

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Handbuch der Physiologie des Menschen

in vier Bänden (und einem Ergänzungsbande)

Physiologie der Sinne

Nagel, Wilibald A.

1905

Physiologie der Druck-, Temperatur- und Schmerzempfindungen. Von
Torsten Thunberg

Physiologie der Druck-, Temperatur- und Schmerzempfindungen

von

Torsten Thunberg¹⁾.

„Eine genaue, durch Messungen unterstützte Untersuchung über den Tastsinn und das Gemeingefühl der Haut bietet deswegen ein besonderes Interesse dar, weil wir bei keinem anderen Sinnesorgan Gelegenheit haben, ohne uns zu schaden, die mannigfaltigsten Experimente anzustellen und in verschiedener Hinsicht Messungen auszuführen, und weil manches von dem, was wir auf diese Weise an der Haut beobachten, sich nachher auch auf den Gesichtssinn und auf andere Sinne, sowie auch auf das Gemeingefühl anwenden läßt.“

E. H. Weber.

I. Geschichtliche Übersicht.

Vielleicht das älteste psychologische Experiment, das wir kennen, gehört der Physiologie der Hautempfindungen an; es handelt sich um die Hervorrufung der Doppelempfindung, welche entsteht, wenn man eine kleine Kugel zwischen dem gekreuzten Mittel- und Zeigefinger einer Hand hält — ein Versuch, den schon Aristoteles²⁾ beschrieben hat. Trotz ihrer alten Ahnen blieb doch die Physiologie der Hautsinne länger als die anderen Kapitel der Sinnesphysiologie ein relativ vernachlässigtes Gebiet; in allen älteren Darstellungen der Physiologie bis zu den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts wurde sie sehr stiefmütterlich behandelt, und erst mit Webers Untersuchungen beginnt die vollständigere und systematische Bearbeitung dieser Funktionen. Die verwandte Frage über das Vermögen der verschiedenen Körperteile, Schmerzempfindungen auszulösen, war dagegen weit eingehender behandelt worden, und schon bei Haller³⁾ sind mehrere diese Frage berührende Beobachtungen mitgeteilt.

Zugleich ein Beweis und eine Ursache für diesen lange Zeit rückständigen Standpunkt der Physiologie der Hautsinne liegt darin, daß man seit alters her im allgemeinen alle die verschiedenen Empfindungen, welche von der Haut ausgelöst werden können, unter dem einzigen Begriff: „Tastempfin-

¹⁾ Der Verf. ist Herrn Dr. H. Piper, Berlin, zu großem Danke verpflichtet, der das Manuskript in sprachlicher Hinsicht revidiert und verbessert hat. —

²⁾ Metaphysik (Buch III, Kap. 6 und Buch X, Kap. 6). Problemata 35, 10. (Henri: Raumwahrnehmungen, Berlin 1898, S. 67). — ³⁾ Elementa physiol. corporis humani, Tomus V, Sensus externi, interni. Lausannae 1763.

dungen“ zusammenfaßte, ohne dabei die Unterschiede der verschiedenen Sinnesqualitäten zu analysieren. Als erfreuliche Ausnahme hiervon muß der Versuch Pechlins¹⁾ gelten, welcher zwischen einem Temperatursinn (*Caloris et frigoris sensus*) und einem Gefühlssinn (*tactus*) unterschied, wenn auch seine Gründe für diese Trennung jetzt veraltet scheinen. Ende des 18. Jahrhunderts hat auch Erasmus Darwin²⁾ für die Scheidung des Temperatursinnes (*Sens de la chaleur*) vom Gefühlssinn (*Sens du toucher*) plädiert und zur Stütze seiner Ansicht neben anderen Gründen die Beobachtung geltend gemacht, daß ein Patient, der den Gefühlssinn verloren hatte, doch die Annäherung eines glühenden Eisens wahrnehmen konnte.

Aber diese Versuche, die verschiedenen Hautempfindungen gegeneinander abzugrenzen, welche wir jetzt als eine notwendige Voraussetzung für eine fruchtbringende Behandlung dieses Gebietes anzusehen gewohnt sind, blieben lange unbeachtet und wurden weder fortgesetzt noch erweitert. Erst E. H. Weber³⁾ unternahm eine systematische Bearbeitung der Physiologie der Hautempfindungen, eine Bearbeitung, die als bahnbrechend angesehen werden muß. Weber stellte ausgedehnte neue Versuche und Beobachtungen über alle Sinnesqualitäten der Haut an; besonders möge hier erwähnt werden, daß er in dem Gebiete der Druckempfindungen die wichtigen Versuchsreihen über die kleinsten wahrnehmbaren Gewichtsunterschiede durchführte, welche zur Aufstellung des nach ihm genannten Weberschen Gesetzes Anlaß gaben. Bei seinen Versuchen über das Lokalisationsvermögen der Haut hat er unter anderem auch die Methode der kleinsten wahrnehmbaren Spitzendistanz angegeben und den großen Unterschied, welchen verschiedene Hautstellen in dieser Hinsicht zeigen, zuerst festgestellt. Fernerhin führte er den Begriff der „Empfindungskreise“ ein und wurde des weiteren durch seine Versuche über die Kälte- und Wärmeempfindungen zu der nach ihm genannten Temperatursinnestheorie geleitet — eine Theorie, welche auf Grund der neueren Untersuchungen als die zurzeit wahrscheinlichste angesehen werden kann. Er gab dann eine interessante Erklärung der Objektivierung und Nichtobjektivierung unserer Hautempfindungen, kurzum, er überschüttete die Wissenschaft mit einer Fülle von neuen Tatsachen und theoretischen Anregungen, und nichts verschafft einen besseren Eindruck von der Experimentierkunst und Gedankenfruchtbarkeit dieses Forschers, als wenn man die Darstellung der Physiologie der Hautsinne in einem Lehrbuch vor und nach der Zeit Webers vergleichsweise studiert.

Für lange Zeit haben die bahnbrechenden Untersuchungen Webers die Forschungsrichtung auf dem Gebiete der Hautempfindungen bestimmt. Das größte Interesse haben dabei lange die Studien über die kleinste wahrnehm-

¹⁾ Jo. Nicol. Pechlini *Observationum physico-medicae libri tres*. Hamburgi 1691. Liber tertius, *Observat.* 9, 410. Zitiert nach Hermann Hoffmann, *Stereognostische Versuche*. Dissertation. Straßburg 1883. Mehrere geschichtliche Notizen sind da zu finden. — ²⁾ Erasmus Darwins *Zoonomia or the laws of organic life*, London 1794. Übersetzung durch J. F. Kluysdens, Tome premier, Gand 1810. Sect. XIV, 2, 183; 6, 202; 7, 206, zitiert nach Hoffmann. Siehe auch Pflüger; *Pflügers Arch.* 18, 375, 1878. — ³⁾ *Annotationes anatomicae et physiologicae*, Lipsiae 1834; *Wagners Handwörterbuch der Physiol.* 3, 2, Braunschweig 1846.

bare Spitzendistanz absorbiert, während die übrigen Gebiete der Hautsinne fast durchweg stark vernachlässigt blieben.

Eine neue Ära für die Hautsinnesphysiologie ist erst durch die Entdeckung der Kälte-, Wärme- und Druckpunkte durch Blix¹⁾ (1882) angebrochen, welche nicht nur für die Physiologie der Hautsinne durch die Sicherstellung der Existenz verschiedener Kälte-, Wärme- und Drucknerven, sondern auch für die allgemeine Sinnesphysiologie, besonders für die Müllersche Lehre der spezifischen Sinnesenergien von der größten Bedeutung war. Etwas später als Blix haben Goldscheider (1884)²⁾ und Donaldson (1885)³⁾ dieselbe Beobachtung gemacht.

Das letzte theoretisch wichtige Entwicklungsstadium der Hautsinnesphysiologie, das gegenwärtige, ist durch die Controverse über die Existenz besonderer Schmerzpunkte und Schmerznerveu charakterisiert. Vor allem sind hier die Untersuchungen von v. Frey⁴⁾ zu nennen, welche sichere Beweise für die Existenz der Schmerznerveu geliefert zu haben scheinen. Dieses letzte Stadium zeitigte unter anderem sehr wesentliche Fortschritte in der Methodik und ist durch anerkanntenswerte Kritik und Zurückhaltung in der theoretischen Verwertung der Resultate ausgezeichnet, ein Punkt, in dem die bezüglichen Untersuchungen der früheren Zeit leider oft sehr zu wünschen übrig ließen.

II. Klassifikation der Hautempfindungen.

Jedermann weiß, daß eine große Anzahl verschiedener Empfindungen von der Haut ausgelöst werden können und auch häufig ausgelöst werden. Schon die äußeren Einflüsse, welchen unsere Haut im täglichen Leben ständig ausgesetzt ist, verursachen mehr oder weniger intensive Empfindungen von Berührung, Druck, Kälte, Wärme, und auch von der Haut ausgelöste Schmerzempfindungen und Empfindungen von Kitzel und Jucken liegen innerhalb der alltäglichen Erfahrung. Wenn man die Haut in systematischen Versuchen der Einwirkung verschiedenartiger und verschieden intensiver Reize — sie mögen mechanischer, thermischer, chemischer oder elektrischer Art sein — aussetzt, so werden dabei ebenfalls Empfindungen ausgelöst. Man kann nun feststellen, wenn man die verschiedenen Reizmittel hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Hautempfindungen auszulösen, systematisch durchprüft, daß zwar Empfindungen in anderen Intensitäten und anderen Kombinationen als unter gewöhnlichen Verhältnissen erhalten werden, daß aber qualitativ neue Empfindungen dabei nicht entstehen — auch dann nicht, wenn man Reize anwendet, welche, wie die elektrischen, kaum unter den natürlichen Lebensbedingungen des Individuums vorkommen. Dieses Ergebnis steht in bester Übereinstimmung mit dem Gesetze der spezifischen Sinnesenergien, nach welchem alle Empfindungen, die von einem und demselben Sinnesnerv ausgelöst

¹⁾ Upsala Läkareförenings förh. 18 (1882/83); die ersten Mitteilungen darüber 28./4. und 20./10. 1882 gemacht. Zeitschr. f. Biol. 20 (1884) u. 21 (1885). — ²⁾ Monatsh. f. prakt. Dermatol. 3 (1884). Nachher in Goldscheiders Gesammelten Abhandlungen, Leipzig 1898. Als Ges.-Abh. zitiert. — ³⁾ Mind 10 (1885). — ⁴⁾ Berichte der math.-phys. Klasse d. Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. d. Leipzig 1894, 1895. Abhandlungen derselben Gesellschaft 1896. Nachher als Leipziger Ber. resp. Leipziger Abh. zitiert.

werden, bezüglich ihrer Qualität von der Art des Reizes absolut unabhängig sind.

Wenn man nun alle die verschiedenen Hautempfindungen einer psychologischen Analyse unterwirft, sie genau beobachtet und sie mit Hinsicht auf Ähnlichkeit oder Unähnlichkeit miteinander vergleicht, findet man, daß man einfache und zusammengesetzte Empfindungen¹⁾ unterscheiden muß. Die Qualität der ersteren ist für die psychologische Analyse nicht mehr zerlegbar; die Qualität der zusammengesetzten Empfindungen dagegen läßt Bestandteile unterscheiden, deren jeder selbständig für sich noch wieder variiert werden kann. Diese verschiedenen selbständig variablen Elemente sind zwar in der zusammengesetzten Hautempfindung mehr oder weniger schwierig zu beobachten, können aber für sich, ungemischt, also als einfache Empfindungen auftreten. Es leuchtet ein, daß die Darstellung der Physiologie der Hautsinne von diesen einfachen Elementen ausgehen muß.

Von solchen einfachen Empfindungsqualitäten sind mindestens vier zu unterscheiden, nämlich die Qualitäten der Druckempfindung, der Kälteempfindung, der Wärmeempfindung und der Schmerzempfindung. Es muß indessen die Frage offen gelassen werden, ob sämtliche verschiedene Hautempfindungen zu ihrer Qualität allein aus diesen Qualitätselementen aufgebaut werden können, oder ob nicht außerdem noch andere selbständige Empfindungsqualitäten in sie eingehen und angenommen werden müssen. Vielleicht gibt es mehrere Schmerzqualitäten, vielleicht sind auch die Empfindungen von Kitzel und Jucken als selbständige Empfindungselemente aufzufassen. Übrigens sei schon hier darauf hingewiesen, daß zweifellos auch zusammengesetzte Empfindungen vorkommen, welche nicht nur Hautempfindungsqualitäten, sondern auch von anderen Sinnesnerven ausgelöste Empfindungen als Bestandteile enthalten, z. B. sog. Muskelsinnesempfindungen. (Siehe unten z. B. die Empfindung von Glätte.)

Als Ergebnis der psychologischen Analyse der Hautempfindungen ist, wie gesagt, sichergestellt, daß mindestens vier verschiedene, selbständig variable Empfindungsqualitäten in der Haut ausgelöst werden können. Wenn auch bei jeder Klassifikation der Empfindungen die psychologische Analyse ausschlaggebend sein muß, ist es doch bei den großen Schwierigkeiten, mit welchen eine solche Analyse, die ja auf ganz subjektiven Gründen baut, kämpfen muß, eine Tatsache von größtem Wert, daß die mehr anatomisch-physiologische Forschung zu denselben Resultaten und Folgerungen geführt hat und somit als bedeutsame Stütze für die Richtigkeit jener Schlüsse herangezogen werden kann. Durch die grundlegende Entdeckung der Druck-, Kälte- und Wärmepunkte durch Blix ist nämlich die Existenz besonderer Drucknerven, besonderer Kältenerven und besonderer Wärmernerven sichergestellt, und ferner konnte v. Frey es in hohem Grade wahrscheinlich machen, daß es außerdem noch besondere Schmerznerve gibt.

Auch andere Beobachtungen weisen mit Sicherheit darauf hin, daß es in der Haut mehrere selbständige Sinnesqualitäten mit entsprechenden Endorganen geben muß. Dies zeigen z. B. die Untersuchungen Herzens²⁾ und

¹⁾ Siehe hierüber Öhrwall, Skand. Arch. f. Physiol. **11**, 245, 1901. —

²⁾ Pfügers Arch. **38**, 93, 1886.

Goldscheiders¹⁾ über die bei Nervenkompression entstehenden partiellen Empfindungslähmungen: die Kälte- und Druckempfindlichkeit schien dabei mehr herabgesetzt zu werden als die Wärme- und Schmerzempfindlichkeit. Auch die vielen an Nervenkranken beobachteten partiellen Empfindungslähmungen wie auch die Untersuchungen Stranskys²⁾ über die Entwicklung der verschiedenen Empfindungsqualitäten in transplantierten Hautstücken geben sehr bestimmte Fingerzeige: die taktile Empfindung tritt meist zuerst und am ausgebreitetsten hervor, während Schmerz- und Temperaturempfindung, namentlich letztere, erst später nachfolgen.

III. Die Sinnespunkte der Haut.

Wenn man über die Haut ohne Druck eine abgekühlte Metallspitze hinführt und die dabei entstehenden Empfindungen analysiert, so findet man, daß sich je nach dem Temperaturgrade der Spitze voneinander abweichende Resultate ergeben. Wenn man eine nicht zu niedrige Temperatur wählt, zeigt sich, daß Kälteempfindungen nur an gewissen, einen oder mehrere Millimeter voneinander liegenden, sehr kleinen, beinahe punktförmigen Hautstellen erhalten werden, während sie an den dazwischenliegenden Partien nicht ausgelöst werden können. Diese kleinen Stellen der Haut, welche bei nicht zu starker Reizung einzig imstande sind, Kälteempfindungen zu geben, sind ganz unverrückbar auf oder in der Haut, an stets wieder auffindbaren Orten gelegen. Wenn man ihre Lage mit Farbe dauernd kennzeichnet, kann man sie nach beliebig langer Zeit stets leicht wieder identifizieren. Untersucht man die Haut mit einer stärker abgekühlten Spitze, so können zwar Kälteempfindungen auch an den zwischenliegenden Partien ausgelöst werden, doch ist die Empfindlichkeit hier geringer als an den früher markierten Orten; je größer der Abstand zwischen diesen, bei schwacher Reizung allein empfindlichen Punkten und der gereizten Hautstelle ist, desto geringer erweist sich die Empfindlichkeit dieser letzteren. Man bezeichnet diese für Kältereize maximal empfindlichen Punkte, um die die Empfindlichkeit mit der Entfernung abnimmt, als „Kältepunkte“ (Blix).

Untersucht man die Haut in gleicher Weise mit einer warmen Spitze, so findet man ebenso Punkte, welche eine maximale Empfindlichkeit für Wärmereize besitzen und mit Wärmeempfindungen antworten — Wärmepunkte (Blix). Man findet weiter bei Reizung mit Druckkreisen maximal empfindliche, mit Druckempfindungen antwortende Druckpunkte (Blix) und endlich Schmerzpunkte, die Schmerzempfindungen (Stichempfindungen) auslösen und mit dieser Empfindungsqualität am promptesten auf thermische, mechanische und elektrische Reize reagieren (v. Frey³⁾). Alle diese Sinnespunkte, die Druck-, Kälte-, Wärme- und Schmerzpunkte, fallen nicht miteinander zusammen, sondern nehmen verschiedene Orte in der Haut ein.

¹⁾ Ges. Abh. 1, 275. — ²⁾ Wien. klin. Wochenschr. 1899, S. 833. — ³⁾ Schon Blix hatte die Existenz solcher für mechanische Reizung (Nadelstiche) besonders empfindlicher Punkte, welche Schmerzempfindungen auslösen, festgestellt, aber erst v. Frey fand, daß die Verhältnisse hier ganz analog denjenigen der anderen Sinnespunkte liegen.

Die einzig plausible Deutung dieser Verhältnisse ist die, daß die Haut verschiedene Sinnesnerven — Drucknerven, Kältenerven, Wärmernerven und Schmerznerve — besitzt, daß diese Nerven unmittelbar unter der Hautoberfläche, eventuell mit besonderen Endorganen endigen, und daß die Sinnespunkte die an die Hautoberfläche hinaus projizierten Nervenenden oder Endapparate darstellen. Daß auch von den zwischenliegenden Hautpartien bei kräftigerem Reiz Empfindungen ausgelöst werden können, ist mit dieser Annahme ganz wohl vereinbar, da ja die Reize zu dem Endorgan nicht nur von einem senkrecht darüberliegenden Punkt, sondern auch von mehr zur Seite liegenden Punkten dringen können, wobei dann natürlich der Reizeffekt mit dem Abstand vermindert wird; diese Befunde fordern also keineswegs die Annahme, daß empfindliche Endorgane auch unter diesen Zwischenfeldern liegen.

Obleich durch einen flächenförmigen Reiz nur zerstreut liegende Endorgane in der Haut gereizt werden, hat man doch den Eindruck einer kontinuierlichen Berührungsfläche. Dies ist nur ein Spezialfall des allgemeinen Gesetzes, daß wir Lücken in der räumlichen Anordnung der Sinnesnerven ausfüllen, ein Gesetz, welches bekanntlich besonders gern und elegant durch Versuche begründet und illustriert wird, durch welche die Vollständigkeit des Sehfeldes trotz Vorhandensein des blinden Fleckes im Auge dargetan wird. Als Ursache für dieses Zusammenfließen der von den verschiedenen Hautpunkten ausgelösten Empfindungen ist auch der Umstand hervorgehoben worden, daß jeder Sinnespunkt, einzeln gereizt, nicht eine punktförmige, sondern eine „scheibenartige“ Empfindung geben soll (Goldscheider¹⁾. Wenigstens soll dies von den Kälte- und Wärmepunkten gelten, während man von der durch einen Druckpunkt ausgelösten Empfindung vielleicht besser sagen kann, daß sie zwar durch ein dem punktförmigen nahe kommendes, aber breiteres und volleres Gefühl charakterisiert ist (Goldscheider¹⁾. Als Erklärungsgrund für den kontinuierlichen Flächeneindruck wäre ein solches Verhalten nur dann zu verwerten, wenn die Reizung jedes besonderen Sinnespunktes den Eindruck mindestens einer so großen Fläche gäbe, daß sie den nächstliegenden Sinnespunkt halbwegs erreichte, was indessen nichts weniger als wahrscheinlich ist. Bedenkt man, daß auch die hier und da zwischen den Sinnespunkten befindlichen, bis zentimetergroßen Lakunen bei Flächenreizen gar nicht als Lücken empfunden werden, so scheint es, daß es die psychische Tendenz, Lücken in der räumlichen Anordnung unserer Sinnesnervenenden auszufüllen, selbst ist, welche als bestimmender Faktor den kontinuierlichen Flächeneindruck ohne weiteres erklärt. Wäre diese Neigung nicht da, so würden wir, auch wenn die Reizung eines Sinnespunktes eine scheibenartige Empfindung gibt, meistens nur disparate Scheiben statt disparater Punkte wahrnehmen, nicht aber ein Kontinuum.

Die Methoden zur Aufsuchung der Sinnespunkte. Die Apparate zur Aufsuchung der Kälte- und Wärmepunkte können sehr einfach sein. Am besten wendet man wie Blix hohle Metallspitzen an, welche durch inwendig strömendes Wasser auf einer konstanten Temperatur gehalten werden. Modi-

¹⁾ Ges. Abh. 1, 116 u. 191.

fikationen für verschiedene Zwecke sind u. a. von Alrutz¹⁾ und Kiesow²⁾ angegeben worden. Für eine genaue Bestimmung der Druckpunkte genügt zwar schon der von Blix konstruierte Apparat allen Forderungen an wissenschaftliche Exaktheit, derselbe war aber etwas unbequem zu handhaben. In dieser Beziehung haben dagegen die von v. Frey³⁾ angegebenen Reizhaare wesentliche Vorzüge, zu denen noch der hinzukommt, daß sie auch zum Aufsuchen der Schmerzpunkte geeignet sind. An das eine Ende eines leichten, etwa 8 cm langen Holzstäbchens wird ein möglichst wenig gekrümmtes Haar oder ein Stück eines solchen senkrecht zur Achse des Stäbchens festgeklebt, so daß es nach einer Seite ungefähr 20 bis 30 mm, unter Umständen auch noch weiter vorsteht. Man braucht eine größere Anzahl solcher Stäbchen, für welche man Haare verschiedener Stärke auswählt. Jedes solches Stäbchen stellt bei richtigem Gebrauch ein Reizwerkzeug von bestimmter, innerhalb enger Grenzen liegender Wertigkeit dar. Setzt man nämlich das Haar möglichst senkrecht zur Hautfläche auf und drückt, bis es sich schwach biegt, so übt jedes einzelne Haar einen bestimmten Druck aus, und der Wert dieses Druckes ist auf der Wage bestimmbar. — An Stelle von Haaren kann man auch feine Glasfäden oder Lamettadrähte anwenden⁴⁾. — Es ist nun bei Auswahl und Benutzung eines angemessenen Reizhaares nicht schwer, die verschiedenen Druckpunkte herauszufinden, und auch die Schmerzpunkte lassen sich mit diesen Apparaten bestimmen. (Über die zur Bestimmung des Reizwertes jedes Haares nötigen Konstanten siehe unten, S. 661 f.)

Die Zahl und Anordnung der Sinnespunkte. Die ältesten, allerdings sehr spärlichen Angaben hierüber rühren von Blix her. Er fand, daß die Kältepunkte zahlreicher als die Wärmepunkte sind, daß sie unregelmäßig angeordnet in hier und da dichteren Anhäufungen liegen und daß an den behaarten Stellen der Haut die Druckpunkte im allgemeinen mit den Haarpapillen zusammenfallen; hier und da können einzelne Druckpunkte zwischen den Haarpapillen gefunden werden (rudimentäre Haarpapillen?). Blix sieht weiter als wahrscheinlich an, daß alle Haare der Haut in dieser Weise als Tasthaare angesehen werden können, und neuere eingehende Untersuchungen haben in der Tat diese Ansichten als zutreffend bestätigt und erweitert. So hat Sommer⁵⁾ die von Blix angegebene Relation der Zahl der Kälte- und Wärmepunkte näher bestimmt. Hierbei wurden auf 1 qcm Haut beim Erwachsenen zwischen 6 und 23 Kältepunkte und zwischen 0 und 3 Wärmepunkte gefunden, im Mittel also pro Quadratzentimeter 12 bis 13 Kälte- und 1 bis 2 Wärmepunkte. Sommer berechnete daraus die Zahlen für die ganze Hautoberfläche zu etwa $\frac{1}{2}$ Million Kälte- und 30 000 Wärmepunkten. Die Zahl der Tastnervenenden schätzt v. Frey⁶⁾ in ähnlicher Weise für die Oberfläche des Körpers mit Ausschluß des Kopfes auf ungefähr 500 000, und dem entspricht eine Mittelzahl von 25 Druckpunkten auf den Quadratzentimeter bei einer Körperfläche von 2 qm. Die Zahl der Schmerzpunkte ist bisher nicht

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. **10**, 341, 1900. — ²⁾ Wundts philos. Stud. **14**, 589, 1899. — ³⁾ Leipz. Abh. 1896, S. 208. — ⁴⁾ Siehe Hensen, Arch. f. Ohrenheilkunde **35**, 173, 1893. Thunberg, Upsala Läkaref. förh. **1**, 294, 1895/96. — ⁵⁾ Sitzungsber. d. phys.-med. Gesellsch. zu Würzb. 1901 (weiterhin als Würzburger Ber. zitiert). — ⁶⁾ Würzburger Ber. 1899. Über den Ortssinn d. Haut, S. 4.

genauer geschätzt worden. Nach den Angaben v. Freys¹⁾, daß im Quadratcentimeter 100 bis 200 Schmerzpunkte auf einer Stelle des Handrückens zu finden sind, würde sich die ganze Zahl etwa auf 2000000 bis 4000000 belaufen. Auch die Angaben Blix' über das Verhältnis der Druckpunkte zu den Haaren wurde von v. Frey bestätigt. Was die behaarten Stellen der Körperoberfläche betrifft (also etwa 95 Proz. der gesamten Oberfläche), so finden sich die Druckpunkte auch nach seinen Versuchen in einem sehr charakteristischen Lageverhältnis zu den Haarpapillen. Jedes Haar hat einen Druckpunkt nahe seiner Austrittsstelle und in der Projektion des schiefstehenden Balges auf die Oberfläche. Möglich bleibt immerhin nach den Untersuchungen von v. Frey, daß sich doch auch innerhalb der behaarten Flächen zerstreute Druckpunkte finden, denen kein Haar entspricht.

Die in den Lehrbüchern der Physiologie im allgemeinen wiedergegebenen Angaben Goldscheiders stehen in auffälligem Gegensatz zu den ersten Angaben Blix' und zu denen von v. Frey und seinen Mitarbeitern, ebenso wie auch zu den Ergebnissen der von anderen (Alrutz, Kiesow) gemachten Untersuchungen. Goldscheider²⁾ zeichnet z. B. den Raum zwischen den Haaren mit Druckpunkten dicht erfüllt und hat auch die Kälte- und Wärmepunkte sehr dicht ausgezeichnet. (So fand er in einem Hautfelde des linken Handrückens 68 Kälte- und 56 Wärmepunkte pro Quadratcentimeter; Sommer konnte dagegen nur 13 bzw. 2 pro Quadratcentimeter finden.) Es scheint demnach fraglich, ob Goldscheider nur die wirklichen Sinnespunkte aufgesucht hat. Sicher ist, daß die Angaben und Zeichnungen Goldscheiders ganz auffallend von den Darstellungen aller anderen Forscher abweichen. Auch die Goldscheiderschen³⁾ sehr detaillierten Angaben, daß die Kälte-, Wärme- und Druckpunkte sich zu meist leicht gekrümmt verlaufenden linearen Ketten aneinander reihen, welche von gewissen Punkten der Haut radien- oder büschelartig nach verschiedenen Richtungen hin ausstrahlen, müssen als noch nicht genügend begründet angesehen werden, da ja diese Behauptungen wahrscheinlich auf teilweise unrichtigen Bestimmungen von Sinnespunkten basieren. Zurzeit scheint die alte Angabe Blix', daß die Punkte unregelmäßig verstreut sind, mit Anhäufungen hier und da, noch Gültigkeit beanspruchen zu dürfen. Man hat wohl übersehen, daß bei einer solchen Unregelmäßigkeit stellenweise der Anschein einer kettenartigen Aneinanderreihung entstehen kann, und daß wir unter Umständen geneigt sind, auch ganz unregelmäßig verteilte Punkte als zu besonderen Linien und Figuren zusammengeordnet aufzufassen. Was endlich die in Goldscheiders ersten Mitteilungen gegebenen Abbildungen der Schmerzpunkte betrifft, so werden sie von ihm selbst nicht mehr anerkannt⁴⁾.

Die anatomischen Bildungen, welche den Sinnespunkten entsprechen. Betreffend die sensiblen Nervenendigungen der Haut muß auf die Lehrbücher der Histologie verwiesen werden⁵⁾. Nur sei hier darauf auf-

¹⁾ Leipz. Abh. 1896, S. 245. — ²⁾ Ges. Abh. 1, Tafeln am Ende. — ³⁾ Ebenda, S. 223. — ⁴⁾ Über den Schmerz, Berlin 1894, S. 12. — ⁵⁾ Besonders mag Hans Rabl's Histologie der normalen Haut des Menschen im Handbuch der Hautkrankheiten von Mraček, Wien 1901, empfohlen werden. Siehe auch Kiesow, Wundts philos. Stud. 19, 260, 1902, wo mehrere geschichtliche Notizen zu finden sind.

merksam gemacht, daß die Entscheidung, ob ein Hautnerv zentripetal- oder zentrifugalleitend ist, nicht immer ganz einfach ist.

Zwar hat man sich daran gewöhnt, alle die Hautnerven, welche nicht in den glatten Muskeln der Gefäße oder der Haare oder in den Hautdrüsen enden, ohne weiteres als sensibel anzusehen und insbesondere die Nervenenden im Stratum germinativum der Haut als ohne Zweifel zentripetalleitend in Anspruch zu nehmen. Jedoch die Berechtigung dieser Anschauung ist nicht bewiesen und die Möglichkeit keineswegs ausgeschlossen, daß zentrifugale Nerven zu den Zellen des Stratum germinativum gehen und in irgend einer Weise ihre Funktion — die vielleicht komplizierter ist, als jetzt stillschweigend vorausgesetzt wird — regulieren. Man muß sich darüber klar sein, daß unter solchen Verhältnissen etwas Unsicheres in den Versuchen liegt, die anatomischen Substrate der Sinnespunkte ausfindig zu machen. Solange freilich nichts Bestimmtes über die Existenz zentrifugaler Hautzellnerven vorliegt, können und müssen diese wohl bei unseren Erörterungen beiseite gelassen werden. Betreffs der vielen von der Histologie beschriebenen Nervenenden entsteht nun die Frage, welches im speziellen ihre Funktion sei, und da müssen wir eingestehen, daß wir auf diese Frage zurzeit eine nur sehr unvollständige Antwort zu geben vermögen.

Als sicher kann angesehen werden, daß den Druckpunkten das Nervengeflecht an der Wurzelscheide der Haare entspricht. Doch ist es zurzeit nicht entschieden, ob in dieses Nervengeflecht nur Drucknerven eingehen oder ob dort zugleich auch Schmerznerven endigen. Der Beweis für die Korrespondenz zwischen den Druckpunkten und dem Nervengeflecht in der Wurzelscheide der Haare liegt in der schon von Blix¹⁾ nachgewiesenen und später besonders von v. Frey²⁾ bestätigten Tatsache, daß jedes Haar einen Druckpunkt nahe seiner Austrittsstelle und in der Projektion des schief stehenden Balges auf die Oberfläche hat.

Es ist weiter sehr wahrscheinlich, daß auch die Meißnerschen Körperchen als Druckendorgane zu betrachten sind (Blix³⁾, v. Frey⁴⁾) und daß sie an den nicht behaarten Stellen gewissermaßen die Stelle der Haare vertreten, wofür ihre räumliche Ausbreitung besonders an den nicht behaarten Hautpartien entschieden spricht.

Daß gewisse sehr oberflächlich liegende Nervenenden im Dienste des Schmerzsinnes stehen, muß als sicher betrachtet werden, und die von v. Frey⁵⁾ ausgesprochene Meinung, daß die freien intraepithelialen Nervenenden die oberflächlichen Schmerzempfindungen vermitteln, hat viel für sich. Wenn man aber die histologischen Bilder mit den von v. Frey gegebenen Abbildungen der Lage der Schmerzpunkte vergleicht, kann man doch einige Bedenken nicht unterdrücken. Die histologischen Bilder wenigstens von einigen Hautstellen scheinen dichter liegende Schmerzpunkte oder auch Schmerzlinsen und Schmerzflächen zu fordern und stimmen kaum mit den von v. Frey gegebenen Zeichnungen überein, nach welchen alle Schmerzpunkte gleichgroß und punktförmig und voneinander durch große Zwischenräume getrennt sind. Zwar ist es nicht unmöglich, daß der Gegensatz nur scheinbar ist und sich

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 21, 157, 1885. — ²⁾ Leipz. Ber. 1894, S. 287. — ³⁾ A. a. O., S. 156. — ⁴⁾ A. a. O., S. 296. — ⁵⁾ Ebenda 1895, S. 180.

dadurch löst, daß jeder Schmerzpunkt einem Büschel von freien Nervenenden entspricht. Doch sind auch andere Möglichkeiten zu berücksichtigen. Möglicherweise dürfte die räumliche Ausbreitung der Schmerzpunkte bei genauerer Untersuchung an verschiedenen Orten verschieden gefunden werden; vielleicht sind ja auch nicht alle intraepithelialen Nervenenden Schmerznerve. Endlich ist auch die von v. Frey diskutierte Vermutung im Auge zu behalten, daß die Merckelschen Tastzellen mindestens an gewissen Hautstellen im Dienste des Schmerzsinnes stehen. Die lange Reaktionszeit der Schmerzempfindungen und die niedrige Schmerzschwelle können als Gründe für die Annahme angeführt werden, daß die Schmerzempfindungen von mehr differenzierten Bildungen ausgelöst werden, als es die freien Nervenendigungen sind.

Noch unsicherer wird der Boden, wenn es gilt, die Endorgane der Kälte- und Wärmenerven zu bestimmen. v. Frey¹⁾ hat aber auch hier einige Anhaltspunkte zu geben versucht. Da die Endkolben Krauses in der Conjunctiva und in der Glans penis vorkommen, wo die Druckempfindung fehlt, wohl aber Kälteempfindung vorhanden ist, und da sie besonders dicht in dem Randteile der Bindehaut des Auges zu finden sind, wo auch die Wärmeempfindung fehlt, aber deutliche Kälteempfindungen ausgelöst werden, so sind sie nach v. Frey wahrscheinlich die Organe der Kälteempfindung. Das sind aber bis jetzt auch die einzigen brauchbaren Anhaltspunkte, und weitere Untersuchungen sind zur Entscheidung der Frage sehr erwünscht, ob die Krauseschen Endkolben in der Haut in der nötigen Zahl vorkommen, um die dort nachweisbaren Kältepunkte zu decken.

Wegen der Schwierigkeit, genau die Lage und die Begrenzung der Wärmepunkte zu bestimmen, wie auch wegen der langen Reaktionszeit der Wärmeempfindungen, ist es wahrscheinlich, daß die Wärmepunkte den tiefliegenden anatomischen Bildungen entsprechen²⁾. v. Frey hat dabei die Aufmerksamkeit darauf gerichtet, daß die Ruffinischen Endigungen den Forderungen am besten gerecht werden.

Dieser Versuch, anatomische und sinnesphysiologische Erfahrungen nach statistischer Methode miteinander in Beziehung zu setzen, kann aber, wie v. Frey hervorhebt, nur Wahrscheinlichkeiten, keine sicheren Schlüsse zutage fördern. Die Forschungsergebnisse des einen wie des andern Gebietes sind ohne Rücksicht aufeinander gewonnen worden und zeigen bei großer Genauigkeit in gewisser Richtung oft Lücken gerade dort, wo Bezugnahme auf Erfahrungen des andern Gebietes möglich wäre.

IV. Die Druckempfindungen.

Unter Druckempfindungen werden hier alle die Empfindungen zusammengefaßt, welche eine zwar nicht durch Worte beschreibbare, aber doch für alle mit diesen Empfindungen Begabten eine wohlbekannte, von den anderen Empfindungen verschiedene Qualität haben und welche normalerweise bei schwächerer oder mittelstarker mechanischer Hautreizung entstehen.

¹⁾ Leipz. Ber. 1895, S. 181. — ²⁾ v. Frey, Leipz. Ber. 1895, S. 183. Thunberg, Upsala Läkaref. förh. 30, 545, 1894/95.

Unter den Druckempfindungen werden hier also auch die sog. Berührungsempfindungen („einfache Tastempfindungen“) einbegriffen. Die von Meißner¹⁾ herrührende Auffassung, daß diese letzteren Empfindungen sui generis seien, ist seit langem widerlegt. Es handelt sich hier nur um schwache Druckempfindungen, welche wie diese nur durch Deformationen der Haut ausgelöst werden. Ein Gegenstand, der die Haut berührt, ohne irgend welchen Druck gegen die Haut auszuüben, ist überhaupt nicht imstande, eine Berührungsempfindung hervorzurufen.

Druckempfindungen können nicht nur von der äußeren Haut ausgelöst werden, sondern auch von der Mundhöhle, den Zähnen (Steiner²⁾, der Zunge, dem Naseneingang. Dagegen besitzt nach v. Frey³⁾ Glans penis keine Druckempfindlichkeit. Hinsichtlich der Cornea sind die Angaben widersprechend; von einigen Autoren wird angegeben, daß die Cornea auch auf Berührung mit der entsprechenden Empfindung reagiert⁴⁾, von anderen wird das bestritten⁵⁾. Vielleicht gibt es in dieser Hinsicht individuelle Unterschiede, vielleicht auch sind für die wechselnden Versuchsergebnisse die nicht oder kaum schmerzenden Merkmale schwächster Stechempfindungen verantwortlich zu machen (s. unten). Übrigens wäre es denkbar, daß eine nähere Analyse zeigen könnte, daß der Cornealempfindung ihre eigene, zwischen denjenigen der gewöhnlichen Druck- und Schmerzempfindungen liegende Qualität zukommt und sie einen nicht differenzierten Druckschmerzsinne repräsentiert. Auch von tieferen Teilen, den Fascien, Sehnen, Muskeln, dem Periost, werden nach Strümpell⁶⁾ Druckempfindungen ausgelöst. Unter pathologischen Verhältnissen können diese unabhängig von den oberflächlichen Druckempfindungen wegfallen. Strümpell glaubt, daß sie von größter Bedeutung bei Abschätzung von Druckunterschieden sind und will für sie den Namen „Drucksinn“ vorbehalten, da die richtige Perzeption größeren Druckes durch sie vermittelt werden soll. Um die gewöhnliche Nomenklatur nicht ändern zu müssen, dürfte es doch angemessener sein, diese Empfindungen als den Drucksinn der tieferen Teile zu bezeichnen, zum Unterschied von dem Drucksinn der Haut. Übrigens ist es fraglich, inwieweit von tieferen Teilen ausgeloste, dumpfe Schmerzempfindungen hier mitspielen.

Die teleologische Bedeutung der Druckempfindungen besteht darin, daß sie Nachricht von schwächeren mechanischen Einwirkungen geben, welche die Haut und einige Schleimhäute treffen. Da solche schwache Einwirkungen im allgemeinen dem Körper weder nützlich noch schädlich sind, ist auch der Gefühlston der Druckempfindungen indifferent.

Da der mechanische Reiz zu den allgemeinen Nervenreizen gehört, könnte man denken, daß es sich auch bei der Erregung der peripheren Drucknerven nur um eine entsprechende allgemeine Nervenreizung handle. Einer solchen Auffassung widersprechen indessen folgende Tatsachen: 1. Die Druckempfindungen entstehen bei einem so schwachen mechanischen Reiz, daß er bei weitem nicht den Schwellenwert des allgemeinen Nervenreizes erreicht. Tigerstedt⁷⁾ z. B. hat gefunden, daß der Schwellenwert für mechanische

¹⁾ Beitr. z. Anat. u. Physiol. der Haut, Leipzig 1853. Siehe auch: Vaschide et Rousseau, Sur une nouvelle forme de sensibilité tactile: la trichesthésie, *Compt. rend.* 135 (4), 259. — ²⁾ *Zentralbl. f. Physiol.* 1901, S. 585. — ³⁾ *Leipzig. Ber.* 1895, S. 179. — ⁴⁾ W. A. Nagel, *Pflügers Arch.* 59, 563, 1895; A. Molter, Über die Sensibilitätsverhältnisse der menschlichen Cornea, *Diss.*, Erlangen 1878; H. H. Donaldson, *Mind* 10, 399, 1885; M. Dessoir, *du Bois-Reymonds Arch.* 1892, S. 145. — ⁵⁾ Hoggan, *Linnean Soc. Journal* 16, 82; v. Frey, *Leipziger Ber.* 1895, S. 166. — ⁶⁾ *Deutsche medizinische Wochenschrift* 1904, S. 1411 u. 1460. — ⁷⁾ *Studien über mechan. Nervenreizung*, S. 66, Helsingfors 1880.

