

Das Fliegen - eine der abenteuerlichsten Anpassungen in der Natur.
Viele Tiere haben im Lauf der Evolution fliegen "gelernt".
Aber wie ist es einst entstanden?

Wer die Ursprünge des Fliegens ergründen will,
muss in der Erdgeschichte zurückgehen.
Weit zurück...

Vor Jahrmillionen kreuzten schon die Flugsaurier durch die Lüfte –
und selbst sie waren nicht die ersten, die den Luftraum eroberten...

Unsere Reise zu den Ursprüngen des Fliegens beginnt im Frankfurter Senckenberg Museum - bei
den Tieren, die weit vor uns die Erde beherrschten und die direkten Vorfahren unserer heutigen
Vögel sind.

Müssten sich nicht bei den Sauriern Spuren finden, wie das Fliegen entstand?
Wir Menschen können es leider nicht – zumindest nicht ohne technische Hilfsmittel. Vielleicht
fasziniert uns das Fliegen gerade deshalb so sehr.

Hinter den Kulissen des Museums treffen wir einen Forscher, der versucht die Evolution des
Fliegens zu ergründen.

Gerald Mayr ist Spezialist für Vögel.
Er will wissen, wie sie das Fliegen gelernt haben und sucht in der Vergangenheit nach des Rätsels
Lösung.

Immer wieder staunt er über die Vielfalt der Tierarten, die sich in die Lüfte erhoben haben. Er
weiß, dass es gar nicht die Vögel waren, die das Fliegen erfunden haben.

O-Ton Mayr: *Nach dem Wasser und dem Land war die Luft der letzte Lebensraum, der von den
Tieren erschlossen wurde. Vögel sind sicher diejenige Tiergruppe, die am besten und weitesten
bekannt ist und das vielleicht auch in höchster Vollendung geschafft hat. Daneben gab es in der
Vergangenheit auch einige andere Tiergruppen, die ebenfalls den Schritt in die Luft gewagt hatten,
und da waren auch einige sehr ungewöhnliche Formen dabei.*

Die ersten Lebewesen, die den festen Boden unter den Füßen verließen, erhoben sich auf zarten,
durchscheinenden Schwingen in die Lüfte.

Im Gegensatz zu ihren heute lebenden Nachfahren konnten sie enorme Spannweiten erreichen.
Unter ihnen gab es wahre Monster.

Die ersten Flieger überhaupt waren Insekten.
Schon vor 320 Millionen Jahren schwirrten Urlibellen und Urnetzflügler
durch die Wälder des Karbon.

Die ältesten fossilen Fluginsekten hatten noch drei Flügelpaare:
neben dem Vorder- und dem Hinterflügel paar ein Paar Vorderbrustflügelchen. Sie dienten wohl
nicht aktiv dem Flug, trugen aber möglicherweise zur Stabilisierung in der Luft bei.

Die Urnetzflügler waren Riesen, mit Spannweiten von mehr als einem halben Meter. Wahrscheinlich
waren sie aber noch keine sehr gewandten Flieger, sondern in erster Linie Gleiter. Die Flügel waren
vermutlich nicht allzu mobil. Auch die extrem langen Schwanzfäden hätten einen raschen, aktiven
Flug kaum zugelassen.

Die Urnetzflügler waren also mal flatternd, meist gleitend unterwegs.
Aber schon bald wurde der Insektenflug immer weiter perfektioniert -
über vergleichsweise schlechte Flieger wie die Skorpionsfliege...

bis zu wahren Luftakrobaten wie der Stubenfliege!

Unter den heute lebenden Insekten ähneln am ehesten die Libellen ihren riesenhaften Urnahmen. Was die Flugfähigkeit angeht, haben sie inzwischen große Fortschritte gemacht. Libellen gelten heute als die geschicktesten Flieger unter den Insekten.

In Super-Zeitlupe lässt sich ihre phänomenale Manövrierfähigkeit erkennen. Unabhängige Bewegungen ihrer Flügelpaare und blitzschnelle Drehungen jedes einzelnen Flügels sind das Geheimnis. Aber worin lag der evolutionäre Vorteil, der zur Eroberung des Luftraums führte?

