

König ■ Korbel ■ Liebich

2. Auflage



# Anatomie der Vögel

Klinische Aspekte und Propädeutik

Zier-, Greif-, Zoo-, Wildvögel und Wirtschaftsgeflügel

König ▪ Korbelt ▪ Liebich

# Anatomie der Vögel

2. Auflage

This page intentionally left blank

# Anatomie der Vögel

## Klinische Aspekte und Propädeutik

Zier-, Greif-, Zoo-, Wildvögel und  
Wirtschaftsgeflügel

2. Auflage

Herausgegeben von **Horst Erich König**  
**Rüdiger Korbel**  
**Hans-Georg Liebich**

Unter Mitarbeit von Hermann Bragulla, Klaus-Dieter Budras,  
Ana Carretero, Gerhard Forstenpointner,  
Christoph Hinterseher, Johann Maierl,  
Maren Meiners, Ivan Misek, Christoph Mülling,  
Marc Navarro, Alexander Probst,  
Sven Reese, Jesus Ruberte, Ingrid Walter,  
Gerald Weissengruber und  
Grammata Zengerling

Mit 663 Abbildungen,  
davon 592 in Farbe,  
und 14 Tabellen

**Herausgeber:****O. Univ. Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Horst Erich König**

Institut für Anatomie, Veterinärmedizinische Universität Wien,  
Veterinärplatz 1, A-1210 Wien  
Horst.Koenig@vu-wien.ac.at

**Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Rüdiger Korbelt, Dipl. ECAMS**

Klinik für Vögel, Ludwig-Maximilians-Universität München,  
Sonnenstraße 18, D-85764 Oberschleißheim  
korbelt@lmu.de

**Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hans-Georg Liebich**

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München,  
Veterinärstraße 13, D-80539 München  
h-g.liebich@anat.vetmed.uni-muenchen.de

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

**Besonderer Hinweis:**

Die Medizin unterliegt einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben, insbesondere zu diagnostischen und therapeutischen Verfahren, immer nur dem Wissensstand zum Zeitpunkt der Drucklegung des Buches entsprechen können. Hinsichtlich der angegebenen Empfehlungen zur Therapie und der Auswahl sowie Dosierung von Medikamenten wurde die größtmögliche Sorgfalt beachtet. Gleichwohl werden die Benutzer aufgefordert, die Beipackzettel und Fachinformationen der Hersteller zur Kontrolle heranzuziehen und im Zweifelsfall einen Spezialisten zu konsultieren. Fragliche Unstimmigkeiten sollten bitte im allgemeinen Interesse dem Verlag mitgeteilt werden. Der Benutzer selbst bleibt verantwortlich für jede diagnostische oder therapeutische Applikation, Medikation und Dosierung.

In diesem Buch sind eingetragene Warenzeichen (geschützte Warennamen) nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen eines entsprechenden Hinweises nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk mit allen seinen Teilen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert werden.

© 2009 by Schattauer GmbH, Hölderlinstraße 3, 70174 Stuttgart, Germany

Die 1. Auflage erschien unter dem Titel »Anatomie und Propädeutik des Geflügels«

E-Mail: [info@schattauer.de](mailto:info@schattauer.de)

Internet: <http://www.schattauer.de>

Printed in Germany

Layout: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hans-Georg Liebich,  
D-80539 München

Illustrationen: Diplomtierärztin Magister Dr. Eva Polsterer,  
A-2431 Enzersdorf/Fischa

Digitale Kolorierungen: Christel Schura, D-80539 München

Lektorat: Dipl.-Biol. Eva Wallstein, D-70174 Stuttgart;

Claudia Baier, D-69214 Eppelheim

Satz, Druck und Einband: Mayr Miesbach GmbH, Am Windfeld 15,  
D-87437 Miesbach

# Vorwort zur 2. Auflage

Die »Anatomie und Propädeutik des Geflügels« hat sich seit ihrem ersten Erscheinen vor knapp 8 Jahren als äußerst erfolgreiches Lehrbuch und brillanter Farbatlas erwiesen. Die meisterhaften anatomischen Präparationen sowie die außergewöhnlichen Farbfotos und -illustrationen begeisterten bereits beim ersten Durchblättern die Studierenden und die in der Praxis Tätigen.

Zahlreiche Anregungen aus dem Kreis der Kolleginnen und Kollegen, eingebunden in einen engen Dialog mit den Studierenden, haben uns ermutigt, eine völlig überarbeitete 2. Auflage zu erstellen.

Herausragendes Ziel dieser Neuauflage ist es, die klinischen Aspekte verstärkt herauszustellen, um übergreifende Zusammenhänge zwischen anatomischen Grundlagen, modernen bildgebenden Darstellungstechniken und Grundzügen der klinischen Anwendung für Studium und Praxis noch umfassender als bisher darzustellen. Auch soll das in der Literatur weit verstreute Fachwissen gebündelt, systematisch miteinander vernetzt und so das anatomische Wissen mit dem für Prüfung und Praxis notwendigen klinischen Grundverständnis, wie es in der modernen Vogelklinik heute verlangt wird, anschaulich und einprägsam verknüpft werden. Konsequenterweise wurde daher der Buchtitel auch in »Anatomie der Vögel – Klinische Aspekte und Propädeutik« erweitert.

Schwerpunktmäßig werden in dieser Auflage das Zier- und Wirtschaftsgeflügel thematisiert und verschiedenste Vogelspezies, wie beispielsweise Huhn, Ente, Gans, aber auch Wellensittiche, Papageienarten und viele weitere mehr dargestellt. Daneben werden nun aber auch Wildvögel, wie beispielsweise Mäusebussard oder Falke in allen Kapiteln berücksichtigt. Die Greifvögel werden darüber hinaus in einem eigenen neuen Kapitel gesondert dargestellt.

Den Herausgebern und Autoren ist die verstärkte Ausrichtung an klinisch-praktischen Erfordernissen ein besonderes Anliegen, daher wird nur dann auf artspezifische anatomische Besonderheiten, propädeutische Handhabungen sowie Verfahrens- und Methodendarstellungen hingewiesen, wenn diese in Studium und Praxis auch tatsächlich relevante Anwendungen finden.

Für diese 2. Auflage konnte der Kreis der Herausgeber und Autoren erweitert werden. Herr Univ.-Prof. Dr. Rüdiger Korbel, Inhaber des Lehrstuhls für Geflügelkunde und Geflügelmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München, konnte für die erweiterte Herausgeberschaft gewonnen werden. Mit seinem umfassenden klinischen Fachwissen und seiner Erfahrung im wissenschaftlichen Diskurs ist es so gelungen, neue praxisbezogene Akzente und aktuelle Fragestellungen zur Propädeutik der Vogelklinik konsequent in das Gesamtwerk einzubringen. Die Kapitel zur Anatomie und

Propädeutik sind daher nicht nur aktualisiert, sondern durch Hinweise auf »Klinische Aspekte« entsprechend der veränderten Konzeption verstärkt praxisorientiert ausgerichtet. Für die Klinik relevante Kapitel zu den Themen »Bildgebende Verfahren« und »Grundlagen der Osteosynthese« wurden komplett neu verfasst, ein Kapitel zur »Falknerei und Greifvogelmedizin« ergänzend eingefügt.

Auch das Kapitel »Einführung« konnte in größerem Umfang durch aktuelles Wissen ergänzt werden: Hier wurden Hintergründe zur »Geschichte der Vogelanatomie« durch Herrn a.o. Univ. Prof. Dr. Gerhard Forstenpointner, Wien, Präsident der Weltvereinigung für Geschichte der Veterinärmedizin, in höchst anschaulicher Weise in den bestehenden Wissensfundus ergänzt. Auch Herr a.o. Univ. Prof. Dr. Gerald Weissengruber, Wien, hat dieses Kapitel durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu Fragen der Fortbewegungsmöglichkeit von Vögeln in der Luft, zu Lande und zu Wasser inhaltlich bereichert. Sämtliche Kapitel zum Bewegungsapparat wie auch zu den Organen, Organsystemen und zur propädeutischen Vorgehensweise sind zum Teil in erheblichem Umfang durch die Mitarbeit neuer Autoren – Herrn a.o. Univ. Prof. Dr. Alexander Probst, Wien, sowie Frau Dr. Grammata Zengerling, Herrn Dr. Christoph Hinterseher und Frau Dr. Maren Meiners, alle München – überarbeitet und durch neueste wissenschaftliche Erkenntnisse ergänzt. Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Daniel Gonzalez A. sowie Herrn Dr. Sergio Donoso E., beide Universidad de Concepción, Chile, und Herrn Oberrat Dr. Hans Frey, Fach Zoologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien, für die Überlassung von Abbildungen bzw. Präparaten.

Bei der Überarbeitung der einzelnen Kapitel wurden neben dem anatomischen Grundwissen und den Grundzügen der klinischen Anwendung auch die ästhetische Anmutung und die didaktische Aufbereitung der Abbildungen optimiert. Neben einer zeitgemäßen Wissensvermittlung ist es den Herausgebern und Autoren wichtig, modernen Darstellungstechniken in der Anatomie, wie beispielsweise verschiedensten bildgebenden Verfahren, und deren Einsatz in der Praxisroutine entsprechend breiten Raum zu bieten. In die Neuauflage wurden daher neue Röntgenbilder und magnetresonanztomographische Abbildungen eingefügt. Für die mit Digitaltechnik erstellten MRT-Aufnahmen danken wir Frau Univ.-Prof. Dr. Ulrike Matis, Vorstand der Chirurgischen Tierklinik, Universität München, in besonderer Weise. Erst die exzellente Wiedergabe anatomischer Strukturen veranschaulicht den Wert bildgebender Verfahren in der Diagnostik für alle in der Vogelklinik Tätigen. Die Studierenden in der veterinäranatomischen Ausbildung sollen damit auch bereits frühzeitig an die heute unumgänglichen digitalen Darstel-

lungstechniken herangeführt und mit diesen vertraut gemacht werden.

Für die Anfertigung zahlreicher neu eingefügter schematischer Darstellungen danken wir ein weiteres Mal unserer Kollegin, Frau Diplomtierärztin Magister Dr. Eva Polsterer, Wien, die durch ihr fundiertes Fachwissen und ihr außergewöhnliches künstlerisch-zeichnerisches Talent auch diese Neuauflage mitgestaltete. Die 2. Auflage beinhaltet erstmalig auch sämtliche Abbildungen in Farbe. Hierfür wurden alle schematischen Darstellungen mit Computerunterstützung zu »digitalen Aquarellen« umgearbeitet. Für die Erstellung dieser »digitalen Kunstwerke« danken wir erneut Frau Christel Schura, München, die sich mit der von ihr entwickelten und perfektionierten Darstellungstechnik auch um die ästhetische Anmutung dieser Neuauflage verdient gemacht hat.

Durch die erweiterte und gänzlich überarbeitete 2. Auflage soll es den Leserinnen und Lesern auch weiterhin Freude bereiten, eine »Anatomie der Vögel – Klinische Aspekte und Propädeutik« in Händen zu halten, durchzublättern sowie das

Wissen daraus zu erlernen und in der praktischen Tätigkeit einer alltäglichen Vogelklinik umzusetzen und in vollem Umfang zu nutzen.

Unser Dank gilt ein weiteres Mal auch den Mitarbeiterinnen des Schattauer Verlags, Frau Heidrun Rieble und Frau Dipl.-Biol. Eva Wallstein, für die uneingeschränkt hilfreich-unterstützende und erneut so erfolgreiche Zusammenarbeit. Darüber hinaus gilt auch für diese Auflage unserer herausragender Dank Herrn Dieter Bergemann als Verleger, der ein weiteres Mal mit persönlichem Nachdruck und großem Engagement diese Neuauflage äußerst großzügig unterstützte und die Qualität des Gesamtwerkes durch den Einsatz modernster Druck- und anspruchsvoller Verfahrenstechniken förderte.

Wien und München,  
im Herbst 2008

**Horst Erich König**  
**Rüdiger Korb**  
**Hans-Georg Liebich**

# Autoren

## Associate Prof. Dr. Hermann Bragulla

Department of Biological Sciences, 202 Life Science Building, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803-1715, USA

## Prof. Dr. Klaus-Dieter Budras

Institut für Veterinär-Anatomie, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin, Koserstraße 20, D-14195 Berlin

## Prof. Dr. Ana Carretero

Unidad de Anatomia y Embryologia, Departamento de Patologia y Producciones Animales, Facultad de Veterinaria, Universidad Autonoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Barcelona

## a.o. Univ. Prof. Dr. Gerhard Forstenpointner

Institut für Anatomie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

## Dr. Christoph Hinterseher

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Veterinärstraße 13, D-80539 München

## O. Univ. Prof. Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Horst Erich König

Institut für Anatomie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

## Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Rüdiger Korb, Dipl. ECAMS

Klinik für Vögel, Ludwig-Maximilians-Universität München, Sonnenstraße 18, D-85764 Oberschleißheim

## Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Hans-Georg Liebich

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Veterinärstraße 13, D-80539 München

## Priv.-Doz. Dr. Johann Maierl

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Veterinärstraße 13, D-80539 München

## Dr. Maren Meiners

Klinik für Vögel, Ludwig-Maximilians-Universität München, Sonnenstraße 18, D-85764 Oberschleißheim

## Prof. Dr. Ivan Misek MVDr., C. Sc.

Institut für Anatomie und Histologie, Veterinär und Pharmazeutische Universität, Palackeho 1–3, CS-61242 Brno

## Prof. Dr. Christoph Mülling

Department of Comparative Biology & Experimental Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, University of Calgary, 3330 Hospital Drive NW, Calgary, AB T2N 4N1, Canada

## Prof. Dr. Marc Navarro

Unidad de Anatomia y Embryologia, Departamento de Patologia y Producciones Animales, Facultad de Veterinaria, Universidad Autonoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Barcelona

## a.o. Univ. Prof. Dr. Alexander Probst

Institut für Anatomie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

## Priv.-Doz. Dr. Sven Reese

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Veterinärstraße 13, D-80539 München

## Prof. Dr. Jesus Ruberte

Departamento de Patologia y Producciones Animales, Facultad de Veterinaria, Universidad Autonoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Barcelona

## a.o. Univ. Prof. Dr. Ingrid Walter

Institut für Histologie und Embryologie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

## a.o. Univ. Prof. Dr. Gerald Weissengruber

Institut für Anatomie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

## Dr. Gramata Zengerling

Institut für Tieranatomie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Veterinärstraße 13, D-80539 München

# Abkürzungen und Richtungsbezeichnungen

|                      |  |                        |   |
|----------------------|--|------------------------|---|
| <b>Art., Artt.</b>   | Articulatio, Articulationes<br>(Gelenk)                | <b>ant., antf.</b>     | anterior, anteriores<br>(vorne)                         |
| <b>For., Forr.</b>   | Foramen, Foramina<br>(Loch)                            | <b>caud., caudd.</b>   | caudalis, caudales<br>(schwanzwärts)                    |
| <b>Ggl., Ggll.</b>   | Ganglion, Ganglia<br>(Nervenzellenansammlung)          | <b>cran., crann.</b>   | cranialis, craniales<br>(kopfwärts)                     |
| <b>Gl., Gll.</b>     | Glandula, Glandulae<br>(Drüse)                         | <b>dext., dextt.</b>   | dexter, dextri<br>(rechts)                              |
| <b>Lc.</b>           | Lymphocentrum<br>(Lymphzentrum)                        | <b>dist., distt.</b>   | distalis, distales<br>(vom Rumpf weg)                   |
| <b>Lig., Ligg.</b>   | Ligamentum, Ligamenta<br>(Band)                        | <b>dors., dorss.</b>   | dorsalis, dorsales<br>(zum Rücken hin)                  |
| <b>Ln., Lnn.</b>     | Lymphonodus, Lymphonodi<br>(Lymphknoten)               | <b>ext., extt.</b>     | externus, externi<br>(außen)                            |
| <b>M., Mm.</b>       | Musculus, Musculi<br>(Muskel)                          | <b>inf., inff.</b>     | inferior, inferiores<br>(weiter unten)                  |
| <b>N., Nn.</b>       | Nervus, Nervi<br>(Nerv)                                | <b>int., intt.</b>     | internus, interni<br>(innen)                            |
| <b>Proc., Procc.</b> | Processus (Sing. u. Pl.)<br>(Fortsatz)                 | <b>lat., latt.</b>     | lateralis, laterales<br>(seitwärts)                     |
| <b>R., Rr.</b>       | Ramus, Rami<br>(Ast)                                   | <b>med., medd.</b>     | medialis, mediales<br>(zur Mitte hin)                   |
| <b>Rec., Recc.</b>   | Recessus (Sing. u. Pl.)<br>(Vertiefung, Tasche, Spalt) | <b>post., postt.</b>   | posterior, posteriores<br>(hinten, rückwärts)           |
| <b>V., Vv.</b>       | Vena, Venae<br>(Vene)                                  | <b>prof., proff.</b>   | profundus, profundi<br>(in der Tiefe gelegen)           |
|                      |  | <b>prox., proxx.</b>   | proximalis, proximales<br>(zum Rumpf hin)               |
|                      |  | <b>sin., sinn.</b>     | sinister, sinistri<br>(links)                           |
|                      |  | <b>sup., supp.</b>     | superior, superiores<br>(weiter oben)                   |
|                      |  | <b>supf., supff.</b>   | superficialis, superficiales<br>(oberflächlich gelegen) |
|                      |  | <b>ventr., ventrr.</b> | ventralis, ventrales<br>(bauchwärts)                    |

# Inhalt

## 1 Einführung \_\_\_\_\_ 1

H. E. König, J. Maierl, G. Weissengruber  
und G. Forstenpointner

### Geschichte der Vogelanatonomie \_\_\_\_\_ 2

### Allgemeines zur Fortbewegung und Anatomie der Vögel \_\_\_\_\_ 5

Federkleid \_\_\_\_\_ 5

Skelettale Anpassung an die Fortbewegung \_\_\_\_\_ 6

Formen der Fortbewegung \_\_\_\_\_ 7

Vogelflug \_\_\_\_\_ 7

Fortbewegung zu Lande und zu Wasser \_\_\_\_\_ 11

Verdauungsorgane \_\_\_\_\_ 15

Atmungsorgane \_\_\_\_\_ 16

Harn- und Geschlechtsapparat \_\_\_\_\_ 16

Vogelei und Brutdauer \_\_\_\_\_ 17

Herz und Kreislaufsystem \_\_\_\_\_ 18

Gehirn und Sinnesorgane \_\_\_\_\_ 18

### Bewegungsapparat \_\_\_\_\_ 21

Skelettsystem (Systema skeletale) \_\_\_\_\_ 21

Knochenlehre (Osteologia) \_\_\_\_\_ 21

Bau des reifen Knochens \_\_\_\_\_ 22

Typen von Knochengewebe \_\_\_\_\_ 23

Gelenklehre (Syndesmologia) \_\_\_\_\_ 23

Muskellehre (Myologia) \_\_\_\_\_ 25

## 2 Kopf und Stamm \_\_\_\_\_ 27

J. Maierl, H.-G. Liebich, H. E. König  
und R. Korbel

### Knochen des Kopfes \_\_\_\_\_ 27

Skelett des Kopfes, Schädel (Cranium) \_\_\_\_\_ 28

Knochen des Hirnschädels (Ossa cranii) \_\_\_\_\_ 28

Knochen des Gesichtsschädels

(Ossa faciei) \_\_\_\_\_ 30

### Gelenke des Kopfes \_\_\_\_\_ 34

### Muskeln des Kopfes \_\_\_\_\_ 36

### Knochen des Stammes \_\_\_\_\_ 36

Wirbelsäule (Columna vertebralis) \_\_\_\_\_ 36

Halswirbel (Vertebrae cervicales) \_\_\_\_\_ 36

Brustwirbel (Vertebrae thoracicae) \_\_\_\_\_ 39

Synsacrum \_\_\_\_\_ 39

Schwanzwirbel (Vertebrae caudales) \_\_\_\_\_ 40

Rippen (Costae) \_\_\_\_\_ 40

Brustbein (Sternum) \_\_\_\_\_ 41

### Gelenke des Stammes \_\_\_\_\_ 41

Verbindungen der Wirbelsäule

(Juncturae columnae vertebralis) \_\_\_\_\_ 42

Verbindungen der Rippen (Juncturae costarum) \_\_\_\_\_ 42

Verbindungen des Brustbeins (Juncturae sterni) \_\_\_\_\_ 42

### Muskeln des Stammes (Musculi trunci) \_\_\_\_\_ 42

Muskeln der Wirbelsäule (Musculi vertebrales) \_\_\_\_\_ 42

Muskeln der Brust- und Bauchwand

(Musculi thoracis et abdominis) \_\_\_\_\_ 46

Muskeln des Schwanzes (Musculi caudae) \_\_\_\_\_ 46

### Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 47

## 3 Schultergliedmaße (Membrum thoracicum) \_\_\_\_\_ 49

J. Maierl, H. E. König, H.-G. Liebich  
und R. Korbel

### Knochen des Schultergürtels und der Schultergliedmaße \_\_\_\_\_ 50

Knochen des Schultergürtels

(Ossa cinguli membri thoracici) \_\_\_\_\_ 50

Rabenschnabelbein (Os coracoideum) \_\_\_\_\_ 50

Schulterblatt (Scapula) \_\_\_\_\_ 51

Schlüsselbein (Clavicula) \_\_\_\_\_ 51

Knochen der Schultergliedmaße

(Ossa membri thoracici) und

Knochen des Flügels (Ossa alae) \_\_\_\_\_ 51

Oberarmbein (Humerus) \_\_\_\_\_ 52

Elle (Ulna) und Speiche (Radius) \_\_\_\_\_ 52

Handwurzelknochen (Ossa carpi) \_\_\_\_\_ 53

Mittelhandknochen (Ossa metacarpalia) \_\_\_\_\_ 53

Fingerknochen (Ossa digitorum manus) \_\_\_\_\_ 53

### Knochenverbindungen des Schultergürtels und der Schultergliedmaße \_\_\_\_\_ 53

Knochenverbindungen des Schultergürtels

(Juncturae cinguli membri thoracici) \_\_\_\_\_ 53

|  |    |
|--|----|
| Knochenverbindungen des Flügels (Juncturae alae) _____ | 54 |
| Schultergelenk (Articulatio humeri) _____              | 54 |
| Ellbogengelenk (Juncturae cubiti) _____                | 55 |
| Handgelenke (Juncturae carpi et manus) _____           | 58 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Muskeln des Schultergürtels und der Schultergliedmaße _____</b> | <b>63</b> |
|--|-----------|