Nervenreizung durch ein Gewicht von 0,2 g repräsentiert würde, welches aus 1 mm Höhe fiel und demnach den Nerven mit einer Geschwindigkeit von 140 mm/sec erreicht. Die dadurch geleistete Arbeit ist mehrere hundertmal, vielleicht viel tausendmal größer als die zur Erregung der peripheren Drucknerven erforderliche Deformationsarbeit. Diese Tatsache nötigt zu der Annahme, daß in den Enden der Drucknerven oder um dieselben herum Vorrichtungen existieren müssen, die imstande sind, den schwachen mechanischen Reiz in Nervenreiz zu transformieren, mit anderen Worten, daß die Drucknerven mit Endorganen versehen sind. Für diese Annahme spricht auch, 2. daß andauernder Druck erregend auf das Tastorgan wirkt, nicht aber auf den peripheren Nerv. 3. Nach stärkeren und namentlich nicht zu kurz dauernden Belastungen der Haut überdauert die Empfindung den äußeren Reiz.

Die Wirkungsweise der Endorgane kann entweder darin bestehen, daß der äußere Reiz auslösend auf in dem Endorgan aufgespeicherte Energie wirkt; in diesem Falle entsteht also die dem Erregungsvorgang in der Nervenfaser eigentümliche Energieform nicht aus der Arbeit des Reizes, sondern auf Kosten von chemischen Umsetzungen im Endorgan, für welche der Reiz nur den Anstoß darstellt. Das Endorgan könnte aber auch vielleicht als ein Transformator wirken, welcher ohne Zuschuß von neuer Energie den mechanischen Reiz in eine Energieform umzuwandeln hätte, für welche die Nervenenden empfindlicher sind als für mechanischen Reiz. Welche von diesen Möglichkeiten in der Tat verwirklicht ist, ist zurzeit nicht entschieden.

Der adäquate Reiz der Drucknerven und seine Wirkungsweise. In dem Ausdruck „adäquater Reiz“ ist der Begriff adäquat gebraucht worden, um den nahen Zusammenhang auszudrücken, welcher tatsächlich zwischen jedem einzelnen Sinnesnerv und einem bestimmten, in der Natur primär vorkommenden und unter normalen Verhältnissen den Nerv treffenden Reiz besteht, und in Übereinstimmung hiermit wird in dieser Darstellung der Hautsinnesphysiologie unter dem adäquaten Reiz für einen gewissen Nerven der Reiz verstanden, welchem seine Endorgane angepaßt sind.

Wenn man von der gewöhnlichen Klassifikation der Reize in mechanische, thermische, chemische usw. ausgeht, ist es ja ohne weiteres einleuchtend, daß die Endorgane der Drucknerven für die Haut treffende mechanische Reize angepaßt sind. Indessen wirkt der mechanische Reiz nicht direkt auf die Endorgane, sondern trifft nur die Hautoberfläche, und da ja die Endorgane in der Haut eingeschlossen liegen, kann der Reiz nur mittelbar dadurch wirksam werden, daß die Endorgane durch die Veränderung der Hautbeschaffenheit affiziert werden, welche sich beim Auftreffen des mechanischen Reizes vollzieht. Es erhebt sich also die Frage, durch welche in ihrer nächsten Umgebung und in ihnen selbst hervorgebrachte Veränderung die Endorgane unmittelbar reizbar sind. Diese Frage ist durch Untersuchungen von v. Frey und Kiesow¹⁾ an Druckpunkten der unbehaarten Hautstellen in der Weise beantwortet, daß es das Druckgefälle ist, welches die Druckendorgane in Erregungszustand bringt.

¹⁾ Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorg. 20, 126, 1899.

Wenn eine Spitze gegen die Haut drückt, ist der Druck an der Spitze anliegenden Hautoberfläche am größten, nimmt aber sowohl nach den tieferen, wie nach den seitlich umliegenden Hautpartien mehr und mehr ab. Es existiert also hierbei ein von der Oberfläche nach der Tiefe negatives Druckgefälle. In derselben Weise entsteht ein Druckgefälle, wenn man eine kleine Lamelle an der Haut festklebt und nachher einen Zug daran ausübt. Es wird eine Druckentlastung zur Ausbildung gelangen, welche an der anklebenden Stelle am größten ist, aber tiefer in der Haut oder seitwärts kleiner wird, d. h. also ein von der Oberfläche nach der Tiefe positives Druckgefälle. Nur wenn die Endorgane unter der Einwirkung eines solchen Druckgefälles von genügender Stärke stehen, werden sie gereizt. Die Erregung der Druckendorgane ist eine Funktion des an seinem Orte herrschenden Druckgefälles, und dabei ist die Größe, nicht die Richtung des Druckgefälles maßgebend. Die Empfindung tritt bei merklich derselben Reizstärke sowohl bei Zug wie Druck auf die Haut hervor und hat bei diesen beiderlei Reizungsweisen denselben Charakter. Die Erregung des Druckendorganes hängt des weiteren von dem zeitlichen Ablauf des Druckgefälles ab derart, daß nur dann das Endorgan gereizt wird, wenn das Druckgefälle hinreichend schnell zur Ausbildung gelangt.

Die Abhängigkeit der Druckempfindung, insbesondere ihres Schwellenwertes, von verschiedenen Faktoren. Die mechanischen Reize, welche Druckempfindungen auslösen, können in mannigfacher Weise variiert werden, und es ist jetzt zu untersuchen, wie die Druckempfindungen von den verschiedenen Variablen abhängen. Hat man z. B. als Reizmittel ein fallendes Gewicht gewählt, so fragt es sich, in welcher Weise seine Größe, seine Geschwindigkeit, seine Berührungsfläche, die von ihm an der Haut geleistete Arbeit für den Reizerfolg bedeutsam sind. Da indessen die Reize die Endorgane selbst nicht treffen, sondern mittelbar durch eine in der Haut gesetzte Deformation einwirken, kann die Aufgabe zunächst dahin vereinfacht werden, daß die Abhängigkeit der Druckempfindungen von den Merkmalen der Hautdeformation zu bestimmen ist, wobei als wesentliche Faktoren nach den Untersuchungen von v. Frey und Kiesow¹⁾ die Geschwindigkeit, der Ort, die Größe und die Tiefe der Deformation in erster Linie in Betracht kommen.

Die Geschwindigkeit der durch einen mechanischen Reiz hervorgerufenen Deformation der Haut wirkt in der Weise, daß langsam anwachsende Deformationen viel tiefer in die Haut eindringen müssen, um fühlbar zu werden, als rasche, was ja mit dem Verhalten, welches alle anderen daraufhin untersuchten schnell reagierenden Gebilde gegenüber den zeitlichen Änderungen der Reizmittel an den Tag legen, übereinstimmt. Bei einer Belastungszunahme von 0,75 g in einer Sekunde betrug z. B. in einem von v. Freys Versuchen die Belastungsschwelle für eine Oberfläche von 21,2 qmm (auf dem Daumenballen) 2,5 g, und sank bei einer Belastungsgeschwindigkeit von 4,4 g in einer Sekunde auf 0,33 g, bei einer von mehr als 5 g in einer Sekunde auf 0,25 g herab. Belastungsgeschwindigkeiten,

¹⁾ Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane 20 (1899).

welche den Wert von 5 g in einer Sekunde (5 g/sec.) übersteigen, gewinnen nur wenig an Wirksamkeit. Die von v. Frey gewonnenen Werte hat Hoorweg¹⁾ als mit seinem Erregungsgesetz übereinstimmend gedeutet. Die Schwierigkeiten, die sich einer solchen Deutung entgegenstellen, können vielleicht daraus erklärt werden, daß zwischen dem Orte der Reizapplikation und dem Endorgan ein elastisches und Nachwirkungen zeigendes Gebilde, die oberflächlichen Hautschichten, eingeschaltet ist. Aus der Bedeutung des zeitlichen Ablaufes folgt, daß die im Tastorgan gesetzte Erregung durch die lebendige Kraft des deformierenden Reizes nicht eindeutig bestimmt ist. Wenn also zwei verschiedene Gewichte aus Höhen herabfallen, welche den Massen umgekehrt proportional sind, so kommen sie zwar mit gleicher lebendiger Kraft auf der Haut an, aber das von größerer Höhe kommende Gewicht muß doch stärker erregen wegen des schnelleren Eintretens der Deformation.

Der Ort der Deformation ist auch bei gleichbleibender Flächengröße des Reizes von Bedeutung, so zwar, daß ein und derselbe Reiz an verschiedenen Orten verschiedenen Effekt hervorbringen kann, teils weil die Empfindlichkeit der Endapparate wechselt, teils weil sie ungleich dicht stehen, so daß unter gleich großen Flächen die Endapparate in verschiedener Anzahl vorhanden sein können. Besondere Versuche haben gezeigt, daß die Erregung benachbarter Tastpunkte sich summiert, daß also Proportionalität zwischen Erregungseffekt und Zahl der gereizten Tastpunkte besteht. Was die Differenzen der Empfindlichkeit verschiedener Druckpunkte betrifft, so hat v. Frey²⁾ mit seinen Reizhaaren als mittleren Schwellenwert von 303 untersuchten Punkten 1,28 g/mm (siehe unten über die Berechnung des Reizwertes der Reizhaare) als Minimum 0,5 g/mm, als Maximum 4 g/mm gefunden; ferner zeigte sich, daß die Druckpunkte aller Hautflächen merklich dieselbe, innerhalb der

Hautstelle	Dichte der Tastpunkte pro qcm	Mittlere Schwelle der Tastpunkte in g/mm	Häufigster Wert in g/mm	Min. Wert in g/mm	Max. Wert in g/mm
Handgelenk, Beugefläche	28,53	1,12	1	0,3	2,5
„ Dorsalfäche (Mitte) . . .	28	1,2	1	0,3	3,5
„ Proc. styl. ulnae	20,5	1,42	1	0,4	3,5
„ radiale Fläche	25,75	1,44	1	0,5	3,5
Unterarm, Mitte der Beugefläche . .	16,08	1,24	1	0,5	3
„ oberer Teil der Beugefläche	9,33	1,42	1	0,75	4
Ellenbeuge	12,16	1,33	1	0,4	3
Oberarm, Mitte der Beugefläche . . {	9,33	1,44	1	0,4	3
	10,19				
Fußrücken	23,75	1,27	1	0,4	2,5
Unterschenkel, Mitte d. Vorderfläche .	5-5,6	2,16	2	0,75	5
„ Wade	5,8	1,45	1	0,4	3
Kniescheibe, Mitte	—	1,93	1,5	0,5	4
Oberschenkel, Vorderfläche üb. d. Knie	14,38	1,35	1	0,5	3
Brust	21,75	2,7	3	1	4
Rücken	26,25	4,3	4	2	7

¹⁾ Pfügers Arch. 82, 399, 1900. — ²⁾ Leipz. Abh. 1896, S. 235.

angegebenen Grenzen schwankende Empfindlichkeit besitzen. Kiesow¹⁾, der sehr ausgedehnte Untersuchungen über diese Sache anstellte, stellt seine Resultate in der vorstehenden Tabelle zusammen.

Die Bedeutung der Fläche. Man könnte vielleicht erwarten, daß bei sonst gleichen Verhältnissen der Reizerfolg einer mechanischen Einwirkung durch die auf die Flächeneinheit wirkende Kraft oder den Druck bestimmt würde, so daß z. B. mechanische Reize verschiedener Kraft, aber gleichen Druckes gleich empfunden würden. Dem ist indessen nicht so²⁾, wenigstens nicht ohne Einschränkung. Nähere Untersuchungen haben ergeben, daß die zur eben merklichen Erregung der Druckpunkte der haarfreien Hautstellen nötigen Drücke (= auf der Flächeneinheit wirkende Belastung) je nach der Flächengröße des gereizten Hautareales andere Werte zeigen. Die Art der Abhängigkeit wird ersichtlich aus der Kurve (Fig. 117³⁾ a. f. S.), auf deren Abszissenachse die Flächengrößen in Quadratmillimetern abzulesen sind und deren Ordinaten die Drücke in Einheiten von 0,1 Atm. (eine Atm. = 10 g/mm²) bedeuten. Der kleinste Druckwert findet sich danach bei einer Reizfläche von etwa 0,5 mm² (nur 0,036 Atm.). Bei kleinerer Fläche steigt der erforderliche Druck sehr schnell; nachdem also die Reizflächengröße diese Grenze passiert hat, darf man nicht etwa bei weiterer Verkleinerung derselben die darauf wirkende, zur eben merklichen Erregung des Druckpunktes nötige Belastung proportional vermindern, wie die folgende Tabelle, welche v. Frey und Kiesow⁴⁾ durch Reizhaarversuche gewonnen, zeigt:

Kraft des Reizhaares (in g)	Fläche	Druckwert
0,125	0,05 mm ²	0,25 Atm.
0,1023	0,033 "	0,31 "
0,09	0,025 "	0,36 "
0,08	0,02 "	0,4 "
0,056	0,01 "	0,56 "
0,04	0,005 "	0,8 "
0,0356	0,004 "	0,89 "
0,0309	0,003 "	1,03 "
0,0252	0,002 "	1,26 "
0,0178	0,001 "	1,78 "

In der Nähe des Minimums ist der Schwellendruck nahezu konstant. Bei größerer Fläche steigt er langsam und liegt für Flächen von ungefähr 2000 mm² höher als 1 Atm.

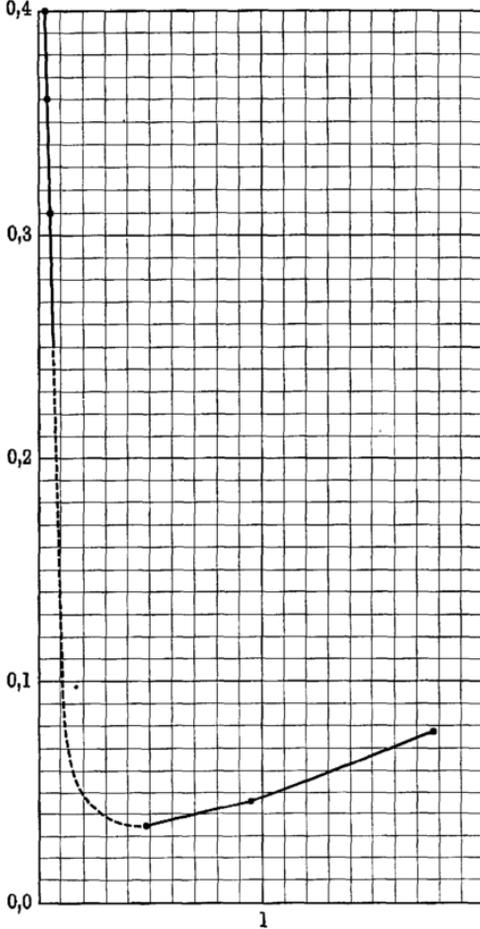
Das Verhalten der Kurve läßt sich, wie eine Analyse von v. Frey und Kiesow gezeigt hat, sehr wohl aus der Annahme erklären, daß die Erregung des Tastorgans eine Funktion des an seinem Orte herrschenden Druckgefälles ist. Bei Vergrößerung der Fläche wird nämlich trotz gleich bleibenden Druckes das Druckgefälle um die Endorgane herum vermindert. Dasselbe erfolgt bei Verkleinerung der Fläche von einer gewissen Größe an, weil in

¹⁾ Wundts philos. Stud. 19, 307, 1902. — ²⁾ Hierauf hat zuerst Nagel (Arch. f. d. ges. Physiol. 59) gegenüber v. Frey hingewiesen. — ³⁾ v. Frey und Kiesow: a. a. O., S. 147. — ⁴⁾ A. a. O., S. 146. Die Ausrechnung der Kraft des Reizhaares fehlt jedoch in ihrer Tabelle.

diesem Falle das eigentliche Druckgefälle zwar steiler, aber oberflächlicher als die Endorgane abläuft. Die Tatsache, daß eine weitere Flächenverminderung unter die bezeichnete Minimalgrenze die zur eben merklichen Tastreizung nötige Belastung nicht proportional herabdrückt, hat auch, von einem von Nagel¹⁾ hervorgehobenen Gesichtspunkte aus betrachtet, Interesse. Wenn eine Spitze gegen die Haut gerichtet wird, trifft sie das Stratum corneum, welches sich einbuchtet.

Atm

Fig. 117.



Man kann sich vorstellen, daß die jetzt gleichsam mit einem Überzug von Stratum corneum und noch tieferen Hautschichten versehene Spitze auf die umliegenden Schichten drückt. Dieser Überzug bewirkt dann, daß die Fläche, womit die Spitze auf die tieferen Partien drückt, größer als die wirkliche Spitzenfläche ist, und je spitziger die Nadel ist, desto größer ist die relative Flächenvermehrung, die von der Einbuchtung der oberflächlichsten Schichten abhängt, und desto kleiner wird die Bedeutung einer weiteren Verminderung der Spitzenfläche. Liegt die Spitzenfläche unter einer gewissen unteren Größe, so übt eine weitere Verminderung keinen Einfluß mehr auf die Größe der Fläche aus, über welche sich in den tieferen Hautschichten der Druck verteilt, da ja die Druckfalte der oberflächlichsten Hautschichten nicht

unter ein bestimmtes Minimalmaß, welches von ihrer Dünne und Schmiegsamkeit abhängt, vermindert werden kann. Erst durch Anwendung dieser minimalen Spitzenflächen wäre es übrigens möglich, die kleinste Belastung festzustellen, welche überhaupt genügt, um eine minimale Druckempfindung auszulösen. Nach den v. Frey mitgeteilten Werten zu urteilen, scheint dieser Grenzwert der Spitzenfläche unter $0,001 \text{ mm}^2$ zu liegen. Wahrscheinlich wechselt er sehr, je nach der Hautbeschaffenheit.

¹⁾ Pfügers Arch. 59, 601 (1895).

Da also bei verschiedener Flächengröße Änderungen derselben nicht denselben Einfluß auf den Schwellendruck oder das Schwellengewicht ausüben, ist ein einfaches einheitliches Maß für den Reizwert verschiedener Flächen nicht möglich. Innerhalb gewisser Grenzen der Flächengröße ist immerhin nach v. Frey ein solches wohl anzunehmen, und zwar würde man dasselbe für Flächengrößen von 500 bis $\frac{1}{20}$ mm² dadurch erhalten, daß man die Kraft mit dem Diameter dividiert. Er nennt die so erhaltenen Einheiten (= 1 g/mm) Spannungseinheiten. Sein Haarästhesiometer und seine Reizhaare sind in dieser Weise zu eichen, sofern man sie zu Schwellenbestimmungen im Gebiete des Tastsinns benutzen will.

In intimum Zusammenhang mit der Bedeutung der Fläche bei Druckreizung steht die Deutung des sogenannten Meißnerschen Versuches.

Der Meißnersche Versuch. Meißner¹⁾ hat gefunden, daß, wenn wir unsere Hand in eine Flüssigkeit — Wasser oder Quecksilber von der Temperatur der Hand — eintauchen, an keinem Teile der untergetauchten Hautfläche eine Tastempfindung entsteht, wenn auch der Druck der auf ihr lastenden Flüssigkeitssäule sehr hoch gesteigert wird. Durch Änderungen des Meißnerschen Versuches haben v. Frey und Kiesow²⁾ gezeigt, daß der Versuch nicht nur bei andauernd gleichem Druck der Flüssigkeit, sondern auch bei steilem Druckanstieg ebenso ausfällt. Die Erscheinung ist wahrscheinlich auf das Ausbleiben jeder Deformation der Tastfläche bei diesem Versuch zurückzuführen und kann vielleicht aus dem bei sehr großer, gleichförmig drückender Fläche wahrscheinlich nur kleinen Druckgefälle am Orte der Endorgane erklärt werden. Fraglich scheint indessen, ob nicht Quecksilber doch eine Deformation der Haut verursachen muß. Es schmiegt sich ja nicht nach der Hautfläche, muß also mehr an die Leisten der Haut als an die Furchen drücken, also doch Deformationen hervorrufen. Vielleicht werden die so entstehenden Druckempfindungen durch die weit intensivere, welche an der Grenzlinie entsteht, übertäubt.

Wie oben hervorgehoben, ist es nach v. Frey und Kiesow wahrscheinlich, daß die Erregung der Tastkörperchen eine Funktion des an ihrem Orte herrschenden Druckgefälles und dessen Änderungsgeschwindigkeit ist. Für die Vergleichung verschiedener Reize wäre es also sehr bequem, wenn man das Druckgefälle, welches sie hervorbringen, berechnen könnte. Das Druckgefälle im Inneren der Haut wird aber weiter in so verwickelter Weise von dem deformierenden Gewicht, der getroffenen Fläche, der Gestalt der Oberfläche, von der Dicke und Beschaffenheit der Haut, sowie der unterliegenden Gewebe beeinflußt, daß eine solche allgemeine Berechnung nicht möglich ist.

Was oben über die Abhängigkeit der Druckempfindungen von verschiedenen Faktoren gesagt wurde, bezieht sich, wo nicht anderes hervorgehoben, auf die Druckendorgane der haarfreien Hautpartien, also die Meißnerschen Tastkörperchen.

Die Nervenkränze der Haarscheiden — der andere zur Reaktion auf Tasteindrücke oder, genauer gesagt, auf Deformationen bestimmte

¹⁾ Zeitschr. f. rat. Med., 3. Reihe, 7, 99 ff. — ²⁾ Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. d. Sinnesorg. 20, 144, 1899.

Apparat — zeigen indessen große Übereinstimmung mit den Meißnerschen Tastkörperchen. Auch sie werden durch ein in der Haut erzeugtes Druckgefälle erregt, und auch ihre Erregung nimmt innerhalb gewisser Grenzen mit diesem Gefälle zu. Einen gewissen Unterschied zeigen jedoch die funktionell gleichwertigen Apparate insofern, als die mit Tastkörperchen ausgestatteten Flächen bei etwas geringerer Empfindlichkeit sich durch große Ausdauer auszeichnen. Die Tastapparate der behaarten Hautflächen sind leichter ermüdbar, haben aber eine größere Empfindlichkeit. Namentlich werden gleitende Reize, Streichen mit einem weichen Pinsel oder einem Watteföckchen, das Kriechen einer Fliege, ein Windhauch usw., welche an den eigentlichen Tastflächen wirkungslos sind, an den behaarten Körperstellen oft noch überraschend deutlich gefühlt.

Die Haare wirken dabei, wie zuerst Aubert und Kammler ¹⁾ festgestellt haben, in zweifacher Weise erniedrigend auf die Reizschwelle. Wenn ein Gewicht auf die Hand niedergesetzt wird, bewirken die Haare eine Verminderung der Fläche, mit welcher das Gewicht die Haut berührt, wodurch der Druck des Gewichtes pro Flächeneinheit also vergrößert wird. Andererseits müssen sie auch, da sie meistens schief stehen, gegenüber aufgelegten Gewichten wie Hebel wirken. Nach dem Rasieren der Haare werden die Schwellen ausnahmslos höher. v. Frey ²⁾ hat eine Bestimmung des Schwellenwertes des Reizes bei Belastung eines Haares mit kleinen Gewichten gemacht und fand, daß an einem 8 mm langen Haar über dem Metacarpus indicis eine Belastung durch 0,4 mg meistens bemerkt wurde, wenn das Gewicht auf die Spitze des Haares gesetzt wurde. Da das Haar hierbei als Hebel funktioniert, ist die zur Nervenerregung eben genügende Einwirkung als ein Drehungsmoment auszudrücken, wobei der Durchtrittspunkt durch die Haut als Hypomochlion anzusehen ist. In dem erwähnten Falle betrug also die Reizschwelle 3,2 mg/mm.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für Druckreize. Die ersten Untersuchungen über die Fähigkeit, Druckreize zu unterscheiden, rühren von E. H. Weber ³⁾ her, der auch sogleich die Bedingungen angegeben hat, deren Innehaltung notwendig ist, wenn man reine Versuchsergebnisse erhalten will. Man muß die Einmischung anderer Empfindungen, welche Belehrungen über die Größe der angewendeten Druckreize verschaffen können, ausschließen, also besonders die sogenannten Muskelempfindungen und in gewissen Fällen auch die Gesichtsempfindungen. Es ist um so wichtiger, daß bei Prüfung der Druckempfindungen die Muskelempfindungen ausgeschlossen sind, weil sie eine außerordentlich feine Unterschiedsempfindlichkeit besitzen und weil infolgedessen bei gleichzeitigem Funktionieren der Muskel- und Druckempfindungen die gefundene optimale Unterschiedsempfindlichkeit wahrscheinlich auf die Muskelempfindungen zu beziehen ist. Eine solche isolierte Prüfung der Unterscheidungsschärfe von Druckgrößen durch Druckempfindungen ist übrigens leicht erreichbar. Man muß ja nur die untersuchten

¹⁾ Untersuchungen über den Druck- und Raumsinn der Haut. Moleschotts Untersuchungen 5, 145. — ²⁾ Leipzig. Abh. 1896, S. 238. — ³⁾ Wagners Handwb. 3 (2), 544.

Körperteile völlig und sicher unterstützen. Auch Temperaturempfindungen sind auszuschließen durch geeignete Wahl der die Haut berührenden Stoffe.

Die Versuchsbedingungen können übrigens vielfach variiert werden. Weber hat zuerst die Untersuchungen in zweifacher Weise angestellt. Teils hat er verschiedene Gewichte bei gleichzeitiger oder nacheinander ausgeführter Belastung der beiden Hände, also verschiedene Hautstellen, verglichen. Teils hat er an einer und derselben Hautstelle nacheinander die zu vergleichenden Gewichte aufgesetzt. Es zeigte sich, daß bei diesem letzten Verfahren sicherere und feinere Resultate gewonnen wurden, daß wir also die Intensitäten zweier gleichzeitiger Druckempfindungen weniger genau vergleichend zu beurteilen vermögen als die Intensität einer reellen gegenwärtigen Empfindung mit derjenigen des Erinnerungsbildes einer vorausgegangenen Empfindung. Das Ausschlaggebende ist dabei nicht in dem Umstande zu suchen, daß in dem letzten Falle eine und dieselbe Hautstelle bei der Vergleichung angewendet wird, denn nach den Angaben Webers ist es auch bei Reizung verschiedener Hautstellen leichter, Gewichtsunterschiede bei nacheinander ausgeführter Belastung als bei gleichzeitiger wahrzunehmen.

Bei dieser Vergleichung der Intensitäten nacheinander folgender Empfindungen ist die Größe des Zeitintervalls zwischen beiden von wesentlichem Einfluß auf die Genauigkeit des Resultates, so zwar, daß mit der Zunahme desselben die Vergleichungsfähigkeit schwächer wird, verschieden bei verschiedenen Personen. Bei manchen wird die Vergleichung schon nach 10 Sekunden sehr unvollkommen. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, muß also die Größe des Zeitintervalls in den verschiedenen Versuchen dieselbe sein. Dasselbe gilt natürlich auch für die Oberflächengrößen, mit denen die Gewichte die Haut berühren.

Die von Weber ausgeführten Beobachtungen über die eben merklichen Druckunterschiede sind wenig zahlreich. Er beschränkte sich darauf, die kleinsten Gewichts διαφοrenzen zu bestimmen, welche einmal bei Belastung der Haut mit Loten¹⁾, das andere Mal mit Unzen¹⁾ erkannt werden konnten. Er fand in beiden Fällen dieselbe relative Differenz als Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit. Dieses Resultat ergab sich aus Versuchen, in denen die Volarseite der letzten Fingerglieder als Tastfläche benutzt wurde, wobei sich die verglichenen Gewichte wie 29 : 30 verhielten; es wurden im günstigsten Falle eben noch die Gewichts διαφοrenzen zwischen $14\frac{1}{2}$ Lot von 15 Lot und $14\frac{1}{2}$ Unzen von 15 Unzen erkannt. Dieser Wert ist als ein optimaler anzusehen, welcher nur von gewissen Personen an einzelnen bestimmten Hautstellen bei gespannter Aufmerksamkeit, also unter besonders günstigen Umständen erreicht wird.

Dies sind die Bestimmungen, welche die erste experimentelle Grundlage des sogenannten Weberschen Gesetzes bilden, welches hier nach G. E. Müller in der Weise formuliert werden mag, daß die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Reizstärke unabhängig ist.

Die folgenden Untersuchungen auf diesem Gebiete haben im allgemeinen den Zweck verfolgt, zu prüfen, ob und in welchem Grade und Umfange dem Weber-

¹⁾ Welche Werte in Gramm diese von Weber angewandten Gewichte repräsentieren, hat der Verf. nicht finden können.

schen Gesetz eine Gültigkeit zuzuerkennen ist. Die ersten diesbezüglichen Untersuchungen waren dem Weberschen Satze nicht günstig. Durch Dohrn¹⁾ wurde dessen Ungültigkeit für niedrige absolute Druckgrade behauptet; und auch die Untersuchungen von Biedermann und Löwit²⁾ zeigten keine Übereinstimmung mit dem Weberschen Gesetze. Doch waren diese Untersuchungen wenig umfassend; Dohrn untersuchte nur bei einem Anfangsdruck von 1 g, von dem ausgehend der Druck so weit erniedrigt oder erhöht wurde, daß die Veränderung empfunden wurde. Bei den sonst sehr umfassenden Untersuchungen Biedermanns und Löwits fehlen gerade über die Versuche, in denen die Druckempfindungen von einer Einmischung von Muskelempfindungen isoliert wurden, die speziellen Mitteilungen; es wird nur kurz gesagt, daß sie dem Weberschen Gesetze ungünstig ausgefallen sind.

Sehr eingehende Untersuchungen, in denen der Einfluß der Geschwindigkeit der Druckänderungen berücksichtigt wurde, hat Stratton³⁾ über die Unterschiedsempfindlichkeit für Druckreize veröffentlicht. Er suchte festzustellen, wie groß eine Intensitätsänderung sein mußte, um während des Verlaufs eines kontinuierlich einwirkenden Druckes überhaupt bemerkbar zu sein; das ist also eine Fragestellung ähnlich derjenigen Dohrns. Seine Methode erlaubte sowohl, dem ursprünglichen ein beliebiges Druckquantum plötzlich hinzuzufügen und davon zu entfernen, wie auch eine allmähliche Druckänderung mit jeder beliebigen Geschwindigkeit herbeizuführen. Untersucht wurde stets an der Volarfläche der kleinen Fingerbeere. Bei momentanen Druckänderungen wurden folgende Resultate erzielt: Die Schwelle für die Wahrnehmung momentaner Druckänderungen zeigt vier unterscheidbare Werte, je nachdem die Veränderung eine Zunahme oder eine Abnahme ist, und je nachdem nur die Veränderung oder auch die Richtung der Veränderung, also die Zu- oder Abnahme, wahrgenommen werden sollte. Unter sonst gleichen Bedingungen ist die Zunahme leichter wahrnehmbar als die Abnahme, ebenso die Erkennung der Veränderung überhaupt leichter als die Bestimmung der Richtung der Veränderung. Bei einem Anfangsdruck von 75 bis zu 200 g war für jede von diesen vier Schwellenarten die relative Unterschiedsschwelle annähernd konstant, also der Forderung des Weberschen Gesetzes entsprechend (die Zunahmeschwellen 0,024 und 0,034, die Abnahmeschwellen 0,039 und 0,055). Wenn dagegen der Anfangsdruck 10 bis 50 g war, wurde die relative Unterschiedsschwelle um so größer gefunden, je niedriger der Anfangsdruck war. Wenn die Druckänderung nicht momentan, sondern mit meßbarer Geschwindigkeit erfolgte, wirkt diese, wie schon Dohrn gefunden hatte, auf die Unterschiedsschwelle erhöhend, und je langsamer die Druckänderung war, desto größer wurde im allgemeinen die Unterschiedsschwelle, wobei jedoch die Schwellen bei sehr allmählich zunehmender Belastung für verschiedene Personen etwas differieren. Wenn verschiedene Anfangsdrucke, jeder von seiner ursprünglichen Größe ausgehend, in der Zeiteinheit um den gleichen Bruchteil der ursprünglichen Größe verändert werden, weichen die Schwellenwerte wenig von einem konstanten Werte ab. Wenn also bei einem Anfangsdruck von 10 g die Zunahme der Geschwindigkeit in einer Sekunde 0,1 dieses Wertes ist, also 1 g, und bei einem Anfangsdruck von 200 g die Geschwindigkeitsänderung in der Sekunde ebenso

¹⁾ Zeitschr. f. rat. Medizin 10, 339, 1861. — ²⁾ Sitzungsber. d. Wien. Akad. 72, 342, 1875. — ³⁾ Wundts Philos. Stud. 12, 525, 1896.

ein Zehntel dieses Wertes, also 20 g ist, wurde die Veränderung merkbar, wenn das Verhältnis der Druckerhöhung zum Anfangswerte ungefähr 0,09 war. Das Webersche Gesetz scheint also hierbei annähernd gültig zu sein.

Übrigens sind die Resultate sehr von den Versuchsbedingungen abhängig, besonders wenn psychologische Faktoren in wechselnder Weise mitspielen, wie aus den Untersuchungen Seashores¹⁾, Halls und Motoras²⁾ ersichtlich ist.

In keinem der hier erwähnten Versuche ist es übrigens sicher, daß immer nur dieselben Druckpunkte erregt worden sind, weshalb die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes eine noch offene Frage ist (v. Frey³⁾.

Der zeitliche Ablauf der Druckempfindungen. Die Frage, wie eine Druckempfindung sich verhält von dem Augenblicke an, in dem der momentane oder andauernde Reiz die Haut trifft, bis zu ihrem endgültigen Verschwinden, wie sich also die Intensität der Empfindungen während ihres Bestehens ändert, ist noch nicht Gegenstand systematischer Untersuchungen gewesen. Einige Einzelheiten sind jedoch bekannt. Über die vom Eintreffen des Reizes bis zum Entstehen der Empfindung verfließende Zeit soll weiter unten in dem Kapitel über „Die Apperzeptionszeit der Hautempfindungen“ gehandelt werden. Hier sei jedoch besonders hervorgehoben, daß die Druckempfindungen nach momentanem Reiz von äußerst kurzer Dauer sind. Die Reize können deshalb in sehr schneller Wiederholung appliziert werden, ohne daß die entsprechenden Empfindungen im Bewußtsein verschmelzen. In der Tat sollen in dieser Richtung die Druckempfindungen das kleinste wahrnehmbare Intervall unter allen Empfindungen zeigen. Doch wechseln hierüber die Zahlenangaben nur zu sehr.

Schwanner⁴⁾ hat schwingende Stimmgabeln auf die Haut gesetzt und die Schwingungszahl bestimmt, bei welcher die Stimmgabel noch ein Gefühl des Schwirrens verursachte. Die benutzten Stimmgabeln hatten die Schwingungszahlen 13, 35, 66, 92, 122, 180, 246, 300, 375, 480, 570, 660, 800 und 1000. Wie die Versuche ergaben, zeigen die einzelnen Körperregionen ein verschiedenes Verhalten. So gelangten z. B. an der Dorsalfäche des Oberarmes schon 92 bis 480, in der Gegend der langen Rückenmuskeln schon 92 bis 375, an den Fingerspitzen aber erst 800 bis 1000 Schwingungen zur Verschmelzung, und die verschiedenen anderen Körperstellen schwankten zwischen diesen Extremen. Die Angaben von Sergi⁵⁾ stehen mit diesen Werten in Übereinstimmung. Auch einige ältere Autoren haben bereits die außerordentlich entwickelte Fähigkeit der Drucknervenenden, kurze Intervalle zu perzipieren, beobachtet. So soll ein rotierendes Zahnrad, dessen Zacken gegen die Haut schlagen, noch keine einheitliche Empfindung geben, wenn die Zahl der Berührungen 480 bis 640 in der Sekunde beträgt, und die Vibrationen einer Saite sollen noch bei einer Frequenz von 1552 in der Sekunde einzeln wahrgenommen werden.

Es scheint demnach sicher zu sein, daß sehr häufig wiederkehrende Stöße (bis 1000 in der Sekunde) noch eine Empfindung des Schwirrens geben. Bei der Deutung dieser Tatsache wäre daran zu denken, daß ebenso viele, einander ganz ähnliche Erregungsprozesse sowohl in den Endorganen, als in den Nerven und in den Zentren pro Zeiteinheit ablaufen, daß also jeder

¹⁾ Stud. from the Yale Psychol. Laborat. 4 (1896). — ²⁾ Amer. Journ. of Psychol. 1, 72, 1887. — ³⁾ Vorlesungen über Physiologie 1904, S. 319. — ⁴⁾ Die Prüfung der Hautsensibilität vermittelt Stimmgabeln, Diss., Marburg 1890. — ⁵⁾ Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. der Sinnesorgane 3, 179.

Reiz für sich empfunden wird. Eine solche Annahme ist zwar einfach, scheint aber allzu große Forderungen an die Reaktionsschnelligkeit der betreffenden Teile zu stellen und steht im Widerspruche mit dem einwandfreien Ergebnisse von v. Kries und Auerbach¹⁾, v. Vintschgau und Durig²⁾, nach welchen die für die Unterscheidung zweier, an verschiedenen Hautstellen applizierter, sonst möglichst gleicher Reize erforderliche Zeit zwischen 0,021 und 0,036 Sekunden beträgt. Es liegen in der Literatur auch andere Angaben über ebenso niedrige Werte vor; so soll nach Bloch³⁾ schon bei 40 bis 70 Schwingungen pro Sekunde eine Verschmelzung der Empfindungen erfolgen. Übrigens ist bei allen Versuchen an der Haut mit Stimmgabeln oder ähnlichen Apparaten die Möglichkeit zu berücksichtigen, daß das Gefühl von Zittern nicht durch die Haut, sondern durch tiefere Gewebe ausgelöst zu werden scheint. Nach Egger⁴⁾ scheinen die Knochen (oder das Periost), durch Stimmgabelschwingungen erregt, mit deutlichen Empfindungen von Schwirren zu antworten. Jedenfalls ist die ganze Frage noch nicht vollständig spruchreif und ist einer weiteren Untersuchung wohl wert.

Während die Nervenfasern nur für schnelle Druckänderungen reizbar sind, zeigen die Endapparate des Drucksinnes die Eigentümlichkeit, daß sie von den auf der Körperhaut langsam anwachsenden, beziehungsweise andauernden Drucken wohl Empfindungen geben. Dabei sind jedoch die Größen der Reize von Bedeutung. An haarlosen Hautstellen haben v. Frey und Kiesow⁵⁾ gefunden, daß Belastungen, welche nahe der Schwelle liegen, auch bei einer Dauer von 20 und mehr Sekunden nur vorübergehend empfunden werden. Bei allmählicher Reizverstärkung wird mit stets wachsender Deutlichkeit auch die Dauer der Belastung wahrgenommen, bei noch größerer Belastung auch die Entlastung. Bei sehr großen Belastungen wurde sodann eine weitere Schwelle erreicht, bei der die Entlastungen wiederum nicht erkannt wurden, indem die Druckempfindung trotz Wegnahme des Reizes noch eine gewisse Zeit andauerte. Die eigentlichen Tastflächen zeigen jedoch dieses Verhalten nicht oder nur spurenweise, während es an anderen Hautstellen wie auf der Dorsalseite der Hand und an den Fingern, auf dem Unterarm und auf der Stirn wohlausgeprägt gefunden wird. Auf dieser Tatsache beruht ein beliebter Vexierversuch. Drückt man einen harten flachen Gegenstand eine Zeitlang gegen die Stirn, so wird er, behutsam weggenommen, noch einige Zeit gefühlt, und man läßt sich leicht zu dem Versuch verleiten, den scheinbar anklebenden Gegenstand durch Stirnrünzeln zum Abfallen bringen zu wollen. Häufig spielen in solchen Versuchen auch nachdauernde Kälteempfindungen eine Rolle.

Diese nachdauernden Druckempfindungen werden von v. Frey auf die nach Druckreiz häufig nachdauernde Deformation der Haut, auf das sog. Druckbild bezogen, welches nur langsam ausgeglichen wird.

Andererseits werden Gegenstände, welche sehr lange eine druckempfindliche Stelle berührt haben, nicht dauernd gefühlt. Man merkt z. B. beinahe gar nicht die Kleider, welche der Haut anliegen, die Platte der falschen Zähne

¹⁾ du Bois-Reymonds Arch. 1877. — ²⁾ Pflügers Arch. 69, 377, 1898. — ³⁾ Travaux de Laboratoire de Marcy 3 (1876/77); 4 (1878/79). — ⁴⁾ Journ. de Physiol. et de Pathol. 1899, p. 511. — ⁵⁾ v. Frey, Leipziger Abh. 1896, S. 183. Kiesow, Arch. ital. de Biol. 26, 417, 1896.

und die Anwesenheit von Brillen oder Ringen. Die Ursache dieser Erscheinungen dürfte psychologischer Natur sein. Es ist ein Phänomen psychischer Adaptation, wenn andauernde Empfindungen, welche für das Individuum keine Bedeutung haben, aus dem Bewußtsein verdrängt werden. Mit dieser Erklärung steht die Beobachtung gut im Einklang, daß, wenn die Gegenstände, an deren Berührung eine Stelle gewöhnt ist, weggenommen werden, man häufig sehr lange eine deutliche Vorstellung des Nichtdaseins, des Fehlens des betreffenden Gegenstandes hat.

V. Die Kälte- und Wärmeempfindungen.

Obleich die psychologische Analyse ohne weiteres zeigt, daß die Wärme- und Kälteempfindungen zwei ganz verschiedene Empfindungsarten sind, hat man doch erst spät erkannt, daß das Vermögen unserer Haut, Kälteempfindungen auszulösen, und ihre Fähigkeit, Wärmeempfindungen zu erzeugen, voneinander unabhängig variieren können und daß demnach die Existenz besonderer Kälte- und besonderer Wärmenerven angenommen werden muß.

