(Aus dem physiologischen Institut der Universität Halle.)

Psychologische und physiologische Untersuchungen über Übung und Ermüdung.

I. Mitteilung.

Von

Privatdozent Dr. phil. et med. Ernst Gellhorn,
Assistent am Institut.

(Mit 4 Textabbildungen.)

(Eingegangen am 7. März 1921.)

Die Erforschung der Übung und Ermüdung ihres Wesens und ihrer Wirkung bildet ein wichtiges Problem der Physiologie und Psychologie. So ist denn schon seit langer Zeit aus beiden Forschungsgebieten eine Reihe von Arbeiten bekannt, die sich mit dem Studium der Übung befassen, und zwar war es hauptsächlich die Wirkung der Übung auf die Muskelarbeit, Untersuchungen, die mit den verschiedensten Ergographen und Dynamometern angestellt wurden, die die Forscher reizte, und nur verhältnismäßig wenige Arbeiten erstrecken sich auf die Wirkung der Übung im Bereiche des Tastsinnes. Die Psychologen erforschten besonders die Wirkung der Übung auf das Gedächtnis. Trotz dieser Untersuchungen sind noch eine Reihe von Fragen ungelöst, an deren Beantwortung nicht nur Physiologie und Psychologie, sondern auch die praktische Medizin, insbesondere die Psychiatrie wesentlich interessiert sind.

Von großem physiologischen Interesse ist es, zu erfahren, zu welcher Leistungsfähigkeit die einzelnen Sinnesorgane durch Übung gebracht werden können, ob die so erhaltene Mehrleistung auch längere Zeit ohne weitere Übung bewahrt wird und ob hinsichtlich Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit Alters- und sexuelle Differenzen bestehen. Vereint man diese Studien mit der quantitativen Verfolgung der Übungsfähigkeit bei psychischen Vorgängen, so ist vielleicht ein näherer Einblick in das Wesen der Übung zu erhoffen; denn auch die Frage, ob die Übung zentral oder peripher bedingt ist, ist noch nicht endgültig entschieden, ebenso harrt noch die Frage der Mitübung, ihres Ausmaßes und ihrer Spezifität, der Lösung.

Psychologie und Medizin aber, und zwar besonders Psychiatrie und Hygiene erwarten von der Erforschung der Ermüdung wichtige theore-

tische und praktische Erkenntnisse. Ist es doch ebenso Aufgabe der pädagogischen Psychologie, wie der Schulhygiene, die Arbeitsdauer und die Pausenlänge in der Schule derart festzusetzen, daß Ermüdungserscheinungen bei gesunden Schulkindern möglichst hintangehalten werden und dadurch eine hohe Leistungsfähigkeit der Schüler gewährleistet wird. Und für die Psychiatrie erscheint die Ermüdungsforschung deshalb von großer Bedeutung, weil die Ermüdung nicht nur in der Ätiologie der Neurasthenie einen wichtigen Faktor bildet, sondern weil schweren Ermüdungszuständen auch bei anderen wesentlich durch hereditäre Anlage bedingten Psychosen wie z. B. bei dem manisch-depressiven Irresein die Rolle der die Erkrankung auslösenden Ursache zufallen kann.

Zur Entscheidung der eben genannten Probleme soll in den folgenden Abhandlungen ein möglichst umfangreiches Material beigebracht werden, das sich sowohl auf psychologische wie auf sinnesphysiologische Versuche erstreckt. Dabei ist die Erforschung der Übung und der Ermüdung nicht nur getrennt behandelt, sondern in den psychologischen Versuchen über Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei geistiger Arbeit, in denen die Übung fördernd auf die Größe der Arbeitsleistung wirkt und die Ermüdung eine Hemmung hervorruft, so daß von dem Ineinandergreifen beider Prozesse im wesentlichen die Arbeitsmenge und die Form der „Arbeitskurve“ (Kraepelin) resultiert, ist auch die Abhängigkeit der Ermüdung von der Übungsstufe eingehend berücksichtigt.

Im folgenden werden zunächst die Einflüsse der Übung und die Größe der Übungsfestigkeit bei einfachen psychischen und sinnesphysiologischen Prozessen dargelegt. Ferner werden Versuche über die Wirkung der Ermüdung auf Puls und Körpertemperatur mitgeteilt.

I. Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei geistiger Arbeit.

Die Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit ist für die Muskularbeit in einem Selbstversuch von Peder¹⁾ studiert worden. Die Versuche führt der Verfasser täglich am Johannsonschen Ergographen in der Weise aus, daß jeder Versuch aus 20 Arbeitsperioden besteht. In jede dieser Perioden wird ein Gewicht von 30 kg im Zweisekudentempo so lange gehoben, bis die Hubhöhe infolge der Ermüdung minimal geworden ist. Nach einer Pause von 3 Minuten beginnt die nächste Periode und so fort. Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß bei einer 52tägigen Versuchsdauer die Arbeitsleistung von 4038 kg-m auf 27838 kg-m zunimmt. Dabei entfällt die Steigerung der Arbeitsleistung durch die Übung wesentlich auf die Zahl der Kontraktionen, die von 517 auf 3110 zunehmen, während die Vergrößerung der Hubhöhe unwesentlich ist. Die Zahl der Hubhöhen

¹⁾ Skand. Archiv f. Physiol. 7, 315. 1912.

hängt nun nicht von der Muskulatur, sondern wesentlich vom Zentralnervensystem ab, worauf schon Kraepelin hingewiesen hat. Dagegen wird die Vergrößerung der Muskelzuckung durch die Zunahme der Muskulatur bedingt. Wiederholte nun Peder 8 Tage nach Beendigung der Übungsperiode den Versuch, so blieb 50% der maximalen Arbeitsleistung erhalten. Bei 14tägiger Pause beträgt die Arbeitsmenge noch 37% und nach 4wöchentlicher Pause 29% des Übungsmaximums. Da auch in diesen Zahlen die ziemlich hohe Festigkeit, mit der das Übungsmaximum zum großen Teil bewahrt wird, durch die Zahl der Kontraktionen und nicht durch ihre Höhe hervorgerufen ist, so ergibt sich, daß Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei Muskularbeit nach dem Versuch von Peder wesentlich durch die am Zentralnervensystem stattfindenden Übungsvorgänge bedingt ist. Dennoch spielt die Muskulatur insofern eine nicht unbedeutende Rolle, als neben der Beeinflussung der Hubhöhe, deren Größe von der Masse der Muskelsubstanz abhängig ist, in den die Muskulatur versorgenden sensiblen Nerven schmerzhaft Empfindungen entstehen, die bei so exzessiver Muskularbeit besonders im Anfange der Übungsperiode und vermutlich auch in den nach Abschluß der Übungsversuche in größeren Pausen vorgenommenen Experimenten, die der Ermittlung der Größe der Übungsfestigkeit dienen, die Übungsphänomene des Zentralnervensystems in nicht näher kontrollierbarer Weise in ungünstigem Sinne beeinflussen. Bedenkt man ferner, daß gerade die Intensität dieser Schmerzempfindungen individuell sehr verschieden ist, so sieht man, daß zur exakten Erforschung der Übungsphänomene die Untersuchung möglichst einfacher psychischer Vorgänge, in denen hemmende oder fördernde Einflüsse auf die zentralen Übungserscheinungen von seiten der Peripherie möglichst vollständig ausgeschlossen werden können, geeigneter sein dürfte als die Muskularbeit.

Hierzu sind aber die Übungserscheinungen des Gedächtnisses, die Ebert und Meumann¹⁾ zum Inhalt einer grundlegenden Studie gemacht haben, auch nicht geeignet, da in ihnen bereits hohe psychische Spezialfunktionen zur Untersuchung kommen und somit eine Verallgemeinerung ihrer Ergebnisse nicht zulässig erscheint. Deshalb wurde als Methode das Bourdonsche Verfahren gewählt²⁾.

Dieses besteht darin, daß in einem bestimmten Texte ein oder mehrere Buchstaben so schnell als möglich ausgestrichen werden. Für jeden Versuch wird die Dauer und Fehlerzahl bestimmt. Gelingt es, die Fehlerzahl bis dicht an die Nullgrenze herabzudrücken, so daß sie keinen Einfluß auf die Dauer der Versuche

¹⁾ Arch. für die ges. Psychol. 4. 1905.

²⁾ Hinsichtlich der genauen Methodik vgl. die ausführliche Arbeit: Ernst Gellhorn, Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei geistiger Arbeit, Leipzig 1920 (zugleich Beiheft 23 der Zeitschr. f. angew. Psychologie). Dasselbst finden sich auch die ausführlichen Tabellen sowie die genauere psychologische Analyse der Versuche.

hat, so ist die Zeitdauer des Versuches der Übungsstufe umgekehrt proportional. Denn die Dauer des Versuches nimmt mit zunehmender Übung ab.

Zur Ausschaltung der Gedächtnisfunktion wird von dem Ausstreichen mehrerer Buchstaben abgesehen und lediglich das Ausstreichen eines Buchstabens (a) gefordert.

Der Text wird in je 10 Reihen eingeteilt, und die für das Ausstreichen des Buchstabens a in diesen Zeilen erforderliche Zeit wird festgestellt. Die Fehler bestehen fast ausschließlich im Übersehen des Buchstabens a, sind aber bei dieser Versuchsanordnung so gering an Zahl, daß sie nur bei den Versuchen des ersten Versuchstages in Rechnung gestellt werden müssen.

Die Versuche über die Übungsfähigkeit, in denen durch die Übung die größte Arbeitsschnelligkeit erreicht wird, werden an 19 Versuchspersonen angestellt, die entsprechend ihrer Berufstätigkeit in die Gruppe der Kopfarbeiter (Gruppe I in Abb. 1) und in die der Handarbeiter (Gruppe II in Abb. 1a) gesondert werden. Für die Auswahl der Versuchspersonen ist lediglich das Bestreben maßgebend, gesunde Durchschnittsmenschen (im vulgären Sinne des Wortes) zu den Versuchen heranzuziehen, um so ein Bild von der Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit des Erwachsenen bei einer geistigen Arbeit zu erhalten.

Als einheitliches Arbeitspensum wird das Ausstreichen des Buchstabens a in 10 Zehnreihenversuchen bezeichnet. Die erste Versuchsreihe umfaßt 5 bzw. 6 Tage. An jedem Tage muß die Versuchsperson 60 Zehnreihenversuche mit je 10 Sekunden Zwischenzeit ausführen. Dann werden an den drei folgenden Tagen je 10 Zehnreihenversuche angestellt und auf diese Weise das Übungsmaximum erreicht. In den Abb. 1 und 1a sind die Resultate graphisch wiedergegeben¹⁾. Für jeden der ersten 5 bzw. 6 Versuchstage ist die durchschnittliche Arbeitsschnelligkeit bezeichnet, ebenso die durchschnittliche Schnelligkeit in den an den drei folgenden Tagen ausgeführten Versuchen (Spalte A der Abb. 1 und 1a).

