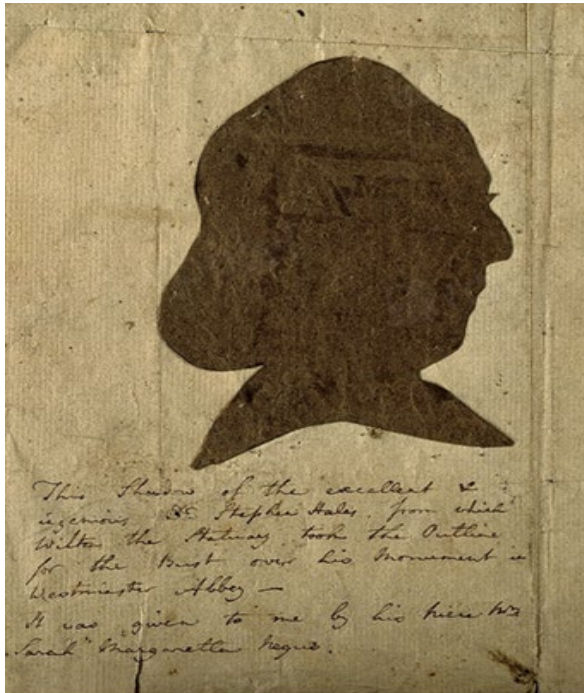


Stephen Hales – ein Geistlicher als Vater der Pflanzenphysiologie und Begründer der quantitativen Herz-Kreislauf-Physiologie

Prof. Dr. Jochen D Schipke



Stephen Hales, 1677-1761
Tusche auf Karton

Stephen Hales nimmt in der Geschichte der Kardiologie eine Schlüsselstellung ein, die weit über seine berühmte Erstmessung des arteriellen Blutdrucks hinausreicht. Als anglikanischer Geistlicher und Naturphilosoph verkörperte er jene für das 18. Jahrhundert charakteristische Synthese von religiöser Weltdeutung und exakter naturwissenschaftlicher Beobachtung. In einer Epoche, in der das mechanistische Weltbild Isaac Newtons und die empirische Methode Francis Bacons das wissenschaftliche Denken revolutionierten, führte Hales die Physiologie von

der spekulativen Naturphilosophie zur messenden, quantifizierenden Wissenschaft.

Biographischer Werdegang

Geboren am 7./17. September 1677 in Bekesbourne, Kent, und verstorben am 4. Januar 1761 in Teddington bei London, prägte Hales durch seine methodische Rigorosität und seinen experimentellen Wagemut zwei fundamentale Forschungsrichtungen:

- die quantitative Pflanzenphysiologie und
- die experimentelle Kreislaufphysiologie.

Seine Arbeiten begründeten jenen Wechsel, der die moderne hämodynamische Diagnostik ermöglichte, und dessen Prinzipien bis heute die klinische Kardiologie strukturieren.

Ausbildung und geistliches Amt

Während seines Studiums am Corpus Christi College in Cambridge widmete sich Hales zunächst der Theologie, wandte sich jedoch früh der Naturforschung zu, insbesondere der Botanik und Chemie. Diese doppelte Ausrichtung sollte sein gesamtes Lebenswerk prägen. Nach seiner Ordination im Jahr 1703 wurde er 1709 zum Pfarrer der Gemeinde Teddington ernannt, wo er bis zu seinem Lebensende als „perpetual curate“ wirkte.

Diese Position als Landpfarrer erwies sich als ideal für seine wissenschaftlichen Ambitionen. Das Pfarrhaus in Teddington wurde zum Labor, in dem Hales mit bemerkenswerter Konsequenz und außergewöhnlicher experimenteller Phantasie seine Versuchsreihen durchführte. Die relative Unabhängigkeit seiner Position ermöglichte ihm, seelsorgerische Arbeit mit intensiver naturwissenschaftlicher Forschung zu verbinden – eine Kombination, die im England des frühen 18. Jahrhunderts durchaus üblich war, aber selten mit solcher wissenschaftlichen Produktivität einherging.



Stephen Hales war lebenslang Landpfarrer in Teddington bei London

Wissenschaftsphilosophische Grundlagen

Hales' Denken war von einem tiefen religiösen Naturverständnis getragen. Für ihn stellte wissenschaftliche Forschung einen Akt der Bewunderung gegenüber der göttlichen Schöpfung dar. Er sah in der Entdeckung natürlicher Gesetzmäßigkeiten die Offenbarung göttlicher Weisheit und verband seinen mechanistischen, quantitativen Ansatz in der experimentellen Arbeit mit dem Bedürfnis und, wie er es empfand, der Pflicht, die Weisheit und Güte Gottes durch das Studium Seiner Schöpfung zu entdecken und zu bewundern.

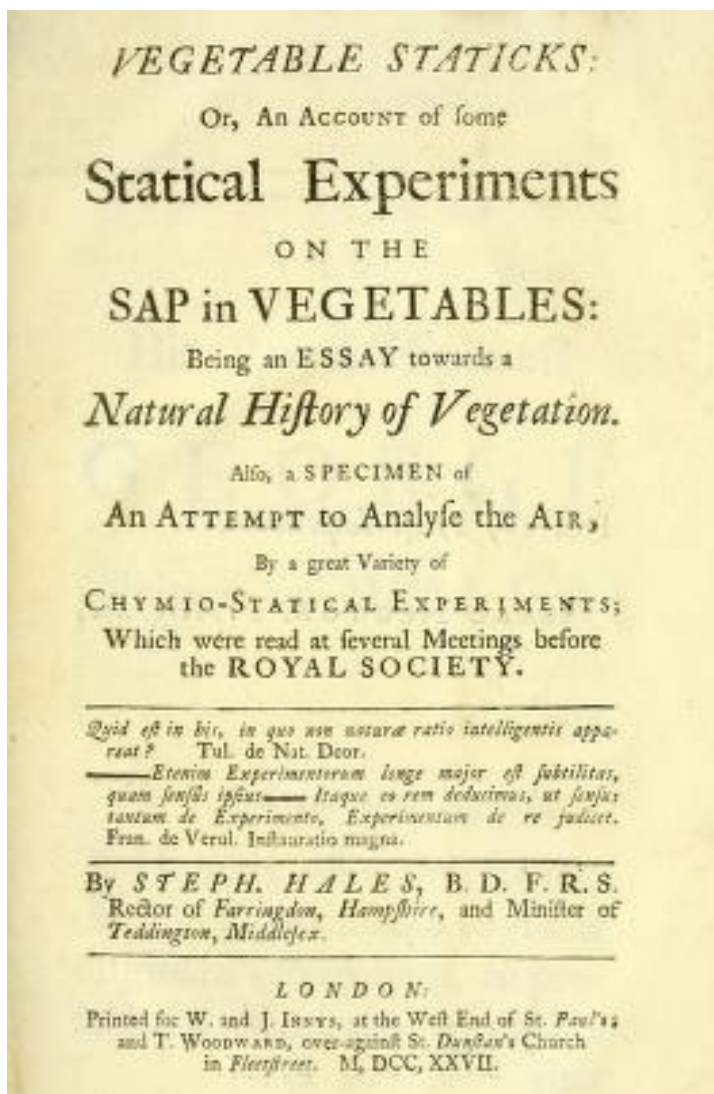
Diese Sichtweise war charakteristisch für viele Naturforscher der frühen Aufklärung, die in der Erforschung der Natur einen Weg sahen, die göttliche Ordnung zu

verstehen. Anders als spätere Wissenschaftsgenerationen empfand Hales keinen Widerspruch zwischen religiöser Überzeugung und exakter naturwissenschaftlicher Methodik. Vielmehr betrachtete er präzise Messungen und mathematische Beschreibungen als Mittel, die vollkommene Ordnung der Schöpfung zu enthüllen.