Es wäre in der Tat nach der Entdeckung der gegenseitig unabhängigen Stellung der Wärme- und Kälteempfindungen möglich und in systematischer Hinsicht sicher richtig, der Physiologie der Kälte- und Wärmeempfindungen je ein besonderes Kapitel zu widmen; vielleicht wäre ein solches Verfahren auch nützlich, weil man nicht so leicht dazu verleitet wird, wie bei gemeinsamer Behandlung die Eigenschaften und Eigentümlichkeiten, welche für die Nerven und Empfindungen der einen Art gelten, ohne weiteres auf die der anderen zu beziehen. Da indessen die meisten Versuche auf diesem Gebiete vermehrtes Interesse durch den Vergleich gewinnen, sollen hier doch die Kälte- und Wärmeempfindungen untereinander vermischt behandelt werden.

Die Verbreitung der Kälte- und Wärmeempfindlichkeit. Kälte- und Wärmeempfindungen lassen sich an folgenden Körperteilen auslösen: an der ganzen äußeren Haut, an der Haut des äußeren Gehörganges, an den Schleimhäuten der Mund- und Rachenhöhle, des vorderen Einganges und des Bodens der Nasenhöhle und der oberen Fläche des Gaumenvorhanges, an der Schleimhaut des Anus (Weber, Hering¹⁾).

Die Temperaturempfindlichkeit der äußeren Haut ist ja durch die alltägliche Erfahrung über jeden Zweifel erhaben. Über die anderen Körperteile mögen die vorhandenen Angaben näher mitgeteilt werden.

Die ersten rühren von Weber her. Über die inneren Teile der Nase bemerkt Weber²⁾: Zieht man bei großer Winterkälte mit Kraft sehr kalte Luft ein, so empfindet man die Kälte am Eingang der Nase, auf dem Boden derselben und auf der oberen Fläche des Gaumenvorhanges, nicht aber in den höheren Regionen. Ebenso empfindet man die Kälte eines kalten, runden, glatten Eisenstäbchens, das man in die Nase einbringt, nur am Eingange, nicht in den höheren Regionen. Auch nach Dessoir³⁾ verursacht eine stark erwärmte, bzw. abgekühlte Sonde weder am Septum noch an der unteren Muschel Temperaturempfindungen. Sehr warme oder sehr kalte Getränke lösen nach Weber an der Zunge, dem

¹⁾ Weber in Wagners Handwb. 3, 481; Hering in Hermanns Handb. 3 (2), 415. — ²⁾ Wagners Handwb. 3 (2), S. 515. — ³⁾ du Bois-Reymonds Arch. 1892, S. 276.

Gaumen und im Schlunde die entsprechenden Empfindungen aus, weiter unten aber nicht. Bei Nachprüfung fand Dessoir, daß im Schlunde und dem Oesophagus Temperaturempfindungen bis etwa zur Stelle des Ringknorpels ausgelöst werden können. Was die Larynxschleimhaut betrifft, so vermitteln nach Pieniaczek¹⁾ und Dessoir die Epiglottis am Rande und an der vorderen und hinteren Fläche, der Sinus pyriformis, die Schleimhaut der Aryknorpel, der Stimm- und Taschenbänder und diejenige unterhalb der Glottis ausgeprägte Temperaturempfindungen. Das Zahnfleisch, aber nicht die Zahnpulpa, gibt auch Temperaturempfindungen (Dessoir u. v. Frey²⁾). Die Cornea und Conjunctiva bulbi entbehren nach mehreren Beobachtern (v. Frey³⁾, Nagel⁴⁾ der Wärmeempfindungen, von Donaldson⁵⁾ sind jedoch solche konstatiert (individuelle Verschiedenheiten?). Sicher dürfte das Vermögen, Wärmeempfindungen hier auszulösen, wenn überhaupt vorhanden, sehr selten sein, Kälteempfindungen können dagegen, wenigstens in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle, von der Conjunctiva bulbi und dem Randteil der Cornea ausgelöst werden, wenn nur angemessene Temperatureize angewandt werden. Die Conjunctiva des unteren Lides verhält sich wie die Conjunctiva bulbi, ebenso die Plica semilunaris und die Caruncula. Die Umschlagsfalte zeigt eine auffallend hochgradige Kälteempfindlichkeit. Die Conjunctiva des oberen Lides scheint keine Temperaturempfindung zu geben (Nagel). Die Glans penis entbehrt nach einigen Angaben (Dessoir, Herzen⁶⁾ der Temperaturempfindungen. Nach v. Frey kommt ihr jedoch eine ausgeprägte Kälteempfindlichkeit zu (individuelle Verschiedenheiten?). Die inneren Teile des Körpers, mit Ausnahme der hier erwähnten Schleimhäute, entbehren der Kälte- und Wärmeempfindlichkeit. Im besonderen ist dies durch Weber und in letzterer Zeit durch Lennander⁷⁾ für die Bauchhöhle nachgewiesen.

Die teleologische Bedeutung der Temperaturempfindungen scheint darin zu liegen, daß sie Nachricht darüber geben, ob die Temperatur des äußeren Mediums angemessen ist oder nicht, und daß sie dadurch das Aufsuchen eines Aufenthaltsortes veranlassen, an dem die Temperaturverhältnisse günstige sind, oder überhaupt Maßregeln bewirken, durch welche in irgend einer Weise eine Anpassung an die bestehenden Temperaturverhältnisse erzielt wird. Sie sind auch vielleicht von Bedeutung für die Wärmeregulierung des Körpers. Doch liegen bisher keine Untersuchungen vor, ob sie reflektorisch Variationen in der Intensität der Verbrennungsprozesse, in der Blutverteilung und in der Tätigkeit der Schweißdrüsen hervorrufen können.

Der Gefühlston der Temperaturempfindungen ist wechselnd. Doch ist beinahe immer kräftige und ausgedehnte Kälteempfindung sehr unangenehm, während nicht zu intensive Wärmeempfindungen Wohlgefühl erregen. War der Körper zuvor hochgradiger Wärme ausgesetzt, so wirkt im allgemeinen eine nachherige Kälteempfindung angenehm, und umgekehrt scheint Wärme besonders wünschenswert, wenn die Körperoberfläche der Kälte lange ausgesetzt war.

Die Adaptationserscheinungen. Wenn ein die Haut berührender Gegenstand, dessen Temperatur an der Berührungsfläche während der Berührung konstant bleibt, keine Empfindungen von Kälte oder Wärme verursacht, ist die Hautstelle für diese Temperatur adaptiert. Um die Bedingung

¹⁾ Jahrb. d. Gesellsch. Wiener Ärzte 1878, S. 481 (zit. nach Dessoir a. a. O., S. 277). — ²⁾ Sächs. Ber. 1895, S. 179. — ³⁾ A. a. O., S. 166. — ⁴⁾ Pflügers Arch. 59, 563. — ⁵⁾ Mind 10, 399, 1885, zit. nach v. Frey, a. a. O. — ⁶⁾ Pflügers Arch. 38, 102. — ⁷⁾ Mitteilungen aus den Grenzgebieten der Medizin und Chirurgie 10, 38, 1902.

zu erfüllen, daß die Oberflächentemperatur während der Berührungszeit konstant bleibt, muß der Gegenstand gut wärmeleitend sein und eine große Wärmekapazität haben, was am besten dadurch erreicht wird, daß man ein Gefäß mit dünnem Metallboden anwendet und im Innern desselben einen genügend kräftigen Wasserstrom von konstanter Temperatur zirkulieren läßt. Die konstante Berührungstemperatur, welche weder kalt noch warm empfunden wird, mag als die Indifferenztemperatur bezeichnet werden. Man könnte auch anstatt dieses Ausdruckes von einer thermischen Indifferenzbreite (Leegaard¹) sprechen, da die fragliche Temperatur — was ja eigentlich selbstverständlich ist — auch für eine und dieselbe Hautstelle in derselben Zeit nicht durch einen ganz bestimmten Punkt an der Thermometerskala repräsentiert wird, sondern in einer kleinen Strecke, welche in der Regel, wie Leegaard gezeigt hat, 0,5° C nicht übersteigt. Diese Indifferenztemperatur ist zu einer und derselben Zeit für verschiedene Hautstellen, aber auch für eine und dieselbe Hautstelle zu verschiedenen Zeiten verschieden.

Diese Tatsachen sind schon mit großer Wahrscheinlichkeit aus der alltäglichen Erfahrung zu erschließen. Obgleich die entblößten Teile der äußeren Haut einer niedrigeren Temperatur ausgesetzt sind als die bedeckten, fühlen wir meist in einem wohltemperierten Zimmer an keiner Stelle des Körpers Wärme oder Kälte. Und wenn wir einen Raum, in welchem wir keinerlei Temperaturempfindungen haben, mit einem etwas wärmeren vertauschen, so empfinden wir anfangs Wärme, nach längerem Aufenthalte aber im zweiten Raume kann jede Temperaturempfindung wieder verschwinden.

Noch besser ist die Verschiedenheit der Indifferenztemperaturen an verschiedenen Hautstellen und zu verschiedenen Zeiten durch besondere darauf gerichtete einwandfreie Versuche dargetan worden — Versuche, bei welchen zur Berührung Gegenstände von konstanter Berührungstemperatur angewendet wurden.

Hinsichtlich der Lage der Indifferenztemperatur hat Leegaard gefunden, daß sie gewöhnlich zwischen 28 bis 29° zu suchen ist. (Vielleicht sind jedoch diese Werte etwas zu niedrig.) Die Indifferenztemperaturen aller Teile der Hautoberfläche nähern sich diesem Mittelwert. Nichtsdestoweniger findet man deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Körperteilen. Es zeigt sich nämlich, daß die Indifferenztemperaturen auf den bedeckten und zentralen Teilen des Körpers ziemlich konstant sind, auf den unbedeckten und peripheren dagegen größere Schwankungen zeigen. Während die Indifferenztemperatur des Schenkels unter normalen Verhältnissen nicht niedriger als 28 und nicht höher als 30° gefunden wurde, ergab sich aus den Versuchen Leegaards, daß sie am Handrücken beinahe bis 23° herunter und bis über 33° hinaufgehen konnte. Sie umfaßte also hier einen Bereich von mehr als 10°. Diese Werte Leegaards sind jedoch noch keineswegs als Extreme anzusehen. Man kann z. B. die Finger für eine Temperatur von ungefähr 11° C adaptieren, so daß man eine deutliche Wärmeempfindung von einer konstanten Temperatur von 12° C erhält, und man kann sie für eine Temperatur von 39° adaptieren, so daß nur eine unbedeutende Erniedrigung eine Kälteempfindung verursacht (Thunberg²).

¹) Deutsch. Arch. f. klin. Med. 48 (1891). — ²) Upsala Läkaref. förh. 30 (1894/95).

Diese Angaben beziehen sich auf die Temperatur des die Haut berührenden Gegenstandes. Wie verhält sich aber dabei die Temperatur der Endorgane? Gehen deren Temperaturschwankungen mit denen der äußeren Temperatur parallel, so daß also auch für die Endorgane die Temperatur verschieden ist, bei welcher keine Temperaturempfindung ausgelöst wird? — (Diese Indifferenztemperatur der Endorgane mag nach Hering¹⁾ als der physiologische Nullpunkt bezeichnet werden.) — Die Frage ist noch nicht durch direkte Messungen der Temperatur der Endorgane gelöst worden, und es mögen deshalb zuerst die verschiedenen Möglichkeiten diskutiert werden. Entweder bleibt der physiologische Nullpunkt der Endorgane konstant bei wachsender Außentemperatur oder erfährt parallelgehende Änderungen. Gegen die erste Möglichkeit könnte man den Einwand erheben, daß man durch direkte Messungen der Temperatur einer gewissen Hautstelle gefunden hat, daß diese bei wechselnden äußeren Temperaturbedingungen, wenn keine Temperaturempfindung ausgelöst wird, doch verschieden temperiert ist, und daß also der physiologische Nullpunkt, in der hier angewandten Fassung also die Indifferenztemperatur der Endorgane, nicht konstant sein kann. In dieser Beweisführung fehlt jedoch ein notwendiges Glied, nämlich der Nachweis, daß die Temperatur der Endapparate wirklich die gleiche ist wie die, welche durch Messung der Temperatur der freien Hautfläche gefunden ist, oder daß sie wenigstens in derselben Richtung wie diese sich ändert. Daß dieses nicht sicher der Fall ist, geht aus folgender Überlegung hervor:

Da die Haut gewöhnlich von innen erwärmt und nach außen abgekühlt wird, müssen die verschiedenen Schichten eine um so niedrigere Temperatur haben, je näher der Oberfläche sie liegen. „Hauttemperatur“ ist also ein nicht ganz korrekter Ausdruck; er kann jedoch angewendet werden, um den Wert zu bezeichnen, welchen man bei Messung der Temperatur der Hautoberfläche bekommt. Da indessen bei einer solchen Temperaturmessung meistens ein Temperatureausgleich stattfindet, ist der erhaltene Wert ein Durchschnittswert für die Hautschichten, welche an dem Temperatureausgleich teilnehmen. Die Annahme, daß man die Temperatur der thermischen Endorgane durch die eben erwähnte Temperaturmessung der Hautoberfläche bestimmt, wäre nur berechtigt, wenn ihre Temperatur in derselben Weise wie die so erhaltenen Werte geändert wurde, was nicht erwiesen ist. Wenn z. B. die Temperatur der Oberfläche durch die Berührung eines kalten Körpers gesunken ist, die tiefsten Hautschichten dagegen durch einen vermehrten Blutzufuß eine erhöhte Temperatur angenommen haben, so ist ein steileres Temperaturgefälle von innen nach außen eingetreten. Die tieferen Hautschichten haben also eine höhere Temperatur, die oberflächlicheren eine niedrigere angenommen, und dazwischen gibt es eine Schicht, die ihre Temperatur behalten hat. Da indessen die Lage der temperaturempfindlichen Endorgane zu dieser neutralen Schicht nicht bekannt ist, kann man nicht ohne weiteres schließen, daß die Temperatur der Endorgane niedriger ist, wenn man bei Messung der Oberflächentemperatur einen niedrigeren Wert abliest. Es wäre ja möglich, daß sie dieselbe Temperatur wie vorher haben, ja vielleicht eine noch höhere. Da übrigens die Kälte- und die Wärmeendorgane verschieden tief

¹⁾ Sitzungsber. d. Wien. Ak., 3. Abt., 75, 108, 1877.

liegen dürften, können sie vielleicht ihre Temperatur in verschiedener Weise ändern.

Man könnte zwar gegen diese Überlegungen den Einwand geltend machen, daß die Gefäße der Haut bei niederer Lufttemperatur verengt werden, ein Vorgang, der bekanntlich für die Regulierung des Wärmeverlustes von großer Bedeutung ist. Dieser Satz dürfte nicht allgemein gültig sein. Es ist leicht zu beobachten, daß, wenn ein Finger in Wasser von z. B. 10° gehalten wird, eine deutliche Gefäßerweiterung entsteht. Die teleologische Erklärung dazu kann man darin sehen, daß die Hautgefäße auch die Aufgabe haben, die Haut gegen solche Temperaturänderungen zu schützen, welche ihrer Integrität schaden können.

Unter solchen Umständen wäre es also möglich, daß durch Variationen der Blutzufuhr zu der Haut dafür gesorgt wird, daß die Endapparate der Temperaturnerven trotz der Schwankungen der äußeren Temperatur innerhalb gewisser Grenzen, den Grenzen der Adaptation, allmählich zu derselben Temperatur zurückkehrten, so daß dadurch sich das allmähliche Verschwinden der Temperaturempfindungen erklären würde. Man kann indessen durch Versuche an anämischen Fingern leicht zeigen, daß sie trotzdem die Verschiebung des physiologischen Nullpunktes sehr deutlich zeigen (Thunberg¹⁾; da also die Anpassung auch bei künstlicher Blutleere zu beobachten ist, kann sie nicht durch Änderung der Blutzufuhr zu der Haut erklärt werden und muß durch die Eigenschaften der temperaturempfindlichen Endorgane bedingt sein.

Der adäquate Reiz. Die Frage, welches das adäquate Reizmittel für die Kälte- und Wärmeendorgane ist, ist zurzeit Gegenstand zweier Theorien, der von Weber²⁾ und der von Hering³⁾ (diejenige von Vierordt⁴⁾ kann nicht mehr in Frage kommen).

E. H. Weber hat die Ansicht ausgesprochen, daß die Empfindungen der Wärme oder Kälte nur dann eintreten, wenn sich die Temperatur unserer Haut ändert, nicht aber dann, wenn sie auf einem bestimmten Grade verharrt. „Wenn“, sagte er, „die unsere Haut umgebenden und berührenden Körper eine solche Temperatur haben, daß die Temperatur unserer Haut, ungeachtet wir selbst eine Wärmequelle in uns haben, weder steigt noch sinkt, so scheinen uns dieselben weder warm noch kalt, bringen sie die Temperatur der Haut zum Steigen, so scheinen sie uns warm zu sein, für kalt dagegen erklären wir sie, wenn durch ihren Einfluß die Temperatur unserer Haut sinkt.“ „Es scheint, als ob wir viel mehr den Akt des Steigens oder Sinkens der Temperatur unserer Haut als den Grad wahrnehmen könnten, bis zu welchem die Temperatur gestiegen oder gesunken ist.“ Nachdem das Vorhandensein besonderer Endapparate für Wärme- und für Kälteempfindungen entdeckt worden ist, ließe sich die Webersche Theorie dahin formulieren, daß die Wärmeendorgane durch Erhöhung ihrer Eigentemperatur, die Kälteendorgane durch Erniedrigung der ihrigen erregt werden.

¹⁾ Upsala Läkaref. förh. 30 (1894/95). — ²⁾ Wagners Handwb. 3, 2. Abteil. 549. — ³⁾ Sitzungsber. d. Wiener Akad., 3. Abteil., 75, 101, 1877. — ⁴⁾ Grundriß d. Physiol., 5. Aufl., 1877, S. 355.

Es gibt eine Menge hierhergehöriger Erscheinungen, welche sich unter diesen Gesichtspunkten zusammenfassen lassen.

Da ja die Haut normalerweise von innen her erwärmt und nach außen abgekühlt wird, müssen die Temperaturen der verschiedenen Schichten und also auch der in ihnen liegenden Endorgane durch die jeweilige Größe dieser zwei Faktoren, der Erwärmung von innen und der Abkühlung nach außen bestimmt sein. Eine Änderung der Eigentemperatur der Endorgane wird eintreten müssen, sobald eine Störung des bis dahin vorhanden gewesenen Gleichgewichtes zwischen Zufuhr und Abfuhr der Wärme eintritt, und zwar wird eine Steigerung jener Eigentemperatur erfolgen, wenn sich die Abfuhr mindert, während die Zufuhr konstant bleibt, oder wenn sich die Zufuhr steigert, während die Abfuhr unverändert bleibt, oder wenn beide sich steigern, aber die Zufuhr mehr als die Abfuhr, oder endlich, wenn sich beide verringern, aber die Abfuhr weniger als die Zufuhr. In ganz analoger Weise sind vier verschiedene Ursachen für ein Sinken der Eigentemperatur der Endorgane denkbar.

Wie die Erfahrung und das Experiment gezeigt hat, entsteht nun eine Wärmeempfindung, in welcher Weise auch die Eigentemperatur der Wärmeendorgane erhöht wird, eine Kälteempfindung, in welcher Weise auch die Temperatur der Kälteendorgane zum Sinken gebracht wird. Unter diesen Umständen ist die Vierordtsche Ansicht, daß die Richtung des Wärmestromes die Art der Empfindung bestimmt, nicht haltbar, wie Hering hervorgehoben hat. Dagegen steht dies Auftreten der Temperaturempfindungen in bester Übereinstimmung mit der Weberschen Theorie. Auch die Tatsache, daß innerhalb gewisser Grenzen der äußeren Temperatur die zuerst vorhandenen Temperaturempfindungen allmählich verschwinden, läßt sich nach Webers Theorie deuten. Für jede konstant bleibende Größe der Wärmeaufnahme und -abgabe der Haut bildet sich allmählich ein neuer Gleichgewichtszustand für die Endorgane aus; ist dieser eingetreten, die Temperatur also konstant, so ist auch die Temperaturempfindung verschwunden.

Es erhob sich aber bald die Frage, ob die Theorie Webers zureichend ist.

Weber führt selbst einen Versuch an, welcher dieser Ansicht zu widersprechen scheint. „Wenn man“, sagt er, „einen Teil der Haut des Gesichts, z. B. der Stirn, mit einem $+2^{\circ}$ R kalten Metall einige Zeit, z. B. 30 Sekunden, in Berührung bringt und denselben dann entfernt, so fühlt man ungefähr 21 Sekunden lang die Kälte an jenem Teile der Haut.“ Nach dem, was soeben mitgeteilt worden, hätte man glauben sollen, wir würden das Gefühl der Wärme haben, während ein erkalteter Teil der Haut wieder erwärmt wird. Weber vermutet daher, daß in diesem letzteren Falle das Gefühl der Kälte nicht dadurch entsteht, daß die Nerven des gekühlten Hautstückes, sondern daß die Nerven der angrenzenden Haut, der nun von der Haut Kälte mitgeteilt wird, die Empfindung der Kälte hervorbringen.

Hering hat indessen hervorgehoben, daß, wenn Webers Theorie richtig wäre, infolge der relativ bedeutenden Temperatursteigerung des mit dem Metalle in Berührung gewesenen Hautstückes eine Wärmeempfindung an diesem entstehen müßte. Aber eine solche bemerkt man nicht.

Bei dieser Sachlage und im Hinblick auf die Tatsache, daß wir, wie schon Fechner¹⁾ und Vierordt bemerkt haben, anhaltende Temperatur-

¹⁾ Elemente der Psychophysik, Leipzig 1860, S. 201.

empfindungen haben können, hat Hering die Ansicht ausgesprochen, daß nicht nur die im Endorgan vor sich gehende Temperaturänderung reizend wirkt, sondern auch die absolute Temperatur. Seine Theorie hat Hering in folgender Weise ausgeführt.

Wenn ich an irgend einer Hautstelle weder Wärme noch Kälte empfinde, kann man die Eigentemperatur der nervösen Apparate als die physiologische Nullpunkttemperatur bezeichnen. Jede Eigentemperatur des nervösen Apparates, welche über der physiologischen Nullpunkttemperatur liegt, wird als Wärme, jede unter der Nullpunkttemperatur liegende als Kühle oder Kälte empfunden. Die Deutlichkeit der Wärme- oder Kälteempfindung wächst unter sonst gleichen Umständen mit dem Abstände der jeweiligen Eigentemperatur von der Nullpunkttemperatur. Die physiologische Nullpunkttemperatur ist an derselben Hautstelle innerhalb gewisser Grenzen variabel, und verschiedene Hautstellen haben überdies verschiedene mittlere Nullpunkttemperaturen. Jede als warm empfundene Eigentemperatur des nervösen Apparates bedingt eine Verschiebung des Nullpunkts nach oben, jede als kalt empfundene eine Verschiebung nach unten. Bei sehr langer Konstanz einer als warm oder kalt empfundenen und von der ursprünglichen Nullpunkttemperatur nicht zu stark abweichenden Eigentemperatur kann schließlich die Verschiebung des Nullpunktes so erheblich werden, daß er mit jener Eigentemperatur zusammenfällt.

Hering nahm bei der Aufstellung seiner Theorie an, daß die Wärme- und Kälteempfindungen von demselben nervösen Apparate vermittelt werden. Nach der Entdeckung der Kälte- und Wärmepunkte muß ja dieser Teil der Heringschen Theorie fallen. Der wesentliche Inhalt derselben, nämlich die Ansicht, daß Temperaturempfindungen auch bei konstanter Temperatur der Endorgane ausgelöst werden, und daß der physiologische Nullpunkt sich allmählich in der Richtung der einwirkenden Temperatur verschiebt, ist jedoch mit diesem Teil nicht so fest verbunden, daß sie nicht trotzdem beibehalten werden könnte; die Theorie ist denn auch von den meisten Forschern mit Vorbehalt der nötigen Modifikationen als wahrscheinlich richtig angenommen. Eine Analyse der beiden Temperatursinnestheorien und ihrer Konsequenzen und ein Vergleich mit den Tatsachen zeigt indessen, daß diese allgemein verbreiteten theoretischen Ansichten nicht genügend begründet sind.

Nach Weber soll eine Temperaturempfindung nur so lange dauern, als die Temperaturänderung in der Schicht der Endorgane vor sich geht, nach Hering nicht nur während dieser Zeit, sondern auch nachdem die Endorgane in das neue stationäre Temperaturstadium eingetreten sind, und zwar so lange, bis der physiologische Nullpunkt durch eine langsam sich vollziehende Verschiebung die neue Temperatur der Endorgane erreicht hat. — Nach Hering hätten also die Temperaturempfindungen bei konstantem Reiz bedeutend längere Dauer als nach Weber. Durch eine Untersuchung dieser Dauer hat Holm¹⁾ zu entscheiden versucht, welche der beiden Theorien die richtige ist. Es zeigte sich dabei, daß die Dauer der Temperaturempfindungen recht kurz ist, wenn man nur eine Verbreitung des Reizes zu immer neuen Endorganen verhindert. Die Dauer der von der Bauchhaut ausgelösten Kälteempfindungen bei Reizung mit einer konstant temperierten Metallfläche ist aus folgender Tabelle ersichtlich. Unter *A* ist die applizierte Temperatur angegeben, unter *B* die Durchschnitte aus den erhaltenen Einzelwerten der Zeitdauer in Sekunden:

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 14, 242, 1903.

A	B	A	B	A	B
30°	31	20°	72	10°	165
25°	47	15°	112	5°	210

Die Dauer der Wärmeempfindungen zeigt die folgende Tabelle:

A	B
40°	126
45°	152

Holm deutet diese Ergebnisse zugunsten der Weberschen Theorie. Es ist zwar nicht direkt bewiesen worden, daß die Temperaturempfindungen nur so lange andauern wie die Temperaturänderung, aber die Zahlen zeigen doch, daß die Dauer der Empfindung in einer Größenordnung gefunden wird, die eine Übereinstimmung mit der Zeitdauer der Temperaturänderung wahrscheinlich macht. Diese letztere darf jedenfalls nicht allzu gering veranschlagt werden, da ja die Epidermis ein besonders schlechter Wärmeleiter ist und die Temperaturengleichung durch sie hindurch sehr langsam ablaufen muß. Übrigens wird die Richtigkeit der Weberschen Theorie nicht dadurch widerlegt, daß bisweilen besonders lange dauernde Temperaturempfindungen erhalten werden können. Webers Theorie verlangt im Gegenteil, daß, wenn die Temperaturänderung in der Schicht der Endorgane längere Zeit andauert, die Sensation ebenso lange andauern muß. Endlich hat Holm ¹⁾ die nach Wegnehmen des Reizmittels zurückbleibenden Temperaturempfindungen einer Analyse unterworfen; war doch das Fortdauern der Kälteempfindung nach Aufhören des Reizes als entscheidender Beweis zugunsten der Heringschen Theorie herangezogen worden. Zwar zeigte sich die Webersche Erklärung ungenügend, da zurückbleibende Temperaturempfindungen auch dann beobachtet wurden, wenn eine Verbreitung des Reizes auf die umliegenden Hautteile verhindert war. Die Temperaturempfindungen blieben aber doch nur unter zwei Umständen zurück: Erstens wenn ein starker Temperaturreiz sehr kurz eingewirkt hatte. In diesem Falle kann das Überdauern der Temperaturempfindung, wie schon Hering hervorheben hat, sehr wohl nach Webers Theorie erklärt werden. Während der schnellen Berührung mit einem warmen Gegenstande werden nur die oberflächlichen Schichten der Haut erwärmt, und bei der darauf folgenden Temperaturengleichung fährt die Temperatur in den Wärmeendorganen fort, während der Zeit der Nachsensation zu steigen. In ähnlicher Weise sind die nach sehr kurzer Kältereizung zurückbleibenden Kälteempfindungen zu erklären. Zweitens entstehen nach intensiven, lange dauernden Kältereizen zurückbleibende Kälteempfindungen, und diese sind dadurch gekennzeichnet, daß sie erst nach einer kleinen Pause nach der Wegnahme des Reizes auftreten. Wahrscheinlich liegen hier nach Alrutz ²⁾ und Holm paradoxe Kälteempfindungen (siehe unten) vor, welche durch eine vom Blut bewirkte schnelle Erwärmung der vorher niedrig temperierten Kälteendorgane verursacht sind.

Während also die Ergebnisse der Untersuchungen über zurückbleibende Temperatursensationen der Weberschen Theorie nicht widersprechen, sprechen sie entschieden gegen die Heringsche. Durch Holms Versuche ist nämlich erwiesen, daß zurückbleibende Kälteempfindungen nur bei sehr intensiven Reizen entstehen. Reize mittlerer Intensität, welche doch sehr deutliche Kälteempfindungen hervorrufen, geben keine nachdauernde Empfindung. Da aber nach Hering die absolute Temperatur der Endorgane reizend wirkt, so wäre man berechtigt, auch bei schwächerer Reizung zurückbleibende Kältesensationen zu erwarten. Die Lehre von der Verschiebbarkeit des physiologischen Nullpunktes kann hierbei zugunsten der Heringschen Theorie kaum herangezogen werden, denn wenn der Nullpunkt genau so schnell verschoben wird, wie die Temperaturänderung vor sich geht, würde ja Herings Theorie mit der Webers zusammenfallen.

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol., S. 249, 1903. — ²⁾ Undersökningar öfver smärtsinnet, Upsala 1901, S. 113.

Da die Schwierigkeiten, welche die andauernden und die zurückbleibenden Temperaturempfindungen für die Theorie Webers ausmachten, als beseitigt angesehen werden können, während Herings Theorie dabei auf immer größere Hindernisse stößt, dürfte vorläufig Webers Theorie als die zurzeit wahrscheinlichste zu betrachten sein. Die Frage kann aber nicht als entschieden angesehen werden, ehe nicht die physikalischen Konstanten für die äußeren Hautschichten so weit bekannt sind, daß die Wärmeausgleichung in der Haut quantitativ berechnet werden kann.

Stellt man sich also auf den Boden der Weberschen Theorie, so fragt sich jetzt, was die Stärke der Temperaturempfindung bestimmt. Wenn auch dieses Problem noch nicht eingehend behandelt ist, kann man doch mit ziemlicher Sicherheit vermuten, daß die Intensität von der Geschwindigkeit der Änderung der Eigentemperatur der Endorgane vor allem bedingt ist, und daß demnach die Bedingung für eine Temperaturempfindung dahin präzisiert werden kann, daß die Endorgane in der Zeiteinheit von einer Temperaturänderung betroffen werden müssen, welche eine gewisse noch nicht bestimmte Größe hat.

Jedoch auch die Temperatur der Endorgane scheint, ohne als eigentlicher Reiz in Betracht zu kommen, von Bedeutung für den Reizerfolg zu sein, indem ein Reiz, der eine Temperaturänderung von derselben Geschwindigkeit bewirken würde, wirksamer sein dürfte, wenn die von dem Reize getroffenen Endorgane ihre mittlere Temperatur haben, als wenn sie durch einen vorherigen Temperaturreiz erwärmt oder erkältet sind. Inwieweit dies durch Ermüdungserscheinungen oder durch die von der Temperaturlage bewirkten Erregbarkeitsänderungen beeinflusst wird, ist noch nicht genügend bekannt. Nach Goldscheider ¹⁾, der die Bedeutung dieser Dinge zuerst hervorgehoben hat, entfaltet ein Temperaturreiz folgende für neue Reize bedeutungsvolle Einwirkungen auf die Temperaturnerven: 1. Er verändert die Temperatur der Haut und damit die Größe der Wärmeaufnahme oder -abgabe gegenüber den späteren Reizen. 2. Er schafft in den gleichsinnigen Nerven einen Erregungszustand, welcher zugleich mit der Nachdauer der ihm selbst zugeordneten Empfindung die Reizempfänglichkeit derselben herabsetzt. 3. Er verändert mit der Hauttemperatur überhaupt auch speziell diejenige des nervösen Apparates und setzt, wahrscheinlich in gleichsinniger Weise, die Empfindlichkeit sowohl der gleichsinnigen wie ungleichsinnigen Nerven herab. Durch eine Temperaturänderung werden also die ungleichsinnigen Nerven durch eine Ursache in ihrer Erregbarkeit abgestumpft, während für die gleichsinnigen mehrere Faktoren eine komplexe Wirkung zeitigen. Über andere Faktoren, die hier mit ins Spiel kommen, aber nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Wirkungsweise der Endorgane stehen, siehe unten S. 679 ff.

Wenn auch nach dem Gesagten die Webersche Theorie zurzeit als die wahrscheinlichste anzuerkennen ist, muß sie doch in der Weise erweitert werden, daß die Kälteendorgane nicht nur durch Temperatursenkung erregt werden, sondern auch durch eine genügend kräftige und schnelle Temperaturerhöhung, wie die paradoxen Kälteempfindungen zeigen. Möglicherweise werden auch die Wärmeendorgane nicht nur durch Temperaturerhöhung,

¹⁾ Ges. Abh. 1, 145.

sondern auch durch sehr intensive Temperatursenkung erregt, wofür die paradoxen Wärmeempfindungen zu sprechen scheinen.

Die paradoxen Temperaturempfindungen. Strümpell¹⁾ hat zuerst festgestellt, daß Nervenranke, wenn Kälteanästhesie vorhanden ist, nicht selten angeben, beim Berühren der Haut mit Eisstückchen eine deutliche Wärmeempfindung zu haben. Sehr viel seltener ist nach seinen Beobachtungen die umgekehrte Erscheinung, daß nämlich Wärmereize eine deutliche Kälteempfindung hervorrufen. Strümpell deutet diese Erscheinungen dahin, daß die Wärmernerven durch den stärkeren Kältereiz in Erregung versetzt werden, und daß in analoger Weise die Kälternerven durch den stärkeren Wärmereiz erregt werden. Von physiologischem Interesse sind diese Beobachtungen Strümpells geworden, nachdem von Lehmann²⁾ und v. Frey³⁾ konstatiert worden war, daß Kältepunkte mit einer Kälteempfindung auch bei Reizung mit erwärmten Spitzen reagieren. Die in dieser Weise entstehenden Kälteempfindungen werden nach v. Frey als „paradoxe“ bezeichnet. Die Richtigkeit dieser Angaben ist nachher von mehreren Forschern bestätigt worden (Alrutz⁴⁾, Kiesow⁵⁾, Thunberg⁶⁾, Veress⁷⁾, Bader⁸⁾, und als Resultat dieser Untersuchungen hat sich ergeben, daß die Fähigkeit, durch Wärmereize erregbar zu sein, nicht eine Eigenschaft nur weniger Kältepunkte ist, sondern allen Kältepunkten zukommt. Wenn man flächenförmige Wärmereizung anwendet, werden bei genügender Reizintensität auch die Kältepunkte mit erregt. Die zur selben Zeit entstehenden Wärmeempfindungen übertäuben aber die Kälteempfindung, so daß es schwierig ist, dieselbe wahrzunehmen. Durch zweckmäßige Änderung des Wärmebestandes der Haut und durch besonders abgepaßte Reizmittel kann man aber auch bei flächenförmiger Reizung die paradoxen Kälteempfindungen isoliert von der Wärmeempfindung hervorrufen. Die betreffenden Versuche fußen in erster Linie auf der Tatsache, daß die Kälternerven durchschnittlich oberflächlicher als die Wärmernerven enden⁹⁾. Auch wenn man beinahe oder ganz wärmepunktfreie Gebiete mit genügend intensiver Wärme reizt, bekommt man isolierte Kälteempfindungen (Alrutz). So dürfte auch die von Nagel¹⁰⁾ gefundene Kälteempfindung, welche von der Cornea und Conjunctiva ausgelöst wird, wenn ein Strom heißer Luft dagegen geleitet wird, zu erklären sein.

Bei den paradoxen Kälteempfindungen liegt zwar die Vermutung nahe, daß nicht das Endorgan, sondern der Nervenfaden durch die Wärme als allgemeines Nervenreizmittel gereizt wird; daß aber doch in Wirklichkeit das Kälteendorgan durch das Wärmereizmittel affiziert wird, geht aus folgendem hervor. Erstens wird dies durch die Tatsache bewiesen, daß bei zweckdienlicher Versuchsanordnung eine von jeder Schmerzempfindung freie Kältesensation bei Wärmereizung erhalten werden kann. Da nämlich die Schmerzernerven oberflächlicher als die Kälternerven endigen, und da kein Grund zu der Annahme vorliegt, daß diese letzteren eine spezifische Reizbarkeit für hohe Temperaturen oder erstere eine solche für geringere besitzen, so mußte ein auf die Hautfläche applizierter Reiz, der ja immer kräftiger auf die oberflächlicheren Schichten wirkt, auch und in noch höherem Grade die Schmerzernerven reizen, wenn er überhaupt als allgemeines Reizmittel wirkt. Da aber die dadurch hervorgerufene Kältesensation durchaus von Schmerz frei sein kann, muß man schließen, daß nicht der Nerv, sondern das Kälteendorgan gereizt ist. Eine weitere Stütze für diese Ansicht liefert die Tatsache, daß die paradoxen Kälteempfindungen unter Umständen durch so niedrige Temperaturen ausgelöst werden, daß diese nicht als allgemeine Nervenreizmittel wirken können. An normal temperierter Haut erhält man zwar bei punktförmiger Reizung die paradoxen Kälteempfindungen nach v. Frey erst bei wenigstens 45°, ausnahmsweise schon bei

¹⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 28 (1881). — ²⁾ Die Hauptgesetze des menschlichen Gefühlslebens 1892, S. 35. — ³⁾ Leipziger Ber. 1895, S. 172. — ⁴⁾ Skand. Arch. 7, 333, 1897. — ⁵⁾ Wundts philos. Studien 14, 586, 1898. — ⁶⁾ Skand. Arch. 11, 391, 1901. — ⁷⁾ Pflügers Arch. 89, 33, 1902. — ⁸⁾ Wundts philos. Studien 18, 452, 1903. — ⁹⁾ Über die dabei anzuwendenden Methoden siehe Thunberg, a. a. O. — ¹⁰⁾ Pflügers Arch. 59, 586, 1895.

40°. Und um wirklich deutliche Kälteempfindungen zu erhalten, sind höhere Temperaturen — 50° und darüber — nötig. Wenn dagegen eine Hautstelle vorher abgekühlt ist, z. B. dadurch, daß sie in Berührung mit einem Gegenstande mit konstanter 10 gradiger Oberflächentemperatur gewesen ist, erhält man die paradoxe Kältesensation schon ¹⁾ durch einen 35 gradigen, ja vielleicht noch etwas darunter liegenden Reiz. Unter solchen Umständen ist es möglich, daß die nach Wegnehmen des Kältereizes durch die Blutzirkulation bewirkte Erwärmung die Kälteendorgane paradox erregen kann, eine Beobachtung, welche, wie erwähnt, zu der Erklärung der nachdauernden Kälteempfindungen verwertet worden ist (Alrutz²⁾, Holm³⁾).

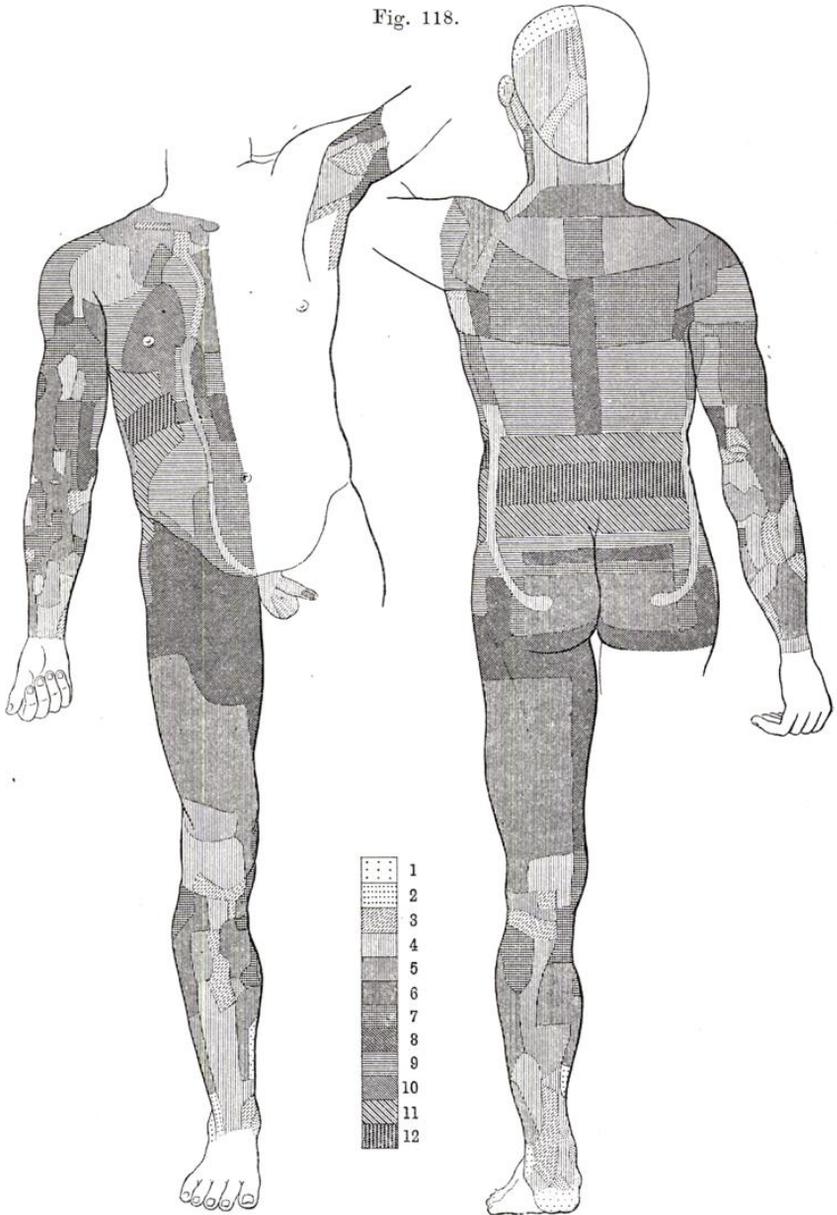
Ob es auch eine paradoxe, also eine durch Kältereizung der Wärmenerven entstehende Wärmesensation gibt, ist noch nicht sicher entschieden. Die Unsicherheit hat sicher zum Teil ihren Grund in der größeren Tiefe, in welcher die Wärmenerven im allgemeinen enden, und in der dadurch bedingten Schwierigkeit, die Wärmenerven mit intensiven Kältereizmitteln isoliert zu reizen. Wenn dabei Kälteempfindungen entstehen, dürften die eventuellen schwachen Wärmeempfindungen leicht übertäubt werden. Gegen die Möglichkeit solch paradoxer Reizbarkeit der Wärmenerven spricht zwar, daß weder Lehmann noch Alrutz noch Kiesow paradoxe Wärmeempfindungen erzielen konnten, obgleich sehr intensive Kältereizmittel (bis — 70°) zur Anwendung kamen. Andererseits sind aber für eine solche paradoxe Reizbarkeit die unter pathologischen Verhältnissen beobachteten „perversen Wärmeempfindungen“ ins Feld zu führen. Die einfachste Erklärung der von Strümpell beschriebenen perversen Temperaturempfindungen ist, daß sie die bei Wegfall der vorherrschenden Temperaturempfindungen deutlich hervortretenden paradoxen Empfindungen sind. Wenn also bei Lähmung der Wärmenervenenden ein heißer Gegenstand als kalt empfunden wird, rührt dies nur davon her, daß die paradoxe Kälteempfindung jetzt isoliert hervortritt und nicht durch die unter normalen Verhältnissen zur selben Zeit entstehende kräftige Wärmeempfindung übertäubt wird. Da Strümpell und andere Forscher beschreiben, daß, wenn Kälteanästhesie vorhanden ist, Eis als warm empfunden wird, so liegt die Deutung nahe, daß die Wärmenerven wirklich durch Kälte reizbar sind, und daß die so entstandene Wärmeempfindung durch die Lähmung der Kältenerven nur isoliert hervorgetreten ist. Indessen liegen, wie Alrutz hervorgehoben hat, mehrere Verwechslungsmöglichkeiten vor.

