

A handwritten signature in cursive script, reading 'H. Helmholtz', written in a light grey color.

Über die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen,  
und ihre Anwendung für physiologische Zwecke (1850)

Vorläufiger Bericht über die  
Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung (1850)

Ein Referat

Seminar:  
**[Die Geschwindigkeit des Gedankens, 1850-1900]**

Seminarleitung:  
Dr. Henning Schmidgen

Studiengang:  
Medienkultur – WS 2001|2002

Von:

Michael Treutler | MK 98  
✉ michael.treutler@medien.uni-weimar.de

## **Hermann von Helmholtz – Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung**

1	Das Leben und Wirken von Hermann von Helmholtz (1821-1894)	1
1.1	Das Familiäre Umfeld	1
1.2	Ausbildung:	1
1.3	Wissenschaftliche Karriere:	2
1.4	Helmholtz' wissenschaftliche Anschauung	3
1.5	Überblick seines wissenschaftlichen Werkes	3
1.6	Helmholtz Bedeutung	5
2	Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke (1850)	5
3	Literaturangaben	2

## 1 Das Leben und Wirken von Hermann von Helmholtz (1821-1894)<sup>1</sup>

Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von

**Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von**

*Pronounced As: hermän lootvikh ferdnânt fn helmhòlts* , 1821-94, German scientist.<sup>2</sup>

### 1.1 Das Familiäre Umfeld

- \* 31.08.1821 als ältester von vier Kindern in Berlin Potsdam geboren
- in den ersten sieben Jahren wegen gesundheitlichen Problemen ans Haus gebunden
- Mutter: Nachfahrin von William Penn (dem Gründer von Pennsylvania), von ihr kam die Ruhe und Reserviertheit, welche ihn scheinbar auszeichnete
- Vater: Gymnasial-Oberlehrer am Potsdamer Gymnasium, gemischte intellektuelle Prägung durch den Vater: Klassische Sprachen, Französisch, Italienisch und Englisch bei; Einführung in die Philosophie von Kant und Fichte sowie eine philosophische Herangehensweise an die Natur
- „Naturphilosophie“: Deduktion von Wissenschaftlichen Aussagen aus philosophischen Ideen, eher als aus der Empirie. Helmholtz spätere Arbeit versuchte oft diesen Ansatz zu widerlegen.
- Sein Empirismus war jedoch augenscheinlich stark von der ästhetischen Sensibilität geprägt, die er durch seinen Vater erhalten hatte. Musik und bildende Künste spielten so in Helmholtz wissenschaftlicher Karriere eine starke Rolle (wie wir noch sehen werden).

### 1.2 Ausbildung:

- 1830-1838: Besuch des Gymnasiums in Potsdam
- Eigentlich wollte er Physik studieren, aber es gab keine staatlichen Stipendien für reine Naturwissenschaften und deshalb studierte er
- 1838-1842 am Königlich medizinisch-chirurgischen Friedrich-Wilhelm-Institut in Berlin Medizin. 1842: Promotion zum Dr. med.
- Militärstipendium: Kostenloses Studium mit der Auflage, das er danach 8 Jahre als Militärarzt arbeiten musste
- Während des Studiums Schüler von Physiologe und Anatom Johannes Müller, sowie dem Physiker Gustav Magnus

<sup>1</sup> <http://home.tiscalinet.ch/biografien/biografien/helmholtz.htm>

<sup>2</sup> [The Columbia Electronic Encyclopedia, Sixth Edition](#). Copyright © 2000, Columbia University Press.

- Lernt Klavierspielen, was ihm bei seiner späteren wissenschaftlichen Arbeit über Klänge helfen wird.