Zunächst seien bei der Betrachtung der Abbildungen die Kurven der Vp. 1 und g weggelassen, die von mehr als 45 Jahre alten Versuchspersonen herrühren und deshalb ebenso wie die Kurve der Vp. 5 aus weiter unten zu besprechenden Gründen erst später berücksichtigt werden sollen.

Aus den Kurven der Abb. 1 und 1a geht hervor, daß bei beiden Gruppen die zwischen den verschiedenen Versuchspersonen jeder Gruppe am ersten Versuchstage bestehenden außerordentlich großen Differenzen in bezug auf die Dauer der Ausführung des Arbeitspensums allmählich geringer werden. Es zeigt also die Übung einen nivellierenden Einfluß auf die individuellen Differenzen.

Bei der Erklärung dieser interessanten Tatsache könnte man daran denken, daß dieses Resultat nur dadurch vorgetäuscht werde, daß am ersten Versuchstage, an dem, wie erwähnt, die Fehlerzahl teilweise eine ziemlich große ist, die Fehlerzahl die Ursache der individuellen Differenzen ist. Dies ist jedoch nicht der Fall, und auch die verschieden große Übungsfähigkeit der Versuchspersonen ist hierfür ohne Belang. Denn die Versuchspersonen, die am ersten Versuchstage eine sehr viel längere

¹⁾ Der Übersichtlichkeit wegen sind nur von 5 Versuchspersonen jeder Gruppe die Kurven reproduziert, doch sind diese so ausgewählt, daß die Kurven der übrigen Versuchspersonen innerhalb dieser Grenzen liegen.

Abb. 1 und 1 a. Versuche über Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei Kopf- (Abb. 1) und Handarbeitern (Abb. 1 a). Die Kurven geben die Dauer für die Ausführung des einheitlichen Arbeitspensums in Sekunden an.

Zeit für das gewählte Arbeitspensum gebrauchen als andere, unterscheiden sich von diesen am Ende der Versuchsreihe oft nicht wesentlich.

Vergleicht man nun die Variationsbreite der geringsten Arbeitsgeschwindigkeiten der beiden Gruppen miteinander, so sieht man, daß sie bei beiden Gruppen sich teilweise deckt. Die Verteilung der Versuchspersonen auf diese gemeinsame Zone ergibt jedoch, daß ein

beträchtlicher quantitativer Unterschied hinsichtlich der Größe der geringsten Arbeitsschnelligkeit am Anfange der Versuchsreihe besteht, derart, daß Gruppe II mit einer einzigen Ausnahme eine geringere Arbeitsschnelligkeit am ersten Versuchstage zeigt als Gruppe I.

Die Vergleichung der Variationsbreite der größten Arbeitsschnelligkeit der beiden Gruppen am Ende der Versuchsreihe ergibt die gemeinsame Strecke von 394—361 Sekunden. Auch hier gehen wiederum die Versuchspersonen der ersten Gruppe über diese Strecke nach unten hinaus, zeigen also eine erhebliche höhere Arbeitsschnelligkeit als die Versuchspersonen der zweiten Gruppe, die die gemeinsame Zone nach oben verlängern. Dennoch besteht hinsichtlich des durch die Übung erzielten Fortschrittes, der bei Gruppe I 22—43%, bei Gruppe II 21—48% beträgt, kein wesentlicher Unterschied.

Das Alter hat bei den 18—43jährigen Versuchspersonen keinen Einfluß auf die Größe der Arbeitsschnelligkeit. Denn in jeder Gruppe finden sich Versuchspersonen von etwa gleichem Alter, die in bezug auf die Arbeitsschnelligkeit weit stärker untereinander differieren als mit jüngeren oder älteren Versuchspersonen derselben Gruppe. Ein erheblicher Unterschied gegenüber den von diesen Versuchspersonen gewonnenen Zahlen wird aber bei den mehr als 45jährigen Versuchspersonen festgestellt, die in beiden Gruppen hinsichtlich der geringsten und der größten Arbeitsschnelligkeit sehr erheblich hinter den jüngeren Versuchspersonen der gleichen Gruppe zurückstehen. Als Beispiel hierfür findet sich in Abb. 1 und 1a die Kurve der 47 Jahre alten Vp. g und der 48 Jahre alten Vp. 1. An mehreren anderen Versuchspersonen gleichen Alters konnte dieses Verhalten bestätigt werden. Nur die Vp. 5 ergibt Werte, die sich von denen der mehr als 45 Jahre alten Versuchspersonen nicht wesentlich unterscheiden. Es zeigt sich aber, daß Vp. 5 stark neurasthenisch ist und infolgedessen an einem Mangel an Konzentrationsfähigkeit der Aufmerksamkeit leidet. Auch die an dieser Versuchsperson nachweisbare leichte Schwankung der Stimmung hat ungünstig auf die Arbeitsleistung eingewirkt. Die später vorgenommene neurologische Untersuchung wies lebhafte Reflexe, leichten Tremor der Hände, Dermographie sowie einen schwach positiven, psychogen bedingten Romberg nach.

Aus diesen Gründen dürfte es erlaubt sein, die Ergebnisse der Vp. 5 auszuschalten und zu schließen, daß auch bei Gruppe II die Arbeitsschnelligkeit jenseits des 45. Lebensjahres erheblich geringer wird. Stellt man, je nach der Größe der Arbeitsschnelligkeit mit den besten beginnend, die Reihenfolge der verschiedenen untersuchten Gruppen fest, so ergibt sich, daß die Gruppe der 18—43jährigen Kopfarbeiter an der Spitze steht, dann folgt ihr die Gruppe der gleichaltrigen Handarbeiter, und erst nach dieser kommen die Gruppen der über 45 Jahre

alten Kopfarbeiter und darauf die Handarbeiter desselben Alters. Zu bemerken ist hierzu, daß die geringsten Arbeitsgeschwindigkeiten der dritten Gruppe noch innerhalb der Variationsbreite der geringsten Arbeitsschnelligkeit der zweiten Gruppe fallen, während ihre größten Arbeitsgeschwindigkeiten bereits bedeutend kleiner als die der zweiten Gruppe sind.

Die Gesamtübungsfähigkeit der Versuchspersonen von mehr als 45 Jahren ist in beiden Gruppen im wesentlichen gleich groß, scheint aber etwas geringer zu sein als die Gesamtübungsfähigkeit der Mehrzahl der 18—43 Jahre alten Versuchspersonen. Es sei an dieser Stelle bemerkt, daß die geringere Leistungsfähigkeit der über 45 Jahre alten Versuchspersonen nicht etwa die Folge der Abnahme der Akkommodationsfähigkeit des Auges ist, da diese unter Zuhilfenahme der passenden Brille ausgeglichen war.

Wie hat man sich nun die quantitativen Unterschiede in der Arbeitsschnelligkeit zwischen den Gruppen der sogenannten Kopf- und Handarbeiter zu erklären? Sicher ist, daß die Arbeitsschnelligkeit nicht etwa der Intelligenzgröße parallel geht. Dagegen dürfte die größere Leistungsfähigkeit der Gruppe der sogenannten Kopfarbeiter durch die geistige Berufsarbeit im Sinne der Mitübung zu erklären sein.

Für die erhebliche Herabsetzung der Arbeitsschnelligkeit der mehr als 45jährigen Versuchspersonen gegenüber den übrigen, die im Alter von 18—43 Jahren stehen, dürften wohl physiologische bzw. pathologische Veränderungen maßgebend sein. Denn in diesem Alter pflegt ein hoher Prozentsatz der Individuen mehr oder minder starke degenerative Veränderungen an den Hirnarterien, die atherosklerotischer Natur sind, zu besitzen. Da aber jedes tätige Organ gegenüber seinem Ruhezustande einen vermehrten Blutzufluß aufweist und dieser Zustand, der auch für das Gehirn in plethysmographischen Untersuchungen durch die Volumenzunahme des Gehirns während geistiger Arbeit nachgewiesen ist, von der Dilatationsfähigkeit der Hirngefäße abhängt, so folgt, daß die Blutversorgung des Gehirns eines Arteriosklerotikers während der geistigen Arbeit mangelhafter sein wird als die eines von Atherosklerose freien jüngeren Individuums. Dadurch, daß nun dem arbeitenden Gehirn weniger Nährstoffe zugeführt werden, können sich auch die dem Übungsvorgang zugrunde liegenden physiologischen Vorgänge nicht in gleichem Maße entwickeln, sei es nun, daß man mit Verworn¹⁾ unter dem Einflusse sich häufig wiederholender dissimilatorischer Reize eine „Substanzvermehrung des Ganglienzellprotoplasmas“ annimmt oder eher an einen veränderten (beschleunigten) Ablauf des Stoffwechsels der Zelle denkt, der durch Beeinflussung ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit bedingt sein kann. Auch bei negativem pathologisch-anato-

¹⁾ Zeitschr. f. allg. Physiol. 6, 119. 1907.

mischen Befund an den Hirnarterien könnte man dennoch eine funktionelle Schädigung nicht ausschließen. Vielleicht spielen auch regressive Veränderungen der Ganglienzellen selbst eine Rolle.

Nach der Vergleichung der Versuchspersonen in bezug auf die Größe der Arbeitsschnelligkeit sei im folgenden der individuelle Charakter der Arbeitskurve des näheren erörtert. Zum Studium dieser Frage mögen die in Abb. 2 wiedergegebenen arithmetischen Mittel der Dauer des ersten und zweiten, des dritten und vierten und endlich des fünften und sechsten einheitlichen Arbeitspensums eines jeden der 5 bzw. 6 Versuchstage dienen.

Aus den Versuchen ergibt sich, daß bei fast sämtlichen Versuchspersonen der Übungsfortschritt von Tag zu Tag geringer wird, derart, daß er am letzten oder auch vorletzten Versuchstage teils sehr gering, teils Null, teils negativ wird. Von diesem Verhalten macht nur bisweilen der erste Versuchstag eine, wie sich zeigen läßt, scheinbare Ausnahme, da an diesem Tage nicht selten (vgl. die Kurve der Vp. 5) der Übungsfortschritt Null bzw. negativ ist. Dies liegt jedoch daran, daß die Fehlerzahl bei dieser Versuchsperson am ersten Versuchstage nicht unbeträchtlich ist, und daß entsprechend dem Sinken der Fehlerzahl die für das gewählte Arbeitspensum gebrauchte Arbeitszeit zunimmt.

