

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
= Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 157 (1977)

Artikel: Albrecht von Haller und die Physiologie

Autor: Mani, Nikolaus

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90724>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ALBRECHT VON HALLER UND DIE PHYSIOLOGIE

NIKOLAUS MANI, Bonn

Das Opus physiologicum Albrecht von Hallers bildet für sich allein ein Lebenswerk. Haller hat sich mit Fragen der allgemeinen und speziellen Physiologie befasst¹. Er erforschte und beschrieb spezifische Reaktionsweisen der lebenden Substanz, er verfolgte die embryologische Entwicklung und fragte nach dem Ursprung der Lebewesen: Schlummern sie von Gott präformiert im Keim oder werden sie durch besondere vital-plastische Kräfte aus einer homogenen Keimmasse zu organisierten Individuen ausgeformt? Haller entschied sich für die Präexistenzlehre². Ein so kompliziertes Gebilde wie der menschliche Körper kann weder durch das Wirken einer spirituell-plastischen Potenz noch durch eine dem blinden Zufall überlassene physikalische Aggregation organischer Partikel entstehen. Ontogenese ist die Entfaltung der Strukturen eines von Gott im Schöpfungsakt präformierten Keimes. In der speziellen Physiologie befasste sich Haller mit der Atmung, dem Kreislauf und dem Nervensystem. Hallers physiologische Leistung spannt sich von zahlreichen Einzeluntersuchungen zu abgerundeten Monographien über Irritabilität, Sensibilität und Blutbewegung und erreicht in den *Elementa Physiologiae* eine gewaltige abschliessende Synthese. Die Wurzeln von Hallers physiologischem Denken reichen von der Antike bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts. Dies zeigt sich besonders eindrücklich in den *Elementa Physiologiae*, wo Haller historisches und aktuelles Wissen zu einem Gesamtgemälde der Physiologie verschmilzt³. In Aristoteles sieht er den Begründer einer wissenschaftlichen Biologie auf empirischer Basis. Aristoteles⁴ war «der erste, der überhaupt hinsah» und aus gemeinsamen Merkmalen verschiedener Tierarten eine Abgrenzung von Tierklassen nach wissenschaftlichen Kriterien vornahm. Dann ist es Galen⁵, dessen systembildende Kraft, teleologische Denkweise, Zergliederungskunst und vivisektorische Experimentation Haller tief beeindruckten.

Vor allem aber ist Hallers physiologisches Werk durch die Forschung der vorangehenden zwei Jahrhunderte geprägt: Vesals Begründung der humanen Anatomie, Harveys experimentelle Methode, Bacons Forderung einer empirischen Forschung, die mit der naturwissenschaftlichen Revolution einsetzende mechanisch-physikalische Erklärung physiologischer Leistungen, d. h. die Betrachtung des Körpers als *machina animalis*, dann die iatromathematische und iatrophysikalische Fassung der Lebenserscheinungen, aber auch das von Glisson als «*irritabilitas*» bezeichnete spezifische Reaktionsvermögen der lebenden Substanz. Weiterhin ist Haller vom

medizinisch-biologischen Forschungsprogramm Stensens und Malpighis beeinflusst, d. h. die Zerlegung der Körpermaschine in ihre makroskopischen und mikroskopischen Bestandteile, wodurch erst ein Verständnis der Funktionen der *machina animata* möglich wird⁶. Tief beeindruckt ist Hallers naturwissenschaftliches Denken von Newton, dem terrestrischen und kosmischen Gesetzgeber⁷. Newtons Forschungsmethode ist für Haller vorbildlich. Man muss die Naturerscheinungen beschreiben und gesetzmässig verknüpfen, auch wenn die Ursache dieser Naturphänomene noch unbekannt ist⁸. Ein bleibender und aus unmittelbarer persönlicher Begegnung empfangener Anstoss zu physiologischer Forschung kam von Hallers Praeceptor Boerhaave. Hallers Kommentare zu den Institutionen Boerhaaves stehen am Beginn seiner zusammenfassenden Darstellung der Physiologie^{8a}.

METHODEN DER FORSCHUNG

Nach dreissigjähriger Forschertätigkeit gibt Haller am Beginn des ersten Bandes seiner *Elementa Physiologiae* eine Definition der physiologischen Wissenschaft und einen Katalog methodischer Forderungen⁹. Für den Fortschritt der Wissenschaften (*progressus scientiarum*) ist eine möglichst vollständige Erfassung des jeweiligen Wissensstandes nötig¹⁰. Dies gilt auch für die Physiologie. Für Haller bedeutet Kenntnis der physiologischen Literatur eine enorme Erweiterung der eigenen Erfahrung. Haller hat wie wenige vor und nach ihm die Fülle fremder Erfahrung kritisch abgewogen und in sein Werk integriert. Die Physiologie, so sagt Haller, befasst sich mit den Verrichtungen des Körpers (*corporis functiones*). Daher ist sie eine medizinische Grundwissenschaft. Vernachlässigung der Physiologie gereicht der Heilkunde zum Schaden¹¹. Im einzelnen befasst sich die Physiologie mit folgenden Gebieten¹²: Sie untersucht die Phänomene und die Kräfte der inneren Körperbewegungen, sie erforscht die Aufgaben der Eingeweide und die Änderungen der Körpersäfte (*humorum mutationes*), sie befasst sich mit den Vorgängen, die zur Übermittlung der Sinnesindrücke an die erkennende Seele führen, sie misst die Kräfte der Muskeln, sie studiert die Bedingungen, die zur Umwandlung der Nahrung in körpereigene Säfte führen, und sie sucht nach den Gründen, die den Körper am Leben erhalten und das Leben weitergeben. Schauplatz der Physiologie aber ist die Anatomie. Physiologie ist belebte Anatomie, d. h. bewegte Struktur (*physiologia est animata anatome*)¹³. Die *Functiones corporis* sind daher ohne Kenntnis des zugrundeliegenden Bauplanes nicht verständlich. Eine von der Anatomie losgelöste Physiologie aber wäre ebensowenig leistungsfähig wie eine Mechanik, die die Kräfte einer Maschine mathematisch berechnen wollte, ohne das Räderwerk der

