Abb. 1
Rollregalanlage mit der Frankfurter Vogelskelettsammlung.
Foto: Sven Tränkner.

Senckenbergs Vogelskelette

Eine junge Sammlung als Grundlage aktueller Forschung

von Gerald Mayr

Von Vögeln wird in Museumsammlungen meist nur das Federkleid aufbewahrt. So wichtig das Gefieder zur Bestimmung von Arten ist, so wenig eignet es sich allerdings, will man die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den rezenten Vogelgruppen untersuchen. Auch fossile Reste lassen sich nur anhand von Knochen bestimmen. Der Ausbau der Vogelskelettsammlung des Senckenberg Forschungsinstituts steht deshalb in engem Zusammenhang mit der hier betriebenen paläornithologischen Forschung, unter anderem an den fossilen Vögeln aus der Grube Messel.

Skelette sind Stiefkinder ornithologischer Sammlungen

Von den Senckenberg Forschungsinstituten beherbergen die beiden Standorte in Frankfurt und Dresden international bedeutende Vogelsammlungen, die zu den größten in Europa gehören. Betrachtet man die Anzahl der Präparate, zählt die Frankfurter Sammlung sogar zu den 25 größten weltweit (Mearns & Mearns 1998, Roselaar 2003). Den Kern beider Sammlungen bilden präparierte Vogelhäute, sogenannte Bälge, von denen sich in Frankfurt 90.000 und in Dresden 57.000 befinden. Die Frankfurter Bälge gehen vor allem auf die Sammeltätigkeit von Eduard Rüppell (1794–1884), Carlo von Erlanger (1872–1904) und Hans von Berlepsch (1850–1915) zurück. Prominente Ornithologen, die zum Ausbau der Dresdner Sammlung beitrugen sind Christian Ludwig Brehm (1787–1864), Adolf Bernhard Meyer (1840–1911), Otto Kleinschmidt (1870–1954) und Hugo Weigold (1886–1973). Nicht wenige der Präparate stammen von ausgestorbenen Arten und anderen Seltenheiten, aber die eigentliche Bedeutung dieser Balgsammlung liegt in den großen Populationsserien insbesondere aus Europa, Südamerika, Nordafrika, Asien und Ozeanien (Mertens & Steinbacher 1955, Steinbacher 1959, 1967, Peters 1992, Peters et al. 2004, Manegold 2008a). Um die geographischen Variation von Arten zu untersuchen und Individuen zuverlässig bestimmen zu können sind derart umfangreiche Sammlungen auch heute noch unerlässlich.

Bälge dokumentieren allerdings nur das äußere Erscheinungsbild von Vögeln und zahlreiche biologische Fragestellungen sind ohne eine Kenntnis der inneren Anatomie nicht zu beantworten. Leider wurde zu den Blütezeiten der musealen Sammeltätigkeit in den letzten beiden Jahrhunderten der eigentliche Vogelkörper, der einst in der Haut steckte, meist nicht aufbewahrt. So kommt es, dass es Museen mit bis zu einer Million Bälgen gibt, wie etwa die Vogelsammlung des Natural History Museums in Tring bei London (Mearns & Mearns 1998), in denen Vogelskelette allerdings meistens stark unterrepräsentiert sind. Auch die Berlepsche Sammlung, die mit etwa 50.000 Bälgen mehr als die Hälfte der gesamten Frankfurter Vogelsammlung ausmacht, enthält nicht ein einziges Skelett. Für die übrigen früheren Teilsammlungen in Frankfurt und Dresden gilt das Gleiche. Aus heutiger Sicht erscheint das besonders unverständlich, da sich unter dem gesammelten Material immer wieder Tiere befinden, die sich wegen des schlechten Gefiederzustandes nicht für Bälge eignen.

Wood & Schnell veröffentlichten im Jahr 1986 erstmals eine Übersicht des weltweiten Bestandes an Vogelskelet-

Exkurs: Präparation von Vogelskeletten

Die Präparation von Vogelskeletten war im 19. Jahrhundert eine zeitraubende und mühselige Arbeit. Ziel waren dabei zusammenhängende Skelette, die in lebensnaher Haltung montiert wurden. So ästhetisch diese Präparate auch sein mögen, so wenig eignen sie sich allerdings für vergleichende Untersuchungen der Knochen, wofür Merkmale der bei montierten Skeletten verdeckten Gelenke von besonderer Bedeutung sind.

