

Der Ursprung der Insektenflügel – aus einer etwas anderen Perspektive

Klaus E. Kossack

Dieser Artikel handelt von einer neuen Theorie zur Flügelentwicklung bei Insekten. Sie vereint die Hauptargumente der drei bestehenden Theorien. Auch die Ergebnisse genetischer Untersuchungen japanischer Wissenschaftler, die von einer schnellen Flügelentwicklung mit wenigen Veränderungsschritten ausgehen, stimmen mit dieser Theorie überein.

Insekten waren die ersten Lebewesen die funktionsfähige Flügel entwickelt haben. Im Laufe der Evolution haben sie unterschiedliche Flugtechniken und verschiedene Flügelvarianten hervorgebracht: Die Käferarten mit ihren verhornten Deckflügeln, die Fliegenarten, die ihre hinteren Flügel zu Schwingkölbchen ausgebildet haben oder die Libellen mit zwei gleichwertigen Flügelpaaren. Wie auch immer sie sich entwickelt haben, alle benötigen die notwendigen Komponenten eines funktionstauglichen Flugapparates.

Es wurden schon viele Artikel über die Herkunft der Insektenflügel verfasst und viel über ihre Entstehung spekuliert, gesicherte Erkenntnisse gibt es jedoch bisher nicht. Bis zu einem Zeitpunkt vor ca. 400 Millionen Jahren (Devon) sind keine geflügelten Insekten bekannt. Die ersten Insekten mit voll funktionsfähigen Flügeln traten erst vor 320 Millionen Jahren (Karbon) auf. Alle bisher bekannten mit Flügel ausgestatteten Gattungen, fossil oder rezent, weisen einen voll funktionsfähigen Flugapparat auf (ausgenommen Insekten mit zurückgebildeten Flügeln). Erstaunlicherweise sind keine mit flügelähnlichen Gebilden oder schon flügelbehaftete noch flugunfähige Übergangsformen gefunden worden. Zur Erklärung der Herkunft von Insektenflügeln bestehen drei verschiedene Theorien. Gängig sind in erster Linie zwei – die Paranotaltheorie und die Epicoxal-Theorie.

1. Die Flügel haben sich aus seitlichen Auswüchsen des Insektes gebildet.

2. Die Flügel bei Insekten stammen von starren Auswüchsen am Rücken (Paranotaltheorie, erstmals Müller, F., 1873).^[1]

Diese Theorie basiert auf dem Vorhandensein starrer Fortsätze, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt der Entwicklung, der Ontogenese, an der Rückenplatte (Notum) bilden.

3. Anhängsel der Beine (Spaltbeine) haben sich im Laufe der Evolution zu Flügeln entwickelt (Epicoxal-Theorie, Kukulova-Peck).^[2]

Nach der Epicoxal-Theorie entstanden die Flügel aus den beweglichen äußeren Anhängen des obersten Beinsegmentes (Epicoxa), über welche die Vorfahren der heutigen Insekten verfügten. Der Sachverhalt, dass die Flügel durch eine Abzweigung der Beintracheen mit Sauerstoff versorgt werden, ist der zentrale Ansatzpunkt bei dieser Theorie.

Im Mittelpunkt dieses Artikels stehen jedoch nicht die drei Theorien, sondern eine weitere bislang unbekannt. Sie ist allerdings sowohl mit der Paranotaltheorie als auch mit der Epicoxal-Theorie in Verbindung zu bringen, sie vereint sogar die Hauptargumente aller drei Theorien.

Flügellose Insekten, die im Laufe der Zeit einen komplett funktionsfähigen Flugapparat entwickeln, brauchen mehrere Komponenten um fliegen zu können. Die Tatsache, dass das Vorhandensein solcher Komponenten noch lange keinen voll funktionsfähigen Flugapparat ergibt, ist in diesem Artikel nicht relevant. Die Konzentration liegt hier ausschließlich auf der Herkunft der verschiedenen Flügelkomponenten.

Was ist notwendig damit ein bisher flugunfähiges Insekt sich in die Lüfte erheben kann?

In erster Linie sind es die Flügel, die aus dem richtigen Material bestehen müssen und die richtige Dicke, Größe und Form benötigen. Hier hätte man im Grunde unzählige fossile Übergangsformen finden müssen, die noch nicht flugfähig waren. Eine solche steht bislang jedoch aus.

