Zeitschrift: Gesnerus : Swiss Journal of the history of medicine and sciences

Herausgeber: Swiss Society of the History of Medicine and Sciences

Band: 9 (1952)

Heft: 3-4

Artikel: Leonardo da Vinci als Physiologie : zur Erinnerung an die fünfhundertste Wiederkehr seines Geburtstages

Autor: Fischer, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-520457

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.09.2025

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

GESNERUS

Vierteljahrsschrift für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften

Revue trimestrielle d'histoire de la médecine

Jahrgang - *Volume* - 9 1952 Heft - *Fasc.* - 3/4

Leonardo da Vinci als Physiologe

Zur Erinnerung an die fünfhundertste Wiederkehr seines Geburtstages

Von Hans Fischer, Zürich

Als Leonardo zu wirken und sich mit anatomischen und physiologischen Studien zu beschäftigen begann – er wurde am 15. April des Jahres 1452 in Vinci, einem kleinen Ort am Fuße des toskanischen Monte Albano, der sich zwischen Pistoia und Empoli hinzieht, im Hause seines Großvaters Antonio als uneheliches Kind eines Notars, des Ser Piero, und eines Bauernmädchens, Catarina, geboren –, herrschte die antik-mittelalterliche Tradition in Anatomie, Physiologie und Medizin noch völlig. Soweit es eine antike physiologische Überlieferung gab, in deren Mittelpunkt Aristoteles und Galen standen, beruhte sie hauptsächlich auf arabischen Quellen, größtenteils auf den im *Canon* Avicennas verarbeiteten anatomischen und physiologischen Lehren Galens. Der starke arabische Einschlag machte sich in der damaligen anatomischen Nomenklatur, die auch Leonardo benutzte, stark geltend: in seinen anatomischen Aufzeichnungen finden wir Ausdrücke wie «meri» für Oesophagus, «mirac» für Bauchwand, «sifac» für Peritoneum, «cirbo» für omentum maius usw., also Bezeichnungen arabischen Ursprungs, die sich auch bei Mundinus finden, von wo sie Leonardo wahrscheinlich übernommen hat. Dies zeigt uns, daß Leonardo, der uns als Bahnbrecher auf einigen Gebieten der Physiologie entgegentreten wird, diese galenistisch-arabische Überlieferung kannte und sie teilweise übernahm.

Naturgemäß war auch er irgendwie traditionsgebunden und folgte in der Human- und Tierphysiologie, z. B. in der Lehre von den Humores, der unbestrittenen Autorität GALEN-AVICENNAS. Und doch wurde LEONARDO Bahnbrecher auf dem Gebiete der Physiologie, wie auf so vielen anderen Gebieten, so der Anatomie, der Mechanik und Hydraulik und der Technik im weitesten Sinn.

Das völlig Neue, was uns in LEONARDO begegnet, ist wohl dies: er suchte Erkenntnis nicht mehr in der antik-mittelalterlichen Tradition, sondern im Urerlebnis der wissenschaftlichen Naturbeobachtung, vielleicht ähnlich, aber mit noch leidenschaftlicherem Temperament, als wie ARISTOTELES und THEOPHRAST, oder wie im späten Mittelalter NIKOLAUS CUSANUS (1401 bis 1464) wissenschaftliche Wahrheit auf dem Wege der Naturbeobachtung gesucht haben. Hatte doch der Europa beherrschende Galeno-Arabismus in der scholastischen Medizin des Mittelalters größtenteils zugedeckt, was an lebendigen Kräften in der Überlieferung der Antike hätte sich weiter entwickeln können. Man begnügte sich mit einem autoritär-dogmatischen Schematismus, der der Naturbeobachtung weitgehend entbehren konnte, weil man in der Autorität der Überlieferung Genüge fand.

In LEONARDO erneuert sich gewissermaßen das wissenschaftliche Urerlebnis der Antike: er sucht Erkenntnis in der unmittelbaren Naturbeobachtung. Dies ist eine entscheidend wichtige Seite des «rinascimento»: Erkenntnis durch Beobachtung und, was im Altertum selten war, wenn wir von ARCHIMEDES absehen, dessen Werke LEONARDO in irgendeiner Form kannte, durch das Experiment (sperienza), bilden die Grundlagen der Natureinsicht LEONARDOS. Aber ihm war, wie wohl nur wenigen zuvor bewußt – wie vielleicht vor ihm höchstens einem NICOLAUS CUSANUS – daß Beobachtung allein nicht zum Ziel führt, sondern daß das Beobachtete erst durch Festlegung der Versuchsbedingungen, durch Messen und Berechnen den Charakter wissenschaftlicher Erkenntnis erlangt. Ohne Mathematik, ohne Einordnung in eine «regola» gibt es für LEONARDO keine wissenschaftliche Erkenntnis. Auch das ist, bei keinem seiner Zeitgenossen so ausgesprochen entwickelt wie bei LEONARDO, Geist des «rinascimento».

Der hochentwickelte Sinn für Proportionen, den wir in der Architektur und Malerei (in der Komposition), im Satzbild des gedruckten Buches, ja im einzelnen Buchstaben jener Epoche so sehr bewundern, ist ohne Mathematik nicht denkbar. War auch der zur Zeit des AUGUSTUS lebende und von ihm als Staatsingenieur angestellte VITRUVIUS der anerkannte Lehrmeister, so ist es kennzeichnend für die Epoche der Renaissance, und ganz besonders

für die Architektur der florentinischen Frührenaissance, mit FILIPPO BRUNELLESCHI (1377–1446), dem Schöpfer der Florentiner Domkuppel, mit LEONE BATTISTA ALBERTI (1404–1472) u.a., wie überragend der neuerwachte Sinn für Proportionen sich auf mathematischer Grundlage entwickelt hat. Mit der Proportionslehre befaßt sich ein großer Teil des *Trattato della Pittura* LEONARDOS, auch mit der Proportion des Menschen, die ihn so intensiv im ganzen und in den einzelnen Abschnitten des Körpers beschäftigte – mit der Rückwirkung, daß dann die in Kreis und Quadratur eingeschriebenen Proportionenmänner LEONARDOS in die zeitgenössischen VITRUV-Ausgaben[1], auch die deutschen, Eingang fanden, wie z.B. in die von dem Arzt und Mathematiker GUALTHERUS RIVIUS (WALTER HERMAN RYFF aus Straßburg) verdeutschte Ausgabe von 1548. Betrifft die Einordnung der menschlichen Gestalt in geometrische Grundfiguren die künstlerische Seite der Anatomie, so finden wir die wissenschaftlich-beobachtende und analysierende bei LEONARDO in einem Tiefenausmaß entwickelt wie sonst bei keinem Zeitgenossen, außer vielleicht bei dem mit ihm befreundeten, so früh verstorbenen Anatomen MARC ANTONIO DELLA TORRE (1481–1511) in Pavia. In dieser Hinsicht bedeutet LEONARDO einen neuen Anfang und gleichzeitig einen gewaltigen Höhepunkt anatomischer Forschung.

LEONARDOS Wirken war auf dem Gebiet der Naturwissenschaften, insbesondere der mathematisch-physikalischen Naturwissenschaften und der Technik, wenn wir Physik auf den damaligen (und antiken) Umfang der Mechanik mit Einschluß der Hydraulik und einer primitiven, von den Arabern weiterentwickelten Optik reduzieren, ein universales. Es ist ganz ungeheuer und auch heute kaum überblickbar, in welchem Ausmaß LEONARDO als *Vorläufer* einer nachfolgenden, jahrhundertelangen wissenschaftlichen Bewegung zu betrachten ist, die dann in GALILEI (1564–1642) einen neuen Höhepunkt erreichte. Erstaunlich, wie weit LEONARDO z.B. GALILEIS Fallgesetz in seiner *Hydraulik* antizipiert hat; alles Wesentliche ist bei LEONARDO schon da. Aber da sein Wirken im naturwissenschaftlichen Bereich fast nirgends die literarische Ausreifung und Vollendung erfahren hat, die im Zeitalter des aufkommenden Buchdrucks, mit dem sich LEONARDO durch Konstruktion von Buchdruckerpressen ebenfalls befaßte, Voraussetzung einer breiteren Wirksamkeit geworden war, blieben seine wissenschaftlichen Entdeckungen im krausen Gewirr unzähliger Notizen und Skiz-

[1] Es ist sicher, daß LEONARDO das Werk des MARCUS VITRUVIUS POLLIO, *De Architectura*, gekannt hat, von dem eine Druckausgabe in Rom 1486, eine andere zu Florenz 1494 herauskam.

zen verborgen. Weder waren seine Manuskripte druckfertig noch in der Spiegelschrift – LEONARDO war Linkshänder[1a] – leicht lesbar, und zudem waren sie höchstens den allernächsten Freunden teilweise zugänglich. LEONARDO hütete seine Geheimnisse. Doch entsprang dies nicht einem grundsätzlichen Verhalten, denn es ist ganz eindeutig zu zeigen, daß LEONARDO die Herausgabe seiner *vollendeten* Werke im Druck plante, darunter auch sein großes Anatomiewerk, aber damit, wie mit allen geplanten Büchern, nie zur Vollendung gelangte. Das Fragmentarische aber hütete er gegen Einblick. Über seine unvollendeten Werke sagt er an einer Stelle ausdrücklich: «In dieser» (in der Veröffentlichung) «bin ich nicht gehindert worden durch Geiz oder aus Nachlässigkeit, sondern einzig aus Mangel an Zeit.» Auch dem gewaltigsten Genie sind Grenzen gesetzt. LEONARDOS Forschungstrieb aber war fast grenzenlos.

Was wir von LEONARDO besitzen, ist ein zum größten Teil in Spiegelschrift geschriebener, auch heute noch gewaltiger, etwa 5000 Blätter umfassender Torso von naturwissenschaftlichen, technischen und maltechnischen Notizen und Skizzen, die ursprünglich 120 Bände, zum größten Teil in Folio, umfaßten und die teils in willkürlicher späterer Zusammenheftung, wie z.B. der *Codice Atlantico*, auf uns gekommen sind[2].

LEONARDO hat kein einziges druckreifes Werk hinterlassen. Der Traktat *Del moto e misura dell'acqua, Libri nove*[3] dürfte das vollständigste von LEONARDO verfaßte, aber erst viel später herausgegebene Werk sein, ein Kompendium der wissenschaftlichen Hydraulik, das weit über alles hinausgeht, was man seit ARCHIMEDES davon gewußt hat.

[1a] Über Linkshändigkeit und Spiegelschrift, welche LEONARDO nach RICHTER schon mit 21 Jahren verwendete, siehe z.B. den Artikel von NORMAN CAPENER, *Leonardo's left hand*, in: Lancet *II*, 813 (1952).

[2] Wenn K.D. KEELE in seiner vorzüglichen Publikation: *Leonardo da Vinci on movement of the heart and blood* (Harvey & Blythe, London 1952), hervorhebt, daß von den 5000 erhaltenen Blättern nur 190 anatomische Fragen und Darstellungen betreffen und davon etwa 60 das Gefäßsystem und 40 das Herz, so ermißt sich der Verlust an anatomischen Blättern und Skizzen schon daraus, daß allein die in Windsor aufbewahrten *Disegni di Leonardo da Vinci restaurati da Pompeo Leoni* 235 Großfolioblätter, wie man annehmen muß, vorwiegend anatomischen Inhalts, umfaßt haben.

[3] LEONARDO DA VINCI, *Del moto e misura dell'acqua. Libri nove.* Ordinati da F. LUIGI MARIA ARCONATI editi sul «Codice archetipo Barberiniano» a cura di E. CARUSI ed A. FAVARO (Zanichelli, Bologna 1923).

Einen kommentierten Auszug davon gibt: GIOVANNI BELLINCIONI, *Leonardo da Vinci fondatore della scienza idraulica* (Ediz. C.O.S.P.I.T. Firenze 1952). Ferner: N. DE TONI, *L'idraulica in Leonardo da Vinci* (Brescia 1935).

In Buch 7 *Delle Cose portate dell'acqua* werden beispielsweise die gesetzmäßigen Strömungsveränderungen festgestellt, welche ein im strömenden Wasser schwimmender, bestimmt geformter Gegenstand darin hervorruft; in Buch 4 *De retrosi dell'acqua* werden die Gesetze der Wirbelentstehung studiert, in Buch 2 *Del moto dell'acqua* die Gesetze der Wellenbewegung im stehenden und strömenden Wasser usw. analysiert. Diese Kapitel hebe ich besonders hervor, weil sie auf LEONARDOS Lehre von der Blutbewegung hätten von entscheidender Bedeutung werden können.

Inhaltlichen Zusammenhang besitzt auch der erst lange nach LEONARDOS Tod von RAPHAEL DU FRÈSNE in mehr oder weniger willkürlicher Zusammenstellung 1651 zu Paris im Druck herausgegebene *Trattato della Pittura*, sozusagen ein Aphorismenbuch der Malerei, das in Form und Inhalt eigenartig an GOETHES Farbenlehre erinnert und gleichzeitig die wichtigsten pflanzenphysiologischen Entdeckungen LEONARDOS enthält[4].

Das meiste von LEONARDOS Aufzeichnungen aber blieb vereinzeltes Fragment, Notiz, apokryphe Handschrift, und nur die im nächsten Verkehr mit LEONARDO stehenden, wie der bedeutende Mathematiker FRA LUCA PACIOLI oder vielleicht einzelne seiner Malschüler konnten eine gewisse Vorstellung von der ungeheuren Leistung LEONARDOS auf dem Gebiet der Naturwissenschaften und der Technik erhalten.

LEONARDO plante Werke größten Ausmaßes, aber sein ungestümes, leidenschaftliches Temperament und sein Drang nach universaler Erkenntnis erlaubten ihm nicht, das zu vollenden, was sein intuitiv-genialer, mathematisch-physikalisch und visuell so hervorragender und in die Tiefe der Dinge und Menschen dringender Geist erfaßt und bis an die Grenze des mit den Mitteln seiner Zeit überhaupt Ergründbaren analysiert hatte.

[4] Ein Manuskript LEONARDOS über Baukunst, Bildhauerei und Malerei befand sich eine Zeitlang im Besitz BENVENUTO CELLINIS (1500–1572) das er 1542 einem armen Edelmann abkaufte. Abschriften des *Trattato* existierten im 16. und 17. Jahrhundert verschiedene, welche die Unterlage zur ersten Druckausgabe, derjenigen von RAPHAEL DU FRÊNE 1651, in Paris, hergaben, die mit Kupfern und Holzschnitten von POUSSIN und ERHARDT versehen war.

Den wertvollsten Test aber stellt der *Codex Urbinas Vaticanus 1270* der vatikanischen Bibliothek dar, der einen nicht fertiggestellten Wiederherstellungsversuch des ursprünglichen, teils verloren gegangenen *Trattato* bildet und aus 18 Originalnotizbüchern LEONARDOS, die heute teilweise verloren sind, um die Mitte des 16. Jahrhunderts entstanden sein soll und von HEINRICH LUDWIG 1882 herausgegeben wurde. Der von MARIE HERZFELD besorgten Ausgabe des *Traktats von der Malerei* (E. Diederichs, Jena 1909) liegt der LUDWIGsche Text zugrunde.

Schicksal der Handschriften

LEONARDO hinterließ nach seinem eigenen Zeugnis 120 Notizbücher, die er seinem jungen Malschüler FRANCESCO DI MELZI[5], der ihn 1517 nach Amboise begleitete und ihm die Augen schloß, mitsamt seiner ganzen, nicht unbeträchtlichen Bibliothek testamentarisch vermachte. Beides wurde MELZI beim Tode LEONARDOS ausgehändigt, der die Notizbücher 1550 nach seiner Heimat Vaprio d'Adda bei Mailand brachte und sie bis zu seinem 1570 erfolgten Tode sorgfältig aufbewahrte. Als die Handschriften auf den Sohn ORAZIO MELZI übergegangen waren, schwand jegliche Pietät. ORAZIO behandelte sie wie wertlose Makulatur oder verschenkte von den Notizbüchern an Freunde.

Heute ist der erhaltene Torso der Notizbücher LEONARDOS in vielen Bibliotheken zerstreut. Ein Teil befindet sich in der Royal Library in Windsor, darunter viele anatomische und botanische Blätter, wo sie WILLIAM HUNTER (1728–1793) sah und mit hoher Anerkennung darüber schrieb[6]. JOHANN FRIEDRICH BLUMENBACH (1752–1840) besichtigte sie 1788 dort[6a].

Der *Codice Atlantico*, der ebenfalls anatomische und physiologische Aufzeichnungen und Skizzen enthält, befindet sich in der Biblioteca Ambrosiana in Mailand, der Codex des Hauses TRIVULZIO ebenfalls in Mailand, weitere Notizbände besitzt das Institut de France in Paris, das Heft über den Vogelflug wird in Turin aufbewahrt, weitere Bände befinden sich in englischem Privatbesitz (Lord LEICESTER), die sogenannten ARUNDEL-Manuskripte sind im British Museum, weitere im South Kensington Museum, in der Academia di Belle Arti in Venedig, in der Bibliothèque Nationale in Paris usw., zerstreute Blätter an vielen Orten.

Von den meisten erhaltenen Handschriften LEONARDOS wurden kom-

[5] Als LEONARDO 1519 starb, war FRANCESCO DI MELZI 20 Jahre alt. LEONARDO kannte die Familie MELZI etwa seit 1506. Schon 1513 ging FRANCESCO mit LEONARDO von Mailand nach Rom.

[6] WILLIAM HUNTER, *Two introductory lectures*, 1784; der Umschlag des Notizenbuches trug damals die Aufschrift *Disegni di Leonardo da Vinci restaurati da Pompeo Leoni* und soll 235 Großfolioblätter enthalten haben (nach MCMURRICH, p. 69). WILLIAM HUNTER schreibt: "I am fully persuaded that LIONARDO was the best Anatomist of that time, in the world" und "I believe LIONARDO was, by far, the best Anatomist and Physiologist of his time." – Wenn ein Meister seines Faches wie WILLIAM HUNTER dies sagte, ist das Urteil mehr wie beachtenswert.

[6a] J. F. BLUMENBACH, *Medizinische Bibliothek*, Band 3, St. 1, S. 141–7 (1788).

mentierte Faksimile-Ausgaben hergestellt[7]. Für die Anatomie LEONARDOS ist die Ausgabe von VANGENSTEN, FONAHN und HOPSTOCK[8] immer noch die maßgebende. Vom Verlag Schuman (New York) wird eine Faksimile-Ausgabe sämtlicher anatomischer Skizzen LEONARDOS (ohne Kommentar) vorbereitet[9].

