Stickstoff-Einatmung und Blattmetamorphose bei den Schmetterlingsblütlern[1]

Erdmut Rohlfs

> Denn eigentlich unternehmen wir umsonst, das Wesen eines Dinges auszudrücken, Wirkungen werden wir gewahr, und eine vollständige Geschichte dieser Wirkungen umfaßte wohl allenfalls das Wesen jenes Dinges. Vergebens bemühen wir uns, den Charakter eines Menschen zu schildern; man stelle dagegen seine Handlungen, seine Taten zusammen, und ein Bild des Charakters wird uns entgegentreten.
>
> (Goethe, Vorwort zur Farbenlehre)

1. Stoffe und Prozesse in der Natur

Im gewöhnlichen Leben gehen wir mit Begriffen chemischer Elemente und Verbindungen wie Stickstoff, Kalk oder Eisen meist recht sorglos um. Wir denken in der gleichen Weise über Blei und Schwefel, wie über Kugelschreiber und Zentralheizungen, ohne uns die entscheidenden Unterschiede bei der Begriffsbildung bewußt zu machen. Wir können den Kugelschreiber in die Hand nehmen, können ihn aufschrauben und uns seine Funktionen verdeutlichen sowie uns mit den Eigenschaften seiner Materialien vertraut machen; wir kommen auf diese Weise zu einem Begriff, der dem Wesen des Kugelschreibers voll gerecht wird. Gehen wir nun mit derselben gegenständlichen Betrachtungsweise daran, uns einen Begriff etwa des Eisens zu bilden und machen uns anhand eines Brockens Eisenerz mit seinen Eigenschaften wie Schmelzpunkt, Dichte etc. vertraut, so werden wir doch nur einen höchst einseitigen und unzulänglichen Eisenbegriff entwickeln können. Denn mit seinen physikalisch-chemischen Eigenschaften haben wir keineswegs «*das Eisen*» erfaßt, sondern nur Äußerung, Wirkung des in der Natur wirkenden lebendigen Eisenprozesses, der ebenso im menschlichen Blut, in der Pflanze oder im Boden wirksam ist. Während bei vom Menschen hergestellten Dingen der Begriff am festen Gegenstand gebildet werden kann, ist die gegenständliche Betrachtungsweise bereits bei den chemischen Grundstoffen, den Elementen, ungenügend.

Denn erst, wenn wir alle Eisenwirkungen in der Natur als Offenbarungen *eines* Prozesses ansehen lernen, gelangen wir zu einer dem Eisen angemessenen Begriffsbildung. Der eigentliche Eisenprozeß ist nur geistig erfahrbar als das Element, welches alle zunächst unzusammenhängend erscheinenden Eisenwirkungen verbindet. Nur wenn wir die Elemente für sich betrachten, losgelöst von Naturzusammenhang, wirken sie eigentlich als irdische Stoffe, an denen wir Eigenschaften wie Schwere, Härte etc. beobachten können. Diese Betrachtungsweise ist dem Salz, dem ganz aus dem Lebenszusammenhang herausgefallenen Stoff, angemessen. Betrachten wir dagegen die Elemente im Naturzusammenhang, z. B. im pflanzlichen Organismus, so entfalten sie hier

[1] Dieser Beitrag ist aus einer Studienarbeit im Anthroposophisch-Naturwissenschaftlichen Studienjahr im Forschungslabor am Goetheanum hervorgegangen. Herrn J. Bockemühl sowie den Mitarbeitern der Naturwissenschaftlichen Sektion möchte ich für die Unterstützung und viele wesentliche Anregungen herzlich danken.

nicht ihre am Salz zu erfahrenden stofflichen Eigenschaften, sondern sie ordnen sich dem Ganzen des Organismus unter und ihre Wirksamkeit wird je nach dem Zustand des Organismus eine andere Tendenz bekommen. So wirkt der Stickstoff in Form des Eiweißes in der Wurzel anders als im Blatt, im Sommer anders als im Winter und im Rotklee anders als im Kopfsalat. (*Bockemühl, J.* 1985).

Die am Beispiel des Eisens erläuterte Notwendigkeit, von einem *«Stoffdenken»* zu einem *«Prozeßdenken»* zu gelangen, um wesenhafte Begriffe der in der Natur wirkenden Elemente und Stoffe zu bilden, gilt in gleicher Weise auch für den Stickstoff. Es besteht nur ein gradueller Unterschied insofern, als der Stickstoff mehr im Bereich der Wirksamkeit verbleibt und sich nicht so deutlich wie die Metalle, Kalk oder Schwefel im Bereich mineralischer Stofflichkeit, auf der *«Salzstufe»*, zeigt.

2. Toter und lebendiger Stickstoff im Naturgeschehen

Wenden wir uns nun dem Stickstoffgeschehen in der Natur zu, so finden wir, daß die Atmosphäre, die uns umgebende Luft, zum überwiegenden Teil aus Stickstoff besteht (78 Vol.–% N_2). Dieser Luftstickstoff aber zeigt keine große Neigung, sich mit der Welt des Lebendigen zu verbinden; er ist nicht, wie etwa das Kohlendioxid der Luft für die Pflanzen oder der Sauerstoff für die Tiere, direkt aus der Luft aufnehmbar. Und dennoch stammt praktisch aller in der Biosphäre gebundene Stickstoff aus der Luft.

Während der elementare, ganz in sich selbst abgeschlossene, reaktionsfeindliche atmosphärische Stickstoff als tot bezeichnet werden kann, insofern er keine Verbindungen zu anderen Elementen oder lebenden Organismen eingeht, wird der Stickstoff im Boden lebendig: Als Nitrat oder Ammonium verbindet er sich mit vielen anderen Elementen zum Salz und im Eiweiß verbindet er sich mit der Lebenswelt.

Die Stickstoffeinatmung der Leguminosen

Wo aber liegt die Eintrittspforte des toten atmosphärischen Stickstoffs in die Welt des organischen Lebens?

Einer der Hauptwege der Stickstoffbindung erfolgt mittels den zur Ordnung der Leguminosen gehörigen Pflanzen, die die Fähigkeit haben, mit Hilfe von symbiontischen Bakterien den Stickstoff der Bodenluft einzuatmen und in den Wurzelknöllchen zu fixieren.

Außerdem kennt man inzwischen über 120 Nicht-Leguminosen (meist Sträucher und Bäume), die ebenfalls Symbiosen mit stickstoffbindenden Bakterien bilden, und deren Bedeutung für das Ökosystem teilweise immer noch unterschätzt wird. So kann ein *Erlenwald* allein durch seinen herbstlichen Laubfall dem Waldboden bis zu 100 kg N/ha und Jahr zuführen. Auf Symbiosen von stickstoffbindenden Mikroorganismen mit niederen Pflanzen und auf Biocoenosen mit Gräsern usw. soll hier nicht weiter eingegangen werden (siehe dazu *Broughton, W.J.* 1981, *Sprent, J.I.* 1979).

Die Fähigkeit einiger freilebender Mikroorganismen zur Stickstoffixierung, sowie der Stickstoffeintrag durch Regen und Blitz, sollen nicht unerwähnt bleiben, doch reichen die auf diesen Wegen gewonnenen Stickstoffmengen bei weitem nicht an die durch Leguminosen fixierten Quantitäten heran (N-Gewinn durch freilebende Mikroorganismen: ca. 1–5 kg/ha; Zufuhr durch Regen: bis 10 kg/ha; N-Gewinn durch Rotklee: 300 kg/ha).

So stellen die Leguminosen – als Repräsentant aller stickstoffbindenden Organismen – *das Organ der Stickstoffeinatmung des Erdorganismus* dar; alle anderen Organismen sind letztendlich angewiesen auf den von den Leguminosen eingeatmeten Stickstoff.

Der sonst oft abstrakte Begriff des «Stickstoffkreislaufs» gewinnt gerade bei der Einatmung durch die Leguminosen an Anschaulichkeit. So können diese Pflanzen, die in Mitteleuropa durch die Familie der Schmetterlingsblütler vertreten sind, zum Bild werden für die Stickstoffeinatmung der Erde.

