

10. Gränzer J.: „Tertiäre vulkanische Gesteine in der Umgebung von Reichenberg in Böhmen“. Aus Mitteil. d. Ver. d. Naturf, i. R. 1929; Reichenberg.
11. Huyer A.: „Granitkontakt des Schwarzbrunnberges bei Gablonz a. d. N.“, Lotos 1914. Prag.
12. Ketter R.: „Geologie starého pohoří železnobrodského v Podkrkonoší“. Sborník stát. géol. úst. I. 1919/20.
13. Milch L.: „Beiträge zur Kenntnis der granischen Gesteine des Riesengebirges“. S. N. Jb. Bl. B. 1. Teil XII, Stuttgart 1898, 2. 1902.
14. Milch L.: „Über malchitische Spaltung und ihre Bedeutung für die Systematik diachister Ganggesteine granitodioritischer Magmen“. Zentralblatt 1919.
15. Müller B.: „Das Reichenberger Braunkohlenbecken als Grundwassersammler“. Aus den Mitteil. des Vereines der Naturfreunde i. R. Reichenberg 1933.
16. Müller B.: „Heimatkunde des Bezirkes Reichenberg in Böhmen“. 1933.
17. Nigylí-Grubmann: „Die Gesteinmetamorphose I. 1924“.
18. Ouvrino Hermann: „Beiträge zur Morphologie des hohen Riesengebirges“. Aus dem Geogr. Institut, d. Univers. Breslau. 1933.
19. Pelikan A.: „Glaukophan aus dem Riesengebirge“. Aus dem min.-petrogr. Institut d. deutschen Univ. Prag, 1929.
20. Sederholm J. J.: „On synantetic Minerals“, Helsingfors. 1916.
21. Vortisch W.: „Die Schotterbildungen südlich und westlich der Lausitzer Überschiebung und des Jeschkenbruches von Niedergund bis Drausendorf. Aus dem geol. Institut. der Deutschen Univ. Prag. 1923.
22. Watznauer A.: „Der südliche Kontakt des Riesengebirgsgranites und das angrenzende Schiefergebiet“. Lotos 1930. Prag.
23. Watznauer A.: „Melaphyre aus dem Stadtgebiete Gablonz“. Firgenwald 1933. Reichenberg.

Was zeigt ein Modellversuch zur Erregungsleitung?

Von Dr. Hans Fortner.

Zoologisches Institut der Deutschen Universität, Prag.

Die Bemühungen, dem Wesen des nervösen Erregungsvorganges näherzukommen, haben mannigfache Wege eingeschlagen. Ein stets beachtenswerter Anteil wurde hieran von den Modellversuchen¹⁾ genommen, deren ältester Pflüger 1859 vorerst nur zur Veranschaulichung des beim Ablauf des Erregungsprozesses abstrahierten Geschehens dienen sollte. Später haben dann Gildemeister, Cremer, Verworn und Lux versucht, darüber hinaus Anregungen zur Bildung einer konkreten

¹⁾ Vergl. U. Ebbbecke, Abderhalden, Hdb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. V, T. 5A, H. 4, 1928.

Auffassung einzelner die Erregung besonders charakterisierender Phasen zu erhalten. Ihre Modelle waren teils auf rein mechanischer, teils auf thermisch-chemischer Grundlage aufgebaut und zur Demonstration einer Reihe von Analogien befähigt, mußten aber ein Wesentliches des Erregungsablaufes — die elektrischen Erscheinungen — außeracht lassen. Erst als Nernst durch eine glückliche Überlegung die Polarisierbarkeit von Membranen, ein schon von Du Bois-Reymond entdecktes Faktum, auf die Vorgänge im erregungsleitenden System übertrug, waren quantitative Beziehungen zwischen Modell und Natur aufgedeckt, die aus dem Boden rein veranschaulichender Analogisierung herauswuchsen und Hermann, Ostwald, Bette und anderen die Voraussetzungen schufen, Kernleitermodell, Ionensieb und Kapillarelektische Membran zu ersinnen. Das Streben dieser Versuche, die Ionenverhältnisse an grenzflächengetrennten Halbleitern (Leitern II. Ordnung) in der für den Erregungsvorgang wahrscheinlichen Form nachzuahmen, gipfelt in der von Labe und Zain 1927 erdachten Kollodiumhülsenanordnung. Trotzdem die letzterwähnten Bemühungen besonders auch dem von Lapique herausgearbeiteten Zeitfaktor der Erregung Rechnung trugen, blieb doch ein Kardinalpunkt der ganzen Frage — die Energetik des Erregungsablaufes — unerledigt. Dies lag vor allem in der Natur der Modellgrundlagen, welche zunächst nur die bei der Nervenreizung sich ereignenden Geschehnisse nachzubilden sollten. Die Darstellung der Reizleitung aber macht weitere Voraussetzungen erforderlich, die ihren Ausdruck in der dem Erregungsprozeß so eigentümlichen wechselseitigen Verquickung chemischer und elektrischer Vorgänge finden. Das in dieser Hinsicht gewiß bedeutungsvollste Modell wurde in jüngster Zeit in Anlehnung an Wilh. Ostwald von Lillie geschaffen. Bemerkenswert scheint es, daß das ihm zugrundeliegende Prinzip — Passivierungssphänomene an Metallen — schon von Proszek zu Beginn dieses Jahrhunderts mit periodisch verlaufenden Lebenserscheinungen in Zusammenhang gebracht worden ist.

