

**ÜBER DEN URSPRUNG DER VÖGEL
UND DEN VOGELFLUG ALS GEGENSTAND ANATOMISCHER
FORSCHUNG.
EIN GESCHICHTLICHES MOSAIK**

Bernd Vollmerhaus

Inhalt

Ursprung der Vögel

Archaeopteryx lithographica

Befiederte Saurier und frühe Vögel

Erforschungsgeschichte der Vögel

Vorgeschichtliche Zeit

Geschichtliche Zeit bis zum Beginn der modernen Anatomie

Anatomische Forschung an Vogelfeder und Vogelflügel

George SARTON (1884 – 1956), der „Vater der Geschichte der Wissenschaft“, hat eindringlich die Beschäftigung aller Wissenschaftler mit der Geschichte ihres Faches gefordert. Für die Veterinärmedizin hat August POSTOLKA, der 1887 in Wien eine „Geschichte der Thierheilkunde“ geschrieben hat, formulierte: „Wer von der Geschichte seines Faches ... nichts weiß, ist ein Fremdling in seinem eigenen Haus“. Tatsächlich kann man durch die historische Aufarbeitung den eigenen Lehr- und Forschungsgegenstand besser ganzheitlich begreifen, planvoll durchdringen und mit Begeisterung weiter entwickeln und vermitteln.

In diesem Sinne sei die geschichtliche Entwicklung der Morphologie der Vögel beschreiben, der sich nun nicht nur Anatomen gewidmet haben, sondern Naturwissenschaftler verschiedenster Richtungen, Zoologen, Botaniker, Mathematiker, Geologen, aber auch Philosophen und Theologen sowie viele Autodidakten, darunter Persönlichkeiten

kaiserlichen Geblüts. Kurzum: Menschen unterschiedlicher Herkunft und Zeiten haben durch die Anziehungskraft des Bezüglichen einen Wissenszweig gestaltet und geweitet.

So ist ein Aspekt dieser Vorlesung, eine **Personengeschichte** vogelkundlichen Wissens vorzustellen. Als weitere Betrachtungsweise soll eine **Sach- oder Problemgeschichte** dieses Wissenszweiges herausgearbeitet werden, weil das die Vernetzung fachspezifischer Ideen mit denen des zeitadäquaten allgemeinen Denkens aufzuzeigen vermag.

Ich beginne mit dem Ursprung der Vögel vor rund 150 Millionen Jahren. Vögel, Aves, sind warmblütige, geflügelte Abkömmlinge der Archosaurier mit dem unverwechselbaren Charakteristikum des Federkleids. Damit wird der Ursprung der Vögel mit dem ersten Auftreten der Feder gleichgesetzt; diese Lehrmeinung ist nicht mehr unumstritten.

Archaeopteryx - Forschung

Der Fund der ältesten Feder datiert aus dem Jahre 1860. Es handelt sich um den Abdruck einer fossilisierten Einzelfeder aus dem Solnhofener Plattenkalk, der vor rund 150 Millionen Jahren entstand. Die Konturfeder ist etwa 6 cm lang, hat eine kurze Spule und ist sekundär mit Manganoxid eingefärbt.

Der Fund erregte in der Gelehrtenwelt Aufsehen, weil Vögel für dieses frühe Erdzeitalter ausgeschlossen wurden. Stimmen wurden laut, die eine Fälschung vermuteten. Deshalb wurde der Frankfurter Zoologe Hermann von MEYER (Abb. 1), eine Autorität unter den Palaeontologen, um eine Begutachtung gebeten. In einer Notiz an das „Neue Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie“ bestätigte er 1861 die Echtheit des Fossils. (Tabelle 1)

Als Namen für die Tierart, die diese Feder einst trug, schlug er *Archaeopteryx lithographica* vor, wobei der Gattungsname sich aus *Archaios* = alt und *pteryx* = Feder zusammensetzt, und der Artnamen *lithographica* darauf Bezug nimmt, daß das Fossil auf einer für die Lithographie vorgesehenen Platte gefunden worden war.

Archaeopteryx starb zusammen mit den Dinosauriern spätestens am Ende der Oberkreide aus. Erhalten ist uns der Urvogel in 9 fossilen Exemplaren, die sämtlich in und um Solnhofen gefunden wurden.

Eine glückliche Fügung brachte es mit sich, daß noch im gleichen Jahr 1861 das erste dieser Fossile auf der Langenaltheimer Haardt, einem Steinbruch nahe Solnhofen, als Überreste eines kleinen Wirbeltiers ohne Kopf gefunden wurde. An dieser Stelle sei angemerkt, daß es rund 130 Jahre nach dem Fund gelang, doch einen Schädelrest aus der Tiefe der Gesteinsplatte zu isolieren; und jüngst haben Angela MILNER und ihr Team daraus die Schädelhöhle dreidimensional rekonstruieren können. Das Besondere an diesem Fossil sind die gut erkennbaren Federabdrücke an den zwei flügelähnlichen Vordergliedmaßen und der von Federn umsäumte Schwanz.

Man muß bedenken, daß zwei Jahre zuvor, 1859, Charles DARWIN seine Abstammungstheorie veröffentlicht hatte. Dieser Fund des ersten Urvogels repräsentierte das Skelett einer Echse und das Federkleid eines Vogels, stellte also gleichsam das Bindeglied zwischen zwei Tierklassen dar. Das kam den Befürwortern der Darwinschen Lehre sehr entgegen. Aber auch seine Gegner waren damals recht lautstark. Zu ihnen zählte der Konservator der Königlich Bayerischen Staatssammlung Andreas WAGNER. Er empfahl, ein Kaufangebot abzulehnen. Er veröffentlichte jedoch über den Fund einen kleinen wissenschaftlichen Bericht, der Richard OWEN (1804 – 1892) bekannt wurde. OWEN war der Direktor des Britischen Naturkundemuseums in London. Er war an der Ausweitung seines Museums sehr interessiert. So wechselten nach langwierigen Verhandlungen Platte und Gegenplatten den Besitzer. Seitdem wird dieser Urvogel das Londoner Exemplar genannt. OWEN, ein Gegner Darwins, hat es ausführlich beschrieben; aber erst Thomas Henry HUXLEY, ein Londoner Zoologe, zugleich Befürworter Darwins, hat dann den Urvogel das „missing link“ genannt.

15 Jahre nach dem Fund des ersten trat ein zweites Exemplar bei Eichstätt zutage: 1876. Ein besonders schönes und vollständiges Fossil, bei dem auch der Schädel sofort sichtbar war. Das Fossil wurde der Berliner geologisch-paläontologischen Sammlung angeboten; dort gab es ein hohes Interesse, aber es fehlte – wie im Kulturbereich üblich – das Geld. Der Berliner Industrielle Werner von SIEMENS (1816 – 1892) erbot sich, die Kaufsumme vorzuschießen. So wurde es das Berliner Exemplar. Lange Zeit wurde es als *Archaeopteryx siemensii* geführt.

