



Ueber die

DEGENERATION und REGENERATION

der

MARKHALTIGEN NERVEN

nach

TRAUMATISCHEN LÆSIONEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der medizinischen Doctorwürde

der

Medizinischen Facultät zu Strassburg im Elsass vorgelegt

von

Waclaw Korybutt-Daszkievicz

aus Litthauen.

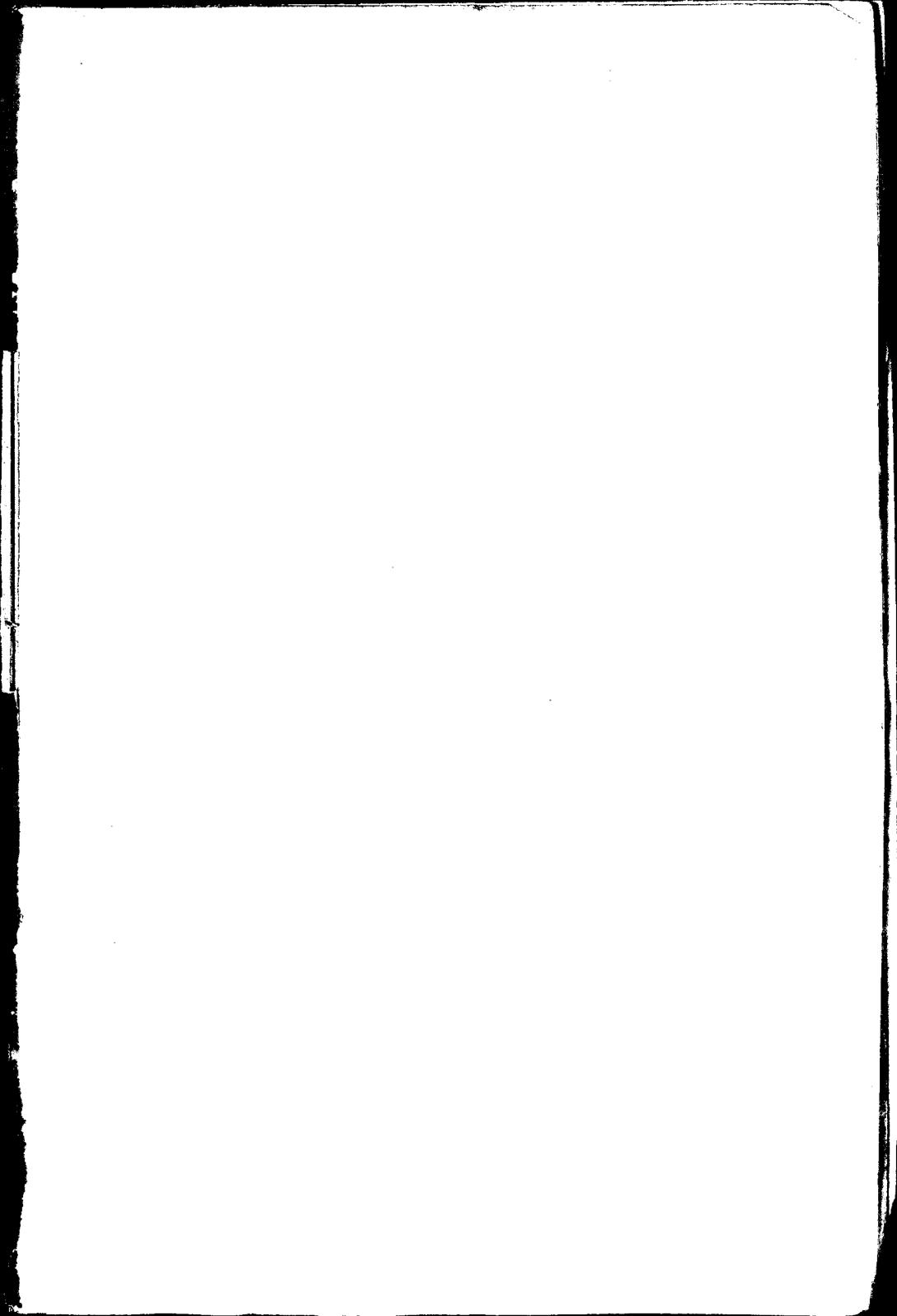


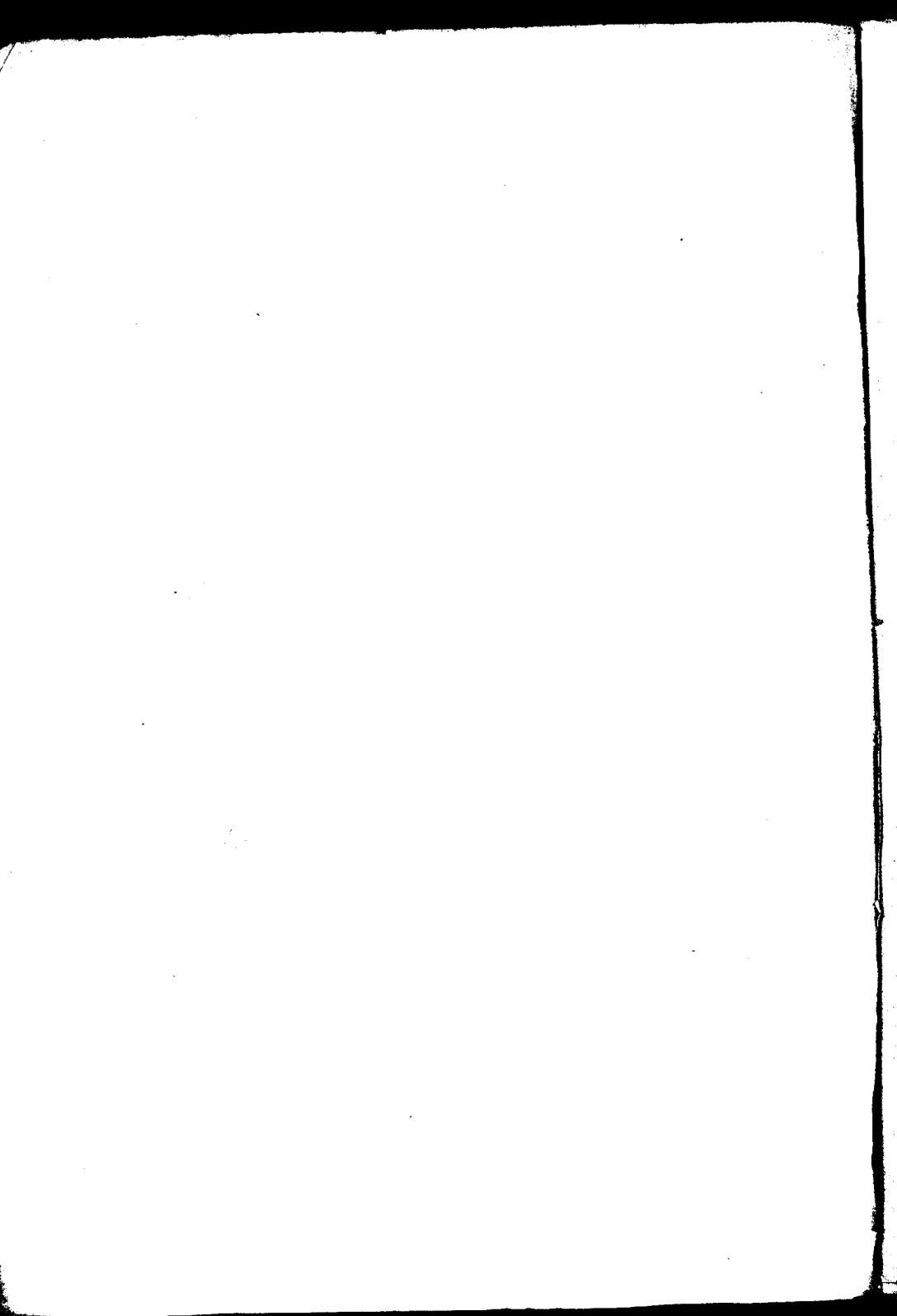
STRASSBURG

DRUCK VON GUSTAV FISCHBACH

1878.

7





Ueber die  
DEGENERATION und REGENERATION  
der  
**MARKHALTIGEN NERVEN**  
nach  
TRAUMATISCHEN LÆSIONEN.

---

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur  
Erlangung der medizinischen Doctorwürde  
der  
Medizinischen Facultät zu Strassburg im Elsass vorgelegt  
von

**Waclaw Korybutt-Daszkiewicz**  
aus Litthauen.



---

STRASSBURG  
DRUCK VON GUSTAV FISCHBACH  
1878.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Facultät zu Strassburg.

Referent: Prof. Dr. WALDEYER.

MEINEM HOCHGESCHÄTZTEN LEHRER

HERRN PROFESSOR

D<sup>R</sup> W. WALDEYER

ALS ZEICHEN

AUFRICHTIGER DANKBARKEIT

GEWIDMET.



## LITERATUR.

1. **Cruikshank.** a) Philosophical Transactions. 1795, p. 177.  
b) Reil's Archiv für Physiologie. II. Bd., p. 57.
2. **Fontana.** a) Sur le venin de la vipère. Florence 1781.  
b) Abhandlung über das Viperngift. Berlin 1787.
3. **Lorenzo Nanoni.** Sulla regeneratione delle parte similari. 1782.
4. **Justus Arnemann.** Versuche über Regeneration an lebenden Thieren. I. Bd. Regeneration der Nerven. 1782.
5. **Michaelis.** Ueber die Regeneration der Nerven, Brief an Camper. 1785.
6. **Alexander Monro.** Bemerkungen über die Structur und Verrichtungen des Nervensystems. (Aus dem Englischen.) 1787.
7. **Huhn.** Commentatio de generatione partium mollium in vulnere. 1787.
8. **Baronio.** Ricerche intorno alcune riproduzioni che si operano negli animali cosi detti a sangue caldo, e nell'uomo. Memorie di matematica e fisica della Società italiana. 1788.
9. **Haighton.** a) Philosophical Transactions. 1795, p. 190.  
b) Reil's Archiv für Physiologie. II. Bd. 1797.
10. **Meyer.** Ueber die Wiedererzeugung der Nerven. Reil's Archiv. II. Bd. 1797.
11. **Sömmerring.** Vom Baue des menschlichen Körpers. V. Bd. Nerven. 1800.
12. **Bichat.** Allgemeine Anatomie. 1802. (Aus dem Französischen.)
13. **Richerand.** Nosographie chirurgicale. T. I. 1805.
14. **Breschet.** Dictionnaire de médecine. T. V, article *Cicatrice*.
15. **Delpech.** Précis élémentaire des maladies réputées chirurgicales. T. I.
16. **Charles Bell.** An idea of a new anatomy of the brain, submitted for the observation of the authors friends. 1811.
17. **Fr. v. Gruithuisen.** Ueber die Empfindung und Gefühle durch einen abgesechnittenen und wieder zusammengeheilten Nerven. München 1812.
18. **Magendie.** a) Journal de physiologie expérimentale. T. I. (Expérience de M. Shaw.)  
b) Desmoulin's et Magendie. Anatomie et physiologie du système nerveux. 1825.
19. **Johann Christian Eggers.** Von der Wiedererzeugung. Eine medizinisch-physiol. Abhandlung. 1821.
20. **Larrey.** a) Revue méd. française et étrangère. 1824. T. I.  
b) Annales des sciences naturelles. 1827.
21. **Swan.** Gekrönte Preisschrift über Behandlung der Localkrankheiten der Nerven. (Aus dem Englischen.) 1824.