Maschine zu kennen. Für Haller bietet die Anatomie auch im Angesicht von Tod und Verwesung einen ästhetischen und intellektuellen Genuss (*delectatio intellectualis*) und religiöse Erbauung¹⁴. Die Zergliederung von Mensch und Tier enthüllt Maschinen, die von Gottes Hand erschaffen wurden, die mit mathematischer Präzision und höchster Zweckmässigkeit arbeiten, man denke etwa an den Bau des Augapfels mit seinem optischen Apparat. Für Haller ist der Mensch ein «Zusammenhang von eitel Meisterstücken»¹⁵. Indessen sind der Schaffenskraft des Einzelnen Grenzen gesetzt (*brevis vita est, brevior vita anatomici*)¹⁶. Neben der humanen Anatomie sollte der Physiologe aber auch die vergleichende Anatomie beherrschen. Ein gegebenes Organ muss beim Menschen, bei den Vierfüsslern, Vögeln und Fischen, ja auch bei niederen Tieren untersucht werden¹⁷. Kommen bei verschiedenen Tierarten die gleichen Bauelemente vor, so ist anzunehmen, dass sie bei all diesen Species die gleiche Funktion erfüllen. Treten neue Strukturen auf, darf man diesen auch eine neue Leistung zusprechen¹⁸. Georges Cuvier¹⁹ hat später die vergleichende Anatomie als sicherste Quelle physiologischer Erkenntnis bezeichnet, da die Befunde von der Natur selbst geschaffen wurden und daher mehr Aussagekraft hätten als experimentelle Artefakte.

Auch die vergleichende Physiologie kann Streitfragen entscheiden. Der Süsswasserpolyp reagiert auf Reize mit Bewegung, ist also irritabel; Irritabilität ist daher nicht an das Nervensystem gebunden, weil dieses beim Polypen fehlt²⁰.

Wichtigste Methode der Physiologie aber ist das Experiment am lebenden Tier²¹, die Befragung der Natur unter künstlich variierten Bedingungen. Die Leiche ist bewegungslos. Physiologie aber besteht in innerer und äusserer Bewegung des belebten Körpers. Daher muss am lebenden, d. h. am bewegten Tier experimentiert werden. Ohne das physiologische Experiment, so unterstreicht Haller, kann weder die Bewegung des Blutes noch der Weg der Lymphe, noch die Darmperistaltik, noch die Muskelkontraktion untersucht werden²². Ein gültiges Experiment kann jahrelange mühsame Spekulationen mit einem Schlag widerlegen. Diese allerdings grausame Methode hat zu einer wahren Physiologie mehr beigetragen als alle anderen Verfahren.

Die pathologische Anatomie trägt indessen auch zur Kenntnis physiologischer Vorgänge bei²³. Wenn ein bestimmtes Organ durch Krankheit partiell oder total zerstört ist, kann man aus dem Ausfall von Funktionen auf die Leistungen dieses Organes schliessen. Gedächtnisverlust bei organischen Hirnschäden weist auf eine körperliche Fixierung der Gedächtnis Spuren (*vestigia*) im Gehirn hin²⁴. Die Bewegungsabläufe im physiologischen Geschehen sind an kleinste Strukturen gebunden. Deshalb muss man die Augen mit dem Mikroskop bewaffnen (*microscopio oculos armemus*)²⁵. Nur mit diesem Instrument erkennt man die im Samen schwim-

menden Tierchen (*animalia seminis*) und die Form und Bewegung der in den feinsten Gefässen zirkulierenden Blutkügelchen.

Bei der Auswertung anatomischer Befunde und physiologischer Experimente aber muss ein Gesetz (*lex*) immer beachtet werden: Eine anatomische Beobachtung oder ein Tierversuch muss in gleicher Anordnung häufig wiederholt werden²⁶. Nur so können die seltenen anatomischen Varietäten (*natura est variabilis*) vom eigentlichen Archetypus, dem Normalbefund, getrennt werden. Das Experiment kann aus tausend Gründen scheitern (*Il y a mille causes qui font manquer les expériences*)²⁷, etwa durch Eröffnen eines Gefässes mit nachfolgender Blutung oder durch Verletzung eines Gebietes, das man verschonen sollte. Man muss das Experiment sooft wie irgend möglich wiederholen, nur dann werden die zufälligen Störungen (*accidents, aliena*) vom konstanten und daher gültigen experimentellen Befund getrennt²⁸. Auch die vom konstanten Befund abweichenden und der Meinung des Forschers widersprechenden Ergebnisse dürfen nicht verschwiegen werden. Diese numerisch-statistische Auswertung biologischer Befunde, so führt Haller aus, sei im 17. Jahrhundert wenig beachtet worden. Erst Morgagni habe sie mit Erfolg für die Anatomie verwendet. Haller selbst hat, wie Bernhard Milt zeigte²⁹, die numerisch-statistische Methode in seinen morphologischen und experimentellen Untersuchungen in eindrucklicher Weise benutzt. Dies bezeugt etwa Hallers Untersuchung der Irritabilität und Sensibilität, wo die gleiche Versuchsanordnung und Fragestellung in zahlreichen Experimenten durchgespielt wird, dies zeigen die auf einem grossen Untersuchungsmaterial fussenden Tabellen zum Knochenwachstum des Hühnerembryos³⁰. Auch in der Pathologie erkannte Haller mit dieser Methode das häufige Vorkommen der Gallensteinkrankheit. Bei 230 in seiner Göttinger Zeit vorgenommenen Sektionen fand er in 15 Fällen Gallensteine³¹. Die chemische Untersuchung³², so führt Haller aus, ist eine Art stofflicher Anatomie. Am besten eignet sie sich zur Analyse der Körpersäfte, die durch Erhitzen, Fäulnis und durch Zufügen von Chemikalien in ihre wässrigen, salzigen und öligen Bestandteile zerlegt werden. Allerdings ist hier höchste Vorsicht am Platz, denn die chemische Analyse alteriert die Säfte so sehr, dass exakte Aussagen über die Ausgangsstoffe kaum möglich sind.