Vegetable Staticks (1727):

Methodische Grundlegung der quantitativen Biologie

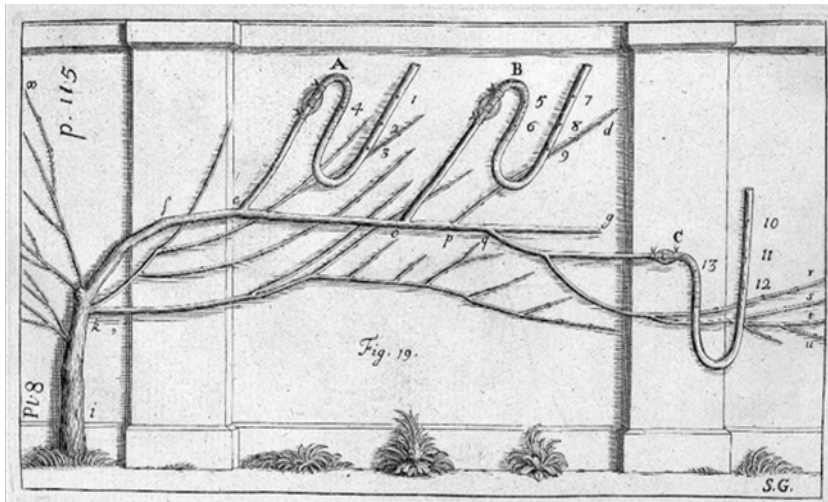
Pflanzen als Messobjekte



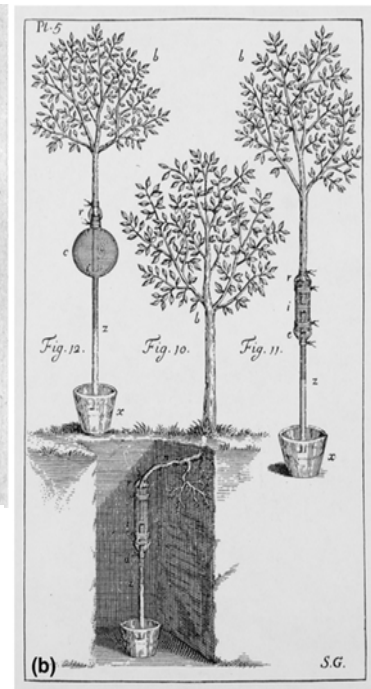
Bevor Hales sich der Tierphysiologie zuwandte, etablierte er in seinen grundlegenden Arbeiten zur Pflanzenphysiologie jene methodischen Standards, die später seine kreislaufphysiologischen Untersuchungen auszeichnen sollten. In „Vegetable Staticks“ (1727) führte er Waagen, Messzylinder und Kapillarröhren als Standardinstrumente ein, um Transpiration, Saftdruck und Gaswechsel von Pflanzen zu quantifizieren.

In minutiösen Experimenten untersuchte Hales die Wasseraufnahme und den Saftstrom in Pflanzen, die Transpiration über die Blätter und den Einfluss von Licht und Luft auf das Wachs-

tum. Er demonstrierte, dass die Transpiration der Blätter den kontinuierlichen Aufstieg des Wassers und der Nährstoffe aus den Wurzeln antreibt, und bestimmte erstmals den Druck des Pflanzensaftes mit beeindruckender Präzision.

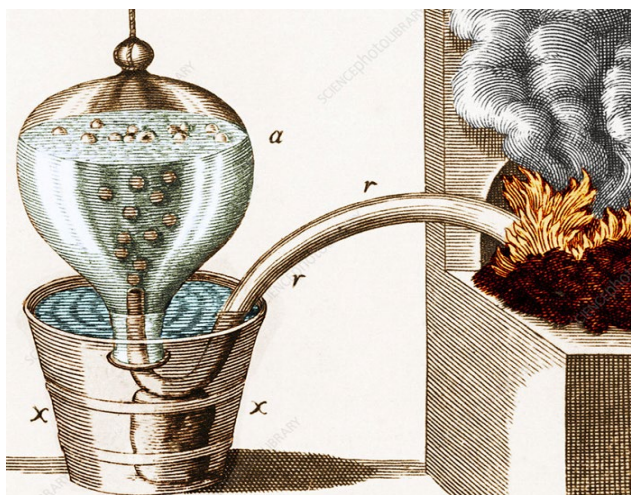


oben: Quecksilbermessgeräte sind an drei Zweigen einer Rebe befestigt, um den Druck des Pflanzensaftes zu bestimmen
rechts: Hales demonstriert, dass die Transpiration der Blätter den kontinuierlichen Aufstieg von Wasser und Nährstoffen aus den Wurzeln antreibt.



Apparative Innovationen

Hales entwickelte Messverfahren und Apparaturen, die für die damalige Zeit revolutionär waren. Besonders bedeutsam waren seine Vorrichtungen zur Sammlung



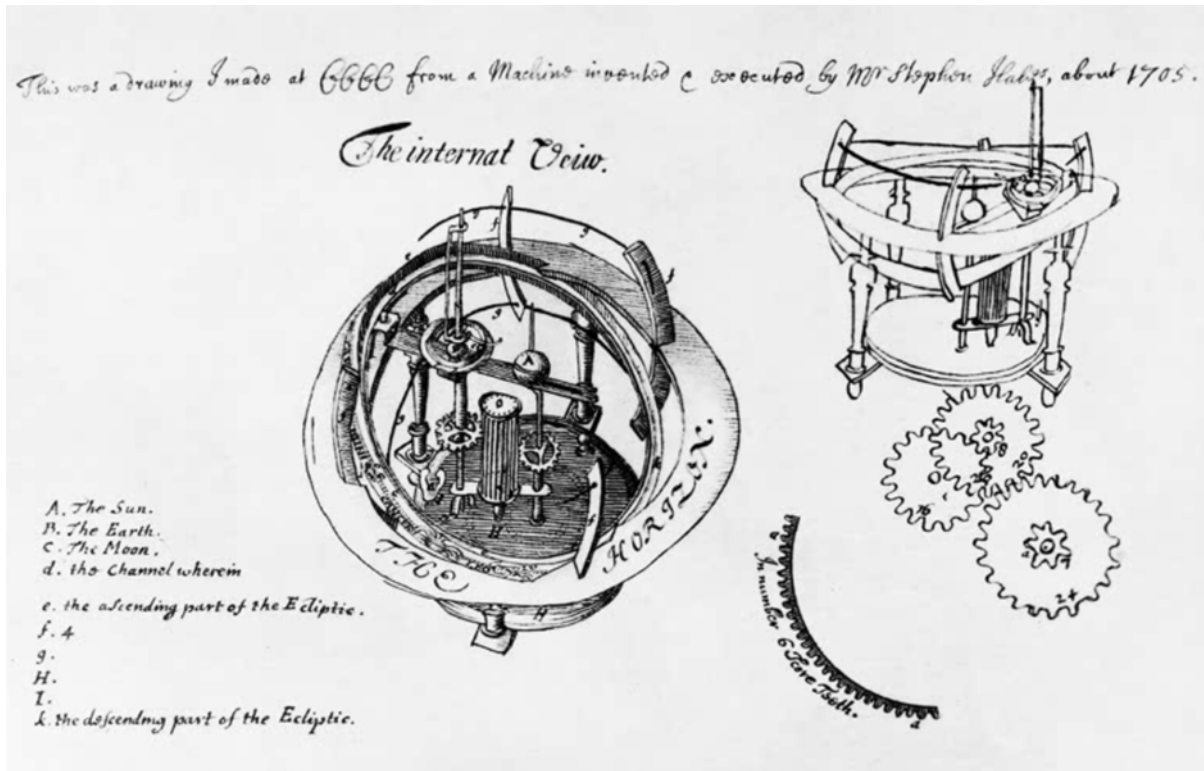
Stephen Hales erfindet eine pneumatische Wanne zum Sammeln von Gasen.

von Gasen, die als Vorläufer des pneumatischen Trogs gelten. Diese Instrumente sollten später Chemikern wie Joseph Priestley und Antoine Lavoisier entscheidende Dienste leisten und die Entdeckung der Atemgase ermöglichen.

Die konsequente Metrisierung pflanzlicher Funktionen machte Hales zum oft zitierten „Vater der Pflanzenphysiologie“ und bereitete methodisch seine

hämodynamischen Tierexperimente vor. Die Übertragbarkeit seiner Messmethoden von Pflanzen auf Tiere demonstrierte die Universalität physikalischer Gesetze in biologischen Systemen – ein fundamentales Prinzip der modernen Physiologie.

Wenig bekannt ist, dass Hales Astronomie studierte und mit dem Newton'schen System gut vertraut war. Nach seinen Vorschlägen konnte er daher seinem engen Freund William Stukeley (1687–1765) den Bau einer Messingmaschine vorschlagen, die die Bewegung der Planeten veranschaulichen sollte.