Die Abhängigkeit der Temperaturempfindungen, besonders ihres Schwellenwertes, von verschiedenen Faktoren. Da die temperaturempfindlichen Endorgane in der Haut eingebettet liegen, und da die Haut wenigstens nicht in nennenswertem Grade für strahlende Wärme durchgängig ist, werden die Endorgane unmittelbar durch die in der Haut vor sich gehenden Temperaturänderungen gereizt. Wenn wir jetzt die verschiedenen auf die Intensität der Temperaturempfindungen einwirkenden Variablen näher analysieren, dürfte es angemessen sein, zuerst die Bedeutung der verschiedenen von der Haut abhängigen Faktoren zu behandeln, und sodann auf den Einfluß verschieden angeordneter äußerer Reize überzugehen. Was die erstgenannten Faktoren betrifft, so hat sich für die Intensität der Temperaturempfindung die Eigentemperatur der Haut und der Ort und die Größe der gereizten Hautfläche als von Bedeutung erwiesen:

Welche Rolle der Eigentemperatur der Haut zukommt, und wie sie von den verschiedenen Theorien aufgefaßt wird, ist schon oben des näheren besprochen worden.

¹⁾ Thunberg, Skand. Arch. f. Physiol. **11**, 418, 1901. — ²⁾ Smärtsinnet, Upsala 1901, S. 113. — ³⁾ Skand. Arch. f. Physiol. **14**, 256, 1903.

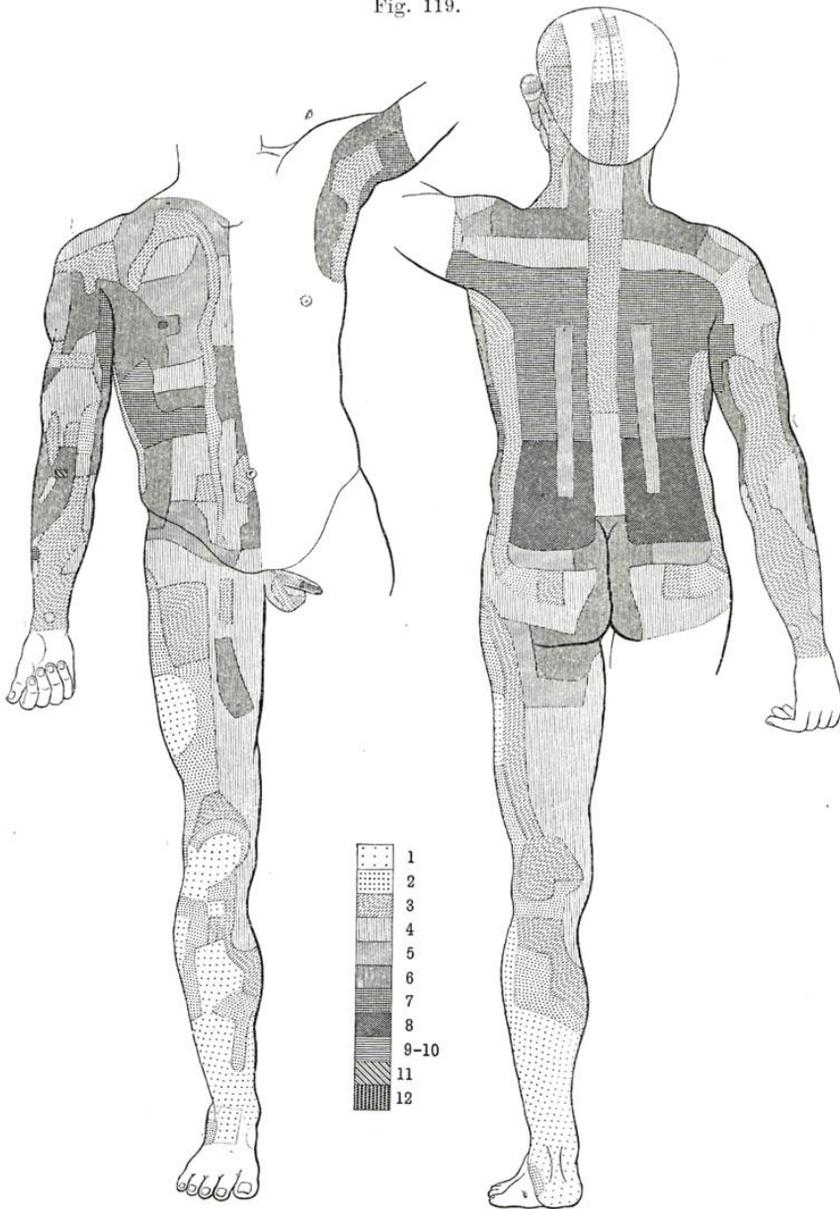
Fig. 118.



Die Bedeutung des Ortes der Reizung ist zuerst von Weber ¹⁾ untersucht. Nachher haben besonders Nothnagel ²⁾ und Goldscheider ³⁾ Beobachtungen darüber veröffentlicht. Indessen sind die Ergebnisse nicht als ganz rein anzusehen, da sie nicht nur durch die den verschiedenen Haut-

¹⁾ Wagners Handwb. 3, 3. Abteil., 554. — ²⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 2, 284, 1867. — ³⁾ Arch. f. Psychiatrie u. Nervenkrankh. 18, 659, 1887.

Fig. 119.



stellen fest zukommenden³Eigenschaften beeinflusst sind, sondern auch durch mehr zufällige Dinge, z. B. durch die Eigentemperatur der betreffenden Hautstellen. Doch wäre es leicht, die Bedeutung der Eigentemperatur auszuschließen, man brauchte nur den verschiedenen miteinander zu vergleichenden Hautstellen dieselbe Oberflächentemperatur zu geben, indem man sie genügende Zeit der Einwirkung einer und derselben konstanten Temperatur

aussetzt. An den so vorbehandelten Hautstellen kann man nachher die Schwellenwerte bestimmen resp. die Intensitäten der durch überschwellige Reize ausgelösten Empfindungen miteinander vergleichen.

Weber benutzte teils Glasphiolen, die er mit Öl füllte, durch Eintauchen in warmes oder kaltes Wasser temperierte und dann auf die Haut aufsetzte, teils einen großen Schlüssel, den er erwärmte oder abkühlte, und mit dessen abgerundetem Ende er die Haut berührte. Durch Vergleichen der Stärke der so ausgelösten Eindrücke bestimmte er die Empfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen. Seine Werte sagen also nichts über die Schwellenwerte aus. Die Haut des Gesichtes schien Weber alle anderen Teile an Empfindlichkeit zu übertreffen, insbesondere galt dies von den Augenlidern und den Backen. Die Lippen standen den Lidern und Backen nach. Am Halse war die Empfindlichkeit für Temperatureindrücke viel geringer als im Gesichte. Die Haut in der Gegend der Medianlinie des Gesichtes, der Brust, des Bauches und des Rückens war viel weniger empfindlich als die seitlich angrenzenden Teile, die Empfindlichkeit an der Nasenspitze viel geringer als an den Seiten der Nase, viel größer an den Nasenflügeln und am größten am unteren Rande des äußeren Teiles derselben. Dicht vor dem Tragus des Ohres war die Empfindlichkeit viel größer als an den Lippen, über dem unteren Rande der Kinnlade größer als am Kinn, in der Schläfengegend über dem Jochbein größer als in der Mitte der Stirn über der Glabella. Die innere Haut der Nase zeigte eine sehr geringe Empfindlichkeit, die Haut des Gehörganges dagegen eine große. Wie diese Wiedergabe der Weberschen Ergebnisse zeigt, umfassen sie bei weitem nicht alle Körperteile. Vollständiger sind die Angaben Nothnagels. Auch er berührte die einzelnen Körperteile verschiedener Individuen nach Webers Vorgang mit dem cylindrischen Ende eines sehr großen kalten oder warmen Schlüssels (die Temperaturen sind nicht angegeben). Die wesentlichen Ergebnisse waren folgende. Die empfindlichsten Partien des Gesichtes, welchen nur noch die Seitenwandungen des Rumpfes an die Seite zu stellen sind, sind die Lider, die Wangen und Schläfen, die stumpfste ist der Nasenrücken. Der Rumpf ist stumpfer als das Gesicht. Die vordere Thoraxwand ist unten meist empfindlicher als oben, der Rücken unempfindlicher als die vordere Wand des Rumpfes. Die Medianlinie ist im Gesicht wie am Rumpf stumpfer als die seitlichen Partien, das Sternum stumpfer als die Linea alba. Hand und Finger sind meist gleich empfindlich, der Vorderarm empfindlicher als die Hand, der Oberarm empfindlicher als der Vorderarm. Analoge Verteilung der Empfindlichkeit findet sich an den unteren Extremitäten. Die entsprechenden Partien sind am Bein stumpfer als am Arm. Das Verhalten der einzelnen Flächen an den verschiedenen Extremitäten ist kein konstantes, doch meist erschien die Streckseite am Oberarm und Oberschenkel empfindlicher als die Beugeseite, am Unterarm und Unterschenkel umgekehrt. Die Dorsalfäche der Finger und Hand war empfindlicher als die Volarfläche. Die Ergebnisse Webers und Nothnagels lassen deutlich erkennen, daß sie vor der Entdeckung der Dualität der Temperaturempfindungen gewonnen sind. Nach dieser Entdeckung konnte man mit großer Wahrscheinlichkeit erwarten, daß eine vollständige Übereinstimmung zwischen den topographischen Verhältnissen der Wärme- und Kälteempfindlichkeit sich nicht würde nachweisen lassen. Dies ist auch nach Goldscheider der Fall. Er verwendete für die Reizung der Kältenerven Metallcylinder von ungefähr 15° C, für die der Wärmernerven Cylinder von 45 bis 49°. Um die Empfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen zu klassifizieren, unterscheidet Goldscheider 12 Stufen der Kälteempfindlichkeit, bezüglich der Wärmeempfindlichkeit 8 Stufen. Je höher die Empfindlichkeit ist, desto höher wird die Zahl, durch welche sie gekennzeichnet wird. Die von Goldscheider an den verschiedenen Körperstellen gefundenen Empfindlichkeiten kommen in den Figuren 118 (Kälteempfindlichkeit) und 119 (Wärmeempfindlichkeit) zur Anschauung.

Die Verhältnisse finden sich nach Goldscheider bei verschiedenen Individuen ziemlich übereinstimmend wieder. Jedoch kann gegen diese Goldscheiderschen Untersuchungen eingewendet werden, daß die Bestimmung der Intensität der Wärmeempfindungen unter Anwendung so hoher Temperaturgrade gemacht ist

(Metalicylinder von 45 bis 49°), daß dabei sicher nicht die reinen Wärmeempfindungen allein, sondern gleichzeitig die durch Hinzutreten der paradoxen Kälteempfindungen entstehenden Hitzeempfindungen die Klassifizierung mit bestimmt haben (Alrutz¹⁾), und es muß zurzeit dahingestellt bleiben, ob nicht die topographischen Verhältnisse für die Wärmeempfindlichkeit bei Untersuchung mit niedrigeren Reiztemperaturen sich anders gestalten.

Bei der Deutung der Ungleichheit der Empfindungsintensitäten von verschiedenen Hautstellen legt Goldscheider das größte Gewicht auf die Verbreitung der Nerven. Die Stellen von hoher Empfindungsintensität entsprechen den dichten Nervenkonzentrationen in den Zentren faserreicher Innervationsbezirke, die Stellen von niedriger Empfindungsintensität den Zentren faserarmer Innervationsbezirke und den Hautpartien, welche durch die periphersten Nervenläufer versorgt werden. Es wäre möglich, diese Deutung durch Bestimmungen der Anzahl der Kälte- und Warmepunkte in den verschiedenen Bezirken zu verifizieren. Über die Bedeutung der verschiedenen Tiefenlage der Endorgane ist noch nichts Bestimmtes zu sagen.

Die Schwellenwerte der Temperaturreize sind von Eulenburg²⁾ gemessen worden. Er benutzte zwei verschieden temperierte Thermometer von zweckmäßiger Form, von denen das eine sich auf oder möglichst nahe der neutralen Eigen-temperatur der zu prüfenden Hautstelle befand — das andere oberhalb oder unterhalb dieses Temperaturgrades geändert wurde, bis eine eben merkliche Kälte- oder Wärmeempfindung entstand. Sowohl für den Kälte- wie für den Wärmesinn wechselten bei einer Hauttemperatur von 27 bis 33° C die Schwellenwerte zwischen 0,2 und 1,1° C. Im allgemeinen stehen die von Eulenburg erhaltenen Resultate den Nothnagelschen hinsichtlich der meisten Körperregionen ziemlich nahe. Im großen und ganzen schienen diejenigen Körperteile, welche am häufigsten unbedeckt bleiben (Gesicht, Hände), die bei weitem feinste Unterschiedsempfindlichkeit für thermische Reize zu besitzen. Beachtenswert ist auch die ungleiche Feinheit der Temperatursinne an den Extremitäten; beispielsweise fand Eulenburg am Ober- und Unterschenkel die Unterschiedsempfindlichkeit in der Nähe des Kniegelenks viel feiner als in den vom Kniegelenk entfernteren Abschnitten nach Fuß und Rumpf zu.

Bedeutung der Fläche. Schon Weber³⁾ hat hervorgehoben, daß die Größe des Stückes der Haut, welches gleichzeitig von einem warmen oder kalten Körper affiziert wird, einen Einfluß auf die Empfindung der Wärme hat. Wenn man z. B. in dieselbe warme oder kalte Flüssigkeit den Zeigefinger der einen Hand und die ganze andere Hand gleichzeitig eintaucht, so ist die Empfindung in beiden Gliedern nicht dieselbe, sondern in der ganzen Hand intensiver. Weber teilt mit, daß man in dieser Weise Wasser, das 29 $\frac{1}{2}$ ° R warm ist und in das man die ganze Hand eintaucht, für wärmer hält als Wasser, das 32° R warm ist und in das man nur einen Finger eintaucht; in dieselbe Täuschung wird man versetzt, wenn man Wasser von 17° und 19° R in der beschriebenen Weise untersucht. Es ist indessen zu bemerken, daß zwar die Bedeutung der Fläche ganz sicher in der Richtung, wie es Weber darstellt, liegt, aber daß in den erwähnten Versuchen möglicherweise die verschiedene Empfindlichkeit der verschiedenen Partien der Hand von Einfluß gewesen ist. Nähere einwandfreie Bestimmungen liegen noch nicht vor.

Die Eigenschaften des äußeren Reizes, welche auf den Reiz-erfolg von Einfluß sind. Die äußeren Reizmittel, welche Temperaturempfindungen hervorrufen, können in vielfacher Weise variieren. Es können

¹⁾ Noch nicht veröffentlichte Untersuchung. — ²⁾ Zeitschr. f. klin. Med. 9, 174, 1885. — ³⁾ Wagners Handwb. 3, 2, 553.

festen, flüssigen und gasförmigen Körper in Frage kommen, und diese können durch Wärmeleitung oder durch Wärmestrahlung wirken; sie können gute oder schlechte Wärmeleiter sein und entweder eine kleine oder große Wärmekapazität besitzen. Sie können die Haut überall gleichförmig berühren oder ihre Gestalt erlaubt nicht eine gleichförmige Berührung. Die Bedeutung der meisten von diesen Faktoren ist noch nicht durch quantitative Messungen klargestellt.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse bezüglich des Einflusses der Wärmekapazität, welcher in folgender Weise formuliert werden kann: Jeder die Haut berührende Gegenstand, dessen Temperatur von derjenigen der oberflächlichsten Hautschicht differiert, der also die allgemeine Bedingung für thermische Reizung erfüllt, muß außerdem je nach seiner Temperatur eine gewisse minimale Wärmekapazität haben, um überhaupt eine Temperaturempfindung hervorzurufen. Wenn diese Wärmekapazität nicht erreicht wird, wird keine Empfindung erhalten, wenn sie eben erreicht wird, bekommt man eine minimale Empfindung, die bei erhöhter Kapazität an Stärke zunimmt. Endlich erreicht man einen Grenzwert der Wärmekapazität, oberhalb dessen die Empfindung nicht mehr an Intensität gewinnt. Dagegen kann die Zeitdauer der Empfindung auch dann noch weiter beeinflußt werden. Man kann, von dieser Bedeutung der Wärmekapazität ausgehend, der Haut verschieden kräftige thermische Reize zuführen, indem man sie mit gleich temperierten Gegenständen von verschiedener Wärmekapazität berührt. Die Anwendung allzu extremer Temperaturen begegnet aber praktischen Schwierigkeiten. Innerhalb gewisser Temperaturgrenzen aber sind die Versuche leicht ausführbar, und hier haben sich Silber- oder Kupferlamellen (sog. Reizlamellen) von verschiedener Dicke als vorzüglich geeignet erwiesen¹⁾. Durch Anwendung solcher Lamellen kann man leicht die Wärmemenge bestimmen, welche für eine Wärmeempfindung erforderlich ist.

Die Bedeutung des Wärmeleitungsvermögens. Unter sonst identischen Verhältnissen ist die Temperaturempfindung um so intensiver, je besser der als Reiz verwendete Gegenstand die Wärme leitet. Ob dies ganz allgemein gültig ist, oder ob es eine obere Grenze gibt, über welcher, durch Körper noch besseren Wärmeleitungsvermögens keine weitere Erhöhung der Intensität der Temperaturempfindung erreichbar ist, ist noch nicht untersucht. Es ist bei dieser Bedeutung des Wärmeleitungsvermögens möglich, eine Serie ungleich gut wärmeleitender Gegenstände von einer und derselben Temperatur so zu ordnen, daß sie eine Skala ungleich kräftiger Temperaturempfindungen hervorrufen.

Das oben Gesagte gilt nur von der Intensität der bei der ersten Berührung entstehenden Empfindungen. Während einer längeren Berührungszeit können neue Verhältnisse sich einstellen, indem durch den Wärmeaustausch die Oberflächentemperatur des Gegenstandes sich ändert. In dieser Weise kann z. B. bewirkt werden, daß eine erste Kälteempfindung in eine Wärmeempfindung umschlägt. Hering hat Beispiele hierfür gegeben. Legen wir eine Hand an einen schlechten Wärmeleiter — wie z. B. Wachstaffet — von Zimmertemperatur, so fühlt sich derselbe anfangs kühl an, bald aber verschwindet

¹⁾ Thunberg, Upsala Läkaref. förh. 1894/95.

die Kühle und macht einer deutlichen, bis zu einem gewissen Grade wachsenden und lange anhaltenden Wärmeempfindung Platz. In analoger Weise erhalten wir Wärmeempfindungen, wenn wir Handschuhe oder Kleider anziehen. Die so entstehende Wärmeempfindung beruht auf der durch den Wärmeaustausch entstehenden höheren Oberflächentemperatur des schlechten Wärmeleiters. Je schlechter der Wärmeleiter ist, desto höher wird seine Oberflächentemperatur, wenn der Wärmestrom ein stationäres Stadium erreicht hat; sie kann dann mit derjenigen der Haut als identisch angesehen werden. Je schneller sie erreicht wird, desto kräftiger ist die dabei entstehende Wärmeempfindung. Der obere Grenzwert dieser Geschwindigkeit der Temperaturänderung ist dadurch bestimmt, daß die Erwärmung vom Blut aus durch die Hautschichten hindurch erfolgen muß. Das eben Gesagte gilt *mutatis mutandis* auch für die Abkühlung eines zuerst hoch temperierten schlechten Wärmeleiters.

Die Bedeutung der Oberflächenbeschaffenheit. Je besser ein Gegenstand mit seiner Berührungsfläche sich der Haut anschmiegt, desto größere Bedeutung hat sein Wärmeleitungsvermögen für den Wärmeaustausch und für die Empfindung. Wenn nennenswerte Zwischenräume hier und da sich finden, ist natürlich auch das Wärmeleitungsvermögen des den Zwischenraum ausfüllenden Mediums von Bedeutung. Ist, wie gewöhnlich, die Luft das Medium, so bewirkt dies im allgemeinen gleichfalls eine Verschlechterung des Wärmeleitungsvermögens des berührenden Gegenstandes.

Was oben über die Eigenschaften gesagt wurde, kraft deren ein äußerer Reiz auf den Reizerfolg seinen Einfluß ausübt, ist nichts als eine Zusammenstellung der einfachsten und leicht kontrollierbaren Erfahrungstatsachen. Für Behandlung des Problems in seiner ganzen Ausdehnung und für quantitative Bestimmungen sind die meisten erforderlichen Zahlenwerte über das Wärmeleitungsvermögen und die Wärmekapazität der Haut usw., wenigstens in anwendbarer Form, noch nicht da ¹⁾. Einige mathematische Betrachtungen über die Wärmebewegung in der Haut bei äußeren Temperatureinwirkungen sind von Goldscheider ²⁾ geliefert worden.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für Kälte- und Wärmereize.

Die Bestimmungen der kleinsten noch wahrnehmbaren Temperaturdifferenzen zweier, sonst gleicher fester Körper oder Flüssigkeiten sind meistens zu der Zeit gemacht, als das Dasein besonderer Kältenerven und besonderer Wärmernerven noch nicht bekannt war. Man hat infolgedessen nicht genau zwischen der Leistungsfähigkeit der Wärmernerven einerseits und derjenigen der Kältenerven andererseits unterschieden. Auch hat man zwei verschiedene Fragen nicht genügend auseinandergehalten, nämlich erstens die, wie groß der Temperaturunterschied zweier Reize sein muß, um einen eben merklichen Unterschied der dadurch hervorgerufenen zwei Kälteempfindungen oder zwei Wärmeempfindungen hervorzurufen, und zweitens die Frage, wie nahe einander auf der Thermometerskala die beiden Temperaturen liegen, welche eine minimale Kälte- resp. eine minimale Wärmeempfindung hervorzurufen

¹⁾ Siehe die Literaturzusammenstellung in Mraček's Handbuch der Hautkrankheiten, Wien 1901, S. 199. — ²⁾ Alfred Goldscheider, Ges. Abh. 1, 355.

imstande sind. Diese letzte Frage befaßt sich ja nicht mit der kleinsten Differenz der Reize, welche zwei ungleich intensive Empfindungen derselben Qualität hervorrufen, sondern bezieht sich auf einen Vergleich der Schwellenwerte zweier Empfindungen verschiedener Qualität mit Rücksicht auf ihre Lage auf der Thermometerskala. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Kälte- und Wärmereize muß verschieden gefunden werden je nach der Art des Reizes, und zwar in dem Sinne, daß die Unterschiedsempfindlichkeit um so höhere Werte annimmt, je bessere Wärmeleiter bei der Untersuchung Verwendung finden. Von den so mit verschiedenen Wärmeleitern erhaltenen Werten ist der obere Grenzwert von größtem Interesse, da ja bei einer Bestimmung der Unterschiedsschwelle zunächst beabsichtigt wird, die Leistungsfähigkeit des Sinnesnerven festzustellen. Um diesen oberen Grenzwert sicher zu erreichen, dürfte es angemessen sein, möglichst gute Wärmeleiter anzuwenden, so daß man annehmen kann, daß die Berührungsfläche während des Versuches sich auf konstanter Temperatur hält. Da weiter der Wärmezustand der untersuchten Hautstelle von Bedeutung ist, muß dieser bekannt sein; diese Bestimmung ist auch, wie schon Hering¹⁾ betont hat, notwendig, damit die Ergebnisse verschiedener Versuche vergleichbar werden. Daß die hier hervorgehobenen Gesichtspunkte bei den bisherigen Untersuchungen zu wenig im Auge behalten wurden, ist bei der Beurteilung der hierunter mitgeteilten Ergebnisse im Gedächtnis zu behalten.

Aus naheliegenden Gründen ist in erster Linie die Fähigkeit unserer Hände und Finger, Temperaturunterschiede zu erkennen, näher untersucht worden. Weber²⁾, von dem die ersten einschlägigen Angaben herrühren, fand, daß es am zweckmäßigsten ist, eine und dieselbe Hautstelle nacheinander mit den zu vergleichenden Körpern in Berührung zu bringen. Taucht man nämlich zwei Finger derselben Hand gleichzeitig in zwei nebeneinander stehende Wassergefäße, so ist die Möglichkeit, zu vergleichen, sehr beeinträchtigt. Besser gelingt sie zwar, wenn man zwei entsprechende Finger der rechten und linken Hand benutzt, aber viel vollkommener führt man die Vergleichung zweier Temperaturen aus, wenn man die beiden Finger abwechselnd in die beiden Gefäße eintaucht, und am allervollkommensten, wenn man denselben Finger oder dieselbe Hand bald in das eine, bald in das andere Gefäß eintaucht. Unter diesen Umständen kann man nach Weber bei großer Aufmerksamkeit mit der ganzen Hand noch die Verschiedenheit zweier Temperaturen wahrnehmen, die nur ein Fünftel oder sogar ein Sechstel eines Grades Réaumur beträgt. Nachher hat Fechner³⁾ die gleiche Frage in Angriff genommen mit der besonderen Absicht, zu prüfen, ob das Webersche Gesetz sich in diesem Falle gültig erweisen würde oder nicht. Wie Fechner richtig bemerkt, ist die Reizgröße hierbei durch die Differenz zwischen der Reiztemperatur und der Indifferenztemperatur bestimmt. Beachtet man jedoch die Art und Weise, wie er seine Versuche anstellte, so kann man nicht anerkennen, daß damit eine Prüfung des Weberschen Gesetzes vorgenommen wurde. Er tauchte nämlich zuerst die Finger in ein Gefäß mit Wasser, bis sie eine konstante Temperatur angenommen hatten⁴⁾, dann abwechselnd in dieses und in ein anderes Gefäß, dessen Temperatur geändert wurde, bis der Temperaturunterschied merkbar wurde. In dieser Weise wird je eine Bestimmung des eben merklichen Reizes für die Wärme- und die Kältenervenenden abwechselnd gemacht, nicht aber eine Prüfung der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes, welches fordert, daß man zwei Kältereize oder zwei Wärmereize anwendet und feststellt, welche Reizgrößen zwei eben merklich verschieden intensive Kälte- resp. Wärmeempfindungen auszulösen vermögen.

¹⁾ Hermanns Handb. 3, 434. — ²⁾ Wagners Handb. 3, 2, 554. — ³⁾ Elemente der Psychophysik 1, 201, 1860. — ⁴⁾ Was Fechner damit meint, geht freilich nicht aus seinen Mitteilungen hervor.

Fechners Versuche sind jedoch insofern interessant, als sie angeben, wie groß der eben merkliche Reiz bei verschiedener Lage der Indifferenztemperatur ist. Er fand die größte Empfindlichkeit gegenüber Reiztemperaturen zwischen 10 bis 20° R, und zwar war dieselbe hier so groß, daß die eben merklichen Temperaturunterschiede mittels des benutzten Thermometers nicht mehr gemessen werden konnten, obwohl dasselbe sehr wohl gestattete, den zwanzigsten Teil eines Grades Réaumur abzuschätzen. Bei Temperaturen, welche unter 10° R liegen, nimmt die Empfindlichkeit viel rascher mit der Tiefe der absoluten Temperatur ab als bei Temperaturen oberhalb 20°.

Lindemann¹⁾, dessen Versuche nach der Methode der mittleren Fehler ausgeführt wurden, fand beim Eintauchen der Hand bis an die Handwurzel die größte Unterschiedsempfindlichkeit für Temperaturen zwischen 26 bis 39° C. Im Mittel konnte er eine Temperaturdifferenz von $\frac{1}{20}^{\circ}$ C noch deutlich unterscheiden. Er bestätigte übrigens die Angabe Fechners betreffs der raschen Abnahme der Unterschiedsempfindlichkeit für niedrige Temperaturen. Alsberg²⁾ benutzte als Reize zwei Gläser mit verschieden temperiertem Wasser; er tauchte, ohne zu wissen, in welchem Glase das wärmere oder kältere Wasser enthalten war, das Endglied des Zeigefingers zuerst in das eine und ließ es dort zwischen 10 bis 20 Sekunden verweilen, trocknete rasch ab und steckte den Finger in das zweite Glas. Er konnte in dieser Weise unterscheiden: bei 10° C 0,9°, bei 15° 0,4°, bei 20° 0,5°, bei 25° 0,7°, bei 30° 0,5°, bei 35° 0,1°, bei 40° 0,2°. Es muß befremden, daß nach diesen Resultaten die Empfindlichkeit bei niedrigen Temperaturen Unregelmäßigkeiten zeigt. Nothnagel³⁾ ist denn auch zu anderen Resultaten gekommen. Seine ausgedehnten Untersuchungen ergaben folgendes: Das feinste Unterscheidungsvermögen liegt entschieden zwischen 27 bis 33° C, nur wenig unsicherer ist es bis 39° aufwärts, dann bis 49° (schmerzhaft) ziemlich schnell wesentlich unsicherer. Von 27 bis 14° abwärts nimmt die Empfindungsschärfe etwa gleich stark ab wie von 33 bis 39° aufwärts und fällt von 14 bis 7° wieder schnell ab. Die Versuche wurden in derselben Weise angestellt, wie sie Fechner gemacht hatte, nur daß Nothnagel nicht wie Fechner zwei, sondern nur einen Finger eintauchte. Bei weiteren Versuchen, in denen er als Temperaturreize zwei cylindrische, wassergefüllte Gefäße mit kupfernem Boden von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser anwendet, hat er die Unterschiedsempfindlichkeit verschiedener Körperteile miteinander verglichen. Man unterscheidet auf dem Sternum 0,6° C, Brust oben außen 0,4° C, Oberbauch in der Mitte 0,5°, Rücken in der Mitte 1,2°, Rücken seitlich 0,9°, Hohlhand 0,5 bis 0,4°, Handrücken 0,3°, Vorderarm, Streckseite 0,2°, Vorderarm, Beugeseite 0,2°, Oberarm, Streckseite 0,2°, Oberarm, Beugeseite 0,2°, Fußrücken 0,5 bis 0,4°, Unterschenkel, Streckseite 0,7°, Unterschenkel, Beugeseite 0,6°, Oberschenkel, Streckseite 0,5°, Oberschenkel, Beugeseite 0,5°, Wange 0,4 bis 0,2°, Schläfe 0,4 bis 0,3°. Bei der Beurteilung dieser Werte ist zu berücksichtigen, daß die Hauttemperatur der verschiedenen Stellen nicht angegeben ist.

Über den Einfluß einiger Variablen auf die Unterschiedsempfindlichkeit für Temperaturreize hat Alsberg Versuche angestellt. Er fand, daß Anämie eines Fingers eine deutliche Verfeinerung des Unterscheidungsvermögens bewirkte, während Hyperämie dasselbe nicht wesentlich zu alterieren schien. Über den Einfluß andauernder Kälte und Hitze teilte Nothnagel einige Versuche mit. Legte er bei verschiedenen Personen auf die Innenseite des Vorderarms einen Eisbeutel eine halbe bis eine Stunde lang, so wurde an dieser Stelle Wärme und Kälte viel weniger intensiv empfunden als am anderen Arm. Bei der Prüfung mittels der oben erwähnten Gefäße zeigte sich, daß an dieser Stelle, wo normal 0,3 bis 0,2° C unterschieden wurden, jetzt erst eine Differenz von 1 bis 3° C zur Wahrnehmung gelangte. Wurde die Hand eine halbe bis eine Stunde lang in Wasser von 42 bis 45° C getaucht, so wurden erst 0,4 bis 0,3° C mit dem Finger der eingetauchten Hand unterschieden, mit der anderen Hand schon 0,2 bis 0,1° C.

¹⁾ De sensu caloris. Hali 1857. Dissertation. — ²⁾ Untersuch. über d. Raum- und Temperatursinn. Marburg 1863. Dissertation. — ³⁾ Deutsch. Arch. f. klin. Med. 2, 284, 1867.

Wie diese Darstellung zeigt, sind die bisherigen Untersuchungen über die Unterschiedsempfindlichkeit für Temperaturreize spärlich, und die meisten Fragen, z. B. über die Gültigkeit des Weberschen Gesetzes, über die Bedeutung der Adaptation usw., bleiben noch zu lösen.

Der zeitliche Verlauf der Temperaturempfindungen ist nicht eingehend untersucht. Zwischen den Kälteempfindungen und den Wärmeempfindungen besteht der Unterschied, daß bei vergleichbarer Reizintensität die ersteren langsamer anschwellen als die letzteren, eine Erscheinung, welche durch die tiefere Lage der Wärmeendorgane wahrscheinlich bedingt ist. Wie häufig Kälte- resp. Wärmeempfindungen, ohne zu verschmelzen, einander folgen können, ist noch nicht untersucht; ebenso ist die Frage offen, welche Empfindungen bei schnell intermittierenden Wärme- und Kältereizen entstehen.

VI. Die Hautschmerzempfindungen.

Unter „Schmerzempfindungen“ werden hier Empfindungen eigenartiger Qualität verstanden, welche schon bei sehr schwacher Intensität einen sehr unangenehmen Gefühlston haben, der ihnen unauflösbar anhaftet. Dieser zwischen dem Gefühlston und dem übrigen Empfindungsinhalt bestehende feste Zusammenhang ist eine für die Schmerzempfindungen charakteristische Eigentümlichkeit. Gewisse Geschmacks- und Geruchsempfindungen sind zwar auch durch einen ausgeprägt unangenehmen Gefühlston ausgezeichnet, aber dieser kann bei ein und derselben Empfindungsintensität durch andere Umstände sehr beeinflußt werden, z. B. durch Zumischung anderer Empfindungen. Um ihrem wesentlichen Merkmal gerecht zu werden, haben die Schmerzempfindungen ihren Namen ausschließlich nach ihrem Gefühlston erhalten, während die Namen der übrigen Hautempfindungen deren Qualität angeben. Aber eben auf die Tatsache, daß der Gefühlston der Schmerzempfindungen ausschließlich für die Bezeichnung bestimmend gewesen ist, ist es wohl zurückzuführen, daß man die Vergleichbarkeit der Schmerzempfindungen mit den anderen Empfindungen ebenso wie ihre spezifische Qualität lange Zeit übersehen hat. Im folgenden wird der Schmerz als eine mit den übrigen Empfindungen vergleichbare Empfindung angesehen, welche wie diese Qualität, Intensität, Lokalzeichen und Gefühlston hat.

Die teleologische Bedeutung des Schmerzes besteht darin, den Körper gegen solche intensive Reize jeder Art zu schützen, welche die Integrität desselben bedrohen. Daß indessen die Schmerzempfindungen nicht als unfehlbarer Indikator für drohende Schädigungen anzusehen sind, zeigt die Erfahrung. Teils entstehen bisweilen sehr kräftige Schmerzempfindungen, z. B. bei Neuralgien, ohne daß der Körper oder die Gewebe entsprechend geschädigt sind, teils fehlen die Schmerzempfindungen, obwohl die Gewebe angegriffen werden, z. B. in vielen Fällen, wenn Bakterien den Körper angreifen. Man kann zwar die Zweckmäßigkeit der Schmerzempfindungen etwas größer finden, wenn man sich erinnert, daß häufig das Individuum gar keinen Nutzen von Nachrichten über Gewebsschädigungen haben kann, da es dem schädlichen Einfluß nicht entfliehen kann. Vor allem aber ist zu betonen, daß jede Zweckmäßigkeit in der organischen Welt begrenzt ist und

daß die Sinnesorgane wie alle anderen Organe nur zur Funktion unter normalen Verhältnissen und nicht für seltene Ausnahmestände zweckmäßig eingerichtet sind. Häufig bringen sie schon Nachricht von einer den Geweben drohenden Gefahr, nicht nur von bereits vor sich gehenden Zerstörungsprozessen, wie sonst vielfach angenommen wird¹⁾.

Wenn man die Haut z. B. mit Wärme reizt und von kaum als warm empfundenen Temperaturen zu höheren übergeht, so wird die Wärmeempfindung allmählich intensiver und endlich schmerzhaft. In derselben Weise gehen die Druckempfindungen in Druckschmerzempfindungen, die Kälteempfindungen in Kälteschmerzempfindungen über. Es läge nahe, diese Beobachtungen so zu deuten, daß Schmerz durch eine sehr intensive Erregung derselben Nerven entsteht, welche, schwächer erregt, unsere gewöhnlichen Sinnesempfindungen auslösen. Eine solche Deutung ist zurzeit wenigstens in ihrer allgemeinen Fassung ganz verlassen, wenn auch die Ansichten bezüglich mancher Detailfragen sich noch gegenüberstehen. Doch hat die Theorie besonderer Schmerznerven — Nerven also, welche nur Empfindungen der für die Schmerzempfindungen eigentümlichen Qualität auslösen — immer mehr Anhänger gewonnen.

Der erste, der für die Existenz besonderer Schmerznerven eingetreten ist, scheint Brown-Sequard²⁾ gewesen zu sein, der schon früh einen mit besonderen Nervenfasern ausgerüsteten Schmerzsinn annahm. Gleichfalls schon vor langer Zeit hat sich auch Funcke³⁾ für eine solche Möglichkeit ausgesprochen. In einer ausgezeichneten Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten der Auslösung des Schmerzes hebt er z. B. hervor, daß die Beobachtungen über Analgesie ohne Anästhesie sehr gegen die Annahme sprechen, daß dieselben Nerven den Schmerz und die übrigen Empfindungsqualitäten vermitteln. Die isoliert auftretende Analgesie läßt sich — so argumentiert Funcke — nicht aus einer Abstumpfung der Empfindlichkeit der peripherischen Enden eines für Tast- und Schmerzempfindung gemeinschaftlichen Nervenapparats erklären, denn abgesehen von den Tatsachen, welche ganz bestimmt auf eine zentrale Quelle des Zustandes hinweisen, wäre es paradox, eine Abstumpfung für starke mechanische und thermische Reize, welche Schmerz erzeugen, anzunehmen und die Erregbarkeit desselben Apparates für schwache Reize gleicher Art fortbestehen oder sogar wachsen zu lassen. Ein analoges Rasonnement verbietet, die Erklärung in einer Herabsetzung der Reaktionsfähigkeit eines gemeinschaftlichen zentralen Empfindungsapparates für starke Erregungen wie sie die Schmerzreize an der Peripherie auslösen, zu suchen. Unter solchen Umständen sieht er sich zu der Annahme gezwungen, daß mindestens vom Rückenmark an eine Scheidung der Wege und Apparate für Tast- und Schmerzindrücke stattfindet, und zwar im Sinne der zuerst von Schiff⁴⁾ aufgestellten Hypothese, nach welcher die Tasteindrücke durch die Fasern der weißen Hinterstränge, die Schmerzindrücke durch die graue Substanz

¹⁾ Siehe z. B. Griesinger, Arch. f. physiol. Heilkunde 1 (1843); Naunyn, Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. 25, 287, 1889; Tschisch, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 26 (1901); Strümpell, Deutsch. med. Wochenschr. 1904, S. 1461. — ²⁾ Journ. de Physiol. 6, 124, 232, 581, 1864 (nur durch Referat bekannt). — ³⁾ Hermanns Handb. 3 (2), 294 u. ff. — ⁴⁾ Lehrbuch d. Physiol. 1, 228. Lehr 1858 (zit. nach Funcke).

den betreffenden Empfindungsapparaten zugeleitet werden. Ob die Scheidung erst im Rückenmark beginnt oder bereits diesseits desselben im peripherischen Teil der Tast- und Schmerzwerkzeuge vorhanden ist, läßt er unentschieden.

