

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1918. Heft I

Januar- bis Märzszung

München 1918

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Die Bedeutung des Drucksinns für die Wahrnehmung von Bewegung und Lage der Glieder.

Von M. von Frey.

Vorgelegt von O. Frank in der Sitzung am 2. März 1918.

Bringt man einen eingefärbten Stempel auf dem Daumenballen zum Abdruck und bewegt sodann den Daumen, so erfährt die Zeichnung wechselnde Verzerrungen. Das gleiche gilt für jeden anderen Teil der Körperoberfläche, in besonderem Maße für die Gegend über Gelenken von großem Bewegungsumfang und Freiheitsgrade. Sucht man die Zeichnung auf der Haut zur Deckung zu bringen mit einem zweiten Abdruck desselben Stempels auf Gelatinefolie oder Film, so gelingt dies im allgemeinen nicht, wenn nicht jede Bewegung vermieden oder dafür gesorgt ist, daß das Glied genau in die ursprüngliche Lage zurückkehrt.

Die Haut wird also durch die Bewegungen beständig deformiert, was zu Erregungen des Drucksinns führen muß, sobald der Spannungszustand der Haut genügend verändert wird. Der hierzu nötige Bewegungsumfang des Gelenks wäre als die Wahrnehmungsschwelle für Bewegungen zu bezeichnen, vorausgesetzt, daß der Drucksinn allein oder doch in erster Linie für die Wahrnehmung aufkommt. Die Frage, ob dies der Fall ist, läßt sich am einfachsten durch Abstumpfung des Drucksinns entscheiden, womit ein Ansteigen der Wahrnehmungsschwelle verbunden sein müßte.

Wird die Bewegung nicht durch die Muskeln der Versuchsperson (Vp), sondern durch äußere Kräfte hervorgebracht

(passive oder geführte Bewegungen), so gibt der Versuch nicht ohne weiteres eine klare Antwort. Man findet nämlich hiebei in der Regel, daß die wirksamste Maßnahme zur Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle darin besteht, die Haut am Angriffsort der Führung, nicht über dem Gelenk, in ihrer Empfindlichkeit herabzusetzen. Es bedarf besonderer Vorkehrungen, wenn die Beteiligung der letzteren deutlich hervortreten soll.

Zur Erregung der Haut am Angriffsort der Führung gibt es drei Veranlassungen. Die Führung muß einmal den Trägheitswiderstand des Gliedes überwinden durch Stoß oder Druck gegen die Haut, dessen Größe der Winkelbeschleunigung proportional ist. Sie übt zweitens eine schiebende Wirkung auf die Haut aus, die für einen gegebenen Bewegungsumfang um so größer ist, je mehr die Achsen der Führung und des Gelenks auseinander fallen. Endlich kann durch die Führung der Druck verändert werden, den das ruhende Glied von seiten seiner Unterlage erfährt.

Aus der erstgenannten Wirkung ergibt sich, daß ein bestimmter Wert für die Wahrnehmungsschwelle geführter Bewegungen oder kurz für die Führungsschwelle nicht angegeben werden kann, so lange die Winkelbeschleunigung unbekannt ist. Ist dieselbe genügend groß, so können Bewegungen von verschwindend kleinem Umfang oder auch nur die Antriebe hiezu erkannt werden. Daher der gewaltige Unterschied in der Größenordnung der bisher veröffentlichten Führungsschwellen, die von Goldscheider¹⁾ für das Ellbogengelenk zu $0,5^\circ$, von Störing²⁾ zu $0,005^\circ$ gefunden worden sind. Aus der von Goldscheider angegebenen mittleren Geschwindigkeit ($1^\circ/\text{sek}$) und der Größe des Winkelausschlages ($0,5^\circ$) berechnet sich die (gleichförmig angenommene) Winkelbeschleunigung zu $4^\circ/\text{sek}^2$, während man für Störings Versuche den Wert $121^\circ/\text{sek}^2$ erhält. In den Versuchen des letzteren ruhte der

¹⁾ A. Goldscheider, Gesammelte Abh., 2. Bd., Berlin 1898, S. 182.

