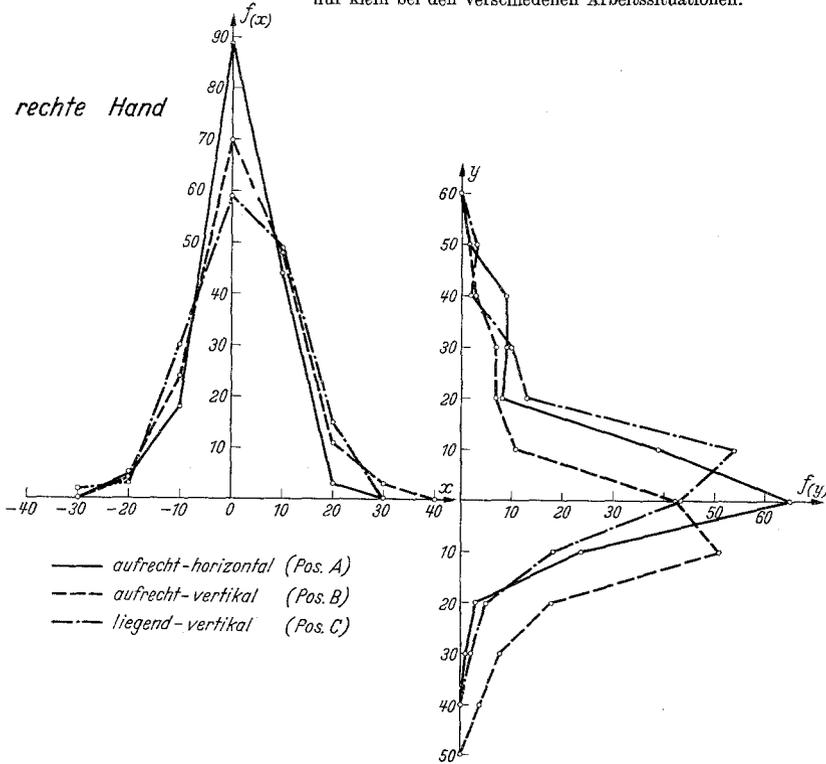


Abb. 1. Verteilungskurve der Treffer mit der rechten Hand für die Abszisse (links) und die Ordinate (rechts). Man ersieht aus dieser Darstellung, daß die Streuung für das „x“ etwas kleiner ist, wenn bei normaler Situation (Pos. A) gearbeitet wird, als wenn das Ziel vertikal nach oben oder aus der Rückenlage erreicht werden soll. Aus den Verteilungskurven des „y“ geht hervor, daß einerseits die Fehlerstreuung für die Position A am kleinsten ist, und daß andererseits bei Pos. B und C die Präzision der „Höhenrichtung“ eine Einbuße erleidet, wie die Verschiebung des Kulminationspunktes der entsprechenden Kurven zeigt. Der Deutlichkeit halber wurden für das „y“ Abszisse und Ordinate vertauscht.

II. Die Präzision des Augenmaßes für Parallelität bei verschiedener Körperlage und -haltung.

1. *Methodik:* In dieser Versuchsreihe ging es darum, daß die 25 Versuchspersonen 2 Balken parallel zueinander einzustellen hatten. Zu diesem Zwecke wurde auf einem 120×120 cm messenden, mit weißem Wachs­tuch überzogenen, gleichmäßig beleuchteten Brett in der Mitte ein schwarzer Metallbalken von 25 cm Länge und

