

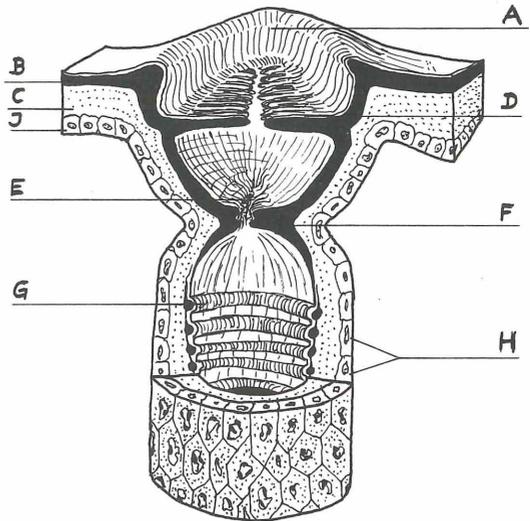
Kurt Wening

Die Atmung der Wasserinsekten

Viele kleine Tierformen besitzen keine speziellen Organe für den Gasaustausch; dieser erfolgt bei ihnen über die Körperoberfläche (Hautatmung). Bei größeren und komplexeren Organismen sind dagegen spezielle Atemorgane ausgebildet; die Hautatmung tritt hier zurück. Atmungsorgane kommen als Ein- oder Ausfaltungen von Körpergeweben vor.

Insekten haben nun im Gegensatz zu anderen Tierstämmen eine Atemvorrichtung ausgebildet, die stammesgeschichtlich nicht auf ein wasseratmendes Organ zurückgeführt werden kann. Anstatt eines örtlich begrenzten Atemorgans (wie z.B. Lunge, Kieme) findet man bei den Insekten ein Luftröhrensystem (das sog. Tracheensystem) vor, das sich durch den ganzen Körper zieht und Sauerstoff direkt zu den Organen, ja sogar zu den einzelnen Zellen führt. Diese Luftröhren, Tracheen genannt, treten nach wiederholten Verzweigungen und Verringerung ihres Durchmessers (2–5 µm) an die Tracheenendzelle heran. Es handelt sich hierbei um spezialisierte Zellen mit langen Ausläufern. In ihren Zellkörper und dessen Fortsätze wölben sich feine Kanäle ein, die Tracheenkapillaren oder Tracheolen genannt werden. Diese verzweigen sich, bis sie einen Durchmesser von weniger als 1 µm aufweisen. Bei vielen Insekten sind die Tracheolen nicht mit Luft, sondern mit Flüssigkeit gefüllt. Dies ist besonders dort der Fall, wo die Tracheolen an ruhende Gewebe herangehen. Die in ihnen stehende Flüssigkeitssäule verändert sich mit der Beschaffenheit des Blutes: Bei Sauerstoffmangel wird die Flüssigkeit in das Blut aufgenommen und dadurch Luft (Sauerstoff) in die Tracheolen gesogen.

Die Lage der Tracheen ist direkt abhängig vom Sauerstoffbedarf der betreffenden Stelle. An stark stoffwechselaktiven Organen, wie z.B. den Fettkörpern, dem Darm, den Geschlechtsdrüsen, den Flugmuskeln, bilden sie förmliche Netze. Der Rauminhalt des Luftröhrensystems ist enorm. Er beträgt bei der Larve des Gelbrandkäfers (*Dytiscus marginalis* L.) von 5 cm Länge 105–110 mm³, also 6–10% des Gesamtvolumens. Bei anderen Insekten kann der Anteil sogar bis zu 50% betragen. Auf Grund dieses großen Volumens ist natürlich die Gefahr einer starken Verdunstung gegeben, zumal die Luft in den