22. **Pauli.** De vulneribus sanandis. Göttingen 1825.
23. **Prévost.** Annales des sciences naturelles. 1827. T. X.
24. **Eckström.** Ars — Berättelse om Svenska Lekarne — Sällskapets Arbeten, Lemnad, 2. Oktober 1827, Sällskapets Sekreterare.
25. **Cruvelhier.** Anatomie pathologique du corps humain, etc. Livraison VI. Tab. V.
26. **Zimmermann.** Reil's Archiv für Physiologie. XI. Bd.
27. **Lund.** Physiologische Resultate der Vivisectionen neuester Zeit. Kopenhagen 1825.
28. **Hildebrandt.** Handbuch der Anatomie des Menschen. Herausgegeben von Ernst Heinrich Weber. 1830.
29. **Tiedemann.** Ueber die Regen. der Nerven. Zeitschrift für Physiologie von Tiedemann und Treviranus. 1831.
30. **Cornelius Pen.** Dissertatio medica de nervorum regeneratione. Trajecti ad Rhenum. 1834.
31. **Flourens.** a) Annales des sciences naturelles. T. VIII. Expérience sur la réunion ou cicatrisation des plaies de la moelle épinière et des nerfs.  
b) Heusinger's Zeitschrift für organische Physik. II. Bd., p. 322.  
c) Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux. 1842.
32. **Schwann.** Müller's Physiologie. 3. Auflage. I. Bd. p. 415.
33. **Johannes Müller.** Ebendasselbst.
34. **Steinrück.** De nervorum regeneratione. Dissertatio. 1838.
35. **Emil Burdach.** Beitrag zur microscopischen Anatomie der Nerven. Königsberg 1837.
36. **Friedreich.** Die neuesten Erfahrungen und Ansichten über die Localkrankheiten und Wiedererzeugung der Nerven. Carl Christian Schmidt's Jahrbücher der in- und ausländischen gesammten Medizin. 1835. V. Bd.
37. **Béclard und Descot.** Ueber die localen Krankheiten der Nerven.
38. **Müller und Stricker.** Müller's Physiologie. 3. Auflage. p. 614.
39. **Nasse.** Müller's Archiv. 1839.
40. **Günther und Schön.** Müller's Archiv. 1840, p. 274.
41. **Valentin.** De functionibus nervorum cerebrialium. 1839.
42. **Bidder.** a) Müller's Archiv. 1842.  
b) Reichert's und Dubois' Archiv. 1865. p. 67.
43. **Tavignot.** Sur la greffe des cordons nerveux. Comptes rendus 1845. p. 63.
44. **Stannius.** Ueber die selbstständige Contractilität der Muskeln. Müller's Archiv. 1847.
45. **Paget.** Lectures on repair and reproduction. 1849.
46. **Waller.** a) Philosophical Transactions. 1850.  
b) Comptes rendus 1852. (Mars.)  
c) Müller's Archiv. 1852.
47. **Budge.** Neurologische Mittheilungen. Zeitschrift für wiss. Zool. 1851. III. Bd., p. 347.

48. **Bruch.** a) Zeitschr. für wiss. Zool. VI. Bd. 1853.  
b) Arch. für wiss. Heilkunde. II. Bd. 1856.
49. **Brown-Séguard.** a) Cas de régénération complète du nerf sciatique. Comptes rendus. T. 32.  
b) Sur l'indépendance des propriétés vitales des nerfs moteurs. Journal de la physiol. T. III. 1866.
50. **Schiff.** a) Archiv für wiss. Heilkunde. I. Bd. 1854.  
b) Comptes rendus 1854. 1<sup>er</sup> semestre.  
c) Physiologie. I. Bd. 1858.  
d) Zeitschr. für wiss. Zoologie. VII. Bd. 1855.
51. **Lent.** a) De nervorum regeneratione.  
b) Beiträge zur Lehre von der Regeneration. Zeitschr. für wissensch. Zool. VII. Bd.
52. **Aimé Fliess.** De degen. et regen. nervorum. Berolini 1858.
53. **Weissmann.** Ueber Nerven Neubildung in einem Neurom. Zeitschrift für rationelle Med. VII. Bd. 1859.
54. **Wedl.** Zeitschr. d. Gesellsch. der Aerzte. Wien 1855. XIII. Bd.
55. **Philipeaux et Vulpian.** a) Recherches expérimentales. Mémoire de la Société de biologie. 1859.  
b) Comptes rendus 1859, p. 507.  
c) Gazette médicale. 1860. Nr. 27—39.  
d) Gazette hebdomadaire. 1859. 21 octobre.  
e) Archives générales. 1861. T. I, p. 782.
56. **Vulpian.** Recherches relatives à l'influence de lésions traumatiques des nerfs Arch. de physiol. T. IV.
57. **Hieft.** Virchow's Archiv. XIX. Bd. 1860.
58. **Gluge et Thiernesse.** a) Sur la réunion des fibres nerveuses sensibles avec les fibres motrices. Bulletin de l'Acad. royale de Belgique. 1859.  
b) Archives de physiologie de Brown-Séguard. 1859.
59. **Landry.** Moniteur des sciences. 1859. (29 octobre.)
60. **Remak.** Virchow's Archiv. XXIII. Bd.
61. **Walter.** Ueber die fettige Degeneration der Nerven nach ihrer Durchschneidung. Virchow's Archiv. XX. Bd. 1861.
62. **Förster.** a) Würzburger Med. Zeitschr. II. Bd., p. 103.  
b) Ueber das Neuroma verum.
63. **Oehl.** Sul processo di rigeneratione dei nervi recisi. 1864.
64. **Virchow.** Krankhafte Geschwülste. III. Bd., p. 247.
65. **Einsiedel.** Ueber Nervenregeneration. Dissert. 1864.
66. **Magnien.** Canstatt'scher Jahresbericht 1866. I. Bd., p. 115.
67. **Rosenthal.** Ueber die Vereinigung des nerv. Lingualis mit dem Hypoglossus. Centralblatt für medizinische Wissenschaften. 1864. Nr. 29.
68. **M. Azam.** Résections successives des nerfs sciatiques. Gazette des hôpitaux. 1864. Nr. 72, 74, 77.
69. **Neumann.** Archiv der Heilkunde. IX. Bd. 1868.

70. **Dubreuil.** Sutures des nerfs. Gazette hebdomad. 1865. N° 8.
  71. **Laugier.** Sur la suture du nerf médian. Comptes rendus 1864.
  72. **Robin.** Journal d'anatomie et de physiol. 1868.
    - a) Observat. histolog. sur la régénér. des nerfs. p. 321.
    - b) Extrait et remarques, Thèse de Strasbourg de M. Lavéran, p. 305.
  73. **Eichhorst.** Virchow's Archiv. LIX. Bd.
  74. **Hertz.** Virchow's Archiv. XLVI. Bd. 1869.
  75. **Benecke.** Virchow's Archiv. LV. Bd. 1872.
  76. **Erb.** Zur Pathol. und pathol. Anat. der peripher. Paralyse. Archiv für klinische Med. 1869.
  77. **Ranvier.** Comptes rendus. 1871, 1873.
  78. **Engelmann.** Pflüger's Archiv. XIII. Bd.
  79. **Cossy et Déjeurine.** Arch. de physiol. 1875.
  80. **Déjeurine.** Atrophie musculaire et paraplégie dans un cas de syphilis. Arch. de physiol. 1875.
  81. **Eulenburg und Landois.** Berliner klinische Wochenschrift. 1864. Nr. 46, 47.
  82. **Bakowiecki.** Zur Frage vom Verwachsen der peripher. Nerven. Archiv für microscopische Anatomie. XIII. Bd.
  83. **Lanterman.** Ueber den feineren Bau der markhaltigen Nervenfasern. Archiv für microscopische Anatomie. XIII. Bd.
-

## I. GESCHICHTLICHES.

Galen und andere ältere Aerzte (vgl. u. a. Arneemann und Steinrück) haben bereits versucht die Vorgänge bei Verheilung durchschnittener Nerven auf experimentellem Wege kennen zu lernen; ihre Versuche blieben jedoch resultatlos, indem alle der Operation unterworfenen Thiere zu Grunde gingen.

Der Erste, dem es gelungen, die Wiedervereinigung eines durchschnittenen Nerven zu beobachten, war Cruikshank (1).

Gelegentlich einer Untersuchung über die Abhängigkeit der Funktion der Eingeweide vom Nervensystem, hatte Cruikshank im Jahre 1776 bei einem Hunde das VIII. alias X. Nervenpaar durchschnitten. Nach Verlauf einiger Wochen war die Wiedervereinigung der Nerven erfolgt, und an der Stelle der Narbe fand sich eine röthliche callöse Anschwellung.

Cruikshank war der Ansicht, dass das zwischen die durchschnittenen Nervenstümpfe ausgeschwitzte Blut durch den Einfluss dieser Stümpfe in Nervensubstanz umgewandelt werde, etwa wie man es bei der Heilung der Knochenbrüche annahm.

Fontana (2), der Cruikshank's Präparate zu Gesicht bekam, wurde durch dieselben zur Wiederholung der Versuche angeregt, um so mehr, als er schon früher, bei seinen Untersuchungen über die Einwirkung des Viperngiftes auf die Nerven, Durchschneidungen vorgenommen, wobei ihm jedoch nie etwas einer Regeneration ähnliches aufgefallen war.

Zu seinen Experimenten wählte er Kaninchen, eine für diesen Gegenstand durchaus nicht günstige Thierspecies, und schnitt ihnen Nervenstücke von verschiedener Länge aus dem Ischiadicus. Die erste Versuchsreihe schlug ihm total fehl. Erst nach mehrmaliger Wiederholung gelang es Fontana die Regenerationsfähigkeit, wenn auch zunächst nur des VIII. resp. X. Nervenpaares, festzustellen.

Um dieselbe Zeit veröffentlichten Alexander Monro (6), Michaelis (5) und Lorenzo Nannoni (3) ihre Untersuchungen über die Wiederverwachsung der Nerven. Der Letztere beobachtete vierzig Tage nach Durchschneidung der Reccurrentes Vagi die Wiederkehr der Stimme.

Was die Art und Weise der Verwachsung betrifft, so sahen alle jene Forscher in der bei Verwachsung von Nerven sich bildenden Narbe ein wenigstens zum Theil aus Nervensubstanz bestehendes Gewebe.

Gegen diese Annahme trat nun 1787 Justus Arnemann (4) auf. Nach diesem Forscher füllt sich das durch das Auseinanderweichen der durchschnittenen Nervenenden entstandene Vacuum mit einem der Nervenscheide ähnlichen Zellgewebe. Diese callöse Masse, welche er Scirrhus nannte, bilde gleichsam eine Scheidewand und verhindere dadurch die Regeneration der Nervensubstanz; die bei Durchschneidung des Scirrhus hervortretenden Markkügelchen seien nichts anderes als die Residuen des alten Markes. Den auf solche Weise wiederverwachsenen Nerven gehe Gefühls- und Empfindungsleitung ab, nur die Bewegungsfähigkeit könne wiederhergestellt werden. — Abgesehen von diesem Rückschritt in der Erkenntniß des Regenerationsvorganges, hat Arnemann zuerst die Aufmerksamkeit auf das peripherische Ende des durchschnittenen Nerven gelenkt und angegeben, dass dasselbe „welk“ erscheine, eine graue Farbe annehme, und unempfindlich sei. An den Schnittenden der Nerven bemerkte Arnemann anstatt des Markes eine wässerige Flüssigkeit, welche er als Product einer hierbei auftretenden Wassersucht der Nerven bezeichnete. Diese, eine Zeitlang für thatsächlich gehaltenen Angaben Arnemann's, blieben auch nicht ohne Einfluss auf die Physiologie des Nervensystems. Gestützt auf diese Anschauung glaubte man die Leitungsbahnen der Nerven in ihrer Scheide suchen zu dürfen.

Durch diese und die nachherigen Versuche Haightons (9) war zwar die Thatsache der Wiederherstellung der Nervenleitung ausser Zweifel gestellt, die histologischen Eigenthümlichkeiten der Nervenverwachsung selbst aber blieben noch unaufgeklärt, was bei den mangelhaften Hilfsmitteln der Untersuchung nicht auffallend erscheinen kann. In letzterer Beziehung muss es daher als ein nicht

geringer Fortschritt anerkannt werden, dass J. C. H. Meyer <sup>(10)</sup> auf Reil's Vorschlag hin, das Narbengewebe mit Salpetersäure behandelte, und mit Hülfe dieses Mittels innerhalb der Narbe das neugebildete Nervenmark nachweisen konnte. (Es ist zu vermuthen, dass er nur die Axencylinder und Scheiden der Nerven sah, da, wie ich mich selbst überzeugte, durch Salpetersäure in stärkeren Concentrationen das Mark zerstört wird.)

Sömmerring <sup>(11)</sup>, Bichat <sup>(12)</sup> und Magendie <sup>(18)</sup> bestätigten frühere Angaben und erweiterten dieselben in mancher Beziehung. So z. B. zog Sömmerring die seit Arneemann wieder in Vergessenheit gerathenen peripherischen Nervenstümpfe in den Kreis seiner Beobachtungen, und bestätigte die von Letzterem gefundenen Veränderungen. Wichtig in dieser Beziehung ist unter anderem auch noch eine Angabe über die Degeneration des Opticus nach krankhaften Veränderungen des Augapfels.

Prévost <sup>(23)</sup> und Eckström <sup>(24)</sup> endlich sahen die im Narbengewebe neugebildeten Fasern bald unregelmässig gewunden, bald sich kreuzend in mehr oder weniger grossen Abständen von einander verlaufen. Prévost glaubte den unregelmässigen Verlauf der Fasern auf eine ungleiche Dichtigkeit des Nebengewebes zurückführen zu müssen, durch welches die Fasern bei ihrem Wachstume, dem geringeren Widerstand entsprechend, sich den Weg bahnten.