Physiologie ist die Beschreibung von Bewegungen (*motuum enarratio*) der lebenden Körpermaschine, der *machina animalis*. Kein Wunder, so sagt Haller, dass die mechanische und hydraulische Wissenschaft in das Gebiet der Physiologie eingedrungen ist³³, und dies zu Recht. Aber auch hier ist umsichtige Kritik am Platz. Man muss die Komplexität und Spezifität der lebenden Maschine respektieren. Gewiss soll man die in der toten Natur waltenden Bewegungsgesetze auch auf den Organismus übertragen. Nur müssen dann die spezifischen vitalen Bedingungen berücksichtigt werden. Die Blutströmung etwa in elastischen und kontraktile Gefässen ist

nicht mit dem Fließen des Wassers durch starre Röhren identisch³⁴. Die mathematisch-geometrische Methode ist, so sagt Haller, von Borelli³⁵ in kühner Weise zur Beschreibung vitaler Vorgänge verwendet worden. Stephen Hales³⁶ hat diese Methode glücklich mit dem Tierexperiment verbunden. Haller selbst bezeichnet sich als früheren Schüler Johann Bernoullis, des hervorragenden Vertreters der Analysis, der selbst auch iatromathematische Studien betrieben hatte. Von ihm, Haller, dürfe indessen auf diesem Gebiet nicht zu viel erwartet werden³⁷.

IRRITABILITÄT UND SENSIBILITÄT

Im Jahre 1740 umschrieb Haller in einer Anmerkung zu der von ihm besorgten Ausgabe von Boerhaaves *Praelectiones academicae in proprias institutiones rei medicae* das Phänomen der Herzbewegung mit folgenden Worten: «Das Herz bewegt sich aus irgendeiner Ursache, die weder vom Gehirn noch von den Arterien herrührt und die unbekannt ist und im Bau des Herzens selbst verborgen liegt.»³⁸ Haller erweiterte dann diese Hypothese und übertrug sie auf das gesamte kontraktile Gewebe, d. h. das ganze Muskelsystem: «Jede Muskelfaser des lebenden Tieres, die durch eine beliebige Ursache gereizt wird, zieht sich konstant zusammen.»³⁹ Im Jahre 1753 veröffentlichte Haller in den Verhandlungen der Göttingischen Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften seine klassische Arbeit über Sensibilität und Irritabilität⁴⁰.

Irritabel, so stellt Haller fest, sind alle Gewebe, die sich im Experiment auf mechanische, chemische oder thermische Stimuli zusammenziehen. Das gesamte Muskelgewebe ist also per definitionem reizbar, irritabel. Der physiologische Stimulus für die willkürliche Bewegung des Skelettmuskels ist der Nervenreiz. Aber auch der isolierte Muskel, dessen Nerven durchtrennt sind, bewahrt seine Kontraktilität, d. h. er zieht sich auch ohne Nervenimpuls zusammen, bleibt also kontraktile und irritabel. Irritabilität ist nicht an das Nervensystem gebunden, sie fließt nicht aus der *anima Stahlii*, es gibt im isolierten Nerven-Muskel-Präparat kein «sentient principle» als immaterielle Ursache und Träger der Bewegung, wie Robert Whytt meinte⁴¹. Irritabilität kann nicht in ihrem Wesen erklärt werden. Man kann sie nur als experimentelles Phänomen beschreiben (*per experimenta invenitur*) ähnlich wie Newtons Gesetz der Massenanziehung. Auch die Irritabilität hat wie die Massenattraktion ihre Naturgesetzlichkeit, ihre *causa physica*⁴², die im Muskelbau verborgen liegt und wahrscheinlich schon im Keim schlummert⁴³. Haller versucht nicht, diese *vis insita* oder *vis viva*, die er von der rein physikalischen Elastizität des Muskels unterscheidet, auf bekannte physikalische Kräfte zu reduzieren.

Eine fundamentale Eigenschaft vieler lebender Gewebe besteht im Empfindungsvermögen, der Sensilitas⁴⁴. Diese ist an die Nerven dieser Gewebe gebunden. Im Tierversuch kann sie nur mittelbar erkannt werden. Ist ein Körperteil, ein Gewebe sensibel, so beobachtet man Abwehrbewegungen und Zuckungen als Äusserungen der Schmerzempfindung. In zahlreichen peinvollen Experimenten, deren Grausamkeit Haller bedauerte, hat er alle Körperteile auf Sensibilität sondiert. In den folgenden Jahrzehnten hat Haller mit zahlreichen Gelehrten Europas über Sensibilität und Irritabilität korrespondiert und polemisiert. Der wissenschaftliche Austausch und die wissenschaftlichen Auseinandersetzungen, die nicht ohne persönliche Bitterkeit blieben, trugen reiche Früchte. Die Hallerianer Caldani und Fontana in Italien verfeinerten die Methodik und erweiterten die Fragestellung am neuromuskulären Objekt. Caldani benutzte die Technik der elektrischen Reizung⁴⁵, und Fontana beobachtete das refraktäre Verhalten des Herzmuskels, d. h. nach Ablauf einer Kontraktion ist der Herzmuskel für kurze Zeit nicht reizbar⁴⁶. Die Bedeutung des Hallerschen Irritabilitätsbegriffes liegt in seiner streng empirisch-experimentellen Begründung. Irritabilität wurde reproduzierbar und verifizierbar. Auch die Animisten und Vitalisten verschiedener Observanz wurden gezwungen, ihre Thesen experimentell zu belegen. Dies führte zu grundlegenden Arbeiten über die Steuerung komplexer Bewegungen durch niedere Nervenzentren, etwa das Rückenmark⁴⁷. Von grösster Bedeutung war Hallers Verknüpfung spezifischer Strukturen mit spezifischen Funktionen: Irritabilität ist dem Muskel eigen, Sensibilität ist an die Nervenfasern gebunden. Diese Vorstellung fand dann in der organozistisch-vitalistischen Gewebelehre Bichats einen systematischen Niederschlag.

DAS GEHIRN

Haller hat die cerebrale Physiologie vor allem unter dem Gesichtswinkel der Sensibilität bearbeitet. Die Frage lautete: Ist die Gehirnschicht sensibel? Er reizte die Gehirnrinde einerseits und das Gehirnmark andererseits. Die Rinde erwies sich als unempfindlich, d. h. bei Verletzung, Abtragung oder oberflächlicher Berührung der Rinde traten beim Versuchstier keine Schmerzäusserungen oder Fluchtbewegungen auf⁴⁸. Bei Verletzung des Gehirnmarks z. B. durch Einstich einer mit Mennige rot gefärbten Sonde, wodurch die Lage des Stichkanals markiert wurde⁴⁹, traten beim Versuchstier heftige Bewegungen auf. Diese Bekundungen der Sensibilität erschienen nach Verletzung der verschiedensten Markbereiche in ähnlicher Weise. Haller schloss daraus auf eine funktionelle Homogenität des Gehirns⁵⁰. Dies ist eine erstaunliche Feststellung bei einem morphologischen Denker wie Haller, der doch sonst Struktur und Funktion in so innige Be-

ziehung brachte. Aber hier sondierte er eben die medullären Hirnbezirke auf Äusserungen der Sensibilität.

