

Universität, Kaiserlich Kasan'sche: Sitzungsberichte und Denkschriften. Band XLII. 1875. Nr. 1—6. Kasan, 1875; 8°.

Verein, Militär-wissenschaftlicher: Organ. XIII. Band, 4. Heft 1876. Wien, 8°. XIV. Band, 1. Heft. 1877. Wien; 8°.

— Naturforschenderin Brünn: Verhandlungen. XIV. Bd. 1875. Brünn, 1876; 8°.

Wiener Medizin. Wochenschrift. XXVII. Jahrgang, Nr. 6—8. Wien, 1877; 4°.

## Grundzüge einer Theorie des Temperatursinns.

Von dem w. M. Ewald Hering,

*Professor der Physiologie in Prag.*

### §. 1.

#### Die Ansichten E. H. Weber's und Vierordt's.

E. H. Weber war durch seine Untersuchungen über den Temperatursinn zu der Ansicht gekommen, 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 verharret. „Wenn“, sagt er,<sup>1</sup> „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 vielmehr den Act des Steigens oder Sinkens der Temperatur unserer Haut als den Grad wahrnehmen könnten, bis zu welchem die Temperatur gestiegen oder gesunken ist.“

Weber führt jedoch schon selbst einen Versuch an,<sup>2</sup> welcher dem eben ausgesprochenen Satze zu widersprechen scheint. „Wenn man“, sagt er, „einen Theil der Haut des Gesichts, z. B. der Stirn, mit einem + 2° R. kalten Metalle einige Zeit, z. B. 30 Secunden, in Berührung bringt und denselben dann entfernt, so fühlt man ungefähr 21 Secunden lang die Kälte an jenem Theile der Haut. Nach dem, was soeben mitgetheilt worden,

<sup>1</sup> Der Tastsinn und das Gemeingefühl. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. III. Bd., II. Abth., S. 549.

<sup>2</sup> L. c. S. 550.

hätte man glauben sollen, wir würden das Gefühl der Wärme haben, während ein erkälteter Theil der Haut wieder erwärmt wird.“ Weber vermuthet daher, „dass in diesem letzteren Falle das Gefühl der Kälte nicht dadurch entsteht, dass die Nerven des erkälteten Hautstückes, sondern dass die Nerven der angrenzenden Haut, der nun von der erkälteten Haut Kälte mitgetheilt wird, die Empfindung der Kälte hervorbringen“.

Eine solche Lösung des vorliegenden Widerspruches erscheint jedoch bei näherer Betrachtung unzulässig. Es ist richtig, dass nach Entfernung des Metalles das abgekühlte Hautstück sich mit auf Kosten der nächst benachbarten Haut wieder erwärmt, hauptsächlich aber kommt die Wiedererwärmung durch diejenige Wärme zu Stande, welche von der umgebenden Luft, vom Blute und von den unter der Haut gelegenen Theilen abgegeben wird. Es kann also kein Zweifel darüber bestehen, dass die Abkühlung der nächst benachbarten Hauttheile im Vergleich zu der Erwärmung des stark abgekühlten Hautstückes sehr gering ist. Wenn nun also auch durch die Abkühlung der Umgebung eine schwache Kälteempfindung auftreten könnte, so müsste doch in Folge der relativ bedeutenden Temperatursteigerung des mit dem Metalle in Berührung gewesenen Hautstückes an diesem eine Wärmeempfindung entstehen, welche neben jener schwachen Kälteempfindung deutlich hervortreten müsste und von letzterer nicht übertönt werden könnte. Hat man die Stirne mit einer sehr kleinen Metallfläche berührt, so dürfte es allerdings wegen des schlechten Ortsinnes der Stirnhaut schwer sein, jede der beiden neben einander auftretenden Empfindungen richtig zu localisiren. Hatte aber die berührende Metallfläche eine Ausdehnung von 15 — 25 □ Ctm., so ist nicht einzusehen, warum man nicht wenigstens in der Mitte der berührten Fläche deutliche Wärme und nur im Umkreise derselben schwache Kälte empfinden sollte. Thatsächlich aber empfindet man auch in diesem Falle nach der Entfernung des kalten Metalles längere Zeit nur Kälte.

Der Versuch Weber's lässt sich vielfach variiren, was auch Vierordt bereits gethan. „Drückt man“, sagt Vierordt<sup>1</sup> (bei

<sup>1</sup> Grundriss der Physiologie, IV. Aufl., S. 302.

einer mittleren Zimmerwärme) ein kaltes Metallstück (von  $-2$  bis  $-8^{\circ}$ ) etwa 20 Secunden hindurch gegen den Handteller, so fällt die Temperatur der letzteren um 5 bis  $8^{\circ}$  Celsius. Man hat zugleich eine schmerzhaft empfindung. Nach Entfernung des Metalles erwärmt sich die erkältete Haut anfangs rasch, später langsamer, doch so, dass selbst nach 5 — 8 Minuten die Haut noch nicht ihre frühere Temperatur erreicht hat. Während dieser ganzen Zeit des objectiven Temperatursteigens der Haut hat man deutliches Kältegefühl. Bringt man umgekehrt ein recht warmes (übrigens nicht schmerzendes) Metallstück mit der Haut kurze Zeit in Berührung, so steigt die Hautwärme um  $1-2^{\circ}$ . Kühlt sich nach Entfernung des warmen Körpers die Haut langsam ab, so hat man minutenlang (7' und darüber) ein Gefühl der Wärme“.

Berührt man einen sehr kalten oder heissen Gegenstand nur ein bis zwei Secunden lang, so überdauert immer die Kälte- oder Wärmeempfindung mehr oder weniger lange die Berührung. Bei sehr flüchtiger Berührung entsteht sogar die Empfindung erst nach Ablauf der Berührung oder erreicht wenigstens erst dann ihre grösste Deutlichkeit. Letzteres hat seinen offenbaren Grund darin, dass die Erwärmung oder Erkältung während der kurzen Berührung nur die äusserste unempfindliche Schicht der Haut ergreifen konnte, und dass die empfindlichen tiefer gelegenen Theile erst nachträglich von der erhitzen oder erkälteten Epidermis aus erwärmt oder abgekühlt werden. Man könnte daher der Meinung sein, dass die oben beschriebenen Nachempfindungen der Kälte oder Wärme desshalb eintreten, weil nach Ablauf der Berührung die Erwärmung oder Erkältung noch weiter in die Tiefe dringe.

Eine solche Erklärung könnte jedoch nur für diejenigen Fälle einigermassen zulässig erscheinen, wo eine nur sehr kurze Berührung (nicht allzu) kalter oder heisser Körper stattfand.

Denn die nervösen Theile, um deren Erregung es sich hier handelt, liegen jedesfalls in der oberen Schicht der Haut. Dafür spricht ausser den anatomischen und den Gründen der Analogie mit anderen Sinnesorganen die Thatsache, dass die Empfindungen bei Berührung mässig kalter oder warmer Körper so schnell ihr Maximum erreichen, auch dann, wenn dafür gesorgt ist, dass die

Temperatur des berührten Körpers sich während der Berührung nicht merklich ändern kann, z. B. wenn man die Finger in bewegte kalte oder warme Flüssigkeit von grossem Volumen taucht.

Falls die empfindlichen Theile der Temperaturänderung schwer zugänglich wären, so könnte die entsprechende Empfindung auch erst spät ihre grösste Deutlichkeit erreichen. Bei dem Versuche von Weber dauerte die Berührung mit dem kalten Metalle 30 Secunden. Nach so langer Zeit hat die Kälteempfindung ihr Maximum bereits überschritten, wie man leicht dadurch beweisen kann, dass man das Metall jetzt auf eine andere gleich empfindliche Hautstelle aufsetzt. Die Kälteempfindung ist dann viel deutlicher, als sie zuletzt an der schon 30 Secunden lang berührten Hautstelle war.<sup>1</sup>

Nach alledem kann es wohl keinem Zweifel unterliegen, dass in den beschriebenen Versuchen von Weber und Vierordt wirklich an Hautstellen, deren Temperatur im Steigen begriffen war, Kälte, und an solchen, deren Temperatur im Sinken war, Wärme empfunden wurde, und dass also der von Weber als wahrscheinlich aufgestellte Satz, nach welchem wir nur das Steigen oder Fallen der Hauttemperatur empfinden sollen, nicht durchaus richtig ist.

In der That hat schon Vierordt den Weber'schen Satz als ungültig verworfen und dafür einen neuen aufgestellt. Nach seiner Ansicht entstehen Temperaturempfindungen nur dann, „wenn die Flächeneinheit der Haut in der Zeiteinheit eine bestimmte (experimentell noch nicht gemessene) Wärmemenge aufnimmt oder abgibt“.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ich setze hierbei voraus, dass das Metall nicht allzu heiss oder kalt ist; denn sonst wird es neben der Wärme- oder Kälteempfindung ein sich allmählich steigendes schmerzhaftes Gefühl geben können. Auch sehe ich ab von den unter Umständen und zwar besonders bei Erkältung oder Erwärmung grösserer Hautstrecken eintretenden secundären Steigerungen der Empfindung, welche theils durch Veränderungen der Circulation in den betroffenen Hautstellen, theils durch Irradiation der Empfindung und Reflex auf die glatten Muskeln der Haut herbeigeführt werden können.

<sup>2</sup> L. c. S. 301.

„Die objective Ursache sämtlicher Temperaturempfindungen ist“ nach Vierordt „in letzter Instanz der Durchgang einer bestimmten Wärmemenge durch die Haut; wir percipiren aber nicht bloss die Stärke, sondern auch die Richtung des Wärmestromes in der Form von Wärme und Kälte und zwar unter Umständen ganz unabhängig von der objectiven Temperaturveränderung der Haut.“

Als Beweise gegen den Weber'schen Satz führt Vierordt nicht bloss die oben beschriebenen Versuche, sondern auch die Thatsache an, „dass wir anhaltendes Wärmegefühl haben, so lange wir in der Nähe eines geheizten Ofens verweilen oder eine Hautstelle mit einem gehörig warmen oder kalten Körper in Berührung bringen.“ Von einem beständigen Temperatursteigen könne unter diesen Verhältnissen selbstverständlich nicht die Rede sein, sondern es müsse die Hautoberfläche nunmehr einen bestimmten Temperaturgrad beharrlich bewahren.

