

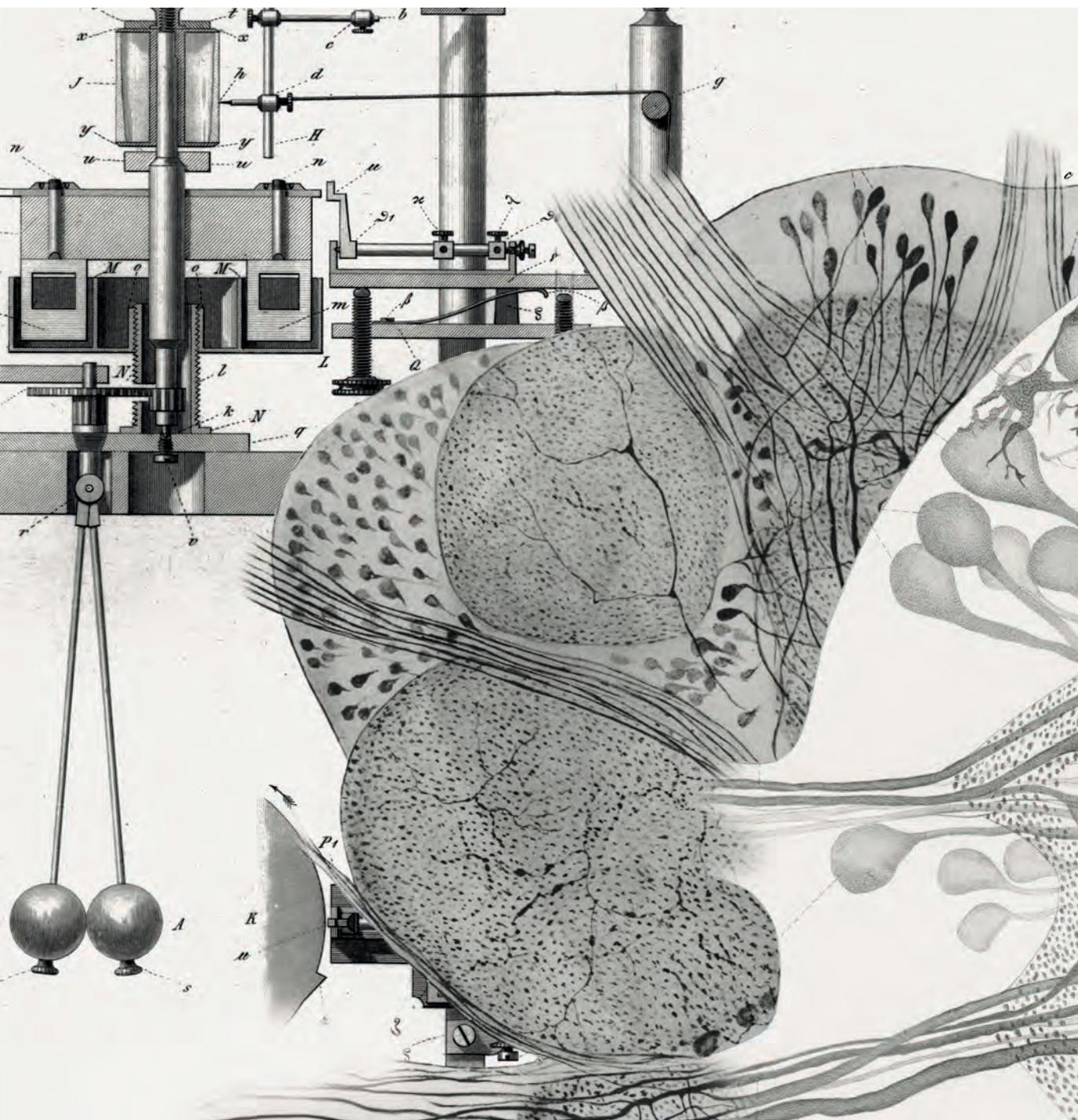
Julia Heideklang,
Hans-Joachim Pflüger
und Helmut Kettenmann (Hg.)

De fabrica systematis nervosi evertebratorum

Die kommentierte Dissertation von/
commented Thesis by

Hermann Helmholtz

**De fabrica systematis
nervosi evertibratorum**





De fabrica systematis nervosi evertibratorum

**Über den Aufbau
des Nervensystems
von Wirbellosen**

**On the Composition
of the Nervous System
of Invertebrates**

**Dissertation von
Thesis by
Hermann Helmholtz
(Berlin, 1842)**

Eingeleitet, übersetzt
und kommentiert von
Introduced, translated
and commented by
Julia Heideklang,
Hans-Joachim Pflüger
und Helmut Kettenmann

wbg Academic

Wir danken der Helmholtz-Gemeinschaft für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

HELMHOLTZ SPITZENFORSCHUNG FÜR
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnd.d-nb.de> abrufbar

wbg Academic ist ein Imprint der wbg
© 2021 by wbg (Wissenschaftliche Buchgesellschaft), Darmstadt
Die Herausgabe des Werkes wurde durch die
Vereinsmitglieder der wbg ermöglicht.
Layout, Satz und Prepress: schreiberVIS, Seeheim
Gedruckt auf säurefreiem und
alterungsbeständigem Papier
Printed in Germany

Besuchen Sie uns im Internet: www.wbg-wissenverbindet.de

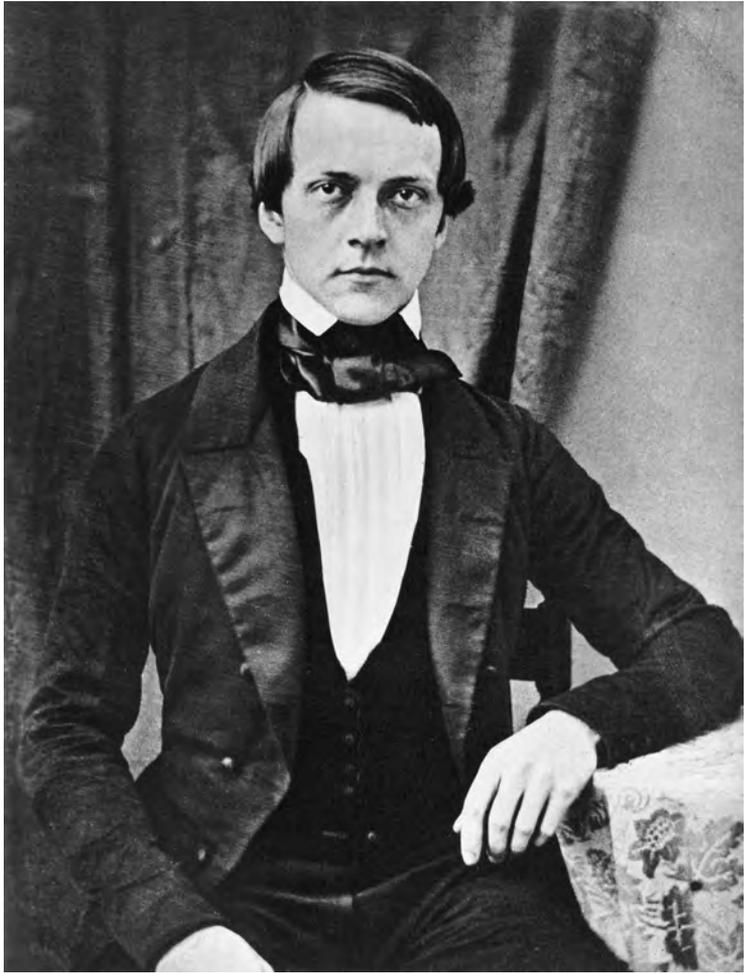
ISBN 978-3-534-40094-2

Elektronisch ist folgende Ausgabe erhältlich:
eBook (PDF): 978-3-534-40095-9

Dieses Werk ist mit Ausnahme der Einbandabbildung als Open-Access-Publikation im Sinne der Creative-Commons-Lizenz CC BY-SA International 4.0 (»Attribution-ShareAlike 4.0 International«) veröffentlicht. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen, besuchen Sie <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>. Jede Verwertung in anderen als den durch diese Lizenz zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung / Introduction	8 / 9
Das wissenschaftliche Umfeld in Berlin / The Scientific Community in Berlin	8 / 9
Die Ergebnisse der Doktorarbeit / The Results of His Thesis	14 / 15
Neulatein und die <i>dissertatio inauguralis</i> im 19. Jahrhundert / Neo-Latin and 19th-Century <i>dissertatio inauguralis</i>	22 / 23
Helmholtz' Lateinkenntnisse und seine Doktorarbeit / Helmholtz' Latin Education and His Doctoral Thesis	26 / 27
Helmholtz' weitere wissenschaftliche Karriere / Helmholtz' Subsequent Scientific Career	30 / 31
Autoren / Authors	40 / 41
Dissertatio / Doktorarbeit / Thesis	42
De partibus elementaribus / Über die Grundlegenden Teile / On the Fundamental Parts	52 / 53
De nervorum et gangliorum fabrica / Über den Aufbau der Nerven und Ganglien / On the Structure of the Nerves and Ganglia	62 / 63
De totius systematis nervosi structura / Über den Aufbau des Gesamten Nervensystems / On the Organisation of the Entire Nervous System	84 / 85
Kommentare / Comments	108
Das Abiturzeugnis von H. Helmholtz / The Matura Exam Certificate of H. Helmholtz	114 / 115





Dr. H. v. Helmholtz

Einleitung

Das wissenschaftliche Umfeld in Berlin

Hermann Helmholtz wuchs in Potsdam auf und besuchte das dortige Gymnasium, eines der bestausgestatteten Institute Preußens, wo er eine umfassende Schulbildung genoss. 1838 begann er als 17-Jähriger ein Medizinstudium am Medizinisch-Chirurgischen Friedrich-Wilhelms-Institut. Dieses Institut diente als Anstalt zur Aus- und Weiterbildung von Militärärzten. Es wurde ein kostenloses medizinisches Studium mit freier Kost und Logis geboten, ergänzt durch militärische Ausbildung. Dies war aber verbunden mit einer achtjährigen Verpflichtung als Militärchirurg. Während seines Studiums kam Helmholtz früh in Kontakt mit Johannes Müller, dem Lehrstuhlinhaber für Anatomie und Physiologie an der Friedrich-Wilhelms-Universität (der heutigen Humboldt-Universität) zu Berlin. Müller war einer der führenden Physiologen seiner Zeit, und sein Lehrbuch der Physiologie fasste die neuesten Erkenntnisse seines Faches zusammen (Müller 1834). Er beschäftigte sich mit Sinnesphysiologie und kam zu der Erkenntnis, dass die Stimulation von Sinnesorganen immer nur deren sensorische Modalitäten aktivieren kann (Gesetz der spezifischen Sinnesenergien). Als ein Beispiel dafür führte er an, dass ein mechanischer Druck auf das Auge Farbillusionen auslösen kann. Müller baute eine Schule von sehr talentierten Wissenschaftlern auf, die die moderne Zellbiologie begründeten (**Abb. 1**). Sein Assistent Jakob Henle formulierte mit Matthias Schleiden 1838/1839 die Zelltheorie, die besagt, dass sich alle Gewebe aus Zellen aufbauen. Müllers Kollege Christian Ehrenberg, ebenfalls Professor an der medizinischen Fakultät, hatte sich schon sehr früh mit der Anatomie des Nervensystems beschäftigt. Er veröffentlichte 1836 das erste Bild einer Nervenzelle. Diese Publikation basierte auf einem Vortrag, den er 1833 an der Akademie der Wissenschaften in Berlin gehalten hatte. Diese Arbeit hatte den provokanten Titel „Beobachtung einer bisher unbekanntten Struktur des Seelenorgans von Menschen und Thieren“ (**Abb. 2**). Eine notwendige Voraussetzung für das Studium von Zellen war der Gebrauch des Mikroskops. Die Berliner Wissenschaftler gehörten mit zu den ersten, die das Mikroskop als ein essenzielles Instrument systematisch in die Biomedizin einführten, zuerst in der Wissenschaft, aber bald auch in der Lehre. Ausgehend von dem Bedarf an guten wissenschaftlichen Mikroskopen, entstanden im Umfeld der Berliner Universität mechanisch-optische Werkstätten. Eine der ersten war die Manufaktur von Carl Pistor in der Mauerstraße (in der Nähe des Universitäts-Hauptgebäudes). Seine Werkstatt war ein Nucleus für einen ganzen Industriezweig in Berlin und Brandenburg, der über die Jahre mehr als 100 Firmen umfasste, die Mikrosko-

Introduction

The Scientific Community in Berlin

Hermann Helmholtz grew up in Potsdam and attended the Potsdam gymnasium for eight-and-a half years. There he received a comprehensive education at one of Prussia's most elite institutions. In 1838, at the age of 17, he started his medical education at the Friedrich Wilhelm Institute of Medical Surgery (Medizinisch-chirurgisches Friedrich-Wilhelms-Institut), which was dedicated to educating military doctors. In addition to an education, it provided room and board, and military training, all free of charge. In return, however, graduates had to fulfill mandatory service as a military surgeon for 8 years. During his medical training, Helmholtz came into contact with Johannes Müller, the head of the institute of anatomy and physiology at Friedrich Wilhelm University (today Humboldt University) in Berlin. Müller was one of the leading physiologists of his time and his textbook on physiology was state of the art (Müller 1834). His scientific focus was on sensory physiology; he recognized that the stimulation of sensory organs resulted in corresponding responses of respective sensory modalities, a theory known as "the law of specific nerve energies" (*Gesetz der spezifischen Sinnesenergien*). As an example, he noted that pressure on the eyes results not only in the perception of pressure but also in color illusions because the photoreceptors are stimulated as well. After assembling a team of talented scientists, Müller founded a school, which established the cell theory (Fig. 1). His assistant Jakob Henle, together with Matthias Schleiden, formulated this new theory in 1838/1839, which proposed that all tissues are composed of cells. Müller's colleague Christian Ehrenberg, also a professor in the medical faculty, was one of the first scientists to analyze the cellular composition of the nervous system. He published the first image of a neuron. This publication was based on a lecture which he gave at the Academy of Sciences in 1836 and had the provocative title "Beobachtung einer bisher unbekannt- en Struktur des Seelenorgans von Menschen und Thieren" ("Observation of a So Far Unknown Structure of the Organ of the Soul of Humans and Animals," Fig. 2). Such studies required the use of microscopes. The Berlin scientists were among the first to introduce microscopes as essential instruments into biomedical research and, subsequently, also into teaching. The demand for high-quality microscopes at the university led to the establishment of mechanical/optical workshops. One of the first was the company founded by Carl Pistor in Mauerstrasse (close to the university's main building). His workshop was a nucleus for an entire

Einleitung

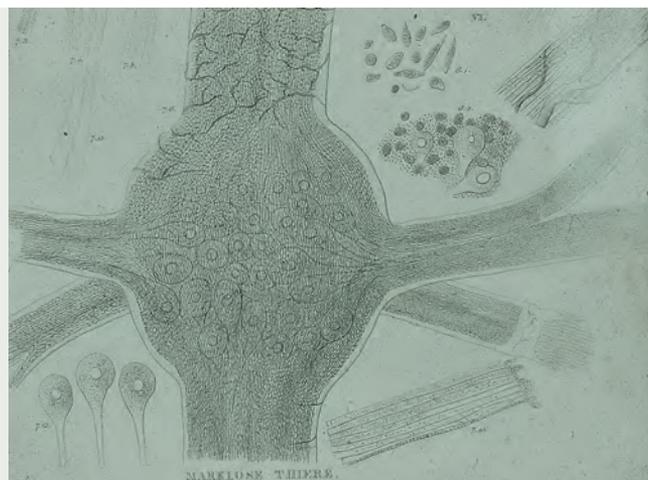
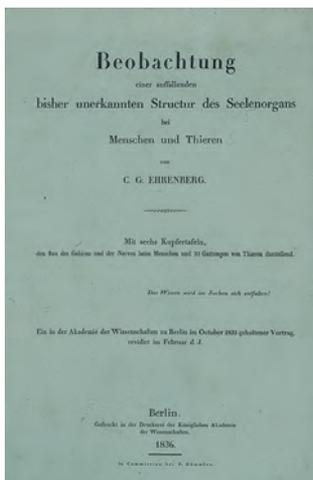


Abb. 1 Johannes Müller und seine Studenten

Robert Remak beschrieb das periphere Nervensystem in seiner Doktorarbeit, ihm blieb jedoch als Jude die Universitätskarriere verwehrt. Er arbeitete als Arzt und entwickelte die Galvanotherapie. Rudolf Virchow war Lehrstuhlinhaber der Pathologie in Berlin und entwickelte das Konzept der Cellularpathologie, das Krankheiten als Veränderung der Zellen beschreibt. Rudolf Kölliker war Ordinarius in Würzburg und wurde durch seine histologischen Studien bekannt. Theodor Schwann entwickelte mit Schleiden die Zelltheorie und gab den Schwann'schen Zellen seinen Namen. Er war Professor in Löwen und Lüttich. Joseph Gerlach war Begründer der histologischen Färbetechnik und war als Anatom an der Universität Erlangen tätig. Emil du Bois-Reymond zeigte, dass Nerven und Muskeln elektrische Ströme generierten. Er war Lehrstuhlinhaber der Physiologie in Berlin. Jakob Henle gab der Henle-Schleife in der Niere seinen Namen, beschäftigte sich aber hauptsächlich mit dem Nervensystem. Er war Professor für Anatomie an der Universität Göttingen.

Fig. 1 Johannes Müller and his students

Robert Remak described the peripheral nervous system in his doctoral thesis, however, as a Jew he was excluded from an academic career in Prussia. He worked as a medical doctor and developed the concept of galvanic therapy. Rudolf Virchow was the chair of pathology in Berlin and designed the concept of cellular pathology, which described diseases as alterations of cells. Rudolf Kölliker was a cell biologist later based in Würzburg and became well known for his histological studies. Theodor Schwann discovered, together with Schleiden, cell theory. Schwann cells were named after him. He was a professor in Leuven and Liège. Joseph Gerlach developed the first histological staining techniques and was an anatomist at the University of Erlangen. Emil du Bois-Reymond demonstrated that nerves and muscles generate electricity. He was also the chair of physiology in Berlin. Jacob Henle gave his name to the Henle loop in the kidney, but the main focus of his research was neuroscience. He was a professor of anatomy in Göttingen.

Abb. 2 Erste Abbildung eines Neurons

Auf der linken Seite ist das Deckblatt der Publikation von Christian Ehrenberg und rechts Tafel VI mit den Zeichnungen des Ganglions des Blutegels. Einzelne neuronale Zellkörper sind links vergrößert dargestellt (Ehrenberg 1836).

Fig. 2 First image of a neuron

To the left is the cover page of Christian Ehrenberg's publication, on table VI, to the right, is featured a drawing of the leech ganglion. Individual magnified neurons are displayed on the left. (Ehrenberg 1836).



Christian G. Ehrenberg (1795 – 1876)



pe fertigten und zum Teil weltweit vertrieben. Weitere Informationen zu Berliner und Brandenburger Mikroskopherstellern erhalten Sie beim Besuch des virtuellen Mikroskop-Museums (<https://mikroskopmuseum.mdc-berlin.de/media/vm/>). Friedrich Wilhelm Schiek begann als Mechaniker bei Pistor, machte sich aber bald mit einer eigenen Werkstatt selbstständig. Er pflegte engen Kontakt zu den Wissenschaftlern, und Christian Ehrenberg arbeitete mit Schiek-Mikroskopen (**Abb. 3**) und beschrieb die Vorzüge des Schiek'schen Mikroskops in einer Publikation (Ehrenberg 1832). Sehr wahrscheinlich hat Helmholtz ein Schiek-Mikroskop benutzt, das in dieser Zeit das „Hightech“-Gerät für die Wissenschaftler in Berlin war. Leider finden sich in seiner Dissertation darauf keine Hinweise.

Dies war das Umfeld, in dem der junge Helmholtz sich ein Thema für seine Doktorarbeit suchte. Christian Ehrenberg hatte in seiner ersten Publikation schon Nervensysteme von Menschen und einigen Tieren verglichen. In Pionierarbeiten hatten Jan Evangelista Purkinje und Gabriel Gustav Valentin in Breslau und Robert Remak in Berlin das Nervensystem von Wirbeltieren (Vertebraten) beschrieben, aber eine systematische Studie über die Elemente der Nervensysteme von wirbellosen Tieren (Invertebraten) stand noch aus. Dies war das Thema, das Johannes Müller dem jungen Medizinstudenten Helmholtz übergab. Ungefähr ein Jahr arbeitete Helmholtz an

Abb. 3 Ehrenberg und Schiek-Mikroskop

Links oben das Porträt von Christian Ehrenberg. Die Zeichnung links unten zeigt sein Arbeitszimmer. Auf dem Regal auf der rechten Seite kann man sein Mikroskop erkennen, das darüber noch mal vergrößert abgebildet ist. Ehrenberg arbeitete mit Mikroskopen von Friedrich Wilhelm Schiek. Rechts ein Schiek-Mikroskop von 1838. Charakteristisch für die in Berlin gefertigten Mikroskope aus dieser Zeit ist der Schwanenhals, der Stativ und Tubus verbindet.

Fig. 3 Ehrenberg and Schiek microscope

On the upper left-hand side is the portrait of Christian Ehrenberg. The drawing below shows his study. On the shelf at the right, one can recognize his microscope which is also shown in higher magnification above. Ehrenberg worked with microscopes manufactured by Friedrich Wilhelm Schiek. On the right is a Schiek microscope dated 1838. Typical for the microscopes produced during that period in Berlin is the swan neck which connects tube and stand.

industry based in Berlin and Brandenburg, which eventually resulted in the foundation of more than 100 companies that produced and sold microscopes worldwide. Further information on Berlin and Brandenburg microscopes can be found in the virtual microscope exhibition at (<https://mikroskopmuseum.mdc-berlin.de/media/vm/>). Friedrich Wilhelm Schiek started as a mechanic with Pistor but soon established his own workshop. He was in close contact with scientists. Christian Ehrenberg, for instance, used his microscopes (Fig. 3). In an article published in a scientific journal, he praised their quality (Ehrenberg 1832). Most likely, Helmholtz worked with a Schiek microscope, which was the most cutting edge scientific instrument at the time. There is, unfortunately, no reference to this in his thesis.

This was the scientific environment in which young Helmholtz began searching for a topic for his thesis. Christian Ehrenberg had already compared the nervous system of humans with that of certain animals. In pioneering studies, Jan Evangelista Purkinje and Gabriel Gustav Valentin from Breslau (today Wrocław) and Robert Remak from Berlin had described the nervous systems of vertebrates, but a systematic comparison of invertebrate nervous systems was still lacking. This was the topic which Johannes Müller suggested to the young medical student Helmholtz. Helmholtz experimented for about one year. He then successful-

dem Projekt und verteidigte seine Dissertationsschrift „Über den Bau des Nervensystems bei Wirbellosen“ am 2. November 1842 vor den Gegenrednern Dr. G. Baltes, Dr. H. Wald und dem Doktoranden der Chirurgie E. Hartwich erfolgreich. Helmholtz war zu diesem Zeitpunkt 21 Jahre alt.

Die Ergebnisse der Doktorarbeit

Helmholtz sammelte die Tiere für seine Experimente in seinem Berliner und Potsdamer Umfeld (Abb. 4 und 5). Für die Insekten untersuchte er den Mistkäfer, Schmetterlingslarven und Grillen, bei Spinnen wurde er bei der Hauswinkelspinne fündig. Als



Große Wegschnecke

Posthornschncke

Regenwurm

Spitzschlammschncke

Flußperlmuschel

Medizinischer Blutegel

Weinbergschncke

Hundeegel

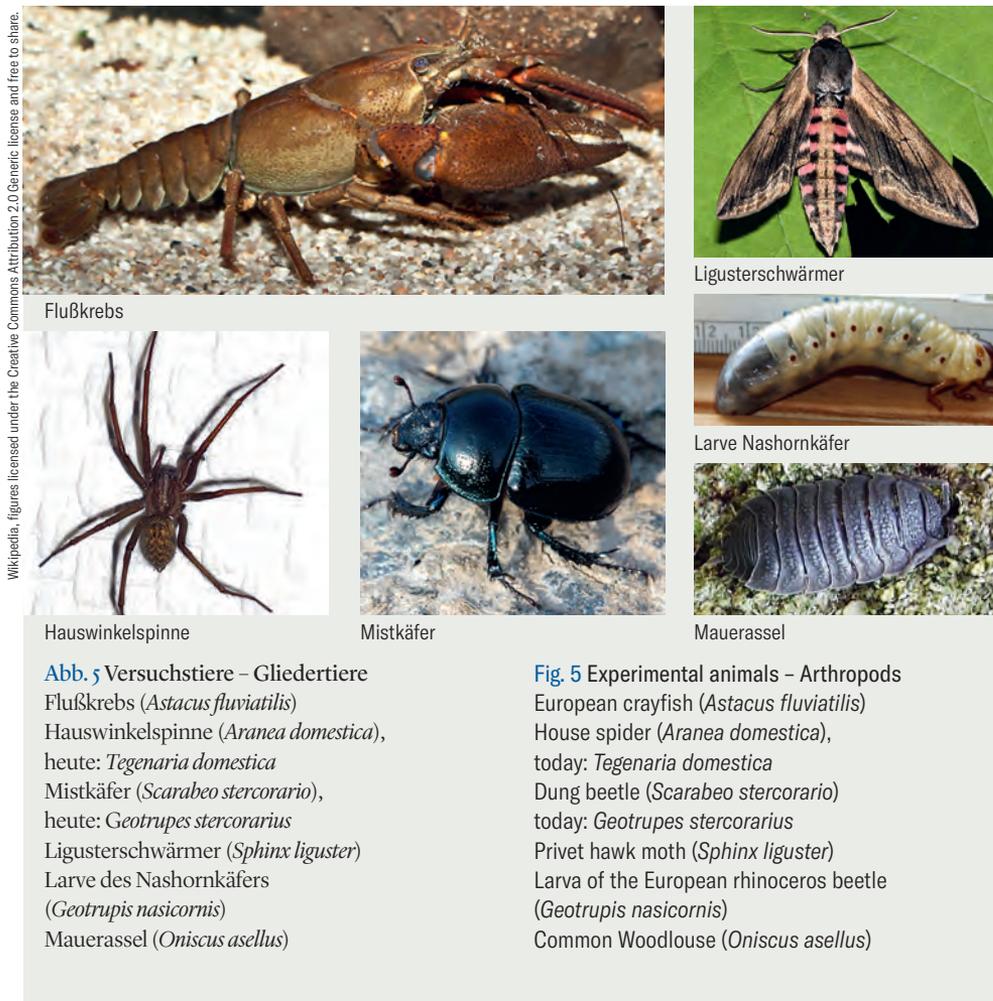
Abb. 4 Versuchstiere – Weichtiere und Würmer
 Große Wegschnecke (*Arion empiricorum*),
 heute: *Arion ater*
 Spitzschlammschncke (*Lymnaea stagnalis*)
 Weinbergschncke (*Helix pomatia*)
 Posthornschncke (*Planorbis corneus*),
 heute: *Planorbarius corneus*
 Flussperlmuschel (*Unio margaritifera*),
 heute: *Margaritifera margaritifera*
 Gemeiner Egel bzw. Hunde- oder Pferdeegel
 (*Hirudo vulgaris*)
 Regenwurm (*Lumbricus terrestris*)
 Medizinischer Egel (*Hirudo medicinalis*)

Fig. 4 Experimental animals –
 worms and mollusks
 Giant slug (*Arion empiricorum*)
 today: *Arion ater*
 Great pond snail (*Limnaea stagnalis*)
 Burgundy snail (*Helix pomatia*)
 Great ramshorn snail (*Planorbis corneus*)
 today: *Planorbarius corneus*
 Freshwater pearl mussel (*Unio margaritifera*)
 today: *Margaritifera margaritifera*
 Common leech (*Hirudo vulgaris*)
 Earthworm (*Lumbricus terrestris*)
 Medicinal leech (*Hirudo medicinalis*),

ly presented his thesis “Über den Bau des Nervensystems bei Wirbellosen” (“On the Structure of the Nervous System in Invertebrates”) on November 2, 1842 to his opponents Dr. G. Baltes, Dr. H. Wald, and the student of surgery E. Hartwich. Helmholtz was 21 years old at the time.

The Results of His Thesis

Helmholtz collected the animals for his experiments in Berlin and Potsdam (Figs. 4 and 5). For the insects, he studied the dung beetle, butterfly larva, and crickets. For the spiders, he found a local species. As representatives of crustacea,



Vertreter der Krebse fand er genügend Flusskrebse in den Berliner Gewässern. Damals war das noch der Europäische Flusskrebs oder der Edelkrebs, der heute weitgehend von dem nordamerikanischen Flusskrebs verdrängt wurde. Als Vertreter der Weichtiere untersuchte er die Flussperlmuschel, die Große Wegeschnecke, die Weinbergsschnecke, und sehr ergiebig waren auch Süßwasserschnecken wie die Spitzschlammschnecke, die Posthornschnecke und die Tellerschnecke. Der Medizinische und der Gemeine Egel und der Regenwurm waren Vertreter der Würmer.

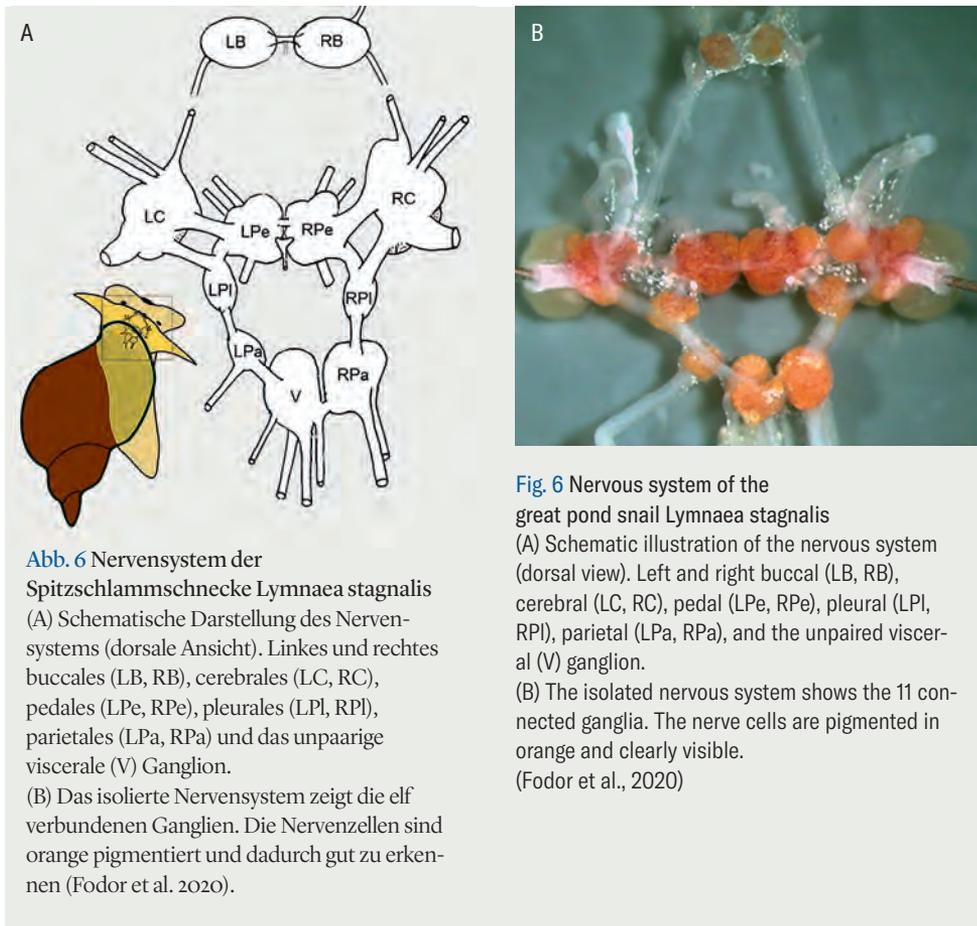
Im ersten Teil seiner Arbeit, „**Über die Grundlegenden Teile des Nervensystems**“, beschreibt er, dass die Grundelemente der Nervensysteme bei den verschiedenen Tierarten identisch sind. Sie bestehen aus Zellen und Fasern und unterscheiden sich damit auch nicht von den Elementen der Wirbeltiere. Die Nervenfasern bilden Stränge und verbinden die einzelnen Teile des Nervensystems. Diese Nervenfasern können von den Blutgefäßen unterschieden werden, da diese Zellen enthalten. Er gibt den Durchmesser der Fasern mit 6 bis 16 μm an und verwendet dabei als Maß die Preußische Linie, die einer Länge von ca. 2 mm entspricht. Während diese Strukturen bei Krebsen und bei Blutegeln gut zu erkennen waren, war das bei Insekten schwieriger, denn die Strukturen waren kleiner und die Tracheen (das Atmungssystem der Insekten und Spinnen, bestehend aus einem luftgefüllten Röhrensystem, das den gesamten Körper durchzieht) störten die Übersichtlichkeit. Die Nervenzellen enthalten einen Kern (Nucleus) und ein Kernchen (Nucleolus) und unterscheiden sich auch nicht grundsätzlich von den Zellen der Wirbeltiere. Die Zellen haben einen Durchmesser von 40 bis 100 μm , je nach Tierart, sind relativ groß bei Krebsen und erheblich kleiner bei Spinnen. Er fand auch, dass es bezüglich der Größe eine hohe Variation gab. Bei vielen Zellen konnte er beobachten, dass die Zelle einen Fortsatz hatte, der sich vom Zellkörper her verdünnt und am Ende denselben Durchmesser wie die Fasern hat. Damit kommt er zu der wichtigen Erkenntnis, dass die Fasern aus den Zellen entspringen und somit ein gemeinsames Element sind. Bis diese Erkenntnis als allgemeingültiges Konzept anerkannt wird, werden noch etliche Jahrzehnte vergehen, und Helmholtz beweist hier seine visionäre Vorstellungskraft. Er zeigt im ersten Teil seiner Arbeit, dass alle Nervensysteme sowohl der Invertebraten wie der Vertebraten aus denselben Grundelementen aufgebaut sind.

Im zweiten Teil der Arbeit, „**Über den Aufbau der Nerven und Ganglien**“, beschreibt Helmholtz ausführlich die Anatomie der Nervensysteme und vergleicht sie miteinander, um Grundprinzipien des Aufbaus dieser Systeme zu definieren. Er beginnt mit den Weichtieren (Schnecken und Muscheln) und hebt hervor, dass die Spitzschlammschnecke und die Posthornschnecke für Untersuchungen sehr gut geeignet sind, da die Ganglien (Verdickungen des Nervensystems, das die Zellkörper enthält) deutlich rot gefärbt sind und das Nervensystem dadurch mit dem bloßen

he found plenty of crayfish in the local lakes and rivers. Back then, the European crayfish was widely abundant, but today it has been replaced by its North American relative. For the mollusks, he collected freshwater pearl mussels, giant slugs, and Burgundy snails. He also studied fresh water snails such as the great pond snail and the ramshorn snail. For the worms, he examined the earthworm, as well as the common and medicinal leech.