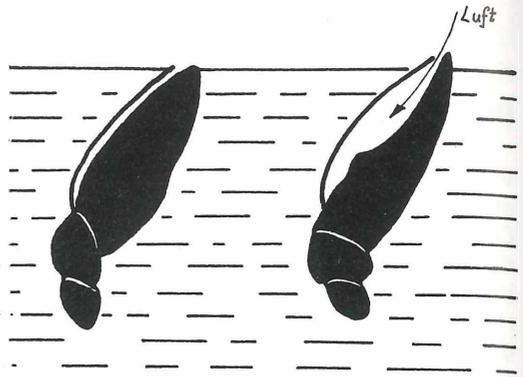
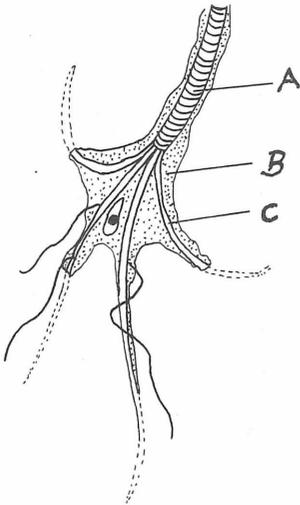


Schema eines Längsschnitts durch ein Stigma und den Anfang der Trachee (Nach Seifert)

- A:** Atrium **B:** Exokutikula **C:** Endokutikula
D: unechte Haare, die eine Reuse bilden
E: Stigmenmund **F:** Stigmenlippe
G: spiralförmige Verstärkung der Tracheenwand
H: Matrix (Epidermis) der Trachee **I:** Epidermis

Tracheolen sehr feucht ist. Der Verdunstungsgefahr wird mit Hilfe einer Verschlussvorrichtung begegnet, dem Stigma, das an der Tracheenöffnung sitzt. Das Stigma hat als 2. Aufgabe auch das Eindringen von Fremdstoffen, wie Wasser oder Staub, zu verhindern.

In den kleinen Tracheenästen und bei kleinen Insekten findet der Gasaustausch (Atmung) nur durch Diffusion statt, d.h. durch Ausgleich der verschiedenen Gaskonzentrationen. Die großen Tracheenäste der luftatmenden Wasser- und Landinsekten werden ventiliert, indem der Hinterleib (Abdomen) zusammengedrückt bzw. -geschoben und wieder erweitert bzw. gestreckt wird. Die Wirkung dieser Atembewegung ist nicht ge-



Luftohlen eines Schwimmkäfers

Trachee mit Tracheenendzelle:

A: Trachee B: Tracheenendzelle C: Tracheole

ring; es können bei einem „Atemzug“ bis zu 2/3 der Tracheenluft erneuert werden. Die Regelung der Ventilation erfolgt von nervösen Atemzentren aus, die, in den Bauchner-

vensträngen gelegen, vom steigenden Kohlendioxidgehalt des Blutes gereizt werden und dann die Atemmuskeln in Bewegung setzen.

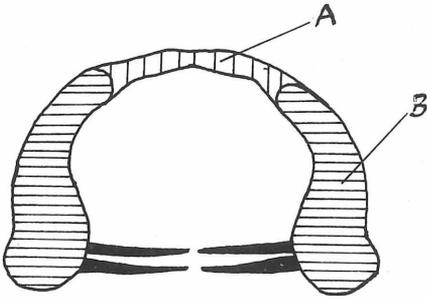
Die Wasserinsekten behalten nun die Tracheenatmung bei, modifizieren aber in sehr interessanter Weise die Aufnahme von Luft bzw. Sauerstoff. Dabei teilt man die Wasserinsekten in 2 Gruppen auf, deren Atmungssysteme sich unabhängig voneinander anatomisch angepaßt haben:

- Arten mit offenen Stigmen, die den Sauerstoff der Luft entnehmen,
- Wasserinsekten mit geschlossenem, lufthaltigem Tracheensystem.