Heute werden üblicherweise zwei Methoden zur Skelettpräparation angewandt: zum einen die sogenannte „Mazeration“ mit warmem Wasser, bei der die gehäuteten und grob entfleischten Kadaver (Abb. 2) einen beschleunigten Fäulnisvorgang durchlaufen, und zum anderen das Skelettieren mit Hilfe von Käferlarven. In Frankfurt gibt es dafür einen Raum mit einer Kolonie Dornspeckkäfer (*Dermestes maculatus*), die verteilt auf mehrere Behälter damit beschäftigt sind, oft mehrere Dutzend Rohskelette gleichzeitig von allen Fleischresten zu befreien. Je nach Größe des Vogels dauert es wenige Tage oder Wochen, bis die Käferlarven die Skelette gesäubert haben – kleine Vögel sind in gut besetzten Kolonien oft sogar schon über Nacht vollständig skelettiert (Abb. 3). Bei entsprechend sorgfältiger Kontrolle nehmen selbst empfindliche Knochen kleinster Skelette keinen Schaden (Abb. 9). Die katalogisierten und beschrifteten Knochen werden anschließend lose in Sammlungsschachteln aufbewahrt (Abb. 10).

Bei besonders seltenen Arten, von denen man sowohl den Balg als auch das vollständige Skelett für die Sammlung erhalten will, wendet man eine aufwendigere Präparationstechnik an, bei der auch der Schädel sowie alle Flügel- und Beinknochen von der Vogelhaut abgelöst werden (Abb. 4).

Abb. 2
Links: Grob entfleischte und getrocknete Rohskelette verschiedener australischer Vögel. Im Vordergrund eine Dickschnabel-Würgerkrähe (*Strepera graculina*).
Foto: Albrecht Manegold.

Abb. 3.
Unten links: Von Speckkäferlarven abgefressenes Skelett eines Rosaflamingos (*Phoenicopterus ruber*).
Foto: Gerald Mayr.

Abb. 4
Unten rechts: Balg eines Pompadoursittichs (*Prosopeia tabuensis*). Hier wurde das Skelett vollständig entnommen und der Schnabel durch einen Kunststoffabguss ersetzt.
Foto: Sven Tränkner.

ten, die das Missverhältnis zwischen Bälgen und Skeletten in ornithologischen Sammlungen dokumentiert. Damals gab es nur neun Sammlungen mit mehr als 10.000 Vogelskeletten, wobei die beiden größten jeweils etwa 30.000 Präparate enthielten. In 17 der von Wood & Schnell (1986) aufgeführten Museen waren mehr als 1.000 und in sechs mehr als 2.000 Arten vertreten. Die bis heute bedeutendste Sammlung darunter ist die der Smithsonian Institution in Washington. Sie umfasste 1986 knapp 4.000 Arten, was immer noch weniger als der Hälfte aller etwa 9.000 rezenten Vogelarten entspricht. Von zahlreichen Vogelarten existierte weltweit kein einziges Skelett in Museumssammlungen, und selbst vergleichsweise häufige Arten waren nur mit wenigen Skelettpräparaten vertreten: So betrug etwa der Bestand an vollständigen Skeletten des recht weit verbreiteten europäischen Mittelspechtes (*Dendrocopos medius*) nur 10 Stück, von denen sich keines in einem der von Wood & Schnell (1986) berücksichtigten deutschen Museen befand.

Wie Olson (2003) darlegte, sind die Gründe, warum der Ausbau von Vogelskelettsammlungen lange Zeit derart vernachlässigt wurde, vielfältig. Zum einen lag der Schwerpunkt früherer Ornithologen im Beschreiben neuer Arten und ihrer geographischen Variabilität, wozu vor allem Gefiedermerkmale herangezogen wurden. Zum anderen verbleibt bei der Präparation eines Vogelbalges – im Unterschied zu Säugetierfellen – in der Regel auch der Schädel samt Schnabel sowie die Flügel- und Beinknochen im Balg. Darüber hinaus waren die zur Präparation der Bälge nicht benötigten Vogelkörper unter den Bedingungen früherer Expeditionen eine willkommene Nahrungsquelle – von dem bekannten Ornithologen und Evolutionsbiologen Ernst Mayr wird zum Beispiel berichtet, dass er während seiner Sammelreisen nach Neuguinea so viele verschiedene Paradiesvogelarten verzehrt hatte, wie kein anderer Europäer vor und nach ihm (Meyer 2005).