In the first part of his study **“Über die Grundlegenden Teile des Nervensystems”** (“On the Fundamental Parts of the Nervous System”) he reported that the basic elements of the nervous system are identical in the different species. They consist of cells and fibers and, therefore, are not distinct from the elements of vertebrates. The nerve fibers form bundles and connect the different parts of the nervous system. The nerve fibers can be distinguished from blood vessels, since the latter contain cells. He determined the diameter of the fibers and reported a value of 6 to 16 μm . As a unit of measure he used “the Prussian line” which is equivalent to about 2 mm. While those structures could be readily recognized in crayfish or leech, they were more difficult to discern in insects, since these structures were smaller and intermingled with tracheae (the respiratory organ of the insects and spiders that consist of air-filled tubes which infiltrate the entire body). Similar to the observations in vertebrates, the nerve cells contain a nucleus and a nucleolus, and are also, in general, similar to the cells of vertebrates. The cells have a diameter of 40 to 100 μm , depending on animal species, and are fairly large in crayfish and significantly smaller in spiders. He also found a considerable variation in the size of the cells. In many cells, he could recognize the origin of a process which, with distance from the cell, becomes thinner, until it finally has the same diameter as the fibers. He, therefore, correctly concluded that the fibers originate from cells and that fiber and cell represent a unitary element. This insight was not widely accepted immediately; it took decades to recognize the unity of the neuron and fiber as a general concept. Here, Helmholtz proved to be a true visionary. In the first part of his thesis, he concluded that all nervous systems of invertebrates and vertebrates are built from similarly basic elements.

In the second part of his thesis **“Über den Aufbau der Nerven und Ganglien”** (“On the Structure of Nerves and Ganglia”) Helmholtz carefully analyzed the anatomy of the nervous systems and compared them in the different species to define the fundamental principles of these systems. He first analyzed mollusks (snails and mussels) and emphasized that the pond snail and the ramshorn snail are very well suited for anatomical studies since the ganglia (the swellings of the nervous system containing the cells) are labelled in red by pigments; they can be therefore easily recognized with the naked eye (Fig. 6). He reported that the gan-



Auge zu erkennen ist (Abb. 6). Er beschreibt, wie die einzelnen Ganglien durch Nervenstränge verbunden sind, und er hat dann auch ein einzelnes Ganglion präpariert und unter dem Mikroskop untersucht. Er kann die einzelnen Nervenzellen erkennen und beschreibt, dass sie Fortsätze haben, die in die Nerven übergehen. Bei den Würmern hebt er hervor, dass sich das Nervensystem des Gemeinen Egels besser beobachten lässt als das des Medizinischen Blutegels, das schon von Valentin und Ehrenberg untersucht wurde. Er beschreibt detailliert die Anordnung der elf abdominalen Ganglien und hebt auch hervor, dass das erste Ganglion erheblich größer ist, und bezeichnet es sogar als Gehirn (Abb. 7). Während er detailliert die Anatomie des Nervensystems des Egels beschreibt, kommt er immer wieder auf seine Beobachtungen zurück, dass die Ausläufer der Zellen aus den Ganglien die Nerven bilden. Er setzt sich sehr kritisch mit dieser Beobachtung auseinander. Manchmal ist dies für ihn

glia are interconnected by nerve bundles. He also dissected an individual ganglion, studying it under the microscope. He recognized individual cells, observing that they form processes which continue as fibers. For the worms, he emphasized that the nervous system of the common leech can be better studied compared to the medicinal leech which had been previously described by Valentin and Ehrenberg. He reported in detail on the formation of the 11 abdominal ganglia, pointing out that the first ganglion, which he termed the “brain,” is by far the largest (Fig. 7). While describing the nervous system of the leech in great detail, he continued to emphasize that the nerves originate from processes branching off from the cells. He did not shy away from critically examining his own observations; he acknowledged that there were cells in which he was unable to recognize a process. In the earthworm, for instance, he had difficulties studying the nervous system. He concluded that he had difficulties dissecting the ganglia. He reported that “he didn’t learn anything about their composition.”

He analyzed the nervous system of the crayfish with incredible detail. He termed the supraesophageal ganglion as the brain, a finding still considered valid (Fig. 8). His description of the thoracic and abdominal ganglia is impressively

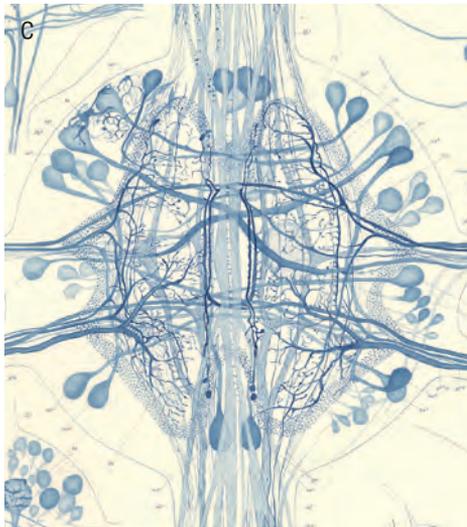


Abb. 7 Nervensystem des Blutegels
 (A) Schema des Nervensystems des Medizinischen Blutegels
 (B) Oberer Teil des Oberschlundganglions (Gehirn)
 (C) Viertes Ganglion des Bauchstranges (Retzius 1891)

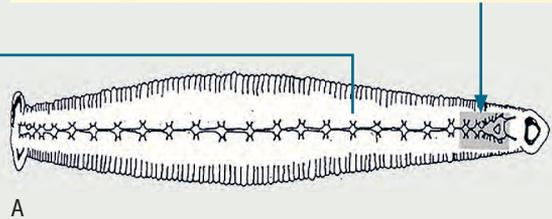
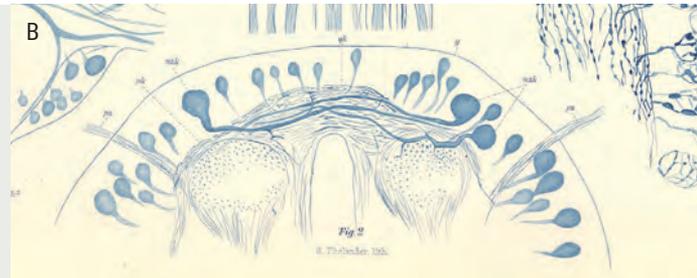


Fig. 7 Nervous system of the Medicinal leech
 (A) Schema of the nervous system
 (B) Upper part of the supraesophageal ganglion (brain)
 (C) Fourth ganglion of the ventral nerve cord (Retzius 1891)

auch schwierig zu erkennen, und er stellt fest, dass es Zellen gibt, bei denen er keinen Fortsatz erkennen kann. Bei Regenwürmern hatte er technische Schwierigkeiten, die Ganglien frei zu präparieren, und er sagt, dass er „über den Aufbau nichts erfahren hat“.

Am ausführlichsten beschreibt er das Nervensystem des Flusskrebse. Er bezeichnet das Oberschlundganglion (**Abb. 8**) als das Gehirn des Flusskrebse, was man auch heute noch so akzeptieren kann. Die Beschreibung der Thorakal- und Abdominalganglien ist sehr detailliert und könnte heute noch als Praktikumsbeschreibung für Studenten dienen, wenn man die Sprache etwas modernisieren würde. An einer Stelle macht er eine merkwürdige Bemerkung, denn er beschreibt neben dem optischen Nerven auch einen Hörnerven, den es bei Krebsen nicht gibt, denn Krebse haben zwar Augen, aber keine Ohren. Eventuell beschrieb er damit den Nerven zu den Statolithen, den Gleichgewichtsorganen der Krebse, die man an der Basis der Antennen findet. Neben den Hauptganglien charakterisiert er auch die Ganglien, die man nahe den Eingeweiden findet. Er beschreibt das stomatogastrische Ganglion, das die Funktion des Magens kontrolliert. Dieses Ganglion wurde später als ein Modellsystem benutzt, um die Funktion eines kleinen Nervennetzwerks zu verstehen (Marder and Bucher 2007).

Bei Insekten und Spinnen kann er leider wenig sehen aufgrund der äußerst feinen Tracheen, die sich durch die Ganglien verästeln. Er hebt aber hervor, dass man bei Raupen mehr erkennen kann, und verweist auf die Publikation von George Newport, dem englischen Amateur-Entomologen, welcher die Entwicklung des Nervensystems beim Ligusterschwärmer beschreibt (Newport 1832, 1834).

Im letzten Kapitel, „**Über den Aufbau des gesamten Nervensystems**“, fasst er seine Beobachtungen zusammen. Er greift die Frage auf, wie Fasern und Zellen zusammenhängen, und in vielen Fällen kann er klar erkennen, dass die Fasern aus Zellen entspringen. Dann macht er eine interessante Modellrechnung, bei der er die Anzahl der Zellen mit der Anzahl der Fasern in einem Nerven vergleicht und zu der Schlussfolgerung kommt, dass alle Fasern aus Zellen hervorgehen können. Letztendlich definiert er hier die Einheit von Nervenzelle und Nervenfortsatz, und diese Erkenntnis bildet die Grundlage für die Definition des Neurons als Grundelement des Nervensystems, bestehend aus Zellkörper und Fortsatz. Erst knapp 50 Jahre später etablierte und definierte Wilhelm Waldeyer, Anatomieprofessor an der Charité, den Begriff des Neurons (Waldeyer 1891).

Er greift auch die interessante Frage auf, ob man Nerven Funktionen zuordnen kann. Er verweist da auf George Newport, der zwischen motorischen Nerven, also Nerven, die Muskeln kontrollieren, und sensorischen Nerven, die sensorische Informationen integrieren, unterscheidet. Helmholtz macht auch dazu Experimente

thorough and could even serve as a laboratory guide for students today. At one point he made, however, a strange observation about crayfish. He described the optic nerve as situated next to an auditory nerve, something which does not exist in crustaceaé or crustaceans since they have eyes but not ears. He probably saw the nerve innervating the statocysts, the equilibrium organ which is based close to the antenna. In addition to the main ganglia, he reported on peripheral ganglia close to internal organs. He also described the stomatogastric ganglion which controls the function of the stomach. Scientists later used this ganglion as a model system to analyze small neuronal networks (Marder and Bucher 2007).

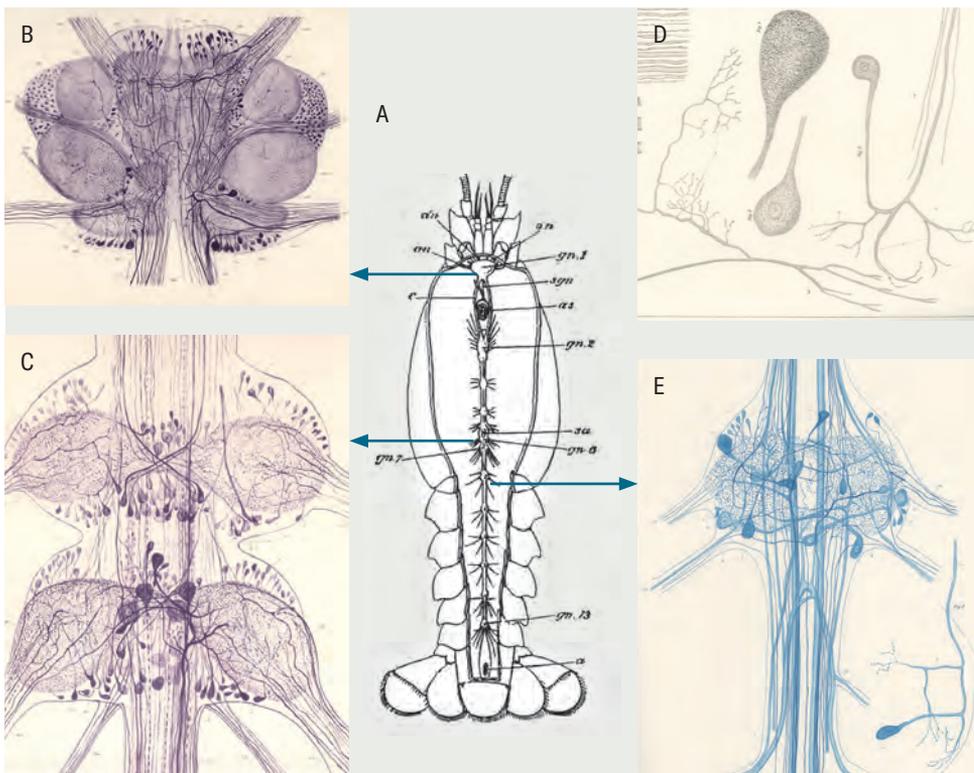


Abb. 8 Nervensystem des Flusskrebse

(Huxley 1880)

(A) Schema des Nervensystems des Flusskrebse
(Retzius 1890)

(B) Oberschlundganglion oder Gehirn (Retzius 1890)

(C) Drittes Thorakalganglion (Retzius 1890)

(D) Einzelne Nervenzellen (Retzius 1890)

(E) Erstes Abdominalganglion (Retzius 1890)

Fig. 8 Nervous system of the crayfish

(Huxley 1880)

(A) Scheme of the nervous system (Retzius 1890)

(B) Supraesophageal ganglion (brain)

(Retzius 1890)

(C) Third thoracic ganglion (Retzius 1890)

(D) Individual nerve cells (Retzius 1890)

(E) First abdominal ganglion (Retzius 1890)

an lebenden Krebsen, bei denen er Nerven mit glühend heißen, spitzen Nadeln stimuliert, um herauszufinden, welche Nerven die Muskeln aktivieren. Am Ende legt er sich jedoch nicht fest, denn er argumentiert (nicht zu Unrecht), dass die Stimulation sich über verschiedene Nerven ausbreiten kann. Am Ende dieses Kapitels vergleicht er auch das Nervensystem der Wirbeltiere (basierend auf der Literatur) mit dem der wirbellosen Tiere basierend auf seinen Beobachtungen. Bei Wirbeltieren ist das Nervensystem zentralisiert in einem Gehirn lokalisiert, während es bei Wirbellosen über Serien von Ganglien verteilt ist. Nach Auffassung von Helmholtz sind beide aus ähnlichen Grundelementen aufgebaut, wobei das Gehirn der Vertebraten ebenfalls Unterstrukturen aufweist. Damit unterliegen alle Nervensysteme der Tiere einem gemeinsamen Grundmuster. Diese Erkenntnis führt zu dem experimentellen Ansatz, dass wir einfache Nervensysteme als ein Modellsystem heranziehen können, um komplexere Vorgänge der neuralen Kommunikation bis hin zur Funktion des Gehirns des Menschen zu verstehen. Grundlagen von plastischen Veränderungen in Nervennetzen wurden beispielsweise zuerst in der einfachen Meeresschnecke *Aplysia* von dem Neurowissenschaftler und Nobelpreisträger Eric Kandel erarbeitet, und diese Prinzipien findet man auch beim Menschen.

Neulatein und die *dissertatio inauguralis* im 19. Jahrhundert

Der Begriff „Neulatein“ bezeichnet geschriebenes und gesprochenes Latein vom Beginn der Renaissance bis in die Gegenwart und hatte zwischen 1400 und 1800 seine Hochphase bezüglich seiner intellektuellen Bedeutung und gesellschaftlichen Relevanz.¹ Doch für seine Lerner und Nutzer war das Neulateinische nicht die Muttersprache und auch wenn es als aktive Kommunikationssprache in der Wissenschaft und an den Universitäten für Vorlesungen und Disputationen praktiziert wurde, gab es in der Frühen Neuzeit hinweg immer wieder, wenn auch selten dokumentierte Klagen über das unterschiedliche Niveau der Sprachbeherrschung.² Aber auch nach 1800 spielte das Neulateinische weiterhin eine wichtige Rolle in der Schulbildung und universitären Ausbildung: „If school turned a vernacular speaking boy into a reader and translator of Latin, university fostered his ability to participate in scholarly disputation [...], and compose substantial, original literary or scientific works in Latin.“³

Eine Form akademischer Kommunikation war die geschriebene Dissertation, auf die üblicherweise die mündliche Disputation folgte. Frühneuzeitliche Dissertationschriften, die besonders in den deutschsprachigen Ländern Verbreitung fanden, wurden zu verschiedenen Anlässen geschrieben und waren dabei oft das Resultat kolla-

In insects and spiders, he had problems recognizing much, since the trachea also infiltrate the ganglia. He stressed that more can be recognized in caterpillars and referred to a piece by George Newport, the English amateur entomologist, who reported on the development of the nervous system in the privet hawk moth (Newport 1832, 1834).

In the last chapter, “**Über den Aufbau des gesamten Nervensystems**” (“On the Structure of the Entire Nervous System”) he integrated his observations to an overall view. He again addressed the question of how fibers and cells relate. He emphasized that he could readily recognize fibers originating from cells. Based on a calculation model that compared the numbers of cells and fibers, he concluded that all fibers could originate from cells. In essence, he defined the unity of cell (body) and nerve fiber. This insight is the basis of the definition of the neuron as the fundamental element of the nervous system that consists of cell body and processes. Almost 50 years later Wilhelm Waldeyer, an anatomist at the Charité, Berlin finally established and defined the term “neuron” (Waldeyer 1891).

Helmholtz also picked up the exciting question of whether defined nerves also have defined functions. He referred again to George Newport, who distinguished between motor nerves, which control muscle activity, and sensory nerves, which relay sensory information. Helmholtz also made experiments on living crayfish, stimulating nerves with sharp, hot needles to find out which nerves innervate which muscle. He rightly concluded that the question could not be resolved since he argued that the stimulation could also activate neighboring nerves. At the end of that chapter, he compared the nervous system of vertebrates (based on other studies) with those of invertebrates (based on his own observations). He stated that the nervous system of vertebrates is centralized in the brain while it is distributed over a series of ganglia in invertebrates. He concluded, however, that both systems are based on similar basic elements and that the brain of vertebrates is also sub-structured. This led him to conclude that all nervous systems are alike. This insight also led to the concept that simple nervous systems can be used as model systems to understand complex processes of neural communication, including functions of human brains. The neuroscientist and Nobel Prize winner Eric Kandel, for instance, conducted basic research to understand neuronal plasticity in the marine snail *Aplysia*; his findings can also be applied to humans.

Neo-Latin and 19th-Century *dissertatio inauguralis*

The term Neo-Latin means the Latin written and spoken from the Renaissance onwards until the present day, with “its period of greatest intellectual importance

borativer Arbeitsprozesse. Sie wurden entweder von den verteidigenden Studenten (den *respondentes*) oder, was häufiger der Fall war, von dem Professor, der nachfolgend als Vorsitzender die Disputation leitete (dem *praeses*), verfasst oder von beiden, manchmal sogar von einer ungenannten dritten Partei.⁴ In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts verschwanden die meisten Formen der *dissertatio*. Die *dissertatio inauguralis* (mit dem Ziel der Erlangung des akademischen Doktorgrades) aber blieb bestehen und entwickelte sich unterschiedlich je nach institutionellen Vorgaben.

An der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin wurde in den Statuten von 1816 klar festgelegt, dass Doktoranden die Dissertationsschrift in Latein einzureichen hatten, mit der Versicherung, diese als Autor selbstständig verfasst zu haben. Die eingereichte Dissertationsschrift musste gedruckt werden, was zugleich die Ankündigung der daran anschließenden mündlichen Disputation war. Ab 1817 wurde das Verfahren schließlich in allen Fakultäten ohne *praeses* (den oben erwähnten Disputationsleiter) durchgeführt.⁵ Mit diesen Vorgaben wurde die Inauguraldissertation ganz offiziell eine individuelle wissenschaftliche Eigenleistung. Erst 1867 wurde per Ministerialerlass die Sprachregelung aufgeweicht, sodass die Dissertationsschriften nun auch in deutscher Sprache eingereicht werden konnten. Auf diese Öffnung folgte in nur drei Jahren bis 1870 eine deutliche Verschiebung der Zahlen eingereicherter Dissertationen zugunsten von Dissertationsschriften in deutscher Sprache.⁶ Dementsprechend mussten Helmholtz und seine Kommilitonen ihre Dissertationsschriften noch auf Latein abfassen. In diesem Zusammenhang ist auffällig, dass Helmholtz danach keine weitere wissenschaftliche Publikation auf Latein verfasste, sondern seine nachfolgenden Arbeiten auf Deutsch publizierte. Für die Wissenschaftsgemeinschaft seiner Zeit war das Lateinische nicht mehr das zentrale Medium der Kommunikation.

Wenn man vergleichend etwa die Dissertationsschrift seines Mitstudenten und Kollegen Robert Remak (1815–1865) heranzieht, fällt auf, dass dieser seine Dissertation einmal gemäß den formalen universitären Anforderungen drucken ließ und dann später in demselben Jahr noch einmal unabhängig davon. Beide Drucke wurden von der Druckerei von G. Reimer umgesetzt, zeigen aber wichtige Unterschiede. Im Ankündigungsdruk der Inauguraldissertation wurden nämlich noch keine Abbildungen eingefügt; anders dagegen im späteren Druck, in dem dafür wiederum die formalisierten Paratexte des Dissertationsverfahrens entfielen (etwa der Lebenslauf und die Thesen). Im Vorwort seines späteren Drucks betont Remak dann auch, dass er seine Schrift eigentlich in eine zeitgenössische Sprache übersetzen wollte, dies aber im Zuge anderer Verpflichtungen und Aufgaben nicht mehr geschafft habe.⁷

Entsprechend zeigen sich bezüglich der unterschiedlichen Drucke von Inauguraldissertationen viele interessante Aspekte, wie etwa die Verwendung von Bildmateri-

and social relevance”¹ c. 1400–1800. Neo-Latin was not, however, the mother tongue of its learners and although it was the actively used language of academic communication and university lectures as well as disputations, throughout the early modern period there were rare, but resurging lamentations of quite heterogeneous language skills.² Even after 1800, it continued to play an important role in school education and university training: “If school turned a vernacular speaking boy into a reader and translator of Latin, university fostered his ability to participate in scholarly disputation (...), and compose substantial, original literary or scientific works in Latin.”³

One such form of academic communication were the written dissertations followed by oral disputations. Early modern dissertations, which flourished especially in German-speaking countries, could be written for various occasions and were quite often the result of a collaborative effort. They could be written by the defending student (*respondens*) or, more frequently the case, by the professor overseeing the disputation as chairman (*praeses*) or both, sometimes even by a third unknown party.⁴ During the second half of the 18th century most of the occasions for dissertations vanished. The *dissertatio inauguralis* (written for obtaining a doctoral degree), however, continued to develop quite heterogeneously, depending on region and institution.

At the Friedrich Wilhelm University in Berlin it was stated clearly in 1816 that the doctoral candidate had to write the dissertation in Latin, provide written assurance that he was the sole author, print the submitted dissertation, and subsequently defend it in an oral disputation. From 1817 on, in all academic faculties, even in the medical faculty, the dissertation defenses were held without a chairman.⁵ Due to these regulations the *dissertatio inauguralis* officially became an individual scientific contribution with a clearly determined author. Only in 1867, however, did a ministerial decree allow students to submit the dissertation in German instead of Latin in the medical faculty. This was followed three years later by a clear shift. Thereafter, students submitted their dissertations in German not Latin.⁶ This meant that Hermann Helmholtz and his fellow students still had to write their doctoral theses in Latin. It should also be noted that he did not publish other scientific works in Latin. Within his scientific community at least, Latin was no longer the *lingua franca* of scientific communication.

Similarly, when looking at the dissertation of his colleague Robert Remak (1815–1865), we may note that he printed his inaugural dissertation as demanded by the university’s statutes, then later in the same year, 1838, he published it a second time. Both publications were done by G. Reimer but show distinct differences: In his print of the *dissertatio inauguralis* Remak included no imag-

al und der Umfang von Fußnoten, die nicht allein vom individuellen Autor der Schrift abhängen, sondern auch von dem für den Druck gewählten Druckhaus. Diese Auswahl wurde auch durch die finanziellen Möglichkeiten des Autors bestimmt, denn gerade die (in Kupfer gestochenen) Abbildungen waren sehr kostspielig.

Helmholtz' Lateinkenntnisse und seine Doktorarbeit

Hermann Helmholtz war ein typischer Vertreter des deutschen Bildungsbürgertums und erhielt im Laufe seines Lebens die neuhumanistisch geprägte Bildung, wie sie den Erwartungen und Bestrebungen seines Vaters entsprach.⁸ Helmholtz' Rückblicke auf seine Zeit als Schuljunge, in denen er beschrieb, dass er seine Aufmerksamkeit eher den Experimenten unter der Schulbank als der Besprechung von Cicero und Vergil im Lateinunterricht schenkte, sollten nicht überbewertet werden. Er kam schon früh in seiner Jugend in seinem Zuhause in Kontakt mit dem Lateinischen und er erhielt seine Schulbildung am Potsdamer Gymnasium, zu der Zeit eine der herausragenden Schulen in Preußen.⁹ Die Ergebnisse seines Abschlusszeugnisses sind über alle Fächer hinweg herausragend, und über seine Lateinkenntnisse wird dort festgestellt:

„Der Abiturient hat die Fertigkeit erlangt, einen lateinischen Schriftsteller, auch einen schwierigeren, in so weit es das Sprachliche betrifft, auch ohne weitere Vorbereitung zu übersetzen und zu erklären. Mit dem Horaz und dessen Metris hat er sich recht vertraut gemacht. Sein schriftlicher lateinischer Ausdruck gibt einen Beweis, daß er empfindet, wie sich die lateinische von der deutschen Ausdrucksweise unterscheidet. Seinem Style geht zwar noch die völlige Korrektheit ab, auch gelingt ihm noch nicht die periodische Formung und Abrundung der Sätze; aber überall zeigt sich Nachdenken und Lektüre. Sein mündlicher lateinischer Ausdruck ist befriedigend, obgleich er sich nicht ohne einige Schwierigkeit in demselben bewegt.“¹⁰

Seine lateinische Ausbildung wurde auch während des Medizinstudiums fortgeführt: Zu Beginn seines Studiums berichtete Helmholtz seinem Vater in Briefen ausführlich über die Veranstaltungen, die er für das Studium zu belegen hatte. Damit dokumentiert er zugleich, dass Lateinkurse zumindest im ersten Studienjahr zum Pflichtprogramm gehörten. Daher hatte Hermann Helmholtz eine umfassende und umfangreiche Ausbildung im Lateinischen genossen, ehe er die Ergebnisse seiner neurowissenschaftlichen Untersuchungen in seiner Dissertationsschrift zusammenfasste.

es, whereas he added them in the second one. He also discarded the formal paratexts of the dissertation publication (*curriculum vitae, theses*). Indeed, in the *praefatio* of the second version of the dissertation, Remak emphasized that he wished to translate his Latin writing into a contemporary language but was hindered from doing so by various other duties and work.⁷ Regarding the different prints of *dissertationes inaugurales* there are many interesting elements (including images, footnotes, etc.) that did not only depend on the individual author of the thesis but on the chosen printhouse and the costs involved in the printing process.

Helmholtz' Latin Education and His Doctoral Thesis

Hermann Helmholtz was a representative of the German *Bildungsbürgertum*. As such, he received the neo-humanistic education that accorded with his father's expectations and aspirations.⁸ Helmholtz' reminiscences about himself as a schoolboy, who did not pay attention to Latin classes, preferring instead to experiment under the table should not be misinterpreted. From early on, he came into contact with the Latin language at home and he received his school education at the gymnasium at Potsdam, which at the time was one of Prussia's best schools.⁹ The results of his final exams were overall outstanding. The examiners made the following observation about his Latin skills:

“The graduate has obtained the skills to translate and interpret a(ny) Latin author no matter how difficult in regard to the language, and also without previous preparation. With Horatio and his metrics he grew well acquainted. His Latin expression in writing is proof of his profound understanding of how the Latin language differs from the German expressions. His style still misses the full correctness, and he does not yet have full command in building periodic sentences. This notwithstanding, his thoughtfulness and diligence can be perceived at every turn. His oral Latin expression is satisfactory, although he does not move without some difficulty in it.”¹⁰

His knowledge of Latin continued during his medical studies: In the beginning of his studies, Helmholtz reported the course work in detail, providing evidence that, during his first year at least, Latin was an obligatory part of the curriculum. It is thus clear that he had already received a comprehensive and extensive education before he composed his doctoral thesis about his neuroscientific findings in Latin.

Im Folgenden sollen von den vielen interessanten Aspekten seiner lateinischen Schrift *De fabrica systematis nervosi evertibratorum* (1842) einige herausgegriffen werden:

Durch seine ganze Schrift hindurch beschreibt Helmholtz die von ihm durchgeführten Versuche in der zweiten Person Singular (zumeist im Konjunktiv), indem er sich direkt an den Leser wendet und zum Beispiel schreibt:

„Dies wirst du nach Zupfen mit Nadeln von jedem beliebigen Ganglion [...] sehen und du wirst auch in allen übrigen Wirbellosen, mit etwas Übung [...] Zellen mit Fortsatz finden [...].“¹¹

Diese Darstellung kann einerseits verallgemeinernd gelesen werden, andererseits an den Leser der Schrift gerichtet, wodurch dieser nachvollziehen kann, welche Abfolge von Handlungen für die Versuche nötig ist. Damit verwendet Helmholtz eine sprachliche Form, die sich an die Rezeptliteratur im Feld der *materia medica* und an andere Formen von Wissenschaftstexten, etwa mathematische Beweise, anlehnt. Helmholtz macht sich dabei die stark über Verbformen arbeitende lateinische Sprache zunutze. Mithilfe der Aneinanderreihung verschiedener Verbformen und der Nutzung verschiedener Zeitformen präsentiert er seinem Leser die Schrittfolge auch in ihrer zeitlichen Reihenfolge, bleibt gleichzeitig aber sehr kompakt in seiner Darstellung. Seine Beschreibungen werden schließlich mit der zu erwartenden Beobachtung abgeschlossen, die im Futur formuliert ist (e. g. *videbis*):

„Wenn du, nachdem du den größeren Nerv oder Nervenstrang aus dem lebenden Tier entnommen hast, ihn schnell, ohne Zugabe von Wasser, auf die Glasplatte gelegt hast und dann mithilfe von Nadeln zerteilst, wirst du die Nervenfasern, wie ich sie beschrieben habe, sehen.“¹²

Die heute gebräuchlichen Begriffe wie Neuron oder Axon waren damals in der neurowissenschaftlichen Forschung noch nicht definiert. Bei Helmholtz lässt sich aber beobachten, dass er bestimmte lateinische Begriffe auswählt und diese in erstaunlicher Konsistenz über den Verlauf seiner Schrift beibehält (zum Beispiel *funiculus* für „Strang“ oder *fasciculum* für „Bündel“). Das macht es für den Leser möglich, diesen Begrifflichkeiten durch den Text und die Beschreibungen hindurch zu folgen und erhöht dadurch die Klarheit und Nachvollziehbarkeit der Beschreibungen. Dabei gibt es aber andererseits auch weniger klare Begriffe bei Helmholtz, etwa bei der Beschreibung von Zellen (*cellulae*, aber ebenso häufig *globuli*). Einige Beobachtungen, die Helmholtz unter dem Mikroskop macht, machen es notwendig, dass Helmholtz kre-

In the section that follows, we will highlight briefly some interesting aspects of his Latin work *De Fabrica Systematis Nervosi Evertibratorum* (1842):

Throughout his work, Helmholtz describes his experiments in the second-person singular, (often in the subjunctive mode) directly addressing his reader, as in the following example:

“Having teased apart any Ganglion with needles you will most easily see [...]; after getting some experience in such exercises, you will find cells with processes (...)”¹¹

This mode of writing is in a generalising form, but in this manner he addresses the reader of his thesis directly, advising him what steps he should follow. This kind of writing links his descriptions of his experiments to the long tradition of formula writing in the field of *materia medica* as well as with other scientific text forms, e.g. mathematical texts. Using the various verb forms and tenses he presents to his reader a long sequence of steps, while distinctly signifying the temporal order of the various steps. His descriptions then conclude with the expected observation, expressed in the second person, in the future tense (e.g. *videbis*).

“If you remove a larger nerve or nerve strand extracted from a living animal and, placed quickly, without any water added, on a glass plate, tease it apart with needles, (then) you will recognize the nerve fibers just as I have described them.”¹²

At a time when terms like “neuron” or “axon”, that are now generally known, were not yet defined in the field of neuroscience, Helmholtz chose to select and use specific Latin terms quite consistently throughout his thesis (e.g. *funiculus* for “strands” or *fasciculum* for “bundle”). To a surprising extent, they can, for the most part, be followed with the same meaning throughout the text. This makes it possible, for instance, to better understand his descriptions of microscopic structures. In other cases, however, he follows less consistent usages or descriptions, such as when he describes cells (*cellulae*, but just as frequently *globuli*). Some observations that Helmholtz made under the microscope required him to find creative ways to describe his visual perception of structures or processes in the Latin language, when he talks about emulsified liquids (*guttulis olei aspersae videntur*), for instance.

On the whole, Helmholtz’ writing can be characterized by the frequent omission of conjunctions (asyndeton) to enumerate parts; he keeps descriptions of an

ativ mit der lateinischen Sprache arbeitet, um Beschreibungen für den visuellen Eindruck mikroskopischer Strukturen und Prozesse zu finden, so auch wenn er über Flüssigkeiten spricht, die sich „emulsionsartig“ präsentieren (*guttulis olei aspersae videntur*).