O-Ton Mayr: *Fliegen ist im Allgemeinen eine sehr energieaufwändige Sache. Tiere, die Flug beherrschen, haben allerdings einige Vorteile, die nicht fliegende Tiere nicht haben. Zum Beispiel können sie sich neue Nahrungsquellen erschließen, können zum Beispiel Insekten jagen...*

Ihre Nahrungsquellen erreichen Bienen und Hummeln auf effektive Weise. Allerdings laufen sie dabei Gefahr, selbst zu Nahrung zu werden...

Bienenfresser schnappen sich ihre Beute im Flug. Sie gehören zu den geschicktesten Insektenjägern.

Doch lange bevor die ersten Vögel den Luftraum als Jagdrevier nutzten, stießen Reptilien in diese ökologische Nische vor - Flugsaurier! Die ersten fliegenden Wirbeltiere.

Die ältesten von ihnen sind gut 200 Millionen Jahre alt. Es gab verschiedenste Formen: Kleine, mit Spannweiten von 20 cm und Riesen vom Ausmaß kleiner Jets mit Spannweiten von 12 Metern. Zwischen einem extrem verlängerten Fingerknochen und dem Körper war eine Flughaut aufgespannt. Bei ausgebreiteten Schwingen entstand so eine enorme Tragfläche.

Am Boden machten die zusammengefalteten Flügel die Tiere wahrscheinlich recht unbeweglich. Die meisten Forscher gehen deshalb davon aus, dass Flugsaurier von Felsen oder Bäumen herabglitten, um in die Luft zu kommen und auf Beutezug zu gehen.

Vielleicht waren die Vorfahren der Flugsaurier kleine baumbewohnende Echsen, wie die heutigen Flugdrachen in Südostasien. Eidechsen mit überlangen Rippen, über die eine Flughaut gespannt ist. Mit ihrer Hilfe können sie von Baum zu Baum gleiten.

Wenn es dunkel wird im asiatischen Regenwald, kommen noch mehr Tiere aus ihren Verstecken, die mit Flughäuten am Körper - ähnlich einem Drachenflieger - durch die Luft gleiten:

Der Fluggecko! Er hat Tragflächen an den Gliedmaßen, dem Schwanz und den Körperseiten. In Ruhestellung dienen die Flughäute dem Insektenjäger neben der rindenartigen Färbung noch als zusätzliche Tarnung.

Ob die Vorfahren der Flugsaurier wie Flugdrachen oder Geckos geflogen sind, wissen wir nicht. Aber wir wissen, wann sie ausgestorben sind. Am Ende der Kreidezeit, vor etwa 65 Millionen Jahren, fegte der Einschlag eines Meteoriten die Saurier von der Bühne des Lebens...

Es begann die große Zeit der Säugetiere. Im Schatten der mächtigen Dinos hatten sie sich als kleine, nachtaktive und bodenbewohnende Kreaturen entwickelt. Weitgehend ungestört standen ihnen nun sämtliche Lebensräume offen. Zunächst eroberten sie die *Bäume*, um an Früchte und Samen zu gelangen. Am bequemsten von Baum zu Baum kommt man dabei im Flug. So entstanden vermutlich gleitfliegende Säugetiere, wie es sie noch heute auf der Erde gibt.

Der Gleitflug des Hörnchenflugbeutlers aus Neuguinea - 40-fach verlangsamt!

Schon bald nach dem Verschwinden der Flugsaurier wurden aus reinen Gleitfliegern echte Flug-

Säugetiere: die Fledertiere - Obst- und Nektarfresser mit Flughäuten, die über stark verlängerte Fingerknochen gespannt waren - wie bei den heute lebenden Flughunden.

Ist eine Nahrungsquelle aufgebraucht, kann ein Flughund kilometerweit bis zum nächsten blühenden Baum fliegen. Ein großer Überlebensvorteil gegenüber nicht fliegenden Tieren. Heute leben auf der Erde an die 1.000 verschiedene Fledertierarten. Mit Spannweiten von 20 Zentimetern bis über eineinhalb Metern, wie beim Indischen Flugfuchs.

Fliegend an weit entfernte Nahrungsquellen gelangen zu können ist *EIN* Überlebensvorteil. Einen sicheren Schlafplatz zu finden, ein anderer.

Schon vor über 50 Millionen Jahren haben Fledermäuse die Ultraschallortung entwickelt. Sie ermöglicht ihnen den Flug im Dunkeln – zur Jagd und zum Aufsuchen stockfinsterner Höhlen als Schlafquartier.