Des Weiteren benötigt man Gelenke. Diese brauchen, wie alle anderen Gelenke, eine Ergänzungssymmetrie bzw. Anti-Symmetrie. Eine Ergänzungssymmetrie kann nur durch die Segmentierung eines schon vorhandenen zunächst starren Fortsatzes entstehen.

Letztlich benötigt man noch Muskeln und ein dazugehöriges Bewegungsprogramm, auch dann, wenn die Flügel anfangs nur zum Segeln oder zur Wärmeregulation, wie es in vielen wissenschaftlichen Abhandlungen beschrieben wird, benutzt wurden (reduziertes Bewegungsprogramm). Die Flügel, die beim Segeln seitlich vom Körper abgestellt wurden, müssten im Normalfall (im Ruhezustand) eine andere Position eingenommen haben.

Es sind also mehrere Komponenten und bestimmte Voraussetzungen nötig, um fliegen zu können.

Geht man von der hier vorgestellten Theorie aus, dann muss man auf die unveröffentlichte Arbeit „Die universelle Geometrie der Biologie“ verweisen. Eine veröffentlichte kurze Zusammenfassung der Arbeit findet man im Internet unter: www.zoohaus-ws.de. Es geht hier in erster Linie um den Begriff „Multisymmetrie“.^[3]

In dieser Arbeit wird unter anderem beschrieben, dass das Leben generell multisymmetrisch aufgebaut ist – das heißt: Ein zumindest höher entwickelter Organismus weist nicht nur den bekannten bilateralsymmetrischen Aufbau (vertikalsymmetrisch) auf, sondern besitzt auch einen transversalen- (horizontalsymmetrisch), frontalen- (ventral-dorsalsymmetrisch) und radiärsymmetrischen (rotationssymmetrisch) grundsätzlichen Aufbau. Hinzu kommen noch Sondersymmetrien, die in diesem Artikel allerdings keine Rolle spielen.

Die hier relevante Symmetrie ist die „Frontalsymmetrie“. Die neue Theorie geht grundsätzlich davon aus, dass die ventral angeordneten kompletten Beinanlagen in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt nach dorsal gespiegelt wurden. In einem solchen Fall wäre alles, was für eine Flügelentwicklung notwendig ist, mit einem grundsätzlichen Entwicklungsschritt vorhanden - Fortsätze, Gelenke, Muskeln und ein separates Bewegungsprogramm.

Hinweise für diese Annahme findet man bei fossilen Insektenfunden, die ein drittes Flügelpaar am Prothorax aufweisen.

Die Übereinstimmung mit den oben genannten Theorien besteht bei der Paranotaltheorie, wie schon beschrieben, in den starren Fortsätzen die aus der Rückenplatte entstehen und bis zur letzten Häutung starr mit den Flügelanlagen verbunden sind. Spiegelt sich die

komplette Beinanlage von ventral nach dorsal, sind zunächst nur starre Auswüchse vorhanden. Derartige Auswüchse bzw. deren Verbindung zur gesamten Flügelanlage bilden erst in einem späteren Entwicklungsstadium ein Gelenk aus.

Der Zusammenhang mit der Epicoxal-Theorie liegt in den sich abzweigenden Beintracheen, welche die Flügel mit Sauerstoff versorgen. Durch die Übertragung der kompletten Beinanlage übertragen sich dann auch die Beintracheen.

Der Vorteil der neuen Theorie gegenüber den gängigen liegt in der Möglichkeit einer relativ schnellen Entwicklung mit wenigen Veränderungsschritten. Diese Annahme deckt sich exakt mit den Erkenntnissen japanischer Wissenschaftler, die aufgrund genetischer Untersuchungen von einer verhältnismäßig schnellen Flügelentwicklung ausgehen und diese mit relativ wenigen Veränderungsschritten auskommt. (Niwa et al. 2010).^[4]

Ausgehend von der Epicoxal-Theorie stellt sich dann allerdings die Frage: Woher kommt ein an die Flügel entsprechend angepasstes Bewegungsprogramm? Teilt sich das ursprüngliche der schon vorhandenen Beine auf oder entwickelt sich ein völlig neues. Bei einer Übertragung der kompletten Beinanlage überträgt sich folglich auch das Bewegungsprogramm. Dies wiederum deckt sich mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen, dass bestimmte Verschaltungen im für die Flügelbewegung zuständigen Nervensystem denen von Laufbewegungen gleichkommen. Allerdings nur bei der ursprünglicheren direkten Flugmuskulatur (z. B. bei Libellen).

