

## Kapitel 1: 400 Millionen Jahre Evolution des Fliegens

Vierfach zur Perfektion ausgereift **1**

*Vor ca. 400 Millionen Jahren (mya) muss es passiert sein, dass gewisse Insekten Flügel entwickelt haben, und nicht viel später konnten fast alle Insekten fliegen. Vögel entstanden immerhin schon vor 200 mya, Flugsaurier (von denen die Vögel nicht abstammen) 80 mya später. Im vierten Anlauf der Evolution lernten auch Säugetiere das Fliegen: Vor gut 20 mya tauchten die Fledertiere auf.*

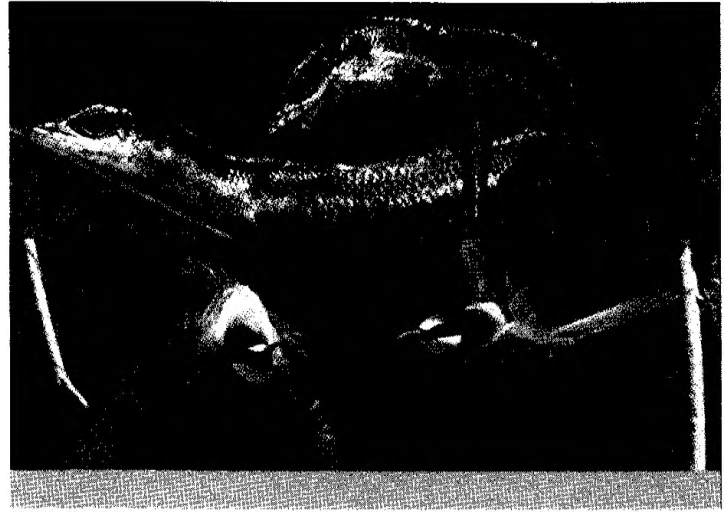
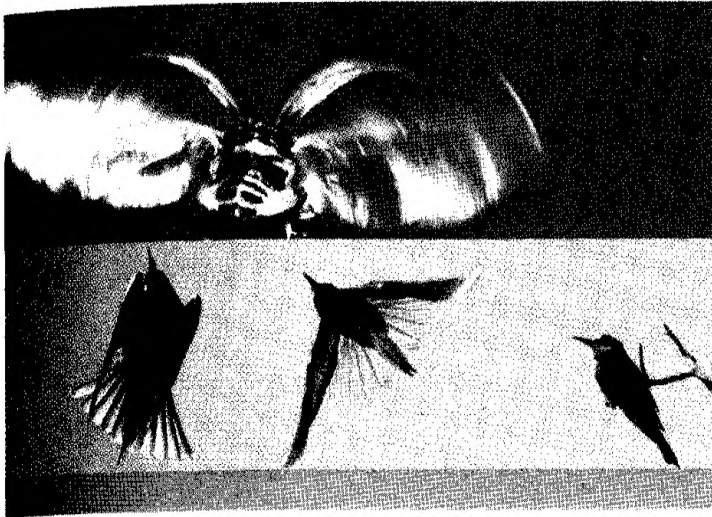
Systeme der Erdzeitalter	2
Fossilien	3
Evolution – ein stetiger Prozess	4
Stammesgeschichtliche Veränderungen	5
Alles Leben kommt aus dem Meer	6
„Missing links“	7
„Survival of the fittest“ ...	8
... und unvorstellbare genetische Variabilität	9
Flughörnchen ...	10
... und andere Gleiter	11
Das größte fliegende Wesen aller Zeiten	12
Auf vier Beinen so groß wie eine Giraffe	13
Fliegende Fische	14
Der Sprung aus dem Wasser	15
Konvergenz	16
Vogel oder Insekt?	17

## Kapitel 2: Tiere im Flug fotografieren

In vielerlei Hinsicht herausfordernd **19**

*In diesem Kapitel sollen Aspekte behandelt werden, die beim Erstellen von spannendem und illustrativem Bildmaterial von Bedeutung sind. Flugfotografie ist zumeist „Actionfotografie“ und erfordert schnelles Handeln. Insektenflügel bewegen sich derart schnell, dass sie nur in Bruchteilen von Millisekunden „eingefroren“ werden können. Zudem ändern fliegende Tiere ständig ihre Distanz zur Kamera, was Probleme mit der Schärfentiefe nach sich zieht.*

