

## Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Samenpflanzen und ihre mögliche Einbeziehung in den Unterricht der Realschule

Ursula Dieckmann & Markus Reiser

### Kurzfassung

*Schöpfung oder Evolution, kaum eine Frage spaltet die Gemüter so sehr wie diese. Der Beitrag behandelt eine mögliche schulische Umsetzung des weiten Themengebiets der Evolutionstheorie, am Beispiel der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen. Ziel ist es Schülern exemplarisch anhand der Stammesgeschichte der Landpflanzen das Grundprinzip der Evolutionstheorie, also die Entwicklung primitiver Vorläufer zu rezenten Arten aufzuzeigen. So soll Schülern begreiflich gemacht werden, dass bereits einfache morphologische Abwandlungen eines „Grundbauplans“ eine Vielzahl neuer Formen ermöglichen. Gleichzeitig sollen die Schüler dazu angeregt werden, sich Gedanken über die Herkunft der Wuchsformen rezenter Pflanzengruppen zu machen und deren Entwicklung aus einem gemeinsamen primitiven Urahn abzuleiten und nachzuvollziehen.*

*Schülern sollen die Grundlagen der Telomtheorie nach ZIMMERMANN (1965) eigenständig erarbeiten, indem sie sich im projektartigen Unterricht einen modellartigen Entwicklungsverlauf der Landpflanzen anhand dieser Theorie selbst gestalten.*

### Keywords

*Stammesgeschichte, Landpflanzen, Telomtheorie, Umsetzung im Biologieunterricht*

## 1 Einleitung

Die phylogenetische Entwicklung der Lebewesen befasst sich mit der evolutionsbiologischen Rekonstruktion verschiedenster Lebensformen. Durch die Beschäftigung mit stammesgeschichtlichen Entwicklungslinien versucht man aufzuzeigen, wie sich rezente Lebewesen aus primitiveren Urformen entwickelt haben.

Besonders anhand einer praktischen Herangehensweise an die Evolutionstheorie wird die schulische Relevanz der Thematik erkennbar. Schüler sollen

später mit dem Begriff Evolution nicht nur eine Vernetzung von verschiedenen Themenbereichen und Schlüsselbegriffen verbinden, sondern eine konkrete Vorstellung davon haben, wie sich Lebewesen entwickelt haben könnten, dazu ist es unabdingbar mit ihnen eine solche Entwicklung im Unterricht zu behandeln, diese zu durchdenken und erfahrbar zu machen. Aufgrund des Zeitpensums und der umfangreichen Thematik, ist es im Unterricht allerdings unmöglich, die stammesgeschichtliche Entwicklung aller Lebensformen zu behandeln. Es empfiehlt sich daher einige Aspekte der Entwicklung der Landpflanzen exemplarisch und stellvertretend für die Entwicklung anderer Lebensformen zu behandeln.

## **2 Stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen als Unterrichtsgegenstand**

Zunächst stellt sich allerdings die Frage, ob ein so komplexes und vielschichtiges Thema, wie die stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen, zur schulischen Behandlung in der Sekundarstufe I überhaupt geeignet ist. Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen könnte exemplarisch Schülern aufzeigen, wie Wissenschaftler sich eine evolutive Weiterentwicklung von Arten vorstellen. Gleichzeitig liefert eine Betrachtung der stammesgeschichtlichen Entwicklung einer Art - oder wie in diesem Falle, vieler verschiedener Klassen ein und derselben systematischen Taxa (hier: Pflanzenreich) - Hinweise, (z.B. dass sich Organe aus primitiveren Urformen entwickelt haben) die das theoretische Gerüst der Evolutionstheorie bestätigen. Die Evolutionstheorie liefert hierbei das Fundament, mit dessen Hilfe die Entstehung der Arten erklärt werden kann. Auf der fachwissenschaftlichen Ebene sind Evolutionstheorie und stammesgeschichtliche Entwicklung von Lebewesen also untrennbar miteinander vereint.

Da sich der Biologieunterricht bei der Vermittlung von Wissen an seiner Bezugswissenschaft der Biologie orientiert, liegt es in diesem Zusammenhang nahe, die stammesgeschichtliche Entwicklung inhaltlich mit der Evolutionstheorie verknüpft im Unterricht zu behandeln (ESCHENHAGEN, KATTMANN & RODI 2003).

Aufgrund der Tatsache, dass der Biologieunterricht allerdings mehr ist, als die Vermittlung fachwissenschaftlicher Inhalte in einer dem Alter der Schüler angemessenen Form, sondern sich die Vermittlung seiner Inhalte auch an pädagogischen Elementen und verschiedensten didaktischen Kriterien sowie gesellschaftlichen Normen legitimieren muss, stellt sich die Frage, welche päd-

gogisch bedeutsamen Werte und welchen Bildungswert die Behandlung des Themas „Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen“ mit sich bringt.

Eine Begründung der Auswahl des Themas hat sich daher an drei für jeden Unterricht entscheidenden Instanzen (didaktische Trias) zu orientieren. Der Relevanz des Themas für die Gesellschaft, der Relevanz des Themas für den einzelnen Schüler und der Relevanz des Themas für die jeweilige Bezugswissenschaft (GRAF 2004).

Die Gesellschaftsrelevanz des Themas zeigt sich an der Aufgabe der Schulen, Kinder und Jugendliche zu mündigen Bürgern zu erziehen, die dazu in der Lage sind sich über verschiedenste Thematiken selbst zu informieren, oder sich ein Bild über diese machen zu können. Dazu zählt auch sich kompetent zu Themen äußern zu können, die im Interesse der Öffentlichkeit stehen, sowie *„Argumente auf ihren sachlichen und ideologischen Anteil zu prüfen und Entscheidungen sachgerecht, selbstbestimmt und in ethischer Verantwortung zu treffen“* (BILDUNGSPLAN BADEN – WÜRTTEMBERG 2004 S.95). Der Bildungsplan Baden-Württemberg fordert in diesem Zusammenhang Schüler naturwissenschaftlich auszubilden. Ohne Frage gehört die Evolutionstheorie mit zu den wichtigsten naturwissenschaftlichen Theorien überhaupt, zumal sie den Menschen von einer mythologisch geprägten Wahrnehmung seiner Umwelt befreit und ihm stattdessen ein naturwissenschaftliches Weltbild vermittelt (KUTSCHERA 2006). Somit ist sie ein fundamentaler Bestandteil einer naturwissenschaftlichen Bildung.

Doch gerade in jüngster Zeit wird die Evolutionstheorie durch eine aus den USA „herüberschwappenden“ Bewegung von Kreationisten unter dem Deckmantel der „creative design theory“ immer wieder kritisiert, wobei versucht wird ein theologisch/ mythologisches Modell der Entwicklung der Arten zu propagieren und die Evolutionstheorie DARWINs als unbewiesene, oder gar gänzlich falsche These darzustellen.

Diese Behauptungen erfordern es zwingend, den Schülern die Evolutionstheorie verständlich zu vermitteln, damit Schüler die Argumentationen seitens der Anhänger des „Kreativen Designs“ kritisch bewerten können.

Dazu sollte ihnen aber nicht nur die Theorie der Evolution vermittelt werden, sondern auch exemplarisch die stammesgeschichtliche Entwicklung einer Art oder mehrerer Arten aufgezeigt werden. Hierbei sollte deutlich betont werden, dass es bei der Entwicklung der Lebewesen stets klare Entwicklungstendenzen gibt, die belegen, dass sich die verschiedenen Lebensformen aus einer ursprünglicheren Form entwickelt haben müssen.