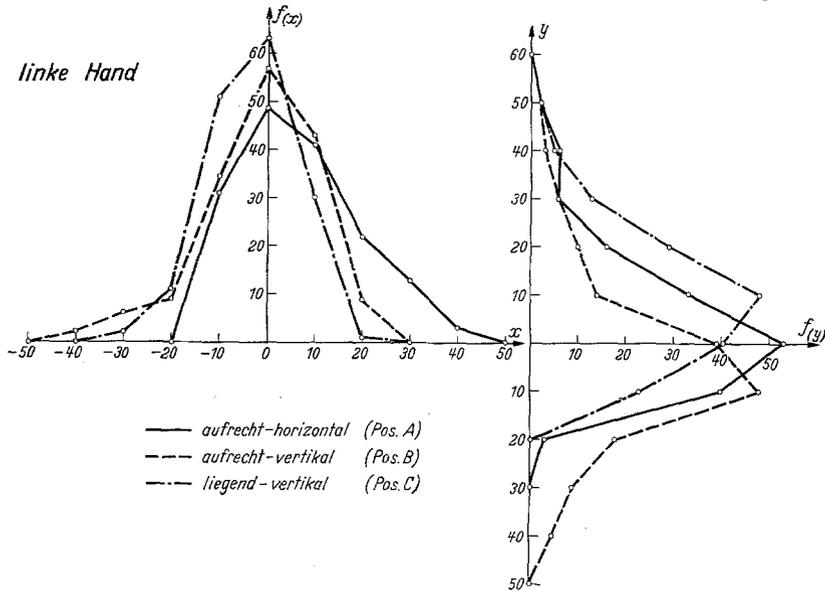


Abb. 2. Gleich wie Abb. 1 aber betreffs linke Hand. Die Fehlerstreuung für das „x“ hat hier einen etwas anderen Charakter, größte Präzision für das „y“ bei Position A. Die Abnahme der „Höhenrichtfähigkeit“ zeigt sich auch an diesen Kurven (Kurven rechts).

12 mm Breite fest montiert. Ein zweiter Balken von gleichem Ausmaß war in einem Abstand von 7 cm drehbar auf einer Achse angeordnet. Mittels eines stark untersetzten Feintriebes ließ sich dieser zweite Balken bewegen und damit von einer Extremstellung ausgehend parallel zum ersten einstellen. Die Abweichung der geschätzten von der mathematischen Parallelität (= Nullstellung) konnte nach Abschluß der Einstellbewegung durch die Versuchsperson an einem hinter dem Brett montierten Transporteur vom Versuchsleiter abgelesen werden. Die abgelesenen Winkelgrade entsprachen — dank der Untersetzung — einer Balkenverdrehung von $\frac{1}{10}$ Grad. Nach jeder Einstellung wurde die Abweichung von der Nullstellung notiert. Auch hier bestand das Wesentliche des Versuchsdispositivs darin, daß diese Einstellung, d. h. das Abschätzen der Parallelität durch die Versuchsperson in verschiedenen Körperstellungen und -haltungen vorzunehmen war. Neben der aufrechten Stellung mit Blickrichtung geradeaus (Position A) wurden die Verhältnisse bei aufrechter Stellung mit Blickrichtung vertikal nach oben (Position B) und schließlich in Rückenlage mit vertikaler Blickachse (Position C) geprüft. Um den Faktor eines kurzfristigen Übungszuwachses auszuschalten, wurde in den einzelnen Versuchen, die sich über mehrere Wochen hinzogen, jeweils die Reihenfolge der einzelnen Positionen gewechselt. In jedem Versuch wurde jeweils 10 mal hintereinander bei gleicher Position eingestellt. Die Abweichung vom Nullpunkt wurde wiederum quadriert und die Summe der Quadrate aus den 10 Ablesungen als Sx^2 berechnet. Wie im Dispositiv I wurde dann auch hier für die quantitative Beurteilung der Quotient aus dieser Quadratsumme von Position B

und A respektive C und A gebildet und durch Verwendung und Addition der Logarithmen das geometrische Mittel berechnet. Für die Aufstellung der in Abb. 3 dargestellten Kurve wurden zudem die Abweichungen bei den einzelnen Positionen klassenmäßig eingeteilt.