Alle diese Angaben beziehen sich, wie wir gesehen, auf das Wiederverwachsen eines und desselben Nerven, abgesehen von seiner physiologischen Eigenthümlichkeit. Durch eine Beobachtung Larrey's <sup>(20)</sup> lernte man die Möglichkeit einer Verwachsung zweier centralen Nervenenden kennen. Larrey fand nach einer Amputation des Oberarms, den Medianus mit dem Cutaneus ext. innig verwachsen, ein Verhältniss, welches später auch an anderen amputirten Nerven angetroffen wurde. Dem entsprechend gelang es auch Flourens 1824 <sup>(31a)</sup> den oberen Flügelnerven eines Hahnes mit dem peripherischen Stumpfe des unteren zu verheilen und die normale Thätigkeit des Flügels wiederhergestellt zu sehen. Dadurch ermuthigt, ging dieser Forscher noch weiter und unternahm die Verheilung eines Hirnnerven mit einem Rückenmarksnerven, nämlich des centralen Endes des V. Cervicalnerven mit dem peripherischen des Vagus.

Die anatomische Vereinigung trat auch bei diesem Versuche ein; die gewagte Erwartung jedoch, es möchte vielleicht auch der Rückenmarksnerv im Stande sein, den Vagus in physiologischer Beziehung zu substituiren, ging nicht in Erfüllung; nach Durchschneidung des unverletzten Vagus starb das Thier.

Diese Versuche, welche den Beweis geliefert, dass die ihrer Funktion nach verschiedenartigen Nervenstränge zusammenwachsen können, liessen die Frage über das Verhalten der sensibeln zu den motorischen Nervenfasern bei dem Verwachsungsprozesse noch offen. Verbinden sich bei diesem Vorgange die motorischen Nervenprimitivfasern nur mit motorischen und sensible mit sensibeln, oder findet eine specifische Beziehung der Fasern zu einander nicht statt?

Ausgehend von den durch Bell<sup>(16)</sup> und Magendie<sup>(18)</sup> bekannt gewordenen Leitungsverhältnissen der motorischen und sensibeln Bahnen, unternahm Schwann<sup>(32)</sup> einen für den fraglichen Gegenstand höchst wichtigen Versuch. Er durchschnitt bei Fröschen den Ischiadicus, und nachdem die Wiedervereinigung eingetreten war, reizte Schwann die hinteren sensibeln Wurzeln, in der Erwartung, von da aus eine Zuckung der Muskeln zu erzielen, falls sich die sensibeln Fasern des durchschnittenen oberen Stumpfes mit den motorischen des unteren verbunden hätten. Die Zuckung blieb jedoch aus; dagegen riefen die Reizungen der vorderen Wurzeln heftige Bewegungen des operirten Beines hervor. Es zeigte sich ferner, dass directe Reizung des Ischiadicus, oberhalb wie unterhalb der Wunde, jedesmal eine Zuckung auslöste, ein Beweis, dass die volle Regeneration stattgefunden hatte. Dadurch war der Beweis geliefert, dass die vermischten Verbindungen von motorischen und sensibeln Fasern im physiologischen Sinne nicht zu Stande kommen. Dieses Verhalten wurde auch auf die anatomischen Verhältnisse übertragen, und die Möglichkeit einer Verwachsung von motorischen und sensibeln Fasern selbst im anatomischen Sinne in Abrede gestellt. Viele zweifelten jedoch noch an der Beweiskraft dieser Versuche; so z. B. trat Joh. Müller<sup>(33)</sup> denselben mit dem Bedenken entgegen, es sei noch unbekannt, ob die sensibeln Fasern auch wirklich nach beiden Richtungen leitungs-fähig wären.

Dieselben Ziele verfolgte später Bidder<sup>(42)</sup>. Derselbe wählte zu

seinen Versuchen den Hypoglossus als motorischen und den Lingualis als sensibeln Nerven, und bemühte sich, den centralen Stumpf des einen mit dem peripherischen des anderen zu verheilen. Dabei ergab sich, dass die Nerven entweder wieder in ihre frühere, den normalen Verhältnissen entsprechende Lage zurückkehrten, oder wenn eine Verwachsung stattfand, die Narbe stets noch Beimischung von Fasern eines der anderen durchschnittenen Stümpfe aufwies.

Aus diesem Verhalten schloss dieser Forscher, dass eine Verwachsung von motorischen mit sensibeln und vice versa nicht stattfinden könne.

Wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich, hatten diese Versuche vorherrschend das physiologische Resultat im Auge, und was dabei an histologischen Thatsachen gewonnen wurde, ging nicht über die Erforschung der Gewebsverhältnisse innerhalb der Narbe hinaus.

Selbst die dürftigen Angaben Arnemann's und Sömmerring's über die Veränderung des peripherischen Nervenstumpfes wurden in der Folge unberücksichtigt gelassen, oder sogar widerlegt. So z. B. fand Steinrück<sup>(84)</sup> bei doppelt durchschnittenen Nerven stets die neuen Primitivfasern in der Narbe, ohne jedoch je die Fasern des peripheren Stumpfes verändert gesehen zu haben.

Günther und Schön<sup>(40)</sup>, welche die Erregbarkeitsveränderungen des peripherischen Endes durchschnittener Nerven verfolgten und deren zeitlichen Verlauf bestimmten, kamen zwar auf die Idee, dass bei dem allmäligen Schwunde und der Wiederkehr der Erregbarkeit entsprechende Texturveränderungen in dem Nerven vorkommen müssten, und wollen sich auch wirklich von den Veränderungen der Primitivfasern in dem peripherischen Nerven überzeugt haben. Nach ihrer Anschauung regenerirt sich der Nerv mit Hülfe von plastischer aus den Gefässen stammender Lymphe.

Eine genauere Beschreibung der regenerativen Prozesse des durchschnittenen Nerven hat zuerst Nasse<sup>(30)</sup> 1839 gegeben. Er hat den fettigen Zerfall der Fasern des peripheren Nervenstumpfes, sowie die Quellung der Fasern unmittelbar oberhalb der Schnittwunde beschrieben. Die neugebildeten Fasern fand Nasse nach der Messung viel schmaler als die normalen. Ferner hat dieser Forscher auf die Differenz in der Zeit aufmerksam gemacht, in welcher die Regeneration bei den Säugern und bei den Kaltblütern zu Stande



kommt. Was die Art und Weise der Neubildung von Nervenfasern betrifft, so glaubt Nasse dieselbe auf eine directe Umwandlung des Narbengewebes in nervöse Fasern zurückführen zu können. Eine Degeneration des peripherischen Nervenendes fand auch Valentin<sup>(41)</sup>, entgegen seiner früheren Annahme (de functionibus nervor. cerebr. Bernæ, 1839).

Im Jahre 1847 beobachtete Stannius<sup>(42)</sup> gelegentlich einer Untersuchung über selbstständige Contractilität der Muskeln, die Degeneration des unteren Theiles eines jeden der getrennten Nerven bis zu den Endverzweigungen. Die neuen doppelt contourirten Fasern hat er ebenfalls bei Kröten nach der Durchschneidung gesehen.

Waller<sup>(46)</sup> bestätigte ebenfalls diese Beobachtungen und erweiterte dieselben durch die Angabe, dass die Fasern des peripherischen Theiles des einmal durchschnittenen Nerven niemals wieder zu ihrer früheren Thätigkeit zurückkehrten, indem die Reproduction des Nerven nicht allein auf die Narbe beschränkt bliebe, sondern bis in die Endverzweigung hin sich erstreckte. Bei diesem Hergange scheint das Neurilem (Schwann'sche Scheide) eine hervorragende Rolle zu spielen, da es nach diesem Beobachter den bei der Degeneration nicht beteiligten Theil des Nerven bildet. Waller glaubt schon am dritten Tage in dem centralen Stumpfe des Ischiadicus einer Taube neue Nervenfasern (vermuthlich vom Mark entblösste Axencylinder) angetroffen zu haben. Ein nicht geringes Verdienst Waller's war es jedoch, durch eine andere Versuchsreihe die Arbeiten von Bell, Magendie und Schwann histologisch illustriert zu haben. Er durchschnitt die hinteren sensibeln Wurzeln und hat die Degeneration an den sensibeln Fasern nur bis zu den Spinalganglien beobachten können; einige Ganglienzellen sollen ebenfalls von der Degeneration ergriffen worden sein. Durchschnitt er hingegen die vorderen Wurzeln, so fanden sich die motorischen Fasern bis zu den Endästen degenerirt. Durch diese Versuche liessen sich somit auch die Nutritionscentra für die verschiedenen Nerven feststellen, und zwar für die motorischen im Rückenmark und für die sensibeln in den Spinalganglien.

1853 trat Bruch<sup>(48)</sup> mit der Beobachtung auf, dass er bei einer Katze, vier Monate nachdem der Ischiadicus zerschnitten worden,

keine narbige Anschwellung, sondern an der Verletzungsstelle eine Verdünnung des Stranges gefunden habe.

Nachdem die Fasern microscopisch untersucht worden, konnte er sich von der Vereinigung derselben überzeugen, und schloss daraus, dass in diesem Falle die Reunio per primam intentionem stattgefunden hätte, und will selbst an jeder Faser eine Narbe gesehen haben. In einer folgenden Arbeit sagt Bruch: „In glücklichen Fällen findet eine Reunio per primam intentionem statt, in anderen Fällen müssen sich die Fasern eine Strecke entgegenwachsen, in den meisten aber geht das peripherische Stück ganz verloren, und wird durch Verlängerung des centralen Stückes in seiner ganzen Ausdehnung ersetzt.“ Die Entstehung einer neuen Faser innerhalb der alten konnte er gleich Waller nie nachweisen; es lagen immer die jungen Nervenfasern neben den alten leeren Scheiden des peripherischen Stückes; dabei gibt er jedoch gerne zu: „dass die alte Nervenscheide den Träger und das Vehikel der neuen Nervenfasern abgibt, und dass der neue Nerv die in Auflösung begriffene Materie des alten als Ernährungs- und Bildungsmaterial benutze.“ Die Neubildung soll nach Bruch von den Kernen der Nervenfasern des centralen Stückes ausgehen. Wo ein peripherischer Stumpf nicht vorhanden, bilden die aus dem centralen herauswachsenden Fasern sonderbare Aufknäuelungen. In der Narbe bestätigte Bruch den gekreuzten Verlauf der Fasern, welche erst, nachdem sie in das periphere Stück gelangt, eine mehr gestreckte Richtung einschlagen.

Durch Schiff<sup>(50)</sup> hat die Lehre von der Regeneration der Nerven eine bedeutende Umwälzung erfahren. Das weitere Schicksal der wichtigsten Theile des Nerven bei der Degeneration verfolgend, stellte Schiff fest:

1) dass der Axencylinder noch fünf Monate nach einer Nerven-durchschneidung ohne eingetretene Regeneration, durch 24stündige Behandlung mit Sublimat, Chrom- oder Essigsäure, sichtbar gemacht werden kann;

2) dass die Scheiden länger als die Axencylinder erhalten bleiben; nach drei Jahren will er sie noch gesehen haben, dagegen verschwinden sie, sobald die Regeneration der Nerven erfolgt ist. Aus diesem Verhalten der Axencylinder und der Scheiden schloss dieser Forscher, dass die neuen Fasern in den alten Scheiden sich

entwickeln. Ferner erkannte er in dem Verlaufe der Degeneration zwei wohl von einander zu scheidende Perioden, und bezeichnete dieselben als die entzündliche und paralytische Degeneration des Markes.

Die erstere trifft nur die beiden Stümpfe in unmittelbarer Nähe des Schnittes; die zweite tritt später auf und befällt nur den peripherischen Stumpf des durchtrennten Nerven. Nächst dem Zellengewebe sind die Nerven, nach reinen Schnittwunden, die am leichtesten wiederverheilenden Gewebe des Körpers; sie übertreffen in dieser Hinsicht selbst die Knochen.“ Der Ansicht, dass bei grösseren Substanzverlusten die Regeneration nicht stattfindet, widerspricht Schiff auf das entschiedenste, indem er nur äusserst selten Ausnahmen zulässt. Je jünger das Thier, desto rascher erfolgt die Verheilung. Bei Quetschwunden bleibt die Regeneration beträchtlich längere Zeit aus. Sensibele Nerven regeneriren früher als motorische, denn in den Fällen, wo die Empfindung bereits hergestellt war, liess sich weder oberhalb noch unterhalb der Wunde, vom regenerirten Nerven aus eine Zuckung der Muskeln erzielen; am schnellsten kommt jedoch die Regeneration am Sympathicus zu Stande.

Die Regeneration bei den winterschlafenden Thieren (Murmeltieren) war nach fünf Wochen nur so weit vorgeschritten als beim Hunde, nach fünf Tagen.

Das Mark bildet sich nach Schiff's Beobachtung früher in dem peripherischen Stumpfe, als in der Narbe. Bei der Regeneration sollen die Primitivscheiden einander entgegenwachsen, und in ihnen sieht man den Axencylinder entstehen, welcher in der Folge mit dem peripherischen noch erhaltenen in Verbindung trete.