Beine werden durch Muskeln bewegt. Ein von Genetikern gefundenes Schaltergen mit dem Namen *spalt* ist für die Entwicklung der Flugmuskulatur erforderlich. Wird dieses Gen ausgeschaltet, entwickelt sich die Flugmuskulatur z.B. zu Beinmuskulatur. *Spalt* kann sogar die Beinmuskulatur unter bestimmten Voraussetzungen in flugmuskelartige, fibrilläre Muskulatur umprogrammieren ^[5]. Dies funktioniert natürlich nur dann, wenn bereits eine separate Beinmuskulatur vorhanden ist.

Ein starrer Fortsatz, der sich auf dem Rücken befindet, ist noch lange kein Flügel. Das trifft auch auf den Anhang eines Beines zu. Beine sind eher rundlich aufgebaut, Flügel sind dagegen flach und sehr dünn. Die Entstehung eines flügelähnlichen Gebildes mit derartigen Voraussetzungen würde sich vermutlich über einen zu langen Zeitraum erstrecken. Ein Insekt könnte mit beinähnlichen Auswüchsen, die möglicherweise noch das eher langsame Bewegungsprogramm der Beine besitzen, keiner Wärmeregulation nachgehen.

Aufgrund solcher und anderer Ungereimtheiten wird hier eine weitere Komponente ins Spiel gebracht: Die Insektenaugen.

Doch was haben Augen mit Flügeln zu tun?

Bei Tauffliegen (*Drosophila*), die schon sehr vielen Forschungsprojekten dienen, wachsen manchmal Flügel an Stellen an welchen eigentlich die Augen sitzen sollten. Bei Gespenstschrecken befinden sich im Normalfall kleine Dornen vor ihren zurückgebildeten Flügeln des Meso- und Metathorax (Abb. 8). Bei Missbildungen können solche Dornen auch an ihren Augen auftreten. Diese Dornen am Kopf sind dann sogar etwas abgeflacht. ^[6]

Flügel sind sehr dünn und haben oft eine fein eingeteilte Struktur. Bei manchen Insekten wie z. B. der Libelle sind sie besonders fein strukturiert (siehe Abb. 2).

Eine ähnliche Material- bzw. Hautbeschaffenheit tritt bei Insekten nur noch an der obersten Hautschicht der Facettenaugen (manchmal auch „Netzaugen“ genannt) auf.

Sieht man sich das Auge eines Käfers etwas genauer an, dann verlaufen die Zwischenräume der Facettenaugen (Abb. 4) ähnlich wie die Struktur der Flügel einer Libelle. Grob nachgezeichnet sehen solche Strukturen aus wie in Abb. 6. Zeichnet man die Zwischenräume differenzierter, ergibt sich sogar eine Einteilung wie sie nahezu exakt beim Libellenflügel zu finden ist (Abb. 2 grüner Pfeil u. Abb. 4 gelber Pfeil).

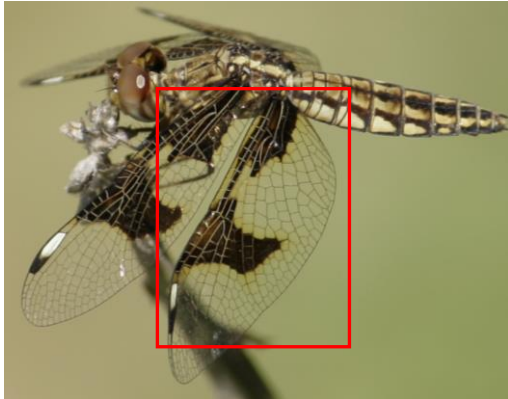


Abb. 1 Libelle

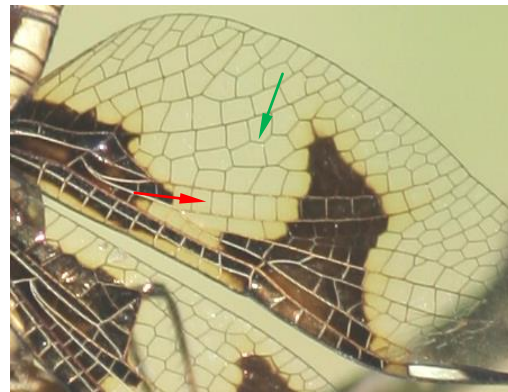


Abb. 2 vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 1 um 90° nach links gedreht