2. *Resultate:* Es erhellt aus der tabellarischen Zusammenstellung (Tabelle 2) und aus Abb. 3, daß die Präzision der verlangten Leistung

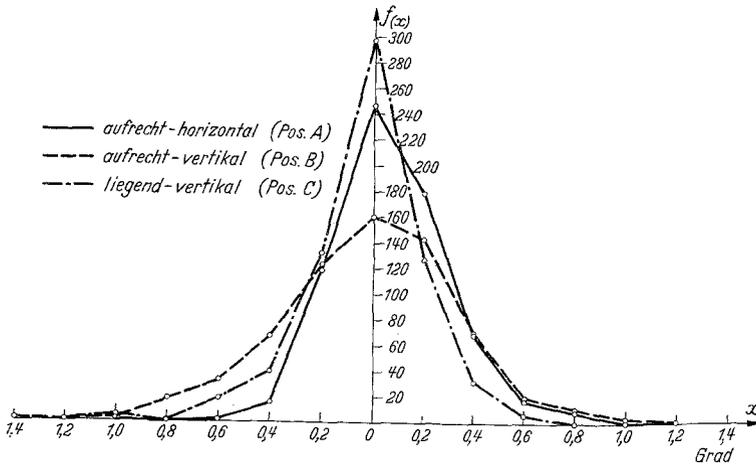


Abb. 3. Verteilungskurven für die Fehler betreffs Einschätzung der Parallelität. Die hohen, spitzen Kurven für Pos. A und C zeigen, daß hier das Augenmaß präziser arbeitet als in Position B.

Tabelle 2.

Quotient:	B/A	C/A
N = 66	2,29 × 2,90	0,79 × 3,20

Einschätzung der Parallelität. B/A = geometrisches Mittel von 66 Verhältniszahlen aus den Quadratsummen von je 10 Ablesungen bei Pos. B zu Quadratsumme von 10 Ablesungen bei Pos. A. C/A = dasselbe für Position C, resp. A. Man beachte die erhebliche Zunahme der Fehler, d. h. die mangelhafte Präzision bei Position B, i. e. bei Stellung aufrecht mit Blickrichtung nach oben.

erheblich von der Arbeitssituation hinsichtlich Körperstellung und Blickrichtung abhängt. Für eine eingehende Besprechung verweisen wir auch hier auf die weiter unten folgenden Erörterungen.

III. Die Abhängigkeit der unter optischer Kontrolle ausgeführten Bewegungen von Körperlage und -haltung.

1. *Methodik:* Diese dritte Versuchsreihe galt wieder der *Bewegungspräzision*. Die den 35 Versuchspersonen gestellte Aufgabe bestand darin, unter optischer Kontrolle mit der geschickteren Hand einen Metallstab durch einen metallisch begrenzten Schlitz von 25 cm Länge und variabler Breite (6, resp. 7, resp. 8 mm) Richtung Kopf—Fuß so hindurch zu führen, daß die Ränder nicht berührt wurden. Jedes Streifen des Randes wurde — ähnlich wie beim altbekannten GLEHSESCHEN Tremometer — mit einem „Kontakt“ beantwortet, der in einem elektrischen Zählwerk totalisiert wurde. Das „Werkstück“ wurde durch zwei festmontierte Tischlampen hell beleuchtet. Auf Ausschaltung von störenden äußeren Einflüssen (Lärm usw.) wurde hier wie auch bei den vorgängig beschriebenen Versuchen