Obgleich ich nun Vierordt darin beistimmen muss, dass wir auch dann Wärme- oder Kälteempfindung haben können, wenn die Temperatur unserer Haut auf einem gewissen Grade beharrt, und obgleich mir die oben besprochenen Versuche durchaus gegen Weber's Satz zu sprechen scheinen, so kann ich doch auch den Vierordt'schen Satz nicht als richtig gelten lassen.

Wenn ich mich längere Zeit in einem Zimmer von 16—18° C. aufgehalten habe, so empfinde ich gewöhnlich an meiner Hand weder Wärme noch Kälte. In diesem Falle geht ein ziemlich beträchtlicher Wärmestrom mit gleichbleibender Stärke durch meine Haut. Die äusserste Schicht der Epidermis ist jetzt jedenfalls höher temperirt, als die umgebende Luft. Noch höher ist die Temperatur der tieferen Epidermisschichten und der oberen Schicht der Lederhaut. In einer der letzteren Schichten aber haben wir den nervösen Apparat zu suchen, welcher uns die Temperaturempfindung vermittelt. Die vom Blute zugeführte Wärme geht durch diese für den Temperatursinn wesentlichsten Schichten zur äusseren Epidermis und von dieser weiter.

Vierordt muss annehmen, dass dieser Wärmestrom nicht stark genug ist, um als Kälte empfunden zu werden.

Wenn ich nun meine Hand in eine Glasflasche mit hinreichend weitem Halse stecke, welche die Zimmertemperatur

angenommen hat, so entwickelt sich bald an der Hand, die übrigens das Glas nirgends berühren darf, eine Wärmeempfindung, um so schneller und stärker, je kleiner der Luftraum der Flasche und je dichter der Verschluss derselben ist. Bei diesem Versuche kann es sich nicht darum handeln, dass der Haut von aussen Wärme zugeführt wird, sondern lediglich darum, dass der Abfluss der Wärme von der Haut gehemmt wird, daher die Wärme anstaut und die empfindlichen Theile der Haut eine höhere Temperatur annehmen. Hier tritt also eine Wärmeempfindung ein, während der Wärmestrom in der Richtung von innen nach aussen fort dauert, nur in schwächerem Maasse als kurz zuvor.

Da ich anfangs, als noch ein stärkerer Wärmestrom durch die Haut nach aussen ging, gar keine Temperaturempfindung hatte, so wäre jetzt, wo dieser Wärmestrom schwächer geworden ist, nach dem Vierordt'schen Satze eine Empfindung noch weniger zu erwarten. Wenn aber gleichwohl eine solche auftritt, so müsste sie nach Vierordt eine Kälteempfindung sein, da der Wärmestrom noch immer die Richtung von innen nach aussen hat.

Allerdings ist die bei dem erwähnten Versuche auftretende Wärmeempfindung nur schwach und entsteht erst allmählich. Aber man kann den Versuch schlagender machen, wenn man die Flasche, welche die Hand aufnehmen soll, in ein grosses Becherglas setzt und den Zwischenraum zwischen diesem und der Flasche mit Öl füllt, welches eine höhere Temperatur hat, als die Zimmerluft. Ich nahm z. B. bei einer Zimmertemperatur von 18° Öl von 22°, welches beim Eintauchen der Hand eine deutliche Empfindung von Kühle gab. Nachdem die Flasche einige Zeit von diesem Öl umgeben gewesen war, steckte ich die Hand so in die Flasche, dass sie nirgends die Innenwand derselben berührte, und ich erhielt eine sehr deutliche Empfindung von Wärme. Da das Öl sich beim Eintauchen der Finger kühl anfühlte, so folgt, dass die Haut im Öl mehr Wärme abgab, als in der Zimmerluft, und dass das Öl kälter war, als die empfindende Hautschicht, was übrigens selbstverständlich erscheint. Folglich musste auch die in der Flasche enthaltene Luft kühler sein als meine Haut, und letztere konnte daher

keine Wärme von aussen aufnehmen. Bringt man einige Zeit vor dem Einführen der Hand ein Thermometer in die Flasche, so zeigt dies natürlich eine etwas höhere Temperatur als in der Zimmerluft. Nach dem Einführen der Hand aber steigt es noch weiter, weil die Haut Wärme an die Luft in der Flasche abgibt und diese erwärmt. Wer also noch daran zweifeln könnte, dass auch in der Flasche der Wärmestrom durch die Haut in der Richtung von innen nach aussen fort dauert, der hätte hier den augenscheinlichen Beweis dafür.

Wir dürfen wohl annehmen, dass die Temperatur der Hautschicht, in welcher die Nerven endigen, nur einige Grade niedriger ist, als die Bluttemperatur. Ich hätte also getrost bei dem eben geschilderten Versuche auch Öl von 30° C. anwenden und so eine viel stärkere Wärmeempfindung erhalten können, ohne dass der Versuch an Beweiskraft verloren hätte. Denn, wenn auch die Luft in der Flasche dabei sogar höher temperirt worden wäre als die äussere Epidermisschicht, und wenn auch diese Schicht Wärme von aussen aufgenommen hätte, so wäre doch der nervöse Apparat der Haut immer wärmer geblieben, als die äussere Epidermis, und ein Wärmestrom nach wie vor nur in der Richtung von innen nach aussen, nicht aber umgekehrt möglich gewesen. Ich habe aber absichtlich eine so niedrige Temperatur des Öls gewählt, dass es von vorneherein unmöglich ist, anzunehmen, das Öl sei höher temperirt gewesen, als die empfindliche Hautschicht.

Wenn ich bei einer Zimmertemperatur von 18° eine Stearinkerze in die Hand nehme, welche sich schon länger im Zimmer befunden und dessen Lufttemperatur angenommen hat, so fühlt sich die Kerze kühl an, weil sie als fester Körper anfangs der Haut mehr Wärme entzieht, als die Luft. Nach und nach aber erwärmt sich die Kerze, und nach etwa sieben Minuten habe ich schon eine Wärmeempfindung, welche nach 10 Minuten sogar sehr deutlich ist. Auch hier kann es sich nicht um einen Wärmestrom von aussen nach innen handeln, sondern lediglich darum, dass der entgegengesetzt fliessende Wärmestrom schwächer wird, die Wärme in der Haut allmählich anstaut, und die empfindliche Schicht eine höhere Temperatur annimmt, infolge dessen die Wärmeempfindung eintritt.

Wenn wir im Winter unsere Hände in Pelzhandschuhe oder in einen Muff stecken, und sich dann die ursprüngliche Kälteempfindung in eine behagliche Wärmeempfindung verwandelt, so hat sich deshalb doch nicht die Richtung des Wärmestromes umgekehrt, sondern nach wie vor strömt Wärme durch die Haut nach aussen, wenn auch viel weniger als zuvor in der freien Luft.

So liessen sich noch zahlreiche Beispiele dafür anführen, dass wir Wärmeempfindung haben können, während die Richtung des Wärmestromes von innen nach aussen geht.

Nach diesen Erfahrungen sind wir genöthigt, dem Vierordt'schen Satze ebenso wie dem Weber'schen eine allgemeine Gültigkeit abzusprechen. Weder das Steigen oder Fallen unserer Hauttemperatur noch die Richtung und Stärke des durch die Haut gehenden Wärmestromes kann das ausschliesslich Massgebende für die Art und Stärke unserer Temperaturempfindung sein.

## §. 2.

### Hauptsätze der Lehre vom Temperatursinn.

Wenn ich an einer Hautstelle weder Wärme noch Kälte empfinde, so ist die Temperaturempfindung an dieser Stelle so zu sagen auf dem Nullpunkte; die Eigentemperatur, welche der nervöse Apparat der Haut dabei hat, darf als die Nullpunktstemperatur bezeichnet werden. Die bisher angeführten sowohl, als die im nächsten Paragraph zu besprechenden Thatsachen der Temperaturempfindung erklären sich nun sämmtlich aus folgenden Sätzen:

1. Die Temperaturempfindung hängt ab von der jeweiligen Höhe der Eigentemperatur des nervösen Apparates der Haut, nicht aber vom Acte des Steigens oder Fallens dieser Temperatur noch auch von der Intensität und Richtung des Wärmestromes. Jede Eigentemperatur des nervösen Apparates, welche über der Nullpunktstemperatur liegt, wird als Wärme, jede unter der Nullpunktstemperatur liegende als Kühle oder Kälte empfunden.

2. Die Deutlichkeit der Wärme- oder Kälteempfindung wächst unter sonst gleichen Umständen mit dem

Abstände der jeweiligen Eigentemperatur von der Nullpunktstemperatur.

3. Der Nullpunkt der Scala der Temperaturempfindungen liegt jedoch für eine bestimmte Hautstelle nicht immer auf demselben Punkte der objectiven Scala der Eigentemperatur, d. h. die Nullpunktstemperatur ist innerhalb gewisser Grenzen variabel. Verschiedenen Hautstellen entsprechen überdies verschiedene mittlere Nullpunktstemperaturen.

4. Jede als warm empfundene Eigentemperatur des nervösen Apparates bedingt eine Verschiebung des Nullpunktes der Empfindungsscala nach oben, so dass die Nullpunktstemperatur nachher etwas höher ist als zuvor; jede als kalt empfundene Eigentemperatur bewirkt eine Verschiebung des Nullpunktes nach unten, so dass die Nullpunktstemperatur nachher etwas tiefer ist. Diese Verschiebung des Nullpunktes ist um so grösser, je wärmer, beziehungsweise kälter die empfundene Eigentemperatur war und je länger sie andauerte. Bei sehr langer Constanz einer als warm oder kalt empfundenen und von der ursprünglichen Nullpunktstemperatur nicht zu stark abweichenden Eigentemperatur kann schliesslich die unter dem Einflusse derselben eintretende Verschiebung des Nullpunktes der Empfindung so erheblich werden, dass die neue Nullpunktstemperatur mit jener Eigentemperatur zusammenfällt. Hiermit ist zugleich gesagt, dass eine solche objectiv constant bleibende Eigentemperatur, obwohl sie anfangs deutlich warm oder kalt empfunden wurde, eine immer undeutlichere Empfindung gibt, je länger sie anhält, und dass sie schliesslich gar nicht mehr empfunden wird.