Aus Sicht der Schüler ist die Evolutionstheorie, sowie die stammesgeschichtliche Entwicklung von Lebewesen von Interesse, weil der Biologieunterricht in einer diesbezüglichen Themeneinheit eine Antwort auf eine grundlegende Frage der Menschheitsgeschichte nämlich der Frage nach dem „Woher komme ich und woher kommt die Welt“ gibt. Bereits im Kindesalter stellt der Mensch sich diese Frage und versucht durch ein konstruiertes mythologisches/animistisches Weltbild diese Frage sich zu beantworten. Durch die Behandlung der Evolutionstheorie im Biologieunterricht können Schüler eine wissenschaftliche Antwort sowie ein wissenschaftlich fundiertes Weltbild auf ihre Frage nach dem Ursprung erhalten. Eine an die Evolutionstheorie angeknüpfte Unterrichtseinheit, welche die stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen thematisiert, könnte exemplarisch an den Landpflanzen die Entstehung von Lebewesen illustrieren und somit Prinzipien der Entwicklung für den Schüler verständlicher machen.

Die Frage nach der Relevanz für die Beziehungswissenschaft lässt sich bereits aus der untrennbaren Zusammengehörigkeit von Stammesgeschichte und Evolution beantworten. Der Begriff Evolution meint „*die stufenweise Entwicklung eines urtümlichen Vorläufers zu komplexeren Nachfahren*“ und beschreibt als solches einen Entwicklungsprozess, der sich in Form von Abstammungsverhältnissen unter anderem mittels Fossilien oder moderner DNA-Analysen belegen lässt (KUTSCHERA 2006, S.25).

Aus einer Zusammenstellung dieser einzelnen Entwicklungsprozesse lassen sich somit ganze Stammbäume bzw. die Stammesgeschichte einer Art ableiten. Somit stellt die Beschäftigung mit der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Arten im Grunde die praktische Anwendung und Umsetzung der Evolutionstheorie dar und ist als solche ein wichtiger Bestandteil der Evolutionstheorie selbst.

Sicherlich lässt sich darüber diskutieren, ob die stammesgeschichtliche Entwicklung von Landpflanzen eine geeignete exemplarische Darstellung des Zusammenspiels verschiedenster Evolutionsprozesse ist, oder ob stattdessen nicht die stammesgeschichtliche Entwicklung des Tierreiches zu bevorzugen wäre. Zumal die meisten Schüler zu Tieren einen engeren Bezug haben, während nach empirischen Untersuchungen, botanische Sachverhalte bei vielen Schülern eher auf (TAMIR 1985).

Ein Vorteil bei der Behandlung der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen ist, dass sich die Entwicklung der Landpflanzen, vor allem die Entwicklung ihrer Organe und Wuchsstruktur, anhand der „*Telomtheorie*“ von ZIMMERMANN (1965) besonders plastisch und verständlich aufzeigen lässt.

Insbesondere Grundkenntnisse in Zellbiologie, Anatomie von Tieren und Pflanzen, Ökologie, sowie Genetik und der Vererbung sollten die Schüler bereits aufweisen, da ohne diese Grundkenntnisse das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Evolutionsfaktoren nicht verstanden werden kann.

### **3 Didaktisch-methodische Hinweise**

Um das komplexe Thema der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen im Schulunterricht der 9.-10. Klasse aufzugreifen, muss das Thema sowohl von inhaltlicher Seite als auch seitens der Komplexität erheblich reduziert werden. Daher empfehlen sich folgende Inhalte für eine Behandlung des Themas in der Schule:

- Die Landpflanzen haben sich aus im Wasser lebenden Grünalgen entwickelt.
- Um das Festland zu erobern, mussten sie eine Vielzahl von Entwicklungsschritten durchleben:
  - Verankerung im Boden,
  - Bildung eines Wassertransportsystems,
  - Bildung eines Stützgewebes,
  - Schutzmaßnahmen vor Austrocknung.
- Der Generationswechsel der Pflanzen und dessen Emanzipation vom umgebenden Wasser.
- Die Telomtheorie.
- Die Entwicklung der Landpflanzen anhand der Telomtheorie.

Da eine Besprechung dieser Themenpunkte den Umfang eines Artikels sprengen würde, soll exemplarisch an den Unterpunkten „Die Telomtheorie“ sowie „die Entwicklung der Landpflanzen anhand der Telomtheorie“ aufgezeigt werden, wie Schüler durch die schulische Umsetzung dieser Themengebiete ein differenziertes Verständnis der Evolutionstheorie entwickeln können.

## 4 Die Telomtheorie

Aufgrund der enormen morphologischen Unterschiede im Pflanzenreich fällt es zuweilen schwer sich vorzustellen, wie sich eine derart formenreiche Pflanzenwelt aus einem ursprünglichen Vorfahren hat entwickeln können. Auch der Botaniker WALTER ZIMMERMANN (1892-1980) machte sich darüber Gedanken und entwickelte eine Theorie, mit deren Hilfe er versuchte den Verlauf der phylogenetischen Entwicklung der Landpflanzen zu ergründen und zu rekonstruieren. Diese Theorie bezeichnete ZIMMERMANN (1965) als die Telomtheorie.

Der Begriff Telom meint in diesem Zusammenhang ein Grundorgan von fossilen Landpflanzen, welches noch keinerlei feste Differenzierung in Spross, Blatt, Blüte und Wurzel erfahren hat. Telome können daher als morphologische Einheiten verstanden werden, die nach ZIMMERMANN (1965) durch folgende Merkmale beschrieben sind:

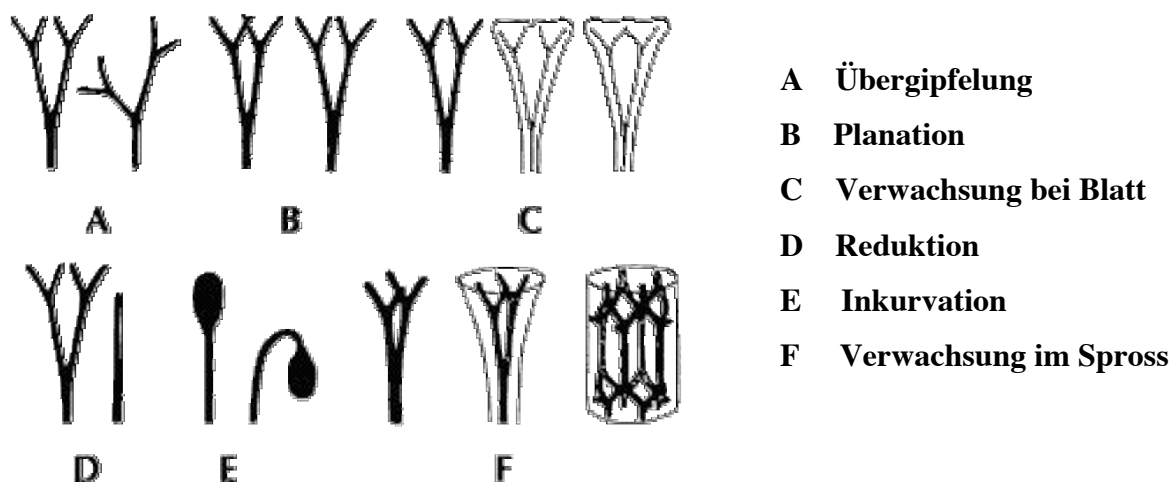
- Sie sind höchstens im Inneren ungleich differenziert.
- Sie verfügen dabei entweder über vegetatives oder generatives Gewebe.
- Sie beginnen basal an den Auszweigungen anderer Telome.
- Sie enden an weiteren Abzweigungen oder am apikalen Ende des betreffenden Organs, bzw. der Pflanze.