Für den ersteren Fall entwickelt er die Vorstellung, daß eine und dieselbe Nervenfasern ihre Erregungen in dem Rückenmark auf zwei Bahnen überführen kann, und zwar würden die Bahnen von großem Widerstand, d. h. diejenigen, welche zunächst wenigstens in der grauen Substanz verbleiben, für die Leitung der Schmerzempfindungen benutzt, dagegen müßten die von geringerem Widerstande in die weiße Substanz übertreten und als Längsfasern eines Hinterstranges zu den Tastempfindungsapparaten im Hirn führen. Dabei wäre leicht zu begreifen, daß die durch Tastreize erweckten schwachen Erregungen ungeteilt zu den Tastempfindungsapparaten abfließen, daß die starken, durch Schmerzreize erzeugten Erregungen dagegen an der Teilungsstation der Bahnen sich verzweigend zu einem kleineren oder größeren Bruchteil unter Überwindung des größeren Widerstandes in die andere Bahn eintretend zu den Schmerzempfindungsapparaten vordrängen.

Im zweiten Falle, d. h. bei der Annahme einer von der Peripherie bis zum Zentrum durchgehenden Scheidung des Tast- und Schmerzapparates muß nach Funcke vorausgesetzt werden, daß die Tast- und Schmerznerfensfasern gesondert, jede wahrscheinlich mit anderer Endvorrichtung, entspringen und, isoliert zum Rückenmark verlaufend, jede für sich in die ihr zugehörige weitere Bahn einmünden. Mit großer Wahrscheinlichkeit spricht nach Funcke zugunsten einer solchen Scheidung der von den Histologen allgemein angenommene Gegensatz zwischen solchen Nervenfasern, welche mit freien Enden in den Epithelialüberzug der Haut hineinragen, und solchen, deren Enden mit besonderen Terminalapparaten in Verbindung treten. Die weitere Deutung, daß erstere den durch die groben allgemeinen Reize zu erweckenden Schmerzempfindungen, letztere den durch die spezifischen Tastreize herorzurufenden Tastempfindungen dienen, ergibt sich von selbst.

Bei der Wahl zwischen diesen zwei von Funcke so klar hervorgehobenen Möglichkeiten haben die Forscher auf diesem Gebiete sich lange Zeit fast sämtlich für die erste erklärt, wenn auch einige entschieden für die letztere eingetreten sind. Durch die sorgfältigen Studien v. Freys über die Schmerzpunkte der Haut hat jedoch, soweit man zurzeit urteilen kann, diese letztere sich als die richtige erwiesen. Zur Klärung des Problems sind übrigens Beiträge von mehreren Seiten geliefert. (Siehe die Kontroversen zwischen Nichols¹⁾, Marshall²⁾, Witmer³⁾ und Strong⁴⁾, zwischen Richet und Frédéricq⁵⁾).

Die Schmerzpunkte. Bei seinen mit punktförmigen Reizen ausgeführten Untersuchungen fand Blix unter anderem, daß man hier und da die Nadelspitze ziemlich tief in die Haut einführen konnte, ehe die geringste Schmerzempfindung zu bemerken war, während gewisse Punkte so empfindlich waren, daß ein leiser Druck auf die Nadel genügte, um Schmerz

¹⁾ Philos. Rev. 1 (1892); Psychol. Rev. 2 (1895); ebenda 3 (1896). — ²⁾ Philos. Rev. 1 (1892); Psychol. Rev. 2 (1895). — ³⁾ Journ. of neur. and mental diseases. 1894. — ⁴⁾ Psychol. Rev. 2 (1895); ebenda 3 (1896). — ⁵⁾ Rev. Scientifique 6 (1896).

hervorzurufen. Eine Untersuchung über die Topographie der Schmerzempfindlichkeit¹⁾, welche er vornahm, schien ihm jedoch für die Annahme von spezifischen Endapparaten des Schmerzsinnes keine Stütze zu liefern. Er ließ daher die Frage offen, sprach aber doch die Vermutung aus, daß der Schmerz entsteht, wenn die Gewalt den sensiblen Nervenfasern selbst trifft, er mag sonst peripherisch mit einem Endorgan beliebiger Natur verbunden sein.

Für die Ansicht, daß es keine besonderen Schmerznerve gibt, ist Goldscheider²⁾ entschieden eingetreten. Da er nun Analgesie der Kälte- und Wärmepunkte festgestellt hatte, betrachtet er als schmerzempfindende Apparate die Drucknerve, an denen nach ihm starke Reizung einen intensiven Schmerz hervorrufen soll; auch die zwischen den Druckpunkten nach seiner Meinung endenden besonderen Nerven, die Gefühlsnerve, sollen in gleicher, wenn auch viel schwächerer Weise auf Druck- und Schmerzreize reagieren.

Ganz anders liegen aber die Verhältnisse nach den ausgedehnten Untersuchungen v. Freys³⁾. Nach ihm kann man mit passenden mechanischen Reizen isolierte, eng umschriebene, mit den Druckpunkten im allgemeinen nicht zusammenfallende Orte maximaler Schmerzempfindlichkeit nachweisen. Nach diesem Resultat ist die Folgerung unabweisbar, daß unter diesen Stellen maximaler Schmerzempfindlichkeit, den Schmerzpunkten, besondere Schmerznervenenden liegen. Unter gewöhnlichen Umständen ist es zwar nicht möglich, bei mechanischer Reizung dieser Punkte eine von Berührung- und Druckempfindung freie Erregung der Schmerzpunkte zu erreichen. Wenn man aber nur sehr spitzige Reize verwendet, wenn man weiter den Versuch nach Durchfeuchtung der Epidermis zwischen fern voneinander liegenden Druckpunkten anstellt, kann man die Schmerzempfindungen ohne vorausgehende oder begleitende Druckempfindungen erhalten. Durch diese und ebenso durch die weitere Beobachtung, daß isolierte Schmerzempfindungen in derselben Weise durch chemischen Reiz, sowie unter gewissen Bedingungen auch durch den elektrischen Reiz zu erhalten sind, ist die Auffassung des Schmerzes als einer durch zu starken Reiz veränderten Druckempfindung ausgeschlossen.

Die Schmerzpunkte sind durch eine für schwache Reize sehr lange Latenz und durch große Trägheit gegenüber rasch sich ändernden bzw. oszillierenden Reizen ausgezeichnet und zeigen auch durch diese Eigentümlichkeit, daß sie mit den Druckpunkten nicht identisch sind. Sie sind viel zahlreicher als die Druckpunkte; man kann annehmen, daß sich durchschnittlich über 100 im Quadratcentimeter finden, also mindestens viermal so zahlreich als die Druckpunkte.

Große Differenzen zeigen auch die Druck- und Schmerzpunkte, was die Schwellenwerte bei mechanischer Reizung auf verschiedenen Reizflächen betrifft. Wenn man größere Flächen anwendet (zwischen 3,5 bis 12,6 qmm) und ihren Reizwert durch ihren Druck auf die Flächeneinheit ausdrückt, finden sich als Schwellenwerte für die Druckempfindung Werte bis herab zu 20 mg/qm oder 0,002 Atm., für die Schmerzempfindungen 2 Atm. (die

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 25, 158, 1885. — ²⁾ Ges. Abh. 1, 199. — ³⁾ Leipziger Abh. 1896.

Atmosphäre = 10 g/mm). Die Empfindlichkeit der Nervenenden des Drucksinnes ist demnach für die Einwirkungen genannter Flächengröße etwa 1000fach größer als die der Schmerznerven. Mit der Abnahme der Reizfläche gewinnt aber ein gegebener mechanischer Reiz relativ an Wirksamkeit für die Schmerzpunkte, derart, daß für sehr kleinflächige Reize die Schmerzschwelle tiefer liegen kann als die Druckschwelle.

Man vertrat früher allgemein die Meinung, daß Schmerz erst dann auftritt, wenn der die Haut treffende Reiz so stark ist, daß er als allgemeiner Nervenreiz auf die Nerven direkt wirkt, wobei häufig auch die Haut und der Nerv eine Schädigung erfahren sollten. Bei näherem Studium der Sache hat man indessen gefunden, daß Schmerz durch so schwache mechanische (v. Frey¹) und thermische Reize (Verf.²) ausgelöst werden kann, daß ihnen eine direkte Verletzung der Nerven nicht zugeschrieben werden kann; auch sind sie zu schwach, um als allgemeine Nervenreize in Betracht zu kommen. Daß die Schmerzempfindung bei andauernder Deformation der Haut andauernd ist, spricht ebenfalls gegen eine direkte Wirkung des mechanischen Reizes auf die Nerven.

Dagegen spricht auch die Beobachtung, daß man bei momentan wirkenden mechanischen und thermischen Reizen, die eben die Schmerzschwelle überschreiten, eine sehr (0,9 Sekunden) verzögerte Schmerzempfindung erhält. Diese Verzögerung kann nicht durch eine verlangsamte Leitung in den Nerven oder im Rückenmark erklärt werden, sondern muß auf peripherische Ursachen zurückgeführt werden, da sie die für peripherische Ursachen charakteristische Abhängigkeit von Art und Angriffspunkt der Reize unzweideutig aufweist; sie spricht also gegen die Annahme, daß die Reize die Nerven direkt als Angriffspunkt benutzen. Als allgemeiner Nervenreiz angewendet, zeigt der momentane mechanische Reiz ja keine solche Latenz, und dasselbe dürfte auch von dem momentanen thermischen Reiz gelten. Alles dies nötigt zu der Annahme, daß in den Enden der Schmerznerven oder um dieselben Vorrichtungen existieren, welche diese schwachen Reize in Nervenreiz transformieren. Da die Latenzzeit für momentan wirkenden thermischen Reiz dieselbe ist wie bei ebensolchem Druckreiz, werden wahrscheinlich die beiden Reizarten in derselben Weise transformiert. v. Frey hat die Ansicht ausgesprochen, daß die mechanischen Reizmittel einen wahrscheinlich physikalisch-chemischen Zwischenprozeß in den Endorganen auslösen.

Seine Vorstellung über die Art dieses Zwischenprozesses geht von der Auffassung aus, daß die freien Nervenenden im Stratum germinativum die Schmerzempfindungen vermitteln. Für diese Ansicht, welche, wie oben angegeben, schon Funcke ausgesprochen hat, hat v. Frey mehrere wichtige Gründe angeführt. Die trotz Verkleinerung der Fläche unveränderte Wirksamkeit von Reizen konstanten Druckes, welche er gefunden hat, die niedrige Punktschwelle bei elektrischer Reizung, das primäre Auftreten der Schmerzempfindung beim Anätzen der Haut, fordern, daß die Empfindung des Schmerzes ihren Auslösungsort näher der Oberfläche als die Druckempfindung haben muß. Näher der Oberfläche als die Tastkörperchen — die Endorgane der Drucknerven an unbehaarten Hautstellen — liegen aber

¹) Leipziger Abhandl. 1896, S. 261. — ²) Skand. Arch. f. Phys. 12, 394 1901.

nur die intraepithelialen Nervenenden, welche daher als die Organe der (oberflächlichen) Schmerzempfindung der Haut zu betrachten sind. Zu dem gleichen Schlusse wurde v. Frey auch durch seine Untersuchungen über die Verbreitung der einzelnen Empfindungsarten über die Hautoberfläche geführt. Die Cornea, deren Nervenendigungen intraepithelial sind, besitzt seiner Meinung nach, ihren Randteil ausgenommen, nur Schmerzempfindung. Diese intraepithelialen Nervenenden werden nach der Meinung v. Freys¹⁾ durch eine Veränderung der umgebenden Flüssigkeit gereizt, welche durch eine unter der Druckerhöhung aus den Zellen in die Zwischenräume übertretende Flüssigkeit verursacht wird; die Reizung erfolgt dann entweder, weil die an den Nerv herantretende Lösung zu verdünnt ist (infolge Undurchlässigkeit der Zellwand für die in der Zelle gelösten Stoffe), oder weil neue fremdartige Stoffe an den Nerv gelangen.

Gegen die Annahme, daß die freien intraepithelialen Nervenenden die anatomische Grundlage der Schmerzpunkte sind, sind gewisse Einwände nicht zu unterdrücken, bezüglich deren hier auf das S. 655 Gesagte verwiesen werden kann²⁾.

Summationserscheinungen bei der Auslösung des Schmerzes.

Richet³⁾ hat auf den Unterschied der Empfindungsintensität bei Applikation eines einzelnen Induktionsschlages und mehrerer solcher hingewiesen. Bei einer Stärke der Schläge, bei welcher ein einzelner Schlag keinen Schmerz hervorruft, gibt eine Reihe solcher vielleicht eine sehr schmerzhaft empfundene. In der Tat entstehen auch bei Anwendung anderer Reize Schmerzempfindungen durch Summation mehrerer, einzeln schmerzunterschwelliger Erregungen. Als ein für die Entstehung der Schmerzempfindungen charakteristisches Merkmal kann jedoch eine solche Summation nicht angesehen werden, denn alle anderen Nerven zeigen ein solches Verhalten mehr oder weniger ausgeprägt, und Schmerzempfindungen können auch durch einen einzelnen genügend starken Reiz ausgelöst werden. Das ungewöhnlich deutliche Hervortreten der Summation bei der Auslösung der Schmerzempfindungen dürfte von der großen Trägheit der Schmerznervenenden (ev. der Ganglienzellen oder anderer nervöser Teile) bedingt sein, die auch in der großen Reaktionszeit für schwache Schmerzreize zum Ausdruck kommt (s. S. 710). Goldscheider⁴⁾ hat indessen die Summation als den wesentlichen inneren Vorgang, welcher der Schmerzempfindung zugrunde liegt, angesehen (s. S. 710). Das ist bei seinem Standpunkte verständlich, ist aber bei Annahme besonderer Schmerznerven ganz überflüssig.

Die verschiedenen Schmerzqualitäten. Daß unsere Schmerzempfindungen sehr verschiedener Art sein können, ist eine alltägliche Erfahrung und damit hängt zusammen, daß der Sprachgebrauch für die nähere Spezialisierung über eine ganze Reihe von Bezeichnungen verfügt; so spricht man

¹⁾ Leipziger Abhandl. 1896, S. 261. — ²⁾ Siehe auch Oppenheimer, Schmerz- und Temperaturempfindung. Berlin 1893. Nach O. werden die Schmerzempfindungen durch die Gefäßnerven besorgt. — ³⁾ Recherches expérimentales et cliniques sur la sensibilité. Paris 1877. — ⁴⁾ Über den Schmerz. Berlin 1894, S. 20 (dasselbst mehrere Literaturangaben).

von stechendem, schneidendem, drückendem, ziehendem, dumpfem, brennendem, klopfendem usw. Schmerz. Diese Unterschiede sind größtenteils nicht durch wirkliche Qualitäten der durch die Schmerznerven ausgelösten Empfindungen bedingt. Durch Beimischung anderer Empfindungen, durch Eigentümlichkeiten in der räumlichen Verbreitung, im zeitlichen Verlaufe erhalten die Schmerzempfindungen häufig einen besonderen Charakter. Durch Beimischung von Wärme- (und Kälte-)empfindungen entstehen die brennenden Schmerzen, durch den rhythmischen Wechsel der Intensität entstehen die klopfenden Schmerzen usw.

Inwieweit alle die Eigentümlichkeiten, welche die verschiedenen Schmerzarten zeigen, in dieser Weise erklärt werden können, ist eine Frage, deren Lösung bei der Schwierigkeit, die verschiedenen Schmerzarten einer experimentellen Analyse zu unterwerfen, noch nicht endgültig geliefert ist. Durch Beobachtungen auf dem Gebiete der Hautschmerzen, wo eine solche Analyse am leichtesten ausführbar ist, ist es jedoch wahrscheinlich gemacht, daß es zwei Arten Schmerznerven gibt, von welchen die eine die stechenden Schmerzempfindungen, die andere die dumpfen auslöst (Thunberg¹). Wenn man an die Haut sehr oberflächlich wirkende Schmerzreize appliziert, erhält man nur stechende Schmerzempfindungen, sei es, daß die Reize thermisch, mechanisch, elektrisch oder chemisch sind, sei es, daß sie langsam anschwellen oder schnell angreifen. Wenn man dagegen auf große, in die Höhe gehobene Hautfalten drückt und den Druck auf die Mitte, nicht auf die Biegungskante ausübt, so daß der Druck auf die tieferen Teile kräftig wirkt, erhält man bei schwächster Reizung eine dumpfe Schmerzsensation. Dasselbe ist der Fall bei präformierten Hautfalten, z. B. den Ohrzipfeln, den Hautfalten zwischen den Fingern. Dieser Unterschied in dem Charakter der Empfindungen ist weder durch Beimischung anderer Empfindungen zu erklären (da solche hier nur wenig mitspielen), noch ist es wahrscheinlich, daß die verschiedene Reizungsweise die Verschiedenheiten der Empfindungen zu erklären vermöchte. Gegen diese Möglichkeit spricht der große Unterschied zwischen den beiden Empfindungsarten, ferner auch der Umstand, daß man, wie auch oberflächlich wirkende Reize appliziert werden, niemals eine dumpfe Schmerzempfindung erhält. Beruhte die bei tieferem Druck entstehende dumpfe Schmerzsensation nur auf der Reizungsweise, so könnte man ja erwarten, daß sie auch durch zweckmäßige Änderungen der Reizungsweise der oberflächlichen Schichten der Haut zu erhalten wären, z. B. wenn eine kleine Hautfalte sehr langsam gedrückt würde. — Die Tatsache, daß man von den kleinsten Hautfalten nur stechende Sensationen erhält, spricht also dafür, daß die nervösen Bildungen, die den dumpfen Schmerz vermitteln, an tiefere Schichten gebunden sind. Bedenkt man, daß, wenn eine größere Falte einem gleichförmigen Drucke ausgesetzt wird, der schwächste Schmerz erzeugende Reiz nur den dumpfen Schmerz hervorruft, so ist dies wohl dahin zu deuten, daß die nervösen Bildungen, die dies vermitteln, für Druck empfindlicher sind als die, welche den stechenden Schmerz vermitteln, da ja der Reiz diese letzteren mindestens in gleichem Grade treffen muß.

¹) Skand. Arch. f. Physiol. 15, 394, 1901. Siehe auch Alrutz, Undersökningar öfver smärtsinnet. Upsala 1901, p. 97.

Auch die Ergebnisse bei Anwendung von thermischen, elektrischen und chemischen Reizmitteln (siehe Thunberg und Alrutz¹⁾ lassen sich in gleichem Sinne verwerten, d. h. dahin, daß in oder unmittelbar unter der Haut zwei Arten Schmerznerve sich finden mit verschiedenen spezifischen Energien; die eine Art gibt stechende, die andere dumpfe Schmerzempfindungen.

Es wurde angenommen, daß dieselben Schmerznerve sowohl durch Kälte-Wärmereize wie durch mechanische Reize erregt werden können. Gegen einen solchen Standpunkt ist der Einwand gemacht, daß gewisse pathologische Beobachtungen für besondere Druckschmerznerve, besondere Wärmeschmerznerve usw. sprechen²⁾. Man hat z. B. Analgesie gegen mechanische Reize gleichzeitig mit Hyperalgesie gegen thermische Reize gefunden. Die vorliegenden Beobachtungen sind jedoch zu wenig zahlreich, und bei der Deutung dieser Dinge ist zu berücksichtigen, daß man durch Nadelstiche nur schwache Schmerzempfindungen hervorrufen kann und daß, wenn die Nadel bei vermehrtem Druck durch die Epidermis gedrungen ist, die stechende Schmerzempfindung häufig verschwindet. Eine unbedeutende Hypalgesie kann, wenn man dies nicht berücksichtigt, eine Analgesie vortäuschen. Übrigens wäre es möglich, daß die Nervenfasern unter pathologischen Verhältnissen abnorme Verknüpfungen eingehen könnten. Wenn z. B. die Endorgane der Temperaturnerven mit den Schmerznerve in Verbindung träten, könnte eine Hyperalgesie gegen Temperaturreize entstehen ohne Druckhyperalgesie usw.

Die bei schwächster Erregung der Schmerznerve entstehenden Empfindungen. Wenn man die Haut mit einer spitzen Nadel berührt, erhält man oft schwache, stechende Sensationen, die durchaus nicht mit irgend welchem Schmerz verbunden sind. Trotzdem dürften diese stechenden Empfindungen durch dieselben Nerven ausgelöst werden, die bei stärkerer Reizung die wirklich schmerzhaften stechenden Sensationen veranlassen. Diese Empfindungen können nämlich nicht als eine durch einen spitzen Gegenstand ausgelöste Berührungsempfindung gedeutet werden, was daraus hervorgeht, daß sie auch durch schwache elektrische und thermische Reizung zu erhalten sind. Da sie qualitativ mit den Berührungs- oder Temperaturempfindungen nichts zu tun haben, bei höherer Reizintensität dagegen ohne Qualitätsänderung in die schmerzhaften stechenden Sensationen übergehen, ist ihr Zusammenhang mit diesen letzteren klar.

Auch von der Mundhöhle und den Nasenhöhlen werden, besonders bei chemischer Reizung, Sensationen ausgelöst, die gleichfalls als stechend bezeichnet werden können, und die nicht schmerzhaft wirken, solange sie sehr schwach sind, die es aber bei größerer Intensität werden. Das Freisein dieser Sensationen von Schmerz wird recht gut durch den Umstand beleuchtet, daß sie ganz sicher eine wichtige Komponente in der Geschmacksempfindung darstellen, die durch verschiedene unserer Gewürze, z. B. Senf und Pfeffer, erregt wird, und zwar auch bei Intensitäten, wo diese Empfindungen immer

¹⁾ Smärtsinnet. Upsala 1901. — ²⁾ Strong, Psychol. Rev. 2 (1895). Alrutz, a. a. O., S. 71.

noch angenehm sind. Auch Kohlensäure (in kohlensäurehaltigen Getränken) und Alkohol können angenehme zusammengesetzte Empfindungen geben, von denen diese stechenden Empfindungen einen Bestandteil ausmachen.

Die Tatsache, daß dieselben Nerven, welche die stechenden, mit sehr unangenehmem Gefühlston versehenen Schmerzempfindungen auslösen, auch die schwachen, beinahe oder gar nicht gefühlsbetonten Stichempfindungen auslösen, machen ihre Benennung als Schmerznerve etwas inexakt; vielleicht wäre es besser, sie als Stichneterven oder Stichtschmerznerve und die von ihnen ausgelösten Empfindungen als Stichempfindungen, bei höherer Intensität als Stichtschmerzempfindungen zu benennen. Wenn die hier vorgetragene Meinung richtig ist, kann dies für die Auffassung einiger schwächerer Empfindungen von Bedeutung sein, deren Klassifikation noch strittig ist.

Die Schmerzempfindlichkeit verschiedener Hautstellen. Algesimetrie. Die Schmerzempfindlichkeit verschiedener Hautstellen ist Gegenstand mehrerer Untersuchungen gewesen, von denen die Mehrzahl klinischen Bedürfnissen ihren Ursprung verdankt. Die Resultate sind indessen keineswegs als sicher anzusehen, da die Methoden häufig mangelhaft waren.

Mechanische Reize. Wie abhängig die Ergebnisse von den Methoden sind, geht deutlich aus einem Vergleich der mit zwei verschiedenen Apparaten, dem Björnströmschen und dem Moczutkowskischen Algesimeter, erhaltenen Werte hervor.

Der Algesimeter Björnströms¹⁾ ist eine Kneifpinzette, die es ermöglicht, eine Hautfalte zu heben und auf dieselbe einen auf einer Skala in Kilogramm ablesbaren Druck zu applizieren. Wenn man stets gleich große Hautfalten aufhebt, wenn man den Druck immer in derselben Weise anbringt und nur einmal bei jeder Untersuchung dieselbe Hautfalte kneift, und wenn man endlich darauf sieht, daß die Hauttemperatur normal ist, bekommt man nach der Angabe Björnströms konstante Werte. Der Schwellenwert wechselt für die verschiedenen Körperteile zwischen $\frac{1}{2}$ bis 12 kg. Als allgemeines Resultat seiner Untersuchungen ist hervorzuheben: Herabsetzung der Sensibilität über allen dicht unter der Haut liegenden prominierenden Knochenpartien, wie über den Knöcheln, dem Ellbogen, den Klavikeln, der Spina scapulae, dem Trochanter major, der Kniescheibe und den Malleolen, weiter die Herabsetzung an einigen Beugefalten, wie in den Handgelenken, den Ellbogengelenken, der Achselhöhle, der Kniekehle, an den Augenlidern.

Moczutkowskis²⁾ Apparat erlaubte, eine Nadel mit veränderlichem Druck gegen die Haut zu setzen. Sein Apparat berührte die Haut mit einer konvexen Oberfläche von 1 cm Durchmesser. In derselben war ein zentrales Loch, durch welches eine 1 mm dicke Nadel hervortrat, welche in einer scharf geschliffenen, 1 mm hohen konischen Spitze endete. Diese Nadel konnte in einer verschiedenen, in 0,1 mm ablesbaren Länge über die konvexe Oberfläche hervorgeschraubt werden. Im ganzen kann die Spitze 2 mm hervortreten. Die Schmerzempfindlichkeit wird dadurch bestimmt, daß man untersucht, wieviel die Nadel über die Oberfläche hervorgeschoben werden muß, um bei Druck gegen die Haut Schmerz hervorzurufen. Moczutkowski teilt eine Zusammenstellung über die Empfindlichkeit verschiedener Stellen mit. Sie wechselt bei Gesunden zwischen 0,15 bis 1,5 mm Nadellänge. Der Mittelpunkt der kleinsten Schmerzempfindlichkeit der Haut ist nach Moczutkowski das Becken, und von diesem Ort aus erhöht sich allmählich die Empfindlichkeit, wenn man sich dem Kopf, den Fingern und den Zehen nähert. Wie bei Anwendung des Björnströmschen Algesimeters ist dabei die Dicke der zwischen

¹⁾ Nove acta soc. scient. Upsala 1877. Siehe auch Pacht. Über die cutane Sensibilität usw. Inaug. Diss., Dorpat 1879. — ²⁾ Nouvelle Iconographie de la Salpêtrière II, 230, 1898.

der Haut und den darunter liegenden Knochen befindlichen Schicht von großer Bedeutung, aber in gerade entgegengesetzter Weise, so daß die Schmerzempfindlichkeit nach Moczutkowski um so größer ist, je dünner diese Schicht ist.

Die Deutung dieses scheinbar paradoxen Befundes dürfte darin liegen, daß die oberflächlichsten Hautschichten einen höheren Schwellenwert als die tieferen, eventuell das Periost, haben. Da die oberflächlicheren Hautschichten über prominierenden Knochenpartien leichter verschiebbar sind, kann man sie hier mittels der Björnströmschen Kneifzange isoliert heben, und ihre höhere Schmerzschwelle bestimmt hier den erhaltenen Wert. Wenn man dagegen einen Druck gegen einen dicht unter der Haut liegenden Knochen ausübt, bestimmen die tieferen Schichten, eventuell das Periost, den Wert, weil sie empfindlicher sind und bei der Anlage an den unterliegenden Knochen für Druckreize sehr zugänglich sind. Bei den durch den Björnströmschen Apparat für die verschiedenen Körperteile erhaltenen Werten ist vielleicht auch der Umstand von Bedeutung, daß die in den erhobenen Hautfalten liegenden Nerven nicht nur gedrückt, sondern auch gedehnt werden, was ja leicht geschieht, wenn die Haut mit unterliegenden Geweben fest verbunden ist.

Auf die vielen anderen Methoden für mechanische Hautreizung¹⁾ kann hier nicht eingegangen werden, nur mag hervorgehoben werden, daß die Methoden, bei welchen Nadeldruck gegen die Haut ausgeübt wird, nur auf der Applikation eines Druckes auf die Haut, nicht auf einem Eindringen der Spitze in dieselbe beruhen. Bei normalen Individuen wenigstens liegt die Schmerzschwelle weit unter einem Drucke, der ein Eindringen in die Haut bewirkt. Ja für sehr spitze Nadeln liegt die Sache so, daß die Schmerzempfindung schwächer wird, vielleicht verschwindet, wenn die Nadelspitze in die Haut eindringt; das ist bei der Anwendung jedes Nadelalgesimeters zu berücksichtigen.

Thermische Reize. Theoretisch kann sowohl Wärme wie Kalte als Schmerzreiz verwendet werden. Es ist indessen natürlich, daß Wärmereizung leichter zu bewerkstelligen ist. Die einfachste Weise, die Schmerzempfindlichkeit mit Wärmereizen zu bestimmen, besteht darin, den Temperaturgrad zu suchen, welchen ein die Haut berührender, gut wärmeleitender Gegenstand haben muß, um eine Schmerzempfindung hervorzurufen.

Die ausführlichsten thermoalgesimetrischen Beobachtungen rühren von Donath²⁾ und Vereß³⁾ her. Die äußersten Grenzen für das Auftreten des Kälteschmerzes waren nach Donath — 11,4 und 2,8° C, für das Auftreten des Wärmeschmerzes 36,3 und 52,6° C. Auch Vereß, der nur das Auftreten des Wärmeschmerzes untersuchte, fand für die verschiedenen Körperteile bedeutende Unterschiede. Eine minimale Schmerzempfindung wurde durch Temperaturen zwischen 44 und 52° hervorgerufen, es bestand also zwischen den Schwellenwerten an verschiedenen Körperteilen ein Unterschied von nicht weniger als 8°. Berechnet man, wieviele Hundertstel der ganzen Körperfläche die den verschiedenen Schwellenwerten entsprechenden Körperteile betragen, so erhält man die folgende Tabelle.

44°	1,5 Proz.	49°	15 Proz.
45°	2,5 "	50°	5 "
46°	6 "	51°	4 "
47°	28 "	52°	4 "
48°	34 "		

¹⁾ Siehe Kulbin, L'année psychologique 1896, p. 83 u. 438. v. Bechterew, Neurol. Zentralbl. 1899, S. 386. Hess, Deutsch. med. Wochenschr. 1892, S. 210. Buch, Petersb. med. Wochenschr. 1891 u. 1892. MacDonald, L'intermédiaire des biologistes 13, 288, 1898. Thunberg, Ups. Läkaref. förh. 8, 560, 1902/03. — ²⁾ Arch. f. Psychiatrie 15, 695, 1884. — ³⁾ Pflügers Arch. 89, 1, 1902.

Bei diesen verschiedenen Empfindlichkeiten der verschiedenen Körperteile ist die Dicke des Stratum corneum von großer Bedeutung derart, daß ein um so kräftigerer Reiz erforderlich ist, je dicker das Stratum corneum ist. Ob andere Umstände, z. B. eine geringere Anzahl der Nervenenden in der Flächeneinheit, auch mitspielen, mag dahingestellt bleiben. Übrigens sind die Methoden von Donath und Vereš nicht einwandfrei.

Thunberg¹⁾ hat eine Methode angegeben, mit einer und derselben hohen Temperatur die Schmerzempfindlichkeit zu bestimmen. Wenn man über eine Serie ungleich dicker Metalllamellen, z. B. Silberlamellen, disponiert, welche der leichteren Handhabung wegen an einem schlecht wärmeleitenden Griff befestigt sind, und sie auf einer und derselben hohen Temperatur, z. B. 100°, hält, indem man sie auf ein kochendes Wasserbad stellt, und wenn man sie dann mit der Haut in Berührung bringt, so gibt jede, je nach ihrer Dicke, eine bestimmte Wärmemenge an die Haut ab. Wenn man in einer Tabelle die in Milligramm ausgedrückten Gewichte der Silberlamellen, welche bei einer Berührungsfläche von 1 qcm eben zur Auslösung einer schwachen, stechenden Schmerzempfindung hinreichen, anordnet, so findet sich, daß das nötige Gewicht für den größten Teil der Körperoberfläche zwischen 45 und 60 mg liegt, daß es dagegen auf gewissen Stellen, auf der Volarfläche der Hände und der Finger und ebenso an den Füßen, zu einem ungleich höheren Werte, 100 bis 1000 mg, aufsteigt. Durch Berechnung der Wärmemenge, welche die Metalllamelle an die Haut abgibt, wenn ihre Bluttemperatur (hier = 38° angenommen) sinkt, erhält man eine Vorstellung von den Wärmemengen, welche zur Hervorrufung von minimalen Schmerzempfindungen auf 1 qcm Hautoberfläche appliziert werden müssen. Die Werte liegen im allgemeinen zwischen 167,40 bis 223,9 mg-Kalorien, können aber am Fuße und an den Händen auf 372 bis 3720 steigen. Hierbei sind die Dicke des Stratum corneum und der Wärme-grad der die Schmerznerve deckenden Hautschicht von großer Bedeutung.

Elektrische Reize. Die bis jetzt vorliegenden Bestimmungen der Empfindlichkeit verschiedener Hautstellen für elektrische Reize sind meistens mit veralteten Methoden ausgeführt worden, und die Ergebnisse haben auch wenig Wert. Prüft man, wie Bernhardt²⁾ zuerst getan hat, die Haut mit Induktionsströmen, so findet man die Schmerzschwelle je nach dem Epidermiswiderstand bei verschiedenem Rollenabstand. Die so erhaltenen Zahlen, welche den Rollenabstand angeben, haben indessen einen sehr beschränkten Wert, weil sie ja bei verschiedener Stärke des primären Stromes und je nach der Anordnung des Induktionsapparates verschieden sind.

Wenn man, wie Tschieriew und de Watteville³⁾ in die sekundäre Leitung des Induktoriums einen so großen Widerstand — bis 3 000 000 Ohm — einführt, daß der verschiedene Epidermiswiderstand seine Bedeutung verliert, so findet man die gleiche Schmerzempfindlichkeit an allen Hautstellen.

Nur wenige Versuche liegen vor, durch welche diese Fragen mit absolut graduierten Instrumenten und unter Berücksichtigung der verschiedenen Variablen in Angriff genommen wurden. Über die Bedeutung der Frequenzen der Wechselströme hat v. Zeynek⁴⁾ Versuche angestellt. Es kamen für langsamen Wechsel (0,3 bis 1 pro Sek.) Sinusströme zur Verwendung, die von einer Spule geliefert wurden, in welcher sich eine zweite, von Gleichstrom durchflossene Spule gleichmäßig drehte. Für Stromwechsel von 5 bis 110 pro Sekunde diente ein Kohlrauschscher Sinusinduktor, für Wechselströme von 600 bis 5000 Stromwechseln pro Sekunde eine besonders konstruierte Dynamo-

¹⁾ Upsala Läkaref. förh. 30, 521, 1894/95. — ²⁾ Die Sensibilitätsverhältnisse d. Haut. Berlin 1874. Siehe auch Bernhardt, Arch. f. klin. Med. 19, 382, 1877. — ³⁾ Brain 2, 163, 1879. — ⁴⁾ Göttinger Nachr. 1894, zit. nach Ergebn. d. Phys. 2 (2), 116.

maschine, deren Strom noch durch einen Transformator geleitet wurde. Endlich wurden Teslaströme angewendet. Im allgemeinen ergab sich, daß mit zunehmender Reizfrequenz die zur prickelnden Hauterregung¹⁾ erforderliche Stromstärke wächst. Für hohe Wechselzahlen stieg die für die Reizschwelle nötige Stromstärke proportional der Quadratwurzel der Wechselzahl an. Bei den Versuchen mit Teslaschwingungen trat keine prickelnde Empfindung auf.

Chemische Reize. Grützner²⁾ hat Lösungen verschiedener chemischer Stoffe auf kleine Wunden der Finger, welche absichtlich beigebracht waren, aufgepinselt. Um die reizenden Wirkungen der verschiedenen Stoffe zu bestimmen, wurde die Zeit beobachtet, welche von dem Auftragen der Flüssigkeit bis zum Auftreten eines deutlichen Schmerzes verstrich. Jodnatrium erzeugte z. B. nach 5, Bromnatrium nach 10, Chlornatrium nach 50 Sek. eine Schmerzempfindung, wenn sie in der Stärke einer Normallösung angewendet wurden.

Schmerzempfindlichkeit der Mundhöhle. Die Wangenschleimhaut, die hinteren Teile des Mundraumes und die hintere Zungenhälfte haben eine wenig ausgebildete Schmerzempfindlichkeit. Einige Stellen der Wangenschleimhaut sind normal völlig schmerzfrei, auch wenn sie mit sehr kräftigen mechanischen und elektrischen Reizen untersucht werden (Kiesow³⁾).

VII. Die Schmerzempfindlichkeit innerer Teile.

Über die Sensibilitätsverhältnisse der inneren Teile liegen Untersuchungen in größerer Anzahl vor. Die Physiologen des 17. und 18. Jahrhunderts teilen mehrere durch Tierexperimente gewonnene Resultate mit, und in der Zeit vor der Einführung der Äther- oder Chloroformnarkose in die Chirurgie wurden an Menschen viele wichtige Beobachtungen gemacht; allerdings widersprechen sich die Angaben aus dieser Zeit in vielen Punkten. Für Untersuchungen der Sensibilitätsverhältnisse der tieferen Teile ist eine neue Zeit angebrochen, seitdem die Methode, große Operationen bei nur lokaler Betäubung anzustellen, in die Chirurgie eingeführt ist; denn mehr als bei allgemeiner Narkose bietet sich hier Gelegenheit, die Sensibilität der verschiedenen Gewebe zu beobachten.

Eine sowohl in der älteren wie in der neueren Literatur häufig wiederkehrende Auffassung der Sensibilitätsverhältnisse der tieferen Teile nahm an, daß ein qualitativer Unterschied zwischen dem gesunden und dem kranken Zustande bestehen sollte. Wenn gesund, sollte ein Organ, auch wenn es gewaltsamen Reizen ausgesetzt wurde, keinen Schmerz auslösen können, wenn es dagegen krank würde, konnte es Sitz sehr ausgeprägter Schmerzen werden. Solche Angaben liegen über mehrere der inneren Organe vor, besonders aber der Organe der Brust- und Bauchhöhle.

Folgender Ausspruch eines Chirurgen⁴⁾ dürfte als charakteristisch für die bisherige allgemeine Auffassung der Chirurgie angeführt werden.

¹⁾ Vielleicht beziehen sich also diese Untersuchungen auf die Drucknerven und nicht auf die Schmerznerve. — ²⁾ Pfügers Arch. 58, 69, 1894. Siehe auch Rollet, ebenda 74, 451, 1899. — ³⁾ Wundts philos. Stud. 14, 567, 1898. — ⁴⁾ Bier, Die Entstehung des Collateralkreislaufes, Virchows Arch. 147, 455, 1897.

„Bekanntlich besitzt der Darm keine Berührungs-, Tast-, Temperatur- oder Schmerzempfindung in dem Sinne, wie die äußeren Körperteile mit diesen Eigenschaften versehen sind. Daß man beim Menschen Darmteile, ohne daß der geringste Schmerz empfunden wird, schneiden, brennen, stechen, quetschen kann, ist jedem Chirurgen von der Anlegung des Anus praeternaturalis her bekannt. . . . Derselbe Darm, den man, ohne daß er die geringste Empfindung davon hat, stechen, brennen, schneiden und quetschen kann, vermag trotzdem die fürchterlichsten Schmerzen zu empfinden. Man denke nur an die heftigen Schmerzen, welche gewisse Krankheiten am Darm hervorrufen, und die wütend schmerzhaften Kolikanfälle bei chronischen Hindernissen im Darm.“

Und Richet¹⁾ spricht folgende Auffassung aus, welche als unter den Physiologen üblich angesehen werden kann.

„Cette différence de sensibilité entre des parties enflammées et des parties saines est cette, que certains organes, absolument insensibles normalement, deviennent, sensibles aux excitations douloureuses quand ils s'enflamment.“ So verhält es sich nach Richets Meinung ungefähr mit der Sensibilität bei gewissen „Organes viscéraux, dont la sensibilité normale est pour le moins très obtuse. L'estomac, les intestins, la vésicule biliaire, la vessie sont dans ce cas“.

Es ist das Verdienst Lennanders²⁾, eine kritische Sichtung der schon vorhandenen Angaben und eine Serie neuer Untersuchungen vorgenommen zu haben; dadurch sind wahrscheinlich die Gegensätze zwischen dem kranken und dem gesunden Zustande zum großen Teil nur als scheinbar klargestellt, oder wenigstens eine vorher nicht berücksichtigte Möglichkeit, welche viele Schwierigkeiten leicht beseitigt, in die Diskussion eingeführt und die Fragestellung schärfer präzisiert worden. Nach Lennanders Untersuchungen sind alle die Schmerzen, die von der Bauchhöhle ausgelöst werden können, bloß auf die Teile zurückzuführen, die von den Intercostal-, Lumbal- und Sacralnerven innerviert werden, also besonders auf das Peritoneum parietale. Das Peritoneum parietale ist sowohl in gesundem wie in krankem Zustande empfindlich. Besonders ist es überaus empfindlich für mechanische Reize, für Ziehungen und Dehnungen.