5. Aus den drei letzten Sätzen folgt zugleich, dass wenn der Nullpunkt der Empfindung sich nach oben (unten) verschoben hat und somit jetzt einer höheren (tieferen) objectiven Eigentemperatur entspricht, alle bei der früheren Lage des Nullpunktes als kalt (warm) empfundenen Eigentemperaturen jetzt noch kälter (wärmer), alle zwischen der ursprünglichen und der neuen Nullpunktstemperatur gelegenen Eigentemperaturen, welche früher warm (kalt) empfunden wurden, jetzt kalt (warm), und alle über (unter) der neuen Nullpunktstemperatur gelegenen Eigentemperaturen jetzt minder warm (kalt) empfunden werden.

Die im Folgenden gegebene kurze Revision der bis jetzt bekannten Thatsachen aus dem Gebiete des Temperatursinns wird die Richtigkeit dieser Sätze darthun.

### §. 3.

Kurze Übersicht der äusseren und inneren Veranlassungen zur Temperaturempfindung.

Um an einer bestimmten Hautstelle, welche eben weder Wärme noch Kälte empfindet, die Empfindung der Wärme zu erzeugen, ist nach dem Gesagten nothwendig, den auf der Nullpunkttemperatur befindlichen Nervenapparat dieser Hautstelle auf eine höhere Temperatur zu bringen. Dies kann auf zweifache Weise erreicht werden: erstens durch blosse Hemmung des Wärmeabflusses von der Haut, zweitens durch Wärmezufuhr von aussen.

Wählen wir den gewöhnlichsten Fall, in welchem die Haut, z. B. unserer Hand, mit Luft von ungefähr  $17^{\circ}$  C. umgeben ist und in dieser Luft eine constante Eigentemperatur angenommen hat, weil sie eben soviel Wärme vom Blute aufnimmt, als sie in derselben Zeit nach aussen abgibt. Um jetzt den Abfluss der Wärme nach aussen zu mindern, genügt es, die Hand in einen kleinen, möglichst abgeschlossenen Luftraum von derselben Zimmertemperatur zu bringen, welcher von einem ebenso temperirten schlechten Wärmeleiter umschlossen ist.

So lange die Hand sich frei in der Zimmerluft befand, strömte die von der Haut durch Leitung erwärmte Luft vermöge ihrer grössern Leichtigkeit fortwährend nach oben ab, im abgeschlossenen Raume dagegen wird sie zurückgehalten, und es erwärmt sich allmählich die ganze abgeschlossene Luftmenge. Indem so die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Luft kleiner wird, mindert sich der durch Leitung bedingte Wärmeabfluss von der Haut. Theils durch die Erwärmung der eingeschlossenen Luft, theils durch Strahlung von der Haut erwärmt sich auch der die Luft umschliessende schlechte Wärmeleiter und zwar um so rascher, je kleiner seine Wärmecapacität und sein Leitungsvermögen ist. Infolge dessen mindert sich allmählich auch die durch Strahlung bedingte Wärmeabgabe. Endlich

sättigt sich die eingeschlossene Luft mehr und mehr mit Wasserdampf und es nimmt demnach der durch Verdunstung bedingte Wärmeverlust ebenfalls ab.

Weil also die vom Blute zugeführte Wärme jetzt besser in der Haut zurückgehalten wird, steigt die Eigentemperatur des nervösen Apparates und wir erhalten die Empfindung der Wärme.

Bringt man nach längerem Aufenthalte in einem constant temperirten Zimmer die Hand mit einem festen oder flüssigen Körper von Zimmertemperatur in Berührung, so empfindet man bei genügend grosser Berührungsfläche ausnahmslos Kühle; denn diese Körper entziehen der Haut die Wärme schneller als die Luft, steigern also die Wärmeabgabe und setzen dadurch die Eigentemperatur des nervösen Apparates herab. Ist der berührte feste oder flüssige Körper ein schlechter Wärmeleiter, so erwärmt er sich bald während der Berührung der Haut, und es mindert sich dem entsprechend wieder der Wärmeabfluss von der Haut. Ist Leitungsvermögen und Wärmecapacität des berührten Körpers klein genug, so kann er bald so warm werden, dass die Haut jetzt weniger Wärme an ihn abgibt, als zuvor an die Luft, in Folge dessen der nervöse Apparat eine höhere Temperatur annimmt. Diese höhere Eigentemperatur wird nun als Wärme empfunden, wenn sie von der ursprünglichen Nullpunkttemperatur nicht gar zu wenig differirt.

Man lege die flache Hand auf Tuch, Leinwand, Leder, Papier, Holz oder Metall von Zimmertemperatur, immer wird man, falls die Hand zuvor auf dem Nullpunkte der Temperaturempfindung war, Kühle oder selbst Kälte empfinden. Freilich ist die Empfindung zuweilen so schwach, dass die Berührung des untersuchten Körpers mit einem oder selbst mehreren Fingern nicht genügt, sondern die ganze Hand aufgelegt werden muss, um die Empfindung der Kühle deutlich werden zu lassen. Lässt man die Hand dann längere Zeit liegen, so kann unter den oben besprochenen Umständen die Empfindung der Kühle wieder verschwinden und endlich in eine Wärmeempfindung übergehen. Legt man z. B. die flache Hand auf Wachstuch, so empfindet man zuerst sehr deutliche Kühle, welche jedoch rasch abnimmt und nach einiger Zeit einer gleichfalls deutlichen Wärmeempfindung weicht. Taucht man die Hand ganz flüchtig in Öl

von Zimmertemperatur, so bekommt man im Momente des Eintauchens das Gefühl der Kühle; die sofort wieder herausgezogene Hand aber empfindet nach einiger Zeit Wärme, weil theils durch die verhinderte Wasserverdunstung, theils durch die im Vergleich zu früher schwierigere Wärmeabgabe an die Luft der Wärmestrom in der Haut etwas anstaut und die Eigentemperatur höher wird. (Vergl. übrigens den folgenden Paragraphen über die Contrastempfindungen.)

Alle diese Beispiele zeigen, wie man die Empfindung der Wärme herbeiführen kann, ohne dass man einen Körper benützt, der höher temperirt wäre, als die Luft, in welcher die Haut bereits eine constante Temperatur angenommen hatte und sich dabei auf dem Nullpunkte der Temperaturempfindung befand. Von einer Wärmezufuhr von aussen und einem von aussen nach innen gerichteten Wärmestrome kann in allen diesen Fällen nicht die Rede sein.

Bringen wir die Haut mit irgend welchem Körper in Berührung, dessen Temperatur zwar höher ist als die der Luft, in welcher wir schon längere Zeit verweilten, aber nicht so hoch als die Temperatur der äussersten Epidermisschicht derjenigen Hautstelle, mit welcher wir experimentiren, so versteht sich, dass von dem berührten Körper keine Wärme in die Haut überströmen kann, sondern noch immer eine Wärmeabgabe seitens der Haut stattfinden muss, jedoch in geringerem Maasse als vorher, so dass auch hiebei die Eigentemperatur der Haut und ihres nervösen Apparats steigen muss. Wir können also die soeben beschriebenen Versuche mit der Abänderung wiederholen, dass wir die Luft, die Flüssigkeit oder den festen Körper zuvor beliebig, aber nicht höher erwärmen, als die äusserste Epidermisschicht warm ist. In allen Fällen, in denen bei der früheren Versuchsweise Wärmeempfindung eintrat, wird dieselbe jetzt nur um so rascher und deutlicher sich zeigen. Wie wir bei solchen Versuchen uns davor schützen können, dass die berührten Körper etwa wärmer sind als unsere Epidermis und daher Wärme an unsere Haut abgeben, wird sogleich erörtert werden.

Tauchen wir nach längerem Aufenthalte in einem Zimmer von 18° Lufttemperatur einen Finger in eine Flüssigkeit, welche höher temperirt ist, als die Luft, aber nicht so hoch als die Epi-

dermis des Fingers, so werden zwei entgegengesetzt wirkende Factoren für die Grösse der ferneren Wärmeabgabe seitens der Haut bestimmend sein. Die Temperaturdifferenz zwischen der äussern Epidermis und dem umgebenden Medium ist jetzt kleiner als zuvor in der Luft, was an und für sich die Wärmeabgabe vermindern müsste. Dagegen wird der Haut bei gleicher Temperaturdifferenz die Wärme durch die Flüssigkeit rascher entzogen als durch die Luft, was an sich eine stärkere Wärmeabgabe seitens der Haut bedingen würde. Je nachdem nun der eine oder der andere Factor überwiegt, werden wir die Empfindung der Wärme oder Kühle bekommen können. Endlich sei noch erwähnt, dass auch die Schnelligkeit, mit welcher die von der Haut erwärmten Flüssigkeitstheilchen nach oben steigen und neuen noch nicht erwärmten Platz machen, und bei längerem Eintauchen das Gesamtvolumen der sich allmählich erwärmenden Flüssigkeit für die Grösse der Wärmeabgabe mit bestimmend sein müssen.

Für jede Flüssigkeit wird es eine (zwischen der Zimmertemperatur von etwa 18° und der Temperatur der äussern Epidermisschicht liegende) Temperatur geben müssen, bei welcher der eingetauchte Finger nur ebenso viel Wärme abgibt, als zuvor in der Luft, daher sich die Eigentemperatur der Haut in der Flüssigkeit nicht ändern und keine Temperaturempfindung während des Eintauchens entstehen kann. Diese Temperatur wird um so höher sein, je grösser das Wärmeleitungsvermögen der Flüssigkeit ist. Ist dasselbe gross, so wird selbst bei einem kleinen Temperaturunterschiede zwischen Flüssigkeit und Epidermis ebensoviel Wärme abgegeben werden können, als zuvor in der Luft. Am raschesten entzieht unter allen Flüssigkeiten Quecksilber der Haut die Wärme. Diejenige Temperatur des Quecksilbers also, bei welcher der zuvor lange Zeit von constant temperirter etwa 18° warmer Luft umgeben gewesene Finger beim Eintauchen weder Wärme noch Kälte empfindet, wird jedenfalls noch etwas niedriger sein als die Temperatur der äussern Epidermis. Wäre sie nämlich auch nur um Weniges höher, so würde das Quecksilber sofort Wärme an die Epidermis abgeben, diese sich höher temperiren, der Wärmestrom der Haut anstauen, und die so gesteigerte Eigentemperatur des nervösen Apparates eine Wärmeempfindung veranlassen.