Prinzipiell kann man bei Telomen Unterscheidungen hinsichtlich ihrer Fertilität und ihrer Lage treffen. Die sogenannten Sporangien, bei denen im Innern freiwerdende Sporen oder homologe Gebilde entstehen, sind fertile Telome. Vegetative Telome (*Phylloide*), deren Grundgewebe keine generative Funktion hat, sind infertil.

Anhand seiner Theorie versucht ZIMMERMANN (1965) ausgehend von einer Urlandpflanze, deren gesamter Aufbau durch eine möglichst einfache Grundstruktur gekennzeichnet ist, sämtliche morphologischen Eigenheiten, die sich im Verlauf der Phylogenie der Pflanzenwelt entwickelt haben, abzuleiten (KULL 1993). Urlandpflanzen mit einem derart primitiven Aufbau stellen beispielsweise die *Rhyniales* dar, deren Telome eine besonders gleichmäßige Gabelung aufweisen, die man als eine sogenannte dichotome Verzweigung bezeichnet. Auch der innere Aufbau eines solchen Teloms ist denkbar primitiv, so lassen sich z.B. im Querschnitt infertiler Telome häufig nur zwei Gewebearten unterscheiden: Ein zentral gelegenes Xylem und ein dünnwandiges Gewebe, welches das Xylem umgibt (ZIMMERMANN 1965).

Die Telomtheorie besagt nun, dass alle Landpflanzen, aus einer derartigen Landpflanze des Typs *Rhyniales* oder wahrscheinlicher *Cooksonia*, deren Aufbau im Gegensatz zur Gattung *Rhynia* noch über eine reine Dichotomie ver-

fügt, hervorgegangen seien, indem sich höhere Organe der heutigen Landpflanzen aus den Telomen einer Pflanze des Typs *Rhyniales* entwickelt hätten (KERP & HASS 2009). Dabei geht ZIMMERMANN (1965) davon aus, dass sich sämtliche Entwicklungsschritte hin zu höheren Pflanzenorganen durch fünf Elementarprozesse erklären lassen (s. Abb. 1).



**Abb. 1:** Die 5 Elementarprozesse der Telomtheorie (aus: ZIMMERMANN, 1969).

Die **Übergipfelung**: Bei einer Übergipfelung kommt es zu einer Aufhebung des Gleichgewichts zwischen zwei Schwestertelomen, wobei ein Telom, oder auch ein Mesom stärker wächst als sein Gegenüber und dieses anschließend überragt. Sehr wahrscheinlich kam es durch eine Übergipfelung zu einer Arbeitsaufteilung zwischen einer Hauptachse (= übergipfelndes Telom) und einer seitlichen Nebenachse, die beispielsweise zunehmend Assimilationsprozesse übernahm und sich zu Laubblättern entwickelte (SITTE et al 2002, ZIMMERMANN 1965).

Häufig handelt es sich bei Übergipfelungen um sog. Pendelübergipfelungen, was bedeutet, dass „nachdem ein übergipfeltes Organ angelegt ist, das nächste übergipfelte Organ in einer möglichst entfernten Lage determiniert wird“ (ZIMMERMANN 1965, S. 56).

Die **Planation**: Die meisten Urtelomstände sind trotz ihrer gleichwertigen Symmetrie häufig buschig, d.h. in mehreren Ebenen allseitig angeordnet. Der Elementarprozess der Planation hebt diese Anordnung in mehreren Ebenen auf und ordnet die Telome in einer Ebene an. Man geht davon aus, dass durch das Einrücken der Telome in eine Ebene die Grundvoraussetzungen für die Entwicklung von Laubblättern gegeben waren (SITTE et al 2002).

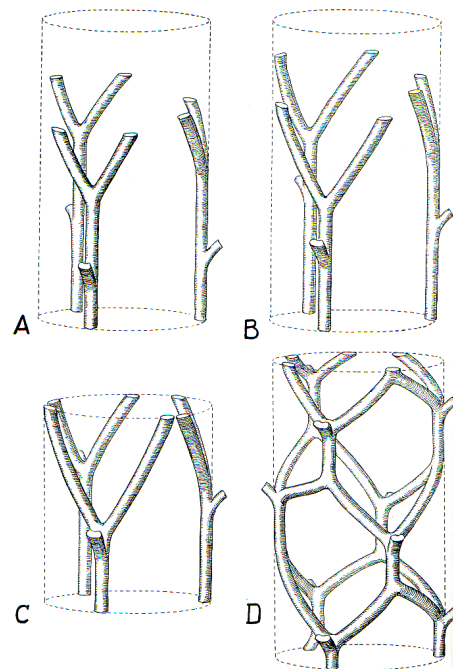
Die **Verwachsung**: Bei Verwachsungen unterscheidet man zwei Formen, die Leitbündelverwachsung und die parenchymatische Verwachsung, wobei allerdings sowohl die parenchymatische Verwachsung, als auch die Leitbündelverwachsung sowohl in der Sprossachse, als auch in Blättern zum Tragen kommen. Dies erklärt sich dadurch, dass nach der Telomtheorie die Entwicklung von Sprossachsen und Blättern auf nahezu dieselben Elementarprozesse zurückzuführen sind (ZIMMERMANN 1965).

Bei einer parenchymatischen Verwachsung bleibt das Leitbündelsystem ein offenes Gabelsystem, wobei allerdings die beiden Gewebearten, also Parenchym und Leitgewebe sich gegenseitig verschieben, wobei mehrere Gabelsysteme durch Parenchymgewebe miteinander verbunden werden (ZIMMERMANN 1965).

Die Leitbündelverwachsung hingegen folgt meist auf die parenchymatische Verwachsung, wobei das Muster der verwachsenden Leitbündelpartien zunehmend komplexer wird. Beispielsweise werden offene Gabelsysteme, welche durch parenchymatische Verwachsungsprozesse entstanden sind, ab dem Oberkarbon durch Verwachsungen der Leitbündel abgelöst (ZIMMERMANN 1965).

Gerade an der Entstehung von Blättern ist der Elementarprozess der Verwachsung stark beteiligt, da die durch eine Übergipfelung zur Nebenachse determinierten und durch Planation in eine Ebene gerückten Telome nun durch Bildung von Parenchymgewebe zu großen blattartigen Flächen verbunden werden können.

Man geht derzeit davon aus, dass durch eine Kombination dieser Elementarprozesse Blätter mit dichotom verzweigter Blattnervatur (wie z.B. bei *Ginkgo biloba*) entstanden seien. Doch auch hinsichtlich der Stabilität des Sprosses (s. Abb.2) ist die Verwachsung von erheblicher Bedeutung, denn durch das Verwachsen dreidimensional angelegter Telome kann eine dickere parenchymatische Achse entstehen, die somit nicht mehr nur durch ein Leitbündel, sondern durch mehrere versorgt und somit gestützt wird, wodurch die Festigkeit der Achsen erheblich verstärkt wird (SITTE et al 2002).



**Abb. 2:** Verwachsung der Leitbündel (aus: ZIMMERMANN 1965, S. 54).



Die **Reduktion**: Bei der Reduktion kommt es zur Verkümmern eines Teloms, bzw. zum Ausbleiben des Wachstums einer weiteren Verzweigung eines Telomstands. Schön lässt sich das am Beispiel der rezenten Gattung *Equisetum* (=Schachtelhalme) zeigen, bei der anstelle der für die Urform der *Equisetales* typischen, reich verzweigten Blätter nun nur noch kleine Spitzen, einer aus den Blattbasen verwachsenen Scheide, vorhanden sind. Auch die Nadelblätter der Koniferen entstanden vermutlich durch Reduktion von Blattgewebe, wobei gerade hier sehr umstritten ist, ob es sich bei diesen Gebilden nicht doch eher um Auswüchse der Achsen handelt, die als solche nicht, von den Telomen selbst abgeleitet werden dürfen (SITTE et al 2002).