Aus eigenen Beobachtungen, wie aus den von James Paget (35) citirten Beispielen, wo bei Kindern, nach vollständiger Trennung des Medianus, das Gefühl in den gelähmten Fingern in zwölf Tagen schon wiederkam, neigt sich Schiff zu der Ansicht, dass die Verwachsung in solchen Fällen per primam intentionem zu Stande komme, wobei er jedoch eine vermischte Verwachsung der funktionell verschiedenen Fasern läugnete.

Eduard Lent (31) ist auf die Vermehrung der Kerne aufmerksam geworden, ohne jedoch ihre weitere Entwicklung zu studiren. Bei

diesem Forscher sind offenbar die Nervenscheiden bei dem ganzen Regenerationsprozesse das Wichtigste, indem sie allein bestehen bleiben und daher nur innerhalb derselben Mark und Axencylinder sich bilden können.

Philippeaux und Vulpian<sup>(55)</sup> haben in ihrer ersten Arbeit die Persistenz des Axencylinders behauptet, später jedoch sich gegen diese ihre Annahme erklärt<sup>(56)</sup>. Diesen Forschern gelang es bekanntlich bei Wiederholung der Bidder'schen Versuche eine kreuzweise Verwachsung des Hypoglossus und Lingualis und vice versa zu erzielen, wobei sie die interessante Beobachtung machten, dass die Reizung des mit dem Hypoglossus verwachsenen Lingualis centralwärts von der Narbe Zuckungen hervorruft; ja sie sahen sogar in einem Falle, dass Reizung des peripheren, nicht verwachsenen Hypoglossus fünf Monate nach der Durchschneidung Zuckungen der Zunge zur Folge hatte; die Regeneration der Fasern war dabei durchaus nicht eine vollständige.

Demnach war also die Erregbarkeit für elektrische Reize wieder hergestellt, ohne dass sich der peripherische Theil mit dem centralen verbunden hatte. Die Möglichkeit einer Verwachsung von motorischen mit sensibeln Nervenfasern glaubten sie aus Beobachtungen ableiten zu dürfen, bei welchen nach Durchschneidung und Wiederverwachsen gemischter Nerven im peripherischen Abschnitte Bewegungen durch Reizung unter- und oberhalb der Narbe hervorgerufen werden konnten, während die willkürlichen mangelten; dass sie sich diesen Vorgang als durch eine Verwachsung der motorischen mit sensibeln herbeigeführt dachten, glaube ich aus ihrer, wenn auch nicht ganz klaren Schlussfolgerung zu ersehen: „Ces faits doivent être pris en grande considération, car ils nous permettent d'apprécier d'une façon saine les résultats des tentatives de réunion entre les nerfs d'origine ou de fonction différentes.“ [p. 406] <sup>(55a)</sup>

Von noch grösserem Interesse war eine Beobachtung dieser Forscher über Transplantation der Nerven. Sie schnitten einem Hunde ein zolllanges Stück aus dem Lingualis und brachten dasselbe unter die Haut der Inguinalgegend. Nach sechs Monaten fanden sie in dem transplantierten Nervenstücke eine Anzahl neugebildeter feiner Nervenfasern.

Vulpian<sup>(56)</sup> seinerseits fand ferner, dass bei den Nerven, welche

unterbunden, zerquetscht, oder durch Ammoniak, Essigsäure geätzt waren, der Verlauf der Degeneration derselbe war, die Regeneration aber schneller zu Stande kam, wenn ein Nerv nur mit Präparirpincetten gequetscht worden war.

Zu derselben Zeit, 1859, und dieselben Zwecke verfolgend wie Philipeaux und Vulpian, stellten Gluge und Thiernesse<sup>(58)</sup> eine Versuchsreihe bei Hunden an. Sie verbanden mittelst einer Naht den centralen Stumpf des Lingualis mit dem peripheren des Hypoglossus, wobei sie aus jedem der gebliebenen Stümpfe ein 2 Centimeter langes Stück herausgeschnitten haben, um eine möglichst reine, nur aus Verwachsung zweier Stümpfe gebildete Narbe zu bekommen. Nichtsdestoweniger zeigte sich, dass stets nach Ablauf einer gewissen Zeit von dem centralen angeschwollenen Hypoglossusstumpfe feine Nervenfädchen sich bis zu der Verwachsungsstelle der verbundenen Nerven ausgebreitet hatten. In allen diesen Fällen konnte durch die Reizung des durch jene Nervenfasern mit der Narbe in Verbindung stehenden Hypoglossusstumpfes eine Zuckung der Zungenmuskeln hervorgerufen werden, und nur in einem einzigen Falle konnte man auch von dem Lingualis aus die betreffenden Zuckungen auslösen. Hier war auch keine Verbindung mit dem abgeschnittenen centralen Hypoglossus nachzuweisen. — Es wurde jedoch auf das letzte Experiment (N<sup>o</sup> 5) wenig Gewicht gelegt, indem der Nerv (Lingualis) ohne Isolation gereizt wurde, folglich konnten die hier angewandten elektrischen Ströme durch die Flüssigkeiten der Gewebe sich weiter verbreiten. Aus ihren Beobachtungen sind diese Forscher zu dem Schlusse gekommen, dass die sensibeln Fasern sich nicht in motorische umwandeln können. Auch haben sie ähnlich wie Philipeaux und Vulpian eine Zuckung der Muskeln entstehen sehen, nachdem der nicht verwachsene periphere Theil eines vier Monate nach der Durchschneidung untersuchten Nerven gereizt wurde; nur wurde diese Erscheinung anders gedeutet, indem sie das Leitungsvermögen als ein vier Monate persistirendes und nicht als ein neu mit der Regeneration der Fasern erworbenes betrachteten.

Wedl<sup>(54)</sup> untersuchte 9—11jährige cicatricielle Neurome (an Amputationsstümpfen) und fand, dass die Nervenfasern sich pinselartig in das umliegende Gewebe ausbreiten.

Hjelt<sup>(57)</sup> [1860] unterwarf die von Lent erwähnte Kern-

wucherung einem genaueren Studium, wobei sich herausstellte, dass dieselbe von den Kernen der Schwann'schen Scheiden abstammt. Diese Kerne nehmen allmählig eine spindelförmige Gestalt an und werden schliesslich zu Nervenfasern, wobei die Fäden aus der Membran, die die Kerne umgeben soll, sich bilden und mit Mark bekleiden. Solches geschieht in der Narbe, welcher er besondere Aufmerksamkeit geschenkt und an Schnittpräparaten studirt hat.

Im peripherischen Theile kommt es ebenfalls zur Regeneration, weil sich auch hier spindelförmige Zellen vorfinden.

Die alten Nervenfasern behalten ihre Scheiden, vielleicht auch die Axencylinder bei. Nach Hjelt's Ansicht ist eine prima intentio immerhin möglich.

Remak <sup>(60)</sup> hebt aus einer Reihe von Versuchen besonders die Beobachtung an einem Kaninchen hervor, wo acht Monate nach der Durchschneidung des Nerven im centralen Stumpfe normale, im peripheren hingegen Bündel feiner Nervenfasern gefunden wurden. Daraus schloss dieser Forscher, dass die neuen Fasern durch die Längsspaltung der erhaltenen Axencylinder hervorgehen möchten. Ferner hat er gesehen, wie an den Fasern der centralen Partie, dicht oberhalb der Wunde, das Mark sich rapide ausbuchtet und neue Fasern gleich unter dieser Anschwellung sich zu bilden beginnen.

Förster <sup>(62)</sup> hat die Meinung ausgesprochen, dass die Neubildung vom Bindegewebe am Ende des amputirten Nerven ausgehe, wobei sich aber nicht ausschliesslich Bindegewebsbündel bilden, sondern ein Theil der Zellen direct zur Bildung von Nervenfasern verwendet wird, während ein anderer den Charakter von Bindegewebszellen annimmt.

Virchow <sup>(64)</sup> hält auch eine ähnliche Entstehung der Nerven für möglich, indem er sich folgendermassen über den Gegenstand äussert: „In der Narbe entwickeln sich neue Fasern auf einem Umwege, indem zunächst nichts anderes vorhanden ist, als ein junges, dem Bindegewebe verwandtes Granulationsgewebe; erst aus den Elementen dieses Gewebes gestalten sich durch spätere Entwicklung die Nervenfasern. So geschieht es auch bei einer grossen Zahl der eigentlichen Neurome, und es ist gewiss sehr charakteristisch, dass zwischen den Regenerationsvorgängen und der eigentlichen Neurombildung gewissermassen kein Uebergang be-

steht, so, dass man keine ganz scharfe Grenze zwischen beiden ziehen kann.

Während die Persistenz des Axencylinders durch Schiff und Magnien<sup>(66)</sup> vertheidigt wurde, erklärten Neumann<sup>(69)</sup> und mit ihm sein Schüler Eichhorst<sup>(73)</sup>, dass das Mark, welches bei der Degeneration einer chemischen Umwandlung anheimfällt, die Erkennbarkeit des Axencylinders unmöglich mache, indem es dasselbe Brechungsvermögen annehme wie der Axencylinder.

Neumann hat ferner die Frage aufgeworfen, schwindet resp. wird das Mark resorbirt, oder geht dasselbe nur eine locale Umwandlung ein?

Diese Frage wurde von ihm und Eichhorst zu Gunsten der Umwandlung beantwortet, während die Mehrzahl der früheren Autoren das Mark resorbirt werden liessen. Schliesslich bestätigt Neumann die Wucherung der Kerne der Primitivscheiden. Was die Regeneration anlangt, so hat er in beiden Stümpfen nur eine endogene Neubildung von Tochterfasern innerhalb der alten beobachtet. Was die Reunio per primam betrifft, so weist Neumann sie entschieden zurück, um so mehr, als er einmal bei einer unvollkommenen Trennung des Nerven, wo die Verhältnisse für die Regeneration per primam sehr günstig lagen, dennoch eine Umwandlung des Markes beobachtet hat. Die Degeneration ist folglich als eine Regel bei der Trennung von Nerven zu betrachten. Bei dieser Untersuchung hat Neumann Zerpupfungspräparate von in Osmium gehärteten Nerven benutzt.

Lavéran<sup>(72)</sup> findet (was schon von Philipeaux u. Vulpian<sup>(55a)</sup> gesehen wurde) in dem centralen Stumpfe, welcher keiner Degeneration unterliegen soll, einige vereinzelt regenerirte Nervenfasern, und erkennt in ihnen die, durch Claude Bernard physiologisch nachgewiesenen, die *sensibilité récurrente* leitenden Fasern; diese Fasern, welche centripetal verlaufen und deren Nutritioncentra in einer anderen Richtung liegen, werden daher auch im peripheren Theile des durchtrennten Nerven intact gefunden. Die Regeneration der Nerven besteht nur im Zerfall und der Resorption des Markes. Regeneration des unteren Stückes ist nur möglich und beginnt erst mit der Verwachsung beider Stümpfe; sie besteht hauptsächlich in dem Wiedererscheinen des Markes, welches von den Kernen der

Schwann'schen Scheiden abgeschieden wird. Was die Narbe und Entstehung der neuen Nervenfasern in derselben anbelangt, so muss ich die eigenen Worte des Autors citiren, da es nicht deutlich zu ersehen ist, was er eigentlich meint. „La réunion des deux segments d'un nerf divisé a lieu tout d'abord au moyen d'un tissu très-riche en jeunes éléments. Ce tissu paraît provenir *le plus souvent* de l'organisation du caillot intermédiaire aux deux bouts du nerf coupé. C'est *au milieu* de ces cellules jeunes que prennent naissance les tubes nerveux par un mécanisme analogue à celui de la formation des nerfs chez l'embryon.“

Nach Hertz degenerirt sowohl das Mark, als auch der Axencylinder, nur selten ist das Mark allein degenerirt. Im centralen Stumpfe fand dieser Forscher den Axencylinder angeschwollen und schrieb das einer hygroskopischen Eigenschaft der Axencylinder zu, indem letztere im Serum aufquellen. Im peripherischen Stumpfe zerfällt der Axencylinder im Anfang der Regeneration in mehr oder weniger grosse Stücke. Bei Anwendung von Zinnobereinspritzung erwies sich, dass die die Narbe zusammensetzenden Kerne, wie auch diejenigen des peripheren Stumpfes, Zinnoberkörnchen führten, folglich als eingewanderte farblose Blutkörperchen zu betrachten seien. Die neuen Nerven entstehen nach Hertz sowohl aus den länglichen, spindelförmigen an einander liegenden Zellen, die sich zwischen den alten Scheiden schon zur Zeit der Regeneration finden, als auch innerhalb der Scheiden selbst; im letzteren Falle von den Kernen derselben, die eine Verbindung mit den Axenfäden des centralen Stumpfes eingehen.

Auch bei prima intentio vermitteln jene Kerne die Verbindung der Nervenfasern.

Bencke (75) führte eine Modification bei der Durchschneidung von Nerven ein. Er schnürte den Nerven mittelst eines seidenen Fadens fest zu und entfernte dann den Faden wieder.

Dadurch sollen die Primitivfasern unterbrochen werden, ohne dass dabei die Gesamtnervenscheide in ihrer Continuität leidet und somit das Eindringen von fremden Körpern verhindert werde.