Leonardo als Anatom

Wenn wir von LEONARDOS Physiologie sprechen, müssen wir von seinen anatomischen Studien ausgehen. Was diese aus der ganzen mittelalterlich-traditionellen Anatomie heraushebt und haushoch über alle zeitgenössische Darstellung des zergliederten menschlichen Körpers stellt – dies, trotzdem zu seiner Zeit schon an den verschiedensten Orten, in Bologna, Padua usw., «Anatomien», d.h. Leichenzergliederungen, am Menschen abgehalten wurden –, ist die bis ins Einzelnste der Makroanatomie gehende namentlich zeichnerische Beschreibung des von LEONARDO Gesehenen. LEONARDO, der mehr als dreißig menschliche Leichen, männliche und weibliche, sezierte, wie einer Bemerkung zu Kardinal LUIS von Aragon in Amboise zu entnehmen ist[10], ging mit dem kühnen Impuls des Pioniers an die Zergliederung der menschlichen Leiche heran. Wie groß der Unterschied zwischen LEONARDOS Anatomie und der mittelalterlich-zeitgenössischen war,

[7] *I manoscritti di Leonardo da Vinci della Reale Biblioteca di Windsor. Dell'Anatomia, Fogli A*, pubblicati da TEODORO SABACHNIKOFF, transcritti ed annotati da GIOVANNI PIUMATI (Paris 1898).

I manoscritti di Leonardo da Vinci della Reale Biblioteca di Windsor. Dell'Anatomia, Fogli B, pubblicati da TEODORO SABACHNIKOFF, transcritti ed annotati da GIOVANNI PIUMATI (Milano 1901).

[8] LEONARDO DA VINCI, *Quaderni d'Anatomia*, pubblicati da O.C.L. VANGENSTEN, A. FONAHN, H. HOPSTOCK, Vol. I–VI (Christiania 1911–1916).

[9] CH. D. O. MALLEY and J. B. DE SAUNDERS, *Leonardo da Vinci on the Human Body*. Anatomical, physiological and embryological drawings of LEONARDO DA VINCI (H. Schuman, New York 1952). Der Band enthält über 1200 Zeichnungen. Das Erhaltene dürfte danach doch einen größeren Umfang besitzen, als KEELE annimmt.

[10] Nach Aufzeichnungen des Sekretärs von Cardinal LUIS von Aragon, welcher LEONARDO in Cloux bei Amboise am 10. Oktober 1517 besuchte: «Dieser Mann hat so genau über Anatomie geschrieben und durch Zeichnungen die Gliedmaßen, Muskeln, Nerven, Venen, Bänder, die innern Organe und was es alles im männlichen und weiblichen Körper zu untersuchen gibt, illustriert, wie es noch nie jemand vor ihm getan hat ... Und er sagte, er habe mehr als dreißig Leichen seziert, männliche und weibliche und in allen Altern.»

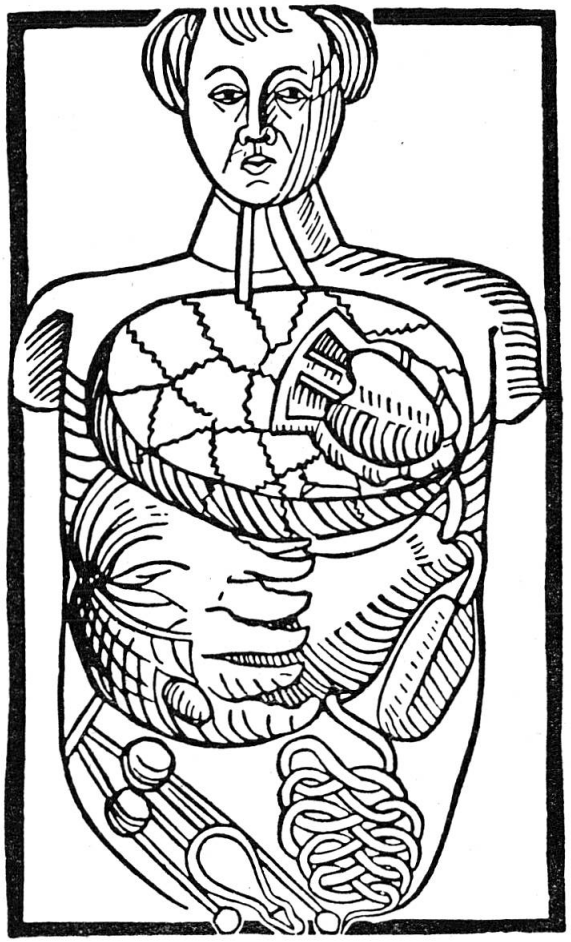

Abb. 2. Situs-Darstellung
aus MAGNUS HUNDTS *Anthropologikum de hominis dignitate*
Leipzig 1501 (nach CHOULANT)

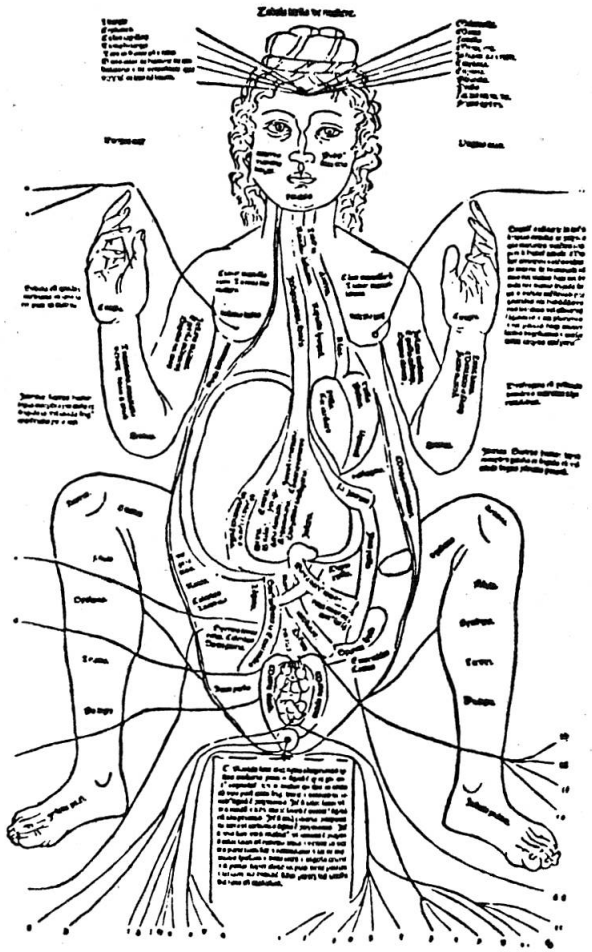

Abb. 3. Situs-Darstellung
aus dem *Fasciculus Medicinae* von KETHAM
(nach K. SUDHOFF und C. SINGER, Milano 1924)

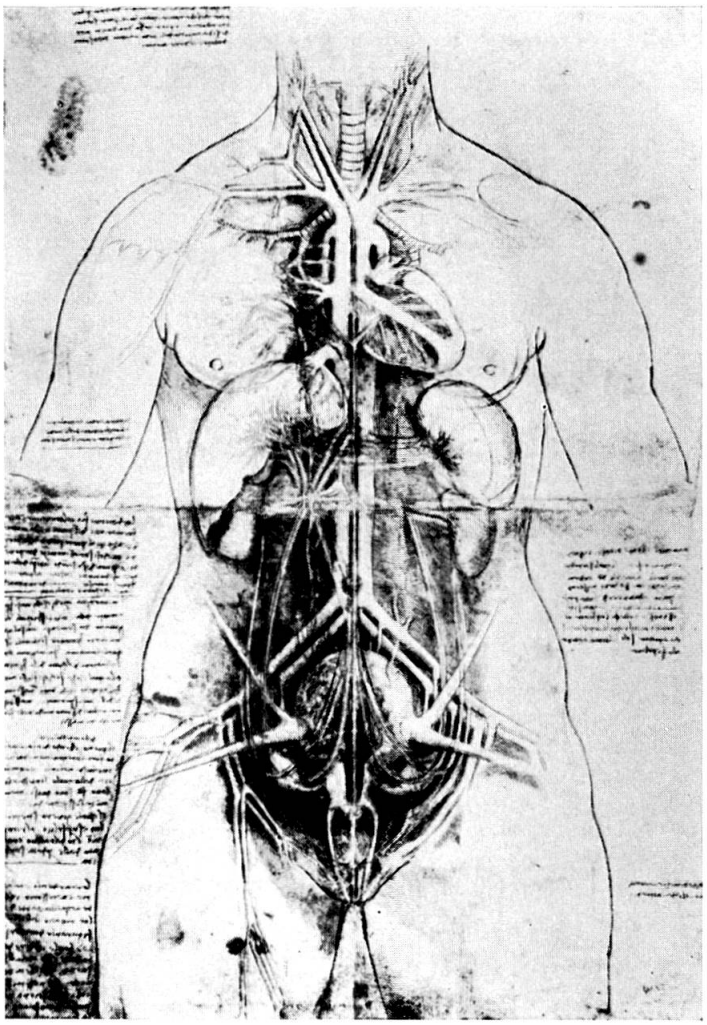

Abb. 4. Situs-Darstellung Leonardos
(nach Q I, 12)

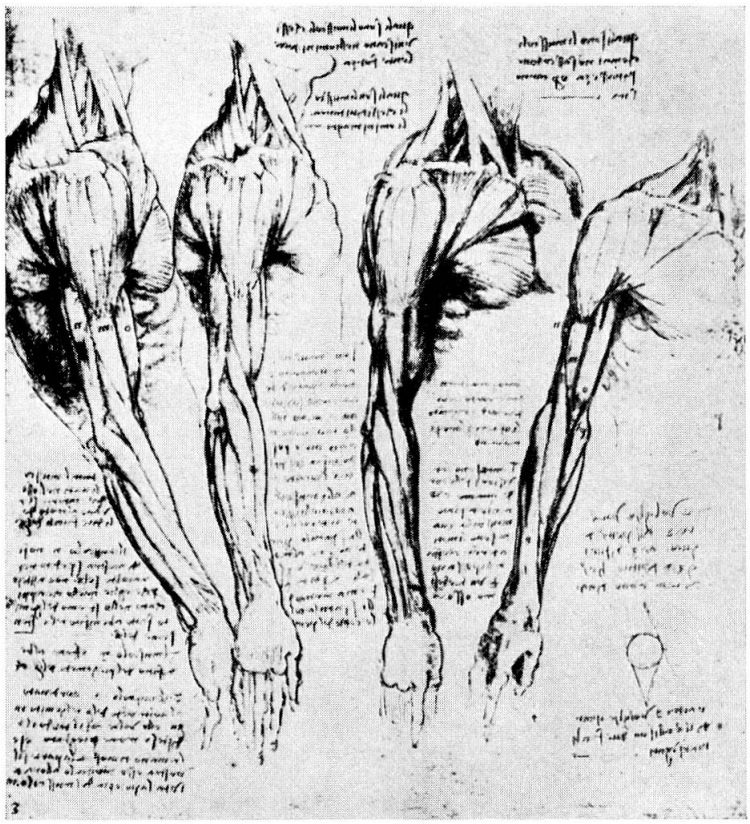

Abb. 5. Nacken-, Schulter- und Armmuskulatur in vier verschiedenen Ansichten (nach An A 9 v)
Bis zu LEONARDO war die genauere Anatomie der Muskulatur überhaupt kaum beachtet worden

mag ein Vergleich einer anatomischen Zeichnung LEONARDOS mit zeitgenössischen Parallelen erläutern.

Der eine betrifft eine Situs-Darstellung (Holzschnitt) aus MAGNUS HUNDTS Anthropologium *De Hominis dignitate* (Leipzig 1501, nach McMURRICH bei CHOULANT, vgl. Abb. 2), an welcher die brotförmige Lunge und die seit GALEN traditionsgemäß fünflappige Leber auffallen, die zweite betrifft eine Situs-Figur aus dem *Fasciculus Medicinae* von KETHAM (1491) (nach McMURRICH bei SUDHOFF und SINGER, vgl. Abb. 3), welche den Schematismus der Organe in noch typischerer Weise erkennen läßt. Und dazu nun der Situs viscerum LEONARDOS (Q I, 12, Abb. 4) dessen Organen man, auch wenn eine gewisse, die ihm bekannte traditionelle Literatur berücksichtigende Schematisierung der Verhältnisse unverkennbar ist, zutraut, daß sie funktionieren könnten.

LEONARDOS Anatomie war keine Künstleranatomie, soweit sie es nicht bewußt, zur Belehrung der Kollegen, wie etwa im Traktat der Malerei, sein wollte – davon sind uns prachtvolle Blätter erhalten –, sie ist keine Oberflächenanatomie. Sein Anliegen war, die wahre Beschaffenheit und Zusammensetzung des menschlichen Körpers zu ergründen: seine in die Tiefe des Fleisches und der Organe eindringende Zergliederung der menschlichen und tierischen Leiche hat ausgesprochen wissenschaftlichen Charakter.

Doch werde ich auf die wissenschaftliche Anatomie LEONARDOS nur soweit näher eingehen, als es zur Erläuterung seiner Physiologie unbedingt notwendig ist. Zudem hat der amerikanische Anatom und ausgezeichnete Medizinhistoriker McMURRICH LEONARDOS Anatomie in seinem Buch *Leonardo da Vinci the Anatomist* (Baltimore 1938) in vorzüglicher Weise behandelt.

Was uns an LEONARDOS Anatomie besonders interessiert, ist seine ausgesprochen *funktionelle Einstellung*: seine Anatomie ist (vielleicht in gewissem Gegensatz zu VESALS *Fabrica*) eine Anatomia animata: Anatomie ist für LEONARDO nur sinnvoll als Ansatz für eine Funktion. Dies geht nicht nur aus seinen zahlreichen muskelmechanischen Überlegungen und Abbildungen hervor, sondern betrifft auch die inneren Organe. Dem Abschnitt über die Muskeln in seinem geplanten großen anatomischen Werk wollte er eine Einführung in die Mechanik vorausschicken! Eingehende Studien über Muskelbewegungen machte er am Drahtmodell.

Aber während LEONARDO sowohl auf dem Gebiet der Skelettdarstellung – alle Knochen des Skeletts wurden von LEONARDO zeichnerisch dargestellt,

und niemals vor ihm mit solcher Genauigkeit bis ins Einzelne der speziellen Form – wie auf dem Gebiet der Muskelanatomie und Muskelmechanik Bahnbrechendes leistete, stützte er sich bei der Beschreibung der Funktion innerer Organe weitgehend auf die Tradition, d.h. auf GALEN-AVICENNA, deren Werke er zum Teil in zeitgenössischen Überarbeitungen kannte und denen er z.B. in der Herzphysiologie, wie wir noch sehen werden, folgte, soweit ihn nicht die eigene anatomische oder physiologische Beobachtung eines Besseren belehrte.

LEONARDO hatte die Absicht, ein großes, reich illustriertes Werk über Anatomie zu schreiben, das, auf Grund der erhaltenen Zeichnungen und Notizen beurteilt, weit über alles hinausgeht, was auf dem Gebiete der Anatomie vor ihm je geplant worden war; GALEN vielleicht bis zu einem gewissen Grade ausgenommen. Was er beabsichtigte, war eine wissenschaftliche Humananatomie, wie sie ein halbes Jahrhundert später das anatomische Genie VESALS wirklich leistete. Doch war das, was LEONARDO sich als Aufgabe stellte, viel weiterreichend als jede Anatomie im engeren Sinn, auch als VESALS 1543 zu Basel erschienen *Fabrica*.

Wie umfassend dieses Werk geplant war, sagt LEONARDO selbst (An B 20): «Dieses Werk soll mit der Empfängnis des Menschen beginnen und die Natur der Gebärmutter beschreiben, wie das Kind darin wohnt, bis zu welchem Grad (der Entwicklung) es sich darin aufhält, die Art und Weise, wie es am Leben erhalten bleibt und ernährt wird, sein Wachstum, ... was es aus dem mütterlichen Leib heraustreibt ...» usw.

In dem Anatomiewerk sollen auch alle *physiologischen Grundprobleme* behandelt werden, und damit gelangen wir zur Einordnung seiner Physiologie in den Gesamtbau seiner großartigen Konzeption vom Menschen (An B 1 v): «Die Ursache des Atmens, die Ursache der Herzbewegung, die Ursache des Erbrechens, der Abwärtsbewegung der Nahrung vom Magen aus, der Darmentleerung, ... des Schluckens, Hustens, Gähnens, Niesens, des Eingeschlafenseins der Glieder, der Gefühllosigkeit der Glieder, des Kitzelns, der Bedürfnisse und Begierden des Körpers, des Urinierens, und ähnlich aller natürlichen Tätigkeiten des Körpers.» Das Wort von der «Anatomia animata» dürfte insofern zutreffen, als LEONARDO in seine Anatomie auch die Aufgabe einschloß: «Beschreibe, was die Seele ist» – «Schreibe über Physiognomie».

Und weiter (An B 21): «Stelle dir vor, woher der Same kommt», ein Problem, dem bekanntlich schon HIPPOKRATES und viele antike Ärzte nachsannen und uns heute sehr merkwürdig anmutende Theorien aufstellten;

z.B. daß der Same aus dem Gehirn in die Keimdrüsen herabfließe, usw.[11]; «Woher der Urin, woher die Milch» ... «woher die Trunkenheit ..., woher die Träume, woher Geisteskrankheit ...» Auch sollen die typischen mimischen Ausdrucksformen: Lachen, Weinen, Zorn, Schmerz usw., beschrieben werden.

Seine Anatomie trägt den Charakter einer allumfassenden Anthropologie, eines grundlegenden Werkes über Anatomie, Physiologie und Psychologie des Menschen, die auch in der heutigen fragmentarischen Form höchste Bewunderung erweckt. Sein groß gesehenes Ziel war nach seinem eigenen stolzen Wort: «Die Kosmographie des Mikrokosmos (minor mondo = Mensch) werde ich euch in derselben Ordnung zeigen, welche vor mir durch PTOLEMÄUS in seiner Kosmographie (des Makrokosmos) verwendet wurde.»

In welch gewaltigem Umfang das Ganze auch im Detail konzipiert war, geht aus vielen weiteren Stellen hervor, wobei Leonardo maximale Anforderungen an die Abbildungen stellt: jeder Knochen soll von vier Seiten und im Schnitt bildlich dargestellt werden, dazu nicht nur einzeln, sondern nochmals von vier Seiten im Zusammenhang mit den benachbarten. Oder er nimmt sich vor, zehn Abbildungen von der palmaren Seite der Hand, zehn von der dorsalen, zehn von der ulnaren, zehn von der radialen Seite zu zeichnen; dies natürlich nicht allein im anatomischen, sondern weitgehend im physiologischen Interesse: Form und Funktion bilden für LEONARDO eine gegenseitig analysierbare Einheit (vgl. dazu Abb. 5).