Wilhelm DAMES, Kustos der Sammlung, hat das Exemplar untersucht und beschrieben. Als typisch reptilartig gelten der Schädel mit den Zähnen und der kleinen Schädelhöhle, die einfachen Rippen, die Bauchrippen (sogen. Gastralia als Versteifung der Bauchdecke), das Becken, die Schwanzwirbelsäule sowie das Hand- und Fußskelett. Vogelartig sind die Federn und das Gabelbein; letzteres wird neuerdings als Unterscheidungsmerkmal in Frage gestellt.

Wenn ich die Fundgeschichte der Archaeopteryx-Fossilien in schneller Folge komplettiere, beschränke ich mich auf die vollständigen Exemplare und übergehe die Funde, die nur Fragmente zeigen (im übrigen siehe die Tabelle 1 zur Fundgeschichte).

Als 5. Fund wurde das Eichstätter Exemplar 1951 entdeckt und an den Leiter der Naturkundlichen Sammlung im Bischöflichen Seminar Eichstätt, Franz Xaver MAYR (1887 – 1974), verkauft. Er hielt das Fossil zunächst für einen kleinen, zweibeinigen Dinosaurier. Erst 20 Jahre später bemerkte er bei seitlicher Beleuchtung die schwachen Federabdrücke. Peter WELLNHOFER (geb. 1936) hat es beschrieben. Das Exemplar wird als sehr junges Individuum eingeschätzt. Der Schädel ist besonders gut erhalten; sogar die kleinen Knochenplatten des Skleralrings treten in Erscheinung.

Als 6. Fund tauchte 1987 in der Sammlung des Altbürgermeisters Friedrich MÜLLER das Solnhofener-Exemplar auf. Wann und wo es gefunden wurde, war angeblich nicht mehr zu ermitteln. Es entbrannte ein jahrelanger Rechtsstreit. Nunmehr ist es im Besitz der Gemeinde Solnhofen. Auch dieses Exemplar hat Peter WELLNHOFER beschrieben. Die ursprünglich zerbrochene Platte war notdürftig aneinandergesetzt. Eine Gegenplatte existiert nicht.

Der 7. Fund ist 1992 geborgen worden und auf Platte und Gegenplatte besonders gut erhalten. Auf der einen treten die Skeletteile, auf der anderen die Federabdrücke stärker in Erscheinung. Der Fundort, die Langenaltheimer Haardt, ist mit dem des Londoner und Maxberg-Exemplars identisch. Es lag jedoch in einer höheren, das heißt geologisch jüngeren Schicht. WELLNHOFER hat die Einzelknochen vermessen, mit allen vorherigen verglichen, und er kommt zu dem Schluß, daß eine neue

Art der Gattung *Archaeopteryx* vorliegt, der er den Namen *Archaeopteryx bavarica* gibt.

Im Ergebnis hat die *Archaeopteryx* – Forschung zwei Problemkreise erschlossen und beflügelt:

- 1) Einen **genealogischen**: Ist *Archaeopteryx* wirklich der Vorfahre unserer heutigen Vögel und woher stammen die Urvögel selbst?
- 2) Einen **funktionell-ethologischen**: Sind mit *Archaeopteryx* die Federn entstanden und hat mit dem Urvogel die neue Art des Fliegens, der von Federn getragene Vogelflug, begonnen?

Bis vor etwa 20 Jahren wußte man nicht viel über den Ursprung der Urvögel und auch nicht über ihre direkten Nachkommen. *Archaeopteryx* stand extrem isoliert in der Systematik der Sauropsiden. Deshalb wurde von PYCRAFT (1910) über NOPSCA (1923) bis STEINER (1917) und anderen ein hypothetischer Vorvogel, *Proavis*, erdacht, bei dem es zur Verlängerung der Schuppen an den Armen und Körperflanken bis hin zum Schwanz gekommen sein könnte. Auf dieser Hypothese gründet sich auch die Vorstellung, daß Federn aus Schuppen hervorgegangen sein müssten, ziemlich plötzlich und durch Aufspaltung. Auf der anderen Seite hatte von Nachfahren lediglich eine Gattung eine gewisse Bedeutung erlangt: *Hesperornis*, die von MARSH beschriebenen pinguinartigen Zahnvogel. Aber Gestalt und Verhalten dieser Vögel waren gegenüber *Archaeopteryx* so unterschiedlich, daß sie wohl keine direkte Ableitung sein konnten.

So beklagen Lehr- und Handbücher, wie ungewöhnlich selten Vogelfossilien seien, und daß diese Lückenhaftigkeit in der Dokumentation über eine Stammesgeschichte der Vögel Grenzen setze. Das hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten aufgrund zahlreicher Fossilfunde aus England, Frankreich, Rumänien, der Mongolei, vor allem aber aus Spanien und China total geändert.

Die Vielzahl der Funde befiederter Saurier und früher Vögel mit den unterschiedlichsten Kombinationen von Saurier- und Vogelmerkmalen erlauben jedoch immer noch nicht in eine widerspruchsfreie Stammbaumableitung vom Archosaurier zum modernen Vogel. Vielmehr müssen wohl Parallelentwicklungen angenommen werden und

Archaeopteryx ist nur ein Ableitungsmodell, wie Vögel aus Sauriern hervorgegangen sein könnten.

Befiederte Saurier und frühe Vögel

Kein Zweifel besteht unter den Paläontologen, daß die Vögel von Archosauriern abstammen. Einige Autoren möchten unter den Einfluß von Gerhard HEILMANNs Buch „The Origin of Birds“ (1926) den Ursprung in die frühe Zeit der *Tecodontier*, den Wurzelzähler, stellen. Immer mehr Fachleute schließen sich nun der Vorstellung von John OSTROM (geb. 1928) an, der die Vögel aus zweibeinig rennenden *Coelurosauriern* (sogen. Hohlknochensaurier) hervorgehen läßt. OSTROM hat in Begleitung von WELLNHOFER die neueren Funde von Dinosauriern in China begutachtet, die seine Theorie belegen. Hier drei Beispiele aus seinem Bericht, die zugleich auch die Evolution der Federn neu beleuchten: *Sinosauropteryx prima*, 1996 von zwei chinesischen Forschern, JI QIANG und JI SHU-AN beschrieben, stammt aus der Provinz Liaoning im Nordosten Chinas. Das Fossil stellt einen kleinen Raubdinosaurier dar, an dessen Oberseite vom Kopf über Rücken bis zum Schwanz und auf der Unterseite des Schwanzes ein bis 2cm hoher Besatz an feinen Borsten oder Filamenten angeordnet ist. Diese Strukturen könnten borstenartige Federn sein, und so wurde von „befiederten“ Dinosauriern gesprochen: Auch der Name deutet das an: *Sin* = eine aus China stammende, *sauros* = Echse, *pteryx* = mit Federn ausgestattet.