ATMUNG

Haller unterschied zwei Hauptgebiete: einmal die Atemmechanik (*phaenomena respirationis*), dann den physiologischen Nutzen dieser Phänomene (*utilitas respirationis*)⁵¹. Haller hat selbst wichtige Beiträge zum Verständnis der Atemmechanik geliefert. Er untersuchte den Mechanismus der Atemexkursion an der menschlichen Leiche und in zahlreichen Tierexperimenten. Während der Einatmung, so stellte Haller fest, erweitert sich der Brustkorb unter Rotation der Rippen in sagittaler und transversaler Richtung⁵². In zahlreichen Versuchen bewies er die physiologische Luftleere im Brustfellraum: Wenn er die Pleurahöhle beim lebenden Tier unter Wasser eröffnete, stiegen keine Luftblasen empor⁵³. Die Säugtierlunge ist frei beweglich, sie folgt dem expandierenden Thorax in der Inspiration und zieht sich bei der Expiration durch ihre Elastizität und durch die Kompression von Brustkorb und Bauchmuskeln zusammen. Die Vogellunge, so stellte Haller fest, verhält sich anders. Sie ist unbeweglich und mit dem Brustkorb verwachsen und setzt sich in thorakale und abdominale Luftsäcke fort⁵⁴.

Worin besteht nun der Nutzen und Zweck der Atmung? Diese teleologische Fragestellung ist keineswegs überraschend, denn Haller ist ja überzeugt, Vorrichtungen zu erforschen, die von Gott geschaffen und daher höchst zweckmässig seien.

Er erörtert folgende Hypothesen: 1. Übertritt von Luft ins Blut, 2. Abkühlung des erhitzten Blutes, 3. Eintritt eines salpeterähnlichen Luftbestandteils, der das Lungenblut bei der Atmung rötet und vitalisiert, 4. mechanische Einwirkungen der Lungenbewegungen auf die Blutmasse⁵⁵. Jede dieser Hypothesen wird auf Grund der enormen Literaturkenntnis im einzelnen dargelegt und kritisch abgewogen. Haller selbst sieht den Nutzen der Atmung in dreifacher Hinsicht. Erstens Übertritt von Luft ins Blut. Die Luft ist wahrscheinlich konstitutiver Bestandteil des Blutes und aller Körpersäfte. Zweitens Ausdünstung von Wasser und schädlichen Dämpfen und drittens mechanische Wirkungen auf Kreislauf und Blut⁵⁶. Bei der Inspiration z. B. werden die venösen Lungengefässe entleert.

Sodann wird durch das Ein- und Ausatmen die Blutmasse geknetet und die ins Blut resorbierte Speiseflüssigkeit homogenisiert. Dabei wird Reibungswärme frei, und das Blut rötet sich⁵⁷.

Eingehend befasst sich Haller mit dem Wechsel der Blutfarbe. Die Untersuchungen zuverlässiger Autoren, so führte er aus, lassen keinen Zweifel daran, dass sich das Blut *in vitro* bei Luftzutritt rot färbt und bei Luftent-

zug im Vakuum schwärzt⁵⁸. Haller kennt auch die Versuche von Richard Lower⁵⁹. Dieser hatte am künstlich beatmeten Versuchstier beobachtet, wie sich das Blut bei der Lungenpassage purpurrot färbte und wie beim erstickenden Tier die gesamte Blutmasse mit Einschluss des arteriellen Blutes schwarz wurde. Haller erkannte die Bedeutung dieses klassischen Experimentes nicht und bezweifelte die konstante Rötung des Blutes durch den Atmungsprozess. Am bebrüteten Hühnchen nämlich, also vor Eintritt der Atmung, konnte Haller Blutgefäße mit hellem und dunklem Blut beobachten⁶⁰.

Zudem fand Haller bei einigen Säugetierarten auch in den Lungenvenen dunkles Blut vor⁶¹. Ausserdem wies er auf die hypothetische Natur des «nitrum aereum», d. h. der salpetrigen Luft, hin⁶². Was ist das, so fragte er, für ein Stoff, der nach den Angaben Mayows das Blut rot färbt und durch Gärung vitalisiert? Hier zeigt sich beispielhaft die historische Funktion der Elementa als Instrument objektiver Wissensvermittlung mit einer umfassenden Beschreibung fremder Beobachtungen und mit der Darlegung auch jener Hypothesen, mit denen Haller nicht übereinstimmte.

HERZ UND KREISLAUF

Haller hat sich während seiner ganzen Forschertätigkeit intensiv mit dem kardiovaskulären Apparat befasst. Das Herzorgan, als ein von Gott präformiertes Instrument, dessen Pulsschlag den Lebensbeginn kündigt und dessen lebenslange Kontraktion die irritabilitas Halleri demonstrierte, hat ihn fasziniert. Hier konnte die machina animata mit den praecepta mechanica, hydraulica et hydrostatica beschrieben werden, d. h. Physiologie als enarratio motuum. Ende der dreissiger Jahre begann Haller mit ersten Studien über die Herzbewegung⁶³, in den vierziger Jahren folgte das grosse Werk über die Topographie der Arterien⁶⁴, dann mündete seine Bearbeitung der Herzphysiologie in das Untersuchungsfeld der Irritabilität ein. In den fünfziger Jahren erfolgten zuerst in Göttingen dann in Bern Experimente über die Blutbewegung sowie eine Studie über die Entwicklung des Herzens im Hühnerembryo⁶⁵, und in den Elementa folgte dann die Summa physiologiae des Zirkulationsapparates⁶⁶. Bei diesen Studien stützte sich Haller auf sein gesamtes methodisches Rüstzeug: Morphologische Untersuchung des embryonalen und erwachsenen Herzens, funktionelle Deutung dieser Befunde, mikroskopische Untersuchungen, experimentelle Analyse, physikalische Fassung der Zirkulation, numerisch-statistische Auswertung der Befunde. Die Monographie über die Entwicklung des Herzens beim Hühnchen ist die erste auf einem breiten empirischen Material fussende Arbeit über die Entwicklungsgeschichte eines Organes⁶⁷. Haller beschreibt und erkennt das ungeteilte Herzrohr, er schildert erst-