²⁾ G. Störing, Arch. f. d. ges. Psychol., Bd. 25, S. 178 (1912).

Unterarm auf einem wagrechten Brett, das um eine lotrechte, unter dem Ellbogengelenk angebrachte Achse gegen einen Anschlag gedreht wurde. An der Stelle, wo der Antithenar dem Brette aufliegt, d. h. in etwa 29 cm Abstand von der Achse, ist die Bogenlänge für $1/200^{\circ} = 1/40$ mm oder 25μ . Bei Bewegungen so kleinen Umfangs wird es wohl überhaupt nicht zu einer Änderung der Gelenkstellung kommen, sondern nur zu einer leichten Zerrung der auf dem Brette ruhenden Haut, die aber genügt, um den Bewegungsantrieb und seine Richtung zu erkennen. Die Vermutung wird gestützt durch die Angabe Störriings, daß die Vpp „den Eindruck der Bewegung nur in der Hand“ hatten.

Sehr wertvolle Hilfe für die Erkennung von Bewegungsantrieben leistet ferner die zerrende und schiebende Wirkung, welche die Führung auf die Haut ausübt, wenn ihre Drehungsachse nicht zusammenfällt mit der des Gelenkes. Das Gestell eines Regenschirms mag als Beispiel dienen dafür, daß zwei durch ein Zwischenstück (Rippe oder Spante des Schirms) verbundene Stäbe (Stock und Spreize) sich um ihre parallelen Achsen nur drehen können unter gleichzeitigem Gleiten aneinander. Eine gleichartige Wirkung findet auch statt, wenn, wie in den Versuchen Goldscheiders, eine geradlinig fortschreitende Führung das Glied um seine Achse zu drehen sucht. Wie empfindlich die Haut gegen derartige Einwirkungen ist, haben Versuche von Bourdon gelehrt¹⁾.

Daß endlich auch der Wechsel im Gegendruck der Unterlage der Wahrnehmung dienen kann, braucht keine nähere Begründung. In all diesen Fällen bedarf es nicht einmal einer wirklichen Bewegung des Gliedes; es genügt zum Erfolge schon eine rein örtliche Inanspruchnahme der Haut.

Versteht man unter Bewegungswahrnehmungen im Gebiete der Glieder solche, die durch Drehungen in den Gelenken veranlaßt sind, so können zu Schwellenbestimmungen nur Verfahrensweisen dienen, welche die er-

¹⁾ B. Bourdon, *Année psychol.*, vol. 13, p. 139 (1907).

wähnten Fehlerquellen ausschließen oder doch möglichst unschädlich machen. Abzulehnen waren daher Hebungen der Glieder, seien sie hervorgebracht durch geradlinige (Goldscheider) oder drehende (Pillsbury¹) Bewegung der Unterstützung; zu vermeiden war ferner die Lagerung des ganzen Gliedes auf einer drehbaren Unterstützungsfläche (Störring, Erismann²), weil damit notwendig die Erregung der distalen, mit dem feinsten Drucksinn ausgestatteten Hautgebiete verbunden ist. Endlich können Versuche an Fingergelenken (Goldscheider, Bourdon) deshalb nicht als vorteilhaft gelten, weil, abgesehen von der großen Empfindlichkeit der Haut, die Flächen am Angriffsort der Führung und die in der Gegend des bewegten Gelenkes sich experimentell nicht genügend auseinander halten lassen.

So bin ich schließlich zu einer Versuchsanordnung für das Ellbogengelenk gelangt³), an der folgende Besonderheiten hervorgehoben seien. Innerhalb eines kräftigen Rahmens aus Eisenguß von **C**-Form, der aufrecht stehend an der Tischkante festgeschraubt ist, dreht sich in Spitzen um eine lotrechte Achse ein gußeiserner Bügel oder Halbring von 15 cm lichter Weite. An dem Rahmen ist mittelst eines seitlich hinausragenden Trägers die Befestigungseinrichtung für den Oberarm in Gestalt zweier breiter, rinnenförmiger, filzgefütterter Schienen angebracht, an dem drehbaren Bügel in entsprechender Weise die für den Unterarm. Der letztere wird nur an zwei verhältnismäßig kleinflächigen Stellen in der Gegend der distalen Enden der Vorderarmknochen gefaßt. Das Ellbogengelenk wird von dem Bügel auf der Streckseite umgriffen, aber nirgends berührt, während zwei an der Innenseite des Bügels in der Richtung der Drehungsachse vorspringende Stifte die Einstellung der Gelenkachse in diese Richtung erleichtern. Die Befestigungseinrichtung für den Unterarm läuft aus in eine lange Leiste, deren freies Ende von einem Schnurlauf in der