In der Höhle sind die Fledermäuse nicht nur vor Witterungseinflüssen geschützt – sondern auch vor fliegenden Fressfeinden wie Eulen!

Im Höhleninnern können die Fledermäuse ungestört ihren Nachwuchs großziehen.

Vögel haben das Fliegen zur vielleicht größten Vollendung gebracht. Es ist ihnen gelungen nahezu jede Region der Erde zu besiedeln - und am Himmel zeigen sie sich als wahre Akrobaten der Lüfte!

Ihr Geschick und ihre Vielfalt begeistern auch Flugforscher immer wieder aufs Neue:

O-Ton Mayr: *Die Vielfalt unter den heutigen Vögeln ist sehr groß, nicht nur was die Flugtechniken anbelangt, sondern auch was die Größe angeht, von Winzlingen wie den kleinsten Kolibris, die knapp die Größe einer Hummel erreichen und nur wenige Gramm wiegen bis zu dem Wanderalbatross oder dem Andenkondor, deren Flügelspannweite mehr als 3 Meter 50 beträgt.*

Die etwa 10.000 Vogelarten, die heute auf der Erde leben, sind ein Beleg dafür, wie erfolgreich sich das Flugpatent im Lauf der Evolution durchgesetzt hat -

- und das vom afrikanischen Flussdelta bis hinein in unsere Städte...

O-Ton Mayr: *Ein fliegendes Tier hat natürlich direkte Überlebensvorteile, dadurch dass es Feinden leichter entkommen kann als am Boden lebende Tiere.*
So ist ein Hund keine echte Gefahr für Tauben.

Auch die Nilgänse müssen den Waran nicht fürchten. Greift er an, fliegen sie einfach außer Reichweite.

O-Ton Mayr: *Darüber hinaus erschließen sich fliegenden Tieren neue Nahrungsquellen, die nicht fliegenden Tieren nicht so ohne weiteres zugänglich sind. Und fliegende Tiere können natürlich auch unter wesentlich geringerem Energieaufwand große Distanzen überbrücken als zum Beispiel schwimmende oder laufende Tiere.*

Das Abheben kostet in diesem Fall noch einiges an Energie - aber erstmal in der Luft, rücken selbst weit entfernte Kontinente in Reichweite.

Im Laufe der Evolution wurden viele Vögel zu Zugvögeln. Oft versammeln sie sich zu großen Schwärmen, reisen zum Teil über Tausende Kilometer zwischen Brutgebiet und Winterquartier, wo sie auch in der kalten Jahreszeit Nahrung finden.

Kraniche brüten im Sommer in Skandinavien und landen im Winter in Südspanien oder Nordafrika.

Den Streckenrekord hält die Küstenseeschwalbe - von der Nordsee in die Antarktis - 30.000 km hin

und zurück!

Vortrieb und Auftrieb ermöglichen diese Art der Fortbewegung. Den Vortrieb erzeugt das Schlagen mit den Flügeln, den Auftrieb das gewölbte Flügelprofil. Es beschleunigt den Luftstrom an der Flügeloberseite; so entsteht dort ein Unterdruck, der den Vogel regelrecht nach oben zieht.

Ein Gleitflieger in seinem Element - solche Bilder legen die Vermutung nahe, dass auch die Vögel einst über das Gleiten das Fliegen erlernt haben.

Auch beim Flugzeug sind es gewölbte Flügel, die für Auftrieb sorgen. Veränderungen an den Tragflächen gleichen Luftwirbel aus, dienen dem Manövrieren... und Landen.