### 1.3 Wissenschaftliche Karriere:

- Experimentelle Arbeit in Feldlaboren
- 1848: Alexander von Humboldt setzt sich persönlich dafür ein, dass Helmholtz aus der Armee entlassen wird und nach Berlin zurückkehrt
- 1848-1849: Lehrer für Anatomie an der Berliner Kunstakademie und Assistent Johannes Müllers
- Wiederum auf Humboldts Empfehlung:
- 1849-1855: außerordentlicher Professor für Physiologie und Pathologie an der Universität Königsberg (mit 28 Jahren!!!)
- 28.6.1852: Habilitationsvortrag „Über die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen“
- Hier macht er zwei ihn berühmt machende Entdeckungen:
  1. Den Augenspiegel und 2. Die Messung der Geschwindigkeit, mit der sich Erregungsvorgänge in motorischen Nerven fortpflanzen (worüber das eigentliche Referat dann geht...)

#### Exkurs: Augenspiegel

- entstand aus dem Bedürfnis, den Studenten die Entstehung des Augenleuchtens plausibel zu machen (ursprünglich mit Pappe, Klebe und Präparatsträgern „gebastelt“)
- In die Augenarztpraxis eingeführt durch den Augenarzt Albrecht von Graefe der an der Charité praktizierte und dadurch zum Neubegründer der Ophthalmologie wurde.

- So bekannt geworden, folgte Helmholtz Ruf nach
- 1855-1858: Professor für Anatomie und Physiologie an der Universität Bonn
- 1858-1871: Professor für Physiologie an der Universität Heidelberg; 1861 Heirat mit Anna von Mohl (gest. 1899)
- Nach dem Tod seines einstmaligen Lehrers, des Physikers Gustav Magnus, 1870 kehrte Helmholtz ein Jahr darauf nach Berlin zurück und übernahm hier den Lehrstuhl für Physik:
- 1870: Wahl zum auswärtigen (1871 zum Ordentlichen) Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften

- 1871-1888: Professor für Physik an der Berliner Universität (Nachfolger von Gustav Magnus)
- 1877-78: Rektor an der Berliner Universität
- ab 1881: Mitarbeit bei der Festlegung international gültiger Maßeinheiten
- 1883: Erblicher Adel verliehen von Kaiser Wilhelm II verliehen
- 1887-1894: Präsident der neugegründeten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg; zugleich Professor mit verringerter Lehrverpflichtung an der Universität Berlin, Gründer zusammen mit Werner von Siemens
- 8.9.1894: Tod in Berlin-Charlottenburg

#### 1.4 Helmholtz' wissenschaftliche Anschauung

- „Natürliche Philosophie“ (Deduktionismus; Kant, 1870er)
- Raum und Zeit als a priori, welche keine Produkte der Sinne sind, sondern Entitäten, durch die es möglich ist, die Welt zu erfahren → ergo kann man die Welt aus ein paar Grundregeln herausdeduzieren
- Helmholtz, wie auch später Wundt, waren gegen diesen Ansatz und wollten beweisen, dass alles Wissen nur durch die Sinne wahrgenommen würde und das alle Wissenschaften auf messbare Methoden zurückzuführen sei (Materie, Kraft, Energy, Realität).
- Er stand damit auch gegen seinen Lehrer, den bekannten Johann Müller, welcher wie viele Biologen seiner Zeit „Vitalist“ war, d.h. er glaubte, dass der Körper mehr als die Summe seiner Teile war (also nicht reduzierbar auf die mechanischen Gesetze der Chemie und Physik)
- Beispiel Müllers dafür war der Nervenimpuls, der laut ihm niemals experimentell gemessen werden könnte (also eine experimentelle Physiologie nicht möglich wäre). Dies ist späterer Bestandteil des Hauptreferates.