Die intraperitoneal gelegenen Bauchviscera dagegen und das Peritoneum viscerale vermitteln weder in gesundem noch krankem Zustande Schmerzempfindungen. Besonders haben direkte Untersuchungen gezeigt, daß der Darmkanal und die Mesenterien, der Magen, der vordere Rand der Leber und die Gallenblase, die Milz, das Pankreas, das große Omentum, die Serosa an der Harnblase, sowie das Nierenparenchym unter allen Umständen unempfindlich sind. Wann und wie entstehen dann die Schmerzen, welche die Bauchkrankheiten begleiten? Sie entstehen dadurch, daß die krankhaften Prozesse in den unempfindlichen inneren Teilen in irgend einer Weise das empfindliche Peritoneum parietale reizen. Häufig dürfte bei Darmkrankheiten eine übermäßige Peristaltik oder eine übermäßige Darmausdehnung einen Zug auf das Peritoneum parietale ausüben, wobei die sehr häufig vorkommenden Adhasionen von Bedeutung sind. Auch dürfte bisweilen die Reizung des Peritoneum parietale chemischer Natur sein, indem die in den kranken Teilen gebildeten chemischen, toxischen oder infektiösen Stoffe dahin diffun-

¹⁾ Dictionnaire de Physiol., Paris. — ²⁾ Mitteilungen aus den Grenzgeb. d. Med. u. Chirurg. 10 (1902) und Upsala Läkaref. förh. 9, 54, 1903/04 ebenda mehrere geschichtliche Notizen.

dieren. Dadurch, daß unter diesen Umständen eine Hyperalgesie des Peritoneum parietale entsteht, erklärt es sich, daß sehr geringfügige Reize bei Krankheiten intensive Schmerzen auslösen können.

Dieselbe Verteilung der Sensibilitätsverhältnisse wie die Bauchhöhle zeigen vielleicht auch andere Körperhöhlen. Es ist nämlich wahrscheinlich, daß die Lungen keine Schmerzempfindungen auslösen können, während die Pleura parietalis schmerzempfindlich ist. — Ebenso dürften vielleicht das Gehirn und die Schilddrüse gefühllos sein. Überhaupt ist es nach Lennander wahrscheinlich, daß alle diejenigen Organe, die nur vom N. sympathicus oder N. vagus nach dem Abgange des N. recurrens innerviert werden, keine Schmerzempfindungen auslösen können.

Weitere Mitteilungen Lennanders¹⁾ machen es wahrscheinlich, daß die Schleimhaut des Rectums, der vorderen Wand der Scheide, die Gebärmutter, die Eierstöcke, die Eileiter und die angrenzenden Teile der Ligamenta lata der Schmerzempfindungen entbehren. Die Patienten reagieren nicht auf hier vorgenommene operative Eingriffe, vorausgesetzt, daß sie ohne Dehnung des Bindegewebes ausgeführt werden können, welches die Genitalia interna mit Beckenwand und Peritoneum parietale verbindet. Wahrscheinlich haben auch Hoden und Nebenhoden in ihren serosabekleideten Teilen keine Schmerznerven, während die Hüllen und das parietale Blatt der Tunica vaginalis schmerzempfindlich sind.

Das Periost ist sehr schmerzempfindlich. Die Knochensubstanz und das Knochenmark scheinen unempfindlich zu sein, oder, wenn sie Schmerznerven von dem Periost erhalten, müssen diese sehr kurz sein, denn wenn das Periost auf einer Stelle weggeschabt ist, ist der Knochen bis an die Grenze des Periosts unempfindlich²⁾.

Zurzeit ganz unvermittelt im Verhältnis zu Lennanders Untersuchungen steht die besonders durch Head³⁾ aktuell gewordene Lehre von den Reflexschmerzen. Schon Lange⁴⁾ hatte mit Rücksicht auf die Tatsache, daß die inneren Organe gegen Berührung, ja sogar Schnitte, unempfindlich sind, hervorgehoben, daß die Schmerzen, welche durch Krankheiten innerer Organe entstehen, hauptsächlich reflektierte, irradiierende sind und daß in den schmerzhaften Gegenden oft Hyperästhesien entweder gleichzeitig mit oder zwischen den Schmerzanfällen sich entwickeln. Langes Arbeiten blieben aber unbeachtet. Nachdem aber Roß⁵⁾ 1888 seine Studien über die Reflexschmerzen veröffentlicht hatte, und nachdem Mackenzie⁶⁾ und besonders Head die Hyperalgesie der Haut eingehend beschrieben hatten, die mit dem Schmerz bei Visceralkrankheiten so häufig verbunden ist, ist dies Gebiet in den Vordergrund des Interesses getreten.

Head's Ansicht geht dahin, daß in den inneren Organen Schmerzempfindungen ausgelöst werden können, — zwar nicht durch alle Reize, sondern nur durch solche, welche von reißendem oder zerrendem Charakter sind — aber daß diese so ausgelösten Empfindungen meistens unrichtig lokalisiert werden⁷⁾.

¹⁾ Upsala Läkaref. förh. 9, 90, 1903. — ²⁾ Siehe auch Bloch, Nord. med. Ark. 1899, Nr. 33. — ³⁾ Brain 16, 1; 17, 339 oder Head, Die Sensibilitätsstörungen d. Haut bei Visceralkrankheiten, Berlin 1898. — ⁴⁾ Siehe die Histor. Fabers im Deutsch. Arch. f. klin. Med. 65, 338. — ⁵⁾ Brain 1888. — ⁶⁾ Medical chronicle, August 1892. — ⁷⁾ Die Sensibilitätsstörungen usw., S. 108.

Zwar wird der Schmerz häufig in dem kranken Organ selbst gefühlt, aber er besteht dann nur in einem „dumpfen“, „schweren“, „matten“ Gefühl. Der eigentliche Schmerz, welcher „scharf“, „empfindlich“, „stechend“ ist, wird auf die Körperoberfläche bezogen, anstatt auf das tatsächlich erkrankte Organ.

Diese unrichtige Lokalisation setzt Head in Verbindung mit der geringen Empfindlichkeit der inneren Organe und erläutert seine Deutung mit folgendem Beispiel: Wenn ich mich in den Fuß steche, so fühle ich nirgends Schmerz als am Fuße selbst in der Gegend des Stichpunktes. Ist indessen die Empfindlichkeit am Stichpunkt krankhaft vermindert, wird der Schmerz nicht mehr auf den Stichpunkt, sondern etwas weiter nach oben auf eine Stelle intakter Sensibilität bezogen (eventuell bei intakter Sensibilität des gegenüberliegenden Fußes auf den entsprechenden Punkt des letzteren — Allocheirie). Die Lokalisation hängt in diesem Beispiele von folgendem Gesetze ab: Wird ein schmerzhafter Reiz an einer Stelle geringer Empfindlichkeit appliziert, welche in enger zentraler Verbindung mit einer Stelle von viel größerer Empfindlichkeit steht, so wird der hervorgerufene Schmerz in dem Gebiet höherer Empfindlichkeit viel stärker gefühlt als in dem weniger empfindlichen Teil, an dem der Reiz tatsächlich angebracht worden war. Aber demselben Gesetze gehorcht auch die Lokalisation der von inneren Organen ausgelösten Schmerzen. Diese Organe sind nämlich weniger empfindlich als die Haut, und ihre Nerven stehen in dem Rückenmark in enger zentraler Verbindung mit den Hautnerven. Die von den inneren Organen kommenden sensiblen Nerven treten nämlich nach Head in intime Verbindung mit Hautschmerzfasern desselben Spinalsegments.

Im Zusammenhang mit dieser Nervenordnung findet Head auch die bei Visceralkrankheiten entstehenden Hauthyperalgesien begründet. Wenn nämlich in den sensiblen Nervenbahnen von einem erkrankten Organ aus Impulse zum Rückenmark gelangen, so müssen diese in dem Spinalsegment, in welches sie geleitet werden, eine Störung veranlassen. Irgend ein zweiter sensibler Impuls, der aus einem anderen Teile zu demselben Spinalsegment geleitet wird, muß dadurch eine tiefgehende Änderung erleiden, da er ja nicht mehr auf ein normales, in Ruhe befindliches Rückenmark trifft, sondern auf ein solches, dessen Funktion bereits gestört ist. Der zweite Reiz muß auf diese Weise verstärkt werden können, so daß ein vielleicht normalerweise nur unbequemer Reiz sehr schmerzhaft erscheinen kann.

Diese Ansichten stützt Head auf eingehende Untersuchungen der bei verschiedenen Organkrankheiten auftretenden hyperalgetischen Hautzonen. Er fand, daß diese Zonen für jedes erkrankte Organ charakteristisch und scharf begrenzt waren. Head fand weiter, daß die Zonen, in denen Herpes Zoster auftritt, die gleichen sind, die bei Hyperalgesie zu finden sind.

Es erhob sich also die Frage, in welcher Weise diese Hautzonen der Gliederung des zentralen Nervensystems entsprechen. Mit dem Verlaufe und der Ausbreitung der Hautnerven stimmen sie nicht überein. Eher gleichen sie den Ausbreitungen der hinteren Nervenwurzeln. Es geht ja auch schon aus den Untersuchungen von Bärensprung¹⁾ und den in letzter Zeit von Head und Campbell²⁾ veröffentlichten Feststellungen hervor, daß das

¹⁾ Ann. des Charitékrankenhauses 9, 10, 11. — ²⁾ Brain 1900.

Spinalganglion bei Zostererkrankung angegriffen ist. Doch konnte man dagegen den Einwand erheben, daß die Ausbreitungszonen der Hinterwurzeln nach Sherrington¹⁾ übereinandergreifen. Head war daher zuerst der Meinung, daß seine hyperalgetischen Zonen einem Segment des Rückenmarkes entsprechen. Nachdem nun aber durch neue Untersuchungen von Sherrington²⁾ gefunden ist, daß in den Wurzelgebieten die Überlagerung für die Fasern verschiedener Empfindungsqualitäten eine verschieden starke ist, für die Schmerzfasern eine geringere als für die taktilen Fasern, und nachdem die Herpeszonen als periphere Projektion der Spinalganglien durch die Sektionsbefunde von Head und Campbell erwiesen sind, ist es wahrscheinlich, daß auch die hyperalgetischen Zonen so aufzufassen sind.

Was die Lage der verschiedenen Hautzonen betrifft, die den Rückenmarksegmenten oder den Nervenwurzeln entsprechen, mag folgendes³⁾ mitgeteilt werden: Wenn wir jede Zone nach den vom Rückenmark ausgehenden Nervenwurzeln benennen, bekommen wir 8 Cervicalzonen, 12 Dorsalzonen, 5 Lumbalzonen und 4 Sacralzonen, welche alle ziemlich rechtwinklig auf der Längsachse des Körpers der Reihe nach von oben nach unten geordnet sind; die Extremitäten denkt man sich rechtwinklig zu der Längsachse des Körpers, wie dies bei den vierfüßigen Tieren der Fall ist, mit dem Daumen nach vorn und den Unterextremitäten etwas verdreht, wie sie in der fötalen Stellung stehen. Jedes Organ kann Hyperalgesie in mehreren Zonen hervorrufen. So können nach Head bei Krankheiten in Aorta und im Herzen Hyperalgesien in der 1. bis zur 8. Dorsalzone auftreten. Bei Krankheiten der Lunge kann man Hyperalgesien in der 3. bis 9. Dorsalzone, bei Leberkrankheiten in der 7. bis 10. Dorsalzone, bei Nierenleiden in der 10. bis 12. und in der 1. Lumbalzone, bei Krankheiten der Blase, der Prostata, Testes, Uterus und Adnexa in den unteren Dorsal- und oberen Lumbalzonen beobachten. Bei den Verdauungskrankheiten endlich treten die Hyperalgesien in der 7. bis 12. Dorsalzone und speziell bei Krankheiten des Magens und im oberen Teile des Dünn darmes in der 7. bis 9., bei Erkrankungen des Darmes in der 9. bis 19. Dorsalzone auf. Die Verdauungsorgane werden indessen nicht nur durch den N. sympathicus, sondern auch durch den N. vagus innerviert und hierauf gründet Head seine Ansicht von dem reflektorischen Kopfschmerz und der reflektorischen Kopfhauthyperalgesie bei Organkrankheiten, und er hat eine Reihe von Kopfbzonen beschrieben, welche in bestimmtem Verhältnis zu den Zonen des Truncus stehen.

VIII. Die Empfindungen von Kitzel und Jucken.

Zu den interessantesten Erscheinungen auf dem Gebiete der Hautsinnesphysiologie gehören die Eigentümlichkeiten, welche die Empfindungen von Kitzel und Jucken zeigen. Die großen Schwierigkeiten, die der Erklärung dieser Erscheinungen beim jetzigen Stande unserer Kenntnisse entgegenstehen, deuten darauf hin, daß mehrere von unseren Vorstellungen über den Ablauf und die Verbreitungsweise der Nervenregung noch zu komplettieren sind. Es ist unter solchen Umständen zu bedauern, daß bisher keine systematischen Untersuchungen über diese Frage durchgeführt wurden. Was bisher vorliegt, sind größtenteils nur zufällige Beobachtungen und theoretische Erörterungen, in denen der betreffende Verfasser sich nicht selten in Widersprüche gegen die eigenen Angaben verwickelt. Obgleich die Empfindungen von Kitzel und diejenigen von Jucken manche Übereinstimmungen zeigen,

¹⁾ Philos. Transact. of Roy. Soc. London 184, 190. — ²⁾ Journ. of Physiol. 27. —

³⁾ Nach der Zusammenstellung Fabers, l. c.

zeigt doch die psychologische Analyse mit großer Wahrscheinlichkeit, daß beide als zwei voneinander verschiedene Empfindungsqualitäten zu betrachten sind. Als juckend werden die Empfindungen definiert, welche bei verschiedenen Hautkrankheiten vorkommen oder durch Insektenbisse entstehen, welche aber leicht auch dadurch hervorgerufen werden können, daß eine feine Stecknadel (z. B. Spitzenfläche 0,001 qmm) gegen die Haut mit einer abgepaßten Belastung (z. B. 1 g) drückt. Die dabei entstehende Empfindung ist, wie Alrtz¹⁾ hervorgehoben hat, typisch juckend. Diese letztere Tatsache zeigt, daß es nicht möglich ist, die von Spezialärzten für Hautkrankheiten ausgesprochene Ansicht zu acceptieren, daß das Jucken (Pruritus) ins Gebiet der Parästhesien gehört, d. h. eine Gefühlsanomalie darstellt, welche keine Steigerung oder Verminderung der Normalbedingungen bedeutet, sondern eine Abart derselben sei, d. h. also ein dem gesunden Körper so gut wie fremdes Gefühl (Jeßner²⁾).

Als kitzelnd werden die Empfindungen bezeichnet, welche an behaarten Hautstellen entstehen, wenn man darüber sehr leicht, z. B. mit einer Feder, hinstreicht, wobei es häufig genügt, daß nur die Haare getroffen werden; dazu zu rechnen sind auch die Empfindungen, welche an unbehaarten Stellen, z. B. an den Lippen, und zwar unter denselben Reizbedingungen wie an behaarten Hautteilen auftreten. Eine kitzelnde Empfindung entsteht aber auch bei kräftigem Drucke auf die Fußsole, gegen die Rippen usw. Hier erhebt sich die Frage, ob nicht diese tiefen Kitzelempfindungen von den oberflächlichen ganz verschieden sind, wie Stanley Hall und Allin³⁾ meinen.

Gegen die scharfe Unterscheidung zwischen den juckenden und den kitzelnden Empfindungen könnte man den Einwand machen, daß es Empfindungen gibt, bei welchen es schwierig ist, zu sagen, ob sie als juckend oder kitzelnd anzusehen sind. Diese Tatsache ist jedoch keineswegs entscheidend. Möglicherweise sind nämlich die betreffenden Empfindungen Mischempfindungen, welche die Zusammengehörigkeit der Kitzel- und Juckempfindungen nicht mehr beweisen als z. B. die Existenz von Mischempfindungen von Druck und Wärme die Zusammengehörigkeit dieser Empfindungen.

Man hat sich früh gefragt, in welchem Verhältnis die Empfindungen von Jucken und Kitzel zu den übrigen Hautempfindungen stehen. Man steht vor der Alternative, ob die juckenden und kitzelnden Empfindungen mit den anderen Hautempfindungen gleich geordnet sind, in welchem Falle man sich gern besondere Nerven mit den spezifischen Energien der Juck- bzw. Kitzelempfindlichkeit denken würde, oder ob sie irgendwelche Modifikationen anderer Hautempfindungen sind, wobei natürlich nur die Druck- und Schmerzempfindungen in Frage kommen können.

Die meisten Forscher haben sich für die letztere Möglichkeit ausgesprochen, wenigstens was die Kitzelempfindungen betrifft. (Doch scheinen die meisten nicht den hier hervorgehobenen strengen Unterschied zwischen kitzelnden und juckenden Empfindungen anzuerkennen und im allgemeinen den Begriff „Kitzel“ etwas weiter als hier gefaßt zu haben.)

¹⁾ Undersökningar öfver smärtsinnet, p. 10—14, Upsala 1901. Da eine Historik der juckenden und kitzelnden Empfindungen. — ²⁾ Pathologie und Therapie des Hautjuckens, 1. Tl., S. 4, Würzburg 1900. — ³⁾ Amer. Journ. of Physiol. 9, 10—11, 1897.

Schon Weber¹⁾ glaubt z. B., daß die kitzelnden Empfindungen dadurch entstehen, daß die Erregung auf angrenzende Teile ausstrahlt, wofür die Beobachtung spricht, daß die Empfindung den Reiz beträchtlich überdauert, ja daß sie bisweilen nachher kräftiger werden kann. Weber hebt auch den großen Unterschied verschiedener Stellen hervor, indem gewisse Teile sehr kitzlich und andere es so gut wie gar nicht sind, und nach Dohrn²⁾ wären vielleicht diese überdauernden Empfindungen von lokalen vasomotorischen Reflexen abhängig; für diese Annahme führt er an, daß eine juckende Stelle gewöhnlich etwas gerötet ist. Auch Funcke³⁾ schließt sich der Auffassung Webers an, daß die Kitzelempfindung eine sekundäre Folge der primären Berührungsempfindung ist, hebt aber als eigentümlich und bemerkenswert hervor, daß schwache Reize diese Ausstrahlungen hervorrufen, starke aber nicht.

Auch Goldscheider⁴⁾, der den Drucknerven das Vermögen, Schmerz auszulösen, zuschreibt, schreibt diesen auch die kitzelnden Empfindungen zu. Er teilt einige Beobachtungen über Momente mit, welche das Kitzeln auslösen. Sticht man mit einer Nadel oder einem spitzen Holzchen in irgend einen Punkt der Haut ein, so ist unmittelbar darauf selbst nach mäßigem Druck in einem gewissen Umkreise die Haut unfähig, Kitzel wahrzunehmen. Die Größe dieses Bezirks wächst mit der Stärke des angewendeten Druckes, ebenso hängt hiervon sowie von der individuellen Disposition der Hautregion für Kitzelreize die Zeitdauer der Unempfindlichkeit für Kitzelreize ab. Auch die Druck- und Schmerzempfindlichkeit in der Umgebung ist etwas abgestumpft. Goldscheider findet diese exzentrische Anästhesierung in zentralen Vorgängen begründet. Die zentrale Erregung soll sich auf einen gewissen Umkreis erstrecken, in welchem infolgedessen schwächere Erregungen unter der Bewußtseinsschwelle gehalten werden. Für die Lokalisation der Erscheinung im Zentrum spricht auch die Umkehrung des Versuches: Streicht man leise über ein Gebiet der Haut, so daß ein nachdauerndes Kitzelgefühl entsteht, und reizt nun in der Mitte der gereizten Stelle nur mäßig einen Punkt, so ist in demselben Moment das nachdauernde Gefühl verschwunden.

Auch v. Frey⁵⁾ scheint dieser Auffassung der Beziehung des Kitzels zum Drucksinn zu huldigen; er faßt also den Kitzel nicht als eine primäre Empfindung auf, sondern als eine sekundäre im Sinne von H. Quincke. In derselben Weise dürfte man auch die juckenden Empfindungen in Beziehung zu den Stechschmerzempfindungen bringen können. Es ist in der Tat wahrscheinlich, daß der juckende Charakter, wenn man von seinem unbehaglichen Gefühlston absieht, eben durch den hingezogenen Verlauf der Sensation — jeder kleinste Zeitwert der juckenden Sensation ist eine Stichsensation — ihre Irradiation und Tendenz, Reflexe auszulösen, konstituiert wird.

Vieles bleibt jedoch vorläufig unerklärt. Wodurch ist der so auffällige Gefühlston der kitzelnden und juckenden Empfindungen bedingt? Weshalb

¹⁾ Wagners Handwörterb. 3, 2. Abteil., 493; siehe auch die Beobachtungen S. 495, 515, 566 bis 567, 578 bis 579. — ²⁾ Zeitschr. f. rat. Med. 10, 339, 1861. — ³⁾ Hermanns Handb. 3, 2. Abteil., 313 bis 314. — ⁴⁾ Siehe die etwas wechselnden Meinungen dieses Verfassers: Ges. Abh., S. 45 bis 46, 81 bis 84, 202 bis 205, 259, 262, 269; ebenso: Über den Schmerz, Berlin 1894, S. 31. — ⁵⁾ Leipz. Abh. 1896, S. 217; siehe auch Leipz. Mitteil. 1894, S. 192 und 286.

verschwindet der juckende und kitzelnde Charakter bei vermehrter Reizung? Ohne eingehende Untersuchungen können diese und andere hierher gehörige Fragen nicht beantwortet werden¹⁾.

Gegen die oben entwickelte Auffassung der kitzelnden und juckenden Empfindungen hat Alrutz²⁾ sich ausgesprochen. Nachdem er gefunden hatte, daß es alle Übergänge zwischen den kitzelnden und juckenden Empfindungen gibt, und daß reine kitzelnde Empfindungen von den Feldern zwischen den Druckpunkten ausgelöst werden, schließt er, daß die Drucknerven die Kitzelempfindungen nicht vermitteln. Er nimmt an, daß es besondere Nerven gibt, welche die juckenden und kitzelnden Empfindungen auslösen und welche weder mit den Druck- noch mit den Schmerznerve identisch sind. Gegen die Beweiskraft der Gründe, welche für die Auffassung als Übergangsempfindungen angeführt werden, ist schon oben hervorgehoben worden, daß es sich vielleicht nur um Mischempfindungen handelt, welche durch gleichzeitige Reizung der Druck- und Schmerznerve entstanden zu denken sind. Übrigens wäre es möglich, daß es an verschiedenen Schleimhäuten, an der Cornea undifferenzierte Druck-Schmerznerve gibt, welche auch juckend-kitzelnde Empfindungen auslösen. Die Beobachtung, daß die Zwischenfelder der Druckpunkte kitzelnde Empfindungen auszulösen vermögen, ist nur beiläufig mitgeteilt. Wenn sie bestätigt wird, ist sie jedoch von größtem prinzipiellen Gewicht für die hier erörterten Fragen.

IX. Zusammengesetzte Hautempfindungen und ihre Analyse.

Die verschiedenen Arten von elementaren Hautempfindungen werden häufig zur selben Zeit von einer und derselben Hautstelle ausgelöst, und es entstehen nunmehr Mischempfindungen.

Daß bei intensiveren Kältereizen die Kälteempfindung sich mit einer Schmerzempfindung vermischt, ist ja allbekannt, und in derselben Weise entsteht bei intensiver Wärme- resp. Druckreizung der Wärme- resp. Druckschmerz. Wenn man z. B. einen schmerzhaften Druck mit einem mäßig kalten resp. einem mäßig warmen Gegenstand ausübt, setzt sich die entstehende Empfindung aus drei Einzelempfindungen zusammen (Wärme-, Druck-, Schmerzempfindungen, — Kälte-, Druck-, Schmerzempfindungen), was ja keiner Erklärung bedarf.

Bemerkenswert ist, daß häufig an derselben Hautstelle die Wärme- und die Kältenerven zur selben Zeit gereizt werden können. Man erreicht dies durch Anwendung von Wärmereizen solcher Intensität, daß sie auch die Kältenerven paradox erregen. Die dabei entstehende Empfindung hat besonders Alrutz³⁾ untersucht. Sie hat nach ihm einen spezifischen Charakter und wird von ihm „Hitzeempfindung“ genannt. Gemäß ihrer Entstehungsweise kann diese Hitzeempfindung nur von Hautstellen ausgelöst werden, welche sowohl Kälte- wie Wärmeempfindlichkeit besitzen: ein Reizmittel von einer Temperatur, durch welche an gewöhnlichen Hautstellen Hitzeempfindung ausgelöst wird, erzeugt an einer Hautstelle, welche nur Kälteendorgane hat,

¹⁾ Siehe Thunberg, Skand. Arch. f. Physiol. 12, 440, 1901. — ²⁾ Undersökningar öfver smärtsinnet, Upsala 1901, p. 89. — ³⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 10, 340, 1900.

nur eine paradoxe Kälteempfindung, an einer Hautstelle, welche ausschließlich Wärmeendorgane besitzt, nur eine gewöhnliche Wärmeempfindung.

Alrutz ist weiter der Ansicht, daß die Hitzeempfindung eine ganz eigenartige Temperaturempfindung ist, welche für die Psyche ganz einfach ist und introspektiv nicht in Komponenten zerlegt werden kann. Gegen diese scharfe Abgrenzung der fraglichen Empfindung sind vom Verfasser¹⁾ Einwendungen erhoben worden. Bei gleichzeitiger und an derselben Stelle lokalisierter Reizung der Kälte- und Wärmenerven dürfte nämlich die überwiegende Sensation immer als solche apperzipiert werden, und dasselbe beobachtet man auch nach einiger Übung bezüglich der schwächeren, wenn sie nur nicht so minimal ist, daß sie überhaupt keinen Einfluß ausübt oder der Empfindung nur eine unbedeutend andere Färbung gibt. Nach dieser Auffassung wird also bei allmählich wachsender Wärmereizung die reine Wärmeempfindung, wenn die Kältenerven schwach gereizt werden, zunächst etwas anders gefärbt, doch so, daß die Wärmeempfindung ganz deutlich dominiert; bei noch intensiverer Reizung ist es allmählich möglich, auch die jetzt hervortretende paradoxe Kälteempfindung wahrzunehmen, was aber nicht hindert, daß die Mischempfindung die ihr eigentümliche Färbung zeigt²⁾.

Zusammengesetzte Empfindungen, in welchen auch Hautempfindungen enthalten sind, sind die Empfindungen von Glätte und Rauhigkeit. Eine Erörterung der Bedingungen für die Entstehung dieser Empfindungen zeigt, welches die eingehenden Komponenten sind.

Durch die einfache Berührung eines Gegenstandes mit einer wenn auch noch so empfindlichen Hautstelle, z. B. einer Fingerspitze, erhält man keine Vorstellung von dem Grade von Glätte oder Rauhigkeit, der die Oberfläche des Gegenstandes auszeichnet. Nimmt man eine Reihe von Gegenständen, deren Oberflächenbeschaffenheit beträchtlich differiert, z. B. Sandpapier, verschiedene Zeuge, Papier von verschiedener Rauhigkeit, Metallblech usw., so findet man, wenn man damit nur die Haut berührt oder mit der Haut sie berührt, daß man auf diese Weise nur sehr grobe Differenzen beobachten kann. Erst wenn man, während z. B. die Fingerspitze die Oberfläche berührt, den Finger über die Fläche verschiebt, oder wenn man, bei Ruhelage der Fingerspitze, den berührenden Gegenstand verschiebt, hat man die günstigen Bedingungen für eine wirkliche Auffassung des Charakters der Oberfläche. Die Sensation setzt sich also aus einer gleichförmigen Berührungsempfindung und einer Empfindung der mit Leichtigkeit gleichzeitig vor sich gehenden Verschiebung der Tastfläche gegenüber einem Gegenstande zusammen, also teils aus einer Hautempfindung, teils aus einer Empfindung aus dem Gebiete des Muskelsinnes. Je gleichförmiger die Berührungsempfindung ist und je leichter die Verschiebung der Tastfläche vor sich geht, um so höher schätzen wir die Glätte des Gegenstandes; je weniger diese Bedingungen erfüllt sind, um so rauer erscheint uns die Oberfläche.

Diese Auffassung wird durch die Analyse einer eigentümlichen Täuschung von Glätte bestätigt³⁾. Wenn man nämlich bei vorgestreckten Armen die beiden Hände an beide Seiten eines vertikalen Metalldrahtnetzes so hält, daß

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. **11**, 415, 1901. — ²⁾ Siehe auch die Bemerkungen Kiesows, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **26**, 231, 1901. — ³⁾ Thunberg, Upsala Läkaref. förh. **8**, 660, 1902/03.

die Volarseite der Hände und Finger durch die Netzmaschen einander berühren, und wenn man dann die Hände zurückzieht, so daß sie also über das Drahtnetz hingleiten, unter Beibehaltung der gegenseitigen Lage, so hat man ein eigentümliches, beinahe öliges Gefühl von starker Glätte. Bei dieser Illusion von Glätte werden diese konstituierenden Empfindungen ausgelöst, obgleich kein glatter Gegenstand da ist. Die kontinuierliche, gleichförmige Berührungsempfindung entsteht dadurch, daß der größere Teil der Hände und der Finger — die Stellen, die von den Metalldrähten nicht geschieden werden — gleichförmig einander berühren, und das Gefühl der Verschiebung tritt auf, wenn die Metalldrähte der Haut entlang gleiten. Von einander nahe liegenden Hautstellen ausgelöst, schmelzen diese Empfindungen zusammen zu einer Empfindung von Glätte.

Die Empfindungen von Nässe und Trockenheit sind nicht elementare Empfindungen, sondern Schlüsse, welche in verschiedener Weise aufgebaut werden können, wobei auch Muskel- und Gesichtsempfindungen in wechselnder Weise mitspielen können. Eine Kälteempfindung, welche von einer Berührungsempfindung nicht begleitet ist, wird häufig als von einer Flüssigkeit verursacht aufgefaßt, was daraus erklärt werden kann, daß beim Niedertreten eines Körperteiles in eine Flüssigkeit der Drucksinn fast gar nicht erregt wird, daß also die entstehenden Temperaturempfindungen ungemischt sind. Im Zusammenhang damit steht eine eigentümliche Illusion von Nässe, welche entsteht, wenn man die Stirn mit einem sehr kalten Gegenstande z. B. 20 Sek. berührt. Nach dessen Fortnahme dauert die Kälteempfindung noch einige Zeit fort und zugleich hat man den Eindruck, daß die Stirnhaut deutlich naß sei.

X. Die Apperzeptionszeiten der Hautempfindungen.

Die Hautempfindungen verschiedener Qualität werden unter sonst vergleichbaren Umständen ungleich schnell perzipiert, wie durch Reaktionszeitversuche festgestellt ist. Für dieselben Körperregionen sind erstens die Temperaturreaktionszeiten länger als die Druckreaktionszeiten — und zweitens die Wärmereaktionszeiten länger als die Kältereaktionszeiten (Herzen, Stern, Ewald und Rosenbach¹⁾ und besonders Tanzi²⁾, Goldscheider³⁾, v. Vintschgau und Steinach⁴⁾).

Zum Vergleich zwischen Kälte- und Wärmereaktionszeiten mag folgende Tabelle I (s. f. S.), welche die Reaktionszeit in Sekunden angibt, mitgeteilt werden. Die Reaktionszeiten der Temperaturempfindungen sind im übrigen sehr wechselnd und erfahren im allgemeinen durch Schwäche des Reizes, Dicke der Epidermis, mehr oder weniger schlecht entwickelten Temperatursinn eine wesentliche Verlängerung.

Folgende Tabelle II zeigt nach v. Vintschgau und Steinach das Verhältnis der Reaktionszeiten einerseits für Druckempfindungen, andererseits für Wärme- und Kälteempfindungen.

¹⁾ Genaueres über ihre Versuche siehe bei Dessoir: Über den Hautsinn, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1892, S. 316. — ²⁾ Tanzi, *Sulle sensazioni del freddo e del caldo*, Milano-Torino 1886, zitiert nach Schäfers Textbook, 1900. — ³⁾ Ges. Abh. 1, 312. — ⁴⁾ Pfügers Arch. 43, 152, 1888.

Tabelle I.

Körperregion	Goldscheider		v. Vintschgau		Steinach	
	Wärme 49 bis 50°	Kälte 14 bis 15°	Wärme 48 bis 49°	Kälte 2 bis 6°	Wärme 48 bis 49°	Kälte 2 bis 6°
Gesicht	0,190	0,135	—	—	—	—
Rechte Seite des Ge- sichts	—	—	0,160	0,152	0,124	0,115
Linke Seite des Ge- sichts	—	—	0,170	0,161	0,142	0,120
Obere Extremität .	0,270	0,150	—	—	—	—
Carpalgegend . . .	—	—	0,205	0,186	0,173	0,152

Tabelle II.

Körpergegend	Wärme 48 bis 49°	Druck	Unterschied	Kälte	Druck	Unterschied
Rechte Schläfe	0,166	0,119	0,047	0,160	0,119	0,041
Linke Schläfe .	0,154	0,119	0,035	0,143	0,19	0,024
Antithenar . .	0,208	0,126	0,082	0,206	0,126	0,080

Die Bedeutung der Reizweise zeigt sich deutlich in den Untersuchungen Tanzis. Während in den bisher erwähnten Versuchen der Temperatureiz durch Berührung mit einem festen Gegenstande von bestimmter Temperatur angebracht wurde, verwendete er als Temperatureizmittel eine Flamme resp. Äther, oder er berührte die Haut mit warmen resp. kalten Metallscheiben. Als Mittelwert von vier verschiedenen Versuchspersonen und 30 Reaktionsversuchen für jede von diesen erhielt er bei der ersten Versuchsanordnung Kälte (beinahe schmerzhaft) 0,227 Sek., Wärme (beinahe schmerzhaft) 0,507 Sek., Wärme (schwach) 1,160 Sek. Bei der letzteren Versuchsanordnung waren die Mittelwerte von vier Versuchsindividuen aus je 50 Versuchen: Kälte 0,137, Wärme 0,162, einfache Berührung 0,129. Die Zeiten sind also, was die Temperaturempfindungen betrifft, viel kürzer als im vorigen Falle.

Daß die Temperaturempfindungen eine längere Reaktionszeit als die Druckempfindungen haben, muß wenigstens zum Teil durch die Zeit bedingt sein, welche vergeht, ehe der Temperatureiz durch Leitung zu den Schichten der temperaturempfindlichen Organe gedungen ist. In Übereinstimmung mit dieser Deutung steht auch die Tatsache, daß der Unterschied größer an Hautstellen ist, deren Epidermis sehr dick ist. Die durchgehend längere Reaktionszeit der Wärmeempfindungen ist durch die wahrscheinlich tiefere Lage der Wärmeendorgane bedingt.

Die bisherigen Angaben der Apperzeptionszeiten der Temperaturempfindungen beziehen sich auf die Verhältnisse der Kälteendorgane bei Kältereizung und der Wärmeendorgane bei Wärmereizung. Da man indessen durch dasselbe Wärmereizmittel sowohl die Wärmernerven wie die Kälternerven (paradox)

reizen kann, entsteht auch die Frage nach dem gegenseitigen Verhältnis im Auftreten der so entstandenen Temperaturempfindungen. Es hat sich gezeigt, daß hier kein konstantes Verhältnis besteht. Je nach dem Wärmebestand der Haut und der Beschaffenheit des verwendeten Reizes erfordert die Apperzeption der paradoxen Kälteempfindung kürzere oder längere oder dieselbe Zeit wie die durch denselben Reiz ausgelöste Wärmeempfindung. Es hängt das zweifellos von der entgegengesetzten Wirkungsweise der beiden konkurrierenden Faktoren ab. Für eine kürzere Apperzeptionszeit der Kälteempfindungen wirkt die oberflächlichere Lage der Kälteendorgan begünstigend, dieser Vorteil wird aber durch ihre höhere Schwelle zum Teil kompensiert¹⁾.

Die Reaktionszeiten der Schmerzempfindungen zeigen große Verschiedenheiten. Häufig sind sie sehr groß, größer als überhaupt die Reaktionszeit irgend einer anderen Empfindung. In manchen Versuchen kann dies dadurch bedingt sein, daß der Reiz sehr langsam anschwillt, so daß eine nicht unwesentliche Zeit vergeht, bis der Schwellenwert für Hervortreten einer Schmerzempfindung erreicht ist. Aber auch wenn der Reiz momentan diesen Schwellenwert erreicht, ist die Apperzeptionszeit sehr groß, wie schon lange bekannt ist. Stößt man z. B. beim Gehen mit einer empfindlichen Zehe gegen einen Stein, so tritt der Schmerz regelmäßig merklich später ein als die Tastempfindung²⁾. Übt man mit einer Nadel einen momentanen Druck gegen die Haut aus, so hat man bei gewisser Stärke des Reizes außer der ersten sofort eintretenden Druckempfindung nach einem empfindungslosen Intervall eine Stechschmerzempfindung (Goldscheider³⁾). In dem ersten Falle handelt es sich sicher um den dumpfen Schmerz, im letzten um den stechenden. Beide zeigen also trotz momentanen Auftretens eines maximalen Reizes eine ganz deutlich längere Apperzeptionszeit als die Druckempfindung. Die Reaktionszeit der stechenden Empfindungen beträgt bei schwachen, aber momentan vorhandenen mechanischen und thermischen Reizen ungefähr 1,3 Sekunden⁴⁾. Wenn man die Stärke des Reizes erhöht, wird bei Anwendung momentan auftretender thermischer und mechanischer Reize die Reaktionszeit der Stechempfindung bei einer bestimmten Größe des Reizes plötzlich sprunghaft erniedrigt. Von der ursprünglichen Zeitdauer von etwas mehr als 1 Sekunde sinkt sie plötzlich auf ungefähr nur $\frac{40}{100}$ Sekunden oder noch weniger, aber auch die Stechempfindung mit der längeren Apperzeptionszeit bleibt bestehen. Man bekommt also bei einer einzelnen momentanen Hautreizung zwei stechende Empfindungen.

Dies Phänomen der zwei zeitlich getrennten Schmerzempfindungen bei einer einzigen Reizung ist von Goldscheider und Gad⁵⁾ mit dem Phänomen einer ersten Druckempfindung und einer nachfolgenden Schmerzempfindung, das bei etwas schwächerer Reizung häufig entsteht, in Zusammenhang gebracht. Sie nennen die spätere dieser Empfindungen die sekundäre und denken sich ihre Entstehung in folgender Weise auf einer Summierung beruhend. Die Berührungs- und Schmerzempfindungen werden ihrer Ansicht nach durch

¹⁾ Siehe Thunberg, Skand. Arch. f. Physiol. **11**, 419, 1901. — ²⁾ Funcke, Hermanns Hdb. **3**, 2. Abteil., 300. — ³⁾ Ges. Abh. S. 44. — ⁴⁾ Siehe Thunberg, Skand. Arch. f. Physiol. **12**, 394, 1901. — ⁵⁾ Ges. Abh. **1**, 397.

dieselben Nerven der Haut vermittelt. Diese Nerven teilen sich im Rückenmark in zwei Bahnen, deren eine direkt zu dem Zentrum für die Druckempfindungen geht. Eine Reizung der Haut bewirkt also auf diesem Wege eine Berührungsempfindung. Zum Teil wird aber der Reiz auch auf der zweiten Bahn im Rückenmark nach dessen grauer Substanz fortgeleitet und trifft dort auf Zellen, die vorderhand nur in einen veränderten Reizbarkeitszustand versetzt werden. Erst wenn mehrere Reize nacheinander auf diese Weise die Zelle erreicht haben — schon ein einziger mechanischer Hautreiz ruft mehrere solche zentripetalen Nervenregungen hervor — wird die angehäuften Energie in Arbeit umgesetzt, und die Zelle sendet nun selbst einen Reiz aus, der auf seinem besonderen Wege das Gehirn erreicht und dort eine Schmerzempfindung hervorruft. Weil also eine Summierung von Reizen in dieser Bahn stattfindet, nannten sie dieselbe die Summierungsbahn.

Diese Deutung erklärte nur das Phänomen, daß einer primären Berührungsempfindung nach einem empfindungslosen Intervall eine Schmerzempfindung folgt. Durch die Annahme, daß ein einziger Reiz von genügender Stärke imstande ist, durch die Summierungsbahn durchzubrechen, erklären sie die Tatsache, daß schon die primäre Sensation eine Schmerzempfindung sein kann. Nachdem die Existenz besonderer Schmerznerve durch die Entdeckung der Schmerzpunkte sehr wahrscheinlich gemacht ist, wird die Deutung dieses Phänomens anders.

Das Phänomen einer ersten Berührungsempfindung, von einer spät kommenden Schmerzempfindung begleitet, kann nicht dieselbe Erklärung wie das Phänomen zweier nacheinander folgender Schmerzempfindungen haben. Daß ein momentaner Nadelstich erst eine Druckempfindung, dann eine Schmerzempfindung gibt, wird durch die größere Trägheit des Schmerzorgans verursacht, wie v. Frey durch eine Analyse der Resultate zeigte, die man bei Reizung der verschiedenen Sinnespunkte erhält. Nur wenn ein Druck- und ein Schmerzpunkt nahe aneinander liegen, treten die beiden Empfindungen auf. An frei liegenden Druckpunkten bekommt man nur die zuerst kommende Druckempfindung, die Stechempfindung aber bleibt aus¹⁾. An frei liegenden Schmerzpunkten beobachtet man dagegen nur das Phänomen, daß bei stärkerer momentaner Reizung zwei nacheinander kommende Stechempfindungen entstehen, und dies kann in der Weise erklärt werden, daß eine gleichzeitige Reizung der Nerven und der Nervenenden stattfindet. Die erste leitet die Erregung augenblicklich zentralwärts, die letztere erst nach ihrer bestimmten Latenzzeit (Thunberg²⁾).

