(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Einige Versuche über die Feinheit der Empfindung bei bewegter Tastfläche.

Von

Karl Kassowitz und **Paul Schilder.**

Bekanntlich sind fast alle Versuche, die sich die Ermittlung der Feinheit des Tastsinnes an verschiedenen Körperstellen zur Aufgabe gestellt haben, vor allem die grundlegenden alten E. H. Webers und die erfolgreichen neuen von M. v. Frey, Kiesow u. a., mit ruhenden Tastflächen bzw. mit ruhenden Tastobjekten ausgeführt worden, ruhend in dem Sinne, dass ein oder mehrere Stellen der Tastfläche mit dem Objekte für längere oder kürzere Dauer in Berührung gebracht, nicht aber eine relative Bewegung beider aneinander hervorgerufen wurde.

Es muss das deshalb auffallen, weil das tägliche Leben lehrt, dass wir, gerade wo es sich um feine Tastwahrnehmungen handelt, die zu beurteilenden Gegenstände zwischen den Fingern gleiten lassen oder überhaupt die Tastflächen über dieselben hinführen. Dass die Bedeutung der Bewegung jenen Forschern aber nicht entgangen ist, ergibt sich schon daraus, dass der eben genannte klassische Begründer der modernen Lehre vom Tastsinn, E. H. Weber, sagt¹⁾: „Es ist überhaupt kaum zu glauben, wie viel bei der Wahrnehmung der Körper und der Form ihrer Oberfläche im kleinen (der Rauigkeit und Glätte)“ „von der absichtlichen Bewegung unserer Glieder abhängt“. . . . „Wenn nun ein anderer Glas, Metall, Papier, Leder und andere Körper mit den Fingerspitzen in Berührung bringt und an denselben vorbeibewegt, so verwechselt man Körper, die man sogleich unterscheidet, wenn man die Hand bewegt“. Auch wenn der praktische

1) Weber, Tastsinn-Gemeingefühl. Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner Bd. 3 Abt. 2 S. 541. Braunschweig 1846.

Arzt stereognostische Versuche an seinen Patienten ausführt, verfährt er nach dieser Art und unterscheidet die so gewonnenen Resultate von den unter Verwendung der gewöhnlichen physiologischen Methoden erhaltenen.

Uns sind nur zwei Arbeiten bekannt, die sich mit der Empfindlichkeit bei relativer Bewegung von Objekt und Tastfläche beschäftigen: Hall und Donaldson¹⁾ führten verschiedene Gegenstände unter wechselndem Drucke und mit verschiedener Geschwindigkeit über die zu prüfende Hautstelle und beobachteten die Grösse des Weges, bei welcher eben die Bewegung und die Richtung derselben erkannt wurde. So fanden sie z. B., dass eine solche Verschiebung des Tastkörpers an der Volarseite des Vorderarmes erkannt wurde, wenn sie 6—7 mm betrug, während der Schwellenwert für die Weber'sche Zirkelspitzenmessung 25 mm beträgt. Die Geschwindigkeit der Verschiebung war dabei innerhalb gewisser Grenzen (0,12—15,00 mm per Sekunde) ohne Einfluss auf den Erfolg. Die für verschiedene Körperstellen gefundenen Schwellenwerte variierten weniger untereinander als die Weber'schen Werte und sanken mit steigendem Drucke.

Ferner hat Brown²⁾ ein Ästhesiometer konstruiert, das darauf beruht, dass eine in einer Fläche angebrachte Vorwölbung von variabler Höhe über die zu prüfende Hautstelle geführt wurde und die geringste Höhe, die schon merklich war, als Maass der Empfindlichkeit diente.

Methode der Untersuchung.

Die folgenden Versuche sind ausschliesslich darauf gerichtet, die Feinheit des Tastsinnes an verschiedenen Körperstellen durch die Breite einer Spalte zu messen, die eben bemerkt wird, indem der Experimentator durch Willkürbewegung seine Tastfläche über sie hingleiten lässt, und diese Feinheit zu vergleichen mit der, welche sich ergibt, wenn als Maass die Breite der Spalte genommen wird, welche bei Ruhe eben wahrnehmbar ist. Schon bei den ersten Versuchen stellte sich die Schwierigkeit heraus, dass für die Wahr-

1) Hall und Donaldson, Motor sensations on the skin. Mind. vol. 10 p. 557. 1885.