Ein weiterer Fund aus Liaoning trat 1999 auf. XU-XING/WANG XIAO-LIN/WU XIAO-CHUNG nannten ihn *Sinornithosaurus millenii*. Dieser frühe Saurier ist vom Skelett her Archaeopteryx sehr ähnlich. Das Fossil war von Integumentfasern regelrecht eingehüllt. Bei feinerer Betrachtung zeigten sich zwei Strukturen: Einerseits büschelförmige Filamente, andererseits Einzelfilamente, von denen serial Seitenäste abzweigten.

In dieser Reihe ist noch ein dritter Fund interessant: *Caudipteryx zoui*, 1998 entdeckt von dem bereits genannten Ji Qiang/P.J. CURRIE/M.A. NORELL/JI SHU-AN. Der Gattungsname „Schwanzflügel“ nimmt Bezug auf die Tatsache, daß an beiden Seiten des Schwanzendes je 11 symmetrische Federn standen. Auch an der Hand fanden sich relativ kurze, symmetrische Federn.

Diese exemplarisch ausgewählten Beispiele geben Veranlassung, die bisherige Anschauung über den Ursprung der Feder neu zu überdenken. Waren, so das bisherige Postulat, die Federn aus den Schuppen der Saurier hervorgegangen, oder waren sie Neubildungen? Und schon sind erste Hypothesen publiziert, so von WELLNHOFER (2002) bzw. PRUM und BRUSH (2003), wonach in Anlehnung an die Ontogenese auch in der Phylogenese die Feder in mehreren Stufen evolviert.

Bleibt also die Feder ein Charakteristikum der Vögel oder waren nicht schon vorher einige Raubsaurier befiedert? Die Frage lässt sich durch cladistische Definition klären.

Die weitere Frage aber, sind „fertige Federn“ zugleich Ausdruck der Flugfähigkeit ihrer Träger, muß ausführlicher beantwortet werden.

Aktives Fliegen bei Wirbeltieren fordert eine Verbreiterung der Vordergliedmaßen, damit Ruderflug möglich wird. Zur Verbreiterung können Flughäute oder Federn herangezogen werden. Daß eine Flughaut dazu befähigt, haben die Flugsaurier gezeigt; sie waren die ersten fliegenden Wirbeltiere. Sehr viel später (vor 55 Millionen Jahren) haben nach diesem Prinzip auch Säugetiere zum Fliegen gefunden. Die Verbreiterung der Vordergliedmaßen durch Federn, also die Bildung eines Flügels, war bei Archaeopteryx vollzogen. Deshalb waren alle Archaeopteryx-Forscher davon überzeugt, ihr Untersuchungsobjekt konnte zumindest Gleitfliegen und Flattern. Aber jüngst hat PETERS (1995) deutlich gemacht, daß es konstruktive Gesetze gibt, die zur Eingruppierung in eine höhere Entwicklungsstufe erfüllt sein müssen. Die vollständige Vogelfeder allein reicht dazu nicht aus. Fossile Belege dafür lieferten u.a. die Funde von Unterkreide-Vögeln in Spanien. Genannt sei *Iberomesornis*, der in zwei Arten 1984 und 1992 in Las Hoyas gefunden wurde und dessen Alter auf etwa 125 Millionen Jahre – also 25 Millionen Jahre jünger als Archaeopteryx – geschätzt wird. Der sperlinggroße Vogel besaß bereits ein verknöchertes Brustbein mit Carina, ein Gabelbein mit Hypocleidium, eine Reduktion des Handskeletts und eine verkürzte Schwanzwirbelsäule mit Pygostyl, d.h. große Ansatzflächen für die Flugmuskeln, eine verkürzte stabile Grundlage für Schwingen und Steuerfeder und die Verlagerung des Schwerpunkts in den Schulterbereich. Das waren wichtige, an diesen Fossilien erkennbare Voraussetzungen, um den Beginn des Vogelflugs für dieses Erdzeitalter als gesichert anzusehen. Auch andere

Unterkreidevögel zeigen am Skelett Veränderungen, die eine schrittweise Verbesserung von Flugleistung und Manövrierfähigkeit vermuten lassen. So hatten sich die Vögel zumindest von diesem Zeitpunkt an den Vorteil verschafft, der ihnen ihre große Verbreitung sicherte.

Alan FEDUCCIA (1995), hat die Evolution der Vögel zusammengefaßt. Unter Berücksichtigung der neuen Funde ergibt sich folgendes Bild (Abb. 2): Im Oberjura, vor 150 Millionen Jahren, lebte *Archaeopteryx*; er stammte von den Dinosauriern ab. In der Unter- und Oberkreide breiteten sich befiederte Saurier und Vögel aus, die zu großen Teilen vor 65 Millionen Jahren ausstarben. Erst im Altertziär erfolgte aus einem schmalen Reststamm die erste Radiation, aus der die meisten Ordnungen einschließlich der Ratiten hervorgingen. Weitere rund 30 Millionen Jahre vergingen, bis im Jungtertiär in einer zweiten Radiation die Passeriformes, Sperlingsvögel, auftraten. Damit hatte die Vogelwelt im wesentlichen ihre heutige Vielfalt erlangt.

Soviel zur Geschichte der Forschung über den Ursprung der Vögel.

Die Erforschungsgeschichte der Vögel

Nun trat der Mensch auf den Plan. Zunächst war er Sammler und Jäger, der um seine Selbst- und Arterhaltung besorgt war. Ende der Altsteinzeit regte sich seine schöpferische Kraft und er wurde zum Erfinder und Künstler. Aus dieser vorgeschichtlichen Zeit haben Archäologen vor zwei Jahren die weltweit bislang älteste Darstellung eines Vogels geborgen. Weitere kleine Figuren, ein Pferdekopf und ein Löwenmensch, waren alle aus Mammut-Elfenbein geschnitzt. Fundort war eine Höhle bei Blaubeuren, Hohler Fels genannt. Unter dem Fundgut befand sich auch eine kleine Flöte, 11,7 cm lang, die aus einem Unterarmknochen des Singschwans, *Cygnus cygnus*, hergestellt war.

Können wir uns vorstellen, was der unbekannte Steinzeitmensch vor ca. 35.000 Jahren auf dieser Flöte gespielt haben mag?

Hat er den Gesang eines Vogels immitiert?

Oder sich vielleicht eine eigene Melodie ausgedacht?

Wir wissen natürlich nicht, ob es so war; sicher ganz anders!

Aber die Möglichkeiten, sich mit diesem frühesten Instrument auszudrücken, seien an den Beginn des geschichtlichen Mosaiks zur Erforschungsgeschichte der Vögel durch den Menschen zu stellen, weil alles, was Wissen, Kunst und Kultur des Menschen ausmacht, damals aus

dem Nichts in einfachster Form entstanden ist. Hier von primitiver Form zu sprechen, wäre mir zu abwertend; denn es war ja ein gewaltiger Sprung vom Nichts zum ersten, ursprünglichen Ereignis. Poetisch ausgedrückt, war es die „Morgendämmerung der Menschheit“, als im frühen Menschen die schöpferische Kraft erwachte!!