Dem visuellen Genie und Künstler LEONARDO bedeutet das Bild als Beschreibung viel mehr als das Wort, trotzdem LEONARDO über eine hervorragende sprachliche Ausdrucksfähigkeit, sowohl schriftlich wie mündlich, verfügt hat.

So sagt er an einer Stelle: «O Schriftsteller, mit welchen Worten und wie willst du die ganze Formgestalt mit der Vollendung, welche ihr das Bild gibt, beschreiben? .... Mit welchen Worten willst du das Herz beschreiben ohne ein ganzes Buch zu füllen; und je länger du schreibst, genau, um so mehr wirst du den Geist des Hörers verwirren.»

Dabei ist nicht zu vergessen, daß LEONARDO bei seinen überaus detaillierten anatomischen Studien, besonders was die bis dahin argvernachlässigte Muskelanatomie betrifft, die Bezeichnungen für die einzelnen Mus-

[11] Vergleiche zu diesem Problemkreis die ausgezeichnete Darstellung von ERNA LESKY, *Die Zeugungs- und Vererbungslehren der Antike und ihr Nachwirken* (Verlag Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz, Wiesbaden 1951).

keln, die noch gar nicht benannt worden waren, fehlten, weil man sie zu seiner Zeit vielfach nicht einzeln unterschied. Viele Benennungen LEONARDOS sind in die anatomische Terminologie eingegangen. MONDINO DI LUZZI beachtete, wie KEELE bemerkt, die Muskulatur kaum, diejenige der Gliedmaßen überhaupt nicht. LEONARDOS Darstellungen auf dem Gebiet der Skelett- und Muskelanatomie waren Pionierleistungen ersten Ranges. In funktioneller Hinsicht stellte er die gültige Gesetzmäßigkeit auf, daß jeder Muskel seine Ansätze an benachbarten Knochen hat.

Daß LEONARDO sein Werk über die Anatomie und Physiologie des Menschen nicht zum Abschluß zu bringen vermochte, wer möchte sich bei dem Ausmaß der Konzeption des Werkes darüber wundern? Ging doch die Vollendung eines solchen Unternehmens über die Kraft selbst eines genialen Menschen. Und wieviel andere Werke von ähnlicher Größe der Konzeption plante LEONARDO – ganz abgesehen von seiner Kunst? Ein Werk über die Anatomie des Pferdes, um nur dies eine zu erwähnen, soll ebenfalls völlig (bis auf wenige pferdeanatomische Zeichnungen) verloren gegangen sein.

Und wie liebte LEONARDO das Pferd, dieses stolze Tier, wie kein anderes! Und mit welch ungestümer Bewegung führte er es in die geheimnisvolle Komposition der Florentiner «Anbetung» ein!

Die Hoffnung, die menschliche Anatomie zu vollenden, wuchs wohl, als er mit dem jungen Anatomen MARC ANTONIO DELLA TORRE (1481–1511) in Mailand oder Pavia zusammentraf. MARC ANTONIO, aus adliger Familie Veronas stammend – sein Vater war Arzt und Professor der Medizin an der Universität Padua –, wurde er schon mit zwanzig Jahren öffentlicher Lehrer der Medizin zu Padua, später Professor der Medizin daselbst und dann von LUDOVICO SFORZA als Anatomieprofessor nach Padua berufen. Großer Kenner und begeisterter Verehrer der Literatur des klassischen Altertums, die in den ersten Drucken zu erscheinen begonnen hatte, wurde er als Humanist geradezu PICO DELLA MIRANDOLA gleichgestellt. Er starb 1511, der Bevölkerung Hilfe leistend, an der Pest[11a].

[11a] In der heute noch lesenwerten Abhandlung von KARL FRIEDRICH HEINRICH MARX, *Über Marc Antonio della Torre und Leonardo da Vinci, die Begründer der bildlichen Anatomie* (Abhandl. Kgl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, Bd. 4, Göttingen 1849) wird die Frage in vorsichtiger Weise erörtert, wieweit MARC ANTONIO am Zustandekommen der anatomischen Zeichnungen LEONARDOS beteiligt gewesen sei. Beim Fehlen jeglichen handschriftlichen Nachlasses DELLA TORRES ist die Frage heute nicht mehr zu entscheiden. Es ist heute leider üblich, MARC ANTONIO in seinem Verhältnis zu LEONARDO in den Hintergrund zu rücken. Dabei war er eine hochbegabte, vielleicht geniale, jedenfalls

Die Beziehungen zu LEONARDO können nach McMURRICH (p. 61) im Gegensatz zu früheren, durch VASARI bedingten Auffassungen, nur von kurzer Dauer gewesen sein und kaum vor 1510 begonnen haben. Daß LEONARDO auf die Zusammenarbeit mit MARC ANTONIO Hoffnungen für die Vollendung seines großen Anatomiewerkes setzte, darf vielleicht aus der Bemerkung geschlossen werden: «In diesem Winter 1510 trachte ich diese ganze Anatomie abzuschließen.» Der Abschluß kam nie. Aber mit welcher Energie warf sich der alternde LEONARDO in Rom (1513–1517) nochmals auf diese Arbeit, bis ihn widrige Umstände von dort vertrieben.

Im folgenden wähle ich drei Gebiete der Physiologie aus, mit denen sich LEONARDO besonders eingehend befaßt hat: mit der Herzphysiologie und der Blutbewegung, mit der physiologischen Phonetik und mit der Flugphysiologie. Einige Bemerkungen über LEONARDOS Pflanzenphysiologie sollen wenigstens kurz andeuten, was wir ihm auch auf diesem Gebiete an neuen Beobachtungen verdanken.

I. Leonardos Herzphysiologie und seine Theorie von der Blutbewegung[12]

Ich stelle diese Betrachtung an erste Stelle, weil sie uns zeigt, daß sich auch LEONARDO der galenistisch-arabischen Tradition im Bereich der Organphysiologie nicht zu entziehen vermochte. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, trotzdem die verdienstlichen Herausgeber der anatomischen Codices LEONARDOS, VANGENSTEN, FONAHN und HOPSTOCK (1911–1916) hierin etwas anderer Ansicht sind, daß LEONARDO in seiner Herz- und Gefäßphysiologie (eine Zeitlang sogar in der Herzanatomie) GALEN weitgehend folgte. Ob er GALENS *De usu partium* gekannt hat, ist zweifelhaft;

faszinierende Persönlichkeit, wie MARX sagt, von raphaelischem Aussehen, dessen früher Tod in der damaligen Gelehrtenwelt Bestürzung hervorrief. PAOLO GIOVIO (1483–1552), den MARC ANTONIO im «Gymnasio Ticinese» (Pavia) zum Doktor der Medizin promoviert hatte, der nachmalige große Geschichtsschreiber, erwähnt ihn ehrend in seinen *Elogia Virorum literis illustrium*, Basilea 1577. Der geniale GIROLAMO FRACASTORO (1483–1553), der mit der Familie DELLA TORRE befreundet war, dichtete einen Klagegesang auf MARC ANTONIOS Tod.

[12] Nach Fertigstellung dieses Kapitels habe ich das Buch von K. D. KEELE, *Leonardo da Vinci on movement of the heart and blood* (London 1952), kennengelernt und bei der weiteren Ausarbeitung mit Gewinn benutzt. KEELE hat dieses Kapitel aus LEONARDOS Physiologie in vorbildlicher Weise und erschöpfend behandelt. Sein Buch bildet einen sehr wertvollen Beitrag zur Geschichte der Kreislaufphysiologie.

sicher aber kannte er GALENS Theorie von der Herzanatomie und Herzbewegung, wenn auch nicht im Original, so doch in ihrer arabischen Form, vor allem derjenigen des *Canon* AVICENNAS.

Mit welchen Vertretern der zeitgenössischen galenistischen Anatomie und Physiologie LEONARDO literarisch hauptsächlich in Berührung kam, sagt uns in Übereinstimmung mit andern, etwa mit BILANCIONI[13], vor allem MCMURRICH.

Das zu LEONARDOS Zeit verbreiteste Lehrbuch der praktischen Anatomie war die *Anathomia*[14] des Bolognesen MONDINO DE LUZZI (1270–1316), ein Buch, das, trotzdem MONDINO menschliche Leichen sezierte und er als Professor der Anatomie zu Bologna angestellt war, in der Darstellung kaum über die geläufigen mittelalterlich-arabischen Quellen und den darin gebotenen anatomischen Schematismus hinausging. MONDINO DE LUZZIS *Anathomia* basiert nach dem Urteil von MCMURRICH hauptsächlich auf dem *Meliki* des ALBUKASIS und dem *Canon* AVICENNAS. Dieses kleine Büchlein MONDINOS von etwa 40 Seiten, das zu seiner Zeit doch als großer Fortschritt empfunden wurde – vor allem hat er die Sektionstechnik in verdienstlicher Weise verbessert –, blieb für die folgenden zweihundert Jahre bis auf VESAL *das* Lehrbuch der Anatomie, bildete also den anatomischen Kanon sozusagen für die ganze medizinische Welt. Zu Lebzeiten LEONARDOS, zwischen 1478 und 1514, sind mindestens fünfzehn verschiedene Druckausgaben – die meisten in Italien – herausgekommen. Auch wenn MONDINOS Büchlein im 14., 15. und bis zu Beginn des 16. Jahrhunderts als anatomischer Fortschritt gewertet wurde, bedeutet der mehr als zweihundertjährige Gebrauch dieses bescheidenen «Lehrbuches» doch eine fast völlige Stagnation auf dem Gebiet der Anatomie. Das Verharren bei dem, was in AVICENNAS *Canon*, im gewissen Sinne einer verkürzten GALEN-Anatomie, stand, war noch bis gegen Ende des 15. Jahrhunderts allgemein – dies trotz der zunehmenden Möglichkeit der Leichensezierung. LEONARDO kannte auch ALESSANDRO BENETTIS (1460–1525), des Begründers des anatomischen Theaters zu Padua, *Anatomice*, das 1493 in Venedig herauskam und hauptsächlich auf GALEN, weniger auf den Arabern basiert.

Wenn LEONARDO Traditions- und Buchwissen dort verachtete, wo die Beobachtung ihr widersprach – darin dem großen Neuerer PARACELSUS

[13] G. BILANCIONI, *Veteris vestigia flammae* (Casa Editrice «Leonardo da Vinci», Roma 1922).

[14] CH. SINGER, *Translation of the Anatomy of Mondino da Luzzi, from the «Fasciculo di Medicina»* (Florence 1925). Vgl. auch E. WICKERSHEIMER, *Anatomies de Mondino et de Guido de Vigevano* (Paris 1926).

verwandt –, nahm er die Autorität der antiken Schriftsteller, wo er glaubte, ihrer nicht entbehren zu können an: so ist seine *Herzphysiologie* im wesentlichen diejenige der GALENischen Tradition. Und wenn er irgendwo «galieno de utilità» erwähnt, so erscheint es wenig wahrscheinlich, daß er diese Schrift im Original gekannt hat, da lateinische GALEN-Übersetzungen zu seiner Zeit noch selten waren, so daß er (nach MCMURRICH) GALEN hauptsächlich über die Araber gekannt haben dürfte. Der *Canon* war damals noch das meist gelesene medizinische Buch. Hingegen ist es unwahrscheinlich, daß auch wenn er ARISTOTELES zitierte, er seine *Historia animalium* oder *De partibus animalium* kannte.

In materieller Hinsicht besteht der Mensch (il mondo minore), wie im Altertum und durch das ganze Mittelalter hindurch, auch für LEONARDO, aus den vier «Elementen» Erde, Wasser, Luft und Feuer, d.h. aus dem gleichen Stoff wie der Leib der Erde. Die alchemistischen «Elemente» Sal, Sulfur, Mercur, die PARACELSUS (1493–1541) ein halbes Jahrhundert später zum Ausgangspunkt seiner epochemachenden Jatrochemie benutzte, lehnte LEONARDO, der mechanistisch denkende Mathematiker-Physiker, ab. Wohl teilte er die mittelalterliche Auffassung vom Makrokosmos/Mikrokosmos mit seinen Zeitgenossen; aber LEONARDOS Auffassung vom Makrokosmos/Mikrokosmos war keine alchemistisch-astrologisch-mystische wie diejenige des PARACELSUS, sondern eine naturhafte, war ein grandioses, als der Wirklichkeit gemäß empfundenes Gleichnis. LEONARDO kannte und anerkannte auch die vier antiken «humores» Schleim, Blut, Galle, schwarze Galle, erwähnt sie aber selten.

So sehen wir den genialen naturwissenschaftlichen Neuerer LEONARDO in der antik-mittelalterlichen Physiologie befangen, und wir wundern uns nicht, daß er auch in seiner Herzphysiologie ihr weitgehend folgte. Sie stellt ein besonders typisches Beispiel dafür dar, wie selbst die exakte Naturbeobachtung eines Genies durch autoritär-traditionelle Theorien mißleitet werden konnte. Nicht zu Unrecht wurde gesagt, daß LEONARDO bei seiner Geistesart und seinem Genie den Blutkreislauf eigentlich hätte entdecken müssen, da ihm alle anatomischen und physikalischen Kenntnisse zum Verständnis der zirkulären Blutbewegung zur Verfügung standen, wenn sich nicht selbst dieser geniale Beobachter und Deuter durch die noch mehr als ein Jahrhundert nach LEONARDOS Tod bis auf WILLIAM HARVEY (1628) allgemeingültige galenistische Theorie der Blutbewegung hätte von der realen Beobachtung ablenken lassen. Seine Theorie der Herztätigkeit ist mit einigen charakteristischen Abweichungen tatsächlich diejenige GALENS,

die wir zusammengefaßt vielleicht so charakterisieren können: der Chylus oder Dünndarminhalt gelangt in die Leber, wird durch «coctio», durch Kochung, d.h. durch eine Art Fermentationsprozeß, zu Blut, wobei die zur «Kochung» notwendige Wärme vom Herzen geliefert wird, und gelangt über die Vena cava ins rechte Herz. Dort wird ein Teil des Blutes in den rechten Aurikel getrieben und erwärmt. Für GALEN gab es nur zwei Herzhöhlen: rechter Vorhof, auf- und absteigende Cava bildeten für ihn, zusammen mit der Arteria pulmonalis, eine Einheit; der rechte Vorhof existierte für ihn als selbständige Herzhöhle nicht, sondern bloß als Anhängsel der großen Blutadern. Ein zweiter Teil des Blutes gelangt über die Arteria pulmonalis in die Lungen, wird dort «entdunstet» und abgekühlt und durch das im rechten Ventrikel bei dessen Erweiterung (Diastole) entstehende Vakuum dorthin zurückgesogen, ebenso das aus der Cava inferior von der Leber neu gebildete Blut. Drittens wird bei Kontraktion des rechten Ventrikels ein Teil des Blutes durch die «Poren» der Zwischenwand, welche rechte und linke Herzklammern trennt, in den linken Ventrikel hinüberfiltriert und, mit dem «Spiritus vitalis» versehen, in die Aorta getrieben und den Organen zugeführt. Die Aktion des Herzens führt zu einer im Rhythmus des Pulses vor sich gehenden Hin- und Herbewegung des Blutes, wie Ebbe und Flut, getrennt für rechtes und linkes Herz, wobei die Ausstoßung des Blutes durch die Ventrikelkontraktion, die Rückflut ins Herz durch die Saugwirkung des Vakuums bewerkstelligt wird.

Auch der linke Vorhof hat gegenüber der linken Kammer und den Venae pulmonales keine Selbständigkeit. Das Herz bestand also nach GALEN nur aus zwei Herzhöhlen – dies entgegen ARISTOTELES, der eine dritte Herzhöhle annahm, eine «mittlere Kammer», die von AVICENNA im *Canon* übernommen wurde und sehr merkwürdig konstruiert ist, denn sie besteht aus lauter kleinen, nach dem rechten Herzen gerichteten Höhlungen.

Nach GALEN besteht auch eine Verbindung zwischen Luftröhre und linkem Herzen, offenbar damit der Spiritus vitalis einen Durchtritt hat (Darstellung teilweise nach McMURRICH und KEELE).

Auf Grund seiner anatomischen Feststellungen lehnt LEONARDO die Verbindung zwischen Luftröhre und linkem Herzen ab: «Mir scheint es unmöglich», sagt LEONARDO, «daß irgendwie Luft aus der Trachea ins Herz gelangen kann» (vgl. Abb. 6).