Vor allem dürfte der Mangel an Vogelskeletten aber daran liegen, dass die Paläornithologie eine verhältnismäßig junge Disziplin ist. Von anderen Wirbeltiergruppen wurden schon früh zahlreiche Fossilien gefunden, zu deren Bestimmung man Vergleichssammlungen mit Skelettmaterial von rezenten Vertretern benötigte. Vogelfossilien hingegen waren im 19. Jahrhundert, auch aufgrund ungeeigneter Sammel- und Präparationstechniken, noch verhältnismäßig selten, so dass wenig Bedarf an umfangreichen Sammlungen von Skeletten bestand.

Um ein möglichst breites Forschungsspektrum abzudecken, sind die ornithologischen Forschungsschwerpunkte an den beiden Senckenberg Standorten in Frankfurt und Dresden

Abb. 5
Präparate verschiedener Papageien in der Balgsammlung.
Foto: Jan Hosan.

Abb. 6-8
Oben links: Knochen des Vogelskelettes unterscheiden sich deutlich innerhalb verschiedener Vogelgruppen. Die Abbildung zeigt das Rabenschnabelbein bzw. Coracoid, einen Knochen des Schultergürtels, von verschiedenen Vogelarten. Von links nach rechts: Grausteißtinamu (*Tinamus solitarius*), Langflügel-Sturmtaucher (*Pterodroma macroptera*), Rotfußseriema (*Cariama cristata*), Waldkauz (*Strix aluco*) und Schwarzspecht (*Dryocopus martius*). Foto: Sven Tränkner.

Oben rechts: Das vermutlich älteste Präparat in den senckenbergischen Sammlungen: Schädel einer Hausgans mit deformiertem Schnabel aus dem Besitz des Hildesheimer Arztes Friedrich Lachmund (1635–1676). Foto: Sven Tränkner.

Unten: Mehrere zehntausend Vogelknochen wurden in der pliozänen Fossilfundstelle Langebaanweg in Südafrika gefunden. Auf der Abbildung sind Rabenschnabelbeine einer unbeschriebenen Frankolinart zu sehen (Iziko South African Museum in Kapstadt). Foto: Albrecht Manegold.

verschieden gelagert. Während in Dresden die molekulare Genetik und Bioakustik paläarktischer Singvögel im Mittelpunkt steht, liegt der Fokus der Frankfurter Ornithologie auf der Großgruppensystematik und Paläornithologie. Im Zusammenhang damit begann hier in den letzten Jahrzehnten der Aufbau einer der umfangreichsten und vollständigsten Vogelskelettsammlungen Europas.

Die Frankfurter Vogelskelettsammlung

Das älteste Sammlungsobjekt der Frankfurter Vogelsammlung ist ein pathologisch deformierter Schädel einer Gans (Abb. 7). Er stammt aus dem Jahr 1664 und ist damit vermutlich eines der ältesten zoologischen Präparate der senckenbergischen Sammlungen überhaupt (Mayr 2007). Dieses Stück wurde allerdings lediglich als Kuriosum aufbewahrt. Ende des 19. Jahrhunderts enthielt die Frankfurter Sammlung gerade einmal 272 Vogelskelette (Hartert 1891). Der Großteil davon stammte von Eduard Rüppell, der den Grundstock der Frankfurter Sammlungen Senckenbergs legte und von seinen Reisen nach Nordafrika neben zahlreichen Bälgen auch einige Skelette mitbrachte.