Vergleicht man den gesamten Übungsfortschritt jedes einzelnen Versuchstages der verschiedenen Versuchspersonen untereinander, so ergeben sich große Unterschiede. So ist der Übungsfortschritt an einem Versuchstage bei der Vp. a niemals größer als 3%; an drei Versuchstagen ist er sogar stark negativ (— 9%, — 6%, — 10%), während der Übungsfortschritt der Vp. b niemals geringer als 11% ist. Dennoch ist die geringste und die größte Arbeitsschnelligkeit der beiden Versuchspersonen fast gleich groß, da an den 3 letzten Arbeitstagen, deren Ergebnis in der Abbildung nicht vermerkt ist, auch von der Vp. a nur 371 Sekunden für das Arbeitspensum gebraucht werden. Obwohl also die Größe der Gesamtübungsfähigkeit der beiden Versuchspersonen übereinstimmt, sie ferner im Alter (a ist 23, b 18 Jahre alt) fast nicht differieren und auch derselben Gruppe angehören, so ist doch die Art des Übungsverlaufes eine völlig verschiedene. Denn während bei Vp. b der Übungsfortschritt hauptsächlich während des Versuches zustande kommt, fällt der Übungsfortschritt bei Vp. a in die Pausen, in denen nicht gearbeitet wird. Dies wird besonders deutlich bei Betrachtung der Kurven der beiden Versuchspersonen in Abb. 2. Die Kurven der Vp. a sind anfangs wagerecht und steigen in den späteren Versuchen sogar immer mehr an, d. h. die Arbeitsschnelligkeit ist an den ersten beiden Tagen fast unverändert, an den späteren Versuchstagen nimmt sie sogar während des Versuches ab. Dagegen beginnt jede Kurve beträchtlich tiefer als die Kurve des vorhergehenden Tages, d. h. der Übungsfortschritt, der kenntlich ist

an der zur Ausführung des Arbeitspensums notwendigen verminderten Zeit, ist stets in die Zeit der Pausen gefallen. Das entgegengesetzte Verhalten zeigt Vp. b. Hier fällt der Übungsfortschritt wesentlich in die Zeit der Versuche, denn abgesehen von dem zweiten Versuchstage, der

Abb. 2. Die individuelle Form der Arbeitskurve auf verschiedenen Übungsstufen nach Versuchen mit dem Bourdonschen Verfahren. Die Kurven stammen von den Vp. a, b, c und 5 (von links nach rechts).

mit einer erheblich größeren Arbeitsschnelligkeit beginnt, als mit der der erste Versuchstag geendet hat, ist der Übungsfortschritt in den Pausen minimal, dagegen, wie der steile Abfall der Kurven zeigt, während der Arbeit sehr bedeutend.

In Übereinstimmung mit den Forschungen Exners¹⁾ findet sich auch in den geschilderten Versuchen eine Zunahme der Arbeitsschnelligkeit in den Pausen, die zwischen den einzelnen Versuchstagen liegen. Ergänzend sei aber hinzugefügt, daß drei verschiedene Menschentypen nach der Art, in der die Zunahme der Arbeitsschnelligkeit erfolgt, unterschieden werden können. Der erste Typus (vgl. Vp. a) zeigt eine bedeutende Zunahme der Leistungsfähigkeit in der Zeit der Pausen, während in der Zeit der Versuche selbst ein nur unbedeutender oder kein Übungsfortschritt erzielt wird. Der zweite Typus (vgl. Vp. 5) zeigt im wesentlichen das umgekehrte Verhalten, indem der Übungsfortschritt hauptsächlich während der Versuche selbst und nicht in der Pause zustande kommt. Der dritte Typus (vgl. Vp. c), der sich bei den meisten

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. 7. 1873.

Versuchspersonen findet, zeigt in wechselndem Maße den Übungsfortschritt teils in der Zeit der Übungsversuche, teils während der Pausen.

Will man die verschiedenen individuellen Formen der Arbeitskurven und die Modifikationen, die jede Arbeitskurve erfährt, je mehr sich die Versuchsperson der größten Arbeitsschnelligkeit nähert, durch ein gleiches Prinzip erklären, so scheint die Grundlage hierfür in der individuell verschieden großen Ermüdbarkeit der Versuchsperson einerseits, in der mit der Annäherung an die größte Arbeitsschnelligkeit stets abnehmenden Übungsfähigkeit andererseits zu beruhen. Danach sind die Arbeitskurven der Vp. b charakteristisch durch ihre minimale Ermüdbarkeit. Die Ermüdung scheint nur indirekt dadurch zum Ausdruck zu kommen, daß an den späteren Versuchstagen ein geringerer Übungsfortschritt erreicht wird als am ersten und zweiten Versuchstage. Im Gegensatz hierzu muß man in der Vp. a ein sehr leicht ermüdbares Individuum sehen. Denn hier zeigt sich an den späteren Versuchstagen die Zunahme der Ermüdkarbeit nicht etwa in einer Abschwächung des Übungsfortschrittes, sondern dieser wird vollkommen verdeckt, und es resultiert eine Ermüdungskurve, die immer stärker wird, je mehr sich die Versuchsperson der größten Arbeitsschnelligkeit nähert. Während bei der Vp. b die größte Arbeitsschnelligkeit jedes Versuchstages stets am Ende der Kurve liegt und durch die Übung herbeigeführt ist, liegt sie bei der Vp. a stets am Anfange. Zwischen diesen beiden Extremen lassen sich nach dem Grade der Ermüdbarkeit mühelos die Arbeitskurven der übrigen Versuchspersonen einordnen.

Es dürfte aber die durch ein bestimmtes Arbeitsquantum hervorgerufene Ermüdung tatsächlich bei einer geübten Versuchsperson nicht größer sein als früher, da sie noch ungeübt war. Es ist vielmehr wahrscheinlicher, daß die Ermüdbarkeit jeder Versuchsperson gleich bleibt auf allen Übungsstufen. Nur weil die Übungsfähigkeit allmählich abnimmt, um schließlich gleich Null zu werden, kommt die auf allen Übungsstufen gleich große Ermüdbarkeit um so mehr zur Geltung, je höher die erreichte Übungsstufe ist. Deshalb gibt die am letzten Versuchstage erhaltene Kurve am deutlichsten den Grad der Ermüdbarkeit an; denn diese bestimmt allein die Form der Kurve, da die Übungsfähigkeit Null oder fast Null geworden ist. Daher wird von nur schwer ermüdbaren Versuchspersonen eine fast horizontale Kurve auf der höchsten Übungsstufe erhalten, während bei den mittelschwer und leicht ermüdbaren Versuchspersonen die Kurve mehr oder weniger ansteigt, d. h. die Dauer für die Ausführung des gewählten Arbeitspensums im Verhältnis zu dem Anfangswert an demselben Versuchstage mehr oder minder zunimmt.

Der Gegensatz zwischen diesen Ergebnissen und der von Kraepelin¹⁾

¹⁾ Kraepelin, Die Arbeitskurve. Leipzig 1902.

vertretenen Anschauung, daß auf höheren Übungsstufen die Ermüdbarkeit geringer sei als auf einer niedrigen Übungsstufe, ist vielleicht dadurch zu erklären, daß Kraepelin nur schwer ermüdbare Versuchspersonen untersucht hat, die auf der höchsten Übungsstufe eine annähernd horizontale Kurve ergeben und somit nur eine minimale Ermüdbarkeit zeigen. Das geschilderte umgekehrte Verhalten der leicht ermüdbaren Versuchspersonen, das z. B. die Vp. a zeigt, wurde deshalb von Kraepelin nicht berücksichtigt.

Eine konstante Beziehung zwischen den oben dargestellten Formen des Übungsfortschrittes und den je nach dem Grade der Ermüdbarkeit zu unterscheidenden Typen besteht insofern, als bei dem am leichtesten ermüdbaren Typus der Übungsfortschritt fast nur in die Zeit der Pausen fällt. Der mittelschwer und schwer ermüdbare Typus zeigt den Übungsfortschritt entweder nur während der Versuche oder in wechselndem Maße in der Zeit der Übungsversuche und der Pausen.

Alter und Ermüdbarkeit zeigen keine konstanten Beziehungen zueinander. Vielmehr dürfte der Grad der Ermüdbarkeit, sofern vorhergehende Erkrankungen und Überanstrengungen ausgeschlossen werden können, durch die verschiedene Konstitution der Versuchspersonen bedingt sein, ein Gedanke, dessen Richtigkeit von Friedrich Kraus¹⁾ schon 1897 durch experimentelle Untersuchungen bewiesen wurde.

Da im vorstehenden die durch Übung erreichbare Vermehrung der Arbeitsschnelligkeit und die Form des Übungsfortschrittes näher erörtert worden ist, so bleibt nun noch übrig, die Versuche zu schildern, die die Übungsfestigkeit ermitteln, d. h. angeben sollen, wieviel Prozente der durch Übung erreichten größten Arbeitsschnelligkeit für eine bestimmte geistige Arbeit erhalten bleiben, wenn diese geistige Arbeit nicht mehr geübt wird.

Zu diesem Zwecke führten 17 Versuchspersonen nach Erlangung der durch Übung erzielten größten Arbeitsschnelligkeit wöchentlich einmal unter sonst gleichen Umständen das gewählte Arbeitspensum aus.

Aus der Abb. 1 und 1a ist ersichtlich, daß die meisten Versuchspersonen keine kontinuierlich ansteigenden Kurven aufweisen; vielmehr sind Kurven von mehr oder minder schwankendem Charakter vorherrschend. Es ergibt sich nun, daß in 11 Fällen = 69% keine Abnahme der Arbeitsschnelligkeit innerhalb 6 Wochen zu verzeichnen ist. Legt man bei den Versuchspersonen, die eine geringere Übungsfestigkeit aufweisen, das arithmetische Mittel aus den Versuchszeiten der 4., 5. und 6. Woche der Berechnung der Übungsfestigkeit zugrunde, so ergibt sich, daß der Übungsverlust bei den verschiedenen Versuchspersonen zwischen 6 und 14% schwankt. Er ist bei den Versuchspersonen

¹⁾ Kraus, Die Ermüdung als ein Maß der Konstitution. Bibliotheca medica. 1897.

sonen der Handarbeitergruppe deutlich geringer, als bei den Kopfarbeitern, doch muß vorläufig noch unentschieden bleiben, ob dieses Ergebnis als zufällig zu bewerten ist oder nicht. Die Kurven der Versuchspersonen, die keinen Übungsverlust aufweisen, zeigen bald geringere, bald größere Schwankungen. Die beträchtliche Zunahme der Versuchsdauer bei der Vp. 1 in der 4. Woche ist auf äußere Gründe (drückende Hitze) zurückzuführen. Der unbestimmte, schwankende Verlauf der Kurve der Vp. 5 scheint auf inneren Ursachen zu beruhen und dürfte durch den gerade für den Neurastheniker charakteristischen Stimmungswechsel und seine hochgradige Unfähigkeit zur Konzentration der Aufmerksamkeit verursacht sein. Ein Einfluß des Alters, etwa in dem Sinne, daß die Übungsfestigkeit jenseits des 45. Lebensjahres abnähme, läßt sich nicht nachweisen. Da sich vielmehr auch Versuchspersonen gleichen Alters hinsichtlich der Übungsfestigkeit sehr verschieden verhalten, ist ein Zusammenhang zwischen Lebensalter und Größe der Übungsfestigkeit nicht festzustellen.