Die **Inkuvation**: Bei der Inkuvation kommt es zu einer Einkrümmung oder Einrollung eines Organs, wobei sich zwei gegenüberliegende Flanken eines Organs ungleich ausdehnen. Als mögliche Auslöser für dieses Phänomen kommen mehrere Faktoren, wie genetische Determinierung oder umweltbedingte Reize, wie Wärme, Feuchtigkeit, oder die Schwerkraft, in Frage. Gerade die typische Anordnung der Sporangien bei Farnen oder Bärlapppflanzen lassen sich durch diesen Elementarprozess erklären (SITTE et al 2002, ZIMMERMANN 1965).

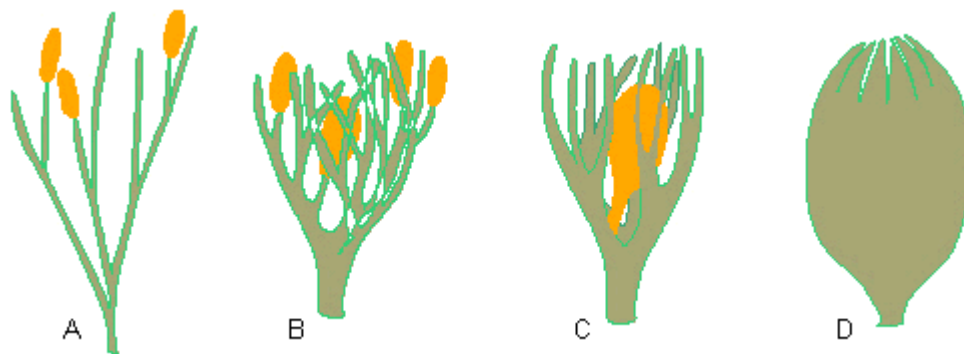
Obleich die einzelnen Elementarprozesse nur eine minimale morphologische Abweichung in der Pflanzenanatomie zulassen, zeigt bereits eine Kombination mehrerer Elementarprozesse, dass sich aus einzelnen Telomständen bereits eine Vielzahl von Formen ergeben kann. Anhand der Telomtheorie lassen sich somit auch Entwicklungsschritte, innerhalb der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Gefäßpflanzen erklären und nachvollziehen.

## 5 Die Entstehung der Samenpflanzen

Die Samenpflanzen (Spermatophytina) sind mit ihren vier rezenten Entwicklungslinien den Cycadopsida (Palmfarne), den Ginkgopsida (Ginkgo), den Coniferopsida (Nadelbäume) incl. der Gnetales - diese drei Gruppen werden auch als Nacksammer (Gymnospermen) zusammengefasst - und den Magnoliopsida (Angiospermen, Bedecktsamer) mit mehr als 250000 Arten die wohl größte Pflanzengruppe (BRESINSKY et al 2008). Die ersten Samenpflanzen entstanden vor etwa 360 Millionen Jahren im frühen Karbon. Ihre Entstehung ist vor allem durch eine Weiterentwicklung ihres Generationswechsels, sowie durch die damit verbundenen morphologischen Änderungen ihres Aufbaus zu erklären (SITTE et al 2002).

Bei allen Samenpflanzen herrscht, wie bei den Farnen, eine Dominanz der Sporohyten generation vor, wobei diese aus Wurzel, Sprossachse und Blättern aufgebaut ist. Ebenso sind alle Samenpflanzen heterospor und bilden somit Mikro- und Megasporen aus. Diese Heterosporie an sich ist insofern noch keine echte Neuerung, da man diese bereits bei Farnen findet. Allerdings stellt sie die Grundvoraussetzung zur Bildung von Samen dar. Denn die Megaspore und der in ihr enthaltene, unbefruchtete weibliche Gametophyt verlassen bei den Samenpflanzen den Sporophyten nicht mehr, sondern verbleiben im Megasporangium, weswegen die weibliche Spore häufig nur noch über eine stark reduzierte Sporenwand, oder sogar über gar keine Sporenwand mehr verfügt, was eine zusätzliche Ernährung des Megaprothalliums = weiblichen Gametophyten ermöglicht. Um das Megaprothallium aber dennoch vor Austrocknung zu schützen wird es von einer sterilen Hülle, dem Integument umschlossen. Dieses Gebilde aus Megaprothallium, Integument und Megasporangium wird als fertige Samenanlage bezeichnet (SITTE et al 2002).

Telomtheoretisch stellt man sich die Entwicklung einer Samenanlage folgendermaßen vor (s. Abb. 3).



**Abb. 3:** Entwicklung der Samenanlage (aus: BERGFELD et al., 2003).

Die terminal sitzenden Sporangien einer Pflanze des Typs *Rhynia*, oder in diesem Falle auch des Typs *Trimerophytatae* werden von fertilen und sterilen Telomen übergipfelt (A). In einem späteren Entwicklungsschritt erfolgt wohl eine Reduktion der Sporangien, so dass nur eine einzelne, dafür aber größere Megaspore übrig bleibt (B-C). Diese wird von den sie umgebenden Telomen, welche im Anschluss miteinander verwachsen, eingeschlossen (KERP & HASS 2009, ZIMMERMANN 1969).

Der Megagametophyt wird dabei allerdings nicht komplett ummantelt, es bleibt eine kleine Öffnung zurück durch die ein Pollenkorn aufgenommen werden kann (D).

Dem gegenüber steht die Entwicklung des männlichen Gametophyten, auch dieser verlässt die männliche Spore nicht, sondern entwickelt sich in dieser zu einer reduzierten Form. Er generiert innerhalb der Pollenwand je nach Entwicklungsgrad Spermatozoide (z.B. Cycadopsida) oder Spermazellen (z.B. Coniferopsida und Magnoliopsida). Während der Bestäubung wird der männliche Gametophyt in die Nähe der Samenanlagen übertragen, keimt dort mit einem Pollenschlauch aus und lässt entweder die beweglichen Spermatozoide frei, oder bringt die unbeweglichen Spermakerne in die Nähe der Eizelle (SITTE et al 2002).

### 5.1 Entstehung von Blüten

Neben der Entwicklung von Samen verfügen die Spermatophyten über Kurzspore, die von Mikro- und oder Megasporophyllen besetzt sind. Diese Sporophyllstände dienen einzig und allein der sexuellen Fortpflanzung der Pflanzen und werden daher als Blüten bezeichnet. Diese können entweder eingeschlechtlich oder zwittrig sein. Eingeschlechtliche Blüten können sowohl auf unterschiedlichen Individuen (*Diözie*), als auch auf demselben Individuum vorkommen (*Monözie*). Blüten bestehen aus einer Blütenhülle, und den jeweiligen Sporophyllen mit jeweiligen Gametophyten (SITTE et al 2002).

### 5.2 Die Blütenhülle

Die Blütenhülle besteht aus sterilen Blattorganen, die um die Sporophylle angelegt sind aber eindeutig mit zur Blüte gehören. Ihre primäre Funktion liegt im Schutz der einzelnen Blütenorgane, also der Sporophylle, im Stadium der Knospe.

Ein eindeutiges Vorkommen einer Blütenhülle wird derzeit nur den Angiospermen und bei den Gymnospermen nur der Gnetales zugesprochen.

Die Blütenhülle der Gnetales besteht aus einem oder zwei Paaren wenig basal miteinander verwachsener Tragblättern. Es ist dabei allerdings noch unklar, ob diese Gebilde homolog zu der Blütenhülle der Angiospermen sind.