Gar nicht tölpelhaft	20
Full speed mit sichelförmigen Flügeln	21
„Möwenfotografie“	22
Senkrechter Blitzstart	23
Rivalenkämpfe ohne Stachel	25
Wiederholbare Versuche	26
Auch das Heupferd ist flugfreudig	27
Was die Zeitlupe zeigt ...	28
Bildverschmelzung zur Informationsverdichtung	30
„Multiple Bilder“	31
Albtraum der Hochgeschwindigkeitsfotografie	32
Was stimmt und was nicht?	33
Unzertrennlich und intelligent	34
Eine wahre Pracht	36
„Schlag auf Schlag“	38
So geht Schweben ...	39
Mit geschlossenen Flügeldecken	40
Keine Hummel!	41
Ein erster Schritt zum Gleitflug	42
Gleiten und Laufen am Wasser	44
Gleitwinkel von 25°	45
Lernfähige Flugkünstler	46
Gravitation als Werkzeug	47
Spektakuläre Balz	48
Kleptoparasitismus	49



### Kapitel 3: Aus der Sicht des Biophysikers ...

#### Fluide und Größenmaßstäbe

51

*Geflogen wird in der Luft, im übertragenen Sinn manchmal auch im Wasser. Es fliegen winzige und relativ große Tiere. Dennoch erlauben einfache Kenngrößen aus der Flugbiophysik einen ganz guten Vergleich. Sie ermöglichen ein tieferes Verständnis für die Probleme, die Tiere bei der Fortbewegung in Luft und Wasser haben – und lösen.*

Rekorde bei Flugtieren	52
Tiergröße und Reynolds-Zahl	54
Reynolds-Nischen und Flügelausbildung	55
Bewegung in Fluiden	56
Ganz unterschiedlich oder vergleichbar?	57
Das Cockpit	58
Huberzeugung an den Flügeln	60
Starre Flügel und tiefgreifende Erkenntnisse	62
Wenn Giganten abheben ...	64
Koordination und Rhythmik	66
Unterschiedliche Flugleistung	68
Der hilfreiche „Spring“	69
Größte und kleinste Vögel	70
Evolution und Physik	71
Falken: Die schnellsten Tiere der Welt	72
Tollpatschig nur außer Wasser	74
Ohne Flügelspreizen	75
Fliegen?	76
Nur unter Wasser!	77
Gelegenheitsflieger	78
Gleiten ohne Flügel	79
Exakte Analyse eines Anflugs	80
Insektenjagd in der Luft	82
Analyse eines Steigflugs	82
Fledertiere und Vögel als Vorbild	84
Der Fledertierflügel ist anders	85

### Kapitel 4: Kriterien der Evolution

#### Sexuelle Selektion, Klimaänderungen

87

*Die Evolution funktioniert deswegen besonders gut, weil es zwei Geschlechter gibt. Die Geschlechter finden auf verschiedene Arten zueinander. In der Mehrzahl der Fälle wählen Weibchen ihre Männchen nach Fitnesskriterien aus, die diese daher demonstrieren müssen (female choice). Nicht selten müssen Männchen aber direkt um die Weibchen konkurrieren, indem sie um sie kämpfen (male-male competition). Wenn die nächste Generation besser fliegen soll, geht es aber auch um Mutationen, die ermöglichen, die Grenzen der Biophysik noch extremer auszureizen.*

Sexuelle Evolution (1)	88
Sexuelle Evolution (2)	90
Paarung von Flugtieren	91
Die Männchen kämpfen um die Weibchen	94
Abfangjäger	96
Sexualdimorphismus	98
Buhlen um die Weibchen	99
Wie kommt der Pfau aufs Dach?	100
Schwebeflug im Duett	102
Schmarotzer im Huckepack	104
Aggressives Revierverhalten	105
Signale von beiden Geschlechtern	106
Giftstoffe als Fitnessindikation	107
Ophrys – Die Pflanze mit Sex	108
Tolle Luftakrobatik	110
„Beschleunigungsrüttler“	112
Aggressionsverhalten	114
Nahrungszufuhr und Flugunterricht	116
Klimaerwärmung (1)	118
Bienen und Schmetterlinge zu Weihnachten	119
Klimaerwärmung (2)	120



