

Die Empfindung als Funktion der Reizänderung.

Von

W. PREYER.

Die Notiz über die Änderungsempfindlichkeit (von E. W. SCRIPTURE (in *dieser Zeitschrift* VI, S. 472) erinnert mich an Versuche, welche ich zuerst vor einigen zwanzig Jahren über die Wirkung sehr langsam und kontinuierlich zu- und abnehmender Hautreize anstellte. Von den Ergebnissen ist nur ein Teil veröffentlicht worden, abgesehen von beiläufigen Bemerkungen und dem, was ich in meinen an der Universität Jena gehaltenen Vorlesungen über Psychophysik mündlich mitteilte. Mannigfaltige Versuche über die Unempfindbarkeit sich langsam und stetig ändernder thermischer, chemischer und mechanischer Reize haben unter meiner Leitung HEINZMANN (*Pflügers Arch.* 1872, VI) und FRATSCHER (*Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft* 1875 IX) ausgeführt. Einige davon hat SCRIPTURE (S. 473) wiederholt und bestätigt. So konnte er die eben unmerkliche Temperaturänderung bis gegen 10^0 ausdehnen. Ich hatte für mich 4^0 gefunden (*Pflügers Arch.* VI, S. 236). Auch die große Zunahme der eben unmerklichen Tonhöhendifferenz und Tonstärkendifferenz bei sehr langsamer kontinuierlicher Änderung habe ich in verschiedener Weise demonstriert. Am einfachsten überzeugt man sich davon an meinem Tondifferenzapparat (PREYER, *Die Grenzen der Tonwahrnehmung.* Jena 1876, S. 29), indem man die Schieber ganz allmählich vorzieht und zurückschiebt. Dann ist es leicht, die Unterschiedsschwelle ohne Unterschiedsempfindung zu überschreiten trotz gespannter Aufmerksamkeit. Für Geruchs- und Geschmacksreize gilt dasselbe, wie gelegentliche Beobachtungen darthun. Doch sind darüber bis jetzt messende Versuche nicht angestellt worden. Dafs endlich die

Unterschiedsempfindlichkeit für Lichtstärken und die für Farben weit unter der Norm bleibt, wenn die zu vergleichenden Reizwerte nicht, wie es bei sämtlichen derartigen Bestimmungen üblich ist, sprungweise, sondern allmählich ineinander übergehen, ist nach meinen Beobachtungen nicht zweifelhaft. Sei es, daß im Spektralapparat das Prisma oder das Fernrohr mit einer Okularspaltvorrichtung kontinuierlich gedreht wird, sei es, daß am Hauptspalt die Lichtmenge durch kontinuierliche Drehung der Mikrometerschraube verändert wird — bei absolut sehr kleinen Differenzen ist das Urteil darüber, ob überhaupt eine Änderung stattfand oder nicht, sicherer, wenn jene Drehungen schnell, als wenn sie sehr langsam vor sich gehen. Doch fehlt es auch darüber an quantitativen Ermittlungen.

Nichtsdestoweniger ist allein schon durch die für mechanische, chemische und thermische Reize in meinem Laboratorium festgestellte Thatsache von der Wirkungslosigkeit äußerst langsam und kontinuierlich und zugleich möglichst gleichmäßig anwachsender Reize für sensible Nerven bewiesen, daß sie einem ähnlichen Gesetz unterworfen sein müssen, wie motorische Nerven bei elektrischer Reizung.

In der That veranlaßt ein gleichmäßiger Druck, wie der der Atmosphäre, wenn er konstant bleibt oder sich sehr langsam kontinuierlich ändert, keine Empfindung. Die Temperatur des Quecksilbers, in welches ich einen Finger tauche, liefert, solange sie der Temperatur der Fingerhaut gleich bleibt oder sich nur sehr langsam kontinuierlich davon entfernt keine Temperaturempfindung.

Dagegen findet man, daß Empfindungen, wie beim plötzlichen Beginn und Ende der mechanischen, chemischen, thermischen Reizeinwirkung, so auch auf bloße Schwankungen der Reizgröße in beliebigem Sinne erfolgen, wofern diese nur schnell genug vor sich gehen und groß genug sind.

Dieser Satz ist einem ähnlichen von E. DU BOIS-REYMOND (*Untersuchungen über tierische Elektrizität*. Berlin 1848, I, S. 258) nachgebildet, welcher vom Bewegungsnerven mit ausschließlicher Rücksicht auf elektrische Reize sagte:

„Dagegen findet man, daß Zuckungen, wie auf Öffnen und Schließen der Kette, so auch auf bloße Schwankungen der Stromdichtigkeit in dem Nerven in beliebigem Sinne erfolgen, wofern sie nur schnell genug vor sich gehen.“

Aber die Analogie geht noch viel weiter, wie die folgende Parallele zeigt. Links stehen meine Worte, rechts die von E. DU BOIS-REYMOND:

Sinnesnerven.