Wie fein war die kleine Vogel-Figur gestaltet: Der schmale Kopf mit Schnabel und Augen, der lange, schlanke Hals; der Rumpf trägt Andeutungen eines Federkleids.

Als Kuriosität sei erwähnt, daß – wie beim ersten Archaeopteryx-Fossil – auch hier zuerst der Rumpf entdeckt wurde und erst bei einer späteren Suchaktion der abgebrochene Kopf zum Vorschein kam. Aber die Bruchenden passten so eindeutig aufeinander, daß kein Zweifel an ihrer Zusammengehörigkeit blieb. Der Archaeologe Nicholas CONARD beschreibt 2003 die Figur aufgrund des Schnabels als Wasservogel mit angelegten Flügeln. Sie mag, wie die anderen Fundgegenstände, kultischen Zwecken gedient haben. Im Vergleich zu anderen vorgeschichtlichen Hinterlassenschaften ist der Fund mit rund 32.000 Jahren vor heute extrem früh einzuordnen. So kennen wir weitere vorgeschichtliche Kunstwerke, genannt seien Chauvet, Willendorf, Altamira und Lascaux; die Zeichnungen des letztgenannten Fundorts entstanden etwa 20.000 Jahre später.

Aus der Höhle Lascaux zeigt eine Szene des Schachtes neben dem verwundeten Bison und dem sich abwendenden Rhinoceros den liegenden Menschen (vielleicht ein Schamane) und einen auf einer Stange sitzenden Vogel (Abb. 3). Eine Interpretation von H. KIRCHNER (1952) unterlegt der Szene, daß der Vogel ein Hilfsgeist sei, ohne den der in Trance liegende Schamane seinen Himmelsflug nicht unternehmen könne. Auch andere Deutungen werden diskutiert. Ohne auf Einzelheiten eingehen zu können, ist anzunehmen, daß der Vogel für den Frühmenschen kultische Bedeutung hatte.

Wir verlassen die vorgeschichtliche Zeit und wenden uns nun gesicherten Daten zu: Wir betrachten das klassische Altertum, in dem die Vogelkunde in den Rang einer Wissenschaft erhoben wurde. Wenn wir dem bekannten Ornithologen Erwin STRESEMANN (1951) folgen, dann hat die Ornithologie mit ARISTOTELES (384 - 322 v. Chr.) begonnen. Seine überlieferten Werke umspannen nahezu den ganzen Umkreis des antiken Wissens. Für unsere Fragestellung ist seine „Geschichte der

Tiere“ bedeutsam, die sich in einigen Kapiteln den Vögeln widmet. ARISTOTELES nennt 140 Vogelarten, die er deskriptiv gliedert in solche, die auf dem Land leben, sich an Seen und Flüssen aufhalten oder das Meer und die Küsten bevölkern. Erwähnenswert auch die Beschreibung der Entwicklung des Hühnchens im Ei. Seine Sicht des Morphologisch-Physiologischen führt zu der Mahnung, daß es einem philosophischen Geist angemessen sei, sich mit der Natur auseinanderzusetzen.

Fast 1.500 Jahre später hat Graf Albert von Bollstädt, genannt ALBERTUS MAGNUS (1193 – 1280), scholastischer Gelehrter und Dominikaner, die Werke des Aristoteles übersetzt und kommentiert (Abb. 4). Dabei hat er sich als selbständiger Beobachter ausgewiesen. Durch ihn sind die naturwissenschaftlichen Lehren der Antike dem christlichen Abendland verständlich gemacht geworden.

Zur gleichen Zeit hat der Stauferkaiser FRIEDRICH II (1194 – 1250) die Naturkunde auf hohem Niveau neu belebt. In seinem Opus über die Falkenjagd „De arte venandi cum avibus“ (Abb. 5) sind eigene Beobachtungen festgehalten. Das Original dieses Werkes ging verloren. Eine Zweitschrift, die sogenannte Manfred-Handschrift, wurde von seinem Lieblingssohn Manfred, König von Sizilien, dem Original nachempfunden. Sie enthält mehr als der Titel „Die Kunst, mit Vögeln zu jagen“ aussagt. Beizvögel und Beutevögel werden beschrieben und bildlich in Miniaturen dargestellt, sowie nach Umwelt und Nahrungserwerb eingeteilt. Das Verhalten der Vögel im Rhythmus des Tages, Vogelflug und Vogelzug sowie anatomische Details sind Gegenstand der Schrift. Das leidenschaftliche Interesse des Stauferkaisers an der Tierwelt weist ihn, wie STRESEMANN formuliert, „zum ersten großen Ornithologen aus, den die Geschichte kennt“.

Im Mittelalter hatte die Jagd auf und mit Vögeln ihre Blütezeit. Während die Beizjagd mit abgerichteten Greifvögeln dem Hochadel und den Kirchenfürsten vorbehalten war, mußten niederer Adel, Bürgertum und Bauern mit dem Vogelfang vorlieb nehmen. Mittelalterliche Buchtitel belegen das (Abb. 6).

In unserer historische Zeitraffung erreichen wir die Renaissance und treffen auf das Universalgenie LEONARDO DA VINCI (1452 – 1519),

Maler und Bildhauer, Baumeister und Erfinder, aber auch Anatom und Naturforscher. Seine anatomischen und physiologischen Studien eilen der Zeit weit voraus. Zeichnungen zur Anatomie des Vogelflügels und zur Technik des Fluges finden sich verstreut in diversen Handschriften. Überlegungen, warum sich der Vogel in der Luft hält und im Gegenwind schweben kann, ohne die Flügel zu schlagen, sind für die damalige Zeit neuartig. In der kurzen Zeitspanne eines Monats entstand 1505 der „Codex über den Vogelflug“, eine geschlossene Abhandlung auf 18 Blättern mit Argumenten und erklärenden Zeichnungen (Abb. 7). Im Übrigen nimmt Leonardo die ganze Breite der Flugforschung vorweg, angefangen bei der Konstruktion des gerippten Flügels, über den Fallschirm bis hin zur Idee des Helikopters. Ob er jemals Flugversuche unternommen hat, wie er mit den Worten ankündigte: „Von dem Berg, der seinen Namen trägt, wird der berühmte Vogel seinen Flug antreten“, wir wissen es nicht. Gemeint war der Schwanenberg oberhalb von Florenz, den er als Übungsplatz ausgewählt hatte. Dort steht eine entsprechende Gedenktafel, die seine Hoffnung festhält.