Nach Vorschlägen von Hales konstruierte Maschine zur Beschreibung der Planetenbahnen. Zeichnung des Konstrukteurs William Stukeley. © SCIENCE SOURCE/SCIENCE SOURCE

Haemastatics (1733):

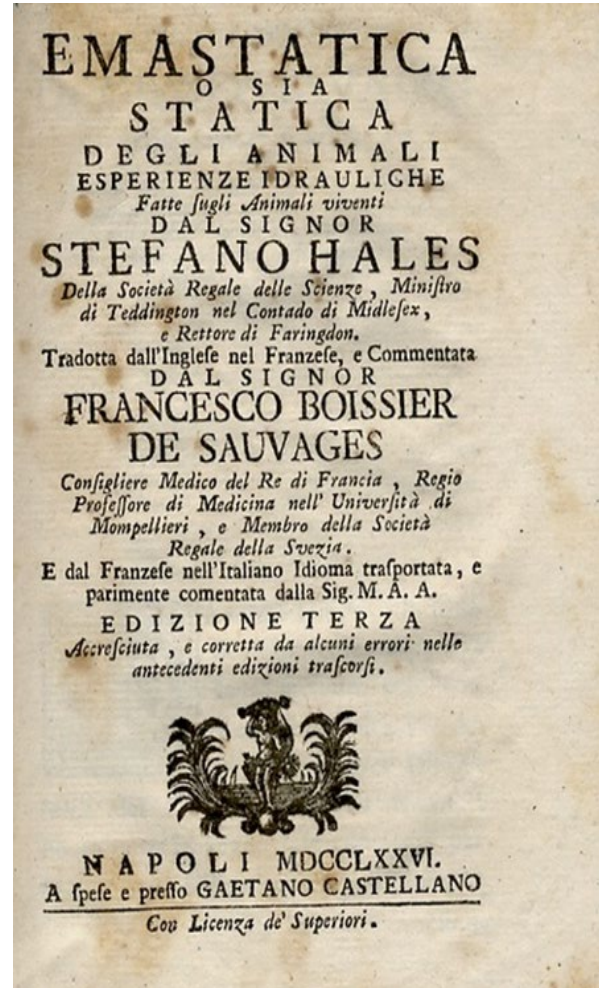
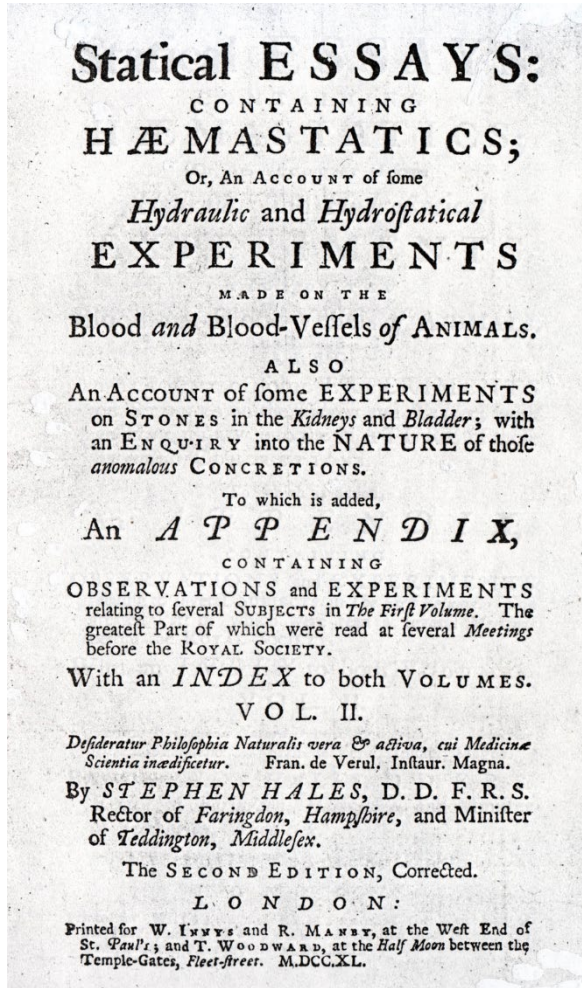
Die Geburt der experimentellen Kardiophysiologie

Das zweibändige Werk „Statical Essays“

1733 erschien der zweite Band von Hales' „Statical Essays“ unter dem Titel „Hæmastatics“, der als Meilenstein der Kreislaufforschung gilt. Dieses Werk dokumentiert die erste direkte Bestimmung des arteriellen Blutdrucks bei Tieren und machte die Kreislaufphysiologie erstmals zu einer exakt messbaren Wissenschaft.

Die „Statical Essays“ repräsentieren in ihrer Gesamtheit ein kohärentes Forschungsprogramm: Band I (Vegetable Statics) systematisierte Transpiration, Wurzel- und Saftdruck sowie Luft- und Lichtaufnahme der Pflanzen; Band II (Haemastatics) etablierte die arterielle Druckmessung und das Experimentalsystem

zur Untersuchung des Kreislaufs. Hales machte damit sichtbar, dass identische Messprinzipien fruchtbar sowohl in der Pflanzen- als auch in der Tierphysiologie angewandt werden können.

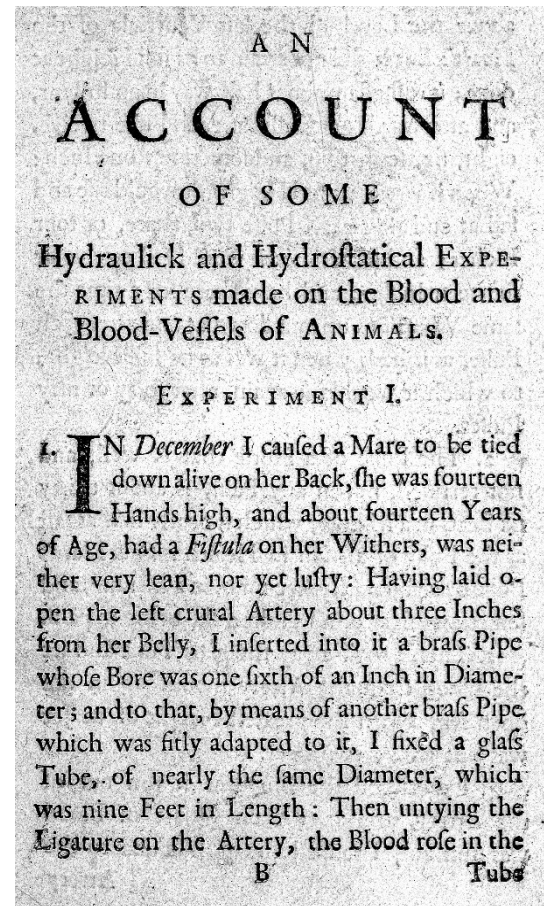


Links: Die Haemastatics (Band II; 2. Auflage) bilden die Basis der arteriellen Druckmessung und des Experimentalsystems zur Untersuchung des Kreislaufs.

Rechts: Übersetzung der Haemastatics ins Italienische (3. Auflage)

Die erste direkte Blutdruckmessung: Das Mare (=Stute)-Experiment

Das berühmte Experiment an einer 14-jährigen Stute wurde zur methodischen Ikone der experimentellen Physiologie. Hales setzte eine Glasröhre von etwa 9 Fuß Länge über eine Messkanüle in die Femoralarterie ein und beobachtete den hydrostatischen Blutstand. Der Blutspiegel stieg auf etwa 8 Fuß 3 Zoll (circa 2,5 Meter) über das Niveau des linken Ventrikels und oszillierte mit jedem Puls um 2 bis 4 Zoll – eine anschauliche, direkt beobachtbare Druckmessung in hydrostatischer Höhe.



Links: Hales' klassisches Experiment zur invasiven Messung des arteriellen Blutdruckes an einer 14-jährigen Stute im Jahre 1733

Rechts: Erster Teil der exakten Beschreibung des Experiments

Die Versuchsanordnung war streng hydraulisch begründet: Flüssigkeiten in Tieren folgen denselben hydrostatischen Gesetzen wie in Röhren- und Behältersystemen, daher müsse man Messapparaturen genau an diese Gesetze anpassen. Diese Überzeugung von der Anwendbarkeit physikalischer Prinzipien auf lebende Organismen war revolutionär und begründete die mechanistische Physiologie.

Methodisches Geschick und experimentelle Transparenz

Die detaillierte Dokumentation von Alter, Größe, Zustand und Operationsschritten des Versuchstieres bezeugt bereits eine frühe Form experimenteller Transparenz und Reproduzierbarkeit. Hales beschrieb minutiös die:

- anatomische Präparation der Arterie,
- Dimensionen der verwendeten Glasröhren,
- zeitliche Sequenz der Beobachtungen,

- puls-synchronen Schwankungen der Blutsäule,
- Veränderungen im Verlauf des Experiments.

Diese Beobachtung der puls-synchronen Blutspiegelschwankungen in der Glasröhre machte die Pulswelle als Druckphänomen erstmals sichtbar und verknüpfte qualitative Vitalbeobachtung mit quantitativer Signalgebung.

Quantifizierung von Herzleistung und vaskulärem Widerstand

Schlagvolumen und Herzzeitvolumen

Hales erweiterte die Blutdruckmessung zu einem umfassenden Programm der Kreislaufintegration. Neben dem Blutdruck bestimmte er auch das Schlagvolumen und das Herzzeitvolumen – Größen, die für die moderne Kardiologie zentral sind.