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Klinische Aspekte _____</b> | <b>65</b> |
|--------------------------------|-----------|

## 4 Beckengliedmaße (Membrum pelvinum) \_\_\_\_\_ 67

J. Maierl, H.-G. Liebich, H. E. König  
und R. Korbel

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Knochen des Beckengürtels und der Beckengliedmaße _____</b> | <b>67</b> |
|--|-----------|

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Knochen des Beckengürtels           |    |
| (Ossa cinguli membri pelvici) _____ | 67 |
| Darmbein (Os ilium) _____           | 69 |
| Sitzbein (Os ischii) _____          | 69 |
| Schambein (Os pubis) _____          | 70 |
| Knochen der Beckengliedmaße         |    |
| (Ossa membri pelvici) _____         | 70 |
| Oberschenkelbein (Os femoris) _____ | 70 |
| Tibiotarsus _____                   | 71 |
| Wadenbein (Fibula) _____            | 71 |
| Laufknochen (Tarsometatarsus) _____ | 72 |
| Zehen (Digit) _____                 | 72 |

### Knochenverbindungen des Beckengürtels und Gelenke der Beckengliedmaße \_\_\_\_\_ 73

|   |    |
|---|----|
| Knochenverbindungen des Beckengürtels               |    |
| (Juncturae cinguli membri pelvici) _____            | 73 |
| Gelenke der Beckengliedmaße                         |    |
| (Juncturae membri pelvici) _____                    | 73 |
| Kniegelenk (Junctura genus) _____                   | 74 |
| Intertarsalgelenk (Articulatio intertarsalis) _____ | 76 |
| Verbindungen der Metatarsalknochen _____            | 77 |
| Zehengrundgelenke                                   |    |
| (Articulationes metatarsophalangeales) _____        | 77 |
| Zehenzwischengelenke                                |    |
| (Articulationes interphalangeales) _____            | 78 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Muskeln der Beckengliedmaße _____</b> | <b>79</b> |
|--|-----------|

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Klinische Aspekte _____</b> | <b>88</b> |
|--------------------------------|-----------|

## 5 Körperhöhlen \_\_\_\_\_ 89

H. E. König, A. Probst, H.-G. Liebich  
und R. Korbel

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| <b>Klinische Aspekte _____</b> | <b>93</b> |
|--------------------------------|-----------|

## 6 Verdauungsapparat (Apparatus digestorius) \_\_\_\_\_ 99

H. E. König, Chr. Hinterseher, H.-G. Liebich  
und R. Korbel

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Mundhöhle (Cavum oris) und Schlundkopfhöhle (Pharynx) _____</b> | <b>99</b> |
| Schnabel (Rostrum) _____   | 101       |
| Dach der Mund- und Schlundkopfhöhle                                |           |
| (Oropharynx) _____   | 102       |
| Boden der Mundhöhle _____  | 102       |
| Boden der Schlundkopfhöhle _____                                   | 104       |
| Speicheldrüsen (Glandulae salivariae) _____                        | 104       |
| Schluckvorgang _____   | 104       |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Verdauungsschlauch (Canalis alimentarius) _____</b> | <b>105</b> |
|--|------------|

|  |     |
|--|-----|
| Speiseröhre (Oesophagus) _____                       | 105 |
| Kropf (Ingluvies) _____                              | 106 |
| Magen (Gaster) _____                                 | 106 |
| Drüsenmagen (Proventriculus, Pars glandularis) _____ | 107 |
| Muskelmagen (Ventriculus, Pars muscularis) _____     | 108 |
| Tunica mucosa gastris _____                          | 108 |
| Tunica muscularis gastris _____                      | 109 |
| Darm (Intestinum) _____                              | 109 |
| Immunsystem des Mukosa-assoziierten                  |     |
| lymphatischen Gewebes des Gastrointestinaltraktes    |     |
| (GALT-System) _____                                  | 110 |
| Dünndarm (Intestinum tenue) _____                    | 110 |
| Zwölffingerdarm (Duodenum) _____                     | 111 |
| Leerdarm (Jejunum) und Hüftdarm (Ileum) _____        | 111 |
| Dickdarm (Intestinum crassum) _____                  | 111 |
| Blinddärme (Caeca) _____                             | 113 |
| Mastdarm (Rectum) _____                              | 113 |
| Kloake (Cloaca) _____                                | 113 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Anhangsdrüsen des Darms _____</b> | <b>117</b> |
|--------------------------------------|------------|

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Leber (Hepar) _____                 | 117 |
| Leberforte (Porta hepatis) _____    | 117 |
| Halteapparat der Leber _____        | 118 |
| Gallenblase (Vesica fellea) _____   | 118 |
| Bauchspeicheldrüse (Pancreas) _____ | 119 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>Klinische Aspekte _____</b> | <b>122</b> |
|--------------------------------|------------|

## 7 Atmungsapparat (Apparatus respiratorius) \_\_\_\_\_ 127

H. E. König, M. Navarro, G. Zengerling  
und R. Korbel

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Nasenhöhle (Cavum nasi) _____</b> | <b>127</b> |
|--------------------------------------|------------|

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>Kehlkopf (Larynx) _____</b> | <b>128</b> |
|--------------------------------|------------|

|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| <b>Luftröhre (Trachea) _____</b> | <b>130</b> |
|----------------------------------|------------|

Stimmkopf (Syrinx) \_\_\_\_\_ 130

Lunge (Pulmo) \_\_\_\_\_ 131

Bronchialsystem und Gasaustausch \_\_\_\_\_ 132

Luftsäcke (Sacci pneumatici, Sacci aerophori) \_\_\_\_\_ 133

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 137

**8 Harnorgane (Organa urinaria) \_\_\_\_\_ 141**

A. Carretero, H. E. König, H.-G. Liebich, Chr. Hinterseher und R. Korbel

Niere (Nephros, Ren) \_\_\_\_\_ 141

Bau der Niere \_\_\_\_\_ 141

    Feinbau des Nierenläppchens \_\_\_\_\_ 143

        Nierenkörperchen (Corpusculum renis, Malphigi-Körperchen) und Nephron \_\_\_\_\_ 143

        Tubulusapparat und Sammelrohrsystem \_\_\_\_\_ 144

        Juxtaglomerulärer Apparat (Apparatus juxtaglomerularis) \_\_\_\_\_ 145

Harnbildung \_\_\_\_\_ 145

Harnleiter (Ureter) \_\_\_\_\_ 145

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 146

**9 Männliche Geschlechtsorgane (Organa genitalia masculina) \_\_\_\_\_ 149**

H. E. König, H. Bragulla, H.-G. Liebich und R. Korbel

Hoden (Testis, Orchis) \_\_\_\_\_ 150

Bau des Hodens \_\_\_\_\_ 151

Nebenhoden (Epididymis) \_\_\_\_\_ 152

Samenleiter (Ductus deferens) \_\_\_\_\_ 153

Begattungsorgan (Penis, Phallus masculinus) \_\_\_\_\_ 153

Hilfsorgane des Phallus \_\_\_\_\_ 154

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 155

**10 Weibliche Geschlechtsorgane (Organa genitalia feminina) \_\_\_\_\_ 157**

H. E. König, Chr. Hinterseher, I. Walter, H. Bragulla und R. Korbel

Eierstock (Ovarium) \_\_\_\_\_ 159

Ovogenese \_\_\_\_\_ 160

Eileiter (Oviductus) \_\_\_\_\_ 163

Eileitertrichter (Infundibulum) \_\_\_\_\_ 164

Magnum \_\_\_\_\_ 165

Eileiterenge (Isthmus) \_\_\_\_\_ 165

Gebärmutter (Uterus, Metra) \_\_\_\_\_ 165

Scheide (Vagina) \_\_\_\_\_ 165

Bau des Vogeleies \_\_\_\_\_ 166

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 167

**11 Organe des Herz-Kreislauf-Systems (Systema cardiovasculare) \_\_\_\_\_ 169**

J. Ruberte, H. E. König, Chr. Hinterseher und R. Korbel

Herz (Cor) \_\_\_\_\_ 169

Blutgefäße des Herzens \_\_\_\_\_ 172

Erregungsbildungs- und Reizleitungssystem \_\_\_\_\_ 172

Lungenkreislauf \_\_\_\_\_ 176

Arterien des Körperkreislaufs \_\_\_\_\_ 176

    Truncus brachiocephalicus \_\_\_\_\_ 177

    Eingeweidearterien der Aorta descendens \_\_\_\_\_ 181

        Nierenarterien \_\_\_\_\_ 182

    Arterien der Beckengliedmaße \_\_\_\_\_ 182

        A. ischiadica \_\_\_\_\_ 182

    Arterien im Bereich des Beckens \_\_\_\_\_ 184

Venen des Körperkreislaufs \_\_\_\_\_ 185

    Venen des Flügels \_\_\_\_\_ 186

    Kaudale Hohlvene (Vena cava caudalis) \_\_\_\_\_ 186

        Pfortadersystem der Leber \_\_\_\_\_ 187

        Nierenpfortadersystem \_\_\_\_\_ 187

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 188

## 12 Immunsystem und lymphatische Organe (Organa lymphopoetica) \_\_\_\_\_ 191

K.-D. Budras, H. E. König und R. Korbel

Lymphgefäßsystem (Systema lymphovasculare) \_\_\_\_\_ 192  
Lymphherz (Cor lymphaticum) \_\_\_\_\_ 193

Aviäre Lymphknoten  
und murale lymphoretikuläre Formationen \_\_\_\_\_ 195  
Aviäre Lymphknoten \_\_\_\_\_ 195  
Murale lymphoretikuläre Formationen \_\_\_\_\_ 196

Lymphorgane (Thymus, Bursa cloacalis und Milz) \_\_\_\_\_ 196  
Thymus \_\_\_\_\_ 196  
Bursa cloacalis (Bursa Fabricii) \_\_\_\_\_ 197  
Milz (Lien, Splen) \_\_\_\_\_ 197

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 198

## 13 Nervensystem (Systema nervosum) \_\_\_\_\_ 199

H. E. König, I. Misek, H.-G. Liebich  
und R. Korbel

Zentralnervensystem (Systema nervosum centrale, ZNS) \_\_\_\_\_ 199  
Rückenmark (Medulla spinalis) \_\_\_\_\_ 200  
Gehirn (Encephalon) \_\_\_\_\_ 201  
    Kerne des verlängerten Marks (Medulla oblongata)  
    und der Brücke (Pons) \_\_\_\_\_ 203  
    Hinterhirn (Metencephalon) \_\_\_\_\_ 204  
    Mittelhirn (Mesencephalon) \_\_\_\_\_ 205  
    Zwischenhirn (Diencephalon) \_\_\_\_\_ 205  
    Endhirn (Telencephalon) \_\_\_\_\_ 207  
    Hirnventrikel (Ventriculi cerebri) \_\_\_\_\_ 208  
Hüllen des Zentralnervensystems (Meninges)  
und seine Blutgefäße \_\_\_\_\_ 208

Peripheres Nervensystem und Ganglien  
(Systema nervosum periphericum, PNS) \_\_\_\_\_ 209  
Gehirnnerven (Nervi craniales) \_\_\_\_\_ 209  
    N. olfactorius (I) \_\_\_\_\_ 209  
    N. opticus (II) \_\_\_\_\_ 209  
    N. oculomotorius (III) \_\_\_\_\_ 209  
    N. trochlearis (IV) \_\_\_\_\_ 210  
    N. trigeminus (V) \_\_\_\_\_ 210  
    N. abducens (VI) \_\_\_\_\_ 211  
    N. facialis (VII) \_\_\_\_\_ 211  
    N. vestibulocochlearis (VIII) \_\_\_\_\_ 212  
    N. glossopharyngeus (IX) \_\_\_\_\_ 212  
    N. vagus (X) \_\_\_\_\_ 212  
    N. accessorius (XI) \_\_\_\_\_ 212  
    N. hypoglossus (XII) \_\_\_\_\_ 212

Rückenmarksnerven (Nervi spinales) \_\_\_\_\_ 212  
Armgeflecht (Plexus brachialis) \_\_\_\_\_ 213  
Lendenkreuzgeflecht (Plexus lumbosacralis) \_\_\_\_\_ 215  
    Lendengeflecht (Plexus lumbalis) \_\_\_\_\_ 215  
    Kreuzgeflecht (Plexus sacralis) \_\_\_\_\_ 216  
Schamgeflecht (Plexus pudendus) \_\_\_\_\_ 216  
Schwanzgeflecht (Plexus caudae) \_\_\_\_\_ 217

Autonomes oder vegetatives Nervensystem  
(Systema nervosum autonomicum) \_\_\_\_\_ 217  
Sympathisches System \_\_\_\_\_ 218  
Parasympathisches System \_\_\_\_\_ 219

Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 220

## 14 Endokrine Drüsen (Glandulae endocrinae) \_\_\_\_\_ 223

H. E. König, G. Weissengruber und R. Korbel

Hypophyse (Hypophysis, Glandula pituitaria) \_\_\_\_\_ 224  
Epiphyse, Zirbeldrüse (Glandula pinealis) \_\_\_\_\_ 225  
Schilddrüse (Glandula thyroidea) \_\_\_\_\_ 225  
Epithelkörperchen (Glandula parathyroidea) \_\_\_\_\_ 225  
Ultimobranchialer Körper (Glandula ultimobranchialis) \_\_\_\_\_ 226  
Nebenniere (Glandula adrenalis) \_\_\_\_\_ 226  
Inselorgan (Insulae pancreaticae) \_\_\_\_\_ 227  
Keimdrüsen (Testis bzw. Ovarium) \_\_\_\_\_ 227  
Klinische Aspekte \_\_\_\_\_ 227

## 15 Sehorgan (Organum visus) \_\_\_\_\_ 229

S. Reese, R. Korbel und H.-G. Liebich

Augenhöhle (Orbita) \_\_\_\_\_ 229  
Augapfel (Bulbus oculi) \_\_\_\_\_ 230  
Größe, Gestalt und Lage des Augapfels \_\_\_\_\_ 230  
Bau des Augapfels \_\_\_\_\_ 231  
    Äußere Augenhaut  
    (Tunica fibrosa oder externa bulbi) \_\_\_\_\_ 231  
    Weiße Augenhaut (Sclera) \_\_\_\_\_ 231  
    Hornhaut (Cornea) \_\_\_\_\_ 232  
    Mittlere Augenhaut  
    (Tunica vasculosa oder media bulbi, Uvea) \_\_\_\_\_ 234

|  |     |  |     |
|--|-----|--|-----|
| Regenbogenhaut (Iris) _____                                  | 234 | Ballen _____   | 269 |
| Strahlenkörper (Corpus ciliare) _____                        | 235 | Krallen _____  | 269 |
| Aderhaut (Choroidea, Uvea) _____                             | 238 | Sporn _____  | 269 |
| Innere Augenhaut (Tunica interna bulbi, Retina) _____        | 239 | <b>Befiederte Körperregionen</b> _____                         | 270 |
| Sehnerv (Nervus opticus) _____                               | 241 | Federn _____   | 270 |
| Augenfächer (Pecten oculi) _____                             | 241 | Federaufbau _____  | 270 |
| Bestandteile des Augeninneren _____                          | 243 | Federarten _____   | 271 |
| Linse (Lens) _____   | 243 | Federwechsel _____   | 274 |
| Augenkammern (Camerae bulbi) und                             |     | <b>Gefäßversorgung und Innervation der Haut</b> _____          | 274 |
| Kammerwasser (Humor aquosus) _____                           | 244 | <b>Klinische Aspekte</b> _____                                 | 275 |
| Glaskörper (Corpus vitreum) _____                            | 244 | <br>   |     |
| <b>Nebenorgane des Auges (Organa oculi accessoria)</b> _____ | 245 | <b>18 Klinischer Untersuchungsgang</b> _____                   | 277 |
| Muskeln des Augapfels _____                                  | 245 | R. Korbelt, S. Reese und H. E. König                           |     |
| Augenlider (Palpebrae) _____                                 | 246 | <br>   |     |
| Tränenapparat (Apparatus lacrimalis) _____                   | 246 | <b>Vorbericht</b> _____  | 278 |
| <b>Innervation des Auges</b> _____                           | 247 | <b>Adspektion</b> _____  | 280 |
| <b>Blutgefäße des Auges</b> _____                            | 247 | <b>Physische Untersuchung</b> _____                            | 281 |
| <b>Klinische Aspekte</b> _____                               | 248 | <b>Weiterführende Untersuchung</b> _____                       | 284 |
| Ophthalmologische Untersuchungen _____                       | 248 | Laboruntersuchungen _____                                      | 284 |
| Ophthalmologische Anamnese _____                             | 249 |  |     |
| Adspektion und Visusbeurteilung _____                        | 249 | <br>   |     |
| Allgemeine ophthalmologische Untersuchungen _____            | 250 | <b>19 Bildgebende Verfahren</b> _____                          | 285 |
| Spezielle ophthalmologische Untersuchungen _____             | 251 | R. Korbelt, A. Probst und H.-G. Liebich                        |     |
| <br>   |     | <br>   |     |
| <b>16 Gleichgewichts- und Gehörorgan</b>                     |     | <b>Photographische Dokumentation</b> _____                     | 286 |
| <b>(Organum vestibulocochleare)</b> _____                    | 257 | <b>Röntgenologische Untersuchung</b> _____                     | 287 |
| H. E. König, G. Weissengruber, I. Walter                     |     | Grundlagen zur Anfertigung von Röntgenbildern _____            | 287 |
| und R. Korbelt   |     | Fixation zur Röntgenaufnahme                                   |     |
| <br>   |     | im ventrodorsalen Strahlengang _____                           | 289 |
| <b>Äußeres Ohr (Auris externa)</b> _____                     | 257 | Fixation zur Röntgenaufnahme                                   |     |
| <b>Mittelohr (Auris media)</b> _____                         | 258 | im laterolateralen Strahlengang _____                          | 290 |
| <b>Innenohr (Auris interna)</b> _____                        | 259 | Röntgenkontrastuntersuchung _____                              | 290 |
| <b>Klinische Aspekte</b> _____                               | 262 | <b>Sonographie (Ultraschalldiagnostik)</b> _____               | 291 |
| <br>   |     | <b>Computertomographie und Magnetresonanztomographie</b> _____ | 291 |
| <b>17 Allgemeine Körperdecke</b>                             |     | <br>   |     |
| <b>(Integumentum commune)</b> _____                          | 263 | <b>20 Fixationstechniken und</b>                               |     |
| H. E. König, S. Reese, Chr. Mülling                          |     | <b>Anästhesieverfahren</b> _____                               | 293 |
| und R. Korbelt   |     | R. Korbelt, S. Reese und H.-G. Liebich                         |     |
| <br>   |     | <br>   |     |
| <b>Unbefiederte Körperregionen</b> _____                     | 264 | <b>Theoretische Grundlagen</b> _____                           | 294 |
| Hautdrüsen _____   | 264 | Atmungsdynamik _____   | 294 |
| Hautanhänge _____  | 265 | Thermoregulation _____   | 294 |
| Flughäute _____  | 266 |  |     |
| Spann- und Schwimmhäute _____                                | 267 |  |     |
| Hornschnabel mit Wachshaut _____                             | 267 |  |     |
| Schuppen _____   | 269 |  |     |

|  |     |  |     |
|--|-----|--|-----|
| Reflexerregbarkeit und Herzschlagfrequenz _____                                  | 295 | Intravenöse Applikation und Blutentnahme _____ | 313 |
| Skelettsystem _____  | 295 | V. jugularis _____                             | 313 |
| <b>Praktische Durchführung</b> _____   | 295 | V. metatarsalis plantaris superficialis _____  | 315 |
| Vorbereitungen _____   | 295 | V. cutanea thoracoabdominalis _____            | 316 |
| Einfangen des Vogelpatienten _____   | 296 | V. ulnaris _____                               | 316 |
| Fixationstechniken _____   | 297 | Euthanasie _____                               | 318 |
| Zangengriff _____  | 299 | Herzpunktion _____                             | 318 |
| Kappengriff _____  | 299 | Intrapulmonale Applikation _____               | 320 |
| Scherengriff _____   | 299 |  |     |
| Taubenhaltergriff _____  | 299 |  |     |
| Fixation von Tauben zur Untersuchung<br>der Schulter- und Beckengliedmaßen _____ | 300 | <b>22 Endoskopie</b> _____                     | 321 |
| Untersuchung der Schultergliedmaßen _____  | 300 | R. Korbel und H.-G. Liebich                    |     |
| Untersuchung der Beckengliedmaßen _____  | 300 |  |     |
| Blumenstraußgriff _____  | 301 | <b>Indikationen</b> _____                      | 321 |
| Fixation von Hühner-, Greifvögeln<br>und Wassergeflügel _____                    | 301 | <b>Instrumentelle Anforderungen</b> _____      | 322 |
| Fixation zur Operation _____   | 301 | <b>Praktische Durchführung</b> _____           | 324 |
| Entfernen eines beißenden oder<br>zugreifenden Vogels _____                      | 302 | <b>Kontraindikationen</b> _____                | 326 |
| Anästhesieverfahren _____  | 303 |  |     |
| Schockbehandlung _____   | 304 |  |     |
| Analgesie und Schmerztherapie _____  | 304 |  |     |