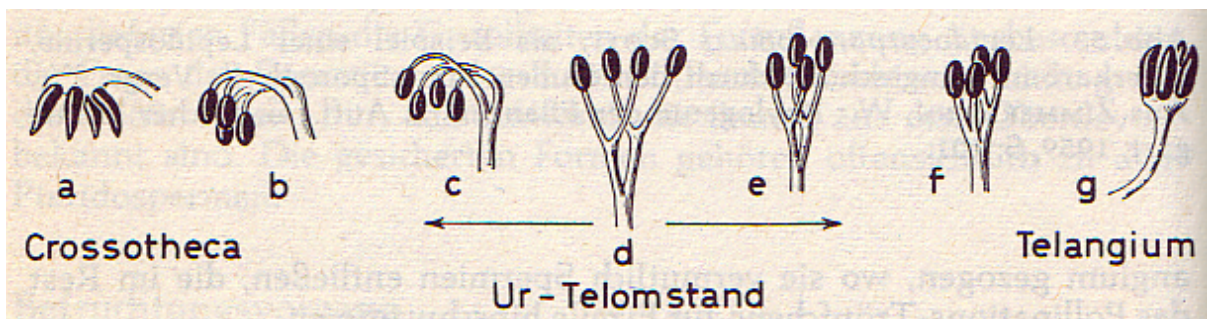
Die Blütenhülle der Angiospermen, kann in ihrer Form sehr stark variieren und wird gemeinhin als Perianth bezeichnet. Häufig sind die Blütenhüllblätter ungleichartig gestaltet, die Blüte verfügt dann über grüne Kelchblätter, die sich vermutlich aus Hochblättern außerhalb der Blüte entwickelt haben und über farbige Kronblätter, die sich womöglich von Staubblättern ableiten lassen. Letztere These wird durch die Gattung *Nymphaea* (Seerosen) bekräftigt, da hier ein Übergang zwischen Staub und Kronblättern beobachtet werden kann.

Es gibt allerdings auch Fälle, bei denen die Blütenhüllblätter gleichartig gestaltet sind, hierbei spricht man von einem Perigon (SITTE et al 2002).

### 5.3 Die Entwicklung von Mikro- und Megasporophyllen

Ob sich die Mikrosporophylle (z.B. Staubblätter) der einzelnen Pflanzen absolut homolog zueinander entwickelt haben, oder ob diverse Blattorgane an ihrer Entstehung beteiligt waren, ist derzeit noch ungewiss. Dies führt dazu dass Mikrosporophylle häufig lediglich als Träger von Mikrosporangien bezeichnet werden (SITTE et al 2002).

Die meisten männlichen Blüten bestehen aus einer an einer Achse schraubig angelegten Ansammlung von Mikrosporophyllen, an denen zuweilen einzelne, zuweilen mehrere Pollensäcke vorhanden sind. Eine genauere Herleitung der Form der Mikrosporophylle anhand der Telomtheorie wäre reine Spekulation, zumal sich die Formen der Mikrosporophylle zuweilen stark unterscheiden. Allerdings sind Pollensäcke selbst häufig miteinander zu sog. Synangien verschmolzen, was sich nach der Telomtheorie von ZIMMERMANN (1965) sowohl durch einfache Verwachsung als auch durch eine Kombination von Verwachsung und Inkurvatur herleiten lässt (s. Abb. 4).



**Abb. 4** : Entwicklung der Mikrosporophylle (aus: ZIMMERMANN 1969, S. 120).

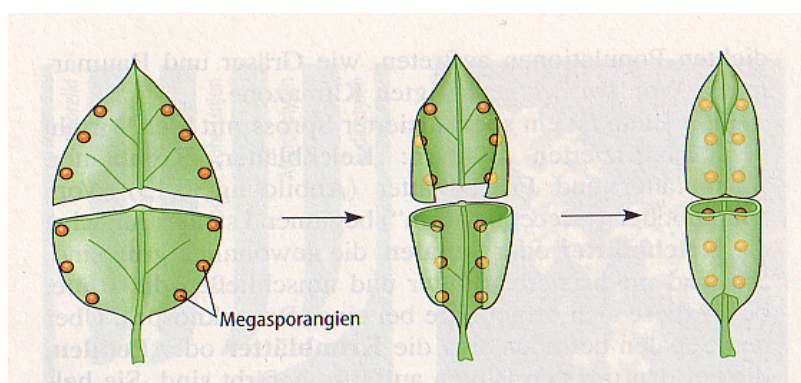
Auch über Homologieverhältnisse, oder die Beteiligung von Blattorganen bei der Entstehung der Megasporophylle (z.B. Fruchtblätter), ist noch nichts genaueres bekannt, somit muss man sie ähnlich wie die Mikrosporophylle, eben als Träger der Megaspornagien bezeichnen. Das Megasporophyll der angiospermen Pflanzen wird häufig auch als Fruchtblatt bezeichnet. Die Anordnung der Megasporophylle kann von Blüte zu Blüte sehr unterschiedlich sein (SITTE et al 2002).

Obgleich derzeit nicht geklärt ist, wie die Sporophylle letzten Endes entstanden sind, stehen im Grunde genommen nur zwei Optionen zur Verfügung. Ein denkbarer Entstehungsverlauf der Megasporophylle wäre folgender:

Durch Übergipfelung einzelner Telome ist zunächst eine Hauptachse entstanden an deren jeweiligen Seitverzweigungen die Sporangien lokalisiert waren. Durch eine anschließende Planation richteten sich die Telome in einer Ebene aus. Damit die einzelnen Telome nun noch eine gemeinsame Fläche ergeben, muss es zu einer parenchymatischen Verwachsung der Telome gekommen sein. Das Endprodukt dieser Entwicklung stellt ein wedelartiges Blatt dar, an dessen finalen Blattspitzen sich die Sporangien, bzw. die gebildeten Samenanlagen befinden. Durch eine weitere Inkurvatur könnten die Samenanlagen nun vom Blattrand hin zur Blattmitte gewandert sein. Alternativ ist es auch vorstellbar, dass sich die Makrosporophylle durch eine Verwachsung eines fertilen Sporangiums, oder einer Samenanlage mit einem darunter liegenden, zu einem Blatt ausdifferenzierten Telom, gebildet haben.

Von diesen Strukturen der gymnospermen Samenpflanzen, bei denen die Samenanlage noch frei auf dem Fruchtblatt liegt, ist es nur noch ein kleiner Schritt zu den höher entwickelten angiospermen Samenpflanzen, bei denen die Samenanlagen vom Fruchtblatt umschlossen werden.

Eine Theorie, die erklärt, wie es wohl dazu kam, dass die Samenanlagen von ihrem Sporophyll umhüllt, ist in Abb. 5 zu sehen. Die Abbildung zeigt, wie Fruchtblätter an deren Ende sich die Samenanlagen befanden, sich im Laufe ihrer Evolution wohl einrollten und schließlich miteinander verwuchsen, wodurch eine fertige Karpelle entstand (CAMPBELL & REECE 2009, PURVES et al 2004).



**Abb. 5:** Entstehung der Samenanlagen bei den Angiospermen Pflanzen (aus: CAMPBELL & REECE 2003, S. 722).

## 6 Methodische Überlegungen

Im Bildungsplan Baden-Württemberg 2004 der Realschule heißt es, dass der Unterricht in der 10. Klasse projektartig erfolgen sollte (MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT BADEN - WÜRTTEMBERG 2004). Doch gerade in den Bereichen Evolution und stammesgeschichtliche Entwicklung von Lebewesen gilt es, wenn man projektorientiert arbeiten will, einige Probleme zu berücksichtigen. Sinn des projektorientierten Arbeitens ist es nach FREY (2005, S. 7), *„dass sich die Lernenden ein Betätigungsfeld vornehmen, sich darin über die geplanten Betätigungen verständigen, das Betätigungsbereich entwickeln und die dann folgenden verstärkten Aktivitäten im Betätigungsbereich zu einem sinnvollen Ende führen. Oft entsteht ein vorzeigbares Produkt“*.

