

Bojen, Schwimmwesten, Rettungsringe? – Alles ein alter Hut!

Aufschlussreiches zur Evolution der Pflanzen

STEFAN SCHNECKENBURGER

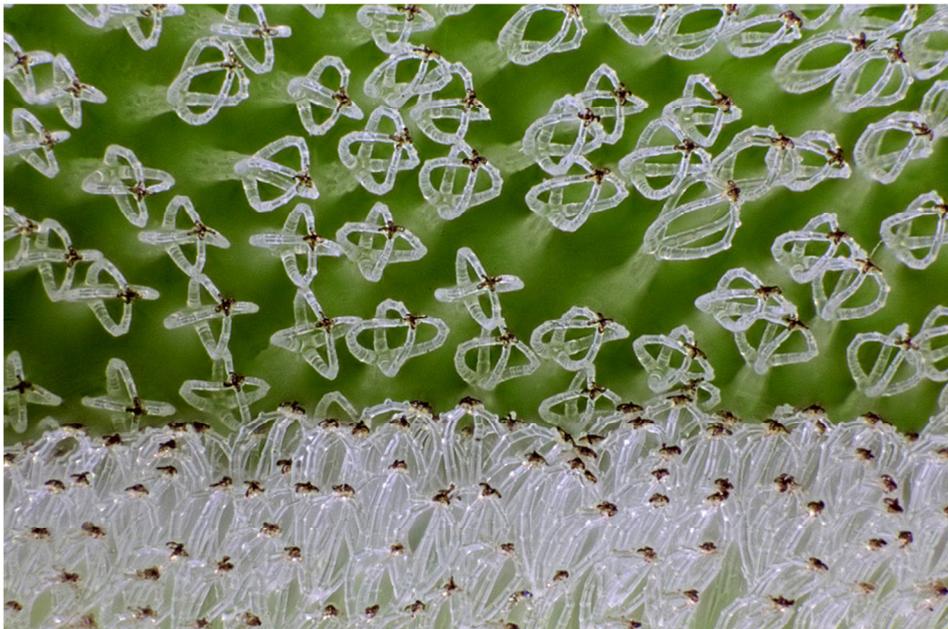
Schwimmwesten und Bojen halten schwere Körper an der Wasseroberfläche und verhindern Untergehen und ggf. Ertrinken. Es sind aber keine Erfindungen des Menschen, sondern im Pflanzenreich schon lange vorhanden. Wie menschliche Hilfsmittel sind es bei Pflanzen luftgefüllte, nach außen mehr oder weniger abgeschlossene Gewebe bzw. Strukturen, die ein Untertauchen verhindern. Daneben sind sie ein faszinierendes Beispiel konvergenter Evolution.

Im Laufe der Evolution sind eine ganze Reihe von Pflanzensippen der Kormophyten [Gefäßpflanzen; also Pteridophyten (Farne und ihre Verwandten) und Spermatophyten (Samenpflanzen)] sekundär wieder vom Landleben ins Wasser „zurückgekehrt“ (vgl. ARBER 1920; COOK 1974). Hierbei wurden sie zu im Boden wurzelnden Sumpfpflanzen, zu frei flottierenden Schwimmpflanzen oder zu submers – ganz untergetaucht - lebenden Organismen. In den ersten beiden Fällen kann man häufig Anpassungen beobachten, die es den Pflanzen ermöglichen, an der Wasseroberfläche zu bleiben, seien sie nun im Boden verwurzelt oder frei flottierend. In der Regel handelt es sich hier um zarte Pflanzen mit wenig Festigungsgewebe, die selbst nicht die ausreichende „Standfestigkeit“ aufweisen. Wie bei den Erfindungen des Menschen sind dies in der Regel Luftpolster, die wie Bojen oder Schwimmwesten wirken. Über einige von ihnen soll in dieser kurzen Übersicht exemplarisch berichtet werden. Es geht mir nicht um einen umfassenden Überblick (vgl. hierzu z. B. ARBER 1920), sondern um die Darstellung des Phänomens anhand weniger Beispiele unter dem Aspekt konvergenter Evolution.