**21 Applikations- und Blutentnahmetechniken** \_\_\_\_\_ 305  
R. Korbel und H. E. König

|  |     |
|--|-----|
| <b>Theoretische Grundlagen</b> _____               | 305 |
| Allgemeines zur Applikation von Medikamenten _____ | 305 |
| <b>Praktische Durchführung</b> _____               | 306 |
| Fixation des Vogelpatienten _____                  | 306 |
| Vermeidung von Blutungen und Blutstillung _____    | 306 |
| Hautdesinfektion _____                             | 307 |
| Anforderungen an Kanülen und Injektat _____        | 307 |
| Applikationstechniken _____                        | 307 |
| Applikation mittels Sonden _____                   | 307 |
| Nasenloch- und Konjunktivaltropfmethode _____      | 309 |
| Intramuskuläre Applikation _____                   | 309 |
| M. supracoracoideus _____                          | 309 |
| M. iliotibialis lateralis _____                    | 310 |
| Subkutane Applikation _____                        | 310 |
| Nackenfalte _____                                  | 310 |
| Kniefalte _____                                    | 311 |
| Brustwand _____                                    | 311 |
| Intrakutane und perkutane Applikation _____        | 312 |
| Flügelspannhaut-Stichmethode _____                 | 312 |
| Federfollikelmethode _____                         | 312 |
| Spot-on-Methode _____                              | 312 |
| Einreibungen und Einpuderungen _____               | 312 |
| Intramedulläre Applikation _____                   | 313 |
| Applikations- und Entnahmetechniken _____          | 313 |

**23 Grundlagen der Osteosynthese** \_\_\_\_\_ 327  
R. Korbel, H.-G. Liebich und M. Meiners

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>Allgemeine Grundlagen</b> _____   | 327 |
| <b>Klinische Grundlagen</b> _____    | 329 |
| <b>Praktische Durchführung</b> _____ | 331 |
| <b>Verbandslehre</b> _____           | 339 |

**24 Falknerei und Greifvogelmedizin** \_\_\_\_\_ 341  
R. Korbel und H.-G. Liebich

|  |     |
|--|-----|
| <b>Literatur</b> _____                   | 351 |
| <b>Anatomische Schlüsselwörter</b> _____ | 353 |
| <b>Sachverzeichnis</b> _____             | 355 |

# 1 Einführung

H. E. König, J. Maierl, G. Weissengruber  
und G. Forstenpointner

Als der Frankfurter Paläontologe Hermann von Meyer 1861 den ersten Nachweis des Urvogels erbrachte, war das Hauptwerk Darwins über die Entstehung der Arten gerade erschienen (1859). Die Schriften zum System in der Natur von Carl von Linné, die übrigens auch Goethe akzeptierte, waren damals bereits seit gut 100 Jahren bekannt. Aufgrund dieser Erkenntnisse war die Entdeckung des **Archaeopteryx lithographica** (= alter Flügel aus lithographischem Kalkstein), der vor ca. 150 Millionen Jahren lebte, von außerordentlicher Bedeutung. Für die Welt der Wissenschaft gilt Archaeopteryx noch immer als der älteste Vogel und berühmteste paläontologische Fossilfund.

Der Urvogel zeigt am Skelett zahlreiche Merkmale, die auf eine nahe Verwandtschaft mit kleinen, zweibeinigen und befiederten Raubdinosauriern (Theropoden) hinweisen. Danach ähneln die Füße eines Urvogel eher denen eines Dinosauriers als einem modernen Vogel. Auch stand die erste Zehe den anderen nicht gegenüber, weshalb der Archaeopteryx

sich auch nicht auf einem Ast richtig festkrallen konnte. Die drei Finger der Vordergliedmaßen trugen Krallen zum schwachen Anhalten im niedrigen Buschwerk. Die zweite Zehe konnte nach hinten überdehnt werden, damit war ein Laufen auf dem Boden möglich. Die schlanken Beine sprechen darüber hinaus für die guten Laufeigenschaften dieses Tieres.

Die Abstammung von federtragenden Dinosauriern weist den Urvogel als Übergangsform mit zahlreichen Reptilienmerkmalen aus. Er besaß u.a. Wirbelkörper, die kranial und kaudal ausgehöhlt waren, sowie bewegliche Rückenwirbel, die Schädelhöhle wies für das Kleinhirn ein nur geringes Volumen auf. Charakteristisch sind auch die saurierartigen Zähne im Kiefer, die vogelartige Flügel- und Schwanzbefiederung sowie der ausgeprägte Echsenschwanz. Von besonderer Bedeutung erscheint die verknöcherte Ausbildung des Brustbeins zur Verankerung der Brustmuskulatur. Dies widerlegt die langjährige Behauptung, der Urvogel sei ein schlechter Flieger gewesen.



**Abb. 1-1.** *Archaeopteryx bavarica* WELLNHOFER, Solnhofen Plattenkalk, Oberjura, Langenaltheimer Haardt, Aufnahme Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, München.



Abb. 1-2. Titelseite »Vogelbuch, darinn die art/natur unnd eigenschafft aller vöglen/sampt irer waaren Contrafactur/angezeigt wirdt: allen Liebhaberen der Künsten/Artzeten/Maleren/Goldschmiden/Bildschnitzeren/Seydenstickeren/Weydleuten unnd Köchen...«.

»Erstlich durch Doctor Conradt Geßner in Latin beschriben: neuwlich aber durch Rüdolff Heußlin mit fleyß in das Teütsch gebracht...«, Zürich 1582. (Original: Institut für Paläoanatomie und Geschichte der Tiermedizin, Vorstand Prof. Dr. Dr. habil J. Peters.)

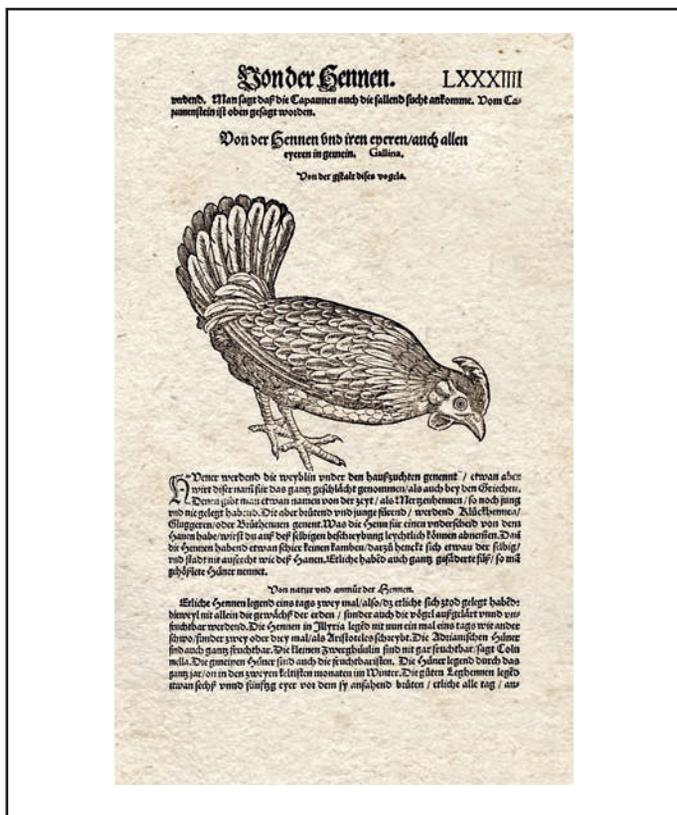
Weltweit wurden bislang zehn Exemplare des *Archaeopteryx* gefunden. Sie stammen ausnahmslos aus der Plattenkalkregion des bayerischen Altmühltals. Das 1992 entdeckte Exemplar, der *Archaeopteryx bavarica* WELLNHOFER, ist heute Bestandteil der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, München (Abb. 1-1).

## Geschichte der Vogelanatomie

Vögel unterscheiden sich von anderen warmblütigen Tieren in vielfacher Hinsicht, die primäre und wichtigste Assoziation zum Begriff »Vogel« ist aber zweifellos »Fliegen«. Diese faszinierende Befähigung war demgemäß auch ein zentrales Thema der frühesten fassbaren Auseinandersetzungen mit der Vogelanatomie. **Aristoteles von Stageira**, zu Recht als der Begründer der morphologischen Forschung bezeichnet,

befasste sich vor allem im 12. Kapitel des 4. Buches seiner Tieranatomie (**De partibus animalium**) ausführlich und vergleichend mit dem Exterieur und den Organen der Vögel, stellte aber fest, dass »das was den Vogel ausmacht, ist seine Flugfähigkeit und diese wird durch das Ausbreiten der Flügel begründet«. Eigenartig, da ausschließlich auf die strömungsdynamische Funktion beschränkt, muten demgegenüber seine Überlegungen zu Sternum und Pektoralmuskulatur der flugfähigen Vögel an: »Alle Vögel besitzen eine scharfkantige und fleischige Brust. Der scharfe Kiel erleichtert das Fliegen, da sich breitere Flächen auf Grund des höheren Luftwiderstandes schwieriger voran bewegen; dagegen dienen die Fleischmassen als Schutz, da die Brust auf Grund ihrer Ausformung schwach sein würde, wäre sie nicht ausreichend bedeckt.«

Der aristotelische Zugang zur empirischen Morphologie wurde schon in der Antike sehr bald durch die Hinwendung zu dogmatisch geprägten Denkschulen verschüttet und erlebte

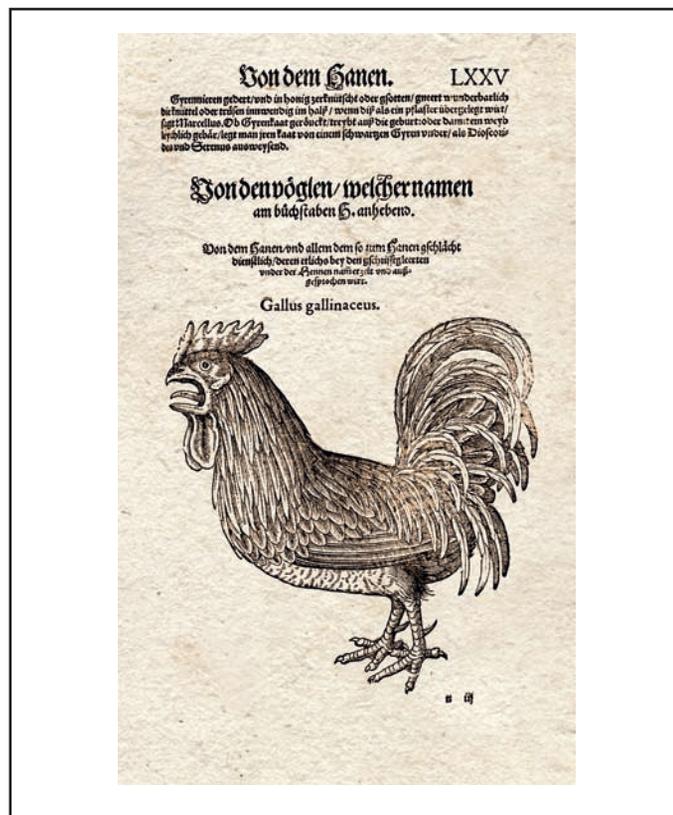


**Abb. 1-3.** »Hennen werdend die weyblin under den Haußzuchten genennt/etwan aber wirdt diser nam für das ganz geschlecht genommen/als auch bey den Griechen. Denen gibt nam etwan namen von der zeyt/als Mertzehennen/so noch jung und nie gelegt habend. Die aber brütend und junge führend/werdend Klückhennen/Gluggeren/oder Brüthennen genennt«. Aus »Vogelbuch«, Conrad Gesner, Zürich 1582. (Original: Institut für Paläoanatomie und Geschichte der Tiermedizin, Vorstand Prof. Dr. Dr. habil J. Peters.)

erst im Humanismus der beginnenden Neuzeit eine Wiedergeburt. Nicht unerwähnt darf allerdings das gänzlich eigenständige, außerhalb seiner Zeit stehende Werk zur Kunst der Beizjagd (»De arte venandi cum avibus [Über die Kunst mit Vögeln zu jagen]«) Kaiser Friedrichs II. von Hohenstaufen bleiben, dessen Grundkonzept, »die Dinge, die sind, so wie sie sind, darzustellen (manifestare ... ea, que sunt, sicut sunt)«, ein selbstbewusstes Bekenntnis zur Experimentalwissenschaft darstellt. Angaben zur Anatomie der Beizvögel und ihrer Beutetiere finden sich in den erhaltenen zwei Faszikeln des ursprünglich sechsbändigen Werkes kaum, Gleiches gilt aber auch für heilkundliche Fragestellungen, deren Behandlung in den verlorenen Abschnitten ebenso wenig auszuschießen ist.

**Leonardo da Vinci**, als einer der ersten Protagonisten humanistischer Denkungsweise, war fasziniert von der Idee des Menschenfluges, er verfasste und stellte ein reich illustriertes Manuskript zum Flugverhalten der Vögel (»Sul volo degli Ucelli«) zusammen.

So legte Leonardo da Vinci in seinen Aufzeichnungen seine Beobachtungen zum Flügelschlag, zur Beherrschung des Gleichgewichts, der Stabilität, dem Einhalten der Flugrichtung oder der Steifheit der Flügelfläche nieder. Er beschrieb eingehend die Funktion der Federn, ihre Stellung, deren

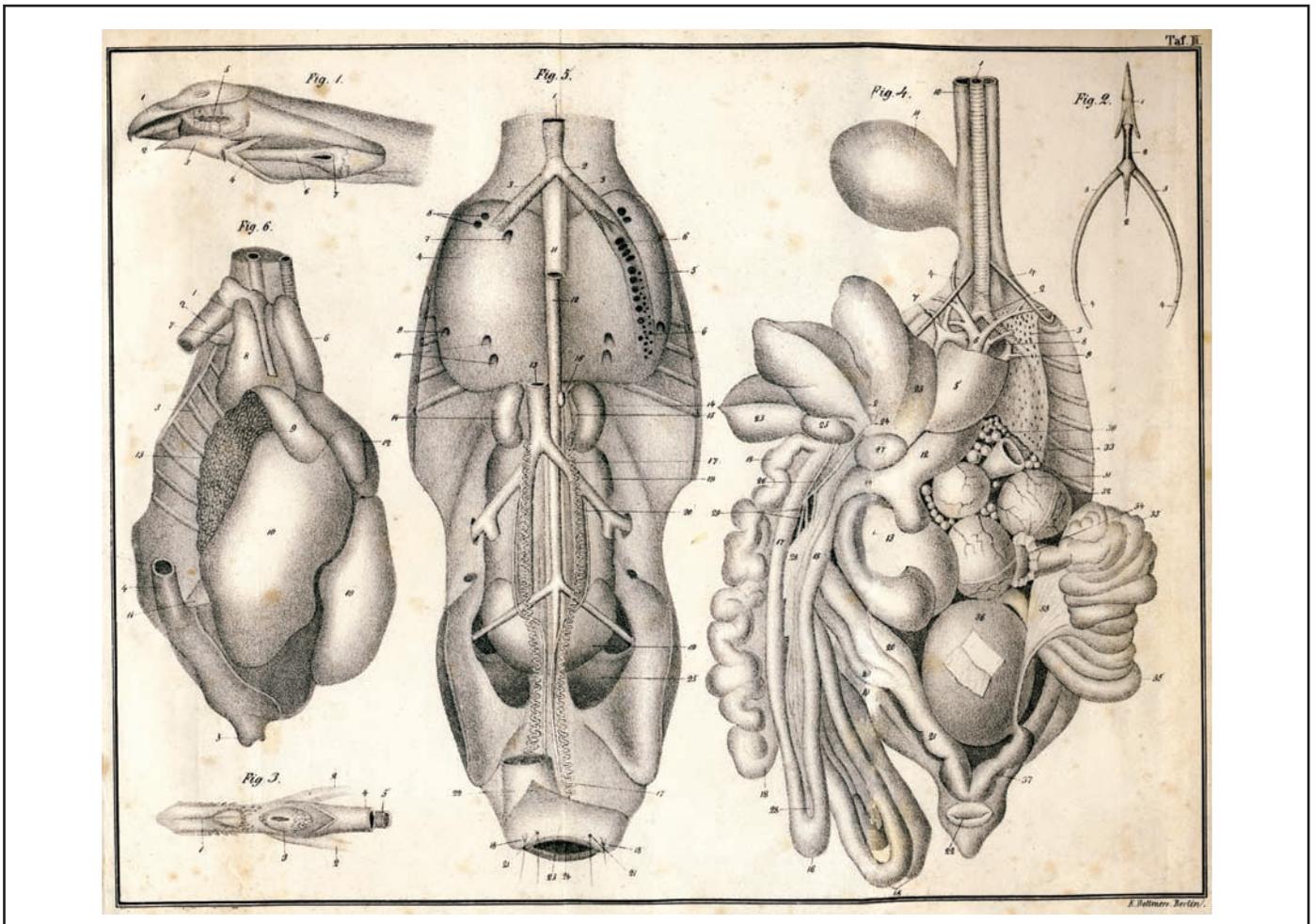


**Abb. 1-4.** »Dieser vogel wirt von Teütsche Han/Haushan/Gul und Güggel gnennt: von welchem wir weytläuffig sagen wöllend/und erstlich von dene Hanen oder Hennen reden /welche von den landen den namen überkomen/und von dem gmeinen Haushünern keinen anderen unterscheid habend/dann allein an der grösse/oder das sy auch mer de stryt ergäben sind«. Aus »Vogelbuch«, Conrad Gesner, Zürich 1582. (Original: Institut für Paläoanatomie und Geschichte der Tiermedizin, Vorstand Prof. Dr. Dr. habil J. Peters.)

Widerstandskraft oder deren Elastizität und schloss daraus auf den Auftrieb bzw. die Fortbewegung des Vogels. Auch weist er auf die Funktion der Schwungfedern hin, die nach Leonardo auch der Herstellung des Gleichgewichtszustandes dienen; denn diese haben, insbesondere beim Kurvenfliegen, die Aufgabe, die Tragfläche zu vergrößern, sodass eine Entfaltung auf einer Seite eine Bremswirkung ausübt.

Ebenfalls im 16. Jahrhundert befassten sich die ersten Gelehrten an italienischen Lehrstätten mit spezifischen Fragestellungen der Vogelanatomie. In Bologna sind **Ulysse Aldrovandi** (1522–1605) und sein Schüler **Volcher Coiter** (1534–1576) zu nennen, in Padua **Girolamo Fabricio ab Aquapendente** (1537–1619), der die Bursa Fabricii (Bursa cloacalis) erstmals beschrieb, und sein Schüler **William Harvey** (1578–1657), der Entdecker des Blutkreislaufes. Seine Studien zur Herzentwicklung am Hühnerembryo regten zu weiteren Forschungen am bebrüteten Hühnerembryo an und stellten auch in den folgenden Jahrhunderten die wesentlichste Erkenntnisgrundlage für die Begründer der modernen Embryologie, wie **Caspar Friedrich Wolff** (1734–1794), dar.

Für die großen Anatomen und Naturforscher des 18. und 19. Jahrhunderts war die Morphologie des Vogelkörpers immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen. So legte **Luigi Galvani** (1737–1798) aus Bologna, vor



**Abb. 1-5.** Darstellung von Kopf, Zungenbein, Eingeweide und Luftsäcke eines Haushuhns sowie Zunge und Kehlkopf einer Ente. Aus »Anatomie der Hausvögel«, Ernst Friedrich Gurlt, Berlin, 1849.

allem bekannt als Elektrophysiologe, wertvolle Beiträge zum aviären Urogenitaltrakt sowie zum akustischen Organ vor, und von dem großen Paläontologen **Richard Owen** (1804 – 1892) stammen grundlegende Arbeiten zur vergleichenden Vogelosteologie.