O-Ton Mayr: *Eine Möglichkeit die Evolution des Vogelfluges zu untersuchen ist der Blick in die Vergangenheit und da sind wir bei den Vögeln in der glücklichen Lage dass es eine ganze Reihe von Fossilien gibt die uns darüber Aufschluss geben können. Vor mir liegt das 10. Exemplar des Urvogels Archaeopteryx, das erst vor wenigen Jahren bekannt wurde und das eines der am besten erhaltenen Skelette dieses Tieres ist und sehr schön den Übergang von einem nicht fliegenden Raubdinosaurier zu einem Vogel zeigt. Das Skelett von Archaeopteryx ähnelt sehr stark dem eines kleinen Raubdinosauriers. Hier am Kopf sieht man zum Beispiel, dass kleine Zähne vorhanden sind während Zähne bei heutigen Vögeln stark reduziert sind. Wenn man sich den Flügel ansieht von Archaeopteryx kann man erkennen dass die Finger nicht miteinander verwachsen sind wie bei heutigen Vögeln, sondern dass drei frei bewegliche Finger vorhanden sind, die jeweils eine große Krallen tragen. Der Schwanz von Archaeopteryx war noch ein typischer Reptilienschwanz – sehr lang mit zahlreichen Wirbeln, während der Schwanz bei heutigen Vögeln stark reduziert und sehr kurz ist. Das einzige Merkmal, das man hier auf dieser Platte sieht, woran auch ein Laie sofort erkennen kann, dass es sich um einen Vogel handelt, sind die gut erhaltenen Federn. Das ist eines der charakteristischen Merkmale, das Archaeopteryx mit heutigen Vögeln teilt. Die Feder von Archaeopteryx ähnelt völlig einer modernen Vogelfeder und diente sicherlich zum Fliegen, da bestehen keine Zweifel. Es muss aber in der Evolution der Vögel natürlich auch Vorformen gegeben haben, die noch nicht fliegen konnten aber auch schon eine federartige Hautbedeckung hatten und da stellt sich die Frage. Wozu diente diese? Die Antwort liegt vermutlich in einer Besonderheit der Vögel begründet und zwar sind Vögel ähnlich wie die Säugetiere Warmblüter, d.h. sie haben eine hohe Körpertemperatur, so dass angenommen wird, dass die Vorformen der Feder, die eher haarartige Strukturen waren, zur Isolation dienten, also verhinderten, dass Wärme verloren wurde, z.B. nachts, wenn die Temperaturen absanken oder in nördlichen Breitengraden.*

Federn halten das Schneehuhn warm und dienen der Tarnung in der weißen, arktischen Tundra. Andere wollen mit ihrem Federschmuck auffallen...

Noch bevor sie das Fliegen ermöglichten, dienten Federn als Signale:

Pfau, Anden-Felsenhahn und Pompadour-Kotinga nutzen ihr Federkleid, um das andere Geschlecht zu beeindrucken. Aber wie hoben die Vögel dann schließlich ab?

O-Ton Mayr: *Nach der Baumklettererhypothese entstand der Vogelflug von oben nach unten, d.h. man hat angenommen dass die Vorfahren der Vögel auf Bäume geklettert sind und dann über ein Gleitflugstadium den Vogelflug entwickelt haben. Das ist aus aerodynamischer Sicht sicherlich die plausible Hypothese.*

Es schien einfach logisch. Halb Saurier und halb Vogel, war Archaeopteryx vermutlich auf Bäume geklettert, von denen er sich dann heruntergestürzt und so das Gleiten gelernt hat.

O-Ton Mayr: *Dieses Exemplar, das 10. und letzte Archaeopteryx- Exemplar, das gefunden wurde, zeigt das Archaeopteryx den Dinosauriern, den Raubdinosauriern noch viel ähnlicher war als man bislang vermutet hatte. Und zwar sieht man hier4 einige Details des Fußes, die bisher noch nicht*

bekannt waren. In allen bisherigen Rekonstruktionen wird der Fuß von *Archaeopteryx* so dargestellt wie ein typischer Vogelfuß, d.h. mit einer nach hinten gerichteten Hinterzehe und drei Vorderzehen, die nach vorne zeigen. Bei diesem Stück sieht man allerdings sehr schön, dass die Hinterzehe von *Archaeopteryx* nicht nach hinten gedreht war, sondern ähnlich wie der menschliche Daumen seitlich abgespreizt war. Das bedeutet zum einen dass *Archaeopteryx* eines der letzten Vogelmerkmale fehlt, die noch für diesen Urvogel postuliert waren: die nach hinten gedreht Hinterzehe. Zum anderen bedeutet das, dass dadurch dass die Hinterzehe nicht nach hinten gedreht war, der Fuß vermutlich keine Klammerfuß war der zum Umgreifen von Ästen geeignet war, sondern dass *Archaeopteryx* ein Vogel war, der wohl die meiste Zeit, wenn er nicht in der Luft war, auf dem Boden verbracht hat, wie zum Beispiel heutige Hühner.

