

Das Verhältniss der Hautempfindungen und ihrer nervösen Organe zu calorischen, mechanischen und faradischen Reizen.

Von

Paul Bader.

Mit Tafel X.

Einleitung.

Die Qualitäten des Hautsinnes sind neuerdings hauptsächlich durch v. Frey, Nagel, Rollett, Alrutz und Thunberg untersucht worden¹⁾. Besonders haben v. Frey's fruchtbare Versuche das Interesse an ihnen wachgehalten. v. Frey experimentirte mit Druckreizen, nachdem er in seinen bekannten tarirten Haaren ein treffliches Reizmittel für die Punktqualitäten der Haut entdeckt hatte. Er constatirte die sogenannte paradoxe Kälteempfindung und suchte die verschiedenen Qualitäten auf die anatomische Differenzirung der nervösen Hautorgane zurückzuführen. Die Frey'schen Mittheilungen veranlassten Nagel zu einer Kritik und Berichtigung, während Rollett die complicirte physiologische Theorie der Hautempfindungen auf Frey'scher Grundlage weiter ausbaute. Die beiden nordischen Forscher Alrutz und Thunberg nahmen endlich speciell für die Temperaturempfindungen eine verschiedene Tiefenlage der verschiedenen nervösen Apparate an, eine Theorie, die schon Goldscheider erwähnt, aber auf Grund der histologischen Thatsachen verworfen hatte. Alrutz stellte ferner eine neue Hypothese über die Hitze-

¹⁾ Nach Beendigung dieser Arbeit erschienen die »Beiträge zur Kenntniss der Topographie der Wärme-Empfindlichkeit« von Dr. Elemér Veress. Pf. Arch. Bd. 89. 1902. S. 1. Der Verfasser, der flächenhafte Reize anwandte, corrigirt zum Theil wesentlich die bekannten Goldscheider'schen Tabellen über die Vertheilung des Wärmesinns an der Hautoberfläche.

empfindung auf, die ihm durch gleichzeitige Erregung der kälte- und wärmepercipirenden Organe ausgelöst erscheint, und er verfolgte die elektrolytischen Erscheinungen nach faradischer Reizung, durch die, wie er annahm, eine Umsetzung objectiver Reize in Nervenreize bewirkt werde.

Wie man sieht, ein weites hypothetisches Feld, das zu neuen Beobachtungen einladet, um die alten zu prüfen oder zu ergänzen, zu bestätigen oder zu berichtigen. Nach einem Hinweise des Herrn Geh.-Raths Prof. Dr. Wundt schien ein Vergleich zwischen Empfindungen, die durch denselben Reiz auf verschiedenen Hautpunkten ausgelöst werden, mehr Erfolg zu versprechen, als eine getrennte Untersuchung der verschiedenen Qualitäten. Das hat den Verfasser veranlasst, unter anderem einige für die Beobachtung bequem liegende Hautflächen der Arme und Hände mit gleichen Reizen auf den verschiedensten Punkten nach ihren subjectiven Erscheinungen zu untersuchen und zu vergleichen. Die gewonnenen Resultate sind der besseren Uebersicht wegen unter die bekannten vier Qualitäten: Kälte, Wärme, Schmerz und Druck vertheilt und geordnet worden. Da die ausgewählten Hautstücke in Folge ihrer relativ hohen Druckreizschwelle für eine Untersuchung der Druckempfindungen nicht günstig lagen, so sind die Ergebnisse innerhalb dieser Qualität bescheidener ausgefallen als die der anderen. In den Versuchsprotocollen sind hinter einem V. die verschiedenen Versuchspersonen angedeutet worden. Zahlreiche Versuche hat der Verfasser an sich selbst vornehmen lassen; in diesem Fall fehlt die Angabe der Versuchsperson. Das Nähere über die Reizmittel u. s. w. wird bei den Versuchen selbst mitgetheilt werden.

A. Kältepunkte.

I. Qualität und Intensität der Kälteempfindung.

Während geeignete thermische Reize zur Auslösung von Wärmesensationen auf der Haut sehr verschieden von den Beobachtern angegeben werden, gelten zur Constatirung der Kältepunkte allgemein punktförmige Reize von 15° C. (Wasserleitungstemperatur) oder nach Alrutz solche von ca. 20° C. (gewöhnlicher Zimmertemperatur) für

am dienlichsten. Alrutz ermittelte außerdem Kältepunkte mit Hülfe feiner Nähnadeln, die bis unter den Nullpunkt abgekühlt waren. Jedoch muss hierbei die miterregte Schmerzempfindung das Ergebniss beeinflussen. Sodann ist für die Kältepunkte die ohnehin zweifelhafte Abkühlung der Nadelspitze gar nicht nöthig, da sie überhaupt auf Nadelstiche mit Kälte reagiren. Mein Reizmittel sowohl für Kälte- als auch für Wärmepunkte bestand außer in den bekannten Goldscheider'schen Massivcylindern in einem Thermophor von ähnlicher Zusammenstellung, wie ihn M. v. Vintschgau und E. Steinach beschrieben haben¹⁾. Ein Blix'sches Rohr war in einen Durchströmungsapparat eingeschaltet. Klemmen am Schlauch ermöglichten eine Verengerung oder Erweiterung oder Schließung des Strömungscanals, wodurch die Zufuhr des erwärmten Wassers beliebig variiert werden konnte. Die Klemmeneinrichtung bot außerdem den Vortheil, eine beliebige Temperatur eine Zeit lang auf constanter Höhe zu erhalten. Hierzu mag auch beigetragen haben, dass der Warmwasserrecipient in einem Gefäß mit Wasser stand, wodurch seine Abkühlung sehr verzögert wurde. Ferner konnte kaltes Wasser in den Warmwasserrecipienten durch einen Trichter beliebig zugegossen werden, um die Temperatur plötzlich herabzudrücken. Sie plötzlich zu erhöhen, gestattete eine entsprechende Handhabung der Klemmen.

Es ergab sich nun Folgendes. Mit Erhöhung der Temperatur über 13° C. vermindert sich die Zahl der erregbaren Kältepunkte. Die Intensität der Empfindung sinkt endlich auf 0, um bei fort-dauernder Steigerung der Reiztemperatur anfangs nach relativ langer, auf sehr heiße Reize nach relativ kurzer Reactionszeit mit unverminderter Stärke der Empfindung sich wieder einzustellen (paradoxe Kälteempfindung). Theils Wärme, theils Hitze, theils Schmerz können vor und neben der durch heiße Applicationen veranlassten kalten Sensation appercipirt werden.

Die Kältepunkte sind nach der Intensität²⁾ der auf ihnen auszulösenden Kälteempfindung dreifach verschieden. Derselbe Temperaturreiz löst auf gewissen Punkten rein kalte Empfindungen, auf einigen

¹⁾ Zeitmessende Versuche über den Temperatur- und Drucksinn. Pfl. Arch., XLIII. 1888. S. 154 ff.

²⁾ Goldscheider, Gesammelte Abhandlungen. I. Physiologie der Hautsinnesnerven. Leipzig 1898. S. 94.

intensiv kalte oder eisige Empfindungen und auf anderen kühle Empfindungen aus. Außer diesen punktuellen Perceptionen erzeugen Kältereize zwischen den Kältepunkten diffus kühle und flächenhafte Empfindungen, die bei der Markirung der Kältepunkte unberücksichtigt geblieben sind. Zur exacten Markirung der Punkte und zur Erleichterung der Untersuchung eines Hautstückes ist stets Millimeterpapier abgezogen worden. Das Verhalten der drei Kälteintensitäten bei allmählicher Erniedrigung der Reiztemperatur unter 12° C. scheint constant zu bleiben; denn es erreichten z. B. die kalten Punkte auf denselben Kältereiz (bis -13° C.) niemals die Intensität der eisigen. Die eisige Sensation auf Punkten höchster Kälteintensität konnte auf die Dauer unerträglich werden. Aus dieser von Goldscheider mit Kälteschmerz angesprochenen Empfindung trat deutlich die Kältecomponente der schmerzhaften Erregung hervor. Der Goldscheider'sche Ausdruck ist für einen flächenhaften eisigen Reiz bezeichnend, wie ihn die kalte Luft eines Wintertages ausübt, wobei sich die Erregung zahlreicher Kältepunkte zu einer »schneidenden« Kälte summirt; nicht zu vergessen des »brennenden« Schmerzes, den eine im Winter an eine eisige Thürklinke geklebte Hand verursacht. Alrutz bestreitet allerdings, dass man sich an kaltem Metall »verbrennen« könne¹⁾. Indem nach ihm Hitzeempfindung durch gleichzeitige Reizung der peripherischen Kälte- und Wärmeorgane bedingt sei, leugnet er sowohl Wärme als auch Hitzeempfindung nach Anwendung kalter Reize. Durch Berührung kalten Metalls werde kein »brennender«, sondern »stechender« Schmerz empfunden, da zur brennenden Sensation eine Miterregung der Wärmepunkte nothwendig sei (S. 455).

II. Perceptionen auf Kältepunkten infolge von Temperaturreizen.

Wenn man auf einer an Temperaturempfindung baren Hautfläche (siehe das runde auf Temperaturreize anästhetische Feld in Fig. 1, V. W.) einen kalten Flächenreiz (Reizmittel: Blix'sches Rohr mit einer kreisrunden Reizfläche von $2\frac{1}{2}$ mm Durchmesser) so ausübt, dass aus der Nachbarschaft des psychroanästhetischen Feldes ein be-

¹⁾ Alrutz, Studien auf dem Gebiete der Temperatursinne II. Skand. Arch. f. Physiol. X. 1900. S. 350.

kannter Kältepunkt mit gereizt wird, so erscheint die ganze Fläche kalt. Eine intensivere flächenhafte Empfindung entsteht, wenn man zwei oder mehr Punkte in das Reizfeld bringt, wobei die erregten Kältepunkte ihre punktuelle Empfindung verlieren und in einer flächenhaften kalten Empfindung verschwinden. Reizte man mit der kalten Fläche so, dass die Kältepunkte außerhalb derselben zu liegen kamen, so wurde keinerlei Kälteempfindung erzeugt, trotzdem die Kältepunkte dem Rande der Reizfläche sehr nahe lagen. Es konnte noch öfter bemerkt werden, wie kälteindifferente Flächen bis dicht an kalt-empfindliche Punkte heranreichten.

Auf Reize von 0 bis -10° C. fand sich nie eine Vermehrung der deutlichen Kältepunkte. Ueber dem Biceps des linken Oberarms (V. D., siehe Fig. 2) erregten Reize von -13° C. überall Kälte, die Wärmepunkte reagierten mit kühlen Empfindungen. Trotz einer Ausdehnung der Kältesensation in Folge intensiverer Reizung über die ganze untersuchte Fläche (Radialfläche des linken Unterarms nahe an der Cubitalfurche, siehe Fig. 3) hat sich das Intensitätsverhältniss der Kältepunkte nicht in der Weise verschoben, dass die kühlen und kalten Punkte eisige Sensationen ausgelöst hätten.

Die folgenden Ausführungen stützen sich auf die sich hier anschließenden Versuche, in denen der Verfasser Versuchsperson gewesen ist (in anderen Versuchen ist diese durch den Anfangsbuchstaben ihres Namens gekennzeichnet).

1. Versuch.

Reizfläche: Beugeseite des linken Unterarmes, 1,7 cm von der Handwurzelfurche, siehe Fig. 4.

Es reagierten auf Reize von

18° C.	deutlich	50	Kältepunkte.
21°	>	50	>
24°	>	30	>
26°	>	16	>
29°	>	8	>
33°	>	5	>
38°	>	2	>

Die beiden intensivsten Punkte lösten auf 38° C. noch eisige Empfindungen aus. Die Kälte trat auf diesen Reiz nicht so blitzartig

auf, wie auf 18° C., sondern allmählicher. Sie verschwand bald wieder, um nach kurzem Intervall mit einer eisigen Sensation einzusetzen, was von einem leichten schmerzhaften Pressen oder Zerren begleitet war. Dabei war der Reizcylinder nur leicht aufgesetzt und wenig eingedrückt. Nach öfteren Stößen mit dem 38° C. warmen Heizrohre gegen den einen der beiden Punkte erfolgte stechender Schmerz, der sich mit der Zahl der Reize unangenehm steigerte. Indifferente Punkte der Nachbarschaft verhielten sich auf diese Reize ähnlich, jedoch war ihre Reaction träger und der Schmerz schwächer. Auf dem andern der beiden intensiven Punkte wurde der Reizcylinder stehen gelassen. Nach einiger Zeit folgte der Kälte stechender und pressender Schmerz. Eine Reizung der übrigen Kältepunkte mit einer Wärme von 41° C. löste auf fünf Punkten nach 1" die adäquate Empfindung aus. Diese war eine discontinuirliche, von Schmerz unterbrochene und zitternde Sensation. Durch tieferen Eindruck des Cylinders konnte der Schmerz aufgehoben werden. Auf Reize von 46° C. percipirten fast alle Kältepunkte pressenden Schmerz. Auf Wärme- und anderen kälteanästhetischen Punkten zeigte der Schmerz mehr stechende Qualität. Auf dem in der Figur rechts liegenden kälteempfindlichen Gebiete wurde außerdem überall diffuse Wärme wahrgenommen. Wärme- und Kältefelder schienen hier congruent zu liegen. Ganz anders die Kältefläche in der Figur links; hier erzeugte sanftes Abtasten keine Wärme, nur diffuse Kälte. Auf 49° C. reagirte der in der Figur oberste Kältepunkt der Mitte mit Schmerz, danach mit dauernder, zitternder oder schwirrender Kälte. Auch in der Mitte des linken Feldes erschien auf 56° C. eine ähnliche Sensation.