streng geachtet. Um der Versuchsperson eine bestimmte Bewegungsgeschwindigkeit aufzuzwingen, wurde hinter dem Spalt ein weißes, mit schwarzen Querstrichen versehenes endloses Band mit gleichmäßiger Geschwindigkeit vorbeigeführt, dessen Bewegung von der Versuchsperson ständig beobachtet werden konnte. Damit ergaben sich — durch „Fixation“ an eine bestimmte Marke — Anhaltspunkte für die gewünschte Durchfahrgeschwindigkeit. Auch hier mußte die Aufgabe, bestehend aus je 5 Durchgängen, deren Gesamtfehlerzahl jeweils notiert wurde, in aufrechter Stellung, Armstellung zwanglos nach vorn mit vertikalem Spalt (Position A), in aufrechter Stellung, Arm senkrecht nach oben, Spalt horizontal, parallel der Kopflängsachse (Position B) und liegend ebenfalls mit horizontalem Werkstück entsprechend der Kopflängsachse (Position C) ausgeführt werden. Um die Übung und Angewöhnung als störende Faktoren auszuschalten, wurde die Reihenfolge der einzelnen Stellungen im Laufe der 8 Abende umfassenden Versuchsserie geändert. Die Fehlerzahl aus 5 Durchgängen bei Position B und Position A, resp. Position C und Position A wurde wiederum ins Verhältnis gesetzt und das geometrische Mittel aus den so erhaltenen Quotienten für die einzelnen verwendeten Spaltbreiten errechnet.

2. *Resultate:* Tabelle 3 vermittelt die Resultate von rund 5000 Messungen. Auch hier zeigt sich eine Abhängigkeit der Bewegungssicherheit

Tabelle 3.

Quotient:	B/A	C/A
Spalt: 6 mm, N = 146	1,22 \times 1,63	1,02 \times 1,50
Spalt: 7 mm, N = 77	1,49 \times 2,15	1,16 \times 1,80
Spalt: 8 mm, N = 35	1,65 \times 1,83	0,99 \times 2,11

B/A und C/A = Fehlerverhältnisse bei optisch kontrollierter Bewegung. B/A = Fehler bei Arbeit in aufrechter Stellung, Blick- und Armrichtung gerade aus bei verschiedenen Spaltbreiten. C/A: Verhältnis der Fehlerzahl bei Rückenlage zu derjenigen bei aufrechter Stellung mit Blick- und Armrichtung geradeaus gemacht werden. Diese Gesamt-Quotienten stellen das geometrische Mittel aus 146, resp. 77, resp. 35 Einzelquotienten dar, die ihrerseits das Fehlerverhältnis bei den verschiedenen Arbeitssituationen von je 5 Einzelversuchen repräsentieren. Auch hier drückt sich deutlich die Leistungsverminderung in Stellung B, d. h. aufrechte Stellung, Blick- und arbeitender Arm vertikal nach oben aus. Des weiteren ersieht man aus dieser Zusammenstellung, wie mit zunehmender Spaltbreite der Unterschied zwischen den geprüften Stellungen immer besser zum Vorschein kommt.

von der Arbeitssituation. Auf die Unterschiede bei verschiedener Spaltbreite werden wir in der Besprechung näher eingehen.

Besprechung.

Unsere Versuchsergebnisse zeigen, daß eine funktionelle Beziehung zwischen Arbeitssituation und Präzision der geprüften koordinatorischen Leistungen besteht. — In der ersten Serie handelte es sich darum, ein vorher ins Auge gefaßtes Ziel bei verschiedener Körperstellung und -haltung blind zu treffen. Muß die Aufgabe bei aufrechter Haltung mit in den Nacken gelegtem Kopfe und Stichrichtung vertikal nach oben (Position B) ausgeführt werden, dann ist die Streuung der Treffer wesentlich größer als wenn bei (gewohnter) Stichrichtung nach vorne mit normaler Kopfhaltung (Position A) gearbeitet wird. Auch in Rückenlage (Position C) ist ein kleiner Streuungszuwachs gegenüber der Position A zuverzeichnen; dieser ist aber erheblich geringer als bei Stellung vertikal (B). Auffallend ist, daß die vermehrte „Unsicherheit“, d. h. die Ver-