mals die Teilung des Vorhofs und identifiziert den von ihm benannten *bulbus aortae*⁶⁸. Galen hatte auf die Autonomie des Herzorgans hingewiesen, dessen Pulsschlag unabhängig von den Nerven war und das auch nach der Entfernung aus dem Körper weiterzuckte⁶⁹. Haller griff diese alte Frage neu auf und untersuchte sie unter dem Gesichtspunkt seiner Irritabilitätslehre. Das kontraktile Herz ist per definitionem irritabel. Einblasen von Luft, Erwärmung, mechanische Irritation mit Skalpell und Nadel, Kontakt mit Chemikalien sind Stimuli der Herzirritabilität⁷⁰. Am reizbarsten ist die Innenwand des rechten Vorhofs. Welches ist nun aber der physiologische Reiz der Herzbewegung? In Analogie mit dem Skelettmuskel wäre zunächst an die Herznerven zu denken. Zahlreiche experimentelle Befunde widersprechen aber dieser Annahme: Durchschneidung der Nn. vagi und des Sympathicus, Verletzung und Entfernung des Klein- und Grosshirns, das Durchtrennen des Halsmarks bringen den Pulsschlag nicht zum Erliegen⁷¹, obwohl hier die Innervation und cerebrale Kommunikation des Herzens ausgeschaltet ist. Damit hat Haller die Herzautomatie postuliert, eine seiner bedeutendsten physiologischen Leistungen. Das mit jeder Vorhofserweiterung in das Herz einströmende Blut ist für Haller der physiologische Stimulus⁷².

Im 2. Bande der *Elementa* befasst sich Haller mit der Blutbewegung. Gleich zum vornherein beklagt er die methodischen Schwierigkeiten dieses Unterfangens⁷³. In diesem ganzen Buch finde sich viel Theorie und wenig empirische Evidenz. Das einzig unmittelbar Sichere (*quae certa*) ist die mikroskopische Beobachtung des Blutstromes bei Tieren mit durchsichtiger Haut und die Erkennung des Pulses. Alles andere gehört zum Arbeitsgebiet der mathematischen Ärzteschule (*iatromathematica secta*). Diese befasst sich mit schwierigen Fragen, wie der Bewegung des Blutes durch Kanäle, der Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit, der Messung der Herz- und Pulskraft usw. Haller war Discipulus von Johannes Bernoulli gewesen, er kannte Daniel Bernoullis Hydrodynamik sowie dessen Arbeiten über den Puls, den Daniel Bernoulli auf den Seitendruck des Blutes zurückführte⁷⁴. Er kannte auch Daniel Bernoullis Berechnung der Herzarbeit, die zum ersten Male in der richtigen physikalischen Dimension, d. h. Kraft mal Weg, beschrieben wurde. Haller hat diesen *calculus Bernoullis* in seiner wahren Bedeutung zwar nicht erkannt, er hat aber die Berechnung Bernoullis in den *Elementa* registriert⁷⁵. Natürlich kannte Haller das klassische Werk der Hämodynamik von Stephen Hales⁷⁶, in dem Haller die glückliche Verbindung von experimenteller Fragestellung und physikalischer Berechnung bewunderte und wo der Blutdruck erstmals aus der Steighöhe des Blutes in einer Glasröhre bestimmt wurde. Wobman⁷⁷ hat gezeigt, wie Haller aus den Ergebnissen dieser Forscher und aus eigener Beobachtung und Berechnung mit der ihm eigenen Integrationskraft eine geschlossene Darstellung der Hämodynamik gab.

Einige Resultate seien hier angeführt:

Mikroskopische Untersuchungen bei Kaltblütern zeigte die laminare Blutströmung mit maximaler Geschwindigkeit des Axialstroms in den kleinen Gefässen⁷⁸. Der Strömungswiderstand ist proportional der Länge des Blutgefässes sowie der inneren und äusseren Reibung des Blutes und umgekehrt proportional dem Gefässquerschnitt⁷⁹.

Auch in diesen iatrophysikalischen Studien zeigt sich die empirische Orientierung Hallers: Zuerst erfolgt die morphologische und physiologische Beobachtung und Messung, d. h. es wird die Komplexität der animalen Maschine respektiert, und dann erst folgt der darauf fussende Calculus: Mathematik am Tier und nicht auf dem Papier.

Der Physiologe Haller war Mechanist, vor allem aber Empiriker auf breiter morphologischer und funktioneller Grundlage. Zugleich ist er bestrebt, die empirischen Befunde gesetzmässig zu ordnen. Die Hallersche Physiologie als *Anatomia Animata* ruht auf zwei Pfeilern: Dem morphologischen Befund einerseits und dem Experiment andererseits, das die Funktionen der bewegten Strukturen zeigt. Haller hat volles Vertrauen in die Gültigkeit der experimentellen Aussage.

Die *Elementa Physiologiae* wurden für mehr als ein halbes Jahrhundert zum meistzitierten Handbuch⁸⁰, und zwar nicht nur wegen der Fülle faktischen Wissens, sondern auch wegen der straffen Organisation der Fakten und der klaren Erfassung der Probleme. In der Leberforschung hat Haller keine grundlegenden Entdeckungen gemacht. Und doch bilden die *Elementa* als klärendes Filter das methodische und gedankliche Fundament für die Leberforschung des nächsten halben Jahrhunderts. Die *Elementa* bringen der Hepatologie eine klare Gliederung des Stoffes, die Unterscheidung des gesicherten Befundes von der Hypothese und die Eliminierung unhaltbar gewordener Vorstellungen. Zugleich erkennt Haller das Grundproblem der Leberforschung seiner Zeit: Ist die Leber nur eine Gallendrüse oder erfüllt sie als mächtiges Organ der Bauchhöhle noch andere vitale Aufgaben.