Beginnen möchte ich mit der Farngruppe der Schwimmfarne (Salviniaceae). Hier sind nämlich die „Schwimmhilfen“ zum Wasser hin völlig offen: es handelt sich um dicht stehende Schwimmhaare auf der Blattoberseite der Farne der Gattung *Salvinia* (Salviniaceae - Pteridophyta): Sie stehen so dicht beieinander, dass aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers zwischen sie kein Wasser eindringen kann. So entsteht ein offenes (!) Luftpolster auf der Blattoberseite, das die Blattoberflächen unbenetzbar macht. Zugabe von Spülmittel macht allerdings (durch Herabsetzung der Oberflächenspannung) den Effekt zunichte.



Salvinia cucullata (Schwimmfarn) mit Haaren auf der Blattoberseite und *Alternanthera aquatica* mit angeschwollenen, luftgefüllten Sprossachsenabschnitten.



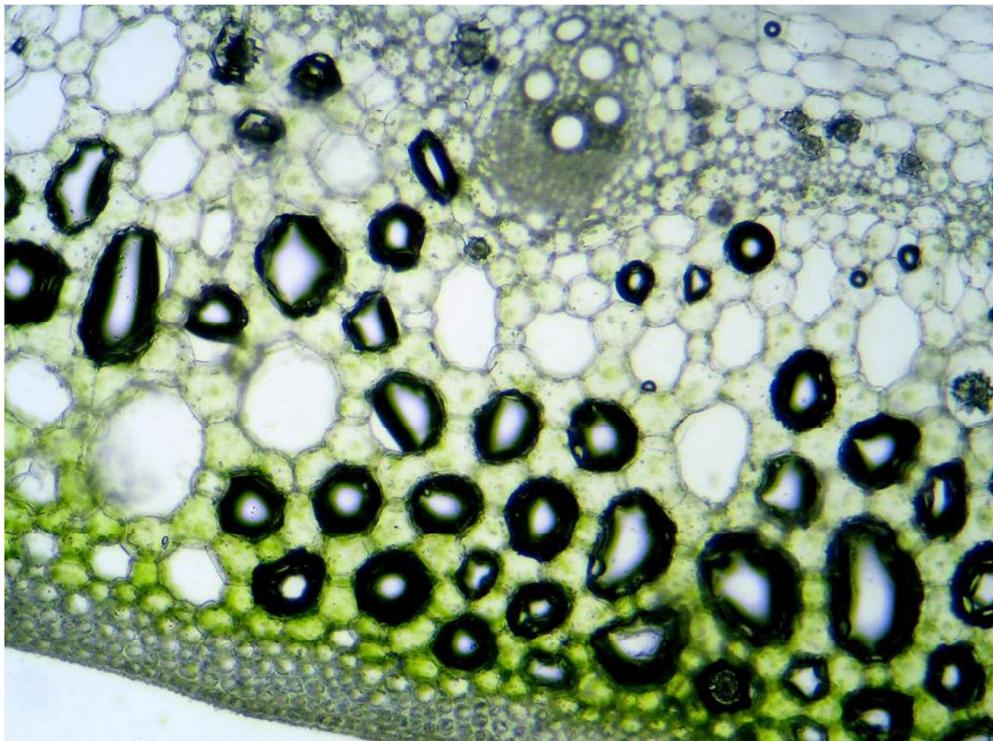
Schwimmhaare von *Salvinia natans*. (Präparat und Foto: FRANK FOX)