2. Versuch.

Reizfläche: Beugeseite des linken Unterarms, an der Medianlinie in der Nähe der Handwurzelfurche, siehe Fig. 5.

Der in der Figur starkgezeichnete Kältepunkt gab auf einen 31° C. warmen Reiz nach 8" Reizdauer Kälte; Wärme erschien nicht, Druck wurde wahrgenommen. Ob an der Erregung der kalten Empfindung der Druck des Reizcylinders irgend welchen Antheil nahm, konnte nicht ermittelt werden. Auf demselben Punkte wurde später ein Reiz mit einer glühenden Nadel applicirt, worauf nach ca. 2"

Kälte eintrat. Der Reiz wurde viermal mit gleichem Effecte wiederholt. Danach wurde die heiße Nadel eingestochen, ohne schmerzende Empfindungen auszulösen.

3. Versuch.

Reizfläche: Mitte des Daumenballens der linken Hand, siehe Fig. 6.

Auf diesem Felde lösten Reize von 26—31° C. an zahlreichen Stellen leichten zerrenden, pressenden Schmerz ohne Wärmesensation aus und nur auf einem Punkte undeutliche Kälte. Steigerung der Temperatur bis 40° C. erregte unklare Wärmeempfindung, dazu ausgebreitere und verstärkere Schmerzempfindung. Bei Erhöhung der Reize auf 50° C. wurden drei deutliche Wärmepunkte, die mittelsten in der Figur, in einem deutlichen Wärmefelde eruiert. Auf einen wiederholten Reiz mit einer Temperatur von 44° C. erschien auf den drei Punkten eine unzweifelhafte und schmerzfreie warme Sensation. Auf Reize von 53° C. trat über den drei Punkten ein neuer Wärmepunkt hervor, desgleichen auf 55° C. oben links in der Figur und bei 56° C. unten unter den drei zuerst entdeckten Punkten. Jeder andere Punkt der Fläche, auch die mit Reizen von Wasserleitungstemperatur constatirten Kältepunkte, schmerzten auf diese Reize. Auf einigen Kältepunkten erschien der Schmerz erst 12 bis 15" nach dem Reize; diesem Schmerze mangelte die Wärmecomponente. Der in der Figur □ bez. Kältepunkt percipirte deutliche Kälte auf 59° C. heiße Reize. Die Kälte war oft von Schmerz unterbrochen. Sie erschien gewöhnlich plötzlich und intensiv, um allmählich dem Schmerze Platz zu machen. Manchmal liefen beide Empfindungen parallel nebeneinander her. Besprochener Kältepunkt war mit einer diffus kühlen Empfindung schon beim ersten Absuchen des Feldes mit dem Wärmecylinder von 26—31° C. Wärme erkannt, aber wegen seiner diffusen Reaction anfangs vernachlässigt worden. Zwei Tage nach der ersten Untersuchung erregte ein Hitzereiz von 58° C. klare Kälte und zugleich brennenden Schmerz auf dem □ bez. Punkte der Figur. Beide, sowohl Kälte- als auch Schmerzcomponente, waren deutlich in der Empfindung zu unterscheiden. Nach Aufhören des Reizes dauerte die kalte Sensation noch kurze Zeit nach. Dieser

Reiz von 58° C. veranlasste brennend heiÙe Empfindungen auf den beiden benachbarten Kältepunkten unten links in der Figur, ebenso auf allen nicht qualitativen Punkten der Umgebung. Auf Hitze von 60° C. percipirten die drei zuerst ermittelten Wärmepunkte den Schmerz später als die oben erwähnten beiden benachbarten Kältepunkte unten links in der Figur. Die beiden \square bez. obersten Kältepunkte lösten bei 61° C. Kälte und Schmerz aus. Der mit einer Temperatur von $26\text{--}31^{\circ}$ C. entdeckte Kältepunkt reagirte auf 62° C. mit Kälte und Schmerz. Der Schmerz trat $1\frac{1}{2}$ " nach Aufsetzen der Cylinderspitze ein, die Kälte sofort. Die Felder zwischen den Punkten reagirten allesamt mit Schmerz, unterschieden sich jedoch in der Schnelligkeit der Reaction. Auf gewissen unbezeichneten Punkten des Reizfeldes vergingen bei sanftem Druck des Reizcylinders 2—3" Zeit, ehe Schmerz auftrat.

Das Einstechen einer spitzen Insectennadel erregte an allen Stellen Schmerz, der in kürzester Zeit appercipirt wurde. Viele Kältepunkte lösen an einer bestimmt zu treffenden Stelle der farbigen Marke intensive Kälte und Schmerz aus.

Alle Reize sind in dem Versuche, wie auch in den anderen, durch sanftes Aufsetzen der Spitze des Heizrohres ausgeführt worden, um Druckempfindungen so viel als möglich auszuschließen. Auffallend ist der in der Figur \square bez. Kältepunkt, da er auf adäquaten Reiz mit undeutlicher Kälteempfindung, ebenso auf Wärmereiz von $26\text{--}31^{\circ}$ C. nur mit einer diffusen adäquaten Empfindung, dagegen auf Hitze von 59° C. mit unzweifelhafter Kälte reagirte. Bemerkenswerth ist ferner, dass auf diesem Punkte bei einem Reize von 62° C. die Kälte sofort erschien und sich erst nach $1\frac{1}{2}$ " Reizdauer Schmerz hinzugesellte. Außerdem ist merkwürdig, dass auf Kältepunkten nach sehr heißen Reizen die Reactionszeit des Schmerzes eine so verschiedene ist, indem derselbe entweder sofort oder manchmal erst nach relativ sehr langer Zeit (12—15") ausgelöst wird.

4. Versuch.

Reizfläche: Dorsalfläche des linken Unterarms, distale Seite, 1,2 cm von der Handwurzelfurche entfernt, siehe Fig. 7.

Mit Wärmereizen von $36\text{--}41^{\circ}$ C. wurden auf obigem Felde zahl-

reiche Kältepunkte constatirt und zwar, wie sich später ergab, ca. der dritte Theil aller auf der Reizfläche mit adäquaten Reizen nachzuweisenden Punkte. Die durch Wärmeapplication ausgelöste Kälteempfindung unterschied sich von der durch kalte Reize veranlassten durch eine viel geringere Empfindungsintensität. Nach den warmen wurden kalte Reize ausgeübt, welche die Ergebnisse bestätigten. Hitzereize von 53—56° C. erregten auf den Kältepunkten zunächst heisse und pressende Schmerzempfindungen, danach erst Kälte. Die heisse Empfindung wuchs an Intensität, brach plötzlich ab, um der Kälte Platz zu machen, erschien abermals, um wiederum mit der Kälte zu wechseln u. s. f. Die kalten Perceptionen trugen einen vibrirenden oder schwirrenden Charakter, gleich als wenn Schwingungen in dem Hautpunkte stattfänden. Die Nachbarschaft der qualitativen Punkte reagirte mit denselben heißen, zerrenden oder pressenden Schmerzempfindungen, aber ohne Kälte.

5. Versuch.

Reizfläche: Dorsalseite des linken Unterarms, 4,8 cm von der Handwurzelfläche, siehe Fig. 8. (In dieser Figur sind, wie schon in Fig. 7, durch schräge Striche die Haare angegeben, welche vor dem Versuche kurz geschnitten worden waren. Von den anderen Hautstücken sind sie meist rasirt worden.)

Auf genanntem Felde wurden warme Reize von 40—44° C. applicirt, wodurch unter anderem 7 kühle Punkte ermittelt wurden. Alle wurden durch adäquate Reize, und zwar 5 als deutliche, 2 als diffuse Kältepunkte bestätigt. Die warmen Applicationen geschahen in der Weise, dass die Haut nur leicht berührt wurde. Danach erschien die kühle Sensation nicht sofort, sondern erst nach einer leichten schmerzhaften Empfindung, die meist von Wärme begleitet war. Uebte man stoßweise Reizung aus, so reagirten die Punkte rascher, oft sogar mit kalten Sensationen. Daraus ist der Einfluss zu ersehen, den der Druck an der Auslösung der Empfindung nimmt. Noch eine andere Cautele ist bei Wärmeapplicationen zu berücksichtigen. Außer den 7 erwähnten Punkten wurden auf obigen Reiz von 40—44° C. 8 Punkte als undeutliche Wärmepunkte vorgemerkt, da sie eine diffuse Wärmeempfindung auslösten. Eine schmerzhaft, bren-

nend heiße Sensation der Punkte auf 50° C. warme Reize schien Zweifel auszuschließen; und doch wurden durch den Kältecyylinder diese Punkte als deutlich kälteempfindlich erkannt. Darum ist es ein unsicheres Experiment, mit dem Wärmecylinder alle Wärmepunkte zu ermitteln; auch kalte Punkte können auf gewisse Wärmereize eine von Wärme nicht unterscheidbare Empfindung auslösen.

6. Versuch.

Reizfläche: Beugeseite des linken Unterarms, rechts von der Mittellinie, direct an der Handwurzelfurche, siehe Fig. 9.

Hier wurden zunächst die Kältepunkte durch adäquate Reize festgestellt. Die ermittelten Punkte lösten auf Reize von 30—31° C. eine unklare, schwirrende Kälteempfindung aus; auf 33° C. theils Wärme, theils diffuse Kälteempfindung. Zahlreiche mit derselben Temperatur gereizte indifferente Punkte an der Grenze des Reizfeldes percipirten nur Druck. Wärmeapplicationen von 36° C. ergaben entweder Wärme- oder kühle Empfindungen auf den Kältepunkten und temperaturlose Empfindungen auf nicht thermischen Punkten der Feldgrenze. (Die Kältepunkte, die auf Reize von 36° C. Wärme empfanden, sind in der Figur umringt.) Applicationen von 40—47° C. Wärme beantworteten alle Kältepunkte mit warmen Empfindungen, besonders empfanden diejenigen im linken Reizfelde der Figur deutliche Wärme. Auf etlichen Punkten ging dieselbe allmählich in pressenden Schmerz über, der auf zwei Punkten von nicht ganz klarer Kältesensation begleitet war. Die punktfreien Stellen des Feldes zeigten sich gut wärmeempfindlich, doch ließ sich die Empfindung nicht in Punkten localisiren.

Die gegensätzlichen Sensationen der Kältepunkte könnten auf nachbarschaftliche Lagerung der temperaturempfindlichen Punkte zurückgeführt werden; befremdend bleibt aber, dass auf einem oberen, einem Druckpunkte dicht anliegenden Kältepunkte (siehe Fig. 9) die Wärme plötzlich nach dem Reize eintrat, während sie auf dem dicht daneben liegenden Druckpunkte mit einer diffusen Sensation begann und erst nach und nach, in ca. 3—4", zur Deutlichkeit answoll.

Nach diesen Versuchen fallen die sog. paradoxen Kältepunkte

mit den ordinären zusammen, was Alrutz¹⁾ entgegen v. Frey²⁾ zuerst hervorhob. Entgegen Alrutz beweisen aber die Versuche ferner, dass auf Kältepunkten, wie zuerst Kiesow³⁾ bemerkte, je nach der Einwirkung und Intensität des Wärmereizes und nach dem Localzeichen des Punktes sowohl warme als auch heiße, sowohl brennende als pressende, zerrende Schmerzempfindungen auszulösen sind. Alrutz behauptet dagegen, dass er auf den beschriebenen Punkten sogar bei Reizen von 100° C. keinen Wärmeschmerz unterschied. Im Anschluss hieran theile ich folgende Beobachtungen mit.

7. Versuch.

Reizfläche: Radialfläche des linken Unterarms, proximale Seite, siehe Fig. 3.