Nicht der absolute Reizwert in jedem Augenblicke ist es, auf welchen der Sinnesnerv mit einer entsprechenden Empfindung antwortet, sondern die Änderung dieses Wertes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Empfindung, welche diesen Änderungen folgt, um so bedeutender, je schneller dieselben bei gleicher Gröfse vor sich gingen und je gröfser sie in der Zeiteinheit waren.

Denkt man sich die Reizgrößen R als Ordinaten auf die Zeiten t als Abscissen aufgetragen

$$R = f(t),$$

und nennt man ψ das Maß der in jedem Zeitelemente stattfindenden Anregung zur Empfindung oder der psychophysischen Bewegung, so ist ψ nach dem obigen eine mit dem Argument irgendwie wachsende Funktion der Steilheit der Reizgrößenkurve in jedem Punkte oder des Differentialquotienten derselben

$$\psi = F\left(\frac{dR}{dt}\right).$$

Bewegungsnerven.

Nicht der absolute Wert der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zugehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Wertes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Gröfse vor sich gingen, oder je gröfser sie in der Zeiteinheit waren.

Denkt man sich die Dichtigkeiten \mathcal{A} als Ordinaten auf die Zeit t als Abscisse aufgetragen

$$\mathcal{A} = f(t),$$

und nennt man ε das Maß der in jedem Zeitelemente stattfindenden Anregung zur Bewegung oder der Erregung, so ist ε nach dem Obigen eine mit dem Argument irgendwie wachsende Funktion der Steilheit der Dichtigkeitskurve in jedem Punkte oder des Differentialquotienten derselben

$$\varepsilon = F\left(\frac{d\mathcal{A}}{dt}\right).$$

Das von E. DU BOIS-REYMOND zuerst in strenge Form gebrachte allgemeine Gesetz der Erregung motorischer Nerven

durch den elektrischen Strom, dessen Wortlaut rechts steht, ist ein Specialfall eines für Sinnesnerven und Muskelnerven zusammen, wahrscheinlich auch für sekretorische, hemmende und elektrische Nerven gültigen und alle adäquaten Reize umfassenden allgemeineren Gesetzes. Am kürzesten kann dieses fundamentale Gesetz der Nervenreizung folgendermaßen formuliert werden:

Der Erfolg einer Nervenreizung nimmt zu und ab mit der Geschwindigkeit, mit welcher die Reizgröfse sich ändert, und mit dem Abstände der Grenzwerte, innerhalb welcher die positive oder negative Schwankung der Reizgröfse sich vollzieht.

Die letztere Bestimmung der Schwankungsgröfse ist deshalb notwendig, weil auch die gröfste Schwankungsgeschwindigkeit keinen Erfolg hat, d. h. keine Empfindung, keine Muskelkontraktion auslöst, wenn beide Grenzwerte innerhalb der Unterschiedsschwelle oder unterhalb der Reizschwelle liegen. Die Reizschwelle selbst aber bezeichnet den oberen Grenzwert derjenigen Reizzunahme, deren Anfangswert Null ist. Auf allen Sinnesgebieten, wie für alle motorischen Nerven und für jede adäquate Reizung ist also die Reizschwelle nur eine Unterschiedsschwelle mit dem einen Grenzwert Null.

Diese wichtige Thatsache, welche auch FECHNER in der einzigen Unterredung, die ich jemals mit ihm hatte, anerkannte, wird in die Formel für das allgemeine Gesetz aufzunehmen sein. Sie ist in der von DU BOIS-REYMOND 1848 gegebenen Formulierung des Gesetzes für die durch elektrische, also inadäquate Reize erregten motorischen Nerven nicht zum Ausdruck gekommen, weil damals von der elektrischen Reizschwelle und Unterschiedsschwelle der Muskelnerven und Muskelfasern noch nicht die Rede war. Die Funktion

$$H = f\left(A_0, \frac{dA}{dt}\right),$$

d. h. die Gröfse der Muskelzusammenziehung (H) ist eine Funktion der Stromdichte und der Geschwindigkeit der Schwankung derselben, ist außerdem wahrscheinlich (PREYER, *Das myophysische Gesetz*, Jena, 1874) die logarithmische.