Abb. 3 Käfer mit markiertem Auge



Abb. 4 vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 3



Abb. 5 Flügelstruktur einer Heuschrecke

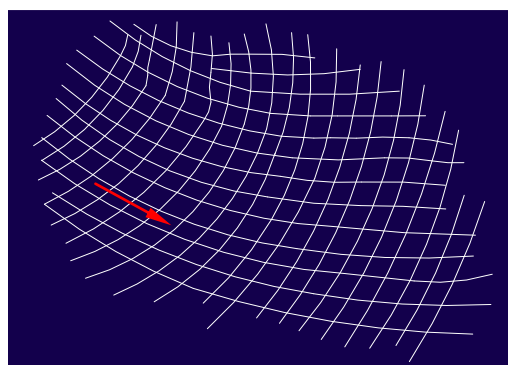


Abb. 6 nachgezeichnete Struktur aus Abb. 4

In den Abb. 2, 4, 5 u. 6 ist beim genaueren Hinsehen eine Verjüngung der Strukturen in Richtung links zu erkennen. Diese Verjüngung verläuft bei den Flügeln zu den Ansatzpunkten am Flügelgelenk. Erstaunlicherweise zeigt sich auch beim Käferauge ein solcher Effekt (eine Verzerrung der Perspektive in Abb.4 kann aufgrund der Kameraposition ausgeschlossen werden).

Die Platzierung und Anordnung der Augen beim Käfer kann mit der Position der zurückgebildeten Flügel am Meso- und Metathorax einer Gespenstschrecke verglichen werden.

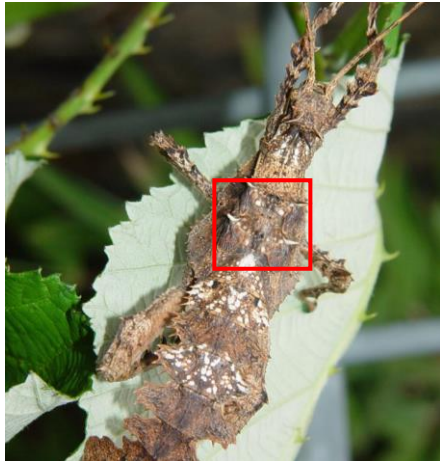


Abb. 7 Gespenstschrecke



Abb. 8 Ausschnitt aus Abb. 7 Meso- u. Metathorax um 180° Gedreht

Ein weiteres Indiz für die Augenkomponente ist in Abb. 9 zu sehen.

Bei diesem Insekt handelt es sich um eine Ameisenwespe (*Dasylabelis* sp.). In dieser Gattung besitzen nur die Männchen Flügel.

Es hat zunächst den Anschein als würde man von drei Augen angesehen. In Wirklichkeit sind es nur zwei Augen (Männchen, Weibchen) und die „Flügelgelenkplatte“ des Männchens. Die Augen und die „Flügelgelenkplatte“ sind, aus morphologischer Sicht, nahezu identisch. (Abb. 9, rote Pfeile Augen, gelber Pfeil „Flügelgelenkplatte“)



Abb. 9 Paarung von *Dasylabelis* ssp., die in Asien weit verbreitet ist.

Eine Bestätigung dieser Annahme erhält man durch die Vergrößerung des Auges und der „Flügelgelenkplatte“.