Hingegen finden wir in den angeschwollenen, auf dem Wasser schwimmenden Sprossachsen von *Alternanthera aquatica* (Amaranthaceae – Eudicots) innere Luftgewebe in Kombination mit hohlen Sprossachsen. Diese sind dekussiert (kreuzgegenständig) beblättert und bestehen aus einem hohlen Rhizom von ca. 1,2-1,5 cm Durchmesser, das an den Knoten massive Querwände aufweist. Die Außenwände sind etwa 1,2 - 1,5 mm dick und ebenfalls mit großen Interzellularen versehen. Auf

eine Außenschicht mit Epidermis und darunter liegenden chloroplastenhaltigen und teilweise rot gefärbten Zellen folgt die interzellularenreiche Schicht und dann noch einmal eine recht massive Schicht, deren Zellen auch Chloroplasten (in geringerer Dichte) enthalten. Die innerste Schicht besteht aus mehreren Lagen sehr langgestreckter Zellen. Innerste und äußerste Schicht enthalten zahlreiche Kristalldrüsen. Der Bojeneffekt ist also zweifach gegeben: durch den zentralen Hohlraum innerhalb des Rhizoms und das Aerenchym (Luftgewebe) des Rindengewebes.

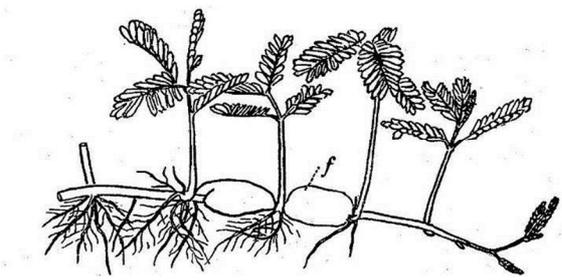


Aufgeschnittene Sprossachse mit zwei Knoten von *Alternanthera aquatica*.



Querschnitt durch das Rindengewebe von *Alternanthera aquatica* (Präparat und Foto: Dr. DETLEF KRAMER).

Einzelne entsprechend modifizierte Sprossabschnitte finden sich bei *Neptunia* (Leguminosae, Verwandte der Mimose). Auch hier liegt das Aerenchym (Luftgewebe) außen.

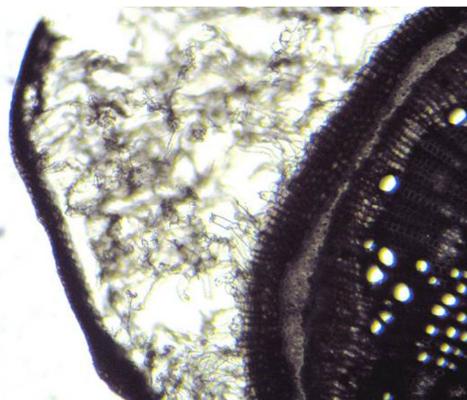


Neptunia oleracea (nach ROSANOFF)

Aus: Aquarium and pond plants of the world.

<http://idtools.org/id/appw/factsheet.php?name=13134>

Wenn man bei *Neptunia plena* genauer hinschaut: die Achsen weisen ein umfangreiches Aerenchym in der Rinde auf. Regelmäßig platzt die Epidermis (und darunter liegende Schichten?) auf und legt dieses Aerenchym frei (Mitte, rechts).



Querschnitt der kriechenden Achse von *Neptunia plena* im Bereich des offen liegenden Aerenchym (rechts: Schnitt Dr. DETLEF KRAMER).

Die Sprossachse zeigt im Querschnitt außen eine Rindenschicht mit Epidermis, darunter das schwammige Aerenchym. Aus einem außen liegenden korkbildenden Gewebe, einem sog. Phellogen, entsteht nach außen das Aerenchym. Es folgt ein grünes, assimilierendes Parenchym (Grundgewebe), diesem dann ein zwei bis vier Zellschichten starker Sklerenchymring (Festigungsgewebe), der über den Leitbündeln etwas verstärkte Kappen ausbildet. Die Leitbündel sind durch massive Sklerenchymstränge getrennt: beides zusammen bildet einen festen, zähen Ring. Im Zentrum liegt das lockere Mark mit großen Hohlräumen (der dem mit einer Rasierklinge ausgestatteten Mikroskopiker heftigen Widerstand entgegengesetzt).

Und nun zum Blatt:

Blattstiele als Ganzes als „Bojen“ treten bei der oft massenhaft wachsenden, als Invasorin gefürchteten und allseits bekannten Wasserhyazinthe (*Eichhornia crassipes*; Pontederiaceae - Monocots) auf. Zwar weist das Rhizom ebenfalls ein Aerenchym auf – die wahren Bojen aber werden von den Blattstielen gestellt.