Die Ordnung der *Leguminosen*[1] ist, mit ca. 12000 Arten, in drei Familien über die ganze Erde verbreitet. Selten sind einheimische Leguminosen nur auf Neuseeland; in der Arktis überschreitet keine Art den 80.° nördlicher Breite. Die Hauptverbreitung der Familien der *Mimosaceen* und der *Caesalpiniaceen* fällt in die Tropen der Alten und besonders auch der Neuen Welt, desgleichen die der baumförmigen *Papilionaten* (Schmetterlingsblütler), während die Mehrzahl der krautigen den gemäßigten Zonen angehört (*Hegi, G.* 1924). Deutlich zeigt sich eine Beziehung zur Wärme, die sich in einer nach Norden abnehmenden Artenvielfalt äußert. Mit zunehmender Wärme geht eine Neigung zur Holzbildung einher; so finden sich im Mittelmeergebiet noch sehr viele strauchartige Papilionaten, während nördlich der Alpen krautige Schmetterlingsblütler überwiegen. Auffallend ist eine Vorliebe der meisten Papilionaten für kalkhaltige, trockene Böden, doch finden sich auch feuchtigkeitsliebende und kalkmeidende Arten.

Wir wollen uns nun der Blattmetamorphose der Schmetterlingsblütler näher zuwenden, um zu erfahren, inwiefern sich das besondere Verhältnis der Schmetterlingsblütler zum Stickstoff in den Gestaltungen dieser Pflanzen wiederfindet.

3. Zur Blattmetamorphose der Schmetterlingsblütler

Das typische Laubblatt der Papilionaten ist das *unpaarige Fiederblatt*. Dieses Grundmotiv des gefiederten Blattes wird bei den einzelnen Gattungen und Arten in vielfältiger Form variiert. So kann es durch Stauung der Blattspindel zur Bildung eines *gefingerten* Blattes, oder auch durch Blättchenreduktion zu einer *ungeteilten* Blattspreite kommen. Beginnen wir unsere Betrachtungen bei der einfachen und bekannten Blattbildung unserer Kleearten. Das *dreizählige Kleeblatt* kann so ausgebildet sein, daß alle Blättchen quasi sitzend dem Blattstiel entspringen, oder auch so, daß das mittlere Blättchen deutlich gestielt ist. Ersteres ist z.B. bei den zur Sektion *Eulagopus* gehörigen Arten der Fall, zu denen als wohl bekanntester Vertreter der Rotklee *(Trifolium pratense)* gehört. Ein gestieltes Mittelblättchen dagegen haben die zur Sektion *Chromosemium* zählenden Arten. Hier ist die Stauung der Blattachse etwas geringer, so daß es beim Auftreten von Polyphyllie zur Ausbildung eines gefiederten Blattes kommt und nicht, wie beim Rotklee, zu einem mehrfingerigen Blatt. Am Blattgrund bilden alle unsere Kleearten zwei paarige Nebenblätter aus. Die dem Kleeblatt zugrundeliegende Stauung kommt auch in dem, zum viel- und kleinblütigen Köpfchen gestauten, blattachselständigen Blütenstand zum Ausdruck. Bei den Lupinen *(Lupinus)* tritt uns in der Bildung eines vielfingerigen Blattes (bis zu 15 Blättchen) der Stauungscharakter der Blattachse am ausgeprägtesten entgegen. Allerdings sind die Blütenstände der Lupinen nicht gestaut, sondern als reichblütige, endständige Trauben ausgebildet. Betrachten wir nun die zum Tribus der *Genisteen* gehörigen Gattungen, so finden wir dort eine fortschreitende Reduktion des dreizähligen Blattes, wobei zunächst die Ausbildung der Nebenblätter und der beiden seitlichen Blättchen unterbleibt. Während wir bei *Laburnum* (Goldregen) und *Lembotropis* Geißklee) noch ein dauerhaftes dreizähliges Blatt vorfinden, dem allerdings bereits die Stipeln abgehen, werden bei *Cytisanthus* (Kugelginster) die Blättchen bald abgeworfen und durch assimilierende Kurztriebe ersetzt. Auch *Sarothamnus* (Besenginster) besitzt dreizählige, hinfällige Blättchen; an den oberen Langtrieben entwickelt er postfloral auch bereits ungeteilte Blättchen. Bei *Ulex* (Stechginster) sind nur noch die ersten Laubblätter dreizählig, die späteren sind ungeteilt und die Folgeblätter auf die verdornenden Blattstiele und Nebenblätter und den schuppenförmigen Blattgrund beschränkt. Bei *Spartium* (Spanischer Ginster) schließlich ist die Reduktion soweit fortgeschritten, daß bereits die ersten

[1] Oft werden die Leguminosen auch als Familie mit drei Unterfamilien bewertet.

Laubblättchen ungeteilt sind, sie werden früh abgeworfen und sind oft auf den nebenblattlosen, aber scheidig erweiterten Blattgrund reduziert.

Wir haben es also bei den beschriebenen Genisteengattungen mit einer zunehmenden Reduktion der ursprünglich dreizähligen Blättchen zu tun, die verbunden ist mit der Übernahme der Blattfunktion durch die grünen, assimilierenden Zweige. Parallel verlaufend mit der Blättchenreduktion können wir eine Reduktion des Blütenstandes bis hin zu Einzelblüten und einen Übergang von blattachselständigen zu endständigen Blütenständen beobachten.

Aber nicht nur bei den strauchartigen Genisteen, sondern auch bei den halbstrauchartigen Gattungen *Chamaecytisus* (Zwergginster), *Genista* (Ginster) und *Chamaespartium* (Flügelginster) liegt dieselbe Entwicklungsrichtung vor: einfache, nebenblattlose Laubblätter und endständige Blütenstände werden entwickelt. Der Flügelginster *(Chamaespartium saggitale)* zeigt in der Flügelbildung des grünen Stengels vielleicht am schönsten das Übergehen der Blattfunktion auf den Stengel. Einen Übergang zu den Kleearten bildet die vorwiegend krautige Gattung *Ononis* (Hauhechel): die Blätter sind zunächst ungeteilt, dann werden dreiteilige Blätter ausgebildet und die oberen Blätter sind wieder ungeteilt; stets werden Nebenblätter ausgebildet.

Betrachten wir nach der Reduktion des dreizähligen Blattes seine Ausdehnung zum Fiederblatt. Bei den zu den Kleeartigen *(Trifolieen)* gehörigen Gattungen *Medicago* (Luzerne), *Trigonella* (Bockshornklee) und *Melilotus* (Steinklee) wird auch ein dreizähliges Blatt ausgebildet, das im gestielten Mittelblättchen schon die Tendenz zur Auflockerung, zur Streckung der Blattachse zeigt. Der Steinklee *(Melilotus)* hat mit seinem langgestreckten, traubigen Blütenstand die Stauung schon ganz überwunden, während die Blütenstände von *Medicago* (Luzerne) und *Trigonella* (Bockshornklee) noch köpfchenartig bleiben.

Bei den zu den *Loteen* (Hornkleeartige) gehörigen Gattungen *Lotus* (Hornklee), *Tetragonolobus* (Spargelerbse) und *Dorycnium* (Backenklee), wird meist ein fünffiederiges Blättchen ausgebildet. Die zwei unteren Blättchen sind von den anderen abgerückt und sitzen nebenblattartig direkt am Blattgrund. Bei *Anthyllis* (Wundklee) sind die Rosettenblätter z. T. noch ungeteilt, die Stengelblätter aber gefiedert, wenn auch das Endblättchen vergrößert ist. Die Blütenstände der Loteen sind vorwiegend Dolden.