¹) W. B. Pillsbury, Americ. Journ. of Psychol., vol. 12, p. 346 (1900).

²) Th. Erismann, Arch. f. d. ges. Psychol., Bd. 24, S. 180 (1912).

³) v. Frey und O. B. Meyer, Zschr. f. Biol., Bd. 68, S. 301 (1918).

einen oder anderen Richtung mitgenommen wird, während ein Zeiger die durchmessenen Strecken angibt. 2 cm entsprechen einer Drehung von 1° . Ein Elektromotor mit Schnecke und Stufenscheibe liefert die gewünschten Geschwindigkeiten und Beschleunigungen.

Die Versuche (bisher an 4 Personen) ergaben, daß der zu Beginn der Bewegung erfolgende Anstoß leicht untermercklich gemacht werden kann, wenn auf Beschleunigungen von 5 Winkelminuten/sek² herab gegangen wird. Viel schwieriger ist es, die oben als Zerrung der Haut beschriebene Wirkung zu verhindern, weil die mit der Stellung des Gelenks wechselnde Lage der Achse am Lebenden nur unsicher zu ermitteln und mit der Achse des Apparates in Einklang zu bringen ist. Man muß auch bei größter Sorgfalt in der Ausführung der Versuche damit rechnen, daß Erregungen der Haut am Angriffsort der Führung zur Wahrnehmung beitragen, was in den angestellten Prüfungen in der Weise zum Ausdruck kam, daß Herabsetzung der Empfindlichkeit der Haut an dieser Stelle durch Faradisation oder durch anästhesierende Einspritzungen in der Regel zu einer Erhöhung des Schwellenwertes führten.

War demnach die beschriebene Versuchsanordnung noch nicht imstande, das Auftreten einer unerwünschten Nebenwirkung vollständig zu unterdrücken, so gestattete sie doch den sicheren Nachweis, daß die das bewegte Gelenk überdeckende Haut von maßgebender Bedeutung für die Wahrnehmung ist. Es ergibt sich dies aus folgenden Erfahrungen.

1. Wird mit Hilfe von lähmenden Einspritzungen der Drucksinn in der Gegend des bewegten Gelenkes abgestumpft, nachdem dies schon vorher am Angriffsort der Führung geschehen ist, so erfährt die Wahrnehmungsschwelle eine weitere und sehr erhebliche Erhöhung. Die hieher gehörigen Versuche wurden so durchgeführt, daß nicht die Schwellen, sondern bei gleich bleibender Reizstärke (Bewegungsumfang 1°) der Prozentsatz der richtigen Urteile ermittelt wurde.

Vp	Prozentsatz der richtigen Urteile			
	vor der Einspritzung	Einspritzung am Orte der Führung	Einspritzung über dem Gelenk	Zahl der Prüfungen
M.	55	48,3	42,5	20, 30, 40
v. F.	90	68,7	36,9	20, 40, 80
M.	45	43,7	21,0	40, 40, 100

Die Einspritzung am Ort der Führung ist nur zum Teil von deutlicher Wirkung, stets dagegen die Einspritzung über dem Gelenk.

2. Finden Bewegungen schwellennahen Umfanges statt bei starker Streck- oder Beugstellung, so ist im ersten Falle die Wahrnehmung der Streckung, im zweiten die der Beugung begünstigt.