War er sich im Beginn seiner anatomischen Herzstudien, die er, wohl meist an Ochsenherzen, mit größter Genauigkeit immer vollendeter betrieb, wovon eine große Zahl prachtvoller Zeichnungen Zeugnis ablegt, über die Zahl der

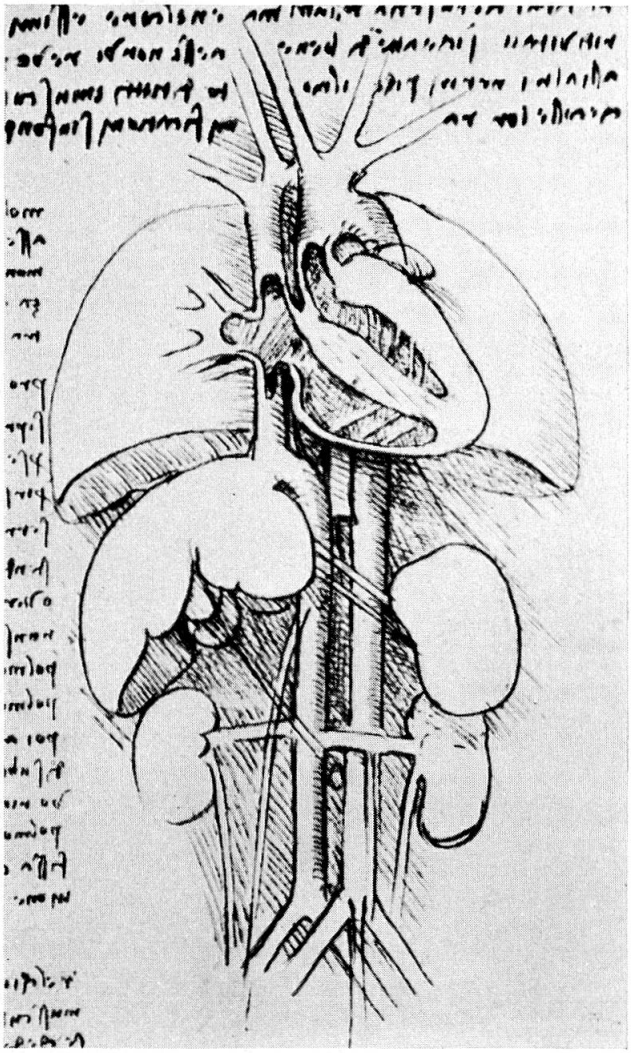

Abb. 6. Situs-Bild LEONARDOS (nach Q IV, 7). Das Herz zeigt die Dispositionen der früheren, GALEN sehr angenäherten Auffassung LEONARDOS mit nur zwei Herzhöhlen. Die «Moderator-Bänder» der Herzhöhlen weisen darauf hin, daß LEONARDO die Verhältnisse am Ochsenherzen studierte. Die Leber ist traditionsgemäß fünflappig. Die direkte Gefäßverbindung zwischen Leber und Milz weist auf die im Text dargestellte Theorie der Blutentstehung usw. hin

Herzhöhlen noch nicht vollständig klar, so tritt in einer bestimmten Phase der Moment ein, wo er mit Sicherheit feststellt: das Herz besteht aus vier Kammern (Q 13r): «Das Herz hat vier Ventrikel, nämlich zwei untere und in der Substanz des Herzens, und zwei obere außerhalb seiner Substanz, und von diesen sind zwei rechts und zwei links, und die rechtsseitigen sind ziemlich stark größer als die von links, und die oberen sind durch gewisse kleine Ausgänge oder Pforten des Herzens von den unteren Ventrikeln getrennt und die unteren sind voneinander durch eine poröse Wand geschieden, durch welche das Blut vom rechten Ventrikel in den linken dringt; und wenn der rechte und untere Ventrikel sich schließt, öffnet sich der linke untere Ventrikel und zieht das Blut an sich, das der rechte ihm darreicht. Und die oberen Ventrikel machen beständig Flut und Gegenflut mit dem Blut, das unaufhörlich von den unteren Ventrikeln herausgezogen oder angesaugt wird; und weil die oberen Ventrikel besser geeignet sind, das Blut von sich zu jagen, das sie ausdehnt, als es in sich zu ziehen, hat die Natur es gemacht, daß zum Schließen der unteren Ventrikel (die sich von selber schließen), – daß das Blut, welches aus ihnen entflieht, jenes sei, das die oberen Ventrikel ausdehnt; welche letztere, weil aus Muskeln und fleischigem Gehäute zusammengesetzt, geeignet sind, sich auszudehnen und so viel Blut aufzunehmen, als ihnen weggetrieben wurde, ad otiam geeignet, mittels mächtiger Muskeln sich voller Heftigkeit zusammenzuziehen und das Blut von sich weg in die unteren Ventrikel zu jagen, von welchen dann der eine sich öffnet, der andere sich schließt, und das gleiche tun die oberen Ventrikel auf solche Art, daß, wenn der rechte untere Ventrikel sich ausdehnt, der linke obere sich zusammenzieht, und wenn der linke untere sich öffnet, der rechte obere sich verschließt; und so, mit solcher Flut und Gegenflut (frusso e refrusso), die mit großer Geschwindigkeit sich vollziehen, erwärmt sich das Blut und verdünnt sich und wird so heiß, daß, wäre nicht die Hilfe des Blasebalges der Lunge, die bei ihrem Ausdehnen die frische Luft einzieht und sie preßt und damit die Hülle der Verzweigungen der Venen berührt und sie erfrischt, daß jenes Blut überheiß würde und das Herz ersticken machte und es des Lebens beraubte» (übersetzt nach Marie Herzfeld).

Leonardo verzichtete also ebensowenig auf die (unsichtbaren) Poren der Ventrikelscheidewand, wie fünfzig Jahre nach ihm Vesal, durch welche das Blut aus der rechten in die linke Herzhälfte filtrieren soll, weil auch er die Auffassung vom Spiritus vitalis übernahm, der vom Herzen aus alle Organe, wie er richtig ahnte, mit Energie beliefert. Ersetzen wir den Spi-

ritus vitalis durch den Sauerstoff, so gelangen wir schon zu einer annehmbareren Theorie der wichtigsten Funktion des Blutes und der Blutbewegung. LEONARDO übernimmt also im großen ganzen diese Herzphysiologie; aber mit einigen charakteristischen Modifikationen.

Nach dieser Darstellung bringt auch LEONARDO, analog wie GALEN, die Ventrikel alternativ zu Kontraktion; in späteren Darstellungen läßt er sie aber synchron arbeiten. Der große Fortschritt liegt in der eindeutigen Feststellung, daß das Herz, entgegen GALEN, AVICENNA und MONDINO, vierkammerig ist. Das aus dem rechten Herzen ausströmende, d.h. in den Körper zurückflutende Blut dient der Ernährung der Organe, das aus dem linken der Energiezufuhr; auch das entspricht GALENischer Auffassung.

Charakteristisch für LEONARDO ist die physikalische Erklärung der Wärmeentstehung im Herzen durch Reibung, wobei die Hin- und Herbewegung des Blutes zwischen Kammer und Vorhof und die an den Klappen bei ihrem Schluß entstehende Wirbelbewegung als reibungs- und damit als wärmeerzeugende Faktoren in Frage kommen, während der «calor innatus (to thermon emphyton)» GALENS eine mystische, unerklärliche Eigenschaft des Herzens darstellt. Die beim Klappenschluß der Semilunarklappen entstehende Wirbelbildung unterhalb derselben ist nach LEONARDO in besonderem Maße an der Erzeugung der Reibungswärme des Blutes beteiligt (QIV11r): «Die wirbelnde Umdrehung des Blutes im Vorhof des Herzens, Basis der Aortenarterie, dient zweierlei Wirkungen, von denen die erste ist, daß seine Umkreisung, die sich in mancherlei Dichtungen vervielfacht, in sich große Reibung hervorbringt, durch die sich das Blut erwärmt und verdünnt und die Lebensgeister vermehrt und belebt, welche sich stets im Warmen und Feuchten aufhalten. Die zweite Wirkung dieser Umwirbelung des Blutes besteht darin, daß sie die offenen Pforten des Herzens in ihrer ersten Bewegung mit einem vollkommenen Verschlusse schließt» (übersetzt nach MARIE HERZFELD).

Die Herzbewegung verläuft dann in seinen späteren Darstellungen so, daß die gleichzeitige Aktion beider Ventrikel in Abwechslung mit der Kontraktion beider Vohöfe vor sich geht. Das Blut wird also von den Ventrikeln in die Vorhöfe und von diesen wieder in die Ventrikel und gleichzeitig in die entsprechenden Gefäße getrieben. Und dieser Flux und Reflux erzeugt die Reibungswärme.

Bei der Blutströmung in den Gefäßen unterscheidet er auf Grund seiner hydraulischen Experimente vollkommen richtig zwischen einer rascheren Mittelströmung und einer langsameren Wandströmung.

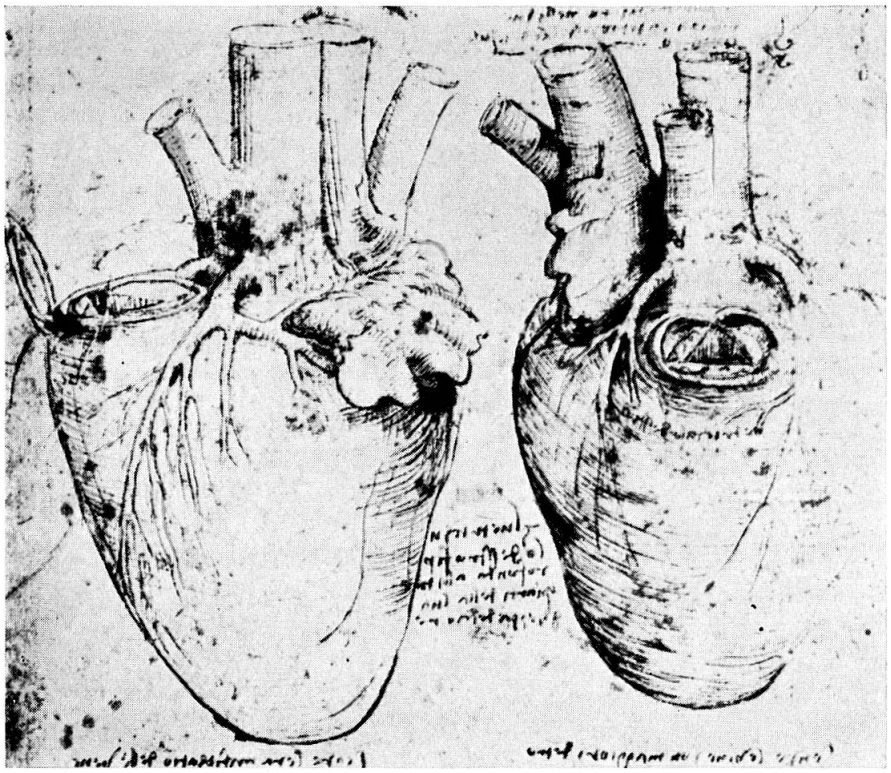

Abb. 7. Zwei Abbildungen des Herzens,
die genauere Klappen- und Gefäßanatomie darstellend
(nach Q II 3 v)

Erstaunlich ist, daß LEONARDO in seiner Auffassung von der Blutbewegung nicht wesentlich von GALEN abweicht, trotzdem er nach seinen anatomischen Zeichnungen des Herzens, die alle Einzelheiten der Klappen, der Papillarmuskeln, Sehnenfäden, der schon von GALEN beschriebenen und in ihrer ernährenden Funktion für das Herz erkannten Coronargefäße usw. darstellen, eine sehr genaue makroskopische Kenntnis des Säugetierherzens, wohl auch des Menschenherzens, besaß (vgl. Abb. 7).

Aber immer wieder treffen wir auf «Galenismen» in seiner Organanatomie, wie dies namentlich auf einigen menschlichen Situs-Darstellungen sichtbar ist. Hat seine Leber auch noch fünflappige Struktur, so entspricht diese Lappung doch der natürlichen Lappenteilung der menschlichen oder tierischen Leber und ist nicht mehr «handförmig» wie in HUNDTS bildlicher Darstellung.

GALENischer Physiologie entspricht es auch, wenn LEONARDO in seinem Situs eine direkte Gefäßverbindung zwischen Leber und Milz herstellt. Ist es bei GALEN die schwarze Galle, die von der Leber an die Milz abgegeben wird, so sammelt sich nach LEONARDO das überflüssige (schlechtgewordene) Blut von der Leber, wo das frische Blut erzeugt wird, und gibt es über die Mesenterialvenen zur Ausscheidung an den Darm ab.

LEONARDO, der sich mit der Atmungsmechanik des Brustkorbes sehr eingehend beschäftigte, hatte tatsächlich auch schon eine erstaunlich moderne Konzeption von der Bedeutung der Luft im Atmungsprozeß, deren biologische Funktion er, VAN HELMONT und LAVOISIER vorausnehmend, mit der Verbrennung vergleicht: «Die Flamme verbraucht (*dispone*) zuerst den Stoff, welcher sie nährt – verwandelt die brennbare Materie der Kerze in Gas – und nährt sich darauf von diesem» ... «wo nicht genügend Luft vorhanden ist, um die Flamme zu empfangen, kann die Flamme nicht leben, ebensowenig irgendein auf der Erde oder in der Luft lebendes Tier.»[15]

Auch wenn es im Hinblick auf seine eingehenden Kenntnisse der Herz- und Gefäßanatomie und seiner hervorragenden Forschungen auf dem Gebiet der Strömungsmechanik, der Funktion der Pumpen usw. kaum verständlich ist, daß der zündende Funke von der Kreisbewegung des Blutes nicht in ihm aufsprühte, so erscheint es doch wenig wahrscheinlich, daß LEONARDO an echte Blutzirkulation jemals gedacht hat.

[15] «La fiamma dispone prima la materia che la de'nutrie-cioè porta allo stato di gas la materia combustibile della candela – e poi si nutrica di quella ... dove l'aria non è proporzionata a ricevere la fiamma, nessuna fiamma di puo vivere, nè nessuno animale terrestre o aero ... Dove non vive la fiamma, non vive animal che aliti.»

Was ihn, vielleicht mehr als die GALENische Theorie der Blutbewegung, veranlaßt haben mag, den Vorgang der Blutbewegung als ein Hin und Her, als ein Auf und Ab zu betrachten, ist wohl die Analogie zu Ebbe und Flut, die in LEONARDOS Beschreibung der Blutbewegung öfters wiederkehrt. Wenn er feststellte, daß sich das Blut entgegen der Schwerkraft bewege, so bot ihm auch hier «die große Natur» den willkommenen Vergleich: «das Blut wird so entgegen der Schwerkraft bewegt, wie das Wasser in den Quellen, getrieben von einer Kraft im Innern der Erde, aufwärts steigt, oder wie der Saft in den Pflanzen sich nach oben bewegt». Dieser Vergleich und die Beziehung zu Ebbe und Flut des Meeres bedeutet ihm wohl nicht nur eine Analogie, sondern war ihm Ausdruck jener tiefen Übereinstimmung im Wirken vom Mikrokosmos (minor mondo) und Makrokosmos, wie sie seinem auf Harmonie und Vollkommenheit eingestellten Geist entsprach[15a]

Makrokosmos und Mikrokosmos, der Mensch als Entsprechung des Weltalls, wohl ursprünglich eine pythagoräische Idee, ist in den mannigfaltigsten Ausformungen im ganzen Mittelalter lebendig geblieben, und auch die Renaissancephilosophie hat sich, solange das Ptolemäische Weltbild Geltung besaß, dieser Vorstellung mit Vorliebe bedient, wie dies bei PARACELSUS besonders eindrücklich ist. LEONARDO aber liebte die vollkommene Übereinstimmung zwischen Welt und Ich, zwischen der großen und kleinen Welt, die sein prometheischer Feuergeist in ihrer Tiefe erkennen und, kraft seiner Vernunft ihr das Gesetz vorschreibend, nochmals schaffen wollte. Die Anatomie und Physiologie der Welt zu erkennen, war sein großartiges Ziel, beherrscht vom ewigen Drang nach Vollkommenheit und nach Erkenntnis des Vollkommenen, von dem auch sein philosophischer Zeitgenosse GIOVANNI PICO DELLA MIRANDOLA (1463–1494), die Schönheit des Weltalls und der Seele preisend, erfüllt war.

[15a] Noch eineinhalb Jahrhunderte später finden wir den ins einzelne gehenden Vergleich zwischen Mikro- und Makrokosmos und im besonderen denjenigen zwischen dem Kreislauf des Wassers auf der Erde und dem Blutkreislauf – nun nach der HARVEYschen Theorie – dargestellt in dem heute kostbar gewordenen Büchlein von PHILIPP JAKOB SACHS VON LEWENHEIMB (1627–1672), Sekretär der Leopoldina: PHILIPPI JACOBI SACHS A LEWENHEIMB, *Oceanus macro-microcosmicus seu Dissertatio epistolica de analogo motu aquarum ex et ad oceanum, sanguinis ex et ad cor.* Ad ... THOMAM BARTHOLINUM medicum et anatomicum incombarabilem ... Vratislawae, Sumptibus Esaiae Fellgiebeli, 1664.

II. Leonardos Phonetik

Ein anderes Gebiet der Physiologie, auf dem LEONARDO unabhängig von jeder Tradition, ganz er selbst, ganz genialer Schöpfer war, ist seine *physiologische Phonetik.*

Den Ausgangspunkt seiner Studien bildet die fundamentale physikalische Feststellung: «l'aria si po' premeri e l'acqua no», die Luft ist kompressibel, hat also elastische Eigenschaften, das Wasser nicht. Und daraus die Schlußfolgerung: Stimme kann nur durch Bewegung entstehen, wie er im Widerspruch zu ARISTOTELES feststellt: «Voce non fia mai senza moto.» Die Entstehung des Tones geht nach LEONARDO folgendermaßen vor sich: (Der Ton) «ist Bewegung der am dichten Körper sich reibenden Luft, oder des dichten Körpers an der Luft, was auf dasselbe hinauskommt. Diese Reibung (confricazion) des Dichten mit dem Luftigen (raro) verdichtet das Luftige und gibt ihm vermehrten Widerstand.»[16] Der Ton wird nach LEONARDO hervorgerufen durch Reibung der Luft an einem festen Gegenstand oder durch die Reibung eines dichten Körpers, der bewegt wird, an der (stehenden) Luft. Weiterhin gelangt er zu der entscheidenden Feststellung des Tones als einer Wellenbewegung: «So wie der ins Wasser geworfene Stein sich zum Mittelpunkt und zur Ursache verschiedener Kreise macht, so breitet sich der Ton in der Luft kreisförmig aus.»[17]

Diese kreisförmige Schallausbreitung setzt er in gewissen Gegensatz zur gradlinigen Fortpflanzung des Lichtes, stellt aber fest, daß es, ähnlich wie beim Licht, auch beim Schall Reflexionsphänomene gibt. «Obwohl die Stimmen, welche diese Luft durchdringen, von ihrem Entstehungsort (dalle loro cagioni) mit kreisförmigen Bewegungen ausgehen, so begegnen sich nichtsdestoweniger die von verschiedenen Punkten (principi) ausgehenden Kreise, ohne sich gegenseitig zu hindern, und einer dringt in den andern ein, wobei sie als Zentrum immer ihren Entstehungsort beibehalten.»[18]

[16] (Il suono) «è movimento d'aria confricata in corpo denso o l' corpo denso confricato nell'aria, che è il medesimo, la confricazion di denso con raro condensa il raro e fassi resistente».

[17] «Si come la pietra gittata nell'aqua si fa centro e causa di vari circuli e l' sono fatto nell'aria circularmente si sparge.»

[18] «Benche le voci, che penetrano quest'aria, si partino con circulari movimenti dalle loro cagioni, niente di meno i circuli mossi da diversi principi si riscontrano insieme, senza alcuno impedimento, e penetrano e passano l'uno nell'altro, mantenendosi sempre per centro le lor cagioni.»

Und doch wieder die Beziehung zur (gradlinigen) Ausbreitung des Lichtes: «Jede Sache (Welle), welche auf dem Widerstand bietenden Objekt auftrifft (eigentlich: «von ihm durchdrungen wird»), springt von diesem Gegenstand unter dem gleichem Winkel ab, unter dem sie auftraf.»[19]

Immer tiefer in die Schallphänomene eindringend, gelangt er zu dem erst sehr viel später von CHLADNI und SAVART studierten *Resonanzphänomen* «Der einer Glocke versetzte Schlag wird Antwort bekommen und in gewissem Ausmaß eine andere ihr ähnliche Glocke in Schwingung versetzen. Und die in Schwingung versetze Saite einer Laute wird eine Antwort bekommen und eine andere ähnliche Saite von ähnlichem Klang (voce) einer andern Laute in Schwingung versetzen.»[20]

Dies war eine ganz persönliche Erfahrung: LEONARDO war als vorzüglicher Lautenspieler berühmt.