ringerung der Präzision in der Bewegungssteuerung sich hauptsächlich für jene Koordinatenrichtung auswirkt, die parallel zur Kopflängsachse verläuft, während die Treffsicherheit in der Abszissenrichtung keine größeren Unterschiede bei den verschiedenen Arbeitssituationen aufweist. Ferner zeigt sich bei Betrachtung der Abb. 1 und 2, daß durch die Änderung der Körperlage und -haltung nicht nur die Streuung um den jeweiligen Mittelwert wesentlich beeinflußt wird, sondern daß auch dieser Mittelwert selbst erhebliche Verschiebungen mitmacht; entsprechend weisen auch die betreffenden Kurven die Maxima an verschiedenen Orten auf. In Position „A“ liegt der Kulminationspunkt beim Koordinatennullpunkt; d. h. die „Höhenrichtung“ funktioniert recht gut. Geht man zur Arbeitssituation in Rückenlage über, so wird offensichtlich zu „hoch“ angezielt; das Maximum der Kurve liegt im Bereich der positiven y-Werte, während bei Arbeit in aufrechter Haltung, vertikal nach oben die Hauptmasse der Treffer sich im Bereich der negativen y-Werte, oder — auf den Körper bezogen — zu weit vorne sich konzentriert. Die Kurven B und C der Abbildung zeigen damit ein fast symmetrisch-gegenständliches Verhalten in Bezug auf die Nullgerade und auch auf die Kurve „A“. Schließlich kann — gewissermaßen als Nebenbefund — der graphischen Darstellung noch entnommen werden, daß bei unserem Material mit natürlicher Bevorzugung der Rechtshänder die mit der rechten Hand ausgeführten Versuchsreihen eine bessere Zielsicherheit aufweisen, als diejenigen mit der linken Hand, was sich durch die schlankeren Verteilungskurven ausdrückt.

Nach diesen Feststellungen drängt sich die Frage auf, wie diese vermehrte Streuung als Ausdruck einer verminderten Zielsicherheit bei Änderung der Arbeitssituation hinsichtlich ihrer *Entstehungsweise* auszulegen ist. An erster Stelle wäre die Möglichkeit zu diskutieren, daß die Präzision der Bewegung dadurch vermindert wird, daß die vorangehende optische Orientierung bezüglich Richtung und Entfernung des Zieles auf Grund der Änderung von Körperstellung und -haltung eine qualitative Einbusse erleidet. Es ist bekanntlich das Raumbild nicht nur eine Angelegenheit der (flächhaften) Projektion der Außen- dinge auf die Retina; für die Klarstellung der örtlichen Beziehungen der Umgebung zum Ich und zu den Raumrichtungen sind auch die momentane Stellung der Augenbulbi im Lager, die Kopfhaltung in Bezug auf den Körper und schließlich auch die Körperstellung im Schwerfeld von wesentlicher Bedeutung. Die Gesamtheit all dieser Afferenzen ergibt ein kompaktes *Erregungsgebilde* (im Sinne von W. R. HESS³), das als Ganzes — man spricht hier gerne von Integral — uns Auskunft über unsere Lagebeziehungen zur Außenwelt vermittelt. Nun weiß man aber auf Grund der Untersuchungen von MAGNUS⁴, RADEMAKER⁵, BARANY⁶, DE KLEJN⁷ u. a. m., daß unter dem Einfluß