**Helmholtz machte sich auf vielen Forschungsgebieten einen Namen:**

#### 1.5 Überblick seines wissenschaftlichen Werkes<sup>3</sup>

1847	<i>Gesetz von der Erhaltung der Energie</i> <i>Anti-Vitalistischer</i> Nachweis, dass Wärme bei Säugetieren aus empirisch messbaren Phänomenen herrührt.
1849/50	<i>Leitgeschwindigkeit von Nervenreizen</i> siehe oben

---

<sup>3</sup> siehe: <http://www.uni-karlsruhe.de/~za279/helmholtz.html>

- 1856/60/67 *Handbuch der physiologischen Optik* (3 Bde.)  
Young-Helmholtzsche Theorie der Farbempfindung (Rezeptoren für die Grundfarben Rot, Grün und Blau).
- 1863 *Lehre von den Tonempfindungen*  
Akustik: Helmholtz erkennt die Bedeutung der Obertöne für die charakteristische Klangfarbe von Instrumenten. Helmholtzsche Resonatoren
- 1858 *Dynamische Theorie der Wirbelbildung in Flüssigkeiten*
- 1870-75 *Theorie der Elektrodynamik*  
Eintreten für die Faraday-Maxwellschen Elektrodynamik als Gegenstück zu den Fernwirkungstheorien von Weber und Neumann. Sein Schüler Heinrich Hertz bringt mit dem Nachweis der elektromagnetischen Wellen die endgültige Entscheidung. Vorschlag, dass die elektrische Ladung gequantelt sei.  
Schüler: Heinrich Hertz
- 1873-84 *Die galvanische Polarisation*  
siehe oben
- 1882-83 *Thermodynamik chemischer Vorgänge*  
Freie Energie, thermodynamische Potentiale, Anwendung auf thermodynamische und elektrochemische Prozesse.
- 1884 *monozyklischen Bewegungssysteme*  
siehe oben

**Erfundene Instrumente:**

- Augenspiegel (Ophthalmoskop)
- Ophthalmometer
- Myographion
- Resonatoren
- Telestereoskop
- Farbenmischapparat
- Vibrationsmikroskop
- Doppelgirene
- Helmholtz-Pendel
- elektrodynamische Waage

## 1.6 Helmholtz Bedeutung

- 1878 erhielt Helmholtz einen eigenen Institutsbau - das Physikalische Institut am Reichstagsufer. Es wurde im II. Weltkrieg zerstört.
- Als Helmholtz starb, beendete dies gleichzeitig die Ära der klassischen Physik. Die Entdeckung der Radioaktivität und der Relativitätstheorie führten zu einer Revolution der physikalischen Wissenschaft, wodurch Helmholtz Errungenschaften, so beeindruckend sie in ihrer Zeit waren, für die junge Generation nicht mehr besonders interessant waren.
- Überdies war der Paradewissenschaftler Helmholtz sowohl eine *Integrationsfigur* als auch ein *Kulturträger* von kaum zu überschätzender Bedeutung im Wilhelminischen Deutschland.

## 2 Ueber die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke (1850)

- „Zweck ist es, die Dauer verschieden schnell vorübergehender Vorgänge des lebenden Körpers mittels verfeinerten Meßmethoden der neueren Physik kennen zu lernen.“
- kleinste Einheit: Linie
- Messung der Sinne ohne technische Hilfsmittel nicht sehr fein, besonders, wenn der Zeitunterschied zwischen verschiedenen Sinnesorganen (z.B. Ohr und Auge)

### Zeitmessung mit künstlichen Hilfsmitteln:

- Zeitbestimmung der Sternendurchgänge (Bessel). Pendelschlag, 1/10s, Schlag merken, wenn der Stern durch den Faden geht
- auch bei gut trainierten Leuten: 1 sek. Unterschied (also Minimum 0,5 sek. Irrtum)
- Genauer: Wahrnehmung an der gleichen Nervenfaser: Lichtblitz: 1/10 Sek. zwischen zwei Blitzen, dann unterschied. Wenn nicht, dann einheitlich (Wunderkerze).
- Mehr als 32 Töne/sek. = 1 durchgehender Ton (je schneller desto höher)
- Ohr alleine auch ca. 1/10 sek.
- Unterschied zwischen zwei „Fasern“: der Gedanke  
“Jetzt habe ich das erste empfunden, aber noch nicht das zweite. – Jetzt auch das zweite.“
- Nicht: „Schnell wie der Gedanke“
- Schnelle abfolgen können nicht bei der Wahrnehmung gezählt werden, sondern erst bei der Erinnerung
- Also → Messung mit Hilfsinstrumenten