Inzwischen hatten sich die Universitäten etabliert und so nimmt es nicht wunder, daß die folgenden Meilensteine dort gesetzt wurden. Hieronymus FABRICIUS (1533 – 1619), nach seinem Geburtsort ab Aquapendente genannter Anatom und Chirurg, wirkte 54 Jahre auf dem Lehrstuhl seiner Universität Padua. Er arbeitete auf dem Gebiet der vergleichenden Anatomie und Entwicklungsgeschichte und hat eine Reihe wichtiger Arbeiten über die Anatomie und Physiologie der Vögel hervorgebracht. Organe des Verdauungs- und Atmungsapparats fallen darunter; hervorzuheben die Kloake mit dem nach ihm benannten Organ: Bursa cloacalis Fabricii; Und dann eben auch Flügel und Bein in Verbindung mit Ausführungen zu Flug und Gang. Bei Hieronymus Fabricius zeigt sich zudem, wie wichtig es ist, gute Lehrer zu haben, denn unter seinen Schülern befinden sich bedeutende Namen wie William HARVEY und Caspar BARTHOLIN.

Auch Giovanni Alfonso BORELLI (1608 – 1679) war ein erfolgreicher Universitätslehrer. Er gilt als Begründer der Bewegungsphysiologie. In seinem posthum erscheinenden Werk: „De motu animalium“ (1680) werden die Schwimmbewegung der Fische und der Flug der Vögel quantitativ erfaßt (Abb. 8). Er führte das physikalische Experiment in die

Biologie ein. Bau und Wirkungsweise der Flügelschlagmuskeln wurden mit Methoden der Mathematik und Mechanik bewertet, der Flügelschlag in hebende und vortreibende Kraftkomponenten zerlegt und die Steuerung durch den Flügel untersucht. Seine Berechnung führte zu dem Schluß, daß das Verhältnis von Muskelkraft und Körpergewicht der Vögel im Vergleich zu dem der Menschen dafür spräche, daß letzterer **n i c h t** aus eigener Kraft würde fliegen können.

Experimentelle Arbeiten steuerten der englische Gelehrte Sir George CAYLEY (1773 – 1857) und der französische Physiologe Jules MAREY (1830 – 1904) bei. Cayley führte die windströmungsgünstige Form des spindelförmigen Körpers von Forelle und Waldschnepfe ins Experiment ein. Marey hatte Instrumente zur Registrierung von Körperbewegungen entwickelt. Ihm gelangen sowohl Reihenbildaufnahmen vom Vogelflug als auch die graphische Erfassung von schnellen Bewegungsabläufen.

Auf der Grundlage der bisher genannten Prinzipien beobachtete Otto LILIENTHAL (1848 – 1896) – zusammen mit seinem Bruder Gustav – den Flug von Störchen, Möven und anderen Vögeln, und er erkannte dabei den Vorteil des gewölbten Vogelflügels. Er experimentierte mit Flügelprofilen. Die Meßergebnisse lieferten Anhaltspunkte für den Bau seiner Gleitflugapparate. 1889 erschien seine Monographie „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ (Abb. 9). 1891 gelang der erste Gleitflug. Otto LILIENTHAL war der erste Mensch, der das Fliegen lernte. Wenige Jahre später, 1903 gelang u.a. den Brüdern WRIGHT der erste Motorflug. Das ist erst 100 Jahre her; jeder kennt die gewaltige Entwicklung, die durch diese Pionierleistungen ausgelöst wurde.

Kehren wir zurück zur anatomischen Konstruktion von Feder und Flügel in Form und Funktion. Auch sie hat eine stürmische Entwicklung genommen.

Hier sei ein Exkurs eingeschoben, der nichts mit der Anatomie der Vögel, wohl aber etwas damit zu tun hat, in welcher Weise ganz allgemein anatomische Kenntnisse gewonnen werden. Dabei komme ich auf den genialen flämischen Arzt und Anatomen Andreas VESALIUS (1514 – 1564) zu sprechen, der u.a. 1541 die Werke GALENs neu herausgab und dabei zu verschiedenen, von Galen abweichenden Beobachtungen kam. So entstand seine Neuerforschung der menschlichen Anatomie „De

humani corporis fabrica“, mit der eine **moderne, wissenschaftlich fundierte Anatomie** ihren Anfang nahm. Die nachfolgenden Generationen von Anatomen fühlten sich einer auf exakter Beobachtung beruhenden Deskription verpflichtet.

Noch ein zweiter, sehr viel jüngerer Anatom, sei in diesem Zusammenhang erwähnt: Alfred BENNINGHOFF (1890 – 1953), der die Erforschung der funktionellen Systeme eingeführt hat. Seither sind im Grund genommen immer bewußter funktionelle Überlegungen in anatomische Arbeiten einbezogen worden, so auch in jene über den Vogelflügel und die Vogelfeder.

Die **Struktur der Vogelfeder** (siehe Tabelle 2), deren typische Geschlossenheit der Fahne auf einem Verhakungsmechanismus ihrer Äste zweiter Ordnung beruht, ist von Robert HOOKE 1664 beschrieben worden. Hooke war Professor für Geometrie in London und verbesserte technische Verfahren und Geräte, unter anderem auch das zusammengesetzte Mikroskop. In diesem Zusammenhang diente ihm die Vogelfeder als geeignetes Untersuchungsobjekt; das Geheimnis des Verhakungs- oder Klettmechanismus der Feder ist demnach gleichsam als Mittel zum Zweck gelüftet worden.

Die jüngere Forschung kann nur gestreift werden:

SICK sowie STEINER und viele andere haben sehr gezielt die Feinstruktur der Feder mit immer wieder erweitertem Instrumentarium aufgeklärt. Die Zeittafel mag dies zusammenfassen. Ebenso wie die speziellen Untersuchungen von GREITE, VÖLKER, SCHMIDT, AUBER und anderen über die Federfärbungen oder diejenigen von NITZSCH bis LUKAS/STETTENHEIM über Federarten und Befiederung.

Ein in sich geschlossenes Forschungsgebiet stellt die Federentwicklung dar, wobei experimentelle Untersuchungen die Regel waren: KUHN, HEIMROTH, Erwin und Vesta STRESEMANN, BRUN und andere haben so den Zusammenhang von Befiederung und innerer Sekretion sowie das Phänomen der Mauser und die Funktion der Federfollikel aufgeklärt. Dies im Einzelnen darzustellen, ist das Anliegen von Unterricht und Lehrbüchern.