Bei einer Zimmertemperatur von 17—19° fand ich die fragliche Temperatur des Quecksilbers in zahlreichen Versuchen zwischen 25 und 31° C. Dabei zeigte sich, dass die verschiedenen Finger derselben Hand, obwohl sie sich Stunden lang unter ganz gleichen Verhältnissen befunden hatten, in demselben Quecksilber ganz verschiedene Empfindungen gaben. So empfand öfters mein Daumen und Zeigefinger in demselben Quecksilber schwache Kühle, in welchem der Mittelfinger weder Wärme noch Kälte, und der kleine Finger schwache Wärme empfand. Dies war beispielsweise einmal der Fall bei 18° Zimmertemperatur und 26.7° Quecksilbertemperatur. Damit stimmt überein, dass ich öfters am kleinen und vierten Finger sehr schwache Kühle bei einer Zimmertemperatur empfinde, die mir an der übrigen Hand noch gar keine Temperaturempfindung hervorruft, und dass diese beiden Finger sich öfters kühl anfühlen, wenn ich sie mit der anderen Hand umfasse, was bei den übrigen Fingern nicht der Fall ist.

Quecksilber also, welches meinem kleinen Finger weder Wärme- noch Kälteempfindung gibt, ist niedriger temperirt, als irgend ein Theil der Epidermis meiner Hand. Wenn ich nun meine Hand mit irgend einem flüssigen oder festen Körper in Berührung bringe, welcher nicht höher temperirt ist als jenes Quecksilber, und ich erhalte bei dieser Berührung nach einiger Zeit die Empfindung der Wärme, so kann ich sicher sein, dass die Eigentemperatur meiner Haut nicht durch äussere Wärmezufuhr, sondern lediglich durch Minderung der Wärmeabgabe gesteigert worden ist. Öl gibt bei solcher Temperatur sehr bald eine Wärmeempfindung.

Ist das Öl einige Grade niedriger temperirt, so fühlt es sich anfangs etwas kühl an, hält man aber die Hand ganz ruhig im Öl, so entsteht bald eine schwache Wärmeempfindung, die jedoch sofort wieder der kühlen Empfindung weicht, wenn man die Hand bewegt. Öl, welches so temperirt ist, dass es weder Wärme- noch Kälteempfindung gibt, fühle ich beim langsamen Eintauchen überhaupt gar nicht, weil der Druck, den es dabei auf die Haut ausübt, zu schwach ist, um wahrgenommen zu werden; Quecksilber dagegen gibt unter solchen Umständen eine deutliche Druckempfindung.

Ich habe mich bei der Erörterung der Bedingungen, unter welchen wir Wärmeempfindungen ohne äussere Wärmezufuhr haben, etwas länger aufgehalten, um zu zeigen, wie häufig der Fall vorkommt, dass lediglich durch verminderte Wärmeabgabe und während noch immer ein, wenngleich schwächerer Wärmestrom von innen nach aussen geht, die Empfindung der Wärme durch äussere Ursache hervorgerufen wird. Die Wärmeempfindungen, welche aus inneren Ursachen, insbesondere durch Änderungen der Blutzufuhr entstehen, lasse ich bei Seite, und will nur kurz erwähnen, dass bei einer plötzlich eintretenden activen Hyperaemie, wie z. B. bei der Schamröthe, häufig die Empfindung der Wärme eintritt, obgleich die Wärmeabgabe von der Haut und also auch der durch die Haut von innen nach aussen gehende Wärmestrom sogar an Intensität zunimmt.

Sobald die Haut mit einem Körper in Berührung gebracht wird, welcher höher temperirt ist, als die äussere Epidermis, wird letztere auch von aussen Wärme aufnehmen und unter dem doppelten Zuflusse äusserer und innerer Wärme eine höhere Temperatur gewinnen. Hierdurch wird zunächst der vom Blute durch die Haut gehende Wärmestrom gestaut, und wird auch die Temperatur der tieferen Hautschichten gesteigert. Eine vollständige, d. h. von dem berührten Körper bis zum Blute reichende Umkehr des Wärmestroms kann jedoch nur dann eintreten, wenn der berührte Körper höher temperirt ist, als das die Haut durchströmende Blut. In allen Fällen aber verräth sich die gesteigerte Eigentemperatur des nervösen Apparates der Haut durch eine Wärmeempfindung.

Ich komme schliesslich zur kurzen Besprechung der Ursachen der Kälteempfindung. Wenn nach längerem Aufenthalte in einem Zimmer von mittlerer Temperatur die bisher nur von Luft umspülte und weder Wärme noch Kälte empfindende Hand mit einem Körper in Berührung gebracht wird, welcher zwar die Lufttemperatur hat, aber der Haut die Wärme stärker entzieht, als die Luft, so wird mehr oder minder schnell die Eigentemperatur des nervösen Apparates herabgesetzt und wir erhalten, wenn die Veränderung der Eigentemperatur nicht gar zu klein ist oder gar zu langsam erfolgt, die Empfindung der Kühle oder

1 Vergl. den folgenden Paragraphen über die Adaptation.

Kälte. Es wurde schon erwähnt, dass alle festen und flüssigen Körper unter solchen Umständen sich kühl anfühlen. Die Metalle geben dabei sogar die Empfindung entschiedener Kälte. Quecksilber kommt als Flüssigkeit mit der eingetauchten Hand in ausbreitetere Berührung als feste Metalle mit der aufgelegten Hand und bietet schon desshalb besonders günstige Bedingungen für die Entstehung der Kälteempfindung. Öl von Zimmertemperatur gibt die Empfindung einer schwachen, Wasser die einer starken Kühle. Dass im Öl die Empfindung der Kühle unter diesen Umständen in die Empfindung einer leichten Wärme übergehen kann, wenn man die Hand ruhig hält, wurde schon erwähnt.

Feste Körper von Zimmertemperatur fühlen sich kühler an, wenn sie glatt, als wenn sie rauh sind; denn ein glatter Körper hat mit der aufgelegten Hand eine innigere Berührung als ein rauher, welcher die Haut nur mit den vorspringenden Theilen berührt, während an den übrigen Stellen zwischen seiner Oberfläche und der Haut Luft zurückbleibt. Daher kommt es auch, dass schlechte Wärmeleiter von rauher Oberfläche, obwohl sie sich unter den genannten Umständen anfangs kühl anfühlten, bei fortdauernder Berührung sehr bald eine Wärmeempfindung geben, indem die zwischen der Haut und dem berührten Körper befindliche Luft sich rasch erwärmt. Glattes Leder und polirtes Holz geben der aufgelegten Hand länger die Empfindung der Kühle, als dieselben Stoffe mit rauher Oberfläche.

Über die Kälteempfindungen, welche entstehen, wenn die berührten Körper niedriger temperirt sind, als die Zimmerluft, an die sich unsere Haut gewöhnt hat, ist nach dem Gesagten nichts weiter hinzuzufügen. Dass wir endlich auch die Empfindung der Kühle bekommen können, wenn die, unsere Haut umspülende Luft in rasche Bewegung gebracht und dadurch die Verdunstung beschleunigt wird, bedarf ebenfalls keiner weiteren Auseinandersetzung.

In allen hier angeführten Fällen der Kälteempfindung beruhte dieselbe darauf, dass durch gesteigerte Wärmeabgabe seitens der Haut die Eigentemperatur des nervösen Apparates derselben herabgesetzt wurde. Hierbei war also, im Einklang mit Vierordt's Satz über die Ursache der Kälteempfindung, der Wärmestrom durch die Haut in der Richtung von innen nach aussen allerdings

verstärkt. Entgegengesetzt aber verhält es sich, wenn durch Gefässecontraction die Haut plötzlich blutarm wird. Hier kann, sofern es sich um ausgebreitete Hautbezirke handelt, das Gefühl der Kühle oder Kälte entstehen. Die Eigentemperatur der Haut sinkt hier, weil bei anfangs unveränderter Wärmeabgabe die Wärmezufuhr zur Haut abnimmt. Dabei wird der durch die Haut gehende Wärmestrom schwächer, und doch tritt eine Kälteempfindung ein.

Die Grösse des durch die Haut gehenden Wärmestromes hängt lediglich ab von der Grösse der Zufuhr und Abfuhr der Wärme. Der Stand der Eigenwärme der Haut und insbesondere des nervösen Apparates kann desshalb bei genau derselben Grösse des Wärmestromes ein verschiedener sein. Dem entspricht, dass wir, wie die angeführten Thatsachen lehren, bei derselben Grösse und Richtung des Wärmestroms bald eine Wärme-, bald eine Kälteempfindung, bald gar keine Temperaturempfindung haben können.

#### §. 4.

#### Von der Adaptation und vom Contraste.

Haben wir uns längere Zeit in einem Zimmer von mittlerer Temperatur aufgehalten, so empfinden wir meistens an keinem Theile unseres Körpers Wärme oder Kälte. Gleichwohl haben hierbei verschiedene Hautstellen ganz verschiedene Temperaturen. Ich erwähnte schon vorhin, dass nicht einmal die Haut meiner Hand an allen Stellen gleich temperirt ist. Mein kleiner Finger ist z. B. fast immer kühler als der Daumen, die Finger sind kühler als die Hand, die Rückenfläche der letzteren kühler als die Hohlhand. Die Stirn ist meist wärmer als die Hand, wie man beim Anlegen der letzteren an die Stirn sogleich bemerkt (E. H. Weber). Lege ich vollends die Hohlhand auf eine für gewöhnlich bedeckte Hautstelle, so ist die Wärmeempfindung an der Hand und die Kälteempfindung an der berührten Hautstelle meist sehr stark.

Da die Temperatur einer Hautstelle einerseits von der Zahl der Blutgefässe und der durchströmenden Blutmenge, anderseits von der Dicke der Epidermis, der Durchfeuchtung derselben und der Stärke der Verdunstung auf derselben abhängt, so ist eine

verschiedene Temperatur der für gewöhnlich entblössten Hautstellen von vornherein zu erwarten. Ebenso versteht sich die durchschnittlich höhere Temperatur der durch die Kleidung gedeckten Hautstellen von selbst.

Aus dem Gesagten ergibt sich, dass nach längerem Aufenthalte in einer Luft von mittlerer Temperatur dem neutralen Punkte der Temperaturempfindung an verschiedenen Hautstellen eine verschiedene Eigentemperatur der Haut und ihres Nervenapparates entspricht.