Demgegenüber spielte die Morphologie der Vögel, insbesondere des Hausgeflügels, in der Veterinäranatomie lange Zeit eine eher untergeordnete Rolle. Bezeichnenderweise stammt die früheste fassbare Darstellung der Geflügelanatomie in der deutschsprachigen Lehr- und Handbuchliteratur noch aus der Feder eines Mitglieds der medizinischen Fakultät in Dresden (**Carl Gustav Carus**: »Lehrbuch der Zootomie« [1818]), einschlägige Arbeiten aus einer tierärztlichen Lehranstalt wurden erst 30 Jahre später von **Ernst Friedrich Gurlt** in Berlin vorgelegt (Abb. 1-5 u. 6). In den veterinäranatomischen Lehrbüchern erschienen Beiträge zur Anatomie des Hausgeflügels nicht vor der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. **Franz Müller** in Wien erweiterte sein »Lehrbuch der Anatomie der Haussäugethiere« in der 1871 publizierten 2. Auflage um entsprechende Zusatzkapitel, dem Gurlt'schen »Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere« wurde erst 1896, in seiner von Wilhelm Ellen-

berger und Carl Müller betreuten 8. Auflage, das Kapitel »Anatomie der Hausvögel« angefügt.

Im 20. Jahrhundert, vor allem in den Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg, wurde der Kenntnisstand zur makroskopischen Morphologie des Hausgeflügels auf das derzeit gültige Niveau gebracht. Wesentlichen Anteil an dieser Entwicklung hatten die Arbeitsgruppen um J. McLelland (Edinburgh) und A. S. King (Liverpool), aus deren intensiver Forschungstätigkeit das englischsprachige Standardwerk »Form and Function in Birds« (1989) hervorging. Eine Reihe von wichtigen und grundlegenden Beiträgen zur topographischen Anatomie des Haushuhnes wurde auch am veterinäranatomischen Institut der Universität Nagoya in Japan unter der Leitung von Mikio Yasuda erarbeitet.

Im deutschsprachigen Raum liegt mit dem 5. Band des »Lehrbuchs der Anatomie der Haustiere« von Richard Nickel, August Schummer und Eugen Seiferle seit seinem ersten Erscheinen im Jahr 1973 eine Darstellung der systematischen Anatomie des Hausgeflügels vor.

Eine wesentliche Grundlage für die methodische Absicherung anatomischer Befundbeschreibungen stellt die einheitliche Verwendung standardisierter Fachbegriffe dar. Dieses

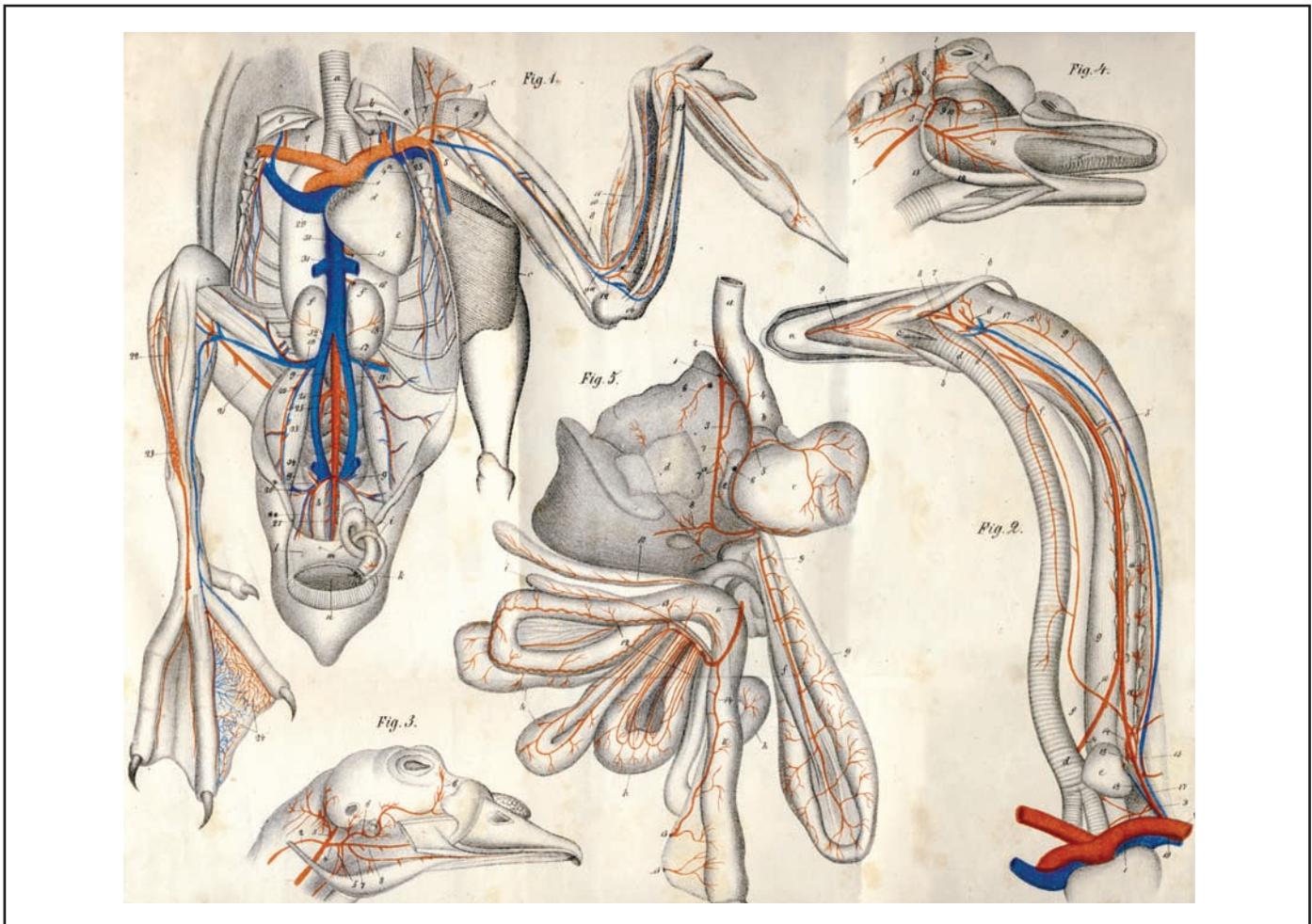


Abb. 1-6. Darstellung der Gefäße am Rumpf, am linken Flügel und rechtem Bein einer männlichen türkischen Ente. Aus »Anatomie der Hausvögel«, Ernst Friedrich Gurlt, Berlin, 1849.

Ziel konnte mit der Einführung der von J. Baumel erstmals 1979 und in zweiter Auflage 1993 veröffentlichten Nomina Anatomica Avium (N.A.A.) weitgehend erreicht werden.

## Allgemeines zur Fortbewegung und Anatomie der Vögel

Vögel sind **befiederte**, im Allgemeinen **flugfähige, warmblütige, eierlegende Wirbeltiere**. Vor allem das Flugvermögen bedingt, dass der Körperbau der etwa **8580 rezenten Vogelarten** mit mehr als 28000 Unterarten einen einheitlichen anatomischen Grundbauplan zeigt. Nur bei den wenigen flugunfähigen Spezies, wie Pinguinen und Straußenartigen (Abb. 1-7 u. 20), konnten Körperform und Größe eine starke Abwandlung erfahren.

Die Vögel entwickelten sich viel später als die Mammalia aus ihren gemeinsamen Vorfahren, den Reptilien – sie werden daher gemeinschaftlich mit diesen als Sauropsiden bezeichnet – und haben deshalb mehr Gemeinsamkeiten mit dieser Tierklasse als mit den heute lebenden Säugetieren.

Eine wesentliche **evolutorische Errungenschaft** der Vögel stellte die **zunehmende Gewichtsreduzierung** dar. Hand in Hand damit wurden die massigen Körperteile möglichst **schwerpunktnah** platziert. So entwickelte sich der im Vergleich zu dem gestreckten biegsamen Körper der Reptilien **kurze kompakte Rumpf**. Keine Gewichtsreduktion erfuhr die **Flugmuskulatur**, die den notwendigen starken Antrieb gewährleistet. Sie macht 15–20 % des Körpergewichts aus.

## Federkleid

Das Federkleid ist die wichtigste »Erfindung« der Vögel. Diese leichte Körperbedeckung garantiert ihnen einerseits die Warmblütigkeit (**Homoiothermie**), andererseits ermöglicht sie ihnen das Fliegen. Weiche, aufgefaserter Federn besitzen die Straußenartigen. Diese isolieren bestens, sind aber zum Fliegen ungeeignet. Die schnellsten Flieger, beispielsweise die Falken, besitzen die härtesten Gefiederflächen.

Das Federkleid ist der wichtigste Farbträger des Vogels (Abb. 1-8). Manche Spezies entwickeln in Gefangenschaft ein »unnatürlich« gefärbtes Gefieder. Dies liegt oft daran, dass ihnen bestimmte Nährstoffe fehlen. So entwickelten Flamin-



**Abb. 1-7.** Afrikanische Strauße (*Struthio camelus*) sind die größten lebenden Vögel. Ausgewachsene Hähne werden bis zu 150 kg schwer und 3 m hoch. Strauße sind nicht flugfähig, können aber sehr gut laufen und erreichen Spitzengeschwindigkeiten zwischen 50 und 70 km/h, Aufnahme T. Angermayer, Tierpark Hellabrunn, München.

gos in zoologischen Gärten früher oft weiße statt rote Federn. Durch karotinhaltige Futterzusätze erreicht man heute, dass auch sie rote Federn ausbilden. Auch Stieglitze lassen sich durch die Fütterung von Hanf farblich verändern, sodass sich ihre natürlicherweise braunen Federn schwarz färben.



**Abb. 1-8.** Roter Sichler oder Scharlachibis (*Eudocimus ruber*) mit leuchtend rot gefärbtem Gefieder, Aufnahme PD Dr. S. Reese, München.

## Skelettale Anpassung an die Fortbewegung

Das Vogelskelett zeigt **zahlreiche Anpassungen** an den Flug (Abb. 1-33 bis 40): Die großen **Gliedmaßenknochen** sind bei den meisten Vögeln nicht wie bei den Säugetieren markgefüllt und kompakte, sondern **pneumatisierte Röhren**. Allerdings gibt es auch sehr gut fliegende Arten, wie beispielsweise die Möwen, die mit Mark gefüllte Oberarmknochen ohne Lufträume aufweisen.

Die **Anzahl der Knochen** ist **verringert**, der Körper ist verkürzt. Die distalen Schwanzwirbel sind zu einem kleinen Knochen verschmolzen. Einige der Hand- und Fußknochen sind ganz verschwunden oder nur noch rudimentär vorhanden. All diese Maßnahmen bewirken, dass – am Beispiel der Taube betrachtet – der **Gewichtsanteil des Skeletts am Gesamtkörper** nur mehr **4,5 %** beträgt. Bei einem gleichschweren Säugetier würde dieser Anteil ca. 6 % ausmachen.

Nicht nur die Gewichtsreduktion, auch die für das Fliegen erforderliche **hohe Stabilität** spielt bei der Skelettkonstruktion des Vogels eine große Rolle. So sind Abschnitte der **Wirbelsäule miteinander verschmolzen**, wodurch Bänder und Muskeln eingespart werden. Kaudal gerichtete Fortsätze der Rippen (Processus uncinati) überlappen wie Verstrebungen die jeweils folgende Rippe. Bei manchen Tauchvögeln überlagern sie sogar zwei Rippen, sodass der Rumpf dem hohen Wasserdruck in der Tiefe besser standhalten kann.

Das **Brustbein** allerdings, an dem die Flugmuskulatur entspringt, kann nicht reduziert werden. Im Gegenteil – durch seine trogartige, breite Form und den hohen Kiel bietet es eine



**Abb. 1-9.** Der Wanderfalke (*Falco peregrinus*) ist vollkommen an die Langstreckenflugjagd angepasst. Seine Beute – meist kleinere Vögel – schlägt er nach einem Sturzflug, in dem er Geschwindigkeiten um die 300 km/h erreicht, Aufnahme H.-K. Hussong, Fürth.

**große Ansatzfläche** für die entsprechenden Muskeln (Abb. 2-29 bis 31). Zwischen dem Schultergelenk und dem Brustbein sind zusätzlich die **Rabenschnabelbeine** als kräftige Streben angebracht, um den starken Zug, der beim Flügelschlag auf das Schultergelenk ausgeübt wird, abzufangen.

## Formen der Fortbewegung

Manche Vogelarten vollbringen erstaunliche Flugleistungen. Falken können z.B. eine Geschwindigkeit von 200 km/h, beim Sturzflug sogar erheblich mehr erreichen (Abb. 1-9). Kondore fliegen bis zu 4000 m hoch. Für eine Gans wurde sogar eine Flughöhe von 8800 m errechnet. Man schätzt, dass ein Mauersegler mit zwei Jungen täglich 1000 km fliegt. Zugvögel fliegen über noch viel weitere Distanzen. Regenpfeifer, die von Neuschottland nach Argentinien ziehen, fliegen ohne Rast 3300–4000 km. Der Weißstorch legt im Jahr etwa 20000 km, die Küstenseeschwalbe sogar 35000–40000 km zurück.

Vögel können sich nicht nur durch die **Luft**, sondern – trotz bzw. dank ihrer besonderen Anatomie – auch auf dem **Land** sowie im **Wasser** geschickt und schnell bewegen.

Im **Flug** hängt der Vogelkörper an den Schultergelenken, sodass der Schwerpunkt sehr ökonomisch direkt unter der Schulter, weit vor dem Hüftgelenk, zu liegen kommt. Damit nun beim **Laufen** das Kniegelenk in die Nähe des Körperschwerpunktes gelangen kann, ist das Os femoris weit nach vorne gerichtet. So kann sich der Vogel auch am **Boden** gut im Gleichgewicht halten.

Für viele Vögel ist das **Klettern** die bevorzugte Fortbewegung. Spechte und Baumläufer hüpfen die Baumrinde aufwärts, Mauerläufer entsprechend die Felsen hoch. Der Kleiber

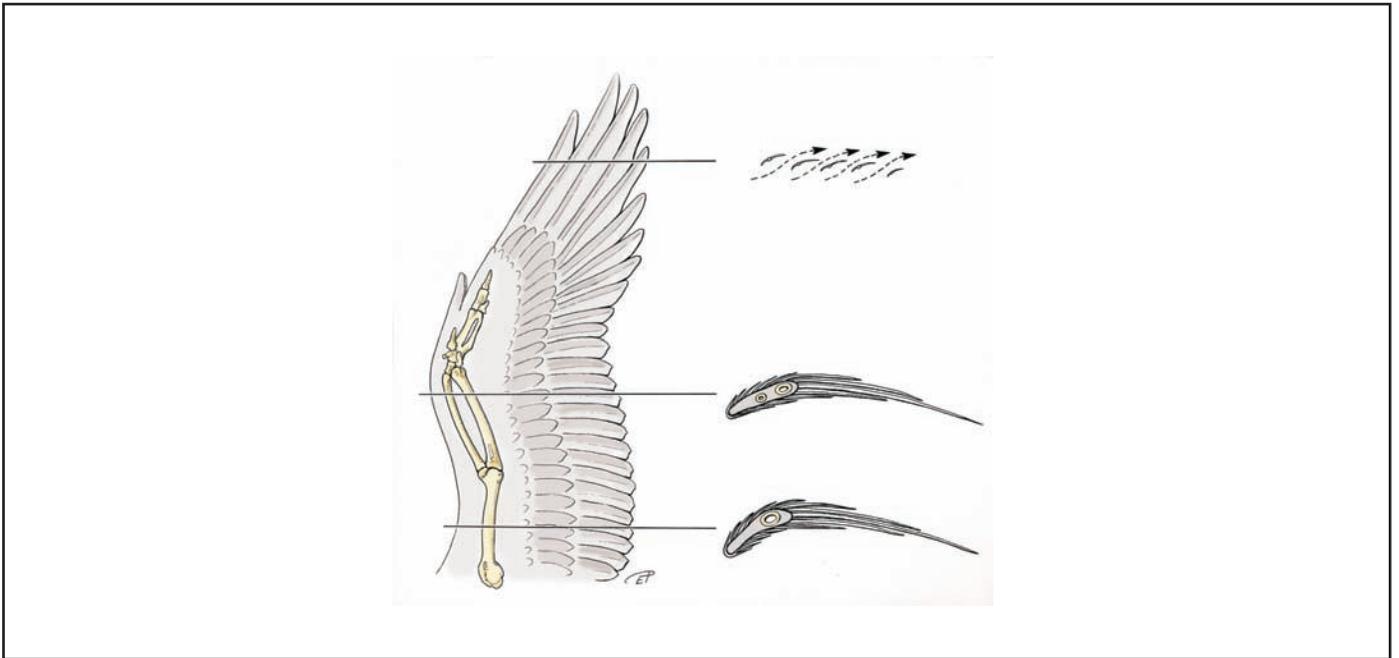
bewegt sich als einzige Vogelart **baumabwärts**. Alle diese Vögel sind **kurzläufig** und halten so ihren Schwerpunkt **dicht am Stamm**. Sie stützen sich dabei auf den **Schwanz**. Spechte und Kleiber halten sich zusätzlich mit der weit nach außen reichenden Krallen der vierten Zehe am Stamm fest.

**Große Flügel**, die während des Fluges gebraucht werden, sind im Wasser hinderlich. Einige Entenarten, wie die Eis-, Trauer- und Samtente haben dieses Problem dadurch gelöst, dass sie beim Tauchen mit **gefalteten Flügeln** schlagen. Die Stoßtaucher, wie Töpel, einige Pelikane und Sturmvögel, oder auch Seeschwalben und Eisvögel stürzen sich gleich aus der Luft ins Wasser und sparen sich damit anstrengendes »Unter-Wasser-Fliegen«.

Diejenigen Wasservögel, die schlecht oder gar nicht tauchen können, holen ihre Nahrung während sie schwimmen aus dem Wasser. Die besten Schwimmer und Taucher, die **Pinguine**, haben das **Fliegen ganz aufgegeben**. Ihre Flügel sind zu **Schwimmflossen** umgebildet (Abb. 1-20). Sie tauchen bis zu 30 m tief, Felsenpinguine bis zu 100 m, Kaiserpinguine bis zu 500 m. Letztere können dabei bis zu 20 min lang unter Wasser verweilen. Dies ist umso beachtlicher, als die meisten Vögel selten mehr als 1 min lang und nicht mehr als 10 m tief tauchen.

## Vogelflug

Zur Entstehung des Vogelfluges gibt es **zwei Theorien**. Eine geht davon aus, dass die Fähigkeit zu fliegen bei kleinen, auf zwei Beinen sich bewegenden Tieren anfang. Diese Tiere entwickelten zur Thermoregulation, zum Imponieren und um das Gleichgewicht besser halten zu können **Federn**. Nachdem



**Abb. 1-10.** Schematische Darstellung des Flügelprofils in der Arm- und Handregion, die strichlierten Pfeile zwischen den Querschnitten der Federn des Handfittichs stellen die Strömungen der Luft an der Flügelspitze dar.

sich die Armfedern verlängerten, konnten die Tiere größere Sprünge ausführen und es gelang ihnen schließlich zu fliegen.

Die andere Hypothese geht davon aus, dass sich das Fliegen bei Tieren entwickelte, die gute Kletterer waren, Federn besaßen und auf Bäumen von Zweig zu Zweig hüpfen. Nachdem sich die Federn verlängert und weitere Anpassungsvorgänge stattgefunden hatten, konnten die Tiere zunächst gleiten und schließlich aktiv fliegen.

Die **Flugfähigkeit** ist für den Vogel eine ganz wesentliche Fähigkeit im Dienste der Arterhaltung. Mit dem Flug konnten aus evolutionärer Sicht neue Futterquellen erschlossen werden, die vom Boden aus nicht erreichbar waren. Darüber hinaus ermöglichte die hohe Manövrierfähigkeit den Tieren, rasch und großräumig nach Futter und Unterschlupf zu suchen sowie bodenlebenden Räubern wendig zu entkommen.

Durch die hohe **Mobilität** können Vögel im jährlichen Rhythmus des Vogelzuges günstige Brut- und Futterplätze aufsuchen. Eine Verbreitung über schwierige geographische Barrieren wurde durch die Flugfähigkeit wesentlich erleichtert.

Die anatomischen Grundlagen für den Bau des Flügels sollen an dieser Stelle nur im Überblick dargestellt werden, mit Querverweisen auf die entsprechenden ausführlichen Kapitel.

Das **Skelett des Flügels** besteht aus dem Oberarmbein, den Unterarmknochen Elle und Speiche sowie den stark reduzierten Knochen der Hand (Näheres s. Kap. 3). Ellbogen und Karpalgelenk fungieren als Scharniergelenke. Sie sind in gegenseitiger Abhängigkeit und können daher praktisch nur zusammen gebeugt oder gestreckt werden. Lediglich der 2. Strahl, die knöcherne Grundlage für die Alula, besitzt eine »daumenartige« Beweglichkeit.