Eine von den Lernenden selbstgewählte Auseinandersetzung mit dem Thema ‚Stammesgeschichtliche Entwicklung der Samenpflanzen‘ ist zum einen aufgrund der Ergebnisse der Motivations- und Interessensforschung sehr unwahrscheinlich, da es sich dabei um ein botanisches Thema handelt, zum anderen gestaltet sich auch eine selbständige Recherche der Schüler als schwierig, da es zu dem Themengebiet kaum alters- und schülerangemessene Literatur gibt. Aus diesem Grund ist es nötig diverse Reduktionsschritte vorzunehmen. So sollte das Thema des „Projektes“ den Schülern vorgegeben werden, eine Vorgehensweise, die sich bei projektorientiertem Arbeiten in der Schule häufig findet und sich bereits bedingt durch den engen Zeitrahmen ergibt. Ebenso empfiehlt es sich den Schüler benötigte Informationsmaterialien zugänglich zu machen, damit diese bei einer eventuellen Internetrecherche nicht durch zu schwierige Informationsquellen frustriert werden. Im Zusammenhang mit den zuvor genannten Themenbereichen, die sich in der Schule behandeln lassen, empfiehlt sich gerade „die Entwicklung der Landpflanzen“ besonders projektartig auf zu rollen. Diese Aufgabe ließe sich auch in Form eines Modells, an dessen Erstellung die gesamte Klasse gemeinsam arbeiten könnte, darstellen.

Voraussetzung hierfür ist, dass die Grundlagen der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen, sowie die Inhalte der Telomtheorie zuvor im Unterricht behandelt wurden, damit die Schüler bereits über ein Basiswissen verfügen.

## 7 Umsetzung möglicher Themengebiete

### 7.1 Erklärung der Formenvielfalt bei Pflanzen: Die Telomtheorie

In diesem Themenblock geht es um die Entwicklung der Formenvielfalt bei den Landpflanzen, sowie um eine mögliche Erklärung für die Entstehung der Formen anhand der Telomtheorie nach ZIMMERMANN (1965).

Inhalte: Die Erklärung der Formenvielfalt in der Pflanzenwelt anhand der Telomtheorie von WALTER ZIMMERMANN (1965).

Lernziele:

- Die Schüler wissen, wie sich die Algen weiterentwickelt haben, und können den Unterschied zwischen Moospflanzen und den Gefäßpflanzen benennen.
- Die Schüler wissen, dass die Urform der Gefäßpflanzen, wohl einer *Rhynia* oder *Cooksonia* entsprechenden Pflanze gleich kommt.
- Die Schüler können die Inhalte zur Telomtheorie erklären.
- Die Schüler können die Telomtheorie erklären und ihre Elementarprozesse an eigenen Modellen aufzeigen.
- Die Schüler können die Entstehung der Form eines Laubblattes von *Ginkgo biloba* oder *Adiantum spec.* anhand der Telomtheorie erklären.

Zum Einstieg in diesen Themenbereich dient eine Folie, die den Schülern die ersten Entwicklungsstadien der Landpflanzen zeigt. Die Schüler erkennen auf dieser Folie, dass sich ausgehend von den Algen zwei große Entwicklungslinien der Landpflanzen abgespalten haben, als erstes die Moose, die noch kein echtes Leitungsgewebe mit Tracheiden haben und die Gefäßpflanzen, die über Tracheiden verfügen. Dabei wird ihnen *Cooksonia* als der Urvertreter der Landpflanzen gezeigt. Den Schülern wird nun erklärt, dass sich wohl ausgehend von derartigen Pflanzen die gesamte Formenvielfalt der Gefäßpflanzen entwickelt hat.

Die Telomtheorie von ZIMMERMANN (1965) ist selbst ein modellartiges Konstrukt, welches aufzeigt, dass die Entstehung der Formenvielfalt im Pflanzenreich sich auf fünf Elementarprozesse zurückführen lässt. Diese fünf Ele-

mentarprozesse: Planation, Inkurvation, Verwachsung, Reduktion und Übergipfelung sollen die Schüler in der nächsten Themensequenz in Kleingruppen selbst erarbeiten. Hierzu wird die Arbeitsform des Stationenlernens benutzt. Die Schüler erarbeiten in Kleingruppen eine bestimmte Station, vergleichen ihre Ergebnisse anschließend mit einer Lösungsstation, tragen die korrekte Version in einen Laufzettel ein und gehen dann zur nächsten Station weiter. Diese Arbeitsform bringt den Vorteil mit sich, dass die Schüler selbständig in Kleingruppen ihre Themenstationen erarbeiten können. Neben Korrekturhilfen von Mitschülern erhalten sie selbst ein Feedback, indem sie zu einer Lösungsstation gehen können um dort ihre Arbeit zu kontrollieren. Die Lehrperson nimmt bei dieser Arbeitsform nur eine beratende Funktion ein und kann somit bei Verständnisproblemen einzelne Schüler unterstützen (GEISZ, o.J.).

Durchführung:

Die Schüler erhalten einen Laufzettel anhand dessen sie fünf Stationen (jeweils eine Station pro Elementarprozess) bearbeiten sollen. Die Stationen sind durchnummeriert, damit die Schüler sich auch orientieren können und auf Anhieb die nächste Station finden können.

Um die Elementarprozesse der Telomtheorie nachvollziehen zu können, stellen sich hierbei zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Entweder die Schüler versuchen den entsprechenden Elementarprozess zeichnerisch darzustellen, oder die Darstellung erfolgt anhand handelsüblicher Knetmasse. Wobei eine Zeichnung den Vorteil hat, dass sie schnell und einfach herzustellen ist. Das Nachkneten der Elementarprozesse bietet allerdings eine haptische Erfahrung, die durch das Zeichnen nicht gegeben ist. Außerdem müssen die Schüler beim Kneten, zunächst eine Urform (Typ: *Rhynia/Cooksonia*) vormodellieren, die sie anschließend entsprechend des zu bearbeitenden Elementarprozesses verändern müssen. Dabei entstehen aus dem Knetmodell zwangsläufig, wenn auch nur unbewusst, verschiedene Zwischenformen, wodurch nahezu automatisch die evolutive Entwicklung der entsprechenden Form modelliert wird. Da eine Knetfigur sich allerdings schlecht in ein Heft übertragen lässt, empfiehlt es sich die Schüler den entsprechenden Elementarprozess noch auf ihrem Laufzettel aufzeichnen zu lassen. Das Ausfüllen des Laufzettels dient hierbei sowohl der Erfassung des Gelernten als auch der Sicherung.

Da es im Falle der Telomtheorie nur fünf Stationen zu bearbeiten gibt und eine durchschnittliche Klasse aus etwa 30 Schülern besteht, empfiehlt es sich die Stationen in doppelter Ausführung anzubieten, damit die Gruppengröße niemals die Anzahl von 3-4 Schülern überschreitet, da zu große Gruppen häufig dazu führen können, dass eine intensive Besprechung des Themas nicht



mehr durchführbar ist, sondern Randgespräche das Unterrichtsgeschehen dominieren.