Bei der nachfolgenden Degeneration gehen sowohl Mark als Axencylinder zu Grunde. Die Regeneration geht von den vermehrten Kernen aus, welche eine spindelförmige Gestalt annehmen

und die centralen Primitivfasern mit den peripherischen verbinden. Das Mark tritt zuerst an den Kernen auf. Viele von diesen Kernen verschwinden, andere bleiben als Kerne der Schwann'schen Scheide, namentlich an den Axencylindern des centralen Stumpfes bestehen.

Erb<sup>(76)</sup> bestätigt die Angabe Vulpian's, dass bei der Quetschung des Nerven viel schneller Regeneration zu erwarten sei als bei der Trennung, indem die Degeneration nur im Zerfall des Markes besteht. Er hat ferner die Multiplication der Kerne, gleichzeitig im ganzen peripherischen Theile beobachtet, und hält sie für Granulationszellen (Kerne), da sie aber in der ganzen Länge gleichzeitig zum Vorschein kommen, so kann er sie nicht als längs der Fasern eingewanderte Elemente betrachten.

Ranvier<sup>(77)</sup> constatirt die Vermehrung der Kerne und glaubt dieselbe bedingt durch eine, für diese Elemente in Folge der Degeneration gesteigerte Bildungsthätigkeit (*suractivité formatrice*). Ferner gibt er an, dass nach drei Tagen, bei Warmblütern, jeder Axencylinder der unteren Partie von den hypertrophirten Kernen der Schwann'schen Scheiden gedrückt und unterbrochen wird, wodurch schliesslich auch die Axencylinder zu Grunde gehen. Im centralen Stumpfe dagegen bleiben die Axencylinder bis zur Schnittstelle und widerstehen der destructiven Wirkung der Kerne und des neugebildeten Protoplasmas. Remak'sche Fasern zeigen auch im peripherischen Stumpfe eine körnige Infiltration.

Den Ausgangspunkt für die Regeneration bilden nach Ranvier die Fasern des centralen Stumpfes. In einer nicht näher bekannten Weise, im Niveau der letzten (Ranvier'schen) Einschnürung, welche den regenerirten Theil der Fasern vom normalen trennt, entstehen vier, fünf oder mehrere feine Nervenfädchen (ähnlich wie bei Neumann und Remak). Wahrscheinlich ist der Axencylinder der Ausgangspunkt der Neubildung. Diese Fäserchen, zu Bündeln angeordnet, passiren die Narbe, um sich in der unteren Partie, entweder innerhalb der leeren Scheiden, oder zwischen denselben auszubreiten.

Engelmann<sup>(78)</sup> glaubt an die „*suractivité formatrice*“ Ranvier's nicht, da er weder im Beginn der Regeneration noch später eine Kernwucherung oder Hypertrophie derselben beobachten konnte. „Im durchschnittenen Nerven pflanzt sich ein Entartungsprozess von

der verletzten Stelle aus, im centralen Stücke in centripetaler, im peripherischen in centrifugaler Richtung innerhalb jeder Faser, bis zur nächsten Ranvier'schen Einschnürung fort, diese wird niemals überschritten.“ (Das gilt natürlich nur für die entzündliche Degeneration [Schiff] allein.)

Cossy und Déjeurine <sup>(79)</sup>, die sich im Jahre 1875 speziell mit der Degeneration der Nerven beschäftigt haben, sind zu der Ueberzeugung gekommen, dass bei derselben die Axencylinder sehr lange Zeit (15 Tage für Warmblüter) persistiren können, und sich durch Carmintinction, innerhalb der zerfallenen Markklumpen sichtbar machen lassen, schliesslich aber doch vollständig zu Grunde gehen. Déjeurine studirte die Degeneration der Nerven bei der die Syphilis begleitenden Muskeln- und Nervenatrophie, und fand, dass dieselbe ganz nach dem bekannten Typus verlief.

Endlich muss ich noch eine in der allerletzten Zeit erschienene Arbeit Bakowiecki's <sup>(82)</sup> erwähnen.

Bakowiecki will vermittelst Cat-gut-Naht Nerven verbunden, und in kürzester Zeit verheilt haben. So zum Beispiel war die Leitung des Vagus acht Tage nach der Durchschneidung (beim Hunde) wiederhergestellt. Er macht dabei Eulenburg und Landois <sup>(81)</sup> den Vorwurf, Metall- oder Seidenfäden angewandt und den Nerven in seiner ganzen Dicke durchstoehen zu haben, während er bei Anlegung der Naht den Cat-gut-Faden einzig und allein durch die Nerven-scheide geführt haben will, welchem Umstande Bakowiecki seine glücklichen Resultate zuschreibt.

Ungachtet der grossen Zahl der Untersuchungen, welche wir zu verzeichnen hatten, ist eine Uebereinstimmung der Ansichten selbst bei den neuesten Forschern noch nicht erreicht worden; daher wird eine neue, auf Grundlage von verbesserten Methoden unternommene Revision des Gegenstandes gerechtfertigt erscheinen.

Bevor ich mich zu meinen eigenen, auf Veranlassung von Professor Waldeyer unternommenen Beobachtungen über die Regeneration der Nerven wende, wird es vielleicht nicht überflüssig sein, ein kurzes Resumé der noch bestehenden Controversen vor auszuschicken.

Als von Allen anerkannte Thatsache erscheint bei der Degeneration der verletzten Nerven das Auftreten zweier charakteristischen Erscheinungsgruppen, die als entzündliche und paralytische Degene-

ration bezeichnet wurden. Was die erstere betrifft, so stimmen alle bisherigen Untersuchungen darin überein, dass diese in der Trübung und Quellung der Markscheide, Quellung des Axencylinders und Auftreten von Kernen in dem Narbengewebe in beiden Stümpfen besteht, nach Engelmann zudem soll dieser Prozess nur bis zur ersten Ranvier'schen Einschnürung sich erstrecken und dieselbe niemals überschreiten.

Weniger Uebereinstimmung zeigen die Ansichten über die den peripherischen Strang ergreifende paralytische Degeneration.

Der Schwund des Markes wird bei dieser Art der Degeneration von den Einen als eine wirkliche Resorption, von den Anderen, wie zum Beispiel Neumann, Eichhorst, als durch eine chemische Umwandlung bedingt und nur scheinbar vorhanden betrachtet. Der Axencylinder soll vollständig schwinden (Ranvier, Cossy et Déjeurine) — durch ein dem umgewandelten Marke gleiches Brechungsvermögen unsichtbar werden (Neumann) — oder endlich die Degeneration überdauern (Schiff, Magnien). Die Schwann'sche Scheide lassen alle Forscher erhalten bleiben. Die während der Degeneration auftretenden Kerne halten die Meisten für Abkömmlinge der Kerne der Schwann'schen Scheiden; Erb und Hertz glauben sie als eingewanderte betrachten zu dürfen; — Engelmann hat endlich gar keine Vermehrung der Kerne angetroffen.

Was die Regeneration der Nerven betrifft, so differiren die Ansichten ebenfalls noch in den meisten Punkten. Als den Ort der Entstehung neuer Nervenfasern sieht die Mehrzahl der Forscher die alten Scheiden an, nur Waller und Bruch lassen sie nicht innerhalb derselben, sondern zwischen den alten Scheiden auftreten.

Die Nervenfasern bilden sich aus den präexistirenden Axencylindern des peripherischen Stumpfes, wahrscheinlich durch Spaltung (Remak, Neumann) oder sie wachsen nur aus dem centralen Stumpfe hervor (Ranvier, Bruch), für gewöhnlich aber wird gleichzeitig peripherische und centrale Neubildung angenommen; dabei lassen Waller, Bruch, Benecke, die neuen Nerven aus den Kernen der Schwann'schen Scheiden entstehen, andere, Hjelt, Lent, Hertz, hingegen glauben die eingewanderten Kerne für diejenigen Gewebelemente ansehen zu können, aus welchen die neuen Fasern hervorgehen.

Die Vorstellung über die Verbindungsweise der einzelnen durchschnittenen Primitivfasern ihrer physiologischen Funktion nach, ist ebensowenig wie die Entwicklungsweise der Nerven als gesichert zu betrachten. Während durch Schwann, Bidder und Schiff die Unmöglichkeit der Verwachsung von motorischen mit sensibeln Fasern und vice-versa behauptet worden ist, haben Philipeaux und Vulpian eine anatomische Verwachsung der Stümpfe durch das Experiment nachgewiesen, sind jedoch über das Verhalten der sensibeln zu motorischen Fasern, zu keinem entscheidenden Resultate gelangt.

Neben der auf dem Wege der De- und Regeneration zu Stande kommenden Verwachsung getrennter Nerven soll nach einigen Forschern auch eine prima intentio vorkommen können (Bruch, Schiff, Bakowiecki).

---

## II. EIGENE BEOBACHTUNGEN.

Die ersten, bereits wenige Stunden nach der Durchschneidung am Nerven auftretenden Erscheinungen bestehen in einer Trübung und starken Quellung des Markes, einer Quellung des Axencylinders und Vermehrung der Kerne der Schwann'schen Scheiden. Diese Erscheinungen, welche die sogenannte entzündliche Degeneration der Nerven bilden, befallen die durchschnittenen Nervenfasern sowohl central- als peripherwärts bis zur ersten, der Schnittwunde zunächst liegenden Ranvier'schen Einschnürung, eine Grenze, welche der entzündliche Prozess nicht überschreitet; wenn dieser erste Widerstand überwunden wurde, erreicht er jedenfalls an der nächsten Einschnürung sein Ende.

Während die vorhin erwähnte Veränderung des Markes und Axencylinders gleichmässig an den schmalen und breiten Nervenfasern auftritt, zeigt die Theilung und Vermehrung der Kerne der Schwann'schen Scheiden ein an beiden Faserarten abweichendes Verhalten.

An den schmalen meistens noch bündelweise angeordneten Fasern schwellen die Kerne und vermehren sich durch Theilung; die Kerne dieser Fasern besitzen weder vor noch nach der Theilung ein Kernkörperchen. An den breiten Nervenfasern quellen dagegen die Kerne

zwar ebenfalls auf, jedoch beschränkt sich die Theilung einzig und allein auf das hier vorhandene Kernkörperchen. Dies verschiedene Verhalten der Kerne ist zwar ausnahmslos von mir beobachtet worden, ohne dass es mir jedoch gelungen wäre die Ursache beziehungsweise Bedeutung desselben aufzufinden. Vielleicht ist es möglich, die noch unwandlungsfähigen Kerne der schmalen Fasern, im Gegensatz zu denjenigen der breiten, als die jüngeren Gebilde anzusehen.

Gleichzeitig mit diesen Vorgängen an den Nervenfasern sammeln sich in unmittelbarer Nähe der Schnittwunde sowohl rothe als weisse Blutkörperchen an; letztere vermehren sich und nehmen schliesslich ein, den von den Schwann'schen Scheiden abstammenden Kernen ähnliches Aussehen an\*.

Unter Bethheiligung aller dieser Kerne, welche sich später mit Protoplasma umgeben, bilden sich im Verlauf der nächsten Tage an den beiden Nervenstümpfen knollige Anschwellungen, welche bei geringem Substanzverluste mit einander unmittelbar verschmelzen; beim Bestehen einer grösseren Lücke, sich durch eine schmale Gewebsbrücke vereinigen. Die diese Nervennarbe bildenden Zellen nehmen eine spindelförmige Gestalt an und wandeln sich in der Folge in Bindegewebsfasern um, welche sich jedoch an der Regeneration der Nervenfasern nicht betheiligen.

Während die entzündliche Degeneration die beiden Nervenstümpfe gleichmässig befällt, haben wir es bei der nachfolgenden sogenannten paralytischen Degeneration mit Veränderungen zu thun, welche vorzugsweise den peripherischen Stumpf treffen. Die paralytische Degeneration der Nerven ergreift auch hier zunächst das Mark und manifestirt sich in einer Zerklüftung desselben. Der Zeitpunkt ihres Entstehens lässt sich nicht genau bezeichnen, und ist abhängig nicht

\* Bei Fröschen, 48 Stunden nach der Operation, habe ich an der Wundstelle die Kerne in den rothen Blutkörperchen stark angeschwollen gefunden; dabei waren auch solche Blutkörperchen vorhanden, welche nebst der Auflösung der rothen Substanz, eine Vermehrung zu zwei, drei und vier Kernen zeigten. So auffallend auf den ersten Blick eine Kernvermehrung der rothen Blutkörperchen erscheinen könnte, so muss ich doch auf die mir vorliegenden, einen jeden Zweifel ausschliessenden Objecte hin, diese meine Angabe aufrecht erhalten; näheres jedoch behalte ich mir vor an einem anderen Orte eingehender zu besprechen.

allein von der Thiergattung, Kalt- oder Warmblüter, sondern auch von dem Alter und dem Ernährungszustande des Thieres. Im Allgemeinen kann man den Beginn der paralytischen Degeneration bei warmblütigen Thieren unter normalen Ernährungsverhältnissen zwischen dem dritten und fünften Tage erwarten.