1990er Jahre: Systematischer Aufbau zur Bestimmung von Fossilien

Im Jahr 1986 befanden sich in der senckenbergischen Vogelskelettsammlung in Frankfurt 531 Präparate von 365 Arten (Wood & Schnell 1986). Der Aufbau einer osteologischen Vergleichssammlung begann erst danach, als das Studium fossiler Vögel zu einem der Forschungsschwerpunkte der Frankfurter Ornithologie wurde. Vor allem in den letzten zehn Jahren konnten zahlreiche taxonomische Lücken geschlossen werden. Seit 1992 ist der Bestand von 1.200 (Peters 1992) auf derzeit etwas mehr als 10.300 Skelette angewachsen, die nach dem Umbau der Sektion in einer modernen Rollregalanlage aufbewahrt werden (Abb. 1 u. 10).

Gegenwärtig umfasst die Sammlung Skelette oder Teilskelette von 2.070 Arten. Von den Gruppen der Nicht-Sperlingsvögel fehlen nur zwei, nämlich die australischen Steppenläufer (Pedionomidae) und die zentralasiatischen Ibisschnäbel (Ibidorhynchidae). Beide Familien bestehen aus je einer einzigen Art, die in Sammlungen generell sehr

Abb. 9
Skelett eines Kolibris, der Grünschwanzsylphe (*Lesbia nuna*). Derart kleine Vögel werden von den Speckkäferlarven in wenigen Stunden sauber skelettiert. Foto: Sven Tränkner.

selten sind. Einige artenreiche Vogelgruppen sind recht vollständig vertreten, wie etwa Enten- und Gänsevögel (118 von 147 Arten), Papageien (158 von 353 Arten) und Prachtfinken (78 von 134 Arten).

Bisher konnte der Aufbau der Frankfurter Vogelskelettsammlung vorangetrieben werden, ohne dass dafür Tiere getötet werden mussten. Neben Zufallsfunden und Material aus Tiefkühltruhen biologischer Institute und Forschungsstationen stammen viele der Vögel aus zoologischen Gärten, Vogelparks und von privaten Züchtern. Besonders erwähnt werden soll an dieser Stelle die langjährige Kooperation mit dem Weltvogelpark Walsrode, der uns zahlreiche Seltenheiten überlassen hat, darunter in Sammlungen kaum vertretene Exoten wie die madagassischen Stelzenrallen (Mesitornithidae) und Erdracken (Brachypteraciidae). Durch Tausch mit außereuropäischen Museen konnten Skelette von Arten erworben werden, die nicht oder kaum in Gefangenschaft gehalten werden, zum Beispiel Rallen, Spechte und zahlreiche Seevögel.

Zählt man die Vogelarten, von denen komplette Skelette vorliegen, gehört die Frankfurter Sammlung inzwischen zu den größten Europas, gemeinsam mit denjenigen der Naturkundemuseen in London (Tring) und Kopenhagen sowie dem Institut für Paläoanatomie in München. Dennoch steht sie noch deutlich hinter den größten nordamerikanischen Sammlungen zurück, die auf eine wesentlich intensivere und kontinuierlichere Sammeltätigkeit im letzten Jahrhundert zurückblicken können.

Forschung mit Vogelskeletten

Bei den meisten Vogelgruppen reichen schon einzelne Knochen, zum Beispiel des Schultergürtels oder des Fußskelettes, für eine zuverlässige Bestimmung (Abb. 6). Auch längst ausgestorbene Arten lassen sich anhand ihrer Skelettreste identifizieren, und eben dies war auch der Anlass zum Ausbau der Frankfurter Vogelskelettsammlung. Schließlich hatten die Grabungstätigkeiten von Senckenberg sowie anderer Institute und enthusiastischer Privatsammler zahlreiche Vogelfossilien aus der Grube Messel bei Darmstadt zu Tage gefördert, zu deren wissenschaftlicher Beschreibung man entsprechendes Vergleichsmaterial heutiger Vögel benötigte. Erst der intensive Ausbau der Skelettsammlung in den letzten 20 Jahren hat eine sinnvolle Bearbeitung der Messelvögel ermöglicht.

Entgegen einem weit verbreiteten Irrglauben sind Vogelfossilien nicht selten. Auch an anderen Fundstellen Mitteleuropas werden nach wie vor zahlreiche gut erhaltene Knochen von den unterschiedlichsten Vogelgruppen gefunden (Mayr 2009). Während des Känozoikums (Erdneuzeit) gab es in unseren Breiten viele Vogelarten, deren nächste Verwandte heute in anderen Teilen der Welt vorkommen (z. B. Mayr 2004). Eine fundierte Untersuchung dieser Fossilien ist ohne breit angelegte Vergleiche mit außereuropäischen rezenten Arten kaum möglich. Da diese aber kaum in mitteleuropäischen Sammlungen vertreten sind, harrten viele der Funde über Jahrzehnte einer wissenschaftlichen Bearbeitung.