Nachdem die Schüler die Elementarprozesse der Telomtheorie erarbeitet haben, empfiehlt sich nun ein deduktives Vorgehen, wobei die Schüler die neu kennengelernte Theorie in der Realität, anhand von entsprechenden Realien überprüfen. Als mögliche Realien bieten sich die Blätter vom Ginkgo (*Ginkgo biloba*) oder die Wedel des Amerikanischen Frauenhaarfarns (*Adiantum pedatum*) aufgrund ihrer dichotom verzweigten Leitbündel an. So können den Schülern beispielsweise jeweils einzelne Blätter des Ginkgobaums gegeben werden, welche die Schüler mit einer Lupe oder unter dem Binokular betrachten. Während des Betrachtens überlegen die Schüler, welche Prozesse die Blattform, bzw. die Form der Blattnervatur wohl hervorgebracht haben dürften. Ihre Ergebnisse halten die Schüler in zeichnerischer Form fest und tragen diese in einem Arbeitsblatt ein.

## 7.2 Erstellen eines Modells

Nach Behandlung dieser Themen, sollten die Schüler nun über ein gewisses Basisverständnis bezüglich der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen verfügen. Diese Thematik wird nun durch eine projektartig ablaufende Unterrichtseinheit mit dem Ziel der Erstellung eines Stammbaummodells der Landpflanzen, anhand der Telomtheorie abgeschlossen. Da eine ausführliche Behandlung dieses Themas wohl das gesamte 10. Schuljahr in Anspruch nehmen würde, wird das Projekt erheblich verkürzt, indem die Schüler einen fertigen, didaktisch reduzierten Stammbaum ausgeteilt bekommen (siehe Anhang).

Die Schüler finden sich nun in Gruppen zusammen, die jeweils den Entwicklungsweg einer der folgenden Pflanzenklassen bearbeiten: Bärlappgewächse, Schachtelhalmgewächse, Farne und Samenpflanzen.

Hierzu erhalten die Schüler ein Bild über das evolutive Endergebnis der jeweiligen Pflanzengruppe, auf dem die jeweiligen Sporangienstellungen abgebildet sind. Zusätzlich können die Schüler versuchen selbige durch Internetrecherchen in Erfahrung zu bringen.

Die Schüler überlegen sich nun, wie sie diese Form ausgehend von einer Pflanze wie *Cooksonia*, anhand der Elementarprozesse der Telomtheorie herleiten können und versuchen diesen Entwicklungsweg visuell darzustellen und in Stichworten zu beschreiben. In einer Abschlussbesprechung sollen die einzelnen Gruppen dann vorstellen, wie sie sich die Entwicklung der entsprechenden Form anhand der Telomtheorie erklären.

Ziel ist es, dass am Ende des „Kurzprojekts“ ein Stammbaummodell entsteht, anhand dessen man die Entwicklung der Form der einzelnen Pflanzenklassen nachvollziehen kann. Damit die Gruppen dies erreichen, müssen sie verschiedene Aufgabenbereiche aufteilen. Jede Gruppe braucht daher:

- Eine „Kreativabteilung“, die sich um die Darstellung der Entwicklungslinie kümmert.
- Einen „Koordinator“ der alles überwacht, für eine Verständigung zwischen den Mitgliedern sorgt und überall mithilft, wo gerade Hilfe gebraucht werden kann.
- Ein „Schreiberteam“, das sich um die Verschriftlichung der Entwicklungsprozesse kümmert
- Einen „Präsentator“, der das Ergebnis im Anschluss vor der Klasse präsentiert.

Bei der Darstellung des Entwicklungsverlaufes sind prinzipiell zwei Möglichkeiten durchführbar, die einzelnen Schritte werden aufgezeichnet oder mit farbiger „Bastelknetmasse“ nachgeformt. Wichtig hierfür ist, dass die einzelnen Evolutionsschritte so dargestellt werden, dass im Anschluss an die Präsentation wieder ein vollständiger Stammbaum entsteht. Die Grafik 2 (im Anhang) zeigt, wie ein solcher modellierter Stammbaum als Endprodukt aussehen könnte.

## 8 Fazit

Die vorgestellten Teilgebiete der stammesgeschichtlichen Entwicklung der Landpflanzen eignen sich durchaus Grundprinzipien der Evolution darzulegen. Die Betrachtung der stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen zeigt exemplarisch wie die evolutive Entwicklung von Arten abgelaufen ist und wie sich Organe aus primitiven Urformen entwickelt haben.

## Literatur

- BRESINSKY, A., KÖRNER, C., KADEREIT, J. W., NEUHAUS, G. & U. SONNEWALD (2008): Strasburger Lehrbuch der Botanik. 36. Aufl., Spektrum, Heidelberg.
- BERGFELD, A., R. BERGMANN & P. V. SENGBUSCH (2003): Botany online – The Internet Hypertextbook – „Gymnospermae“ URL: <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e47/47.htm> [03.12.2011]
- CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2003): Biologie. 6. Aufl., Print Consult, München.
- CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2009): Biologie. 8. Aufl., Print Consult, München.