2) Brown, Note on new form of Aesthesiometer. Journ. of physiol. vol. 27 p. 85. 1901—1902.

nehmbarkeit ausser der Breite der Spalte und der Empfindlichkeit der Tastfläche noch ein dritter Faktor maassgebend ist, nämlich der Druck der zwischen beiden herrscht. Ja man könnte noch von einem vierten Faktor sprechen, nämlich der Geschwindigkeit der relativen Bewegung, welcher sich, wenigstens in gewissen Versuchen, als zweifellos erkennbar herausstellte. Wir haben uns deshalb bemüht, diese Geschwindigkeit in allen Versuchen gleich zu gestalten, so dass die durch diesen Faktor bedingten Fehler wohl vernachlässigt werden können. Was aber den Druck anbelangt, so musste dafür gesorgt werden, dass er messbar und so weit als möglich konstant war.

Wir erreichten unsere Zwecke durch folgende einfache Vorrichtungen. Zwei vernickelte Messingstäbe von 53 cm Länge und quadratischem Querschnitt, dessen Seitenlänge 1 cm ist, sind in einem Scharniere so verbunden, dass sie parallel gelagert, eine Spalte zwischen sich nur als Linie für das Auge erkennen lassen. Die freien Enden derselben sind durch eine Schraube und eine gegenrückende Feder so voneinander zu entfernen, dass die Spalte keilförmig wird. Da die Stäbe mit einer Zentimeterteilung, die an der Drehungsachse des Scharniers den Nullpunkt hat, versehen sind, so kann man jederzeit leicht aus der Messung der Spaltbreite am Ende der Stäbe die Breite an einer anderen Stelle derselben berechnen. So hat man eine kontinuierlich an Breite zunehmende Spalte vor sich, an welcher man leicht die Grenze der Wahrnehmbarkeit ermitteln kann. Als sich bei gewissen alsbald zu nennenden Versuchen diese Spalte sowie die ganze Vorrichtung als zu gering dimensioniert erwies, haben wir statt derselben zwei Metallplatten benutzt, die auf einer Unterlage gegeneinander verschiebbar befestigt waren.

Um den Druck der Stabvorrichtung auf die Tastfläche konstant und messbar zu gestalten, haben wir die erstere auf die eine Schale einer Balancewage gelegt und deren Gewicht austariert; dann haben wir weiterhin eine so grosse Zahl von Grammgewichten auf die Wagschale gelegt, wie es dem gewünschten Drucke entsprach. Indem wir nun z. B. bei einem Versuche, bei dem die Tastfläche nicht bewegt werden sollte, wenn es sich z. B. um die Fingerbeere handelte, diese auf die Spalte aufsetzten und so stark niederdrückten, dass der Wagebalken in Schwebelage gehalten wurde, herrschte ein Druck zwischen Finger und Spaltvorrichtung, welcher mit genügender Genauigkeit durch die Anzahl der aufgelegten Gramme gemessen war. Bei den Versuchen mit bewegter Tastfläche wurde der Finger

erst neben der Spalte aufgesetzt, der Druck ausgeübt, und erst wenn der Wagebalken in Schwebelage war, die Fingerbeere über die Spalte geführt.

Es ist selbstverständlich, dass solche Versuche nur von zweien ausgeführt werden können, von denen der eine mit geschlossenen Augen die Tastung vornimmt und der andere die Beobachtung der Wage, die Ablesungen usw. besorgt. Wir haben in diesen Verrichtungen abgewechselt, so dass jede Versuchsreihe von jedem von uns als Tastendem ausgeführt worden ist. Die Resultate haben sich aber für uns beide als so übereinstimmend herausgestellt, dass ihre Unterschiede weit innerhalb der Fehlergrenzen lagen, und somit in die später folgenden Tabellen die wenigen Zahlen eingesetzt werden konnten, gleichgültig ob sie von dem einen oder von dem anderen gewonnen waren.

So einfach unser Versuchsplan und unsere Apparate ausgedacht waren, stellten sich doch bald Schwierigkeiten heraus, deren Überwindung nicht gelang, so dass die Genauigkeit unserer Resultate vieles zu wünschen übrig lässt. Immerhin zeugen die gewonnenen Zahlen von einer so grossen Verschiedenheit der Empfindlichkeit, dass die Resultate weit ausserhalb der Fehlergrenzen liegen, also wohl der Mitteilung wert sind.