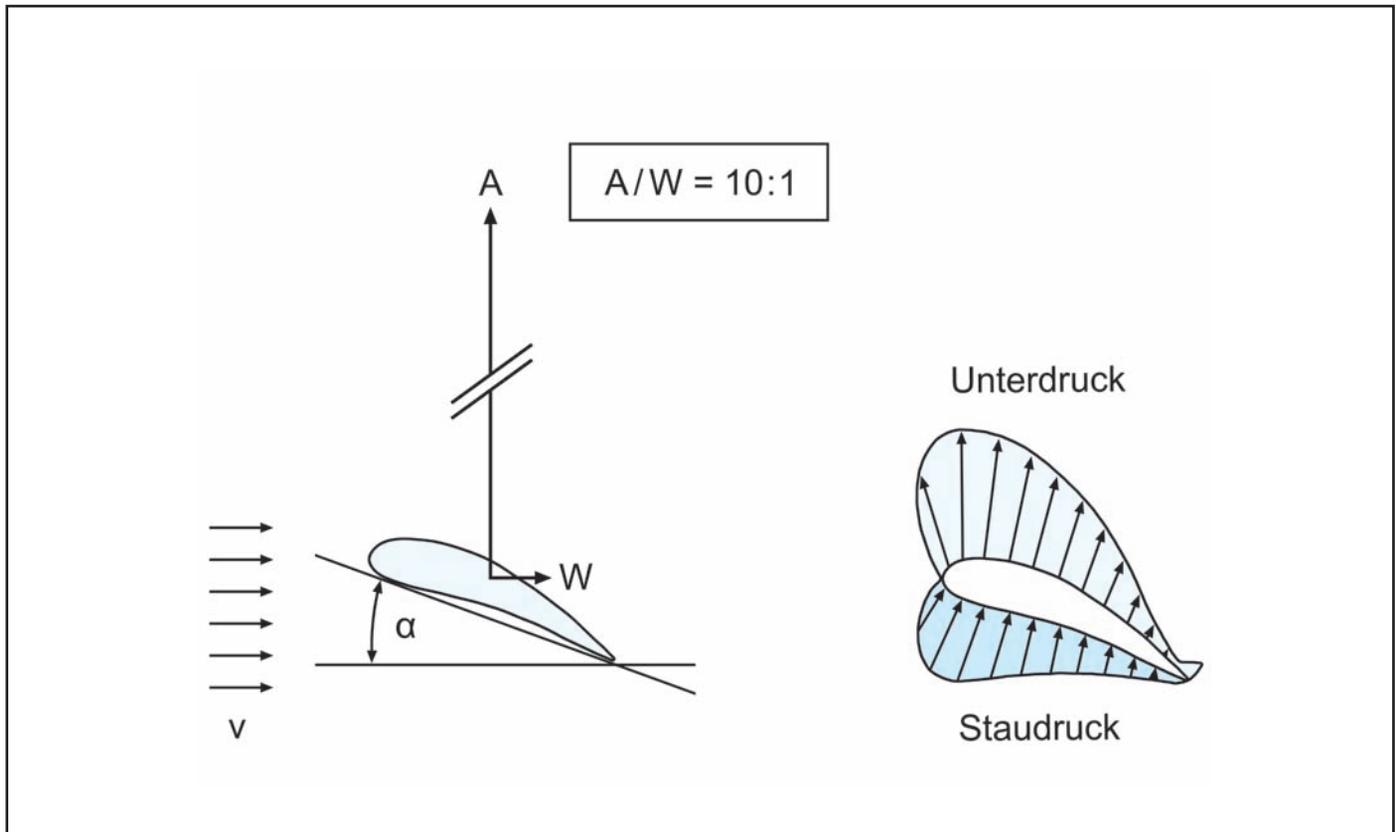
Die maßgebliche **Muskulatur** für den Flügel (Näheres s. Kap. 3) sind die Heber und Niederzieher. Vor allem sind hier der *M. pectoralis* (Niederzieher) und der *M. supracoracoideus* (Heber) zu nennen.

Am Flügel sind die **Haut** und ihre spezialisierten Organe, die **Federn**, in ganz besonderer Weise angeordnet (Näheres s. Kap. 17). Für eine einheitliche Tragfläche wird die gewinkelte Konstruktion des Flügelskeletts von **Flughäuten (Patagia)** überspannt. Der kranial offene Winkel zwischen Schulter und Unterarmskelett wird vom **Propatagium** vervollständigt. Entsprechendes gilt für den Winkel zwischen Oberarmbein und Rumpf (**Metapatagium**) sowie für den Winkel zwischen Unterarm- und Handskelett (**Postpatagium**).

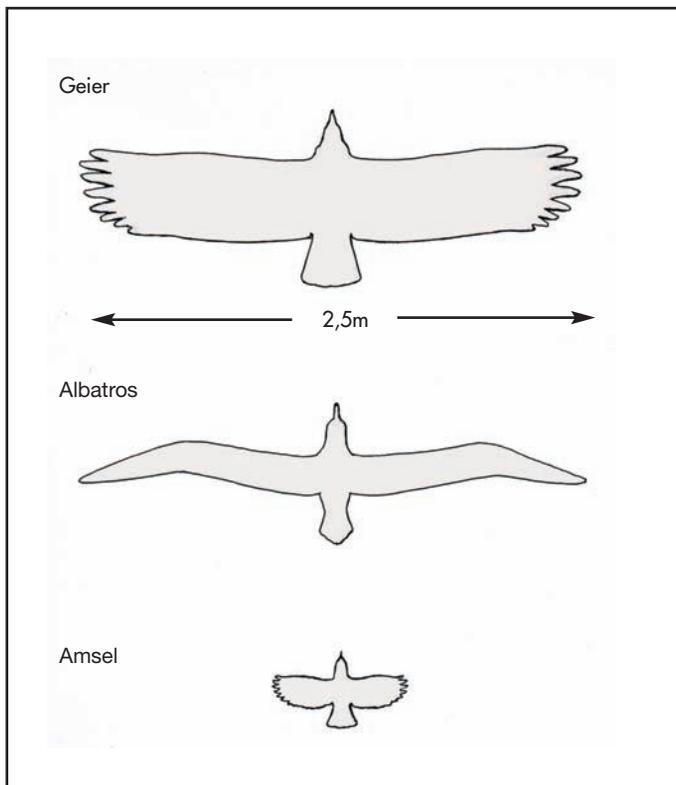
Dieses Grundgerüst des Flügels erhält seine Stromlinienform und das charakteristische Querschnittsprofil erst durch die **Deckfedern (Tectrices)**. Diese werden entlang der kaudalen Kontur des Flügels von den langen **Schwungfedern (Remiges)** ersetzt. Charakteristisch für verschiedene Vogelarten, insbesondere langsame Gleitflieger, ist die Schlitzbildung zwischen den endständigen Schwungfedern der Hand (Abb. 1-10).

Der **Gleitflug** gilt als »einfachste« Form des Fluges. Jungvögel trainieren im Nest oder auf hohen Felsen zuerst ihre Flugmuskulatur. Beeindruckend sind beispielsweise die sog. »Flugschulen« junger Blaufußtölpel auf Galapagos. Sie wandern in Scharen auf hochragende Felsen am Strand und bewegen ihre Flügel. Bei günstigem Gegenwind stoßen sie sich vom Felsrand ab und gleiten auf das offene Meer hinaus. Durch Bewegung der Flügel und des Schwanzes steuern sie ihren ersten Flug. Beim Segelflug nutzen die Vögel thermische Aufwinde und Hangaufwinde.

Das **Profil des Flügels** im Bereich des Schulter- und Armfittichs (Näheres s. Kap. 17) ist im Wesentlichen gewölbt mit einer wulstigen Kante am vorderen Rand (Abb. 1-10). Kaudal läuft der Querschnitt mit den Schwungfedern dünn aus. Strömt über den ausgestreckten Flügel Luft, so wird diese durch den Flügel geteilt. Die Luft über dem Flügel muss dabei eine größere Strecke zurücklegen, also schneller strömen als die Luft unter dem Flügel. Gemäß dem Gesetz von Ber-



**Abb. 1-11.** Die Darstellung links zeigt schematisch das Verhältnis zwischen Auftrieb A und Widerstand W am Flügel bei einem Anstellwinkel  $\alpha$  und einer Luftgeschwindigkeit v. In der rechten Abbildung ist schematisch die topographische Verteilung des Unter- bzw. Staudruckes am Flügelprofil dargestellt.



**Abb. 1-12.** Schematische Darstellung der unterschiedlichen Flügelformen anhand des Flugbildes, Geier (*Gyps rüPELLI*) (M 1:20); Albatros (*Diomedea exulans*) (M 1:20); Amsel (*Turdus merula*) (M 1:10).

noull ist der Druck in der schneller strömenden Luft über dem Flügel deutlich geringer als unter dem Flügel. Dadurch entsteht v.a. nahe der kranialen Kante ein starker **Auftrieb**, der kaudal geringer wird. Dies gilt für einen Flügel, der parallel zur strömenden Luft steht. Der Auftrieb kann noch verstärkt werden, wenn die Vorderkante des Flügels angehoben wird, sodass der Flügel schräg unter dem Anstellwinkel  $\alpha$  (Abb. 1-11) gegen die anströmende Luft geneigt ist. An der Flügelunterseite entsteht durch den entgegengesetzten Mechanismus ein **Staudruck**, der sich zum Auftrieb des Flügels addiert. Der Unterdruck oberhalb des Flügels und der Überdruck unterhalb dessen stehen im Verhältnis von etwa 3:1.

Der Auftrieb hängt wesentlich von zwei Faktoren ab: einerseits vom Quadrat der Geschwindigkeit, mit der die Luft über den Flügel streicht, andererseits von der projizierten Flugfläche, vergleichbar dem Schatten des Vogels. Vereinfacht bedeutet dies, dass Vögel die langsam gleiten, bei denen folglich die Luftgeschwindigkeit über dem Flügel relativ gering ist, entsprechend breite Flügel mit einer großen Tiefe und Spannweite haben. Dadurch wird die Flugfläche erhöht wie es beim Adler oder Geier zu beobachten ist (Abb. 1-12).

Eine zusätzliche Quelle von Auf- und Vortrieb stellen die gespreizten **Handschwüngen** an der Flügelspitze dar. Aufgrund des Druckunterschiedes zwischen Flügelunter- und oberseite (Abb. 1-10) strömt Luft an der Flügelspitze nach oben. Da die Federfahnen der Schwungfedern des Handfittichs asymmetrisch sind, werden diese gespreizt und wirken dabei im Luftstrom wie zusätzliche kleine, gewölbte Tragflächen.

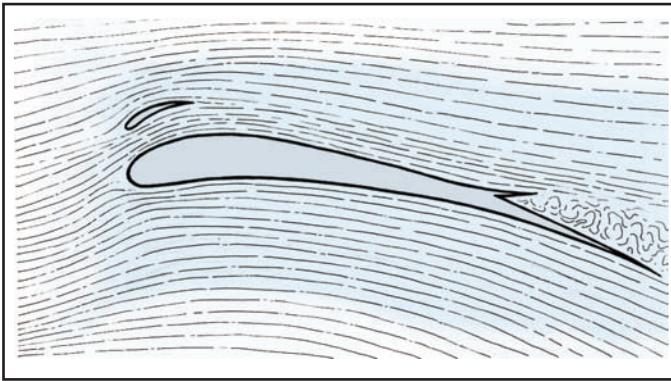


Abb. 1-13. Schematische Darstellung der aerodynamischen Wirkung der Alula und der elastischen Nachgiebigkeit der Deckfedern.

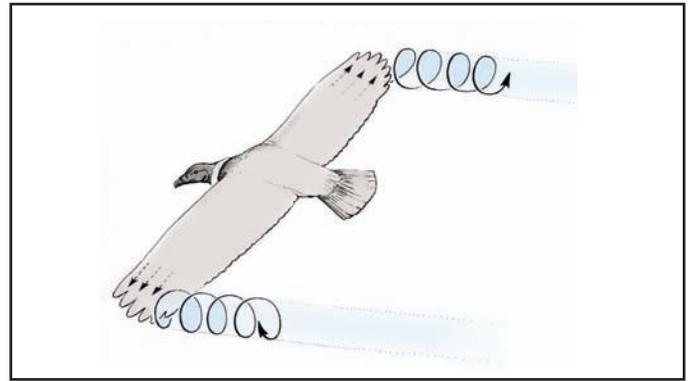


Abb. 1-14. Wirbelbildung im Bereich der Flügelspitzen bei einem Vogel im gleichförmigen Gleitflug.

Anders verhält es sich bei Vögeln, die beispielsweise über dem Meer einem stetigen, teilweise starken Wind ausgesetzt sind. Hier ist die **Luftgeschwindigkeit** hoch, die Flügel entsprechend schmal. Diese Vögel können auch bei geringeren Windgeschwindigkeiten nicht langsam gleiten, weil der Auftrieb aufgrund der vergleichsweise kleineren Flügelfläche sonst zu gering wäre. Typische Vertreter hierfür sind der Albatros (Abb. 1-12) oder verschiedene Möwenarten.

Viele kleinere Vögel, wie beispielsweise die Amsel, können aufgrund ihrer Flügelform nur schlecht gleiten. Diese sind für den Auf- und Vortrieb auf den Flügelschlag angewiesen, bewegen sich also vor allem mit dem so genannten **Schlagflug** fort (s. u.).

In der strömenden Luft baut sich allerdings ein Widerstand auf, der den Vogel bremst. Das Verhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand ist im Idealfall in der Größenordnung von 10:1 (Abb. 1-11).

Alle Überlegungen gelten jedoch nur unter der Bedingung, dass die Luft laminar über den Flügel strömt und diesem dabei möglichst eng anliegt. Durch **Wirbelbildung** auf der Oberseite des Flügels wird der Auftrieb ganz erheblich reduziert. Mit steigendem Anstellwinkel nehmen nicht nur der Auftrieb und der Widerstand, sondern auch die Gefahr der Wirbelbildung zu, sodass dieser etwa  $15^\circ$  maximal nicht übersteigen kann. Bei größeren Winkeln würde sich der Luftstrom gänzlich vom Flügel ablösen und der Auftrieb gingschlagartig verloren.

Mit verschiedenen Mechanismen kann der Vogel eine allfällige Wirbelbildung allerdings möglichst weit an den kaudalen Flügelrand verlagern. Eine Möglichkeit ist die **Alula (Eckfittich)**, die den Luftstrom an die Flügeloberfläche andrückt. Dies erhöht die **Strömungsgeschwindigkeit** im kritischen Bereich an der Vorderkante des Flügels. Dadurch kann auch bei einem etwas höheren Anstellwinkel die Wirbelbildung auf der Flügeloberfläche verhindert werden (Abb. 1-13).

In der elastischen Nachgiebigkeit der Deckfedern liegt eine weitere Möglichkeit, das Ablösen des Luftstroms am Flügel möglichst weit kaudal zu verlagern. In diesem Fall passt sich die Oberfläche des Flügels in gewissen Grenzen der abweichenden Strömung an (Abb. 1-13).

Durch die **Druckunterschiede** zwischen der Unter- und Oberseite des Flügels entsteht eine Luftströmung vom Körper

des Vogels nach außen (Abb. 1-14). Bei einem ruhig gleitenden Vogel führt dies im Bereich der Flügelspitze zu einem Luftwirbel, wodurch eine gewisse Luftmasse in Bewegung versetzt wird. Dieser Vorgang erzeugt eine Bremswirkung und damit den Verlust an kinetischer Energie. Die Luftwirbel treten abhängig von der Art des Flugs in verschiedener Form auf (s. u. »Schlagflug« u. Abb. 1-15). Sie führen in jedem Fall zu einem Flugwiderstand, der den Vortrieb der Bewegung reduziert.

Der **Schlagflug**, auch **Ruderflug** genannt, kommt durch das andauernde **Auf- und Abschlagen** der Flügel zu Stande. Dabei wird durch die Abwärtsbewegung bei positivem Anstellwinkel eine hohe Luftgeschwindigkeit über dem Flügel erzeugt. Diese führt wie beim Gleitflug zu einem Auf- und Vortrieb. Der **Aufschlag** ist im einfachsten Fall nur dazu notwendig, den Flügel für einen neuen Abschlag in Position zu bringen. Dazu wird der Flügel teilweise gebeugt, um die Fläche zu verringern. Dies ist für Kleinvögel mit ihrem so genannten Wellenflug charakteristisch.

Bei **schnellem Flügelschlag** mit Frequenzen um 20 Hz bewegt sich das Tier aufwärts. Anschließend legen die Vögel die Flügel an, die Flugmuskeln legen eine Ruhephase ein, sie verlieren an Flughöhe und kommen trotzdem mit hoher Geschwindigkeit weiter. Nach einiger Zeit beginnt wieder der schnelle Flügelschlag und die Tiere gewinnen wieder an Flughöhe.

Bei **Vogelarten mittlerer Größe**, wie Taube, Möwe oder Habicht, erzeugt der Flügelabschlag ebenfalls einen hohen Auftrieb bei mäßigem Vortrieb. Durch ihre Körpergröße mit den entsprechenden Trägheitsmomenten liegt die Schlagfrequenz zwischen 3 und 10 Hz. Diese Vogelarten müssen deshalb wegen der höheren Körpermasse auch den Aufschlag des Flügels für den Auftrieb nutzen. Dies gilt insbesondere für den **Steigflug**. Dabei werden vor allem die Handschwingen durch Beugung des Flügels näher an den Körper gebracht und durch den Luftdruck gedreht. Aufgrund der asymmetrischen Federfahnen werden dadurch die Spalten zwischen den Federn aufgespreizt und von Luft durchströmt. Auf diese Weise wirkt jede Handschwinge für sich wie eine kleine Tragfläche und erzeugt Auf- und Vortrieb.

Im **Horizontalflug** mit einer höheren Geschwindigkeit streicht die Luft über den gesamten, gestreckten Flügel, so-

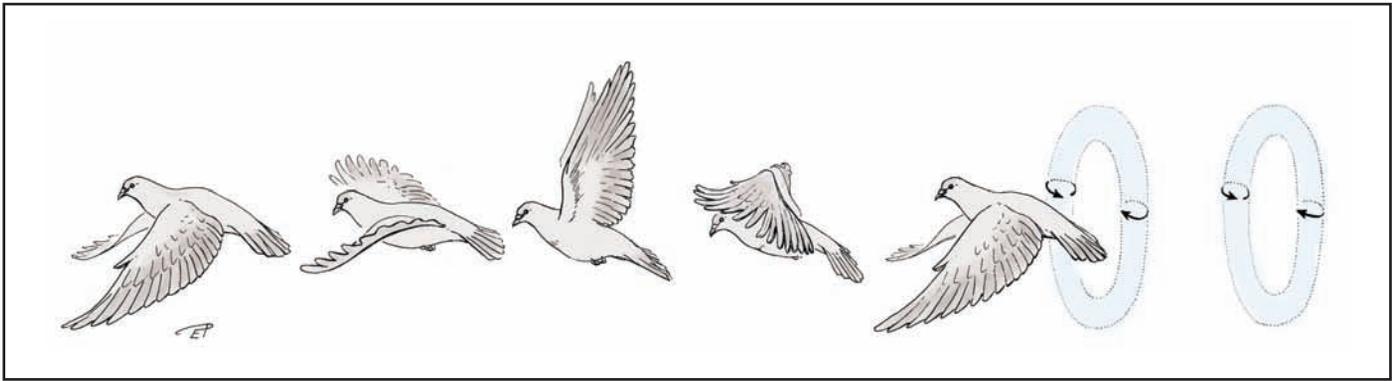


Abb. 1-15. Schematische Darstellung der Phasen beim Schlagflug der Taube. Rechts sind die zirkulären Luftwirbel eingezeichnet, die nach jedem Abschlag entstehen.

dass jetzt auch die Armschwingen in jeder Schlagphase zur Fortbewegung beitragen.

Wie beim Gleitflug ist auch beim Schlagflug ein **Druckgefälle** zwischen Unter- und Oberseite des Flügels ausgebildet. Daher gelten die gleichen Überlegungen im Hinblick auf die Wirbelbildung auch in bewegter Luft. Je nach Form der Flügel und Fluggeschwindigkeit entsteht dabei ein kontinuierlicher Wirbelstrom, der allerdings aufgrund der Schlagbewegungen als Zickzacklinie ausgeformt ist. Die Flügel von Möwe oder Taube beispielsweise erzeugen damit im schnelleren Flug in jeder Phase der Flugbewegungen Auf- und Vortrieb. Anders verhält sich dies bei kleinen Singvögeln oder langsamer fliegenden Tauben, die nur mit dem Abschlag für die Fortbewegung sorgen. Hier entstehen **geschlossene Luftwirbel** (Abb. 1-15).



Abb. 1-16. Schwirrflug eines Juan-Fernandez-Kolibris (*Sephanoides fernandensis*), Aufnahme Prof. Dr. Daniel Gonzalez-Acuna, Chillan, Chile.

Eine Sonderform des Ruderfluges ist der **Rüttelflug**, wobei der Vogel auf der Stelle verharrt, dabei kann entweder ein Gegenwind ausgenutzt werden oder der Flügelschlag allein bewirkt den Auftrieb. Auf diese Weise lauert beispielsweise ein Falke über seiner Beute und stürzt sich im günstigsten Moment mit angewinkelten Flügeln in die Tiefe.