Am sachlich und formal modifizierten Lillieschen Erregungsmodell wurden nun eine Reihe experimenteller Untersuchungen²⁾ vorgenommen, deren Ergebnisse als Erweiterung der bisherigen Befunde gelten dürfen. Da besonders die von Lillie abgegebene Erklärung der am passiven Eisendraht (ED) während dessen De- und Repassivierung sich abspielenden Prozesse ergänzungs- und berichtigungsbedürftig erscheinen,

²⁾ Werden demnächst in der Zeitschrift f. physikal. Chemie ausführlich beschrieben.

mag in kurzen Worten das durch die angestellten Versuche gewonnene Bild der fraglichen Abläufe entworfen werden.

Das untersuchte Modell bestand im Wesentlichen aus 0.5 Millimeter starkem Draht chemisch reinen Eisens, der sich in einer Länge von 2—4 Metern in 48%iger reiner Salpetersäure frei ausgespannt befand, um einen ungestörten Reaktionsablauf gewährleisten zu können. Sobald nun der unvorbereitete ED mit der Salpetersäure in Berührung kommt, geht unter lebhafter Wasserstoffentwicklung Eisen in Lösung. Doch schon nach einigen Augenblicken sistsiert die Nitratbildung, der ED umgibt sich mit einer braunen Hülle und verhält sich der Säure gegenüber passiv. Innerhalb weniger Minuten verschwindet dann die braune aus kolloid gelösten Oxyden bestehende Deckschicht, die Drahtoberfläche wird matt-blank und zeigt sich völlig reaktionslos. Wird der ED in diesem Zustande „gereizt“, d. h. durch mechanische Insulte oder kathodische Polarisierung, was sich chemisch bzw. elektrisch bewirken läßt, an einer Stelle seiner passiven Oberfläche beraubt, so daß die Nitratbildungsreaktion einsetzen kann, dann bleibt dieser Vorgang nicht auf die betreffende Stelle lokalisiert, sondern breitet sich von dieser weiter-schreitend nach beiden Seiten gleichförmig über den ED aus. Diese Aktivierung ist zeitlich und örtlich begrenzt, so daß die aktiven Drahtabschnitte innerhalb einiger Zehntelsekunden wieder in den passiven Zustand zurückkehren und von der erwähnten braunen Oxydhülle umgeben werden, die dann durch allmähliche Rückbildung wieder zur ursprünglichen matt-blanken Oberflächenbeschaffenheit des ED führt. Nur in diesem Zustand verläuft die Fortleitung der Depassivierungsreaktion isobolisch.