Die Empfindung ist niemals etwas anderes, als ein empfundener Reizunterschied (PREYER, *Elemente der*

reinen Empfindungslehre, Jena 1877, und *Wissenschaftliche Briefe* von GUSTAV THEODOR FECHNER und W. PREYER, Hamburg, Leopold Voss, 1890. Für sie gilt ganz dasselbe

$$E = F \left(R_0, \frac{dR}{dt} \right).$$

Inzwischen hat SCRIPTURE a. a. O. für die eben unmerklichen Tonhöhenunterschiede denselben Ausdruck formuliert. Er gilt innerhalb gewisser Grenzen für alle Empfindungen und alle adäquaten Reize. Denn auf jedem Sinnesgebiet muß die Schwankung vom indifferenten, wie von dem schon mit Empfindung behafteten Erregungszustande aus eine gewisse große Geschwindigkeit und eine gewisse Größe erreichen, um überhaupt eine Änderung im Centrosensorium herbeizuführen, während die Erregung des peripheren Nerven und die psychophysische Bewegung schon bei der geringsten Geschwindigkeit und unendlich kleinen Schwankungsgröße beginnt. Darauf will ich jedoch hier nicht eingehen.

Es hat nun ein erhebliches psychologisches Interesse, zu wissen, ob auch innere Reize, welche auf nervöse Centren wirken, demselben Gesetze gehorchen. Ich habe darüber nicht wenige Versuche ausgeführt und Thatsachen gesammelt. Sie fügen sich vollständig dem obigen.

Die cerebralen motorischen Centren sind der künstlichen langsamen kontinuierlichen Reizung schwer zugänglich. Es giebt aber ein niederes Centrum, welches unter gewissen Umständen so langsam durch einen stetig wachsenden Reiz gereizt wird, daß es zu keiner Kontraktion der normalerweise rhythmisch von ihm aus in Thätigkeit gesetzten Muskeln kommt: das Atmungscentrum im Halsmark. B. S. SCHULTZE in Jena hat den von ihm zuerst näher beobachteten und gewürdigten Fall, daß ein neugeborenes Kind, welches apnoisch zur Welt kommt und, ohne eine einzige Atembewegung zu machen, asphyktisch stirbt, jedenfalls in der Hauptsache richtig gedeutet (B. S. SCHULTZE, *Der Scheintod Neugeborener*, Jena 1871), indem er annimmt, daß der mit der Sauerstoffabnahme des Blutes steigende Atmungsreiz nach Unterbrechung der Placentar-atmung zu langsam wachse, um eine für die Auslösung der Muskelbewegung genügende Erregung des Centrums zu stande

kommen zu lassen. Ich habe diesen Fall und den ihm entsprechenden des in der unverletzten Eihaut geborenen apnoischen Säugetieres, welches, ohne eine Atembewegung zu machen, stirbt, schon früher (*Specielle Physiologie des Embryo*, Leipzig 1885, S. 170) ausführlich erörtert und experimentell untersucht. Es ist gewifs, dafs wenigstens das Respirationscentrum dem obigen allgemeinen Gesetz der Nervenreizung gehorcht.

Für das mit ihm eng verbundene Krampfcentrum gilt dasselbe. Denn schon im Jahre 1858 hat WILHELM MÜLLER in Ludwigs Laboratorium in Wien die entscheidenden Versuche, freilich in anderer Absicht, ausgeführt. Ein Kaninchen atmet Sauerstoffgas aus einem geschlossenen, auf Quecksilber schwimmenden Glasgefäfse. In dasselbe atmet es aus. Das Gefäfis ist ursprünglich mit reinem Sauerstoffgas gefüllt. Nun zeigt es sich, dafs das Tier keine Dyspnoe bekommt, wenn es sämtliche ausgeatmete Kohlensäure mit dem Sauerstoff wieder einatmet. Das Gefäfis wird gasleer. In diesem Falle wird mit jeder Inspiration ein wenig mehr Kohlensäure, als mit der vorhergehenden eingeatmet und anfangs die normale Sauerstoffmenge, später ganz allmählich immer weniger von diesem Gase mit jedem Atemzuge aufgenommen. Dabei nimmt die Reizung des von kontinuierlich in Kapillaren strömendem Blute gespeisten Atmungs- und Krampfcentrums so langsam zu, dafs schließlich wegen der inzwischen zu tief gesunkenen Erregbarkeit selbst der durch Sauerstoffmangel maximal gewordene innere Reiz keine verstärkte Atmung, keine Erstickungskrämpfe hervorrufen kann. Von der Richtigkeit der Thatsache, dafs das Tier unter diesen Umständen, wenn äufsere Reize fehlen, ganz ruhig, wie in einer Narkose, stirbt, habe ich mich selbst überzeugt.

Noch auffallender zeigt sich die Wirkungslosigkeit über einen langen Zeitraum ausgedehnter, sonst unfehlbar krampferregender Reize bei der Verblutung. Die epileptoiden Konvulsionen, welche nach schneller Blutentleerung (z. B. beim Schlachten durch den Halsschnitt) konstant auftreten, bleiben nach meinen Versuchen gänzlich aus, wenn man das Tier sehr langsam verbluten läfst.