Die Fortsetzung der Versuche über die Übungsfestigkeit ergibt, daß auch nach einer weiteren Pause von 28 Tagen der Übungsverlust nur in 3 von 10 Fällen eine Zunahme erfährt. Die Größe des Übungsverlustes ist jedoch im allgemeinen innerhalb der ersten 4 Wochen bedeutender als innerhalb der 6.—10. Woche. Mithin besteht bei der Hälfte der Versuchspersonen auch 10 Wochen nach Erreichung der größten Arbeitsschnelligkeit kein Übungsverlust; sie besitzen also für diesen Zeitraum eine vollkommene Übungsfestigkeit.

In Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Bischoff¹⁾ und im Gegensatz zu den Anschauungen von Kraepelin ergibt sich auch aus den vorliegenden Untersuchungen, daß Übungsfähigkeit, Übungsfestigkeit und Ermüdbarkeit hinsichtlich ihrer Größenverhältnisse in keinem konstanten Verhältnis zueinander stehen.

Die Aufgabe der folgenden Versuche ist es, zu ermitteln, von welchen Faktoren die Größe der Übungsfähigkeit und der Übungsfestigkeit abhängig ist. Zuerst wurde der Einfluß der Menge der geleisteten Arbeit in dieser Hinsicht untersucht. Sollten die Versuche mit verschiedenen Versuchspersonen in bezug auf die Erreichung des Arbeitsmaximums das gleiche Ergebnis zeitigen, so blieb die Aufgabe, zu ermitteln, bei welcher Verteilung von Arbeitsmenge und Pausenlänge im ökonomischen Sinne am zweckmäßigsten gearbeitet würde.

Aus den bisher geschilderten Versuchen ist zu entnehmen, daß bei täglicher Ausführung von 6 Arbeitspensa (60 Zehnreihenversuchen) das Maximum am 6. Versuchstage stets erreicht wird. Als Beispiel hierfür findet sich in Abb. 3 die Kurve der Vp. b und f. Wird die tägliche Ar-

¹⁾ Untersuchungen über Übungsfähigkeit und Ermüdbarkeit bei geistiger und körperlicher Arbeit. Archiv f. d. ges. Psychol. 22, 323. 1912.

beitsmenge auf zwei Arbeitspensen reduziert, so gelangen die Versuchspersonen, obwohl sie nur 38% der Arbeitsmenge der Versuchspersonen b und f ausführen, dennoch ebenfalls am 6. Versuchstage zum Übungsmaximum (vgl. die Kurven der Vp. Ra. und Sch. in Abb. 3).

Abb. 3. Die Abhängigkeit der Übungsfähigkeit von der Arbeitsmenge. Ordinate = Dauer des Arbeitspensums in Sekunden.

Die Vp. b und f führen 6 Arbeitspensen pro die aus
 „ „ Ra. und Sch. „ 2 „ „ „
 „ „ Pe. führt 1 Arbeitspensum „ „ „
 „ „ Fo. „ $\frac{1}{2}$ „ „ „ „
 „ „ Hem. u. Her. führen 1 „ „ jeden zweiten Tag aus.

Für die Gruppe der Handarbeiter konnte die gleiche Tatsache festgestellt werden, und ebenso ergeben auch die Versuche mit der 48jährigen Versuchsperson M. ein analoges Verhalten. Die von den Versuchspersonen für die größte Arbeitsschnelligkeit erhaltenen Werte liegen innerhalb der für die beiden Gruppen gefundenen Variationsbreiten der größten Arbeitsschnelligkeit.

Es hat sich also übereinstimmend gezeigt, daß unabhängig von Beruf und Lebensalter die Herabsetzung des täglichen Arbeitspensums auf fast $\frac{1}{3}$ keine Verzögerung in der Erlangung der maximalen Arbeitsschnelligkeit verursacht.

Um nun zu untersuchen, ob eine weitere Verkleinerung der Arbeitsmenge statthaft ist, ohne daß die Erlangung der größten Arbeitsgeschwindigkeit unökonomischer wird, führen mehrere Versuchspersonen (vgl. Pe. in Abb. 3) mit einem Zwischenraum von 24 Stunden zwischen den einzelnen Versuchen je ein Arbeitspensum aus. Die Versuche zeigen in völliger Übereinstimmung bei Kopf- und Handarbeitern, daß selbst nach 12 Tagen die größte Arbeitsschnelligkeit nicht erlangt werden kann, sondern daß hierzu der Versuch noch länger fortgesetzt werden muß.

Während also die maximale Arbeitsschnelligkeit, wie die an den Vp. Ra. und Sch. ausgeführten Versuche beweisen, durch Absolvierung von 12—14 Arbeitspensas erlangt wird, wenn täglich je zwei Arbeitspensas ausgeführt werden, ist mit derselben Arbeitsmenge das gleiche Ziel nicht zu erreichen, wenn die Verteilung der Arbeitsmenge in dem Sinne geändert wird, daß täglich nur ein Arbeitspensum erledigt wird.

Vergrößert man nunmehr die Pause zwischen den einzelnen Versuchen auf 48 Stunden und läßt an jedem Versuchstage je ein Arbeitspensum ausführen, so ergibt sich (vgl. die Kurven der Vp. Hem. und Her. in Abb. 3) das paradoxe Resultat, daß auf diese Weise das Arbeitsmaximum schon nach 7—9 Arbeitspensas am 13., 15. oder 17. Versuchstage erreicht wird. Es ist mithin die eben geschilderte Arbeitsform im ökonomischen Sinne die beste. Auch dies gilt für Kopf- und Handarbeiter ohne Unterschied des Alters.

Die weitere Verringerung des Arbeitspensums, so daß täglich nur ein halbes Arbeitspensum (5 Zehnreihenversuche) ausgeführt wird, gibt, wie aus der Kurve der Vp. Fo. ersichtlich ist, keine Resultate, die die letzte Arbeitsform in ökonomischer Hinsicht übertreffen.

Die bemerkenswerte Tatsache, daß Versuchspersonen von verschiedenem Alter, geringer oder großer Ermüdbarkeit und ganz differenter Bildungsstufe (Kopf- und Handarbeiter) innerhalb der gefundenen Variationsbreiten einen von der Arbeitsmenge und Pausengröße völlig abhängigen und konstanten Verlauf der Arbeitsschnelligkeit zeigen, bedeutet, daß sowohl die günstigste wie die ungünstigste Pause bei einer jeweils genau bestimmten Arbeitsmenge für alle Versuchspersonen konstant ist. Lindley¹⁾ hatte dagegen gefunden, daß bei den einzelnen Versuchspersonen die günstigste Pause nicht unbedeutend variiert, und hatte die Ursache hierfür in der differenten Anregung und Ermüdbarkeit gesehen. Unsere abweichenden Ergebnisse dürften aber dadurch aufgeklärt werden, daß die kurzen Pausen von 15—60 Minuten in den Versuchen Lindleys die individuell verschiedenen Größen der Ermüdbarkeit und der Anregung hervortreten lassen, während diese bei den Pausen von 24 oder 48 Stunden, wie sie in den geschilderten Versuchen

¹⁾ Kraepelin, Psychologische Arbeiten 3. 1900.

bestanden, völlig zurücktreten müssen. Es scheint deshalb der gesetzmäßige Ablauf des Übungsvorganges, der daraus hervorgeht, daß z. B. alle Versuchspersonen mit einem täglichen einfachen Arbeitspensum die maximale Arbeitsschnelligkeit auch nach 12 Versuchstagen noch nicht erreichen, während die Versuchspersonen mit einer täglichen Arbeitsmenge von 2 Arbeitspensas die größte Arbeitsschnelligkeit stets am 6. oder 7. Arbeitstage erlangen, darauf hinzuweisen, daß unabhängig von den individuellen Faktoren der psychischen Persönlichkeit ein allen Versuchspersonen gemeinsames physiologisches Geschehen die relative Größe der Arbeitsschnelligkeit und ihre Vermehrung unter dem Einflusse der Übung bestimmt. Denn trotz der gefundenen zwischen sog. Kopf- und Handarbeitern sowie zwischen mehr als 45 Jahre alten und jüngeren Versuchspersonen bestehenden absoluten Differenzen in der Größe der Arbeitsschnelligkeit ist die Erlangung der maximalen Arbeitsschnelligkeit bei allen Versuchspersonen stets an dieselben Bedingungen geknüpft. Dies scheinen die geschilderten Versuche eindeutig erwiesen zu haben.

Die mit dem Bourdonschen Verfahren erhaltenen Ergebnisse erinnern in hohem Maße an die Erfahrungen des praktischen Lebens. Denn es ist bekannt, daß nicht nur für gewisse Gedächtnisleistungen (z. B. Auswendiglernen) die Verteilung von Arbeitsmenge und Pause für die Lösung der gestellten Aufgabe von hoher Bedeutung ist, sondern bei den verschiedensten geistigen Arbeiten erweist sich die Steigerung der Arbeitsmenge über ein gewisses Quantum hinaus als unökonomisch, während bei richtiger Verteilung der Arbeit die maximale Arbeitsleistung, die die gestellte Aufgabe in relativ kurzer Zeit bewältigt, ziemlich schnell herbeigeführt werden kann. Andererseits findet man auch im praktischen Leben, daß die allzustarke Verminderung des täglichen Arbeitsquantums einer bestimmten geistigen Arbeit schädlich ist, da so die für die Ausführung der Arbeit erforderliche Übungsstufe erst sehr spät erreicht wird.

Diese Übereinstimmung der Übungsphänomene bei der mit dem Bourdonschen Verfahren geleisteten Arbeit mit der Übung des Gedächtnisses und hochkomplizierter geistiger Tätigkeiten legt den Gedanken nahe, daß mit dem Bourdonschen Verfahren ein typischer Bestandteil jeder geistigen Arbeit untersucht wird. Und dies scheint in der Tat der Fall zu sein. Denn die Mehrzahl der Autoren sieht in dem Bourdonschen Verfahren eine Methode zur Prüfung der Aufmerksamkeit. Wenn diese Anschauung richtig ist, so könnten die bei der Ausführung jeder geistigen Arbeit feststellbaren Übungsvorgänge in der Zunahme der Aufmerksamkeit und in ihrer Anpassung an die jeweilige geistige Arbeit begründet sein. Physiologisch gingen diesen psychischen Vorgängen

die durch die „Bahnung“ wachsende Schnelligkeit des Ablaufes der Erregungen im Zentralnervensystem parallel¹⁾).

In einer weiteren Versuchsreihe wird die Frage der Abhängigkeit der Größe der Übungsfestigkeit von der bis zum Ende der Übungsperiode geleisteten Arbeitsmenge untersucht. Die soeben geschilderten Versuche hatten ergeben, daß hinsichtlich der Erreichung des Arbeitsmaximums zwischen der Ausführung von 2 und 6 Arbeitspensas pro die kein Unterschied besteht. Es wäre nun denkbar, daß die Übungsfestigkeit der geleisteten Arbeitsmenge parallel ginge und somit die Versuchspersonen, die 6 Arbeitspensas pro die absolviert hatten, sich durch eine größere Übungsfestigkeit vor den anderen Versuchspersonen auszeichneten.