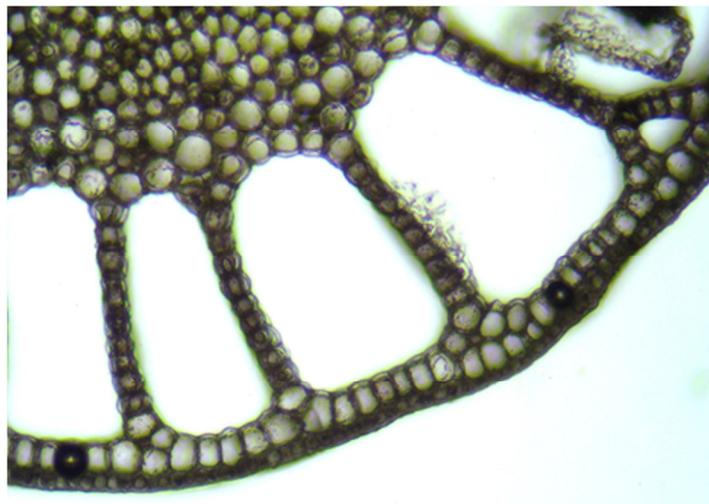
Eichhornia crassipes – Wasserhyazinthe (Monocots; Pontederiaceae); rechts: aufgeschnittener Blattstiel

Es reicht aber auch ein Teil des Blattstiels als Schwimmhilfe, denn nur der schwammige oberste Abschnitt des Blattstieles unterhalb der vier Blattfiederchen verhindert beim Kleefarn *Marsilea mutica* (Marsileaceae - Pteridophyta) deren Untergehen. Die Blätter entspringen einem auf dem Gewässerboden wachsenden Rhizom, wobei die

Längen der Blattstiele entsprechend der Wassertiefe variieren; durch die „Boje“ an der Wasseroberfläche bleiben die assimilierenden Flächen immer oben. Besonders deutlich sind diese Anschwellungen bei direkt auf dem Wasser schwimmenden Blättern ausgebildet. Wird der Bestand dichter, werden die Blätter über die Wasseroberfläche gehoben und die Schwellungen sind dann kleiner.



Marsilea mutica (Pteridophyta - Marsileaceae – eine Kleefarn-Art)



Querschnitt durch eine „Boje“ bei *Marsilea mutica*. (Präparat und Foto: Dr. DETLEF KRAMER)

Bei *Hygroryza (1) aristata* – Wasserreis (Poaceae) - sind es vor allem die Blattscheidender Laubblätter, die das massive, grob gekammerte Aerenchym enthalten. Zwar gibt es „Lufträume“ auch im Inneren der hohlen, an den Knoten mit Querwänden versehenen Halme und in den Spreiten (Blattflächen), letztere treten aber hinter diejenigen der Blattscheiden stark zurück.



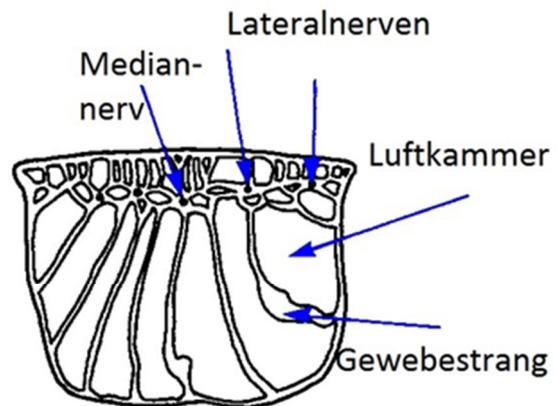
Hygroryza aristata - Wasserreis (Monocots; Poaceae) – flottierende Sprosse. Rechts: längs aufgeschnitten. An den grastypisch zweizeilig beblätterten Sprossachsen erkennt man deutlich die vergrößertes Blattscheiden mit ihren Luftkammern.