Die *Coronilleen*-Gattungen (Kronwickenartige) *Coronilla* (Kronwicke), *Hippocrepis* (Hufeisenklee), *Ornithopus* (Serradella), *Hedysarum* (Süßklee) und *Onobrychis* (Esparsette) haben zunehmend vieljochige Fiederblätter mit ausgeprägten Nebenblättern. Beim Blütenstand findet eine Entwicklung von doldigen zu lang gestreckten, traubigen Formen statt. Bei den *Galegeen* (Geißrautenartige) *Galega* (Geißraute), *Colutea* (Blasenstrauch), *Oxytropis* (Spitzkiel), *Astragalus* (Tragant) und *Robinia* (Robinie), die ganz ähnliche Fiederblätter wie die *Coronilleen* besitzen, werden verkürzt traubige bis langtraubige Blütenstände ausgebildet.

Bei dem höchstentwickelten Papilionatentribus, den *Vicieen* (Wickenartige), wird die bei den anderen Triben auf die Blüte beschränkte Dorsiventralität so stark, daß es zur Ausbildung einseitswendiger Blütenstände kommt; oft wird sogar der ganze Sproßbau dorsiventral ausgebildet (*Hegi, G.* 1924). Bei diesen Gattungen kommt es zu einer zunehmenden, an der Blattspitze beginnenden Blättchenreduktion. Fällt das endständige Blättchen fort, so wird zunächst, wie wir es bei der Frühlingsplatterbse *(Lathyrus vernus)* beobachten können, nur ein Grannenspitzchen ausgebildet. Bei anderen Arten der Gattungen *Lathyrus* (Platterbse), *Vicia* (Wicke), sowie *Lens* (Linse) und *Pisum* (Erbse), kann es zur Ausbildung einer einfachen oder auch verzweigten Ranke kommen; die Verzweigung der Ranke ist dabei um so stärker, je mehr Blättchenpaare reduziert worden sind. Am weitesten fortgeschritten ist die Blättchenreduktion bei den Platterbsen *(Lathyrus)*. So besteht beispielsweise bei der Wiesen-Platterbse *(L. pratensis)* die Blattspreite nur noch aus einem Blättchenpaar mit Ranke; außerdem sind die Nebenblätter stark vergrößert. Bei der Rankenplatterbse *(L. aphaca)* ist das Blatt soweit reduziert, daß nur noch die vergrößerten Nebenblätter und eine einfache Ranke ausgebildet werden. Bei der Grasplatterbse *(L. nissolia)* schließlich sind auch noch die Nebenblätter stark reduziert; stattdessen wird bei ihr die Blattspindel zum Phyllodium verbreitert und übernimmt Blattfunktion. Die Tendenz, die Blattfunktion auf den Stengel oder stengelartige Organe, wozu auch die Blattspindel gehört, übergehen zu lassen, findet sich bei vielen Platterbsenarten schon in der flügelartigen Verbreiterung des Stengels angedeutet und erfährt bei der Grasplatterbse *(L. nissolia)* die stärkste Ausprägung. Mit der Blättchenreduktion

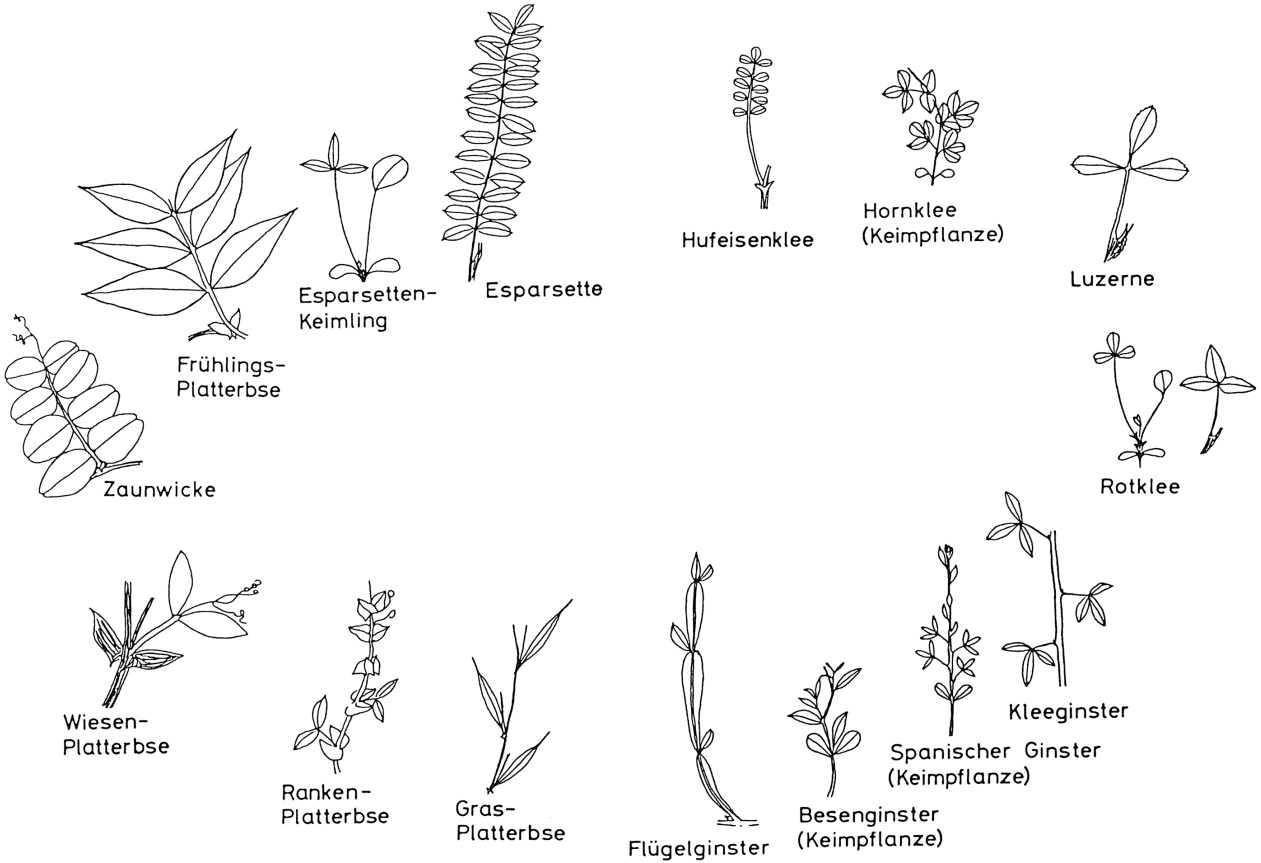

Bild 1: Schematische Übersicht zur Blattmetamorphose der Schmetterlingsblütler

parallel geht auch eine Reduktion des Blütenstandes: Viele Wickenarten bilden noch reichblütige Trauben aus; der Blütenstand der Frühlings- und Wiesen-Platterbse ist eine wenigblütige Traube und bei der Ranken- und der Grasplatterbse werden nur noch Einzelblüten ausgebildet.

Von den *Genisteen* (Ginsterartige) über die *Trifolieen* (Kleeartige) und *Loteen* (Hornkleeartige) bis hin zu den *Coronilleen* (Kronwickenartige) und *Galegeen* (Geißrautenartige) haben wir es also mit einem zunehmenden Gliedern und Spreiten, mit einer Ausdehnungsbewegung im Blattbereich zu tun. Die bei den Genisteen zum großen Teil noch endständige, also vom vegetativen Bereich getrennte Blüte, wird mehr und mehr, indem sie blattachselständig wird, in den Blattbereich hineingenommen. Wie das Blatt, so erfährt auch der Blütenstand eine zunehmende Ausdehnung. Bei den *Vicieen* (Wickenartige) erfolgt dann wiederum eine Zusammenziehung im Blattbereich, eine Reduktion des Blattes von der Spitze her und, besonders deutlich bei den Platterbsenarten *(Lathyrus)* mit geflügeltem Stengel, ein schrittweises Übergehen der Blattfunktion auf den Stengelbereich, wie es bei der Grasplatterbse *(L. nissolia)* in der Phyllodienbildung dann verwirklicht ist. Bei den zu den *Mimosaceen* gehörigen *Acacia*-Arten ist die Phyllodienbildung dann noch weiter verbreitet.