Als extremer Rüttelflug gilt der **Schwirrflug der Kolibris**, dabei führen die Tiere 30–50 Flügelschläge pro Sekunde aus (Abb. 1-16). Der Körper steht dabei annähernd senkrecht, die Flügel schlagen nach vorne und hinten. Beim Abschlag wird der Flügel mit positivem Anstellwinkel nach vorne geführt und erzeugt Auftrieb. Am Ende des Abschlags wendet der Flügel, die Oberseite wird jetzt nach unten gekehrt. Dadurch bleibt der Anstellwinkel auch beim Aufschlag positiv und hilft, den Vogel in der Luft zu halten. Die Flügelspitze beschreibt im Verlauf eines Schlagzyklus eine liegende Acht.

### Fortbewegung zu Lande und zu Wasser

Während bei den meisten Vögeln die bei anderen Wirbeltieren selten vorkommende Bewegungsfähigkeit im Luftraum perfekt ausgebildet ist, beschränkt sich bei manchen Vogelarten die Fortbewegung auf das Land bzw. auch das Wasser. Außergewöhnliche Leistungen beim Laufen kommen vor allem Vertretern der Ordnung der Struthioniformes (»Laufvögel«) zu, gute Schwimmer und Taucher finden sich in mehreren Ordnungen.

Die Ordnung **flugunfähiger Laufvögel** besteht aus den Straußen, Nandus, Emus, Kasuaren und Kiwis. Zusammen mit bereits ausgestorbenen Arten (Elefantenvögel, Moas) werden die Struthioniformes als Ratiten bzw. manchmal auch als Acarinated bezeichnet. Dieser Name leitet sich vom lateinischen Wort »ratis« (= kielloses Wasserfahrzeug) ab, welches das im Gegensatz zu den fliegenden Vögeln »carina(kiel)lose« Brustbein dieser Artengruppe beschreiben soll.

Zur engeren Verwandtschaft der Struthioniformes sind die Steiþhühner (Tinamiformes) zu rechnen, die jedoch fliegen können. Die Flugunfähigkeit kommt nicht nur bei Vertretern der Struthioniformes vor; so ist bzw. war z.B. den Pinguinen, dem Galapagoskormoran, dem ausgestorbenen Riesenalk sowie den beiden neuseeländischen Arten Kakapo (Eulenpapa-

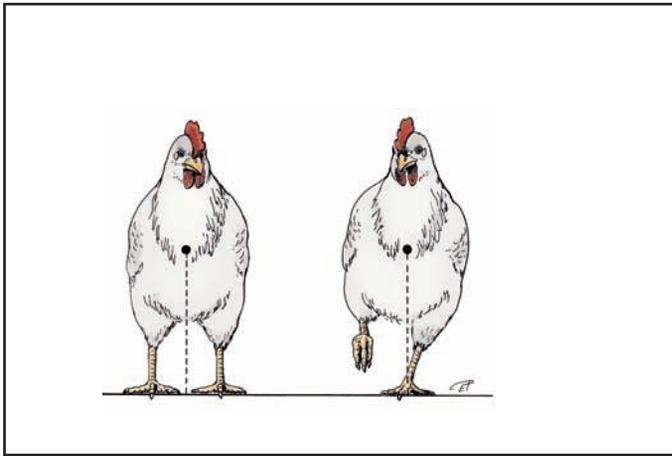


Abb. 1-17. Darstellung korrespondierender Bewegungsphasen im Schritt (Haushuhn, von vorne).

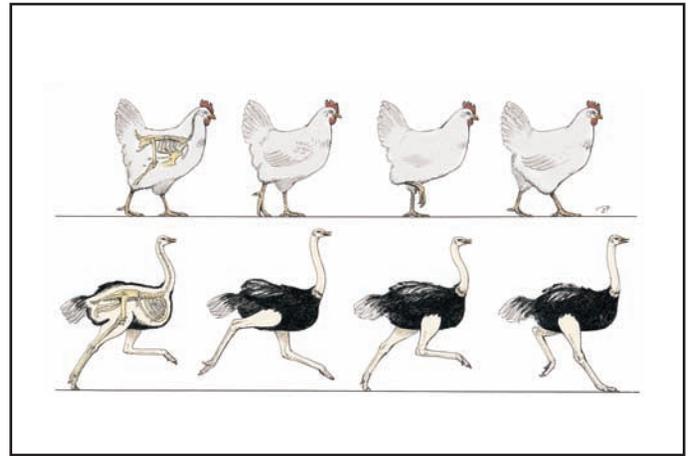


Abb. 1-18. Darstellung korrespondierender Bewegungsphasen im Schritt (Haushuhn, oben) und im Lauf (Afrikanischer Strauß, unten).

gei, *Strigops habroptilus*) und Takahe (*Porphyrio mantelli*, ein Rallenvogel) der Luftraum verwehrt.

Wenn es auch viele Vogelarten gibt, die zumindest als »gute Fußgänger« bezeichnet werden können, so kommt doch nur wenigen Arten wie dem Erd- oder Wegekuckuck (engl. [greater] roadrunner), dem Emu oder dem Afrikanischen Strauß das Attribut »guter Läufer« zu. Generell wird bei den bipeden, digitigraden Vögeln beim Gehen bzw. Laufen die rechte und die linke Hinterextremität alternierend vorgeführt und die Hangbeinphase des einen Beines wechselt sich mit der Stützbeinphase des anderen Beines ab. Daneben gibt es noch die Fortbewegung des Springens bzw. Hüpfens, bei welcher beide Beine gleichzeitig gestreckt werden. Manche Arten, wie z.B. die heimische Amsel, bewegen sich terrestrisch nur hüpfend fort, während der Haussperling neben dem Hüpfen auch das Laufen im Repertoire hat.

Der **Strauß** kann eine Spitzengeschwindigkeit von 80 km/h erreichen (Emu: ca. 50 km/h) und hohe Geschwindigkeiten auch über den Zeitraum von etwa einer halben Stunde aufrechterhalten. Somit wird die Laufleistung von Rennpferden durchaus übertroffen und der Strauß ist das schnellste (aus eigener Antriebskraft!) bipede Lebewesen.

Alle Organsysteme müssen auf diese Hochleistung ausgelegt sein, im Besonderen trifft das natürlich auf die **Hinterextremitäten** zu. Die Extremitäten der großen Laufvogelarten (Emu, Kasuar, Nandu, Strauß) weisen in ihrem Bau, ihren Proportionen und in der Stellung der Gelenke viele Gemeinsamkeiten auf. Bei diesen Vogelarten liegt der **Körperschwerpunkt medial des distalen Femurendes**. Ein Viertel der Körpermasse und mehr nimmt allein die Muskelmasse der Hinterextremität ein. Ein Großteil dieser Muskelmasse liegt rumpfnah im proximalen Bereich der Gliedmaße und

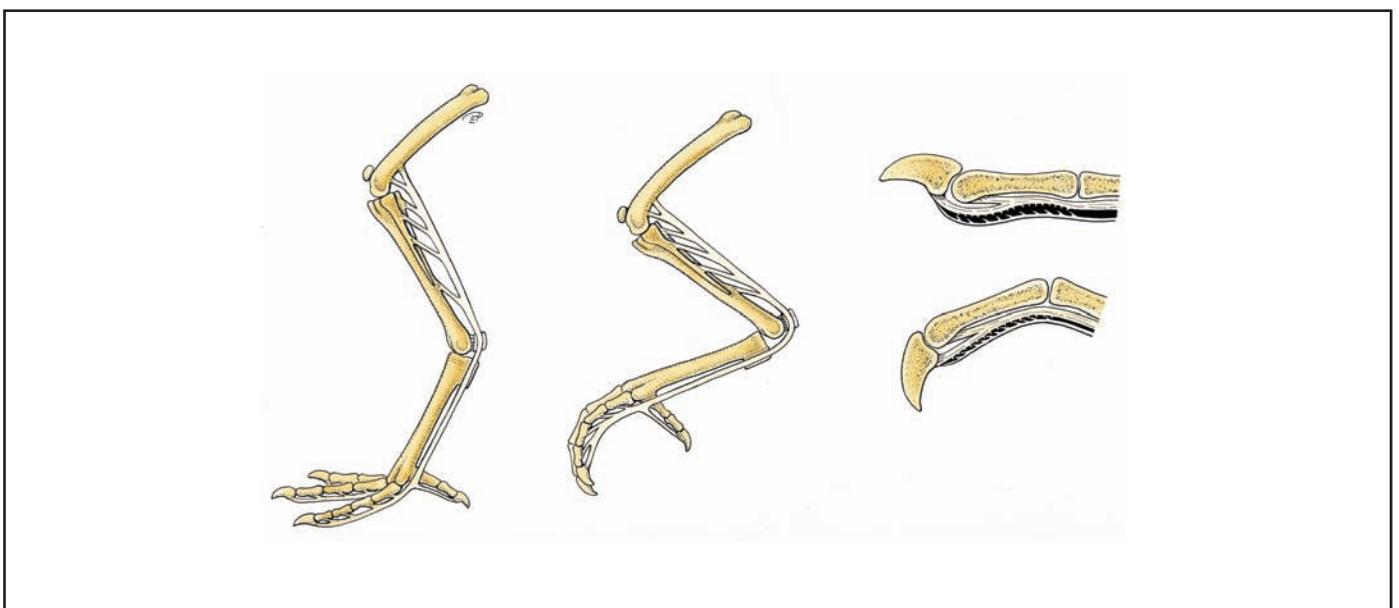


Abb. 1-19. Zehenbeuge- (links) und Sehnensperremechanismus (rechts) an der Hinterextremität des Haushuhnes: Kombination des Intertarsalgelenkes und der Zehengelenke. Fortsätze an den Beugesehnen greifen in Falten der Sehnenscheiden.



**Abb. 1-20.** Kaiserpinguine (*Aptenodytes forsteri*) sind trotz ihrer Körpergröße von bis zu einem Meter geschickte Schwimmer und Taucher, Aufnahme T. Angermayer, Tierpark Hellabrunn, München.

somit nahe dem Drehpunkt derselben (= Hüftgelenk). Dies hat einen energetisch günstigen Einfluss auf die pendelartigen Bewegungen der Hinterextremität während des Laufens bzw. auf die Beschleunigung. Für eine raumgreifende Vorwärtsbewegung werden hauptsächlich die distalen Gelenke der Extremität eingesetzt.

**Höhere Geschwindigkeiten** werden bei großen Laufvögeln durch eine Erhöhung der Frequenz des Bewegungszyklus, eine Verminderung der Dauer des Auffußens und eine Vergrößerung der Schritttiefe erreicht. Das Os femoris der großen Laufvögel ist kurz, die distalen Extremitätenteile sind – wie auch bei quadrupeden Lauftieren – verhältnismäßig lang. Es muss aber angemerkt werden, dass nicht Lauf-, sondern Watvögel die längeren Hinterextremitäten besitzen. Ab etwa der Mitte des Unterschenkels sind lediglich Sehnen als Teile des aktiven Bewegungsapparates ausgebildet, in denen auch elastische Energie gespeichert werden kann.

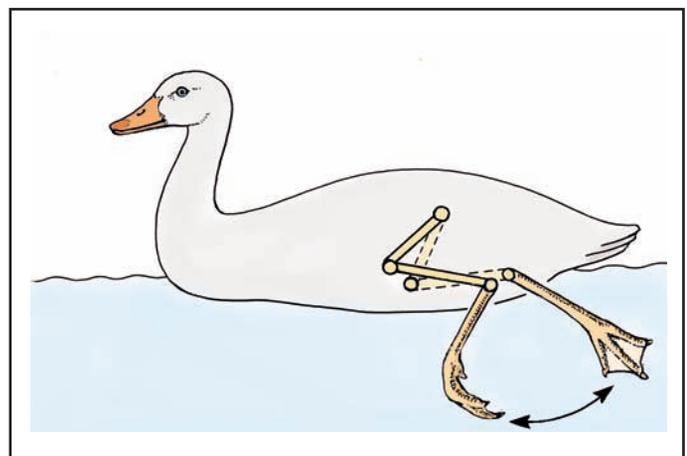
Allgemein wird bei Vögeln die **Verschmelzung** von Tarsal- und Metatarsalknochen zum **Tarsometatarsus** als Anpassung an die Fortbewegung an Land angesehen (vgl. Metacarpus bzw. Metatarsus der Paarhufer). Beim Strauß als einziger Vogelart ist die Anzahl der Zehen auf zwei reduziert (3. und 4. Zehe) und die proximale Phalanx steht nicht in Bodenkontakt. Die verkleinerte Fußungsfläche bringt ähnlich wie bei den Huftieren Vorteile bei der **Beschleunigung** und der **Aufrechterhaltung hoher Geschwindigkeiten**. Eine weitere evolutionäre Reduktion der Zehenzahl ist beim Strauß nicht zu erwarten, da die kleinere 4. Zehe zum Ausbalancieren Verwendung findet. Knie-, Intertarsal- und Metatarsophalangealgelenke sind über Muskeln bzw. deren lange Sehnen obligat kombiniert. Wie bei quadrupeden Lauftieren kann dies mit einer Optimierung der Ganggenauigkeit und



**Abb. 1-21.** Stockente (*Anas platyrhynchos*) mit Küken, die bereits unmittelbar nach dem Schlupf äußerst geschickte Schwimmer sind.

wohl auch mit einer gewissen Energieersparnis während der Fortbewegung in Einklang gebracht werden.

Das »**Sitzen**« der Vögel unterscheidet sich bekanntlich fundamental von der gleichnamigen Tätigkeit beim Menschen oder anderen Säugetieren (z.B. Hunden oder Bären). Bei vielen Vogelarten kann durch den Einsatz des **Zehenbeugemechanismus** (bei Beugung des Intertarsalgelenkes werden die Beugesehnen der Zehen gespannt und dadurch z.B. ein Ast umfasst) und des so genannten **Sehnensperremechanismus** (Beugesehnen werden durch die umgebenden Sehnencheiden in ihrer Lage fixiert) Energie eingespart werden,



**Abb. 1-22.** Beim ruhigen Schwimmen findet die Hauptbewegung im Intertarsalgelenk statt. Beim Vorwärtsschwimmen werden die Zehen während der Streckung des Intertarsalgelenkes gespreizt und die Schwimmhäute somit gespannt.



**Abb. 1-23.** Der Krauskopfpelikan (*Pelecanus crispus*) hat – wie alle Pelikanarten – einen stark dehnbaren Kehlsack zwischen den Unterkieferästen, den er bei der Jagd wie einen Kescher verwendet.



**Abb. 1-24.** Graureiher (*Ardea cinerea*) stoßen bei der Jagd mit ihrem langen spitzen Schnabel blitzschnell zu und »erdolchen« erbeutete Fische regelrecht, Aufnahme PD Dr. Petra Kölle, München.



**Abb. 1-25.** Der Marabu (*Leptoptilos crumeniferus*) ist ein Aasfresser, der mit seinem mächtigen keilförmigen Schnabel die Bauchdecke von verendeten Tieren aufhackt, Aufnahme PD Dr. S. Reese, München.



**Abb. 1-26.** Die großen farbenfrohen Schnäbel der Tukane, wie dem Weißbrusttukan (*Ramphastus tucanus*), können deren Körperlänge übertreffen.



**Abb. 1-27.** Beim dunkelroten Ara oder Grünflügelara (*Ara chloroptera*) sind – wie bei allen eigentlichen Aras – die seitlichen Kopfflächen weitgehend unbefiedert. Aras sind sehr gesellige und intelligente Vögel. Ihr relatives Gehirngewicht ist unter allen Vogelarten mit am höchsten, Aufnahme Prof. Dr. Sabine Kölle, Gießen.

die ansonsten zur Aufrechterhaltung der Sitzstellung aufgewendet werden müsste. Vögel, die an das **Klettern** angepasst sind, bewegen sich auch unter Zuhilfenahme des **Schnabels** (Papageien), der **Schwanzfedern** (Spechte) oder der **Flügel** (Hoatzin) fort.

Die Hauptbewegung der Hinterextremität beim ruhigen **Schwimmen** wird im Intertarsalgelenk vollführt (Abb. 1-22), wobei viele Vogelarten die Beine abwechselnd zum Einsatz bringen. Beim Vorführen der Extremität werden die Zehen gebeugt und aneinandergelegt, wodurch auch die Schwimmhäute zusammengeklappt werden. Der Sehensperremechanismus kommt auch bei einigen schwimmenden Vögeln vor, wo er offensichtlich die Schwimmbewegung unterstützt. Zum Tauchen werden abhängig von der Vogelart Bein- und/oder Flügelbewegungen eingesetzt.

## Verdauungsorgane

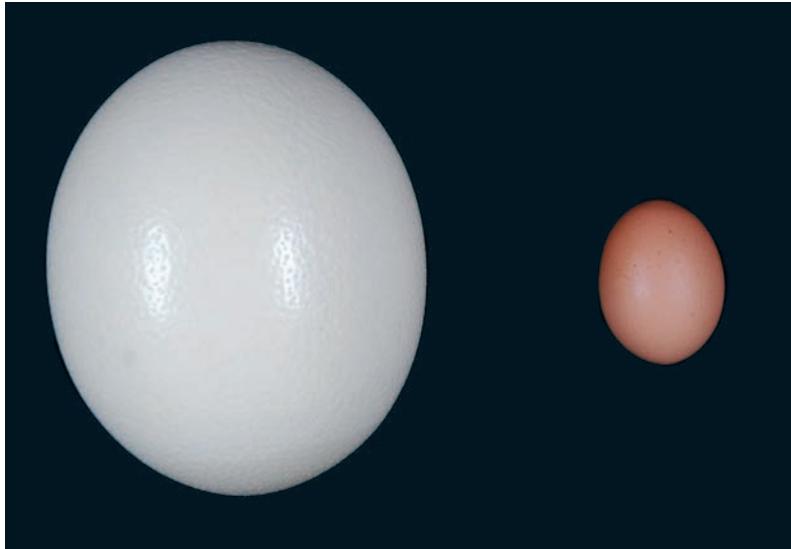
Auch die Organe des Verdauungsapparates passen sich der Zusammendrängung der Massen möglichst nahe am Schwerpunkt des Körpers an. Statt der schweren zähnebesetzten Kiefer hat sich der **leichte Schnabel** ausgebildet. Einige Vögel, wie Tukane und Nashornvögel, besitzen **überdimensionierte Schnäbel** (Abb. 1-26). Hier allerdings trägt der Schein, denn diese imposanten Gebilde sind leicht und von pneumatisiertem, schwammigem Knochengerüst durchsetzt.

Der Oberschnabel ist am Hirnschädel so befestigt, dass eine mehr oder weniger umfangreiche Bewegung möglich ist. Der **Unterschnabel** ist gegen den Schädel **frei beweglich**. Dadurch, dass Ober- und Unterschnabel gegeneinander bewegt werden können, ist ein sicheres, pinzettenartiges Greifen möglich.

Die **Schnabelform** ist der **Ernährungsweise angepasst** (Abb. 1-24 bis 27). Der gerade **spitze Schnabel** ist zum **Insektenfang** wie zum Sammeln von **Samen** und **Beeren** geeignet. Der Schnabel der **Spechte** ist am Hirnschädel abgefiedert befestigt, sodass die Erschütterungen, die beim Schlag auftreten, abgefangen werden. Spechte können in hartes Holz tiefe **Löcher meißeln**, um an dort lebende Insekten heranzukommen. Den **kräftigsten Körnerfresserschnabel** unter den europäischen Vögeln besitzt der **Kernbeißer**. Seine Kiefern-muskulatur ist so stark, dass er mühelos Kerne von Kirschen und Oliven knacken kann.

Auch **Greifvögel** haben eine **kräftige Kiefern-muskulatur**. Mit ihren Hakenschnäbeln zerreißen sie ihre oft große Beute in kleine, abschluckbare Stücke. Die meisten **Enten** und **Gänse** haben **breite Schnäbel**, die sich gut zum Abrupfen von Pflanzen eignen. Die Schnäbel der Säger sind lang und schlank. Ihre Ränder sind **sägenartig gezähnt**. Sie können damit bei der Fischjagd die schlüpfrige Beute festhalten. Säbelschnäbler »durchsäbeln« mit dem aufgebogenen, leicht geöffneten Schnabel das seichte Wasser. Sobald sie dabei gegen eine Beute stoßen, schnappt der Schnabel zu. Beim Löffler geht dieses **Zuschnappen** blitzschnell. Es ist eine der schnellsten Reflexbewegungen im Tierreich.

**Hochspezialisierte Schnäbel** besitzen Flamingos und Pelikane. Die Flamingos halten den Schnabel als Filter mit der Oberseite nach unten ins Wasser. An den Schnabelrändern sitzen **bürstenartig dichte Hornborsten**, mit denen feine Nahrungspartikel, Krebschen und Algen reusenartig zurückgehalten werden. Die Pelikane stoßen mit **geöffnetem Schnabel** nach Fischen und biegen dabei die Unterschnabel-seiten, sodass ein Kescher mit weiter Öffnung entsteht (Abb. 1-23). Sobald ein Fisch in diese Falle gerät, federn die Unter-



**Abb. 1-28.** Größenvergleich: links Ei eines Afrikanischen Straußes, rechts Ei eines Haushuhnes. Die Anzahl und das Verteilungsmuster der Schalenporen werden z.B. bei Greifvögeln als individuelles Erkennungsmuster herangezogen.

schnabeläste zurück und der Oberschnabel klappt zu. Die aufgenommene Nahrung wird meist gleich nach hinten (in die Nähe des Schwerpunktes) in den Kropf abgeschluckt.