Insgesamt ist Helmholtz' Schreibstil geprägt von konjunktionsloser Aneinanderreihung (Asyndeton), um in möglichst kurzer Form verschiedene Bestandteile, Eigenschaften oder Schritte aufzuzählen, wie etwa hier:

„An der Seite beider Stränge sitzen drei Verdickungen, von denen der erste kleiner und der zweite größer, [beide] kugelförmig, dunkel, Ausläufer aus den Strängen an der Stelle aufnehmen, wo sie miteinander zusammenhängen [...]“¹³

Andererseits arbeitet er nicht zuletzt bei räumlichen Beschreibungen mit Pronomen wie *alius ... alius* (der eine ... der andere), um die verschiedenen Bestandteile in ihrer Lage zueinander zu verorten:

„Es liegt nämlich in allen [Tieren] ein Nervengeflecht vor, zusammengesetzt aus ziemlich vielen kleinen Ästen, von denen ein jeder einem jeden Fasern hinzufügt [...]. Auf dieselbe Weise enthält auch in den Geflechten der Wirbeltiere jeder einzelne herausgehende Ast Fasern eines jeden eintretenden Astes.“¹⁴

Dabei gibt es die eine oder andere Stelle, an der sein Gebrauch dieser Pronomen etwas geradezu Verspieltes annimmt, wenn er die verschiedenen Stränge und Fasern in ihren Verläufen beschreibt, allerdings mit dem Risiko, uneindeutig zu werden, da so mitunter die Zuordnung für den Leser erschwert wird. Hier sei nur eine Stelle rausgegriffen, die einzeln noch verständlich sein mag, allerdings in einem Abschnitt voll solcher Aufzählungen und Gegenüberstellungen auftritt:

„[...] in den Krebsen [sehe ich], dass die seitlichen Bereiche der oberen und unteren Stränge in den Ganglien so komplex sind, dass ein jeder sowohl der anderen Seite desselben Strangs als auch der gleichen Seite des anderen Strangs Fasern hinzufügt.“¹⁵

Helmholtz' weitere wissenschaftliche Karriere

Nach seiner Doktorarbeit arbeitete er zunächst als Arzt an der Charité und diente dann als Militärarzt im königlichen Regiment. Das Studium an dem Friedrich-Wilhelms-Institut schloss die Verpflichtung zu einem anschließenden achtjährigen Mi-

object's characteristics as brief as possible, as in this instance:

“Alongside both strands there lie three thickenings, of which the first one is smaller, the second larger, (both) globular, dark, receiving filaments from the strands at that exact point, where they are connected (...)”¹³

On the other hand, he works in his spatial descriptions with pronouns like *alius—alius* (the one—the other), to locate the different parts and structures in their position and relation to each other:

“In all animals there is a meshwork of nerves consisting of many small branches, each of which adds fibers to the other; [...] in exactly the same way as each exiting branch within the meshwork of vertebrates contains fibers of each entering branch.”¹⁴

However, there are one or two cases when his usage becomes nearly playful in describing the ways in which the strands and fibers connect with one another. This comes, however, at the risk of clarity, since it makes it hard for the reader to follow his descriptions. To cite but one example, this quote comes from a paragraph filled with such enumerations and comparisons:

“(...) in crayfish (I found) that the lateral areas of the upper and lower strands in the ganglia are highly complex, so that fibers can project to the other side of the same strand as well as to the same side of the other strand.”¹⁵

Helmholtz' Subsequent Scientific Career

After his thesis, Helmholtz first worked as a medical doctor at the Charité and then served as a military surgeon to fulfill his obligation to the Friedrich Wilhelm Medical Institute where he had studied. Already during his Potsdam period, he had set up a laboratory and studied muscle physiology, publishing a report on the energy consumption of muscle (“Über den Stoffwechselverbrauch bei Muskelaktionen,” Helmholtz 1845) which led him to recognize the basic principle of the conservation of energy. In his publication on the conservation of energy (“Über die Erhaltung der Kraft,” Helmholtz 1847) he proposed the fundamental physical law that energy can be converted but in total nonetheless remains constant. The muscle, for instance, is an excellent example since it converts chemical energy into motion, thermal and, to a lesser extent, even electromagnetic energy (Helm-

Abb. 9 Messung der Leitungsgeschwindigkeit des Nerven

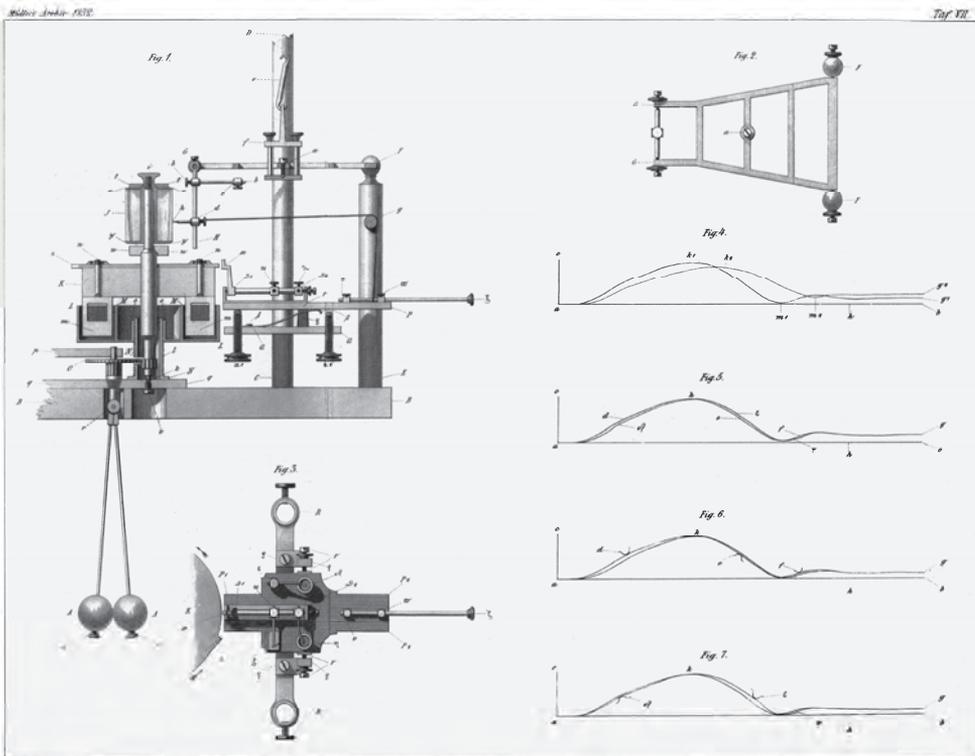
Die Abbildung zeigt die Messapparatur zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit des Nerven. Die Apparatur zeichnet die Muskelkontraktion auf, Beispielkurven sind rechts unten zu sehen. Die Abbildung ist aus der zweiten, ausführlicheren Publikation von 1852 (Helmholtz 1852).

Fig. 9 Measurement of the speed of nerve conduction

The scheme shows the experimental arrangement for determining nerve conduction velocity. The apparatus records the muscle contraction. Sample traces are shown in the lower right. The figure is from the second, more detailed, publication from 1852 (Helmholtz 1852).

litärdienst ein. Schon während seiner Potsdamer Zeit richtete er sich ein Labor ein, beschäftigte sich mit Muskelphysiologie und publizierte seine Arbeit „Ueber den Stoffwechselverbrauch bei Muskelaktion“ (Helmholtz 1845), was ihn zu dem physikalischen Prinzip der Energieerhaltung führte. In seiner Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft“ von 1847 formulierte er ein fundamentales physikalisches Prinzip, das besagt, dass sich Energieformen immer nur umwandeln, sodass die Energie in ihrer Summe immer erhalten bleibt. Der Muskel ist dafür ein hervorragendes Beispiel, denn er konvertiert chemische Energie in Bewegungsenergie, Wärmeenergie und in geringem Maße sogar in elektromagnetische Energie (Helmholtz 1848). Helmholtz bewegte sich immer in dem interessanten Spannungsfeld zwischen Physiologie und Physik, und seine weiteren wissenschaftlichen Erkenntnisse kommen alle aus diesem Grenzgebiet.

Er wurde vorzeitig aus dem Militärdienst entlassen, nahm 1848 eine Professur für Physiologie in Berlin an und unterrichtete Anatomie an der Berliner Kunstakademie. Schon ein Jahr später erhielt er einen Ruf als Professor der Physiologie und Pathologie an die Albertus-Universität (Albertina) in Königsberg (heute Kaliningrad, Russland). Dort beschäftigte er sich unter anderem mit Neurophysiologie und entwickelte einen komplexen Versuchsaufbau, um die Geschwindigkeit der Erregungsleitung im Nerven zu messen. Erst zwei Jahre zuvor hatte sein Kommilitone Emil du Bois-Reymond während seiner Doktorarbeit in Berlin unter Müller gezeigt, dass Nerven und Muskeln elektrische Signale generieren (du Bois-Reymond 1848). Helmholtz gelang es, die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Signale präzise im Nerven des Frosches zu messen, und in seiner 1850 publizierten Arbeit „Bericht über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung“ nennt er den auch heute noch gängigen Wert von 25 m/s. Wir wissen heute, dass bei motorischen Nerven der Wirbeltiere die Geschwindigkeit bis 100 m/s betragen kann, bei sensorischen Nerven 1 m/s (Helmholtz 1850, 1852, **Abb. 9**). Institutionell blieb er weiterhin der Physiologie treu und wechselte 1855 auf den Lehrstuhl für Physiologie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1858 ebenfalls auf den Lehrstuhl für Physiologie an der Ruprecht-



holtz 1848). Helmholtz' investigations then continued to dwell in the border area between physiology and physics, and his later achievements were all from that research field as well.

Helmholtz was released early from his military service and he obtained a professorship in physiology in Berlin in 1848. He taught anatomy at the Berliner Kunstakademie (College of Arts). Just one year later, he received an offer to become the chair of the department of physiology and pathology at the Albertus-University (Albertina) in Königsberg (today Kaliningrad, Russia). There, he focused on, among other things, neurophysiology. During his time in Königsberg, he developed a complex experimental arrangement to measure the speed of nerve conduction. Only four years earlier, his fellow student, Emil du Bois-Reymond, demonstrated that nerves and muscles generate electrical signals (du Bois-Reymond 1848). Helmholtz succeeded in determining precisely the speed of nerve conduction in the frog. In a publication that reported on the nerve conduction velocity ("Bericht über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung," Helmholtz 1850) he found a value of 25 m/s which is still the standard value. We now know that nerve conduction velocity can range from 100 m/s in motor nerves

Karls-Universität Heidelberg (Ruperto Carola). Sein Forschungsinteresse fokussierte sich immer mehr auf Sinnesphysiologie des Hörens und des Sehens. Als praktische Applikation entwickelte er den Augenspiegel, den er selbst als seine größte wissenschaftliche Errungenschaft ansah. Erst 1870 vollzog er auch institutionell den Wechsel in die Physik, indem er Professor für Physik an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin (der heutigen Humboldt-Universität) wurde. Heute wird er weithin als der begnadete Physiker angesehen, der den Satz zur Erhaltung der Energie formulierte und die Helmholtz-Spule, den Helmholtz-Resonator und die Helmholtz-Differenzialgleichung entwickelte. Helmholtz ist als einer der vielseitigsten Naturwissenschaftler des 19. Jahrhunderts anerkannt, in Vergessenheit geraten ist allerdings, dass sein ursprüngliches wissenschaftliches Fundament in den Neurowissenschaften, der Physiologie und der Medizin, liegt. In seiner Doktorarbeit formulierte er schon als 21-jähriger noch heute gültige Erkenntnisse auf diesem Gebiet, die seine herausragenden, teils visionären Fähigkeiten schon früh unter Beweis stellten.

of vertebrates to 1 m/s in sensory nerves (Helmholtz 1850, 1852, [Fig. 9](#)). Although he remained in physiology as a discipline, in 1855 he moved to the department of physiology at the Rhenish Friedrich Wilhelm University in Bonn. A mere three years later, he became the chair of the department of physiology at the Ruprecht Karl University in Heidelberg (Ruperto Carola). His research focus shifted to sensory physiology of vision and hearing. Applying his research to practical purposes, he developed the ophthalmoscope which he viewed as his most important achievement. As late as 1870, he changed institutions. He moved to the field of physics, becoming the chair of the physics department at the Friedrich Wilhelm University (today Humboldt University) in Berlin. Today he is viewed as an exceptionally gifted physicist who formulated the law of the conservation of energy, developed the Helmholtz coil, the Helmholtz resonator, and the Helmholtz differential equation. He is recognized as one of the most important universal scientists of the 19th century. It has, however, been generally forgotten that the starting point of his career was in the neurosciences, physiology, and medicine. In his doctoral thesis the 21-year-old Helmholtz recognized principles that are still highly relevant today and proved that early on in his career he was already a visionary.

Endnoten/Endnotes

- ¹ Vgl. Knight/Tilg (2015, 1).
- ² Vgl. Marti (2020, 278).
- ³ Knight (2015, 233).
- ⁴ Vgl. Marti (2020, 273).
- ⁵ Vgl. Marti (2020, 279).
- ⁶ Vgl. Marti (2020, 279).
- ⁷ Vgl. Remak (1838b, V): *Opusculum [...] summis in medicina honoribus obtinendis conscripseram, atque in recentiore linguam fusiis translatum publici juris facere in animo habueram. Quo proposito quamquam propter alia officia abstinere coactus sum [...]*.
- ⁸ Vgl. Cahan (2018, 3, 20); Klein (2020, 1).
- ⁹ Vgl. Cahan (2018, 31) und zum Potsdamer Gymnasium Cahan (2018, 25).
- ¹⁰ Abgedruckt wurde das Abiturzeugnis in einer Festschrift zum Bestehen seiner 100-jährigen Anerkennung als Gymnasium. The final exam certificate was re-printed in a Festschrift for the 100th anniversary of the Potsdam highschool Rasso (1912, 33–35).
- ¹¹ Helmholtz (1842, 9): *Ganglio aliquo [...] acubus dilacerato, facillime videbis [...] paululum talibus disquisitionibus exercitatus, invenies celluas alias caudatas [...]*.
- ¹² Helmholtz (1842, 6): *Si nervum majorem vel funiculum nerveum e bestia viva desumptum, cito, nulla aqua addita, in lamina vitrea positum acubus dilaceras, fibrillas nerveas, quales descripsi, videbis.*
- ¹³ Helmholtz (1842, 19): *Ad utrumque funiculorum latus tres lobi siti sunt, quorum primus minor et secundus major, sphaerici, opaci, filamenta nervosa recipiunt e funiculis eo loco, ubi inter se cohaerent [...]*.
- ¹⁴ Helmholtz (1842, 23): *Adest enim in omnibus plexus nervosus, compositus ramulis compluribus, quorum unus quisque unicuique fibrillas addit [...] eodem modo ac in vertebratorum plexibus ramus unusquisque exiens fibrillas continet rami uniuscuiusque intrantis.*
- ¹⁵ Helmholtz (1842, 25): *[...] in astacis funiculorum et superiorum et inferiorum partes laterales in gangliis ita complexas, ut quaeque et alteri lateri funiculi ejusdem et lateri aequali funiculi alterius fibrillas addat.*

Danksagung

Wir bedanken uns bei Franziska Roeder von der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren für die ständige und großartige Unterstützung des Projektes. Für wertvolle Hinweise und Kommentare zum Nervensystem von Egel sind wir Dr. Angela Wenning-Erxleben, Chapel Hill, NC, USA, und Emory University, Atlanta, GA, USA, zu großem Dank verpflichtet. Ebenso sind wir Prof. em. Donald Edwards, Georgia State University, Atlanta, GA, USA, und Prof. Dr. Steffen Harzsch, Universität Greifswald, für ihre Hinweise zum Nervensystem des Flusskrebss dankbar. Bei Prof. Paul Dierkes, Goethe-Universität Frankfurt, bedanken wir uns für seine schematische Darstellung des Nervensystems vom Blutegel. Ganz herzlichen Dank an Andrea Mayer, Michelle Standley und Rebeca Araya Acosta für das Korrektorat und an Birgit Jarchow und Meino Gibson, die uns bei der Organisation der Manuskripte eine unerlässliche Hilfe waren. Unser besonderer Dank geht an Lea Eggers vom wbg-Verlag für die exzellente Zusammenarbeit.

Acknowledgements

We would like to thank Franziska Roeder from The Helmholtz Association of German Research Centers for the constant and excellent support of the project. For incredibly valuable advice and comments on the leech nervous system, we are indebted to Dr. Angela Wenning-Erxleben, Chapel Hill, NC, USA and Emory University Atlanta, GA, USA. We also thank Prof. em. Donald Edwards, Georgia State University, Atlanta, GA, USA, and Prof. Dr. Steffen Harzsch, University Greifswald, for their advice on the crayfish nervous system as well as Prof. Paul Dierkes, Goethe University Frankfurt, for his scheme on leech nervous system. We also thank Andrea Mayer, Michelle Standley and Rebeca Araya Acosta for proofreading and editing and Birgit Jarchow and Meino Gibson for their support to organize the manuscripts. Special thanks to Lea Eggers from wbg-publishing services for excellent cooperation.

Referenzen/References

- Cahan, D. (2018) *Helmholtz, A Life in Science*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- du Bois-Reymond, E. (1848/84) *Untersuchungen über thierische Elektrizität*. Reimer. Berlin. 2 Bände.
- Ehrenberg, C. G. (1832) Ueber das neueste Mikroskop, von Pistor und Schiek in Berlin, gefertigt im Januar 1832. (Ein Schreiben von Hr. Ehrenberg an den Herausgeber.) Januarheft 1832 der *Analen der Physik*, 188–192.
- Ehrenberg, C. G. (1836) *Abhandlungen der Akademie: Beobachtung einer bisher unbekanntem auffallenden Structur des Seelenorgans bei Menschen und Thieren*, Berlin.
- Fodor, I., Hussein, A. A. A., Benjamin, P. R., Koene, J. M., Pirger, Z. (2020) The Natural History of Model Organisms: The unlimited potential of the great pond snail, *Lymnaea stagnalis*. DOI: 10.7554/eLife.56962.
- Helmholtz, H. (1845) Ueber den Stoffwechselverbrauch bei Muskelaktion. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, Veit et Comp. Berlin. 72–83.
- Helmholtz, H. (1847) Über die Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung. G. Reimer, Berlin.
- Helmholtz, H. (1848) Über die Wärmeentwicklung bei der Muskelaktion. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, Veit et Comp. Berlin. 144.
- Helmholtz, H. (1850) Vorläufiger Bericht über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, Veit et Comp. Berlin. 71–73.
- Helmholtz, H. (1852) Messung über Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, Veit et Comp. Berlin. 199–216.
- Huxley, T. H. (1880) *The Crayfish, An Introduction to Zoology*, New York: D. Appleton and Company.
- Klein, U. (2020) “Science, Industry and the German Bildungsbürgertum”, in: *Annals of Science*. DOI: 10.1080/00033790.2020.1748228.
- Knight, S. (2015) “University”, in: *The Oxford Handbook of Neo-Latin*, ed. by Sarah Knight and Stefan Tilg, Oxford University Press, Oxford et al., 233–247.
- Knight, S., Tilg, S. (2015) “Introduction”, in: *The Oxford Handbook of Neo-Latin*, ed. by Sarah Knight and Stefan Tilg, Oxford University Press, Oxford et al., 1–10.
- Lenz, R., Bredehorn, W., Winiarczyk, M. (2002) Abkürzungen aus Personalschriften des XVI. bis XVIII. Jahrhunderts (= *Marburger Personalschriften-Forschungen*, 35), 3. Auflage, Franz Steiner Verlag, Stuttgart.
- Marder, E., Bucher, D. (2007) Understanding circuit dynamics using the stomatogastric nervous system of lobsters and crabs. *Annu Rev Physiol*. 69: 291–316.
- Marti, H. (2020) „Disputation und Dissertation in der Frühen Neuzeit und im 19. Jahrhundert – Gegenstand der Wissenschaftssprachgeschichte?“, in: *Vernakuläre Wissenschaftskommunikation, Beiträge zur Entstehung und Frühgeschichte der modernen deutschen Wissenschaftssprachen*, herausgegeben von Michael Prinz und Jürgen Schiewe, de Gruyter, Berlin, 271–292.
- Müller, J. (1834) *Handbuch der Physiologie des Menschen*, Verlag von J. Hölscher, Coblenz.
- Newport, G. (1832) *On the Nervous System of the Sphinx ligustri*, Linn., and on the changes

Referenzen/References

- which it undergoes during a part of the metamorphoses of the insect. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol 122, 383–398.
- Newport, G. (1834) On the nervous system of the Sphinx ligustri Linn. (Part II.) during the latter stages of its pupa and its Imago states; and on the means by which its development is effected. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol 134, 389–423.
- Potthast, A. (1920) *Geschichte der Buchdruckerkunst zu Berlin im Umriß*. Faksimiledruck [1865], herausgegeben von Ernst Crous, Berlin.
- Purkinje, E. (1838) *Berichte über die Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte*. 4. Sitzung am 23. November 1837. Gottlieb Haase Söhne. Prag. 177–180.
- Rassow, H. (1912) *Königliches Viktoriagymnasium in Potsdam, Festschrift zur Feier der 100jährigen Anerkennung als Gymnasium am 10. und 11. November 1912*, Unter Mitwirkung des Lehrerkollegiums herausgegeben von Dr. H. Rassow.
- Remak, R. (1838a) *Observationes anatomicae et microscopicae de systematis nervosi structura*. *Dissertatio Inauguralis*. Reimer. Berlin.
- Remak, R. (1838b) *Observationes anatomicae et microscopicae de systematis nervosi structura*. *Duae tabulae aeri incisar*. Reimer. Berlin (digitised by BSB: 4 Anat. 155 y; urn:nbn:de:bvb:12-bsb-10331096-9).
- Retzius, G. (1890) *Biologische Untersuchungen*. *Neue Folge*. Band 1, Stockholm.
- Retzius, G. (1891) *Biologische Untersuchungen*. *Neue Folge*. Band 2, Stockholm.
- Schleiden, M. (1838) *Beiträge zur Phylogenesis*. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin*, Veit et Comp. Berlin. 136–176.
- Schneider, L. (1868) *Das Buch vom Rothen-Adler-Orden, Historisch, diplomatisch, bildlich und statistisch*, Druck und Verlag von A. W. Hann's Erben, Berlin.
- Schwann, T. (1839) *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen*. Verlag der Sander'schen Buchhandlung. G. E. Reimer. Berlin.
- Valentin, G. (1836) *Über den Verlauf und die letzten Enden der Nerven*. *Acta Acad. Caes. Leop. Carol. Nat. Cur.* Vol. XVIII. P.I.
- Waldeyer, W. (1891) *Ueber einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Centralnervensystems*. Verlag von Georg Thieme. Leipzig.

Autoren

Julia Heideklang (M.A./M.Ed.) ist Doktorandin am DFG-Graduiertenkolleg 2190 „Literatur- und Wissensgeschichte kleiner Formen“ und Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Humboldt-Universität in Berlin. Nach dem Studium der Biologie und Klassischen Philologie forscht sie derzeit zu ihrem Dissertationsthema „Botanics in the Making (1500–1700): Communication & Construction of the Botanical Science in Early Modern Europe“. Im Zentrum stehen die Paratexte großer botanischer Sammelwerke und ihre zentrale Rolle bei der Herausbildung botanischer Praktiken und der Formung einer botanischen Wissenschaftsgemeinschaft. Darüber hinaus widmet sie sich der *Historia animalium* von Conrad Gesner und ihrer didaktischen Aufarbeitung für den Schulunterricht.

Hans-Joachim Pflüger ist Professor für Funktionelle Neuroanatomie/Neurobiologie an der Freien Universität Berlin (im Ruhestand). In seiner Forschung beschäftigt er sich mit der sensomotorischen Integration bei der Fortbewegung, der Entwicklung von neuronalen Schaltkreisen und der funktionellen Rolle von Neuromodulation insbesondere durch biogene Amine. Seine Untersuchungsobjekte sind vorwiegend Insekten wie Wanderheuschrecken, Tabakswürmer und Taufiegen, *Drosophila*. Sein Interesse gilt auch der Evolution von Nervensystemen der Wirbellosen, insbesondere einer vergleichenden Betrachtung von neuronalen Schaltkreisen, die einem bestimmten Verhalten zugrunde liegen.

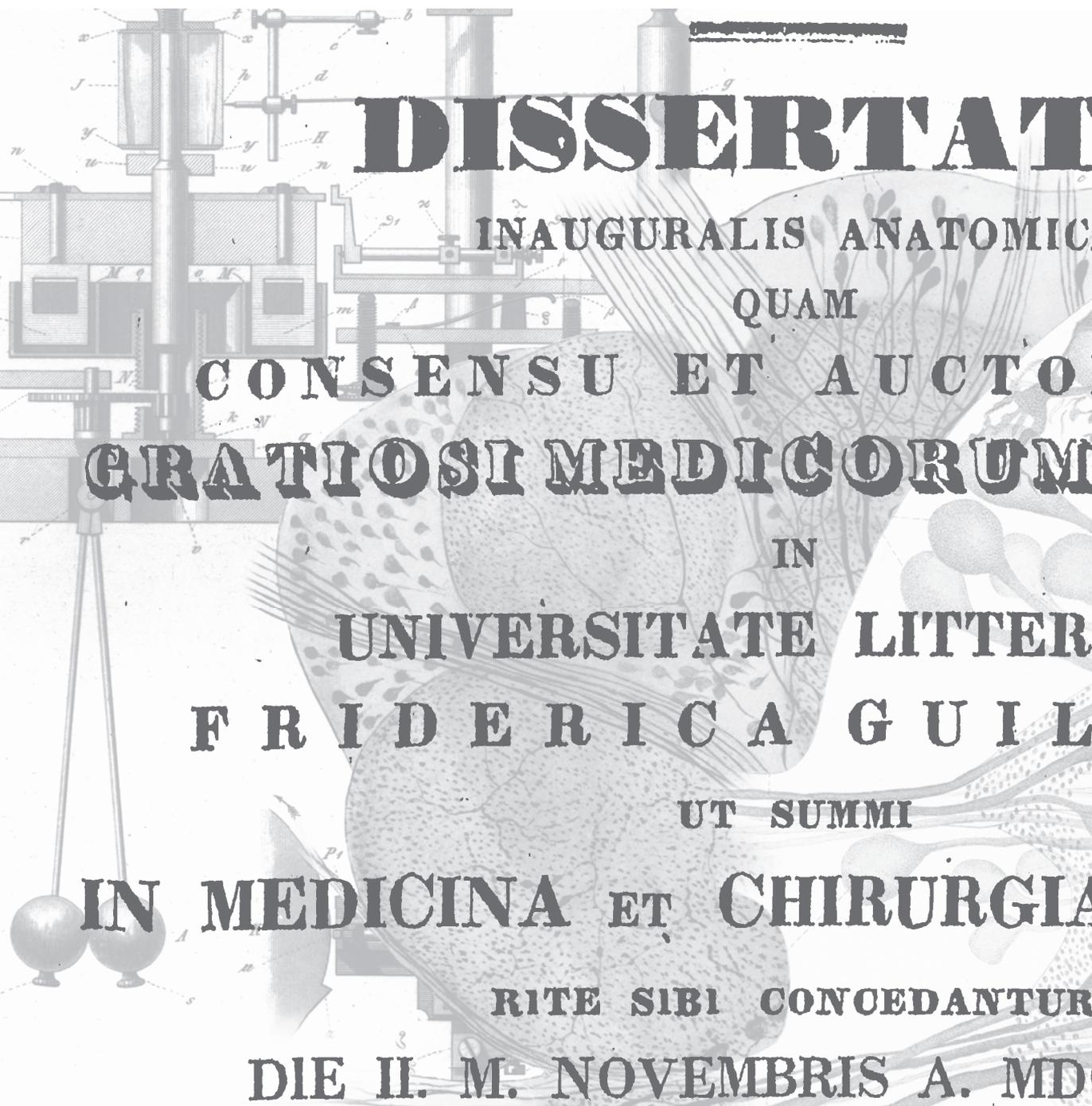
Helmut Kettenmann hat nach dem Abitur am Helmholtz-Gymnasium in Heidelberg Biologie studiert. Er ist Seniorprofessor an der Charité, Arbeitsgruppenleiter am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft in Berlin und Chair des Department of Neuroscience am Shenzhen Institute of Advanced Technology in Shenzhen, China. Er ist Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina. In seiner Forschung beschäftigt er sich mit der Rolle der Gliazellen im normalen und pathologischen Gehirn. Gliazellen und Neurone sind die Grundelemente des Nervensystems. Die Erkenntnis, dass es diese zwei Zelltypen im Nervensystem gibt, wurde erst nach Helmholtz' Dissertation durch Rudolf Virchow 1856 eingeführt.

Authors

Julia Heideklang (M.A./M.Ed.) is doctoral candidate at the DFG graduate school 2190 “Literary and Epistemic History of Small Forms.” She completed studies in Biology and Classical Philology and is currently working on her doctoral thesis “Botanics in the Making (1500–1700): Communication and Construction of the Botanical Science in Early Modern Europe.” The project focuses on the paratexts of the voluminous botanical works and the central role they played in the emergence of botanical practices and the formation of a scientific community in the botanical field. She is also engaged in research on Conrad Gesner’s *Historia animalium*, exploring its didactic potential for school education and interdisciplinary approaches.

Hans-Joachim Pflüger is a (retired) professor of Functional Neuroanatomy/Neurobiology at Freie Universität Berlin. His research topics are sensory-motor integration during locomotion, development of neuronal circuits, and the functional role of neuromodulation, in particular by Biogenic Amines. He studies insects, such as locusts, tobacco hawkmoths, and fruit flies, *Drosophila*. He has also an interest in the evolution of the nervous systems of invertebrates, particularly in comparative studies on neuronal circuits which serve a specific behavior.

Helmut Kettenmann studied biology after finishing high school at the Helmholtz Gymnasium in Heidelberg. He is a senior professor at the Charité, group leader at the Max-Delbrück Center for Molecular Medicine in the Helmholtz Association in Berlin and Chair of the Department of Neurobiology at Shenzhen Institute of Advanced Technology in Shenzhen, China. He is a member of the National Academy of Sciences Leopoldina. His research focuses on glial cells in the normal and pathologic brain. Glial cells and neurons make up the nervous system. The distinction between these two cell types was introduced after Helmholtz’ thesis by Rudolf Virchow in 1856.



DISSERTATIO

INAUGURALIS ANATOMICA

QUAM

CONSENSU ET AUCTORITATE

GRATIOSI MEDICORUM

IN

UNIVERSITATE LITTERARUM

FRIDERICA GUILLIELMINE

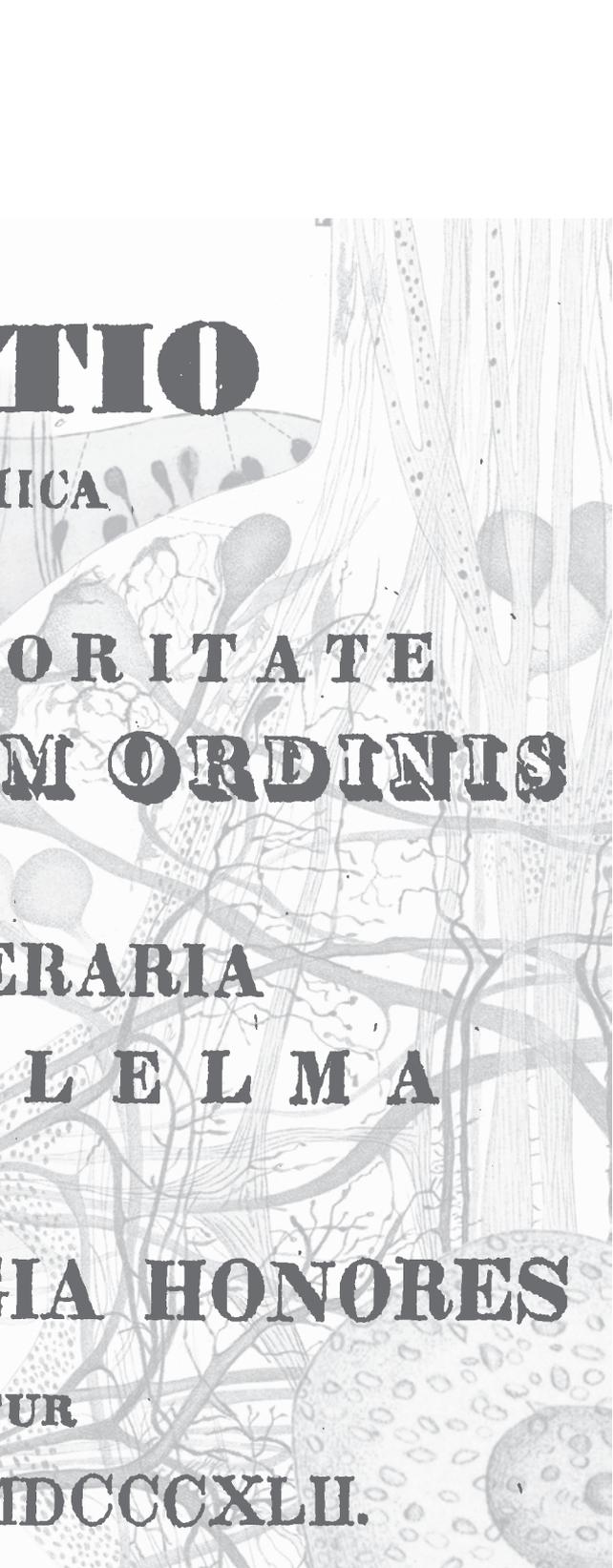
UT SUMMI

IN MEDICINA ET CHIRURGIA

RITE SIBI CONCEDANTUR

DIE II. M. NOVEMBRIS A. MDCCCXXXIII.

„Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Ja 3163“, Originalmaße: 10 × 18,5 cm, gedruckt mit Erlaubnis der Staatsbibliothek zu Berlin



TIO

ICA

**ORITATE
M ORDINIS**

ERARIA

LELMA

IA HONORES

UR

IDCCCXLII.

Lateinisch
Deutsch
Englisch

14
DE
FABRICA SYSTEMATIS NERVOSI
EVERTEBRATORUM.

DISSERTATIO

INAUGURALIS ANATOMICA

QUAM

CONSENSU ET AUCTORITATE
GRATIOSI MEDICORUM ORDINIS

IN

UNIVERSITATE LITTERARIA
FRIDERICA GUILIELMA

UT SUMMI

IN MEDICINA ET CHIRURGIA HONORES

RITE SIBI CONCEDANTUR

DIE II. M. NOVEMBRIS A. MDCCCXLII.

H. L. Q. S.

PUBLICICE DEFENDET

AUCTOR

ARMINIUS HELMHOLTZ

POSTAMPIENSIS.

OPPONENTIBUS:

G. BALTES, med. et chir. Dr.

H. WALD, med. et chir. Dr.

E. HARTWICH, med. et chir. Cand.

BEROLINI,
TYPIS NIETACKIANIS.

4

ÜBER DEN BAU DES NERVENSYSTEMS
VON WIRBELLOSEN

—
INAUGURALE DISSERTATIONSSCHRIFT
IM BEREICH DER ANATOMIE

DIE

MIT ZUSTIMMUNG UND

RECHTMÄßIGKEIT

DES VERDIENTEN STANDES DER ÄRZTE

AN DER

KÖNIGLICHEN

FRIEDRICH-WILHELM-UNIVERSITÄT

ZUR ERLANGUNG DER HÖCHSTEN

EHREN IN DER MEDIZIN UND

CHIRURGIE

NACH DEN FORMALEN

ANFORDERUNGEN

AM 02. NOVEMBER 1842

Zur gewohnten Zeit, am gewohnten Ort¹

ÖFFENTLICH VERTEIDIGTE

IHR VERFASSER

HERMANN HELMHOLTZ

AUS POTSDAM.

—

MIT DEN GEGENREDNERN:

Dr. Chir. Med. G. BALTES

Dr. Chir. Med. H. WALD

Doktorand der Chirurgie Med.

E. HARTWICH.

—

IN BERLIN,

GEDRUCKT VON [Johann Ferdinand]

NIETACK.²

ON THE COMPOSITION OF THE NERVOUS
SYSTEM OF INVERTEBRATES

—

INAUGURAL THESIS

IN THE FIELD OF ANATOMY

WITH THE CONSENT AND LEGITIMACY

OF THE MERITED PROFESSION OF

PHYSICIANS

AT THE

ROYAL

FRIEDRICH-WILHELM-UNIVERSITY

FOR THE ATTAINMENT OF THE

HIGHEST HONOURS IN MEDICINE AND

SURGERY

ACCORDING TO THE FORMAL

REQUIREMENTS

ON 02. NOVEMBER 1842

At the usual time and place¹

DEFENDED IN PUBLIC

BY ITS AUTHOR

HERMANN HELMHOLTZ

FROM POTSDAM.