Momentaner Druck eines 33° C. warmen Cylinders veranlasste auf zwei Kältepunkten brennende, unerträglich heiße Sensationen, so dass man abwehren wollte. Reize von 36° C. lieferten die gleiche Erscheinung. Wenn man den 44° C. warmen Cylinder über die Kältepunkte hinführte, so erregte das brennend heiße Empfindungen. In den temperaturanästhetischen Feldern musste man erst ein paar Sekunden tasten, ehe ähnliche Erscheinungen folgten. Drei Tage nach diesem Versuche erzeugten Kältepunkte auf Reize von 40° C. warme Empfindungen, die Druckpunkte jedoch nur Druck, auch auf 49° C. Wärmeapplication. Zwei Kältepunkte lösten auf Reize von 50° C. deutlich Wärme, die anderen Schmerz aus, dessen Qualität von derjenigen benachbarter indifferenter Punkte kaum abstach. Auf temperaturanästhetischen Punkten konnte die Schmerzempfindung niemals in eine Schmerz- und Wärmecomponente geschieden werden. Heiße Reize von 53° C. erregten überall, aber nicht immer momentan Schmerz. Die Reactionszeiten der Kältepunkte waren sehr verschie-

1) Desgleichen Thunberg, Untersuchungen über die relative Tiefenlage der Kälte, Wärme und Schmerz percipirenden Nervenenden in der Haut und über das Verhältniss der Kältenervenenden gegenüber Wärmereizen. Skand. Arch. f. Physiol., XI. 1901. S. 422.

2) v. Frey, Bericht der math.-phys. Classe der K. S. Ges. d. Wiss. zu Leipzig. Beiträge zur Sinnesphysiologie der Haut. 3. Mittheilung, S. 172.

3) Friedrich Kiesow, Untersuchungen über Temperaturempfindungen. Philos. Studien, XI. 1895. S. 145.

den; einige appercipirten sofort, andere erst nach Secunden den Schmerz. Die Punkte mit schneller Reaction lösten stets brennend heiße Empfindungen aus.

Die Kälteintensität nach heißen Reizen nimmt nach Alrutz parallel mit dem Reizgrade zu, auch sollen alle Kältepunkte bei genügender Reizstärke zur Auslösung adäquater Empfindungen erregt werden können. Aus den geschilderten Versuchen ist ersichtlich, dass man mit Reiztemperaturen von 30° C. selten deutlich kalte, meist kühle Empfindungen, und diese auch nicht auf allen Kältepunkten erzielt; dass man dagegen auf Reize von ca. 45° C. Wärme auf zahlreichen Kältepunkten deutlich Kälteempfindung, verbunden mit Wärme oder Schmerz, auslösen kann. Dass die Kälteintensität auf allen Punkten, auf denen Energien bei mehr als 50° C. ausgelöst werden, gesteigert würde, bestätigen obige Experimente im allgemeinen nicht; eher wird die Kältereactionszeit abgekürzt; doch entgeht mir hier die Kenntniss der Reaction kaltempfindlicher Punkte auf Hitzereize von über 66° C., die Alrutz (sogar bis 100° C.) angewandt hat. Die andere Meinung desselben Forschers, dass bei genügend hohen Reizen auf jedem Kältepunkte die adäquate Empfindung erzielt werden könne, erhält eine Stütze dadurch, dass nach dem 3. Versuche ein diffus kühler Punkt auf Hitze deutlich Kälte appercipirte. Daraus erhellt, dass bei der sogenannten paradoxen Kälteempfindung (v. Frey) eine Intensitätsgliederung in etwa drei Stufen nicht mehr festgehalten werden kann, und es muss bezweifelt werden, ob es die Intermittenz der durch Hitzereize ausgelösten discontinuirlichen Kälteempfindung zulässt, sie nach Intensitäten zu scheiden.

III. Schwellenbestimmung der paradoxen Kälteempfindung.

Was die untere Reizschwelle der sogenannten paradoxen Kälteempfindung anbetrifft, so nimmt sie v. Frey bei 45°, in Ausnahmefällen bei 40° C. an¹⁾. Alrutz verlegt sie noch tiefer²⁾ und Thunberg am tiefsten, auf 35—32° C., wobei er sich allerdings der Klarheit

¹⁾ v. Frey, a. a. O. 3. Mittheilung, S. 172.

²⁾ Alrutz, Studien auf dem Gebiete der Temperatursinne I. Skand. Arch. f. Physiol., VII, 1897. S. 334.

der erwähnten Empfindung nicht recht bewusst geworden ist¹⁾. Wie oben beschrieben, erschien die besprochene Sensation auch auf Reize unter 31° C. Man könnte eine untere Reizschwelle für sie höchstens in dem Sinne aufstellen, dass alle oder fast alle Kältepunkte auf Wärmeapplication mit Kälte reagiren. Je tiefer die Schwelle liegt, desto mehr verliert die Empfindung ihren paradoxen Charakter. Das dauernde Merkmal bleibt der discontinuirliche Verlauf. Reize in der Nähe der Blut- und Hauttemperatur erregen keine reinen und deutlichen, sondern vibrirende, oft sehr diffuse Kälteempfindungen von relativ langer Reactionszeit auf den meisten Punkten. Etwa innerhalb der Temperaturgrenzen 20—40° C. eine für alle Kältepunkte gültige Empfindung gleich 0 anzunehmen, ist nicht möglich, sondern es scheint manchmal der geringste Abstand der Reiztemperatur von der Eigenwärme des gereizten Organs zu genügen, um eine Kälteempfindung zur Auslösung zu bringen. Bezüglich der oberen Grenze der Reizbarkeit der Kältepunkte bezweifelt Thunberg, dass sie besonders hoch liegen könne, da die Nervensubstanz schon bei 50° absterbe und deshalb die Kältenervenenden, die nach ihm die paradoxe Kälteempfindung allein vermitteln, schon vorher ihre Reizbarkeit für Temperatursteigerung verlieren müssten. Dieser Darlegung widersprechen die Beobachtungen. Reize von 66° lösen Kälteenergien aus, und Alrutz erzielte gleiche Resultate auf heiße Applicationen bis 100° C.

IV. Kälteempfindungen nach mechanischen Reizen.

Die mechanische Reizung der Temperaturpunkte hat zuerst Goldscheider²⁾ beschrieben und zur Auslösung der Temperaturempfindungen leichte Stöße auf die gespannte Hautfläche für das geeignetste gehalten. Die Spannung der Haut habe ich vermieden, da sonst die Druckwirkung mehr in die Breite als in die Tiefe geht, wie schon v. Frey betonte. Mit diesem Forscher habe ich stets feine Druckhaare als Reizmittel benutzt und zwar meist Frauenhaare, da dieselben die kleinste Querschnittfläche besitzen und distincte Reize gestatten. Auf den meisten Kältepunkten, nicht auf allen, kann man

1) Thunberg, a. a. O. S. 425 f.

2) Goldscheider, a. a. O. S. 118.

mittels solcher Frey'scher Druckhaare deutlich Kälte auslösen. Es zeigten sich folgende Erscheinungen.

1. Versuch.

Reizfläche: Mitte der Außenfläche des rechten Oberarms, ca. 6 cm von der Furche des Cubitalgelenks, siehe Fig. 10. V. K.

Der in der Figur mit \square bez. Kältepunkt reagierte auf stoßweise Reize eines Frey'schen Druckhaares von 177,5 mg Maximaldruck zunächst mit einem sehr unangenehmen Kitzelgefühl, bald aber mit deutlicher Kälte. Der \square bez. Punkt löste auf gleichen Reiz deutlich Kälte ohne Kitzelempfindung aus, desgleichen der \square bez. Punkt. Der \square bez. Punkt percipierte auf 110,5 mg Haardruck deutliche Kälte ohne eine Spur von Druck; auf 159,5 mg Druckreiz reagierte er mit leisem Kitzel, aber deutlicher Kälte; auf 177,5 mg Druck mit vermehrtem Kitzelgefühl und Kälte. Die Localisation der auf dem Punkte gewonnenen druckfreien Kälteempfindung durch die Versuchsperson war eine sehr mangelhafte.

2. Versuch.

Reizfeld: Mitte des Biceps, rechter Oberarm, siehe Fig. 2. V. D.

Auf der Mitte des Biceps, auf einer Reizfläche von reichlich $\frac{1}{4}$ cm², erregte ein Haardruck von 60 mg auf zwei Kältepunkten kühle, druckfreie Sensationen. Die Localisation derselben durch die Versuchsperson geschah äußerst mangelhaft. Das Verfahren, eine Druckschwelle auf solchen scheinbar anästhetischen Punkten zu ermitteln, wurde dadurch sehr beeinflusst, dass sich ein dem gesteigerten Drucke an Größe proportional zunehmender Hautkegel bildete, der Spannungsempfindungen verursachte, die sich schwer eliminieren ließen.

Durch diese Beobachtungen wird die Differenz der Druck- und Kältepunkte dargelegt; demnach müssen auch deren reizumsetzende Organe verschieden sein.

Das Reizmittel folgender Versuche bestand in fein gespitzten, gehärteten Stahlnadeln von ca. $\frac{1}{4}$ mm größtem Durchmesser.

3. Versuch.

Reizfläche siehe S. 441, Fig. 4.

Auf leichte Stichreize antworteten kalte Punkte blitzartig mit

Kälte, die 7 stark gezeichneten percipirten auf Einstechen intensive Kälte. Die Stiche waren oft sehr schmerzhaft, es gelang jedoch durch vorsichtiges Abtasten der farbigen Marke, womit der Punkt auf der Haut bezeichnet war, eine analgetische, Kälte percipirende Stelle zu finden. Auf dem □ bez. Kältepunkte wurde die Nadel 1 mm tief eingestochen; erst darauf gesellte sich zur kalten Sensation ein geringer pressender Schmerz.

4. Versuch.

Auf dem Reizfelde der S. 444 erwähnten Fig. 7 wurden Nadelstiche applicirt. Auf dem ▣ bez. Kältepunkte begleitete deutliche Kälte das Einstechen, Druck kam nicht vor. Allmählich traten, durch den Hautkegel veranlasst, leise Spannungsempfindungen auf. Nach 2 mm Tiefe des Reizes begann der Schmerz. Auf dem ▢ bez. Kältepunkte waren die Erscheinungen ganz dieselben. Auf dem □ bez. Kältepunkte ging dem langsamen Einstechen der Nadel deutlich zunehmende Kälte parallel. Erst nach 3 mm tiefem Stich wurde pressender Schmerz bemerkt.

Durch die obigen Untersuchungen wird die Analgesie der Kälte auslösenden Organe von neuem dargethan.

V. Kälteempfindungen nach faradischen Reizen.

Die Auslösung von kalten Empfindungen durch faradische Application ist von den Entdeckern der Punktqualitäten der Haut, Blix und Goldscheider, zuerst beschrieben worden. Neuerdings wandten, außer Kiesow, v. Frey und Alrutz unipolare Reizung an. Die von v. Frey beschriebene großflächige Elektrode vermied ich und stellte eine Leitung durch die Erde her. Als Reizelektrode diente der Kopf einer sehr feinen Insectennadel. Die Stromquelle bestand in einem Bleiaccumulator (2 bez. 4 Volt Sp.). In den äußeren Stromkreis war außer einem Schlittenapparat ein Widerstand eingeschaltet, der durch eine Quecksilberwanne sehr verändert werden konnte. Der Einfluss des Druckes der Reizelektrode wurde durch sanftes Hin- und Herführen derselben über die Reizfläche beschränkt. Mit Rücksichtnahme auf diese Fehlerquelle wurden alle vier Punktqualitäten in der Haut

sicher nachgewiesen. Doch entsprach die ausgelöste Kälteempfindung nicht derjenigen, die adäquate Reize erregten; sie war keine kontinuierliche, auch wenn das Prickeln nachließ nicht, sondern eine undeutlich unterbrochene, leise zitternde Sensation. Es ging auch nicht an, alle Kältepunkte zur Auslösung ihrer Empfindung zu veranlassen. Auf der nicht befeuchteten Haut (Radialseite des Unterarms) konnte der Schmerz durch tiefes Eindrücken der Nadelelektrode vermindert und vermieden, die Kälte oft gesteigert werden. Zu letzterer Erscheinung trägt wahrscheinlich außer der größeren Reiztiefe der Druck sein Theil bei, während erstere Thatsache aus dem vermindernden Widerstande resultirt. Unter den in Fig. 5 markirten Kältepunkten (deren Reizfeld S. 442 beschrieben ist) konnten einige minder kaltempfindliche Punkte durch faradische Reizung zu deutlicher Perception gebracht werden.

Dass die Faradisation mit einem elektrolytischen Prozesse innerhalb der Gewebeflüssigkeiten verbunden ist, hat letzthin Alrutz nachgewiesen¹⁾. Er sucht die Temperaturempfindungen daraus zu erklären. Die Elektrolyse kann ich bestätigen; doch wird sich ein Einfluss derselben speciell auf die Entstehung der Temperaturempfindungen schwer nachweisen lassen, da sich der Process auch auf Schmerz-, Druck- und indifferenten Punkten abspielt.