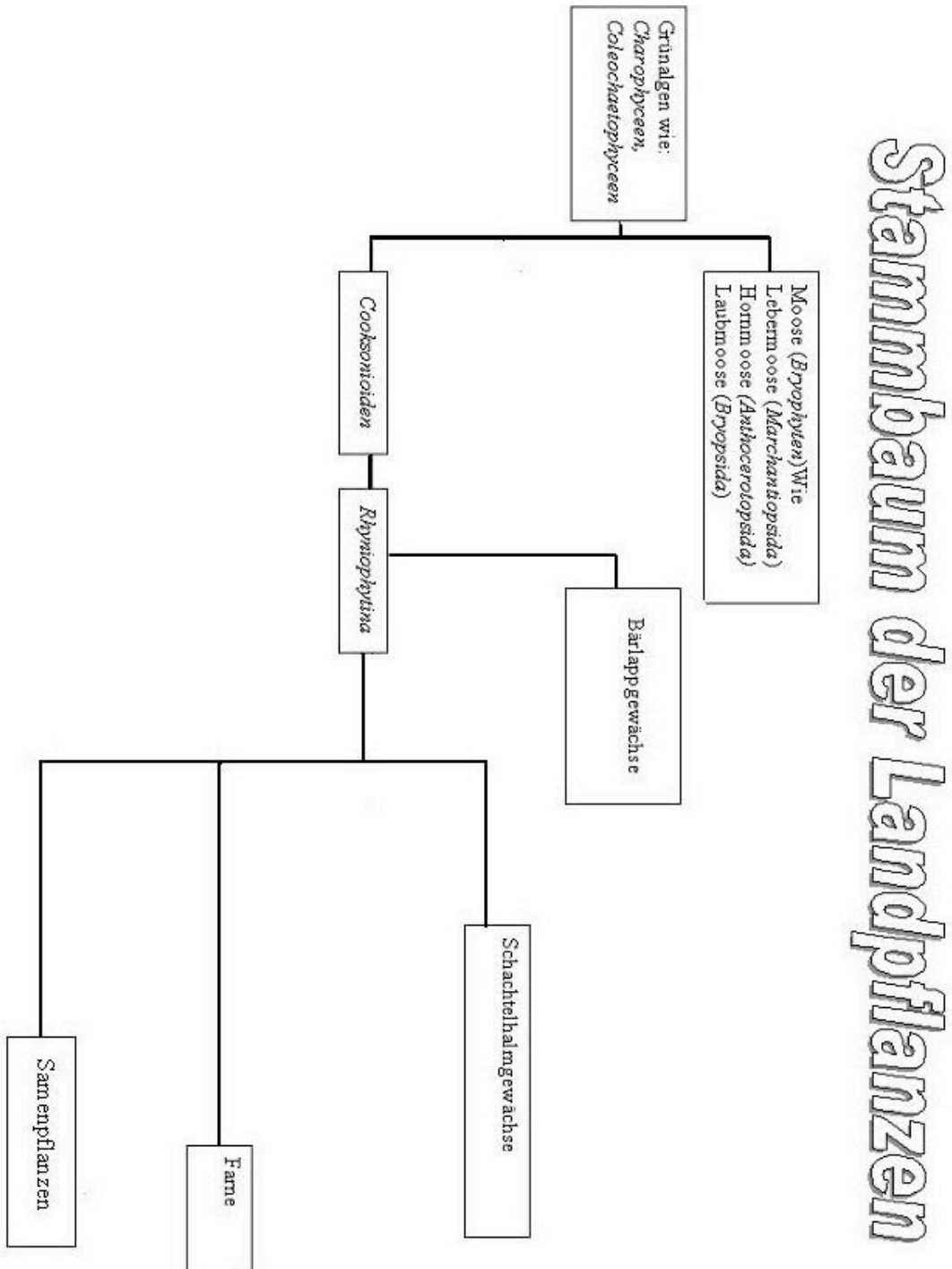
- ESCHENHAGEN, D., KATTMANN, U. & R. RODI (2003): Fachdidaktik Biologie. 6. Aufl., Aulis Deubner, Köln.
- FREY, K. (2005): Die Projektmethode. Der Weg zum bildenden Tun. 8. Aufl., Beltz, Weinheim.
- GEISZ, M. (o.J.): Stationenlernen / Lernzirkel.  
URL: <http://www.globlern21.onlinehome.de/Stationenlernen.htm> [03.12.2011]
- GRAF, E. (2004) (Hrsg.): Biologiedidaktik: für Studium und Unterrichtspraxis. 1. Aufl., Auer, Donauwörth.
- KERP, H. & H. HASS (2009): Ökologie und Reproduktion der frühen Landpflanzen. – Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges. 21: 111-127.
- KULL, U. (1993): Grundriss der Allgemeinen Botanik. Gustav Fischer, Stuttgart.
- KUTSCHERA, U. (2006): Evolutionsbiologie. 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT BADEN-WÜRTTEMBERG. (2004) (Hrsg.): Kultus und Unterricht. Bildungsplan für die Realschule. Villingen-Schwenningen, Neckar.
- PROBST, W. (1987): Biologie der Moos- und Farnpflanzen. 2. Aufl., Quelle & Meyer, Heidelberg.
- PURVES, W. K. , SADAVA, D., ORIAN, G. H. & H. C. HELLER (2004): Biologie. 7. Aufl., Spektrum, Heidelberg.
- REISER, M. (2007): Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Landpflanzen- und ihre mögliche Einbeziehung in den Unterricht der Realschule. Wissenschaftliche Hausarbeit im Fach Biologie SS 2007, Pädagogische Hochschule Weingarten (nicht veröffentlicht).
- SITTE, P., WEILER, E. W. KADEREIT, J. W. BRESINSKY, A. & C. KÖRNER (2002): Strasburger Lehrbuch der Botanik. 35. Aufl., Spektrum, Heidelberg.
- ZIMMERMANN, W. (1965): Die Telomtheorie. Gustav Fischer, Stuttgart.
- ZIMMERMANN, W. (1969): Geschichte der Pflanzen: Eine Übersicht. 2. Aufl., Georg Thieme, Stuttgart.

**Verfasser:**

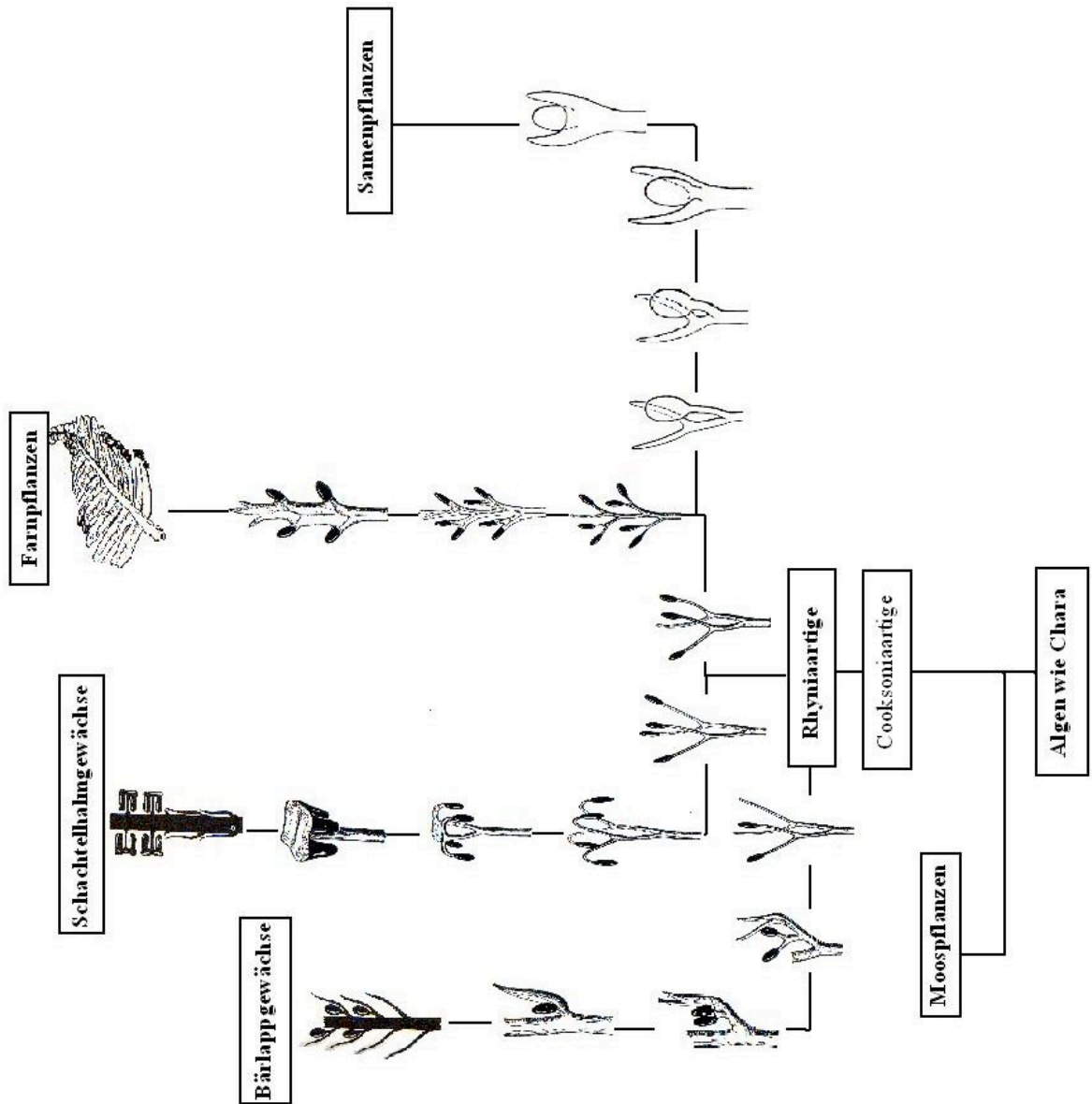
Dr. Ursula Dieckmann, Pädagogische Hochschule Weringarten, Biologie, Kirchplatz 2, 88250 Weingarten; [dieckmann@ph-weingarten.de](mailto:dieckmann@ph-weingarten.de)

Markus Reiser, Bogenweilerstraße 52, 88348 Bad Saulgau; [markus\\_reiser@hotmail.com](mailto:markus_reiser@hotmail.com)

## Anhang



**Grafik 1:** Stammbaum für Schüler (aus: REISER 2007).



**Grafik 2:** Modellierter Stammbaum als mögliches Endprodukt (aus: REISER 2007, nach Probst, W. (1987) S. 66 & S.149 und Zimmermann, W. (1967) S.134 & S.140).