Noch schwieriger ist die Situation bei Fossilmaterial, das von Fundstellen außerhalb Europas und Nordamerikas stammt, von denen einige ebenfalls enorme Mengen an Vogelfossilien hervorgebracht haben. Aus der pliozänen Fundstätte von Langebaanweg in Südafrika zum Beispiel liegen Tausende gut erhaltener Vogelknochen vor, die Aufschluss über die kaum bekannte känozoische Vogelwelt Afrikas geben könnten (Abb. 8). Nur wenige dieser fünf Millionen Jahre alten Fossilien wurden jedoch bislang wissenschaftlich bearbeitet. Dank einer Förderung von der Deutschen Forschungsgemeinschaft können am Senckenberg Forschungsinstitut in Frankfurt derzeit Singvogelreste aus Langebaanweg untersucht werden (Manegold 2010). Die Frankfurter Skelettsammlung bietet dafür gute Voraussetzungen. Jedoch fehlen auch hier noch, ebenso wie in den meisten übrigen Naturkundemuseen, rezente Vertreter aus vielen artenreichen afrikanischen Singvogelgruppen.

Vergleichende Skelettuntersuchungen können darüber hinaus auch zu einem besseren Verständnis der Verwandtschaftsverhältnisse heutiger Vogelgruppen beitragen. Zum Beispiel wurde mithilfe von Skelettmaterial nachgewie-

Abb. 10
Blick in die Rollregalanlage der Skelettsammlung.
Foto: Jan Hosan.

sen, dass die nächsten Verwandten der Segler und Kolibris (Apodiformes) die australischen Höhlenschwalme (Aegothelidae) sind (Mayr 2002). Diese Hypothese ist inzwischen auch durch zahlreiche molekulargenetische Studien belegt. Skelettuntersuchungen trugen auch zur Klärung der Verwandtschaftsbeziehungen innerhalb der übrigen Schwalmvögel (Mayr 2010), sowie der Papageien (Mayr 2008) und der madagassischen Vangawürger (Manegold 2008b) bei.

Da zahlreiche Aspekte der Vogelosteologie noch nicht in einem breiteren taxonomischen Kontext untersucht wurden, haben vergleichend-morphologische Untersuchungen sicherlich noch ein großes Potenzial für zukünftige Forschungsvorhaben, (z. B. Mayr 2008; Manegold 2008c). Die theoretischen Grundlagen der modernen Verwandtschaftsforschung, die sogenannte Kladistik oder phylogenetische Systematik, wurden zudem erst 1950 von dem deutschen Entomologen Willi Hennig veröffentlicht (Hennig 1950).

Auch die in Sammlungen bisher kaum vorhandenen Skelette von Jungvögeln liefern wichtige Daten zur Gestalt einzelner Skelettelemente, deren Gestalt bei ausgewachsenen Tieren aufgrund der geschlossenen Knochennähte nicht mehr zu erkennen ist. Um neue osteologische Daten für die Verwandtschaftsforschung zu erhalten, wurden in den letzten Jahren daher vermehrt Skelette juveniler Vögel für die Frankfurter Sammlung präpariert (Abb. 11).

Außer für zoologische Fragestellungen wird die Vogelskelettsammlung auch zur Bestimmung von Vogelfunden genutzt, die bei archäologischen Ausgrabungen geborgen werden. Knochen aus mittelalterlichen Abfallgruben etwa lassen Rückschlüsse auf die Nahrungsgewohnheiten der Menschen aus jener Zeit zu. Zu ihrer Bestimmung sind umfangreiche Skelettserien einheimischer Vögel nötig, da sich nah verwandte Arten oft kaum in ihren Skelettmerkmalen unterscheiden, welche zudem meist aufgrund individueller Variabilität sowie Geschlechts- und Altersunterschieden von Tier zu Tier etwas anders ausgeprägt sein können.