von Lageänderungen des Körpers und einzelner Körperteile gesetzmäßige Umstellungen im Innervationsdispositiv praktisch der gesamten Skelettmuskelapparates auftreten. Die dabei auftretenden Änderungen im Spannungszustand der Muskeln und der entsprechende aktive Wechsel in der Haltung werden gewöhnlich als *tonische Lagereflexe* bezeichnet. Hinsichtlich ihrer funktionellen Bedeutung sind diese Phänomene, die auf die sensible Tätigkeit der propriozeptiven Endorgane und des Vestibularapparates zurückzuführen sind, in die *ereismatische Motorik* (HESS³) einzugliedern, d. h. in den Rahmen jenes stumm und ohne unser Zutun arbeitenden Funktionssystems, das den statischen und dynamischen Unterbau und damit überhaupt die Grundlage für ein erfolgreiches, zielgerichtetes Handeln schafft. Solche regulatorischen Umstellungen sind besonders in jenen Körpergebieten eindrucklich festzustellen, die — wie oben erwähnt — ihrerseits wiederum wesentlich für die räumliche Beurteilung der Umwelt sind. So äußern sich diese Lagereflexe besonders eindrucklich an den Augen in Form von Raddrehungen und andern kompensatorischen Rotationsbewegungen, sowie an der Kopfhaltung. Wird die regulatorische Apparatur nun durch abnorme Stellungen und Haltungen über das „vorgesehene“ Maß hinaus belastet, so muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß eine Diskrepanz zwischen auslösender Stellungs-, resp. Haltungsänderung und quantitativ dosiertem Regulationsvorgang auftritt. So weiß man aus eigener Erfahrung und speziell aus Untersuchungen von FISCHER⁸, daß bei erheblichen Abweichungen der Körperlängsachse von der Vertikalen, vertikalstehende Stäbe nicht mehr als ganz lotrecht wahrgenommen werden. Durch derartige „Fehlleistungen“ muß aber auch das Gesamtbild der der optischen Orientierung dienenden Afferenzen erheblich beeinflußt werden, womit eine Anzielung eines zu treffenden Punktes nicht mehr genau erfolgen kann. Daß wirklich die sensorischen Funktionen auf diese Weise beeinflußt werden, können erhellt aus den Resultaten unserer zweiten Serie, über die wir weiter unten noch eingehend sprechen werden.

Des weiteren muß aber auch daran gedacht werden, daß ein Wechsel hinsichtlich der Arbeitssituation ebensowohl jene organisatorischen Mechanismen beeinflussen kann, die der eigentlichen Bewegung zugrunde liegen. Wenn nach dem Anvisieren des Zieles die Augen geschlossen werden, erfolgt die Steuerung der Bewegung lediglich noch unter dem Einfluß der Propriozeptivität. So erscheint es verständlich, daß eine durch einen Lagewechsel bedingte veränderte Situation hinsichtlich der Tonisierung der Augen-, Hals-, Extremitäten- und Rumpfmuskulatur einen Einfluß auf die den normalen Bewegungsablauf steuernden in den Muskeln, Sehnen, Gelenken und in der Haut ihren Ausgang nehmenden afferenten Impulse ausüben kann.

Ferner muß natürlich auch in Betracht gezogen werden, daß bei Situation „A“ und „B“ zwei recht unterschiedliche *Arbeitstypen* vorliegen, indem bei den beiden verschiedenen Armstellungen auch verschiedene Muskelkompositionen für die Bewegung eingesetzt werden. Man könnte damit geneigt sein, anzunehmen, daß die Komposition „A“, d. h. die der „gewohnten“ Situation entsprechende Stellung geeigneter ist für eine Präzisionsbewegung als z. B. Situation „B“. Wir halten aber dafür, daß diesem Faktor keine erhebliche Bedeutung zukommt, denn — wie z. B. die Verhältnisse am Auge lehren (s. HESS⁹) — ist unser Bewegungsapparat nicht nur imstande, in Primärstellung präzise Bewegungen auszuführen, sondern auch in von dieser „normalen“ Lage abweichenden Sekundärstellungen. Zudem finden wir auch, wie unten noch erörtert wird, auch Präzisionsunterschiede in jenen Fällen, wo — für sensorische Leistungen — die momentane Muskelkomposition keine Rolle spielt. Schließlich ist in diesem Sinne auch die Tatsache anzuführen, daß die Präzisionsverminderung sich nur in einer bestimmten Richtung deutlich äußert, was darauf hinweist, daß es sich nicht einfach um eine „muskuläre“ Insuffizienz handeln kann.

In der Versuchsreihe II, in der es darum ging, die Leistungsfähigkeit des Augenmaßes hinsichtlich Parallelität zu untersuchen, zeigte sich ebenfalls eine Zunahme der Streuung bei aufrechter Stellung mit vertikaler Blickrichtung (Pos. B) gegenüber den Verhältnissen mit horizontaler Blickachse. Hingegen ergab die Prüfung in Rückenlage (Pos. C) eher einen wenn auch kleinen Streuungsrückgang.