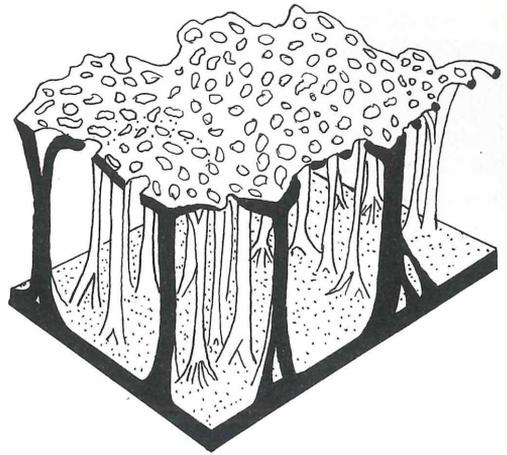
Das offene System zeigt eine Reihe von Anpassungserscheinungen, sowohl in ihrer Struktur, als auch in ihrer Funktion. Viele Wasserinsekten sind eigentlich gar keine „Wassertiere“, da sie zum Atmen aus der Tiefe an die Oberfläche schwimmen müssen. Alle frei im Wasser beweglichen Insekten mit offenen Stigmen tragen ständig einen Luftvorrat mit sich. Diesen müssen sie von Zeit zu Zeit wieder auffrischen. Dies geschieht entweder dadurch, daß sie mit einem hohlen Stachel die Wasseroberfläche durchstoßen (z.B. Wasserskorpion, *Nepa ru-bra*; Stabwanze, *Ranatra linearis*), oder den Hinterleib aus dem Wasser herausstrecken (Gelbrandkäfer, *Dytiscus marginalis*; Furchenschwimmer, *Acilius sulcatus*). Bei beiden Arten bringen die Insekten Luftblasen unter ihre Deckflügel, die in offener Verbindung mit den Tracheen stehen. Die Blasen werden dabei von unbenetzbaren Haaren am Körper festgehalten. Sobald nun der Sauerstoff aus der Blase verbraucht ist, dringt neuer wieder aus dem Wasser in die Blase ein, um nach den Gesetzen der Osmotik die entstandene Konzentrationsdifferenz auszugleichen. So entsteht eine sehr wirkungsvolle „physikalische Kieme“. Obwohl Wasserinsekten von Zeit zu Zeit an die Wasseroberfläche kommen müssen, um Luft zu tanken, können sie in sauerstoffreichem Wasser unbestritten länger tauchen, als es der ursprüngliche Sauerstoffgehalt der Blase zuläßt. Nach WIGLESWORTH kann ein Wasserinsekt mit Hilfe dieser physikalischen Kieme etwa 13mal soviel Sauerstoff verbrauchen, als es tatsächlich mitgenommen hat. Die Tauchzeit eines *Dytiscus marginalis* beträgt in relativ sauerstoffarmem Wasser durchschnittlich 350-420 sec. (max. 770 sec).

Daß diese physikalische Kieme auch verhängnisvoll sein kann, zeigt folgendes einfache Experiment: Wenn man einem Insekt eine Blase aus reinem Sauerstoff zur Verfügung stellt und es damit in Wasser setzt, das mit reinem Sauerstoff gesättigt ist, ereignet sich etwas überraschendes: das Tier ertrinkt!

Bei der Untersuchung stellt sich heraus, daß die Blase ganz verschwunden ist, und die Tracheen mit Wasser gefüllt sind. Hier ist folgendes geschehen: In einer Luftblase, die ein Insekt



Nepa rubra Linnaeus (Wasserskorpion):
 Querschnitt durch die Atemröhre kurz vor der Imaginalhäutung (= letzte Häutung der Larve), bei der dorsomedian (A) eine völlige Trennung der beiden Hälften eintritt. A und B Verlängerung der Seitenteile der 8. und 9. Rückenplatte.



Ein Stück des Plastrons: Länge der Säulchen: 4 μm

in luftgesättigtem Wasser hinunterträgt, verursacht die Sauerstoffabnahme ein Absinken der Sauerstoffkonzentration. Dadurch kann nun Sauerstoff aus dem Wasser nachdiffundieren. Geschieht dies nicht schnell genug, so steigt die Stickstoffkonzentration, das Tier verspürt Atemnot und steigt zum Lufttanken an die Oberfläche. Die Gegenwart von Stickstoff erfüllt also bei dieser Einrichtung eine wichtige Aufgabe. Wenn nun die Blase reinen Sauerstoff enthält und von sauerstoffgesättigtem Wasser umgeben ist, verringert sich das Volumen der Blase in dem Maße wie das Insekt Sauerstoff verbraucht. Da aber nur Sauerstoff vorhanden ist, verändert seine Abnahme auch nichts an der Zusammensetzung der Blase; es entsteht keine Konzentrationsdifferenz, der Sauerstoff zur Diffusion in die Blase veranlassen könnte. Das Insekt verspürt auch keine Atemnot und bleibt deshalb unter Wasser. Indessen schrumpft die Blase immer weiter, und bevor das Insekt die Gefahr bemerkt, ist Wasser in die Tracheen eingedrungen.