Aus den Versuchen ergibt sich aber, daß die Verminderung der Arbeitsmenge eine Abnahme der Übungsfestigkeit in keinem Falle zur Folge hat; vielmehr bewegt sich die Größe des Übungsverlustes derjenigen Versuchspersonen, die nur ein oder zwei Versuchspensas täglich ausführen, innerhalb der Grenzen des Übungsverlustes der Versuchspersonen mit einer täglichen Arbeitsmenge von 6 Arbeitspensas. Während aber in den erwähnten Versuchen trotz der verschiedenen Größe des täglichen Arbeitspensums die Übungsversuche stets bis zum Maximum fortgeführt worden sind, wurden in einer neuen Versuchsreihe diese nur 3 Tage hindurch während je 20 Minuten ausgeführt und deshalb auf einer ziemlich niedrigen Übungsstufe abgebrochen. Wird nun der Versuch nach 28 tägiger Pause zur Feststellung der Größe der Übungsfestigkeit wiederholt, so ist im allgemeinen die relative Zahl der Versuchspersonen, die einen Übungsverlust aufweisen, größer und auch der Übungsverlust selbst beträchtlicher als in den bis zur Erlangung der größten Arbeitsschnelligkeit fortgesetzten Versuchen. An zwei Versuchspersonen wurde eine bedeutende Zunahme der Arbeitsschnelligkeit nach 28 tägiger Pause festgestellt. Dies liegt jedoch daran, daß diese Versuchspersonen sich am Ende der Übungsversuche auf einer relativ sehr niedrigen Übungsstufe befinden.

Zur Untersuchung der Frage, ob einerseits die Form des Übungsfortschrittes, die, wie oben dargelegt wurde, zum Teil mit dem Grade der Ermüdbarkeit der Versuchspersonen im nahen Zusammenhang steht, andererseits der Verlauf des Übungsverlustes (die Übungsfestigkeit) eine allgemeine Bedeutung für die betreffende Versuchsperson dadurch besitzen, daß sie sich auch bei anderen geistigen Arbeiten in gleicher oder ähnlicher Weise wiederfinden, wurden an einer Reihe von Versuchspersonen neben den Versuchen mit dem Bourdonschen Verfahren auch Übungsversuche mit der Kraepelinschen Addiermethode ausgeführt.

¹⁾ Über eine andere Erklärung der dem Bourdonschen Verfahren zugrunde liegenden psychischen Vorgänge vgl. Gellhorn, Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit bei geistiger Arbeit, S. 50, Anm. Leipzig 1920.

Außerdem wurden noch Übungsversuche im Multiplizieren einstelliger Zahlen mit jeder Versuchsperson vorgenommen. Jede dieser 3 Methoden wird an drei aufeinanderfolgenden Versuchstagen je 20 Minuten geübt¹⁾.

Die Ergebnisse lassen sich kurz dahin zusammenfassen, daß die Form des Übungsverlaufes im allgemeinen für jede Versuchsperson charakteristisch ist und trotz der verschiedenen großen Übungsfähigkeit, die für jede der zu leistenden Aufgaben besteht, keine wesentliche Änderung erfährt. Wurde nunmehr an den gleichen Versuchspersonen im Anschluß an diese Übungsversuche festgestellt, wie die Kurve der Übungsfestigkeit für jede der drei geistigen Tätigkeiten verläuft, so zeigte sich, daß die Größe der Übungsfestigkeit und ihr Verlauf für jede Versuchsperson charakteristisch ist. Nur in den Fällen, in denen die Übungsversuche für eine bestimmte geistige Arbeit auf einer sehr niedrigen Übungsstufe abgebrochen werden, zeigte sich ein abweichender Verlauf der Übungsfestigkeit.

Die bisher geschilderten Versuche über die Größe der Übungsfähigkeit und Übungsfestigkeit sind ausschließlich mit dem Bourdonschen Verfahren ausgeführt worden, — denn die zuletzt geschilderten Versuche, in denen zugleich mit dem Bourdonschen Verfahren auch die Additions- und Multiplikationsmethode zur Verwendung kommt, geben ja über die Größe der gesamten Übungsfähigkeit und der Übungsfestigkeit nur relative und nicht absolute Werte, da diese Versuche nicht bis zum Maximum der Arbeitsschnelligkeit fortgeführt worden sind. Um aber den Schluß, die geschilderten Übungserscheinungen hätten für jede geistige Arbeit Geltung, da die Bourdonsche Methode eine typische geistige Arbeit einfachster Form zur Anwendung bringe²⁾, auf eine möglichst sichere Basis zu stellen, wurden noch mit der Kraepelinschen Addiermethode an einem großen Versuchsmaterial, das Erwachsene und Kinder beiderlei Geschlechts umfaßt, weitere Versuche angestellt.

Es sei vorweggenommen, daß auch an diesem Versuchsmaterial zahlreiche Beispiele für die oben aufgestellten in bezug auf die Form ihres Übungsfortschrittes unterscheidbaren Typen gefunden wurden und daß die mit der Kraepelinschen Methode ausgeführten Versuche unsere Ergebnisse bezüglich des Zusammenhanges zwischen der Größe der Er-müdbarkeit und der Übungsstufe bestätigte³⁾.

Es seien nunmehr die an Männern und Frauen ausgeführten Versuche besprochen⁴⁾. Die Versuchspersonen addieren täglich 20 Minuten lang an 6 Versuchstagen in den Kraepelinschen Rechenheften und er-

¹⁾ Näheres hierüber vgl. Gellhorn, a. a. O.

²⁾ Vgl. Gellhorn, a. a. O. S. 50, Anm.

³⁾ Zur Vermeidung von Wiederholungen wird deshalb auf die Wiedergabe der diesbezüglichen Tabellen und Kurven in extenso verzichtet.

⁴⁾ Die folgenden Versuche wurden in den letzten zwei Jahren ausgeführt und sind in meiner mehrfach zitierten Arbeit nicht enthalten.

langen so das Übungsmaximum. Ebenso erweist sich für die Erreichung der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit die Anordnung als zweckmäßig, daß die Versuchspersonen 10 bis 12 Tage hindurch je 10 Minuten addieren. Die in je 5 Minuten ausgeführte Zahl der Additionen ist der Tabelle I und Abb. 4¹⁾ zugrunde gelegt. Die Fehlerzahl ist so minimal, daß eine besondere Berücksichtigung nur ausnahmsweise am ersten Versuchstage erforderlich ist. Die männlichen Versuchspersonen sind wiederum in die Gruppe der Kopf- und Handarbeiter geteilt. Der Vergleich der

Abb. 4. Übungsversuche mit der Kraepelinschen Addiermethode.

A. Kopfarbeiter	B. Handarbeiter	C. Frauen (Kopfarbeiter)
Ausgezogene Kurve = Vp. Hem.	Vp. H.	Vp. Kes.
Gestrichelte „ = „ Hel.	„ Kn.	„ D.
Punktierter „ = „ Ma.	„ S.	„ Eh.

Variationsbreite der Arbeitsminima einerseits, der Arbeitsmaxima andererseits zeigt zwischen den beiden Gruppen so erhebliche Unterschiede, daß eine gemeinsame Zone, wie wir sie in den Bourdonschen Versuchen feststellen konnten, gar nicht existiert. Vielmehr entspricht ungefähr die Variationsbreite der Arbeitsmaxima der Handarbeiter der Variationsbreite der Arbeitsminima bei den Kopfarbeitern.

Diese beträchtliche Zunahme in den Differenzen der Variationsbreiten der Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen der Gruppe der Kopf-

¹⁾ In der Abb. 4 sind nur die Extreme der Kurven der Kopf- und Handarbeiter wiedergegeben, um den Unterschied der Variationsbreiten der Gruppen zu veranschaulichen.

und der der Handarbeiter gegenüber den Unterschieden, die zwischen beiden Gruppen bereits in den Versuchen mit den Bourdonschen Verfahren gefunden wurde, dürfte die bereits oben gegebene Erklärung, daß die Unterschiede durch die Mitübung zu erklären seien, die bei den Kopfarbeitern infolge ihrer Berufstätigkeit auch für eine andere bisher nicht geübte geistige Arbeit bestehe, noch mehr erhärten. Denn diese Mitübung muß um so größer sein, je ähnlicher die geprüfte geistige Arbeit der Berufsarbeit der Versuchsperson ist. Während aber in dem Bourdonschen Verfahren nur die psychologische Analyse verdeutlicht, daß in ihm wichtige Partialfunktionen einer jeden geistigen Arbeit geübt werden, ist dies bei dem Addieren einstelliger Zahlen von vornherein klar und bedarf keines Beweises. So einfach die Aufgaben aber auch sind, so zeigt doch die Beobachtung, daß ihre möglichst schnelle und richtige Erledigung dem Handarbeiter ungleich mehr Schwierigkeiten bereitet als dem Kopfarbeiter.

Der Gesamtfortschritt schwankt bei den Kopfarbeitern zwischen 33 und 100%, bei den Handarbeitern zwischen 61 und 162%. Er ist also bei den letzteren im allgemeinen bedeutend größer, und zwar deshalb, weil die Kopfarbeiter den Versuch bereits auf einer relativ hohen Übungsstufe beginnen.

Die an 9 Frauen durchgeführten Versuche, die mit Rücksicht auf ihren Beruf und ihre Schulbildung der Gruppe der Kopfarbeiter zugeteilt werden mußten, zeigen in bezug auf Arbeitsminima und -maxima gegenüber den von den männlichen Kopfarbeitern erhaltenen Zahlen sehr beträchtliche Differenzen. Denn die Arbeitsminima sind sämtlich kleiner als die der Kopfarbeiter und auch die Variationsbreite der Arbeitsmaxima, die zwar in ihren Maximalwerten keine Unterschiede aufweist, läßt erkennen, daß die Arbeitsmaxima von 7 Versuchspersonen (bei einer Gesamtzahl von 9) unterhalb der Variationsbreite der größten Arbeitsschnelligkeit der männlichen Kopfarbeiter gelegen sind. Sollten sich diese Ergebnisse im weiteren an einer möglichst umfangreichen Zahl von Frauen verschiedenen Alters und Berufs auszuführenden Versuchen bestätigen, so wäre damit erwiesen, daß auch die bis zum Übungsmaximum fortgesetzten Versuche das Zurückbleiben der weiblichen Versuchspersonen in der Arbeitsschnelligkeit bei Ausführung einer einfachen geistigen Arbeit nicht zu ändern vermögen.