Die Beziehungen zwischen Luftverdichtung und Schallerzeugung werden von LEONARDO durch Bestimmung des Verhältnisses zwischen Geschwindigkeit der Luftbewegung und Tonhöhe nun auch quantitativ festgestellt: «Die von irgendeinem bewegten Teil (da qualunque mobile) in der Luft hervorgerufene Verdichtung ... wird größer oder geringer sein, je nach der größeren oder geringeren Geschwindigkeit des bewegten Körpers, welcher die Luft drückt, so wie es der Flug der Vögel zeigt, welche mit dem Ton ihrer Flügel, mit denen sie die Luft schlagen, einen tieferen (più grave) oder höheren (più acuto) Ton hervorrufen, je nach der langsameren oder rascheren Bewegung ihrer Flügel.»[21]

Dann geht LEONARDO nach zahlreichen weiteren physikalischen Experimenten zum physiologischen Aufnahmeorgan des Tones, dem Ohr, über: das Hören hängt ebenfalls von der Richtung bzw. dem Winkel ab, unter welchem der Schall auf das Hörorgan auftrifft: «weshalb es notwendig ist, daß sich das Ohr in gerader Linie vom Ausgangspunkt der Schallreflexion (ripercussione) befinde. Diese Stimme wird im Hörorgan in ähnlicher Weise re-

[19] «Ogni cosa percossa nel resistente obbietto risalta da esso obbietto con eguale angola a quello dalla percussione.»

[20] «Il colpo dato nella campana risponderà e moverà alquanto un'altra campana simile a sè; e la corda sonata da un liuto risponderà e suonerà una altra simile corda di simile voce in un altro liuto.»

[21] «La condensazione dell'aria percossa da qualunque mobile ... sarà di maggiore o minore densità, secondo la maggiore o minore velocità, che tra in sè il mobile che la preme, come ci mostra il volare degli uccelli, li quali col suono delle loro alie battendo l'aria, fanno il suono più acuto, secondo il più tardo o veloce moto delle loro alie.»

flektiert wie im Auge die an Spiegeln je nach der Art der Gegenstände hervorgerufene Reflexion ... und so wie die Ähnlichkeit des Dinges auf den Spiegel und vom Spiegel auf das Auge unter gleichen Winkeln auffällt, so wird auch die Stimme von der Höhlung (concavità) der ersten Erschütterung auf das Ohr auffallen und wiederum herausspringen.»[22]

Ton braucht zur Ausbreitung Zeit, stellt LEONARDO weiterhin fest: «la voce non va senza tempo» – und deshalb ist es auch möglich, den Abstand der tonerzeugenden Quelle zu bestimmen: «conoscere con l'orecchio la distanza d'un tuono.»

Und vom Aufnahmeorgan der Töne und Geräusche, dem Ohr, geht LEONARDO nun auf das Organ der Stimmerzeugung und damit zur physiologischen Phonetik über. Als Organ der Stimmerzeugung bezeichnet er die Trachea, die Luftröhre, wobei er den Kehlkopf (fistola), wie aus seinen vorzüglichen anatomischen Zeichnungen klar ersichtlich ist, in die Bezeichnung «trachea» miteinbezieht. LEONARDO stellt sich die konkrete, alles Wesentliche umfassende Aufgabe:

«Betrachte und erkläre gut die Funktion (l'offizio) der Luftröhre (d.h. des Kehlkopfes) und in welcher Weise er (d.h. die Stimmritze) sich bei der Bildung der hohen, mittleren oder tiefen Stimme einstellt; welches die Muskeln sind, die sich an dieser Funktion beteiligen. Und beobachte, ob die genannten, zwischen der Halswirbelsäule und der Speiseröhre gelegenen Muskeln durch ihr Dickerwerden (ihre Kontraktion) irgendeine Bewegung anzeigen ...»[23]

LEONARDO machte schon die grundlegenden Experimente zum Studium der physiologischen Tonbildung, wie sie dann erst viel später JOHANNES MÜLLER (1839) ausführte. Er experimentierte am toten Tier über die Mechanik des Larynx und die Änderungen in der Weite des Glotisspaltes:

«Aber darüber werden wir Experimente machen anläßlich von Tiersektionen, indem wir Luft in ihre Lungen einblasen und diese dann unter

[22] «Quando è necessario che l'orecchio si trovi in linea retta col punto della ripercussione. Quella voce è riflessa all'organo acustico come all'occhio le ripercussioni fatte negli specchi spezie degli abbietti ..., e si come la similitudine è cadente dalla cosa allo specchio e dallo specchio all'occhio infra eguali angoli, cadrà e risalterà la voce nella concavità della prima percussione all'orecchio.»

[23] «Vedi e definisci bene l'offizio della trachea, e in che modo si disponga alla creazione della voce acuta, mediocre e grave, quali son li muscoli, che a tale offizio s'adoperano. E considera, se li detti muscoli interposti infra la spina dell collo e l' meri (Oesophagus) dimostrassino azione alcuna ne' loro ingrossamenti ...»

Verengerung und Erweiterung der Stimmritze (la fistola generatrice) ihres Stimmapparates (della lor voce) zusammenpressen.»[24]

«La fistola generatrice»: der Larynxspalt, die Stimmritze und seine Bedeutung als stimmbildendes Organ waren LEONARDO also wohlbekannt (vgl. Abb. 8).

In der Variation der Länge und Form des «tubo sonoro», des die Tonschwingungen erzeugenden und weiterleitenden Körpers, sah er die Ursache der Änderung der Tonhöhe usw., sowohl bei der menschlichen Stimme wie bei der Tonerzeugung von Blasinstrumenten. Dies veranlaßte ihn, dem «tubo sonoro», der Luftröhre (zusammen mit dem Kehlkopf als Pfeife), eine größere Beweglichkeit zuzuschreiben, als sie tatsächlich besitzt. Ganz ähnliche Überlegungen machte (nach BILANCIONI) NATIER unter PAUL BERT und BOUCHARD (1880) bei seinen Untersuchungen über die Physiologie der Trachea.

Und nun als höchste und komplizierteste Stufe der Phonetik die Physiologie der Lautbildung der menschlichen Sprache. Es ist höchster Bewunderung wert zu sehen, mit welcher Genauigkeit LEONARDO zunächst die anatomischen Verhältnisse der Muskulatur der Mundhöhle, des Rachens, der Zunge, der Lippen, der Nase untersuchte, wobei er die Entdeckung der Keilbeinhöhle ein halbes Jahrhundert vor VESAL und der Oberkieferhöhle etwa anderthalb Jahrhunderte vor NATHANAEL HIGHMORE (1613–1685) machte und ihnen die Funktion der Schallverstärkung zuschrieb, um für jeden einzelnen Sprachlaut den Mechanismus seiner physiologischen Entstehung festzustellen.

Zunächst beschäftigt ihn die Anatomie der Zunge, deren Bau so kompliziert ist, weil, wie LEONARDO bemerkt, die Funktionen der Zunge so außerordentlich mannigfaltige sind: nicht nur bei der Lautbildung, sondern auch bei der Nahrungsaufnahme und bei Ausdrucksbewegung des Gesichts.

«Kein Körperglied bedarf einer so großen Zahl von Muskeln wie die Zunge, von der 24 bekannt sind, ohne die andern, die ich selbst gefunden habe, und von allen Gliedern, die sich willkürlich bewegen lassen, übersteigt diese (die Zunge) alle andern in der Zahl (verschiedener) Bewegungen.»[25]

Seit GALEN unterschied man traditionsgemäß 24 Zungenmuskeln, deren

[24] «Ma die questo ne faremo sperienza nella notamia delli animali, col dare vento alli loro polmoni, e quelli plemere, restringendo e dilatando la fistola generatrice della lor voce.»

[25] «Nessun membro a bisogno di tanto numero di muscoli, quanto la lingua, delli quali ce n'è 24 noti, senza gli altri che io ho trovati; e di tutti li membri, che si movin per moto volontario, questa eccede tutti gli altri nel numero delli movimenti.»

Zahl LEONARDO durch genaueste Sektion vermehrte (besondere Muskelbündel, die früher in ihrer relativen Selbständigkeit nicht beachtet worden waren). – LEONARDOS Differenzierung der Zungenmuskulatur, ihres Faserverlaufes im einzelnen, seine Beschreibung der Ansatzpunkte usw. geht weit über das hinaus, was wir ein halbes Jahrhundert später in VESALS *Fabrica* sehen, wo die Zunge eine mehr oder weniger undifferenzierte Muskelmasse darstellt. LEONARDOS ungeheures Interesse liegt aber auch hier nicht in der «notomia», in der Anatomie der Zunge als solche, sondern im Bedürfnis nach Aufklärung ihrer Funktionen, vor allem der von ihm erkannten unendlichen Bedeutung der Zunge für die Lautbildung.

«Beachte wohl, wie mittels der Zungenbewegungen mit Unterstützung der Lippen und Zähne, die Aussprache (la pronunziazione) aller Namen der bekannten Dinge, die einfachen wie die zusammengesetzten Wörter einer Sprache, mit Hilfe dieses Instrumentes (der Zunge) an unser Ohr gelangen. Hätten alle Vorgänge (effetti) der Natur einen Namen, müßte sich diese ins Unendliche ausdehnen und zugleich mit der Unendlichkeit der Dinge, welche wirklich (in atto) oder der Möglichkeit nach (in potenza) in der Natur sind.»[26]

Und dann erhebt sich LEONARDOS Geist in immer höhere Regionen, er überschaut den Gang der Jahrhunderte und der Stimmen der Völker aller Zeiten und sieht die Sprachen des Menschen dem gleichen Gesetz der Vergänglichkeit und des Todes unterworfen wie alles Kreatürliche:

«Und dies würde sie (die Zunge) nicht nur in einer einzigen Sprache ausdrücken, sondern in sehr vielen, welche sich auch wieder bis ins Unendliche ausdehnen, weil sie sich ständig von Jahrhundert zu Jahrhundert, von Land zu Land verändern, wegen der Vermischung der Völker, welche sich durch Kriege und andere Zufälle unaufhörlich vermengen. Und auch die Sprachen selbst sind der Vergessenheit unterworfen und sind sterblich, wie alle geschaffenen Dinge. Und wenn wir zugestehen würden, daß unsere Welt ewig sei, müßten wir sagen, daß diese Sprachen von unendlicher Mannigfaltigkeit gewesen seien und noch seien, wegen der unendlichen Reihe der Jahrhunderte, welche in der Unendlichkeit der Zeit enthalten sind.»[27]

[26] «Considera bene come mediante il moto della lingua, con l'aiuto delli labbri e denti, la pronunziazione di tutti i nomi delle cose chi son noti, e i vocaboli semplici e composti di un linguaggio pervengano alli nostri orecchi, mediante tale instrumento; li quali se tutti li effeti di natura avessino nome, s'astenderebbero inverso lo infinito insieme colle infinite cose, che sono in atto, e che sono in potenza di natura ...»

[27] «E queste non isplemerebbe in un solo linguaggio, anzi in moltissimi, li quali ancor lor

In ähnlicher genauer Weise studiert LEONARDO die Lippen, die für die Lautbildung fast ebenso wichtig sind wie die Zunge. Seine anatomischen Studien über die Lippenmuskulatur bilden für ihn aber auch eine wichtige Grundlage für die Darstellung des seelischen Ausdrucks in der Kunst: beim Lächeln der *Mona Lisa* ebenso wie bei der Darstellung des *Irato*, des Zornigen. Darüber hinaus hat LEONARDO auf anatomisch-physiologischer Grundlage eine ganze Physiognomik der typischen Temperamente und Seelenzustände zeichnerisch dargestellt, bis zu der für LEONARDO so charakteristischen übertreibenden Grimasse.

«Die Muskeln, welche die Lippen des Mundes bewegen», stellt LEONARDO fest, «sind beim Menschen zahlreicher als irgend bei einem anderen Tier, und dies bewirkte in ihnen die Notwendigkeit wegen der vielen Operationen, in welchen sich die Lippen ständig üben, wie in den vier Buchstaben des Alphabetes: b, f, m, p, oder wie beim Pfeifen, Lachen, Weinen und ähnlichem, oder bei den merkwürdigen Grimassen, welche die Lustigmacher (i buffoni) zur Nachahmung von Gesichtern hervorbringen.»[28]

Wie genau und richtig LEONARDO die Physiologie der Sprache beobachtete, zeigt z. B. folgende Stelle:

«Prüfe, wie alle Vokale mit dem äußersten (hintersten) Teil des beweglichen (weichen) Gaumens ausgesprochen (gebildet) werden, welcher die Epiglottis bedeckt; die Aussprache (pronunziazione) hängt dann weiterhin von der Stellung (situazione) der Lippen ab, durch welche die Atemluft (il vento) durchgezogen wird, der den auf diese Weise geschaffenen Ton der Stimme mit sich trägt.»[29]

LEONARDO erkennt also genau den funktionell so komplexen Vorgang,

s'astendono inverso lo infinito, perchè al continuo si variano di secolo in secolo e di paese, mediante la mistion de' popoli, che per guerre o altri accidenti al continuo si mistano; e li medesimi linguaggi son sottoposti alla obblivione, e son mortali, come le altre cose create; e se noi concederemo il nostro mondo essere eterno, noi diremo tali linguaggi essere stati, e ancora per dovere essere d'infinita varietà, mediante l'infiniti secoli, che nello infinito tempo si contengono.»

[28] «Li muscoli che movon le labbra della bocca, son più numerosi nell'omo che in alcuno altro animale, e questo ordinò necessità in lui per le molte oparazioni, nelle quali al continuo esse labbra s'eserzitano, come nelle quattro lettere dell'alphabeto b, f, m, p, come nel fischiare, nel ridere, nel piangere e simili, negli storcimenti strani, li quali usano li bufoni nel contraffare i volti.»

[29] «Pruova sì come tutte le vocali sono pronunziate con la parte ultima del palato mobile, il qual copre l'epiglotto, e ancora tale pronunziazione viene dalla situazione della labbra, con le quali si dà transito al vento che spira, che con seco porta il creato sono della voce...»

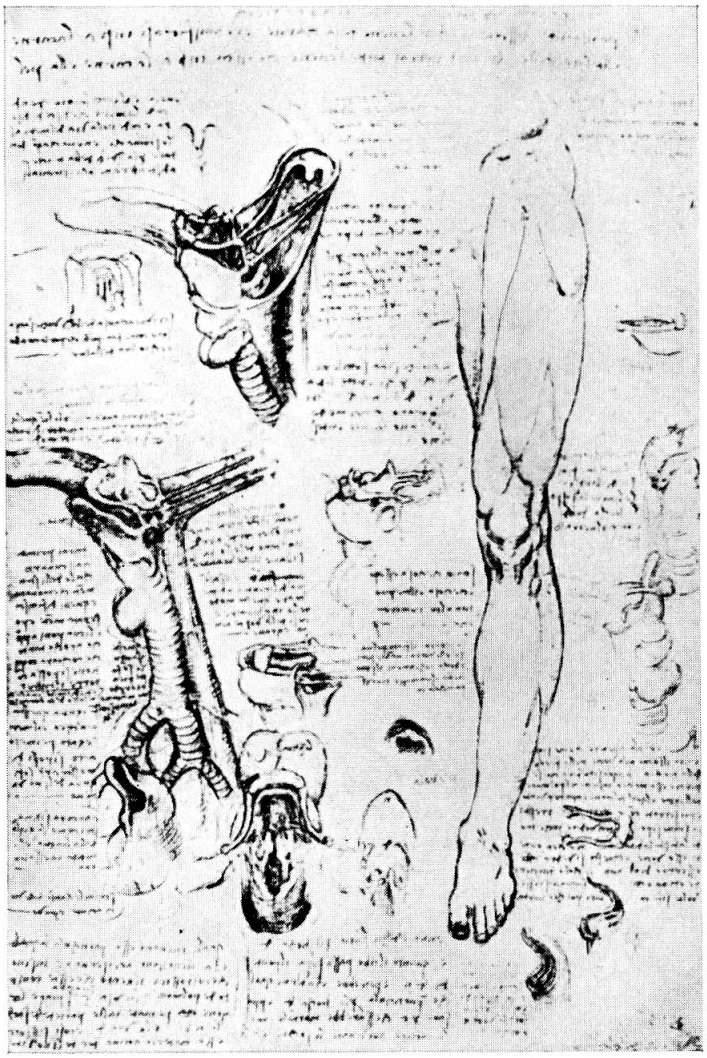

Abb. 8. Verschiedene Darstellungen von Kehlkopf und Luftröhre, mit Kehldeckel, Larynxknorpeln usw. (nach An A 3)

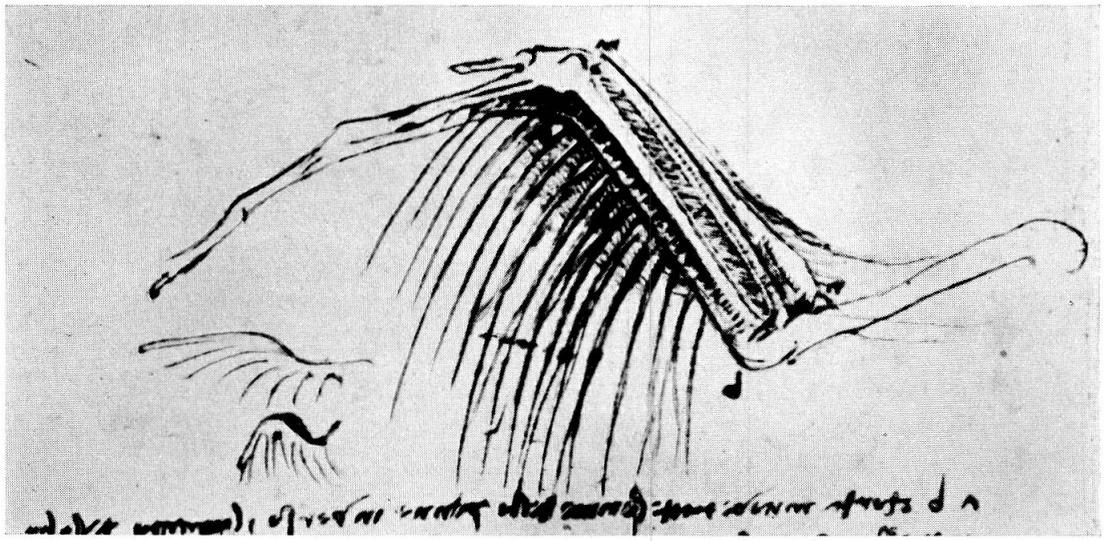

Abb. 9. Anatomie eines Vogelflügels (nach Q IV, 1)