Zur Abschätzung des Schlagvolumens nutzte er Wachsabgüsse des linken Ventrikels unter physiologischem Druck, um Volumina und Auswurfzeiten zu bestimmen. Diese Methode demonstrierte beeindruckende experimentelle Kreativität und anatomisches Verständnis. Die Herstellung solcher Abgüsse erforderte die:

- Präparation des Herzens unmittelbar post mortem,
- Injektion von geschmolzenem Wachs unter definiertem Druck,
- geometrische Vermessung der erstarrten Abgüsse,
- Berechnung der Volumina aus den Dimensionen.

Peripherer Widerstand und Gefäßphysiologie

Den peripheren Widerstand approximiert Hales durch serielle Messungen entlang des arteriellen Systems. Er zeigte die starke Reduktion der Flussgeschwindigkeit mit zunehmender Gefäßverzweigung trotz größerer Summenquerschnitte – eine Beobachtung, die das Konzept des vaskulären Widerstands vorwegnahm.

Seine Versuchslogik antizipiert moderne hämodynamische Modelle, in denen Druck P, Fluss Q und Widerstand R über die Beziehung

$$P = Q \times R$$

verknüpft sind, auch wenn Hales diese Form noch nicht explizit formalisiert hatte. Die

Idee, systematisch entlang des arteriellen Baums zu messen, vorwegnahm das Verständnis regionaler Hämodynamik, Wellenreflexion und Gefäßkaliber-Effekte.

Strömungsmechanik und Blutflussgeschwindigkeit

Hales untersuchte nicht nur statische Druckverhältnisse, sondern auch die Dynamik des Blutflusses. Er maß die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in verschiedenen Gefäßabschnitten und erkannte, dass die Geschwindigkeit von proximalen zu distalen Arterien abnimmt, während der Gesamtquerschnitt zunimmt.

Diese Beobachtungen führten ihn zu dem Schluss, dass der arterielle Baum als hydraulisches Verteilungssystem fungiert, das einen hohen zentralen Druck in einen niedrigeren peripheren Druck transformiert und dabei Flussgeschwindigkeit gegen Verteilungsfläche eintauscht – ein Prinzip, das heute als fundamentales Gesetz der Gefäßhämodynamik gilt.

Hydraulische Prinzipien im Organismus

Hales' Leitidee lautete, dass Tierflüssigkeiten den Gesetzen der Hydraulik und Hydrostatik gehorchen und daher über standardisierbare Röhren-, Druck- und Höhenmessungen zugänglich sind. Diese mechanistische Grundannahme war für die damalige Zeit außerordentlich kühn, da sie implizierte, dass lebende Organismen vollständig durch physikalische Gesetze beschreibbar seien.

Die Anwendung hydraulischer Prinzipien auf den Kreislauf ermöglichte es Hales, Vorhersagen über Druckverteilungen, Flussprofile und Leistungsparameter zu treffen, die experimentell überprüft werden konnten. Dieser hypothetisch-deduktive Ansatz markiert einen Wendepunkt in der Physiologie.

Hales' Beiträge zur Respirationsphysiologie

Vernachlässigte Pionierleistungen

Obwohl Hales heute primär für seine Arbeiten zum Blutdruck bekannt ist, leistete er bedeutende Beiträge zur Atemphysiologie, die lange Zeit in der medizinhistorischen

Würdigung vernachlässigt wurden. Seine respiratorischen Studien demonstrieren dieselbe methodische Präzision und experimentelle Kreativität wie seine kardio-vaskulären Untersuchungen.

Gasphysiologie und chemische Bindungsformen

Hales klärte die Natur der respiratorischen Gase und unterschied zwischen ihrer freien (gasförmigen) und fixierten (chemisch gebundenen) Form. Diese Unterscheidung war fundamental für das spätere Verständnis des Gasaustauschs und der chemischen Prozesse in der Atmung.

Er erfand die pneumatische Wanne zum Auffangen von Gasen, ein Instrument, das zum Vorläufer moderner Gassammelgeräte wurde und in den Händen von Priestley und Lavoisier zur Entdeckung des Sauerstoffs und zur Revolution der Chemie beitragen sollte.

Rückatmung und Kohlendioxid-Absorption

Hales demonstrierte, dass die Rückatmung aus einem geschlossenen Kreislauf verlängert werden konnte, wenn geeignete Gasabsorber zur Entfernung von Kohlendioxid eingesetzt wurden. Diese Erkenntnis war nicht nur physiologisch bedeutsam, sondern hatte auch praktische Implikationen für die Entwicklung von Atemschutzgeräten.

Er schlug ein entsprechendes Gerät als Atemschutz für toxische Atmosphären vor – ein Konzept, das seiner Zeit weit voraus war und erst im 19. und 20. Jahrhundert vollständig realisiert werden sollte.

Pulmonale Anatomie und Hämodynamik

Hales' respiratorische Studien erstreckten sich auch auf die pulmonale Hämodynamik. Hales:

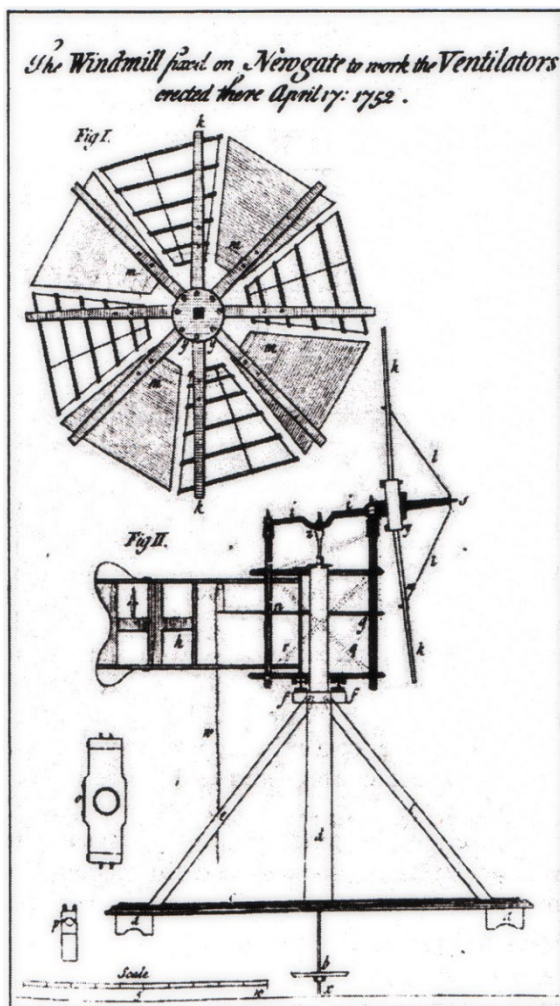
- erfand das U-Rohr-Manometer zur Druckmessung,
- maß intrathorakale Drücke während normaler und forcierter Atmung,
- bestimmte die Größe der Alveolen,

- berechnete die Oberfläche des Lungeninneren,
- ermittelte die Verweildauer des Blutes in den Lungenkapillaren.

Diese Berechnungen erforderten bemerkenswerte mathematische Fähigkeiten und anatomisches Wissen. Hales' Abschätzung der alveolären Oberfläche war für die damalige Zeit erstaunlich präzise und demonstrierte das Prinzip, dass effektiver Gasaustausch eine große Austauschfläche erfordert.

Praktische Anwendungen und Public Health

Ventilationssysteme für die öffentliche Gesundheit



Ein Ventilationssystem Hales' im Gefängnis Newgate

Hales beschränkte sich nicht auf theoretische Forschung. Sein Interesse an Gesundheit und Krankheit führte ihn zur Entwicklung von Ventilationssystemen zur Verbesserung der Luftqualität in überfüllten Räumen. Als Erfinder entwickelte er einen künstlichen Ventilator, der auf einem modifizierten Orgelbalg basierte und frische Luft in Gefängnisse, Schiffsräume und Getreidespeicher befördern konnte.