Von den Genisteen bis hin zu den Vicieen wird die Durchdringung von Blüten- und Blattbereich stärker. Damit parallel geht eine Entwicklungstendenz von der Dauerpflanze, die wir bei den Genisteen vorwiegend finden, zur einjährigen Pflanze, die bei den Vicieen vorherrscht. Außerdem sind die meisten Genisteenarten kalkmeidend, wohingegen bei den anderen Triben die kalkbedürftigen Arten überwiegen.

Andererseits kann man natürlich auch eine Entwicklung von den Vicieen, wo Blatt- und Blütenbereich noch ganz durchmischt sind, über die Galegeen etc. bis zu den Genisteen finden, die ihren Blühbereich ganz aus dem Blattbereich herausgearbeitet haben.

4. *Vergleich der Metamorphose der Schmetterlingsblütler mit der Blattmetamorphose einer Einzelpflanze*

Vergleichen wir mit der bei den Schmetterlingsblütlern vorgefundenen Bildebewegung nun einmal die Blattmetamorphose der Einzelpflanze.

Die ersten Blättchen sind rundlich und einfach gestaltet und zunächst erfolgt eine Vergrößerung, die zunehmend mit einer stärkeren Gliederung der Blattspreite und einer Streckung des Blattstiels einhergeht. Es handelt sich zunächst also um eine Ausdehnungsbewegung von kleinen, einfachen Formen zu stärker differenzierten und ausgedehnteren. Bald nehmen die Konturen immer spitzigere Formen an, die Spreite wird kleiner und der Stiel verkürzt sich. Das Blatt zieht sich schließlich ganz auf den Blattgrund zurück, wobei es zu einer Ausdehnung der blattgrundnahen Teile kommt. Sowohl die ersten, auf die Keimblätter folgenden Laubblätter als auch die letzten, zur Blüte überleitenden Blättchen zeigen oft einfache, ungeteilte Blattspreiten; doch sind beide, oberflächlich vielleicht ähnliche Formen, aus einer gegensätzlichen Bildebewegung heraus zu verstehen: Das erste Laubblatt, rundlich quellend und ungeteilt ist die erste Stufe einer in die Ausdehnung und Gliederung gehenden Blattmetamorphose; das letzte, spitzige und wiederum oft ungeteilte Blättchen ist die letzte Stufe einer zusammenziehenden Metamorphose, an die sich die Entwicklung der Blüte anschließt.

Wir finden eine *Entsprechung* zwischen der Blattmetamorphose der Einzelpflanze zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeit und der in der Blattmetamorphose der Schmetterlingsblütler aufgefundenen Bildebewegung.

Den ersten, einfachen und ungegliederten Blättchen der Einzelpflanze entsprechen die ungeteilten Blättchen vieler Genisteengattungen; dann setzt ein erstes Gliedern ein, wie es sich beim Kleeblatt beobachten läßt. Gliedern, Spreiten und Stielen werden zunehmend stärker – entsprechend dem fünf- bis siebenteiligen Fiederblatt der Loteen bis hin zu den vieljochigen Blättern und traubigen Blütenständen der Coronilleen und Galegeen. In der Zusammenziehungsphase erfahren die blattgrundnahen Teile eine Ausdehnung, entsprechend der Blattbildung der Vicieen mit ihrer Blattreduktion von der Spitze her und der Vergrößerung der Nebenblätter.

5. Durchdringung von Blatt- und Blütenbereich bei den Schmetterlingsblütlern

Der Übergang von der ausdehnenden zur zusammenziehenden Metamorphose wird durch das Auftreten des Blühimpulses bewirkt. Das sich auf Blattgrund und Nebenblätter zurückziehende Blatt der Vicieen deutet ebenfalls auf ein Wirken des Blühimpulses hin. Auch die bei vielen Wickenarten vorhandenen extrafloralen Nektarien der Nebenblätter, die häufig von Ameisen besucht werden, sprechen für eine Durchdringung von Blatt- und Blütenbereich. Mit der spiraligen Wachstumsbewegung der Ranke treten im Blattbereich *«Empfindlichkeit»* (die Ranke krümmt sich aufgrund eines taktischen Reizes) und *«Beweglichkeit»* auf. Bei einigen tropischen Mimosen wird diese «Empfindlichkeit» so gesteigert, daß sie auf taktische Reize und sogar auf Erschütterungen mit Zusammenfalten der Blättchen reagieren («Sinnpflanze» *Mimosa pudica*).

Empfindlichkeit gegenüber Lichtrhythmen kennt man von vielen Pflanzen besonders als Tag-Nacht-Rhythmus des Öffnens und Schließens der Blüte. Bei vielen Papilionaten, vor allem bei den Kleeartigen, läßt sich solch eine Bewegung auch im Blattbereich beobachten. So führt z.B. der Steinklee *(Melilotus)* ausgeprägte *nyktinastische Blättchenbewegungen* aus: man kann zwischen einer *«Schlafstellung»* und einer *Tagstellung* unterscheiden.



Bild 2: Tag- und Nachtstellung der Blättchen beim Steinklee *(Melilotus)*

Auch im rhythmisch gegliederten, oft geometrisch starr wirkenden, vieljochigen Fiederblatt wird ein Element erlebbar, das wir aus der geometrischen Bildung der Blüte kennen. So deutet auch die meist blattachselständige Blüte darauf hin, das nicht nur die Vicieen, sondern auch die anderen Schmetterlingsblütler, charakterisiert sind durch ein Durchdrungensein von Blatt- und Blütenbereich, durch ein blütenhaftes Element im Blattbereich.

Die in der Blattmetamorphose der Schmetterlingsblütler aufgefundene Gesetzmäßigkeit, die Blattentwicklung der Einzelpflanze im Großen zu wiederholen, wird von einem zweiten Element durchdrungen. Bei den Vicieen am stärksten, aber auch bei den anderen Triben finden wir eine *Durchdringung von Blüten- und Blattbereich*, die bei den Genisteen mit ihren endständigen Blütenständen am wenigsten ausgeprägt ist.

Nun kann sich ja der blütenhafte Charakter im Blattbereich auch auf ganz andere Weise äußern, wie in der Bildung von ätherischen Ölen, Duftstoffen etc. im Blatt, also mehr in der Bildung von blütentypischen Substanzen, wie wir es ja von vielen Gewürzpflanzen und namentlich den Lippenblütlern *(Labiaten)* kennen. Bei diesen Pflanzen wird das Blühprinzip so stark, daß es nicht auf die Blüte beschränkt bleibt, sondern auf den Sproß-Blattbereich, ja sogar auf die Wurzel übergreift.

Nicht so bei den Schmetterlingsblütlern: hier wird die Blühtendenz im Blattbereich zurückgehalten; sie ist nicht stark genug, sich aus dem Blattbereich voll heraus zu lösen. Im Gegensatz zu den *Labiaten*, wo sich die Blühtendenz mehr in der *Substanzbildung* zeigt, also auch in Aroma, Farbe etc., äußert sie sich im Blattbereich der *Papilionaten* mehr in *bestimmten Gestaltungsprinzipien*.

Die Blätter der Schmetterlingsblütler sind durch hohe Gehalte an Phosphor, Calcium und besonders Eiweiß gekennzeichnet. Entsprechend hohe Eiweißgehalte finden wir bei anderen Pflanzen vor allem in Früchten und Samen. So kann man in dieser Hinsicht außer von einer Blühtendenz auch von einer *Fruchtbildetendenz im Blattbereich* sprechen. Für ein Fruchtartigwerden in der Blattregion spricht ja auch die Tatsache, das viele Schmetterlingsblütler zu den wertvollsten Futterpflanzen gehören, also eine intensive Nahrhaftigkeit im Blattbereich ausbilden. Auch die oft dunklere, bläulich-grüne Farbe vieler Leguminosenblätter läßt das fruchtartig-massig Werden deutlich erleben.