VI. Zur Physiologie der sogenannten paradoxen Kälteempfindung.

Die physiologische Erklärung der sogenannten paradoxen Kälteempfindung ist nach den betreffenden Interpreten eine sehr verschiedene. Während Thunberg die weit unten auf der Temperaturscala liegende Grenze für das Auftreten dieser Empfindung als Beweis dafür nimmt, dass das Nervenendorgan und nicht der undifferenzirte Nervenfasern gereizt werde, sagt Alrutz gerade das Gegentheil, nämlich dass durch inadäquate Reize nicht die Endorgane, sondern im Sinne Goldscheider's die Nerven afficirt würden. Thunberg stützt seine Theorie auf die Frey'sche Hypothese von der oberflächlichen Lagerung der Schmerznervenenden und auf die Behauptung, dass auf Wärmereizung eine von jeder Schmerzempfindung freie Kälte-

¹⁾ Alrutz, Studien etc. I. S. 332.

empfindung erhalten werden könnte. Man erlaube mir die wörtliche Anführung der Stelle. Thunberg schreibt: »Da nun die Schmerznerven noch oberflächlicher als die Kältenerven endigen, und da kein Grund zur Annahme vorliegt, dass diese letzteren eine spezifische Reizbarkeit für hohe Temperaturen oder erstere eine verminderte solche besitzen, so müsste ein auf die Hautfläche applicirter Reiz, der ja immer kräftig auf die oberflächlichen Schichten wirkt, auch in noch höherem Grade die Schmerznerven gereizt haben, wenn er überhaupt als ein allgemeines Reizmittel wirkt. Da aber die dadurch hervorgerufene Kältesensation durchaus von Schmerz frei ist, muss man daraus schließen, dass nicht der Nerv, sondern das Kälteendorgan gereizt ist«¹⁾. Die Thunberg'sche Annahme einer schmerzfreien Kältesensation nach Wärmereizung bestätigen die angeführten Versuche nicht; jedoch lassen sich dieselben nicht ohne weiteres mit den Thunberg'schen vergleichen, da dieser mit verschiedenflächigen (1—4 cm² großen) und verschieden dicken Silberlamellen, die im Wasserbade erwärmt wurden, flächenhafte Reize, ich dagegen in der Hauptsache punktuelle ausübte. Die Sensationen, die ich erhielt, verliefen intermittirend neben schmerzhaften Qualitäten; auch gelang es mir nie, auf Wärmereize ähnlich continuirliche und von anderen Perceptionen freie Kälteempfindungen zu erhalten, wie sie z. B. Reize von 15° C. auf kalten Punkten auslösen. Glaubhaft erscheint mir, dass durch so heiße Reize, wie sie 50° C. und darüber darstellen, und wie sie Thunberg zur Entstehung einer paradoxen Kälteempfindung für nöthig hält, nicht bloß das Endorgan, dessen Projection der gereizte Hautpunkt bildet, erregt wird, sondern auch die nervösen Organe der Nachbarschaft, desgleichen der dazugehörige Nervenfaden. In der nun ausgelösten Empfindungssumme treten je nach dem Angriff des Reizes auf die verschiedenen nervösen Gebilde verschiedene Sensationen in den Vordergrund. Dass aber nach einiger Zeit die Kälteempfindung vor allen anderen appercipirt wird, ist deswegen nicht wunderlich, weil das reizempfangende Organ dieser Empfindung den Hauptangriffspunkt des Reizes bildet. Ferner dauert die Kältesensation vor anderen Empfindungen deswegen an, weil ihre erregbaren Organe gegen eine Ermüdung viel widerstandsfähiger sind, als

¹⁾ Thunberg, a. a. O. S. 423.

z. B. die wärmeempfindlichen Gebilde. Dass endlich die schmerzhaft durch die Kälteperception zeitweise unterdrückt werden kann, findet auch bei mechanischer Reizung der Kältepunkte, z. B. nach Nadelstichen, statt. Die Uebertragung einer Wärmeenergie bis 100° C. (Alrutz) auf die Haut muss einem directen Nervenreize nahe kommen, die wärmeleitende Fähigkeit der Gewebe und Flüssigkeiten der Hautschichten kommt wenig noch in Betracht. Thunberg schränkt seine Erklärung für solche intensive Reize auch ein, indem er eine Reizung des Nervenfadens offen lässt.

So paradox es ist, wenn auf hoch temperirte Reize eine kalte Empfindung folgt, so paradox verläuft auch die chemische Wärmeregulation in der Haut. Der Warmblüter reagirt »auf Abkühlung der Körperoberfläche mit gesteigerten Verbrennungsintensitäten im Innern; umgekehrt auf Erwärmung der Oberfläche mit herabgesetzter Verbrennung«¹⁾. Ein derartiges gegensätzliches Verhalten der Gefäße gegen äußere Temperatureinflüsse muss auch gegen die für objective Reize zum Theil sehr empfindlichen kältepercipirenden Organe wirksam sein, so dass auch innere Reize Wirkungen ausüben können, die sich von solchen durch äußere Energien veranlassten nicht unterscheiden lassen. Als reizauslösender Factor käme der Blutdruck in Betracht.

B. Wärmepunkte.

I. Qualität und Intensität der Wärmeempfindung.

Wärmepunkte unterscheiden sich von den auf adäquate Reize mit scharf umgrenzten Empfindungen schnell reagirenden Kältepunkten durch allmähliches Anwachsen ihrer Empfindung auf Wärmereize; durch Ausstrahlung derselben in ein größeres Feld, sodass die Empfindung einen mehr oder weniger flächenhaften Charakter annimmt; durch schnell erlöschende Perceptionsfähigkeit auf inadäquate Reize; durch eintretende Hyperästhesie des gereizten Punktes sammt Umgebung bei fortgesetzter Reizung, wobei das Feld bald hyperämisch wird und auch an wärmeindifferenten Punkten warme Sensationen

¹⁾ Krehl und Soetbeer, Untersuchungen über die Wärmeökonomie der poikilothermen Wirbelthiere. Pfl. Arch. Bd. 77. 1899.

auslöst. Dieser Zustand tritt mit einer Schwellung und Röthung der Reizfläche auf und macht die Untersuchung aussichtslos. Auf schwachen Druck können dann Wärmereactionen auf allen Punkten des Feldes erhalten werden, und Nadelstiche wirken überall schmerzhaft. Genannte Merkmale der Wärmepunkte erschweren ihren exacten Nachweis; und da nur deutliche Punkte markirt wurden, musste ihre Zahl hinter der der Kältepunkte zurückbleiben, woraus nicht ohne weiteres auf eine geringere Zahl der Wärme- im Verhältniss zu den Kältepunkten geschlossen werden darf. Hierbei fällt noch ins Gewicht, dass auf warme Applicationen auch Kältepunkte eine von Wärme schwer unterscheidbare Empfindung zu liefern vermögen. Thunberg bemerkt, dass die durch Wärmereizung bewirkte Reizung der Kälteendorgane, die Ausnahme abgerechnet, gleichzeitig mit einer starken Wärmeempfindung entsteht¹⁾.

Während unter den Kälteempfindungen die drei Intensitäten kühl, kalt und eisig bequem gesondert werden können, ergeben sich für Wärmesensationen nur die beiden Intensitäten warm und heiß, welch letztere noch strittig ist, da durch hochgradige Temperaturreize auch auf wärmefreien Hautstellen brennend heiße Empfindungen ausgelöst werden können; jedoch sind diese letzteren Sensationen je nach dem Grade des Reizes stets mit schwachem oder starkem Schmerz verbunden, dem sogenannten Wärmeschmerz (Goldscheider), der auf Wärmepunkten später eintritt, so dass auf ihnen vorher eine heiße, schmerzfreie Qualität wahrgenommen werden kann. Jedenfalls tritt aus der auf Wärmepunkten ausgelösten heißen Sensation die Wärme-componente stark in den Vordergrund; das fehlt der Empfindung auf temperaturanästhetischen Stellen. Intensive calorische Reize lösen auf jedem beliebigen Hautpunkte Schmerz von ununterscheidbarer Qualität aus.

Alrutz nennt Heiß eine Empfindung sui generis, eine Auffassung, die schon Thunberg²⁾ zu weit geht. Nach Alrutz beginnt die heiße Sensation bei 40° C.; das kann ich nicht bestätigen, wie die Folge lehren wird. Er nennt Heiß ausschließlich eine Empfindung, die bei gleichzeitiger Erregung der Kälte- und Wärmenerven ent-

¹⁾ Thunberg, a. a. O. S. 431.

²⁾ Thunberg, a. a. O. S. 416, Anm.

steht. Dem widersprechen die gegensätzlichen Eigenschaften der beiden Temperaturempfindungen, vor allem ihre verschiedenen Reaktionszeiten. Man kann kalte Empfindungen blitzartig durch den Reiz ausgelöst sehen, woran auch die gleichzeitige Erregung eines Wärmepunktes nichts ändert. Außerdem ist die Nervenleitung einer heißen Sensation trotz ihrer Reizintensität eine relativ träge, weshalb wir uns gewöhnlich schon verbrannt haben, ehe wir die Nervenerregung percipiren.

Es gelang mir einmal die seltene Beobachtung der Congruenz eines Kälte- und Wärmepunktes für objectiven Reiz. Die Stelle lag auf der Mitte des Biceps des linken Oberarms (s. Fig. 2. *V. D.* Der Punkt ist umringt). Hierauf lösten Temperatureize von 15° C. tropfige, intensive Kälteempfindung, calorische Reize von 33° C. mit demselben Reizinstrumente deutlich anwachsende Wärme aus, die, nachdem sie auf der Höhe angelangt war, flächenhaft ausstrahlte. Eine nachfolgende vibrirende (paradoxe) Kälteempfindung war auch auf intensivere Reize nicht zu constatiren. Da man annehmen kann, dass durch die Reizenergien von über 33° C. beide temperaturempfindliche Organe irritirt worden sind, ohne Hitzeempfindungen auszulösen, ist eine Mischung beider Temperaturqualitäten zu einer heißen Sensation ausgeschlossen.

II. Perceptionen auf Wärmepunkten nach Temperatureizen.

Welche Temperatureize sich zur Auslösung deutlicher Wärme-perceptionen am besten eignen, ist sehr umstritten. Einige halten Wärmeapplicationen in der Nähe der Bluttemperatur für geeignet; Alrutz gibt $45-50^{\circ}$ C. als dienlichste Reiztemperatur an. Auf der Mitte meines linken Daumenballens (s. Fig. 6) traten Wärmepunkte erst nach Reizen von 50° C. und mehr deutlich hervor, und Wärmefelder nach gleichtemperirten Flächenreizen. Auf der Außenfläche des rechten Oberarms (*V. K.* s. Fig. 10) erschienen auf Applicationen von 23° C. schon zwei Wärmepunkte mit deutlich warmen Perceptionen. Fig. 11 (Reizfeld auf der Volarfläche des linken Unterarms, links von der Medianlinie, 14 cm von der Handwurzelfurche) weist einen Wärmepunkt (doppelt umringt in der Fig.) auf, der auf einen Reiz von 16° C. mit einer klaren Wärmesensation erwiderte. Inwie-

Fig. 3.

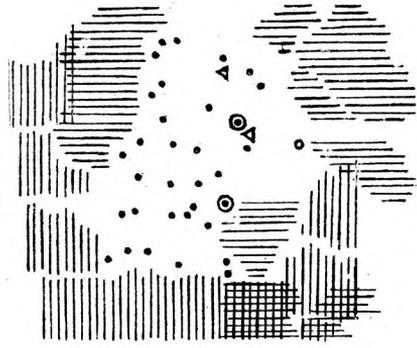


Fig. 1.



Fig. 4.

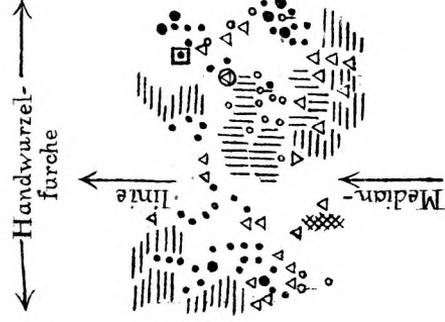


Fig. 2.

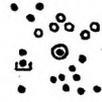


Fig. 10.

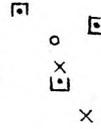


Fig. 7.

Handwurzel furche



Fig. 8.

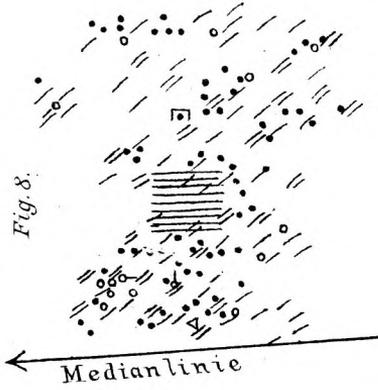


Fig. 12.

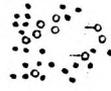


Fig. 14.



Fig. 5.

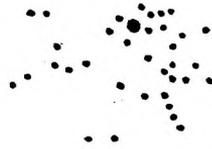


Fig. 6.