XI. Die Lokalisation der Hautempfindungen³⁾.

Lokalzeichen. Orts- oder Raumsinn. Um eine Hautempfindung, ebenso wie die meisten anderen Empfindungen, eindeutig zu charakterisieren, muß man ihre Qualität, ihre Intensität, ihre Lokalisation und ihre Lage in der Zeit angeben. Man kann dies auch so ausdrücken, daß die fraglichen Empfindungen nicht nur Qualität und Intensität als feste Eigenschaften oder

¹⁾ Leipziger Abh. 1896, S. 243. — ²⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 12, 432, 1901. —

³⁾ Eine eingehende kritische Literaturzusammenstellung mit eigenen Untersuchungen liefert V. Henri, Über die Raumwahrnehmungen des Tastsinnes, Berlin 1898.

Attribute haben, sondern auch ein Etwas, was ihre Lage im Raum, ebenso wie ein anderes Etwas, was ihre Lage in der Zeit bestimmt. Was einer Hautempfindung ihren bestimmten Ort in dem räumlichen Vorstellungsbild unserer Körperoberfläche gibt, nennt man häufig nach Lotze¹⁾ ihr Lokalzeichen. Unsere Fähigkeit, die Hautempfindungen zu lokalisieren, bezeichnet man kurz als den Ortssinn oder Raumsinn der Haut. Da jedoch der Ausdruck Orts- oder Raumsinn irreleiten kann, wird er im folgenden nicht angewendet. Es wird also nicht von einem feineren oder gröberen Orts- oder Raumsinn die Rede sein, sondern von einer feineren oder gröberen Lokalisation der Empfindungen oder von einem mehr oder weniger ausgebildeten Vermögen, die Empfindungen zu lokalisieren.

Das Wort „Sinn“ scheint sowohl in der Sprache des taglichen Lebens wie in der Fachsprache einer schärferen Präzision zu entbehren. Von den verschiedenen Bedeutungen, die ihm zukommen, hat man wohl im allgemeinen in der Sinnesphysiologie beim Gebrauch des Begriffes „Sinn“ den Zweck maßgebend sein lassen, die Empfindungen dadurch zu klassifizieren, so daß jede einfache Empfindung ihren Platz innerhalb eines gewissen Sinnes, und nur innerhalb dieses hat.

Wenn man die physiologische Bedeutung dieses Ausdruckes durch diese Definition festlegt, hat der Ausdruck Ortssinn keine Existenzberechtigung, denn es bleiben überhaupt keine Empfindungen übrig, welche ausschließlich als Funktionen eines „Ortssinnes“ gelten könnten. Es gibt ja keine Empfindungen, die nur Ortsempfindungen sind. Bei dem Ausdruck Ortssinn ist eine den meisten Empfindungen zukommende Eigenschaft — die Lokalisation — herausgegriffen und als Anlaß zur Konstruktion eines besonderen Sinnes benutzt worden. Das für die anderen Sinne maßgebende Prinzip der Einteilung und Definition ist also verlassen, und es werden nicht direkt vergleichbare Begriffe (wie Drucksinn und Ortssinn) einander gleich geordnet.

Die noch vielfach gangbare Annahme, es existiere ein besonderer Ortssinn der Haut, rührt von Weber²⁾ her, der den Tastsinn nach drei Gesichtspunkten auflöste und Temperatursinn, Drucksinn und Ortssinn unterschied. Auch Lotze scheint eine der Weberschen ähnliche Vorstellung gehabt zu haben. Für Lotze war nämlich das Lokalzeichen eine zweite Empfindung, die zur selben Zeit als die Haut- bzw. Gesichtsempfindungen entstand, also nicht einfach ein bloßes Moment dieser Empfindungen bildete, welches seiner Natur nach aufs innigste und integrierend mit der Qualität der Empfindung verknüpft sein mußte, wie besonders Stumpf³⁾ hervorgehoben hat. Doch scheint Lotze seine ursprüngliche Fassung des Lokalzeichens später etwas verändert zu haben.

Für die Erklärung unseres Vermögens, eine Hautempfindung an den Ort des Reizes zu lokalisieren, muß man annehmen, daß bei Erregung der Elemente der zugehörigen nervösen Zentren im Gehirn irgend welche Faktoren mitspielen, welche den psychischen Effekt der Erregung des einen Elementes von dem Effekt der Erregung eines anderen verschieden machen. Jedes

¹⁾ Medizinische Psychologie, Leipzig 1852, S. 331. — ²⁾ Wagners Handwb. 3, 2. Abteil., 511. — ³⁾ Siehe Stumpf, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 4, 70, 1893.

Element hat also sein eigenes Individual- oder Spezialzeichen, das für die Lokalisation der Hautempfindungen innerhalb des räumlichen Vorstellungsbildes unserer Körperoberfläche verwendet wird. Dies Individualzeichen der Elemente in den empfindenden Zentren muß nach dem Gesetz der exzentrischen Projektion durch das Bewußtsein als eine Eigenschaft der Nervenenden gelten, und demgemäß spricht man von dem Lokalzeichen der Nervenenden. Da der Ausdruck Lokalzeichen etwas zu viel zu sagen scheint, hat v. Frey ¹⁾ die Bezeichnung Merkzeichen vorgeschlagen: denn man ist zwar imstande, zwei von benachbarten Nervenenden ausgelöste sonst identische Druckempfindungen zu unterscheiden, kann aber dabei ihre gegenseitige Lokalisation nicht wahrnehmen. Es mag indessen hervorgehoben werden, daß dabei der Unterschied immer doch als ein Ortsunterschied wahrgenommen wird.

Die Untersuchungen der Feinheit unseres Lokalisationsvermögens sind im allgemeinen in der Weise angestellt worden, daß man Schwellenwerte der Lokalisationsfähigkeit bestimmt hat. Man hat dabei gefunden, daß die Schwellenwerte bei verschiedenen Untersuchungsmethoden sehr verschieden ausfallen, und daß man derer mehrere unterscheiden muß. Man kann sie in zwei Gruppen verteilen.

I. Simultanschwellen. Wenn man eine Hautstelle mit zwei Spitzen von veränderlicher Distanz zu derselben Zeit berührt, bekommt man entweder den Eindruck einer einzigen berührenden Spitze oder den eines Gegenstandes von erkennbarer Größe, dessen Richtung man auch vielleicht erkennen kann, oder endlich von zwei Spitzen. Bestimmt man die kleinsten Spitzendistanzen, bei denen jeder dieser verschiedenen Eindrücke sich einstellt, so erhält man, der Benennung Fechners ²⁾ folgend, teils die Schwelle der erkennbaren Größe mit oder ohne Richtungserkennung (im ersten Falle = simultane Richtungsschwelle v. Freys), teils die Schwelle der erkennbaren Distanz oder Duplizität (= simultane Duplizitätsschwelle, scheint immer mit Richtungserkennung verbunden zu sein).

II. Successivschwellen. Wenn man zuerst einen Punkt der Haut berührt, nachher entweder denselben oder einen anderen, so findet man, daß eine gewisse Distanz zwischen den zwei Punkten liegen muß, wenn die Versuchsperson unterscheiden soll, ob ein anderer oder der gleiche Punkt bei der zweiten Reizung getroffen ist. Diese kleinste Distanz gibt die Successivschwelle für die einfache Unterscheidung von Orten auf der Haut (= Successivschwelle v. Freys). Wenn die Versuchsperson die gegenseitige Richtung der zwei Punkte eben bemerken kann, spricht man von der Successivschwelle mit Richtungserkennung.

Die Untersuchungsmethoden. I. Die Bestimmungen der Simultanschwellen sind nur in der Weise ausgeführt worden, daß man die Haut mit zwei Spitzen von wechselnder Distanz berührte, worauf die Versuchsperson den Eindruck zu beschreiben hatte: sie hatte anzugeben, ob eine oder zwei Spitzen, ob Größe oder Richtung erkennbar waren oder nicht? (Methode an-

¹⁾ Würzburg. Ber. 1902, S. 57. — ²⁾ Elemente der Psychophys. 1, 245, 1860.

gegeben von Weber¹⁾. Die Bestimmung der Successivschwelle ist in zwei verschiedenen Weisen ausgeführt worden. II. Entweder berührt man eine Hautstelle mit einer Spitze und läßt nachher die Versuchsperson, die die Berührung fühlte, aber nicht sah, die berührte Stelle mit einer Spitze anzeigen (Weber²⁾. III. Oder auch man macht nach einer ersten Berührung eine neue, die entweder denselben oder einen anderen Punkt trifft. Die Versuchsperson hat nur anzugeben, ob der erstberührte Punkt bei der zweiten Berührung getroffen wird oder nicht oder wo die zweite Berührung erfolgte (Czermak³⁾, Goltz⁴⁾, Judd⁵⁾.

Wie die Analyse zeigt, sind diese Methoden einander recht ungleich. In der Methode II, wie sie im allgemeinen ausgeführt wird, wird man bei der Lokalisation von dem Erinnerungsbilde einer Berührung geleitet. Die Versuchsperson soll jetzt mit Hilfe ihres Gesichtssinnes und ihres Muskelsinnes mit einer Spitze einen Punkt treffen und setzt auch die Spitze auf einen Punkt nieder. Es ist dabei möglich, daß sie nach diesem Niedersetzen der Spitze bemerkt, daß die jetzt entstehende Berührungsempfindung mit der vorigen nicht identisch war. Man kann sie dann entweder den Versuch fortsetzen lassen, bis sie glaubt, den richtigen Punkt sicher getroffen zu haben, oder man kann auch bei dem zuerst erhaltenen Werte bleiben. Im ersten Falle ist der erhaltene Wert mehr ein Ausdruck des Vermögens, eine Berührungsempfindung im Vorstellungsbild unserer Körperoberfläche zu lokalisieren, im zweiten Falle bezeichnet er die Fähigkeit, einen Punkt durch die Berührungsempfindungen zu identifizieren; indessen tritt weder die eine noch die andere Funktion in dieser Methode ganz rein heraus. In beiden Fällen ist der Betreffende ja durch das Erinnerungsbild geleitet, nicht durch einen dauernden Eindruck, und wenn es der Versuchsperson erlaubt ist, den Versuch zu wiederholen, nachdem sie die Nichtidentität des zu treffenden und des getroffenen Punktes bemerkt hat, so ist bereits eine neue Empfindung von dem unrichtig getroffenen Punkte ausgelöst worden und kann den Versuch erschweren. Diese Umstände machen die Resultate der Methode nicht ganz rein. Schlechte Resultate brauchen nicht in einem wenig ausgebildeten Lokalisationsvermögen ihre Wurzel zu haben, sondern können durch schnelles Verschwinden der Erinnerungsbilder verursacht werden oder durch Schwierigkeiten, die nötigen Bewegungen in der Eile sicher auszuführen.

In der Methode III ist es zwar ein Erinnerungsbild, das die Versuchsperson leitet; indessen kann die zweite Berührung, deren Identität oder Nichtidentität mit der ersten herausgefunden werden soll, so schnell wie überhaupt wünschenswert nach der ersten gemacht werden; es liegt hier also keine Gefahr vor, daß das Erinnerungsbild verbleichen könnte. Die Versuchsperson hat übrigens nur ihren Eindruck mitzuteilen und braucht keine abgepaßte Bewegung zu machen, so daß das Versuchsergebnis durch diese Komplikation nicht getrübt werden kann. Das letzte gilt auch für Methode I, bei der es auch nur auf den Eindruck der Versuchsperson ankommt und keine

¹⁾ *Annotationes anatomicae et physiologicae* 1834 (1829), p. 44; s. *Wagners Handwb. d. Physiol.* 3, 2. Abteil., 524 f. — ²⁾ *Sitzungsber. d. sächs. Ges. d. Wissensch.* 1852, S. 87. — ³⁾ *Sitzungsber. d. Wien. Akad.* 17, 588, 1855. — ⁴⁾ *De spatii sensu cutis*, *Inaug.-Diss.*, Leipzig 1858. — ⁵⁾ *Wundts philos. Studien* 12, 409, 1896.

Fehlerquellen durch das Verwischen des Erinnerungsbildes eingeführt werden können.

Endlich mag hervorgehoben werden, daß durch die Methoden I und III nur das relative Lokalisationsvermögen geprüft wird, also das Vermögen, zwei Berührungsempfindungen miteinander zu vergleichen und im Verhältnis zueinander zu lokalisieren. Aber wenn auch zwei Empfindungen in dieser Weise richtig lokalisiert werden, kann doch noch ein gemeinsamer systematischer Fehler das Resultat trüben, ähnlich wie es z. B. der Fall ist, wenn zwei durch ein Prisma gesehene Punkte zwar richtig im Verhältnis zueinander gesehen werden, aber doch an unrichtigem Ort lokalisiert werden. Die Methode II gibt dagegen das absolute Lokalisationsvermögen, wenn man nur den ersten Versuch, den Punkt zu treffen, berücksichtigt. Als eine Modifikation dieser letzteren Methode kann diejenige von Henri¹⁾ und Pillsbury²⁾ angesehen werden. Nach dieser Methode hat die Versuchsperson die Aufgabe, den berührten Punkt nicht auf dem betreffenden Körperteil, sondern auf einer Photographie oder einem Gipsmodell desselben zu zeigen.

Ein Apparat, der erlaubt, die Haut mit zwei Spitzen gleichzeitig zu berühren, wird Ästhesiometer genannt. Am einfachsten ist es, einen gewöhnlichen Zirkel oder einen Stangenzirkel anzuwenden, dessen Spitzen abgestumpft sind und aus einer schlecht wärmeleitenden Substanz verfertigt sind (um Temperaturempfindungen auszuschließen). Zweckmäßig ist es auch (nach Vierordt³⁾), einen Satz Brettchen anzuwenden, auf denen je zwei Nadeln so befestigt sind, daß ihre (mäßig stumpfen) Spitzen einen unabänderlichen Abstand haben. Man hat etwa 30 solcher Nadelpaare nötig von etwa 0,3 bis zu 80 mm Spitzenabstand. Für besondere Zwecke sind kompliziertere Apparate angegeben (Griesbach⁴⁾, Binet⁵⁾, Bolton⁶⁾, v. Frey⁷⁾. Bolton verwandte in seinem Ästhesiometer zwei kleine Metallstäbchen mit Elfenbeinspitzen, die beim Aufsetzen frei in Löchern der Zirkelarmlen spielten, so daß sie nur mit ihrem Eigengewicht, im ganzen 5 gm, auf die Haut drückten. Hierdurch wurde ein immer gleichartiger Druck erreicht. v. Frey hat eine Einrichtung zur simultanen Reizgebung beschrieben, welche besonders für Reizung der Druckpunkte geeignet ist. Für die Methode III hat Judd⁸⁾ einen zweckmäßigen Apparat angegeben.

Was die Resultate betrifft, zu denen man bei diesen Untersuchungen gekommen ist, so mag von vornherein die wichtige Tatsache hervorgehoben werden, daß ein sehr großer Unterschied einerseits zwischen den Simultanschwellen, insbesondere der Schwelle der erkennbaren Duplizität, anderseits der Successivschwellen, besonders der Successivschwelle für die einfache Unterscheidung von Orten auf der Haut besteht. Während diese letztere Schwelle von der Distanz zweier Druckpunkte repräsentiert wird (v. Frey, 1898), ist die Schwelle der erkennbaren Duplizität mehrmals — bis hundertmal — größer und kann auf gewissen Körperteilen 50 mm und mehr betragen (Weber, 1829). Bezüglich der anderen hier nicht besonders

¹⁾ Arch. de Physiol. 1893, p. 619 ff. — ²⁾ Amer. Journ. of Psych. 7, 1. Abteil., 42 ff. — ³⁾ Siehe Kottenkamp u. Ullrich, Zeitschr. f. Biol. 6, 38, 1870. —

⁴⁾ Pflügers Arch. 68, 65. — ⁵⁾ Année psychol. 7, 231, 1901. — ⁶⁾ Kraepelins psychol. Arb. 4, 147. — ⁷⁾ Siehe Brückner, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 26, 33, 1901. — ⁸⁾ Wundts philos. Studien 12, 416, 1896.

berücksichtigten Simultan- und Successivschwelle finden sich ebenfalls ähnliche Unterschiede, indem die Simultanschwelle größer als die Successivschwelle zu sein scheint, doch ist der Unterschied nicht so ausgeprägt, ja die Werte können sogar zusammenfallen oder ein umgekehrtes Verhältnis zeigen; jedoch scheint es, daß die bezüglichen Arbeiten nach ihrer Anlage keine reinen Versuchsergebnisse zeitigen konnten.

Da die Fragestellung auf dem Gebiete unseres Lokalisationsvermögens noch immer ihr Gepräge von den Weberschen Untersuchungen her hat, dürfte es geeignet sein, mit diesem anzufangen.

1829 hat E. H. Weber¹⁾ seine bekannte Methode angegeben, um die Lokalisation der Berührungsempfindungen zu prüfen. Er beschreibt seine Methode mit folgenden Worten:

„Ich berührte bei verschiedenen Menschen, die ihre Augen verschlossen oder abwendeten, mit zwei kleinen gleichgestalteten Körpern gleichzeitig zwei Teile der Haut und fragte sie, ob sie fühlten, daß ein oder mehrere Körper sie berührten und in welcher Richtung die Linie liefe, durch die sie sich die berührten Teile der Haut verbunden denken könnten.“ Nach einer Beschreibung des von ihm angewendeten Zirkels, der abgeschliffene Spitzen hatte, um einen Tasteindruck, nicht eine Schmerzempfindung hervorzurufen, fährt er fort: „Indem ich nun den Zirkel anfangs mehr, dann aber immer weniger öffnete, gelangte ich zu derjenigen Entfernung der Enden der Schenkel desselben, wo die zwei Eindrücke anfangen als ein einziger Eindruck empfunden zu werden. Auch dann konnte der Beobachter noch bestimmen, ob die Linie, die die Enden des Zirkels verbindet, in der Längsrichtung seines Körpers und seiner Glieder oder in querer Richtung läge. Denn er empfand zwar nur einen Eindruck, aber der berührte Teil der Haut schien eine längliche Gestalt zu haben, und er konnte sagen, wohin der größere und der kleinere Durchmesser dieses länglichen berührten Teiles der Haut gerichtet wäre. Wurde nun aufgeschrieben, bei welcher Entfernung der Enden des Zirkels noch zwei Berührungen unterschieden wurden, oder wenigstens die Richtung der Schenkel des Zirkels noch bestimmt werden konnte . . . , und die Arbeit allmählich über die verschiedenen Teile der Haut fortgesetzt, so erhielt ich eine Übersicht über die Feinheit des Tastsinns, insofern er sich als Ortssinn äußert.“

Folgende Zusammenstellung enthält die von Weber ermittelten Werte. Die Werte unter *A* geben in Millimetern (abgerundet) die Entfernung der Zirkelspitzen an, die erforderlich ist, um zwei Berührungen zu fühlen, oder — was in den meisten späteren Reproduktionen der Weberschen Zahlen vergessen ist — um aussagen zu können, ob die Hautempfindung als von einer Spitze oder von einem länglichen Gegenstande herrührend bezeichnet wird. Im zweiten Falle ist angegeben worden, ob der Gegenstand die Haut in Längsrichtung oder Querrichtung usw. berührte. Die Tabelle enthält also miteinander vermischte Werte der simultanen Duplizitätsschwelle und der Schwelle der erkennbaren Größe mit Richtungserkennung.

<i>A</i>	<i>B</i>
1	Zungenspitze
2	Volarseite des letzten Fingergliedes
4,5	Roter Lippenrand, Volarseite des zweiten Fingergliedes

¹⁾ Panegyryn. med. indicentis d. 13. mens. Nov. 1829; zit. nach Wagners Handwb. 3, 2. Abteil., 524.

A	B
7	Dorsalseite des dritten Fingergliedes, Nasenspitze, Volarseite des Cap. oss. metacarpä
9	Mittellinie des Zungenrückens, Zungenrand, nicht roter Teil der Lippen, Metacarpus des Daumens
11	Plantarseite des letzten Zehengliedes, Rückenseite des zweiten Finger- gliedes, Backen, äußere Oberfläche des Augenlids
16	Haut über dem vorderen Teil des Jochbeins, Plantarseite des Mittel- fußknochens der großen Zehe, Dorsalseite des ersten Fingergliedes
23	Haut über dem hinteren Teil des Jochbeins, Stirn, hinterer Teil der Ferse
27	Behaarter unterer Teil des Hinterhaupts
31	Rücken der Hand
33	Hals unter der Kimmlade, Scheitel
41	Kreuzbein, Haut über den Glutaeen, Unterarm, Unterschenkel, Fußrücken
45	Brustbein
54	Nackenhaut, Rückenhaut über den fünf oberen Brustwirbeln und in der Lenden- und unteren Brustgegend
68	Rückenhaut an der Mitte des Halses und des Rückens, Mitte des Oberarmes und des Oberschenkels

Wie aus dieser Tabelle ersichtlich, zeigen verschiedene Regionen große Differenzen. Die niedrigsten Werte verhielten sich zu den höchsten etwa wie 1:70. Das beste Lokalisationsvermögen zeigte nach dieser Methode die Zungenspitze, nächst dem die Volarseite der letzten Fingerglieder; am wenigsten ausgebildet war das Lokalisationsvermögen an der Rückenhaut. An Armen und Beinen sind die kleinsten noch unterscheidbaren Entfernungen in der Querrichtung kürzer als in der Längenrichtung.

Weber hat auch das oben als Methode I bezeichnete Verfahren angewendet und teilt darüber folgende Werte mit¹⁾. Die Ziffern geben in Millimetern (abgerundet) die Fehler an, welche beim Versuch, einen vorher berührten Hautpunkt zu treffen, gemacht werden.

16	Mitte der vorderen Seite des Oberschenkels
8,5	Mitte der Volarseite des Vorderarmes
6,5	Mitte des Handrückens
4,3	Mitte der Hohlhand
1	Volarseite der Fingerspitzen
6,3	Auf der Stirn
5,4	Am Kinn
1	An den Lippen

Bei einer Vergleichung zwischen dieser Tabelle und der vorigen zeigt sich, daß die Werte bei successiver Reizung kleiner als bei simultaner Reizung sind. Die Bedeutung dieses Befundes scheint indessen Weber nicht bemerkt zu haben; vielmehr war es vor allem der große Simultanwert, der ihn beschäftigte und den er zu erklären versuchte. Für diese Erklärung hat er den

¹⁾ Verhandl. d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1852, S. 88.

Begriff „Empfindungskreis“ aufgestellt, der für seinen Urheber ursprünglich ein anatomischer Begriff war. Jeder Empfindungskreis soll dadurch ausgezeichnet sein, daß er durch einen elementaren Nervenfasern (eine markhaltige Nervenfasern) versorgt wird. Jede Nervenfasern tritt entweder durch Schlingelung oder durch Verästelung oder in beiderlei Form mit mehreren Punkten der Oberfläche ihres Empfindungskreises in Berührung. Jeder dieser Empfindungskreise soll einen besonderen Ortswert besitzen, aber eine Unterscheidung innerhalb seiner Fläche nicht mehr gestatten, in diesem letzten Umstände liegt die erklärende Bedeutung dieser Annahme von Empfindungskreisen.

Durch diese Annahme wird erklärt, daß zwei auf die Haut gesetzte Spitzen unter Umständen nur eine einzige Berührungsempfindung auslösen. Wenn die zwei Spitzen nur eine und dieselbe Nervenfasern reizen, können sie gar keinen anderen Effekt verursachen, als wie er durch eine einzige Spitze hervorgerufen wird. Und wenn die zwei Spitzen zwei Nervenfasern reizen, deren Endausbreitungen einander berühren, ist ja auch derselbe Effekt mit einer einzigen Spitze zu erreichen, und so ist der Eindruck einer einzigen Spitze anstatt zweier auch in diesem Versuch leicht erklärlich.

Wenn dagegen eine Empfindung einer einzigen Spitze entsteht, obgleich zwischen den zwei gereizten Empfindungskreisen ein dritter Kreis ungereizt bleibt, liegt zwar darin kein Beweis gegen die Annahme solcher Empfindungskreise, aber andererseits kann aus dieser Annahme die Empfindung nur einer berührenden Spitze nicht erklärt werden.

Diese Annahme anatomischer Empfindungskreise, also Hautgebiete, die nur durch eine einzige Nervenfasern innerviert werden, hat demnach eine sehr begrenzte theoretische Bedeutung und erklärt nicht jede Zusammenschmelzung der durch zwei Spitzen gesetzten Reize zu einer einheitlichen Empfindung. In der Tat fand man schon früh, daß häufig eine Empfindung nur einer einzigen Spitze entstand, obgleich zwischen den berührten Punkten mindestens ein, möglicherweise mehrere ungereizte Empfindungskreise angenommen werden mußten; mit anderen Worten, daß häufig viele zwischenliegende ungereizte Empfindungskreise nötig waren, damit zwei berührende Spitzen auch zwei getrennte Empfindungen erzeugten. Dafür konnte schon früh angeführt werden, daß der simultane Schwellenwert durch Übung sehr vermindert werden kann (Volkmann¹⁾) — was indessen durch spätere Untersuchungen (siehe unten) fraglich geworden ist — aber vor allem, daß der Schwellenwert bei successiver Reizung bedeutend niedriger als bei simultaner Reizung erhalten wurde. Diese Tatsache wurde auch schon durch von Weber mitgeteilte Beobachtungen sichergestellt, wenn auch Weber ihre Bedeutung nicht bemerkte; besonderes Gewicht legten erst Lotze, Goltz²⁾ und Czermak³⁾ auf diese Erscheinung, und der letztgenannte Forscher suchte die wirkliche Größe der anatomischen Empfindungskreise zielbewußt durch eine Bestimmung der Schwellenwerte bei Successivreizung zu bestimmen. Seine Untersuchungen können zwar nicht den Anspruch erheben, die wirkliche Größe der Empfindungskreise bestimmt zu haben, aber sie erlaubten doch, einen

¹⁾ Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1858. — ²⁾ De spatii sensu cutis. Inaug.-Diss., Leipzig 1858. — ³⁾ Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1855, S. 474; siehe auch Judd, Wundts philos. Studien 12 (1896), wo mehrere geschichtliche Notizen zu finden sind.

oberen Wert aufzustellen und diesen Wert mit der kleinsten wahrnehmbaren Spitzendistanz bei Simultanreizung zu vergleichen. Das Ergebnis war, daß diese letzterwähnte Distanz auf gewissen Hautstellen mindestens zwei oder dreifach größer als der obere Wert der Empfindungskreise sein muß.

Aus alle dem geht hervor, daß die Erklärung Webers, welche die isolierte periphere Endausbreitung jeder einzelnen Nervenfasers voraussetzt, die Erscheinung nicht erschöpfend zu begründen vermag, daß zwei Spitzen einfach empfunden werden. Dasselbe läßt sich auch von der Theorie Czermaks behaupten. Auch Czermak nahm an, daß jede Nervenfasers sich isoliert verzweigt, aber die Ausläufer der „elementaren Nervenfasern“ sollen sich nach ihm untereinander verschlingen, etwa wie die Baumwurzeln im Walde, so daß jedes Flächenstück Wurzeln vieler Bäume, bzw. Ausläufer vieler Nervenfasern erhält. Dem einzelnen Nervenfasern wird auch hier ein einheitlicher Raumwert zugesprochen, sein Ausbreitungsgebiet repräsentiert also einen Empfindungskreis. Diese Kreise liegen aber nicht neben-, sondern übereinander und decken sich zum größten Teil.

Zwar können durch diese Annahme Czermaks mehrere Phänomene besser als durch die Webersche Theorie erklärt werden, aber die Hauptsache — die große Differenz zwischen simultanen und successiven Schwellenwerten — läßt auch sie rätselhaft.

Während der wissenschaftlichen Diskussion über diese Fragen ist der Begriff „Empfindungskreis“ von verschiedenen Forschern in wechselnden Bedeutungen angewendet. Wie oben erwähnt, war er für Weber ein anatomischer Begriff: die periphere Endausbreitung einer elementaren Nervenfasers, und repräsentierte also eine ganz unbekannte Größe. Da indessen seine Aufgabe darin bestand, gewisse physiologische Verhältnisse zu erklären, ist der Begriff „Empfindungskreis“ bald ein mehr physiologischer geworden. Er wurde, wenn auch nicht ausgesprochen, so doch stillschweigend schon von Weber und nachher von vielen Forschern häufig mit der Hautfläche identifiziert, innerhalb deren zwei berührte diametral gelegene Punkte bei simultaner Berührung eine Empfindung von nur einer berührenden Spitze hervorrufen. Ein Empfindungskreis, in dieser Weise bestimmt, hat nichts Hypothetisches in sich, sondern ist Ausdruck für ein physiologisches Faktum und ist nach Form und Größe experimentell bestimmbar. Sein Diameter wird ja annähernd von dem simultanen Schwellenwert repräsentiert, und seine Form ist auf solchen Hautstellen, wo der Schwellenwert in verschiedenen Richtungen gleich groß ist, rund; dagegen oval, wenn — z. B. auf den Extremitäten — der Schwellenwert in Längsrichtung größer als in Querrichtung ist.

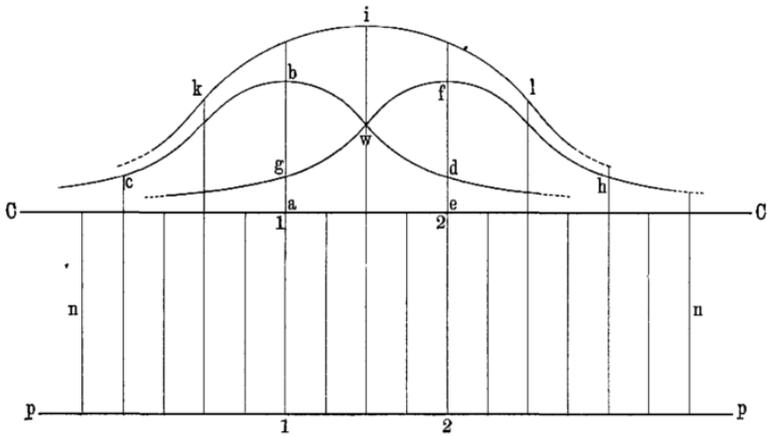
Die Größe und Form der anatomischen Empfindungskreise war dagegen durch die simultane Schwelle nicht zu bestimmen. Weber¹⁾ läßt auch die Frage ihrer absoluten Größe unbeantwortet, erwähnt nur beiläufig, daß sie vielleicht sehr klein, „daß man sie so klein denken kann, wie man will“, im Verhältnis zur Größe der Schwellendistanz. Dagegen glaubte Weber etwas über die relative Größe und Gestalt der anatomischen Empfindungskreise aussagen zu können. Je kleiner der simultane Schwellenwert, desto kleiner

¹⁾ Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1852, S. 104 u. 117.

sind nach ihm die anatomischen Empfindungskreise, und wenn der Schwellenwert in einer Richtung größer als in einer anderen ist, ist dies dadurch bedingt, daß die Empfindungskreise länglich sind und den größeren Durchmesser stets nach derselben Richtung kehren. Weber hat dabei nicht die Möglichkeit berücksichtigt, daß vielleicht auf verschiedenen Körperteilen und in verschiedenen Richtungen mehrere ungereizte zwischenliegende Empfindungskreise nötig sind, um zwei Spitzen besonders zu empfinden. Überhaupt war es unmöglich, aus den simultanen Schwellenwerten irgendwelche Schlüsse bezüglich der Größe und der Form der anatomischen Empfindungskreise zu ziehen, nachdem bewiesen war, daß es für die getrennte Auffassung zweier Spitzen nicht hinreichend war, daß nur ein einziger Empfindungskreis zwischen ihnen eingeschaltet lag.

Da also die von Weber und Czermak und anderen vertretene Annahme fester anatomischer Empfindungskreise die auffallende Größe des simultanen Schwellenwertes nicht erklären konnte, lag es nahe, diese Tat-

Fig. 120.



sache als ein Irradiationsphänomen zu interpretieren. Ein beachtenswerter Versuch in dieser Richtung rührt von Bernstein ¹⁾ her, der die Hypothese einer in den empfindenden Zentren stattfindenden Irradiation aufstellte. Als anatomische Voraussetzungen einer solchen Irradiation postuliert er Verbindungen der zentralen Elemente, die unsere Druckempfindungen auslösen, und ferner wäre anzunehmen, daß diese Elemente in einer solchen Fläche angeordnet sind, daß sie als geometrisches Abbild der empfindenden Hautfläche betrachtet werden kann, und daß demnach benachbarte Punkte der einen auch benachbarten Punkten der anderen entsprechen. Die Details seiner Hypothese sind aus der beigegebenen Abbildung zu entnehmen. Es sei (Fig. 120) durch die Linie *pp* die periphere Fläche, durch die Linie *CC* die zentrale Fläche dargestellt, in welcher sich die zentralen Endstationen der Nervenfasern *nn* befinden; nun möge durch die Faser 1 eine Erregung dem zentralen Elemente 1 zugeleitet sein. Die Fläche der Erregung sei durch

¹⁾ Untersuchungen über den Erregungsprozeß im Muskel- und Nervensystem. Heidelberg 1870. Lehrbuch d. Physiol. 1894, S. 568.

die Ordinate ab ausgedrückt, und die Kurve bcd gebe an, daß sich die Erregung in der zentralen Fläche mit abnehmender Stärke ausbreitet. Man darf nun nach den Erscheinungen der Irradiation und nach anderen Erfahrungen aus der Physiologie der Zentren die Annahme hinzufügen, daß sich der Ausbreitung der Erregung durch die zentralen Elemente ein Widerstand entgegenstellt, welcher die Erregung allmählich vernichtet. Es wird daher die Erregung sich in der zentralen Fläche nur über einen gewissen Bezirk ausbreiten können, dessen Größe von dem Widerstande der zentralen Elemente und von ihrer Dichtigkeit in der Flächeneinheit abhängig sein wird. Nimmt man an, daß der Widerstand der Stärke der Erregung proportional sei, so nimmt die Kurve bcd die gezeichnete Gestalt an. Die Grenze des Irradiationskreises würde dort liegen, wo die Erregung den Schwellenwert erreicht. Dem zentralen Irradiationskreis entspricht demnach ein peripherer Irradiationskreis, der sich über ebensoviele Endbezirke der Fasern erstreckt, als der erstere zentrale Elemente umfaßt. Denken wir uns ferner einen zweiten Reiz vom Punkte 2 der Peripherie dem zentralen Elemente 2 zugeführt, in solcher Nähe des Punktes 1, daß die beiden Irradiationskreise in weiter Ausdehnung übereinanderfallen, so werden die beiden Kurven der Erregung bcd und fgh sich zu einer gemeinsamen Kurve ikl addieren. Rücken aber die Punkte 1 und 2 weiter auseinander, so würden an dem Gipfel dieser Kurve zwei Maxima auftreten, die immer weiter auseinander-rücken, je weiter sich die Punkte 1 und 2 voneinander entfernen. Solange nun die beiden Irradiationskreise nur ein gemeinsames Maximum der Erregung zwischen sich erzeugen, kann eine Trennung der gereizten Punkte in der Wahrnehmung nicht stattfinden. Die Möglichkeit einer solchen Trennung ist erst gegeben, wenn die Punkte so weit voneinander abstehen, daß sich ein doppeltes Maximum bildet. Diese Entfernung ist dann der Durchmesser eines Empfindungskreises. Man sieht ein, daß alsdann entsprechend der Auffassung Czermaks und anderer zwischen den gereizten Punkten eine gewisse Anzahl von Endbezirken der Nervenfasern liegen müssen.

Wie aus dem oben Mitgeteilten hervorgeht, war schon früh eine Differenz zwischen der simultanen und der successiven Schwelle beobachtet worden. Wie groß diese Differenz wirklich war, ist aber erst spät festgestellt worden, und zwar vor allem durch die Untersuchungen von Judd¹⁾ und in endgültiger Form von v. Frey. Es ist das Verdienst v. Freys und seiner Mitarbeiter (Brückner, Metzner²⁾, daß sie in systematischer Weise das Verhalten der Schwellenwerte bei isolierter Reizung der Druckendapparate untersucht haben.

Das wichtigste Ergebnis ist, daß jedes Nervenende und jeder Druckpunkt von jedem anderen unterschieden werden kann, wenigstens an den Orten, wo sie nicht so dicht stehen, daß ihre isolierte Erregung technisch undurchführbar ist. Die Bedingungen dafür sind folgende: 1. Beschränkung der Reize auf die zwei Druckpunkte, die zur Untersuchung gewählt sind. 2. Nicht zu geringe und für beide Orte möglichst gleiche Stärke der Reizung.

¹⁾ Wundts philos. Stud. 12 (1896). — ²⁾ Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. der Sinnesorg. 26, 33, 1901; 29, 164, 1902.

Diesen beiden ersten Bedingungen wird am besten genügt, wenn man sehr kleinflächige (stigmatische) Reize auf die vorher genau bezeichneten Orte der Nervenenden wirken läßt. 3. Reizung der beiden Orte nacheinander, nicht gleichzeitig. In bezug auf das Intervall der beiden Reize haben sich zwischen $\frac{1}{6}$ und $\frac{3}{4}$ Sek. keine auffälligen Unterschiede ergeben. Dagegen werden bei Intervallen von $\frac{1}{9}$ bzw. 2 Sek. die Resultate merklich schlechter und die Beurteilung schwieriger.

Reizt man in der angegebenen Weise zwei benachbarte Druckpunkte, so hat man den Eindruck, als ob der Reiz sich auf der Haut verschöbe. In welcher Richtung, dies geschieht, ist aber sofort mit Sicherheit erst dann möglich anzugeben, wenn die Entfernung der beiden Reize um das Mehrfache größer ist als der Abstand benachbarter Druckpunkte. Sollen endlich die beiden Reize bei gleichzeitiger Einwirkung unterschieden werden, so muß ihre Entfernung noch weiter um ein Erhebliches wachsen.

Durch v. Frey ist also gezeigt, daß sogar jeder Druckpunkt eindeutig bestimmt ist. v. Frey sieht sich daher zu der Annahme genötigt, daß entweder jeder Endapparat durch einen besonderen Nervenfasern mit dem Gehirn verbunden ist oder daß Teilungen vorkommen und daß die Zweige der Nervenfasern sich zur Versorgung der Endapparate derart kombinieren, daß jeder Endapparat von jedem anderen verschieden innerviert ist.

Nach dieser Entdeckung kann man sagen, daß die Frage der anatomischen Empfindungskreise beantwortet ist; zwar nicht so, daß es jetzt bestimmt ist, ob die Enden einer elementaren Nervenfasern, wie Weber glaubte, ein kleines Hautgebiet allein versorgen, oder ob — nach Czermak, die Endausbreitungen übereinander greifen — diese Frage ist noch offen —; aber so, daß das Gebiet, innerhalb dessen zwei die Haut berührende Spitzen eine und dieselbe anatomische Einheit reizen und daher nicht verschieden empfunden werden können, mit dem kleinen Bezirk identisch ist, von dem aus ein Druckpunkt einzeln zu reizen ist. Die Verschmelzung simultaner Reize wird nach v. Frey — wie vorher von Bernstein — durch eine im Zentrum stattfindende Ausbreitung oder Diffusion der Erregung verursacht. Die physiologischen Empfindungskreise sind nach ihm nur die Projektion der zentralen Erregungskreise auf die Hautoberfläche.

Daß eine Unterscheidung zweier Tastpunkte, deren zentrale Diffusionskreise sich zum großen Teile decken, doch bei successiver Reizung möglich ist, ist nach v. Frey wahrscheinlich dadurch bedingt, daß beim Abklingen des ersten Reizes der Diffusionskreis sich verkleinert, d. h. die Erregung in der Peripherie rascher erlischt als im Zentrum. Folgt nun die zweite Erregung nach, so wird sich der ihr entsprechende Diffusionskreis entweder gar nicht bis zum Zentrum des ersten erstrecken oder es nur mit der schwach erregten Peripherie berühren. Daß es unter solchen Umständen zu größeren Erregungsdifferenzen innerhalb des gemeinschaftlichen Diffusionsfeldes kommt, ist leicht ersichtlich. Die Annahme eines verschieden raschen Abklingens ungleich starker Reize ist aber eine solche, welche sich durch mancherlei Erfahrungen aus der allgemeinen Nervenphysiologie und insbesondere aus dem Gebiete des Tastsinnes stützen läßt.

Prüft man die Theorie von Bernstein und von v. Frey, so scheint die Annahme einer Irradiation der Reizung beinahe unanfechtbar zu sein. Bei dem

jetzigen Standpunkte unserer Kenntnisse ist es überhaupt schwierig, eine andere Erklärung zu geben. Auch die Annahme, daß die Irradiation im zentralen Nervensystem stattfindet, ist sehr wahrscheinlich. Doch ist die Möglichkeit einer peripheren Irradiation nicht ausgeschlossen. Es ist durch die histologischen Forschungen sichergestellt, daß die sensiblen Nervenfasern in der Haut ein oder mehrere Geflechte bilden. Wenn ein solches Geflecht auch einen physiologischen Zusammenhang der Nervenfasern desselben Sinnes repräsentiert und wenn von diesem Geflecht die Nervenfasern zu den Endorganen gehen, kann man auch hierin eine Erklärung sehen. Dadurch, daß die von jedem Endorgan kommende Erregung sich in ganz bestimmter Weise auf die von dem Geflecht zum Zentrum gehenden Nervenfasern verteilt, ist eine eindeutige Bestimmung jedes Endorgans erreicht; dadurch, daß in dem Geflecht die Erregung irradiiert, wird die Zusammenschmelzung zweier Erregungen erklärt. Diese übrigens nicht sehr wahrscheinliche Möglichkeit wäre übrigens leicht zu prüfen durch eine Untersuchung darüber, ob zwei auf den beiden Rändern einer scharf geschnittenen Wunde liegende Punkte bei gleichzeitiger Reizung unterschieden werden. In diesem Falle wäre ja die eventuelle periphere Verbindung weggefallen. Die wahrscheinlichste Annahme bleibt bis auf weiteres, daß eine zentrale Irradiation stattfindet. Einer Nachprüfung scheint die viel zitierte Angabe Goldscheiders¹⁾ zu bedürfen, daß zwei benachbarte Druckpunkte bei simultaner Reizung unter Umständen eine Doppelempfindung geben. Diese Angabe steht mit allen übrigen Erfahrungen der Sinnesphysiologie in Widerspruch, nach welchen für eine Doppelempfindung mindestens ein unerregtes Element zwischen den gereizten Elementen liegen muß; sie steht aber auch im Gegensatz zu v. Freys mit sicheren Methoden gemachten Beobachtungen. Übrigens ist es sehr fraglich, ob nicht Goldscheider, der spitze Nadeln verwendete, mit Stecheempfindungen, also von den Schmerznerve vermittelten Empfindungen, und nicht mit Druckempfindungen zu tun hatte.