Viele Wasserpflanzen lassen ihre Blätter mit Hilfe der schwammigen Aerenchyme der Blattspreiten schwimmen.



Limnobium laevigatum (Hydrocharitaceae - Monocots) mit quer geschnittenem Blatt. Man erkennt das Luftgewebe mit den großen Interzellularräumen auf der Blattun-

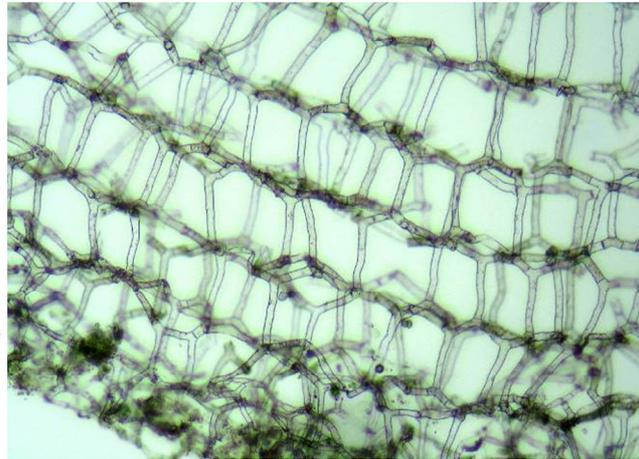
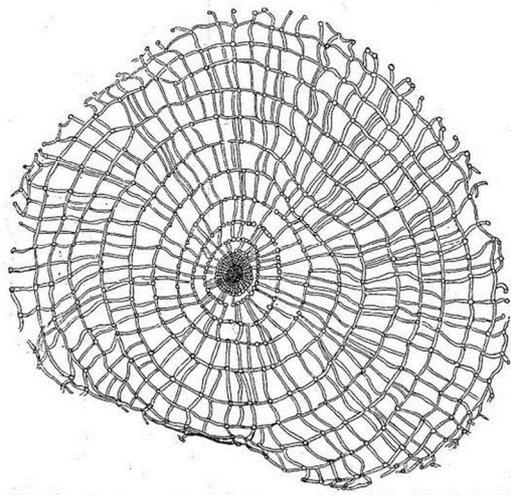
ter(=Wasser-)seite. Das photosynthetische Assimilationsgewebe befindet sich auf der morphologischen, der Luft zugewandten Oberseite. Ähnliches gilt auch für die Glieder der Wasserlinsen (Gattungen *Lemna*, *Wolffia*, *Spirodela*; Araceae - Monocots). Hier findet sich auf der Unterseite der schwimmenden Blätter (bzw. Sprossglieder) ein umfangreiches Luftgewebe (z.B. bei *Lemna gibba* – Buckellinse) - auch bei den winzigen Wolffien, den kleinsten Samenpflanzen überhaupt.



Lemna minor (links) und Querschnitt durch ein Sprossglied von *Lemna gibba* (Buckel-Wasserlinse; nach LANDOLT (1985))

Aber nicht nur Sprossachsen und Blätter, sondern auch Wurzeln werden in die Pflicht genommen: Bei *Ludwigia helminthorrhiza* (Onagraceae – Eudicots) sind die achsennahen Teile der an den Knoten entspringenden sprossbürtigen Wurzeln zu „Würmchen“ („wurmwurzelig“ – helminthorrhiz!) angeschwollen und mit einem lockeren, luftgefüllten Gewebe gefüllt. Mikroskopiker stöhnen: das Gewebe ist von Hand kaum schneidbar.





Schwimmwurzeln von *Ludwigia helminthorrhiza* (syn.: *Jussiaea repens*)

Unten: Querschnitt durch eine Schwimmwurzel mit Zentralzylinder und Aerenchym (nach TROLL und GOEBEL; Detail Präparat und Foto: Dr. DETLEF KRAMER)

Fazit

- Pflanzliche „Bojen“ sind prinzipiell gleich gebaut und entsprechen mehr oder weniger den von Menschen erfundenen Strukturen
- Neben inneren abgeschlossenen gibt es sogar auch nach außen nicht abgeschlossene Luftpolster
- Verschiedene Organe werden in Dienst genommen (Achsen, Blätter, Wurzeln)