—

With the responders:

Dr. Chir. Med. G. BALTES

Dr. Chir. Med. H. WALD

Doctoral student of surgery Med.

E. HARTWICH.

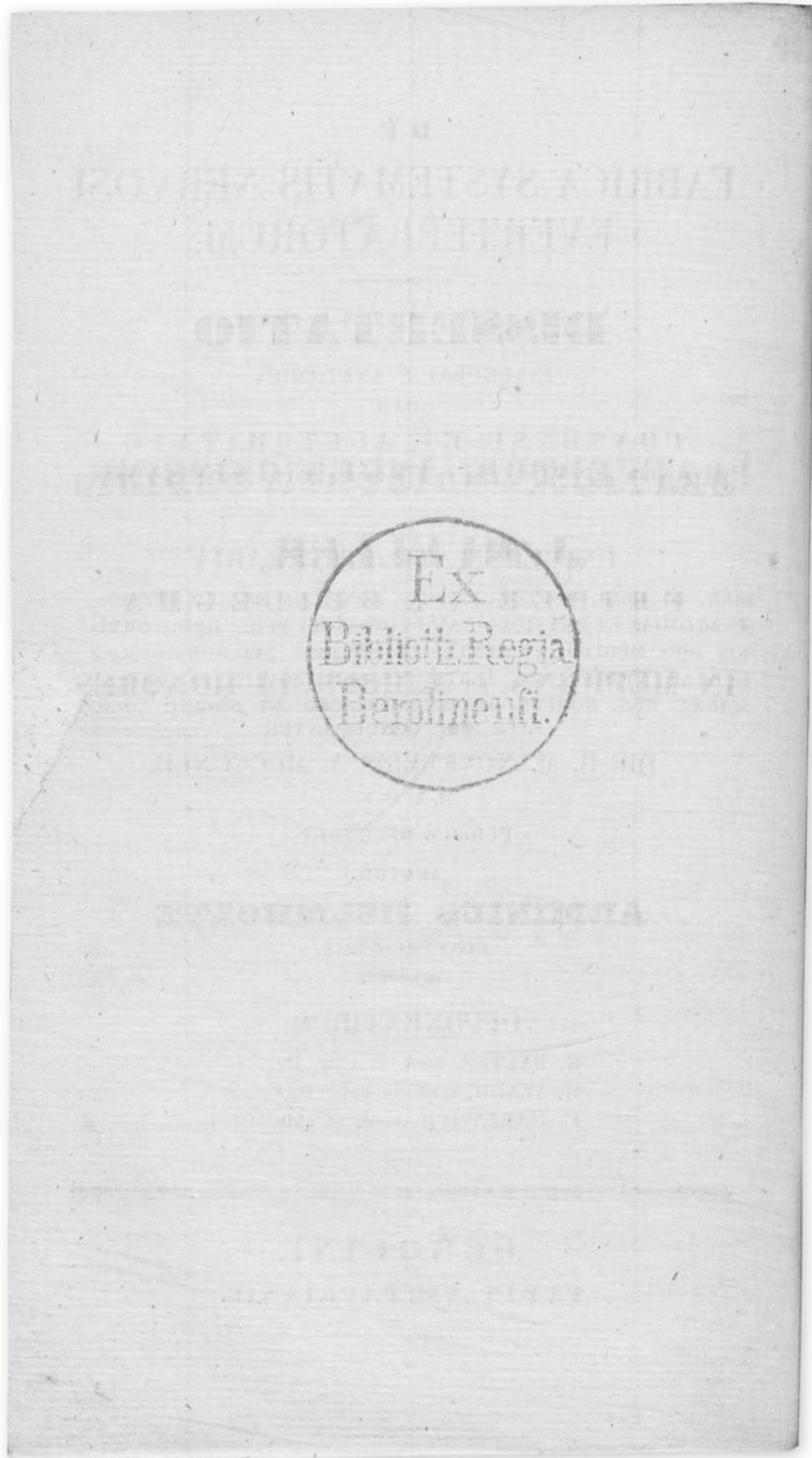
—

IN BERLIN,

PRINTED BY [Johann Ferdinand]

NIETACK.²

◀ „Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz, Ja 3163“,
Originalmaße: 10 × 18,5 cm, gedruckt mit Erlaubnis der Staatsbibliothek zu Berlin



PRAECEPTORI INGENIOSISSIMO

J. MUELLER,

MED. ET CHIR. DOCTORI, REGI A CONSILIIS MEDICIS INTIMIS,
ANATOMIAE ET PHYSIOLOGIAE PROFESSORI PUBL. ORD., ORDINIS
PRO MERITO IN SCIENTIIS ET ARTIBUS NEC NON AQUILAE
RUBRAE ORDINIS IN TERTIA CLASSE EQUITI, ACADEMIAE
SCIENT. REG. BORUSS. ALLIARUMQUE ACAD. ET SOCIET. SOCIO
ETC. ETC.

MEINEM ÄUßERST HERAUSRAGENDEN
LEHRER

J. MUELLER,
DEM DOKTOR DER MEDIZIN UND
CHIRURGIE, DEM LEITER VOM INNER-
STEN MEDIZINRAT, ORDENTLICHER
ÖFFENTLICH (BERUFENER) PROFESSOR
DER ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE,
FÜR SEINEN VERDIENST IM FELD DER
WISSENSCHAFTEN UND KÜNSTE VOM
ORDEN DES ROTEN ADLERS DER DRIT-
TEN RITTERKLASSE ³, MITGLIED DER
KÖNIGLICH-PREUßISCHEN AKADEMIE
DER WISSENSCHAFTEN UND ANDERER
AKADEMIEN UND GESELLSCHAFTEN
USW. USW.⁴

TO MY ILLUSTRIOUS
TEACHER

J. MUELLER,
MEDICAL DOCTOR OF MEDICINE AND
SURGERY, HEAD OF THE INTERNAL
MEDICAL BOARD, FULL PROFESSOR
OF ANATOMY AND PHYSIOLOGY,

FOR HIS MERITS IN THE FIELD
OF SCIENCE HONOURED WITH THE
DECORATION OF THE RED EAGLE
OF THE THIRD CLASS³,
MEMBER OF THE ROYAL PRUSSIAN
ACADEMY OF SCIENCES AND OTHER
ACADEMIES AND SOCIETIES
ETC. ETC.⁴

HASCE STUDIORUM PRIMITIAS

PIO GRATOQUE ANIMO

D. D. D.

AUCTOR.

Diese Erstlingsfrüchte seiner Studien
Hat der Verfasser mit frommem und
dankbarem Herzen
ergebungsvollst zum Geschenk gemacht.

These first fruits of his studies
The author most humbly presents
With pious and grateful heart and mind.

DE PARTIBUS ELEMENTARIBUS.

Partes elementares systematis nervosi in animalibus evertebratis eadem sunt atque in vertebratis, fibrillae et globuli gangliorum. Fibrillae funiculos componunt ganglia conjungentes, et nervos ad omnes corporis partes decurrentes, praeterea etiam in gangliis inveniuntur inter globulos gangliosos sitae. E corpore vivo vel vix mortuo desumtae, sunt cylindricae, pellucidae, ut nulla in iis structura subtilior cognosci possit; simplices decurrunt per nervos, nunquam in ramos dividuntur neque in nervis simplicibus neque in plexibus nervorum, id quod Valentin in nervis intestinalibus astaci perspicere posse demonstravit. Crassitudo earum diversa per diversa bestiarum genera; major in astacis (ad 0,008'''), minor in hirudinibus (0,003'''), minima in insectis et arachnodis. Compositae sunt membrana externa simplici et materia quadam liquida, in illa contenta, id quod perspicitur compressione nervorum; restant enim membranae, materia autem e finibus dissectis effluit, ibique aut fila irregularia aut flocculos et granula format, eodem modo ac illa in vertebratorum nervis

ÜBER DIE GRUNDLEGENDEN TEILE <DES NERVENSYSTEMS>^{5, 6}

Die grundlegenden Teile des Nervensystems sind bei wirbellosen Tieren dieselben wie bei Wirbeltieren, <nämlich> Fasern und Zellen⁷ der Ganglien. Die zarten Fasern bilden Stränge, die die Ganglien verbinden, und Nerven, die zu allen Körperteilen führen, darüber hinaus kann man sie auch in den Ganglien zwischen den Ganglienzellen gelegen finden. Aus einem lebenden oder gerade erst verstorbenen Körper entnommen, sind sie zylindrisch, durchscheinend, sodass man in ihnen keine Struktur recht einfach erkennen kann; sie verlaufen ungeteilt <einfach> durch die Nerven, niemals werden sie in Äste geteilt weder in einfachen Nerven noch in Nervengeflechten, was, wie Valentin bewiesen hat, an Nerven des Verdauungstraktes des Krebses beobachtet werden kann. Ihre Dicke ist unterschiedlich je nach Art des Tieres; größer ist sie in Krebsen (ca. 0,008'''⁸ [16 µm]), geringer in Egel (0,003''' [6 µm]), am geringsten in Insekten und Spinnentieren. Sie sind zusammengesetzt aus einer einfachen äußeren Membran und einer in dieser enthaltenen flüssigen Substanz, was beim Zusammendrücken der Nerven beobachtet werden kann; es bleiben nämlich die Membranen übrig, die Substanz aber floss aus den zerrissenen Enden hinaus; und dort bildet sie entweder unregelmäßige Fäden⁹ oder Flöckchen und Körnchen, genauso wie jene auch in den Nerven der Wirbeltiere enthaltene <flüssige Substanz>.

ON THE FUNDAMENTAL PARTS OF THE NERVOUS SYSTEM^{5, 6}

The fundamental parts of the nervous system are the same in invertebrates as in vertebrates, namely fibers and cells⁷ of the ganglia. The fibers form strands connecting the ganglia, and nerves projecting to all parts of the body; additionally, one can find them in the ganglia between cells. Taken from a living or just recently deceased body, they are cylindrical, transparent and one cannot quite easily identify any structure within them. They run undivided through nerves, (and) are never divided into branches neither in simple nerves nor in nerve networks, as it can be observed in the digestive tract of crayfish, as Valentin has demonstrated. Their thickness varies depending on the animal species; they are larger in crayfish (about 0,008'''⁸ [16 µm]), smaller in leeches (0,003''' [6 µm]), and the smallest in insects and spiders. They are composed of a simple external membrane and a specific liquid substance contained within, which can be observed when compressing the nerve; while the membrane remains, the substance poured out of the ruptured ends; and there it forms irregular threads⁹ or flakes and granules in the exact same manner as that <fluid substance> contained in the nerves of vertebrates.

6

contenta. Interposita est hisce fibrillis nerveis tela cellulosa sive conjunctiva, fibrillis undulatis composita, quae modo in fasciculos modo in membranas complectuntur, et quibus in nonnullis bestiis, ut in astaco fluviatili, nuclei adjacent.

Fibrillarum nervearum natura inter omnes clarissime in astaco fluviatili cognoscitur, et quia ipsae majores sunt, et quia minus firme inter se membranis telae conjunctivae junguntur. Si nervum majorem vel funiculum nerveum e bestia viva desuntum, cito, nulla aqua addita, in lamina vitrea positum acubus dilaceras, fibrillas nerveas, quales descripsi, videbis. Aqua autem addita, vel bestia jam diutius mortua, fibrillae redduntur irregulares, leviter rugosae, et parvis olei guttulis aspersae videntur. Quae mutatio, quamquam non tanta est, quanta in vertebratis, tamen efficit, ut complurium fibrillarum fasciculus minus sit pellucidus. Praeter eas magnam filorum telae conjunctivae copiam, tenuium, undulatorum invenies, quae eadem directione ac fibrillae nerveae decurrentes, partim iis tantummodo interposita sunt, partim lineae spiralis modo eas circumdant. Mixtae sunt globulis rotundis, paullulum flavescens, quos quum in omnibus membranis conjunctivis, in tela cellulosa pinguedinis cellulas continente invenerim, nucleos telae conjunctivae esse puto. Denique inveniuntur tubuli majores, simplici membrana formati, eadem directione ac fibrillae nerveae decurrentes, quorum parietibus globuli elliptici granulati intexti sunt, quos tubulos vasa sanguifera esse conjicio. Si acido ace-

Zwischen diesen Nerven befindet sich ein zellhaltiges oder verbindendes Gewebe, aus wellenförmigen Fäden zusammengesetzt, die bald von Bündeln, bald von Membranen umfaßt werden, und bei denen man in einigen Tieren, wie etwa im Flusskrebs (*Astacus fluviatilis*), <Zell>Kerne findet¹⁰.

Die Beschaffenheit der Nervenfasern erkennt man von allen <Wirbellosen> am deutlichsten bei dem Flusskrebs, sowohl weil sie größer sind, als auch weil sie weniger fest miteinander durch die Membranen der verbindenden Gewebe verbunden sind. Wenn du, nachdem du den größeren Nerv oder Nervenstrang aus dem lebenden Tier entnommen hast, ihn schnell, ohne Zugabe von Wasser, auf die Glasplatte gelegt hast und dann mithilfe von Nadeln zerteilst, wirst du die Nervenfasern, wie ich sie beschrieben habe, sehen^{11, 12}. Würde aber Wasser hinzugefügt, oder ist das Tier schon länger verstorben, stellen sich die Fasern unregelmäßig dar, leicht faltig, und erscheinen emulsionsartig. Diese Veränderung, obwohl sie nicht so auftritt wie in Wirbeltieren, bewirkt dennoch, dass ein Bündel aus mehreren Fasern weniger durchscheinend ist. Außer diesen wirst du eine große Menge verbindendes Gewebe aus zarten, wellenförmigen Fäden vorfinden, die mit derselben Ausrichtung wie die Nervenfasern verlaufend, teilweise bloß zwischen diesen gelegen sind, teilweise diese in Form einer Spirale umgeben¹³. Sie sind vermischt mit kleinen, runden Zellen mit einer leicht rotgelben Färbung, die ich, da ich sie im Zellgewebe mit hoher Zelldichte innerhalb aller verbindenden Membranen fand, für die Kerne des verbindenden Gewebes halte. Schließlich findet man größere Röhren, aus einer einfachen Membran gebildet, die in dieselbe Richtung wie die Nervenfasern verlaufen, und in deren Wände elliptische, körnige Kügelchen eingeflochten sind, woraus ich schließe, dass es sich bei den Röhren um ein Blutgefäß handelt. Wenn die Nerven mit Essigsäure

In between the nerves resides a cell-containing and connective tissue, composed of undulatory threads which are wrapped sometimes in bundles, sometimes in membranes, and which in some animals contain nuclei <cores> as <it can be found> in the crayfish (*Astacus fluviatilis*)¹⁰.

The texture of the nerve fibers can be recognized best <among invertebrates> in crayfish since they are larger as well as less connected by the membranes of the connective tissue. If you remove a larger nerve or a nerve strand extracted from a living animal, place it quickly, without addition of any water, on a glass plate and tease it apart with needles, <then> you will recognize the nerve fibers, just as I have described them^{11, 12}. If, however, water was added or the animal had already been dead for a long period of time, then the fibers would appear irregular, slightly wrinkled, and emulsion-like. This change, although (it does) not (feature) quite as strongly as in vertebrates, causes the strands consisting of several fibers to become less transparent. Apart from those you will find large amounts of connective tissue consisting of delicate, undulatory threads in parallel alignment with the nerve fibers, sometimes placed between them, sometimes surrounding them in a spiral-like manner¹³. They are mixed together with small, round globes colored slightly yellow-red, which I consider to be nuclei of the connective tissue, since I found them in cellular tissue with high cell density within the connecting membrane. Eventually, one finds larger tubes formed out of simple membranes running in parallel <direction> to the nerve fibers with elliptical granular globules woven into their walls, wherefore I conclude that these tubes are blood vessels. If the nerves are sprinkled with drops of acetic acid,

tico imbuuntur nervi, fibrillae nerveae paullulum eo mutantur, fila autem conjunctiva tam pellucida redduntur, ut evanescant paene. In ceteris animalibus evertibratis non successit mihi, ut in nervis dilaceratis fibrillas singulas, plane liberas perspicerem; discernuntur autem in nervis compressis et in ramulis minoribus, paucas fibrillas continentibus, id quod facilius redditur, si acido acetico addito, telam conjunctivam clariorem facis. Praecipue in hirudinibus et molluscis ita fibrillarum crassitudinem et formam perspici licet, in insectis autem difficilius est ob teneritatem structurae et claritatem totius massae majorem et tracheas tenuissimas intextas. Interdum in gangliis quoque dilaceratis minorem fibrillae partem inveni. In hisce bestiis fila conjunctiva minus inter se sejuncta sunt, quam in astacis, magis ad membranas contexta, multo tenuiora, nucleis carentia, undulata. Fibrillas nerveas alias cinereis nervorum organicorum vertebratorum similes non inveni, nisi iis fila telae conjunctivae comparamus, inter fibrillas nerveas sitas, Valentini opinionem sequentes.

Globuli gangliosi animalium evertibratorum iis simillimi sunt, qui in gangliis nervi sympathici vertebratorum inveniuntur, varii quidem in variis bestiarum generibus, omnes tamen ad unam rationem conformati. Sunt cellulae, membrana simplici circumdatae, liquore quodam grannoso repletae, in quo nucleus rotundus situs est, granula plerumque complura et nucleolum continens. Coniunguntur inter se et obducuntur singulae cellulae filis telae conjunctivae,

beträufelt werden, werden die Nervenfasern dadurch <nur> wenig verändert, aber die verbindenden Fäden werden so durchscheinend gemacht, dass sie nahezu verschwinden. In den übrigen wirbellosen Tieren gelang es mir nicht, in den zerteilten Nerven einzelne, eindeutig freistehende Fasern klar zu erkennen; aber man findet sie in zusammengedrückten Nerven und in kleineren Verzweigungen, die wenige Fasern enthalten, was besser erkennbar ist, wenn du durch Zugabe von Essigsäure das verbindende Gewebe klarer hervorhebst. Besonders in Egel (Hirudinibus) und Weichtieren (Molluscis) ist es auf diese Weise möglich, die Dicke und Gestalt der Fasern deutlich zu erkennen, in Insekten aber ist es aufgrund der Zartheit ihrer Strukturen und der größeren Transparenz der gesamten Gewebemasse und der äußerst feinen, eingeflochtenen Tracheen schwerer. Derweil fand ich auch nach Zerteilung der Ganglien einen kleineren Teil einer Faser. In eben diesen Tieren sind die verbindenden Fäden weniger voneinander getrennt als in Krebsen, stärker mit den Membranen verknüpft, um vieles zarter, ohne Kern, <und> wellenförmig. Andere, ähnlich den grauen Nervenfasern der Nervenorgane von Wirbeltieren, fand ich nicht, wenn wir nicht mit diesen die Fäden des verbindenden Gewebes vergleichen, die zwischen den Nervenfasern liegen, der Ansicht Valentins folgend.

Die Zellen der Ganglien der wirbellosen Tiere sind denjenigen äußerst ähnlich, die man in den Ganglien der sympathischen Nerven von Wirbeltieren findet, zwar unterschiedlich bei den verschiedenen Tiergruppen, alle jedoch <sind sie> nach demselben Grundprinzip aufgebaut. Es sind Zellen, von einer einfachen Membran umschlossen, mit einer gewissen körnigen Flüssigkeit gefüllt, in der ein runder Kern liegt, meistens mehrere Körnchen und ein Kernchen¹⁴ enthaltend. Die einzelnen Zellen sind miteinander verbunden und werden umgeben von Fäden des verbindenden Gewebes,

it only slightly affects the nerve fibers, but it causes the connective threads to become transparent to such an extent that, they almost disappear. In the remaining invertebrates I did not succeed in recognizing isolated fibers in dissipated nerves; one can recognize them, however, in compressed nerves and in smaller branches which contain only a few fibers, which could be recognized even better, if you make the connective tissue more lucid by adding acetic acid. Thus the thickness and structure of the fibers can be especially clearly discerned in leeches (*Hirudinibus*) and mollusks (*Molluscis*), whereas it is more difficult in insects due to the tenderness of their structures, the greater transparency of the entire tissue and the extremely delicate interwoven tracheae. I could sometimes find small parts of a fiber even in dissected ganglia. It is in these animals <the insects>, that the connective threads are less separated from one another as compared to crayfish, and more strongly connected with the membranes, more delicate without nucleus, and undulatory. I did not find other nerve fibers similar to the grey nerve fibers of the nervous system of vertebrates, if we do not compare them to the threads of the connective tissue, located in between the nerve fibers, following Valentin's point of view.

The cells of the ganglia of invertebrates are similar to the cells found in the ganglia of the sympathetic nervous system of vertebrates, they are certainly different depending on the animal species but are always built according to the same basic principle. The cells are surrounded by a simple membrane, filled with a granulated fluid, containing a round nucleus, several granules, and a nucleolus¹⁴. The individual cells are interconnected and surrounded by threads of connective tissue

8

ita plerumque decurrentibus, ut a fibrillis nerveis veniant, totam cellulam circumdent, et in fasciculum congregata ab altero cellulae latere ad partes vicinas transeant. Praeter hanc telam conjunctivam cuique cellulae membrana est propria simplex, in qua nulla structura penitior perspici potest, id quod facile cognoscitur in cellulis astaci et molluscorum diutius in aqua versatis, quae imbibita membranam a materia contenta sejungit. Quae materia etiam in cellulis recenter e bestia viva desumptis, semper granulis tenuissimis abundat; membranis cellularum diruptis effluit, neque aquae commiscetur, sed in coagula irregularia conformatur. In bestiis nonnullis variis pigmentis colorata est, ut in lepidoptero larvis fusco, in limnaea et planorbi rubro; quae pigmenta aqua solvuntur; dirupta enim membrana cellulae materia granulosa non colorata circa nucleum remanet. Nucleus in aliis animalibus granulis grossioribus quam cellula impletus est, ut in molluscis, astaco fluviatili, inter quae nucleolus interdum difficiliter cognoscitur, in aliis clarus est et solum nucleolum continet, ut in insectis, hirudinibus. Magnitudo cellularum varia secundum magnitudinem et secundum genus bestiarum. Maximae sunt in astaco (ad 0,05^{'''}), in unione margaritifera, arione empiricorum, (ad 0,04^{'''}) minores in hirudinibus (ad 0,03^{'''}), planorbi, limnaea, minimae in insectis, arachnodis (ut in gryllis, scarabaeo stercorario, larva geotrupis nasicornis, aranea domestica ad 0,02^{''}—0,027^{'''}). Neque tamen in eadem bestia omnes gangliorum cellulae ejusdem magnitudinis sunt;

die zumeist so verlaufen, dass sie von den Nervenfasern <her> kommend, die gesamte Zelle umgeben, und in ein Bündel versammelt von der anderen Seite der Zelle her zu den benachbarten Arealen übergehen. Neben diesem verbindenden Gewebe ist einer jeden Zelle eine einfache Membran zu eigen, in der keine tiefer liegende Struktur erkennbar ist, was sich leicht in Zellen des Krebses und in denen von Weichtieren erkennen lässt, die sich länger im Wasser befunden haben, dessen Aufnahme <des Wassers> die Membran von der enthaltenen Materie trennt. Diese Materie ist auch in Zellen, die frisch aus lebenden Tieren entnommen wurden, immer angereichert mit äußerst feinen Körnchen; aus den aufgerissenen Membranen der Zellen floss sie heraus, und sie vermischt sich nicht mit Wasser, sondern gerinnt in unregelmäßigen Formen. In einigen Tieren ist sie mit unterschiedlichen Farben eingefärbt, wie in den Larven der Schmetterlinge (*Lepidoptera*) mit einer rostroten, in der Schlamm- und der Tellerschnecke einer <leuchtend> roten <Farbe>; diese Farbstoffe werden durch das Wasser <ab> gelöst; denn nach Aufplatzen der Membran verbleibt die körnchenhaltige, nicht gefärbte Materie um den Kern herum. Der Kern ist in einigen Tieren wie die Zelle angefüllt mit dickeren Körnchen, wie in den Weichtieren, dem Flußkreb, unter denen derweil das Kernchen schwerer zu erkennen ist, in anderen <Tieren> ist er klar und enthält einzig das Kernchen, wie in Insekten und Egel. Die Größe der Zellen ist unterschiedlich je nach Größe und Art der Lebewesen. Am Größten sind sie im Meereskreb (etwa 0,05''' [100 µm]), in der Flussperlmuschel (*Unio margaritifera*¹⁵), in der Großen Wegschnecke (*Arion empiricorum*¹⁶) (ca. 0,04''' [80 µm]), kleiner in Egel (ca. 0,03''' [60 µm]), der Tellerschnecke, der Schlamm- und der Tellerschnecke, am kleinsten in Insekten und Spinnentieren (wie in Grillen (*Gryllis*), dem Mistkäfer (*Scarabaeus stercorarius*¹⁷), der Larve des Nashornkäfers (*larva Geotrupis nasicornis*) und der Hauswinkelspinne (*Aranea domestica*¹⁸) ca. 0,02–0,027''' [40–54 µm]). Und auch in denselben Tieren sind schließlich nicht alle Zellen der Ganglien von derselben Größe;

which for the most part run along in such a manner going from the nerve fibers, around the entire cell and, assembled in bundles, projecting from one side of the cell to neighboring areas. Apart from this connective tissue, each cell has a simple membrane in which no subjacent structure could be further distinguished: This can be well studied in cells of crayfish and mollusks after embedding them for a longer time in water, that once absorbed <into the cell> separates the membrane from the embedded material. This material, also present in cells, which has been freshly extracted from living animals, is always abundant with granules; when the membrane of the cells is ruptured, it (the material) poured out, and it does not mix with water, but rather coagulates into irregular forms. In some animals it is colored with different pigments, such as the rusty-red in the larvae of butterflies (*Lepidoptera*), (and) the bright red in the great ramshorn snail and great pond snail; these pigments are dissolved in water; after the membrane is ruptured, the colorless granulated material remains surrounding the nucleus. In some animals the nucleus is filled with larger granules, as is the case with mollusks, and crayfish, in between which it is harder to identify the nucleolus, in other animals it is clear and contains only the nucleolus, as in insects, and leeches. The size of the cells varies depending on size and kind of animal. They are largest in crustaceans (about 0,05''' [100 µm]), in the freshwater pearl mussel (*Unio margaritifera*¹⁵), in the giant slug (*Arion empiricorum*¹⁶) (about 0,04''' [80 µm]), smaller in leeches (about 0,03''' [60 µm]), the great ramshorn snail and the great pond snail, smallest in insects and spiders (such as crickets (*Gryllis*), the dung beetle (*Scarabaeus stercorarius*¹⁷), the larva of the European rhinoceros beetle (*larva Geotrupis nasicornis*) and the house spider (*Aranea domestica*¹⁸) ca. 0,02–0,027''' [40–54 µm]). Even within the same animal not all cells are of the same size;

praeter eas enim, quarum diametrum numeris emetitus sum, inveniuntur bis vel ter minores. Nuclei vel tertia parte (ut in molluscis), vel dimidio (ut in astacis, gryllis), vel ter et quater (ut in insectis plerisque, hirudinibus) sunt cellulis minores.

Forma cellularum duplex est distinguenda; aut enim processu carentes rotundae vel ovae sunt, aut processu instructae. Ganglio aliquo hirudinis, ariionis, grylli acubus dilacerato, facillime videbis, et in reliquis quoque evertibratis omnibus, paullulum talibus disquisitionibus exercitatus, invenes cellulas alias caudatas, in alia bestia alius formae, quarum caudae finem abruptum esse perspicuum sit, alias ecandatas, uno marginis loco ita vulneratas, ut ibi diruptum processum esse conjici liceat; alias integras et processu plane carentes. Quae caudae sunt cylindricae, ejusdem latitudinis ac fibrillae nerveae; modo paullatim dilatatae in cellulam transeunt, modo ubique aequales iis insidunt; initium earum paullum continet materiae granulosae, qua cellula repletur, partes distantes fibrillis nerveis sunt simillimae aspectu. Quae disquirens, cave ne in errores hosce incidas. Primum nuclei iis in bestiis, in quibus cellulis paullum sunt minores, ut in molluscis, astaco, cellulis diruptis in aqua libere natantes, facillime cellulae esse putantur. Deinde in astacorum gangliis nuclei telae conjunctivae cellulis interpositae, quum non sint dissimiles aspectu globulis illis parvis substantiae cinereae cerebri, ab eo, qui cellulas gangliosas astaci nondum vidit, facile systemati nervoso adnumerantur. Nul-

denn neben diesen, deren Durchmesser ich vermessen habe, finden sich auch zwei bis dreimal kleinere *«Zellen»*. Die Kerne sind entweder um ein Drittel *«wie bei Muscheln»*, um die Hälfte *«wie in Meereskrebse, Grillen»*, oder drei- bis viermal *«wie in den meisten Insekten, Egel»* kleiner als die Zellen.

Man muss zwei Formen der Zellen unterscheiden: Denn entweder sind sie rund bis oval, und weisen keinen Fortsatz auf, oder sie sind mit einem Fortsatz ausgestattet. Dies wirst du nach Zupfen mit Nadeln von jedem beliebigen Ganglion des Egels, der Schnecke, *«und»* Grille sehr leicht sehen und du wirst auch in allen übrigen Wirbellosen, mit etwas Übung in derlei Untersuchungen, einerseits Zellen mit Fortsatz finden, in den jeweiligen Tieren von je anderer Form, *«Zellen»* von deren Fortsatz das Ende erkennbar abgerissen wurde, andererseits fortsatzlose Zellen, derart an einer Stelle im Randbereich verletzt, dass man annehmen darf, dass der Fortsatz dort unterbrochen wurde; wieder andere *«Zellen»*, die unversehrt sind und einfach keinen Fortsatz aufweisen. Diese Fortsätze sind zylindrisch, von derselben Breite wie die Nervenfasern, einige gehen allmählich erweitert in die Zelle über, andere gehen überall gleichförmig in diese *«Zellen»* über; deren Anfang enthält etwas von der körnchenhaltigen Materie, mit der die Zelle angefüllt ist, die weiter entfernten Teile sind vom Aussehen her den Nervenfasern äußerst ähnlich. Während du diese untersuchst, hüte dich, in folgende Fallen zu tappen: Erstens werden die Kerne in denjenigen Tieren, in denen die Zellen etwas kleiner ausfallen, wie in Weichtieren, im Meereskrebs, wenn sie nach dem Aufplatzen der Zellen frei im Wasser schwimmen, sehr leicht für Zellen gehalten. Zweitens werden in den Ganglien der Krebse die Kerne des zwischen den Zellen liegenden verbindenden Gewebes, die vom Aussehen her den Zellen der grauen Substanz des *«Vertebraten-»*Gehirns durchaus ähnlich sind, von demjenigen, der die Ganglienzellen des Krebses noch nicht gesehen hat, leicht dem Nervensystem zugerechnet. Halte also kein Kügelchen für eine Zelle,

in addition to those whose diameter I have measured, one can find cells which are two to three times smaller. The nuclei *«in the cells»* are a third *«in mollusks»*, one half *«in marine crustacea and crickets»*, or three to four times *«in most insects and leeches»* smaller than the cells.

Two cell forms need to be distinguished: either they are round to oval and have no process or they are equipped with a process. Having teased apart any ganglion with needles you will most easily see this in leeches, the giant snail, crickets, and in all the other invertebrates too; after getting some experience in such exercises, you will find other cells with processes of different form in each animal, cells from which the process was obviously ripped off, and process-less cells which are injured at one location of the peripheral area, so that one has to assume that the process was interrupted at that point, and yet other cells which simply do not possess a process. These processes are cylindrical having the same diameter as nerve fibers; some are slightly widened when merging with the cell, others merge overall uniformly with the cell; at the beginning *«of the process»* it contains some of the granular material, with which the cells are filled, and the more peripheral parts are very similar to the fibers regarding their appearance. While carrying out your examination, take care that you do not fall into the following traps: firstly, the nuclei in those animals that have slightly smaller cells, as in mollusks, when floating freely in water following cell lysis can be easily taken for cells. Secondly, in the ganglia of crayfish, the nuclei of the connective tissue, since they have a quite similar appearance as the cells in the grey matter of the *«vertebrate»* brain, can be easily attributed to the nervous system by those who have not yet seen the ganglia cells of crayfish. So: do not consider a globule for a cell,

10

lum igitur globulum cellulam esse putes, nisi aut in eo nucleum et nucleolum perspicias, aut alium similem invenies processu instructum. Tum cave, ne fasciculum filorum telae conjunctivae, praesertim ab illo marginis loco abeuntem, qui processui contrarius situs est, processum habeas. Discerni autem eo possunt, quod fasciculus fibrillis undulatis compositus est, plerumque irregularis, acido acetico fere evanescens.

DE NERVORUM ET GANGLIORUM FABRICA.

Explicatis formis partium elementarium, exponendum est, quomodo eae partes in nervis gangliisque conjunctae sint. Quod ut cognoscamus, quum nonnullae tantummodo bestiae idoneae sint: primum describemus, quae in iis singulis invenerimus, tum rationes, secundum quas exstructum sit systema nervosum evertebratorum, statuere conabimur.

Incipiamus a molluscis, in quibus systema nervosum minus est complicatum, quam in arthrozois. Aptissimi ex iis sunt limnaeus stagnalis et planorbis corneus, ut cognoscatur, quomodo cellulae gangliosae et fibrillae nerveae in gangliis sitae sint, quia cellularum materia granulosa pigmento laete rubro imbuta est. Invenitur in hisce bestiis annulus nervosus oesophagi initium circumdans, in cujus parte posteriore inferiore quatuor ganglia majora, duo superiora, duo inferiora sita sunt, in lateribus nonnulla minora. Eminent et ipsa ganglia colore rubro, ut facile oculo solo dignosci possint a massa nervorum. **Conjuncta sunt inter se funiculis nerveis, et emittunt**

wenn du nicht entweder in ihm Kern und Kernchen erblickst, oder wenn du nicht eine gleichwertige Struktur vorfindest, die mit einem Fortsatz ausgestattet ist. Sei ferner vorsichtig, nicht ein Fadenbündel des verbindenden Gewebes, zumal wenn es von jener Stelle im Randbereich abgeht, der dem Fortsatz gegenüber liegt, für den Fortsatz zu halten. Unterschieden werden aber können sie dadurch, dass das Bündel aus eingedrehten Fasern zusammengesetzt ist, meistens ungleichmäßig <ist>, <und> sich durch Essigsäure nahezu auflöst.

ÜBER DEN AUFBAU DER NERVEN UND GANGLIEN.

Nach der Darlegung der Gestalt der grundlegenden Elemente <des Nervensystems> ist darzulegen, auf welche Art und Weise diese Elemente in den Nerven und Ganglien miteinander verbunden sind. Dazu gibt es, wie wir sehen werden, nur einige wenige geeignete Tiere: Zuerst werde ich beschreiben, welche <Teile> ich in diesen einzelnen <Tieren> gefunden habe, dann werde ich versuchen, die Grundprinzipien zu bestimmen, nach denen das Nervensystem der Wirbellosen aufgebaut ist¹⁹.