Abb. 10 „Flügelgelenkplatte“



Abb. 11 Insektenauge (Männchen) um 90° nach links gedreht

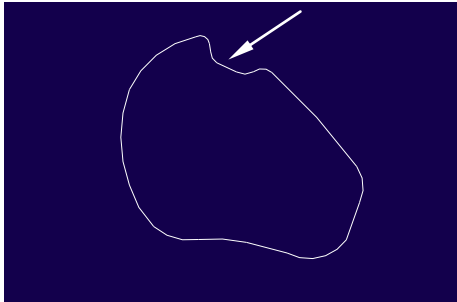


Abb. 12 Konturen aus Abb. 10

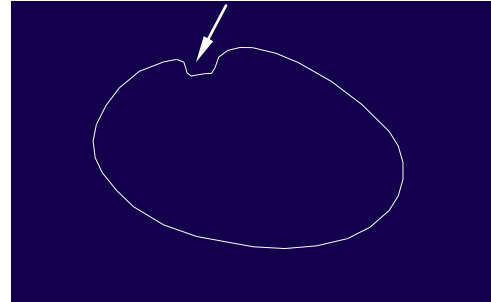


Abb. 13 Konturen aus Abb. 11

Sowohl die „Flügelgelenkplatte“ als auch das Insektenauge weisen beide eine ähnliche Einbuchtung auf. (siehe Pfeile Abb. 12 u. 13)

Nimmt man alle Indizien zusammen, dann kann man davon ausgehen, dass auch eine Augenmissbildung in Richtung Thorax erfolgte. Diese hat in Kombination mit der zuvor beschriebenen Frontalsymmetrie der gesamten Beinanlagen zur grundsätzlichen und schnellen Entstehung des gesamten Flugapparates geführt.

Bei einer zusammenwirkenden Neuverschaltung der Bein- und Augengene könnte sich das Format der Beine auf die oberste facettierte Hautschicht der Augen übertragen haben, die sich dann mit den Beinen kombinierte. Eine solche Annahme würde bedeuten, dass die ersten „flügelähnlichen Gebilde“ schon ein annähernd ausreichend großes Format hatten.

Alle Extremitäten bei Arthropoden, wie Beine, Antennen, Cerci und erstaunlicherweise auch einige Mundwerkzeuge, gehen auf einen gemeinsamen Grundtypus Bein (Urgliedmaße) zurück. Erst in einem späteren Embryonalstadium wird durch organspezifische Gene festgelegt, in welche Richtung die endgültige Entwicklung verläuft.^[7]

Höchstwahrscheinlich gehören auch die Flügel dazu

Übrigens:

Vogelspinnen gehören zu den Arthropoden. Sie haben acht Beine und die meisten von ihnen auch acht Augen. Purer Zufall? Ausgehend von der Transversalsymmetrie haben Vogelspinnen an ihrem Vorderkörper vier Hauptextremitätenpaare, die Beine. An ihrem Hinterkörper besitzen sie ebenfalls vier Hauptextremitätenpaare. Die beiden hinteren entwickeln sich zu kleinen gegliederten beinähnlichen Fortsätzen, zu Spinnwarzen, die beiden vorderen stülpen sich wieder ein und entwickeln sich zu Atmungsorganen, den so genannten Buchlungen. Hiermit besteht, wenn auch nur indirekt, eine Verbindung zwischen Beinen, Augen und Atmungsorganen.

Insektenbeine bzw. -füße sind grundsätzlich in drei Bereiche eingeteilt, ein solcher Aufbau trifft auch auf die Insektenflügel zu.

Rechts Abb.14, ein Skorpionbein bzw. -fuß.

Skorpionbeine und Insektenbeine sind in ihrem Aufbau generell gleich. Der Unterschied liegt im mittleren Zapfen (Pfeil), der bei Insekten krallenförmig oder auch rundlich und deutlich größer ausgelegt sein kann.



Abb. 14 Skorpionfuß

Erstaunlicherweise sind auch die Hände und Füße des Menschen in nur drei Dermatome (Hautsegmente) eingeteilt ^[3]

Ein weiteres Indiz dafür, dass es sich um frontal gespiegelte Beine handelt findet man in den Halteren (Schwingkölbchen) mancher Fluginsekten. Ihr morphologischer Aufbau zeigt eine große Ähnlichkeit mit den Beinen, zum einen aufgrund ihres runden kugeligen Endes, zum anderen in der Umfassung der Enden bei den Halteren. Diese entspricht bei den Beinen den beiden äußeren seitlich abgespreizt sitzenden Fußfortsätzen (Abb.15).