Einige Insekten haben gegen das Eindringen von Wasser in die Tracheen eine spezielle Schutzvorrichtung entwickelt, das sog. **Plastron**. Es besteht aus einer 4-6 μm dicken Luftschicht, die auf einer unbenetzbaren Oberfläche des Körpers von unbenetzbaren Haaren festgehalten wird, die sehr dicht stehen und deren Spitzen waagrecht umgebogen oder in höchst komplizierter Weise miteinander verbunden sind. (Dichte dieses Haarfilzes: $8 \times 10^5 - 2,5 \times 10^8 / \text{cm}^2$ bei einer Haarlänge von ca. 20 μm .) Infolge ihrer Steifheit halten sie den Wasserdruck von der Luftschicht ab, deren Volumen dadurch konstant bleibt und somit eine direkte Fortsetzung der Tracheenluft bildet. Die große Oberfläche ist für die Wirkung als physikalische Kieme sehr günstig. Je nach Dichte des Haarkleides kann das Plastron der einzelnen Arten Wasserdrücken bis zu 30 m Tiefe (3 atü) widerstehen. Die mit einem Plastron ausgestatteten Tiere sind freilich auf sauerstoffreiches Wasser angewiesen; in sauerstoffarmem Wasser würde der Sauerstoff leicht aus dem Plastron herausdiffundieren.

Wasserinsekten mit geschlossenem, lufthaltigem Tracheensystem stellen die höchste Anpassungsstufe an die Wasseratmung bei den Insekten dar. Unter einer äußerst dünnen und benetzbaren Kutikula liegen extrem viele Tracheenkapillaren netzförmig angeordnet. Verbraucht nun das Insekt Sauerstoff aus der Tracheenluft, so diffundiert auf Grund des entstandenen Konzentrationsgefälles Sauerstoff aus dem umgebenden Wasser in die Tracheolen nach. Der verbrauchte Sauerstoff wird in Form von Kohlendioxid durch die Tracheolen an das Wasser abgegeben. Der Wasserdruck hat keinen Einfluß auf diese drehrunden Tracheenröhren, die nicht zusammenpreßbar sind. So ausgerüstete Insekten – es handelt sich allerdings nur um Larven und Puppen (z.B. Libellenlarven) – sind von der atmosphärischen Luft über der Wasseroberfläche völlig unabhängig und können unbegrenzt tief tauchen. Sie brauchen nicht zur Wasseroberfläche zu steigen, brauchen also auch nicht unbedingt schwimmfähig zu sein und vermeiden auf diese Weise viele Möglichkeiten, mit Feinden

in Berührung zu kommen. Häufig ist bei dieser biologischen Gruppe die Körperoberfläche vergrößert durch Ausbildung schlauchförmiger oder blattförmiger Fortsätze, in denen sich die Tracheen reich verzweigen. Es handelt sich hierbei um Analoga zu Kiemen, die aber den Sauerstoff nicht ins Blut, sondern in die Tracheenluft übernehmen. Solche Insekten sind natürlich auf sauerstoffreiches Wasser angewiesen. Wo sie dieses nicht vorfinden, bewegen sie ihre Kiemen oder verschaffen sich dadurch Sauerstoff, indem sie schlängelnde Bewegungen ausführen.

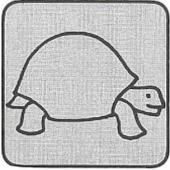
Wegen des enormen Umfangs der Thematik war es hier leider nur möglich, Grundsätzliches und Wesentliches über das Atemsystem und dessen Funktion bei Wasserinsekten zu schreiben.