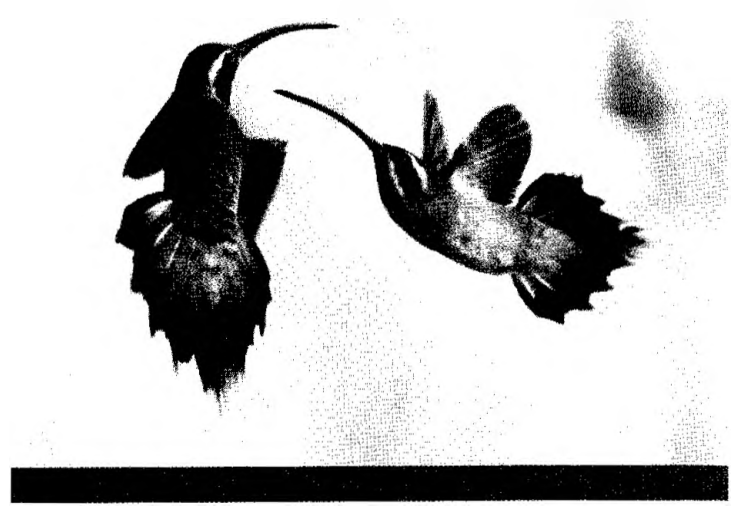
## Kapitel 5: Insekten: Die ersten Flugtiere

Jede Nische genutzt

123

*Die Insekten sind die erfolgreichste Klasse unter den Wirbellosen. Sie können fast alle mehr oder weniger gut fliegen. Offensichtlich war in ihrer Evolution das Flugvermögen ein dermaßen großer Vorteil, dass es sich relativ rasch „flächendeckend“ durchgesetzt hat. Selbst Riesen wie der Goliathkäfer oder Hirschkäfer können fliegen.*

Die Evolution des Insektenflugs	124
Tiergröße und Antriebsmuskulatur	126
Lastentransport	128
Absolut am Limit	130
Das wohl beliebteste Insekt	132
Phänomen Honigbiene	134
Kommunikation und Tänze	135
Taubenschwänzchen	136
Kindheitserinnerungen	138
Abflug!	140
Balancieren mit dem Hinterleib	142
Lange Hälse, riesige Flügel	144
Enorme Sprungkraft	146
4000 g im Pflanzenreich	147
Fliegende Ameisen	148
Beachtliche Fähigkeiten, aber sehr unbeliebt	150
Fliegende Termiten	152
Blitzschnelle Jäger im selben Habitat	154
Halbflügeldecken	156
Ortsfester Schwirrfly	158
Dumbos Flug zur Sonne	160
Schmetterlingsfluganalysen	162



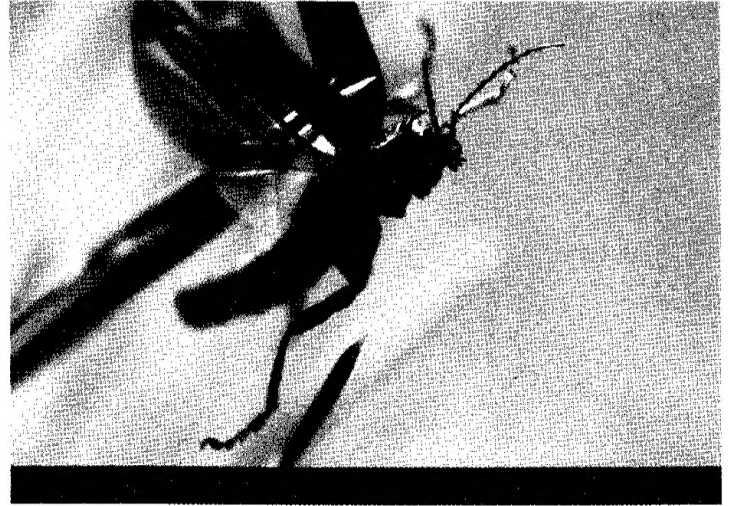
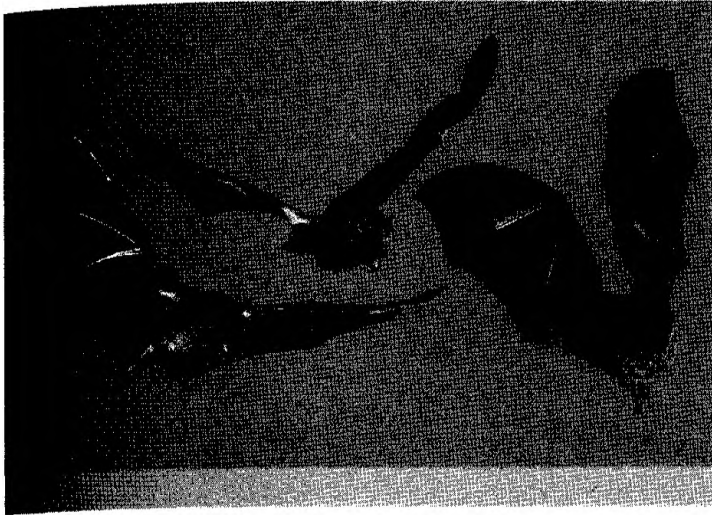
## Kapitel 6: Vögel: Die Klassiker unter den Flugtieren