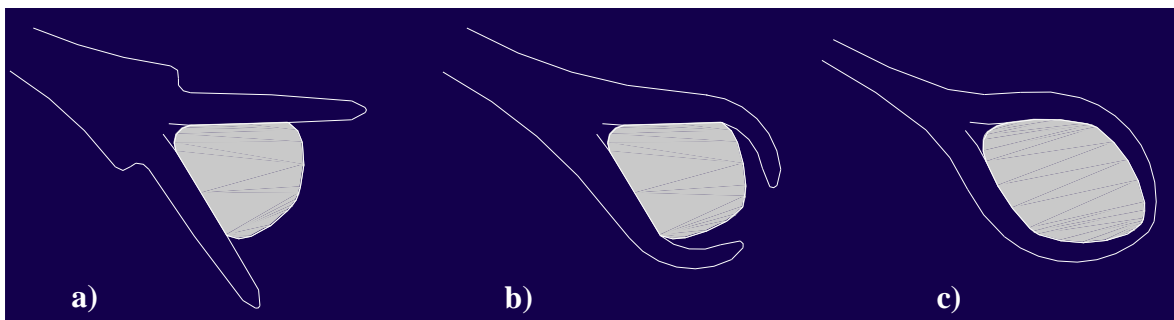


Abb. 15 Schema eines möglichen Entwicklungsablaufes, a) Insektenfuß (Gespenstschrecke), b) möglicher Zwischenschritt, c) Haltere, (Die kugeligen Bereiche sind grau eingefärbt)

Sieht man sich allerdings den Schaft der Halteren (Abb.18) etwas genauer an, dann erinnert er mehr an den Schaft der Antennen als den der Beine. Die Halteren, sowie auch die Antennen, weisen bei einigen Arten eine feinere Gliederstrukturierung (nicht Gliederung bei den Halteren) als die Beine auf. Dies lässt den Schluss zu, dass die Halteren eine Kombination aus einfachem Flügelgelenk, Antennenformat und Beinen bzw. Füßen sind.

Eine ähnliche Kombination ist als Missbildung bei einer Gespenstschrecke in einem Insektenmagazin zu sehen. Ausgangspunkt hier ist eine abgebrochene Antenne einer Gespenstschrecken-Larve. Schon bei der nächsten Häutung konnte man ein kleines kugelförmiges Gebilde am Ende der Antenne erkennen. Aber bereits bei der darauf folgenden Häutung hatte sich im mittleren Abschnitt (Bruchstelle) der Antenne ein Bein bzw. Fuß anstatt das Ende einer Antenne gebildet. ^[6]

Man kann diese Art von Missbildung, die aufgrund einer Verletzung unilateral entstanden ist, natürlich nicht mit einer bilateralen Missbildung, die ihren Ursprung direkt in den Genen hat, vergleichen. Allerdings zeigt sich bei diesem Beispiel, dass solche spontanen Fehlkonstruktionen, aufgrund eines Urgliedmaßes, durchaus möglich sind.

Des Weiteren gehen Wissenschaftler von zusätzlichen Funktionen der Halteren aus. Laufen manche Fluginsekten in vertikaler Richtung, benutzen sie die Halteren wie Beine. ^[8]

Man kann durchaus davon ausgehen, dass es sich bei den Halteren um keine umgewandelten Flügel handelt, sondern um eine spontane kombinatorische Missbildung aus Flügelgelenk, Antennenformat und Beinen bzw. Fuß. Eine Umwandlung von Flügeln zu Halteren wäre viel zu zeitintensiv. Auch hier hätte man Übergangsformen finden müssen.

Die Flügelentwicklung entspricht einer kombinatorischen Missbildung aus Beinen bzw. Fuß und der obersten Hautschicht der Augen. Nur ein schneller und spontaner Ursprung der Flügel- und Halterenkomponenten machen eine harmonische und auch zeitnahe Anpassung an die Umwelt möglich. Bedenken sollte man auch, dass die Fächerflügler (Strepsiptera) im Gegensatz zu den Zweiflüglern (Diptera) ihre Halteren vorne haben. Das würde bedeuten, dass bei unterschiedlichen Gattungen an unterschiedlichen Positionen (Vorderflügel und Hinterflügel) eine zeitintensive analoge Umwandlung von Flügeln zu Halteren stattgefunden hätte. Ein solcher Vorgang ist äußerst unwahrscheinlich.

Generell sind viele verschiedene Kombinationen zwischen Beinen und Augen, die zur Entwicklung der Flügel und Halteren geführt haben, möglich.