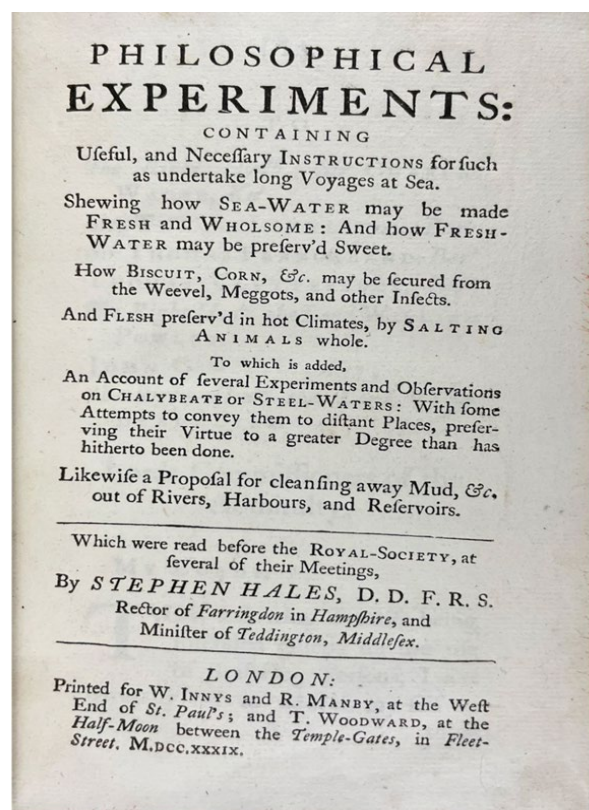
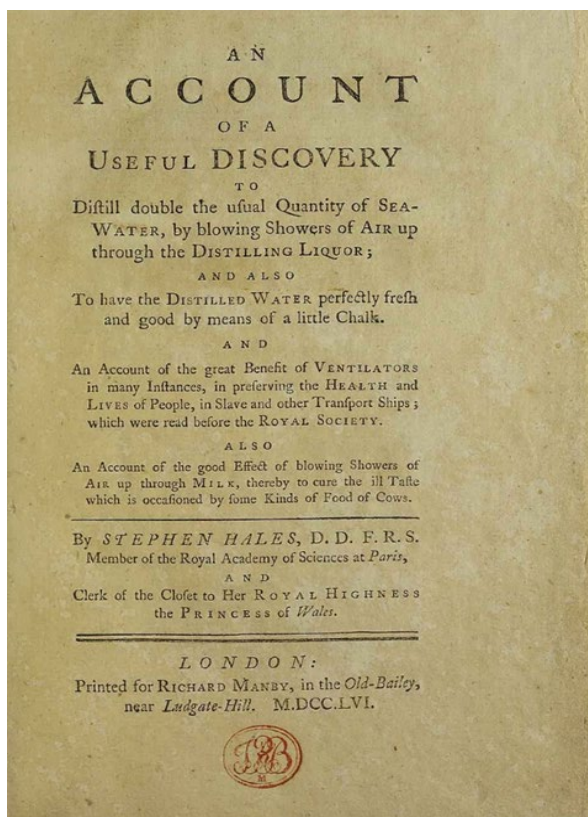
Diese Arbeit betrachtete Hales selbst als sein wichtigstes Werk, da sie unmittelbare praktische Bedeutung für die Verbesserung der Gesundheit und Lebensbedingungen hatte. Die Geräte – eine Art mechanische Gebläse, die frische Luft zuführten – gelten als frühe Beiträge zur öffentlichen Gesundheitsvorsorge und antizipierten moderne Konzepte der Krankenhaushygiene und Infektionsprävention.

Medizinischer Humanismus

Die Entwicklung dieser Ventilationssysteme zeigt Hales' ausgeprägten medizinischen Humanismus. Er erkannte, dass wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensbedingungen übersetzt werden müssen. Sein Engagement für die öffentliche Gesundheit manifestierte sich in:

- der Entwicklung von Belüftungssystemen für Gefängnisse,
- Verbesserungen der Luftqualität auf Schiffen (Reduktion von Skorbut und Infektionskrankheiten),
- Ventilation von Lazaretten und Hospitälern,
- Belüftung von Getreidespeichern zur Verhinderung von Schimmelbildung.

Weitere Einsätze für die öffentliche Gesundheit zeigen zwei Publikationen: Die eine beschäftigt sich mit der Gewinnung von Trinkwasser aus Meerwasser und die andere mit der Konservierung von Biskuit, Getreide und Fleisch in warmem Klima. Ganz modern: Vorschläge zu der Entfernung von Verschmutzungen aus Flüssen, Häfen und Reservoirs.



Beiträge zum Thema 'öffentliche Gesundheit': **links:** verbesserte Süßwassergewinnung aus Salzwasser, **rechts:** Konservierung von Nahrungsmitteln im warmen Klima

Engagement in der Kolonialgesundheit

Als Treuhänder der neuen Kolonie Georgia vermachte Hales dieser seine gesamte Bibliothek, deren Verbleib allerdings unbekannt ist. Dieses Engagement zeigt sein Interesse an der Verbreitung wissenschaftlichen Wissens und der Verbesserung der Gesundheitsversorgung in den Kolonien.



Stephen Hales (roter Kreis) bei einer Begegnung britischer Treuhänder mit Indianern in Georgia.

Gemälde von Verelst im Besitz von Earl of Shaftesbury

Der „statische“ Ansatz: Methodologische Innovation

Präzision als Forschungsprinzip

Hales' Arbeiten zeichneten sich durch eine methodische Besonderheit aus, die er selbst als „statical method“ bezeichnete. Dieser Ansatz war geprägt von peinlich genauer Beachtung aller Details bei Messungen und sorgfältigen Berechnungen. In einer Epoche, in der qualitative Beschreibungen in der Naturphilosophie noch dominierten, etablierte Hales einen mechanistischen, quantitativen Forschungsansatz, der seiner Zeit weit voraus war.

Die „statical method“ umfasste:

- systematische Wiederholung von Experimenten,
- präzise Dokumentation aller Versuchsparamete,
- quantitative Erfassung aller messbaren Größen,
- mathematische Analyse der Ergebnisse,
- vergleichende Studien an verschiedenen Spezies,
- Kontrolle von Störvariablen.

Apparative Standards

Hales' quantitative Geräteentwicklungen – von Kapillarröhren über Messgefäße bis zur Anordnung für arterielle Kanülierung – definierten Standardverfahren für die Messung lebender Systeme. Diese Instrumente waren nicht nur für seine eigenen Untersuchungen bedeutsam, sondern wurden zu Vorbildern für nachfolgende Generationen von Physiologen.

Das Glasröhren-Manometer transformierte Druck in hydrostatische Höhe und machte Blutdruck zu einer physikalischen Messgröße mit Pulswellen-Information, der später moderne Katheter- und Transduktorsysteme konzeptionell folgen.

Rezeption und wissenschaftliche Nachwirkung

Unmittelbare Wirkung und Anerkennung

Für seine wissenschaftlichen Leistungen wurde Hales 1739 mit der Copley-Medaille ausgezeichnet, der höchsten Auszeichnung der Royal Society und einer der prestigeträchtigsten wissenschaftlichen Auszeichnungen seiner Zeit. Seine Hauptwerke „Vegetable Statics“ (1727) und „Haemastatics“ (1733) wurden zu Standardwerken ihrer Epoche und wurden vielfach übersetzt und kommentiert.

Die von Clark-Kennedy edierten und kommentierten Darstellungen machen die theoretischen Prämissen und den experimentellen Wagemut der Teddington-Phase greifbar und zeigen Hales' Übergang vom Pfarrhauslabor zur kreislaufphysiologischen Referenz.

Einfluss auf die Entwicklung der Physiologie

Hales beeinflusste eine Linie von Forschern, die quantitative Gas- und Kreislaufmessungen zum Ausgangspunkt weiterer physiologischer und chemischer Revolutionen machten. Seine Methoden und Konzepte wirkten auf:

- Jean-Louis-Marie Poiseuille (1797-1869): Systematisierung der Gesetze des Blutflusses,

- Étienne-Jules Marey (1830-1904): Entwicklung graphischer Aufzeichnungsmethoden für Blutdruck und Puls,
- Scipione Riva-Rocci (1863-1937): Nicht-invasive Blutdruckmessung mittels Manschette,
- Joseph Priestley (1733-1804): Entdeckung des Sauerstoffs mit Hales' pneumatischer Wanne,
- Antoine Lavoisier (1743-1794): Begründung der modernen Chemie auf Basis quantitativer Gasmessungen.

Methodenwechsel in der Kardiologie

In der Kardiologie markiert Hales den Schritt von palpatorischen und auskultatorischen Phänomenbeschreibungen zu druckbasierten Messgrößen mit reproduzierbaren Apparaten. Dieser Wechsel ermöglichte die:

- objektive Quantifizierung des Kreislaufzustands,
- Entwicklung diagnostischer Kriterien,
- Überwachung therapeutischer Interventionen,
- wissenschaftliche Untersuchung pathophysiologischer Mechanismen,
- Etablierung der Hämodynamik als eigene Disziplin.

Einordnung aus heutiger kardiologischer Perspektive

Konzeptionelle Kontinuität

Hales' Abschätzungen von Herzzeitvolumen und peripherem Widerstand antizipierten die spätere formale Beziehung von Druck, Fluss und Widerstand, die heute invasive und nichtinvasive Hämodynamik sowie Therapieprinzipien steuert. Die fundamentale hämodynamische Gleichung:

$$\text{mittlerer arterieller Druck} = \text{Herzzeitvolumen} \times \text{Peripherer Widerstand}$$

ist implizit in Hales' Arbeiten enthalten, auch wenn er sie nicht in dieser Form explizit formulierte.