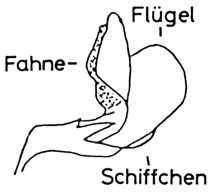

Bild 3: Seitenansicht einer Schmetterlingsblüte

6. Die Blüte der Schmetterlingsblütler

Die Blüte der Schmetterlingsblütler ist durch ihren dorsiventralen Aufbau gekennzeichnet. Die zugrunde liegende Fünfstrahligkeit ist noch gut erkennbar: das obere vergrößerte Kronblatt wird Fahne genannt, die beiden seitlichen werden als Flügel und die unteren, die verwachsen sind, als Schiffchen bezeichnet. Die fünf Kelchblätter sind verwachsen. Die zehn, meist zu einer Röhre verwachsenen Staubblätter sowie der Stempel sind im Schiffchen verborgen. Der Fruchtknoten ist oberständig und besteht aus einem Fruchtblatt.

Die Bestäubungsmechanismen der Schmetterlingsblütler sind sehr weitgehend an Insekten angepaßt. Es lassen sich vier verschiedene Bestäubungsmechanismen unterscheiden, die auf dem Prinzip der gemeinsamen Bewegung von Flügeln und Schiffchen beruhen. Die einfachste Vorrichtung dieser Art ist der *«Klappmechanismus»*, der sich bei den Kleearten, bei der Esparsette oder auch beim Kleeginster findet. Bei diesen Blüten ist das Schiffchen oben geöffnet; setzt sich nun eine Biene oder Hummel auf die Flügel, so werden sie mitsamt dem Schiffchen nach unten gedrückt und Griffel und Staubbeutel kommen mit der Unterseite des Insekts in Berührung und die Bestäubung kommt zustande. Beim *«Bürstenmechanismus»*, der sich in erster Linie bei den Platterbsen- und Wickenarten *(Lathyrus* und *Vicia)* findet, geben die Staubbeutel schon in der geschlossenen Blüte den Pollen an den behaarten Griffel ab. Bei Insektenbesuch wird das oben offene Schiffchen heruntergedrückt und der Griffel tritt heraus; zuerst nimmt seine Narbe eventuell mitgebrachten Pollen auf, dann wird der auf der Griffelbürste befindliche Pollen vom Haarkleid des Insekts aufgenommen.

Die *Loteen*, einige Kronwicken *(Coronilla)* und z.B. der Hufeisenklee *(Hippocrepis)* haben den *«Pumpenmechanismus»* ausgebildet. Das Schiffchen ist hier an der Oberseite bis auf einen kurzen Schlitz an der Spitze geschlossen. Schon in der Knospe wird der Pollen in die Schiffchenspitze entleert. Bei Insektenbesuch wird der Pollen aus der Schiffchenspitze herausgedrückt. Erst wenn kein Pollen mehr vorhanden ist, tritt die Narbe heraus und kann befruchtet werden.

Beim *«Schnellmechanismus»* ist das Schiffchen schließlich vollständig geschlossen; Griffel und Staubblätter liegen im Schiffchen zunächst in einer gespannten Lage. Bei

Besuch eines Insekts reißt das Schiffchen von der Basis bis zur Spitze reißverschlußartig auf und die Unterseite des Insekts wird eingestäubt. Im Gegensatz zu den drei anderen Mechanismen kann der Schnellmechanismus nur einmal funktionieren. Er ist bei den Luzernearten *(Medicago)* und – etwas variiert – auch beim Besenginster *(Sarothamnus scoparius)* ausgebildet (*D. Hess,* 1983).

Der Charakter der geschlossenen Blüte, der Fruchtcharakter, nimmt also zu von den Blüten mit Klapp- und Bürstenmechanismus, die ein offenes Schiffchen haben, über die Blüten mit Pumpenmechanismus und teilweise verwachsenem Schiffchen, bis zu den Blüten mit Schnellmechanismus und vollständig verwachsenem Schiffchen.

Während die *radiärsymmetrische Blüte* mit ihrer Orientierung nach oben, zur Sonne, in die ursprüngliche vertikale Wachstumsrichtung der Pflanze (Erde-Sonne) eingegliedert ist, fällt die *dorsiventrale Blüte* mit ihrer horizontalen Stellung aus der der Pflanze eigenen Raumesrichtung heraus. Auch das gewöhnliche Laubblatt ist ja bilateral aufgebaut; es bleibt jedoch in der Fläche, in der Zweidimensionalität. Erst bei der dorsiventralen Blüte kann man ein Rechts und Links, ein Oben und Unten, ein Außen und Innen unterscheiden: an ihr wird der bei der strahligen Blüte noch undifferenzierte Raum gegliedert; ja, in gewisser Weise entsteht der dreidimensionale Raum erst mit der dorsiventralen Blüte.

Die Radiärsymmetrie kommt innerhalb der Tierwelt nur bei den wasserbewohnenden Hohltieren *(Coelenteraten)* und Stachelhäutern *(Echinodermen)*, den sog. *Radiaten*, vor; hingegen treffen wir die dorsiventrale Symmetrie, verbunden mit horizontaler Raumlage, als Formprinzip in der ganzen höheren Tierwelt an.

Die Pflanze wird zum Bild der am Standort wirkenden Kräfte; mit dem Auftreten von im Tierreich herrschenden Formprinzipien wird sie zum Bild eines erst im Tierreich auftretenden, aktiven Raumergreifens. So ist auch die Innenraumbildung der Blüte und Frucht als Bild einer erst im Tier real werdenden Innerlichkeit zu verstehen.

Blüte und Frucht nehmen ja räumlich dieselbe Stellung an der Pflanze ein; in der Blüte aber verströmt die Pflanze in Farbigkeit, Duft und Blütenstaub in ihre Umgebung und wird ganz leicht, während sie in der Fruchtbildung Stofflichkeit anreichert, schwer wird, sich durch Innenraumbildung von der Umgebung abschließt und als typische Sinnesqualität nun nicht Duft verströmt, wie die Blüte, sondern Geschmack entwickelt, der erst bei der Zerstörung der Frucht, beim Gegessenwerden durch Mensch und Tier, frei wird. Bei der Schmetterlingsblüte erkennen wir in ihrer Innenraumbildung, in ihrem sich Abschließen von der Umwelt, eine deutliche Fruchtbildetendenz. Auch ihren Blütenstaub gibt sie ja nicht direkt an die Umgebung ab, sondern nur über das vermittelnde Insekt. *«Es will fruchten, bevor es zur Blüte kommt» (R. Steiner, 1924).*

7. Die Fruchtbildung bei den Schmetterlingsblütlern

Während die bei der Schmetterlingsblüte auftretenden Gestaltungen eher an Insektenformen gemahnen, erinnern die Fruchtformen eher an raupenartig segmentierte Tierformen. Die oft sehr eigenartigen Fruchtformen haben in vielen Fällen zur Namengebung der betreffenden Art geführt, so beim Hufeisenklee *(Hippocrepis comosa)* oder bei der Sichelluzerne *(Medicago falcata)*. Stets bleibt die Hülse genannte Frucht der Schmetterlingsblütler häutig oder blattartig dünn. Die Hülse stellt nichts weiter dar als ein gefaltetes Fruchtblatt. Man kann sich ihre Form entstanden denken aus dem sich an den Rändern nach oben krümmenden Fruchtblatt. Im Fruchtblatt erscheint die Bewegungstendenz des sich an den Rändern nach oben krümmenden, besonnten Laubblattes

gleichsam gesteigert. So sind die Samen stets an der nach oben orientierten Naht der Hülse angewachsen.

Typische Fruchteigenschaften wie Stoffanreicherung, Süße oder Farbigkeit fehlen den Früchten der Papilionaten meist vollständig. Die Bildung oft sehr vieler Samen in einer Reihe stellt wiederum ein rhythmisches Element dar, daß wir bereits bei der Fiederblattbildung kennengelernt hatten. Die Samen der Leguminosen sind sehr eiweißreich und in vielen Fällen auch giftig (Alkaloide).

Bei den Körnerleguminosen können sie recht groß und fruchtartig werden; doch zeigt sich bei genauerer Betrachtung, daß es stets die Keimblätter sind, welche die Reservestoffe einlagern und massig werden, nie – wie beim Getreidekorn – das Endosperm. Also auch in diesem Falle bleibt das Fruchtartigwerden im Blattbereich!