Abb.16 Schnake (Dorsalan-sicht)

Abb.17 Etwas vergrößerter Ausschnitt aus Abb.16 mit markierter Haltere.

Abb.18 Vergrößerter markierter Ausschnitt aus Abb.17.



In Abb. 18 ist deutlich zu sehen, wie zweifellos zwei Fortsätze den kugeligen Teil der Haltere fast völlig umschließen. Bei manchen Gattungen wird dieser Teil komplett und Übergangslos von beiden Fortsätzen eingerahmt.

Nicht vergessen darf man die Fal Flügel bei manchen Gattungen, die durch Gelenke gefaltet bzw. eingeklappt werden. Hier müssen aus Sicht der Beinhypothese nur die entsprechenden „organspezifischen Gene“ zur Gelenkbildung gelesen (aktiviert) werden. Es bedarf somit keiner Neuentwicklung von Gelenken.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Die hier vorgestellte neue Theorie vereint folgende verschiedene und voneinander unabhängige Theorien, Erkenntnisse und Beobachtungen widerspruchsfrei in sich:

- Die Hauptargumente aller drei bestehender Theorien zur Flügelentwicklung
- Die Erkenntnisse japanischer Wissenschaftler, die von einer schnellen Flügelentwicklung mit wenigen Veränderungsschritten ausgehen
- Analoge motorische Flügel- und Beinbewegungsmuster
- Die Möglichkeit des Schaltermens *spalt* Beinmuskulatur in flugmuskelartige, fibrilläre Muskulatur umzuprogrammieren
- Missbildungen bei Taufliedgen und Gespenstschrecken
- Nahezu identische Morphologie zwischen „Flügelgelenkplatte“ und Augen, bei der Ameisenwespe
- Die morphologische Ähnlichkeit bei Beinen und Halteren
- Übereinstimmungen zur Musterbildung im Einklang mit der Abhandlung „Die universelle Geometrie der Biologie“

Selbst wenn man davon ausgehen würde, dass die Herkunft der Flügel- und Halterenkomponten geklärt wäre, müsste man sich dennoch fragen, wie sich alle vorhandenen Komponenten zu einem funktionstauglichen Flugapparat entwickeln konnten. Diese Frage bleibt zunächst noch ungeklärt.

Vielleicht kann dieser Artikel dazu beitragen, zumindest die Herkunft der Flügelkomponenten zu enträtseln.

Klaus E. Kossack

Quellennachweis:

- [1] Müller, F. (1873) Beiträge zur Kenntnis der Termiten. Jena. Z. Naturw. 7, 333-358; 451-463
- [2] Wikipedia – Flügel (Insekt). Die Epicoxal-Theorie nach J. Kukulova-Peck.
[https://de.wikipedia.org/wiki/Flügel_\(Insekt\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Flügel_(Insekt))
- [3] K.E. Kossack 2017, Die universelle Geometrie der Biologie, S. 4-5, 8-10, 12
<https://cms.e.jimdo.com/app/s7986a28198e57e8b/p14d26e774d7b01e1?cmsEdit=1>
- [4] Niwa. N. et. Al. (2010) Evolutionary origin of the insect wing via interation of two developmental modules. Evolution & Development 12(2), 168-176.
- [5] Schnorrer & Schönbauer 2013, Flügel Kommandant: Ein Muskelgen ermöglicht Insekten das Fliegen. Forschungsbericht 2013 – MPI für Biologie
- [6] J. Köhn 2008, Eine Mißbildung bei der Gespenstschrecke *Exatosoma tiaratum* (MacLeay, 1827). Arthropoda 2008-16/1

[7] S. Eilmus 2008, Bemerkungen zur Regeneration eines Beines anstelle einer Antenne bei Phasmiden. Arthropoda 2008-16/1

[8] J. M. Hall et al 2015, Kinematic diversity suggests expanded roles for fly halteres. Biology Letters, DOI: 10.1098/rsbl.2015.0845

Urheberrecht der Fotografien: Frank Schneider

Urheberrecht der Grafiken: Klaus E. Kossack

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die der fotomechanischen Vervielfältigung oder Übernahme in elektronische Medien, auch auszugsweise.

Dieser Artikel bezieht sich grundsätzlich auf die Abhandlung "Die universelle Geometrie der Biologie" (2005) von Klaus E. Kossack. E-Mail: unigeobiokek@web.de