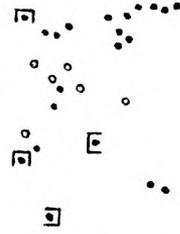
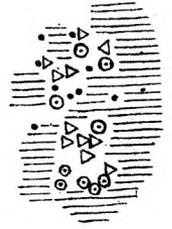


Fig. 9.



Haar kurz geschnitten.
Insertionsstelle unten.

Kältepunkt.

Wärmepunkt.

Schmerzpunkt.

Analgetischer Punkt.

Druckpunkt.

Fig. 15.

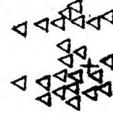
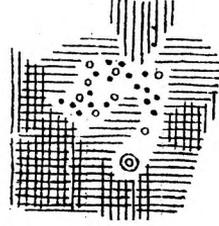


Fig. 11.



Kältefeld.

Wärmefeld.

Schmerzfeld.

weit vielleicht der Druck des Cylinders dazu mitgewirkt haben könnte, ließ sich nicht nachweisen. Die Wärme wurde nach relativ langer Reactionszeit percipirt, dauerte aber dann mit dem Reize an. In dem oben geschilderten Versuche auf der Hautoberfläche über dem Biceps (s. Fig. 2. V. D.) unterschieden sich die Wärme- von den Kältepunkten dadurch, dass sie auf -13° C. nur kühle Empfindungen percipirten, die schwächsten des ganzen Feldes.

Trotzdem es gelingt, auf 16° C. z. B. unzweifelhafte Wärme auszulösen, wird man das keine paradoxe Sensation nennen können, da diese Empfindungen mit den übrigen Wärmeprecipitationen im Zusammenhange bleiben, insofern sie auf der untersten Stufe der Wärmereizscala liegen, wo nur selten Wärmeprecipitationen erfolgen, während auf der geeignetsten Wärmereizschwelle von etwas unter und über 40° C. die meisten deutlichen Wärmesensationen erhalten werden können. Alrutz reizte mit bis auf -70° C. abgekühlten Metallspitzen, ohne paradoxe Wärmeempfindung nachweisen zu können.

Es ist üblich, constatirte qualitative Hautpunkte zur sicheren Wiederauffindung mit Silbernitratlösung zu ätzen. Das geschah auch nach der ersten Untersuchung auf dem Reizfelde der Fig. 8 (S. 445 beschrieben). Tags darauf zeigte sich die Fläche leicht geröthet und hyperästhetisch. Es wurden die Kältepunkte mit Reizen von 15° C. controllirt und bestätigt. Wie ich schon früher in Erfahrung gebracht hatte, werden die Kältepunkte durch Höllensteinätzung in ihrer Empfindlichkeit nicht gestört. Sie fanden sich sogar einmal mit derselben Perceptionsklarheit wieder, mit der sie auf die ersten Reize reagirten, als eine etwas zu starke Aetzung die Epidermis auf ihnen zerstört hatte. Ganz anderes Verhalten offenbarten die Wärmepunkte. In genanntem Felde lösten sie auf 15° C.-Reize theils zerrenden und pressenden, theils intensiv heißen Schmerz aus. Auf den Wärmepunkten im Felde oben links traten entweder sofort nach dem Reiz oder innerhalb der schmerzenden Sensationen kalte Empfindungen hinzu, die allmählich verschwanden, und an deren Stelle die adäquate Empfindung trat. Wahrscheinlich verliefen da Kältenerven dicht neben den wärmeempfindlichen. Infolge des störenden Einflusses der Aetzung auf die Empfindlichkeit der Nerven ist daher fernerhin eine Markirung der Punkte durch Anilintinten vorgezogen worden.

III. Wärmeempfindungen nach mechanischen Reizen.

Analog den Kältepunkten sind Wärmepunkte durch Druck erregbar; doch hat Alrutz¹⁾ recht, wenn er die Entdeckung der Wärmepunkte durch mechanische Reize für schwierig erklärt. Auf der Mitte der Außenfläche des rechten Oberarms (s. Fig. 10. V. K.) löste der Druck eines Frey'schen Reizhaares von 257 mg Maximaldruck auf dem in der Figur durch einen Ring dargestellten Punkte deutlich Wärme aus. Desgleichen erregte ein leichter Druck mit einem Zahnstocher bei derselben Versuchsperson auf der Außenseite des rechten Oberarms (ca. 11 cm vom Ellbogengelenk, s. Fig. 12) deutliche Wärmeperceptionen auf den mit δ bez. Wärmepunkten. Die Punkte wurden später durch Temperaturreize von $22\frac{1}{2}^{\circ}$ C. als Wärmepunkte bestätigt.

Ebenso selten wie auf Druckreize und ebenfalls meist unsicher reagieren Wärmepunkte auf Stiche. Es ist möglich, dass die oft ausgelöste Schmerzempfindung in solchen Fällen die Wärmeappercption verhindert. Auf Stichreize erfolgte eine unzweifelhafte Wärmeauslösung auf dem Reizfelde der Fig. 4 (S. 441). Drei in der Figur mit φ bez. Wärmepunkte wurden zu einer heißen Perception mit deutlicher Wärmecomponente bewogen. Die Nadel war ein wenig eingestochen worden. Die anderen Punkte der Wärmequalität zeigten nur unklare Empfindungen. Fig. 7 bezeichnet eine Reizfläche (S. 444), deren unterster sehr klarer Wärmepunkt auf Einstechen mit einer wohlthuenden Wärme ohne jede Beimischung von Schmerz reagierte. Erst das Eindringen der Nadel bis über 1 mm schmerzte.

IV. Wärmeempfindungen nach faradischen Reizen.

Faradische Applicationen eignen sich ebensowenig wie mechanische zur Auslösung deutlicher Wärmeempfindungen. Selten wurde z. B. auf der Hautoberfläche der Arme und Hände (V. Brn.) unzweifelhafte Wärme percipirt. Auch Alrutz constatirt²⁾, dass die Wärmepunkte dem elektrischen Reize gegenüber weniger irradiiren als dem

¹⁾ Alrutz, Studien etc. I. A. a. O. S. 327.

²⁾ desgl. S. 331.

thermischen. Ihm fiel aber die elektrolytische Erscheinung dort auf, wo der Strom applicirt worden war (siehe unten).

Durch tiefen Eindruck der Elektrode auf der Volarseite des rechten Unterarms (an der Medianlinie, 6 cm von der Handwurzelfurche, *V. K.*) erfolgten einige klare Wärmeperceptionen. Leider spielt aber in einer derartig ausgelösten Empfindung der Druck eine zweifelhafte Rolle. Alrutz wollte ihm aus dem Reiz insofern eliminiren, als er die Anwendung eines feinstmöglichen Drahtes vorschlug; doch birgt dieses Reizmittel eine neue Fehlerquelle in sich, da durch derartig distincte Reize die sehr oberflächlich liegenden empfindlichsten Schmerzpunkte schon bei bloßer Berührung der Hautoberfläche Schmerz auslösen, ohne dass der Strom geschlossen zu sein braucht.

Die Reizempfindlichkeit der Wärmepunkte auf faradische Reize ist eine geringere als die der Kältepunkte, und auch bei dieser Reizung unterscheidet sich die Empfindung jener durch eine relativ lange Reactionszeit von der Empfindung dieser. Das ergab unter anderem ein Versuch auf der proximalen Seite der Volarfläche des Unterarms (*V. D.*). Wärme- und Kältepunkte wurden constatirt, diese zahlreich und schnell reagirend, jene seltener, unklarer und relativ langsam. Nach wiederholter Reizung hörten die Wärmesensationen auf, die Kältepunkte reagirten dauernd. Ein ähnliches Resultat lieferte eine Untersuchung auf Handrücken und Dorsalseite des Unterarms (*V. Brn.*). Während im vorhergehenden Versuche die Wärmepunkte zuerst mit dem faradischen Strome aufgesucht worden waren, wurden diesmal in größeren Abständen vier deutliche Wärmepunkte mit adäquaten Reizen ervirt. Auf zweien wurde außerdem die Haut angefeuchtet. Von den vier Punkten lösten drei eine deutliche, der vierte eine unklare Wärmeempfindung aus; auf ihm war der Widerstand durch Befeuchtung der Haut verringert. Schon beim dritten Reize hatten drei Punkte ihre spezifische Empfindung eingebüßt, nach dem fünften Reize versagte auch der vierte Punkt. Ob durch elektrolytische Zersetzung der nervenumgebenden Substanzen die Empfindlichkeit herabgestimmt wird, bleibt eine Vermuthung, die Alrutz hegt. Dass eine Elektrolyse die Application begleitet, ist gewiss. Man sieht nämlich den Hautpunkt, auf dem der Ausgleich stattfindet, eine graubraune Färbung annehmen, nimmt wohl auch einen Geruch gleich dem verbrannter Haut wahr und sieht eine Flüssigkeit austreten. Alrutz

hat deren chemische Reaction untersucht. Da die Wärmepunkte auf mechanische Reizung, was ihre Reizempfindlichkeit und Perceptionszeit anbetrifft, gleiche Eigenschaften zeigen wie auf faradische Applicationen, ohne dass bei solcher Reizart ein elektrolytischer Process nachzuweisen wäre, habe ich die weitere Untersuchung der eigenthümlichen Erscheinung unterlassen.

V. Zur Physiologie der Wärme percipirenden Nerven.

Bezüglich der verschiedenen Reactionszeiten gewisser Hautempfindungen existiren in der Hauptsache drei Erklärungen, und zwar für Schmerzempfindungen eine mehr Widerstand darbietende Bahn im Rückenmark (Herzen, Wundt, Funke), für Wärmeempfindungen im Gegensatz zur schnellen Reactionszeit der Kälteempfindungen eine geringere Reizbarkeit der Wärme- als der Kälteendorgane (Goldscheider) oder eine größere Tiefenlage der Wärme- als der Kältenervenenden (Alrutz, Thunberg). Zuerst hat Goldscheider (1888)¹⁾ eine tiefere Lage der Wärme- als der Kältenerven unter der Hautoberfläche erörtert, aber auf Grund seiner histologischen Befunde verworfen. Alrutz erblickt eine Stütze dafür nicht bloß in der relativ langen Reactionszeit der Wärme- gegenüber den Kälteempfindungen, sondern auch in der Thatsache, dass Wärme- und Schmerzpunkte keine gleiche Reactionszeit haben, sondern die Wärme noch später als der Schmerz percipirt wird. Da nun dessen reizempfähliche Organe der Oberfläche sehr nahe liegen (v. Frey), meint Alrutz, müssten die wärmeempfindlichen in einer tieferen Schicht verlaufen. Endlich hypostasirt er auch größere Nervenendorgane für die Auslösung der Wärmeempfindung. Dem widersprechen die Beobachtungen der paradoxen Kälteempfindung, die meist mit warmen Sensationen beginnt (Thunberg), deren Auslösung den kältepercipirenden Nerven zugeschrieben werden muss. Selbst wenn nach Thunberg Wärme ein inadäquates Reizmittel für Kälteendorgane wäre, so sieht man nicht ein, warum nur für wärmeempfindliche Nerven größere Endorgane substituirt werden, da auch kälteempfindliche Organe eine von Wärme schwer unterscheidbare Empfindung auslösen

¹⁾ Goldscheider, Zur Dualität des Temperatursinnes. Ges. Abhdlgn. A. a. O. S. 293.

können. Bei der flächenhaften Temperaturreizung Thunberg's mit Hülfe erwärmter Metalllamellen wäre zu erwägen, inwiefern dadurch, bei Beobachtung der Wärmeempfindungen z. B., die Kältnerven innervirt worden wären und durch inadäquate Temperaturempfindungen das Resultat beeinflussen könnten. Freilich wird aus den Thunberg'schen Wärmeauslösungen der Antheil, den die Erregung der Kältnerven daran nehmen konnte, schwerlich zu eliminiren sein. Deshalb ist eine punktuelle Reizung der nervösen Organe der flächenhaften vorzuziehen.