Seine Idee, systematisch entlang des arteriellen Baums zu messen, nahm vorweg das Verständnis regionaler Hämodynamik, Wellenreflexion und Gefäßkaliber-Effekte, die heute mittels Doppler-Sonographie, Katheter-Untersuchungen und bildgebender Verfahren routinemäßig erfasst werden.

Hales im Kontext der wissenschaftlichen Revolution

Newton, Harvey und die mechanistische Physiologie

Hales' Arbeiten stehen in der Tradition von William Harvey (1578-1657), der 1628 den Blutkreislauf beschrieben hatte, und erweiterten dieses Wissen durch präzise quantitative Analysen. Während Harvey die anatomischen und funktionellen Grundlagen des Kreislaufs erkannt hatte, fehlte ihm noch die quantitative Dimension.

Zugleich verkörpert Hales die Anwendung Newtonscher Prinzipien auf biologische Systeme. Die Überzeugung, dass physikalische Gesetze universell gültig sind und auch für lebende Organismen gelten, war revolutionär und ermöglichte erst die Entwicklung der Physiologie als exakter Wissenschaft.

Die Rolle der Instrumentierung

Hales' Erfolg beruhte wesentlich auf seiner Fähigkeit, geeignete Messinstrumente zu entwickeln. Die Geschichte der Physiologie ist eng mit der Geschichte der Messtechnik verknüpft, und Hales steht am Anfang dieser Entwicklung. Seine Innovationen zeigen, dass wissenschaftlicher Fortschritt oft von technischen Innovationen abhängt.

Würdigung und bleibende Bedeutung

Vernachlässigung in der Wissenschaftsgeschichte

Trotz seiner fundamentalen Beiträge zur Physiologie, insbesondere zur Respirationphysiologie und zur quantitativen Kreislaufphysiologie, ist Hales in der medizin-historischen Würdigung oftmals vernachlässigt worden. Dies mag daran liegen, dass:

- seine Arbeiten zwischen verschiedenen Disziplinen (Botanik, Physiologie, Chemie) angesiedelt waren,
- er als Landpfarrer außerhalb der akademischen Zentren wirkte,
- seine Methoden erst von späteren Forschern vollständig gewürdigt wurden,
- die Komplexität und Vielfalt seines Werks eine zusammenfassende Darstellung erschwert.

Würdigung und Neubewertung

Neuere wissenschaftshistorische Arbeiten haben Hales' Bedeutung zunehmend gewürdigt. Seine Pionierleistungen in der quantitativen Erfassung physiologischer Parameter, die direkte Blutdruckmessung und seine methodischen Innovationen verdienen eine prominentere Stellung in der Geschichte der Kardiologie und Physiologie.

Die systematische Analyse seiner Arbeiten zeigt, dass Hales nicht nur ein geschickter Experimentator war, sondern auch ein Theoretiker, der physikalische Prinzipien auf biologische Systeme übertrug und damit die Grundlagen für die moderne Physiologie schuf.

Spezifische kardiologische Innovationen

Die hydraulische Modellierung des Kreislaufs

Hales' fundamentale Leistung bestand darin, den Kreislauf als hydraulisches System zu konzeptualisieren. Er erkannte, dass die Gesetze der Hydrodynamik, wie sie für technische Systeme (Wasserleitungen, Pumpen, Brunnen) bekannt waren, auch auf das kardiovaskuläre System anwendbar sind.

Diese Konzeptualisierung umfasste mehrere Komponenten:

– *Das Herz als Druckpumpe:*

Hales verstand das Herz als mechanische Pumpe, die durch rhythmische Kontraktion Energie auf das Blut überträgt. Er berechnete die Pumpleistung aus dem Schlagvolumen und der Herzfrequenz – ein Ansatz, der bis heute die Grundlage der Beurteilung der Herzfunktion bildet.

- *Die Arterien als elastische Leitungssystem:*

Obwohl Hales die elastischen Eigenschaften der Arterien noch nicht vollständig verstand, erkannte er, dass die Arterien nicht nur passive Röhren sind, sondern aktiv an der Druckregulation beteiligt sind. Seine Beobachtung der pulsatischen Schwankungen in der Glasröhre führte ihn zu der Erkenntnis, dass die arterielle Wand die pulsatile Herzaktion in einen kontinuierlicheren peripheren Fluss transformiert.

- *Die Kapillaren und Venen als Widerstandselemente:*

Hales erkannte, dass der Hauptwiderstand des Kreislaufs in den kleinen Gefäßen liegt. Seine Messungen zeigten, dass der Druck von den großen Arterien zu den Venen kontinuierlich abfällt – ein Befund, der die Existenz eines peripheren Widerstands beweist.

Quantitative hämodynamische Parameter

Hales etablierte eine Reihe von Messgrößen, die bis heute für die Kardiologie zentral sind:

- *Blutdruck:*

Die Messung in hydrostatischen Höheneinheiten (Fuß und Zoll Blutsäule) war zwar umständlich, aber präzise. Die moderne Einheit mmHg (Millimeter Quecksilbersäule) folgt demselben Prinzip – die Höhe einer Flüssigkeitssäule als Maß für den Druck.

- *Pulsdruck:*

Die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Druck wurde von Hales als die Amplitude der Schwankung der Blutsäule erfasst. Er erkannte, dass diese Amplitude Informationen über die Pumpfunktion des Herzens und die Elastizität der Arterien enthält.

- *Mittlerer arterieller Druck:*

Obwohl Hales noch keine mathematischen Mittelwertbildung über die Zeit durchführte, erkannte er intuitiv, dass die mittlere Höhe der oszillierenden Blutsäule einen physiologisch bedeutsamen Parameter darstellt.

- *Herzfrequenz und ihre Variabilität:*

Hales beobachtete, dass die Frequenz der Pulsationen variiert und von verschiedenen Faktoren (Aufregung des Tieres, Blutverlust, physiologischer Zustand) abhängt.

Die Windkesselfunktion der Aorta

Obwohl der Begriff „Windkessel“ erst später von Otto Frank geprägt wurde, erkannte Hales bereits das zugrundeliegende Prinzip: Die elastischen großen Arterien speichern während der Systole Energie und geben sie während der Diastole wieder ab, wodurch der pulsatile Auswurf des Herzens in einen kontinuierlicheren peripheren Fluss transformiert wird.

Mathematische und physikalische Grundlagen

Hydrostatik und Hämodynamik

Hales' Ansatz basierte auf der Anwendung der Prinzipien der Hydrostatik:

- *Druckmessung durch Höhe:*

Der Druck einer Flüssigkeit in einem Gefäß ist proportional zur Höhe der Flüssigkeitssäule:

$$P = \rho \times g \times h,$$

wobei ρ die Dichte, g die Erdbeschleunigung und h die Höhe ist. Hales nutzte diese Beziehung, um aus der Höhe der Blutsäule den arteriellen Druck zu bestimmen.

- *Kontinuitätsgleichung:*

Ohne sie explizit zu formulieren, nutzte Hales das Prinzip der Massenerhaltung: Der Volumenstrom durch ein Gefäßsystem muss konstant bleiben, wenn keine Flüssigkeit hinzugefügt oder entnommen wird. Dies führt zu der Erkenntnis, dass bei zunehmendem Querschnitt die Geschwindigkeit abnehmen muss.

- *Widerstand und Druckabfall:*

Hales erkannte, dass der Druckabfall entlang eines Gefäßes vom Widerstand abhängt, und dass dieser Widerstand mit abnehmendem Gefäßdurchmesser zunimmt – eine Vorwegnahme des Hagen-Poiseuille-Gesetzes.

Integration von Kreislauf und Atmung

Kardiopulmonale Interaktionen

Hales erkannte früh die enge Verbindung zwischen Kreislauf und Atmung. Seine Messungen intrathorakaler Drücke zeigten, dass die Atmung den venösen Rückfluss zum Herzen beeinflusst – ein Prinzip, das heute als „respiratorische Pumpe“ bekannt ist.

Die Beobachtung, dass der Blutdruck während der Atmung leicht variiert, führte Hales zu der Erkenntnis, dass thorakale Druckänderungen die Herzfüllung beeinflussen. Diese Beobachtung ist fundamental für das Verständnis der kardiopulmonalen Interaktion und wird heute in der Intensivmedizin zur Beurteilung des Volumenstatus genutzt.

Berechnung der Kapillartransitzeit

Eine bemerkenswerte Leistung war Hales' Berechnung der Zeit, die das Blut in den Lungenkapillaren verbringt. Aus dem Herzzeitvolumen, der geschätzten Anzahl und Größe der Kapillaren und dem angenommenen Blutvolumen in der Lunge berechnete er eine Transitzeit, die erstaunlich nahe an modernen Werten liegt (heutige Werte in systemischen Kapillaren liegen zwischen 0,5 bis 2,0 s).