**Messung mit Instrumenten:**

- Zwei Methoden:
  1. Zeit in Raumunterschiede
  2. Messung der Intensität einer Kraft, die ausgeführt wurde

Zeit in Raumunterschied verwandeln:

- Militärische Entwicklung der letzten 12 Jahre
- Werner von Siemens hat diese Methode (Lieutenant bei der preussischen Artillerie) perfektioniert
- Aufbau: Axe Rotire (Stählernder Zylinder)  
360 Winkelgrade drauf abgezeichnet  
60 Umdrehungen/Sek. = 21600 Gradtheile  
oder eben ca. 40.000 halbe Gerade = 40.000 Theile einer Sekunde  
Anfangs- und Endpunkt der Bewegung wird mit einem Metallstift markiert
- Problem: Wie markiere ich genau den Moment wo eine Bewegung anfängt, bzw. aufhört? (Beobachter? = essig)
- Galvanischer Strom (Breguet und Wheatstone) ist schon unmessbar schnell, aber dann muss der Stift noch fallen, was seinerseits Zeit braucht – ca. 1/60 Sek, was die potentielle Genauigkeit des Zylinders vereitelt.
- (Irgendwie zerreist am Anfang und am Endpunkt die Kugel ein Metallgitter (S.867f) „Isolierte Drahtgitter, wo die Kugel durch die Drahtgitter hindurchschlagend die verschiedenen Drähten derselben wieder herstellt.
- Siemens kam auf die Idee, die Elektrizität zeichnen zu lassen (Flecken auf Metall)
- Wo die Grenzen dieses Systems sind konnte Helmholtz noch gar nicht sagen.

Spiegelausblick:

- Rotierender Spiegel, statt rotierender Zylinder
- Zwei Funken dicht nacheinander werden vor dem Spiegel gezündet. Sie erscheinen auf dem sich schnell drehenden Zylinder an verschiedenen Stellen. Durch die verschiedenen Winkelkonstellationen kann man durch ein (Fernrohr?!?) besser die Geschwindigkeit messen (perfektioniert bei Foucault und Fizeau).

Messung mechanischer Wirkung:

- Zeit wird berechnet aus der Wirkung, die eine spezielle Kraft bekannter Größe hervorgebracht hat.
- Induktionsspule: Metallring, mit Kupferdraht umspannt und ein Magnet in der Mitte aufgehängt, verhält sich, als ob Strom durchfließt.



- Magnet schwingt in der Nähe. Gibt man Strom durch die Spule, verändert sich dessen Pendelbewegung.
- Man misst den Unterschied aus den Schwingungen (ausgehend vom Meridian) vor und nach dem Strom. Die Schwingungsunterschiede multipliziert man mit einer Konstante, die sich aus Stromstärke und Schwingungsdauer zusammensetzt. So kann man errechnen wie lange der Strom einwirken musste, um eine Veränderung herbeizuführen.
- Dieses Prinzip stammt von einem gewissen Pouillet, Helmholtz hat es genommen, verfeinert und somit in der Lage Zeitmomente von 1/10.000 Sek. durchzuführen.