Ich werde mit den Weichtieren beginnen, in denen das Nervensystem weniger komplex ist als in den Gliedertieren. Am meisten geeignet sind die Spitzschlamm Schnecke (*Limnaeus stagnalis*) und die Posthornschncke (*Planorbis corneus* L.²⁰), um zu erkennen, auf welche Weise die Ganglienzellen und die Nervenfasern in den Ganglien gelegen sind, weil die körnchenhaltige Materie der Zellen mit einer deutlich roten Farbe getränkt ist. Es findet sich in diesen Tieren ein kleiner Nervenring, der den Eingang des Ösophagus umgibt, in dessen hinterem unteren Teil vier größere Ganglien, zwei obere, zwei untere, liegen, an den Seiten einige kleinere. Auch die Ganglien selbst stechen durch ihre leuchtend rote Farbe hervor, sodass sie leicht mit bloßem Auge von der Menge der Nerven unterschieden werden können. Verbunden sind sie miteinander durch Nervenstränge und entsenden

if you cannot detect a nucleus or a nucleolus or if you cannot recognize another equivalent structure which is equipped with a process. Be careful not to mix up a fiber bundle of the connective tissue with a process, particularly one that departs from that point in the peripheral area opposite to the position of the process. They can be distinguished, however, by the fact that these bundles consist of spiral fibers, are mostly irregular, and almost completely dissolve in acetic acid.

ON THE STRUCTURE OF THE NERVES AND GANGLIA

Following the description of the forms of the fundamental parts, I must explain, how and in which ways these elements are interconnected within the nerves and ganglia. As we will come to see, only a few animals are suited for this approach. First, I shall describe which parts I have found in each of the different animals, and subsequently I shall determine the fundamental principles, by which the nervous system of invertebrates is organized¹⁹.

I shall start with the mollusks, in which the nervous system is less complex than in arthropods. The great pond snail (*Limnaeus stagnalis*) and the great ramshorn snail (*Planorbis corneus* L.²⁰) are best suited for recognizing how cells and fibers are arranged within the ganglia, since the granular material of the cells is strongly colored with a bright-red pigment. In these animals, one can find a nerve ring surrounding the entrance of the esophagus and at its lower part four larger ganglia are located, two upper ones and two lower ones, some smaller ones at the sides. The ganglia themselves also stand out due to their red color so that they can be easily recognized by the naked eye and distinguished from the nerves. They are interconnected by nervous mass and send nerves

nervos ad reliquas corporis partes. Obducuntur membrana satis firma, nigro pigmento tincta: quae si accurate detracta est, integra ganglia sub microscopio perlustrari potes. Praeter hancce alia invenitur membrana pellucida, firmissima, filis telae conjunctivae contexta, quae nervos et ganglia omnia obtegit.

Nervi cujusque fibrillae, ubi ad ganglion aliquid adveniunt, ita dividuntur, ut major earum pars praetereat, et in funiculos distribuatur, quibus illud ganglion cum vicinis conjunctum sit, minor tantum ganglion intret. Quum eodem modo omnes nervi et funiculi nervei dividantur ad ganglion quodque, plexus nervosus efficitur, nervos corporis emittens, cui ganglia apposita sunt iis locis, ubi ramuli complures coalescunt. Gangliorum ipsorum structura optime in gangliis duobus majoribus inferioribus, quae colore rubro intenso prae ceteris eminent, cognoscitur. Sejungas eas ab reliquis, sejunctis detrahas membranam nigricantem, deponas in lamina vitrea, et lamella tenuissima alia detectas, cavens, ne nimis premantur, microscopio perlustreris. Facillime videbis cellulas gangliosas, satis magnas, rubras, caudatas, et caudas earum in ipsos nervos transeuntes, praesertim in nervum majorem, qui ab hisce gangliis ad bestiae cutem muscularem descendit. Ab alio latere idem ganglion adspiciens, invenies alias caudas, in duos funiculos transeuntes, quorum alter ad ganglion superius ejusdem lateris, alter ad inferius contrarii decurrit.

Et reliquis molluscis perscrutatus sum arionem empiricorum, helicem pomatiam, unionem

Nerven zu den übrigen Teilen des Körpers. Sie werden von einer hinreichend festen Membran umgeben, gefärbt mit einem schwärzlich-dunklen Farbstoff. Wenn diese sorgfältig abgezogen wurde, kannst du die unversehrten Ganglien unter dem Mikroskop vollständig betrachten. Außer eben dieser findet man eine andere durchscheinende, äußerst feste, mit den Fäden des verbindenden Gewebes zusammenhängende Membran, die die Nerven und alle Ganglien schützend bedeckt²¹.

Die Fasern jedes Nerven, wenn er an irgendein Ganglion herankommt, teilen sich so, dass der größere Teil dieser <am Ganglion> vorbeiläuft, und in Stränge verzweigt wird, durch welche jenes Ganglion mit den benachbarten verbunden wird, <und> nur der kleinere <Teil> in das Ganglion eintritt. Da auf dieselbe Weise alle Nerven und Nervenstränge zu jedem Ganglion verteilt werden, entsteht ein Nervengeflecht, die Nerven des Körpers entsendend, bei dem man die Ganglien an denjenigen Stellen findet, wo sich mehrere kleine Äste verbinden. Die Struktur der Ganglien selbst kann am besten in den beiden größeren unteren erkannt werden, die sich durch ihre starke rote Farbe vor den übrigen abheben. Trennst du diese von den übrigen, ziehst von den abgetrennten <Ganglien> die schwärzlich-dunkle Membran ab, legst sie auf eine Glasplatte und bedeckst sie dabei vorsichtig mit einem anderen äußerst dünnen <Glas->Plättchen, ohne <sie> zu sehr zu drücken, dann dürftest du sie unter dem Mikroskop vollständig betrachten können. Besonders leicht wirst du die Ganglienzellen sehen, ausreichend groß, rot, mit Fortsätzen, und <du wirst sehen> wie ihre Fortsätze in die Nerven selbst übergehen, besonders in den großen Nerv, der von eben diesen Ganglien zu der Muskelhaut herabläuft. Wenn du von der anderen Seite <her> dasselbe Ganglion ansiehst, wirst du andere Fortsätze entdecken, die in zwei Stränge übergehen, von denen einer zum oberen Ganglion derselben Seite, der andere zum unteren der gegenüberliegenden Seite verläuft.

Von den übrigen Weichtieren habe ich die Nacktschnecke (*Arion empiricorum*), die Weinbergsschnecke (*Helix pomatia*), die Flussperlmuschel (*Unio margaritifera*)

to the other parts of the body. They are surrounded by a firm membrane which is colored with a black-darkish pigment. If the membrane is carefully removed, one can inspect the intact ganglia under the microscope. Apart from that one, another transparent, extremely firm membrane interconnected with threads of the connective tissue, envelops the nerve and ganglia in a protective manner²¹.

The fibers of any nerve, when they reach a ganglion, are divided in such fashion that the larger proportion of them passes by, and branches out into strands, through which the ganglion is then connected with the neighboring ones, with only a smaller proportion entering the ganglion. Since all nerves and nerve strands are distributed to every ganglion in the same manner a nervous network develops sending <out> corporal nerves, with ganglia at exactly those positions, where several small branches merge. The structure of the ganglia can best be recognized in the two lower, larger ones, since they stand out by their intense red color. If you separate those from the remaining <ganglia> after the removal of the black-darkish membrane, place them on a glass plate and cover them with a glass coverslip without squeezing too much, you can study them entirely under the microscope. Especially easily you will identify the ganglia cells as they are sufficiently large, bright red, with processes merging into the nerves, particularly into the big nerve which runs from these ganglia to the muscle. Inspecting the other side of that same ganglion, you will find other processes which merge into two strands, one projecting to the upper ganglion on the same side, the other to the lower ganglion on the opposite side.

Among the remaining mollusks, I have studied the large black slug (*Arion empiricorum*), the Burgundy snail (*Helix pomatia*) and the freshwater pearl mussel (*Unio margaritifera*),

12

margaritiferam, attamen quum pigmento rubro cellulae eorum careant, nihil in integris gangliis pro certo cognosci potest.

In hirudinibus vulgaribus, ubi fabrica subtilior gangliorum multo melius perspici potest quam in medicinalibus, quibus Valentin et Ehrenberg usi sunt, ganglia inveniuntur novemdecim, inter abdominis musculos et intestinum sita in ipso vase sanguifero longitudinali inferiore; ganglion primum omnibus reliquis majus, triangulare, basi ad os, apice ad ganglion secundum spectans; cerebrum duabus partibus oblongis compositum, in hirudinibus medicinalibus in medio coalitis, in vulgaribus funiculo brevi conjunctis. Quum ganglia membrana firmissima tecta sint, audacter cultris tunicam nigram vasis sanguiferi dilaceres, ut ea promas; ganglia enim sub instrumentis elabentia non delentur. Recte prompta et levissime compressa, microscopio ea supponas. Sunt lentiformia, emittunt a marginis rotundi quatuor lateribus binos ramos nervosos, latitudine fere pares, ab anteriore et posteriore funiculos, a dextro et sinistro nervos corporis. Et ganglia et nervi neurilemate crasso, fibrillas tenuissimas continente obducuntur, quod in superficie inferiore cujusque ganglii lineis obscuris in sex partes dividitur, duas medias majores, quatuor laterales, quarum anteriores inter binorum nervorum lateralium origines sitae sunt. Haecce divisio non in omnibus

untersucht, da aber deren Zellen einer roten Färbung entbehren, konnte man nichts mit Gewissheit in den unversehrten Ganglien erkennen.

In den Gemeinen Egel (*Hirudo vulgaris*), wo der einfache Aufbau der Ganglien viel besser beobachtet werden kann als in den Medizinischen (*Hirudo medicinalis*), die Valentin und Ehrenberg verwendet haben, finden sich elf Ganglien, die zwischen den Muskeln und den Eingeweiden des Abdomens liegen, <und zwar> an dem unteren längsverlaufenden Blutgefäß; das erste Ganglion ist größer als alle übrigen, dreiecksförmig, mit der Basis zur Mundöffnung, mit der Spitze zum zweiten Ganglion schauend; das Gehirn ist aus zwei länglichen Teilen zusammengesetzt, die im Medizinischen Egel in der Mitte zusammengewachsen, im Gemeinen Egel durch zwei kurze Stränge verbunden sind. Da die Ganglien mit einer sehr festen Membran umhüllt sind, mußt du herzhaft mit einem Skalpell das dunkle Gewand des Blutgefäßes abreißen, um sie hervorzuholen; denn die Ganglien werden durch die Sektionsinstrumente, da sie ihnen entschlüpfen, nicht zerstört. Frisch vorbereitet und <nur> äußerst leicht zusammengedrückt, solltest du sie unter das Mikroskop legen. Sie sind linsenförmig, entsenden von den vier Seiten ihres abgerundeten Randes je zwei Nervenäste, in ihrer Breite nahezu gleich, von der vorderen und hinteren <Seite> Stränge, von linker und rechter <Seite> Nerven des Körpers. Sowohl die Ganglien als auch die Nerven werden durch ihr verdicktes Neurilemma <Hülle>, das äußerst zarte Fasern enthält, verdeckt, das an der Oberfläche der Unterseite eines jeden Ganglions durch dunkle Furchen²² in sechs Teile geteilt wird, zwei mittlere größere, vier seitliche, deren hintere zwischen den Ursprüngen der jeweiligen seitlichen Nerven gelegen sind. Eben diese Unterteilung ist nicht in allen

but since their cells lack the bright-red color, nothing could be recognized with certainty within the intact ganglia.

In common leeches (*Hirudo vulgaris*), in which the composition of the ganglia can be observed much better than in the medicinal leeches (*Hirudo medicinalis*), which Valentin and Ehrenberg have used <for their studies>, there are eleven ganglia, positioned between the muscles and the intestines of the abdomen, namely at the lower longitudinal blood vessel. The first ganglion is larger than the others, triangular with the basis facing towards the mouth, the top towards the second ganglion. The brain <the first ganglion> is composed of two elongated parts that are merged at their center in medicinal leeches and interconnected by a short strand in common leeches. Since the ganglia are covered by a very firm membrane, you have to vigorously rip off the dark cover of the blood vessel with the dissection scalpel; the ganglia are not destroyed by the dissecting scalpel since they slide out. Freshly prepared and only barely squeezed, you can place them under the microscope. They are lenticular and send, from the four corners of the rounded edge, two nerve branches each, nearly the same in diameter, from the front and back (side) two strands, on the left and right corporal nerves. Both, ganglia and nerves, are covered by a thick neurilemma <sheath> containing very fine fibers, which on the lower surface of each ganglion is subdivided by dark grooves²² into six parts, two larger in the center and four lateral, whose rear ones are in between the origins of the corresponding lateral nerves. This subdivision is not in all

gangliis plane aequalis est; interdum enim lobulus posterior medius non ad marginem posteriorem ganglii pergit, ut laterales posteriores post eum se tangant; similibusque differentiis aliis ordo divisionis mutatur, ita tamen, ut eundem ubique adesse perspicuum sit. In faciem superiorem illarum linearum duae tantum pergunt, quibus partes laterales secernuntur, et finiuntur, ubi fibrillae funiculorum supra ganglion decurrunt. Valentin tales lineas inter hasce fibrillas et cellulas gangliositas, effigie depinxit, equidem non vidi. Ganglii abdominalis primi facies inferior et partes externae faciei superioris lineis transversis in partes octo dividuntur, cerebrum utroque in latere in quatuor superiores, quatuor inferiores, hisce in gangliis marginem quoque sulcis incisum et septa lineis affixa vides, quam ob causam Valentin in reliquis quoque gangliis linearum aspectum septis affixis effici concludit.

In superiore ganglii facie fibrillas nerveas transeuntis vides a funiculis anterioribus ad posteriores, quae in marginibus arctius sibi appositae sunt, in medio ganglio magis dilatatae, ut figuram ovalem conformant, cuius uterque finis in duos ramos ad funiculos descendentes dividitur. Ad latera superficiei superioris cellulas gangliositas invenis arctissime sibi appositae. Microscopii foco paullulum deorsum moto, sub hisce cellulis filamenta nervorum lateralium in medium ganglion transeuntia apparent; confluere quidem videntur cum fibrillis funiculorum, singula autem ab altero ad alterum fasciculum oculis persequi satis

Ganglien völlig gleichmäßig; denn manchmal setzt sich die mittlere hintere kleine Verdickung nicht bis zum hinteren Rand des Ganglions fort, sodass sich die seitlichen hinteren <Nerven> <erst> nach diesem berühren; und durch andere ähnliche Unterschiede wird die <An->Ordnung der Aufteilung verändert, doch so, dass dieselbe <Ordnung> überall als vorhanden ersichtlich ist. In die Oberfläche der Oberseite setzten sich von jenen Furchen nur zwei fort, durch welche die seitlichen Teile zerschnitten werden, und dort enden, wo die Fasern der Stränge oberhalb des Ganglions verlaufen. Valentin hat in seiner Abbildung solche Furchen zwischen eben diesen Fasern und Ganglienzellen liegend gezeichnet, <das> habe ich allerdings nicht gesehen. Die untere Oberfläche der ersten abdominalen Ganglions und die äußerlich liegenden Teile der oberen Oberfläche werden durch querverlaufende Furchen in acht Bereiche zerteilt, das Gehirn auf beiden Seiten in vier obere, vier untere, in eben diesen Ganglien siehst du auch den Rand durch Furchen eingeschnitten und auch die Abgrenzungen durch Linien fest angeheftet, weswegen Valentin die Schlussfolgerung gezogen hat, dass auch in den übrigen Ganglienen der Anblick von Linien durch die fest angehefteten Abgrenzungen bewirkt werde.

In der oberen Oberfläche des Ganglions siehst du von den vorderen Strängen²³ zu den hinteren <Strängen> durchlaufende Nervenfasern, die in den Rändern enger beieinander sitzen, in der Mitte des Ganglions weiter auseinander stehen, sodass sie eine ovale Gestalt ausbilden, deren beide Enden in zwei zu den Strängen herabsteigenden Ästen aufgeteilt werden. Zu den Seiten der oberen Oberfläche findest du die Ganglienzellen äußerst eng beieinander liegend. Die Fokussierung des Mikroskops ein wenig abwärts bewegt, scheinen unter genau diesen Zellen die Ausläufer der seitlichen Nerven in die Mitte des Ganglions überzugehen; sie scheinen zwar mit den Fasern der Stränge zusammen zu fließen, die einzelnen Ausläufer aber kannst du von dem einen zum anderen Bündel mit den Augen nicht hinreichend sicher

ganglia completely identical, since sometimes the medial posterior thickening does not reach the edge of the ganglion, so that the lateral posterior ones connect later; due to other similar differences, the arrangement's order is altered, but in a fashion, that the same general pattern remains. Only two grooves project to the upper surface, resulting in a division of the lateral parts, causing them to end, where the fibers of the strands pass by above the ganglion. Valentin has depicted such grooves located between those fibers and the ganglion cells, I, however, did not see this. The lower surface of the first abdominal ganglion and the external parts of the upper surface are divided into eight parts by transverse grooves, the brain on both sides into four upper and four lower <parts>; in these ganglia you see the edge incised by grooves too and boundaries firmly attached through the lines, which is why Valentin concluded that in the remaining ganglia too the visual impression of lines is caused by those firmly attached boundaries.

In the ganglion's upper surface, you see nerve fibers running from the anterior strands²³ to the posterior ones placed at the edges more densely and more distant in the ganglion's center, thus, resulting in an oval form, whose ends are divided each into two branches descending to the strands. On the sides of the upper surface you find ganglion cells in closest proximity. Moving the microscope's focus a little downward, extensions from the lateral nerve appear to transit into the middle of the ganglion exactly below the cells; although they seem to merge with the fibers of the strands, you cannot follow individual processes from one strand to another with your eyes with certainty,

14

certo non potes, quamobrem Valentin dubitat, quin fila nervorum cum funiculis cohaereant. Paullum fortius autem compresso ganglio, ut nonnullae cellulae rumpantur, a quoque funiculo ad utrumque nervum ejusdem lateris filamenta transeuntia, interdum etiam ad latus contrarium, clarissime videbis. In ganglio primo triangulati funiculorum fibrillae in superficie superiore media decurrunt, et per angulos anteriores exeunt; praeterea autem inveniuntur filamenta ad marginem anteriorem transverse extensa; omnibus hisce filamentis et longitudinalibus et transversalibus funiculi componuntur, quibus illud ganglion cum cerebro conjungitur, duplo crassiores reliquorum gangliorum funiculis. Uterque ad faucium latus ascendit, et per cerebri faciem inferiorem decurrens, in medio convenit cum altero et in eum transit. In ganglio postremo funiculorum fibrillae omnes transeunt in nervos caudales.

Gangliorum faciem inferiorem adspiciens, cellulas gangliosas in spatiis eorum separatis ita dispositas videbis, ut alterum latus alteri satis accurate respondeat; sub hisce cellulis filamenta cognosces nervorum et funiculorum praecipue prope illas lineas obscuras decurrere, quare ea inter singulas ganglii partes transire conjiciendum fortasse est. Id quod melius perspicere potest in ganglio primo triangulati; ibi enim nervi laterales binis fasciculis componuntur, quorum utriusque in fissuram intrant inter bina spatia separata sita.

Processus cellularum interdum in integro gan-

nachverfolgen, weswegen Valentin anzweifelt, dass Nervenfasern mit Strängen zusammenhängen. Wenn das Ganglion aber ein wenig stärker zusammengepresst wurde, sodass einige Zellen zerplatzen, wirst du deutlich die von jedem Strang zu beiden Nerven derselben Seite, manchmal sogar zur gegenüberliegenden Seite, durchgehenden Ausläufer äußerlich klar sehen. Im ersten dreiecksförmigen Ganglion laufen die Fasern der Stränge in der Mitte der Oberfläche entlang, und treten über die vorderen Ecken aus; außerdem findet man Ausläufer, die quer verlaufend bis zum vorderen Rand erweitert sind. Aus all diesen Ausläufern, sowohl längs- als auch querverlaufend, setzen sich die Stränge zusammen, durch die jenes Ganglion mit dem Gehirn verbunden wird, um das doppelte dicker als die Stränge der übrigen Ganglien. Jede der beiden Seiten steigt zum Schlund hinauf, indem sie über die untere Oberfläche des Gehirns verläuft, trifft in der Mitte mit einem anderen <Strang> zusammen und geht in diesen über. Im letzten Ganglion gehen die Fasern der Stränge in die kaudalen Nerven über.

Betrachtest du die untere Oberfläche der Ganglien, wirst du die Ganglienzellen in ihren getrennten Zwischenräumen so verteilt sehen, dass die eine Seite der anderen hinreichend genau entspricht²⁴; unterhalb dieser Zellen wirst du erkennen, dass die Fadenwerke der Nerven und der Stränge besonders nahe an jenen dunklen Furchen²⁵ verlaufen, weshalb wohl angenommen werden muss, dass sie zwischen den einzelnen Teilen des Ganglions verlaufen. Dies kann besser im ersten dreiecksförmigen Ganglion betrachtet werden, denn dort werden die seitlichen Nerven aus je zwei Bündeln zusammengesetzt, von denen beide in eine Spalte eintreten, die zwischen je zwei getrennten Zwischenräumen liegt.

Manchmal können in einem unversehrten Ganglion die Fortsätze der Zellen betrachtet werden,

which is why Valentin doubts that nerve fibers are associated with strands. If you squeeze the ganglion a little bit harder causing some cells to burst, you will clearly see processes from each strand running to both nerves of the same side, sometimes even to the opposite side. In the first, triangular ganglion, the fibers of the strands run along in the middle of the upper surface and exit through the anterior edges; moreover, one finds processes which run transversally to the frontal edge. Out of all these processes running both longitudinally as well as transversally the strands, through which this ganglion is connected to the brain, are exhibiting double the diameter of the strands of the other ganglia. Each of the two strands ascends to the esophagus running through the lower surface of the brain, joining and merging in the center with the other strand. In the last ganglion the fibers of the strands transit into the caudal nerves.

Studying the lower surface of the ganglia <up close>, you will recognize the distinct compartments which exactly correspond to the neighboring ganglion²⁴. Below those cells, you will recognize the network of nerves and strands running in particularly close proximity to the dark grooves²⁵, wherefore we may necessarily assume that they run along in between the individual parts of the ganglion. This can be observed better in the first triangular ganglion, since there the lateral nerves consist of two strands each, which enter in a groove located between two compartments each.

Sometimes it is possible to observe the processes of the cells within an intact ganglion,

glio percipi possunt, at cavendum est, ne alia quadam re oculus decipiatur. Nam aut duae cellulae vicinae marginibus vel se obtegentes vel paullulum distantes, aut fibrillae profundius sitae, quae per massam pellucidam perspici possunt, interdum efficiunt, ut processum adesse putes. Satis magnum gangliorum numerum eam ob rem perlustratus, tres praecipue locos inveni, ubi processus cellularum persequi potuerim. Primum in lobo anteriore medio interdum cellulae singulae satis magnae processum longum ad nervum lateralem anteriorem demittunt; tum ad latera faciei superioris cellulae minores sitae sunt, quarum processus ad medium ganglion pergere, ibique fibrillis funiculorum admisceri solent, quae cellulae praecipue in ganglio abdominali primo facilius perspiciuntur, ubi minus arcte compositae sunt. Clarius autem quam in gangliis abdominalibus caudae cellularum in nervos transeuntes perspici possunt in cerebro, in cuius latere inferiore fibrillarum nervearum fasciculus decurrit, singulas fibrillas emittens, sursum flexas, in cellulas gangliosas transeuntes, quarum fundus ad superficiem superiorem spectat. Fibrillae e cellulis oriundae partim ad finem internum partim ad externum utriusque lobi cerebri pergunt. Etsi non in omni cerebro rem ita esse, pro certo statim videre potes ob varium cellularum situm et ordinem: complures tamen perquirens, invenies, in quibus ita videbis, ut dubitare non possis. Interdum, tamen raro in gangliis quoque acubus dilaceratis

aber man muss vorsichtig sein, dass das Auge nicht durch irgendeine andere Sache getäuscht wird. Denn entweder bewirken zuweilen zwei benachbarte Zellen, die sich mit ihren Rändern verdecken oder <nur> wenig auseinanderstehen, oder tiefer gelegene Fasern, die durch ihr durchscheinendes Äußeres sichtbar sind, dass du glaubst, ein Fortsatz sei vorhanden. Nachdem ich eine ausreichend große Zahl an Ganglien wegen dieses Sachverhalts genau betrachtet hatte, fand ich vornehmlich drei Stellen, an denen ich die Fortsätze der Zellen nachverfolgen konnte. Erstens senden manchmal einzelne ausreichend große Zellen in der vorderen mittleren Verdickung einen langen Fortsatz zum vorderen seitlichen Nerven; zweitens sind zur Seite der oberen Oberfläche <hin> kleinere Zellen gelegen, deren Fortsätze gewöhnlich zur Mitte des Ganglion reichen und dort den Fasern der Stränge beigemischt werden – diese Zellen sind besonders im ersten abdominalen Ganglion leicht in Augenschein zu nehmen, wo sie weniger kompakt sind²⁶. Deutlicher aber als in den abdominalen Ganglien können die Fortsätze der Zellen in den durchgehenden Nerven im Gehirn betrachtet werden, an dessen unterer Seite ein Bündel der Nervenfasern verläuft, einzelne Fasern entsendend, die, nach oben abgelenkt, in die Ganglienzellen übergehen, deren Basis zur oberen Oberfläche schaut. Die Fasern, die aus Zellen hervorgehen, setzen sich fort, teils zu einem innen liegenden Ziel, teils zu einem außenliegenden <Punkt> beider Hirnlappen. Dass sich gleichwohl die Sache nicht im gesamten Gehirn so verhält, kannst du sofort mit Sicherheit aufgrund der unterschiedlich gelegenen Abfolge der Zellen sehen: Wenn du aber zahlreiche <Zellen> untersuchst, wirst du <diejenigen> finden, in denen du es so sehen wirst, dass du nicht daran zweifeln kannst. Manchmal gelang es mir, gleichwohl selten, auch in Ganglien, die ich mit Nadeln aufgerissen

but one has to be careful not to let the eye be deceived by any other matter. For sometimes either two adjacent cells that overlap one another with their borders, or that are only a little bit apart, or more subjacent fibers below, which due to their translucent appearance can be seen through, makes you believe that a process is there. Due to that, after having thoroughly inspected a large number of ganglia, I found three regions in particular, where I could follow the processes of cells. Firstly, sometimes a single, sufficiently large cell located in the frontal medial thickening sends a long process to the frontal lateral nerve; secondly, there are small cells at the side of the upper surface whose processes continue to the center of the ganglion and there usually merge with the fibers of the strands – particularly these cells can be easier observed in the first abdominal ganglion, since they are less compact there²⁶. But even clearer than in the abdominal ganglia, the processes of cells can be identified in the brain while they are merging with the nerves; on the lower side of which a bundle of nerve fibers runs along sending single fibers turning upward and merging with the ganglion cells, whose bases facing towards the upper surface. The fibers originating from these cells continue in part to an inner target <point> or partly to an external point of the lateral brain lobes <thickenings>. Even if this condition is not present in that fashion within the entire brain, you see it immediately from position and order of the various cells: Eventually, by studying many, you will find those, within which you will see it in a manner, that you are not able to doubt it <anymore>. Sometimes, albeit rarely with the ganglia teased apart with needles,

16

mihī successit, ut caudas cellularum per fissuram prodeuntium usque ad nervos oculis persequerer.

In mediis lobis lateris inferioris gangliorum cellulae majores sitae sunt, quae dilacerato ganglio, si integrae servatae et partibus circumscriptis liberatae sunt, cauda plerumque carent, et circum eas cellulae minores, quarum caudae ad latus superius earum pergere videntur.

Hisce omnibus, quae de hirudinis gangliis experta habemus, collectis, a vero non multum abhorere videbimur, gangliorum fabricam ita describentes: Ganglii latus inferius septis membranaceis in sex partes separatas divisum est, quae septa non omnia ad latus superius adscendunt, ut ibi spatia illa inferne separata aperta sint. Fibrillarum nervearum alia pars super ganglion decurrit, alia inter septa a funiculis in nervos laterales descendit, alia e funiculis et nervis medium ganglion ingressa, spatia separata intrat, et in cellulas gangliosas transit; quamobrem caudae cellularum plerumque ad medium ganglion spectare videntur. Interpositae sunt hisce cellulis caudatis cellulae ecaudatae majores, quibus illae adjacent.

In lumbricis, julis, oniscis ganglia a membrana obtegente integra liberari non possunt, quare nihil de fabrica eorum compertum habeo.

hatte, die Fortsätze der durch den Spalt fortlaufenden Zellen bis an die Nerven mit den Augen nachzuverfolgen.

In den mittleren Verdickungen der unteren Seite liegen die größeren Zellen der Ganglien, die nach Zerschneiden des Ganglions, wenn sie unversehrt erhalten und von den umgebenden Teilen befreit worden sind, zumeist keinen Fortsatz besitzen, und um diese herum kleinere Zellen, deren Fortsätze zur oberen Seite dieser fortzulaufen scheinen.

Unter Zusammenfassung aller eben dieser Dinge, die ich über die Ganglien des Egels in Erfahrung gebracht habe, werde ich wahrscheinlich nicht weit von der Wahrheit abweichen, wenn ich den Aufbau der Ganglien folgendermaßen beschreibe: Die untere Seite des Ganglions ist von membranähnlichen Abgrenzungen in sechs getrennte Teile geteilt; die nicht alle zur oberen Seite verlaufen, so dass dort jene in der Tiefe getrennten Zwischenräume deutlich erkennbar sind. Der eine Teil der Nervenfasern verläuft oberhalb des Ganglions, ein anderer läuft zwischen den Abgrenzungen durch die Stränge in die seitlichen Nerven herab, ein weiterer tritt aus den Strängen und Nerven in die Mitte des Ganglions in die abgetrennten Zwischenräume ein²⁷, und geht in die Ganglienzellen über; weswegen die Fortsätze der Zellen zumeist zur Mitte des Ganglion zu schauen scheinen. Zwischengesetzt zwischen eben diese Zellen mit Fortsatz sind größere <Zellen> ohne Fortsatz, neben denen jene liegen.

—

In Regenwürmern (*Lumbricus*), Tausendfüßlern (*Julidae*) und Landasseln (*Oniscus*^{28, 29}) können die Ganglien von der sie bedeckenden Membran nicht unversehrt befreit werden, weswegen ich nichts über den Aufbau dieser erfahren habe.

—

I succeeded to follow the cell's processes continuing throughout the groove up to the nerve.

In the medial thickenings at the lower side are the larger cells of the ganglia which after being kept intact, while the ganglia were being ripped apart, (and) laid bare from the surrounding materials, do often not possess a process, and surrounding them are smaller cells with processes seemingly projecting to the upper side.

All things considered, which I have learned out about the ganglia of leeches, I will probably be quite close to the truth in describing the structure of the ganglia as follows: the lower side of the ganglion is separated into six parts by membrane-like boundaries, which do not all continue to the upper side, so that these compartments divided in the lower portion can be well recognized. One part of the nerve fibers runs above the ganglion, the other runs <down> between the compartments into the lateral nerves, yet another enters into the center of the ganglion into the separated compartments²⁷ and merges with the ganglion cells: Therefore, the cell's processes mostly seem to project to the ganglion's center. In between these cells with processes there are larger cells without process, adjacent to the first kind <meaning: cells with processes>.

—

In earthworms (*Lumbricus*), millipeds (*Julidae*) and woodlice (*Oniscus*^{28, 29}) it is not possible to remove the surfacing membrane without damage and thus I was not able to learn much about their composition.

—

Systema nervorum astaci fluviatilis tredecim gangliis compositum est, quorum unum, cerebrum nominatum, maximum in capitis anteriore parte ante ventriculum et oesophagum positum est. Duobus funiculis longis, qui, ubi oesophago adiacent, paullum intumescunt, nervosque complures ad eum mittunt, conjunctum est cerebrum cum primo ganglio thoracico quadrangulari paullum minore. Sequuntur quinque ganglia thoracica, quae binis partibus lateralibus composita sunt, demum sex ganglia abdominalia, dimidio fere minora illis, tenuioribusque funiculis conjuncta. E ganglii cujusque latere utroque nervi plerumque bini oriuntur, nonnulli praeterea e funiculis abdominalibus. Materia funicularum et nervorum est paene pellucida, longitudinaliter striata, qua re multum a gangliis opacis, albescentibus jam primo aspectu differt. Accuratius tractum nervosum solo oculo vel lente vitrea perlustrans, facile cognoscas, funicularum partem supra ganglia subtus apposita nulla intermissione decurrere. Quod quum Newport vidisset, conatus est tractum nervosum astaci marini, spiritu vini induratum ita dissecare, ut funiculi supra ganglia transeuntes a gangliis ipsis sejungerentur, qua methodo tractum in duas partes dividit, alteram superiorem gangliis carentem, alteram inferiorem gangliosam. Nervos e gangliorum lateribus prodeuntes duplici radice componi dicit, altera motoria a funiculis superioribus, altera sensitiva e gangliis oriunda; fatetur tamen, se viam, qua filamenta e funiculis ad nervos perveniant, ex-

Das Nervensystem des Flusskrebse (*Astaci fluviatilis*) ist aus dreizehn Ganglien zusammengesetzt, von denen eines, das als Gehirn bezeichnet wird, das größte <ist und> im vorderen Teil des Kopfes vor dem Magen und Oesophagus liegt. Durch zwei lange Stränge, die, wenn sie neben dem Oesophagus liegen, sich ein wenig verdicken, und mehrere Nerven zu ihm aussenden, ist das Gehirn mit dem ersten zum Brustkorb gehörenden Ganglion verbunden, das viereckig und ein wenig kleiner ist³⁰. Es folgen fünf Thorax-Ganglien³¹, die aus je zwei seitlichen Teilen zusammengesetzt sind, schließlich sechs abdominale Ganglien, um fast die Hälfte kleiner als jene, und verbunden durch recht zarte Stränge. Von beiden Seiten eines jeden Ganglions gehen zumeist je zwei Nerven hervor, einige wenige zudem aus den abdominalen Strängen. Die Substanz der Stränge ist nahezu durchscheinend, längsseitig gestreift, wodurch sie sich durch ihre helle Färbung von den dunklen Ganglien schon beim ersten Blick unterscheiden. Wenn du den sorgfältig herausgezogenen Nerven mit bloßem Auge oder mit einer Lupe genau betrachtest, wirst du leicht erkennen, dass ein Teil der Stränge oberhalb der Ganglien ohne irgendeine Unterbrechung nach unten verläuft³². Als Newport dies gesehen hatte, versuchte er den gezogenen Nerven des Meereskrebse (*Astaci marini*), nachdem er ihn durch Ethanol fixiert hatte, so zu sezieren, dass die oberhalb der Ganglien vorbeigehenden Stränge von den Ganglien selbst getrennt werden, wodurch er den herausgezogenen <Nerv> in zwei Teile teilte, den einen oberen ohne Ganglien, den zweiten unteren mit Ganglien. Er sagt, dass die Nerven aus den Seiten der Ganglien hervorgehend, aus zwei Wurzeln bestehen, einer motorischen aus den Strängen, einer zweiten sensorischen aus den Ganglien entspringend; er gesteht jedoch ein, dass er den Weg, über den die Fadenwerke von den Strängen zu den Nerven gelangen,

The nervous system of the crayfish (*Astaci fluviatilis*) is composed of thirteen ganglia, of which one termed the brain, is the largest and situated in the anterior part of the head in front of stomach and esophagus. The brain is connected by two large strands, which are slightly thickened, where they are adjacent to the esophagus, sending out several nerves to it, with the first thoracic ganglion, which is quadrangular and slightly smaller³⁰. It is followed by five thoracic ganglia³¹ each composed of two lateral parts, and finally, six abdominal ganglia which are half the size <of those>, and interconnected by fairly thin strands. On both sides of each ganglia originate most of the time two nerves, additionally a few from the abdominal strands. The substance of the strands is nearly always transparent, longitudinally striated, which is why they differ already at first glance from the darker ganglia due to their light color. When you carefully observe the isolated nerve with the naked eye or a magnifying glass, you will easily recognize that a part of the strand runs above the ganglion <facing> downwards without any interruption³². Following this observation, Newport tried to dissect the extracted nerve of the marine crustacean (*Astaci marini*) after ethanol fixation in a way that the upper parts of the strands, proceeding above the ganglion, would be separated from the ganglia themselves, thus dividing the strands into two parts, one upper without ganglia, the other lower attached to the ganglia. He states that the nerves originating from the sides of the ganglia are consisting of two roots, one motor <root> originating from the upper strand and another sensory one from the ganglia; he admits, however, that he could not determine the path along which the fibers run from the strands to the nerves.