Die erste Schwierigkeit, auf die wir stiessen, bot die Spaltvorrichtung, indem sich herausstellte, dass trotz feinsten mechanischen Arbeit, Abschleifen der aneinandergesetzten Stäbe usw., die eine Kante der Spalte spurweise höher stand als die andere. Diese Niveaudifferenz war mit freiem Auge nicht zu erkennen, verriet sich aber für den Tastsinn schon bei den Vorversuchen in der Form, dass der Durchschnittswert einer Versuchsreihe, bei der der Finger von dem Stab A nach dem Stab B gleitete, konstant ein grösserer war als der Durchschnittswert der Versuchsreihe, bei der der Finger von B nach A geführt wurde. Wir suchten diesen Fehler dadurch unschädlich zu machen, dass wir in allen Versuchen dieselbe Gleitrichtung, nämlich von dem höheren zu dem niedrigeren Stab, einhielten.

Eine weitere Schwierigkeit lag in der wechselnden Deutung, die man unwillkürlich den Tastempfindungen gibt, und welche den Eindruck bewirken, man habe es bei dem Übergang von der weiten zur engen Spalte nicht mit ein und demselben Empfindungskomplex von verschiedener Quantität zu tun, sondern mit verschiedenartigen Empfindungskomplexen. Streicht man nämlich mit einem Finger

über die breite Spalte, so empfindet man beide Ränder und deren räumliche Anordnung. Bei allmählicher Verengerung verschwindet zuerst der erste Rand (gerechnet in der Richtung der Bewegung), oder man bekommt zunächst den Eindruck, als würden die Kanten rundlich werden und der Finger über eine Mulde gleiten. Bei noch grösserer Verengerung fühlt man nicht mehr eine Spalte, sondern ein Kratzen oder Reiben, eventuell hat man ein Kitzelgefühl, bis auch diese Empfindungen schliesslich verschwinden. Auch die Täuschung, man gleite über eine Leiste, kommt häufig vor. Wir halfen uns diesen mannigfaltigen psychischen Deutungen unserer Tasteindrücke gegenüber dadurch, dass wir eben immer die Grenze aufsuchten, bei welcher überhaupt keine Diskontinuitätsempfindung mehr auftrat.

Da wir die Feinheit der Empfindung bei Bewegung vergleichen wollten mit der bei Ruhe, haben wir Parallelversuche ausgeführt, bei welchen die Tastfläche unter Vermeidung allen Gleitens auf die Spalte aufgesetzt wurde. Auch in diesem Falle trat eine ähnliche Mannigfaltigkeit der Empfindungsdeutungen ein.

Auch die Erhaltung des Druckes auf konstanter Höhe mittels der Wage hat ihre Schwierigkeit, besonders wenn die Drucke nur wenige Gramme betragen. Die unvermeidlichen Höhenschwankungen des streichenden Fingers bewirken notwendig ebensolche Schwankungen der Wagschale und damit eine zeitweilige Verminderung oder Erhöhung des Druckes. Letztere kann wegen des bedeutenden Trägheitsmomentes der Wage recht nennenswert sein. Wir haben deshalb alle Versuche ausgeschaltet bzw. deren Resultate in unsere Zahlenreihen nicht aufgenommen, bei denen stärkere Schwankungen des Wagebalkens vorhanden waren.

Endlich ist hervorzuheben, dass die Stabvorrichtung natürlich nicht mit mathematischer Genauigkeit gearbeitet sein konnte, indem die Spaltbreite nicht wirklich bis auf Null absank. Ihr geringstes Maass war 0,1 mm. Diese Dimension, sowie überhaupt die kleineren Spaltweiten wurden unter dem Mikroskope ausgemessen.

Resultate unserer Versuche.

Wir wollen mit den Erfahrungen beginnen, die wir an vier Stellen der rechten Hand gewonnen haben, nämlich der Beere des Daumens, des Mittelfingers, des kleinen Fingers und der Haut der Dorsalfäche des Interphalangealgelenkes am Daumen bei Bewegung derselben.

Da fällt zunächst auf, dass bei den Ruheversuchen, bei denen also die Tastfläche unter Vermeidung jeder Verschiebung der Spalte angedrückt wurde, die Grösse des Druckes innerhalb der für die Versuchsreihen anwendbaren Grenzen einen sicher nachweisbaren Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit nicht ausübt. Es muss überhaupt die auffallende Unsicherheit des Urteiles bei diesen Ruheversuchen betont werden, welche uns veranlasste, die Versuchsergebnisse nicht durch je eine Zahl, sondern durch zwei Zahlen als Grenzwerte anzugeben.

Ruhe.