### **Schwierigkeit: Anwendung auf physiologische Methoden**

- Messung der Dauer von Muskelzuckungen
- Messung der Dauer, die ein Impuls durch die Nervenbahnen braucht
- Muskeln (als elastische Bänder) können den Zustand im Gegensatz zu Nerven ändern
- „Im Lebenden Körper empfängt der Muskel die Anregung zu seiner Thätigkeit von den in ihm verbreiteten Nervenfäden, diese wieder die ihrige vom Gehirn; hier erteilt ihnen der geheimnissvolle Einfluss des Willens einen Anstoss unbekannter Art, welcher längs der ganzen Länge der Faser sich Fortpflanzt, und im Muskel angekommen, seine Thätigkeit erregt.“ (S. 873)
- In Anlehnung an Menenius Agrippa (vergleich zwischen Staat und Mensch): Nervenbahnen gleich Telegrafentelegraphenleitung.
- Vergeht eine Zeit vom Reiz zum Gehirn und vom Gehirn bis zum motorischen Muskelzucken?
- Kontraintuitiv, da diese Zeit unterhalb der Wahrnehmbaren Schwelle des Menschen liegt (sehr konstruktivistisches Argument!)
- **Vorlesen: S. 874**
- Froschpräparat: Froschmuskel, der nur noch mit seinem motorischen Nerven, aber nicht mehr mit dem Thiere und dem zentralen Nervensystem zusammenhing. “Ein solches Präparat behält lange genug ohne beträchtliche Veräderung seine Lebenseigenschaften, sodass man bei passender Anordnung 2 bis 3 Stunden hintereinander Versuche mit constantem Erfolg an ihm wiederholen kann, was bei den abgetrennten Theilen warmblütiger Thiere nicht der Fall ist.“ (S. 874)
- Muskelthätigkeit nach ca. 1/3 Sek. angefangen, aber erst nach ein paar Sekunden zuende
- Messungen in einer Reihe um festzustellen, das ein gleich starker Strom auch immer die gleiche Muskelbewegung ausführt.

- Elektromagnetische Methode: Galvanische Batterie wird unterbrochen, durch ein kleines Gewicht, welches der Froschmuskel anhebt und somit einen Stromkreis unterbricht.
- Fehlertoleranz: 1/100 Sek.
- Problem: Kurze Länge der Nervenbahnen: Ein bis Zwei 1/100stel Sekunde (aber immer noch 10mal so gross, wie Fehlertoleranz)
- Geschwindigkeit: 26,4m (80Fuss) in der Sekunde = unerwartet gering, da 10 mal langsamer als Schallgeschwindigkeit

#### **Problem der warmblütigen Thiere:**

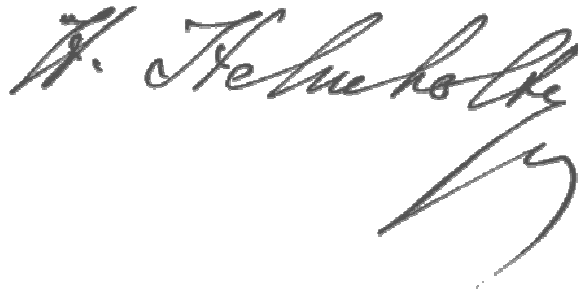
- Glaszylinder mit Russ (Hebelbewegung vom Muskel schreibt rein). Zylinder rotiert (Spirale)
- Erreicht man kongruente Kurven, so vertritt jeder Versuch eine ganze Reihe der vorigen Versuchsanordnung (ohne natürlich so genau zu sein)

#### **Beim Menschen**

- Einfluss von Nervenleitung und Gehirn und Rückenmark nicht zu beseitigen, sondern notwendiger Weise mitzubedenken.
- Nach bisherigen Versuchen:  
Nervenreiz zum Gehirn: 60m/sek.  
Gehirn: 1/10 Sek.  
Gehirn zum Muskel: 60m/sek  
Muskel: 1/100 sek. bis er arbeitet
- kleine Stromschläge, wenn er diese spürt, dann Zeichen mit den Zähnen oder Händen, durch welche der Zeitmessende Strom unterbrochen wird.
- Nachricht vom großen Zeh ca. 1/30 Sek. später als vom Ohr oder Gesicht
- ERKENNTNIS: Nervenreizung unabhängig vom Willen! Hand oben halten ging nicht!