Vor allem **Samen-** und **Körnerfressern** dient der **Kropf als Sammelbehälter**. Einige Seevögel oder die Segler tragen ihren Jungen im Kropf die Nahrung über große Entfernungen herbei. Tauben und Flamingos füttern ihre Jungen in den ersten Lebenstagen mit einer nährstoffreichen Flüssigkeit, die bei den Tauben im Kropf (**Kropfmilch**), bei den Flamingos dagegen von Drüsenbezirken in der Speiseröhre gebildet wird.

Vögel haben einen **Drüsen-** und einen **Muskelmagen**. Im **Drüsenmagen** leiten Pepsin und Salzsäure die Eiweißverdauung ein. Im anschließenden **Muskelmagen** werden harte Blätter, Gräser, Körner und Insekten zwischen Press- und Reibplatten zerdrückt oder zermahlen. Viele Vögel nehmen zur Unterstützung der Muskelmagentätigkeit noch **Magensteinchen** auf. Fisch- und fleischfressende Vögel benötigen keine Pressmuskeln. Bei manchen Fruchtfressern ist der Muskelmagen ebenfalls zurückgebildet. Manche Vögel nehmen große Nahrungsmengen auf, die aber den Verdauungstrakt sehr schnell passieren.

Der **Dünndarm** hat bei **Körner-** und **Zellulosefressern** eine **beträchtliche Länge**, bei **Fleischfressern** und bei Vögeln, die von weichen Insekten leben, ist er **kürzer**. Am Ende des Dünndarms münden die **beiden Blinddärme**, sie sind meist kurz, aber nur selten zu einem zurückgebildet. Lediglich Strauß, Huhn und Ente haben besonders lange Blinddärme, die vermehrt zellulosespaltende Bakterien enthalten.

Der **Enddarm**, auch Rectum genannt, mündet in die **Kloake**. In deren erstem Teil, dem **Coprodeum**, erfolgt die Rückresorption des Wassers. Diese kann so effektiv sein, dass z.B. manche Lerchen überhaupt nicht zu trinken brauchen.

## Atmungsorgane

Die Atmungsorgane der Vögel sind auffällig leicht und sehr wirkungsvoll. Die **Vogellunge** nützt die **Atemluft besser** aus

als die anderer Wirbeltiere. Die Luft fließt nirgends in Sackgassen, sie durchströmt ein durchgängiges System **feinster Röhrrchen**. Aus den Bronchien fließt die Luft auf der Ventralseite der Lunge in die **Luftsäcke**.

Der **Gasaustausch** findet in unterschiedlichen Lungenbezirken sowohl beim **Einatmen**, auf dem **Weg zu den Luftsäcken**, als auch beim **Ausatmen** statt.

Mit den Atmungsorganen hängen die **Lautäußerungen** der Vögel zusammen. Im oberen Kehlkopf werden Laute wie Zischen und Fauchen erzeugt. An der Teilungsstelle der Trachea in die Bronchien, in der **Syrinx**, entstehen die meisten Töne, die den typischen Gesang der Vögel darstellen (Abb. 7-10 bis 12). **Tiefe Töne** hängen auch mit der **Länge der Trachea** zusammen. Bei Schwänen und Kranichen ist die Luftröhre mehrfach in Schlingen gelegt. Beim Singschwan sind diese innerhalb des Brustbeins, bei der Spaltfußgans außerhalb des Brustbeins, zwischen der Haut und der Brustmuskulatur lokalisiert. **Ausstülpbare, aufblasbare Hautsäcke** besitzt das Präriehuhn. Rotgefärbte Hautsäcke werden von männlichen Fregattvögeln im Halsbereich während der Balz ausgestülpt und zu imposanten Säcken aufgeblasen.

## Harn- und Geschlechtsapparat

Die Vögel besitzen ein sehr wirkungsvolles **Exkretionssystem**. Ihre **Nieren** produzieren eine wässrige **Harnsäurelösung**. Im Enddarm wird auch aus dem Harn ein Großteil des Wassers rückresorbiert. Die entwässerte Harnsäure bildet den für den Vogelkot typischen weißen Belag. Dieses »Wasserrecycling« ermöglicht den Vögeln, auch über lange Flugstrecken ohne zu trinken auszukommen.

Aus Gründen der **Gewichtersparnis fehlt** bei den Vögeln eine **Harnblase**. Aus dem gleichen Grund sind bei den meisten Vogelarten gewöhnlich nur **ein Eierstock** und **ein Eileiter** ausgebildet. Der Eierstock, in dem sich die gewichtsträchtigen Dotterkugeln entwickeln, ist in die Schwerpunktmitte des Körpers platziert. Die gleiche Position nehmen auch



Abb. 1-29. Eier von Tero Tero (*Vanellus chillensis*) (links), Goldschulterstärling (*Agelaius thilius*) (Mitte) und Rohrschlüpfer (*Pheocryptes melanops*) (rechts), Aufnahme Prof. Dr. Daniel Gonzalez-Acuna, Chillan, Chile.

die paarigen Hoden ein, die während der Reproduktionsperiode sehr an Gewicht zunehmen können.

## Vogelei und Brutdauer

Bei den meisten Arten legt das Weibchen nach der Paarung die befruchteten Eier innerhalb einiger Tage bis Wochen. Es treten Vogelarten mit Gelegegrößen von nur einem oder über 20 Eiern auf, bei Singvögeln beträgt die **Gelegegröße** in der Regel 5–8 Eier.

Die **Brutdauer** der verschiedensten Vogelarten und -gattungen kann zwischen etwa 10 Tagen und 3 Monaten betragen.

Das **Haushuhn** legt seine Eier im Abstand von 1–2 Tagen. Die Brutpflege setzt erst ein, wenn nach etwa 3–4 Wochen das Nest gefüllt ist. Die Henne verlässt das Nest nur noch ein- bis zweimal täglich, um Nahrung und Wasser aufzunehmen. Bedingt durch die gleichmäßige, dauerhafte Erwärmung der Eier durch die Henne, verläuft die Entwicklung aller bebrüteten Küken im Ei nahezu synchron. Demzufolge schlüpfen alle Küken etwa gleichzeitig nach 21 Tagen. Die Kükenaufzucht übernimmt allein die Henne, die die Küken bis zu deren Eigenständigkeit führt und vor Unterkühlung schützt.

Das **Brutverhalten** ist angeboren, auch Hennen aus Legebatteriehaltung zeigen das Verhalten, sofern ihnen die Möglichkeit zum Nestbau gegeben wird, sie das Nest mit Eiern belegen und diese ausbrüten können.

Das **Wellensittich-Weibchen** legt seine Eier im Abstand von etwa 2 Tagen und brütet bereits ab dem ersten. Die Jungen schlüpfen nach drei Wochen dann ebenfalls im Abstand von 2 Tagen. Die Fütterung erfolgt mit vorwiegend eiweißreicher Nahrung durch die Henne. In der Regel verbringen die Jungvögel die ersten 4 Wochen im Nest, später beteiligt sich der Hahn ebenfalls an ihrer Aufzucht. Mit circa 5 Wochen fliegen die Jungvögel aus.

Das **Brutverhalten** bei anderen Vogelarten ist sehr unterschiedlich. Bei den meisten Vogelarten in Europa beträgt die Dauer der Brut in der Regel 2–4 Wochen. Bei der über-

wiegenden Zahl der Singvögel sind es etwa 2 Wochen. Die Brutdauer kann bei einigen Vogelgattungen jedoch etwa um die Hälfte kürzer sein, aber auch 3- bis 4-mal länger. Sie hängt nur wenig von der Größe der Tiere ab, von der Gelegegröße überhaupt nicht. Die Brutpflege wird in der Regel von Weibchen und Männchen gemeinsam übernommen.

Ob Hennen die Eier in einem Nest ausbrüten, hängt von Rasse, Tageslichtlänge und Umgebungstemperatur ab. Der Bruttrieb, gebunden an den Spiegel des Hormons Prolaktin im Blut, wird durch den 12-Stunden-Tag-Rhythmus gefördert, ebenso durch den Druck der Vielzahl an Eiern (bis zu 30) gegen den Unterbauch der Henne. Der Bruttrieb endet nach 21 Tagen oder mit dem Piepsen der ersten Küken.

Dagegen unterscheidet sich das Brutverhalten bei großen Laufvögeln. Einige lassen die Eier von der Sonne ausbrüten, bei anderen übernehmen die Männchen die Brutpflege. Das Nandu-Männchen versorgt beispielsweise allein die Brut und die Aufzucht der Küken. Die Weibchen wandern ab und paaren sich mit weiteren Männchen.

Das **Vogelei** – in **Farbe** und **Struktur** charakteristisch für die jeweilige Vogelart – wird von einer **kalziumhaltigen Schale (Eischale, Kalkschale)** bedeckt.

Die **Farbe der Kalkschale des Hühnereis** ist genetisch bedingt. Eier mit weißer Schalenfarbe werden von vorwiegend leichten Mittelmeer- und nordwesteuropäischen Rassen gelegt, ebenso beispielsweise von Haubenhühnern und ihren Verwandten sowie von eigentlichen Zwerghühnern. Auch legen reinrassige Hühner mit weißen Ohrscheiben meist weiße Eier.

Demgegenüber stammen braune, gelbliche oder gelbe Eier überwiegend von mittelschweren bis schweren, sog. asiatischen Rassen. Diese Hühner weisen als Kennzeichnung meist rote Ohrklappen auf. Grüne Eier werden von den Araukaner-Hühnern Südamerikas gelegt.

Für die Farbe der Schale sind **3 Pigmente** verantwortlich, **Biliverdin** für die Blautöne, **Protoporphyrin** für die rotgelbbraunen Töne und ein **Komplex aus Zink und Biliverdin** für Grüntöne. Entscheidend für die Farbe der Schale ist allein,



Abb. 1-30. Auge eines Magellan-Uhus (*Bubo magellanicus*), Aufnahme Prof. Dr. Daniel Gonzalez-Acuna, Chillan, Chile.

in welchem Verhältnis diese 3 Pigmente von den Zellen des Uterusepithels sezerniert werden.

Man geht meist davon aus, die spezifische Farbe der Kalkschale diene allein der **Tarnung** der Eier, die Pigmentierung würde die Eier gegenüber Räubern weniger sichtbar machen. Kürzlich wurde diese Annahme durch weitergehende Erkenntnisse ergänzt. Danach dienen beispielsweise die rotbraunen Punkte und Flecken der Eierschalen vieler Vögel nicht vorwiegend als Schutzfarbe, sondern tragen auch zur **Stabilisierung** bzw. zur **Erhöhung der Elastizität der Schalenwand** bei. Bei Sperlingsvögeln, die gewöhnlich

weiße Eier legen, treten manchmal unterschiedlich große braunrote Flecken auf. An diesen gefärbten Stellen ist die Eierschale dünner und elastischer als das restliche Schalenmaterial. Stöße können in diesen Bereichen besser abgefedert werden. Heute weiß man darüber hinaus, dass protoporphyrinhaltige Eischalen auftretendes Infrarotlicht besser reflektieren als das reine Weiß des Schalenkalks. Die Eier werden in diesem Fall durch das Sonnenlicht weniger aufgeheizt, es verdunstet weniger Wasser, dessen Verlust den heranwachsenden Embryo gefährden könnte.

## Herz und Kreislaufsystem

Das Herz-Kreislauf-System der Vögel ist dem der Säugetiere, bis auf kleine Unterschiede, ähnlich. Dagegen sind die Erythrozyten kernhaltig und ihre Anzahl ist sehr viel größer. Der Blutdruck ist höher als bei den Säugetieren und im Blutkreislauf hat sich das **Nierenportadersystem** der Reptilien erhalten.

## Gehirn und Sinnesorgane

Das Gehirn der Vögel ist im Verhältnis zum Körpergewicht fünf- bis zwanzigmal größer als bei den Reptilien. In seinem Aufbau ist es jedoch dem der Kriechtiere ähnlich. Innerhalb der Klasse der Vögel weisen **Strauße**, **Hühner** und **Tauben** die verhältnismäßig **kleinsten Gehirngewichte** auf, **Papa-geien** die **höchsten**. Besonders die **Schlappen** und das Kleinhirn der Vögel sind groß.

Die **Sinnesorgane** der Vögel, vor allem die Augen, sind, außer beim Kiwi, **besonders gut entwickelt** und – im Verhältnis zum gesamten Körper – **sehr viel größer** als bei den Haus-säugetieren. Die Muskeln, die der Bewegung der Augäpfel dienen sind schwach, dafür ist der Kopf der Vögel sehr beweglich.

Die **Augen** sitzen meist **seitlich**. Daher ist einerseits das **Gesichtsfeld der Vögel sehr groß**, andererseits jedoch **stereoskopisches Sehen** auf einen kleinen Bereich direkt nach

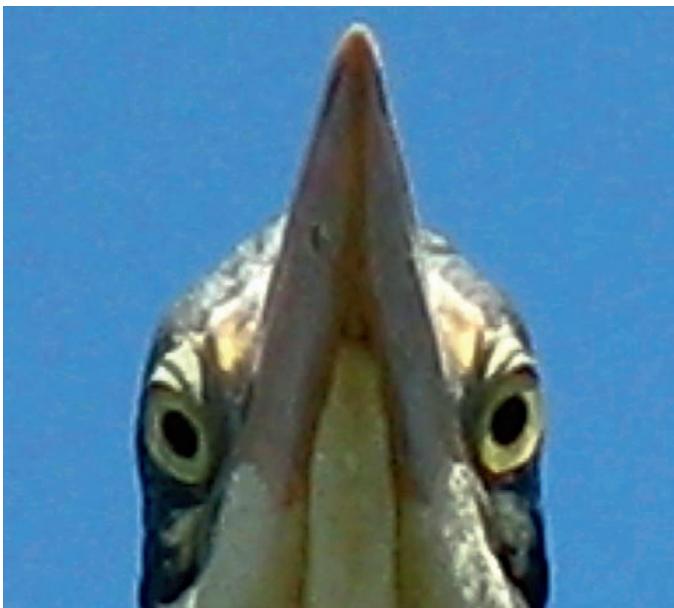


Abb. 1-31. Augenstellung eines Skoi-Reihers (*Arola cocoi*), Aufnahme Prof. Dr. Daniel Gonzalez-Acuna, Chillan, Chile.



Abb. 1-32. Kopf einer Sumpfohreule (*Asio flammeus*), Aufnahme Prof. Dr. Daniel Gonzalez-Acuna, Chillan, Chile.

vorne **beschränkt**. Dieser Bereich beträgt in der Regel nur sechs bis zehn Grad. Als Extrem ist hier der Brillenpinguin zu nennen, dessen Augen so stark seitlich gerichtet sind, dass jedes Auge nur die Bilder einer Seite empfangen kann. Vor allem für Bodenvögel, die von allen Seiten gefährdet sind, haben solche »Rundblickaugen« große Bedeutung. Als Gegenbeispiel seien die Augen von Eulen, Greifvögeln und einigen anderen Arten erwähnt, die nach vorne ausgerichtet sind und diesen Tieren so ermöglichen, **beidäugig sechzig bis siebzig Grad ihres Gesichtsfeldes** zu überblicken (Abb. 1-32).

Vögel und damit auch das Hausgeflügel vermögen durchaus **Farben** wahrzunehmen. Dabei wird der Farbigkeit und Buntheit der Gefieder, insbesondere bei männlichen Tieren, eine herausragende Signalwirkung zugesprochen. In welcher Form jedoch diese Farben in ein reelles Wahrnehmen und damit Sehen bei Vögeln transformiert werden, lässt sich bestenfalls vermuten. Die hohe Zahl an Rezeptorzellen in der Netzhaut von Vögeln spricht jedenfalls für eine optimale Wahrnehmung.

Haushühner, aber auch Tauben, vermögen vor allem Rot, Gelb und Grün zu erkennen, weniger dagegen Blau. Weitergehende Beobachtungen sprechen für den geringen Signalwert der Farbe Blau auch für zahlreiche andere Vögel, nicht aber bei allen Arten. Jedenfalls scheint der **Farbsinn der Vögel** sehr ausgeprägt zu sein und insbesondere im Gelb- und Laubgrünbereich zu liegen. Ob eine Beziehung zwischen dem Erkennen von Farbe und der Fähigkeit, UV-Strahlen wahrzunehmen, besteht, ist Gegenstand wissenschaftlicher Fragestellungen. Über die Wirkung der Farben von Federn ist bekannt, dass bei einigen Tieren das Federkleid UV-Strahlen reflektiert, bei anderen nicht. Diese werden dann auch nicht wahrgenommen. Jedenfalls spricht vieles dafür, dass Vögel die Fähigkeit besitzen, die Farbigkeit ihrer Umwelt anders und sicherlich differenzierter wahrzunehmen als der Mensch. Für die Fähigkeit zur Perzeption im UV-Bereich gilt dies für

Vögel als gesichert. Dies gilt vorrangig auch für das Erkennen der Farbe ihrer Eier, zumal eine stumpfe oder glänzende Oberflächenstruktur der Eischale auch die Reflektion von UV-Strahlen positiv oder negativ beeinflussen kann.

Der **Vogelzug** gehört zu den gewaltigsten Wanderungen, die man im Tierreich kennt. Seine Steuerung und die Orientierung während des Zuges sind bis heute noch nicht restlos geklärt. Offenbar wirkt die **Steigerung der Lichtmenge** über den Hypothalamus und die Hypophyse auf die inkretorischen Drüsen, sodass unter anderem die Schilddrüse angeregt und somit **Zugbereitschaft** ausgelöst wird. Diese steht fast immer mit dem **Ende der Mauser**, den damit verbundenen Änderungen im Stoffwechsel und dem Aufbau eines beachtlichen Fettpolsters in Zusammenhang.

Heute nimmt man an, dass die **Einstellung der Zugrichtung** dem Vogel angeboren ist. Viele Zugvögel scheinen sich nach einem sog. »**Sonnenkompass**« (polarisiertes Licht) zu rechtzufinden. Ist der Vogel erst einmal in die richtige Richtung abgeflogen, dann erkennt er den weiteren Weg. Wahrscheinlich orientieren sich Vögel anhand von **Landschaftsmarken**. Zu ihnen zählen Inseln, beispielsweise die Insel Helgoland oder andere bekannte Vogelinseln.

Dem **Gesichtssinn** kommt vermutlich die **Hauptrolle** während der Reise zu. Für Vögel, die bei Nacht ziehen, scheinen **Fixsterne** eine richtungsweisende Funktion zu haben. **Windrichtung** und **Geruchssinn** haben für die Orientierung wahrscheinlich ebenfalls Bedeutung. Jüngste Hypothesen gehen davon aus, dass Vögel während ihres Zuges mit dem **Magnetfeld der Erde** arbeiten. Hier stehen Beweise allerdings noch aus.

Vögel sehen aber nicht nur gut, sie haben auch einen ausgezeichneten **Gehörsinn**. Dieser ist in etwa mit dem des Menschen vergleichbar. Den Schall können Eulen am besten hören.

Der **Geruchssinn** spielt bei den meisten Vögeln keine sehr große Rolle. Bei einigen Enten und Gänsen, den Kiwis, einigen Geierarten und den Sturmvögeln ist der Geruchssinn



Abb. 1-33. Skelett eines Mäusebussards (*Buteo buteo*).

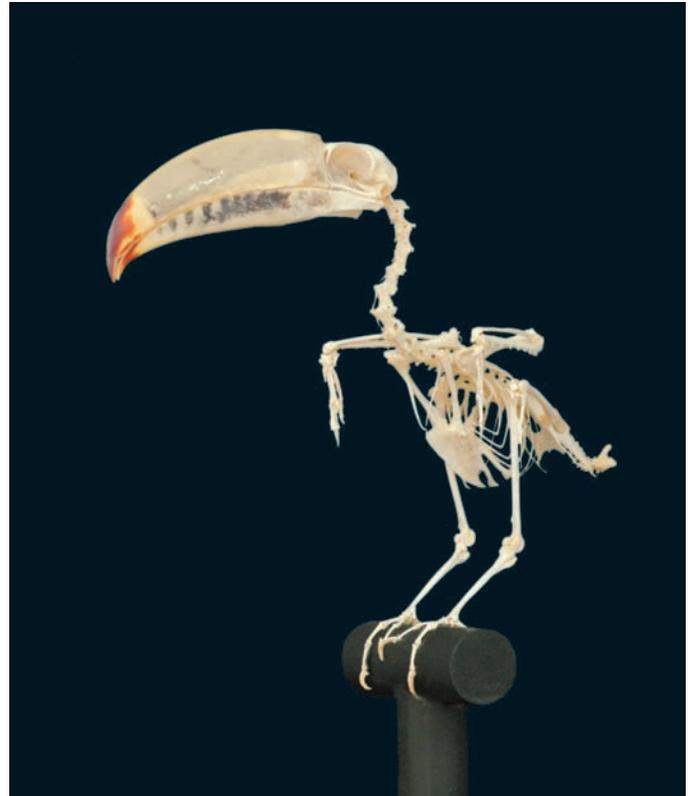


Abb. 1-34. Skelett eines Tukans (*Ramphastos*).