Bei unseren Körnerleguminosen, aber auch z.B. bei den Platterbsen, begegnet uns eine weitere Besonderheit. Am Stengel werden zunächst zwei schuppenförmige, ein- oder zweizipfelige Niederblätter ausgebildet und erst am nächsten Knoten sitzt das erste Primärblatt. Diese Niederblätter sind bereits im Samen, zwischen den Kotyledonen, voll entwickelt. Man kann sie als in einem frühen Entwicklungsstadium gehemmte Primärblätter auffassen (*W. Troll,* 1937).

Ihre frühe Anlage deutet darauf hin, daß es sich – wie beim Samen – um Organe der letztjährigen Pflanze handelt, die in die – in diesem Sinne verfrühte – Fruchtbildung einbezogen und dadurch in ihrer Entwicklung gehemmt wurden.

Daß dieses Phänomen gerade bei den Körnerleguminosen zu beobachten ist, weist darauf hin, daß ja der gegenüber der Wildpflanze verfrühte Fruchtbildeimpuls eine Gesetzmäßigkeit ist, die die Nahrungspflanze auszeichnet (*J. Bockemühl,* 1983).

Ein bemerkenswertes Phänomen stellt die Fruchtbildung der Erdnuß *(Arachis hypogaea)* und des Erdklees *(Trifolium subterraneum)* dar: die befruchtete Blüte senkt sich ins lockere Erdreich hinein, wo dann, in Dunkelheit und Feuchtigkeit die Fruchtentwicklung stattfindet. Auch bei einigen unserer Wickenarten können Blüten auftreten, die bereits im Knospenstadium blühen (Kleistogamie) und an den im Boden verbleibenden, kleistogamen Blüten Früchte entwickeln (Geocarpie). In extremer Weise wird an diesen Pflanzen die Neigung der Schmetterlingsblütler sichtbar, die Fruchtbildung im unteren Bereich der Pflanze zurückzuhalten.

8. Die Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütler

Im Bereich der Wurzel stellt die Knöllchenbildung ein besonderes Phänomen dar. Die Wurzelknöllchen entstehen nach dem Eindringen von im Boden lebenden Bakterien *(Rhizobium leguminosarum)* durch die Wurzelhaare in die Epidermiszellen; sie können als Wurzelgallen aufgefaßt werden. Pflanzengallen werden besonders durch Insekten, aber auch durch Milben, Pilze oder Bakterien hervorgerufen. Nach *P. Schilperoord* (1980) kann Gallenbildung in vielen Fällen als eine Fruchtbildetendenz im Laubblattbereich angesehen werden. Innenraumbildung, Rot- oder Gelbfärbung, bisweilen sogar fruchtartiger Geschmack haben zu Bezeichnungen wie Gallapfel etc. geführt. In diesem Sinne kann man die Wurzelgallen der Leguminosen mit ihrer leichten Farbigkeit durchaus als einen Fruchtbildeprozeß im Wurzelbereich auffassen.

Schauen wir etwas genauer auf das Verhältnis der Pflanze zu den Knöllchenbakterien. Man spricht gewöhnlich von einer Symbiose, also einer Lebensgemeinschaft, die beiden Partnern Vorteile bringt. Die Bakterien decken ihren Energiebedarf aus von den Pflanzen gelieferten Kohlenstoffverbindungen, und die Pflanze ihrerseits profitiert von der

Fähigkeit der Bakterien zur Stickstoffixierung; so kann sie auch auf sehr stickstoffarmen Böden gedeihen, ohne Stickstoffmangelsymptome zu zeigen.

Es besteht also eine wechselseitige Abhängigkeit zwischen der Kohlenstoff-Assimilation im grünen Blatt und der Stickstoffbindung in der Wurzel der Pflanze. Die Wurzelbakterien können zwar außerhalb der Wurzel recht lange leben, zur Stickstoffbindung sind sie aber unter natürlichen Bedingungen nur in der Wurzel in der Lage.

Die ersten Wurzelknöllchen können unter günstigen Bedingungen (gute Lichtverhältnisse, Boden ausreichend feucht und durchlüftet etc.) schon recht früh an der jungen Pflanze gebildet werden. Bei einem Versuch im Forschungslabor am Goetheanum (*L. Jolly*, 1980) bildeten Ackerbohne *(Vicia faba)*, Platterbse *(Lathyrus sativus)*, Hornklee *(Lotus corniculatus)* u.a. schon zwei bis drei Wochen nach der Keimung die ersten Knöllchen. Die Hauptentwicklungsphase der Knöllchen lag bei den mehrjährigen Arten vorwiegend erst im Spätsommer und Herbst. *Jolly* konnte eine Farbentwicklung der Knöllchen von Weiß über Grünlich bis zu Rosa beobachten, die bei absterbenden Knöllchen in Braun überging.

Bei Versuchen mit Erbse *(Pisum sativum)* in Finnland (*I. Roponen*, 1970) lag die Hautbildungsphase der Knöllchen wesentlich früher; schon gegen Ende der Blüte bis Beginn der Fruchtbildung gingen die aktiven Knöllchen in ein inaktives Stadium über. Nach *Roponen* ist dieser Schritt an der Farbänderung der Knöllchen kenntlich: Die aktiven Knöllchen sind rötlich gefärbt durch das Pigment Leghämoglobin, das dem Hämoglobin des menschlichen Blutes verwandt ist. Die inaktiven Knöllchen sind grünlich gefärbt (Legcholeglobin). Wenn alle Knöllchen grün sind, hat die Stickstoffixierung aufgehört; später sterben die Knöllchen ab und werden braun.

Verhindert man das Blühen durch rechtzeitiges Entfernen der Knospen, so bleiben die Knöllchen viel länger aktiv; Stickstoffixierung und vegetatives Wachstum werden fortgesetzt, was in deutlich gesteigerten Erträgen zum Ausdruck kommt. Demnach führen Blüte und Fruchtbildung bei einjährigen Leguminosen zu einem Erliegen des vegetativen Wachstums und der Stickstoffbindungsaktivität in einem recht frühen Entwicklungsstadium (*I. Roponen*, 1970).

Bei mehrjährigen Leguminosen kann man nicht von so ausgeprägten Phasen der Knöllchenaktivität sprechen; es kommt ja beispielsweise bei der Luzerneblüte auch nicht zu einem Erliegen des Blattwachstums, sondern vegetatives Wachstum und Blüte durchdringen sich auch zeitlich.

Unterläßt man es nun einmal, die beobachtbaren Phänomene mit vorgeprägten Begriffen wie «Symbiose» etc. zuzudecken, so kann man auch zu der Knöllchenbildung einen ganz neuen Zugang bekommen.

Die zu den normalen Prozessen des belebten Bodens gehörige Stickstoffixierung, wie sie von vielen im Boden lebenden Mikroorganismen durchgeführt wird, finden wir bei den Leguminosen in konzentrierter Form wieder. Die Leguminosen verbinden sich also besonders stark mit diesen Bodenprozessen, ziehen sie an sich und konzentrieren sie im Bereich ihrer Wurzeln. Bevor nun die oberirdische Pflanze fruchtet, findet gewissermaßen eine Fruchtbildung im Wurzelbereich statt; in ihren «Wurzelfrüchten» reichert die Leguminose aber nicht Kohlenstoffverbindungen wie Zucker oder Stärke an, sondern Stickstoff, Eiweiß und Verwandtes. Entwickelt die Pflanze nun ihren eigentlichen Fruchtprozeß, so kommt die Knöllchenbildung und mehr und mehr das vegetative Wachstum zum Erliegen.

Bei Versuchen mit Bohne *(Phaseolus)* (*J. Bockemühl*, 1975) und Luzerne *(Medicago)* (*K. Wais*, 1985) zeigte sich, daß bei weitgehend schattig gehaltenen Pflanzen nur sehr wenige Knöllchen zur Entwicklung gelangten. Ebenso hemmen mineralische Stickstoff-

dünger die Ausbildung der Knöllchen (bzw. die Synthese und Funktion der Nitrogenase).