Taststelle	Breite der eben noch merkbaren Spalte
Beere des Daumens.	0,9—1,4 mm
„ „ Mittelfingers	0,5—0,7 „
„ „ kleinen Fingers.	0,5—0,7 „

Eine Messung für das Interphalangealgelenk war in diesem Falle nicht auszuführen, da man eine Empfindung, die als eine solche von einer Spalte, Kante oder dergleichen gedeutet werden konnte, überhaupt nicht gewann, sondern als erstes Zeichen der Spalte eine fast reine Schmerzempfindung auftrat. Von der angegebenen Breite bedeutet immer die erste der beiden Zahlen die grösste sicher nicht empfindbare, die zweite Zahl die kleinste sicher empfindbare Spaltweite.

Nicht unerwähnt wollen wir die grossen Variationen des Druckes lassen, die wir anwendeten, ehe wir uns entschlossen, von der geringen Bedeutung desselben für die Wahrnehmung zu sprechen. So haben wir z. B. an der Daumenbeere Drucke von 5—3575 g angewendet. Bei diesen hohen Drucken liess die Spalte von 0,9 mm einen sichtbaren Abdruck auf der Fingerbeere zurück, und trotzdem wurde sie nicht empfunden.

Sehr maassgebend für die Empfindbarkeit ist hingegen der Druck bei bewegtem Finger. Die folgende Tabelle zeigt dies. In derselben sind die Werte für Mittelfinger und kleinen Finger zusammengezogen, da uns zahlreiche Versuche lehrten, dass ein Unterschied in der Empfindlichkeit dieser beiden nicht nachweisbar ist.

Bewegung.

Spaltweite	Höchster Druck, bei dem die Spalte unwahrnehmbar ist		
	Daumenbeere	Phalangealgelenk	3. und 5. Finger
0,1 mm	200 g	100 g	30 g
0,14 "	80 g	75 g	20 g
0,2 "	50 g	50 g	15 g
0,4 "	25 g	25 g	10 g
0,5 "	10 g	< 5 g	< 5 g
0,7 "	5 g	< 5 g	< 5 g

In dieser Tabelle fällt zunächst die relative Unempfindlichkeit der Daumenbeere besonders bei hohen Drucken auf. Der unmittelbare Eindruck ergibt, dass dies mit der Wölbung derselben zusammenhängt. Auch bei anderen Körperstellen haben wir die Bevorzugung von Krümmungen kürzerer Radien bei der Spaltempfindung beobachtet. Wir haben nämlich die Haut am Interphalangealgelenk des Daumens immer bei Beugung desselben geprüft; es liegt auf der Hand, dass eine solche Wölbung von kleinem Krümmungshalbmesser sich verhältnismässig tief in die Spalte einsenkt, also bei der Horizontalbewegung stärkeren Drucken von seiten der Kanten ausgesetzt ist. Damit hängt es zusammen, dass der Daumenballen bei der Spaltenprüfung sich auch im Falle der Bewegung als auffallend wenig empfindlich erweist.

Weniger bestimmte Eindrücke erhält man bei Tastversuchen der in Rede stehenden Art von der Haut des Fusses. Wir haben hier die untere Fläche der Ferse und die Beere der grossen Zehe untersucht und können angeben:

Ruhe.

Taststelle	Durchschnittl. Breite der eben noch unmerkbar. Spalte
Beere der grossen Zehe	8 mm
Sohlenhaut der Ferse	8 "

Die grosse Zehe haben wir teils mit ihrer unteren Fläche unter einem Winkel von ca. 45°, teils unter einem solchen von ca. 90° auf die Spalte aufgesetzt; im letzteren Falle berührte die vordere dem freien Nagel zunächst gelegene Hautstelle. Einen Unterschied

in der Empfindlichkeit je nach der Verwendung dieser beiden Stellen konnten wir nicht festsetzen, auch zeigte sich die Grösse des Druckes innerhalb weiter Grenzen als kaum oder nicht bestimmend für das Urteil. Die obige Angabe von 8 mm bedeutet, dass wir zwar bisweilen auch schon Spalten von viel geringerer Weite, ja, merkwürdigerweise in seltenen Fällen von der Weite 0,5 mm deutlich als solche erkannten, bisweilen aber auch Spalten von 8 mm nicht erkannten. Es macht den Eindruck, als würde hier bei der ungewöhnlich dicken Epidermislage die Feinheit der Empfindung von der zufälligen Verteilung der Reize (Kanten) auf die Druckpunkte abhängen.

Die Sohle haben wir unter einem Winkel von ca. 30° auf die Spalte gesetzt. Auch hier zeigte sich das Resultat von der Grösse des Druckes in weiten Grenzen unabhängig.

Die Resultate bei bewegter Sohle waren folgende:

Bewegung.