#### **Fazit**

- „Glücklicherweise sind die Strecken kurz, welche unsere Sinneswahrnehmung zu durchlaufen haben, ehe sie zum Gehirn kommen, sonst würden wir mit unserem Bewusstsein weit hinter der Gegenwart und selbst hinter den Schallwahrnehmungen hinterherhinken;“
- „Für einen ordentlichen Wallfisch ist es vielleicht schlimmer; denn aller Wahrscheinlichkeit nach erfährt er vielleicht erst nach einer Sekunde die Verletzung seines Schwanzes und braucht eine zweite Sekunde um dem Schwanz zu befehlen, er solle sich wehren.“

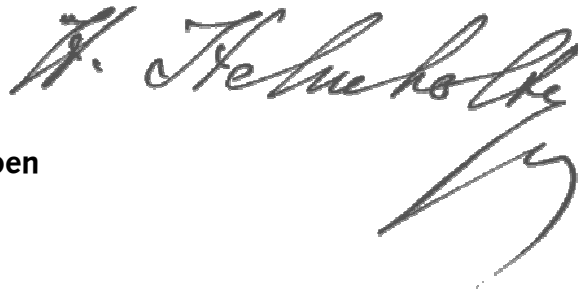


## Lebensdaten<sup>4</sup>

- 31.8.1821** in Potsdam bei Berlin geboren
- 1830-1838** Besuch des Gymnasiums in Potsdam
- 1838-1842** Medizinstudium am Königlich medizinisch-chirurgischen Friedrich-Wilhelm-Institut in Berlin. 1842: Promotion zum Dr. med.
- 1843-1848** Militärarzt: ab 1.10.43 Eskadron-Chirurg im Königlichen Gardehusarenregiment und ab 1.6.46 Militärarzt im Königlichen Regiment der Gardes-du-Corps in Potsdam
- 23.7.1847** Vortrag in der Physikalischen Gesellschaft zu Berlin „Über die Erhaltung der Kraft“
- 1848-1849** Lehrer für Anatomie an der Berliner Kunstakademie und Assistent Johannes Müllers
- 1849-1855** außerordentlicher Professor für Physiologie und Pathologie an der Universität Königsberg
  - 1849** Heirat mit Olga von Velten (gest. 1859)
  - 1850** Erfindung des Augenspiegels
- 28.6.1852** Habilitationsvortrag „Über die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen“
- 1855-1858** Professor für Anatomie und Physiologie an der Universität Bonn
- 1858-1871** Professor für Physiologie an der Universität Heidelberg
  - 1861** Heirat mit Anna von Mohl (gest. 1899)
  - 1870** Wahl zum auswärtigen (1871 zum Ordentlichen) Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften
- 1871-1888** Professor für Physik an der Berliner Universität (Nachfolger von Gustav Magnus)
  - 1877-78** Rektor an der Berliner Universität
  - ab 1881** Mitarbeit bei der Festlegung international gültiger Maßeinheiten
  - 1883** Erblicher Adel verliehen
- 1887-1894** Präsident der neugegründeten Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg; zugleich Professor mit verringerter Lehrverpflichtung an der Universität Berlin
- 8.9.1894** Tod in Berlin-Charlottenburg

---

<sup>4</sup> Zusammenstellung aus: <http://www.uni-karlsruhe.de/~za279/lebensdaten.html>; und PLUS LUCIS 3/94, Wissenschaftsgeschichte, S. 36; <http://home.tiscalinet.ch/biografien/biografien/helmholtz.htm>



### 3 Literaturangaben

#### Literatur

- Helmholtz, Hermann von (1850): *Über die Methoden, kleinste Zeittheile zu messen, und ihre Anwendung für physiologische Zwecke*. In: Königsberger naturwiss. Unterhaltungen. Bd. II. Heft 2. S. 1-24
- Helmholtz, Hermann von (1850): *Vorläufiger Bericht über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenreizung*. In: Monatsbericht der K. Akademie der Wissenschaften. S. 70ff

#### Online-Quellen

- **Helmholtz**  
<http://www.geocities.com/bioelectrochemistry/index.htm>
- **The Helmholtz Institute**  
<http://www.fys.ruu.nl/~wwwfm/Home.html>
- **Hermann von Helmholtz**  
<http://www.helmholtz.de/>
- **Hermann von Helmholtz**  
<http://www.hu-berlin.de/hub/geschichte/helmh.html>