Aus der der Hyperästhesie parallel gehenden Hyperämie des wiederholt gereizten Wärmefeldes könnte man eine innervirende Eigenschaft der Nerven auf die Capillargefäße folgern und aus deren Blutfülle eine adäquate Reizung der wärmepercipirenden Apparate. Sind doch die objectiven Reize in den seltensten Fällen directe Nervenreize. Zwischen dem Angriffspunkte des äußeren Reizes und dem nervösen Organe liegen stets die Epithelzellen, die sich je nach dem Einflusse der Reiztemperatur zusammenziehen und ausdehnen. Da außerdem die Zellen in einer Lage angeordnet sind, so müssen sie wechselseitig ihre Gestalt beeinflussen, wodurch der transformirte Reiz an Fläche gewinnt, aber an Energie in der beabsichtigten Richtung verliert. Inwiefern Zellhaut, Plasma und Kern durch diese Einflüsse verändert werden und den Reiz transformiren, ist nicht nachgewiesen. Ein zartes Gewebe von Protoplasmafäden verbindet die Zellen untereinander, desgleichen eine halbflüssige Zwischensubstanz, die die Ernährungswege der Zelle vorstellt¹⁾. Wenn es nun That sache ist, dass innerhalb dieser ernährenden Substanz feinste Nerven fibrillen verlaufen, so muss jede Aenderung des Dichtigkeitsverhältnisses der nervenumspülenden Flüssigkeit den Druck auf die Nervenendchen entweder steigern oder vermindern. Eine eminente Wichtigkeit in Bezug auf die Transformation objectiver Reize kommt vor allem dem lockeren Bindegewebe zu, das die Unterlage für die Epithelien bildet, die Elemente des Nervengewebes von den übrigen Geweben unterscheidet und die Blutbahnen begleitet. Proportional der Fähigkeit desselben, Reizenergien umzusetzen, wächst sein Einfluss

¹⁾ Gegen baur, Lehrbuch der Anatomie des Menschen. I. 7. Aufl. Leipzig 1899. S. 97.

auf die eingelagerten Nerven. Besonders sind die zarten Gewebe der Arterienwände in Folge ihrer Elasticität zu Formveränderungen, die von Temperaturreizen bewirkt werden können, sehr fähig. Es bestünde dann eine gegenseitige Wirksamkeit dieser Elemente mit den darin eingebetteten oder ihnen anlagernden Nerven.

Sowohl die Blutfülle als auch die Blutleere der Gefäße kann für die Leitung der Nerven bedeutungsvoll sein. Weiß man doch, dass die Nervenzellen, die die motorischen Bahnen im Rückenmark unterbrechen, gegen Anämie sehr empfindlich sind¹⁾, woraus man die Leitungsunterbrechung dieser Nerven zu erklären sucht. Auch für sensible Nerven ist das sehr wahrscheinlich. Erweist sich doch sogar die graue Substanz des Centralnervensystems sehr empfindlich (Vulpian) gegen die Abschneidung der Blutzufuhr; desgleichen behauptet Steinach, dass Nervenfasern der Anämisirung zum Opfer fallen²⁾. Unter den Beobachtungen Goldscheider's finden sich manche, die für eine Abhängigkeit nicht bloß der Tast- und Schmerz-, sondern auch der Temperaturnerven vom Blutdruck sprechen, ohne dass sie der Beobachter in diesem Sinne verwerthet. Er theilt z. B. mit³⁾, dass Kälteschmerz viel später auftritt, wenn man eine Fingerkuppe mit einem Gummibande abschnürt und erkältet, als wenn man durch Einwicklung des Fingers das Blut nach der Spitze desselben treibt und diese abkühlt. »Die Ursache«, meint er, »kann in kaum etwas anderem gelegen sein, als dass hier durch die spannende Turgescenz die Tast- oder Schmerznerve in eine höhere Erregbarkeit versetzt werden.« Wahrscheinlich sind aber die Temperaturorgane gegen die Turgescenz noch empfindlicher als die anderen; denn es ist glaubhafter, dass der Kälteschmerz allein vom kältepercipirenden Nerven ausgelöst, und keine gemischte Qualität ist, herrührend von einer Erregung der Tast- oder Schmerz- und der Kältenerven.

Wenn man an einem Finger das Blut nach der Spitze drückt, erhält man nach einiger Zeit eine kühle Sensation. Der Versuch gelingt auch beim Druck des Blutes in die Hand durch Pressung

1) O. Langendorf, Zur Kenntniss der sensiblen Leitungsbahnen im Rückenmark. Pfl. Arch. Bd. 71. S. 401 ff.

2) Steinach, Ueber die centripetale Erregungsleitung im Bereiche des Spinalganglions. Pfl. Arch. Bd. 78. 1899. S. 291.

3) Goldscheider, a. a. O. S. 45.

des Unterarms. Auch das ist ein Beweis für die Empfindlichkeit der Temperaturnerven gegen Veränderungen der Blutcirculation.

Durch diese Erscheinungen werden die Auslösungsvorgänge von Reiz- und Empfindungsenergien viel verwickelter und entziehen sich der Beobachtung viel mehr, als das bei anderen Sinnen der Fall ist. Ferner lehren besonders die den auslösenden Reizen paradoxen Empfindungen, dass zwischen beiden kein qualitatives, sondern nur ein quantitatives Verhältniss besteht¹⁾.

Die gefäßcontrahirende Kraft objectiver Reize ist in der Psychologie und Physiologie der Hautsinne zur Erklärung parallel laufender subjectiver Erscheinungen manchmal gestreift und auch einmal von Goldscheider gewürdigt worden. Es hatte Kisch (1863) mitgetheilt, dass gasförmige Kohlensäure in der Haut ein eigenthümliches Wärmegefühl erzeuge, dass z. B. die Gaswärme von 12° C. einer Empfindung von 45° C. entspräche. Von Dubois-Reymond angeregt, begann Goldscheider²⁾ eine Untersuchung der merkwürdigen Thatsache. Seine Experimente führten ihn zu der Vermuthung, dass der primäre Effect der Kohlensäure ein gefäßcontrahirender sei. Eine andere Vermuthung verlegte die Ursache des Wärmegefühls in eine »Erweiterung der Blutgefäße und daraus resultirende Erhöhung der Eigentemperatur der Haut«. Dazu theilt der Forscher ein Experiment von Skórzewski³⁾ mit, der am Kaninchenohr und an der Froschzunge fand, dass sich die Arterien unter Einwirkung eines dünnen Kohlensäurestromes erweitern, die Venen verengern; zuweilen jedoch träte als erste Wirkung eine Verengung der Arterien und Erweiterung der Venen ein, was aber bald in den entgegengesetzten Zustand überginge. Trotzdem hiernach eine Erklärung der subjectiven Wärmeerscheinungen auf Grund contractiler Veränderungen in den Gefäßen nahe lag, meinte Goldscheider, dass es gewiss unwahrscheinlich sei, dass sich die Gefäßerweiterung so schnell herausbilde, um das so unmittelbar erfolgende Wärmegefühl zu erklären. Freilich, wenn nach ihm die Gefäßerweiterung zuerst eine Steigerung

1) Rollett, Beiträge zur Physiologie des Geruchs, Geschmacks, der Hautsinne und der Sinne im allgemeinen. Pfl. Arch. Bd. 74. 1899. S. 428.

2) Goldscheider, Die Einwirkung der Kohlensäure auf die sensiblen Nerven der Haut. A. a. O. S. 305.

3) Goldscheider, a. a. O. S. 309.

der Hauttemperatur und erst in zweiter Linie eine Nervenirregung hervorrufen soll, so ist die Kette zu lang geschlossen, und die objectiven Vorgänge erstrecken sich über eine größere Zeitstrecke, als zum Auftreten des subjectiven Momentes nothwendig erscheint. Aus den Goldscheider'schen Darlegungen geht aber die Incompetenz der Hautwärme als nervenirregender Factor hervor. Es enthält die Veränderung der Gefäße allein genug Energien, um die Nerven zu afficiren. Die Veränderung kann allerdings durch einen chemischen Vorgang am besten erklärt werden, aber nicht so, dass eine directe chemische Affection der Wärmennerven, sondern eine indirecte derselben durch contractile Vorgänge in den Gefäßen, welche dazu chemisch durch die Kohlensäure gereizt worden sind, statt hat. Noch eine Beobachtung Goldscheider's spricht deutlich für Gefäßinnervationen. Er fand, dass ein gegen die Conjunctiva des Kaninchens gerichteter Kohlensäurestrom von Hauttemperatur nach einer gewissen Zeit eine deutliche Röthung hervorruft. Dieselbe Erscheinung trat auf einer enthornten Stelle der menschlichen Haut ein¹⁾. Er leugnet nun aber, da die Röthung erst nach der Sensation sichtbar wurde, eine ursächliche Beziehung zwischen Empfindung und Gefäßveränderung. Es kann jedoch die Sichtbarkeit einer Veränderung nach der Sensation das Dasein eines physiologischen Vorganges in den Gefäßen vor derselben nicht ausschließen. In Folge der mikroskopischen Feinheit der beteiligten Organe entzieht sich deren Function dem beobachtenden Auge, und nur extreme Reize werden sofort sichtbare Erscheinungen hervorrufen.

Im allgemeinen wird man zugeben müssen, dass die Erklärungsversuche der Temperaturempfindungen aus der anatomischen Verschiedenheit ihrer zugehörigen Nervenendorgane etc. zweifelhaft sind. v. Frey z. B. nimmt Endkolben als die die Kälteempfindung wahrscheinlich auslösenden Organe an, während er den Wärmeperceptionen Nervenknäuel als reizauslösende Apparate substituirt. Nun ist ja nicht zu leugnen, dass die bisher nachgewiesenen differenzirten nervösen Apparate als reizempfangende und -umsetzende Organe eine gewisse Rolle spielen mögen, aber die Art der Function ist noch sehr dunkel, und wenn selbst die anatomischen Differenzen klarer

¹⁾ a. a. O. S. 309.

wären, so schlosse dies nicht aus, dass die objectiven Reizenergien nicht direct das Endorgan treffen, sondern von den nervenumlagernden Substanzen transformirt übertragen werden. Die Wichtigkeit der reizleitenden Gewebe und Flüssigkeiten gewinnt dadurch an Interesse. Es ist bekannt, dass sich Kältepunkte auf calorische Reize, die in der Nähe der Bluttemperatur liegen, von Ausnahmen abgesehen, indifferent verhalten, dass sie aber leicht von Reizen erregt werden, deren Temperatur entweder nach oben oder nach unten auf der Temperaturscala von der Normalblutwärme weit abliegt. Dazu laufen sowohl der Kälte-, wie auch der Wärmereizung Veränderungen der Blutzufuhr, des Blutdruckes oder der Gefäßinnervationen parallel, die ihre Erklärungsursache in den genannten äußeren Einwirkungen finden, zum Theil aber auch in inneren Reizen, wie das z. B. in krankhaften Zuständen gewiss ist. Viele Krankheiten zeigen die Symptome einer Aenderung des Blutdrucks und Blutumlaufs, was die oft leicht erregbaren nervösen Substrate nicht gleichgültig lassen kann. Herrn Geheimrath Wundt bin ich für seinen Hinweis auf die Erscheinungen im Fieberfroste dankbar. Die allgemeine Kältesensation im Fieberfroste läuft nämlich einer über die Norm erhöhten Hauttemperatur parallel.

Von den Temperaturempfindungen scheinen vor allem die Wärmeperceptionen mit vasomotorischen Veränderungen in einem ursächlichen Zusammenhange zu stehen. Die indirecten Reize, ausgelöst durch contractile Vorgänge innerhalb der Gefäße, geben eine genügende Grundlage nicht allein für die flächenhafte Qualität der Wärmeempfindung, sondern auch für ihre relativ lange Reactionszeit. Es findet diese Annahme noch eine Stütze durch das histologische Ergebniss Goldscheider's, nach dem Temperaturnerven auffallend stets in der Nähe von Gefäßen verliefen¹⁾.

C. Schmerzpunkte.

I. Qualität und Intensität des Schmerzes auf verschiedenen Hautpunkten.

Nach andauerndem Druckreize mit einem auf 169,5 mg tarirten Haare auf zwei Punkten von der Außenseite des Oberarms (V. K.

¹⁾ a. a. O. S. 234.

s. Fig. 10) erfolgte stichartiger Schmerz, der nach Abheben des Haares in unverminderter Stärke eine Zeit lang anhielt, darauf an Intensität nach und nach einbüßte und verschwand. Mittels calorischer Reize wurden auf dem Daumenballen (S. 443) schon bei schwachen Applicationen von 26—31° C. schwache Schmerzperceptionen von zerrender oder pressender Qualität beobachtet. Thunberg¹⁾ erwähnt auch, dass Schmerz durch schwache Wärme hervorgerufen werden könne, woraus er folgert, dass man Wärme nicht als allgemein wirkendes Reizmittel ansehen könne. Donath gibt die niedrigste Wärmeschmerzschwelle auf 36,3° C. an²⁾. Goldscheider fand die Wärmeschmerzschwelle nicht unter 42,5° C. und zwar an der Brustwarze und an den Augenlidern. Es kommt eben sehr darauf an, wie man die Qualität definiert. Der unangenehme Gefühlston entscheidet allein noch nichts, da er auch reine Temperatur- oder Druckempfindungen begleiten kann. Das Stechende, Zerrende und Pressende gewisser Sensationen ist das erste spezifische qualitative Merkmal einer Schmerzempfindung. Aber pressenden Schmerz veranlassen auch heiße Applicationen auf Kältepunkten und thermische Reize von hoher Intensität auf allen Punkten der Hautoberfläche. Es scheinen alle sensiblen Nerven für gewisse Reize schmerzempfindlich zu sein. Aus diesen allgemeinen und schwirrenden Schmerzempfindungen heben sich nun aber solche heraus, deren Reaction eine träge ist, deren Perception allmählich an- und abklingt, wie man gesagt hat, und, was das wichtigste ist, einen continuirlichen Verlauf nimmt. Dergleichen Sensationen lösen manchmal die schwächsten Haardrucke (12 mg z. B.) auf gewissen distincten Hautpunkten aus. Selbst nach kürzestem Reize eines solchen Schmerzpunktes sui generis tritt die Perception nach einer Pause mit oben beschriebenen Merkmalen ein. Dabei kann ein sehr unangenehmer Gefühlston die für einen Stich (mit einem Frey'schen Haare) befremdliche continuirlich stechende Sensation begleiten.