Die *Elementa* geben auch das letzte Gesamtgemälde der *machina humana* vor der Begründung der organischen Chemie und der Zellenlehre. Das fasrige Grundelement bildet Stützgewebe, Membranen, Gefässe sowie kontraktile und sensible Gewebe. Die irritablen Herzfasern treiben das Blut im Kreise herum. Dabei wird durch Reibung Wärme frei und im Röhrenfilter der Drüsen werden Säfte abgesondert. Die ebenfalls irritablen Muskelfasern bewegen die menschliche Maschine, und die Nervenfasern verbinden die Seele mit der Aussenwelt. Der aus einem peripheren Sinnesindruck eingeleitete zerebrale Prozess wird durch die Seele als Idee empfunden, die selber nur ein Zeichen des äusseren Objekts und mit ihm nicht identisch ist.

Anmerkungen

- ¹ *H. Balmer*: Albrecht von Haller. Bern: Haupt 1977 (Berner Heimatbücher 119).
H. Buess: Zur Entstehung der *Elementa Physiologiae* Albrecht von Hallers, in: *Gesnerus* 15 (1958) S. 17–35; idem: Albrecht von Haller and his «*Elementa Physiologiae*» as the beginning of pathological physiology, in: *Medical History* 3 (1959) S. 123–131; idem: Die Anfänge der pathologischen Physiologie auf dem Gebiet der Kreislaufforschung nach Albrecht von Hallers *Elementa Physiologiae* 1756/1760, in: *Gesnerus* 11 (1954) S. 121–151.
E. Hintzsche: *Anatomia animata*. Ciba Zeitschrift, Jg. 10 (1948) Nr. 110; idem: Albrecht von Haller, in: *Dictionary of Scientific Biography* 6 (1972) S. 61–67 (Grundlegender Artikel mit einschlägiger Literatur).
E. Lesky: Albrecht von Haller und Anton de Haen im Streit um die Lehre von der Sensibilität, in: *Gesnerus* 16 (1959) S. 16–46.
B. Milt: Empirie und das statistisch fundierte biologisch-medizinische Denken in der Geschichte, in: *Gesnerus* 13 (1956) S. 1–28.
M. Neuburger: Die historische Entwicklung der experimentellen Gehirn- und Rückenmarksphysiologie vor Flourens. Stuttgart 1897. (S. 119–213: Die experimentelle Gehirn- und Rückenmarksphysiologie im Zeitalter Hallers.)
S. A. Roe: The development of Albrecht von Haller's views on embryology, in: *Journal of the Hist. of Biology* 8 (1975) S. 167–190.
K. E. Rothschuh: Physiologie. Der Wandel ihrer Konzepte, Probleme und Methoden vom 16. bis 19. Jahrhundert. Freiburg, München 1968. (S. 134–151: Die Irritabilitätsphysiologie des 17. u. 18. Jahrhunderts und die *Anatomia animata* von Albrecht von Haller.)
G. Rudolph: Hallers Lehre von der Irritabilität und Sensibilität, in: *Von Boerhaave bis Berger: Die Entwicklung der kontinentalen Physiologie im 18. und 19. Jahrhundert mit besonderer Berücksichtigung der Neurophysiologie*, Hg. v. K. E. Rothschuh, Stuttgart 1964, S. 14–34.
R. Schär: Albrecht von Hallers neue anatomisch-physiologische Befunde und ihre heutige Gültigkeit. Bern 1958. *Berner Beiträge z. Gesch. d. Med. u. d. Naturwiss.* Nr. 16.
O. Sonntag: Albrecht von Haller on the future of science, in: *Journal of the Hist. of Ideas* 35 (1974) S. 313–322.
O. Temkin: The classical roots of Glisson's doctrine of irritation, in: *Bulletin of the Hist. of Medicine* 38 (1964) S. 297–323.
R. Toellner: Albrecht von Haller. Über die Einheit im Denken des letzten Universalgelehrten. Wiesbaden 1971. *Sudhoffs Archiv, Beihefte*, H. 10.
P. Wobmann: Albrecht von Haller, der Begründer der modernen Hämodynamik, in: *Arch. f. Kreislaufforschung* 52 (1967) S. 96–128.
- ² Zu Hallers wechselnder Einstellung zur Epigenese und Präexistenz s. J. Needham: *A history of embryology*, 2nd ed., Cambridge 1959, S. 198–202; J. Roger: *Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIII^e siècle*, Paris 1963, S. 705–712; R. Toellner (Anm. 1) S. 182–188; F. A. B. Sturm: *Albrecht von Hallers Lehre über die Entstehung der Mißbildungen*, Diss. med. Bonn 1974, S. 99–107; H. B. Adelman: *Marcello Malpighi*, Ithaca, N. Y., Pt. 2 (1966) S. 893–900, Pt. 3 (1966) S. 1388ff.; S. A. Roe (Anm. 1).
- ³ Zu den *Elementa* s. H. Buess (Anm. 1) u. R. Toellner (Anm. 1) S. 128–188.
- ⁴ C. Zanetti u. U. Wimmer-Aeschlimann: *Eine Geschichte der Anatomie und Physiologie von Albrecht von Haller*. *Berner Beiträge z. Gesch. d. Med. u. d. Naturwiss.*, N. F. 1, Bern 1968, S. 89.
- ⁵ Op. cit. S. 92.
- ⁶ N. Mani: *Naturwissenschaftlich-biologische Grundlagenforschung in der Medizin des 17. Jahrhunderts*, in: *Medizinhistor. Journal* 11 (1976) S. 181–205. Insbesondere ist es Stensens und Malpighis Forschungsprogramm (S. 202–204), das mit den methodischen Forderungen Hallers in wesentlichen Punkten übereinstimmt.