18

plorare non potuisse. Equidem iisdem experimentis in astaco fluviatili institutis, cujus tractum nervosum alternis diebus in spiritu vini et calii carbonici solutione conservaveram, similia inveni. Cautè detracto neurilemate satis firmo, a media facie inferiore incipiens duas ganglii partes in medio sejunctas ad latera opposita dimovi, quas secutae sunt funiculorum partes inferiores. Ganglio vicino eodem modo tractato, eadum funiculorum pars secuta est, exceptis paucis fibrillis, quae a funiculis superioribus in latus internum ganglii transierunt, et nervorum radices e funiculis descendentes videntur esse. Interdum filamenta nonnulla funiculorum inferiorum ad massam gangliosam lateris oppositi deflexa sunt; eodemque modo funiculi quoque superiores supra ganglion plexum formant, filamentis nonnullis ab altero ad alterum transeuntibus. Per massam autem gangliosam ego ut Newport filamentorum viam persequi non potui, neque funiculorum inferiorum neque nervorum. Quamobrem nervorum radices superiores gangliis non solum adiacere puto, ut Newport conjecit, sed per ea transire, id quod in hirudinibus et in erucis pro certo cognoscere possumus.

In ganglio abdominali ultimo fibrillae funiculorum distribuuntur in nervos ani et squamarum caudalium; in cerebri autem parte anteriore non transeunt in nervos opticos, quorum fibrillas transverse supra illas decurrere in cerebris paullum compressis perspicui potest, quoniam autem modo finiantur, videre non potui. Cerebrum astacorum non est ganglion

nicht ergründen konnte. Nachdem ich allerdings dieselben Versuche am Flußkrebis durchgeführt hatte, dessen Nerven ich an verschiedenen Tagen in Ethanol und Kaliumcarbonat-Lösung konserviert hatte, fand ich Ähnliches. Nach vorsichtigem Abziehen des hinreichend festen Neurilemmas der ‹Hülle›, bewegte ich von der Mitte der unteren Oberfläche beginnend die zwei Teile des Ganglions, die in der Mitte geteilt worden waren, zur gegenüberliegenden Seite, denen die unteren Teile der Stränge folgten. Nachdem das benachbarte Ganglion auf dieselbe Weise behandelt worden war, folgte derselbe Teil der Stränge, mit Ausnahme weniger Fasern, die von den oberen Strängen ins Innere des Ganglions übergehen, und die Wurzeln der Nerven scheinen von den Strängen herabzulaufen. Manchmal sind einige der Fasernetze der unteren Stränge zur Ganglienanhäufung der gegenüberliegenden Seite ‹um›gebogen; auf dieselbe Weise bilden auch die oberen Stränge oberhalb des Ganglions ein Geflecht, indem einige Fasernetze von dem einem zum anderen übergehen. Durch die Ganglienanhäufung aber konnte ich, wie Newport, den Weg der Fasernetze nicht nachverfolgen, weder der unteren Stränge noch der Nerven. Deswegen glaube ich, dass die oberen Wurzeln nicht nur neben den Ganglien liegen, wie Newport geschlussfolgert hat, sondern durch diese hindurchgehen, was wir in Egel und in Raupen mit Gewissheit erkennen können.

Im letzten abdominalen Ganglion werden die Fasern der Stränge verteilt in die Nerven des Anus und der Schwanzschuppen³³; im vorderen Teil des Gehirns aber gehen sie nicht in die optischen Nerven (*nervos opticos*) über; dass deren Fasern schräg über jenen verlaufen, kann in etwas zusammengedrückten Gehirnen betrachtet werden, auf welche Art und Weise sie aber enden, konnte man nicht sehen. Das Gehirn der Krebse ist kein einfaches

Indeed, performing the same experiments in the crayfish, whose extracted nerve I had conserved with ethanol and potassium carbonate solution on alternating days, I came to similar findings. After careful removal of the firm neurilemma ‹sheath›, I moved the two parts of the ganglion, separated in the middle, beginning from the middle of the lower surface towards the opposite side, and the lower strand followed. After preparing the neighboring ganglion in the same manner, the same part of the strands followed, except a few fibers which project from the upper strands to the inner side of the ganglion, and the roots of the nerves too seem to descend from the strands. Sometimes some filaments of the lower strands bend towards the ganglia mass on the opposite site, in the same manner the upper strands too form a network above the ganglia, due to filaments passing from one side to the other. But just like Newport, I could not follow the path of the filaments through the ganglia, neither the strands nor the nerves. Therefore, I do not only believe that the upper roots of the nerves are adjacent to the ganglia, as Newport claimed, but pass through them, as I could observe with certainty in leeches and caterpillars.

In the last abdominal ganglion, the fibers of the strands are distributed to the nerve of the anus and the appendages of the tail (telson)³³; in the anterior part of the brain they do not end in the optic nerve (*nervos opticos*); that their fibers run transversally among them can be observed within the slightly squeezed brain, but how they terminate, that I could not see. The brain of the crayfish is not a simple ganglion

simplex, sed octo lobis compositum, quos Valentin descripsit.

Duo anteriores medii in unum paene coaliti sunt, nervos opticos ad latera emittunt et funiculos a ganglio thoracico primo venientes, per medium cerebrum transgressos recipiunt; albescunt minus reliquis lobis. Ad utrumque funiculorum latus tres lobi siti sunt, quorum primus minor et secundus major sphaerici, opaci, filamenta nervosa recipiunt e funiculis eo loco, ubi inter se cohaerent, et nervum emittunt in capitulis latera adscendentem. Tertius postremus transverse oblongus est; in finem ejus internum filamenta e funiculorum lateribus intrant, ex externa nervus acusticus oritur. Quos lobos facillime perspicis in cerebro e bestia vix mortua amoto et in tabula obscura posito; albedine enim distincti sunt recentes, in spiritu vini autem servati, a nervis aequae albidis discerni non possunt. Fibrillarum vias, quas modo descripsi, et in cerebris recentibus leviter compressis microscopio et in induratis spiritu vini cultro cognoscere potes.

Ganglion thoracicum primum pari loborum numero compositum est, qui non ad latera, sed sub funiculis siti sunt. Reliqua ganglia binos lobos habent subtus funiculis appositos, qui in thorace interdum ita distant, ut alter alterum non tangat, in abdomine autem arctius cohaerent, ut sulcus tantummodo exiguus eos diversos esse indicet.

Partibus inferioribus gangliorum abdominalium, in quibus cellulae sitae sunt, vel cerebri lobis late-

Ganglion, sondern ist aus acht Verdickungen zusammengesetzt, die Valentin beschrieben hat.

Die beiden vorderen mittleren <Verdickungen> sind nahezu zu einem einzigen verwachsen, entsenden Augennerven zu den Seiten und empfangen Stränge, die von dem ersten Thorax-Ganglion kommen, nachdem sie mitten durch das Gehirn hindurchgelaufen sind; sie sind weniger hell als die übrigen Verdickungen. An der Seite beider Stränge sitzen drei Verdickungen, von denen der erste kleiner, und der zweite größer, <beide> kugelförmig, dunkel, Ausläufer aus den Strängen an der Stelle aufnehmen, wo sie miteinander zusammenhängen, und einen Nerv entsenden, der an der Seite des Kopfes aufwärts verläuft. Das dritte <und> letzte Ganglion ist quer verlängert; in sein inneres Ende treten Nervenstränge aus den Seiten ein, aus dem außenliegenden <Ende> geht der Hörnerv (*nervus acusticus*)³⁴ hervor. Diese Verdickungen erkennst du äußerst leicht in einem Gehirn, das du aus einem kaum verstorbenen Tier entfernst und auf eine dunkle Platte gelegt hast; denn frisch <isoliert> zeichnen sie <die Verdickungen> sich durch eine weiße Farbe aus, in Ethanol aber konserviert, können sie von den gleichermaßen weißen Nerven nicht unterschieden werden. Die Wege der Fasern, die ich gerade beschrieben habe, kannst du sowohl mit dem Mikroskop in frischen, leicht zusammengespressten Gehirnen erkennen als auch mit dem Skalpell in durch Ethanol ausgehärteten <Gehirnen>.

Das erste Thorax-Ganglion ist aus der gleichen Zahl an Verdickungen zusammengesetzt, welche nicht an der Seite, sondern unter den Strängen liegen. Die übrigen Ganglien haben jeweils zwei Verdickungen nach unten <und> neben den Strängen, die im Thorax zuweilen so auseinanderstehen, dass der eine den anderen nicht berührt, im Abdomen aber hängen sie enger zusammen, sodass nur eine kleine Furche anzeigt, dass es sich um verschiedene handelt.

Wenn die unteren Teile der abdominalen Ganglien, in welchen die Zellen liegen, oder die seitlichen Verdickungen des Gehirns

but composed of eight thickenings, which Valentin has described.

The two frontal medial <lobes>, are almost fully merged into one, send optic nerves to the sides and receive strands coming from the first thoracic ganglion, after they pass through the center of the brain; they are less bright than the other thickenings. Alongside both strands there lie three thickenings, of which the first one is smaller, the second larger, <they are both>, globular, dark, (and) receiving filaments from the strands at that exact point, where they are connected, and send out a nerve which runs upwards alongside the head. The third last ganglion is transversally prolonged; into its inner end enter nerve strands from the side and at the outer end the auditory nerve (*nervus acusticus*)³⁴ originates. These thickenings can be easily recognized in a brain taken from a freshly deceased animal and placed on a dark plate; freshly isolated, they are characterized by a white color, but fixated in ethanol they cannot be distinguished from the equally white nerves. You can study the path of the fibers, as I just described, with the microscope in fresh, slightly squeezed brains as well as in <brains> fixated through ethanol with a scalpel.

The first thoracic ganglion is composed of a similar number of thickenings, which are not located alongside, but below the strands. The remaining ganglia have thickenings each downwards adjacent to the strands which in the thorax are sometimes positioned so far apart that they do not touch each other, whereas they are more closely connected in the abdomen so that just a small groove indicates their separation.

When the lower parts of the abdominal ganglia in which the cells reside, or the lateral thickening of the brain

ralibus primo et secundo paulum compressis, fibrillas nervorum inter cellulas transeuntes perspicere, interdum etiam caudas cellularum iis simillimas aspectu per spatium quater ad sexies longius ipsius cellulae diametro oculis persequi potes. Si fibrillae duae, ad ejusdem cellulae latera decurrentes, in ejus fine conveniunt, interdum te videre putas fibrillam unam circum illam cellulam reflexam; accuratius autem perlustrans, duas adesse cognosces. Ceterum in hisce locis non plures fibrillas cellulis interpositas vidi, quam quot in cellulas transire verisimile esset.

Praeter ganglia tractus abdominalis adsunt minora in plexu nervorum intestinalium. Adscendunt ad ventriculum ramus unus e margine posteriore cerebri et ramuli complures e funiculis primis, eo loco abeuntes, ubi funiculi illi oesophago adjacentes intumescunt, et paullulum massae gangliosae insitum habent. Qui nervi ubi dividuntur, non solum a toto nervo in ramum quemque, sed etiam ab altero ramo ad alterum fibrillae transeunt. Insertae sunt iis, et ubi dividuntur, et ubi simplices decurrunt, cellulae gangliosae modo singulae, modo complures, quarum caudas interdum inter fibrillas nervorum per aliquot spatium decurrentes vidi, id quod Valentin quoque depinxit. Ganglia eo modo composita fabricae maxime diversae sunt; aut enim fibrillae nerveae in latere praetereunt, aut per medium ganglion, aut per totum ejus circuitum; neque numero nervorum ex eo oriundorum, neque cellularum multitudini norma fixa adest.

durch den ersten und zweiten ein wenig zusammengedrückt worden sind, kannst du die Fasern der Nerven zwischen den Zellen hindurchgehen sehen, manchmal sogar die Fortsätze der Zellen, diesen im Aussehen sehr ähnlich, über eine Distanz, vier bis sechsmal länger als der Durchmesser der Zellen selbst, nachverfolgen. Wenn zwei Fasern, die an der Seite derselben Zelle entlang laufen, in ihrem Ende zusammentreffen, glaubst du manchmal zu sehen, dass es eine einzige Faser sei, die um jene Zelle herumgebogen ist; schaust du aber genauer hin, erkennst du, dass zwei vorhanden sind. Im Übrigen habe ich an diesen Stellen nicht viele Fasern zwischen den Zellen angeordnet gesehen, was wahrscheinlich macht, dass ebenso viele in die Zellen übergehen. Außer den Ganglien des Abdominaltrakts gibt es kleinere <Ganglien> im Nervengeflecht der Eingeweide. Ein einziger Ast verläuft hin zum Magen von dem hinteren Rand des Gehirns und mehrere kleine Äste aus den ersten Strängen, von der Stelle abgehend, wo jene Stränge, die neben dem Oesophagus liegend sich verdicken, ein wenig der Ganglienanhäufung vor sich liegen haben³⁵. Wo diese Nerven geteilt werden, gehen sie nicht nur vom ganzen Nerven in jeden Ast über, sondern auch von dem einen Ast in den anderen der Faser. Sowohl wo sie geteilt werden als auch wo sie ungeteilt verlaufen, sind in diese eingefügt bald einzelne, bald zahlreiche Ganglienzellen, deren Fortsätze ich zuweilen zwischen den Nervenfasern durch irgendeinen Zwischenraum verlaufen sah, wie dies auch Valentin gezeichnet hat. Auf diese Weise zeichnen sich die zusammengesetzten Ganglien durch einen äußerst unterschiedlichen Aufbau aus; denn entweder laufen die Nervenfasern an der Seite vorbei, oder mitten durch das Ganglion, oder einmal ganz herum, weder in der Zahl der Nerven, aus der sie hervorgehen, noch in der Vielzahl der Zellen ist eine feste Regel vorhanden.

—

are slightly squeezed by the first and the second, it is possible to see the nervous fibers passing through between the cells, sometimes even the processes of the cells, which are very similar in their appearance <to the fibers>, can be followed over a distance of up to four to six times the diameter of the cells. If two fibers are running alongside the same cell and come together at its end, you sometimes may believe that there is only one fiber bent around that cell; if you inspect it more precisely you will realize that they are two. Besides, I have actually not seen many fibers located between the cells in these areas, what would make it plausible that just as many transit into cells.

Apart from the ganglia of the abdominal tract, there are smaller ones <ganglia> associated with the nervous network of the intestines. One single branch projects to the stomach from the posterior rim of the brain and several small branches originate from the first strands, coming from that location, where those strands adjacent to the esophagus are slightly thickened, and have only a small gangliose mass in front of them³⁵. Where those nerves branch out, they do not only cross over from the entire nerve to each branch, but also from one branch of the fiber to another. In between those, either being divided into branches or being undivided, there are sometimes single, sometimes many ganglion cells inserted whose processes I could sometimes see as they run along in between the cells through any intermediate space, just like Valentin has depicted them. In that manner ganglia are characterized by quite different compositions: The nerve fibers either pass by at the side or run through the center of the ganglion or surround it entirely; neither the number of nerves from which they originate nor the variety of cells follow a fixed rule.

—

In insectorum et arachnodum gangliis et abdominalibus et organicis pauca de fabrica interna cognosci possunt ob tracheas tenuissimas per ganglia ramificantes et ob multitudinem cellularum, aliis alias obtegentibus. In erucis tantummodo parvis, quarum cellulae gangliosae pigmento fusco tinctae sunt, perspicui potest, funiculorum partem supra ganglion decurrere, ut in hirudinibus, cellulas gangliosae autem in facie inferiore et in lateribus sitas esse. Fibrillae nervorum lateralium e funiculis oriundae inter cellulas gangliosae descendunt, non ad superficiem ganglii. In insectis majoribus funiculi pellucidi ut in astacis, supra ganglia opaca transientes facile conspiciuntur, id quod Newport descripsit in libello de evolutione nervorum sphingis linguistri scripto.

**DE TOTIUS SYSTEMATIS NERVOSI
STRUCTURA.**

Nunc quidem ex hisce omnibus, quae de vertebratorum gangliis et nervis cognita habemus, concludere studeamus, qua ratione systema illorum nervosum exstructum sit.

Primum omnibus animalibus evertibratis, quae perlustrati sumus, easdem partes elementares inesse, demonstravimus, fibrillas et cellulas. Deinde in hirudinum et gasteropodum nonnullorum cerebro cellularum caudas transire in fibrillas nerveas, in astacis eas fibrillis simillimas per satis longum spatium in

Sowohl in den abdominalen als auch den organspezifischen Ganglien der Insekten und Spinnentiere konnte aufgrund der äußerst feinen Tracheen, die sich durch die Ganglien verästeln, und der Vielzahl der Zellen, die einander verdecken, nur wenig über den inneren Aufbau erkannt werden. Nur in den kleinen Raupen, deren Ganglienzellen mit einer rostroten Farbe getränkt sind, kann man erkennen, dass ein Teil der Stränge oberhalb der Ganglien verläuft, wie bei den Egel, die Ganglienzellen aber auf der unteren Oberfläche und an den Seiten positioniert sind³⁶. Die Nervenfasern, die aus den Strängen der Seiten hervorgehen, laufen zwischen den Ganglienzellen herab, nicht zur Oberfläche des Ganglions. In den größeren Insekten sind die Stränge durchscheinend wie in den Krebsen, da sie oberhalb der dunklen Ganglien verlaufen, können sie leicht betrachtet werden, wie dies Newport in seinem über die Entwicklung der Nerven im *Sphinx liguster* (Ligusterschwärmer) abgefassten Büchlein beschrieben hat.

—

ÜBER DEN AUFBAU DES GESAMTEN NERVENSYSTEMS.

—

Jetzt will ich aus all den Dingen, die ich über die Ganglien der Wirbellosen und Nerven in Erfahrung gebracht habe, versuchen eine Schlussfolgerung zu ziehen, wie das System jener Nerven prinzipiell³⁷ aufgebaut ist.

Erstens habe ich gezeigt, dass allen wirbellosen Tieren, die ich <im Detail> betrachtet habe, dieselben Grundbestandteile zu eigen sind, Fasern und Zellen. Zweitens, dass im Gehirn einiger Egel und Schnecken (*Gastropodum*) die Fortsätze der Zellen in Nervenfasern übergehen, dass in Flusskrebse diese, den Fasern äußerst ähnlich, durch einen hinreichend weiten Zwischenraum in

In the abdominal ganglia as well as in the organ-specific ganglia of insects and spiders only a few things could be understood regarding their internal composition due to the extremely fine tracheae branching throughout the ganglia, and due to the large number of cells concealing one another. Only in the small caterpillars, whose ganglia are colored rusty-red, one can observe that parts of the strands run above the ganglia, as in leeches, whereas the ganglion cells are placed at the lower surface and along the sides³⁶. The fibers of the lateral nerves that originate from strands run down<wards> between the ganglion cells and not towards the surface of the ganglion. In the larger insects, the strands are transparent, as in crayfish, so that it can be easily observed that they run along above the dark ganglia, as Newport has described in his booklet on the development of the nerves in the Privet hawk moth (*Sphinx liguster*).

—

ON THE ORGANISATION OF THE ENTIRE NERVOUS SYSTEM.

—

Now I want to draw conclusions based on all the things that I have learned about the ganglia and nerves of invertebrates, through what basic principle³⁷ their nervous system is composed.

First, I have demonstrated that all invertebrates which I have studied <in detail> have the same elemental parts, namely fibers and cells. Secondly, (I have shown) that in the brain of leeches and some snails (*Gastropodum*) the processes of the cells transit into nerve fibers and that in the crayfish, very similar to fibers, these processes transit over a sufficient distance into ganglia.

gangliis decurrere. In reliquis autem bestiis non conspeximus, quomodo fibrillae et cellulae cohaereant. Similitudine tamen partium elementarium omnium bestiarum perspecta et natura caudarum sine semper carentium, fibrillis nerveis plane pari, certo non inconsistentaneum erit concludere, omnibus in bestiis hisce fibrillas cum cellulis pari modo cohaerere. Utrum autem omnes fibrillae e cellulis oriantur, an aliae oriantur, aliae circum cellulas reflexae trans-eant, et redeant ad peripheriam, id quidem dijudicatu satis difficile est. Si numeris definire studemus, quanta sit fibrillarum copia in nervis e gangliis oriundis, quanta cellularum in gangliis ipsis hirudinum vel erucarum vel astacorum: invenimus in gangliis bis vel ter pluribus cellulis locum esse, quam fibrillis in nervis lateralibus. Nam quum in hirudine diametros gangliorum ($0,23''$) decies fere cellulas mediae magnitudinis ($0,02''$) superet, spatium cubicum illorum millies superat hasce; et quum diametros nervi cujusque ($0,03''$) fibrillis ($0,003$) aequae decies major, lumen centies majus; quum quatuor oriantur nervi, fibrillarum omnium per eos exeuntium numerus fere est quadringentarum. In astaco nervi laterales sunt octies crassiores fibrillis, gangliorum et cellularum ratio fere eadem ac in hirudinibus. Etsi tales numeri non satis certo definiendi sunt, ob diversam cellularum magnitudinem et ob formam gangliorum et cellularum non perfecte sphaericam: tamen hac ratione comprobatur, tantam cellularum co-

den Ganglien verlaufen. In den übrigen Tieren aber konnte ich nicht gewahr werden, auf welche Weise Fasern und Zellen zusammenhängen. Da die Ähnlichkeit aller grundlegenden Bausteine der Tiere deutlich gesehen wurde und die Beschaffenheit der Fortsätze, die niemals ein Ende aufweisen, den Nervenfasern nahezu gleichen, dürfte ich sicherlich nicht unpassend schlussfolgern, dass in eben all diesen Tieren die Fasern mit den Zellen in gleicher Weise zusammenhängen. Ob aber alle Fasern aus Zellen hervorgehen, oder die einen aus ihnen hervorgehen, die anderen um die Zellen herumgebogen verlaufen, und wieder in die Peripherie projizieren, ist allerdings nur schwer hinreichend zu beurteilen. Wenn wir versuchen durch Zahlen festzulegen, wie groß die Menge der aus den Zellen und Ganglien hervorgehenden Fasern ist, und wie groß <die Zahl> der Zellen in den Ganglien selbst in Egeln oder Raupen oder Krebsen ist, finden wir, dass in den Ganglien zwei- bis dreimal mehr Zellen verortet sind, als Fasern in den seitlichen Nerven. Denn wenn in Egeln der Durchmesser der Ganglien (0,23''' [0.48 mm]) die Zellen mittlerer Größe (0,02''' [40 µm]) fast um das Zehnfache übertrifft, übertrifft das Volumen eben diese um das Tausendfache; und wenn der Durchmesser jedes beliebigen Nerven (0,03''' [60 µm]) gleichermaßen zehnmal größer als die Fasern (0,003''' [6 µm]) ist, ist die Fläche hundertmal größer; wenn vier Nerven hervorgehen, ist für diese die Zahl aller hervorgehenden Fasern fast vierzig. In den Krebsen sind die seitlichen Nerven achtmal dicker als die Fasern, das Verhältnis von Ganglien und Zellen ist nahezu auch dasselbe wie in Egeln. Wenn auch derartige Zahlen nicht ausreichend sicher bestimmt werden können, aufgrund der unterschiedlichen Größe der Zellen und wegen der nicht vollkommen runden Gestalt der Ganglien und Zellen, wird dennoch durch diese Überlegung bestätigt, dass eine so große Menge an Zellen

But I did not see in the other animals, in what way fibers and cells are connected with one another. Due to the witnessed similarity of the fundamental elements of all animals and the nature of the processes, having no defined end, quite similar to nerve fibers, it should not be far off to conclude that in all these animals, fibers are connected with cells in a similar way. But whether all fibers originate from cells, or whether some originate and other just pass along bent around the cells, and project into the periphery, is indeed quite difficult to determine. If we try to establish the amount of fibers within nerves originating from ganglia, the amount of cells which reside within the ganglia themselves of leeches, caterpillars or crayfish, we will find that there are two to three times more cells than fibers in the lateral nerves. Now, since in leeches the diameter of the ganglia (0.23''' [0.48 µm]) is nearly ten times larger than the cells of average size (0.02''' [40 µm]), their volume is 1000 times larger; and since the diameter of each nerve (0.03''' [60 µm]) is ten times larger than the fiber (0.003''' [6 µm]), the surface is 100 times larger; since four nerves originate <from the ganglion>, the number of all fibers exiting is almost forty. In the crayfish, the lateral nerves are eight times thicker than the fibers and the ratio of ganglia and cells is nearly the same as in leeches. Even though these numbers can only be approximately determined, due to the varying cell size and since ganglia cells are not perfectly spherical, it still supports the conclusion that there is such a number of cells that all fibers in the four nerves could originate from them.

piam adesse, ut omnes fibrillae quatuor nervorum ex iis prodire possint.

Inveniuntur quidem fibrillae inter ipsas ganglii cellulas transeuntes, uti fasciculi in arthrozois a funiculis ad nervos laterales descendentes. In quibus autem earum bestiarum illorum viam oculis persequi possumus, non singulae fibrillae inter cellulas decurrunt, ut in vertebratorum gangliis, sed in fasciculum congregatae.

Nervorum ipsorum fabrica simplicissima, eadem ac vertebratis; descendunt enim fibrillae a partibus centralibus via recta, in fasciculos congregatae, ad corporis partes; quomodo finiuntur, aequae ac Valentin invenire non potui.

Ganglia inveniuntur simplicissima in plexibus nervorum intestinalium, ut ex iis cognosci liceat, quoniam subsit ratio fabricae eorum. Adest enim in omnibus plexus nervosus, compositus ramulis compluribus, quorum unus quisque unicuique fibrillas addit; adjacent plexui cellulae gangliosae, aut una aut complures, quarum caudae in nervorum fibrillas abeunt. E ramulo quovis igitur fibrillarum altera pars in ganglion intrans finitur, altera per ramulos reliquos omnes distribuitur, qui ad ganglia vicina decurrentes iterum dividuntur eodem modo. Ita a quoque nervo ejus plexus fibrillae ad quodque ganglion distribui possunt, eodem modo ac in vertebratorum plexibus ramus unusquisque exiens fibrillas continet rami uniuscujusque intrantis.

Gangliis centralibus systematis nervosi volunta-

vorhanden ist, dass alle Fasern der vier Nerven aus diesen hervorgehen könnten.

Man findet allerdings Fasern, die zwischen den Zellen selbst <innerhalb> des Ganglions verlaufen, <gerade> wie die Bündel in Gliedertieren von den Strängen zu den seitlichen Nerven herablaufen. In den Tieren aber, in welchen wir den Weg jener <Fasern> mit den Augen nachverfolgen können, verlaufen die Fasern zwischen den Zellen nicht einzeln, wie in den Ganglien der Wirbeltiere, sondern zusammengefasst in Bündeln.

Der grundlegende Aufbau der Nerven ist derselbe wie bei Wirbeltieren; es verlaufen nämlich die Fasern von den zentralen Teilen auf geradem Wege, in Bündeln versammelt, zu den Teilen des Körpers; auf welche Art und Weise sie abschließen, konnte ich gleichermaßen wie Valentin nicht herausfinden.

Sehr einfache Ganglien findet man in den Geflechten der Nerven des Verdauungstraktes, sodass es möglich ist, aus diesen zu erkennen, welches Grundprinzip ihrem Aufbau zugrunde liegt. Es liegt nämlich in allen <Tieren> ein Nervengeflecht vor, zusammengesetzt aus ziemlich vielen kleinen Ästen, von denen ein jeder einem jedem <anderen kleinen Ast> Fasern hinzufügt; neben diesem Geflecht liegen anbei Ganglienzellen, entweder eine einzige oder mehrere, deren Fortsätze in die Fasern der Nerven übergehen. Es endet also der eine Teil der Fasern, indem er aus einem jeden beliebigen kleinen Ast in das Ganglion eintritt, der andere wird durch alle übrigen kleinen Äste verteilt, welche zum benachbarten Ganglion herablaufend wiederum auf dieselbe Weise verteilt werden³⁸. So können von jedem Nerv des Geflechts Fasern zu jedem Ganglion verteilt werden, auf dieselbe Weise enthält auch in den Geflechten der Wirbeltiere jeder einzelne herausgehende Ast Fasern eines jeden eintretenden Astes. Den zentralen Teilen des vegetativen Nervensystems

One can find, however, fibers which run in between the ganglia themselves to the lateral nerves, just as the bundles in arthropods run downwards from the strands towards the lateral nerves. In these animals in which we can follow their path with our eyes, they do not run along as single fibers, like in the ganglia of vertebrates, but are assembled in bundles.

The basic composition of nerves is the same as in vertebrates; for the fibers descend from the central parts along a direct path, assembled in bundles, to the body parts; how they terminate, I could not find out, just like Valentin.

Very simple ganglia can be found in the meshwork of nerves at the digestive tract, which allows to recognize what basic principle underlies their composition. In all animals there is a meshwork of nerves consisting of many small branches, each of which adds fibers to the other: Adjacent to this meshwork are the cells in the ganglia, either a single one, or several, whose processes transit into the fibers of the nerves. Accordingly, for any <arbitrary> branch one part of the fibers ends by entering a ganglion, the other <part> is further distributed through all remaining branches, which by running towards the neighboring ganglia are again distributed in the exact same manner³⁸. It is thus possible that from each nerve of the meshwork, fibers can be distributed to each ganglion, in exactly the same way as each exiting branch within the meshwork of vertebrates contains fibers of each entering branch. Although the central ganglia of the vegetative nervous system

rii eadem quidem ratio inest, ordo autem magis certus, per varia bestiarum genera diversus. Illis intestinalibus simillima sunt ganglia cerebralialia molluscorum. Nervi enim corporis omnes ad fauces congregati plexum formant, quo oesophagi initium circumdatur, et cujus iis locis, ubi ramuli complures conveniunt, ganglia apposita sunt. Eo tantummodo a gangliis sympathicis differunt, quod numerus cellularum multo major, et quod certo ordine dispositae sunt, omnibus ejusdem speciei bestiis pari.

Ganglia animalium arthrozoorum fabricae magis compositae sunt, omnibus tamen aequalis. Emittunt duos plerumque nervos in utroque latere, et binos funiculos nerveos ad ganglion anterius et posterius vicinum. Funiculorum pars in omnibus supra ganglion decurrit. In astacis si haec pars a reliquo ganglio sejungitur, et ipsi funiculi in partes duas dividuntur, quarum inferior in ganglia omnia intrat, superior supra ea decurrit, et paucas tantum fibrillas in eorum quodque demittit, quas Newport in nervos transire dicit, et quibus simillimas nos in hirudinibus et erucis a funiculo et anteriore et posteriore in nervos transeuntes vidimus. Anglicus quidem ille, hac divisione inventa, funiculos superiores motorios, inferiores sensitivos esse dixit; animo autem perpendicularibus nobis, quae de ratione gangliorum exstruendorum supra explicuimus, dubium redditur, quin arte, non natura talis divisio efficiatur. Quantum enim fibrillarum viam cognoscere possumus, eandem plexuum formandorum rationem in iis reperimus. Vide-

wohnt zwar dasselbe Grundprinzip inne, ihre Anordnung aber ist durchaus gewiss, <wenn auch> in den verschiedenen Gruppen der Tiere unterschiedlich. Jenen des Verdauungstraktes sind die Gehirn-Ganglien der Weichtiere äußerst ähnlich. Denn alle Nerven des Körpers bilden am Schlund gesammelt ein Geflecht, von dem der Eingang des Oesophagus umgeben wird, und an denjenigen Stellen, wo mehrere kleine Äste zusammentreffen, sind Ganglien beigefügt. Hiervon unterscheiden sich die sympathischen Ganglien nur darin, dass die Zahl der Zellen um vieles größer, und dass sie in einer bestimmten Anordnung gesetzt sind, in allen Tieren jeder Art in gleicher Weise³⁹.

Die Ganglien der Gliedertiere haben einen eher zusammengesetzten Aufbau, in allen jedoch <ist er> gleichartig. Sie entsenden meistens zwei Nerven zu jeder der beiden Seiten, und je zwei Nervenstränge zum vorderen Ganglion und dem benachbarten hinteren <Ganglion>. In allen <Gliedertieren> verläuft ein Teil der Stränge oberhalb des Ganglions. Wenn in Krebsen eben dieser Teil vom verbleibenden Ganglion getrennt wird, werden auch die Stränge selbst in zwei Teile geteilt, von denen der untere in alle Ganglien eintritt, der obere über diesem verläuft, und nur wenige Fasern in jedes dieser projizieren, von denen Newport sagt, dass sie in Nerven übergehen, und welchen ich besonders ähnlich in Egel und Raupen sowohl von dem vorderen als auch dem hinteren Strang in Nerven übergehen gesehen habe. Jener Engländer⁴⁰ allerdings sagte, aufgrund der gefundenen Aufteilung, dass die oberen Stränge ‚motorische‘, die unteren ‚sensorische‘ sind; wenn ich aber genau abwäge, was ich zuvor über das Grundprinzip des Aufbaus von Ganglien, dargelegt habe, gerät man in Zweifel, ob durch die Präparationsmethode, nicht durch die physiologischen Gegebenheiten eine Aufteilung <in Newports Befund> verursacht wurde. Soweit ich nämlich den Weg der Fasern erkennen kann, finde ich in ihnen dasselbe Grundprinzip, Geflechte auszubilden. Ich sehe

are characterized by the very same principle, however, the arrangement is though certain, still depending on the animal species. The brain ganglia of the mollusks are very similar to ganglia of the digestive tract. All nerves of the body form a meshwork at the esophagus, surrounding it and with ganglia at the very positions, where several branches come together. The sympathetic ganglia differ only in that respect that the number of cells is much higher, and that they are arranged in a specific pattern which is the same in all animals³⁹.