Auch hier muß wieder die Frage aufgeworfen werden, auf welche Einflüsse sich diese stellungs- und haltungsbedingte Präzisionsverminderung zurückführen läßt. Offenbar sind die leistungsvermindernden Faktoren dieselben, wie sie schon für die Serie I in Bezug auf die sensiblen Funktionen erwähnt wurden. U. E. stehen auch hier, jene Mechanismen im Vordergrund, die sich primär auf die Tonisierung des Bewegungsapparates hauptsächlich von Auge und Kopf auswirken, damit das Gesamtbild der Afferenzen, das uns Auskunft über die Außenweltverhältnisse vermittelt, indirekt verändern, und so einer optimalen koordinatorischen Leistungsfähigkeit entgegenarbeiten. Im Übrigen sei hier noch kurz darauf hingewiesen, wie groß diese Leistungsfähigkeit unter „normalen“ Verhältnissen ist; ergeben doch unsere Versuche, daß z. B. bei aufrechter Haltung und Blick geradeaus die Fehler, d. h. die Abweichung von der Parallelität selten mehr als 0,4 bis 0,6 Winkelgrade (!) ausmachen.

Schließlich zeigte sich auch bei Versuchsserie III ein deutlicher Einfluß von Körperstellung und -haltung auf die Präzisionsleistung. Wird der das Werkzeug repräsentierende Stab bei senkrecht über dem Kopfe angebrachtem „Werkstück“ durch den vorgeschriebenen Spalt geführt,

dann ist die Fehlerzahl erheblich größer, als wenn in gewohnter Haltung, mit Blick geradeaus und nach vorne gerichtetem Arme gearbeitet werden kann. Hingegen läßt sich kein gesicherter Unterschied feststellen, wenn die Arbeit in Rückenlage ausgeführt werden soll. Interessant erscheint uns hier die Beobachtung, daß die Unterschiede zwischen den einzelnen Situationen nicht unwesentlich von der Schwierigkeit der Aufgabe abzuhängen scheinen. Bei Verwendung eines schmalen Spaltes ist nämlich der Quotient B/A erheblich kleiner als bei einem breiteren Spalte. Dieses Verhalten ist darauf zurückzuführen, daß bei engem Spalt (6 mm bei einer Stabdicke von 4 mm) die Fehlerzahlen absolut sehr groß und in Position B und A annähernd gleich groß sind. Wird nun die Spaltbreite vergrößert, dann vermindert sich hauptsächlich die Fehlerzahl für die Stellung aufrecht mit horizontaler Arbeitsrichtung (A), während in Position B immer noch sehr zahlreiche Kontakte auftreten. Wir sind geneigt anzunehmen, daß bei engem Spalte für die große Fehlerzahl wohl zur Hauptsache der normale und durch die hier maßgeblichen Faktoren nicht beeinflussbare feinschlägige Tremor verantwortlich ist. Bei größerer Spaltbreite ist die Amplitude dieses Tremors nicht mehr groß genug um Randberührungen herbeizuführen. Kontakte sind daher faßt ausschließlich auf Unsicherheit, d. h. mangelnde Präzision in der Bewegungssteuerung zurückzuführen. Indem diese in Stellung B erheblich vermindert ist, kommt es nun hier zu einer relativen Zunahme der Fehler. Es erlaubt — mit andern Worten — unsere Apparatur, auch die physiologischen Grenzen einer solchen Prüfmethode festzustellen. —

Bei dieser Versuchsanordnung erfolgt die Bewegung unter optischer Kontrolle. Neben dieser visuellen Regulation ist aber auch die regulatorische Mitwirkung der Tiefensensibilität von entscheidender Bedeutung. Der Einfluß der veränderten Körperlage und -haltung wird sich — entsprechend dem schon vorher Gesagten — in beiden Richtungen auswirken und damit eine verminderte Leistungsfähigkeit herbeiführen.