Literaturangabe:

Lehrbuch der speziellen Zoologie: KÄSTNER – Bd. I, Teil 3, A
Lehrbuch der speziellen Zoologie, KÄSTNER – Bd. I, Teil 3, B
Einführung in die Cytologie und Histologie der Tiere: WELSCH/
STORCH – G. Fischer Verlag (1972).
Biologie der Insekten: LAMPEL, G. – Goldmann (1973).

Biologie der Insekten: G. Fischer Verlag.
Physiologie niederer Tiere: RAMSAY, A. – Goldmann.
Grundriß der Insektenkunde: WEBER – G. Fischer Verlag (1954).
Lehrbuch der Entomologie: EIDMANN – Paray Verlag (1970).

Anschrift des Autors:
Kurt Wening
Nürnberger Straße 10
8504 Stein



Abteilung Freilandaquarium und -Terrarium

Obmann: Erich Wening – Stellvertreter und Kassier: Wolfgang Pfeifenberger –
Schriftführer: Kurt Wening – Pfleger: Günter Schirmer
Mitglieder: 22

Das Jahr 1985 begann mit Arbeiten, die bei den Mitgliedern unserer Abteilung nicht sonderlich beliebt sind, wie das Fällen einiger großer Bäume und das Entschlammten von zwei Weihern. Dank einer Motorsäge, deren Anschaffung mit Mitteln der Muttergesellschaft möglich war, war zwar das Fällen keine schwere Arbeit, doch das anschließende Zerteilen der Bäume, der Abtransport und das Hacken des Holzes waren über Wochen hinweg eine mühsame Angelegenheit. Glücklicherweise fanden sich aber genügend Mitglieder für diese schwere Arbeit.

Beim Entschlammten von zwei Weihern konnten wir keine Motorkraft einsetzen. Es war harte Knochenarbeit, den nassen Schlamm mit Schaufeln und Spaten herauszustechen, ihn in Schubkarren zu verladen und wegzufahren. Ein Teil des Schlammes wurde dazu verwendet, die abgeschwemmten Weherränder wieder zu befestigen. Diese Schlammarbeiten sind in gewissen Zeitabständen leider unumgänglich, weil die vielen großen Laubbäume, die das Tal unserer Anlage säumen, zum überwiegenden Teil ihr Laub in die Weiher abwerfen. Dadurch verringert sich dann zum einen die Wassertiefe, zum anderen verschlechtert sich durch den einsetzenden Faulprozeß auch noch die Wasserqualität. Belohnt wird diese Arbeit aber durch einen sehr üppigen Wuchs von Wasserpflanzen, wie Seerosen, Krauses Laichkraut, Wasserpest, Hornblatt, u.v.a.

Diese Arbeiten zogen sich bis Anfang März hin. Anschließend mußten unsere zahlreichen Aquarien und Terrarien eingerichtet werden. Da diese Arbeiten regelmäßig außerhalb der Öffnungszeit unserer Anlage anfallen und daher von unseren Besuchern nicht wahrgenommen werden können, möchte ich sie an dieser Stelle doch einmal schildern.

Im Aquarienkeller und Großaquarium werden 25 Aquarien betreut; die Aquariengrößen variieren von 10 bis 3000 Litern. Zunächst muß für alle Aquarien Sand vorbereitet werden. Dazu sind ca. 2 m³ Sand erforderlich, der in tagelanger Arbeit dafür gewaschen werden muß. Danach müssen geeignete Wasserpflanzen beschafft werden. Angesichts der relativ frühen Jahreszeit ist das mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Weil unsere Anlage von den ständig höher wachsenden Bäumen zunehmend beschattet wird, verzögert sich die Entwicklung der eigenen Wasserpflanzen erheblich. Oftmals kann eine optisch ansprechende Bepflanzung erst in der Zeit ab Mai vorgenommen werden. Um den Besuchern einen repräsentativen Überblick über die Vielzahl unserer heimischen Wasserpflanzen zu verschaffen, sind wir Anfang des Jahres ständig zu Weihern, Bächen und Flüssen der näheren und weiteren Umgebung auf der Suche nach geeignetem Material unterwegs.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.](#)

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: [1985](#)

Autor(en)/Author(s): Wening Kurt Erich

Artikel/Article: [Die Atmung der Wasserinsekten 107-110](#)