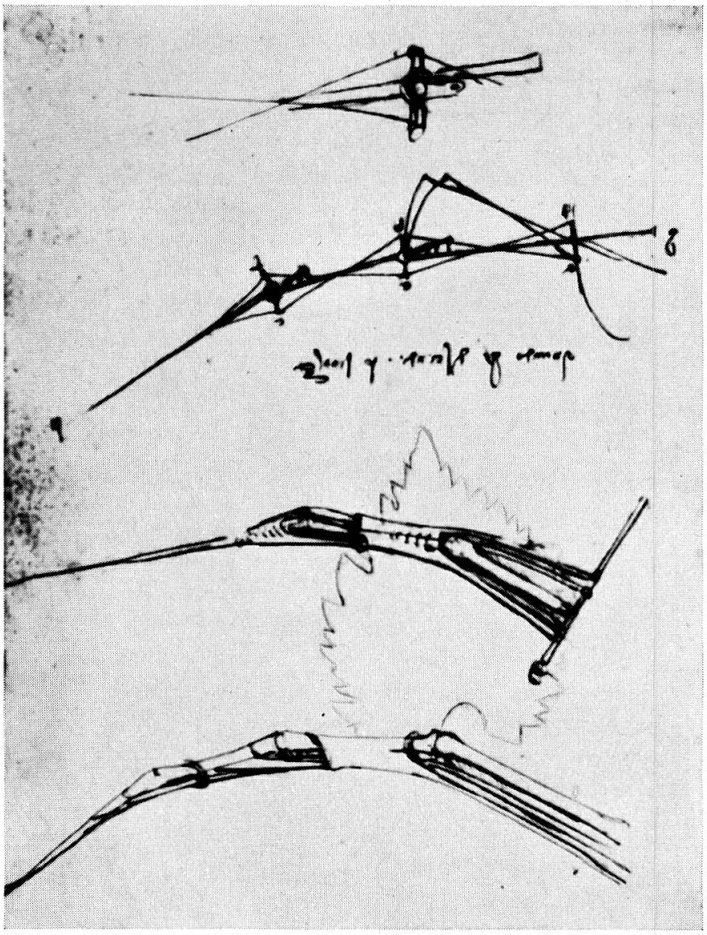

Abb. 10. Vogelflügel; Skelett und sehnige Verbindungen, welche dem Vogel erlauben, die Schwinge dem jeweiligen Luftdruck in den verschiedenen Lagen beim Auf- und Abwärtsbewegen anzupassen. Mit Winkelberechnungen LEONARDOS im Hinblick auf seine Flugmaschine

der zum synthetisch eindeutigen Resultat der Bildung eines konkreten Lautes führt. Er stellt den Ursprungsort und die Entstehungsweise der verschiedenen Konsonanten fest, die nicht im Kehlkopf gebildet werden, sondern als Geräusche durch Reibung der Luft an verschiedenen Stellen des Gaumens, der Mundhöhle oder der Lippen, hervorgebracht werden. Es ist keine Übertreibung, wenn gesagt wird, daß in diesen Studien LEONARDOS, wie BILANCIONI sagt, der Kern der ganzen modernen Artikulations- und Lautlehre enthalten ist.

«Quale indeffinibile senso di meraviglia commisto a rammarico», sagt BILANCIONI[30], «nel pensare al glorioso cammino che avrebbe percorso la scienza della fonetica biologica se le carte leonardiane fossero state, con i disegni e i testi, ordinate in un'opera organica e diffuse fra gli studiosi!»

Jahrhunderte mußten vergehen, bis die in den Notizblättern Leonardos verborgenen phonetischen Entdeckungen wiederentdeckt wurden. Was damals epochemachende Entdeckung hätte sein können, kann heute nur noch historisches Interesse beanspruchen. Aber gewaltig ist der Eindruck, den Leonardos wissenschaftliche Notizen erwecken, auch heute noch, und niemand kann sich diesem Eindruck entziehen, weil er uns in ganz unmittelbarer Weise, wie sonst kaum je, tiefen Einblick in das Schaffen und Denken eines genialen Naturforschers und Technikers eröffnet.

III. Leonardos Flugphysiologie

LEONARDO war, soweit wir dies wissen können, der erste, der sich mit dem Flugproblem des Menschen physikalisch, physiologisch und konstruktiv eingehend befaßte. Als Grundlage diente ihm ein sehr genaues Studium des Vogelfluges und der Flugarten bei den verschiedensten Tieren, wie Fischen, Fledermäusen und Insekten. Er wollte darüber ein Buch schreiben. Wie bei anderen Werken blieb es auch hier beim Fragment; erhalten ist ein in Turin aufbewahrtes, etwa 30 Seiten fassendes Quartheft, das Flugstudien enthält. Außerdem finden sich im *Codex Atlanticus* viele Notizen und Skizzen über Flugprobleme, ebenso in den Windsor-Folios und in den Bänden des Institut de France.

LEONARDO schreibt über das beabsichtigte Werk: «Ich habe die Abhand-

[30] G. BILANCIONI, *Veteris vestigia flammae* (Casa Editrice «Leonardo da Vinci», Roma 1922), p. 149.

lung über Vögel in vier Bücher eingeteilt; das erste handelt vom Flug durch Schlagen der Flügel; das zweite vom Flug ohne Flügelschlag und mit Hilfe des Windes (Segelflug); das dritte vom Flug im allgemeinen, wie dem Flug der Vögel, Fledermäuse, Fische und Insekten; das letzte vom Mechanismus dieser Bewegung.»[31]

Noch ALBERTUS MAGNUS (1193–1280) war, wie ARISTOTELES, der Ansicht, der Vogelflug sei nur möglich, weil der (lebende) Vogel spezifisch leichter als die Luft sei. Mit dieser über tausendjährigen, immer wiederholten Tradition brach LEONARDO. Von diesem Moment an mußten sich die Flugprobleme physikalisch und physiologisch ganz anders, d.h. so stellen, wie wir sie heute sehen. LEONARDO erweist sich also auch hier als genialer Neuerer, dessen flugphysiologischen Erkenntnissen aber erst vierhundert Jahre später Folge gegeben werden sollte.

Auf Grund des Erhaltenen kann man wohl ohne Einschränkung sagen, daß LEONARDO die wesentlichen Prinzipien des Vogelfluges entdeckt hat und den Menschenflug nach dem Prinzip «schwerer als Luft» sowohl im Sinne des motorlosen Segelfluges wie der durch Menschenkraft getriebenen Flugmaschine – eine andere transportable Kraft stand ihm nicht zur Verfügung – erstaunlich weit entwickelt hat. Aber es fehlte ihm, wie er dies selbst einsehen mußte, eine genügend große Kraft, um die von ihm konstruierten Menschenflügel in dauernde Bewegung zu setzen. Seine Flugversuche am Monte Cecere bei Florenz dürften wohl am Problem der Krafterzeugung für den Flug gescheitert sein. Was er erreichte und was ihm vielleicht auch im Menschenflug gelang, war der vierhundert Jahre später zu ungeahntem Erfolg gelangte Segelflug. Jedenfalls hatte er alle physikalischen, physiologischen und technischen Voraussetzungen dafür in der Hand, wie wir dem von GIACOMELLI mustergültig in chronologischer Folge zusammengestellten Material aus den Notizbüchern LEONARDOS in seinem Buch *Gli scritti di Leonardo da Vinci sul Volo* (G. Bardi, Roma 1936) glauben entnehmen zu dürfen. Die Geschichte von LEONARDOS Flugstudien ist von spannendstem Interesse auch heute noch. Sie zeigt, mit welcher tiefen Leidenschaft LEONARDO das Problem verfolgt hat und mit welch nüchternklarer Überlegung er in schrittweisem Aufbau hinter die für unlösbar gehaltene Aufgabe gegangen ist. Er baute seine Flugphysiologie und -mechanik ganz systematisch auf, so wie man heute vorgehen würde, um die phy-

[31] «De quali il primo sia del lor volare per battimento d'ali, il secondo di volo senza batter ali o per favor di vento, il terzo del volare in commune come d'uccelli, pipistrelli, pesci, animali insetti, l'ultimo del moto strumentale.»

sikalischen und physiologischen Grundlagen des Menschenfluges, sei es Segelflug, sei es Flugmaschine, experimentell zu klären.

Dabei standen LEONARDO nur einfachste selbst konstruierte physikalische Apparate zur Verfügung.

Zuerst suchte er sich über die Verhältnisse des Fluges am unbelebten Modell Rechenschaft zu geben: «Bevor du über das Fliegen (de volatili) schreibst, mach ein Buch über unbelebte Gegenstände, welche durch die Luft niedersteigen ohne Wind, und ein anderes, wo sie mit Wind niedersteigen.»[32]

Dann stellte er sich die Aufgabe: «Mach morgen Figuren, die durch die Luft niedersteigen, aus verschiedenen Formen von Karton, die von unserer Brücke (Ponte Vecchio in Florenz?) niederfallen. Und darauf zeichne die Figuren und die Bewegungen, die jede einzelne in verschiedener Höhe des Niederfallens machen.»[33]

Und schließlich machte er sich vogelähnliche Modelle mit beweglichem Schwanz: «Es sei hier ein vogelähnlicher Körper aufgehängt, dessen Schwanz in verschieden schiefe Stellung (zum Körper) gebracht werden kann. Mit Hilfe (dieses Modells) kannst du allgemeine Regeln aufstellen über die verschiedenen Drehungen (torture) der Bewegungen der Vögel, welche sie mit der Biegung ihres Schwanzes machen. Bei allen Variationen der Bewegungen macht sich der schwerste Teil des Modells (del mobile) zum Führer der Bewegung.»[34]

Damit hatte LEONARDO schon etwas sehr Wichtiges entdeckt: die Bedeutung des Schwerpunktes und der Schwerpunktverlegung beim Flug.

LEONARDO ging bei seinen Flugstudien und den technischen Problemen des Menschenfluges von exakten mathematischen Berechnungen aus. «Ein Vogel ist eine Maschine», sagt er, «welche sich nach mathematischen Gesetzen bewegt. Diese Maschine kann der Mensch durch seine Fähigkeiten nachahmen, mit allen ihren Bewegungen, aber», wie er einsah, «nicht mit einem entsprechenden Maß von Kraft... Aber», fährt LEONARDO fort, «er

[32] «Prima che tu scriva de volatili fa un libro delle cose insensibili che discendono per l'aria senza vento e un altro che discendano col vento» (F. 53 v).

[33] «Fa domane figure discendenti infrall'aria di varie forme di cartone, cadenti dal nostro pontile; e poi disegna le figure e li moti, che fanno le discensi di ciascuno in varie parte del discenso» (Cod.Atl. 375 n).

[34] «Sia qui sospeso un corpo a similitudine d'uno uccello al quale si torca la coda per varie abliquità e mediante quella potrai fare regole generale delle varie torture de moti delli uccelli fatti mediante la piegatura della lor coda. In tutte le varietà de movimenti la parte più grave del mobile si fa guida del moto» (L 61 v).

ist nur schwächer in der Fähigkeit zu Gleichgewichtsbewegungen. Deshalb wird einem solchen für den Menschen konstruierten Apparat nichts fehlen außer der Seele des Vogels, und darum ist es notwendig, daß der Mensch die Vogelseele nachahmt. Ohne Zweifel wird die den Gliedern der Vögel angepaßte Seele besser den Bedürfnissen (des Fluges) gehorchen als die Menschenseele, die von den Flügeln getrennt ist, und dies ganz besonders in den fast unmerklichen Gleichgewichtsbewegungen. Aber wenn wir sehen, daß der Vogel die allerfeinsten Variationen der Bewegungen gewissermaßen voraussieht, können wir aus dieser Erfahrung schließen, daß entsprechende Empfindlichkeiten auch dem Menschen zum Bewußtsein kommen könnten, und daß er sehr wohl in der Lage wäre, der Vernichtung dieses Apparates vorzubeugen, zu dessen Seele und Führer er sich gemacht hat.»[35]

LEONARDO hat also schon die Fliegerseele entdeckt!

Aber woher die flügelbewegende Kraft?

«Die bloße (semplice) Kraft des Menschen wird nicht einmal die Flügel des Raben mit derjenigen Geschwindigkeit bewegen, welche der Rabe dort machte, wo er (der Flügel) befestigt ist.»[36]

Eine wesentliche Voraussetzung für seine flugphysiologischen Untersuchungen bildete auch hier die Anatomie, insbesondere das genaueste Studium der Anatomie des Vogelflügels und der Brustmuskulatur der Vögel: «Ich werde die Anatomie eines Vogelflügels machen, zusammen mit den Brustmuskeln, welche diese Flügel bewegen (vgl. Abb. 9 und 10).

Und etwas ähnliches werde ich mit dem Menschen tun, um zu zeigen, daß es für den Menschen möglich ist, sich durch Flügelschlagen in der Luft zu halten.»[37]

[35] «L'uccello è strumento operante per legge mathematica, il quale strumento è in potesta del omo poterlo fare con tutti li sua moti ma non tanta potenzia. Ma solo s'astende i nella potenzia del bilicarsi: adunque diven che tale strumento composto per l'omo non li manca se non l'anima dell'uccello, la quale anima bisogna che sia contrafatta dall'anima dell'omo. L'anima alle membra delli uccelli senza dubbio ubbidirà meglio a' bisogni di quelle che a quelle non farebbe l'anima dell'omo da esse separata e massimamente de' moti di quasi insensibili bilicazioni; ma poi che alle molte sensibile varietà di moti noi vediamo l'uccello provedere, noi possiamo per tale esperianza giudicare che le forze sensibili potranno essere note alle cognizione dell'omo e che esse largamento potrà provvedere alla ruina di quello strumento del quale lui s'è fatto anima e guida» (Cod. Atl. 161 r).

[36] «La semplice potenzia dell'omo non menerà mai l'alia del corbo con quella velocità che faceva il corbo dov'era attacata» (Cod. Atl. 77 r).

[37] «Farai l'anatomia dell'alie d'uno uccello, insieme colli muscoli dell petto motori d'esser alie. E il simile farai dell'omo per mostrare la possibilità ch'è nell'omo a volersi sostenere infra l'aria con battimento ai alie» (Cod. Atl. 45 r).

LEONARDO war wahrscheinlich der erste, welcher die Alula oder den Bastardflügel, der vom Daumen der vorderen Vogelextremität ausgeht, beschrieb und ihre besonders feste Feder- und Sehnenstruktur feststellte (vgl. MCMURRICH). Funktionell erkannte er die Alula als denjenigen Teil des Flügels, welcher die Vorwärtsbewegung vornehmlich bewirkt und dem Wind stärksten Widerstand entgegensetzt und gleichzeitig, ähnlich wie der Schwanz, als Steuer dient.

Er erkannte auch sehr genau die Bedeutung der Haltung und Bewegung des Kopfes und Halses im Flug, natürlich auch der Flügel und des Schwanzes, wobei er den Einfluß derselben auf die Lage des Schwerpunktes des Vogelleibes feststellte.

Vom Vogelflug zum Menschenflug war noch ein großer Schritt; LEONARDO machte eingehende vergleichende Berechnungen zwischen Gewicht und Flügelgröße beim Vogel und der für den Menschen seinem Gewicht entsprechenden Flügelgröße (vgl. Abb. 11). Für seine Flugmaschine, zu deren Ingangsetzung die besonders starke Beinmuskulatur benutzt werden sollte, im Sinne einer Art Tretmaschine, wobei die mehr Kraft erfordernde Abwärtsbewegung der Flügel mit Beinkraft, ihre Aufwärtsbewegung durch die Kraft der Arme erfolgen sollte, gelangt er auf Grund genauer anatomischer und

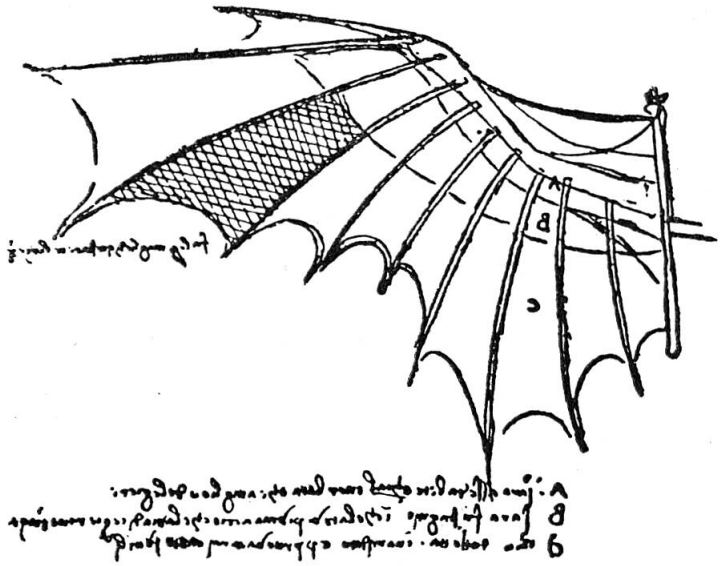

Abb. 11. Zeichnung eines für den «Menschenvogel» bestimmten Flügels mit deutlicher Anlehnung an den «dichten» Flügel der Fledermaus

flugphysiologischer Beobachtungen und Berechnungen zu der Ansicht, daß als Flugfläche für den Menschenflügel der Flügel der Fledermaus als Modell dienen müsse: «Untersuche die Anatomie der Fledermaus und halte dich daran und nach diesem bilde den Flugapparat aus.»[38]

Wir erfahren auch sofort, warum der Flügel der Fledermaus dem Menschenflügel als Modell dienen soll:

«Erinnere dich, daß dein Vogel nichts anderes nachahmen darf als die Fledermaus, weil ihr Gewebe (die Flughaut) eine Armatur oder besser eine Verbindung der Armaturen, d.h. der Hauptsegel der Flügel, ausmacht. Und wenn du die Flügel der gefiederten Vögel nachahmen wolltest, wäre ihre Nervatur nicht kräftiger, weil sie durchbohrt ist, d.h. weil ihre Federn nicht dicht verbunden sind und vom Wind durchstrichen werden. Aber die Fledermaus hat die Hilfe des Gewebes, das alles verbindet und nicht durchlöchert ist.»[39]

Genauestens werden von Leonardo die Materialien beschrieben, aus denen der künstliche Vogel aufgebaut werden soll: die Flügelflächen aus undurchlässig gemachter (geleimter) Leinwand, die Spannhölzer, die Rahmenhölzer, eine Art Schutzgitter, um die Flügel gegen das Durchbrechen oder -reißen zu schützen.

Dann beschreibt er die analog dem Vogelflügel gebauten Menschenflügel selbst, die wie der Vogelflügel in den Gelenken auf mechanischem Wege beweglich konstruiert sind, um bei der Auf- und Abwärtsbewegung genau diejenige Formänderung zu erhalten, wie er sie beim Vogelflug beobachtet hatte. Ein Modell dieses gelenkig gemachten Menschenflügels findet sich im «Museo di Storia delle Scienze» zu Florenz.