Es zeigt sich — zusammenfassend — in den 3 Versuchsserien, daß offenbar für Präzisionsleistungen des motorischen und sensorischen Systems optimale Arbeitssituationen bestehen, und daß umgekehrt bei abweichender Gestaltung der Arbeitsumstände eine Einbuße an Genauigkeit in Kauf genommen werden muß. Es ergibt sich — zum mindesten für die hier geprüften schematisierten Arbeitsformen — eine eindruckliche Analogie zur energetisch betonten Arbeitsform, wo, wie heute feststeht, zur Erreichung eines optimalen Nutzeffektes ebenfalls die Anpassung des Arbeitsdispositivs an die Eigenart der eingesetzten physiologischen Funktionen des Menschen von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Zusammenfassung.

1. In dieser Arbeit wurde experimentell untersucht, inwieweit sich die Arbeitssituation auf die Leistungsfähigkeit des Organismus hinsichtlich der *Präzision* von bestimmten Verrichtungen auswirkt. Insbesondere wurde der Einfluß der Körperlage und -haltung auf bestimmte, schematisierte Präzisionsleistungen geprüft.

2. Es zeigte sich in einer ersten Versuchsserie, daß die *Blindzielsicherheit* erheblich abnimmt, wenn die Bewegung bei aufrechter Körperstellung nicht bei normaler Kopfhaltung und horizontal nach vorne, sondern mit in den Nacken gelegtem Kopfe vertikal nach oben ausgeführt werden muß. Ebenso ist die Präzision etwas geringer, wenn in Rückenlage gearbeitet wird.

3. Durch die Änderung der Körperhaltung wird auch das sogenannte *Augenmaß* beeinflusst. Die Fehler in der Einschätzung der Parallelität von 2 Balken sind größer bei Blickrichtung nach oben, in aufrechter Stellung als bei Blickrichtung geradeaus. Die Arbeit in Rückenlage ergibt hier keinen sicheren Unterschied gegenüber der gewohnten Arbeitssituation.

4. In einer dritten Versuchsserie kann nachgewiesen werden, daß auch die *unter optischer Kontrolle ausgeführte Bewegung* hinsichtlich ihrer Präzision eine Einbuße erleidet, wenn bei aufrechter Stellung an dem über dem Kopfe befestigten „Werkstück“ gearbeitet werden muß, gegenüber jenen Verhältnissen mit Blick- und Armrichtung geradeaus nach vorne.

5. Die möglichen Faktoren, welche bei dieser Beeinflussung der motorischen und sensorischen Präzisionsleistungen eine Rolle spielen, werden diskutiert. Es scheinen Einflüsse von seiten der Propriozeptivität und des Vestibularapparates an Bedeutung im Vordergrund zu stehen.

Literatur.

¹ KOELLA, W.: Helv. Physiol. Acta 8, C 51 (1950). — ² FLEISCH, A., u. J. TRIPOD: Arch. exper. Path. u. Pharmacol. 200, 135 (1942). — ³ HESS, W. R.: Biol. Zbl. 61, 545 (1941), sowie: Die Naturwissensch. 30, 441 u. 537 (1942). — ⁴ MAGNUS, R.: Körperstellung, Berlin: Springer 1924. — ⁵ RADEMAKER, G. G. J.: Das Stehen. Berlin: Springer 1931. — ⁶ BARANY, R.: Zbl. Physiol. 20, 298 (1907). — ⁷ KLEJN, A. DE: Pflügers Arch. 186, 82 (1921). — ⁸ FISCHER, M. H.: Die Regulationsfunktionen des menschlichen Labyrinths. München: Bergmann 1928.

DR. WERNER KOELLA, Zürich/Schweiz, Physiologisches Inst. d. Univ., Rämistr. 69.