Zur gesunden, sich voll zur Erscheinung bringenden Leguminose gehören die Wurzelknöllchen genauso dazu wie etwa die Blüte oder die Blättchenbewegungen. Wenn, wie bei der im Schatten gezogenen Pflanze, die formenden Kräfte des Sonnenlichtes keinen genügenden Zugang haben, so kann die Pflanze ihr Wesen nicht voll zur Erscheinung bringen: Der Blühimpuls wird abgeschwächt, die Sproßgestalt bleibt ungeformt, Blättchenbewegungen unterbleiben weitgehend, Wurzelknöllchen werden nicht ausgebildet. Ähnliche Symptome können auch bei der voll belichteten Pflanze auftreten, wenn sie gut mit Wasser und reichlich mineralischem Stickstoff versorgt wird. Auch hier liegt kein Gleichgewichtszustand vor zwischen den kosmischen, im Licht repräsentierten Kräften und den das lebendige Wachstum fördernden wässrig-mineralischen Kräften, die durch die Salzdüngung zu stark angeregt wurden.

Eine harmonische Pflanzenentwicklung kann man dagegen durch eine Düngung mit Kompost unterstützen, wo der Stickstoff in organischer Form und in einem natürlichen Verhältnis zum Kohlenstoff vorliegt. Der Kohlenstoff kann als Repräsentant der im Licht wirkenden, formenden und gestaltenden Kräfte verstanden werden. Nur wenn das Verhältnis der im Licht wirkenden Kräfte zu den wässerig-belebenden Kräften ausgeglichen ist, wird ein harmonisches Pflanzenwachstum möglich. *Rudolf Steiner* bezeichnet im *Landwirtschaftlichen Kurs* (1924) diese Kräftepolarität mit den Begriffen «kosmisch» und «terrestrisch». Ist somit das Verhältnis zwischen kosmischen und terrestrischen Kräften ausgeglichen, wie es bei einem guten Kompost der Fall ist, so entwickelt sich die Pflanze groß und kräftig und ist doch voll durchgestaltet; auch blüht sie intensiv und hat zahlreiche große Knöllchen ausgebildet usw.; auch ist ihre Beziehung zum Umraum nicht beeinträchtigt, sondern die Pflanze führt intensive Blattbewegungen aus.

Knöllchenbildung und somit Stickstoffeinatmung findet also nur statt, wenn die Standortkräfte in einer gewissen Harmonie wirken, wenn Wasserverhältnisse, Luftverhältnisse im Boden, Boden-pH, Licht und Salze in der Bodenlösung harmonisch zusammenstimmen und kein Faktor zu sehr überwiegt. So ist die Knöllchenbildung ein empfindlicher Zeiger für die artspezifische Harmonie oder Disharmonie der Standortkräfte. Auch kann hieran etwas von der Aufgabe des Stickstoffs als *«empfindender Vermittler»* deutlich werden: Er vermittelt zwischen den durch das Licht wirkenden geistigen Gestaltungskräften des Kohlenstoffs und den im Sauerstoff als Lebensträger repräsentierten salzig-wässerigen Wachstumskräften.

9. Rudolf Steiners Angaben zu den Schmetterlingsblütlern im Landwirtschaftlichen Kurs

Im Folgenden wollen wir uns *Steiners* Angaben zu den Leguminosen im Landwirtschaftlichen Kurs (1924) etwas genauer betrachten, da sie unser Bild dieser merkwürdigen Pflanzengruppe wesentlich bereichern können:

«... und die Schmetterlingsblütler, diese Pflanzen stellen eigentlich dar etwas Ähnliches wie dasjenige, was auf unseren Epithelzellen geschieht. Auf dem Wege der Einatmung, da geht es herunter. Und es sind dies eigentlich im Wesentlichen die einzigen Pflanzen solcher Art. Alle anderen stehen nicht der Einatmung nahe, sondern der Ausatmung. Und so löst sich denn auseinander für unsere Betrachtung, ich möchte sagen, der gesamte Organismus der Pflanzenwelt, wenn wir das Stickstoffliche heranziehen, als eine Art Stickstoffatmung betrachten. Denn überall da, wo wir Schmetterlingsblütler antreffen, sehen wir gewissermaßen auf die Atemwege, und wo wir andere Pflanzen betrachten, sehen wir auf die anderen Organe hin, die die Atmung in viel

geheimerem Sinne betreiben und eigentlich andere Funktionen zur Aufgabe haben. ... man kann sehen, wie diese Schmetterlingsblütler eigentlich wirken: sie haben alle den Zug, daß sie das Fruchtende, das sich bei den anderen Pflanzen mehr nach oben hinzieht, mehr in der Region des Blattartigen erhalten. Es will fruchten, bevor es zur Blüte kommt. Sie haben überall das bei den Schmetterlingsblütlern, daß es fruchten will, bevor es zur Blüte kommt. Das rührt davon her, weil eben viel mehr der Erde zu bei diesen Pflanzen das gehalten wird, was sich im Stickstoffmäßigen auslebt – sie tragen ja das Stickstoffmäßige zur Erde hin –; es lebt sich alles das Stickstoffmäßige bei diesen Pflanzen weiter der Erde zugeneigt aus, als bei anderen Pflanzen, wo es sich im weiteren Abstand von der Erde entwickelt.

Sie sehen, wie diese Pflanzen die Neigung haben, die Blätter nicht in dem gewöhnlichen Grün, sondern auch etwas dunkler zu färben. Sie sehen auch, wie eine Art Verkümmerung der eigentlichen Frucht bei diesen Pflanzen vorliegt, wie die Samen dieser Pflanzen nur eine kurze Zeit samenfähig sind und dann die Samenfähigkeit verlieren. Diese Pflanzen sind nämlich daraufhin organisiert, daß sie dasjenige, was die Pflanzenwelt vom Winter hat, nicht vom Sommer, daß sie das ganz besonders zur Ausbildung bringen. Daher möchte man sagen: in diesen Pflanzen liegt immer die Tendenz, auf den Winter zu warten; sie wollen eigentlich warten auf den Winter mit demjenigen, was sie entwickeln ...»

Bei der Beschreibung der Schmetterlingsblütler haben wir gesehen, wie Blattbereich, Blüte und sogar die Wurzelregion von einer Fruchtbildetendenz durchzogen sind. Nun kann auch deutlich werden, was Steiner meint, wenn er z.B. sagt: «Es will fruchten, bevor es zur Blüte kommt».

Wie aber können wir die Mitteilung verstehen, daß die Leguminosen das, was die Pflanzenwelt vom Winter hat, besonders zur Ausbildung bringen? Was hat denn die Pflanzenwelt vom Winter?

Der Winter stellt die *Einatmungsphase* der Erde dar, wo das Pflanzenleben ganz in Samen und Knospen zurückgezogen ist, ganz abgeschlossen von den Umkreiswirkungen. Wenn dann im Frühjahr das Pflanzenleben zur Entfaltung kommt und mit der Blüte im Sommer seinen Höhepunkt erreicht hat, findet die *Ausatmung* des Erdorganismus ihren Abschluß und mit dem Nachlassen der vegetativen Wachstumskräfte beginnt wiederum die *Einatmung* der Erde, die in der Bildung von Früchten und Samen ihren schönsten Ausdruck findet.

Dieser übergreifende *Atmungsvorgang der Erde* wird von jeder Pflanzenart etwas modifiziert zum Ausdruck gebracht: Das Schneeglöckchen blüht bereits im Vorfrühling, sein «Sommer» liegt also bereits im Februar, die Herbstzeitlose kommt erst im Oktober zur Blüte, erlebt ihren «Sommer» also erst im Herbst.