Diesem Tatbestand liegt in nuce folgende experimentell gesicherte Interpretation zugrunde. Der matt-blanke passive ED ist von einer äußerst dünnen Ferrioxyschicht bedeckt. Wird er an einer Stelle zur Kathode gemacht, d. h. sendet er Wasserstoffjone in Lösung, so kommt es zu einer Reduktion des Ferri in Ferroxyd und, falls genügend H-Jonen vorhanden sind, über die Reduktion dieser Oxydationsstufe zur Bildung von freiem Eisen. Dieses tritt mit der Salpetersäure unter Nitratbildung in Reaktion und macht den ED in seiner Gesamtheit zur Kathode, d. h. die noch passiven der Reaktionsstelle benachbarten Drahtabschnitte erfahren eine Reduktion ihrer Oberfläche und werden ebenfalls aktiv. Inzwischen ist an dem ursprünglich in Lösung gegangenen Bezirk des ED infolge des Verbrauches an Säure zur Nitratbildung ein Wasserstoffjonefizit eingetreten, das durch die Anreicherung des Reaktionsproduktes Ferrinitrat an der Reaktionsstelle nicht sofort ausgeglichen werden kann. Da nun die Salpetersäure in konzentrierter Form nur zum geringen Teil

dissoziiert ist, zum größeren Teil aber eine leicht reduzierbare Verbindung bildet, so wird das durch die Anwesenheit von Ferrinitrat vor der weiteren Einwirkung ihres dissoziierten Anteiles geschützte Eisen zunächst teils durch die nitrosen Gase, welche bei der Nitratbildung sekundär entstehen, sowie durch Reduktion von Ferri- zu Ferronitrat, teils durch die oxidierende Komponente der Salpetersäure in der Ferrostufe oxydiert. Diffundiert nun die Hüllschicht des Ferro-Ferrinitratgemisches vom ED fort, so daß die dissoziierte Salpetersäure wieder mit ihm in Berührung kommen kann, dann ist er schon oxydbedeckt ihrer Einwirkung entzogen und nicht mehr reaktionsfähig — er ist passiv geworden. Wird in diesem Zustande sein Potential bestimmt, so zeigt es sich als schwach positiv: Der ED ist anodisch polarisiert. Diese Ladung verschwindet erst dann, wenn sich unter dem Einfluß des Salpetersäureüberschusses die Ferro- in die Ferrioxystufe umgewandelt und das für die Passivierung belanglose kolloid suspendierte Oxyd in der Säure aufgelöst hat. Dann ist der ED stabil geworden, nimmt weder Ionen auf, noch gibt er solche ab und setzt einer neuerlich bewirkten kathodischen Polarisierung kein anodisches Kompensationspotential mehr entgegen. Dies ist der Grund, warum ein zwar repassivierter, aber noch nicht stabil gewordener ED bei „Reizung“ die Reaktionswelle mit Dekrement fortleitet, also ein heterobolisches System bildet. Erst wenn sich der passivierte ED „edel“ verhält, d. h. mit seiner Umgebung im Ladungsgleichgewicht steht, erfolgt die Erregungsleitung dekrementlos. Übrigens erhält oberhalb von 24° C das System ein negatives Dekrement — die Erregungsleitung geht beschleunigt vor sich —, was besagt, daß die Depassivierungsenergie im Erregungsaufbau wächst.

Die den De- und Repassivierungszyklus begleitenden „Aktionsströme“ — ihre Registrierung ergibt bei geeigneter Ableitung das Bild der doppelphasischen Schwankung (vgl. die Fig.) — bilden beim Eisendrahtmodell (EDM) das energieübertragende Prinzip.



Elektrische Reizung
Zeitsignal 0,2 Sekunden.