Und das Wichtigste:

- Solche Strukturen sind in der Evolution der Kormophyten von den Farnen bis zu den hoch entwickelten Samenpflanzen beim „Rückweg“ vom Land über den Sumpf ins freie Wasser mehrfach und völlig unabhängig voneinander aus unterschiedlichen Strukturen und Organen im Lauf der Evolution entstanden, was man ihn aufgrund der unterschiedlichen Umsetzung des Schwimmprinzips auch ansieht. Insofern sind die „Bojen“ und „Schwimmwesten“ besondere Beispiele konvergenter Evolution (vgl. MCGHEE 2011).

Weiterhin wird deutlich, dass die Evolution wie ein Heimwerker nach dem „Bricolage-Prinzip“ arbeitet: was gerade zur Verfügung steht - seien es Blätter, Achsen oder sogar Wurzeln – wird „bei Bedarf“ in Dienst genommen („umgewidmet“, „co-optiert“),

durch die Mechanismen von Mutation und Selektion abgewandelt und für neue und unter Umständen ganz andere Aufgaben in Dienst genommen (vgl. ZRAVÝ et al. 2009, S. 320ff.; FUTUYMA 2013, S. 296f). GOULD & VRBA (1982) prägten in diesem Zusammenhang den Begriff der *Exaptation* („exaptation“; „features that now enhance fitness but were not built for their current role“; GOULD & VRBA 1982, S. 4).

Interzellularenreiche Gewebe gibt es vielfach im Pflanzenreich – man denke z.B. an das Schwammparenchym der Laubblätter, das eine wichtige Rolle beim Gasaustausch im Inneren der Pflanzen spielt. In diesem Sinn kann die interzellularenreiche Rinde bei *Alternanthera* gedeutet werden: hier haben die Sprossachsen auch größeren Anteil an der Photosynthese, wie ihre grüne Farbe und die zahlreich vorhandenen Spaltöffnungen ausweisen. Bei Sumpfpflanzen kann nun beobachtet werden, dass derartige Aerenchyme deutlich an Umfang und Bedeutung zunehmen: sie dienen hier der Durchlüftung und damit der Atmung der unter Wasser bzw. in sauerstoffarmen Schlamm befindlichen Pflanzenteile, die auf diesem Weg eine Verbindung zu der Atmosphäre behalten. Diese Aerenchyme können nun in einem zweiten Schritt zu den geschilderten Bojen und Schwimmhilfen umgewidmet werden. Dies gibt genau die Einschätzung FUTUYMAS (2013, S. 297) wieder, der darauf hinweist, dass gerade bei der Evolution neuer Adaptationen in den frühen Phasen eine „Nutzung“ beider Funktionen nebeneinander (hier: Durchlüftung und Schwimmen) zu beobachten ist.

Literatur

- ARBER, A. (1920) *Water Plants. A Study of Aquatic Angiosperms*. Cambridge, Cambridge University Press.
- COOK, Ch. D. K. (1974) *Water Plants of the World. A Manual for the Identification of the Genera of Freshwater Macrophytes*. Th Hague, Dr. W. Junk Publishers.
- FUTUYMA, D. J. (2013): *Evolution*. 3rd. ed. Sunderland, Mass., Sinauer Associates.
- GOULD, S. J. & VRBA, E. S. (1981): Exaptation – a missing term in the science of form. *Paleobiology* 8, 4–15.
www2.hawaii.edu/~khayes/Journal_Club/fall2006/Gould_&_Vrb_1982_Paleobio.pdf
- LANDOLT, E. (1986) *The family of Lemnaceae. Monographic Study, vol. 1*. Zürich, Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Stiftung Rübel.
- MCGHEE, G. (2011) *Convergent Evolution. Limited forms most beautiful. The Vienna Series in Theoretical Biology*. Cambridge, London: MIT.