Aber sogar eine und dieselbe Hautstelle ist bei derselben Zimmertemperatur nicht immer gleich temperirt, auch wenn die Hautstelle lange Zeit mit der constant temperirten Luft in Berührung war und jede Abkühlung oder Erwärmung vermieden wurde. Es hat dies seinen Grund einerseits in Verschiedenheiten des Blutlaufes und der Schweissabsonderung, anderseits in der Veränderlichkeit des Feuchtigkeitsgrades der Luft. Aber trotz dieser Verschiedenheit der Eigentemperatur kann doch die Temperaturempfindung dieser Hautstelle immer auf dem Nullpunkte sein. Wenn Hand und Stirn uns jede für sich keine Temperaturempfindungen geben, so erhalten wir doch, wie schon gesagt, solche meist beim Anlegen der Hand an die Stirn. Dabei zeigt sich aber, dass diese Temperaturempfindungen das eine Mal sehr stark, das andere Mal schwach sind, ein Beweis, dass die Temperaturdifferenz zwischen Stirn und Hohlhand bald grösser, bald kleiner ist, ohne dass sich uns dies durch Temperaturempfindungen verräth, so lange nicht beide Theile in Berührung gebracht werden.

Insbesondere die letzterwähnte Thatsache, dass eine und dieselbe Hautstelle verschieden temperirt sein kann und doch weder Wärme- noch Kälteempfindung zu geben braucht, scheint dagegen zu sprechen, dass der Temperaturgrad, den der nervöse Apparat der Haut bereits angenommen hat, für die Temperaturempfindung massgebend ist, dagegen aber Weber's Ansicht zu unterstützen, nach welcher nur der Act des Steigens oder Fallens der Hauttemperatur die Empfindung der Wärme oder Kälte bedingt. Da indess letztere Annahme, wie wir gesehen haben und noch weiter sehen werden, mit anderen Thatsachen in unlöslichem Widerspruche steht, so müssen wir fragen, ob nicht

eine andere Erklärung für die Gleichheit des Empfindungszustandes trotz verschiedener Eigentemperatur der Haut gefunden werden kann.

Eine solche bietet sich in der That und zwar in ganz ungezwungener Weise und im Anschlusse an längst bekannte Thatsachen der Sinnesphysiologie.

Wenn wir aus einem dunklen Zimmer in ein helles treten, macht uns dies im ersten Augenblicke den Eindruck viel grösserer Helligkeit, als einige Zeit nachher, wo wir uns, wie man zu sagen pflegt, an die grössere Helligkeit gewöhnt haben. Beim Übergange aus hellen in schwach beleuchtete Räume haben wir anfangs die Empfindung einer viel grösseren Dunkelheit als nach längerem Aufenthalte. Wenn wir durch ein farbiges Glas blicken, so erscheint uns anfangs Alles mit der Farbe des Glases übergossen; behalten wir aber das Glas lange Zeit vor den Augen, so verschwindet die Farbe mehr und mehr, und schliesslich bemerken wir sie kaum noch. Beim Eintritt in ein Zimmer fällt uns oft ein Geruch in demselben auf, den wir lebhaft empfinden; nach einiger Zeit aber bemerken wir nichts mehr davon, selbst wenn wir absichtlich darauf achten, obwohl die objective Ursache des Geruches unverändert vorhanden ist. Man pflegt diese Thatsachen aus der Ermüdung des nervösen Sinnesapparates zu erklären. Indessen liegt in dieser Auffassung eine Einseitigkeit, wie ich in Betreff des Lichtsinnes schon an anderer Stelle<sup>1</sup> auseinandergesetzt habe und im Folgenden auch für den Temperatursinn zu zeigen gedenke. Für jetzt möge genügen, darauf hinzuweisen, dass der Ausdruck *Adaptation*, wie ihm Aubert für die Netzhaut gebraucht hat, jedenfalls passender ist, weil er nichts präjudicirt und nicht sogleich den Versuch einer einseitigen Erklärung enthält.

Die *Adaptation* der Netzhaut äussert sich, sofern wir nur das farblose Licht in Betracht ziehen, darin, dass die Empfindlichkeit für dasselbe mit der Dauer seiner Einwirkung auf die Netzhaut abnimmt und zwar um so mehr, je grösser die Intensität desselben ist. Das Auge passt so zu sagen seine Empfindlichkeit der Intensität des einwirkenden Reizes an.

<sup>1</sup> Zur Lehre vom Lichtsinne. Diese Sitzungsberichte, Bd. LXVI—LXX.

Dasselbe thut der Empfindungsapparat der Haut gegenüber den Temperaturreizen. Aber während dem weissen Lichte kein antagonistischer Reiz gegenüber steht, da es keine Lichtstrahlen gibt, welche auf der Netzhaut die Empfindung des Schwarzen hervorbringen, wirken auf den Apparat des Temperatursinns zwei antagonistische Vorgänge als Reize. Denn nicht nur die erfolgte Erhöhung der Eigentemperatur einer zuvor auf dem Nullpunkte der Empfindung gewesenen Hautstelle wird empfunden, sondern auch die erfolgte Herabsetzung der Temperatur, erstere als Wärme, letztere als Kühle oder Kälte. Der nervöse Apparat der Haut verändert ferner unter der Einwirkung des einen dieser beiden Reize nur seine Empfindlichkeit für eben diesen, nicht auch zugleich für den andern. Ja noch mehr: während unter der Einwirkung des einen Reizes die Empfindlichkeit für eben diesen herabgesetzt wird, erhöht sie sich zugleich für den antagonistischen Reiz, und mit der geminderten Empfindlichkeit für Temperatursteigerungen geht unauf löslich eine vermehrte Empfindlichkeit für Temperaturerniedrigungen einher und umgekehrt.

Ganz analog verhält sich das Auge gegenüber zwei antagonistischen Reizen, wie Gelb und Blau oder Roth und Grün. Während z. B. unter der Einwirkung des rothen Lichtes die Empfindlichkeit für Roth abnimmt, steigert sich zugleich die Empfindlichkeit für Grün und umgekehrt.

Da also in den genannten Fällen die Veränderung des nervösen Apparates immer eine doppelte ist und sich nach der einen Seite durch eine geminderte, nach der andern durch eine gesteigerte Empfindlichkeit verräth, so lässt sie sich schon desshalb nicht so ohne Weiteres als eine blosser Ermüdungserscheinung auffassen.

Die Adaptation im nervösen Apparate der Haut äussert sich also nach dem Gesagten darin, dass sich der neutrale Punkt der Empfindung auf der Scala der objectiven Hauttemperaturen verschiebt, und zwar rückt er unter der Einwirkung des Wärmereizes hinauf, so dass ihm nun eine höhere objective Hauttemperatur entspricht; und umgekehrt rückt unter dem Einflusse des Kältereizes jener Nullpunkt herab, so dass er nun auf eine niedrigere Temperatur der Haut zu liegen kommt, als zuvor.

Wenn eine Hautstelle nach längerem Aufenthalte in constant temperirter Luft eine ebenfalls constante Temperatur angenommen hat, wobei ein Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und Abfuhr besteht, und sie empfindet unter solchen Umständen weder Wärme noch Kälte, so sage ich, der nervöse Apparat sei für die Temperatur, welche er unter den genannten Verhältnissen angenommen hat, vollständig adaptirt, oder kurz, die Haut sei für ihre gegenwärtige Eigentemperatur adaptirt. Ich dürfte nicht sagen, die Haut sei für die gegebene Lufttemperatur adaptirt, denn bei derselben Lufttemperatur kann die Haut und insbesondere der nervöse Apparat derselben verschiedenen temperirt sein, weil deren Temperatur nicht bloss von der Lufttemperatur, sondern auch von der Feuchtigkeit der Luft, von dem Blutstrom in der Haut und von der Feuchtigkeit der Haut mit abhängt.

Kommt nun dieselbe Hautstelle unter Verhältnisse, in welchen sie eine andere, übrigens nicht zu stark nach oben oder unten von der früheren abweichende Temperatur annimmt, und diese Temperatur erhält sich längere Zeit constant, so gibt diese Hautstelle abermals weder Wärme- noch Kälteempfindung, sie hat sich jetzt für ihre neue constante Temperatur wieder vollkommen adaptirt, und dem Nullpunkte der Temperaturempfindung entspricht jetzt eine andere Temperatur des nervösen Apparates.

Aus diesem Adaptationsvermögen der Haut erklärt sich, dass eine und dieselbe Hautstelle, während sie keine Temperaturempfindung gibt, doch eine verschiedene Temperatur haben kann, erklärt sich ferner, dass wir, wenn wir aus einem wärmeren Raume in einen etwas kälteren übergehen oder umgekehrt, wir zwar anfangs die Kühle oder Wärme spüren, nach längerer Zeit aber keine Temperaturempfindung mehr haben, obwohl die Temperatur dieselbe geblieben ist, endlich dass verschiedene Hautstellen, während sie sämmtlich keine Temperaturempfindung haben, doch sehr verschiedene Eigenwärme haben können. Freilich ist nun die Adaptation selbst erst noch zu erklären, was später versucht werden soll.

Besondere Versuche über die vollkommene Adaptation der Haut anzustellen, erscheint nicht nöthig, weil ja die Erfahrungen

des täglichen Lebens hinreichend viel Beispiele für dieselbe geben. Man darf nicht den Einwand erheben wollen, dass es sich in den eben angeführten Fällen nicht eigentlich um eine Adaptation des nervösen Apparates sondern um Regulierungsvorrichtungen handle, durch welche dafür gesorgt sei, dass trotz verschiedener Temperatur und Feuchtigkeit der die Haut umgebenden Luft, doch nach einiger Zeit die empfindliche Schicht immer wieder dieselbe Temperatur annehme. Wenn z. B. in dem Maasse, als die Lufttemperatur sinkt, der Blutstrom durch die Haut sich steigerte, oder die Epidermis die Wärme schlechter leitete, und die Wasserverdunstung abnähme, so wäre eine immer gleiche Temperatur der tieferen Hautschicht trotz verschiedener Lufttemperatur denkbar. In der That wird mit dem Sinken der Lufttemperatur die Wasserverdunstung von der Haut abnehmen, und dadurch die Wärmeabgabe beschränkt werden. Auch für die Annahme, dass die Epidermis in einer niedrigeren Temperatur bald trockener werde, spricht die alltägliche Erfahrung. Mit dem Blutstrom durch die Haut aber verhält es sich im Allgemeinen gerade umgekehrt: er wird bei niedriger Temperatur im Allgemeinen gemindert. Überhaupt laufen diese Einrichtungen, wie bekannt, vielmehr darauf hinaus, die Temperatur des Blutes, als die der Haut constant zu erhalten. Ein Sinken der Hautwärme bei Erniedrigung und ein Steigen derselben bei Erhöhung der Aussentemperatur liegt sogar im Interesse der Regulierung der Blutwärme, weil die Haut um so mehr Wärme an die umgebende Luft abgeben wird, je höher ihre eigne Temperatur über der Lufttemperatur liegt.