Spaltweite	Höchster Druck, bei dem die Spalte unwahrnehmbar ist	
	Sohlenhaut der Ferse	Beere der grossen Zehe
0,5 mm	350 g	100 g
1,0 "	200 g	50 g
2,0 "	100 g	< 15 g
4,0 "	80 g	—

Die aus diesen Zahlen sich ergebende geringere Eignung der Haut des Fusses, unzweideutige Wahrnehmungen zu vermitteln, trat auch in den eingeschalteten Vexierversuchen zutage. Während beim Aufsetzen der Tastflächen der Hand auf eine glatte Fläche die Täuschung bloss bis zum Urteil „geringe Rauigkeit“ führte, erhielten wir hier wiederholt die Angabe: „man spüre deutlich die beiden Kanten.“ Solche Vexierversuche haben wir selbstverständlich bei allen Versuchsreihen eingeschaltet.

Alle hier angeführten Werte für die Empfindlichkeit bei bewegter Tastfläche werden übertroffen von dem für die Empfindlichkeit der Zungenspitze. Eine Spalte von 0,1 mm wurde bei einem Druck von 5 g noch vollkommen sicher wahrgenommen, aber auch bei einem solchen von 1 g trat die Wahrnehmung ein, nur ist diese Belastung wegen der oben genannten Schwankungen der Wage

nicht konstant zu erhalten, weshalb wir dieses Resultat mit Reserve mitteilen müssen.

Aus der Vergleichung der Werte für die bewegte Tastfläche ergibt sich im allgemeinen folgende Stufenleiter für ihre Empfindlichkeit: Zungenspitze, dritter und fünfter Finger, Interphalangealgelenk des Daumens, Beere des Daumens, Beere der grossen Zehe, Sohlenhaut der Ferse. Wie man sieht, stimmt diese Reihenfolge im wesentlichen mit der auf anderem Wege von E. H. Weber gefundenen überein.

Wenn wir sagen „im wesentlichen“, so muss dies deshalb geschehen, weil einige der hier untersuchten Tastflächen von Weber einer genaueren Messung nicht unterworfen wurden. Es variiert übrigens, wie aus der zweiten angeführten Tabelle hervorgeht, die Empfindlichkeit bei abnehmenden Drucken an den benutzten Hautstellen in ganz ungleicher Weise. Wie nämlich oben hervor gehoben, spielt die Wölbung der Tastfläche eine hervorragende Rolle, die mit wachsendem Drucke immer mehr in den Vordergrund tritt.

Damit hängt das Resultat des folgenden Versuches zusammen: Als wir zwei Metallplatten von 10×18 cm und 4 mm Dicke in einer Entfernung von 16 cm auf die Wagschale legten und dann die Volarseite des Unterarmes unter Drucken bis 1500 g gegen dieselbe pressten, empfanden wir nichts von der unter ihm befindlichen breiten Spalte. Derselbe Versuch gab mit der Ulnarseite des Oberarms das gleiche Resultat. Notwendig dabei war, dass die Platten näherungsweise auf die Hauttemperatur erwärmt waren. Würde die Hautfläche so gewölbt gewesen sein, dass die Kanten der Platten eingeschnitten hätten, oder würde dieser Effekt durch die Bewegung der Tastfläche erzielt worden sein, so wäre die 16 cm breite Spalte sicher nicht unmerklich gewesen.

Im folgenden seien die untersuchten Tastflächen nach ihrer Empfindlichkeit in eine Reihe gestellt und diese mit den Reihen verglichen, die sich aus den Messungen E. H. Weber's und M. v. Frey's ergeben ¹⁾.

1) Frey, Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinns. I. Berichte über die Verhandlungen der math.-physik. Klasse der kgl. sächs. Gesellsch. der Wissensch., 2. Juli 1894. Leipzig.

Eigene Versuche		Weber	v. Frey
Ruhe	Bewegung		
Beere des 3. und 5. Fingers,	Zungenspitze, Beere des 3. und 5. Fingers,	Zungenspitze, Beere des Fingers,	Zunge, Fingerspitze
Beere des Daumens, Beere der grossen Zehe und Sohlenhaut.	Interphalangealhaut des Daumens, Beere des Daumens, Beere der grossen Zehe, Sohlenhaut.	Beere der grossen Zehe, Hinterer Teil der Ferse.	Fusssohle

Unserem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrat Sigm. Exner, sagen wir an dieser Stelle den herzlichsten Dank für die weitgehende Förderung, die er unserer Arbeit zuteil werden liess.