Der Urvogel konnte also vermutlich gar nicht klettern.
Sein Flug dürfte eher als Flattern am Boden entstanden sein – weil die Vogelvorfahren mit schlagenden Vordergliedmaßen besser ihren Feinden entkommen konnten.

Zu dieser Theorie passt auch das Verhalten einiger heutiger Vögel:

O-Ton Mayr: *Und zwar hat man beobachtet dass junge Steinhühner, die noch keine zum Fliegen geeigneten Flügel haben, ihre Flügel trotzdem benutzen, um schräge Flächen empor zu laufen, die sie nicht empor laufen könnten, wenn sie nicht dabei mit den Flügeln schlagen würden. Und so könnte man sich auch vorstellen dass die Vogelvorfahren zweibeinig laufende Tiere waren, die in unebenem Gelände gelebt haben, zum Beispiel ein Gelände in felsigen Gegenden war oder wo viele umgestürzte Baumstämme herumgelegen sind und die Vorflügel, die noch nicht zum Fliegen geeignet waren, dazu benutzt haben um schräge Flächen schnell empor laufen zu können zum Beispiel um Feinden zu entkommen.*

Aber eine Frage bleibt: wozu benutzte der Urvogel dann seine Krallen an den Flügeln?

O-Ton Mayr: *Ein sehr auffälliges Merkmal von *Archaeopteryx*, das ihn von heutigen Vögeln unterscheidet, sind diese drei freien Finger die sehr große, stark gekrümmte und spitze Krallen tragen. Und diese Krallen waren es vermutlich auch, die die Hypothesen des Stammkletterns oder Baumkletterns ins Spiel gebracht haben, weil man angenommen hat, dass diese nur dazu benutzt werden konnten, um Bäume empor zu klettern. Allerdings zeigen diese Krallen keinerlei Abnutzungsspuren, die man erwarten würde bei einem Stammkletterer, und es sind ja auch andere Funktionen dieser Krallen vorstellbar z.B. dass sie bei der Gefiederpflege benutzt wurden. *Archaeopteryx* hatte ja Zähne und es ist sehr schwierig, Federn zu glätten wenn man Zähne hat, weil man die Federn ja eher riefen würde bei dem Versuch sie zu glätten. Heutige Vögel spenden einen großen Teil ihrer Zeit der Gefiederpflege und wahrscheinlich hatte auch *Archaeopteryx* dafür Sorge zu tragen, dass das Gefieder immer in Ordnung war und so konnte er zum Beispiel seine Krallen dazu benutzen, um seine langen Schwanzfedern zu glätten.*

Federn wollen sorgfältig gereinigt und in die richtige Position gebracht werden, um ihre Funktion zu erfüllen. Winzige Häkchen verbinden benachbarte Federäste und sorgen für die notwendige Steifheit und Festigkeit.

Federn am Schwanz von *Caudipteryx* - einem zweibeinig laufenden Dinosaurier, der aber nicht fliegen konnte.

Trotzdem zeigt er ein weiteres Vogelmerkmal:

Die kleinen Steinchen im Magen halfen dem gefiederten Räuber wohl bei der Verdauung, wie bei heutigen Tauben oder Hühnern.

Einmal mehr eine Erinnerung daran, dass unsere heutigen Vögel eigentlich gefiederte Dinosaurier sind -

die so manches Merkmal ihrer Abstammung nicht verleugnen können...

O-Ton Mayr: *Es ist faszinierend, dass man selbst in den Knochen eines Brathähnchens noch Ähnlichkeiten erkennen kann zu den Knochen von Archaeopteryx, der am Beginn der Vogelevolution stand.*

Der Weg in die Lüfte ging also wahrscheinlich über *bodenlebende*, gefiederte Raubdinosaurier.
Ein neuer Fossilfund hat die bisherigen Theorien umgestoßen.
Und das vielleicht nicht zum letzten Mal...

O-Ton Mayr: *Trotz aller schlüssiger Theorien die man inzwischen hat bezüglich der Evolution des Vogelfluges, ist zu erwarten dass zukünftige Fossilfunde das Bild noch verfeinern werden und vielleicht auch dazu beitragen werden, dass einige Theorien, die heute verfochten werden, wieder revidiert werden müssen.*

Durch ihre detektivische Spurensuche kommen die Forscher dem Ursprung des Fliegens immer näher - bei den Vögeln und anderen Flugpionieren!