Dass eine und dieselbe Hautstelle wirklich verschieden temperirt sein und sich doch immer auf dem Nullpunkte der Empfindung befinden kann, geht schon aus der oben angeführten Thatsache hervor, dass die Temperatur des Quecksilbers oder einer andern Flüssigkeit, welche dem zuvor in der Zimmerluft adaptirten Finger beim Eintauchen keine Temperaturempfindung geben, nicht immer dieselbe ist, sondern innerhalb der Grenzen von ungefähr 24 und 30° schwankt, und dass dem zuvor vollständig adaptirten Finger Quecksilber von 27° das eine Mal eine auffallend kühle, das andere Mal eine auffallend warme Empfindung

geben kann. Dies wäre ohne die Annahme einer verschiedenen Hauttemperatur schwer zu erklären.

Überdies lässt sich die unter verschiedenen Umständen verschiedene Temperatur einer und derselben vollkommen adaptirten Hautstelle auch durch objective Temperaturmessung nachweisen.

Wenn bei der vollständigen Adaptation der Haut, welche immer längere Zeit erfordert, unterdess wesentliche Änderungen des Blutstromes und der Secretionsthätigkeit der Haut allerdings eintreten können, so kommen letztere nicht in Betracht, wo es sich nur um eine unvollständige Adaptation handelt, weil letztere ziemlich rasch eintritt. Das Vorhandensein einer Adaptation überhaupt wird aber durch die Thatsachen der unvollständigen Adaptation ebenso gut bewiesen, wie durch die Fälle einer vollständigen Adaptation.

Wenn ich einen Finger in Quecksilber tauche, dessen Temperatur wenige Grade über oder unter derjenigen Temperatur liegt, bei welcher das Quecksilber dem zuvor für die Zimmertemperatur vollständig adaptirten Finger weder Wärme- noch Kälteempfindung erzeugt, so spüre ich unmittelbar nach dem Eintauchen deutliche Wärme oder Kühle. Sehr bald aber verliert die Empfindung an Lebhaftigkeit und nimmt mehr und mehr ab. In welchem Grade diese Abnahme stattfand, erkennt man am besten, wenn man nach einiger Zeit einen zweiten Finger eintaucht: dieser gibt dann eine viel stärkere Wärme- oder Kälteempfindung.

Diese Abnahme z. B. der Wärmeempfindung bei unveränderter Temperatur<sup>1</sup> des die Haut berührenden Quecksilbers ist die Folge der Adaptation des Empfindungsorgans an die veränderte Eigentemperatur. Indem der neutrale Punkt der Empfindung auf der Temperaturscala der Haut hinauftritt und somit demselben jetzt eine höhere Eigentemperatur als vorher entspricht, wird die Differenz zwischen der neu angenommenen und der dem neutralen Punkte entsprechenden Eigentemperatur immer

<sup>1</sup> Trotz der Einführung des Fingers tritt eine hier in Betracht kommende Veränderung der Temperatur des Quecksilbers wegen des grossen Leitungsvermögens wenigstens dann nicht ein, wenn die Masse des Quecksilbers im Vergleich zum Finger eine grosse ist.

kleiner. Von der Grösse dieser Differenz aber hängt im Wesentlichen die Stärke der Temperaturempfindung ab.

Das Quecksilber eignet sich deshalb am besten zu diesem Versuche, weil es die Temperatur der Haut am schnellsten verändert, und weil die der Haut zunächst liegende Flüssigkeitsschicht nicht, wie das z. B. beim Öl der Fall ist, ihre Temperatur im Contacte mit der Haut irgend erheblich ändert, weil endlich nicht, wie im Wasser, die Epidermis durch Aufquellen ein anderes Leitungsvermögen bekommt. Wenn die Eigentemperatur der Haut sich sehr langsam ändert, so hat die Adaptation des nervösen Apparats Zeit, dieser Änderung zu folgen, immer vorausgesetzt, dass letztere gewisse Grenzen nicht überschreitet. Der Nullpunkt der Empfindungsscala rückt dann in annähernd gleichem Grade herab oder hinauf, wie die Eigentemperatur, und es kommt daher trotz der Temperaturänderung zu keiner deutlichen Temperaturempfindung.

Fehlte dem nervösen Apparate das Adaptationsvermögen, so würde jeder bestimmten Eigentemperatur der Haut unänderlich ein bestimmter Grad der Wärme- oder Kälteempfindung entsprechen, und die sogenannte Gewöhnung an verschiedene Aussentemperaturen wäre dann nur durch Einrichtungen denkbar, welche die Eigentemperatur der Haut, nicht aber die Empfindlichkeit ihres nervösen Apparates regulirten.

Da in Folge der Adaptation eine neue, von der anfänglichen Nullpunkttemperatur abweichende Eigentemperatur anfangs stärker empfunden wird, als nach einiger Zeit, so konnte man freilich auf die Vermuthung kommen, dass der Act der Temperaturänderung das Maassgebende für die Empfindung sei, und in dieser Ansicht wurde man dadurch bestärkt, dass eine Hautstelle bei so verschiedenen Eigentemperaturen auf dem Nullpunkte der Empfindung sein kann. Durch die Adaptation erklären sich diese Thatsachen vollständig, ohne dass man, wie bei den Weber'schen Annahmen, mit anderweitigen Thatsachen in Widerspruch geräth. In allen Fällen z. B., wo bei Berührung warmer Körper die neue Eigentemperatur der Haut bereits constant geworden oder sogar schon wieder im Sinken begriffen ist, muss nach unserer Annahme eine Wärmeempfindung so lange fortbestehen, als nicht die Eigentemperatur wieder mit

der Nullpunkttemperatur zusammenfällt; nach Weber dagegen müsste die Wärmeempfindung aufhören, sobald die Eigentemperatur constant geworden ist, und sogar in eine Kälteempfindung übergehen, sobald die Eigentemperatur wieder sinkt, wenn gleich letztere dabei immer noch wesentlich höher sein könnte als anfangs.

Mit den Thatsachen der Adaptation stehen, wie bei allen Sinnesapparaten, so auch hier die Contrasterscheinungen in inniger Beziehung. Man bringe eine Flüssigkeit, z. B. das Quecksilber  $Q$  auf diejenige Temperatur, bei welcher der eingetauchte Finger weder Kälte noch Wärme empfindet. Sodann tauche man denselben Finger in ein Quecksilber  $Q'$ , welches kälter, z. B. auf Zimmertemperatur ist. Bringt man dann nach etwa 30 Secunden den Finger in das Quecksilber  $Q$  zurück, so empfindet man in diesem deutliche Wärme.

Taucht man den Finger, statt in kühleres, in ein wärmeres Quecksilber  $Q''$ , welches z. B. die Bluttemperatur hat, so erscheint nachher demselben Finger das Quecksilber  $Q$  deutlich kühl. Diese durch den Contrast entstandenen Empfindungen der Wärme oder Kälte sind um so lebhafter, je länger man den Finger in dem Quecksilber  $Q'$  oder  $Q''$  liess und je mehr die Temperatur des letzteren von der Temperatur des anfangs weder warm noch kalt erscheinenden Quecksilbers  $Q$  abweicht.

Taucht man die eine Hand in kaltes Wasser ( $6-10^{\circ} \text{C.}$ ) die andere gleichzeitig in heisses (von  $40-45^{\circ}$ ) und bringt nach 20—30 Secunden beide Hände in Wasser von  $25-27^{\circ}$ , so empfindet die eine Hand das Wasser deutlich warm, die andere deutlich kalt.

Das Quecksilber  $Q$  erscheint uns anfangs neutral temperirt, weil es unserer Haut nur ebensoviel Wärme entzieht, als ihr die Luft in derselben Zeit auch entzogen hätte. War also die Haut an die Zimmerluft vollkommen adaptirt, so kann sich im Quecksilber ihre Eigentemperatur nicht ändern. Im Quecksilber  $Q'$  dagegen, nimmt die Haut eine höhere Temperatur an. In das Quecksilber  $Q$  zurückgebracht, gibt die wärmer gewordene Haut die so zu sagen überschüssig aufgenommene Wärme wieder ab, und es muss sich bald wieder dasselbe Gleichgewicht zwischen

Wärmeabgabe und Wärmezufuhr herstellen, welches anfangs in diesem Quecksilber bestand. Denn die Verhältnisse sind ja wieder dieselben, wie zuvor, und der geringe Wärmeüberschuss, welchen die Haut aus dem wärmeren Quecksilber in das Quecksilber  $Q$  mit hinüber genommen hat, kommt, wenn die Quantität des letzteren gross ist, nicht in Betracht. Wenn also der Nullpunkt der Empfindung sich in dem wärmeren Quecksilber  $Q'$  nicht nach oben verschoben hätte, so könnte das Quecksilber  $Q$  nicht kühl, sondern müsste entweder sofort wieder neutral erscheinen, aber es könnte höchstens noch eine kurze Zeit die Empfindung der Wärme fortbestehen, bis die Eigentemperatur wieder auf das ursprüngliche Maass zurückgegangen wäre. Statt dessen empfinden wir deutliche Kühle, weil der nervöse Apparat sich im wärmeren Quecksilber bereits für die höhere Eigentemperatur, wenn auch nur unvollständig, adaptirt hatte. Derselbe nimmt zwar im Quecksilber  $Q$  bald wieder seine frühere Eigentemperatur an, aber diese liegt jetzt unter der neuen Nullpunkttemperatur, daher die Empfindung der Kühle.

In analoger Weise lassen sich die übrigen oben erwähnten und alle sonstigen durch Contrast bedingten Veränderungen der scheinbaren Wärme oder Kälte der Aussendinge als Folgen der Adaptation oder der Verschiebung des Nullpunkts der Empfindung auffassen. Gerade diese Contrastercheinungen mochten Weber mit dazu bestimmen, den Act der Temperaturänderung als den wesentlichen Reiz für die Nerven des Temperatursinns anzusehen.