Diese Berechnung demonstriert nicht nur mathematisches Geschick, sondern auch ein tiefes physiologisches Verständnis: Hales erkannte, dass die Transitzeit ausreichend lang sein muss, um Gasaustausch zu ermöglichen, aber nicht so lang, dass das Blut stagniert.

Medizinhistorische Bedeutung und Traditionslinien



Von Hales zu Poiseuille

Das Hagen-Poiseuille Gesetz zeigt die drastische Abhängigkeit des Flusses vom Gefäßradius (vierte Potenz) und basiert konzeptionell auf Hales' Erkenntnis, dass kleine Gefäße den Hauptwiderstand des Kreislaufs bilden.

Jean-Léonhard-Marie Poiseuille (1797-1869)

Poiseuille führte Hales' Arbeiten fort und formulierte das nach ihm benannte Gesetz für den Fluss durch zylindrische Röhren:

$$Q = (\pi \times r^4 \times \Delta P) / (8 \times \eta \times L)$$

wobei Q der Volumenstrom, r der Radius, ΔP die Druckdifferenz, η die Viskosität und L die Länge des Rohres ist.

Von Hales zu Marey und der graphischen Methode

Étienne-Jules Marey entwickelte im 19. Jahrhundert Methoden zur graphischen Aufzeichnung physiologischer Vorgänge, insbesondere des Blutdrucks und der Pulswelle. Seine Sphygmographen zeichneten kontinuierlich Druckkurven auf, die eine detaillierte Analyse der Herzaktion und der arteriellen Hämodynamik ermöglichten.

Mareys Arbeit ist eine direkte Fortführung von Hales' Ansatz: Die Transformation qualitativer Beobachtungen in quantitative, kontinuierliche Aufzeichnungen.



Étienne-Jules Marey um 1805

Von Hales zu Riva-Rocci und der klinischen Anwendung

Scipione Riva-Rocci entwickelte 1896 die Blutdruckmanschette, die eine nicht-invasive Messung des arteriellen Drucks ermöglichte. Diese Methode, verfeinert durch die auskultatorische Technik von Nikolai Korotkoff (1905), machte die Blutdruckmessung zur klinischen Routinemethode.

Die konzeptionelle Linie von Hales' invasiver direkter Messung zu Riva-Roccis nicht-invasiver indirekter Messung zeigt, wie methodische Innovationen wissenschaftliche Erkenntnisse in die klinische Praxis überführen.



Schlussbetrachtung:

Hales' Vermächtnis für die moderne Kardiologie

Methodische Errungenschaften

Stephen Hales' größte Leistung war nicht die Messung eines einzelnen Parameters, sondern die Etablierung eines umfassenden methodischen Ansatzes:

- Quantifizierung als Erkenntnisprinzip: Die Überzeugung, dass physiologische Vorgänge messbar und durch Zahlen beschreibbar sind
- Instrumentelle Innovation: Die Entwicklung geeigneter Messinstrumente als Voraussetzung für wissenschaftlichen Fortschritt
- Systematische Variation: Die methodische Untersuchung verschiedener Bedingungen und Spezies
- Physikalische Modellierung: Die Anwendung physikalischer Gesetze auf biologische Systeme
- Dokumentation und Reproduzierbarkeit: Die präzise Beschreibung von Methoden und Ergebnissen

Konzeptionelle Bedeutung

Hales etablierte zentrale Konzepte der Kreislaufphysiologie:

- Kreislauf als hydraulisches System,
- Herz als mechanische Pumpe,
- Arterien als elastische Windkessel,
- peripherer Widerstand als zentrale Determinante des Blutdrucks,
- Integration von Struktur und Funktion.

Diese Konzepte bilden bis heute das Fundament kardiologischen Denkens.

Integration von Grundlagenforschung und klinischer Anwendung

Hales exemplifiziert die produktive Verbindung von Grundlagenforschung und praktischer Anwendung. Seine Ventilationssysteme für Schiffe und Gefängnisse

zeigen, dass er wissenschaftliche Erkenntnisse in den Dienst der öffentlichen Gesundheit stellen wollte – ein Ansatz, der heute unter dem Begriff „translational research“ wieder besondere Betonung erfährt.

Interdisziplinarität als Erfolgsprinzip

Hales' Werk vereinte Botanik, Zoologie, Physiologie, Physik, Chemie und Medizintechnik. Diese Interdisziplinarität war kein Zufall, sondern ein bewusstes Programm: Die Überzeugung, dass die Prinzipien des Lebens nur durch Integration verschiedener Perspektiven verstanden werden können.

In der modernen Biomedizin, die zunehmend auf der Integration von Molekularbiologie, Systembiologie, Biophysik und klinischer Medizin beruht, erscheint Hales' interdisziplinärer Ansatz überraschend aktuell.

Ein Geistlicher als Wissenschaftler: eine historische Konstellation

Hales verkörpert eine historische Konstellation, die heute kaum noch vorstellbar ist: Die Verbindung von religiöser Überzeugung und empirischer Wissenschaft in einer Person. Für Hales war die Erforschung der Natur ein Weg, die göttliche Schöpfung zu verstehen und zu bewundern.

Diese Perspektive ermöglichte ihm eine besondere Form der wissenschaftlichen Demut: Die Bereitschaft, die Natur selbst sprechen zu lassen, ohne vorgefasste theoretische Systeme zu sehr zu gewichten. Gleichzeitig gab ihm seine religiöse Überzeugung die Gewissheit, dass die Natur einer rationalen Ordnung folgt, die durch menschlichen Verstand erkennbar ist.

Fazit: Ein Wendepunkt der Medizingeschichte

Stephen Hales steht an einem Wendepunkt der Medizingeschichte. Er transformierte die Physiologie von einer beschreibenden zu einer messenden Wissenschaft, vom Kreislauf als abstraktes Konzept zur quantifizierten Hämodynamik, von der spekulativen Naturphilosophie zur experimentellen Biologie.

Seine Integration von physikalischen Messmethoden in die Lebenswissenschaften und die Einführung der direkten arteriellen Druckmessung mit Haemastatics markieren den Beginn der quantitativen Kardiologie. Seine komparativen Daten, apparativen Innovationen und die Übertragung hydraulischer Gesetze auf den Organismus begründeten eine quantifizierende Kreislauflehre, deren Grundzüge die moderne Hämodynamik bis heute strukturieren.

In Verbindung mit Vegetable Statics zeigt sich Hales' außergewöhnliche wissenschaftliche Spannweite: von der Transpiration des Blattes bis zur Pulswelle in der Arterie – stets gemessen, skaliert und in mechanischen Prinzipien verankert. Diese methodische Konsistenz über verschiedene biologische Systeme hinweg demonstriert die Universalität seiner Prinzipien.

Die von ihm eingeführten Prinzipien der quantitativen Messung hämodynamischer Parameter sind auch heute noch zentral für die klinische Kardiologie. Von der einfachen Blutdruckmessung bis zur komplexen hämodynamischen Überwachung auf Intensivstationen basiert die moderne Medizin auf den von Hales etablierten Prinzipien der präzisen Messung und quantitativen Analyse.

Seine Arbeiten demonstrieren eindrucksvoll, wie wissenschaftliche Neugier, methodische Präzision und praktische Anwendungsorientierung zu dauerhaften Fortschritten in der Medizin führen können. Stephen Hales verdient daher eine herausragende Stellung in der Geschichte der Kardiologie als Begründer der quantitativen Herz-Kreislauf-Physiologie.

Mehr als 260 Jahre nach seinem Tod bleiben seine Prinzipien aktuell:

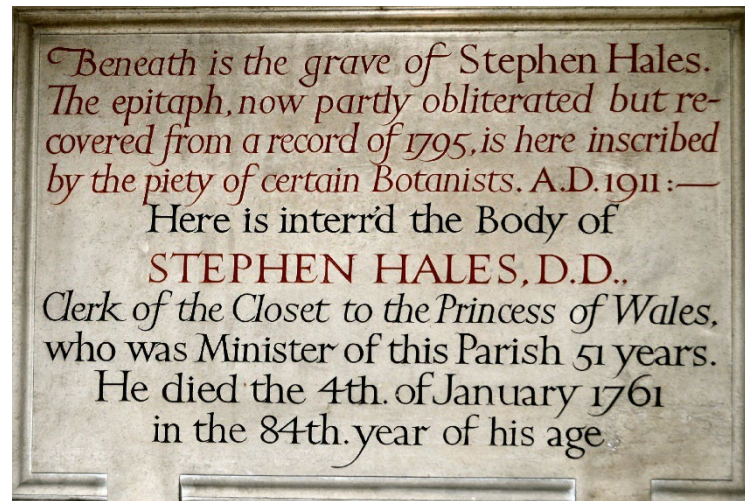
Die Überzeugung, dass

- Messung zur Erkenntnis führt,
- physikalische Gesetze auch für lebende Systeme gelten, und
- wissenschaftliche Erkenntnisse der Verbesserung der menschlichen Gesundheit dienen sollen.