Vom Kolibri bis zum Andenkondor

165

*Unter den Wirbeltieren sind die omnipräsenten Vögel der Inbegriff des Fliegens. Der Archaeopteryx – als klassisches „missing link“ in der Evolutionstheorie – machte mit seinen unmittelbaren Vorfahren vor 200 Millionen Jahren den Anfang. Seither schwirren, flattern oder gleiten sie in allen Größenordnungen und bestäuben Blüten oder jagen Insekten oder Kleinsäuger.*

Archaeopteryx	166
Ausreizen der biophysikalischen Grenzen	168
Biomechanische Interpretation von Vogelflug-Aufnahmen	170
Biomechanische Interpretation (2)	172
Biomechanische Interpretation (3)	174
Biomechanische Interpretation (4)	176
Beine anlegen!	178
Perpetuum mobile?	179
Fliegen mit Momentenausgleich ...	180
Wechsel zwischen den Elementen	182
Unter Wasser wird gerudert	184
Gefiederpflege und/oder Balzverhalten	186
Auf leisen Flügeln	187
Die Mauser und Theorien zur Entstehung der Federn	188
„Adleraugen“	190
Die Meister im Schwirrfly	192
Manöver mit 50 Schlägen pro Sekunde	194
Gut fliegen und tauchen	196
Eigene Technik	198
Lange Beine	200
Große Greifvögel an der Grenze der Elemente	202
Mit Anlauf in den Sturzflug	204
Eine erfolgreiche Species	206



## Kapitel 7: Fledertiere

### Fliegende Säugetiere

209

*Fledermäuse und Flughunde haben sich erst vor 50 Millionen Jahren in die Lüfte erhoben. Insekten fliegen schon siebenmal länger, Vögel immerhin viermal so lang. Die Flugsaurier, die 170 Millionen Jahre durch die Lüfte flogen, verschwanden durch drastische Klimaänderungen am Ende des Erdmittelalters. Durch die Orientierung mittels Ultraschall konnten die Fledermäuse die Dunkelheit erobern.*

Evolution der Fledermäuse und ihr Flugvermögen	210
Urfledermaus und „neuere Versionen“	212
Hufeisennasen und andere Fledermäuse	214
Sehen mit den Ohren	216
Analyse eines Schwirrfzugs	218
Nicht nur in der Nacht	220
Zungenschnalzen zur Echoortung	222

## Kapitel 8: Die Faszination bleibt

### Die Thematik ist und bleibt spannend

225

*Die Tatsache, dass sich Tiere – und letztendlich auch der Mensch – in die Lüfte erheben können, als ob es keine Schwerkraft gäbe, übt seit jeher eine enorme Faszination auf uns aus. Die Biophysik hilft, die Tatsache zu verstehen und zu analysieren. Außerdem ist es auch „typisch“ für die unglaubliche Fähigkeit der Evolution, jede auch nur erdenkliche Nische bis an die Grenzen auszuloten, indem Schritt für Schritt „ein Stein auf den anderen“ gesetzt wird.*

Von der Wiege bis zur Bahre	226
Langer Rüssel vs. lange Nektarsporne	228
„Herzige Räuber“	230
Action pur	232
An des Messers Schneide	234
Spannend, wenn man genau hinsieht	236
Das Ausbreiten der Flügel	237
Kurven kratzen	238
Flugakrobaten und Langstreckenflieger	239
Vögel und Insekten im Wechselspiel	240
Schafft er's oder nicht?	241
Ein ganzer Flügelschlag	242

Ein „Klassiker“: Otto Lilienthals Zeichnung zum Auftrieb bei großen Vögeln. In diesem Buch wird unter anderem auf dieses Thema eingegangen (s. S. 60f).