In gleicher Weise können auch von der Erforschung der **Konstruktion des Vogelflügels** (siehe Tabelle 3) nur einige Grundlagenarbeiten genannt werden, um die Breite der Thematik aufzuzeigen. Sehr früh, nämlich 1575, steht die von großem Fleiß getragene Übersichtsarbeit des Volcher COITER über den gesamten Bewegungsapparat der Vögel: „De avium sceleti et praecipuis musculi“, worin auch auf das reduzierte Handskelett und die Flugmuskeln im engeren Sinn eingegangen wird. Spezieller wird dann die Untersuchung von WRAY (1887) über die Morphologie des Vogelflügels, die aber der Deskription verhaftet bleibt. Danach folgen die funktionsbetonten Arbeiten etwa von SCHNEIDER über Aufbau und Funktion der Patagien, von OAKES/BIALKOWER über Bandapparat und Biomechanik der Schwingen, von OEHME/KITZLER über die Muskelleistung beim Kraftflug und von FISHER über verschiedene Automatismen in der Flügelbewegung. Gerade im letztgenannten Phänomen automatisierter Bewegungen liegt ein Geheimnis der Flügelbewegung. Das Anlegen der Flügel an den Körper, das Ausbreiten und Schlagen der Flügel während des Fluges ist deshalb von Reinhard DEMOLL, Konrad LORENZ und anderen einer besonderen Betrachtung unterzogen worden. Der spätere Nobelpreisträger Konrad LORENZ hatte mit seiner zoologischen Doktorarbeit (1933) eine Abhandlung geschrieben, deren Titel zwar – wie er selbst bekannte – etwas langatmig ist, aber tatsächlich besagt, was in ihr steht: „Beobachtetes über das Fliegen der Vögel und über die Beziehungen der Flügel- und Steuerform zur Art des Fluges“. Einen Neudruck 1965 betitelt er kürzer: „Der Vogelflug“, aber da waren er und seine Botschaft allgemein bekannt. Trotz grundsätzlich gleicher Konstruktionsprinzipien hat fast jede Vogelart eine eigene Flugtechnik entwickelt.

Gegenwärtig geht die Bestrebung dahin, aus der Biologie Funktionsmechanismen für technische Verfahren abzuleiten; man nennt diese Forschungsrichtung Bionik. In bezug auf die Flugtechnik haben in dieser bionischen Wissenschaft die „künstlichen Vögel“ eines Erich von HOLST wegweisende Bedeutung erlangt.

Damit ist das Mosaik zusammengesetzt, es hatte zwar eine grobe Struktur, aber an Grundsätzlichem war doch zu merken, wie sehr hervorragende Persönlichkeiten in Abhängigkeit zu ihrer Zeit stehen.

Vogelkundliches Wissen ist allmählich entstanden, und auch unser heutiger Wissensstand ist nur eine Momentaufnahme. Um es frei mit George SARTON zu sagen:

„wir sind nicht in der Lage, unsere eigene Wissenschaft von heute zu verstehen (ich will nicht sagen, sie anzuwenden, sondern sie zu erinnern), wenn es uns nicht gelingt, ihren Ursprung und ihre Entwicklung einzubeziehen. Wissen ist nämlich nichts Totes, Starres, sondern Fließendes, Lebendiges, stets in Bewegung befindliches. Die aktuellsten Resultate sind wie die neuen Früchte eines Baumes, sie dienen unserer sofortigen Nutzenanwendung; aber insgesamt gesehen ist es der Baum, auf den es ankommt. Der Wissenschaftler mit philosophischem Gespür ist nicht so sehr an den jüngsten Resultaten der Wissenschaft interessiert, sondern an den bleibenden Strömungen eines lebendigen, stets wiedererblühenden, unsterblichen Baumes. Die heutigen Früchte mögen reizvoll genug sein, aber sie sind nicht in gleicher Weise für eine produktive Einsicht kostbar wie jene, die das, was Gestern war und Morgen sein wird, einschließt“.

Zusammenfassung

Der Urvogel *Archaeopteryx lithographica* galt lange Zeit als Stammform der Vögel. Heute wird ihm die Bedeutung eines Ableitungsmodells zuerkannt, das zeigt, wie Vögel aus den Archosauriern hervorgegangen sein könnten. Viele neuere Fossilfunde vornehmlich aus den letzten zwei Jahrzehnten haben neue Zwischenformen zwischen den Tierklassen dokumentiert. Zugleich ist die Fragestellung aktualisiert worden, ob Federn aus Schuppen hervorgegangen sein könnten oder Neubildungen sind, die bereits bei einigen Sauriern angelegt wurden.

Vogelkundliches Wissen ist allmählich entstanden. In vorgeschichtlicher Zeit hat der Mensch die Vögel nicht nur gejagt, sondern sie hatten für ihn auch kultische Bedeutung. In Altertum und Mittelalter erlangte die Vogelkunde zunehmend den Rang einer Wissenschaft, die alle Vögel nach Bau und Verhalten kennen lernen und katalogisieren will. In der Neuzeit galt Forschung an und mit Vögeln vornehmlich der Grundlagenmehrung, aber auch Flugbiologie, experimentellen Forschung, Bionik und Vogelmedizin haben Nutzen daraus gezogen.

Literatur

- FEDUCCIA, A.: Explosiv Evolution. *Science* **267**, 637-638 (1995).
- HEILMANN, G.: The origin of birds. Witherby, London 1926,
- OSTROM, J.H.: Archaeopteryx and the origin of birds. *Biological Journal of the Linnaean Society*, London **8**, 91-182 (1976).
- PADIAN, K. and L.M. CHIAPPE: Der Ursprung der Vögel und ihres Fluges. *Spektrum d. Wissenschaft*, S. 38-48 (1998).
- PETERS, D.S.: Die Entwicklung der Vögel. In: *Morphologie und Evolution. Symposium der Senckenbergischen Gesellschaft 1994*.
- PRUM, R.O. and A.H. BRUSH: Zuerst kam die Feder. *Spektrum d. Wissenschaft*, S. 32-41 (2003).
- VOLLMERHAUS, B.: Archaeopteryx – eine Station auf dem langen Weg zum Vogelflug. *Psychosophia (Frieling, Berlin)* **3**, 44-64 (2005).
- WELLNHOFER, P.: Solnhofener Plattenkalk: Urvögel und Flugsaurier. Solenhofer Aktienverein, Maxberg 1983.
- WELLNHOFER, P.: Die befiederten Dinosaurier Chinas. *Naturwiss. Rundschau* **55**, 465-477 (2002).

- CUTRY, F.: Der Vogelflug. In: *Leonardo da Vinci, Das Lebensbild eines Genies*. 8. Aufl., Vollmer, Wiesbaden und Berlin, 337-346 (1977).
- DEMOLL, R.: Die Flugbewegungen bei großen und kleinen Vögeln. *Zeitschr. Biol.* **90**, 199-230 (1930).

- FRIEDRICH II: Das Falkenbuch Kaiser Friedrich II. Vollständige Wiedergabe des Codex Ms. Pal. Lat. 1071 „De arte venandi cum avibus“ der Biblioteca Apostolica Vaticana. Kommentar von C.A. Willemse. *Die bibliophilen Taschenbücher* Nr. 152, 6. Aufl., Hardenberg Kommunikation, Dortmund 1987.
- HOLST, E. v.; Über „künstliche Vögel“ als Mittel zum Studium des Vogelfluges. *J. Ornithol.* **91** (1943).
- KIRCHNER, H.: Ein archäologischer Beitrag zur Urgeschichte des Schamanismus, In: *Anthropos*, 244-286 (1952).

LILIENTHAL, O.: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst.

Oldenbourg, München 1889, Neudruck 1943.