In diesem Sinne ist Stephen Hales nicht nur eine historische Figur, sondern ein zeitloses Vorbild für Forschende in der Kardiologie und darüber hinaus.

Nachruf

Nach seinem Tod im Jahre 1761 wurde Stephen Hales' auf eigenen Wunsch in Teddington (Middlesex) an der St Mary's Church begraben. Sein Grab befindet sich am Fuße des Kirchturms, den er selbst hatte errichten lassen.



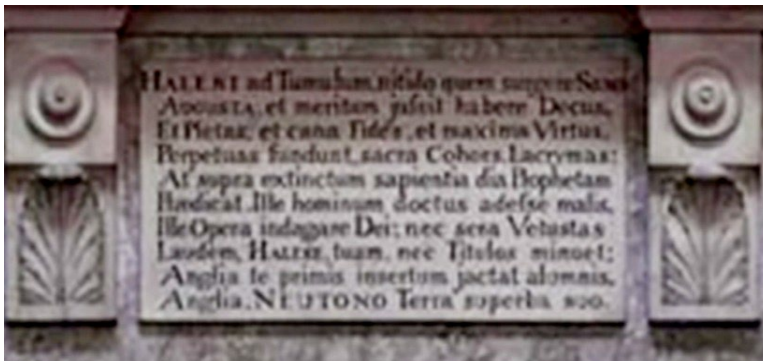
In der Westminster Abbey befindet sich im südlichen Querschiff ein aufwendig gestaltetes Denkmal zu Hales Ehren. Dieses Monument wurde von der Bildhauer Joseph Wilton geschaffen und zeigt ein Relief mit Hales' Profil, flankiert von allegorischen Figuren: Religion und Botanik.

Das Denkmal wurde von Prinzessin Augusta, der Mutter König Georgs III., gestiftet. Sie war lange Zeit mit Hales persönlich verbunden, da er als ihr geistlicher Mentor, Beichtvater und Seelsorger im königlichen Haushalt diente.

Augusta sah in Hales einen mustergültigen Geistlichen und Pionier der Naturwissenschaft, dessen Wirken weit über die Kirche hinaus strahlte. Durch die Stiftung des Denkmals wollte sie nicht nur sein Andenken bewahren, sondern auch seine Rolle als Wohltäter, Erfinder und Naturforscher hervorheben.

Sein Andenken blieb so dauerhaft mit der Westminster Abbey und dem aufgeklärten, wissenschafts-orientierten Großbritannien des 18. Jahrhunderts verbunden.

Der wunderschöne lateinische Text auf der Tafel im unteren Bereich des Denkmals lässt sich so übersetzen: Das Denkmal zu Ehren von STEPHEN HALES S.T.P. [Sacrae Theologiae Professor] wurde von Prinzessin Augusta, der Mutter von Georg III., dem



Stephen Hales Denkmal in der Westminster Abbey

© 2025 Dean and Chapter of Westminster **Bild wird getauscht**

besten aller Könige, errichtet.

Während seines Lebens wählte sie ihn zu ihrem persönlichen Kaplan und ehrte ihn nach seinem Tod am 4. Januar 1761 im 84.

Lebensjahr mit diesem Denkmal. Am Grab Hales',

das Augusta befahl, aus strahlendem Stein errichtet und mit gebührendem Glanz versehen zu werden, vergießen Frömmigkeit, ehrwürdiger Glaube und große Tugend – eine heilige Gemeinschaft – ewige Tränen. Über dem Verstorbenen verkündet göttliche Weisheit den Propheten. Er war wohl vertraut darin, den Leiden der Menschheit zu dienen und die Werke des Herrn zu erforschen: Der Lauf der Zeiten wird deinen Ruhm und deine Ehre nicht mindern, o Hales. England rühmt sich, dich unter ihre herausragenden Söhne zu zählen, neben ihrem geliebten Newton: O stolzes Land England.

Etwa 40 Jahre nach seinem Tod entstand dieses romantische Bild als Hommage an Stephen Hales. Es zeigt zwei Versuchsanordnungen, mit denen er die Zirkulation von Flüssigkeiten und Gasen in Pflanzen untersuchte und in 'Vegetable Staticks' veröffentlichte.



Zwei wissenschaftliche Erfindungen von Stephen Hales dargestellt in einem Garten.
Maler: Florilegius, 1802

Ehrungen und Würdigungen	
1718	Fellow of the Royal Society (FRS); Royal Society, London Wahl zum Fellow aufgrund seiner wissenschaftlichen Leistungen in Physiologie und Botanik.
1739	Copley Medal; Royal Society, London Auszeichnung für seine Untersuchungen zu Mitteln gegen Harn- und Nierensteine („the stone“).
1761 (postum)	Denkmal in der Westminster Abbey; Westminster Abbey, South Transept Monument von Joseph Wilton; gestiftet von Princess Augusta, Mutter von König Georg III.
seit 1927	Namensgeber: Stephen Hales Prize; American Society of Plant Biologists (ASPB) Jährlicher Preis zu Ehren von Hales' Pionierarbeiten in „Vegetable Staticks“ (1727); zeichnet bedeutende Dienste an der Pflanzenbiologie aus.



Publikationen (Auswahl)		
Jahr	vollständiger Titel	Thema/Anmerkung
1727	Vegetable Staticks; or, An account of some statical experiments on the sap in vegetables	Grundlagenwerk der experimentellen Pflanzenphysiologie; Band I der späteren Statical Essays. library.si+2
1733	Statical Essays, Vol. II: Haemastaticks; or, An account of some hydraulick and hydrostatical experiments made on the blood and blood-vessels of animals	Tierphysiologie, Blutdruck- und Hämodynamik-Experimente; inkl. Studien zu Nieren- und Blasensteinen. biodiversitylibrary+2
1738–1740	Statical Essays (2 Bde., rev. ed.): Vol. I Vegetable Staticks (rev.); Vol. II Haemastaticks (2nd ed., 1740)	Überarbeitete/erweiterte Ausgaben mit gemeinsamem Index. archive

1743	A Description of Ventilators	Konstruktion und Nutzen von Ventilatoren für Minen, Gefängnisse, Hospitäler u.a. openlibrary+2
1743	An account of a useful discovery to distill double the usual quantity of sea-water	Verbesserte Meerwasser-Destillation und Anwendungen der Luftduschen-Technik. openlibrary+1
1744	Philosophical experiments: ... for such as undertake long voyages at sea	Frischwassergewinnung, Haltbarmachung von Proviant an Bord, Stahlwässer-Experimente openlibrary+1
1747	A treatise on ventilators	Erweiterte Wirkungsnachweise und Anwendungen der Ventilatoren in Schiffen und Gebäuden. openlibrary+1
1747–1750	An account of some experiments and observations on tar-water	Analysen und Methoden zur Quantifizierung/Reduktion von Teeranteilen in Tar-Wasser. openlibrary+1
1750	Some considerations on the causes of earthquakes (read before the Royal Society)	Naturphilosophische Betrachtungen zu Erdbebenursachen. openlibrary+1
o. J. Sammlungen/ Neuauflagen	Statical Essays (Verschiedene Ausgaben und Nachdrucke)	Bibliographische Nachweise und Digitalisate mehrerer Editionen.

Sekundärliteratur			
Jahr	Autor/in	Titel	Verlag/Publication
1761	Stephen Hales (postum)	Diverse Essays und Abhandlungen	k.A
1885-1900 (Online 2021)	Dictionary of National Biography	Hales, Stephen	Wikisource/Online
1925	G. E. Burget	Stephen Hales (1677–1761)	Annals of Medical History

1929 (Nach- drucke)	A. E. Clark-Kennedy	Stephen Hales: An Eighteenth Century Biography	Cambridge University Press
1942	V. A. Greulach	Stephen Hales — Pioneer Plant Physiologist	The Scientific Monthly
1976	I. B. Cohen	Stephen Hales	Scientific American
1987	W. D. Hall	Stephen Hales: Theologian, botanist, physiologist and inventor	Clinical Cardiology (Wiley)
2017	Hektoen International (anonym)	Stephen Hales: the priest who pioneered clinical physiology	Hektoen International
2022	Ian Ferguson	Stephen Hales and the foundations of experi- mental plant physiology	Preprint/Essay (PDF)
2024	Westminster Abbey	Stephen Hales (Gedenkseite)	Westminster Abbey