Das Gesagte möge genügen, um die Übereinstimmung der Thatsachen mit den in §. 2 aufgestellten Sätzen darzuthun. Mit der Zurückführung dieser Thatsachen auf ein allgemeines Gesetz oder mit der Ableitung derselben aus diesem Gesetze sind jedoch die Thatsachen noch nicht physiologisch erklärt. Es gilt jetzt die oben aufgestellten Sätze aus uns bereits bekannten Eigenschaften der Nervensubstanz abzuleiten. Dies soll im nächsten Paragraphen versucht werden.

## §. 5.

## Grundzüge einer Theorie des Temperatursinns.

Die Empfindungen der Wärme und Kälte sind qualitativ verschieden, so dass es nicht möglich ist, alle Temperaturempfindungen als nur dem Grade nach verschiedene Empfindungen anzusehen. Dass wir aber die Empfindungen der Wärme und Kälte nicht bloss als verschieden, sondern sogar als gegensätzlich ansehen, hat seinen Grund einerseits darin, dass sie sich, so weit unsere Erfahrung reicht, an einer und derselben Hautstelle gegenseitig ausschliessen,<sup>1</sup> anderseits darin, dass uns das gegensätzliche Verhalten der physikalischen Bedingungen der beiden Empfindungen bekannt ist, und wir aus der Empfindung der Wärme auf einen relativen Überschuss, aus der Empfindung der Kälte auf einen relativen Mangel an äusserer, objectiver Wärme schliessen.

Dieselben Gründe machen es von vornherein wahrscheinlich, dass beide Arten der Empfindung durch denselben Nervenapparat vermittelt werden und gegensätzlichen Zuständen desselben entsprechen. Dies wird wohl auch gegenwärtig bisweilen stillschweigend angenommen, obwohl es nicht recht in Einklang steht mit den jetzt herrschenden Ansichten über die sogenannte Nervenregung und -erregbarkeit. Nach diesen Ansichten unterscheidet man an den nervösen Apparaten nur den Zustand der Ruhe und den der Thätigkeit oder Erregung. Wir müssten aber, wenn wir die Empfindungen der Wärme und Kälte als von gegensätzlichen Zuständen des Nervenapparates bedingt ansehen wollen, drei verschiedene Zustände dieses Apparates unterscheiden, nämlich erstens einen so zu sagen neutralen Zustand, welcher dem jetzt als Ruhezustand bezeichneten entsprechen würde, und zwei verschiedene Erregungs- oder Thätigkeits-

<sup>1</sup> Wenn man die zwei stumpfen Spitzen des zu Tastversuchen eingerichteten Cirkels sehr verschieden temperirt und so nahe nebeneinander auf die Haut setzt, dass sie nicht räumlich gesondert wahrgenommen werden, so empfindet man, wie Czermak gezeigt hat, an derselben Hautstelle zugleich Wärme und Kälte. Dieser Fall bietet also eine, allerdings nur scheinbare Ausnahme von der oben aufgestellten Regel.

zustände, welche sich gegensätzlich verhalten, so dass die nervöse Substanz nach zwei entgegengesetzten Richtungen hin aus dem neutralen Zustande in den der Erregung kommen kann.

Auch wenn nicht viele andere Gründe für eine solche Erweiterung des Begriffes der Erregung sprächen, so würde allein die nähere Untersuchung des Temperatursinns dazu hinreichende Veranlassung bieten.

Zunächst ist zu erörtern, warum die ebenfalls nahe liegende Annahme von zwei verschiedenen, den Empfindungen der Wärme und Kälte entsprechenden nervösen Apparaten zurückzuweisen ist.

Wäre der nervöse Apparat ein doppelter, so müssten, wenn die Temperaturempfindung eben auf dem Nullpunkte ist, beide Apparate im Zustande der „Ruhe“ sein. Für den einen würde dann jede höhere, für den andern jede tiefere Eigentemperatur ein Reiz sein. Da nun, wie wir sahen, durch Einwirkung des einen dieser beiden Reize nicht bloss die Empfindlichkeit für ebendiesen herabgesetzt, sondern zugleich die Empfindlichkeit für den andern erhöht wird, so müsste man annehmen, dass z. B. die eingetretene höhere Temperatur nicht bloss ein Reiz für den Apparat der Wärmeempfindung sei, unter dessen Wirkung derselbe ermüde, sondern dass die höhere Temperatur zugleich die Erregbarkeit des Apparates der Kälteempfindung erhöhe. Und umgekehrt müsste eine Erniedrigung der Hauttemperatur nicht bloss den Apparat der Kälteempfindung erregen und weiterhin seine Erregbarkeit herabsetzen, sondern zugleich auch die Erregbarkeit des andern Apparates erhöhen. Diese beiden Apparate müssten ferner in so genauer Harmonie arbeiten, dass wenn der eine bei einer gegebenen Hauttemperatur nicht merklich erregt ist, sich auch der andere jedesmal genau ebenso verhält. Dem Nullpunkte der Empfindung müsste also immer in beiden Apparaten genau dieselbe Eigentemperatur entsprechen, und nie dürfte es vorkommen, dass die Erregbarkeitsverhältnisse beider Apparate sich verschöben und beide zugleich durch dieselbe Temperatur in merkliche Erregung versetzt würden.

Eine solche innige Harmonie der beiderseitigen Functionen ist aber nur denkbar, wenn man annimmt, dass die beiden Apparate gegenseitig ihre Erregbarkeit regeln, dass der jewei-

lige Zustand des einen auf den andern mitbestimmend einwirkt, kurz dass beide in inniger funktioneller Wechselbeziehung stehen. Muss man aber dies einmal annehmen, so ist es viel einfacher, sich die beiden Apparate geradezu verschmolzen zu denken, und nur einen nervösen Apparat anzunehmen, welcher in zwei entgegengesetzten Weisen aus dem Zustande der Ruhe in den der Erregung übergehen kann.

Nehmen wir daher für die beiden gegensätzlichen Empfindungen der Wärme und Kälte nur einen einfachen Nervenapparat an, so haben wir nach dem oben Gesagten drei verschiedene Zustände desselben zu unterscheiden: erstens denjenigen, welcher dem Nullpunkte der Temperaturempfindung entspricht und als neutraler oder Gleichgewichtszustand bezeichnet werden kann; zweitens den Zustand, welcher die Empfindung der Wärme und drittens den, der die Empfindung der Kälte bedingt.

Wenn eine Nervenfaser oder -zelle sich im sogenannten Ruhezustande befindet, so ist sie gleichwohl in einer andauernden inneren Bewegung begriffen, denn der Stoffwechsel ist nicht bloss auf die Zeit der sogenannten Thätigkeit oder Erregung beschränkt. In der That wird wohl kein Physiologe zweifeln, dass die „ruhende“ Nervensubstanz ebenso wie die ruhende Muskel- oder Drüsensubstanz einen Stoffwechsel hat.

Der Stoffwechsel der Nervensubstanz besteht nun, wie der jeder andern lebendigen Substanz, im Wesentlichen darin, dass einerseits lebendige Substanz verbraucht, anderseits solche wieder ersetzt wird. Verbrauch und Ersatz aber finden gleichzeitig statt, jedoch in sehr verschiedenem Verhältnisse der Grösse oder Intensität; bald überwiegt der Verbrauch und die lebendige Substanz nimmt dabei ab, bald wieder ist der Ersatz stärker als der Verbrauch, so dass die Substanz zunimmt, bald endlich sind beide Processe unter einander im Gleichgewichte, welchenfalls dann die lebendige Substanz ganz unverändert bleibt.

Insofern die lebendige Substanz sich verbraucht, bildet sie aus sich selbst Zersetzungsproducte; insofern sie sich aus dem vorhandenen Ernährungsmaterial wieder ersetzt, bildet sie aus demselben einen neuen Theil ihrer selbst. Der letztere Vorgang

wird allgemein als Assimilation oder Assimilierung bezeichnet und analog bezeichne ich den ersteren als Dissimilierung.

Es liegt nun nahe, anzunehmen, dass der oben als neutraler oder Gleichgewichtszustand benannte Zustand des nervösen Apparates der Temperaturempfindung identisch mit demjenigen ist, bei welchem die Assimilierung und Dissimilierung der nervösen Substanz gleich gross und so zu sagen gegenseitig im Gleichgewichte sind, dass ferner das Überwiegen des einen der beiden Prozesse über den andern einerseits die Wärme-, andererseits die Kälteempfindung bedingt. Aus einer solchen Annahme aber erklären sich alle oben angeführten Thatsachen in zwangloser Weise, wenn wir nur die weitere Annahme hinzufügen, dass die Grösse sowohl der Dissimilierung als der Assimilierung von der jeweiligen Temperatur mit abhängt, derart, dass der eine dieser beiden Prozesse mit der Höhe der Temperatur zu-, der andere aber abnimmt. Wenn man bedenkt, dass Dissimilierung und Assimilierung an und für sich gegensätzliche Vorgänge sind, so liegt der Gedanke nahe, dass sie sich auch zu einem äusseren Reize gegensätzlich verhalten können.

Insofern die Eigentemperatur der erregbaren Substanz eine der Bedingungen ist, von welcher die Grösse der jeweiligen Assimilierung und Dissimilierung abhängt, können wir sagen, dass die Eigentemperatur sowohl für die Assimilierung als für die Dissimilierung einen Reiz bilde, zugleich ein *A*-Reiz und ein *D*-Reiz sei, und insofern jede Veränderung der Eigentemperatur des nervösen Apparates innerhalb gewisser Grenzen die genannten beiden Prozesse in entgegengesetzter Weise beeinflusst, den einen steigert, den andern mindert, können wir weiter sagen, dass die jeweilige Eigentemperatur für den einen Process ein um so stärkerer, für den andern ein um so schwächerer Reiz sei, je höher sie ist.

Zunächst fragt es sich nun, ob es die Assimilierung oder die Dissimilierung ist, welche mit steigender Eigentemperatur der erregbaren Substanz zunimmt. Eine Entscheidung hierüber zu geben, ist für das Folgende nicht unbedingt nöthig, da sich die bisher besprochenen Thatsachen ebenso gut aus der einen wie aus der andern Annahme erklären lassen. Da aber die Darstellung wesentlich vereinfacht wird, wenn man nicht immer beide

mögliche Fälle setzt, sondern sich von vorneherein bestimmt für den einen entscheidet, so will ich für das Folgende annehmen, dass mit steigender Temperatur die Dissimilierung wachse, die Assimilierung abnehme, mit sinkender Temperatur umgekehrt die Assimilierung gemehrt, die Dissimilierung gemindert werde. Es soll aber hiermit, wie ich ausdrücklich bemerke, weiteren Untersuchungen gegenüber gar nichts präjudicirt sein.