Prozentsatz der richtigen Urteile bei Streckstellung			
Gelenkwinkel 169—174°			
Bewegungsumfang 1°			
Vp	Beugung	Streckung	Zahl der Prüfungen
v. F.	60,0	70,0	60
M.	30,4	53,6	56
v. F.	48,2	85,0	56

Prozentsatz der richtigen Urteile bei Beugstellung			
Gelenkwinkel 43—49°			
Bewegungsumfang 3/4°			
Vp	Beugung	Streckung	Zahl der Prüfungen
M.	56,0	28,0	50
v. F.	75,9	27,6	56
M.	58,6	32,1	57

Aus den Selbstbeobachtungen der Vpp ergibt sich, daß in Streckstellung die leichtere Wahrnehmung der Streckung bedingt ist durch die Spannungszunahme der Haut in der Ellenbeuge, in Beugstellung die leichtere Wahrnehmung der Beugung durch die zunehmende Innigkeit der Berührung der Hautflächen in der Ellenbeuge. Die Haut auf der Streckseite des Ellbogengelenks ist entsprechend ihrer geringeren Empfindlichkeit weniger ausschlaggebend.

Die hier mitgeteilten von den Ausgangsstellungen abhängigen Verschiedenheiten in den Schwellenwerten stehen in Beziehung zu den Beobachtungen von J. Loeb¹⁾ und Störring²⁾ betreffend die Schätzung selbsttätig zurückgelegter Strecken, wobei ebenfalls die Ausgangsstellung von großem Einfluß ist.

3. Begünstigt man durch künstliche Mittel (Pflasterstreifen) die Spannungszunahme der Haut für eine der beiden Bewegungsrichtungen, so ist die Wahrnehmung dieser Richtung erleichtert.

Prozentsatz der richtigen Urteile

Gelenkwinkel 105—108°

Pflasterstreifen 4,5 × 10 cm auf der Streck-
seite des Gelenks

Bewegungsumfang 3/4°

Vp	Biegung	Streckung	Zahl der Prüfungen
v. F.	56,9	14,8	56
M.	50,0	30,3	56
M.	35,0	15,0	20

Die drei Versuchsweisen lehren übereinstimmend, daß die Wahrnehmungsschwelle abhängt von der Empfindlichkeit der Haut über dem Gelenk und dem Grade ihrer Beanspruchung. Die Erkenntnis wird weiter gesichert durch die Selbstbeobachtung der Vpp, die von deutlichen, das Urteil bestimmenden Erregungen in diesen Hautflächen zu berichten wissen. Für sich allein würden solche Aussagen nicht beweisend sein.

Zur Aufnahme der Reize kann nur der Drucksinn der Haut in Frage kommen. Dies ist schon durch die Art der Reize (Deformation der Haut) gegeben. Daß Spannungsänderungen so geringen Grades, wie sie z. B. bei einer Drehung von $\frac{3}{4}^\circ$ im Ellbogengelenk entstehen, zu einem merklichen Erfolg schon genügen, liegt in der Ausbreitung der Deformation über größere Hautflächen und der damit verbundenen zentralen gegenseitigen Verstärkung der peripheren Einzel-

¹⁾ J. Loeb, Pflügers Arch., Bd. 41, S. 119 (1887).

²⁾ G. Störring, a. a. O., S. 183—185.

erregungen¹⁾. Endlich spricht zu gunsten des Drucksinns die Sicherheit, mit der bei wahrgenommener Bewegung auch ihre Richtung erkannt wird. Falsche Urteile kommen selbst bei schwellennahen Reizen nur höchst selten (im Mittel aus allen Versuchen in 1,4 % der Prüfungen) vor, was auf eine hochentwickelte Ortsunterscheidung hinweist.

Die fragliche Leistung erweist sich somit als eine besondere Betätigungsform des Drucksinns; sie ist eine aus Druckempfindungen mit Hilfe der Erfahrung abgeleitete Wahrnehmung. Bewegungsempfindungen besonderer Qualität oder Modalität liegen ihr nicht zugrunde, weshalb diese Bezeichnung besser beschränkt bleibt auf jene psychischen Elemente, auf die sie mit Recht angewendet wird, auf die durch die Bogengänge des Ohres vermittelten Empfindungen.