In der Tabelle I sind ferner die Versuche enthalten, die an 50 Kindern¹⁾ mit der Kraepelinschen Methode vorgenommen wurden. Die Gruppen A und B führten diese Versuche bis zum Arbeitsmaximum aus, indem sie entweder 7 Tage hindurch täglich 20 Minuten oder 11–13 Tage

¹⁾ Den Herren Rektoren und Lehrern der Talamtschule in Halle, insbesondere Herrn Rektor Saupe, möchte ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank für die freundliche Überlassung des Versuchsmaterials aussprechen.

Tabelle I.

Kopiarbeiter.					
Name d. Vp.	Minimum	Maximum	4 Woch. nach dem Maximum	5 Woch.	8 Woch.
Pe	216	432	439	404	389
Hem	228	421	404		404
Hei	213	334	321		330
Ma	240	322		309	287
K	245	445			
Handarbeiter.					
Kn	84	220	228		
S	94	195	181		
Sch	133	246	228		
O	139	259			
H	161	260	238		
Frauen (Kopfarbeiter).					
Hel	149	251			
Al	186	305			
Kes	152	297	256		
Kr	174	305	314		
D	102	214	172		
Eh	200	455	422	417	
Ba	174	440	441	432	
E	122	296	268	266	
Pie	126	292	264	261	
Die Versuchspersonen führen bis zur Erlangung des Arbeitsmaximums an sechs Versuchstagen Rechenversuche von je 20 Minuten Dauer aus.					
Sämtliche Zahlen der Tabelle geben die Summe der in fünf Minuten in den Kräpelinschen Rechenheften ausgeführten Additionen an.					
Die Versuchspersonen führen zur Erlangung des Arbeitsmaximums an zehn Versuchstagen Rechenversuche von je 10 Min. Dauer aus.					
Knaben. Gruppe A.					
Name d. Vp.	Minimum	Maximum	11 Woch. nach d. Maximum	20 Woch.	
R	109	220			
L	150	270	263	257	
Schn	79	169	159	157	
St	157	337	322	310	
G	132	321	295	283	
J	101	205	197		
N	96	245	272		
W	116	193	210	200	
Mädchen. Gruppe A.					
Name d. Vp.	Minimum	Maximum	11 Woch. nach d. Maximum	20 Woch.	
R	85	226		250	
F	102	284	279	288	
J	77	180	175	182	
D	99	212		215	
Kr	81	215	194		
B	99	183	186	189	
Z	107	189		198	
N	90	165	172	201	
B	73	142			
Gruppe B.					
Name d. Vp.	Minimum	Maximum	4 Woch. nach dem Maximum	11 Woch.	20 Woch.
K	110	231		223	
La	96	232	204		
Kl	108	292	297		
A	129	265	263		
M	104	199	189		
L	93	193		180	181
Gr	123	260		238	
Kr	118	216	221		
Gruppe B.					
Name d. Vp.	Minimum	Maximum	4 Woch. nach dem Maximum	11 Woch.	20 Woch.
W	124	260		232	227
H	82	199	191		
M	76	179		162	
S	69	202	181		
L	147	314		315	336
B	135	327		313	
D	81	175			186
Sch	87	175	184		
Ho	80	146	149		
Ka	122	331			

Tabelle I. (Fortsetzung).

Knaben. Gruppe C.					Mädchen. Gruppe C.				
Name d. Vp.	Mini- mum	Maxi- mum	4 Woch. nach d.	11 Woch. Maximum	Name d. Vp.	Mini- mum	Maxi- mum	4 Woch. nach dem Maximum	11 Woch. 20 Woch.
N	109	212		162	U	68	175		142 150
Fr	109	198			Heim	83	156	144	
Schr	66	117		101	Her	117	216	209	
Ha	88	187	151		Tr	62	122	131	
Ba	96	217	194		W	93	205		203
Schö	108	237		235	B	153	336	294	
B	91	140		152	Sch	94	205		195
					M	77	172	155	159

täglich 10 Minuten rechneten. Nur von einzelnen Versuchspersonen wird so das Übungsmaximum noch nicht vollständig erreicht, die Übungsstufe ist aber fast die maximale. Von der Gruppe C werden die Versuche auf einer niedrigeren Übungsstufe abgebrochen. Vergleicht man die Variationsbreiten der Arbeitsminima (79—157¹⁾ für Knaben, 69—147 für Mädchen) und die der Arbeitsmaxima (169—337 für Knaben, 142—331 für Mädchen) der Gruppen A und B miteinander, so ergibt sich eine ziemlich gute Übereinstimmung. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, daß die Verteilung der Versuchspersonen innerhalb der angegebenen Grenzen derartig ist, daß erhebliche sexuelle Differenzen zuungunsten der Arbeitsschnelligkeit der Mädchen bestehen. Von 16 Knaben nämlich löst nur eine Versuchsperson am ersten Versuchstage (Arbeitsminimum) weniger als 90 Aufgaben in 5 Minuten (unter Hinzufügung der Gruppe C, sind es 3 Knaben unter 23 Versuchspersonen); unter den Mädchen aber finden sich 10 von 19 Versuchspersonen und unter Berücksichtigung der Gruppe C sogar 14 von 24, d. h. also mehr als die Hälfte. Das gleiche ersieht man aus der Verteilung der Versuchspersonen innerhalb der Variationsbreite der Arbeitsmaxima. Von den Knaben erreichen nur 2 unter 16 Versuchspersonen als Maximum weniger als 200; von den Mädchen dagegen bleiben von 19 Versuchspersonen 10 unterhalb dieser Grenze. Es sind also die extremen Werte bei Knaben und Mädchen gleichen Alters und gleicher Schulklasse etwa gleich; der Durchschnitt zeigt aber ein deutliches Zurückbleiben der Mädchen sowohl in bezug auf Arbeitsminima wie -maxima.

Die auch mit diesen Versuchspersonen nach größeren Pausen von 4—20 Wochen wiederholten Versuche zeigen nun, wie groß die Übungsfestigkeit ist. Sie steht bei Kindern sicherlich nicht hinter der der Erwachsenen zurück und scheint nach den vorliegenden Versuchen bei den Mädchen größer als bei den Knaben zu sein, ein Faktum, das vielleicht damit in Beziehung stehen kann, daß die Mädchen im allgemeinen

¹⁾ Die Zahlen geben die in 5 Minuten ausgeführte Zahl der Additionen an. Die Kinder besuchten die 3. Klasse.

langsamer, d. h. an späteren Versuchstagen das Übungsmaximum erreichen als die Knaben. Von 11 Mädchen, die den Versuch nach einer Pause von 20 Wochen wiederholen, zeigen 9 keinen Übungsverlust, unter 7 Knaben dagegen nur 1. Aus der Tabelle ist ferner ersichtlich, daß selbst nach 20 Wochen noch eine Zunahme der Arbeitsschnelligkeit gefunden werden kann, wenn die Versuchspersonen durch die Arbeitsversuche das Maximum noch nicht vollständig erreicht hatten.

Die an der Gruppe C durchgeführten Versuche, die, wie erwähnt, auf einer ziemlich niedrigen Übungsstufe abgebrochen wurden, scheinen ebenfalls die mit den Bourdonschen Verfahren gemachten Versuche zu bestätigen, daß, soweit überhaupt ein Übungsverlust eintritt, die Übungsfestigkeit geringer ist, wenn die Versuche nicht bis zum Übungsmaximum fortgeführt werden.

Die an einem umfangreichen Material mit dem Bourdonschen Verfahren und der Kraepelinschen Addiermethode gewonnenen Erfahrungen dürften auch aus methodologischen Gründen für das Studium der Beeinflussung psychischer Vorgänge durch verschiedene Arzneimittel von Bedeutung sein. Für diese Versuche muß in erster Linie eine an den verschiedenen Versuchstagen möglichst gleichartige Kurve der Versuchsperson erstrebt werden, damit aus der Änderung der Kurve, sobald die Versuchsperson ein bestimmtes Pharmakon einnimmt, mit Sicherheit auf die Wirkung des jeweils verwendeten Arzneimittels geschlossen werden darf. Deshalb erscheint es notwendig, niemals Versuchspersonen, solange noch von einem Versuchstage zum anderen ein Übungsfortschritt sich bemerkbar macht, zu pharmakopsychologischen Versuchen zu verwenden, wie dies z. B. Wedemeyer¹⁾ bei seinen Studien über die Gewöhnung psychischer Funktionen an das Coffein und Wahl²⁾ in seinen Versuchen über die Wirkung von Nikotin auf psychische Vorgänge getan haben. Denn die Abhängigkeit der Form der Arbeitskurve von der Übungsstufe, die oben gelegentlich der Versuche mit dem Bourdonschen Verfahren erörtert wurde, gilt, wie erwähnt, in gleicher Weise für den Verlauf der Arbeitskurve in den Versuchen mit der Kraepelinschen Addiermethode. Und darum ist aus derartigen Versuchen nur selten mit Sicherheit die Wirkung irgendeines Pharmakons ersichtlich. Ferner ist es noch wichtig, daß, wenn Versuchspersonen erst Wochen oder Monate nach Erreichung des Arbeitsmaximums zu derartigen Versuchen herangezogen werden, diese erst einige Übungstage absolvieren, bis der in der Zwischenzeit aufgetretene Übungsverlust ausgeglichen ist, eine Forderung, die Kraepelin³⁾ in seinen klassischen

¹⁾ Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmacol. 1919.

²⁾ Zeitschr. f. d. ges. exp. Med. 1920.

³⁾ Die Beeinflussung psychischer Vorgänge durch Arzneimittel. Jena 1892.

Versuchen unbeachtet gelassen hat. Außerdem erscheint es notwendig, das täglich hintereinander ausgeführte Arbeitspensum auf nicht mehr als 20–30 Minuten Dauer festzusetzen, da sonst in der Hand Muskelschmerzen entstehen, die in gleicher Weise störend auf die durch zentrale Vorgänge bedingte Form der Arbeitskurve einwirken, wie die Analyse der von Peder bei Muskularbeit erzielten Übungskurven dargetan hat. Aus diesen Gründen erscheint eine Nachprüfung der bisherigen pharmakopsychologischen Versuche unter Berücksichtigung der aufgestellten Grundsätze notwendig.