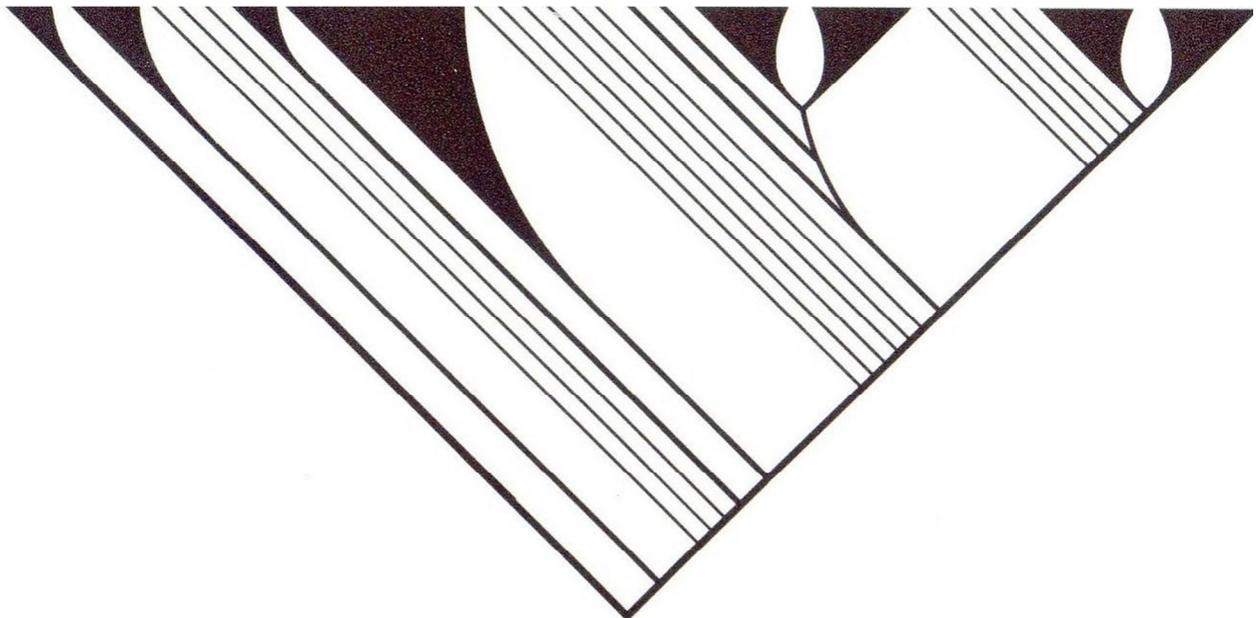
ZRZAVÝ, J., STORCH, D., MIHULKA, S. BURDA, H., BEGALL, S. (2009) Evolution. Ein Lese-Lehrbuch. Heidelberg etc., Spektrum akademischer Verlag.

PD Dr. Stefan Schneckenburger
Botanischer Garten der TU Darmstadt
Schnittspahnstraße 3-5
64287 Darmstadt
schneckenburger@bio.tu-darmstadt.de

Anhang

Pteri Gymno Angiospermen >>>

	Bas. Gruppen	Monocots	Eudicots >>>>			
<i>Salvinia</i> , <i>Marsilea</i>		<i>Eichhornia</i> , <i>Lemna</i> , <i>Hygroryza</i> , <i>Limnobiium</i>		<i>Neptunia</i>	<i>Ludwigia</i>	<i>Alternanthera</i>



Position der behandelten Gattungen im „Stammbusch“ der Gefäßpflanzen (Kormophyten; nach Angiosperm Phylogeny Group 2014; verändert: Pteri(dophyten): Farne und ihre Verwandten, Gymno(spermen) – Nacktsamer (Nadelhölzer und Verwandte), Angiospermen – Bedecktsamer, Monocots – Einkeimblättrige (Monocotyledonen), Eudicots – Kerngruppe der „Zweikeimblättrigen“ Eudicotyledonen)

Danksagung

Herrn Dr. DETLEF KRAMER ein herzliches Danke für die Anfertigung der (Hand)Schnitte sowie Herrn Dipl.-Ing. FRANK FOX (Trier) für das Foto der Haare von *Salvinia*!