Das Ergebnis der mitgeteilten Versuche lautet dahin, daß die Wahrnehmung von geführten Gliederbewegungen kleinen Umfangs durch den Drucksinn der Haut über dem bewegten Gelenke geschieht, wenn die Mitbeteiligung der Hautflächen am Angriffsorte der Führung durch geeignete Vorkehrungen ausgeschaltet oder doch stark zurückgedrängt wird. Die Abstumpfung der Empfindlichkeit an den bezeichneten Hautstellen führt zu großer Unsicherheit der Wahrnehmung bzw. zur Schwellenerhöhung. Die Mitwirkung weiterer Sinneseinrichtungen bei der Wahrnehmung kann daher nur für Bewegungen großen Umfangs in Frage kommen. In dieser Beziehung sei auf die dumpf schmerzhaften Empfindungen hingewiesen, die bei Herstellung äußerster Grenzlagen in den Gelenken auftreten und vermutlich durch die Spannung der Gelenkbänder veranlaßt sind.

Die gegenwärtig herrschende Lehre, welche die Wahrnehmung geführter Bewegungen durch die Nerven der Gelenke geschehen läßt, stützt sich hauptsächlich auf die Untersuchungen Goldscheiders. Derselbe glaubte die Erregung des

¹⁾ v. Frey und R. Pauli, Zschr. f. Biol., Bd. 59, S. 497 (1912).

Drucksinns am Angriffsort der Führung ausschließen zu können durch Lagerung der geführten Gliederabschnitte auf Gummikissen oder durch Herabsetzung ihrer Empfindlichkeit mittelst Kompression; er bezog sodann die Erhöhung der Führungsschwelle während der Faradisation des Fingergelenks auf die Vertaubung der Gelenknerven. Daß letzteres geschieht, ist nicht bewiesen, während die Vertaubung der Hautnerven leicht zu zeigen ist und ausreicht, die Schwellenerhöhung zu erklären. Die Annahme, daß durch Lagerung auf Gummikissen die Erregung des Drucksinns verhütet werden könne, ist, wie mir vergleichende Versuche mit verschiedenen Führungsarten ergeben haben, nicht zutreffend und ebensowenig läßt sich der gewünschte Erfolg durch vertaubende Kompression erreichen, weil die an die gedrückte Fläche proximal angrenzenden Hautstellen für die Wahrnehmung aufkommen.

Weit lehrreicher für die Frage der Beteiligung der Gelenknerven erschien mir der Versuch, dieselben auszuschalten bei unveränderter Empfindlichkeit der bedeckenden Haut. Dieser Zustand kann an resezierten Gelenken gegeben sein, namentlich dann, wenn die Prüfung so frühzeitig nach der Operation geschieht, daß eine Wiederherstellung der Nervenversorgung noch nicht in Frage kommt.

Durch das dankenswerte Entgegenkommen meines Kollegen Enderlen ist es mir möglich gewesen, einen solchen Fall zwei Monate nach der Operation mit dem oben beschriebenen Verfahren eingehend zu prüfen, wobei sich herausstellte, daß die Führungsschwelle unter gleichen Versuchsbedingungen völlig den normalen Werten entsprach, d. h. für das resezierte Ellbogengelenk $3/4^0$ betrug¹⁾.

Die Beobachtung steht nicht allein, denn schon vor vielen Jahren haben Déjérine²⁾ am luxierten, v. Strümpell³⁾ am resezierten Gelenke auf die genaue Wahrnehmung geführter Bewegungen aufmerksam gemacht.

1) v. Frey, Zschr. f. Biol., Bd. 68, S. 339 (1918).

2) Nach B. Bourdon, *Année psychol.*, vol. 18, p. 37 (1912).

3) A. v. Strümpell, D. Med. Wochenschr. 1904, Nr. 39 und 40.

Was von der sog. Gelenksensibilität zu halten ist, lehren die von Lennander und Öhrwall¹⁾ an eröffneten menschlichen Gelenken erhobenen Befunde, nach welchen die Gelenkknorpel sowie der darunter liegende Knochen völlig unempfindlich sind gegen jede Art mechanischer Reize. Die seit langem bekannte und von den genannten Forschern neuerdings bestätigte hohe Schmerzempfindlichkeit der Knochenhaut, der Gelenkkapsel und Gelenkbänder kommt für die hier erörterten Wahrnehmungen nicht in Betracht.