Sammlungen – ein Grundpfeiler auch der modernen Naturforschung

Die Ornithologen der vergangenen beiden Jahrhunderte haben uns zwar umfangreiche Sammlungen hinterlassen, diese decken jedoch vor allem solche Aspekte ab, die für die Forschung der damaligen Zeit bedeutsam waren. Neue Forschungsansätze können aber neue Sammelstrategien erfordern, wie uns das Beispiel der im 19. Jahrhundert noch nicht absehbaren Vielfalt an Vogelfossilien zeigt.

Osteologische Vergleichssammlungen sind auch in großen Museen noch weit davon entfernt, annähernd vollständig zu sein, und was für Vogelskelette gilt, trifft in ähnlichem Maß auch auf Skelette von Fischen, Amphibien und anderen Wirbeltieren zu. Dieser Mangel behindert nicht nur die paläontologische Forschung, sondern steht auch einem Erkenntnisgewinn in anderen Bereichen der Biologie entgegen.

Molekulargenetische Studien etwa sind zweifellos ein wichtiges Werkzeug für die Erforschung der Verwandtschaftsbeziehungen rezenter Organismen. Dennoch hat sich bisher die Hoffnung nicht erfüllt, dass damit die Verwandtschaftsverhältnisse zwischen den heutigen Vogelgruppen weitgehend geklärt werden könnten (Mayr 2011). Stammbäume, die aufgrund genetischer Daten gewonnen wurden, lassen zudem nur wenige evolutionsbiologische Rückschlüsse zu, die über die übliche Datierung von stammesgeschichtlichen Verzweigungen und die Rekonstruktion von biogeographischen Szenarien hinausgehen. Aussagen über die stammesgeschichtlichen Abänderungen von Merkmalskomplexen sind ohne vergleichend-morphologische Untersuchungen nicht möglich, und Stammbäume, die auf morphologischen Merkmalen basieren, sind zudem für die Einordnung fossiler Gruppen unverzichtbar.

Trotz der Entwicklung moderner phylogenetischer Methoden (Kladistik) und leistungsfähiger Computerprogramme zur Analyse umfangreicher Datensätze, haftet morphologischer Forschung oft der Nimbus des Altmodischen an. Wenngleich die Bedeutung moderner Techniken auch für die „traditionellen" Bereiche der Biologie unbestritten ist, wird die immer stärker schwindende Zahl von Biologen mit morphologischen Spezialkenntnissen sowie der Abbau entsprechender Stellen einer modernen Biologie nicht gerecht. Große Forschungssammlungen wie die der senckenbergischen Forschungsinstitute tragen daher nicht nur eine Verpflichtung, dass anatomische/morphologische Sammlungen bewahrt und für Forschungsprojekte zugänglich gemacht werden, sondern auch dafür, dass diese durch gezielte Sammlungsstrategien auf hohem Niveau gehalten und stetig erweitert werden. Es sind die umfangreichen Archive biologischer Diversität, die uns als wichtigstes Alleinstellungsmerkmal von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen unterscheiden, und eine auch für andere Bereiche der Biologie wichtige, das Verständnis biologischer Vielfalt fördernde Grundlagenforschung ermöglichen.

Abb. 11
Warum junge u n d alte Individuen sammeln? Hier die Schädel eines adulten (oben) und juvenilen (unten) Löfflers (*Platalea leucorodia*). Die offenen Schädelnähte sind beim Jungvogel gut zu erkennen, beim erwachsenen Tier hingegen nicht mehr.
Foto: Sven Tränkner.

Dank

Mein ganz besonderer Dank gilt an dieser Stelle den beiden technischen Assistentinnen der ornithologischen Sektion, Dagmar Baumann und Saskia Dimter, sowie zahlreichen Schülern der Senckenbergschule. Ohne ihren Einsatz wäre der Aufbau der Skelettsammlung in so kurzer Zeit nicht möglich gewesen. Ein Dank auch an die vielen Institutionen und Privatleute, die uns über die Jahre mit Ausgangsmaterial für die Präparation versorgt haben, vor allem an den Weltvogelpark Walsrode, den Mannheimer Luisenpark, den Frankfurter Zoo sowie an Martin Becker, Achim Menzel, Pascal Eckhoff, Stephan Klaue und Gerhard Nikolaus. Das Manuskript profitierte zudem von der konstruktiven Kritik Albrecht Manegolds.