Die Zerklüftung des Markes tritt entweder gleichzeitig in der ganzen Länge einer Faser des peripherischen Nervenstumpfes, oder nur stellenweise, bald mehr gegen die Narbe, bald gegen die Peripherie hin, auf. Letzterer Umstand hat daher einzelne Autoren veranlasst, die Degeneration als eine centrifugal oder centripetal fortschreitende aufzufassen. Die Zerklüftung kommt an den, von der Degeneration ergriffenen Fasern in der Weise zu Stande, dass zuerst ein Theil der Markscheide an den von Lanterman beschriebenen Einkerbungen zu schwinden beginnt, wodurch die Nervenfasern ein varicöses Aussehen erhält und in diesem Stadium an einen embryonalen Zustand der Nerven erinnert. Im weiteren Verlaufe des Prozesses kommt es zur vollständigen Unterbrechung des Markes allein, oder auch des Axencylinders. Die einzelnen Markstücke nehmen mit der Zeit innerhalb der Scheiden eine immer mehr abgerundete, zuletzt kugelige Gestalt mit deutlicher concentrischer Schichtung an. Bei noch weiter vorgeschrittener Degeneration verflüssigt sich die äussere Schicht der Kugeln, letztere schmelzen und zerfallen in mehr oder weniger gleichmässig innerhalb der alten Scheiden vertheilte Fettkörnchen.

Bei genauer Verfolgung des Umwandlungsprozesses an der Markscheide fiel es auf, dass den aus der Zerklüftung hervorgegangenen Markklumpen stets Kerne anlagerten, welche in dem Maasse, als das Mark sich verflüssigte, an Grösse zunahm; an Stellen wo das Mark noch erhalten ist, lassen sich andererseits solche Kerne nicht nachweisen. Aus diesem Verhalten darf man demnach auf eine unmittelbare Betheiligung dieser Gebilde bei der Umwandlung des Markes schliessen.

Woher stammen nun diese Kerne innerhalb der Schwann'schen Scheiden? Wie wir es vorhin gesehen, waren es nur die Kerne der schmalen, von uns als die jüngeren angesehenen Nervenfasern, welche eine Vermehrung aufwiesen; daher muss es für die breiten Nervenfasern, deren Kerne sich nicht theilen, andere Wege geben,

auf welchen die Kerne in die Scheiden und das Mark gelangen. An den Schnittwunden der Nerven wird es auch nicht schwer, die Einwanderung der im Narbengewebe befindlichen Kerne in die vom degenerirten Mark erfüllten Scheiden zu verfolgen; weniger leicht hingegen ist es, das Auftreten von Kernen in peripher gelegenen degenerirten Strecken zu erklären. Dass jedoch auch hier die Annahme einer Einwanderung zulässig erscheint, darauf weisen die von mir wiederholt beobachteten Fälle, in denen die weissen Blutkörperchen an den Ranvier'schen Einschnürungsstellen, welchen in der Regel das Mark mangelt, in die Scheiden hineindringen. Die auf den oben beschriebenen Wegen in die Scheide gelangten Kerne vermehren sich Anfangs rapide, bis sie eine gewisse Zahl erreichen, alsdann beginnt vorwiegend ihre individuelle Ausbildung. Sie erhalten deutliche Contouren, nehmen eine mehr runde Gestalt an, und in ihnen werden Kernkörperchen sichtbar.

Während der ersten Stunden nach der Operation und bevor noch die Einwanderung der Kerne begonnen, nehmen auch die fixen Kerne der breiten Nervenscheiden an der Resorption resp. Umwandlung des Markes Theil. Die Kerne quellen, um sie herum sammelt sich eine schmale Protoplasmazone, welche oft kleine durch Osmium sich schwärzende Markkügelchen in sich aufnimmt.

Es gibt jedoch noch einen anderen, wenn auch nur dem oben bezeichneten untergeordneten Modus der Umwandlung.

Ich habe einige Mal bei jungen Katzen (Ischiadicus) und Falken (oberer Flügelnerve) nach der Durchschneidung ein massenhaftes Austreten oder Ausschwitzen des Markes zwischen die Fasern beobachtet, welches dann meist die capillaren Blutgefässe, die sich da entwickelt hatten, umgab. Damit stimmt noch eine andere Beobachtung überein, welche gewiss schon vielen bei der Verfolgung der Nerven-degeneration aufgefallen ist, ich meine das Verhalten der Schwann'schen Scheiden gegen Farbstoffe. Versucht man einen in Osmium gehärteten Nerven im Carmin oder Anilin zu färben, so sieht man an den degenerirten Fasern die Nervenscheide wie mit gefärbtem Staub bedeckt, während die gesunden Fasern eine reine, regelmässige Contour aufweisen. Sollten in diesem Falle nicht die Umwandlungsproducte des Markes durch die Scheide in molecularer Form nach aussen gelangt sein?

Der mit seinem Ernährungscentrum in Verbindung bleibende centrale Nervenstumpf, zeigt nach der Durchschneidung ein von den obenerwähnten Erscheinungen in manchen Punkten abweichendes Verhalten. Nachdem die entzündliche Degeneration bis zu einer der Ranvier'schen Einschnürungen fortgeschritten ist, beginnt das Mark sich allmählig in einigen Fasern zu verändern, deren Zahl mit der Grösse des Substanzverlustes wächst. Entweder nimmt das Mark eine wellenförmige Contour an, welche sich über grössere Strecken hin verfolgen lässt, oder das Mark verflüssigt sich in einzelnen je zwischen zwei Einschnürungen liegenden Nervenabschnitten, ohne dass dieser Prozess auf die ihnen angrenzenden Theile sich fortsetzt. Bei der letzten Form der Degeneration, die auch die häufigere ist, und nur die, nächst der Wunde gelegenen Partieen anfällt, wird stets eine Vermehrung von Kernen beobachtet. Ich lasse es unentschieden, in welchem ursächlichen Verhältniss diese Kerne zu der partiellen Verflüssigung des Markes stehen und welche von beiden Erscheinungen die primäre ist. Wie dem auch sei, nach der Verflüssigung des alten Markes beginnt hier die Bildung des neuen unter der eigenthümlichen Erscheinung, dass zwischen zwei früheren Ranvier'schen Einschnürungen noch eine oder zwei neue auftreten. (Fig. 4 b.)

Was die Kerne der Schwann'schen Scheiden des centralen Stumpfes anbelangt, so unterliegen auch sie an degenerirenden, wie auch an sonst ganz normalen Fasern einer Veränderung. Hauptsächlich in der näher der Narbe gelegenen Partie, quellen die Kerne auf, umgeben sich mit körnigem Protoplasma und nehmen, nachdem sie sich von den Fasern losgetrennt haben, eine längliche Gestalt an (Fig. 6 a); ob sie schliesslich, wie es angegeben wurde, zu den Nervenfasern sich entwickeln, kann ich nicht positiv behaupten, obwohl ich das letztere gern für möglich halte.

Es bleibt noch derjenigen Fasern zu gedenken, welche im centralen Theile eine raschere Degeneration durchmachen und im peripherischen intact bleiben. Es sind das jene Fasern, auf welche zuerst Philipeaux und Vulpian aufmerksam gemacht, und in welchen sie die von Claude Bernard als fibres récurrentes bezeichneten Fasern erkannt haben. Der Verlauf jener Fasern ist ein den übrigen entgegengesetzter, und da sie auch ihre Nutritionscentra anderswo haben, so schlägt auch die Degeneration nach der Durchschneidung des

Stammes, eine den anderen Nervenfasern entgegengesetzte Richtung ein.

An ausgeschnittenen Nervenstücken endlich, welche den Fröschen in einem Lymphsack gebracht wurden, verlief die Degeneration nach dem gewöhnlichen Modus. An beiden Enden bildeten sich auch hier knollige, von eingewanderten Kernen abstammende Anschwellungen. Die Regeneration muss in diesen Fällen sehr spät kommen, da selbst nach sechzig Tagen noch nichts von einer solchen zu bemerken war.

Die Veränderungen an den Axencylindern wurden absichtlich bis jetzt nicht berührt, indem dieselben den unmittelbaren Uebergang zur Regeneration von Nervenfasern bilden, und daher erst hier ihren Platz finden sollen. Die Axencylinder der peripheren Partie zerfallen mit der Zerklüftung des Markes der Quere nach in mehr oder weniger lange Stücke, von welchen die einen sich auflösen, um mit dem Marke zusammen die weitere Umwandlung durchzumachen, die anderen dagegen fortbestehen und sich mit neuem Marke umkleiden. In einzelnen Fällen bleibt sogar an einigen Axencylinderfragmenten das Mark bis zur Regeneration erhalten (Fig. 3 b). Da sich innerhalb des verflüssigten Inhalts der Scheiden die Axencylinder optisch nicht differenzieren und auch mit Osmium nur dann sich erkennen lassen, wenn sich bereits Mark um sie gebildet hat, so versuchten wir die Objecte mit Goldchloridnatrium zu behandeln, durch welches der Fortbestand jener Bruchstücke des Axencylinders in den Scheiden ausser Zweifel gestellt werden konnte.

Bevor noch das zerfallene Mark verschwindet, fangen die persistierenden Axencylinderstücke an, nach beiden Richtungen hinauszuwachsen. Die innerhalb der Scheide befindlichen Kerne gelangen an die Fädchen und liegen hier in gewissen Abständen von einander, als spätere Kerne der Schwann'schen Scheiden denselben auf. Gleichzeitig mit diesem Hergange erscheint das neue Mark als varicöse oder als mehr gleichmässige Auflagerung der Axencylinder.

Die nach der Degeneration zurückgebliebenen Axencylinderstücke stellen somit die Ausgangspunkte für die endogene Neubildung von Nervenfasern dar; sie pflegen in ihrem weiteren Wachstume nicht mehr mit einander zu verschmelzen (Fig. 7, 10), sondern wachsen vielmehr in derselben Scheide an einander vorbei, um später, nach dem Schwinden der alten Schwann'schen Scheiden, sich zu selbst-

ständigen Fasern weiter zu entwickeln. Dadurch erscheint zu einer gewissen Zeit der Inhalt der Scheide wie aus mehreren Fasern bestehend, woraus wohl auch die Ansicht entstanden ist, es regenerire sich der Nerv durch Längsspaltung des alten Axencylinders. Bei unvollständiger Trennung eines Nerven, wobei die Axencylinder in ihrer ganzen Länge intact bleiben und nur das Mark degenerirt, beobachteten wir daher auch nie mehrere Axenfäden neben einander in den alten Scheiden. War bei der Durchschneidung des Nerven der Substanzverlust gross, so bleiben wenige Axencylinderstücke innerhalb der Scheiden zurück, und in diesem Falle ist auch hier selten eine vermehrte sogenannte endogene Regeneration anzutreffen; viele Fasern regeneriren gar nicht. Ob neben obigem Verhalten auch eine Längsspaltung der Fragmente des Axencylinders vorkommt, lasse ich jedoch unentschieden, so unwahrscheinlich es mir auch erscheint.

Dies Zerfallen des Axencylinders ist jedoch nicht der einzige Modus der Degeneration. Die marklosen Fasern zum Beispiel degeneriren bisweilen gar nicht, die schmalen markhaltigen, von mir für die jüngeren Nervenfasern angesehenen, verlieren für gewöhnlich nur ihr Mark und endlich gibt es noch besonders günstige Bedingungen, unter denen die Mehrzahl der Fasern, sowohl schmale als breite, nur Markdegeneration aufweisen. Hierher gehören die Nervenquetschungen bei Warmblütern, die Fälle, wo der Nerv nicht vollständig durchschnitten war (Fig. 8) und Durchschneidungen bei ganz jugendlichen Individuen. Meine Beobachtungen bei der einfachen Quetschung des Ischiadicus bei Warmblütern haben mir gezeigt, dass die Axencylinder in ihrem ganzen peripheren Stücke intact bleiben. Die Regeneration des Markes kommt hier ungemein rasch zu Stande, ausgenommen an der Quetschungsstelle selbst, wo noch nach sechsunddreissig Tagen das Mark entweder fehlte, oder erst in der Bildung begriffen war. An der Insultstelle, wo durch den Angriff die Axenfäden vermuthlich unterbrochen waren, fanden sich auch hin und wieder in den alten Scheiden doppelte neue aus zerfallenen Axencylindern hervorgegangene Nervenfasern.

Bei ursprünglicher dichotomischer Theilung einer Nervenprimitivfaser (im Stamme) fand ich mitunter den einen Zweig bereits regenerirt, während der andere mit der Hauptfaser sich noch in der

Degeneration befand (Fig. 9). Was die Regeneration der Endverzweigung in den Muskeln und der Haut betrifft, so tritt dieselbe viel später als die Regeneration des peripheren Stumpfes auf, da die Axenfäden der Endverzweigungen meistens vollständig zu Grunde gehen.