Eine andere in der neurologischen Literatur zur Zeit vertretene Ansicht geht dahin, daß Berührungsempfindungen durch die Haut, Druckempfindungen dagegen durch die tieferen Gewebe vermittelt werden (v. Strümpell²⁾, Head³⁾). Tritt man dieser Ansicht bei, so kann die Wahrnehmung geführter Bewegungen auf den tiefen Drucksinn bezogen werden. Dies ist der von Bourdon 1912 eingenommene Standpunkt, während er 1907 für die Haut eingetreten ist. Man darf vermuten, daß die Änderung seiner Auffassung durch die inzwischen erfolgten Veröffentlichungen Heads veranlaßt ist, denn eine experimentelle Begründung derselben hat er nicht versucht. Ich habe wiederholt Gelegenheit gehabt, auf das Unzureichende der angeblichen Beweise für das Bestehen der sogenannten tiefen Druckempfindung als einer besonderen Qualität hinzuweisen⁴⁾, so daß ich auf eine neuerliche Erörterung glaube verzichten zu dürfen.

Obwohl die bisher mitgeteilten Versuche sich auf geführte Bewegungen beschränken, besitzen sie doch auch Bedeutung für die Wahrnehmung selbsttätiger Bewegungen (reflektorischer wie willkürlicher). Die psychologischen Grundlagen sind hier insofern einfacher, als mit dem Wegfall der bewegendem äußeren Kraft auch die Erregungen ausscheiden, die an

¹⁾ H. Öhrwall, Skand. Arch. f. Physiol., Bd. 32, S. 217 (1914).

²⁾ A. v. Strümpell, a. a. O.

³⁾ H. Head und W. H. R. Rivers, Brain, vol. 31, p. 355 (1908).

⁴⁾ v. Frey, *Ergebn. d. Physiol.*, Bd. 13, S. 105 (1913), *Zschr. f. Biol.*, Bd. 63, S. 353 (1914) und Bd. 66, S. 432 (1916).

ihrem Angriffsorte gesetzt zu werden pflegen. Die Änderung der Gliederstellung wird dann ausschließlich wahrgenommen werden durch den Drucksinn der Hautflächen über den bewegten Gelenken. Andererseits sind die Wahrnehmungen aber dadurch wieder inhaltsreicher, daß die Spannungsempfindungen des Bewegungsapparates (Muskeln, Sehnen, Faszien) in sie eingehen¹⁾ und bei willkürlicher Betätigung die Innervationsempfindung oder, wie Ach sie genauer und wohl auch richtiger bezeichnet, die intentionalen Spannungsempfindungen²⁾. Es ist in der Literatur wiederholt hervorgehoben worden, daß diese Empfindungen nichts aussagen können über die Gelenkstellung und über den Umfang ihrer Änderung, weil der Spannungszustand der Muskeln bei gegebener Gelenkstellung in höchstem Maße verschieden ist je nach der Stärke der Innervation und den zu überwindenden Widerständen. Ebensowenig stehen die Spannungsänderungen in den Muskeln und Sehnen in einer eindeutigen Beziehung zu den Stellungsänderungen im Gelenk. Die notwendige Kenntnis von dem zureichenden oder unzureichenden Erfolg der Muskeltätigkeit ist demnach nur durch den Drucksinn des bewegten Körperteils mit oder ohne Unterstützung durch den Gesichtssinn zu gewinnen.

Auf Grund dieser Überlegungen muß erwartet werden, daß Abstumpfung des Drucksinns eines Gliedes oder Gliedabschnittes den willkürlichen Gebrauch desselben erschwert, eine Vermutung, die sich mir bei Gelegenheit darauf gerichteter Versuche bestätigt hat. Die Abstumpfung wurde am Ellbogengelenk durch lähmende Einspritzungen in die Haut erreicht und führte neben Täuschungen über Stellung und Bewegung des Unterarms zu auffallender Unsicherheit und Ungeschick-

¹⁾ v. Frey, Zeitschr. f. Biol., Bd. 63, S. 129 (1914).