Schriften

Hartert, E. (1891): Katalog der Vogelsammlung im Museum der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft in Frankfurt am Main. Knauer, Frankfurt am Main. Hennig, W. (1950): Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik. Deutscher Zentralverlag, Berlin. Manegold, A. (2008a): Die ornithologischen Sammlungen im Senckenbergmuseum. – Falke **55**: 28–33. Manegold, A. (2008b): Composition and phylogenetic affinities of vangas (Vangidae, Oscines, Passeriformes) based on morphological characters. – Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research **46**: 267–277. Manegold, A. (2008c): Morphological characters of the tongue skeleton reveal phylogenetic relationships within the Corvidae (Oscines, Passeriformes). – Emu **108**: 321–330. Manegold, A. (2010): Two swallow species from the early Pliocene of Langebaanweg (South Africa). – Acta Palaeontologica Polonica **55**: 765–768. Mayr, G. (2002): Osteological evidence for paraphyly of the avian order Caprimulgiformes (nightjars and allies). – Journal für Ornithologie **143**: 82–97. Mayr, G. (2004): Old World Fossil Record of Modern-Type Hummingbirds. – Science, **304** (5672): 861–864. Mayr, G. (2007): Ein „monströser" Gänseschädel aus dem frühen Barock in der ornithologischen Sammlung des Senckenbergmuseums. – Natur und Museum **137**: 86–87. Mayr, G. (2008): The phylogenetic affinities of the parrot taxa *Agapornis*, *Loriculus* and *Melopsittacus* (Aves: Psittaciformes): Hypotarsal morphology supports the results of molecular analyses. – Emu **108**: 23–27. Mayr, G. (2009): Paleogene fossil birds. Springer, Heidelberg, 262 pp. Mayr, G. (2010): Phylogenetic relationships of the paraphyletic "caprimulgiform" birds (nightjars and allies). – Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research **48**: 126–137. Mayr, G. (2011): Metaves, Mirandornithes, Strisores, and other novelties – a critical review of the higher-level phylogeny of neornithine birds. – Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research **49**: 58–76. Mearns, B. & Mearns, R. (1998): The bird collectors. Academic Press, San Diego. Mertens, R. & Steinbacher, J. (1955): Die im Senckenberg-Museum vorhandenen Arten ausgestorbener, aussterbender oder seltener Vögel. – Senckenbergiana biologica **36**: 241–265. Meyer, A. (2005): Der Meister des Warum. Ernst Mayr, der Evolutionsbiologe des 20. Jahrhunderts, ist im Alter von 100 Jahren gestorben. – Die Zeit **7** (10.2.2005): 38. http://www.zeit.de/2005/07/nachruf_mayr. Olson, S. L. (2003): Development and uses of avian skeleton collections. – Bulletin of the British Ornithologists' Club **123A**: 26–34. Peters, D. S. (1992): Sektion Ornithologie. – S. 32–38 in Türkay, M & Ziegler, W. (Hrsg.): Geschichte der wissenschaftlichen Abteilungen und Sektionen 1967–1992. 125 Jahre Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft. Vol. 2. Verlag Waldemar Kramer Frankfurt am Main. Peters, D. S., Mayr, G. & Böhm, K. (2004): Ausgestorbene und gefährdete Vögel in den Sammlungen des Forschungsinstitutes und Naturmuseums Senckenberg. – Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft **560**: 1–101. Roselaar, C. S. (2003): An inventory of major European bird collections. – Bulletin of the British Ornithologists' Club **123A**: 253–337. Steinbacher, J. (1959): Weitere Angaben über ausgestorbene, aussterbende und seltene Vögel im Senckenberg-Museum. – Senckenbergiana biologica **40**: 1–14. Steinbacher, J. (1967): Geschichte der ornithologischen Sektion. – Senckenbergiana biologica **48**, Sonderheft B: 19–40. Wood, D. S. & Schnell, G. D. (1986): Revised world inventory of avian skeletal specimens 1986. American Ornithologists' Union, Norman, Oklahoma.

Verfasser
Dr. Gerald Mayr
Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum
Sektion Ornithologie
Senckenberganlage 25
D-60325 Frankfurt