- ⁷ Zu Haller und Newton s. R. Toellner (Anm. 1) S. 144–146 und S. A. Roe (Anm. 1) S. 180–183; Rudolph (Anm. 1) S. 27–29.
- ⁸ I. Newton: *Opticks*, New York, Dover Publ. (1952), Book 3, Pt. 1, S. 401: «These Principles (gravity, fermentation, cohesion of bodies) I consider not as occult Qualities, supposed to result from the specifick Forms of Things, but as general Laws of Nature, by which the Things themselves are form'd; their Truth appearing to us by Phaenomena, though their Causes be not yet discover'd.» I. Newton: *Philosophiae naturalis principia mathematica* (3rd ed. 1726). Ed. by A. Koyré and I. B. Cohen, Vol. 2, Harvard U. Pr. 1972, S. 764 (ursprüngliche Paginierung S. 530): «Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo ... In hac philosophia propositiones deducuntur ex phaenomenis, et redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, et impetus corporum et leges motuum et gravitatis innotuerunt. Et satis est, quod gravitas revera existat, et agat secundum leges a nobis expositas ...» Ähnlich sagt Haller: Über das Wesen der Kräfte wisse man nichts, man könne nur die Wirkung der Kräfte aus den experimentellen Erscheinungen erkennen. *Elementa I*, S. 426: «Virium mensura effectus est, nam motus ipsius, rei quidem notissimae, naturam tamen nemo philosophorum perspexit.» *Elementa IV*, S. 531: «Nihil enim de viribus novimus, quam quae per experimenta didicimus.»
- ^{8a} G. A. Lindeboom: *Hermann Boerhaave. The man and his work*. London 1968.
- ⁹ *Elementa I*, S. I–XII.
- ¹⁰ *Elementa I*, S. I, VI–VIII.
- ¹¹ *Elementa I*, S. I.
- ¹² *Ibid.*
- ¹³ Haller: *Primae lineae physiologiae*. Göttingen 1747 (praefatio); *Elementa I*, S. I–III.
- ¹⁴ Haller: *De amoenitate anatomes oratio*, in: *Opera minora III*, S. 272–276.
- ¹⁵ Haller: *Gedanken über Vernunft, Aberglauben und Unglauben*, Vers 347/348, in: L. Hirzel: *Albrecht von Hallers Gedichte*. Frauenfeld 1882, S. 58.
- ¹⁶ *Elementa I*, S. II.
- ¹⁷ *Elementa I*, S. III; Haller: *De cerebro avium et piscium*, in: *Opera minora III* (1768) S. 191–217, S. 198; R. Schär (Anm. 1) S. 42.
- ¹⁸ *Opera minora III*, S. 198.
- ¹⁹ G. Cuvier: *Leçons d'anatomie comparée*. T. 1, Paris an VIII (1800) S. II–VII (lettre à Jean Claude Mertrud).
- ²⁰ *Elementa IV*, S. 458
- ²¹ *Elementa I*, S. III–IV, S. III: «Dissecanda ergo animalia. Verum minime sufficeret cadavera dissecuisse, viva incidisse necesse est. A cadavere motus abest, omnem ergo motum in vivo animale speculari oportet. Sed in motu animati corporis interno et externo tota physiologia versatur.»
- ²² *Ibid.*
- ²³ *Elementa I*, S. IV; s. auch H. Buess (1954) (Anm. 1).
- ²⁴ *Elementa IV*, S. 316–319; *Elementa V*, S. 538–539.
- ²⁵ *Elementa I*, S. IV; *Elementa VII*, S. 536.
- ²⁶ *Elementa I*, S. V; Haller: *Mémoires sur la nature sensible et irritable des parties du corps animal*, T. 1, Lausanne 1756, S. 110, 114–115.
- ²⁷ *Op. cit.* S. 114.
- ²⁸ *Elementa I*, S. V; *Mémoires* (Anm. 26) S. 110.
- ²⁹ B. Milt (Anm. 1).
- ³⁰ *Opera minora*, T. II (1767), Tabelle zu S. 584; Needham (Anm. 2) S. 196–197.
- ³¹ Haller: *Opuscula pathologica*, in: *Opera minora*, T. III (1768), S. 277–382, observatio XXXVIII u. XXXIX S. 321–330: calculi fellei.
- ³² *Elementa I*, S. V.
- ³³ *Elementa I*, S. V–VI.

- ³⁴ Elementa I, S. VI.
- ³⁵ Ibidem.
- ³⁶ St. Hales: *Statical Essays containing haemastatics*, v. 2, London 1733; Elementa I, S. VI.
- ³⁷ Elementa I, S. X: «Erunt etiam, qui in discipulo Johannis Bernoullii reconditae analyseos maiorem peritiam desiderabunt.»
- ³⁸ H. Boerhaave: *Praelectiones academicae in proprias institutiones rei medicae*, ed. et notas add. A. Haller, Vol. II, Göttingen 1740, S. 129 (= Hallers Anmerkung (i) zum Schluss des § CLXXXVII «Ergo cor movetur a causa aliqua, quae neque a cerebro, neque ab arteriis derivatur, ignota, et in ipsa fabrica cordis latente»).
- ³⁹ Boerhaave: *Praelectiones academicae*, vol. IV, Göttingen 1748, S. 595 (im Text von Hallers Anmerkung (a) zum § DC: «Caeterum tota theoria ista simplicissimo illo phaenomeno, a nemine negabili, nititur, omnem fibram musculosam animalis vivi, irritatam a quacumque causa, continuo in contractionem ire, ita ut haec ipsa ultima nota sit, qua animalia imperfecta a vegetabilibus dignoscantur.»
- ⁴⁰ Haller: *De partibus corporis humani sensilibus et irritabilibus*, in: *Commentarii Soc. Reg. Scientiar. Gotttingensis*, Bd. 2, Göttingen 1753, S. 114–158.
- ⁴¹ Op. cit. S. 134–158; umfassende Darstellung der Sensibilität und Irritabilität im 4. Bande von Hallers Elementa; s. auch M. Neuburger (Anm. 1) und G. Rudolph (Anm. 1); zu Haller und Whytt s. R. K. French: *Robert Whytt, the soul, and medicine*. London: Wellcome Inst. (1969), S. 63–76: *The controversy with Haller: sense and sensibility*.
- ⁴² *De partib. corp. hum. sens. et irr.* (1753) (Anm. 40) S. 154: «Quid ergo repugnat, cur irritabilitas non sit glutinis animalis in fibra musculosa ea proprietas, ut tactum et lacessitum se constringat, cui nullam porro causam adsignare necesse est, uti nulla causa adtractionis aut gravitatis in materie probabilis adsignatur. Physica causa est, latet in intima fabrica, et per experimenta invenitur, quae satis ad eam demonstrandam evidentia, ad causam in fabrica indagandam nimis crassa sunt.» Dieselbe Stelle in: *Opera minora*, T. I, Pt. 2, S. 436; Elementa IV, S. 514: «Causam quidem neque mechanicam huius potestatis quaero, neque omnino physicam, qui persuadeor, propriam et innatam fibrae animali vim esse, cuius non aliam porro causam quaerere oporteat ...» Zu dieser Newtonschen Position Hallers s. Anm. 7 u. 8; Haller lehnt die Bezeichnung «Lebenskraft» für die spezifische, der Muskelfaser innewohnende Fähigkeit der Kontraktion ab, Elementa IV, S. 464: «Vim vitalem maluerunt nuperi Cl. viri vocare, quae vox non perinde placet, cum vis nostra vitae aliquantum supervivat. Insitam adeo sive propriam musculi dicere malim.»
- ⁴³ Elementa IV, S. 465: «Haec caeterum vis (sc. vis contractilis irritabilitas dicta) ... quasi dormire videtur in embryone, qui materno ovo continetur, cieri inde et excitari in conceptu a spermate masculino irritata.»
- ⁴⁴ *De partibus corp. hum. sens. et irrit.* (Anm. 40) S. 114–134, S. 116: «Sensibilem partem corporis humani appello, cuius contactus animae repraesentatur, et in animalibus brutis, de quorum anima non perinde liquet, eas partes sensibiles dico, quibus irritatis animal manifesta doloris et incommodi signa ostendit ...»; s. a. Elementa IV, S. 269–357; Haller: *De partibus corporis humani sentientibus et irritabilibus*, pars altera, in: *Opera minora*, T. I, Pt. 2 (1763), S. 329–404; Haller: *De partibus corporis humani sentientibus et irritabilibus sermo tertius*, in: *Novi commentarii Soc. Reg. Scientiar. Gottin. T. III* (1773), S. 1–36. Haller nannte die empfindungsfähigen Teile partes sensiles, sensibiles, sentientes, und die Eigenschaft sensilitas, vgl. dazu: G. Rudolph: *De partibus sensilibus*, *Sudhoffs Archiv* 49 (1965) S. 423–430.
- ⁴⁵ E. Hintzsche: L. M. Caldani, in: *Dictionary of Scientific Biography* 3 (1971) S. 15–16; K. E. Rothschild: *Von der Idee bis zum Nachweis der tierischen Elektrizität*, in: *Sudhoffs Archiv* 44 (1960) S. 25–44, S. 29/30; Neuburger (Anm. 1) S. 154.
- ⁴⁶ L. Belloni: Felice Fontana, in: *Dictionary of Scientific Biography* 5 (1972) S. 55–57; J. F. Marchand and H. E. Hoff: *Felice Fontana: The laws of irritability. A literal translation of the memoir De irritabilitatis legibus 1767*, in: *Journ. of the Hist. of Med. and all.*