²⁾ N. Ach, Über die Willenstätigkeit und das Denken. Göttingen 1905, S. 146. Ach nennt sie „intentionale Bewegungsempfindungen“ und beschreibt sie als eine besondere Form von Spannungsempfindungen. Da der Ausdruck Bewegungsempfindungen bzw. Wahrnehmungen in der Physiologie bereits in dem von mir gebrauchten Sinne festgelegt ist, ziehe ich die Bezeichnung intentionale Spannungsempfindungen vor.

lichkeit im Gebrauche desselben. Weitere Versuche wurden am 1. Gelenk des Zeigefingers zweier Versuchspersonen ausgeführt. Die Hand wurde in eine Hohlform aus Gips gelagert, die von dem Zeigefinger nur das 2. und 3. Glied und die distale Hälfte des ersten frei ließ. Der Vp, der die Hand und der Apparat verdeckt blieb, war die Aufgabe gestellt, auf jeden 4. Schlag eines Sekundenpendels mit den beiden distalen Fingergliedern eine kurze und möglichst kleine Beugebewegung mit sofortiger Rückkehr in die Ausgangslage auszuführen und unmittelbar hinterher anzugeben, ob sie die Bewegung als groß, klein oder unmerklich empfunden habe. Die Bewegungen wurden optisch registriert. Reihen von je 10 solchen Bewegungen geschahen abwechselnd bei normaler und abgestumpfter Empfindlichkeit der Haut über dem Gelenk, welch letzterer Zustand durch Bestäuben mit Äther bis zu deutlicher Eiskbildung herbeigeführt wurde. Die Folge war, daß die bis dahin recht gleichmäßigen und richtig eingeschätzten Ausschläge nun in ihrer Größe sehr stark wechselten und daß die ausgeführten Bewegungen unterschätzt wurden derart, daß vielfach große Ausschläge als unmerklich hingestellt wurden. Auf die gleichzeitig sich einstellende Schwierigkeit in die gewählte Ausgangsstellung zurückzukehren, komme ich sofort zu sprechen. Ich erinnere endlich an die eingehenden Versuche Goldscheiders zur Herbeiführung ataktischer Bewegungen im 1. Fingergelenk¹⁾, wozu er sich des faradischen Stroms bediente. Er bezieht, entsprechend seiner Auffassung die beobachteten Bewegungsstörungen auf die Abstumpfung der Gelenksensibilität, doch ist, wie vorstehend gezeigt wurde, nicht diese, sondern die Vererbung der Hautnerven das Entscheidende.

Es ist eine durch zahlreiche physiologische (Exner²⁾, Trendelenburg³⁾ und klinische Erfahrungen (v. Strümpell⁴⁾) gesicherte Tatsache, daß die Unterbrechung sämtlicher zentri-

¹⁾ A. Goldscheider, a. a. O., S. 55 ff.

²⁾ S. Exner, Pflügers Arch., Bd. 48, S. 592 (1891).

³⁾ W. Trendelenburg, Arch. f. Physiol. 1906, S. 1.

⁴⁾ A. v. Strümpell, D. Zschr. f. Nervenheilk., Bd. 23, S. 1 (1902).

petalen Bahnen eines Körperteils die Bewegungsfähigkeit desselben in hohem Maße schädigt. Die hier mitgeteilten Beobachtungen erweitern dieselbe in der Richtung, daß die Abstumpfung des Drucksinns für sich allein schon genügt, um deutliche Bewegungsstörungen hervorzurufen. In kennzeichnendem Gegensatz hiezu steht das Verhalten der Vp mit reseziertem Ellbogengelenk, bei der alle überhaupt möglichen Bewegungen glatt und sicher, wenn auch nicht mit der vollen Kraft eines gesunden Arms ausgeführt werden konnten.