II. Der Einfluß der Übung auf die Unterschiedsempfindlichkeit des optischen Raumsinnes und der Bewegungsempfindungen.

Ausgehend von dem bereits in der Einleitung skizzierten Gesichtspunkt, daß es von großem sinnesphysiologischen Interesse sei, die Steigerung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Sinnesorgane unter dem Einflusse der Übung zu studieren und ferner festzustellen, in welchem Maße der Übungsfortschritt nach längeren Pausen sich erhalte¹⁾, wurden an 4 Versuchspersonen folgende Versuchsreihen ausgeführt. Nach dem Prinzip der Konstanzmethode wurden durch Vollreihen die Unterschiedsschwellen der Versuchspersonen für Sehstrecken ermittelt. Als Vergleichsstrecke wurde in der ersten Versuchsreihe eine 30 mm lange, in der zweiten Versuchsreihe eine 90 mm lange Strecke gewählt. Diese wurde der Versuchsperson in Augenhöhe in einer durch die Spitzen eines Tasterzirkels begrenzten Graden dargeboten während die Versuchsperson etwa $\frac{3}{4}$ m vor dem Zirkel sitzend, einen weißen Hintergrund anblickt. Nach Darbietung der Vergleichsstrecke, die während des ganzen Versuches dieselbe bleibt, werden in völlig regelloser Folge kleinere, größere oder gleichgroße Strecken gezeigt, und die Versuchsperson hat jedesmal die Strecken zu vergleichen und dementsprechend ihr Urteil (kleiner, größer, gleich oder unbestimmt) anzugeben. Jede Strecke wird viermal gezeigt. Die Differenzen zwischen den verschiedenen Strecken betragen 1 mm. Die Vollreihen umfassen für die Vergleichsstrecke von 30 mm die Strecken 26–34 mm, für die 90 mm große Vergleichsstrecke aber die Reizlinien von 86–94 mm. Die Versuchs-

¹⁾ Über die Steigerung sinnesphysiologischer Unterfunktionen durch Übung liegen bereits im Gebiete der Farbensinnstörungen Untersuchungen vor. So gelang es Goldschmidt (Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **50**, 192. 1918), an einem durch Schußverletzung des Auges in seiner Farbentüchtigkeit stark beeinträchtigten Individuum durch systematische Übung eine erhebliche Steigerung seines Unterscheidungsvermögens für Farben zu erzielen, das auch nach längerer (dreimonatlicher) Pause im wesentlichen erhalten geblieben war. Über derartige Versuche an Gesunden scheinen bisher keine Ergebnisse, die auch die Übungsfestigkeit berücksichtigen, vorzuliegen.

reihen mit den Vergleichsstrecken 30 bzw. 90 mm alternieren, so daß, da von jeder Versuchsreihe 5 Versuche und zwar täglich einer ausgeführt werden, die gesamte Versuchsreihe 10 Tage umfaßt.

In völlig analoger Weise wurde dann an denselben Versuchspersonen die Unterschiedsempfindlichkeit des kinästhetischen Sinnes für die Größe verschiedener Strecken untersucht. Hierbei hat die Versuchsperson Daumen und Zeigefinger der rechten Hand derart auf die 3 mm voneinander entfernten Spitzen eines Ästhesiometers zu legen, daß diese nur einen Punkt der Volarflächen des Zeigefingers bzw. Daumens berühren. Sodann wurden von dem Versuchsleiter die Ästhesiometerspitzen voneinander bis zur Länge der gewünschten Vergleichsstrecke (30 bzw. 90 mm) bei abgewandtem Blick der Versuchsperson entfernt. Hat die Versuchsperson ein Zeichen gegeben, daß sie die Größe des Abstandes der Ästhesiometerspitzen erfaßt hat, so werden die Spitzen einander wieder genähert (auf 3 mm) und sofort danach die mit der ersten Strecke zu vergleichende Strecke der Versuchsperson dargeboten. Das Urteil der Versuchsperson wird in der gleichen Weise wie bei den Versuchen über optische Unterschiedsempfindlichkeit registriert; die Reizstrecken umfassen für die 30 mm große Vergleichsstrecke die Geraden von 25—35 mm mit je 1 mm Differenz zwischen den einzelnen Strecken, für die 90 mm große Vergleichsstrecke betragen sie 75—105 mm mit je 2½ mm Differenz. Die Versuchsdauer beträgt bei täglicher Ausführung von je einer Vollreihe für jede der beiden Gruppen 6 Tage. Auch in diesen Versuchen wird jede Reizstrecke 4 mal gezeigt.

Wie besondere hierüber durchgeführte Versuche zeigen¹⁾, ist die Schnelligkeit, mit der die Spitzen des Ästhesiometers voneinander entfernt werden, für die Schätzung ihres Abstandes nicht gleichgültig. Bei diesen Versuchen wurden sie stets mit gleichmäßiger, beträchtlicher Schnelligkeit voneinander entfernt, so daß mit der Schnelligkeit der Darbietung in Zusammenhang stehende Täuschungen völlig ausgeschlossen werden können.

Die Berechnung geschieht nach der Spearman-Wirthschen Formel²⁾, indem zunächst die obere und die untere Schwelle festgestellt wird und aus den Differenzen der beiden Schwellenwerte mit der Vergleichsstrecke das arithmetische Mittel gezogen wird. Die Formel für die obere Schwelle ist

$$r_o = E_o - \frac{i \cdot Sg}{n} + \frac{i}{2},$$

für die untere Schwelle lautet sie:

$$r_u = E_u + \frac{i \cdot Sk}{n} - \frac{i}{2}.$$

¹⁾ Vgl. dieses Archiv 189, 215 ff. 1921.

²⁾ Vgl. Fröbes, Lehrbuch der Psychologie, Bd. I, S. 454 ff. Freiburg 1917.

Hierin bedeutet E_o bzw. E_u die Streckengröße, die in 100% der Fälle richtig erkannt wird, i das Intervall, in dem die Strecken von dem Vergleichsreiz ab- bzw. zunehmen, Sk bzw. Sg die Summe der „größer“ bzw. „kleiner“ Urteile, die dann noch durch die Zahl n dividiert wird, jene konstante Zahl, in unserer Versuchsanordnung 4, die angibt, wie oft jede der verschiedenen Strecken dargeboten wird.

Hervorgehoben sei ferner noch der Umstand, daß die Dauer der Darbietung der Reizstrecken der Versuchsperson anheimgestellt wurde. Entsprechend dem verschieden schnellen Auffassungsvermögen genügten der einen Versuchsperson wenige Sekunden, während andere Versuchspersonen besonders an den ersten Versuchstagen erst nach 20 bis 30 Sekunden ihr Urteil abgaben. Durch diese Anordnung wird die gewünschte Herbeiführung von Versuchsbedingungen, die für jede Versuchsperson möglichst optimal sind, gefördert.

In der Literatur finden sich über die Unterschiedsempfindlichkeit für Sehstrecken etwas verschiedene Werte. Während Fechner¹⁾ die relative Schnelle auf $1/_{20}$ angibt, finden sich in den Versuchen Chodins¹⁾ für Strecken von 20–80 mm Größe Werte von $1/_{32}$ – $1/_{57}$. Endlich beträgt sie nach Bühler²⁾ $1/_{50}$ – $1/_{60}$.

Mit diesen Zahlen stimmen die Werte für die optische Unterschiedsschwelle, die sich aus dem arithmetischen Mittel der Schwellenwerte der ersten beiden Versuchstage ergeben und die in der Tabelle in der ersten Spalte angegeben sind, gut überein. Nur die Schwelle der Versuchsperson Sch. und Br. ist für kleine optische Strecken (30 mm) etwas geringer. Aber nur wenige Wiederholungen genügen, um eine ganz erhebliche Steigerung der Unterschiedsempfindlichkeit bei allen Versuchspersonen herbeizuführen. Die Schwelle hat sich durch an Zahl so geringe Versuche so erheblich verfeinert, daß sie für kleine Strecken (30 mm) bei den Versuchspersonen Br und H Null beträgt, d. h. daß ihr Wert so gering ist, daß er sich bei einem Intervall von $i = 1$ mm nicht mehr berechnen läßt. Zu seiner genauen Feststellung hätte man also i noch kleiner als 1 mm wählen müssen. Hier genüge die Angabe, daß die Schwelle dieser Versuchspersonen geringer als 0,12 mm ist. In den meisten Versuchen hat sich die Unterschiedsschwelle um mehr als die Hälfte vermindert (vgl. die Tabelle II).

Zur Entscheidung der Frage, ob der durch Übung so erheblich verfeinerten Schwelle eine praktische Bedeutung dadurch zukomme, daß die vermehrte Leistungsfähigkeit auch nach Unterbrechung der Übungsversuche in gewissem Grade erhalten bleibt, wurde nach 14 Tagen je

¹⁾ Zitiert nach Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie. 5. Aufl. Bd. II, S. 543. 1902.

²⁾ Vgl. Ebbinghaus, Lehrbuch der Psychologie, bearbeitet von Bühler, Bd. I, S. 506. Leipzig 1919.

ein Versuch mit der 30 und 90 mm langen Vergleichsstrecke wiederholt. Die an diesen Versuchstagen erhaltenen Vollreihen ergeben nun bei allen Versuchspersonen, daß von der Übungswirkung nichts verlorengegangen ist. Denn die Zunahme der Schwelle von 0,7 auf 0,8 mm hat natürlich keine Bedeutung. Die an zwei Versuchspersonen 4 Monate später festgestellte Unterschiedsschwelle zeigt sogar für die Versuchsperson Sch eine weitere Verfeinerung der Schwelle für große Strecken (90 mm). Die Festigkeit der Übungswirkung ist also für die Größenschätzung optischer Strecken eine sehr hohe.

Über die Unterschiedsschwelle des kinästhetischen Sinnes für passive Bewegungen liegen erst wenige Untersuchungen vor. Da die Dauer der aktiven Bewegung bei vielen Versuchspersonen einen großen Einfluß auf die Schätzung ihrer Größe hat, wie Jaensch¹⁾ nachweisen konnte, so daß die Beurteilung der Größe der ausgeführten Winkelbewegung zum großen Teil mittels des Zeitsinnes erschlossen wird, so ist es vorteilhafter zum Studium der Unterschiedsschwelle passive Bewegungen zu verwenden. Da außerdem in unserer Versuchsanordnung das Auseinanderziehen der Ästhesiometerspitzen möglichst schnell geschieht, so dürfte dem Zeitsinn für die Erkenntnis der Größe der gegebenen Strecke keine wesentliche Bedeutung mehr zukommen und vielmehr der kinästhetische Sinn maßgebend sein.

Für passive Bewegungen im Ellbogengelenk hat Erismann²⁾ die relative Unterschiedsschwelle gleich $\frac{1}{10}$ gefunden. Zu Übungsversuchen erscheint es aber zweckmäßig, eine Bewegung in solchen Gelenken ausführen zu lassen, die schon von vornherein eine größere Unterschiedsempfindlichkeit deshalb besitzen, weil sie im Leben fortwährend zur Abschätzung geringer Unterschiede gebraucht werden. Denn die weiter unten beschriebenen Versuche über den Ortssinn³⁾ zeigen ebenfalls, daß man in kurz dauernden Übungsversuchen nur an denjenigen Hautstellen weitgehende Erfolge erzielt, die eine nicht zu geringe Feinheit des Lokalisationsvermögens aufweisen. Es soll damit natürlich nicht gesagt sein, daß Sinnesleistungen, die eine sehr hohe Schwelle zeigen, sich durch Übung nicht verfeinern lassen. Nur ist nach unseren bisherigen Erfahrungen anzunehmen, daß erheblich längere Übungsperioden hierzu erforderlich sind. Aus diesem Grunde wurde die Unterschiedsschwelle für die durch Nähern und Entfernen des Daumens und Zeigefingers entstehenden Bewegungsempfindungen festgestellt.