An die Konstruktion von Leonardos Menschenvogel und an seine Gleitflugstudien hätte Otto Lilienthal (1848–1896), als er 1890 seine Flugstudien begann, ohne weiteres anknüpfen können. Die Verwandtschaft zwischen den Konstruktionen Leonardos und dem Menschenvogel Lilienthals ist geradezu auffallend. Doch ist es kaum wahrscheinlich, daß Lilienthal Leonardos Studien kannte. Die Grundkonzeption aber war dieselbe: «Alles in allem braucht es Flügel», sagt Lilienthal, «die groß

[38] «Notomizza il pipistrello e a questo t'attieni e di questo ordina lo strumento.»

[39] «Ricordati siccome il tuo uccello non debbe imitare altro che il pipistrello per causa che i pannicoli fanno armadura over collegatione alle armadure cioè maestre delle alie.

E si tu imitassi l'alie delli uccelli pennuti esse non di più potente nervatura per essere traforate cioè che le lor penne son disunite e passate dall'aria. Ma il pipistrello è aiutato dal panniculo che lega il tutto e non è traforato.»

genug sind, um einen Menschen tragen zu können.» Sein Segelflugzeug ist, wie dasjenige LEONARDOS, ein großer Vogel.

Auch LILIENTHAL hatte (1880) ähnlich wie LEONARDO eine Studie geschrieben: *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegerkunst*, und zehn Jahre später, 1890, seine vogelähnliche Flugmaschine erfolgreich in die Lüfte gehen lassen (vgl. Abb. 12).

Und wie LEONARDO vom Vogelflug ausging, so schrieb LILIENTHALS Bruder GUSTAV nach dem 1896 in Berlin erfolgten tödlichen Absturz OTTO LILIENTHALS: «Es ist interessant festzustellen, wie die Vögel, ohne eigentlichen Flügelschlag, nur durch Wenden und Drehen, durch mehr oder weniger Ausbreiten der Flügel imstande sind, in jedem Wind haargenau zu steuern.» Das hätte auch LEONARDO schreiben können.

Wie konkret LEONARDO die Dinge sah, die dann erst in unserer Zeit, vierhundert Jahre später, verwirklicht wurden, geht aus seiner Anweisung hervor, Flugversuche nur in relativ großer Höhe zu machen: «Immer sollte die Bewegung des (Menschen-)Vogels über den Wolken sein, ... um der Gefahr der Drehung der Winde innerhalb der Bergschluchten zu entfliehen, wo es immer Ansammlungen und Wirbel von Winden gibt. Und außer diesem, wenn der Vogel sich um und um wälzte, hast du noch weite Zeit, ihn mittels der schon genannten Regeln wieder umzukehren, ehe er die Erde erreicht.»

Erstaunlich ist auch die Voraussicht der Fluggefahren und die Vorbereitung der Schutzmaßnahmen für den Flieger: wir verdanken LEONARDO die in ihren Tragflächen genau und in der Dimension richtig berechnete erste Konstruktion eines zeltförmigen Fallschirmes.

Dann gibt er auch die Anweisung, bei Flügen über dem Wasser einen Rettungsring umzuschnallen usw., worüber interessante Skizzen vorliegen.

Daß LEONARDO auch den horizontalen Flugpropeller entdeckte und ihn zum Heben seiner Flugmaschine verwenden wollte – also im Sinne des Helikopters –, dürfte wenig bekannt sein. Aber woher die «rasende Geschwindigkeit», die er ihm geben wollte? Immer fehlte es an der ausreichenden Kraft, um die Flugmaschine in Bewegung zu bringen.

Der von LEONARDO eingeschlagene Weg, um zum Menschenflug zu gelangen, war also ein zweifacher: Durch Konstruktion von Flugmaschinen der verschiedensten Gestalt und Mechanik versuchte er das zu erreichen, was erst unserer Gegenwart gelungen ist: die Konstruktion einer mit der nötigen Kraft ausgestatteten Maschine, um den Menschen durch die Luft zu tragen. Eine solche Maschine gab es zu LEONARDOS Zeiten nicht. Deshalb

mußten seine Versuche, die Flugmaschine mit Menschenkraft zu erheben und im Luftraum zu bewegen, scheitern.

Was er erreichen konnte und was er wahrscheinlich erreicht hat, ist die Lösung der Probleme des Segelfluges.

Im Geist aber sah er seine Flugmaschine durch die Lüfte fahren: «Der große Vogel wird vom Monte Cecere (bei Florenz) seinen ersten Flug nehmen, das Universum mit Staunen und alle Schriften mit seinem Ruhme füllen, und ewiger Ruhm wird dem Orte zufallen, an dem er geboren ward.»[40]

Ein Beitrag Leonardos zur Pflanzenphysiologie

Die Hauptquelle zu LEONARDOS Pflanzenanatomie und -physiologie bildet der *Trattato della Pittura.*

Vielleicht die wichtigste pflanzenphysiologische Beobachtung LEONARDOS ist die Entdeckung der *typischen Blattstellungen*, die spiralige oder kreuzweise usw. Anordnung der Blätter, die man später als *Phyllotaxis* bezeichnat hat. LEONARDO suchte auch hier mathematische Beziehungen, wie dann zu Beginn des 19. Jahrhunderts ALEXANDER BRAUN u. a. Er stellte fest, daß bei vielen Pflanzen, wobei er den Weinstock, Canna indica, Prunus morus u. a. nennt, das sechste Blatt über dem ersten steht. Beim weißen Jasmin bemerkte er, daß die Blätter gegenständig sind, wobei die Blattpaare jeweils im rechten Winkel übereinander stehen. LEONARDO bleibt bei dieser Beobachtung nicht stehen, sondern leitet daraus die gültige Funktion ab: die Blattstellung sorgt für freien Zutritt von Luft, Licht, Regen zu den unteren Blättern einer Pflanze oder eines Baumes.

Diese Phyllotaxis genannte Erscheinung wurde erstmals von GUSTAVO UZIELLI (1869) als Entdeckung LEONARDOS nachgewiesen. LEONARDO erkannte schon die phyllotaktischen Regeln, ausgedrückt in der heutigen botanischen Terminologie der Blattstellungen: $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_5$ und ($^1/_2$).

Obwohl sich CHARLES BONNET (1754) trotz vier Vorläufern: TH. BROWNE (1658), M. MALPIGHI (1675), N. GREW (1682), SAUVAGES (1743), LEONARDO nicht gerechnet, als Begründer der phyllotaktischen Regeln betrachtete, gebührt LEONARDO unter allen die Priorität, worauf G. B. DE TONI in sei-

[40] «Piglierà il primo volo il grande uccello sopra dell dosso del suo magnio cecero, empiendo l'universo di stupore, empiendo di sua fama tutte le scritture e gloria eterna al loco dove nacque.»

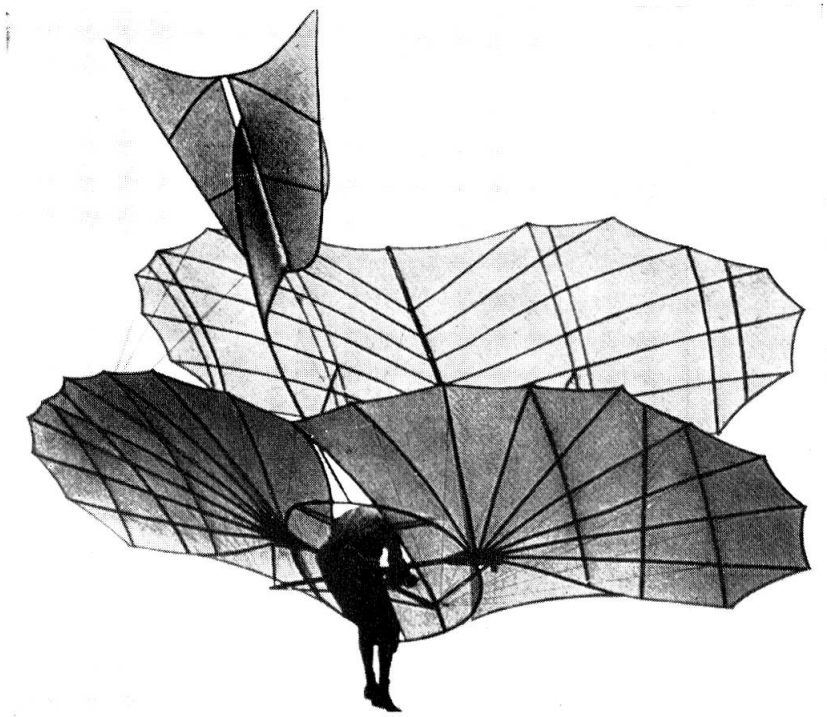

Abb. 12
Otto Lilienthal, 1890, der Pionier der Gleitflüge
fliegt seinen Doppeldecker
(nach E. Wetter, *Das Fliegerbuch*, Büchergilde Gutenberg, 1947)

nem Buch: *Le Piante e gli animali in Leonardo da Vinci* (Zanichelli, Bologna 1922) mit Recht hinweist.

Eine weitere, heute allgemein bekannte pflanzenphysiologische Beobachtung geht auf LEONARDO zurück: die Beobachtung, daß das Alter der Bäume und Zweige nach der Zahl der Jahresringe festgestellt werden kann, wobei je nach Trockenheit oder Feuchtigkeit schmalere oder breitere Ringe entstehen. Dies könnte eine alte vorvinzianische, vielleicht schon antike Feststellung sein. Die weitere Beobachtung dürfte aber ganz LEONARDO angehören, nämlich, daß die Ringe auf der Südseite der Stämme etwas weiter auseinanderstehen als auf der Nordseite, so daß die Baumachse nicht ganz in der Mitte verläuft, sondern etwas nach Norden (beobachtet unter den klimatischen Bedingungen Mittel- und Oberitaliens) verschoben ist. Und dazu die indirekt zutreffende physiologische Bemerkung, daß die Südseite etwas stärker ist als die (mehr beschattete) Nordseite, weil die Sonne einen fördernden Einfluß auf das Wachstum ausübt. Die Sonne ist für LEONARDO der Spiritus vitalis der Pflanze, wie die Atmung der Spiritus vitalis für die Tiere. LEONARDO hat auch den positiven Heliotropismus der Pflanzen beobachtet.

Die axiale Verschiebung, welche LEONARDO am Stammquerschnitt beobachtete, fiel dann später (nach BILANCIONI) auch ATHANASIUS KIRCHER (1641) und NEHEMIA GREW (1682) auf. MALPIGHI wies sie 1686 mikroskopisch nach.

Ein Hinweis auf den Unterschied in der bildlichen Pflanzendarstellung LEONARDOS und derjenigen in gleichzeitigen Kräuterbüchern mag diesen kurzen Hinweis auf LEONARDOS Pflanzenanatomie und -physiologie beschließen. Vergleichsweise seien eine Abbildung aus PETER SCHÖFFERS *Hortus Sanitatis* (Abb. 13) und drei etwa ein Jahrzehnt später entstandene Pflanzenzeichnungen LEONARDOS wiedergegeben. Der Vergleich zwischen dem zeichnerischen Kunstwerk eines genialen Künstlers und dem Produkt eines durchschnittlichen, traditionsgebundenen Abbildners mag unzulässig erscheinen. Aber es handelt sich bei diesem Vergleich nicht um mittelmäßige oder geniale Zeichnung, sondern um eine neue Einstellung zur Umwelt, zum Objekt: im einen Fall sehen wir das Produkt eines naturfremden traditionsgebundenen Schematismus, im andern Fall das Zeugnis exaktester Naturbeobachtung als Ausdruck eines neuen Naturgefühls.

Diese neue Einstellung zu Natur, Mensch und Welt, ist für die geistige Bewegung, die wir als «Renaissance» bezeichnen, grundlegend; sie entspricht einer Wiedergeburt, einem Rinascimento, das in wenigen Jahrzehn-

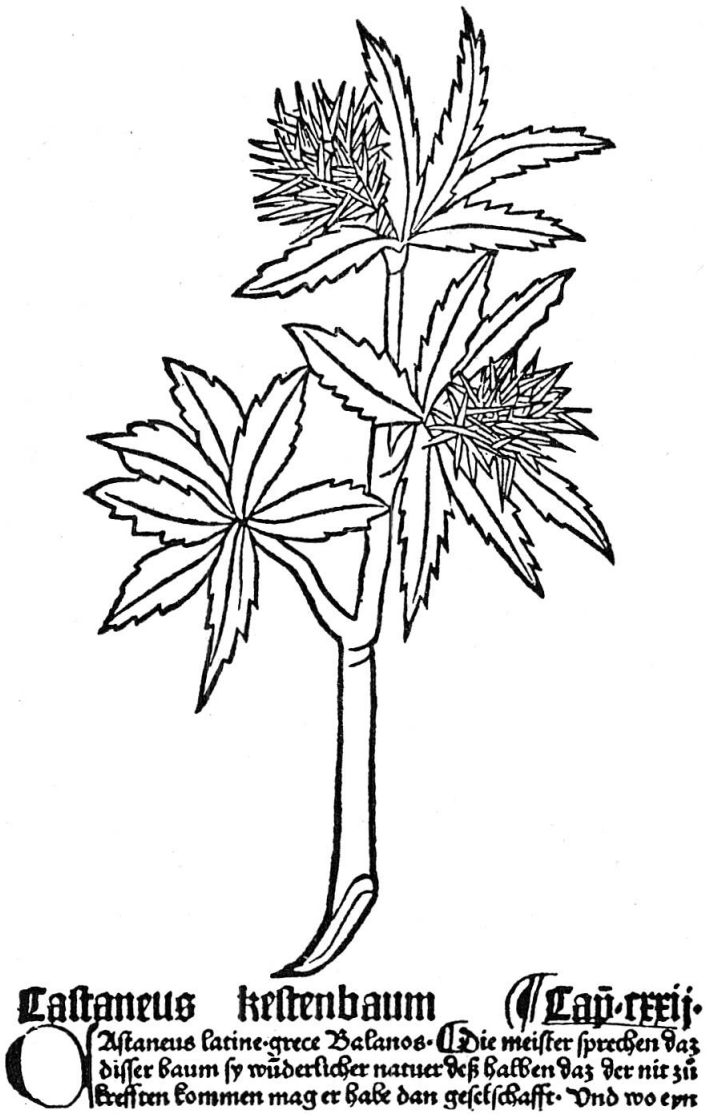

Abb. 13.
Eßkastanie *(Castanea vesca)* (nach PETER SCHÖFFERS *Hortus Sanitatis*, Mainz 1494)

ten alle Lebensverhältnisse erfassen sollte. LEONARDO war auch hierin seiner Zeit vorausgeeilt. Ihn beherrschte der wissenschaftliche Trieb, durch Erfassung der Form, ähnlich wie in der menschlichen Anatomie, in das Gesetz der Pflanze, in das Geheimnis ihres Lebens, in ihre Physiologie einzudringen. Er sah als erster das Gesetzmäßige im Bau der Pflanze, ähnlich wie später GOETHE in der Vertikal- und Spiraltendenz der Vegetation und in der Metamorphose des Blattes und, wie LEONARDO, in der Stellung der Blätter zueinander. In der physiologischen Bedingtheit der Blattstellungen erkannte LEONARDO ein fundamentales Gesetz der Pflanzenbiologie.

Von LEONARDO, dessen hauptsächliche Pflanzendarstellungen (vgl. Abb. 14 bis 16) etwa dem Jahr 1508 entstammen, geht der Weg über DÜRER zu dem DÜRER-Schüler HANS WEIDITZ und dessen von WALTER RYTZ (Bern 1933) in Auswahl herausgegebenen prachtvoll naturgetreuen Pflanzenaquarellen aus dem Jahr 1529 und zu den vollendeten Pflanzenholzschnitten des FUCHSschen im Jahr 1542 (ein Jahr vor VESALS *Fabrica*) ebenfalls zu Basel erschienenen Kräuterbuches.

So ist LEONARDO auch auf dem Gebiet der wissenschaftlich-künstlerischen Pflanzenabbildung als ein Vorläufer zu betrachten, dessen beinahe verborgenes Wirken aber eine wesentliche Einflußnahme auf seine Zeitgenossen nicht zuließ.

LEONARDO war auch in seinem künstlerischen Schaffen von höchster Präzision in Komposition und malerischer Darstellung. Vielleicht folgte er darin dem Ideal der Gebrüder VAN EYCK, durch welche das Auge des Künstlers zu größter Genauigkeit und zu höchster Plastizität in der malerischen Darstellung erzogen wurde. LEONARDO aber hatte gleichzeitig, wie kein zweiter großer Künstler des Rinascimento, ein unstillbares und in die Tiefe dringendes Interesse am Wesen aller Dinge, insbesondere am Menschen, den er mit allen Mitteln des Geistes, des Pinsels, des Zeichenstiftes und des Messers in seiner wahren Natur zu erfassen trachtete. Dies machte ihn zum Wissenschafter, zum genialen Begründer einer neuen Naturauffassung, zum verborgenen Pionier einer neuen Zeit.

«In LEONARDO DA VINCI», sagt RUDOLF KASSNER[41], haben wir jenen Künstlermenschen zu erkennen, in welchem sich die beiden Fähigkeiten des Intuitiven und des Analytischen in gleicher Stärke vorfinden. Aber daß er Maler, Bildhauer, Ingenieur, Naturforscher und Mathematiker war, bedeutet bei ihm keine Kumulation wie bei vielen seiner Zeitgenossen, sondern das, was allein für den Wert der Persönlichkeit sowohl als auch des Werkes entscheidet: eine neue Art von Gleichgewicht und somit auch von Imagination ... Denn es ist genau so, daß die Größe bei LEONARDO unmittelbar aus der Verbindung von Natur und Geist, Natur und Mensch hervorgegangen ist. LEONARDO konnte es gar nicht anders verstehen, als daß sich Größe zeige oder Größe offenbar werde, indem der Geist oder der Mensch an die Natur herantrete ... Er wird unter die Vorläufer und Be-

[41] RUDOLF KASSNER, *Einbildungskraft und Zahl.* In: *Die Nacht des ungeborgenen Lebens* (Insel-Verlag, 1950).

gründer der modernen Wissenschaft und Technik gezählt, doch das Wunderbare daran ist wohl das eine, daß sich bei ihm das antike Aperçu vom Menschen als dem Maß der Dinge in pure Größe, Größenvorstellung vom menschlichen Gedanken verwandelt hat. Auch darin erscheint er uns als der Mensch der höchsten Mitte.»