Sobald in der Schmerzempfindung durch Erregung eines Kältepunktes eine Kältecomponente auftritt, verliert der Schmerz an Intensität, ja er kann durch überwiegende Kältesensation unterdrückt

¹⁾ a. a. O. S. 423.

²⁾ Donath, Ueber die Grenzen des Temperatursinnes im gesunden und kranken Zustande. Archiv f. Psychiatrie. XV. S. 695.

werden. Die Dämpfung des Schmerzes durch Hinzutreten einer Kälteempfindung lässt sich sowohl nach thermischen als auch nach mechanischen und faradischen Reizen constatiren. Boeri und di Silvestro¹⁾ erklärten, dass die Empfindlichkeit der Schmerznervenenden durch Abkühlung herabgesetzt werde. Es geschieht das, wie die Beobachtungen zeigen, nicht allein durch Abkühlung, sondern durch jede inadäquate Reizung kältepercipirender Organe. Rollett bemerkt, dass gewisse Schmerznerven eine Empfindung auslösen, die von uns gewöhnlich als Kälte gefühlt werde. Er meint sicher eine durch Kälte betäubte Schmerzperception.

Nimmt man für Kälteauslösungen specifische Endorgane an, so befremdet es nicht, wenn dieselben jede beliebige Reizenergie in die specifische Empfindung umsetzen analog dem Sehnerven, der mit Lichtempfindung auch auf Druck reagirt. Wahrscheinlich ist es ferner, dass faradische, Stich- oder intensive Temperaturreize eine theils störende, theils zerstörende Wirkung auf die davon betroffenen Organe ausüben. Wird nun ein Kältenerv und sein Endorgan durch inadäquaten und intensiven Reiz afficirt, so wird sich der specifischen Sensation je nach der functionsstörenden Kraft des Reizes eine verschiedengradige Schmerzempfindung beimischen. Es mag jedoch das Quantum der Empfindung hoch oder niedrig stehen, sie ist stets durch einen unterbrochenen Verlauf charakterisirt, und das ist das Merkmal einer Allgemeinempfindung. Wenn man dagegen mit einem auf 19 mg tarirten Haare vorsichtig die Außenseite des Unterarms untersucht, erscheinen Punkte, auf denen Schmerzensationen von einer ganz eigenthümlichen Qualität ausgelöst werden. Der Schmerz schwillt ohne Unterbrechung an, verliert stetig, nachdem er seine Höhe erreicht hat, an Schwäche, verschwindet und tritt nach einem scheinbar leeren Intervall auch nach Wegfall des Reizes mit allmählich wachsender Intensität wieder auf. So gewinnt die Empfindung einen wellenartigen Charakter mit dem Merkmal der Stetigkeit. Hierbei kann das Maximum der zweiten Welle das der ersten überragen, auch wenn der äußere Reiz aufgehört hat. Eine solche Schmerzempfindung sui generis unterscheidet sich von einer allgemeinen auch durch ihren Gefühlston. Trotzdem ein Druck von 19 mg kaum spür-

¹⁾ Litteraturangabe bei Thunberg, a. a. O. S. 409.

bar erscheint, erreicht die Empfindung auf gewissen Punkten eine solche Intensität, dass die Versuchsperson beim ersten Male unwillkürlich zuckt. Sodann wirkt die ununterbrochen stechende Qualität höchst unangenehm. Man vermag eine intermittirende Schmerzempfindung selbst bei hoher Intensität eher zu ertragen als den continuirlichen Schmerz nach einem distincten Haardrucke. Allerdings ist die Entdeckung der originellen Schmerzpunkte nicht so leicht. Vermuthlich muss man eine Fibrille, die sich in besonders exponirter Lage befindet, in ihrer Richtung treffen. Nach v. Frey, Rollett¹⁾ u. s. w. ist es wahrscheinlich, dass die frei in der Haut liegenden Endbäumchen des absteigenden Fortsatzes des Neurocyten des ersten sensiblen Neurons die Vermittler dieser eigenthümlichen Empfindung sind; denn diese freien intraepithelialen Nervenenden (1866 von Cohnheim zuerst in der Hornhaut nachgewiesen) sind wie die Schmerzensation über den ganzen Körper verbreitet.

Die Reactionszeiten beider Schmerzempfindungen, sowohl der originellen wie der allgemeinen, sind sehr verschieden, im allgemeinen jedoch von relativ langer Dauer. Wenn alle sensiblen Nerven, von den specifischen Endorganen abgesehen, schmerzempfindlich sind, ist die Verschiedenheit erklärlich. Auf der Hautoberfläche des Biceps (s. Fig. 2. V. D.) begannen die Wärmepunkte auf calorische Reize von 66° C. warme Empfindungen auszulösen, die schnell in heiße, brennende, schmerzende Sensationen umschlugen. Die benachbarten, der Temperaturempfindung ermangelnden Punkte lösten dieselbe Schmerzqualität sofort aus. Auf dem □ bez. Kältepunkte erschien nach einem Reiz von 61° C. Hitze der Schmerz erst nach geraumer Zeit und nach tieferem Eindrucke des Reizcylinders. Ebenso reagirte der in der Figur oberste rechte Kältepunkt.

II. Mechanische Reize auf analgetischen Hautpunkten.

Kiesow und v. Frey zerstörten die Meinung, dass jeder Hautpunkt je nach der Tiefe des eindringenden Reizes schmerzhaft sei. Die in der Folge mitzutheilenden Ergebnisse führen zu dem Resultate, dass mit Anwendung von distincten Reizen überall in der Haut

¹⁾ a. a. O. S. 446.

analgetische Punkte nachzuweisen sind, und dass es neben den disseminirten Apparaten qualitativer Hautpunkte disseminirte Lücken gibt.

1. Versuch.

Auf der Hautfläche des Unterarms (Reizfeld s. S. 445 S. Fig. 8) wurde mit 152 mg Haardruck ein deutlicher Druckpunkt bestimmt und darauf die S. 450 beschriebene Nadel eingestochen, bis schmerzhaft Reaction eintrat. Das geschah erst, nachdem die Nadel 3 mm tief durch die Haut hindurch gestoßen worden war. Die Schmerz-perception war trotz des tiefen Stichs von schwacher Intensität; ihr schmerzauslösendes Organ muss unter der Haut gesucht werden. Die Nadel wurde hierauf gleich einem Hebel aus ihrer senkrechten Lage gewendet und gedreht. Der Schmerz nahm verschiedene Grade an und blieb zu Zeiten aus, erreichte aber nie unerträgliche Intensität. Beim kreisförmigen Bewegen der Spitze um den Stichcanal traten theilweise kalte Empfindungen auf.

2. Versuch.

Zwei andere analgetische Druckpunkte sind in Fig. 4 (Reizfeld s. S. 441) dargestellt. Beide Punkte wurden durch 152 mg Haardruck ermittelt. Auf dem ∇ bezeichneten stach die Nadel bis zur Schmerz-perception 2 mm tief. Wegen der relativ langen Reactionszeit des Schmerzes erfolgte das Einstechen stets langsam. Der umringte Druckpunkt beantwortete den Stich mit Wärmesensation. Auf ihm löste der Reiz erst nach 2 mm tiefem Stich Schmerz aus.

3. Versuch.

Auf dem obersten Druckpunkte links im Reizfelde der Fig. 9 (S. 446) begleitete nur Druckempfindung den 2 mm tiefen Stich der Nadel. Erst nach einer Reiztiefe von $2\frac{1}{2}$ mm wurde die Sensation schmerzhaft.

Die Tiefe des Stichcanals wurde dadurch gemessen, dass die Nadel vor dem Reiz in Talg gestochen wurde, wodurch sie eine matte Oberfläche bekam, die je nach der Tiefe des Stichs weggeschwächt wurde.

Die Versuche lassen erkennen, dass eine Identität druck- und schmerzempfindlicher Nerven, wie sie Goldscheider für wahrscheinlich nimmt, nicht festgehalten werden kann. Man muss sie auch deswegen fallen lassen, weil sich sehr schmerzempfindliche Hautflächen gegen Druck indifferent verhalten. In Fig. 4 (Reizfläche s. S. 441) ist ein kreuzweis schräg schraffirtes Hautstück bezeichnet, dessen Anästhesie durch Temperatur- und Druckreize dargethan wurde. Auf schwache Nadelstiche dagegen reagierte das Feld äußerst schmerzhaft. Schon auf 308 mg Haardruck löste ein Punkt in der Mitte der Fläche Schmerz aus. Das reciproke Verhältniss zwischen Druck- und Schmerzempfindung beweisen auch Reize auf der Hautfläche des Rückens. Die mit einem groben Localisationsvermögen ausgestattete Rückenhaut (E. H. Weber) ist trotz ihres Mangels an Drucknerven reich an schmerzempfindlichen Punkten.

Außer der Analgesie der Druckpunkte für mechanische Reize steht auch diejenige der Temperaturpunkte fest. Es wurden folgende Beobachtungen gemacht.

4. Versuch.

Die in Fig. 8 dargestellte Hautfläche (s. S. 445) schien in Folge ihrer Röthung und Hyperästhesie nach Höllensteinätzung interessant für eine Untersuchung nach analgetischen Punkten zu sein. Der einem Wärmepunkte dicht anlagernde Kältepunkt (unten rechts in der Figur) percipirte auf Stichapplication intensive Kälte. Nach 1 mm Reiztiefe begann heftiger Schmerz, der nach Aufhören des Reizes andauerte. Auf der flächenhaften Marke jedes Punktes ließen sich distincte Punkte mit theils unerträglich stechender, theils kaum merkbarer Schmerzintensität nachweisen. Oft beobachtete man auf der Marke neben hyperalgetischen Punkten einen solchen, auf dem der Stich keine Spur von Schmerz auslöste. Auf ihm wurde die Nadel tiefer eingestochen. Der in der Figur unterste Kältepunkt fühlte nach 1½ mm tiefem Stich schwachen Schmerz. Mäßige Kälte begleitete die Empfindung. Wenn die eingestochene Nadel nach der kälteempfindlichen Seite (in der Figur nach oben) gedreht wurde, verschwand der Schmerz. Nach Herausziehen der Nadel dauerte die schwache Schmerzsensation einige Secunden an, um dann von einer

intensiv heißen Empfindung abgelöst zu werden, die nach einiger Zeit wieder mit einer mäßig stechenden Empfindung wechselte. Auf dem □ bez. Kältepunkte verlief ein von deutlicher Kälte begleiteter Einstich bis über 1 mm analgetisch. Auf dem doppelt umringten Wärmepunkte in der Nachbarschaft eines kalten löste ein Stichreiz anfangs kühle, darauf temperaturlose Druckempfindung aus. In größerer Tiefe erschien eine sehr heiße Sensation, die sich zu heftigem Schmerze steigerte. Die Nadel war fast 2 mm eingedrungen. Nach dem Herausnehmen derselben ließ der Schmerz nach; eine kalte Sensation trat ein, die sich über ein breites Feld erstreckte.

Warme und heiße Empfindungen begleiteten einen 1 mm tiefen Stich auf dem ∘ bez. Wärmepunkte. Außerdem verlief ein 3 mm tiefer Reiz auf dem ϕ bez. Wärmepunkte vollkommen schmerzlos; nur eine leise, warme Empfindung lief dem Reize parallel.

5. Versuch.

Mit einer feinen Insectennadel wurde ein Hautstück über dem Biceps (linker Oberarm, 14 cm vom Ellbogen, s. Fig. 13) gereizt. Die Nadel drang auf dem in der Figur durch ein stehendes Kreuz bezeichneten Punkte $6\frac{1}{2}$ mm tief ein. Nur Druckempfindung, sogar mit angenehmem Gefühlstone verbunden, war das Resultat. Ganz dicht an der Oeffnung des Stichcanals lag ein hyperalgetischer Punkt, der schon auf schwache Applicationen reagirte. Daneben fand sich noch ein intensiver Schmerzpunkt. Beide Punkte waren beim Einstechen in das Spannungsfeld des entstandenen Hautkegels einbezirkt gewesen, ohne die Analgesie zu unterbrechen. Acht Tage nach dem ersten Versuche wurde der Stich auf dem analgetischen Punkte wiederholt. Das Ergebniss blieb dasselbe.