Neben seiner Bedeutung für die Wahrnehmung der Gliederbewegung fällt aber dem Drucksinn auch eine sehr wichtige Rolle zu für die Wahrnehmung der Gliederlage. In den eben erwähnten Versuchen äußerte sich dies in der Weise, daß infolge der Kältewirkung die Einhaltung einer bestimmten Ausgangsstellung bzw. die Rückkehr in dieselbe sehr erschwert war. Die Reihen mit abgestumpfter Empfindlichkeit der Haut sind sofort kenntlich durch das unstäte Wandern des Spiegelbildes auf dem Spalt, oft in so hohem Maße, daß die Aufschreibung verloren ging.

In der Literatur wird im allgemeinen anerkannt, daß der Drucksinn zur Wahrnehmung der Gliederlage beiträgt, jedoch nur neben und in Anlehnung an den Gesichtssinn. Es wird gesagt, daß „Teile, deren Stellung wir nie oder nur selten durch den Gesichtssinn wahrnehmen, auch keine bestimmten Lage- und Stellungsempfindungen“ ergeben¹⁾. Es wird dann auf Zehen, Zunge, Gaumensegel, Kehlkopf und andere Beispiele verwiesen. Wie mir scheint, wird hier ein Anspruch erhoben, der nicht gerechtfertigt ist. Denn es kommt nicht darauf an, daß die Vorstellung, die man sich von der Lage dieser Organe macht, perspektivisch richtig ist, sondern daß sie einen richtigen Gebrauch derselben ermöglicht. Letzteres ist, geeignete Aufgaben vorausgesetzt, im allgemeinen zweifellos der Fall, so daß man mit dem Erfolge der Wahrnehmung zufrieden sein kann. Ich erinnere beispielsweise nur daran, daß es ohne Zuhilfenahme der Augen, ja mit ihrer Unter-

¹⁾ W. Nagel, Handb. d. Physiol., Braunschweig 1905, 3. Bd., S. 743.

stützung (durch Spiegel) kaum besser gelingt, ein in den Mund geratenes Haar mit der Zunge aufzuspüren und soweit gegen die Lippen vorzudrängen, daß es mit den Fingern erfaßt und entfernt werden kann.

Zugegeben muß indessen werden, daß in der Ruhe das Bewußtsein von der Lage der Glieder, bei Ausschluß der Augen, nicht besonders deutlich zu sein pflegt. Werden Bewegungen längere Zeit verhindert (Festhalten eines Gliedes in einer Gipsform), so können sogar ganz falsche Lagevorstellungen entstehen. Die Veranlassung zu solchen Unklarheiten und Täuschungen ist gegeben durch die im Gebiete des Drucksinns stark ausgeprägte Erscheinung der Adaptation oder Anpassung, die es mit sich bringt, daß dauernde Reize, wie sie z. B. ein ruhendes Glied von seiten der Kleidung oder der Unterstützungsfläche erfährt, sehr bald an Wirksamkeit einbüßen und schließlich unmerklich werden¹⁾. Die Vorstellungen von der Gliederlage würden daher noch weit weniger genau und vollständig sein, wenn nicht durch die fast beständigen, meist kaum beachteten Lage- und Stellungsänderungen der Wirkung der Anpassung entgegen gearbeitet würde.

Sherrington²⁾ hat die rezeptorischen Einrichtungen des Organismus unterschieden in exterozeptive, durch äußere Reize in Erregung versetzte, und in propriozeptive, die auf Veränderungen innerhalb des Organismus ansprechen. Diese Scheidung ist für die Kennzeichnung bestimmter Nerven und Reflexarten berechtigt und brauchbar, läßt sich aber für eine Anzahl von Sinneseinrichtungen nicht durchführen. Was insbesondere den Drucksinn betrifft, so zeigen die hier mitgeteilten Versuche und Beobachtungen, daß ihm neben seiner exterozeptiven Funktion, die auf die Erkennung der geometrischen und physikalischen Eigenschaften der Außendinge gerichtet ist, eine mindestens ebenso wichtige propriozeptive zugeschrieben werden muß, nämlich die Wahrnehmung von Lage und Bewegung der Körperteile.

¹⁾ v. Frey und A. Goldman, Zschr. f. Biol., Bd. 65, S. 183 (1914).

²⁾ C. S. Sherrington, Integrative action etc. London 1906, p. 130.