Galeniker und Arabisten hatten am Beobachten nur ein beschränktes Interesse, d.h. nur soweit es Tradition und Dogma verlangten. Im wesentlichen begnügten sie sich auch in der bildlichen Darstellung anatomisch-physiologischer Verhältnisse mit dem überlieferten Schematismus. Wir sind dem Paradox begegnet, daß auch LEONARDO Galenist und Arabist war. Er war es in der anatomischen Terminologie (eine andere fehlte größtenteils) und in der Physiologie dort, wo die physiologischen Verhältnisse auf Grund mechanischer Vorstellungen nicht unmittelbar einzusehen oder mathematisch zu fassen waren. LEONARDO entging dem GALENischen Dogma, wie wir gesehen haben, selbst auf dem Gebiet der Herz- und Blutbewegung nicht, trotzdem wir LEONARDO als Begründer der wissenschaftlichen Hydraulik zu betrachten haben.

Worin LEONARDO alle seine Zeitgenossen – auch seine künstlerischen Zeitgenossen – überragte, um nur dies eine hervorzuheben – ist in der zeichnerischen Darstellung anatomischer und physiologischer Verhältnisse, dies nicht im künstlerischen Sinn – das war bei seiner künstlerischen Genialität eine Selbstverständlichkeit –, aber im Sinn wissenschaftlicher Genauigkeit und Vertiefung.

LEONARDO begründete in Bild und Wort eine neue *anatomia et physiologia naturalis* in ausgesprochenem Gegensatz zur *anatomia et physiologia conventionalis* des Mittelalters. Darin liegt eine seiner überragenden Leistungen auf diesen Gebieten begründet.

Während LEONARDO für die moderne Anatomie wichtige Grundlagen schuf – mit vollem Recht wird er als Vorläufer VESALS bezeichnet, wobei er in vielen Einzelheiten VESAL an Genauigkeit, lebendiger Anschaulichkeit und im ganzen an funktionellem Verständnis übertraf –, lagen die Verhältnisse für die Entwicklung der Physiologie – und für wie lange noch! – in mancher Beziehung ungünstiger. Sie waren es noch weit über VESAL hinaus, der im wesentlichen GALENische Physiologie, wenn auch mit Widerstreben und Skepsis, lehrte, dies auch hinsichtlich Herzfunktion und Blutbewegung.

LEONARDOS letztes Ziel war die Aufdeckung des Rätsels von Leben und

Abb. 14. *Sorbus torminalis*, Elsbeerbaum; Zweig mit Beeren.
Royal Library, Windsor

Abb. 15. *Sparangium ramosum*, Ästiger Igelkolben
Royal Library, Windsor

Abb. 16. *Lilium candidum*, Madonnenlilie
Royal Library, Windsor

Tod. Über dieses größte physiologische Problem hat er sich tiefe Gedanken gemacht, die an Ursprünglichkeit und Erfahrungsgehalt in dieser Zeit einzig dastehen.

So, wenn er etwa auf den Kreislauf alles Lebens mit den Worten hinweist: «Wir machen unser Leben mit dem Tode anderer. Im toten Ding bleibt fühlloses Leben (vita disensata), welches, dem Magen der Lebendigen einverleibt, von neuem Empfindung und Bewußtsein (vita sensitiva e intelletiva) empfängt.»[42]

Oder an anderer Stelle: «Der Mensch und die Tiere sind selbst nur Durchgang und Behälter für die Nahrung, Grabstätten von belebten Wesen, Gasthäuser von Toten, welche nur Leben gewinnen durch den mit Verwesung einhergehenden Tod anderer.»[43]

So ist schließlich das ganze Leben nur ein fortgesetztes «Stirb und Werde»: «Der Körper irgendeines Dings», sagt LEONARDO, «das Nahrung aufnimmt, stirbt kontinuierlich und wird kontinuierlich neu geboren, wobei Nahrung nicht in ihn eindringen kann, außer an den Orten, wo die vorhergehende Nahrung verbraucht wurde (è spirato), und wenn diese verbraucht ist, hat er kein Leben mehr, und wenn du ihm nicht gleiche Nahrung, wie die verbrauchte, zuführst, fehlt dem Leben Gesundheit und Kraft, und wenn du ihm die Nahrung völlig entziehst, wird das Leben gänzlich zerstört.»[44]

Aus solchen Gedanken spricht die Grundüberzeugung LEONARDOS, daß Natur durch natürliche (nicht magische) Ursachen sich erklären läßt, die dem beobachtenden und denkenden Menschen zugänglich sind, weil die Natur alles mit «necessità» macht, d.h. weil sie nach einem, der Vernunft sich öffnenden Gesetz verfährt: «Die Natur bricht ihr Gesetz nicht», sagt er einmal, und an anderer Stelle: «Die Natur steht unter dem Zwang der vernünftigen Ursachen des Gesetzes, das in ihr ausgegossen lebt», und der Mensch ist in der Lage, dieses Gesetz zu erkennen.

[42] «Facciamo nostra vita coll'altrui morte. In nella cosa morta riman vita dissensata, la quale ricongiuta alli stomachi de' vivi repiglia vita sensitiva e intelletiva» (RICHTER, II [885], p. 104).

[43] «L'omo e li animali sono propi transito e condotto di cibo, sepoltura d'animali, albergo de'morti, facciendo a sè vita dell'altrui morte guaina di corrutione» (RICHTER, II, [847], p. 105).

[44] «Il corpo di qualunche cosa la qual si nutrica, al continuo muove e al continuo rinasce, perchè entrare non può nutrimento se non in quelli lochi, dove il passato nutrimento è spirato, e s'elli è spirato elli più non à vita, e se tu non li rendi nutrimento equale al nutrimento partito, allora la vita manca di sua valetudine, e se tu li levi esso nutrimento, la vita in tutto resta distrutta ...» (RICHTER, II [843], p. 103).

Der Begriff der «necessità», der Notwendigkeit, bildet den ständigen Leitfaden seiner Argumentation. Nicht im Sinne eines unausweichlichen Schicksals, wie in der Antike, sondern als Möglichkeit, das Gesetzmäßige der Natur, die nie irrt, zu erkennen: «La neciessità è maestra e tutrice della natura, la neciessità è tema e inventrice della natura, e freno e regola eterna.»

Dabei verfährt die Natur in allem ebenso ökonomisch wie zweckmäßig: «Jede natürliche Handlung», sagt er, «wird von der Natur in der kürzesten Art und Zeit ausgeführt, die möglich ist.»

Aufgabe des Menschen ist es, die Gesetzlichkeit aus der Natur herauszulesen, und diese Gesetzlichkeit extensiver Ordnungen liegt in erster Linie in derjenigen der Raumes, in der mathematischen. Deshalb warnt er den naiven Leser: «Non mi legga chi non è matematico nelli mia principi.»

Wo Erscheinungen sind, sind auch «ragioni» und wo «ragioni», gibt es eine Bindung der Erscheinungen an Ordnungsgrößen, deren «Theorie» in der Mathematik liegt.

Mathematik, Beobachtung und Experiment bilden für LEONARDO die Forschungsmittel zur Naturerkenntnis, und in diesem Sinn wird LEONARDO zum mathematischen Begründer der modernen Naturwissenschaft. LEONARDO ist der physikalische und physiologische Mechaniker größten Stils, dessen Wirksamkeit noch nie erschöpfend dargestellt wurde, weil das Riesenausmaß seiner wissenschaftlich-technischen und gedanklichen Leistung kaum zu überblicken ist. Er erweist sich als «uomo universale» im wahrsten Sinne des Wortes, begabt mit einer Tiefe und Energie der Gedanken und der Gesinnung und einer einzigartigen Kraft der Konzentration, wie sie nur wenigen Menschen gegeben war.

Vieles blieb unvollendet, blieb Fragment – sein Wille nach Erkenntnis im Reich des Natürlichen war so groß, daß selbst diesem Riesengeist Vollendung kaum je beschieden war. Das spricht nicht gegen die Festigkeit seines Wesens, sondern nur dafür, daß selbst dem Genie Grenzen in der Erfüllbarkeit seines Wollens gesetzt sind.

LEONARDO war genialer Forscher, Denker und Künstler in einem. In wunderbarer Weise hat er die Aufgabe des Wissenschafters und Künstlers ausgedrückt und sie als große Aufgabe des Menschen überhaupt hingestellt: «La scienza è una seconda creazione fatta col discorso, la pittura è una seconda creazione fatta colla fantasia.»

Der Mensch ist dazu da, die Schöpfung erkennend oder im Kunstwerk neu zu schaffen.

Abkürzungen der Manuskripte oder Manuskriptausgaben von Leonardos Notizbüchern

An A	*Dell'Anatomia, Fogli A*, Royal Library, Windsor.
An B	*Dell'Anatomia, Fogli B*, Royal Library, Windsor.
Q I–VI	*Quaderni d'Anatomia I–VI*, Royal Library, Windsor.
Cod. Atl.	*Codice Atlantico.*
Tr	*Codice Trivulziano.*
A–M	Manuscrit A–M à l'Institut de France.
Sul Volo	Ms *Sul Volo degli Uccelli*, Biblioteca Reale, Torino.

Literatur

1. Girolamo d'Adda, *Leonardo da Vinci e sua libreria.* Milano 1873.
2. Amans, *Physiologie du Vol après Léonard de Vinci.* L'aeronaute, Sept. 1892.
3. E. Bastholm, *The history of muscle physiology.* Kopenhagen 1950.
4. E. Baumgarten, *Leonardo da Vinci as a physiologist.* Ann. Med. Hist. *4*, 155 (1932).
5. Giovanni Bellincioni, *Leonardo da Vinci fondatore della scienza idraulica.* C. O. S. P. I. T., Firenze 1952.
6. L. Beltrami, *L'aeroplana di Leonardo.* In: *Leonardo da Vinci.* Conferenze Fiorentine. Fratelli Treves, Milano 1910.
7. G. Bilancioni, *Leonardo da Vinci e la fisiologia della respirazione.* Arch. Stor. della scienza (1919).
8. Guglielmo Bilancioni, *Veteris vestigia flammae.* Pagine storiche della scienza nostra. Casa Editrice «Leonardo da Vinci», Roma 1922. Darin: «La gerarchia degli organi dei sensi nel pensiero di Leonardo da Vinci» und «La fonetica biologica di Leonardo da Vinci».
9. Blaschke, *Leonardo und die Naturwissenschaften.* Hamburgische Universitätsreden. C. Boysen, Hamburg 1927.
10. G. Boetcher, *Leonardo da Vinci als Naturforscher.* Bericht d. Senckenberg. Naturf. Ges. Heft 3, p. 203–35, Frankfurt 1913.
11. H. Boruttau, *Leonardo da Vincis Verhältnis zur Anatomie und Physiologie der Kreislauforgane.* Sudh. Arch. Gesch. Med. *6*, 233 (1913).
12. H. Boruttau, *Erwiderung auf die Bemerkungen von Vangensten, Fonahn und Hopstock zu meinem Artikel: Leonardo da Vincis Verhältnis zur Anatomie und Physiologie der Kreislauforgane.* Sudh. Arch. Gesch. Med. 7, 217 (1913).
13. F. Botazzi, *Leonardo Biologo e Anatomico.* In: *Leonardo da Vinci.* Conference Fiorentine. Fratelli Treves, Milano 1910.
14. A. Castiglioni, *Leonardo da Vinci, anatomo e fisiologo.* Riv. San. Sic. (1926).
15. L. Choulant, *Geschichte der anatomischen Abbildung.* Leipzig 1852.
16. A. Favaro, *La struttura del cuore nel Quarto Quaderno d'Anatomia di Leonardo.* Atti d. R. Istit. Veneto, vol. *74* (1915).
17. A. Favaro, *Il Canone di Leonardo sulla proporzione del corpo umano.* Istit. anat. della R. Università di Padova, 1917.

18. A. Favaro, *Misure e proporzioni del corpo umano secondo Leonardo.* Atti d. R. Istit. Veneto (1918).
19. A. Favaro, *Leonardo da Vinci e Girolamo Fabrici d'Aquapendente nella storia delle scienze biologiche.* Boll. Istit. Storico Ital. dell'Arte Sanitaria, Vol. *24* (1925).
20. Franz M. Feldhaus, *Leonardo, der Techniker und Erfinder.* E. Diederichs, Jena 1913.
21. A. Forster, *Einiges über die Beziehungen Vesals zu Leonardo da Vinci und zu Marco Antonio della Torre.* Arch. Anat. u. physiol. Anat. Abt. 1904, S. 372.
22. Joseph Gantner, *Lionardo da Vinci.* Basler Universitätsreden. Helbing & Lichtenhahn, Basel 1952.
23. R. Giacomelli, *Gli scritti di Leonardo da Vinci sul volo.* Con prefazione di Generale Cristoforo Ferrari. Dott. G. Bardi, Editore, Roma, 1936.
24. Marie Herzfeld, *Leonardo da Vinci, der Denker, Forscher und Poet.* Aus seinen veröffentlichten Schriften. E. Diederichs, Jena 1926.
25. M. Holl, *Leonardo da Vinci und Vesal.* Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1905, S. 211.
26. R. Hönigswald, *Denker der italienischen Renaissance.* Gestalten und Probleme. Verlag Haus zum Falken, Basel 1938.
27. H. Hopstock, *Leonardo as Anatomist.* In: *Studies in the History and Method of Science.* Vol. II, p. 151. Ed. Ch. Singer, 1921.
28. Rudolf Kassner, *Einbildungskraft und Zahl.* In: *Die Nacht des ungeborgenen Lebens.* Insel-Verlag, 1950.
29. K. D. Keele, *Leonardo da Vinci on movement of the heart and blood.* With a foreword by Charles Singer. Harvey & Blythe Ltd., London 1952.
30. A. C. Klebs, *Leonardo da Vinci and his anatomical studies.* Bull. Soc. Med. Hist. (1916).
31. A. C. Klebs, *Leonardo da Vinci: His scientific research, with particular reference to his investigations of the vascular system.* Boston Med. & Surg. Journal (1916).
32. L. Lebengarc, *Die Anatomie und Physiologie des Herzens in Leonardo da Vincis anatomischen Manuskripten.* Sudh. Arch. Gesch. Med. *18*, 172 (1926).
33. Leonardo da Vinci, *Quaderni d'Anatomia.* 6 volumes. Editori Vangensten, Fonahn e Hopstock. Dybward, Christiania 1911–1916.
34. Leonardo da Vinci, *Codice sul volo degli uccelli e varie altre materie*, pubblicato da Teodoro Sabachnikoff. Trascrizione e note di Giovanni Piumati, traduzione in lingua francese di Carlo Ravaisson-Mollieu. Edwardo Rouveyre, Parigi 1893.
35. Leonardo da Vinci, *Il Codice Atlantico di Leonardo da Vinci nella Biblioteca Ambrosiana di Milano*, riprodotto e pubblicato dalla R. Academia dei Lincei, Milano 1894–1904. U. Hoepli.
36. Leonardo da Vinci, *Traktat von der Malerei.* Nach der Übersetzung von Heinrich Ludwig neu herausgegeben und eingeleitet von Marie Herzfeld. E. Diederichs, Jena 1909.
37. Edmund O. Lippmann, *Leonardo da Vinci als Gelehrter und Techniker.* Z. Naturwiss. (Stuttgart) *72*, 293 (1899).
38. Ch. D. O. Malley and J. B. Saunders, *Leonardo da Vinci on the human body.* Anatomical, physiological and embryological drawings of Leonardo da Vinci. H. Schuman, New York 1952.
39. *Mostra di Disegni, Manoscritti e Documenti.* Quinto centenario della nascità di Leonardo da Vinci. Biblioteca Medicea Laurenziana, Firenze, 1952.

40. JOHANNES MÜLLER, *Handbuch der Physiologie des Menschen.* 2. Band, 1. Hälfte. Coblenz 1840. S. 180: Von der Stimme des Menschen.
41. J. PLAYFAIR MCMURRICH, *Leonardo da Vinci the Anatomist* (1452–1519). With a preface by GEORGE SARTON. Carnegie Institution of Washington, William & Wilkins, Baltimore 1930. (Vollständigstes Werk über LEONARDOS Anatomie.)
42. J. NEEDHAM, *A History of Embryology.* Cambridge Univ. Press, 1934. p. 77 ff.: Leonardo da Vinci.
43. J. P. RICHTER, *The literary works of Leonardo da Vinci.* Second Edition, enlarged and revised by JEAN PAUL RICHTER and IRMA A. RICHTER. In two volumes. Oxford University Press, 1939.
44. M. ROTH, *Vesal, Estienne, Tizian, Leonardo da Vinci.* Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. 1905, S. 79.
45. M. ROTH, *Die Anatomie des Leonardo da Vinci.* Arch. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. (1907).
46. WOLDEMAR VON SEIDLITZ, *Leonardo da Vinci, der Wendepunkt der Renaissance.* 2 Bände. Julius Bard, Berlin 1909.
47. CHARLES SINGER, *Translation of the Anatomy of Mondino da Luzzi, from the «Fasciculo de Medicina».* Florence 1925.
48. F. STÜSSI, *Leonardo und die Wissenschaften.* Industrielle Organisation, Zeitschrift des Betriebswissenschaftlichen Institutes an der ETH, Zürich 1952.
49. W. TACKE, *Zur Vorgeschichte der «Highmore's-Höhle» vor Highmore.* Leipzig 1923.
50. GIAMBATTISTA DE TONI, *Intorno a M. A. della Torre, anatomico veronese del secolo XV all'epoca del suo encontro con Leonardo da Vinci in Pavia.* Atti R. Istit. Veneto, Ser. 7, VII (1900).
51. GIAMBATTISTA DE TONI, *Le piante e gli animali in Leonardo da Vinci.* N. Zanichelli, Bologna, 1922.
52. G. UZIELLI, *Sopra alcune osservazione botaniche di Leonardo da Vinci.* Nuovo Giorn. Botan. Ital. (1869).
53. VANGENSTEN usw. zu BORUTTAUS Artikel: *Leonardo da Vincis Verhältnis zur Anatomie und Physiologie der Kreislauforgane.* Sudh. Arch. Gesch. Med. *6*, 233 (1913): Sudh. Arch. Gesch. Med. *6*, 397 (1913).
54. O. C. L. VANGENSTEN, A. FONAHN und H. HOPSTOCK, *Zu Heinrich Boruttaus Artikel: Leonardo da Vincis Verhältnis zur Anatomie und Physiologie der Kreislauforgane.* Sudh. Arch. Gesch. Med. 7, 273 (1914).
55. H. VERDIER, *Léonard de Vinci, physiologiste.* Paris 1913.
56. W. A. WASHBURN, *Galen, Vesalius, Da Vinci, anatomists.* Bull. Soc. Med. Hist. (1916).
57. W. WRIGHT, *Leonardo da Vincis Work on the structure of the heart.* Proc. Third Internat. Congr. Hist. Med., London 1922.
58. LEOPOLD ZIEGLER, *Florentinische Introduktion.* Leipzig 1909.