Gehen wir jetzt zu den Erscheinungen bei der De- und Regeneration des Axencylinders im centralen Stumpfe über, so müssen wir auch hier an das entzündliche Stadium der Degeneration anknüpfen. Wir haben oben gesehen, dass die entzündliche Degeneration sich bis zur ersten oder einer der folgenden Ranvier'schen Einschnürungen fortsetzt; im weiteren Verlaufe des Prozesses quillt an der entsprechenden Einschnürung das Mark an jeder durchschnittenen Primitivfaser etwas hervor und bildet eine Anschwellung, wodurch die Narbe des centralen Stumpfes auch grösser erscheint. Bei einfacher Trennung des Nerven zerfallen oder schwinden die nächstgelegenen Axencylinder des centralen Stumpfes nicht, sondern wachsen in das Narbengewebe hinein, verdünnen sich hier mit dem auflagernden jungen Marke ansehnlich, um, an den peripherischen Stumpf gelangt, wieder breiter zu werden und hier zwischen den alten und neuen Fasern gegen die Peripherie hin fortzuwachsen. Innerhalb der Narbe wachsen sie, dem geringsten Widerstand des Gewebes entsprechend, in mehr gewundener Richtung, sie scheinen sich meist den in der Narbe sich neubildenden Blutgefässen anzuschliessen, welche ihrerseits später schwinden. In den Fällen, wo das periphere Stück ganz fehlt resp. extirpirt wurde und dadurch den centralen Fasern in ihrem weiteren Wachstume die Richtung fehlt, schliessen sie sich entweder an den Verlauf irgend eines benachbarten Gefässes an, oder breiten sich unregelmässig aus, oder bilden ganz den Amputationsneuromen entsprechende knollige Anschwellungen, welche aus einem Convolut markhaltiger Fasern und Narbengewebe gebildet werden.

Bei der verzögerten resp. nach grösseren Substanzverlusten auftretenden Regeneration schwinden die Axencylinder bis zur nächsten Einschnürung entweder ganz, oder zerfallen in mehrere Stücke. Im ersteren Falle wachsen die neuen Axencylinder aus den centralwärts intacten in Form eines einzigen Stranges, im letzteren entwickeln sie sich aus den isolirten Stücken zu neuen Fasern, welche aneinander

vorbeiwachsen und alsdann auch hier eine Spaltung des Axencylinders vertauschen können (Ranvier, Remak, Neumann).

Die Regeneration der Fasern im centralen Stumpfe bei grösseren Substanzverlusten erfolgt viel schneller, als diejenige der peripherischen Partie. Nach sechsunddreissig Tagen (Meerschweinchen) habe ich die Fortsetzung der Fasern der centralen Partie durch die Narbe bis zu dem peripherischen Stumpfe an Schnitten verfolgen können, selbst wenn im letzteren noch gar keine Regeneration zu finden war.

Gerade so wie die von dem centralen Theile herstammenden neuen Fasern sich in den peripherischen Abschnitt des durchschnittenen Nerven fortsetzen, so sehen wir die regenerirten peripherischen Fasern centralwärts auswachsen und schliesslich zum Rückenmark gelangen. Dem entsprechend findet man auch bis zu den Centralorganen hin stets eine Anzahl jüngerer Fasern zwischen den alten.

Eine eigenthümliche Erscheinung bieten noch die aus dem centralen Nervenstumpfe hervorquellenden Marktropfen oder Klümpchen; während ihrer weiteren Umwandlung zu grobkörnigen protoplasmatischen Gebilden werden dieselben von den in der Narbe befindlichen, schon mit Protoplasma versehenen Kernen gleichsam eingekapselt. Ist dabei ein Kern in das Innere eines solchen Marktropfens eingedrungen, so sieht alsdann das letztere bei oberflächlicher Betrachtung einer Ganglienzelle sehr ähnlich und um so mehr, wenn eine neugebildete Nervenfasern zufällig den Weg sich durch einen solchen Markklumpen gebahnt hat.

Vergleichen wir nun die Resultate unserer Beobachtungen mit den über die De- und Regeneration der Nerven zur Zeit noch bestehenden Controversen, so glauben wir in den Stand gesetzt worden zu sein, über einige der noch streitigen Fragen Aufklärung zu geben. Die entzündliche Degeneration der Nerven fanden wir übereinstimmend mit den Autoren, als durch Trübung und Quellung von Mark und Axencylinder unter Vermehrung der Kerne entstanden.

Dabei haben wir jedoch auf eine Differenz im Theilungsmodus der Kerne der schmalen (jüngeren) und breiten (älteren) Nervenfasern hingewiesen. Bei der paralytischen Degeneration haben wir die wichtige Rolle kennen gelernt, welche den theils von den Schwann'schen Scheiden, theils von aussen herstammenden Kernen

zufällt. Unter ihrem Einfluss wird das Mark umgewandelt um in der Folge als Material für die Neubildung verbraucht zu werden. Für die Einwanderung von Kernen haben wir auf einen noch nicht bekannten Weg — die Ranvier'schen Einschnürungen — hinweisen können, auf welchem die Kerne in das Innere der Schwann'schen Scheide zu dringen vermögen. Den Axencylinder betreffend, erweist sich, dass derselbe entweder ganz schwindet oder in Stücke zerfällt, welche noch nach der Degeneration eine gewisse Selbstständigkeit bewahren, oder endlich intact bleibt. Die Regeneration der Nerven beginnt entweder von dem Axencylinder bezw. seinen Fragmenten aus, unter Hinzutreten von Kernen oder durch Auswachsen des noch intacten Theiles des centralen Axencylinders, oder endlich möglicherweise auch durch Neubildung aus den Kernen (resp. Zellen) der Schwann'schen Scheiden. Die Regeneration der Nerven aus den Fragmenten des Axencylinders stimmt mit den Angaben der Autoren über die durch Längsspaltung des ursprünglichen Axencylinders entstehende Neubildung insofern überein, als die Spaltung nur als eine scheinbare, durch das Nebeneinanderwachsen der Fragmente vorgetäuschte erkannt worden ist.

Diese Veränderungen haben wir jedesmal bei Durchschneidung mit oder ohne Substanzverlust zu verzeichnen gehabt, und sind daher zu der Ueberzeugung gelangt, dass eine Wiederverwachsung ohne Degeneration nicht stattfinden kann. Dieses Resultat steht allerdings im Widerspruch mit den Angaben mehrerer Autoren, die eine Verwachsung der Nerven per primam intentionem beobachtet haben wollen. Ich habe mich ernstlich bemüht, bei jungen und gut genährten Thieren die theilweise Durchschneidung der Nervenstämme mit der grössten Vorsicht auszuführen, ohne dass es mir gelungen wäre, auch nur ein einziges Mal eine Verschmelzung oder Verwachsung der getrennten Nervenprimitivfasern zu Gesicht zu bekommen. Selbst in denjenigen Fällen, in welchen die beiden Schnittflächen sich nahezu berühren konnten, hatte sich stets eine, wenn auch noch so geringe Narbe gebildet, welche jedoch hinreichte, eine Wiederverwachsung per primam unmöglich zu machen. Auch hier wuchsen die centralen Axencylinder peripherwärts, und die peripherischen centralwärts, ohne mit einander zu verschmelzen. Da ich von den verschiedenen Angaben der Autoren diejenigen

Fälle, welche sich nicht auf eine histologische Untersuchung stützen, als Beweise für eine Verwachsung per primam intentionem ausschliessen muss, so bleiben mir nur zwei Fälle zur näheren Besprechung übrig.

Der eine, von Bruch erwähnte, betrifft eine Katze, an welcher er vier Monate nach der Durchschneidung keine Narbe mehr fand, sondern an Stelle der erwarteten Verdickung eine Verschmälerung angetroffen hatte; nur an der Verbindungsstelle der Fasern hatte sich an jeder von ihnen eine kleine Narbe (Anschwellung) gebildet. Da diese Narben nicht in der Schnittstelle lagen, an welcher der Nerv „dünner“ war, so wird es nicht schwer, an der Hand meiner Beobachtungen, die Narben auf die Anschwellungen zurück zu führen, welche sich im centralen Stumpfe an der Stelle bilden, von welcher der intact gebliebene Axencylinder weiter peripherwärts auszuwachsen beginnt. Wie wir früher bereits erwähnten, ist der neue Axencylinder innerhalb der Schnittstelle oder des Narbengewebes stets viel dünner, was ebenfalls mit der Beobachtung von Bruch übereinstimmt. Ferner reicht die viermonatliche Frist vollständig hin, um eine Atrophie des Narbengewebes an der Schnittstelle herbei zu führen. Der zweite vorliegende Fall bezieht sich auf den Inhalt der in jüngster Zeit von Bakowiecki veröffentlichten Abhandlung.

Bakowiecki will durch Vereinigung der Nervenscheide mittelst Cat-gut-Naht bereits nach acht Tagen eine prima intentio des durchschnittenen Vagus beim Hunde beobachtet haben. Ich will nicht bestreiten, dass eine geschickt ausgeführte Vereinigung der Stümpfe die Regeneration bedeutend beschleunigen könnte, dass diese aber ohne Degeneration selbst des Markes zu Stande käme, muss ich nach allen meinen Erfahrungen in Abrede stellen.

Unter den, der Abhandlung von Bakowiecki beigelegten Abbildungen (Fig. 6) findet sich eine Anzahl der durchschnittenen Fasern, deren Axencylinder durchweg gleichmässig von Mark bekleidet sind und welche von Bakowiecki für die wieder verwachsenen erklärt wurden. Andere von ihm in demselben Objecte abgebildeten Fasern bleiben getrennt ohne irgend eine der doch unvermeidlichen Erscheinungen einer Degeneration aufzuweisen. Weder sind vom Mark entblöste Axencylinder noch auch irgend

welche der selbst bei der allgeringsten Verletzung anzutreffenden eingewanderten Kerne zu sehen. Würde mir die Abbildung allein zu Gesicht gekommen sein, so würde ich sagen, es liege hier eine mangelhafte bildliche Wiedergabe einer Partie oberhalb der Schnittstelle vor, welche nur von einer unbedeutenden, etwa durch die Nadel hervorgerufener Verletzung des Nerven herrühre; anderseits wird bei dem vorliegenden Versuche die Wiederverwachsung durch die Durchschneidung des zweiten Vagus, wobei das Thier am Leben blieb, ausser Zweifel gesetzt. Leider ist die microscopische Untersuchung an Präparaten, welche in Müller'scher Flüssigkeit gelegen haben, ausgeführt worden, daher eine gründliche Beurtheilung der Resultate ungemein erschwert, wenn nicht unmöglich gemacht. Bis auf weitere Bestätigung muss ich die Angaben Bakowiecki's noch für mindestens zweifelhaft erklären.

Schliesslich muss ich noch auf die Untersuchungen von Philipeaux und Vulpian hinweisen, welche durch meine Beobachtungen eine, wie es mir scheint, andere Erklärung zulassen, als sie von jenen Forschern versucht worden, und zugleich die vielleicht bisher vermisste experimentelle Illustration meiner histologischen Angaben zu liefern im Stande sind. Philipeaux und Vulpian fanden, dass bald nach der Regeneration eines durchschnittenen Nerven, auf Reizung des letzteren unterhalb der Narbe, die Zuckungen am stärksten waren; Reizung der Narbe selbst rief schwächere hervor, und wurde der Nerv oberhalb der Narbe gereizt, so waren die Zuckungen kaum bemerkbar. Dem entsprechend haben wir histologisch feststellen können, dass die regenerirten Nervenfasern im peripherischen Abschnitte zuerst mit den Endorganen in Verbindung treten, und zwar zu einer Zeit, wo die centralen noch nicht peripherwärts bis zu den Muskeln haben vordringen können. Die Reizung der Narbe selbst und der oberhalb gelegenen Partie konnte nur geringe Erfolge aufweisen, indem die regenerirten peripheren Fasern sehr ungleichmässig centralwärts auswachsen; daher auch um so weniger Fasern von der Reizung getroffen werden konnten, je höher dieselbe erfolgte. Dasselbe Schema findet auch seine Anwendung auf die Versuche jener Forscher bezüglich der Verwachsung des centralen Lingualis mit dem peripherischen Hypoglossus. Die bei diesen Versuchen durch Reizung des Lingualis hervorgerufene Zuckung der Zungen-

muskeln musste auch hier auf die bei der Regeneration centralwärts auswachsenden Fasern des Hypoglossus zurückgeführt werden.