Die Abhängigkeit der Simultanschwellen von verschiedenen Faktoren. Der von Weber gefundene große Unterschied zwischen den kleinsten auffaßbaren Spitzendistanzen an verschiedenen Orten muß nach der hier entwickelten Theorie von einem Unterschied in der Größe der Irradiation der Erregungen in dem Gehirn verursacht werden. Wodurch dieser Unterschied bedingt ist, ist nicht bekannt. Ein Versuch, die Tatsachen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte zusammenzufassen, ist von Vierordt²⁾ gemacht worden. Nach ihm hängt die Feinheit des Lokalisationsvermögens — durch die kleinste wahrnehmbare Spitzendistanz gemessen — in den einzelnen Körperteilen von ihrer in hohem Grade verschiedenen Beweglichkeit ab, also auch in den einzelnen Hautbezirken desselben Körperteils von der verschiedenen Bewegungsgröße (Exkursionsweite) der Hautstellen. Deshalb ist das Lokalisationsvermögen stärker ausgebildet 1. in den Körperteilen, welche die ausgiebigsten Bewegungen vollführen, sowie in einem einzelnen Körperteil in dessen peripheren Bezirken und 2. in den Körperteilen, die besonders häufig und schnell bewegt werden. Wie Vierordt und seine Mitarbeiter³⁾ (Kottenkamp und Ullrich, Paulus, Riecker und Hartmann) durch sehr ausgedehnte Untersuchungen gezeigt haben, fügen sich die Resultate dieser Regel im allgemeinen ganz gut ein. Ob indessen die verschiedene Beweglichkeit als die bestimmende Ursache der Verschiedenheiten der simultanen Schwellenwerte angesehen werden kann, ist doch nicht ganz entschieden. In solchem Falle sollte die durch die größere Beweglichkeit verursachte größere In-

¹⁾ Ges. Abh. 1, 194. — ²⁾ Pfügers Arch. 2, 297, 1869. — ³⁾ Zeitschr. f. Biol. 6, 53 u. 73, 1870; 7, 237, 1871; 9, 95, 1873; 10, 177, 1874; 11, 79, 1875.

anspruchnahme einer gewissen Hautstelle zum Tasten eine Verminderung der zentralen Irradiationskreise verursachen¹⁾.

Im vorigen wurde das Lokalisationsvermögen — durch Messung der Simultanschwelle untersucht — als eine für jede Stelle bestimmte Größe angesehen. Diese ist aber tatsächlich dem Einfluß mehrerer Umstände unterworfen. Es sei gleich zuerst hervorgehoben, daß hier vieles auf die Methodik ankommt, hauptsächlich auf die Stärke und Gleichheit der Reize, wie in der letzten Zeit v. Frey scharf hervorgehoben hat. Dieser Umstand ist wichtig, weil die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, daß mehrere Untersuchungen über Einflüsse auf die Simultanschwelle anders ausgefallen wären, wenn die angewendeten Methoden besser und mit größerer Kritik durchgearbeitet worden wären. Zu berücksichtigen ist auch, daß die meisten Werte der eben wahrnehmbaren Spitzendistanz als Mittelwerte zwischen weit verschiedenen Extremen zu deuten sind.

Von Czermak²⁾ ist angegeben und von anderen bestätigt, daß das Alter einen Einfluß auf die Resultate ausübt, und zwar in der Richtung, daß die wahrnehmbare Spitzendistanz bei Kindern viel kleiner als bei Erwachsenen ist. Eine Ursache dürfte darin liegen, daß die Nervenenden der Haut bei Kindern dichter liegen als bei Erwachsenen. Die Abnahme des Lokalisationsvermögens ist doch durch das Wachstum nicht vollständig erklärt. Setzt man voraus, daß die Abnahme der Feinheit des Lokalisationsvermögens genau proportional sei der Zunahme der Hautausdehnung, so müßten die Kinder zum Teil in riesige Dimensionen auswachsen, um die gewöhnlichen Feinheitsgrade Erwachsener zu bekommen. Eine Vermehrung der Anzahl der Primitivfibrillen scheint während des Wachstums nicht mehr stattzufinden³⁾, dazu nimmt Czermak als einen anderen Erklärungsgrund die dünnere und zartere Beschaffenheit der die Nerven ausbreitungen deckenden unempfindlichen Schichten bei den Kindern; auch zentrale Vorgänge scheinen eine Rolle zu spielen. Da das Längenwachstum die Zunahme in den anderen Durchmessern an mehreren Teilen des Körpers, z. B. an den Extremitäten, überwiegt, kann dies vielleicht zur Erklärung der größeren Simultanschwelle in Längsrichtung als in Querrichtung herangezogen werden. Der Einfluß der Dehnung tritt auch hervor bei Dehnung der Bauchhaut der Schwangeren oder bei Streckung eines beweglichen Körperteiles, wie des Halses.

Von Volkmann⁴⁾ ist zuerst angegeben, daß die Simultanschwelle durch Übung sehr vermindert wird. Dies wurde von späteren Forschern in der Hauptsache bestätigt (Krohn⁵⁾, Solomons⁶⁾, Washburn⁷⁾, Tawney⁸⁾, Funcke⁹⁾, Dreßler¹⁰⁾, Judd¹¹⁾). Sehr bemerkenswert ist es jedoch, daß in den langen Untersuchungsreihen, welche die Schüler von Vierordt, sowie Camerer ausgeführt haben, die Übung keine hervorragende Rolle gespielt hat. Und die Untersuchungen von Tawney scheinen gezeigt zu haben, daß die Verkleinerung der Schwelle bei Übung nur scheinbar ist und dabei die Suggestion der Versuchspersonen ausschlaggebend ist. Wenn die Suggestion durch das Ausbleiben der Vexierfehler als nicht mitspielend erwiesen ist, bekommt man auch keine Verminderung der Schwelle. In Übereinstimmung hiermit gibt auch Tawney an, daß

¹⁾ Eine ausführliche Darstellung der von Vierordt und seinen Mitarbeitern gefundenen Werte enthält Vierordts Grundriß der Physiologie. Fünfte Auflage. Tübingen 1877. — ²⁾ Wiener Sitzungsber. 15, 466, 487, 1855 und Moleschotts Untersuch. 1, 202. — ³⁾ Harting, Recherches micrométriques, Utrecht 1854. — ⁴⁾ Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., math.-phys. Abteil. 10, 38, 1858. — ⁵⁾ Journ. of Nerv. and Ment. diseases 7, 219, 1893. — ⁶⁾ Psychol. Rev. 4 (1897). — ⁷⁾ Über den Einfluß von Gesichtsassoziationen auf die Raumwahrnehmungen der Haut, Leipzig, Engelmann, 1895. — ⁸⁾ Wundts philos. Stud. 13 (1898). — ⁹⁾ Hermanns Handb. 3 (2), 381. — ¹⁰⁾ Amer. Journ. of Psychol. 6, 324, 1894. — ¹¹⁾ Wundts philos. Stud. 11, 409, 1895.

die durch Übung erhaltene scheinbare Verkleinerung der Raumschwelle nicht auf die eingeeübte und die ihr symmetrische Hautstelle beschränkt ist, wie von Volkmann und Dreßler angegeben war.

Als ein Beweis für den Einfluß der Übung ist die Tatsache geltend gemacht worden, daß Blinde mit der tastenden Fingerspitze Details viel besser als Sehende unterscheiden können, daß sie z. B. das Gepräge einer Münze zu erkennen imstande sind, ferner die Tatsache, daß auch bei Sehenden, welche ihr Beruf zu einer regelmäßigen Anwendung der Tastorgane nötigt, das Unterscheidungsvermögen sehr verfeinert ist, so daß z. B. geübte Schriftsetzer mit Leichtigkeit die Buchstabenform der Lettern mit den Fingerspitzen erkennen. (Czermak¹⁾, Goltz²⁾, Gärtner³⁾, Heller⁴⁾, Washburn). Es wird aber von Heller bemerkt, daß der Unterschied zwischen Sehenden und den Blinden in dieser Beziehung entschieden nicht so groß ist, wie früher angenommen wurde, und Uthoff⁵⁾ konnte gar keine feinere Schwelle bei den Blinden als bei den Sehenden finden. Griesbach⁶⁾ behauptet sogar, daß, wenn auch kein erheblicher Unterschied zwischen Blinden und Sehenden in dem Unterscheidungsvermögen für taktile Eindrücke besteht, so doch kleine Differenzen zugunsten der Sehenden sprächen. Da die Ergebnisse verschiedener Forscher so außerordentlich differieren, muß die Sache als unentschieden angesehen werden. Als ein Beweis für die Verminderung der simultanen Raumschwelle durch Übung können die Verhältnisse bei Blinden jedenfalls nicht angesehen werden. Manche Verhältnisse, welche eine größere Feinheit des Tastvermögens der Blinden anzudeuten scheinen, z. B. die Geschwindigkeit, mit der ein Geübter die Braillesche Punktschrift liest, können aus ihrer großen Übung, die Eindrücke zu deuten, und aus den an die Eindrücke fest geknüpften Assoziationen hergeleitet werden und brauchen nicht als ein Beweis für eine niedrigere Raumschwelle angesehen werden.

Daß sowohl die spezielle Ermüdung des Tastorgans wie allgemeine körperliche oder geistige Ermüdung auf die Werte, welche das Lokalisationsvermögen gibt, Einfluß ausüben müssen derart, daß allmählich schlechtere Werte erhalten werden, kann wohl als selbstverständlich angesehen werden. Doch liegen noch nicht ausreichende Untersuchungen vor. Zwar teilt schon Wundt⁷⁾ ziemlich ausführliche Angaben über Messungsergebnisse mit, welche er bei öfter wiederholter Reizung derselben Hautstelle mit gleich weit entfernten Zirkelspitzen erzielte; er fand, daß die zuerst wahrgenommene Distanz zwischen zwei Punkten sich bei Ermüdung verringert, ja vielleicht verschwindet. Und Griesbach⁸⁾ hat eine große Anzahl von Versuchen an Gymnasiasten und anderen Personen über den Einfluß der geistigen Ermüdung angestellt und fand eine starke Herabsetzung der Empfindlichkeit schon nach einer Stunde geistiger Anstrengung, die sich nach einer Ruhepause wieder verringerte. Griesbachs Untersuchungen schienen sogar in der kleinsten wahrnehmbaren Spitzendistanz einen Maßstab der psychischen Ermüdung gegeben zu haben. Gegen Griesbachs Untersuchungen hat indessen Bolton⁹⁾ schwerwiegende Einwände gemacht, sowohl bezüglich der Methode wie der Resultate. Er hat nicht die geringste zahlenmäßige Beziehung zwischen der Größe der Raumschwelle und dem Grade der geistigen Ermüdung feststellen können. Es zeigte sich, daß die Bestimmung einer einigermaßen zuverlässigen Raumschwelle eine so große Anzahl von planmäßig angeordneten Einzelversuchen erforderte, daß sie in einer Sitzung wegen der bald auftretenden Ermüdungserscheinungen ganz unmöglich war. Erst wenn viele Tage hintereinander unter sorgfältigster Vermeidung der zahlreichen konstanten und variablen Fehler gearbeitet wird, konnte eine Feststellung der Wirkung bestimmter Einflüsse auf die Raumschwelle wahrscheinlich

¹⁾ Sitzungsber. d. Wien. Akad. 17, 563, 1855. — ²⁾ De spatii sensu cutis, p. 9, Königsberg 1858. — ³⁾ Zeitschr. f. Biol. 17, 56, 1881. — ⁴⁾ Wundts philos. Stud. 11, 226, 1895. — ⁵⁾ Untersuchungen über das Sehenlernen eines siebenjährigen blindgeborenen und mit Erfolg operierten Knaben, S. 54, Hamburg u. Leipzig 1891. — ⁶⁾ Pflügers Arch. 74, 577, 1899 u. 75, 365, 1899. — ⁷⁾ Beitr. z. Theorie d. Sinneswahrnehmung 1862, S. 37. — ⁸⁾ Arch. f. Hygiene 24 (1895). — ⁹⁾ Kräpelin's psychol. Arbeiten 4, 175 bis 234.

gemacht werden. Aber solche Bestimmungen liegen noch nicht vor. Überhaupt scheint es, daß man die Schwierigkeiten bei den hierhergehörigen Versuchen unterschätzt hat, und daß die Ergebnisse ohne genügende Kritik verwertet worden sind.

Obgleich ja der simultane Schwellenwert wahrscheinlich von zentralen Zuständen in erster Linie abhängig ist, ist es nicht ausgeschlossen, daß auch periphere Momente Einfluß ausüben können. Da man aber erst in letzter Zeit die Schwierigkeiten der diesbezüglichen Untersuchungen eingesehen hat, wäre es wünschenswert, daß die vorliegenden Angaben über periphere Einflüsse auf den Schwellenwert nachgeprüft würden. Mehrere solche Versuche liegen vor.

So soll nach Brown-Sequard¹⁾ und mehreren Forschern (Rumpf²⁾, Klinkenberg³⁾, Serebrenni⁴⁾, Schmey⁵⁾ die Hyperämie eine Verfeinerung der Unterschiedsempfindlichkeit bewirken. Nach Alsberg soll im Gegenteil eine Vergrößerung des Schwellenwertes durch Hyperämie bewirkt werden, aber seine Methode soll nach Klinkenberg unbrauchbar sein. Im Gegensatz zur Hyperämie soll die Anämie nach Angaben von Alsberg⁶⁾, Klinkenberg⁷⁾, Rumpf⁸⁾ und Eulenburg⁹⁾ von einer Herabsetzung der Empfindlichkeit begleitet sein, und in derselben Weise soll Kälte wirken. Eine Vergrößerung der Simultanschwelle soll auch angeblich die verminderte Empfindlichkeit begleiten, welche bei Druck auf die Hautnerven, z. B. beim sogenannten Eingeschlafensein der Glieder oder bei der lokalen Applikation anästhetischer oder narkotischer Mittel, wie Äther, Chloroform, Morphinum, entsteht (Kremer¹⁰⁾).

Wahrnehmung der Größe und der Gestalt der Objekte. Die Fähigkeit, die Berührungsempfindungen zu lokalisieren, bedingt unsere Schätzung der Größe und der Form eines die Haut berührenden Gegenstandes, sofern andere als Hautempfindungen, also besonders Gesichts- und Muskelempfindungen, ausgeschlossen sind. Um überhaupt eine solche Schätzung ausführen zu können, ist es bei simultaner Berührung erforderlich, daß die Größe des Gegenstandes die simultane Schwelle der erkennbaren Größe übertrifft. Nur wenige Zahlen liegen indessen über diese Schwelle vor. Für die Mitte der Volarseite des Vorderarmes ist sie von Judd¹¹⁾ zu 6 bis 12 mm bestimmt (mit wahrnehmbarer Richtung 28 bis 48 mm). Da diese Schwelle an verschiedenen Körperteilen verschieden sein dürfte, leuchtet es ein, daß je nach der berührten Hautstelle ein Gegenstand verschieden groß geschätzt wird. Aber auch Gegenstände, welche die Schwellenwerte der verschiedenen Hautstellen übertreffen, werden verschieden geschätzt, wie aus Camerers¹²⁾ Untersuchungen hervorgeht. Seine Methode, die als die Methode der Äquivalenz bezeichnet wird, bestand darin, daß er auf eine bestimmte Hautstelle zwei Spitzen einwirken ließ, deren Distanz größer als die Simultanschwelle war, und nachher für eine zweite Hautstelle diejenige Distanz ermittelte, die als gleich groß aufgefaßt wurde. Das Verhältnis zwischen den so als gleich

¹⁾ Arch. de physiol. 1858, p. 344 ff. — ²⁾ Verh. d. zweiten med. Kongr. zu Wiesbaden 1883, S. 202 ff. — ³⁾ Über den Einfluß der Hautreize auf die Sensibilität der Haut. Inaug.-Diss., Bern 1876. — ⁴⁾ Der Raumsinn der Haut. Inaug.-Diss., Bonn 1883. — ⁵⁾ Du Bois-Reymonds Arch. 1884, S. 309. — ⁶⁾ A. a. O., S. 518. — ⁷⁾ A. a. O., S. 24. — ⁸⁾ A. a. O., S. 304. — ⁹⁾ Berl. klin. Wochenschr. 1865, S. 510. — ¹⁰⁾ Pflügers Arch. 38, 271, 1883. — ¹¹⁾ Wundts philos. Stud. 12, 431, 1896. Vgl. auch die Werte Webers, betreffend das Vermögen, die kreisförmige Figur und den von ihr eingeschlossenen Raum einer Röhre wahrzunehmen. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1852, S. 97. — ¹²⁾ Zeitschr. f. Biol. 23, 509 ff., 1887.

aufgefaßten Längen wird Äquivalenzverhältnis genannt. Zum Beispiel: Da eine Distanz von 4 Pariser Linien¹⁾, an der Stirn aufgesetzt, gleich groß wie eine solche von 2,4 Linien, an der Oberlippe aufgesetzt, geschätzt wird, ist das Äquivalenzverhältnis $4/2,4 = 1,67$; diese Zahl sagt also aus, daß an der Stirn ein 1,7 mal so großer Sinnesreiz notwendig war wie an der Oberlippe, um gleiche Empfindung hervorzurufen. Für zwei miteinander verglichene Hautstellen wechselt dies Verhältnis mit der Distanz der Spitzen, so daß die Äquivalenzverhältnisse mit wachsender Distanz sich mehr und mehr der Einheit nähern und bei größeren Distanzen gleich großer Strecken gleich aufgefaßt werden.

Über die Unterscheidbarkeit ungleich großer Flächen von gleicher Form liegen einige Angaben von Eisner²⁾ vor, wonach zirkelrunde Flächen, wenn sie einen Durchmesser von 1 bzw. 2 mm haben, an der Fingerspitze unterschieden werden. Am Handrücken sind die entsprechenden Zahlen 2 und 6 mm, am Rücken 2 und 25 mm.

Die Fähigkeit, die Gestalt einer aufgesetzten Fläche zu erkennen, ist sehr wenig ausgeprägt, ja fast gar nicht vorhanden. Wir fühlen zwar, wenn wir nacheinander zwei anders gestaltete Flächen aufsetzen, daß die Form derselben eine verschiedene ist, aber eine nähere Bestimmung über die Form derselben zu machen, ob z. B. die eine dreieckig, die andere rund ist, ist nicht möglich. Besser scheinen Gestalten wahrgenommen zu werden, wenn die Eindrücke der verschiedenen Details successiv kommen (fortfahrend, ohne daß dabei Muskelsinnsensationen vorkommen. Man kann z. B. auf die Haut geschriebene Buchstaben, wenn sie genügend groß sind, erkennen (Weber³⁾, Churchill⁴⁾). Wahrscheinlich steht dies in Zusammenhang mit dem Unterschiede zwischen der Simultanschwellen und der Successivschwelle.

Die Lokalisation der Temperaturempfindungen. Über die Lokalisation unserer Temperaturempfindungen liegen nur wenige Angaben vor; diese Frage ist nicht in systematischer Weise, mit Berücksichtigung der verschiedenen in Betracht kommenden Schwellenwerte behandelt, und die wenigen vorliegenden Beobachtungen scheinen eine Nachprüfung zu erfordern; die Lokalisation unserer Wärme- und Kälteempfindungen wäre natürlich für sich zu behandeln.

Nach Rauber⁵⁾ sollen die Wärmeempfindungskreise sich im allgemeinen ebenso wie die Druckempfindungskreise verhalten. Er benutzte strahlende Wärme, indem er erwärmte Metallkugeln in Bohrlöcher von Holzplatten legte und die letzteren auf die Haut setzte. Die Lokalisation der Kälteempfindungen wurde nicht untersucht, was bei der früheren Anschauung von der Einheit des Temperatursinnes nicht wundernehmen kann.

Goldscheider⁶⁾ hat die Simultanschwellen bei Reizung isolierter Kältepunkte resp. Wärmepunkte untersucht, wobei die mechanische Reizung der Drücknerven möglichst ausgeschloßen wurde. Er fand dabei unerwartet niedrige Minimalwerte; ja, zwei benachbarte Temperaturpunkte sollen nach ihm bisweilen als doppelt

¹⁾ Eine Pariser Linie = 2,25 mm. — ²⁾ Beurteilung der Größe und der Gestalt von Flächen. Inaug.-Diss., Erlangen 1888. — ³⁾ Sitzungsber. d. sächs. Ges. d. Wiss., math.-phys. Kl., 1852/54, S. 85. — ⁴⁾ Wundts philos. Stud. 18, 478, 1901/03, wo eine Analyse dieser Versuche gegeben ist. — ⁵⁾ Rauber, Über den Wärmeortssinn. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 1869, S. 372. — ⁶⁾ Ges. Abh. 1, 179.

empfundene und dabei die zwischenliegende Distanz durchgehends zu weit geschätzt werden. (Siehe die Bemerkungen hierüber S. 723.)

Czermak¹⁾ und Klug²⁾ haben untersucht, in welchem Abstände man die stumpfen oder ebenen Enden eines kalten und eines warmen Stäbchens auf die Haut setzen muß, damit die Verschiedenheiten ihres Ortes gerade nicht mehr wahrgenommen werden können. Man fühlt dann an einer und derselben Hautstelle Wärme und Kälte, was den Beobachter in eine eigentümliche, nicht zu beschreibende Verwirrung versetzt. Auch ein Schwanken der Wahrnehmung, ähnlich dem Wettstreite der Sehfelder, soll unter Umständen eintreten. Durch die Auslösung der Wärme- und der Kälteempfindung von derselben Hautstelle entsteht aber auch bisweilen eine Mischempfindung besonderer Art. Wenn z. B. zu einer kräftigen Wärmeempfindung eine intensive, an derselben Hautstelle lokalisierte Kälteempfindung sich addiert, hat man bisweilen den Eindruck, als ob die Temperatur plötzlich erhöht würde. Die dabei entstehende Empfindung ist derjenigen ähnlich, welche man in sehr heißem Wasser bekommt³⁾.

Die Lokalisation der Schmerzempfindungen. Es ist eine alte Behauptung, daß die Schmerzempfindungen im allgemeinen sehr schlecht lokalisiert werden, und dies soll auch als für die in der Haut ausgelösten Schmerzempfindungen gültig sein. Es muß indessen hervorgehoben werden, daß diese Angabe nicht durch Versuche begründet ist und, was die stechenden Schmerzempfindungen der Haut in ihren schwächeren Intensitäten betrifft, wahrscheinlich unrichtig ist. Ein großes noch nicht hinreichend erforschtes Feld liegt hier vor. Überhaupt ist keiner von den verschiedenen Schwellenwerten des Lokalisationsvermögens, welche oben (siehe S. 713) erwähnt sind, für die Schmerzempfindungen durch systematische Messungen aufgesucht.

Mitempfindungen und verwandte Erscheinungen. Die Größe der Simultanschwelle hat, wie oben hervorgehoben ist, zu der Annahme einer Irradiation der Erregung, eines Überspringens der Erregung von der primär erregten Bahn auf andere Bahnen geführt. Durch Irradiation werden auch der diffuse Zahnschmerz bei Pulpitis nur eines Zahnes, das im Halse lokalisierte Gefühl bei Berührung des Gehörganges bewirkt. Am häufigsten findet die Irradiation nach nahe benachbarten Nervengebieten statt⁴⁾.

Das Überspringen der Erregung kann aber auch ausnahmsweise auf entfernter gelegene Nervenbahnen bzw. Ganglienzellen erfolgen, und die Empfindung wird dann nach räumlich von der primär erregten Stelle weit entlegenen Körperteilen exzentrisch projiziert. (Entferntere Mitempfindungen.) Die auf die wirklich erregte Hautstelle lokalisierte Empfindung nennt man häufig die primäre, die andere die sekundäre. Bisweilen, jedoch sehr selten, ist auf der primär erregten Bahn die erzeugte Empfindung sehr gering oder Null, so daß die auf der sekundär erregten Bahn erzeugte Empfindung sich für das Bewußtsein vorwiegend oder allein geltend macht. (Übertragene Empfindung, paradoxe Empfindung (Quincke).)

Besonders sind es die Stichempfindungen, welche solche entferntere Mitempfindungen hervorrufen. Kowalewsky⁵⁾ hat versucht, einige Gesetz-

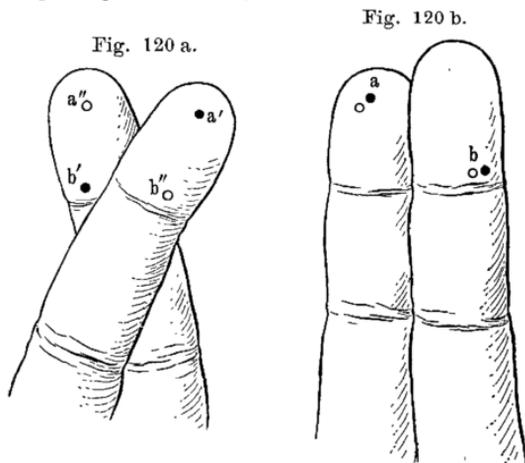
¹⁾ Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1855, S. 500. — ²⁾ Arb. d. physiol. Anst. zu Leipzig 11, 168, 1876. — ³⁾ Thunberg, Skand. Arch. f. Physiol. 11, 432, 1901. —

⁴⁾ Siehe die grundlegenden Ausführungen Quinckes, Zeitschr. f. klin. Med. 17 (1886). — ⁵⁾ Hoffmann-Schwalbes Jahresber. 13 (2), 26.

mäßigkeiten für diese Schmerzempfindungen aufzufinden. 1. Die Mitempfindung erscheint stets an derselben Seite des Körpers, an welcher die Reizung stattgefunden hatte. 2. Die Mitempfindungen erscheinen gewöhnlich in Regionen, die ihre Nerven von höher gelegenen Wurzeln des Rückenmarks im Vergleich zu den ursprünglich erregten erhalten. 3. Größtenteils gruppieren sich die Mitempfindungen auf der hinteren Seite des Körpers, in der Umgebung des Oberarmes und des Schulterblattes ¹⁾.

Verwechslungen durch fehlerhafte Lokalisation. Unter ganz normalen Verhältnissen besteht nach Henri ²⁾ eine gewisse Neigung, bei Lokalisation einer Berührung, die einen bestimmten Finger getroffen hat, die Finger zu verwechseln. Fordert man Versuchspersonen auf, die Hand mit gestreckten, nicht unterstützten Fingern vorzuhalten und unter Ausschluß der Augenkontrolle die berührte Phalanx zu benennen (End-, Mittel- oder Grundglied), so gelingt dies fast stets ohne die geringsten Schwierigkeiten. Unter der Voraussetzung aber, daß nach erfolgter Berührung orientierende Bewegungen streng untersagt sind, besteht bei manchen Individuen im Falle der Berührung der drei mittleren Finger eine gewisse Unsicherheit über den berührten Finger, und die rasche und richtige Angabe ist zeitweilig erschwert. Dabei werden mit unverkennbarer Vorliebe Ring- und Mittelfinger miteinander verwechselt. In derselben Weise werden die drei mittleren Zehen und insbesondere die zweite oder die dritte nicht selten miteinander verwechselt, besonders von Individuen, welche in der Selbstbeobachtung nicht geübt sind. Solche Verwechslungen treten um so häufiger auf, je ungewöhnlicher die Haltung der Finger oder der Zehen ist (siehe E. Müller ³⁾).

Geradezu konstant ⁴⁾ ist eine solche Verwechslung bei dem bekannten Versuch des Aristoteles, der darin besteht, daß eine kleine, zwischen den gekreuzten Mittel- und Zeigefingern gehaltene Kugel als doppelt empfunden wird. Dieser Aristotelesche Versuch, in folgender von Henri angegebener Weise abgeändert, zeigt, daß bei gekreuzter Lage die Finger verwechselt werden. (Siehe die Figuren, welche der Arbeit Henris entlehnt sind.) Es seien in der normalen Lage der Finger (vgl. die Figur) die Punkte *a* und *b* berührt. Wird nun die Versuchsperson aufgefordert, auf einer Zeichnung ihrer Finger, welche dieselben in normaler Lage



¹⁾ Siehe auch Mayer, Über eine vom Nabel ausgelöste Mitempfindung, *Jahrb. f. Psychiatr. u. Neurol.* 22 (1902). — ²⁾ V. Henri, Über die Raumwahrnehmung des Tastsinnes, Berlin 1898, S. 126. — ³⁾ Berl. klin. Wochenschr. 1903, S. 689. — ⁴⁾ Genaueres über dasselbe siehe Henri, S. 67.

wiedergibt, die berührten Stellen zu lokalisieren und sich dabei die Lage der Finger genau vorzustellen, daher keine Bewegung zu machen, so zeigt dieselbe auf dieser Zeichnung sehr nahe bei a und b gelegene Punkte, die in Fig. 120 b durch \bigcirc eingetragen sind. Die Punkte a und b entsprechen nun bei gekreuzter Lage der Finger berührt, so zeigt die Versuchsperson auf einer Zeichnung, die die Finger in gekreuzter Stellung wiedergibt, die Punkte a'' und b'' . Drückt man a' , so erscheint es der Versuchsperson, daß der Punkt a'' gedrückt wird, und ebenso korrespondiert b' mit b'' . Diese Verwechslungen und ihre Bedingungen zeigen, daß das Vermögen, Tasteindrücke zu lokalisieren, nur die gewöhnlichen Verhältnisse beherrscht, daß es aber unter abnormen Bedingungen nicht ausreichend ist und daß bei der Lokalisation andere Empfindungsarten (Bewegungsempfindungen, Gesichtsempfindungen) von Bedeutung sind; es steht das in guter Übereinstimmung mit der genetischen Theorie der Deutung unserer Sinnesindrücke. Bezüglich der verschiedenen genetischen und nativistischen Theorien muß auf die Darstellungen Henris und der psychologischen Lehrbücher verwiesen werden.

XII. Die Subjektivierung und Objektivierung der Hautempfindungen.

Unsere Empfindungen werden häufig in zwei große Gruppen geteilt, die man die äußeren und die inneren Empfindungen nennen kann und welche sich dahin charakterisieren lassen, daß die äußeren von uns objektiviert, d. h. als Eigenschaften von äußeren Gegenständen aufgefaßt werden, die inneren dagegen nicht objektiviert, sondern als Zustände unser selbst gedeutet werden. Diese Kategorien entsprechen E. H. Webers Sinnesempfindungen und Gemeingefühlen. Da indessen diese letzteren unzweifelhaft ebenso gut Empfindungen wie die ersteren sind, scheint, wie Öhrwall¹⁾ bemerkt, der Ausdruck „Gemeingefühle“ ungeeignet, ebenso wie die Ausdrücke „Organempfindungen“, „Sensations systématiques“.

Eine bestimmte Empfindung muß aber nicht unter allen Umständen entweder eine innere oder eine äußere sein, sondern kann bisweilen objektiviert, bisweilen als ein Zustand unseres eigenen Körpers aufgefaßt werden. Das ist auch mit den Hautempfindungen der Fall, und eben diese Tatsache hat Weber²⁾ zu einer Analyse geleitet, welche gezeigt hat, was der Objektivierung der Empfindungen zugrunde liegt. Folgendes Beispiel mag nach Weber angeführt werden. Die Temperatur unserer Haut kann auf doppelte Weise erhöht werden, durch eine vermehrte Zuführung von Wärme von innen, wenn mehr warmes Blut in die Haut strömt, und durch die vermehrte Mitteilung von Wärme von außen. In beiden Fällen fühlen wir, daß unsere Haut wärmer wird. Übt der Körper, der uns mehr Wärme von außen mitteilt, zugleich einen Druck auf unsere Haut aus, so sind wir nicht zweifelhaft, daß die Wärme von außen komme; wir fühlen dann, daß der drückende Körper warm sei. Wirkt aber die strahlende Wärme auf uns ein, so ist es viel schwerer

¹⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 11, 251, 1901. — ²⁾ Wagners Handwörterb. 3 (2), 485.

zu entscheiden, ob die Wärme von außen oder von innen auf uns wirke. Erst durch geeignete Bewegungen ist die Entscheidung möglich. Läßt man jemand seine Augen schließen und nähert seinem Gesichte einen glühenden Eisenstab und läßt die Person dann den Kopf wiederholt nach rechts und links und in anderer Weise bewegen, so empfindet sie sehr bestimmt, daß die Wärme von außen kommt und kann die Lage der Wärmequelle bestimmen, weil bei den Kopfbewegungen die Art der Wärmeempfindung sich ändert. Wäre die Wärmequelle in unserer Haut, so würde sie sich zugleich mit unserer Haut bewegen und ihren relativen Ort beibehalten. Durch Empfindungen unserer eigenen freiwilligen Bewegungen kommen wir mittels einer Reihe unbewußter Schlüsse schon früh dahin, daß wir die Empfindungen, welche sich bei unseren Bewegungen in regelmäßiger Weise ändern, als Eigenschaften äußerer Gegenstände auffassen, andere aber, welche durch äußere Bewegungen nicht geändert werden, als Zustände unseres eigenen Körpers.

Dieselbe Ursache, welche es, wie Weber gezeigt hat, bedingt, daß eine Wärmeempfindung bisweilen eine objektivierte, bisweilen eine nicht objektivierte ist, ist auch für unsere übrigen Hautempfindungen gültig. Auch unsere Schmerzempfindungen, welche wohl als typische Gemeingefühle meistens aufgefaßt werden, werden doch bisweilen objektiviert und werden als Eigenschaften äußerer Objekte aufgefaßt. Es handelt sich um die Schmerzempfindungen, die allein oder mit anderen Empfindungen vermischt bedingen, daß wir einem Gegenstande die Eigenschaften scharf, stechend spitzig, brennend heiß zuschreiben, insoweit dies von den Hautsinnen abhängt.

Wenn die Kriterien, von welchen man sich bei der Wahl zwischen Subjektivierung und Objektivierung leiten läßt, ungenügend sind, werden häufig Irrtümer gemacht, wie aus Külpes¹⁾ Versuchen hervorgeht. Bekanntlich entstehen spontan, ohne äußere Reize, häufig Hautempfindungen, z. B. schwache Berührungsempfindungen. Külpe applizierte an einer Hautstelle seiner Versuchspersonen dann und wann mechanische Reize, ließ sie aber über alle Sensationen, die sie an der Versuchsstelle verspürten, berichten, insbesondere angeben, ob sie dieselben für subjektiv oder objektiv hielten, und wenn besondere Motive sie dazu veranlaßten, diese mitteilen. Es zeigte sich dabei, daß häufig die Empfindungen falsch objektiviert wurden, beinahe niemals aber subjektiviert. Die Motive der Subjektivierung und der Objektivierung waren bei den Versuchspersonen verschieden.

XIII. Die Physiologie der Hautsinne und das Gesetz der spezifischen Sinnesenergien.

Der Ausgangspunkt der Versuche, durch welche Blix die Existenz besonderer Kälte-, Wärme- und Drucknerven bewiesen hat, war das Gesetz der spezifischen Sinnesenergien von Johannes Müller, ein Gesetz, das so formuliert werden kann: Die Empfindungen, welche entstehen, wenn ein Sinnesnerv erregt wird, haben immer dieselbe Qualität, unabhängig von der Art und dem Angriffspunkt des Reizmittels. Es fragt sich, inwieweit die bisherigen Erfahrungen der Physiologie der Hautsinne sich diesem Gesetze unterordnen.

¹⁾ Wundts philos. Stud. 19, 508, 1902.

Zurzeit kann man behaupten, daß, wenn auch noch einige Schwierigkeiten bestehen, die meisten Ergebnisse in guter Übereinstimmung mit diesem Gesetze stehen und zugleich die beste Stütze desselben bilden. Ein Folgesatz dieses Gesetzes ist, daß jede abgegrenzte Empfindungsqualität durch eigene Nervenendorgane vertreten sein muß. Durch die v. Freysche Entdeckung der Schmerzpunkte und die Schlüsse, zu denen sie berechtigt, ist die größte Schwierigkeit aus dem Wege geräumt worden. Doch ist es zurzeit noch nicht abgemacht, wie die von der Haut ausgelösten juckenden und kitzelnden Empfindungen aufzufassen sind, ob sie abgegrenzte Empfindungsqualitäten sind, oder ob sie nur Schmerz- bzw. Druckempfindungen sind, welche durch einen besonderen Gefühlston, durch ihre Irradiation und ihre Tendenz, Reflexe auszulösen, einen besonderen Charakter erhalten haben. Weitere Untersuchungen hierüber und über die Frage, ob die juckenden und kitzelnden Empfindungen durch besondere Nerven ausgelöst werden, sind notwendig, ehe die Gültigkeit des Gesetzes der spezifischen Sinnesenergien auch in diesem Falle als gesichert betrachtet werden kann.

Das Gesetz der spezifischen Sinnesenergien fordert, daß auch inadäquate Reize, wenn sie eine Erregung bewirken, dieselbe Empfindungsqualität auslösen, welche den betreffenden Nerven bei adäquater Reizung charakterisiert. Dagegen fordert dies Gesetz keineswegs, daß jeder Sinnesnerv oder jedes Endorgan auf alle möglichen Reizmittel reagiere¹⁾. Über das Verhalten der Hautnerven in dieser Richtung hat schon Blix mitgeteilt, daß elektrische Hautreizung verschiedene Sensation an verschiedenen Hautstellen hervorruft. Auf dem einen Punkte entsteht nur Schmerz-, auf einem anderen Kalteempfindung, auf einem dritten Wärmeempfindung, auf einem vierten vielleicht Druckempfindung, und Blix schließt aus diesen Beobachtungen, daß die Art der Empfindung nicht von der Art des Reizmittels, sondern von der spezifischen Energie des Nerven abhängig ist.

Reizbarkeit der Drucknerven durch inadäquate Reize hat man bisher nur bei elektrischer Reizung konstatieren können. Die Reizbarkeitsverhältnisse der Kälte- und Wärmenervenenden sind besser untersucht. Schon Goldscheider²⁾ hat angegeben, daß diese Punkte durch mechanische Reize — Druck, Stoß — erregt werden können, und diese Angabe ist von mehreren Forschern (Donaldson³⁾, Kiesow⁴⁾, Alrutz⁵⁾ bestätigt, wenn von anderen allerdings auch bestritten worden (Dessoir⁶⁾, Nagel⁷⁾. Auch durch chemische Reizung der Kälte- und Wärmenerven werden die entsprechenden Empfindungen ausgelöst, wie Goldscheider⁸⁾ für Menthol und Kohlensäure gezeigt hat. Rollets⁹⁾ Angabe, daß die durch Menthol hervorgerufenen Kälteempfindungen von den Schmerznerven ausgelöst werden, scheint nicht genügend begründet zu sein.

Von theoretischem Interesse ist die Frage, ob die Kalteendorgane anders als mit Kälteempfindungen, die Wärmeendorgane anders als mit Wärmeempfindungen antworten können. Hierüber gibt Kiesow¹⁰⁾ an, daß Kälte, auf

¹⁾ Siehe Öhrwalls ausführliche Darstellung. Skand. Arch. f. Physiol. **11**, 260, 1901. — ²⁾ Ges. Abh. **1**, 118. — ³⁾ Mind 1885. — ⁴⁾ Wundts philos. Stud. **11**, 135, 1895. — ⁵⁾ Skand. Arch. f. Physiol. **7**, 327, 1897. — ⁶⁾ Dubois-Reymonds Arch. 1892, S. 250. — ⁷⁾ Pflügers Arch. **59**, 576, 1895. — ⁸⁾ Ges. Abh. **1**, 250 u. 305. — ⁹⁾ Pflügers Arch. **74**, 457, 1899. — ¹⁰⁾ Wundts philos. Stud. **11**, 135, 1895.

Wärmepunkte appliziert, niemals Kalteempfindung erzeugt, dagegen wurden von ihm von den Kältepunkten Wärmeempfindungen erhalten, was Nagel¹⁾ und Kelchner und Rosenblum²⁾ bestätigt haben, Alrutz³⁾ aber bestritten. Wie Kiesow selbst hervorgehoben hat, erlaubt dies nicht den Schluß, daß die Kalteendorgane mit Wärmeempfindungen antworten. Wahrscheinlich ist hier eine Wärmeempfindung vorhanden, die durch Leitung der Wärme bis zu in der Nahe liegenden Wärmeendorganen entstanden zu denken ist. Dann wäre der Gegensatz zwischen den vorliegenden Angaben nur scheinbar, und man kann zurzeit behaupten, daß die Ergebnisse Alrutz', dessen Methodik es gestattete, vom Kältepunkte aus nur das unterliegende Kalteendorgan zu erregen, die oben erwähnte Deutung bestätigen. Die Frage dürfte jedoch weiterer Untersuchung wert sein.

¹⁾ Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorg. 10, 277, 1896. — ²⁾ Ebenda 21, 174, 1899. — ³⁾ Skand. Arch. f. Physiol. 7, 326, 1897.