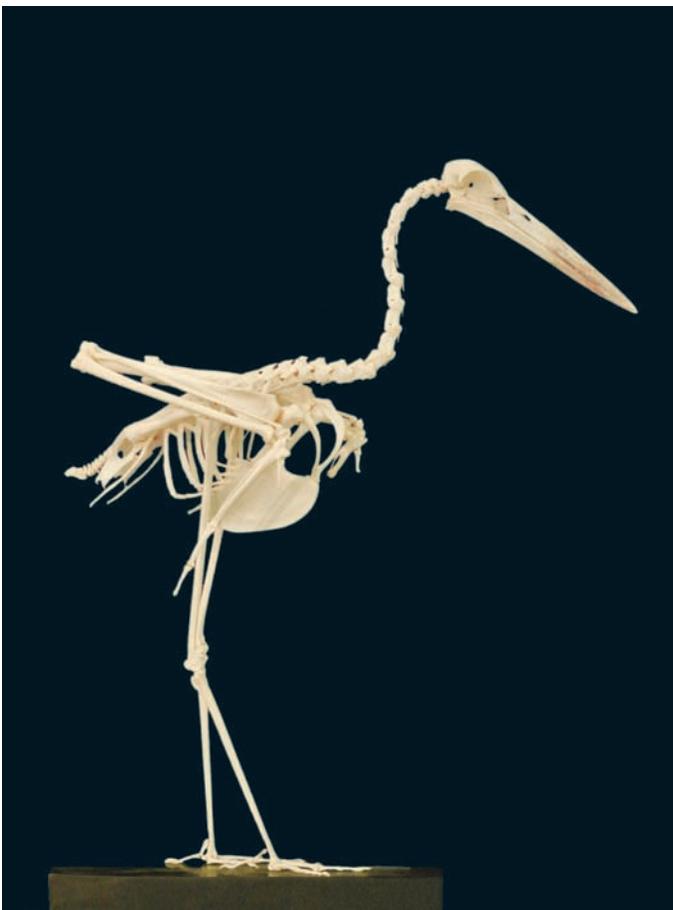


Abb. 1-35. Skelett eines Weißstorches (*Ciconia ciconia*).



Abb. 1-36. Skelett eines Schmutzgeiers (*Neophron percnopterus*).



Abb. 1-37. Skelett einer Haustaube (*Columba livia dom.*). Die breitflächige Carina sterni bietet eine große Ansatzfläche für die Flugmuskulatur.



Abb. 1-38. Skelett eines Haushuhnes (*Gallus gallus dom.*).



Abb. 1-39. Skelett einer Laufente (*Anas platyrhynchos*).



Abb. 1-40. Skelett einer Hausgans (*Anser anser*).

und damit das Riechhirn allerdings gut entwickelt. Der **Geschmackssinn** scheint weniger ausgebildet zu sein als bei den Säugetieren.

**Tastorgane** befinden sich gehäuft in der Haut, an Stellen, an denen die Federn implantiert sind, in der Mundhöhle, am Schnabel und in der Nähe der Unterarme und Unterschenkelmuskulatur. Hier werden auch **Schmerz** und **Temperatur** empfunden.

## Bewegungsapparat

### Skelettsystem (Systema skeletale)

#### Knochenlehre (Osteologia)

Das Skelett der Vögel zeigt, trotz großer artspezifischer Unterschiede innerhalb der Klasse Aves, ein einheitliches Bauprin-

zip (Abb. 1-33 bis 40). Für zahlreiche Knochen im Skelett wird bei den Vögeln, wie bei den Säugetieren, ein knorpeliges Vorläufermodell angelegt. Dieses wird im Laufe der Individualentwicklung durch Knochengewebe ersetzt.

Dabei entsteht am **Röhrenknochen** zunächst durch **perichondrale Ossifikation** aus dem Bindegewebe ein knöcherner Mantel im mittleren Teil der Knochenanlage. Dieser Knochen besteht aus primitivem Geflechtknochen. Als starre Hülle gestattet er dem wachsenden Knorpel nur eine Vergrößerung in Längsrichtung. Dadurch kommt es zum **Längenwachstum des Knorpelmodells**. Die wachsenden Knorpelzellen ordnen sich zwangsweise in Säulen an. Im weiteren Verlauf der Ossifikation verlängert sich der perichondrale Knochenmantel ebenfalls in Richtung der Gelenke. In einem weiteren Schritt wird der Knorpel von der **Diaphyse** her durch Knochengewebe ersetzt. Dieser Vorgang wird als **enchondrale Ossifikation** bezeichnet. Charakteristisch dafür ist die Einsprossung von Blutgefäßen und das Einwandern



**Abb. 1-41.** Rechter Humerus einer Henne (Haushuhn) links und eines Hahnes (Haushuhn) rechts. Beide Knochen sind pneumatisiert (Markhöhle eröffnet).



**Abb. 1-42.** Linker Tibiotarsus eines jungen Haushuhnes mit distalem Ossifikationszentrum.

verschiedener Bindegewebszellen (**Chondroklasten, Osteoblasten, Osteoklasten**).

Durch die Resorption des Knorpels entsteht die **primäre Markhöhle** mit ersten Knochenbälkchen. Während der weiteren Entwicklung wird dieses primäre Knochengewebe um- und abgebaut, es entsteht auf diese Weise der sekundäre Lamellenknochen. Auch dieser Vorgang schreitet von der Mitte des Knochens, der Diaphyse, zu den Enden fort. Im Gegensatz zum Säuger gibt es am Skelett der Vögel nur **ausnahmsweise sekundäre Ossifikationszentren** (Abb. 1-42). Aus diesem Grund kommen auch **keine Epiphysenfugen** im engeren Sinne vor, wenngleich der Knorpel ebenfalls eine Proliferationszone aufweist. Als auffälliges Merkmal finden sich – im Gegensatz zum Säugetier – in dieser Wachstumszone auch Blutgefäße. Am **Tibiotarsus** ist die proximale Reihe der Tarsalknochen mit der Tibia verwachsen, was bei jungen Tieren noch als eigener Ossifikationskern erkennbar ist (Abb. 1-42). Ähnlich verhält es sich mit der distalen Reihe der Tarsalknochen, die beim Adulten komplett mit den Metatarsalknochen verschmolzen ist (**Tarsometatarsus**). Am Karpometakarpus ist entsprechend die distale Reihe der Karpalknochen mit den Mittelhandknochen vereinigt.

Die **Skelettreife** tritt beim Vogel bezogen auf das Lebensalter deutlich **früher** ein. Am reifen Skelett ist vom ursprünglichen Knorpel nur mehr der hyaline Gelenkknorpel übrig. Ebenso bleiben Zwischenwirbelscheiben und Menisken von der Verknöcherung verschont.

### Bau des reifen Knochens

Das Skelett des Vogels ist – bezogen auf die Körpermasse – **leichter** als das der Säugetiere. Als zelluläre Bestandteile sind zahlreiche Osteoblasten und Osteozyten sowie Osteo-

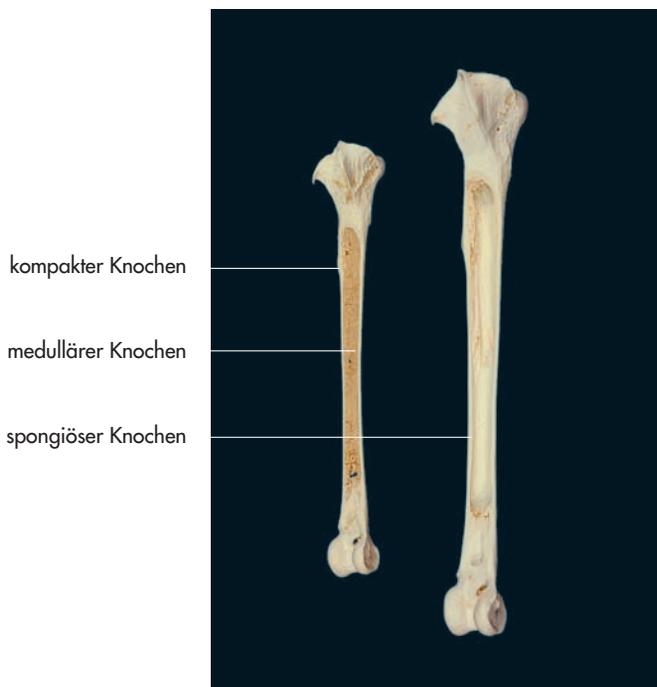
klasten vorhanden. Deren Aufgabe sind die Erhaltung und der Umbau der Knochensubstanz.

Rund die Hälfte der interzellulären Grundsubstanz des Knochens besteht aus **Mineralstoffen**, die weit überwiegend in Form von Hydroxylapatit-Kristallen vorliegen (Kalziumphosphat [85%], Kalziumkarbonat [10%]). Die restlichen Anteile bestehen aus Natrium, Magnesium, Nitrat, Fluor und Spurenelementen. Etwa ein Viertel der Grundsubstanz wird von **organischen Makromolekülen** gebildet. Allen voran ist das **Kollagen** zu nennen (90–95%). Daneben sind verschiedene Glykosaminoglykane (Chondroitin-4-sulfat, Chondroitin-6-sulfat, Keratansulfat) und Proteoglykane beteiligt. Die **Interzellulärsubstanz** weist einen Wassergehalt von circa 25% auf.

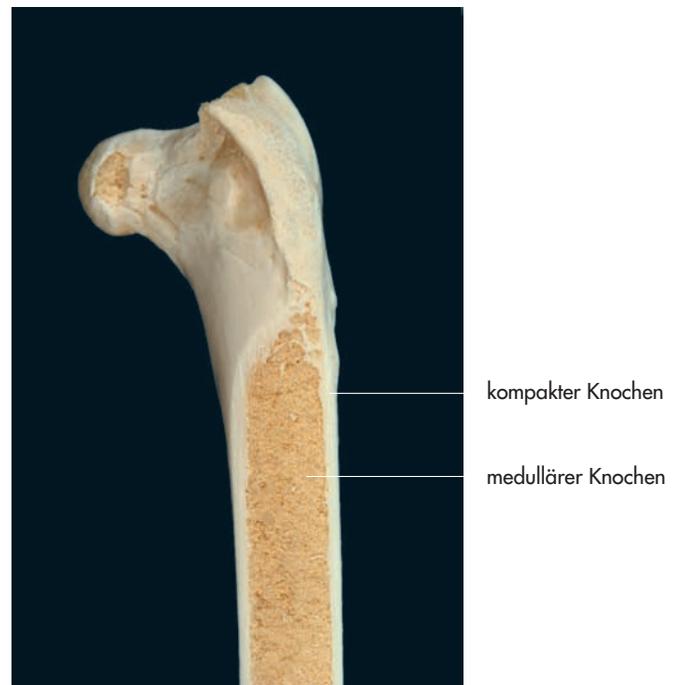
Der hohe Gehalt an anorganischen Substanzen verursacht eine größere Sprödigkeit der Knochen und hat eine entsprechende Neigung zum Splittern zur Folge. Diese Eigenschaften sind bei der Behandlung von Frakturen zu berücksichtigen.

Zur **Verringerung des spezifischen Gewichts** sind einige Knochen (z.B. Humerus, Os coracoideum, Sternum) **pneumatisiert** (Abb. 1-41). Am Kopf stehen die Nasennebenhöhlen mit der Nasenhöhle oder der Tuba auditiva in Verbindung. Am Rumpf stülpen sich die **Luftsäcke** in Form von Diverticula aus (s. Kap. 7 »Atmungsapparat«). Diese gelangen durch Foramina pneumatica oder Pori pneumatici in die Markhöhle vornehmlich der Röhrenknochen und verdrängen das Markgewebe (Abb. 1-41). Prinzipiell ist dieser Vorgang am Skelett von Vögeln mit gutem Flugvermögen weiter fortgeschritten als bei schlechten Fliegern.

Das **Knochenmark** ist bei jungen Tieren rot. Mit zunehmendem Alter wird das Knochenmark in den Röhrenknochen zum gelben Mark.



**Abb. 1-43.** Linker Tibiotarsus einer Henne (Haushuhn) mit medullärem Knochen links und eines Hahnes (Haushuhn) mit entferntem Fettmark rechts.



**Abb. 1-44.** Linkes Oberschenkelbein einer Henne (Haushuhn) mit medullärem Knochen (Markhöhle eröffnet).

### Typen von Knochengewebe

Neben den beiden Typen kompakter und spongiöser Knochen kommt beim Geflügel noch der medulläre Knochen als Sonderform vor. Letztere sei hier ausführlicher beschrieben. Der **kompakte Knochen** (Abb. 1-43 u. 44) kommt beim Vogel beispielsweise in der Diaphyse von Röhrenknochen vor. Er zeigt grundsätzlich den gleichen lamellären Bau wie bei den Säugern.

Der **spongiöse Knochen** (Abb. 1-43) findet sich in den Epiphysen der Röhrenknochen oder in den Wirbelkörpern.

Der **medulläre Knochen** (Abb. 1-43 u. 44) stellt eine besondere Form des **Kalziumdepots bei weiblichen Vögeln** während der Legeperiode dar. Der hohe Bedarf an Kalzium für die Eischalenbildung kann beispielsweise von der Henne nicht ausschließlich durch intestinale Absorption gedeckt werden. Deshalb muss über die Stimulierung der Osteoklasten Knochen resorbiert und auf diese Weise Kalzium freigesetzt werden.

Etwa zwei Wochen **vor Beginn der Legeperiode** erfolgt die Bildung des medullären Knochens in gut durchbluteten Röhrenknochen. Dies geschieht in Form von Knochenbälkchen, die vom Endost her auswachsen. Die Bälkchen dringen in die Markhöhle vor und füllen diese beim Huhn weitgehend aus. Ihre Zwischenräume sind mit Blutsinus ausgefüllt. Der medulläre Knochen wächst beim Haushuhn während der gesamten Legeperiode. Osteone kommen in dieser Knochenform nicht vor, die Kollagenfasern wie auch die Hydroxylapatitkristalle zeigen keine Vorzugsrichtung. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die fehlende mechanische Beanspruchung.

Die Steuerung des Aufbaus von medullärem Knochen erfolgt **zur Zeit des Legebegins**. Dabei wirken Östrogene

und Androgene in Kombination positiv auf die Aufnahme von Kalzium und Phosphat aus dem Darm. Durch diese erhöhte Retention von Mineralstoffen kann der medulläre Knochen gut mineralisiert werden. Aus diesem Grund wird das Hühnerskelett um bis zu 20% schwerer. **Während des Eizyklus** wechseln Phasen der Bildung und des Abbaus von medullärem Knochen. Während der Kalkschalenbildung kann die Resorption von Kalzium und Phosphat zu gering für eine reguläre Ausformung der Schalen sein. Dann kommt es zur Resorption der Knochenbälkchen, die dadurch dünner und kürzer werden. Der medulläre Knochen hat also Depotfunktion und kann Schwankungen der in der Nahrung aufgenommenen Mineralstoffe ausgleichen. Im Zuge einer Untersuchung mit Röntgenstrahlen (Projektionsröntgen, Computertomographie) ist das Vorhandensein von medullärem Knochen bei der Beurteilung der Knochendichte zu berücksichtigen.

**Bei Störungen** des Hormonhaushalts kann es auch bei männlichen Tieren zur Bildung von medullärem Knochen kommen. Beispielsweise beim Wellensittich kann es im Zusammenhang mit einem Sertoli-Zell-Tumor, der Östrogen sezerniert, zu einer massiven Knochenzubildung kommen. Dabei werden selbst pneumatisierte Knochen, wie das Oberarmbein, komplett knöchern ausgefüllt.

### Gelenklehre (Syndesmologia)

Die Knochenverbindungen beim Vogel sind grundsätzlich denen der Säugetiere vergleichbar. Es lassen sich prinzipiell **spaltlose** von **spalthaltigen Gelenken** unterscheiden. Die Verbindungen der Knochen sind mehr oder weniger flexibel ausgebildet durch kollagenes Bindegewebe (**Syndesmosen**), Knorpel (**Synchondrosen**) oder Knochen (**Synostosen**). Typische Lokalisationen für straffes kollagenes Bindegewebe sind

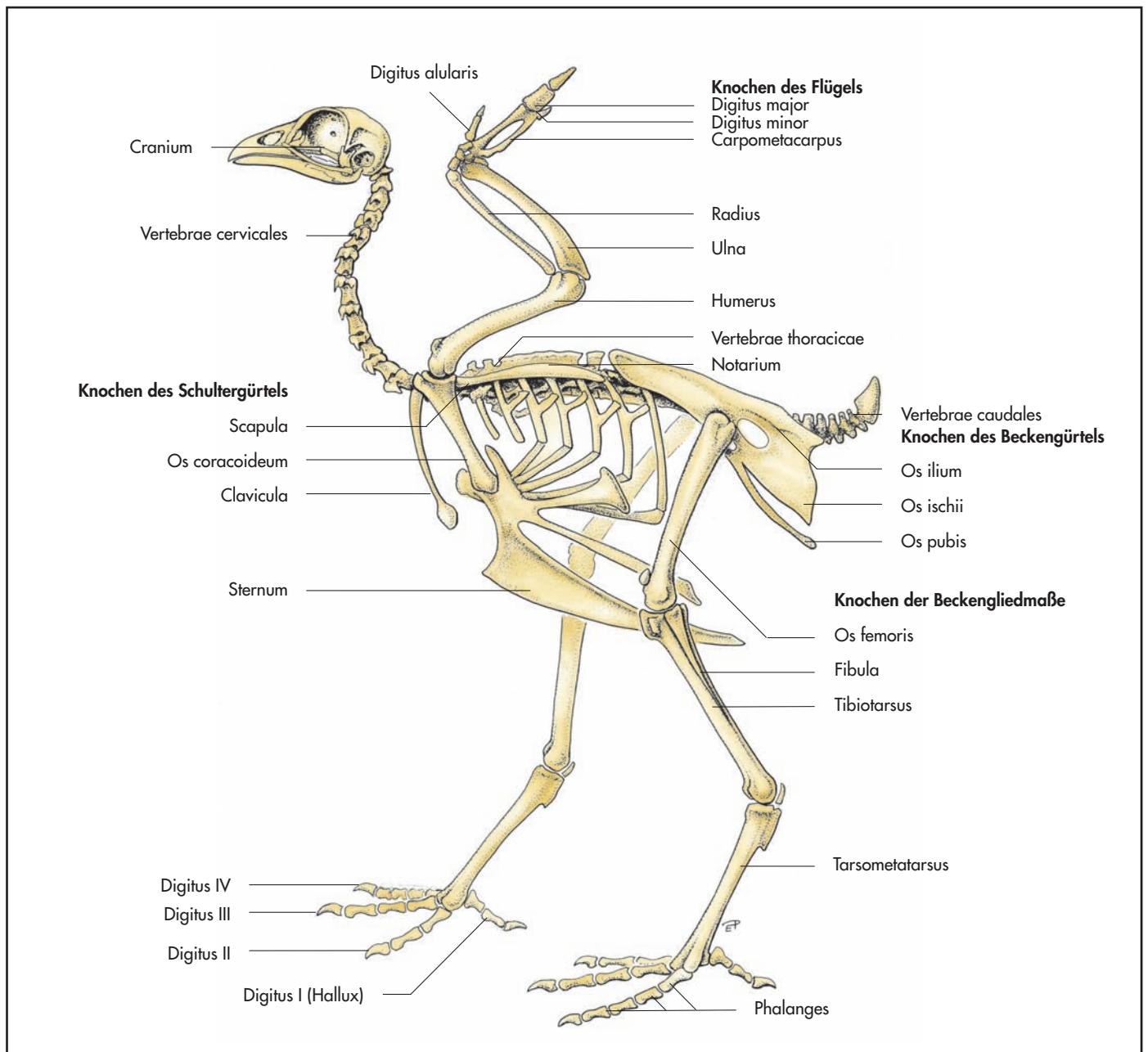


Abb. 1-45. Schematische Darstellung des Skelettes des Haushuhnes (*Gallus gallus dom.*), (linke Lateralansicht).

die verschiedenen Membranen, die die Knochen des Schultergürtels verspannen.

**Spaltlose Gelenke** bzw. **knorpelige Verbindungen** sind beispielsweise zwischen den Wirbelkörpern der freien Schwanzwirbel vorhanden. Knöcherne Verwachsungen sind am Vogelskelett im Allgemeinen häufiger als beim Säuger. Am Schädel sind die Knochen beim Adulten derart miteinander verschmolzen, dass eine Abgrenzung der Einzelknochen schwerfällt. Zur Stabilisierung sind Brustwirbel und Lendenwirbel beim Huhn weitgehend miteinander verknöchert (**Notarium, Symsacrum**).

Die **spalthaltigen Gelenke** weisen alle typischen Merkmale auf wie beim Säuger. Dazu gehören:

- die mit Gelenknorpel (*Cartilago articularis*) überzogenen Knochenenden,
- die Gelenkkapsel (*Capsula articularis*) mit
- den Gelenkbändern (*Ligamenta articularia*) und
- die abgeschlossene Gelenkhöhle (*Cavum articulare*) mit
- der Gelenkschmiere (*Synovia*).

**Synoviale Gelenke** sind neben den Extremitäten auch an der Halswirbelsäule zwischen den Wirbelkörpern sowie den Gelenkfortsätzen ausgebildet. Bezüglich der **Gelenkformen** gilt die gleiche Einteilung wie beim Säugetier. Inkongruenzen