---

Schliesslich möchte ich noch der Methode gedenken, deren ich mich bei meinen Untersuchungen bedient habe. Die Versuche sind unter den mannigfaltigsten Modificationen an siebenzig theils kalt-, theils warmblütigen Thieren ausgeführt worden. Die nach den operativen Eingriffen veränderten Nervenpartieen wurden in Osmium gehärtet mit darauffolgender Tinctio durch neutrales oder schwach angesäuertes Carmin, Eosin, Dahlia und andere Anilinfarben. Die histologischen Veränderungen sind an, durch Schnitt und Isolirung behandelten Objecten studirt worden. Die Vorgänge am Axencylinder liessen sich am leichtesten nach der Behandlung mit schwacher Goldchloridnatriumlösung und Reduction in angesäuertem Wasser verfolgen. Die Isolirung der Nervenfasern ist mir besonders gut im verharzten Terpentin gelungen.

---

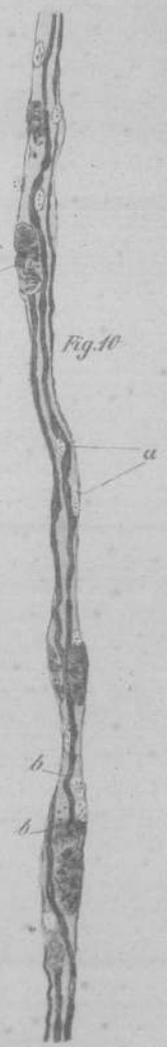
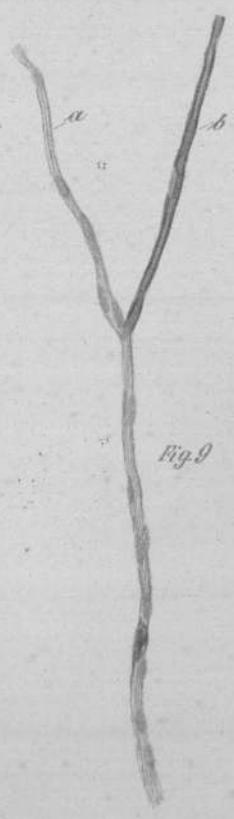
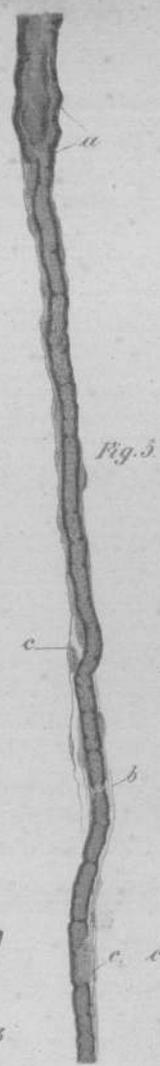
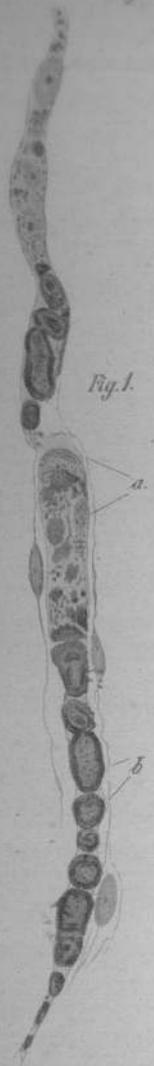
### Erklärung der Tafel.

- Fig. 1. Froschnerv. Osmium. Degeneration. 30 Tage peripher.  
a) Kerne in dem umgewandelten Marke.  
b) Unveränderte Markklumpen.
- Fig. 2. Meerschweinchen. Goldchloridnatrium. Degener. 14 Tage peripher.  
a) Kerne.  
b) Axencylinder-Fragmente.  
c) Markklumpen.
- Fig. 3. Meerschweinchen. Osmium. Degener. 16 Tage peripher.  
a) Kerne.  
b) Ein Stück des Axencylinders mit erhaltenem Marke.  
c) Markklumpen.
- Fig. 4. Meerschweinchen. Osmium. Regener. 16 Tage. Centraler Stumpf. Theilweise Degener. des Markes.  
a) Alte Einschnürungen.  
b) Neu entstehende Einschnürung.  
c) Kerne.

- Fig. 5. Frosch. Osmium. Regener. 90 Tage. Central. Auswachsen des alten Axencylinders.
- Anschwellung des Markes an der Stelle der alten Einschnürung.
  - Neu entstandene Einschnürung.
  - Kerne der neuen Schwann'schen Scheide.
- Fig. 6. Meerschweinchen. Osmium. Regener. 18 Tage. Central.
- Freigewordener Kern (Zelle) der Schwann'schen Scheide.
  - Neuer Axencylinder aus dem alten hervorwachsend.
  - Markanschwellung.
- Fig. 7. Meerschweinchen. Osmium. Regener. 26 Tage peripher. Vollständige Trennung ohne Substanzverlust.
- Kerne.
  - Neue Nervenfasern neben der anderen vorbeiwachsend.
  - Neue Nervenfasern, aus den Fragmenten des Axencylinders entstanden, im Beginn der Regeneration.
- Fig. 8. Katze. Osmium. Regener. 15 Tage peripher. Unvollständige Trennung des Nervenstranges.
- Intact gebliebener Axencylinder in einer mit verflüssigtem Marke erfüllten Scheide.
  - Kerne.
  - Klumpen noch nicht umgewandelten Markes.
- Fig. 9. Meerschweinchen. Osmium. Regener. 24 Tage peripher. Dichotomische Theilung der Fasern.
- Noch im *stadium degenerationis* sich befindender Zweig.
  - Regenerirter Zweig.
- Fig. 10. Meerschweinchen. Goldchloridnatrium. Regener. 26 Tage peripher. Vollständige Trennung ohne Substanzverlust.
- Kerne.
  - Neue aus den Fragmenten des alten entstandene Axencylinder neben einander vorbeiwachsend.
  - Degenerirte Markklumpen.



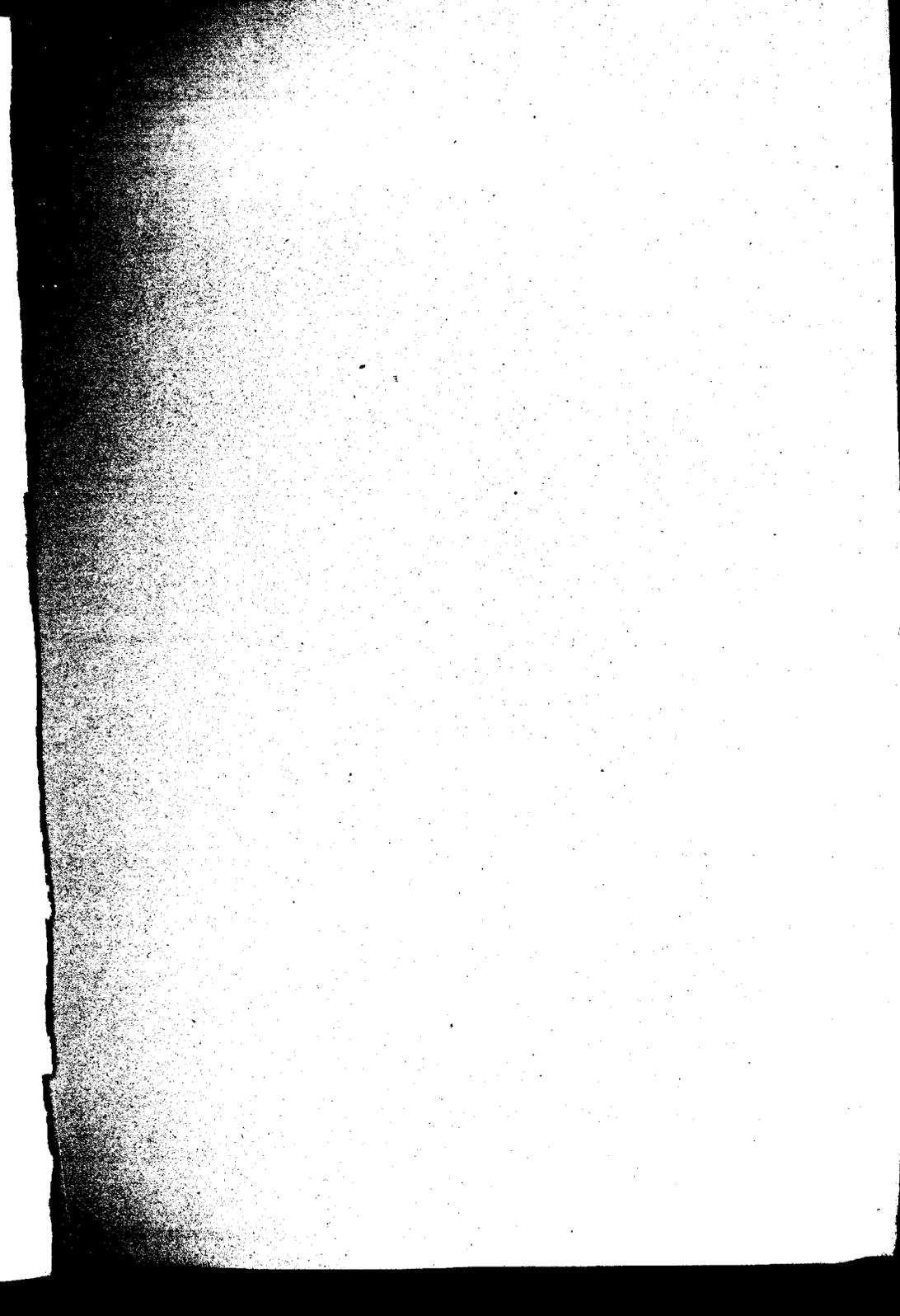
16337

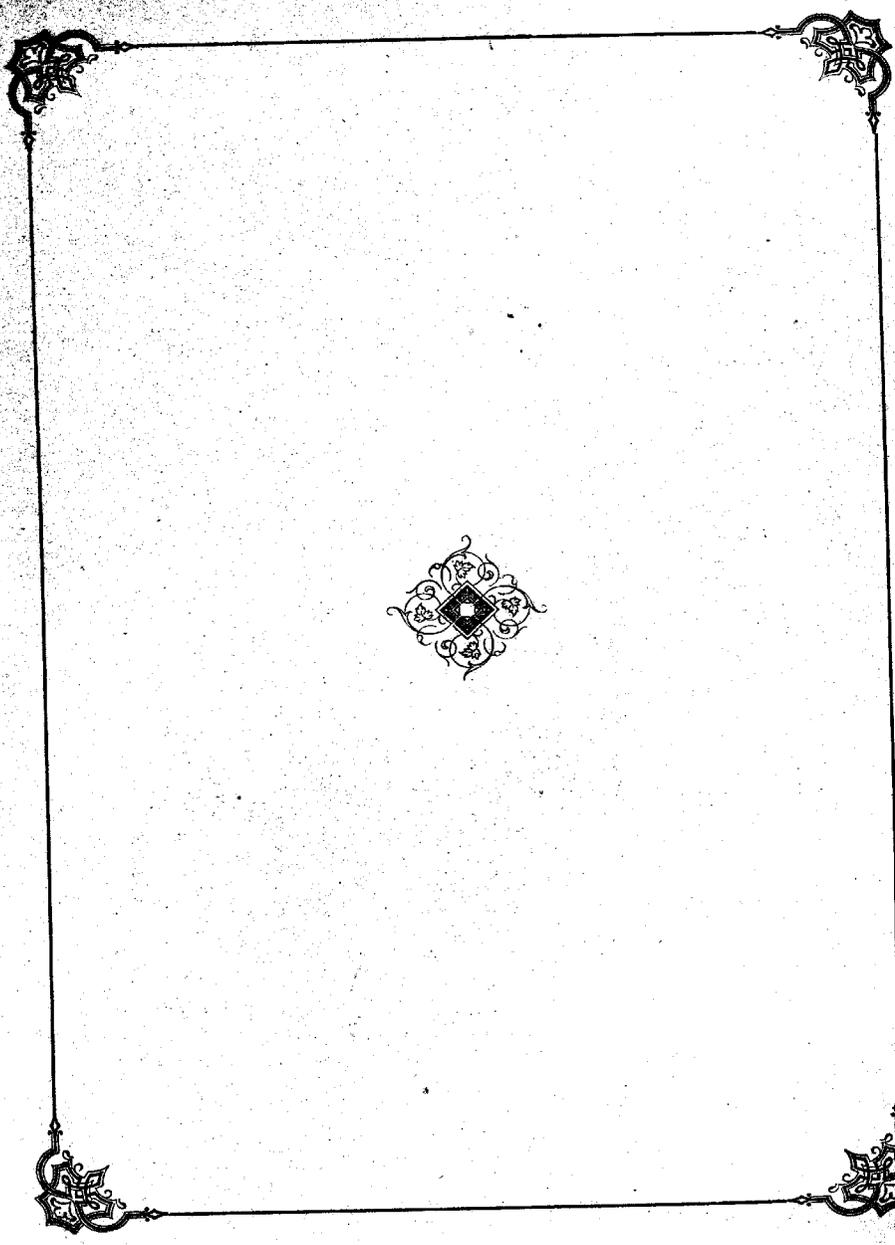












4045  
M.