LORENZ, K.: Beobachtetes über das Fliegen der Vögel und über die Beziehungen der Flügel- und Steuerform zur Art des Fliegens. J. Ornithol. 81, (1933), Neudruck: Der Vogelflug. Neske, Pfullingen 1965.

PIANTANDIA, S.: Der „Codex über den Flug der Vögel“. In: Leonardo da Vinci, Das Lebensbild eines Genies. 8. Aufl., Vollmer, Wiesbaden und Berlin, 347-361 (1977).

SARTON, G.: The study of the history of science. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1936.

STRESEMANN, E.: Die Entwicklung der Ornithologie von Aristoteles bis zur Gegenwart. Berlin 1951. Nachdruck Aula-Verlag, Wiesbaden 1997.

VOLLMERHAUS, B.: Einstieg in die Erforschungsgeschichte der Vögel. In: Nickel, R., A. Schummer, E. Seiferle, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. V. Band, 2. Aufl., Anatomie der Vögel, hrsg. B. Vollmerhaus. Parey, Berlin und Hamburg 1992. (Dort weitere Literaturangaben).

Fossil	Fundjahr	Fundstätte	Erstbeschreibung	Aufbewahrungsort
Einzelfeder	1860	Solnhofen	v. MEYER (1861)	Berlin/München
Londoner-Exemplar	1861	Langenaltheim	OWEN (1863)	London
Berliner – "	1876	Eichstätt	DAMES (1884)	Berlin
Maxberg – "	1956	Langenaltheim	HELLER (1959)	(verschollen)
Haarlem – "	1855	Riedenburg	OSTROM (1970)	Haarlem
Eichstätter – "	1951	Workerszell	MAYR (1973) sowie WELLNHOFER (1974)	Eichstätt
Solnhofener – "	1987(?)	unbekannt	WELLNHOFER (1988)	Solnhofen
Münchener – "	1992	Langenaltheim	WELLNHOFER (1993)	München
8. Exemplar	1990	Altmühlalb	MÄUSER (1997)	unbekannt
9. Exemplar	2004	Solnhofen	WELLNHOFER (2005?)	Solnhofen

Tabelle 1. Zur Fundgeschichte der Urvogelfossilien (Stand Juli 2004)

Autoren:	Forschungsgegenstand
	<i>Feinstruktur der Feder</i>
	R. HOOKE (1664): Verhakungsmechanismus
	H. SICK (1937): Funktionelle Struktur
	H. STEINER (1957): Elektronenmikroskop
	M. LÜDICKE (1969): Rasterelektronenmikroskop
	<i>Federfluren/Federarten</i>
	L. NITZSCH (1840): Pterylographie
	I. BROMAN (1941): Embryonaldunen
	K. v. PFEFFER (1952): Fadenfedern
	A. M. LUCAS/STETTENHEIM (1972): Gesamtschau, Federarten, Befiederung
	<i>Federfärbung</i>
	W. GREITE (1931, 1934): Melanine
	O. VÖLKER (1939, 1944): Lipochrome
	W. J. SCHMIDT (1948, 1952): Schillerfarben
	L. AUBER (1957): Blaufärbung
	<i>Federentwicklung</i>
	O. KUHN (1927): Hormonwirkung
	O. HEINROTH (1931): Federwechsel
	R. LILLIE (1941, 1942): Federentwicklung
	E. u. V. STRESEMANN (1966): Mauser
	R. BRUN (1968): Federkeim

Tabelle 2. Zeittafel zur Erforschung der Struktur der Vogelfeder (eine Auswahl)

Autoren:	Forschungsgegenstand
	<i>Skelett, Gelenke, Muskeln (deskriptiv)</i>
V. COITER (1575):	De avium sceleti....
H. C. L. BARKOW (1856):	Syndesmologie
R. S., WRAY (1887):	Morphol. des Flügels
	<i>Bauelemente des Flügels (funktionell)</i>
H. STEINER (1922):	Entwicklung Flügelskelett
M. PELISSIER (1923):	Bandapparat der Schwingen
H. SCHNEIDER (1942):	Patagien
H. J. FISHER (1957):	Automatismen
H. OEHME/N. KITZLER (1975):	Muskelleistung
	<i>Flugbiologie (historischer Teil)</i>
LEONARDO DA VINCI (1505):	<i>Codex Vogelflug</i>
G. A. BORELLI (1680):	De motu animalium
	<i>Flugbiologie (aktueller Teil)</i>
R. DEMOLL (1930):	Flugbewegungen
K. LORENZ (1933):	Flügelform und Fliegen
E. von HOLST (1943):	„künstliche Vögel“
K. HERZOG (1968):	Anatomie und Flugbiologie
V. A. TUCKER (1969):	Energetik des Vogelflugs
J. J. BAUMEL (1971):	Vogelschwanz als 3. Flügel

Tabelle 3. Zeittafel zur Erforschung der Konstruktion des Vogelflügels (eine Auswahl)



Abb. 1: Hermann VON MEYER (1801 – 1869) benannte 1861 den Urvogel *Archaeopteryx lithographica*.

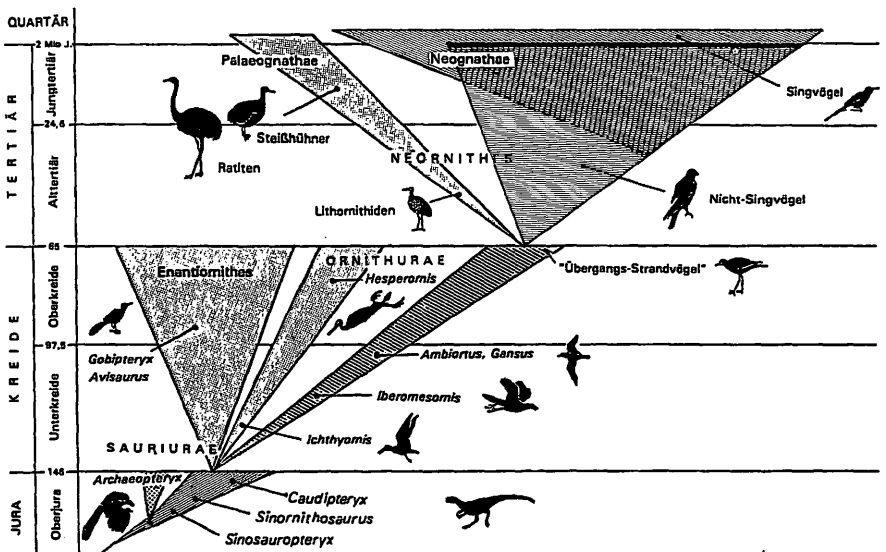


Abb. 2: Stammbaum der Vögel, nach A. FEDUCCIA, ergänzt

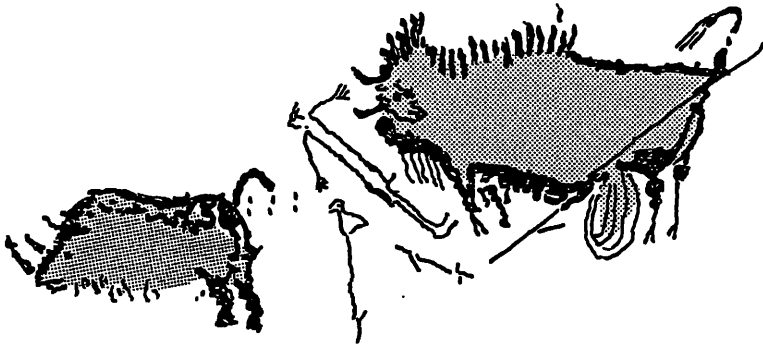


Abb. 3: Kopie der „Szene des Schachtes“, Felsmalerei in der Höhle von Lascaux.
 Rhinoceros (links), Bison (rechts), liegender Mensch und Vogel auf einer Stange (Mitte).