The ganglia of the Arthropods (*Arthropoda*) have a more complex composition, although being generally similar <in all animals>. They mostly project to nerves laterally on both sides and in each case two to the anterior and to the posterior ganglion. In all <invertebrates> one part of the strands runs above the ganglion. If one separates this very part from the remaining ganglion in crayfish the strands themselves are also divided into two parts, of which the lower one is entering all the ganglia, the upper one running across, and projecting only a few fibers into each of them. Newport reported that they merge into nerves, to which I could also observe very similar ones in leeches and caterpillars, transitioning from the anterior as well as the posterior strands into the nerves. This <eminent> Englishman⁴⁰ noted that based on their arrangement, the upper strands are motor, the lower ones sensory. Considering, however, what I have elaborated on the basic principle of the composition of the ganglia, it is doubtful, whether this arrangement is caused rather due to the method of preparation than the physiological nature <in Newport's report>. In fact, as far as I can determine the path of the fibers, I find to always be the same basic principle to form meshwork.

mus in hirudinum gangliis a nervo quoque intrante fibrillas ad utriusque funiculi latus utrumque adscendentes; in astacis funiculorum et superiorum et inferiorum partes laterales in gangliis ita complexas, ut quaeque et alteri lateri funiculi ejusdem et lateri aequali funiculi alterius fibrillas addat. Si igitur conicimus in arthrozois systema nervosum secundum eandem rationem conformatum esse, quam reliquis evertebratis inesse cognovimus, certa autem regula ordinatum, ut cuique bestiae annulo ganglion insit, ejus annuli nervos recipiens, et ut omnes fibrillae, quae ganglion aliquod praetereant, supra illud praetereant: habemus systema nervorum, ne minime quidem abhorrens ab iis, quae de arthrozois cognita habemus. Fibrillarum enim, quae in ganglion quodque intrant, altera pars ibi finitur, altera ad reliqua ganglia transit. Transeuntium autem pars in gangliis duobus vicinis finitur, reliquae ad ganglia distantia supra illa praetereunt. Coniunctum igitur est quodque ganglion cum duobus vicinis iis fibrillis, quae ex illius nervis ad haec, et quae ex horum nervis ad illud transeunt. Quae fibrillae quum utrumque ganglion intrent, sejunctis fibrillis praetereuntibus, remanent cum gangliis. Supra ganglion autem quodque decurrunt fibrillae, quibus ganglia reliqua inter se coniunguntur; iis adjacent fibrillae supra ganglia vicina praetergressae, a distantibus in illud primum transeunt et redeunt, quae si cum iis a funiculorum partibus inferioribus sejunguntur, e fasciculis superioribus in ganglia descendere videntur. Hoc

in den Ganglien der Egel von jedem beliebigen eingehenden Nerv Fasern zu jeder Seite jeder der beide Stränge aufsteigen; in Krebsen «siehe ich», dass die seitlichen Bereiche der oberen und unteren Stränge in den Ganglien so komplex sind, dass jede Faser sowohl der anderen Seite desselben Strangs als auch der gleichen Seite des anderen Strangs hinzukommt. Wenn wir also annehmen, dass in den Gliedertieren das Nervensystem nach demselben Grundprinzip ausgebildet ist, von dem ich erkennen konnte, dass es in den übrigen Wirbellosen vorliegt, aber nach einer gewissen Regel«mäßigkeit» angeordnet «ist», dass einem jeden kleinen Segment des Tieres ein Ganglion innewohnt, das die Nerven dieses Segmentes aufnimmt, und dass alle Fasern, die an irgendeinem Ganglion vorbeilaufen, oberhalb dieses vorbeilaufen, haben wir ein Nervensystem, das sich nicht einmal geringfügigst von demjenigen, das wir bei den Gliedertieren erkannt haben, unterscheidet. Denn der eine Teil der Fasern, der in ein jedes Ganglion eintritt, endet dort, der andere geht zu den übrigen Ganglien über⁴¹. Ein Teil der übergehenden «Fasern» endet dabei in zwei benachbarten Ganglien, die übrigen gehen oberhalb jener vorbei zu weiter entfernt liegenden Ganglien. Verbunden also ist ein jedes Ganglion mit den zwei benachbarten Ganglien über diese Fasern, die aus den Nerven jenes zu diesem, und von den Nerven dieser zu jenem übergehen. Da diese Fasern in jedes Ganglion eintreten, während die «von ihnen» getrennten Fasern vorübergehen, bleiben sie bei den Ganglien. Oberhalb eines jeden Ganglions aber verlaufen Fasern, durch welche die übrigen Ganglien miteinander verbunden werden, neben diesen liegen Fasern, welche, nachdem sie oberhalb benachbarter Ganglien vorbeigegangen sind, von den entfernt«er» liegenden zu jenem ersten übergehen und zurückkehren, die, wenn sie mit diesem von den unteren Teilen der Stränge getrennt werden, von den oberen Bündeln in die Ganglien herabzulaufen scheinen. Auf diese

In the ganglia of the leeches I observed fibers of any incoming nerve ascending to each side of both strands: In crayfish «I found» that the lateral areas of the upper and lower strands in the ganglia are highly complex, so that fibers can project to the other side of the same strand as well as to the same side of the other strand. Accordingly, if we assume the nervous system of the arthropods is built based on the same basic principle, as I was able to observe in the other invertebrates, but arranged in a certain «repetitive» pattern, namely that each small segment of the animal contains a ganglion which receives the nerves of that segment and that all fibers passing by continue above the ganglion, then we find a nervous system not in the least different from the one found in arthropods. Some of the fibers entering a ganglion, terminate there, while the other fibers project to the remaining ganglia⁴¹. Thus, each ganglion is connected with the two neighboring ganglia by these fibers which project from the nerves of the first to the other, and from the other's nerves to the first. Since these fibers enter each ganglion, while the separated ones pass by, they remain with the ganglion. Above each ganglion run fibers which connect the other ganglia with one another, adjacent to fibers which, after passing by above the neighboring ganglia, will transit from the peripheral ones and return to this first one, which seem to run from the upper strands towards the ganglia, when separated together with this one «ganglion» from the lower strands.

26

igitur modo fit, ut divisione illa Newporti duo fasciculi formentur; inferior ganglia conjungens, superior supra ea decurrens et fibrillas nonnullas in ganglion quodque demittens. Quod si conjicimus, facultates diversas duabus funiculorum partibus tribuere non possumus. Utrum haec opinio vera sit, an Newporti, qui superiorem movendi, inferiorem sentiendi vi instructam putat, difficile est pro certo statuere. Ille tantummodo comparatione nervorum spinalium, duplici radice prodeuntium nititur et origine nonnullorum nervorum muscularium, qui in astacorum abdomine e superiore funiculorum facie prodeant. Experimentis in astacis vivis institutis frustra conatus sum, talem differentiam demonstrare. Funiculorum enim latus et superius et inferius acubus pupugi et ferro candenti acuto; utrumque pariter secutae sunt ingentes convulsiones bestiae totius. Neque tamen ex eo concludi potest, vim utriusque lateris eandem esse, quia alterius excitatio in gangliis vicinis in alterum facillime transfertur.

Opinione illa e reliquorum animalium evertibratorum consideratione deducta praeterea optime intelligitur, cur in animalibus iis, quorum ganglia aequalia funiculi quoque omnes aequales sint, ganglia autem majora maioribus quoque funiculis jungantur, quum e Valentini opinione, qui omnes fibrillas e cerebro descendere putat, funiculi posteriores anterioribus longe superari debeant magnitudine.

Nunc quidem, quae de evertibratorum systemate nervoso invenimus, comparemus iis, quae de verte-

Art und Weise geschieht es also, dass durch jene Aufteilung Newport's zwei Bündel gebildet werden; das untere die Ganglien verbindend, das obere über diesem verlaufend und einige Fasern in ein jedes Ganglion aussendend. Wenn wir dies annehmen, können wir den beiden Teilen der Stränge nicht unterschiedliche Funktionen zuschreiben. Ob eben diese Annahme wahr ist oder diejenige Newport's, der den oberen für mit der Bewegungskraft, den unteren mit der Wahrnehmungskraft ausgestattet hält, ist schwer mit Gewissheit zu bestimmen⁴². Jener wird nur durch den Vergleich mit den Rückenmarksnerven, durch die zweifache Wurzel der hervorgehenden <Nerven> gestützt und durch den Ursprung einiger Muskelnerven, die im Abdomen der Krebse aus der oberen Oberfläche der Stränge hervorgehen. Bei der Durchführung von Versuchen in lebenden Krebsen habe ich vergeblich versucht, einen derartigen Unterschied nachzuweisen.

Die Berührung der oberen sowohl als auch der unteren Seite der Stränge mit glühend heißen, spitzen Eisennadeln resultierte bei beiden Seiten gleichermaßen in starken <Muskel->Zuckungen des ganzen Tieres. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass die Funktion beider Seiten identisch ist, da die Stimulation der einen Seite in den benachbarten Ganglien sehr leicht auf die andere übertragen werden kann.

Aus jener Annahme, abgeleitet aus der Betrachtung der übrigen wirbellosen Tiere, lässt sich darüber hinaus besonders gut verstehen, warum in diesen Tieren, deren Ganglien gleichartig <sind>, auch alle Stränge gleichförmig sind, die größeren Ganglien aber auch mit größeren Strängen verbunden sind, da nach Valentins Ansicht, der annimmt, dass alle Fasern vom Gehirn herablaufen, die hinteren Stränge die vorderen bei weitem an Größe übertreffen müssten. Jetzt allerdings will ich, was ich über das Nervensystem der Wirbellosen in Erfahrung gebracht habe, mit den Dingen vergleichen, die wir durch Sorgfalt und Talent äußerst gelehrter Männer über die Wirbeltiere wissen.

In that manner, therefore, it happens that by this separation, performed by Newport, two bundles are formed; the lower one connecting the ganglia, the upper one running above them and sending a few fibers in each ganglion. Whether this assumption, or Newport's is true, who believes the upper one to possess a moving power, (and) the lower one a sensory power, is difficult to determine with certainty⁴². He is <in his claim> only supported by the comparison of the spinal nerves, by the two roots of the originating <nerves> and by the origin of some muscle nerves which arise from the upper surface of the strands in the abdomen of crayfish. Performing experiments on living crayfish I tried in vain to demonstrate such differences.

Touching the upper as well as the lower side of the strands with hot, sharp steel needles resulted on both sides in strong convulsions of the entire animal. From that <alone>, however, one cannot conclude that the functions on both sides are identical since the stimulation on one side can very easily be transmitted to the other side of the neighboring ganglia.

With this assumption, inferred from the observations on the remaining invertebrates, it can be understood best, why in animals with similar sized ganglia the connecting strands are of similar size too, while larger ganglia are connected by larger strands, according to Valentin's view who assumes that with all fibers descending from the brain, the upper strands must be noticeably larger than the lower ones. But now I want to compare my results from the invertebrate nervous system with the things known about the nervous system of vertebrates, carefully obtained by very wise men.

bratis virorum doctissimorum diligentia et ingenio cognita habemus. Partes elementares, quibus omnes illius systematis partes compositae sunt, in utrisque eadem inveniuntur, fibrillae et cellulae; fibrillas tantummodo dubiis illis cinereis sympathici comparandas non reperi. Fibrillae utriusque cylindricae, pellucidae, in ramos non divisae, membranam simplicem externam habentes, quae liquorem continet aëre et aqua et morte coagulandum. Coagulatio in evertibratis levior quidem, ejusdem tamen naturae. Eo autem differunt, quod fibrillae vertebratorum, ubi in partes centrales intrant, multo tenuiores fiunt, evertibratorum ejusdem ubique diametri et naturae sunt. Idem fere de cellulis gangliorum dicendum est. Sunt in utrisque massa granulosa repletae, nucleo et nucleolo instructae, differunt tantum magnitudine. Inveniuntur in utrisque caudatae et ecaudatae, forma plane pares. At quum in vertebratis ut fibrillae cellulae quoque partium centralium multo minores sint illis, quae in gangliis periphericis sitae sunt: in evertibratis et majores et minores ubique inveniuntur.

Partium periphericarum fabrica, quod eam perspicere potuimus, utrisque eadem. Nervi voluntarii evertibratorum eo tantummodo differunt, quod eorum trunci majores plexus non conformant, ut vertebratorum nervi spinales. Nervi autem intestinales reti valde complicato et in illis et in his similes sunt, cui ganglia insita. Quae ganglia eo potissimum differunt, uti Valentin demonstravit; quod in vertebra-

Die grundlegenden Bestandteile, aus denen alle Teile jenes <Nerven->Systems zusammengesetzt sind, findet man als dieselben in beiden <Gruppen>, Fasern und Zellen; nur Fasern, die mit den unbestimmten grauen des sympathischen <Systems> zu vergleichen sind, fand ich nicht. Die Fasern beider <Gruppen> sind zylindrisch, durchscheinend, nicht in Äste geteilt, besitzen eine einfache äußere Membran, die eine Flüssigkeit enthält, die durch Luft, Wasser oder beim Tod gerinnt. Die Gerinnung ist in Wirbellosen weniger ausgeprägt, dennoch von derselben <natürlichen> Beschaffenheit. Sie unterscheiden sich aber darin, dass die Fasern der Wirbeltiere, wo sie in zentrale Bereiche eintreten, um vieles feiner werden, <die> der Wirbellosen überall denselben Durchmesser und dieselbe Beschaffenheit aufweisen. Nahezu dasselbe ist über die Zellen der Ganglien zu sagen. Sie sind in beiden <Gruppen> mit einer körnigen Anhäufung gefüllt, mit Kern und Kernchen ausgestattet, unterscheiden sich nur durch ihre Größe. Man findet in beiden <Gruppen>, diejenigen mit und ohne Fortsatz, an Gestalt nahezu gleich. Aber während in den Wirbeltieren wie die Fasern auch die Zellen der zentralen Bereiche um vieles kleiner sind als jene, die in den peripheren Ganglien gelegen sind, findet man in den Wirbellosen überall sowohl größere als auch kleinere.

Der Aufbau der peripheren Bereiche, soweit wir diesen betrachten konnten, ist in beiden derselbe. Die vegetativen Nerven der Wirbellosen unterscheiden sich nur darin, dass nicht größere Stämme das Geflecht ausbilden, wie die Rückenmarksnerven der Wirbeltiere. Die intestinalen Nerven sind sowohl in jenen als auch in diesen äußerst ähnlich, mit ihrem sehr komplexen Netz, in dem die Ganglien gelegen sind. Diese Ganglien unterscheiden sich am ehesten dadurch, wie Valentin aufgezeigt hat, dass in Wirbeltieren

The fundamental elements by which all parts of the nervous system are composed, one finds in both <vertebrates and invertebrates>, fibers and cells; only, I did not find fibers which are comparable to the undetermined gray ones of the sympathetic <nervous system>. The fibers in both <vertebrates and invertebrates> are cylindrical, transparent, not divided into branches, <and> possess a simple outer membrane containing a fluid which coagulates in air, water or after death. The coagulation is less prominent in invertebrates, but still of a similar quality. They are distinct by the fact that the fibers of the vertebrates become much thinner when entering central parts, whereas the fibers of the invertebrates have the same diameter and <natural> quality throughout. Nearly the same can be stated about the cells of the ganglia. In both <vertebrates and invertebrates>, they are granulated, equipped with nucleus and nucleolus, differing only in size. In both, there are those with and without processes, nearly identical regarding appearance. Whereas in vertebrates the cells just like the fibers are smaller in the central parts compared to those in peripheral parts one can find larger and smaller ones everywhere in invertebrates.

The structure of peripheral areas is the same in both, as far as I could observe. The vegetative nerves of the invertebrates are different only regarding the fact that the larger trunks do not form a meshwork, like the spinal <cord> nerves of the vertebrates. The intestinal nerves are similar in both <groups> with their complex network in which the ganglia are imbedded. The ganglia

tis structurae magis perfectae fibrillae singulae inter cellulas transeant, in piscibus autem multis et in evertebratis in fasciculum congregatae. Oriuntur hae fibrillae in utrisque partim e partibus centralibus, partim e cellulis gangliorum prodire videntur, id quod ex evertebratis in astaco vidimus, et quod **Remak** de vertebratis conjicit, illarum processus saepe per satis longum spatium oculis persecutus.

Valentinum contra fibrillas nunquam in cellulas transeuntes, sed circum eas reflexas se vidisse dicere et in gangliis periphericis et in substantia cinerea cerebri atque medullae, neque hanc disceptationem adhuc satis certo dijudicatam esse, notum est. In tanta rerum obscuritate et incertitudine, num eo, quod evertebratis plane easdem partes elementares inesse cognovimus ac vertebratis, et quod in utrisque paria pari modo conjuncta esse verisimile sit, **Remakii** opinioni paullulum fortasse probabilitatis addatur, id viri rerum physiologicarum magis periti decernant.

Partium centralium structura in duabus hisce animalium classibus toto coelo distare videtur, si extus tantummodo eas adspicimus. In vertebratis enim eas cohaerentes videmus, compluribus lobis artissime inter se conjunctis compositas, in evertebratis separatas, diverso modo dispositas, funiculis tantummodo nerveis conjunctas. Explorata autem internae fabricae ratione, miram et inexpectatam similitudinem reperimus. **Valentini** enim studio compertum habemus, fibrillas nerveas, in partes cen-

die Fasern von eher vollendeter Struktur zwischen den Zellen einzeln verlaufen, in vielen Fischen aber und in Wirbellosen in Bündeln gesammelt sind. Es gehen diese Fasern in beiden <Gruppen> teils aus den zentralen Bereichen hervor, teils scheinen sie aus den Zellen der Ganglien hervorzugehen, was wir bei den Wirbellosen am Krebs gesehen haben, und was Remak von den Wirbeltieren behauptet, da er den Fortsatz jener häufig über einen hinreichend langen Zwischenraum mit den Augen verfolgt hat. Es ist bekannt, dass Valentin dagegen aussagt, er habe die Fasern niemals in Zellen übergehen, sondern sie sowohl in den peripheren Ganglien als auch in der grauen Substanz des Gehirns und des Rückenmarks herumgebogen gesehen, und auch dass diese Streitfrage bisher nicht mit ausreichender Sicherheit entschieden wurde. Ob, in so großer Unklarheit und Unsicherheit der Dinge, dadurch, dass ich erkannt habe, dass nahezu dieselben grundlegenden Bausteine in den Wirbellosen und Wirbeltieren vorhanden sind, und dass wahrscheinlich in beiden gleiches auf gleiche Weise verbunden ist, die Annahme Remaks etwas wahrscheinlicher gemacht wird, mögen die Männer, die eher im Gebiet der Physiologie erfahren sind, entscheiden⁴³.

Die Struktur der zentralen Teile scheinen in diesen beiden Ordnungen der Tiere himmelweit auseinanderzustehen, wenn wir sie nur von außen betrachten. Denn in Wirbeltieren sehen wir sie als zusammenhängend, aus mehreren eng miteinander verbundenen Verdickungen zusammengesetzt, in Wirbellosen als getrennt, auf unterschiedliche Weise verteilt, nur durch Nervenstränge verbunden. Durch die Erforschung des Grundprinzips ihres inneren Aufbaus finden wir eine wunderbare und unerwartete Ähnlichkeit. Denn durch die Untersuchung Valentins haben wir erfahren, dass die Nervenfasern, die in die zentralen Teile

are different for the most part in this one aspect, as Valentin has demonstrated: namely, that the fibers run isolated in more perfect structure between cells, while in many fish and invertebrates they are assembled in bundles. In both <groups> the fibers originate in part from central areas, in part seemingly from the cells of the ganglia, as I have observed for invertebrates in (the section of) crayfish, and what Remak has stated for the vertebrates, since he could follow processes with his own eyes over considerable distances. It is <generally> known, that Valentin states contrarily that he has not seen fibers ever transiting into cells, but bent around them in peripheral ganglia as well as in the gray substance of the brain, and that this controversial statement has not been resolved with certainty until now.

Whether, with all uncertainty and ambiguity of things, through my findings that nearly the same fundamental elements are present in vertebrates and invertebrates alike, and that the same probably coheres in the same manner in both <groups>, supports the assumption of Remak in its plausibility, is for those men more experienced in the field of physiology⁴³ to decide.

The structures of the central parts seem to be fundamentally different in these two groups of animals, if we only look at them from the outside. Since in vertebrates we see them being connected, composed of several strongly linked thickenings, in the invertebrates however <we see them> separated, unevenly distributed, connected only by nerve strands. By analyzing the fundamental principle of their internal composition, we find wondrous and unexpected similarity. Based on the studies of Valentin, we have learned that nerve fibers entering into central parts

trales ingressas in plexum distribui ita, ut fasciculi fibrillarum singuli, vaginis telae conjunctivae separati, ab omnibus vicinis fibrillas alias recipiant, alias iis reddant, neque uno solum loco, sed per totam viam, per quam ad materiam cineream adscendant. Quales igitur in evertibratis plexus inter centrorum complurium nervos invenimus, tales in vertebratis inter fibrillas nerveas unum centrum intrantes non desunt. Itaque si lobos cerebri vertebratorum sejungi, imaginariis, plane eandem structuram habebis, quam in evertibratis perspeximus; si evertibratorum ganglia, quomodo in unam massam coalescant, persequeris, systema nervosum componi videbis, ut Mueller edocuit, vertebratis simillimum. Et si singulas eorum partes comparare vis, gangliorum partes inferiores, in astacis et insectis opacae, in molluscis nonnullis rubrae, substantiae cinereae, funiculorum autem massa pellucida albae cerebri vertebratorum similes sunt.

LITERATURA.

- Newport, on the evolution of the nervous system of sphinx ligustri, in: Philosophical Transactions, London 1834. pag. 2.
 Ehrenberg, Beobachtung einer bisher unerkannten Structur des Seelenorgans. Berlin 1836.
 Valentin, Ueber den Verlauf und die letzten Enden der Nerven, in: Nova acta acad. Caes. Carol. Leop. vol. XVIII p. 1.
-

eindringen, so in dem Geflecht verteilt sind, dass die einzelnen Bündel der Fasern, durch Furchen des verbindenden Gewebes getrennt, von allen benachbarten die einen Fasern aufnehmen, die anderen diesen zurückgeben, und nicht nur an einer einzigen Stelle, sondern über den ganzen Weg hinweg, über den sie zur grauen Substanz hinaufsteigen. Wie wir also in den Wirbellosen Geflechte zwischen den Nerven mehrerer zentraler <Teile> finden, fehlen solche in den Wirbeltieren zwischen den Nervenfasern, die in ein Zentrum hineintreten, durchaus nicht.

Wenn du dir daher vorstellst, die Gehirnlappen der Wirbeltiere zu trennen, dann wirst du nahezu dieselbe Struktur haben, die wir in den Wirbellosen betrachtet haben; wenn du die Ganglien der Wirbellosen nachverfolgst, auf welche Weise sie in eine einzige Anhäufung zusammenwachsen, wirst du sehen, dass ihr Nervensystem, wie Mueller lehrte, den Wirbeltieren äußerst ähnlich zusammengesetzt wird. Und wenn du die einzelnen Teile dieser vergleichen willst, sind die unteren Teile der Ganglien, in Krebsen und Insekten dunkel, in einigen Weichtieren rot, der grauen Substanz, die durchscheinende Anhäufung der Stränge aber der weißen <Substanz> des Gehirns der Wirbeltiere ähnlich.

LITERATUR⁴⁴

- Newport, „On the Evolution of the Nervous System of *Sphinx ligustri*, in: *Philosophical Transactions*“, London 1834, p.2.
 Ehrenberg, *Beobachtung einer bisher unbekanntten Struktur des Seelenorgans*. Berlin 1836.
 Valentin, „Ueber den Verlauf und die letzten Enden des Nerven“, in: *Nova acta acad. Caes. Carol. Leop.* Vol XVIII, p.1.

are distributed within the meshwork in such manner that the single fiber strands, separated by the grooves of connective tissue, receive fibers from all the neighboring ones whilst sending back others to them, not only at one point, but along the entire path while projecting to the grey substance. Hence, as we find in invertebrates, networks between the nerves of several central parts, they are also present in vertebrates between the nervous fibers entering into one center <meaning: the brain/cerebrum>.

Accordingly, if you imagine separating the lobes in vertebrates, then you will have an almost identical structure like those observed in vertebrates. If you follow how the ganglia of invertebrates merge into one single accumulation, then you will recognize, that their nervous system, as Mueller teaches, is composed very similarly to that of the vertebrates. And, if you want to compare the different parts, then the lower parts of the ganglia, dark in crayfish and insects, red in some mollusks, are similar to the grey matter, but the transparent accumulation of the strands is similar to the white matter of the brain of vertebrates.

LITERATURE⁴⁴

- Newport, „On the Evolution of the Nervous System of *Sphinx ligustri*, in: *Philosophical Transactions*“, London 1834, p.2.
 Ehrenberg, *Beobachtung einer bisher unbekanntten Struktur des Seelenorgans*. Berlin 1836.
 Valentin, „Ueber den Verlauf und die letzten Enden des Nerven“, in: *Nova acta acad. Caes. Carol. Leop.* Vol XVIII, p.1.

V I T A.

Arminius Ludovicus Ferdinandus Helmholtz natus sum Postampii pridie a cal. Sept. anni MDCCCXXI. patre Ferdinando, professore gymnasii Postampiensis, matre Carolina e gente Penne, quos parentes Deus optimus maximus vivos mihi salvosque ad haec usque tempora servavit. Postquam primis litterarum initiis in schola seminarii imbutus eram, gymnasium patriae urbis per octo annos et dimidium frequentavi, quod per illud tempus directorum primum Blume tum Rigler auspiciis florebat. Testimonio maturitatis instructus a. MDCCCXXXVIII mense Octobri civibus instituti medico-chirurgici Friderico-Guilelmiani adscriptus sum, et per quadriennium hisce interfui scholis: Cel. Beneke de logice et psychologia; Cel. Preuss de historia; Cel. Dove et Cel. Turte de physice; Ill. Mitscherlich de chemia et theoretica et organica; Ill. Link

LEBENS LAUF

Ich wurde als Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz in Potsdam am 31. August 1821 geboren. Mein Vater ist Ferdinand, Professor am Gymnasium in Potsdam, Meine Mutter Caroline aus der Familie Penne, die mir der allmächtige Gott als Eltern bis zu diesem Zeitpunkt lebendig und gesund erhalten hat. Nachdem ich in den Grundlagen der Literatur im Schulunterricht ausgebildet wurde, besuchte ich das Gymnasium meiner Vaterstadt für achteinhalb Jahre, das zu dieser Zeit unter der vorausschauenden Führung erst des Direktors Blume und dann <des Direktors> Rigler florierte. Mit dem Matura-Zeugnis ausgestattet, schrieb ich mich im Jahre 1838 im Oktober in der medizinisch-chirurgischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität ein, und nahm für vier Jahre an folgenden Lehrveranstaltungen teil: Der weitbekannte Beneke über Logik und Psychologie; der weitbekannte Preuss über Geschichte; die weitbekannten Dove und Turte über Physik, der weitberühmte Mitscherlich über sowohl anorganische als auch organische Chemie; der weitberühmte Link

CURRICULUM VITAE

I was born as Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz in Potsdam on August 31, 1821. My father is Ferdinand, professor at the Gymnasium in Potsdam, my mother Caroline from the Penne family, both of whom the almighty God preserved alive and healthy up to that point in time (and) to my great benefit. After I was educated in the basic knowledge of literature in my school lessons, I attended the Gymnasium of my hometown for eight and a half years, which flourished at this time first under director Blume and then under director Rigler. Provided with my final school certificate, I entered the medical-surgical faculty of the Friedrich Wilhelm University in October 1838. I attend in the subsequent four years the following courses: The illustrious Beneke on logic and psychology, the illustrious Preuss on history, the illustrious Dove and Turte on physics, the illustrious Mitscherlich on anorganic as well as organic chemistry, the illustrious Link

de botanice et historia naturali; Ill. Hecker de encyclopaedia medica, de medicinae historia, de Celsi libris; Ill. Schlemm de osteologia, syndesmologia, splanchnologia; Ill. Mueller de anatomia universa et comparata et pathologica et de physiologia; Exp. Reichert de evolutionis historia; Ill. Ehrenberg de infusoriis; Cel. Eck de physiologia, pathologia, semiotice, therapia generali; Cel. Mitscherlich de materia medica; Beat. Osann de fontibus medicatis, de auxilio in repentinis vitae periculis afferendo; Ill. Schoenlein de pathologia et therapia speciali; Ill. Horn de morbis syphiliticis; Ill. Casper de arte formulas rite concinnandi, de medicina forensi; Cel. Kluge de arte fascias rite imponendi, de fracturis et luxationibus, de chirurgia generali, de arte obstetricia, ejusque et Cel. Froriep de akiurgia; Ill. Juengken de chirurgia speciali.

In arte cadavera rite secandi duces mihi fuere Ill. Mueller et Schlemm. Exercitationibus clinicis medicis, chirurgicis, obstetriciis, ophthalmiatricis, medico-forensibus interfui virorum Ill. et Cel. Diefenbach, Schoenlein, Juengken, Wolff, Kluge, Kranichfeld, Romberg, Wagner.

Quibus viris omnibus summopere de me meritis gratias maximas ago semperque habebo.

über Botanik und Naturgeschichte; der weitberühmte Hecker über medizinische Enzyklopädie, Medizingeschichte, über die Bücher des Celsus; der weitberühmte Schlemm über Osteologie, Syndesmologie, Splanchnologie; der weitberühmte Müller über die allgemeine, vergleichende, pathologische Anatomie und über Physiologie; der äußerst erfahrene Reichert über die Evolutionsgeschichte; der weitberühmte Ehrenberg über wasserlebende Einzeller (*Infusoria*); der weitbekannte Eck über Physiologie, Pathologie, Semiotic, Allgemeine Heilkunde; der weitbekannte Mitscherlich über *materia medica*; der selige/verstorbene (*beatus*) Osann über Heilbrunnen, über Beschaffung von Hilfe in plötzlicher Lebensgefahr; der weitberühmte Schönlein über Pathologie und besondere Heilkunde; der weitberühmte Horn über Syphilis; der weitberühmte Casper über die Kunst, Formeln richtig zusammenzustellen, über forensische Medizin; der weitbekannte Kluge über die Kunst, Verbände richtig anzulegen, über Brüche und Luxationen (*luxationibus*), über allgemeine Chirurgie, über die Hebammenkunst, der weitbekannte Froriep über die Operationslehre, der weitberühmte Juengken über besondere Chirurgie.

In der Kunst, Leichen richtig zu sezieren waren mir der weitberühmte Müller und Schlemm Anleiter. Ich wohnte den Übungen der klinischen Medizin, der Chirurgie, Hebammenkunde, Augenheilkunde, sowie der forensischen Medizin der weitberühmten und bekannten Männer Dieffenbach, Schönlein, Juengken, Wolff, Kluge, Kranichfeld, Romberg, Wagner bei.

All diesen Männer, die sich mit der größtmöglichen Mühe um mich verdient gemacht haben, danke ich herzlich und werde ich immer dankbar sein.

on botany and natural history, the illustrious Hecker on medical encyclopedia, medical history and on the books of Celsus, the illustrious Schlemm on osteology, syndesmology, splanchnology, the illustrious Müller on general, comparative and pathologic anatomy and physiology, the highly experienced Reichert on evolution history, the well-known Ehrenberg on water protozoa (*infusoria*), the illustrious Eck on physiology, pathology, semiotic and general medicine, the illustrious Mitscherlich on *materia medica*, the deceased Osann on mineral springs, and the organization of help in sudden danger of life, the illustrious Schönlein on pathology and specialized medicine, the illustrious Horn on syphilis, the illustrious Casper on the art to assemble formula and forensic medicine, the illustrious Kluge on the art to bandage and on fractions and luxationibus, on general surgery, on midwifery, the illustrious Froriep on the art of surgery, the illustrious Juengken on special surgery.

I was introduced by Müller and Schlemm into the art of dissection. I attended practical courses on clinical medicine, surgery, midwifery, ophthalmology as well as forensic medicine under the eminent men Dieffenbach, Schönlein, Juengken, Wolff, Kluge, Kranichfeld, Romberg, Wagner.

I thank heartfully and will always be grateful to these men which served me with their best effort.

P

Absoluto quadriennio, chirurgi inferioris munera
ad nosocomio caritatis mense Octobri h. a.

Nunc vero spero fore, ut tentamine philosophico
et medico et examine rigoroso rite superato, summi
in medicina et chirurgia honores in me conferantur.

T H E S E S.

1. Ut succus uvarum in calore idoneo abeat in fermentationem vinosam, oxygenii solius vis non sufficit.
2. Nulla est naturae vis sanandi propria, sed e morbo ipso pendet, utrum naturae viribus aut sanitas aut mors afferatur.
3. E varicum operationibus sola periculo caret compressio in plica cutis effecta secundum **Breschet**.
4. Sunt febres, ex affectione locali non exortae.

Nach der Vollendung des vierjährigen Studiums (*quadriennio*), habe ich die Stelle eines niederen Chirurgen in dem Krankenhaus Charité im Oktober dieses Jahrs angetreten.

Jetzt aber hoffe ich, dass nach rechtmäßiger Bewältigung der philosophischen und medizinischen Vorprüfung und des Rigorosums, mir die höchsten Ehren der Medizin und Chirurgie übertragen werden.

—

THESEN

1. Damit der Traubensaft bei geeigneter Wärme in die Weingärung übergeht, reicht die Kraft des Sauerstoffs alleine nicht aus.
2. Keine heilende Kraft ist der Natur zu eigen, sondern von der Krankheit selbst hängt es ab, ob durch die Kräfte der Natur entweder Heilung oder Tod herbeigeführt wird.
3. Von den Behandlungen von Krampfadern entbehrt allein die auf die Hautfalte aufgetragene Kompression der Gefahr, nach Breschet.
4. Es gibt Fieber, die nicht aus einer örtlichen Einwirkung heraus entstehen.

After completing my four-year study (*quadriennio*) I have started a position as beginner surgeon in the hospital Charité in October of this year.

Now I hope that after completing my philosophical and medical pre-exam (*tentamen*) and rigorosum, I will acquire the highest honor in medicine and surgery.

—

THESES

1. The energy of the oxygen is not sufficient for the transition of the grape juice at appropriate temperature to wine fermentation.
2. Nature itself does not possess a healing power, but it depends on the disease itself whether due to the power of nature the result is healing or death.
3. For the treatment of varicose veins only the compression of the skin fold lacks any danger, according to Breschet.
4. There are types of fever, which do not originate from a local impact.