In der ersten Spalte der Tabelle II ist die Unterschiedsschwelle, die aus dem arithmetischen Mittel der Schwelle der ersten beiden Versuchstage erhalten wurde, angegeben. Danach ist die Schwelle für die

¹⁾ Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **41**, 257. 1906.

²⁾ Erismann, Arch. f. d. ges. Psych. **24**, 172. 1912.

³⁾ Vgl. dieses Archiv **189**, 215 ff. 1921.

Tabelle II.

Optische Unterschiedsschwelle (Vergleichsstrecke 30 mm.)

Vp.	Schwelle v. d. Übungsperiode in mm	Schwelle nach Übung in mm	Schwelle 14 Tage n. d. Übungsmax. in mm	Schwelle 4 Monate später
Br	0,12	0	0	
H	0,75	0	0,12	0,25
Schi	0,37	0,12	0,12	0
Sch	1,18	0,12		

Optische Unterschiedsschwelle (Vergleichsstrecke 90 mm.).

Br	1,6	0,7	0,8	
H	1,9	0,6	0,6	
Schi	2,0	1,2	1,5	0,25
Sch	1,5	1,1		

Unterschiedsschwelle für Bewegungsempfindungen (Vergleichsstrecke 30 mm.).

Br	1,2	0,7	1,0	
H	2,2	0,6	1,8	1,5
Schi	1,5	1,2	0,8	0,5
Sch	2,6	1,2		

Unterschiedsschwelle für Bewegungsempfindungen (Vergleichsstrecke 90 mm.).

Br	3,6	0,9	0,3	
H	3,8	2,8	3,1	
Schi	5,3	1,2	2,8	2,8
Sch	5,3	1,8		

geprüften Bewegungen erheblich feiner als am Ellbogengelenk und beträgt für die 30 mm großen Vergleichsstrecken $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{25}$, für die 90 mm langen geraden $\frac{1}{17}$ — $\frac{1}{25}$. Und auch in dieser Versuchsreihe läßt sich durch wenige Versuchstage eine erhebliche Verfeinerung der Schwelle erzielen. Wie aus der Tabelle hervorgeht, hat auch hier bei sämtlichen Versuchspersonen die Unterschiedsschwelle erheblich abgenommen und beträgt z. B. bei den Versuchspersonen Br und Schi ein Viertel und noch weniger der ursprünglichen.

Dennoch befinden sich die Versuchspersonen sicherlich noch erheblich von der maximalen Unterschiedsempfindlichkeit entfernt, zumal sie übereinstimmend subjektiv eine Steigerung des Sicherheitsgefühls in der Schätzung bekunden, die von Tag zu Tag zunimmt und während der Dauer der Übungsperiode noch nicht stationär wird. Aber auch in objektiver Weise läßt sich der Nachweis erbringen, daß die Versuchspersonen noch erheblich vom Übungsmaximum entfernt sind. Denn bei der Versuchsperson Schi hat für kleine Strecken, bei der Versuchsperson Br für große Strecken auch nach 14tägiger Unterbrechung der Versuche eine Zunahme des Übungsfortschrittes stattgefunden. Ja, sogar nach 4monatlicher Unterbrechung wird bei der Versuchsperson Schi eine, wenn auch geringe, weitere Erniedrigung der Schwelle festgestellt. Damit wird in Übereinstimmung mit zahlreichen mit dem

Bourdonschen Verfahren und der Kraepelinschen Addiermethode ausgeführten Versuchen auch im Bereiche der Unterschiedsempfindlichkeit der Bewegungs- und der Gesichtsempfindungen die Tatsache nachgewiesen, daß der in einer kurzen Übungsperiode gesetzte Reiz sich auch noch nach längerer Pause in einer Zunahme der Leistungsfähigkeit auswirken kann. Und zwar haben wir in den Versuchspersonen Schi und Br zwei Beispiele dafür, unter welchen Umständen die Zunahme des Übungsfortschrittes nach längerer Pause gefunden wird. Erstens dann nämlich, wenn die Übungswirkung sich besonders langsam entwickelt (Versuchsperson Schi) und zweitens in den Fällen, in denen eine exzessive Übungsfähigkeit der Versuchsperson wie bei Br vorliegt. Durch diese Versuche dürfte der Beweis erbracht sein, daß, so verschieden in quantitativer Hinsicht die Größe der Übungsfestigkeit bei den einzelnen Sinnesfunktionen sein mag, diese dennoch dieselben Gesetzmäßigkeiten zeigen, die bei der Untersuchung einfacher psychischer Vorgänge festgestellt werden konnten.

Betrachten wir die übrigen Schwellenwerte, die 14 Tage nach Beendigung der Übungsperiode sich ergeben, so fällt sofort auf, daß die Übungsfestigkeit im Bereiche der Bewegungsempfindungen nicht unerheblich hinter der Festigkeit der optischen Unterschiedsschwelle zurücksteht. Dennoch ist auch in diesen Versuchen ein erheblicher Übungsrückstand festzustellen. Denn die Unterschiedsschwelle ist auch in den Fällen, in denen ein Übungsverlust eingetreten ist, erheblich niedriger, als an den ersten Versuchstagen.

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß bei geeigneter Versuchsanordnung durch 5—6 Übungstage (die Versuchsdauer beträgt täglich etwa 10 Minuten) eine bedeutende Verminderung der Unterschiedsschwelle für die Schätzung von Sehstrecken und durch Bewegungsempfindungen vermittelten Taststrecken statt hat, und daß der so erzielte Übungsfortschritt in sehr hohem Maße erhalten bleibt, und zwar in höherem Grade für die Sehstrecken als für die Strecken, deren Größe durch Bewegungsempfindungen wahrgenommen wird.

Ergebnisse.

Überblicken wir die in vorstehendem geschilderten Versuche, so dürfen wir als Ergebnisse der psychologischen Versuche über die Übungsphänomene bei geistiger Arbeit die Feststellung bestimmter Übungsgesetze bezeichnen, die für jede geistige Arbeit Geltung haben dürften. Diese Gesetzmäßigkeiten erstrecken sich auf die Übungsfähigkeit und zeigen, daß die Mitübung die Kopfarbeiter schon bei einer ganz primitiven geistigen Arbeit, wie sie durch das Ausstreichen eines Buchstabens

in einem Texte gefordert wird, zu einer höheren Arbeitsleistung in quantitativer Hinsicht befähigt, und daß, je ähnlicher die geistige Arbeit der Berufstätigkeit des Kopfarbeiters wird, die Differenzen zwischen Kopf- und Handarbeitern zuungunsten der letzteren desto mehr wachsen. Ferner ergeben die Versuche, daß die Mädchen durchschnittlich gleichaltrigen Knaben sowohl hinsichtlich der Arbeitsminima wie der Maxima nachstehen. Übereinstimmend wird ferner sowohl mit der Bourdonschen wie mit der Kraepelinschen Methode festgestellt, daß die Versuchspersonen in bezug auf die Form ihres Übungsfortschrittes in drei Gruppen eingeteilt werden können. Leicht ermüdbare Versuchspersonen zeigen den Übungsfortschritt nur in den zwischen den einzelnen Versuchstagen gelegenen Pausen. Von den übrigen Versuchspersonen weist ein Teil den Fortschritt nur während der Arbeit auf, stellt also gegenüber dem ersten gerade den umgekehrten Typus dar. Bei einer dritten Gruppe von Versuchspersonen wächst endlich die Übung sowohl in der Pause wie auch während des Versuches.

Die von mehreren Versuchspersonen in verschiedenen geistigen Tätigkeiten, zu deren Ausführung wir uns der Bourdonschen, der Addier- und der Multiplikationsmethode bedienten, vorgenommenen Übungsversuche zeigen, daß die Übungsform für jede einzelne Versuchsperson charakteristisch ist und bei verschiedenen geistigen Arbeiten in gleicher Weise in Erscheinung tritt.

Endlich geht noch aus den Versuchen hervor, daß die Ermüdung auf höheren Übungsstufen eine scheinbare Zunahme erfährt, die durch den Wegfall der fördernden Übungswirkung bedingt ist.

Die bei Kopf- und Handarbeitern jenseits des 45. Jahres festgestellte Abnahme der Arbeitsminima und -maxima gegenüber den jüngeren Versuchspersonen wird durch die Störung der Zirkulationsverhältnisse im Gehirn infolge Arteriosklerose (es besteht dann eine verminderte Dilatationsfähigkeit der Arterien) oder durch regressive Veränderungen der Ganglienzellen erklärt, die verhindern, daß die dem Übungsvorgange zugrunde liegenden materiellen Prozesse im Getriebe des Zellstoffwechsels in gleichem Umfange eintreten können, wie bei den jüngeren Versuchspersonen.

Die an Erwachsenen und Kindern über Wochen und Monate sich erstreckenden Versuche zur Feststellung der Größe der Übungsfestigkeit ergeben keine Alters- und sexuellen Unterschiede. Die Übungsfestigkeit ist individuell verschieden, — und auch diese individuelle Größe der Übungsfestigkeit ist für jede Versuchsperson charakteristisch, indem sie bei verschiedenen geistigen Tätigkeiten in gleicher Weise zum Ausdruck kommt —, im allgemeinen aber sehr groß, so daß sogar nach einer Unterbrechung der Versuche von 20 Wochen ein großer Teil der Versuchspersonen von der Übungswirkung nichts eingebüßt hat. Werden

die Übungsversuche nicht bis zum Maximum fortgeführt, so kann selbst nach einer großen Pause (20 Wochen) eine Zunahme der Arbeitsleistung beobachtet werden.

In methodischer Hinsicht ergibt sich für das Studium der Beeinflussung psychischer Prozesse durch Arzneimittel die Forderung, daß derartige Versuche nur an Versuchspersonen, die das Übungsmaximum erreicht haben, ausgeführt werden sollen, und daß der einzelne Versuch zwecks Vermeidung von Nebenwirkungen nicht länger als 20—30 Minuten dauern darf.

Auch für sinnesphysiologische Funktionen (Unterschiedsschwelle des optischen Raumsinnes und der Bewegungsempfindungen) läßt sich eine erhebliche Erniedrigung der Schwellen schon nach wenigen Übungsversuchen feststellen. In einigen Versuchen kann auch hier eine ziemlich große Übungsfestigkeit beobachtet werden, die für den optischen Raumsinn deshalb größer ist, weil die Versuche über die Unterschiedsschwelle der Bewegungsempfindungen auf einer bedeutend niedrigeren Übungsstufe abgebrochen werden. Bei einzelnen Versuchspersonen konnte auch nach 14 tägiger bzw. 4 monatlicher Unterbrechung der Versuche eine weitere Verfeinerung der Schwelle konstatiert werden.