Abb. 4: Albertus MAGNUS (1193 – 1280) bei einer Kommentierung der Schriften des Aristoteles.

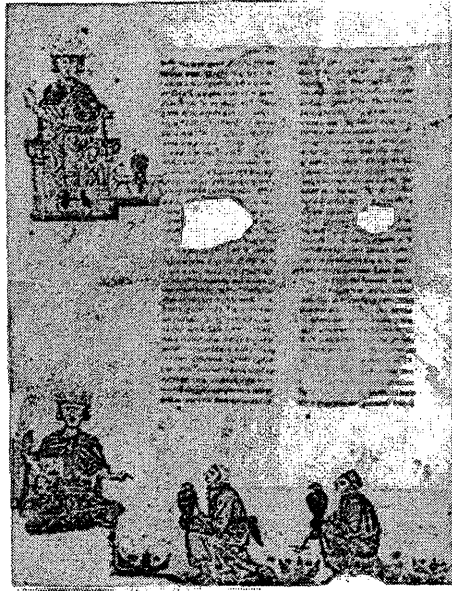
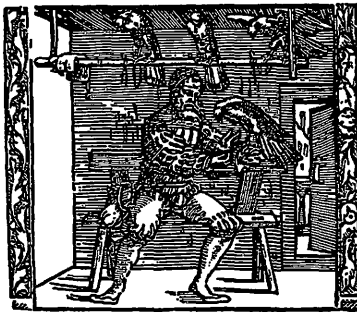


Abb. 5: FRIEDRICH II, Stauferkaiser (1194 – 1250). Aus dem Falkenbuch, „De arte venandi cum avibus“, Manfred-Handschrift.

Mysterliche stuck von
 Bayssen vnd Jagen/ auch
 wie man die Habich vñ ander Dögel/ auch Hund/
 darz erziehen/ zgen vñnd gewönnen soll/ als
 len Weidreuten vñd Jägern/ oder andern
 die Waydwerck vñnd getäg lieben/
 Gang möglich vñd byentlich.



M. D. XXXI.

Vom Vogelstellen/
 Jago auff's new mit Fleiß übersehen vñd ver-
 mehret/ auch mit schönen Kupferstücken
 gezieret /

von
Johann Conrad Aittinger.

Cassel/
 Gedruckt bey Salomon Schadowitz/
 In Verlegung Iohann Schönsen/
 Im Jahr 1653.

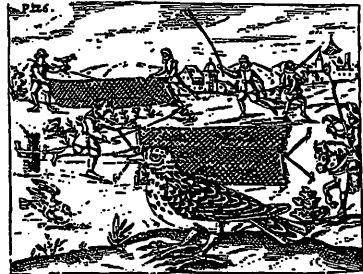


Abb. 6: Zwei mittelalterliche Bücher über die Beizjagd und das Vogelstellen: Links H. STAYNER (1531), rechts J.C. AITINGER (1653).

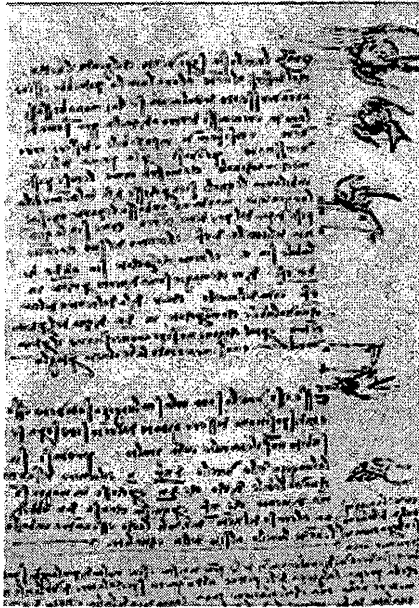


Abb. 7: LEONARDO DA VINCI (1452 – 1519): Seite aus dem „Codex über den Vogelflug“, entstanden 1505.

7-19-18

D E

MOTV ANIMALIVM
IO. ALPHONSI BORELLI
NEAPOLITANI
 MATHESIS PROFESSORIS
Opus Postumum.
PARS PRIMA.



R O M . AE,
 In Typographia Angeli Bernab. M. DC. LXXX.
 1680.

Abb. 8: Giovanni Alfonso BORELLI (1608 – 1679): Titelblatt zu „De motu animalium“ (1680).

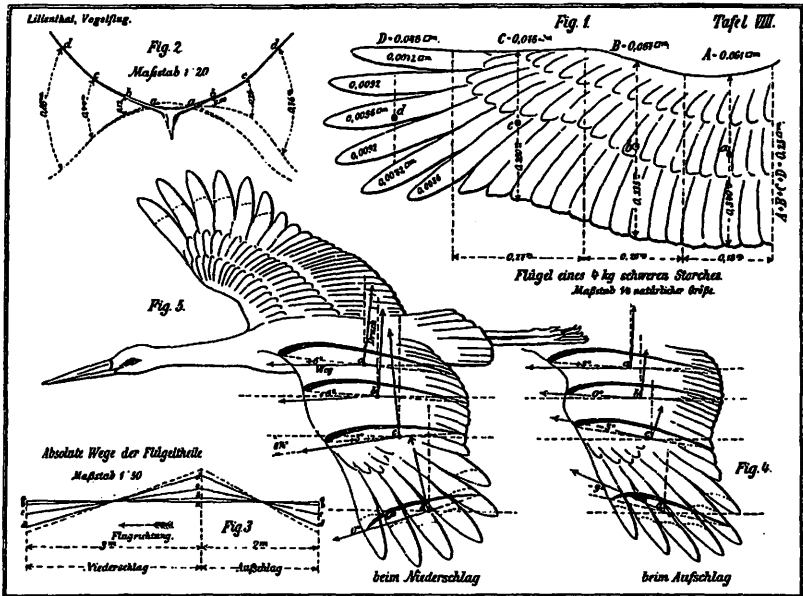


Abb. 9: Otto LILIENTHAL (1848 – 1896): Abbildung aus “Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst” (1889).