Hiernach bildet also die Eigentemperatur des nervösen Apparates einen um so grösseren *D*-Reiz für denselben, je höher, und einen um so grösseren *A*-Reiz, je niedriger sie ist, beides jedoch nur zwischen denjenigen Grenzen, innerhalb deren uns die Eigentemperatur die Empfindung der Wärme oder Kälte, nicht aber eine schmerzhaft empfindung gibt.

Ausser von der Höhe der Temperatur wird die Grösse der jeweiligen Assimilierung und Dissimilierung noch von anderen Bedingungen abhängen müssen, welche in ihrer Gesamtheit das ausmachen, was man gewöhnlich die Erregbarkeit nennt. Bei einem und demselben Temperaturgrade wird die Assimilierung um so stärker sein, je günstiger die übrigen Bedingungen für dieselben sind, oder, wie wir sagen können, je grösser die *A*-Erregbarkeit ist; und ebenso wird die Dissimilierung um so grösser sein, je günstiger die anderweitigen Bedingungen für die Dissimilierung sind, d. h. je grösser die *D*-Erregbarkeit ist.

Die jeweilige Grösse der Assimilierung ist hiernach von zwei Hauptfactoren abhängig, einerseits von dem Grade der Eigentemperatur des nervösen Apparates und andererseits von seiner *A*-Erregbarkeit, und ebenso hängt die Grösse der Dissimilierung einerseits von der Eigentemperatur, andererseits von der Grösse der *D*-Erregbarkeit ab.

Es folgt hieraus, dass eine Gleichheit zwischen der Grösse der Assimilierung und Dissimilierung bei verschiedenen Eigentemperaturen des nervösen Apparates möglich ist, weil seine Erregbarkeiten keine constanten, sondern ebenfalls variable Grössen sind. Ist die Grösse der Dissimilierung das Product aus der Stärke des *D*-Reizes und der *D*-Erregbarkeit, die Grösse der Assimilierung das Product aus der Stärke des *A*-Reizes und der *A*-Erregbarkeit, so kann eine Vergrösserung des Reizes compensirt werden durch eine Minderung der Erregbarkeit und

eine Minderung des Reizes durch eine Erhöhung der Erregbarkeit. Wenn also nur der *A*-Reiz sich zu dem *D*-Reiz umgekehrt verhält, wie die *A*-Erregbarkeit zur *D*-Erregbarkeit, so wird immer die Assimilierung gleich der Dissimilierung sein, gleichviel welches die absoluten Grössen der beiden Reize und der beiden Erregbarkeiten sind.

Bei Gleichheit zwischen Dissimilierung und Assimilierung ist die Empfindung auf dem Nullpunkte. Diesem Nullpunkte der Empfindungsscala kann also eine verschiedene Eigentemperatur der erregbaren Substanz entsprechen, und die Nullpunktstemperatur ist deshalb keine constante, sondern eine variable Grösse.

Setzen wir jetzt den Fall, die erregbare Substanz habe sich lange Zeit auf einer mittleren constanten Temperatur befunden, und die Dissimilierung und Assimilierung seien vollständig im Gleichgewichte. Obgleich nun hierbei fortwährend erregbare Substanz zerstört wird, erhält sich dieselbe doch bei constanter Quantität, weil dem Verbräuche ein gleich grosser Wiederersatz entspricht. Obwohl ferner fortwährend Stoff für die Assimilierung verbraucht wird, so nimmt die Menge des vorhandenen Assimilierungsmaterials doch nicht ab, weil es in demselben Maasse, als es verbraucht wird, vom Strom der Säfte zugeführt wird. Obwohl endlich fortwährend Producte der Dissimilierung entstehen, welche nicht weiter für die Nervensubstanz brauchbar sind, so können sie sich doch nicht in stärkerem Maasse anhäufen, weil ebensoviel durch den Säftestrom weggeführt wird, als in derselben Zeit entsteht. Es hat sich also in jeder Beziehung ein Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Ersatz, Zufuhr und Abfuhr hergestellt.

Dieses allgemeine Gleichgewicht werde jetzt durch eine Steigerung der Eigentemperatur des nervösen Apparates gestört. Sofort nimmt die Dissimilierung zu, weil der *D*-Reiz jetzt stärker ist, die Assimilierung aber ab, weil der *A*-Reiz vermindert ist. Da hierbei mehr verbraucht als wiederersetzt wird, vermindert sich die erregbare Substanz, und da weniger Assimilierungsmaterial verbraucht wird, als vorher, staut sich dasselbe gleichsam an. Je mehr aber die Quantität der erregbaren Substanz abnimmt, desto mehr muss auch bei gleichbleibendem *D*-Reize

die Grösse der Dissimilierung abnehmen, denn die Menge der erregbaren Substanz ist ein Hauptfactor der Erregbarkeit des nervösen Apparates; und je mehr die Menge des zur Disposition stehenden *A*-Materials wächst, desto mehr muss die Assimilierung wachsen, insofern die Menge des vorhandenen *A*-Materials ein Factor der *A*-Erregbarkeit ist. Diese Minderung der *D*-Erregbarkeit und Erhöhung der *A*-Erregbarkeit wird um so grösser sein, je höher die neue Eigentemperatur über der früheren Nullpunktstemperatur liegt und je länger sie anhält.

Wenn nun anfangs diese höhere Eigentemperatur eine Wärmeempfindung gibt, deren Stärke von dem Überwiegen der Dissimilierung über die Assimilierung abhängt (sei es nun, dass das Verhältniss, oder sei es dass die Differenz zwischen beiden hierbei das Wesentliche ist), so wird doch die Stärke der Empfindung trotz gleich bleibender Temperatur mit der Zeit abnehmen müssen, weil sich, wie gesagt, beide Erregbarkeiten und damit die Grössen der Dissimilierung wie der Assimilierung derart ändern, dass der Unterschied zwischen beiden immer kleiner wird. (Unvollständige Adaptation an die gesteigerte Temperatur.)

Aus dem veränderten Verhältnisse der beiden Erregbarkeiten folgt ferner, dass der nervöse Apparat, um wieder in's Gleichgewicht zwischen Assimilierung und Dissimilierung zu kommen, jetzt einer höheren Eigentemperatur bedarf, als vorher. Denn was von *D*-Erregbarkeit verloren wurde, muss durch Erhöhung des *D*-Reizes, und was an *A*-Erregbarkeit gewonnen wurde, durch geminderten *A*-Reiz compensirt werden. Die neue Nullpunktstemperatur ist also höher als die frühere. Würde der nervöse Apparat nicht auf diese neue, sondern auf die alte Nullpunktstemperatur gebracht, so würde, da im Vergleich zu früher die *A*-Erregbarkeit erhöht und die *D*-Erregbarkeit gemindert ist, der *A*- und *D*-Reiz aber wieder dieselben wie anfangs sind, die Assimilierung die Dissimilierung überwiegen und eine Kälteempfindung eintreten müssen. Ebenso würden alle zwischen der alten und der neuen Nullpunktstemperatur gelegenen Temperaturen des nervösen Apparates, welche früher als Wärme empfunden worden wären, jetzt als Kälte empfunden werden, und alle unterhalb der früheren Nullpunktstemperatur gelegenen Eigentempe-

raturen würden eine kühlere, alle über der neuen Nullpunktstemperatur gelegenen eine minder warme Empfindung geben, als zuvor. (Temperaturcontrast.)

Gesetztenfalls endlich, die höhere Temperatur, in welche wir den nervösen Apparat versetzt dachten, hielte sehr lange an, so würde endlich der Punkt erreicht werden, wo die *D*-Erregbarkeit so weit gesunken und die *A*-Erregbarkeit so weit gestiegen ist, dass die im Vergleich zur früheren Nullpunktstemperatur eingetretene Verstärkung des *D*-Reizes jetzt vollständig compensirt wird durch die Minderung der *D*-Erregbarkeit, und die Minderung des *A*-Reizes durch die Erhöhung der *A*-Erregbarkeit. Jetzt wird also die Dissimilierung wieder gleich der Assimilierung und die Empfindung wieder auf den Nullpunkt zurückgesunken sein. (Vollständige Adaptation an die neue Eigentemperatur.)

Ich habe die neue Theorie nur so weit entwickelt, als zur Erklärung der oben besprochenen Thatsachen nöthig war. Die weitere Durchführung ist ohne psychophysische Erörterungen nicht zu geben. Denjenigen Lesern, welche sich mit meiner Theorie des Licht- und Farbensinnes vertraut gemacht haben sollten, wird nicht entgangen sein, dass beide Theorien sich gegenseitig stützen.

Die eingehendere Ausarbeitung beider Theorien bleibt zweckmässiger Weise so lange verschoben, bis es einigermaßen gelungen sein wird, jedem der drei Hauptglieder eines Sinnesapparates, nämlich dem peripheren Apparate, den leitenden Nervenfasern und dem centralen Endapparate ihren Antheil an der Herstellung der Empfindungen gesondert zuzuweisen. Wie die Dinge jetzt liegen, musste ich mich beschränken, diese drei Glieder gleichsam in Eines zusammenzuwerfen. Es ist Sache einer ganz besondern Untersuchung, wie viel z. B. von den Erscheinungen des Contrastes auf Rechnung des peripheren Sinnesorganes, wie viel auf die des centralen Apparates zu setzen ist. Eine Theorie, welche darauf zunächst noch keine Rücksicht nimmt oder vielmehr nicht nehmen kann, wenn sie nicht durch weitläufige Erwägung aller a priori denkbaren Fälle ermüden

will, wird allerdings später Correcturen nöthig haben. Aber die Correcturen werden, wenn der Grundgedanke der Theorie richtig ist, nicht diese, sondern nur die Art seiner Durchführung treffen können.

Diejenigen Leser aber, welche derartigen theoretischen Versuchen überhaupt keinen Geschmack abgewinnen können, bitte ich, diese Abhandlung als mit dem §. 4 abgeschlossen zu betrachten. Denn alles bis dahin Ausgesprochene behält seine Richtigkeit, auch wenn die Theorie grundfalsch wäre.