- sc. 10 (1955) S. 197–206, 302–326, 399–420 (Refraktäres Verhalten des Herzmuskels S. 315–321).
- ⁴⁷ Neuburger (Anm. 1) S. 164–165, 182–186, 190–191.
- ⁴⁸ Opera minora, T. I, Pt. 2 (1763), S. 350–353; Elementa IV, S. 314–315.
- ⁴⁹ Elementa IV, S. 315.
- ⁵⁰ Elementa IV, S. 315–320; Opera minora I, Pt. 2, S. 354; Opera minora, T. III, S. 216: «Non est in cerebro regio, in qua determinatum aliquod regnum certarum idearum habitet.»
- ⁵¹ Elementa III, S. 224–365.
- ⁵² R. Schär (Anm. 1) S. 30.
- ⁵³ Opera minora, T. I, S. 305–311, 315–316.
- ⁵⁴ Opera minora, T. I, S. 307, 315.
- ⁵⁵ Elementa III, S. 313–351.
- ⁵⁶ Elementa III, S. 351–359.
- ⁵⁷ Elementa III, S. 356.
- ⁵⁸ Elementa III, S. 340.
- ⁵⁹ Elementa II, S. 8, 312.
- ⁶⁰ Elementa II, S. 11.
- ⁶¹ Opera minora, T. I, S. 68–69.
- ⁶² Elementa II, S. 8, 312–313; Elementa III, S. 334–335.
- ⁶³ De motu sanguinis per cor, praes. A. Haller, disp. D. W. Schmidt 1737, in: Opera minora, T. I, S. 47–59.
- ⁶⁴ Icones anatomicae, Fasc. I–VIII, Göttingen 1743–1756.
- ⁶⁵ Deux mémoires sur le mouvement du sang, Lausanne 1756; Sur la formation du cœur dans le poulet, Lausanne 1758.
- ⁶⁶ Elementa T. I (1757), T. II (1760).
- ⁶⁷ H. B. Adelman: Marcello Malpighi and the evolution of embryology, vol. 3 (1966), S. 1387.
- ⁶⁸ Op. cit. S. 1389.
- ⁶⁹ N. Mani: Die editio princeps des Galen und die anatomisch-physiologische Forschung im 16. Jahrhundert, in: Das Verhältnis der Humanisten zum Buch, hg. v. F. Krafft u. D. Wuttke. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kommission f. Humanismusforschung, Mitt. IV (1977), S. 209–226, S. 221.
- ⁷⁰ Elementa I, S. 465: «Et primo cor et sponte movetur, et ex quiete ad motum ab aere, a calore, a liquore impulso, a scalpello, a liquore acri quocumque, a salibus, a venenis per ignem paratis facillime revocatur.»
- ⁷¹ Elementa I, S. 461–465; Opera minora, T. I, S. 170, 353, 354.
- ⁷² Elementa I, S. 493: «Qui hos experimentorum nostrorum eventus pensitaverit, is quidem non dubitabit nobiscum pronunciare, causam, quae cor in motum ciet, omnino sanguinem venosum esse.»
- ⁷³ Elementa II, S. 158.
- ⁷⁴ Wobmann (Anm. 1) S. 103, 114.
- ⁷⁵ F. Huber: Daniel Bernoulli als Physiologe und Statistiker, Basel (1958). Basler Veröffentl. z. Gesch. d. Med. u. Biol. VIII, S. 56–61; Elementa I, S. 456.
- ⁷⁶ S. Anm. 36.
- ⁷⁷ Wobmann (Anm. 1).
- ⁷⁸ Wobmann (Anm. 1) S. 115, 125; Elementa II, S. 323: «In his nunc venis globuli, frigidis certe in animalibus, secundum lineas inter se et axi parallelas feruntur, ... velocitas globulorum secundum axin fluentium aliquanto maior est.»
- ⁷⁹ Wobmann (Anm. 1) S. 117–118; Elementa II, S. 178–184, 272–282.
- ⁸⁰ H. Buess (Anm. 1) (1958) u. (1959); Toellner (Anm. 1) S. 128 ff.