Kommentare

- ¹ Auf dem Titelblatt der Dissertationsschrift findet sich der Vermerk „zur gewohnten Zeit, am gewohnten Ort“ in der gängigen Abkürzung H.L.Q.S. (*hora/is locisque solitis*). Sie findet sich standardmäßig auf zahlreichen Drucken von Inauguraldissertationen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts.
- ² *Typis Nietack(ianis)* findet sich auf zahlreichen Dissertationsschriften der Zeit als Verweis auf den Berliner Drucker Johann Ferdinand Nietack (1817–1854). Nietack druckte zahlreiche Dissertationsschriften. Im Gegensatz zu anderen Berliner Druckern der Zeit, wie etwa G. Reimer oder Gustav Schade, ist bei ihm eine Spezialisierung auf wissenschaftliche Schriften und Drucke nicht belegt. Ein Vergleich der verschiedenen Druckereien und der dort gefertigten Dissertationsschriften bezüglich der Stilelemente wie Zeichnungen und Fußnoten wäre ein interessantes Forschungsthema.
- ³ Der ursprüngliche Brandenburgische Roter-Adler-Orden wurde ab 1810 als Preußischer Roter-Adler-Orden vergeben, im Laufe des 19. Jahrhunderts veränderte sich die Anzahl der Klassen auf vier und die Aufstiegsregeln dieses Verdienstordens. Schneider (1857) beschreibt ihn als eine Art allgemeinen Verdienstorden.
- ⁴ Alle hier aufgeführten Titel – nahezu im gleichen Wortlaut – sowie alle unter „usw. usw.“ zusammengefassten Mitgliedschaften finden sich in der Widmung der Dissertationsschrift von Wilhelm Busch (Berlin: bei Gustav Schade 1848).
- ⁵ Die Klammersetzung () entspricht dem lateinischen Originaltext. Ergänzungen zum besseren Verständnis des Textes wurden in der Übersetzung mit den Klammern <> gekennzeichnet, Umrechnungen von Maßen mit eckigen Klammern [].

Comments

- ¹ On the title page of the thesis there is the remark „At the usual time and place“, commonly abbreviated as H.L.Q.S. (*hora/is locisque solitis*). This abbreviation can be commonly found on numerous prints of dissertations in the first half of the 19th century.
- ² *Typis Nietack(ianis)* is found on many printed dissertations of that time as a reference to the Berlin print shop of Johann Ferdinand Nietack (1817 – 1854). Nietack printed numerous theses. Contrary to other contemporary printers in Berlin, like G. Reimer or G. Schade, a specialization in scientific writings and prints is not evident. A comparison between the different dissertations printed at the different printshops with respect to the style of drawings and footnotes would be a novel research topic.
- ³ The original Brandenburgische Roter-Adler-Orden (Brandenburg Red Eagle decoration) was renamed in 1810 to Preußischer Roter-Adler-Orden (Prussian Red Eagle decoration). During the 19th century the classes extended to four and changed the rules of promotion. Schneider (1857) describes the decoration as being obtained for more general merits.
- ⁴ All titles are found in identical wording and with all summarized memberships under „etc. etc.“ in the thesis of Wilhelm Busch (Berlin: Gustav Schade 1848).
- ⁵ The usage of parentheses () corresponds to the original text. Usually, we put the words added for a better understanding of the text into parenthesis <>, while recalculated measures were placed in brackets [].
- ⁶ We only changed the punctuation of the translation when it undermined the actual syntax. Only rarely we separated sen-

- ⁶ Die Interpunktion in der Übersetzung wurde nur dort geändert, wo sie für den heutigen Leser sinnstörend den lateinischen Satzbau überlagert oder selten um dem Gedankengang des Autors gerecht zu werden.
- ⁷ In der direkten Übersetzung bezeichnet Helmholtz diese Strukturen als Kügelchen, er beschreibt aber eindeutig die Zellkörper in den Ganglien. Wir haben der Einfachheit halber den Begriff der Zelle hier eingeführt. Der Begriff Nervenzelle oder Neuron wäre an dieser Stelle nicht korrekt, denn auch das Nervensystem der Invertebraten besteht sowohl aus Nervenzellen als auch aus Gliazellen. Die Gliazellen wurden aber erst 1856 von Rudolf Virchow als eigene Zellgruppe im Nervensystem definiert.
- ⁸ Helmholtz verwendet das in Preußen geläufige Längenmaß der Preußischen Linie, die 2,179 mm entspricht.
- ⁹ Helmholtz benutzt für die länglichen Strukturen, die er unter dem Mikroskop sehen kann, verschiedene Begrifflichkeiten: Fadenwerke oder Filamente (*filamenta*), Faden (*filus*), Faser (*fibrilla*) und Strang (*funiculus*). Dabei verwendet er diese Begriffe aber nicht durchgehend für die gleichen Strukturen. Im Einzelnen kann daher mitunter nicht klar zugeordnet werden, welche Strukturen er damit bezeichnen möchte. Dementsprechend bleiben wir, sofern es sich nicht deutlich zuordnen lässt, bei den von Helmholtz verwendeten Begrifflichkeiten. Es scheint aber, dass er die einzelnen Begriffe benutzt, je nachdem, mit welchem Durchmesser sich ihm die beobachteten Strukturen präsentieren.
- ¹⁰ Er beschreibt hier das Bindegewebe.
- ¹¹ Das ist eine interessante und korrekte Beobachtung, denn so gelingt es beim Flusskrebs, einzelne Fasern (Axone) zu separieren und dann zu stimulieren.
- tences for better understanding of Helmholtz' sequence of arguments.
- ⁷ In the direct translation Helmholtz describes these structures as globules, but it is obvious that he described cell bodies in the ganglia. We decided to use the term cell. The term nerve cell or neuron would not be correct, since the nervous system, also of invertebrates, is composed of nerve cells and glial cells. The glial cells, however, were introduced by Rudolf Virchow in 1856.
- ⁸ Helmholtz used as dimension the Prussian line commonly used in Berlin which denotes 2.179 mm.
- ⁹ Helmholtz uses different terms for the structures which he identified under the microscope: filaments (*filaments*), thread (*filus*), fiber (*fibrilla*) and strand (*funiculus*). However, he does not use them consistently for the same structures. It is therefore very difficult or even sometimes not possible to infer, what kind of structure he actually described. Accordingly, we used the translation of the original terms, whenever it was not clear what he referred to. It seems, however, that he uses the terms in accordance with the diameter of the observed structures.
- ¹⁰ He describes connective tissue.
- ¹¹ This is an interesting and precise observation since by that procedure one can isolate and stimulate individual fibers (axons).

- ¹² Helmholtz spricht seinen Leser direkt an („Wenn du“, zweite Person Singular). Er erklärt seine Vorgehensweise bei den Experimenten Schritt für Schritt und lässt den Leser so direkt bei seinen Experimenten über die Schulter schauen. Im Futur („du wirst sehen“) beschreibt er dann die zu erwartenden Beobachtungen.
- ¹³ Er beschreibt hier wahrscheinlich die extrazelluläre Matrix.
- ¹⁴ Das Kernchen wird in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur als Nucleolus bezeichnet.
- ¹⁵ Alter lateinischer Name für Flussperlmuschel, heute *Margaritifera margaritifera*
- ¹⁶ Alter lateinischer Name für Große Schwarze Wegschnecke, heute *Arion ater* L.
- ¹⁷ Alter lateinischer Name für Gemeiner Mistkäfer, heute *Geotrupes stercorarius*
- ¹⁸ Alter lateinischer Name für Hauswinkelspinne, heute *Tegenaria domestica*
- ¹⁹ Helmholtz nutzt den Pluralis majestatis („wir“ anstelle von „ich“) für einen formelleren, gewichtigeren Ton im lateinischen Originaltext. Dies geschieht an nur wenigen Stellen: jeweils am Beginn der größeren, auch durch Überschriften gekennzeichneten Abschnitte der Arbeit sowie in der Abschlussdiskussion an den Stellen, an denen er seine Erkenntnisse besonders betont. Für die Übersetzung haben wir das einfache „ich“ beibehalten, da die Bedeutung dieser Passagen bereits durch ihren formalisierten und ritualisierten Beiklang deutlich wird.
- ²⁰ Alter lateinischer Name für Posthornschnecke, neu *Planorbarius corneus*
- ²¹ Das ist eine sehr gute Beschreibung dieses Nervensystems, und tatsächlich sind die Somata der Neurone rötlich gefärbt.
- ¹² Helmholtz directly approaches his reader („If you“, second person singular address) and takes him along to look over his shoulder while following the single steps of the experiment. Using the future tense („you will see“), Helmholtz then describes the expected observations.
- ¹³ He probably describes the extracellular matrix.
- ¹⁴ Here the nucleolus is described,
- ¹⁵ Old latin name for fresh water pearl mussel, today *Margaritifera margaritifera*
- ¹⁶ Old latin name for giant slug, today *Arion ater* L.
- ¹⁷ Old latin name for dung beetle, today *Geotrupes stercorarius*
- ¹⁸ Old latin name for house spider, today *Tegenaria domestica*
- ¹⁹ In his Latin text, Helmholtz uses the Pluralis majestatis (we instead of I) for a stronger emphasis and a more momentous tone in the Latin text, deploying it only in a few passages, each time at the beginning of chapters or in the final discussion to highlight his observations and the importance of his findings. For the translation, we kept the single ‚I‘, since the gravity is already expressed by the formalized and ritualized manner of these passages.
- ²⁰ Old latin name for great pond snail, now *Planorbarius corneus*
- ²¹ This is a precise description of that nervous system and indeed the somata are colored in red.

- ²² Gemeint sind hier die später auch als solche beschriebenen Furchen. In diesem ersten Abschnitt gibt Helmholtz aber zunächst einfach den visuellen Befund deskriptiv wieder und spricht von dunklen Linien (*lineis obscuris*).
- ²³ Diese Stränge werden heute als Konnektive bezeichnet.
- ²⁴ Die Ganglien sind symmetrisch paarweise angeordnet.
- ²⁵ Im Originaltext steht wieder „Linien“ (*illas lineas obscuras*), (siehe Kommenar 22).
- ²⁶ Diesen Satz haben wir, der besseren Lesbarkeit wegen, durch die Parenthese unterbrochen, anstatt die Nebensätze nacheinander anzureihen.
- ²⁷ Im lateinischen Originaltext steht etwas ausführlicher: [...] *medium ganglion ingressa, spatia seperata intrat* („[...] nachdem sie in das Zentrum des Ganglions eingetreten sind, treten sie in die getrennten Zwischenräume ein“). Wir haben diese Formulierung für die Lesbarkeit zusammengefasst. Diese wie viele andere Stellen zeigt, dass Helmholtz in der lateinischen Formulierung gezielt genau den visuellen Eindruck nachzeichnet. Dabei nutzt er die verschiedenen Verbalformen (Infinitive, Partizipien etc.) und Nebensätze, um präzise die zeitliche Abfolge seiner Beobachtungen aufzuzeichnen.
- ²⁸ In *lumbricis, julis, oniscis*: Neben Regenwürmern und Landasseln zählt Helmholtz eine dritte Gruppe auf (*julis*), deren lateinische Bezeichnung jedoch nicht klar zuzuordnen ist. Sehr wahrscheinlich sind die Julidae, eine Familie der Tausendfüßler gemeint, die zu den Gliedertieren (Arthropoda) gehören.
- ²⁹ Der Regenwurm, *Lumbricus terrestris*, ist hier sicher gemeint. Die Mauerassel, *Oniscus asseus*, ist ein Vertreter der Landasseln (*Oniscidae*). Die Zusammenstellung
- ²² Here he refers to the grooves as he later termed them. He describes them as dark lines based on his visual impression (*lineis obscuris*).
- ²³ Today the bundles are termed connectives.
- ²⁴ The paired ganglia are symmetrical.
- ²⁵ The original text refers again to lines as commented in 22.
- ²⁶ For a better understanding, we have separated the original long sentence by a parenthesis instead of strictly lining up the subordinate clauses.
- ²⁷ The Latin expression goes more into detail regarding the different ‚stations‘ Helmholtz notes while following the strand: ... *medium ganglion ingressa, spatia separata intrat* („after entering into the ganglion’s center, they enter the separated compartments“). We have summarized this part for an easier reading. It shows, as many other examples, that Helmholtz meticulously describes the visual impressions, using the various verbal forms and subjunctions to precisely follow the temporal order of his encounters.
- ²⁸ “In *lumbricis, julis, oniscis*”: Besides earthworms and woodlice Helmholtz lists a third group (*Julis*) which we can not clearly identify. Most likely he means the Julidae, a family of millipeds which belong to the arthropods.
- ²⁹ He is likely referring to the common earthworm (*Lumbricus terrestris*) and the woodlouse (*Oniscus asseus*). From a zoological perspective, the combination of earthworms and woodlice corresponds to the knowledge then available where arthropods and annelids were combined as articulates. Today, this is outdated as the arthropods belong to the Ecdysozoa

- von Regenwürmern und Landasseln entspricht dem damaligen Kenntnisstand, bei dem Gliedertiere (Arthropoda) und Ringelwürmer (Annelida) als Articulata zusammengefaßt wurden. Diese Vorstellung besteht heute so nicht mehr, denn die Arthropoda gehören zu den Ecdysozoa (Tiere mit Häutungen) und die Anneliden zu den Lophotrochozoa (Tiere mit Trochophora-Larve).
- ³⁰ Damit meint Helmholtz wohl das Unterschlundganglion/Suboesophagealganglion.
- ³¹ Das sind die Ganglien, welche die Schere (*Chela*) und die Laufbeinpaare innervieren.
- ³² Hier sind wahrscheinlich die Konnektive gemeint.
- ³³ Die vom terminalen Abdominalganglion abgehenden Nerven innervieren das Telson, das heißt die Schwanzanhänge.
- ³⁴ Es ist unklar, was er als Hörnerven definiert, denn es gibt kein Äquivalent zum Vertebraten-Hörnerven. Vermutlich ist der Nerv zum Gleichgewichtsorgan, dem Statolithen an der Basis der Antenne, gemeint.
- ³⁵ Er beschreibt hier das stomatogastrische Ganglion, das den Magen innerviert und kontrolliert.
- ³⁶ Damit ist sicher gemeint, dass die Zellkörper alle ventro-lateral (unten und zur Seite) liegen und sich dorsal (an der Oberseite) sehr viele durchziehende Fasertrakte befinden. In jedem Ganglion spalten sich die Konnektive in bestimmte Fasertrakte auf.
- ³⁷ Der lateinische Begriff *ratio* ist in seiner Bedeutungsspanne unglaublich weit gefächert. In Helmholtz' Dissertationsschrift wird er zu einem Kernbegriff seiner Untersuchung und der Beschreibung des zugrunde liegenden Schemas des Nervensystems und seiner einzelnen Bestandteile. Er lässt sich am besten als „Grundprinzip“ übersetzen.
- (animals which moult) and the annelids to the Lophotrochozoa (animals with a trochophore larva).
- ³⁰ Helmholtz refers to the subesophageal ganglion
- ³¹ These are the ganglia which innervate the claws and the legs.
- ³² This most likely refers to the connectives.
- ³³ The nerves originating from the terminal abdominal ganglion innervate the tail appendages.
- ³⁴ It is not clear what he defines as auditory nerve since in the crayfish there is no equivalent to the one found in vertebrates. He probably described the nerve innervating the statocysts, the equilibrium organ which is based close to the antenna
- ³⁵ He describes the stomatogastric ganglion which innervates and controls the stomach.
- ³⁶ He refers to the fact that the cell bodies are based ventro-lateral (at the bottom and at the side) and on the dorsal (upper) side there are fiber tracts. In each ganglion the connectives divide into defined fiber tracts.
- ³⁷ The latin term 'ratio' has a broad range of meanings. In Helmholtz thesis it is a central term for his entire enquiry, describing the basic scheme/design of the nervous system and its individual parts. It can be best translated as „basic principle“.
- ³⁸ Here he describes the enteric nervous system which is similarly organized in vertebrates.
- ³⁹ That is well observed too. The mouth and the digestive tract are innervated from

- ³⁸ Hier wird das „enterische“ Nervensystem beschrieben, das bei Wirbeltieren genauso organisiert ist.
- ³⁹ Auch das ist richtig beobachtet: Der Schlund und der Verdauungstrakt werden durch kleine Ganglien versorgt, bei Insekten zum Beispiel durch das Frontalganglion.
- ⁴⁰ Gemeint ist Newport.
- ⁴¹ Interessant, dass er eine Gemeinsamkeit selbst im Grundaufbau des zentralen Nervensystems (der Ganglien) in allen wirbellosen Tieren sieht: ventral liegende Zellkörper, dorsal verlaufende Fasertrakte und innerhalb des Ganglions Fasertrakte (Stränge), welche die dorsale und ventrale Hälfte eines Ganglions verbinden.
- ⁴² Das ist möglicherweise schon ein Hinweis darauf, dass es innerhalb eines solchen Ganglions sensorische Bereiche gibt (sensorische Neuropile), in denen die sensorische Information verarbeitet wird, und motorische Bereiche, die für die Bewegungssteuerung verantwortlich sind.
- ⁴³ Interessant ist hier die Andeutung, dass neben anatomisch-morphologischen Ähnlichkeiten möglicherweise auch Ähnlichkeiten in der Physiologie, der Funktion, bestehen müssten.
- ⁴⁴ Die Literaturangaben am Ende der Dissertationsschrift sind zum Teil ungenau, etwa die Angabe der Seitenzahlen bei Valentin. Gänzlich fehlt die in der Abschlussdiskussion benannte Schrift seines Kollegen Remak: Remak, *Observationes anatomicae et microscopicae de systematis nervosi structura*, Berlin 1838.
- small ganglia, in insects from the frontal ganglion.
- ⁴⁰ He refers to Newport.
- ⁴¹ It's interesting that he suggests that there is a commonality in the way the central nervous system (the ganglia) are organized in all invertebrates: cell bodies located ventrally, fiber tracts running along the dorsal side, and within a ganglion fiber tracts that connect the dorsal and ventral parts of a ganglion.
- ⁴² Perhaps this is already a hint, that within one ganglion sensory area (sensory neuropiles) exist, in which sensory information is processed, and motor areas which are responsible for control of movement.
- ⁴³ Interestingly, he indicates here that in addition to morphological similarities, most likely similarities must also exist with respect to physiology and function.
- ⁴⁴ The citations at the end of the thesis are not precise, such as the missing page numbers in the reference of Valentin. The citation of his colleague Remak which he refers to in his final discussion is even missing (Remak, *Observationes anatomicae et microscopicae de systematis nervosi structura*, Berlin 1838).



II. Das Abiturientenzeugnis von H. Helmholtz.

Zeugnis der Reife

für den Zögling des Königl. Gymnasii zu Potsdam

Herrmann Helmholtz

aus Potsdam 17 Jahre alt, evangelischer Confession, Sohn des Herrn Subrektor Professor Helmholtz, 8½ Jahr auf dem hiesigen Gymnasium, und 2 Jahr in Prima.

I. Sittliche Aufführung gegen Schüler, Vorgesetzte und im Allgemeinen.

Der Abiturient zeichnete sich stets durch ein höchst anständiges und bescheidenes Betragen aus. Sein äußerlich ruhiges und still gehaltenes Wesen ist mit großer Beweglichkeit des Geistes verbunden. Hierin gibt sich eine treffliche Mischung von klarer und besonnener Verständigkeit und tiefer Gemüthlichkeit zu erkennen. Seine Sitten zeugen von einer treubewahrten seltenen Reinheit und wahrhaft kindlicher Unverdorbenheit. Diese Eigenschaft machen bei der übrigen Reife und Kräftigkeit seiner geistigen Entwicklung einen ebenso wohltuenden und herzzgewinnenden Eindruck, als sie die begründete Hoffnung geben, daß ein solcher Grund und Boden des geistigen Lebens nur die besten und erfreulichsten Früchte tragen werde.

II. Anlagen und Fleiß.

Die oben erwähnten glücklichen Naturanlagen hat der Abiturient mit höchst lobenswerthem Fleiße zu bilden und zu entwickeln gesucht. Seine Regelmäßigkeit im Schulbesuche, seine Ordnungsliebe und Sorgfalt in Anfertigung und Ablieferung der schriftlichen Arbeiten, sein Streben nicht nur den Anforderungen der Klasse zu genügen, sondern auch über die von dem Klassenunterrichte gesteckten Grenzen hinaus sein Wissen zu bereichern, haben ihm die volle Zufriedenheit und den Beifall seiner Lehrer erworben.

III. Kenntnisse und Fertigkeiten.

I. Sprachen.

a. In der deutschen Sprache hat der Abiturient die Fähigkeit entwickelt, sich selbst tiefere fremde Gedanken so anzueignen, daß sie ihm produktiv werden für eigene Ideen: er faßt das Ueberkommene scharf und in seinen wesentlichen Theilen auf, und hat sich über die Sprache schon eine solche Herrschaft erworben, daß er den Ausdruck der Gedanken frei und unbeengt aus sich gestalten kann, und obgleich in der Regel zu gedrängt und schmucklos schreibend, doch, wenn er will, selbst eines blühenden Styles Herr ist. Wenn

The Matura Exam Certificate of H. Helmholtz

School Leaving Certificate (Matura)

For the student of the Royal Gymnasium of Potsdam

Hermann Helmholtz

Native to Potsdam, currently 17 years old, of Protestant faith, son of vice principal Prof. Helmholtz, <he spent> 8 1/2 years at this very institution and 2 years in its Prima <the final gymnasium coursework>

I. Moral Conduct towards Fellow Students, Superiors, and in General

The (High School) graduate consistently distinguished himself by a highly decent and modest demeanor. His outward calm and quiet nature are coupled with a high versatility of mind. In this there is a splendid combination of lucid and prudent understanding as well as a thoughtful disposition. His morals bear witness to a faithfully preserved purity and a truly innocent integrity. This trait in combination with the other (aspects of) maturity and the strength of his intellectual development leaves a pleasant and endearing impression, as well as nurturing the justified hope that such a fundament and soil for the intellectual life will bear only the best and most delightful fruits.

II. Natural Abilities/Talents and Industry

The graduate has sought to form and develop the above-mentioned fortunate natural abilities through highly commendable industry. His regularity in school attendance, his orderliness and diligence in preparing and delivering written tasks, striving not only to meet the requirements of school education, but even going beyond the goals set for (class), have earned him the satisfaction and acclaim of his teachers.

III. Knowledge and Skills

I. Languages

a. Regarding the German language the graduate has developed the ability to acquaint himself with the profound /ideas of others in a way that they become (the) productive (soil) for his own: He keenly understands the adopted (ideas) and divides them into their essential parts, and he already has achieved such command of the language that he can craft the expression of (his) thoughts freely, and is able, although usually writing in a dense and plain fashion, to make use of an exuberant style as well. Once

sich das Interesse für Ausfeilung und scharfe Kritik des Einzelnen in der Form, sowie für den Ausbau der Perioden und symmetrische Anordnung noch mehr entwickelt, so wird er einst in Hinsicht auf Darstellung sehr erfreuliches leisten.

b. In der lateinischen Sprache.

Der Abiturient hat die Fertigkeit erlangt, einen lateinischen Schriftsteller, auch einen schwierigeren, in so weit es das Sprachliche betrifft, auch ohne weitere Vorbereitung zu übersetzen und zu erklären. Mit dem Horaz und dessen Metris hat er sich recht vertraut gemacht. Sein schriftlicher lateinischer Ausdruck gibt einen Beweis, daß er empfindet, wie sich die lateinische von der deutschen Ausdrucksweise unterscheidet. Seinem Style geht zwar noch die völlige Korrektheit ab, auch gelingt ihm noch nicht die periodische Formung und Abrundung der Sätze; aber überall zeigt sich Nachdenken und Lectüre. Sein mündlicher lateinischer Ausdruck ist befriedigend, obgleich er sich nicht ohne einige Schwierigkeit in demselben bewegt.

c. In der griechischen Sprache zeichnen sich seine Kenntnisse durch Gründlichkeit und einen beträchtlichen Umfang aus. Mit den wichtigeren Abschnitten der Grammatik hat er sich hinlänglich bekannt gemacht, und in der Lectüre eine solche Fertigkeit erlangt, daß er nicht nur einen leichteren attischen Schriftsteller mit lobenswerter Gewandtheit und Leichtigkeit übersetzen, sondern auch in die Eigentümlichkeiten eines schwierigeren und über den Schulkreis hinausliegenden eindringen kann. In der Schule hat er die leichteren platonischen Dialoge, sowie mehrere demosthenische Reden gelesen; mit dem Homer, den er theilweise in der Klasse, theilweise für sich las, hat er sich vertraut gemacht und durch eben diese Lectüre eine treffliche Grundlage für seine Bildung in der griechischen Sprache erlangt. Von Sophocles hat er in der Klasse nur die Antigone gelesen, späterhin konnte er an diesem Unterrichte nicht mehr Theil nehmen, weil die hebräischen Stunden damit collidierten.

d. In der französischen Sprache hat derselbe eine rühmliche Fertigkeit im Verständnisse der Autoren, sowie eine recht befriedigende Gewandtheit im Sprechen und im schriftlichen Ausdruck erlangt.

e. Mit der englischen Sprache hat sich derselbe erfolgreich beschäftigt, so daß er nicht nur die moderne Prosa ohne Anstoß übersetzt, sondern auch Shakspeare und die andern Dichter mit den gehörigen Hilfsmitteln zu lesen im Stande ist.

f. In der italiänischen Sprache ist er nicht nur zum Verständnisse der modernen Prosa gekommen, sondern auch der älteren eines Boccaccio, so wie der modernen Werke eines Tasso usw.

g. Im Hebräischen hat sich der Abiturient durch anhaltenden und gründlichen Fleiß einen nicht gewöhnlichen Umfang grammatischer Kenntnisse und eine solche Fähigkeit im Uebersetzen erworben, daß er leichtere Stücke ohne Lexikon und Grammatik sogleich zu verstehen und zu erklären vermag.

II. Wissenschaften.

1) Religionslehre. Er besitzt eine deutliche und wohlbegründete Kenntniß der christlichen Glaubens- und Sittenlehre, eine speziellere Bekannt-

the interest in improving style and discernment in matters of form as well as the shaping of periodic writing and symmetrical arrangement develops further, he will achieve pleasing results in regard to his presentation.

b. In the Latin Language

The graduate has obtained the skills to translate and interpret a(ny) Latin author no matter how difficult in regard to the language, and also without previous preparation. With Horatio and his metrics he grew well acquainted. His Latin expression in writing is proof of his profound understanding of how the Latin language differs from the German expressions. His style still misses the full correctness, and he does not yet have full command in building periodic sentences. This notwithstanding, his thoughtfulness and diligence can be perceived at every turn. His oral Latin expression is satisfactory, although he does not move without some difficulty in it.

c. In the Greek language his knowledge is characterised by thoroughness and a considerable breadth. He familiarized himself sufficiently with the more important aspects of the grammar, and has achieved such reading skills that he is not only able to translate the easier classical authors (of the Attic period) and do so with a commendable elegance and effortlessness, but can also get through the characteristics of a more difficult author beyond the ones taught in school. At school he read the dialogues of Plato as well as some speeches of Demosthenes; he familiarized himself with Homer, whom he read partly in class, partly for himself, and it was precisely through this course of reading that he achieved a splendid foundation for his education in the Greek language. Among Sophocles' works only Antigone was read in class. These lessons he could not attend anymore because they overlapped with his lessons in Hebrew.

d. In the French language he achieved commendable reading skills and understanding of the authors, as well as quite a satisfactory eloquence in oral expression and writing.

e. He successfully occupied himself with the **English language** in such a way that he not only translates modern prose (writings) without difficulty, but he is just as well able to read Shakespeare and the other poets with the proper means.

f. In the Italian language he did not only achieve an understanding of modern prose (writing), but also of the older (prose) of Bocaccio, as well as more modern works such as (Torquato) Tasso etc.

g. Regarding Hebrew the graduate achieved by means of a continuing and diligent industry an unusual extent of knowledge about its grammar and such translation skills that he can at once understand and interpret easier segments without a dictionary or grammar book.

II. Sciences

1) Religious studies. He possesses a clear and reasonable knowledge of the Christian faith and moral teachings, a more specific fam

schaft mit den Büchern der heiligen Schrift, sowie eine allgemeine Uebersicht der Geschichte der christlichen Religion.

2) Philosophische Propädeutik. Der Abiturient hat den elementaren Theil der Logik gründlich aufgefaßt, auch mit der Rhetorik sich bekannt gemacht und die Psychologie zu studieren angefangen.

3) Mathematik. Festigkeit in den Elementen, scharfe Auffassung und Gründlichkeit in eigenen Arbeiten haben es bei ihm möglich gemacht, daß er die Grenze des Gymnasialcursus überschreiten konnte. Seine gediegenen Kenntnisse in der Mathematik und namentlich die erworbene Kraft, durch Selbststudium sicher vorwärts zu schreiten, verdienen mit Auszeichnung genannt zu werden.

4) Geschichte und Geographie. In diesen Disciplinen hat sich der Abiturient nicht nur eine deutliche und zusammenhängende Uebersicht des ganzen Gebietes, sondern auch eine genauere durch Chronologie und Geographie wohl unterstützte Kenntnis einzelner Theile, namentlich der griechischen, römischen deutschen und brandenburgisch-preussischen Geschichte erworben.

5) Physik. In dieser Doctrin besitzt der Abiturient umfassende und gründliche Kenntnisse, welche durch eindringende Schärfe der Auffassung, durch inneren Zusammenhang und durch Anwendung der ihm zu Gebote stehenden mathematischen Hilfe auch für die Folge gesichert bleiben werden.

III. Fertigkeiten.

1) Im Zeichnen ist derselbe bei den Elementen stehen geblieben.

2) Dem Singunterrichte hat der Abiturient ununterbrochene Aufmerksamkeit gewidmet und daher auch in diesem Objecte lobenswerthe Fertigkeit und Sicherheit erlangt, sowie einen guten Grund in diesem Theile seiner ästhetischen Bildung gelegt.

Die unterzeichnete Prüfungs-Kommission hat ihm demnach, da er jetzt das hiesige Gymnasium verläßt, um Medizin zu studieren,

das Zeugnis der Reife

zuerkannt, entläßt ihn unter Bezeugung ihres vorzüglichen Beifalls mit besten Glück- und Segenswünschen zur Fortsetzung seiner so glücklich begonnenen Studien.

Potsdam, den 19ten September 1838.

Königliche Prüfungs-Commission.



liarity with the books of the holy scripture, as well as a general knowledge of the history of the Christian faith.

2) Philosophical propaedeutics. The graduate has a basic grasp on the elementary parts of logic, and he also familiarized himself with rhetoric and started to study psychology.

3) Mathematics. Skill in the elements and a keen understanding and diligence in his own work allowed him to exceed the limits of the school syllabus. His solid knowledge of mathematics and particularly the ability to move forward steadily through his private studies, deserve to be mentioned with distinction.

4) History and geography. In these disciplines the graduate not only obtained a significant and coherent general knowledge of the whole field, but even a more detailed, and by chronology and geography well supported/ knowledge of certain aspects, namely the Greek, Roman, German and Brandenburg-Prussian History.

5) Physics. In this /discipline the graduate possesses comprehensive and well-founded knowledge, which will be preserved for the future by his pervading and keen understanding, through internal coherence and the application of the available mathematical support skills.

III. Skills

1) With regard to **drawing** the same reached (only) elemental skills.

2) He dedicated the **singing class** a continuous attention and therefore achieved in this field commendable skill and certainty, as well as laying a good foundation in this part of his aesthetic education.

The assigned Examination Commission awards him, since he is leaving this institution to study medicine,

The School Leaving Certificate

(and) releases him with high acclaim and the best congratulations and blessings for the continuation of such a happily begun course of studies.

Potsdam, September 19 1838.

Royal Examination Commission

Bildnachweis/Picture credits

Eingangsporträts Helmholtz /Helmholtz' portraits

S. 6/p. 6: Wikipedia, gemeinfrei

S. 7/p. 7: Bild: Galerie hervorragender Ärzte und Naturforscher, ab 1890 erschienene Beilage zur Münchner Medizinischen Wochenschrift, J. F. Lehmann Verlag.

Abb. 1/Fig. 1:

Porträts von Kölliker, Schwann, Henle, duBois-Reymond, Müller:

Galerie hervorragender Ärzte und Naturforscher, ab 1890 erschienene Beilage zur Münchner Medizinischen Wochenschrift, J. F. Lehmann Verlag.

Portrait Remak, Wikipedia, gemeinfrei

Portrait Kölliker, Wikipedia, gemeinfrei

Portrait Helmholtz, Wikipedia, gemeinfrei

Berliner Universität: bpk-Bildagentur

Abb. 2/Fig. 2:

Alle Abbildungen sind aus: Ehrenberg 1836

Abb. 3/Fig. 3:

Porträt Ehrenberg aus: Humboldt Universität zu Berlin, Museum für Naturkunde

Arbeitszimmer Christian Ehrenberg: Sammlung Museum Barockschloss Delitzsch

Schiek Mikroskop: Sammlung Helmut Kettenmann

Abb. 4 und 5/Fig. 4 and 5:

Alle Abbildungen sind aus Wikipedia, gemeinfrei

Abb. 6/Fig. 6:

Fodor et al. 2020 (Open Access)

Abb. 7/Fig. 7:

Retzius 1891

Abb. 8/Fig. 8:

Huxley 1880, Retzius 1890

Abb. 9/Fig.9:

Helmholtz 1852

The background features a detailed technical drawing of a scientific apparatus on the left, with various components labeled with letters like 'y', 'w', 'n', 's', 'm', 'r', 's', 'u', 'v', 'z', 'k', 'l', 'm', 'n', 'o', 'p', 'q', 'r', 's', 't', 'u', 'v', 'w', 'x', 'y', 'z'. On the right, there is a biological illustration showing a cross-section of a structure with internal fibers and a central canal, possibly a nerve or a part of an invertebrate nervous system.

Hermann von Helmholtz (1821–1894) trug wesentlich zum Verständnis physikalischer Phänomene bei. Seine wissenschaftliche Laufbahn begann er mit einer vergleichenden Doktorarbeit über den Aufbau der Nervensysteme von Wirbellosen. Dieser bisher kaum beachtete Wissenschaftstext wird mit der vorliegenden Arbeit einem breiten Publikum zugänglich gemacht.

Julia Heideklang, Hans-Joachim Pflüger und Helmut Kettenmann haben den lateinischen Originaltext ins Deutsche und Englische übersetzt, eingeleitet und kommentiert.

Hermann von Helmholtz (1821–1894) made major discoveries with respect to understanding physical phenomena. He started his career with a doctoral thesis on a comparative study of the structure of invertebrate nervous systems. This Latin scientific text having so far received little attention is finally made accessible to a broad audience.

Julia Heideklang, Hans-Joachim Pflüger and Helmut Kettenmann translated the original Latin text to German and English, and also provided an introduction and comments.

wbg-wissenverbindet.de
ISBN 978-3-534-40094-2



9 783534 400942

wbg Academic