6. Versuch.

Reizfeld: Außenseite des rechten Oberarms, 7 cm von der Furche des Cubitalgelenks, s. Fig. 14. V. D.

Durch vorsichtiges Abtasten der Fläche mit der Nadelspitze wurden zwei Punkte ermittelt, die analgetische Eigenschaften aufwiesen. Die Analgesie dauerte in beiden Punkten an, als die Nade

2 bez. $2\frac{1}{2}$ mm tief eindrang. Die Versuchsperson, die natürlich von dem Reize nichts sah, percipirte nur Druck ohne jegliche unangenehme Nebenempfindung, trotzdem der Stoß der Nadel durch die Haut einen tiefen Kegel erzeugte. Die Untersuchung der Umgebung ergab ein ausgebreitetes Schmerzfeld mit intensiven Qualitäten. Dicht am Stichcanale lagen hyperalgetische Punkte.

7. Versuch.

In den letzten beiden Versuchen zeigten sich die analgetischen Stellen zugleich anästhetisch für Temperatureinwirkungen. Einen auch für Druck, also für alle vier Tastqualitäten unempfindlichen Hauptpunkt zu ermitteln, scheint schier unmöglich zu sein, da immer zugleich die durch Reize miterregte Umgebung strebt, sich mit ihren Qualitäten, besonders mit Druck- und Spannungsempfindungen, einzumischen. Das bestätigte eine Beobachtung auf der Mitte der äußersten Krümmung des linken Handballens (s. Fig. 15). Auf der Fläche wurden mittels verschiedenwerthiger Druckhaare die Druckpunkte gesucht. Das am höchsten tarirte Haar reizte mit 400 mg Druck. Darauf wurden mäßige Stichreize mit beschriebener feiner Stahlnadel auf beliebigen Punkten applicirt. Der in der Figur durch ein stehendes Kreuz gekennzeichnete Punkt erwies sich auf 400 mg Haardruck anästhetisch, löste auf Stichreize keine Schmerzempfindung aus und verhielt sich indifferent gegen thermische Applicationen. Nach diesem Ergebniss stach ich die Nadel langsam 2 mm tief ein, was einen tiefen Hautkegel verursachte. Schwache Spannungsempfindungen waren die einzige Auslösung auf diesen Reiz. In der Umgebung erregten Stiche intensiven Schmerz.

Im Anschlusse hieran sei eine Beobachtung mitgetheilt, die den gefundenen analgetischen Punkten eigenthümlich war, nämlich dass aus dem Stichcanale kein Blut floss. Selten war eine wässrige Flüssigkeit nachzuweisen. Auch wiederholte Stiche lieferten kein anderes Resultat. Stach man auf einem erwiesenen Schmerzpunkte ein, so floss schon nach einem Stiche von geringer Tiefe schnell Blut aus. Es ist darum möglich, dass viele schmerzpercipirende Nerven nahe an Blutgefäßen verlaufen. Dass aus zahlreichen Temperaturpunkten, nachdem in sie eingestochen war, kein Blut floss und

trotzdem neben der adäquaten Empfindung Schmerz percipirt wurde, lässt sich wohl dadurch erklären, dass Temperaturnerven durch den Stich angegriffen und schmerzhaft erregt wurden; denn auf solche Reize lösen alle sensiblen Nerven Schmerzperceptionen aus.

Man könnte zu der Entdeckung analgetischer Hautpunkte durch genannte mechanische Reize meinen, dass die Analgesie vieler Punkte noch gar nicht erwiesen sei, da nach einem Stiche von 2, 3 und mehr Millimeter Tiefe im allgemeinen doch noch Schmerz percipirt worden sei, was nach der relativ langen Reactionszeit dieser Sensation nicht verwunderlich wäre. Der Einwurf wird durch die Art der Reizung haltlos; denn es trat der Schmerz stets in derselben Tiefe auf, wenn die Nadel wiederholt und in schnelleren oder langsameren Stößen als das erste Mal eingestochen wurde. Ferner erlosch der Schmerz beim Nachlassen des Druckes auf die Nadel oder beim Zurückziehen derselben um eine Kleinigkeit. Verminderte man den Druck auf die eingestochene Nadel, so verringerte sich der Hautkegel, und nach Aufheben des Druckes kehrte die Haut vermöge ihrer Elasticität in ihre frühere Lage zurück, die Nadel dagegen blieb in der Haut stecken, ohne schmerzhaft Empfindungen auf erwähnten Hauptpunkten auszulösen.

III. Algetische und analgetische Empfindungen nach faradischen Reizen.

Ein faradischer Strom von 2 bez. 4 Volt Spannung löst auf zahlreichen Hautpunkten intensiven Schmerz, weniger häufig, aber deutlich Druck und Kälte, selten Wärme aus. Durch Anfeuchten der Haut wird in Folge des dadurch verringerten Widerstandes die Schmerzensation vermindert. Für die Untersuchung der Temperaturpunkte lässt sich dies Verfahren jedoch wegen der auftretenden Verdunstungskälte trotz der Frey'schen Empfehlung nicht befürworten. Darum wurden die folgenden Versuche theils auf trockener, theils auf nasser Haut ausgeführt.

1. Versuch.

Interessant verlief eine Reizung der Hautoberfläche auf der Volarseite der Handwurzelknochen. Auf der an der Ulnarseite hervor-

ragenden Stelle wurde ein Strom von 4 Volt Spannung applicirt und zwar auf trockener Haut, so dass man den Funken überspringen sah. Keine Spur von Schmerz wurde gefühlt. Auch nach Aufdrücken der Elektrode blieb die Stelle analgetisch. Das Resultat bestätigten vier Versuchspersonen. Sonst lösten thermische und mechanische Reize alle Qualitäten aus, Nadelstiche z. B. erregten Schmerz. Seiner Qualität nach schien derselbe eine Folge allgemeiner Nervenreize zu sein. Wenn auf genannter Reizfläche die sensiblen Nerven in den tieferen Hautschichten endigen sollten, ließe sich eine Analgesie der Oberfläche auf elektrische Reize erklären.

2. Versuch.

Derselbe Strom gleicher Spannung wurde auf der Volarseite des Unterarms auf die befeuchtete Hautoberfläche in der Nähe des Cubitalgelenks applicirt. Die Muskeln geriethen dadurch in einen sichtbaren Tetanus ohne Schmerzauslösung. Auch der tiefe Eindruck der Elektrode erregte keinen Schmerz. v. Frey beschrieb eine ähnliche Erscheinung auf der von Kiesow¹⁾ entdeckten, sehr ausgedehnten analgetischen Stelle der Wange, und Mommsen bemerkt, dass der Muskelreflexonus auch bei Anästhesie der Haut bestehen bleibt und nicht abhängig ist von der Thätigkeit sensibler Hautnerven²⁾.

Bei der Schmerzauslösung auf faradische Irritationen spielt der oberflächliche oder gegentheilige Verlauf der sensiblen Nerven in der Haut eine große Rolle. Auf vielen gereizten Punkten konnte der Schmerz dadurch erstickt werden, dass man die Elektrode tiefer eindrückte; an etlichen anderen Punkten war es gerade umgekehrt, durch Eindrücken der Elektrode wurde erst Schmerz erzeugt, der sicher im faradischen Reiz seine Ursache fand; denn die Unterbrechung des Stromes bei unvermindertem Druck der Nadel stillte den Schmerz, während er sich nach Schließung des Stromes wieder einstellte.

Wenn man mit der faradischen Application auf den Fingerspitzen

¹⁾ Kiesow, Philos. Stud., IX. S. 512. v. Frey, a. a. O. 2. Mittheilung. 1894. S. 293.

²⁾ Litteraturangabe bei H. Ewald Hering, Pfl. Arch. Bd. 68. 1897. S. 25.

beginnt und successive nach der Vola der Hand und weiter nach der Hautoberfläche des Unterarms reizt, merkt man deutlich eine starke Zunahme der schmerzhaften Empfindungen, sowohl ihrer Qualität als auch ihrer Intensität nach. Je mehr das Tastvermögen an Feinheit verliert, desto mehr wächst die Empfindlichkeit der schmerzpercipirenden Apparate.

D. Druckpunkte.

Zur Vollständigkeit der Untersuchung galt es, einige Versuche über die Beziehung der Druckpunkte zu den anderen Punktqualitäten der Haut und über das Verhältniss der Druckempfindungen zu den verschiedensten Reizen anzustellen. Nur Weniges kann darüber mitgetheilt werden, da die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

Mit Hülfe Frey'scher Druckhaare findet sich eine große Verschiedenheit der Reizschwellen der über die ganze Hautfläche dicht ausgestreuten Druckpunkte. Deren Schwellenempfindungen sind viel mehr abstufbar als diejenigen der Temperaturpunkte. Dazu erhöht sich die Druckreizschwelle proportional der Spannung der Hautfläche. Den erheblichen Einfluss der Hautspannung auf Druck- und Schmerzpunkte hat auch v. Frey nicht übersehen¹⁾. Auf Handrücken und Hohlhand lässt sich unzweifelhaft nachweisen, wie mit der Hautspannung der Hautwiderstand wächst und dadurch der Reiz an Deutlichkeit und Begrenztheit verliert. Es ist diese Beobachtung zugleich ein Beweis dafür, dass die Drucknerven ihre Enden nicht in die äußerste Hautschicht senden können.

Auf Ausschaltung der Nervencompression ist großes Gewicht gelegt worden, da z. B. Ducceschi²⁾ (allerdings an Froschpräparaten) fand, dass ein Druck von 50 g genügt, um die Nervenleitung zu stören und zu unterbrechen, auch 15 g sollen in manchen Fällen von hemmender Wirkung sein.

In der Nähe der Reizschwelle eines Druckpunktes hat man vor der Apperception einer deutlichen Empfindung gewöhnlich ein Kitzel-

¹⁾ a. a. O. 2. Mittheilung. 1894. S. 286.

²⁾ Ueber die Wirkung engbegrenzter Nervencompression. Pfl. Arch. Bd. 78. 1899. S. 42.

gefühl, das schon durch häufige Wiederholung untermerklicher Reize ausgelöst werden kann. Die deutliche Sensation eines punktuell gereizten Druckpunktes besteht in einer körnigten (Kölliker) Empfindung, die auf natürliche Reize schwerlich zum Bewusstsein kommt, da selten so distincte Reize im alltäglichen Leben vorliegen, wie sie durch Frey'sche Druckhaare vermittelt werden, und noch seltener Druckpunkte dadurch bewusst getroffen werden. Die natürliche Reizung ist flächenhaft.

Gegen Temperaturreize verhalten sich Druckpunkte ganz indifferent. Wird auf ihnen Wärme oder Kälte ausgelöst, so ist das auch in ihrer Nachbarschaft der Fall und auf benachbarte Lagerung temperaturempfindlicher Apparate zurückführbar. Vom Reizfelde der Fig. 3 (s. S. 441) wurden zwei deutliche Druckpunkte, die mit 159,5 mg Haar-druck ermittelt worden waren, mit 40 und 49° C. Wärme gereizt; die Punkte percipirten nur Druck.

Auf der radialen Seite der Handwurzelfurche löste ein heißer Reiz auf einem Druckpunkte erst nach 3—4" eine warme Empfindung aus, während sie ein dicht anlagernder Kältepunkt unmittelbar nach dem Reize percipirte.

Was von dem Verhältnisse zwischen Temperatur- und Druckpunkten gilt, ist auch für Druck- und Schmerzpunkte gültig. Noch ein Gegensatz ist bemerkenswerth. Man empfindet einen minimalen Druck eines Frey'schen Haares auf dem Handrücken oder in der Hohlhand viel eher, wenn die Hautspannung vermieden wird. Dagegen scheint für die Schmerzempfindlichkeit das Umgekehrte zu gelten, indem eine Erschlaffung der Hautoberfläche die Schmerzunterschiedsschwelle erhöht. Wenn aber die Hautspannung die Druckschwelle erhöht, die Schmerzschwelle dagegen vermindert, so ist eine Identität druck- und schmerzpercipirender, specifischer Organe (nach Goldscheider) nicht wahrscheinlich. Glaubhafter dagegen erscheint die Frey'sche Hypothese, dass Meißner'sche Tastkörperchen und die Nervenknäuel der Haarwurzeln die druckempfindlichen, dagegen die freien epithelialen Nervenenden die schmerzvermittelnden Apparate darstellen¹⁾.

¹⁾ v. Frey, a. a. O. 1. Abhandlung. Druckempfindung und Schmerz. Leipzig 1896. S. 257.

Am Schlusse der Arbeit will ich nicht ermangeln, meinen hochgeschätzten Mitarbeitern für ihre freundliche Unterstützung, die sie mir drei Semester lang als Versuchspersonen bereitwilligst gewidmet haben, meinen innigsten Dank zu sagen, nämlich den Herren Assistenten Dr. Müller, Privatdocent Dr. Wirth, Dr. Dürr und den Herren Quandt, Katzenellenbogen und Privatdocent Dr. Brahn.