Ein über 25 kg schwerer Jagdhund wurde in der Rückenlage festgebunden.

10 U. 20 M. legte ich die linke Schenkelarterie blofs; ein Stich in dieselbe liefs einen höchstens 1 mm dicken Blutstrahl, der während der

nun folgenden anderthalb Stunden noch durch Digitalkompression abgeschwächt wurde, zum Vorschein kommen. Das Tier zittert offenbar vor Angst, wird aber nach einem einzigen effektlosen Befreiungsversuche ganz ruhig.

10 U. 40 M. Herz 120 bis 128 in 1 Min.

10 U. 45 M. Herz 117.

10 U. 52 M. Respiration 48 in 1 Min.

11 U. 0 M. Herz 116.

11 U. 6 M. Herz 120.

11 U. 9 M. Herz 140.

11 U. 14 M. Herz 150.

11 U. 23 M. Herz 176.

11 U. 28 M. Herz 160. Zittern, wie vor Kälte.

11 U. 29 M. Resp. 22 in 1 Min.

11 U. 50 M. Digitalkompression unterbrochen.

11 U. 55 M. Herz über 200.

12 U. 5 M. die andere Schenkelarterie geöffnet; es fließt nur noch sehr wenig Blut aus. Schwache Brechbewegungen.

12 U. 14 M. Herz 80 in 1 Min. Respiration erlischt; es erfolgen nur noch schwache inspiratorische Zuckungen. Das Tier streckt sich und bewegt sich dann nicht mehr, abgesehen von einer schwachen Brechbewegung.

12 U. 16 M. Herz unregelmäßig und schwach: 32 Schläge in 18 Sek.

12 U. 17 M. Herzschläge sehr schwach: 18 in 15 Sek.

12 U. 18 M. Herzstillstand.

Während der ganzen Dauer des Versuches von zwei Stunden fand keine krampfartige Bewegung, überhaupt keine Bewegung statt, welche mit den heftigen Verblutungskonvulsionen irgend welche Ähnlichkeit gehabt hätte.

Das vorübergehende Zittern, die schwachen Brechbewegungen vor und nach der Streckbewegung sind ebenso wie die wenigen effektlosen Inspirationen zuletzt von den epileptoiden Krämpfen Verblutender gänzlich verschieden und auch bei anderen Todesarten häufig.

Somit unterliegt es keinem Zweifel, daß man durch stetiges Verblutenlassen den starken centromotorischen Reiz wirkungslos machen kann. Indessen muß man in der That das Blut sehr langsam austreten lassen. Ein Kaninchen, welchem ich zuerst die linke, dann die rechte *Vena saphena*, hierauf die rechte und endlich die linke Jugularvene öffnete, so daß das Blut ohne nennenswerte Unterbrechung in einem kontinuierlichen, immer langsamer fließenden Strome den Körper verließ, starb nach ungefähr 25 Minuten, nachdem noch die beiden Schenkelarterien geöffnet worden waren, ohne daß jedoch daraus mehr

als ein paar Tropfen Blut zum Vorschein kamen. Dieses Tier starb nun nicht, ohne heftige Bewegungen ausgeführt zu haben, welche zweimal einen entschieden konvulsivischen Charakter hatten; auch war die Reflexerregbarkeit erhöht. Indessen kamen jene krampfhaften Bewegungen den gewöhnlichen Verblutungskrämpfen an Dauer und Intensität durchaus nicht gleich. Der Versuch zeigt also, daß der Zeitraum von 25 Minuten zu kurz ist, um die centrale Reizung wirkungslos zu machen.

Jedenfalls sind derartige rein physiologische Versuche — auch mit langsam kumulativ wirkenden Hirngiften — von erheblichem psychologischem Interesse und schliessen sich an die in mannigfaltiger Weise ausführbaren erstbesprochenen Untersuchungen über die künstliche periphere Erhöhung der Empfindungsunterschiedsschwelle und Reflexschwelle auf allen Sinnesgebieten an.

Das allgemeine Gesetz der Nervenreizung aber umfaßt eine Reihe von Thatsachen, welche psychogenetisch wichtig sind. Denn es ist eine für die Einrichtung des Lebens vorteilhafte Eigenschaft des Nervensystems, daß es viel leichter auf schnelle und große Änderungen in seiner nächsten Nähe reagiert, als auf stetige und kleine Änderungen. Durch unmeßbar lange Entwicklungszeiten muß das centrale Nervensystem diese Anpassung erworben haben, so daß nicht das Werden, sondern nur das Gewordene unmittelbares Objekt der Wahrnehmung sein kann.