Die Energiequelle des Erregungsvorganges liegt im Auflösungsprozeß von Eisen in Salpetersäure als Nitrat. Die energetische Verkettung der einzelnen Reaktionsphasen läßt sich nun folgendemmaßen darstellen: Zur Einleitung der Erregung ist ein „Reiz“ erforderlich, d. h. ein Vorgang, der dem reizleitenden System Energie in einer Form zuführt, welche in die dem System adaequate „Erregungsenergie“ umgesetzt werden kann. Beim EDM besteht die die Reaktion einleitende Primärenergie in der kathodischen Polarisierung des ED, wobei unwesentlich ist, ob der ED durch Anlegung eines entsprechenden Potentials zur Abgabe von Wasserstoffionen veranlaßt wird oder ob dies durch seine Auflösung in Salpetersäure nach Beseitigung der ihn passivierenden Oberflächenschicht — also etwa nach mechanischer „Reizung“ — erfolgt. Hiermit wird die Beziehung zwischen „Erregungsreaktion“, der Nitratbildung, und ihrem Weiterschreiten deutlich. Der Erregungsvorgang selbst versetzt durch die von ihm produzierte elektrische Energie die unerregten Abschnitte des Drahtes fortschreitend in Erregung. Gleichzeitig, und was hierbei wesentlich ist, unabhängig von der erzeugten kathodischen Polarisierung, wird beim Erregungsprozeß ein Stoff gebildet, der zu einem Wasserstoffjonendefizit und damit einer Minderung der Ladungsenergie am ED führt. Dadurch wird eine Reaktion ermöglicht, die den ED gegensinnig polarisiert — es erfolgt die Reoxydation. Das nunmehr sich ausbildende positive Potential steht demnach energetisch in keinem Zusammenhang mit der negativen Aufladung des in Erregung befindlichen Drahtabschnittes. Es hat aber nichtsdestoweniger eine, abgesehen von den hierdurch entstehenden Reaktionsprodukten, sehr wesentliche Bedeutung. Durch die anodische Polarisierung wird nämlich ein mit der hierfür in Frage kommenden Spannung nicht mehr kathodisch polarisierbarer, also refraktärer Bezirk geschaffen, der zeitlich und örtlich der Erregungswelle unmittelbar nachfolgt. Damit ist die Voraussetzung für die reversible Fortleitung des Erregungsprozesses überhaupt erst gegeben und nur dort, wo diese Bedingung erfüllt ist, kommt es zur Ausbildung eines lokalisierten, sich einsinnig fortpflanzenden Erregungsfeldes — der Erregungswelle. Naturgemäß ergibt sich aus dem in De- und dem in Repassivierung befindlichen Oberflächenteil des ED eine elektrische Kette, die für beide Vorgänge sekundär ein dynamisches Gleichgewicht bestimmt, das innerhalb gewisser Temperaturgrenzen die Isobolie des Systems bedingt. Die Entladung dieser Kette erfolgt kontinuierlich mittels Elektronenleitung durch den ED. Hervorzuheben ist also, daß der Erregungsablauf selbst mit der Wiederherstellung der Erregbarkeit in keiner primären Wechselbeziehung steht.

Die Rolle der Wasserstoffjonen für den Reaktionsablauf am EDM ist den entsprechenden Verhältnissen beim Nerven nur analog zu setzen, da als Voraussetzung für eine Homologisierung die nähere Bekanntschaft der bei der nervösen Erregung beteiligten Chemismen mangelt. Nichtsdestoweniger liegt die Auffassung der Aktionspotentiale als Redoxpotentiale auch dort nahe. Besonders die Reversibilität und die zeitlichen Kriterien des Erregungsvorganges scheinen zumindest die Vorstellung zu rechtfertigen, daß es sich bei der Zusatzfolge: (Reiz-Erregung) — (Refraktärperiode — Wiedererregbarwerden) um verlaufsmäßig-kausal gekoppelte Mechanismen handelt. Daß das Refraktärstadium für die Wiederherstellung der Erregbarkeit eine *conditio sine qua non* bedeutet, ist heute wohl unbestritten, wengleich auch dies im Lauf des Erkenntniskampfes schon gelegnet worden ist.

Auch die „Stoffwechselfätigkeit“ des EDM zeigt, wengleich zunächst nur hinsichtlich ihrer Außenbilanz, Analogien zu der des Nerven. Verbraucht werden beim Reaktionsablauf lediglich Eisen und Salpetersäure im Überschuß, es entsteht primär Ferrinitrat und Wasserstoff, sekundär durch Reduktion der Säure Wasser und nitrose Gase, vielleicht auch vorübergehend kolloid gelöstes Eisenhydroxyd. Der durch die Wasserbildung steigende Dissoziationsgrad der unverbrauchten Säure wird infolge der gleichzeitigen Bildung von Ferrinitrat direkt und der Bildung von nitrosen Gasen als oxydationsfördernde Komponente indirekt in seiner Wirkung auf den Reaktionsablauf weitgehend ausgeschaltet. Dadurch verschiebt sich die Gleichgewichtslage der Wirkstoffe im System mit dem ungesetzten Eisen-Salpetersäurequantum nur geringfügig im Sinne gesteigerter Reaktionsbereitschaft, was darin zum Ausdruck kommt, daß zur Einleitung der Erregung ein kleinerer kathodischer Vorspann genügt. Ähnliche Verhältnisse scheinen nun auch beim Nerven, der praktisch nicht ermüdbar ist, vorzuliegen; dies könnte dahin aufgefaßt werden, daß das Fehlen einer Ermüdbarkeit nicht auf der Geringfügigkeit der bei der Erregung umgesetzten Substanzmengen beruht, sondern sich in einer aus dem Charakter der stattfindenden Umsetzungen herleitenden Erhaltung des Reaktionsmilieus zum Ausdruck bringt. Ebenso weist auf chemische Vorgänge als fragliche Energiequelle des Erregungsablaufes der van'tHoffsche Quotient für den Nerven und das EDM mit ähnlichen Abweichungen hin.

Die elektrophysiologischen Parallelen, wie Reproduzierbarkeit des W e d e n s k y - Phänomens — der Reizsummation überhaupt —, die N e r n s t ' s c h e Quadratwurzelbezeichnung ($i \sqrt{t}$)

die Wirkung auf- und absteigender Extraröme, Kat- und An-
elektrotonus u. w. mehr sind z. T. schon von Lillie aufgezeigt
worden. Sie alle können auf Grund der experimentellen Analyse
für das EDM eine befriedigende Deutung erfahren. Im Verlaufe
der Untersuchungen war es auch möglich, Chronaxiebestimmun-
gen vorzunehmen und damit die substanzialen Faktoren zu er-
fassen, welche Einfluß auf diese Zeitkonstante nehmen. Es steht
zu hoffen, daß die Durchsichtigkeit mancher Zusammenhänge in
Anlehnung an diese und weitere Erfahrungen auf die Vorgänge
im Nerven übertragen werden kann und daß es auch auf dem
erörterten Wege möglich sein wird, dem Wesen des nervösen
Erregungsvorganges um ein Stück näher zu kommen.

Prag, im Mai 1934.

Zwanzigster Bericht über die Tätigkeit der ornitho- logischen Station „Lotos“ in Böhm.-Leipa (vormals Liboch a. d. Elbe) für das Jahr 1933.

Mit Unterstützung des Verbandes deutscher Jäger „St. Hubertus“.

Von Karl Richter.

Durch das am 27. Juli 1933 erfolgte Ableben ihres verdienstvollen
Leiters, des Forstmeisters Ing. Kurt Loos, erlitt die Vogelwarte des
Lotos in Liboch a. d. Elbe einen schweren Verlust. Damit die vom Ver-
storbenen begonnene und durch 20 Jahre mit aufopferndem Fleiße
geleitete Beringungstätigkeit weiter fortgesetzt werden könne, wurde die
bereits seit 1914 in Liboch befindliche Station nach Böhm.-Leipa verlegt,
wo ihr dank der Unterstützung des Verbandes deutscher Jäger
„St. Hubertus“ die Möglichkeit geboten wurde, ihrer Aufgabe fernerhin
gerecht zu werden.

Die Hauptziele der Beringung, die auch heute noch eine der wesent-
lichsten Aufgaben der Vogelwarte ist, sind: 1. die Richtung, Dauer und
Schnelligkeit des Vogelzuges, 2. die Altersgrenze der Vögel, 3. den Über-
winterungsort, 4. die Wiederkehr der Vögel an ihre Geburtsstätte (Hei-
mattreue) und schließlich 5. die Paarungsverhältnisse während der ein-
zelnen Fortpflanzungszyklen (Gattentreue) zu erforschen.

Die Administrative wird von den Herren Prof. Dr. Hampel, Ober-
revident Schuster, Stadtrat Hoser und Archivar Bienert in Böhm.-Leipa
ausgeübt.

Die Beringungstätigkeit im Jahre 1933 hatte erfreulicherweise bei der
gleichen Anzahl von Mitarbeitern wie 1932 wieder eine bedeutende Stei-
gerung erfahren. Es wurden insgesamt 3153 Vögel gegen 1821 im Jahre
1932 beringt. Auch die Anzahl der beringten Vogelarten stieg von 95
auf 99. Die meisten Beringungen fielen auf die Lachmöve (*Larus ridi-
bundus*) 535, die Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*) 348 und Kohlmeise
(*Parus major*) 288.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Lotos - Zeitschrift fuer Naturwissenschaften](#)

Jahr/Year: 1934

Band/Volume: [82](#)

Autor(en)/Author(s): Fortner Hans

Artikel/Article: [Was zeigt ein Modellversuch zur Erregungsleitung? 86-92](#)