Bei den Schmetterlingsblütlern haben wir gesehen, wie sie ganz von einer Fruchtbildetendenz durchdrungen sind, wie sie in gewisser Weise verwandt sind mit den Einatmungsvorgängen der Erde. Nicht erst nach Abschluß von vegetativem Wachstum und Blühimpuls kommt es zur Fruchtbildung, sondern *schon die Ausatmungsphase der Pflanze ist von dieser Neigung zum Fruchtwerden durchzogen.* Auch im Frühjahr und Sommer ist das Wachstum der Schmetterlingsblütler von dieser «Wintergebärde», diesem Fruchtbildungsimpuls durchzogen. Insofern warten diese Pflanzen immer auf das, was die Pflanzenwelt vom Winter hat, auf ein Zurückgezogensein auf sich selber, ein sich Abschließen von der Umgebung.

Auf der anderen Seite ist ja die *eigentliche Fruchtbildung* der Papilionaten nur schwach ausgeprägt, bleibt blattartig-dünn. Am ehesten kann man noch in der Samenbildung der Körnerleguminosen von einer Fruchtbildung sprechen, doch auch hier kommt der

Fruchtbildeprozeß nicht über den Blattbereich hinaus: es sind stets die *Keimblätter*, die fruchtartig-massig werden.

Zunächst ist man vielleicht geneigt anzunehmen, daß die Fruchtbildung bei den Leguminosen besonders ausgeprägt sein müßte, wenn bereits vegetativer und Blühbereich von einer Fruchtbildetendenz durchdrungen sind, so sollte erst recht das eigentliche Fruchten ausgebildet sein. Warum das nicht der Fall ist, können wir uns anhand eines Bildes verdeutlichen: Wenn Licht und Finsternis vermischt werden, entsteht ein einförmiger Dämmerungszustand anstelle des rhythmischen Wechsels von Tag (Licht) und Nacht (Finsternis); weder Licht noch Finsternis treten wesenhaft in Erscheinung. So ist es nun auch bei den Schmetterlingsblütlern: da der normale Jahresrhythmus dieser Pflanzen durchmischt ist mit dieser Einatmungstendenz, entsteht eine Art Dämmerzustand, d. h., weder die Ausatmungsphase mit vegetativem Wachstum und Blüte noch die Einatmungsphase mit Frucht- und Samenbildung kommt voll zur Erscheinung, wird ganz zu Ende geführt. So wie der Mensch nur kräftig einatmen kann, wenn er zuvor voll ausgeatmet hat; wird der Ausatmungsvorgang aber zurückgehalten, also nicht ganz durchgeführt, so kann auch der folgende Einatmungsvorgang nur schwach durchgeführt werden.

Im gleichen Vortrag spricht *Steiner* auch über den *Stickstoff als Träger des Astralischen, als Träger der Empfindung*: «Die Pflanze würde nicht blühen, wenn das Astralische sie nicht von außen berührte. Sie nimmt nur nicht das Astralische auf wie das Tier und der Mensch, aber sie muß von außen davon berührt werden. Das Astralische ist überall, und der Stickstoff, der Träger des Astralischen, ist überall, er webt in der Luft als Leichnam, aber in dem Augenblicke, wo er in die Erde kommt, wird er wiederum lebendig. Geradeso wie der Sauerstoff lebendig wird, wird der Stickstoff lebendig. Dieser Stickstoff in der Erde wird nicht nur lebendig, sondern er ist dasjenige, was man besonders auf landwirtschaftlichem Gebiet berücksichtigen soll, das, so paradox es heute erscheint, dem materialistisch vertrakten Gehirn, das nicht bloß lebendig, sondern empfindlich wird. Er wird richtig ein Träger einer geheimnisvollen Empfindlichkeit, die über das ganze Erdenleben ausgegossen ist. Er ist derjenige, der empfindet, ob das richtige Quantum Wasser in irgendeinem Erdgebiete ist. Er empfindet das als sympathisch, er erpfindet es als antipathisch, wenn zu wenig Wasser da ist. Er empfindet es als sympathisch, wenn für irgendeinen Boden die richtigen Pflanzen da sind usw. ... Er ist der empfindende Vermittler, wie auch der Stickstoff im menschlichen Nerven-Sinnessystem dasjenige ist, was die Empfindung vermittelt; er ist in Wahrheit derjenige, der Träger der Empfindung ist ...»

Wir haben bereits darauf hingewiesen, daß *der Prozeß der Stickstoffeinatmung* in den Knöllchenbakterien nur stattfindet, wenn für die betreffende Leguminose die Standortverhältnisse harmonisch zusammenstimmen.

So verbindet sich der Stickstoff nur mit der Pflanzenwurzel, wenn der Boden weder zu naß noch zu trocken ist, sondern wenn «das richtige Quantum Wasser in irgendeinem Erdgebiete ist». Etwas vom Wesen des Stickstoffs kann uns auch deutlich werden, wenn wir das gehäufte Auftreten von Farbstoffen (z. B. Anilinfarben) oder pflanzlichen Giften (Alkaloide) bei Stickstoffverbindungen ins Auge fassen. Es werden Eigenschaften ausgebildet, die seelisch, auf die Empfindung wirken, wie die Farbigkeit oder eben die vorzüglich auf das Nervensystem wirkenden Alkaloide, deren bis ins Psychische gehende Wirkung bekannt ist (z. B. Cocain, Coffein, Morphin etc.). –

10. Fruchtbildung und Stickstoffgeschehen

Auf der Suche nach anschaulich werdendem Stickstoffwirken stießen wir auf die Leguminosen; deren besondere Beziehung zum Stickstoff veranlaßte uns, zu untersuchen, was ihre Besonderheit gegenüber anderen Pflanzengruppen kennzeichnet. Bei der Einzelpflanze fanden wir eine Blattmetamorphose vor, die relativ formenarm ist und nicht mit einem endständigen Blütenstand ihren natürlichen Abschluß findet. Die blattachselständigen Blütenstände entspringen nicht nur den obersten Blättern, sondern begleiten das ganze vegetative Wachstum der Pflanze, bevor diese ihrer Blattmetamorphose nach eigentlich zur Blüte kommt.

Die Blattmetamorphose der Familie zeigte uns eine Wiederholung der Entwicklung der Einzelpflanze im Großen; auch hier wiederum von einem blütenhaften Element durchzogen. Die *Nahrhaftigkeit* und der *Eiweißreichtum* des Leguminosenblattes veranlaßte uns auch, von einem *fruchtartigen Charakter im Blattbereich der Schmetterlingsblütler* zu sprechen – im Gegensatz zum deutlicher blütenhaften Blattbereich der Labiaten, wo mit der Bildung von ätherischen Ölen auch Duft auftritt.

Diese Fruchtbildetendenz fanden wir im *Blütenbereich*, bei einigen Arten in der *Samenbildung* und mit der Knöllchenbildung auch im *Wurzelbereich* wieder. Nur die eigentliche Frucht bleibt eher blattartig. Wir haben es also mit einer Pflanzengruppe zu tun, die ganz von einer Fruchtbildetendenz durchdrungen ist, aber so, daß diese mehr im Blattbereich der Pflanze zurückgehalten wird.

Worin besteht nun der Zusammenhang zwischen dem Fruchtbildeimpuls der Pflanze und dem Stickstoff?

Die Geste der Fruchtbildung ist das sich Absondern von der Umgebung, die – nach innen gerichtete – Anreicherung von Substanz.

Diese Innenraumbildung, das sich Abschließen gegenüber den Einflüssen der Umgebung, aber auch gegenüber den rein vegetativen Wachstumskräften, ist Voraussetzung für das Entstehen eines Innenlebens, von Empfindung. Ohne diese Abgrenzung von der Außenwelt besteht überhaupt kein Innen-Außen. Für die Pflanze ist ihre Umgebung nicht «außen», Boden- und Lichtverhältnisse gehören in diesem Sinne genauso zur Pflanze wie ihre Blätter. In der Fruchtbildung kommt die Pflanze einer Innenraumbildung und damit einer ersten Anlage zur Empfindungsfähigkeit am nächsten, ohne das es allerdings schon zur Empfindung kommt. So kann die Fruchtbildung angesehen werden als *Bild* einer im Tierreich auftretenden Empfindungsfähigkeit.

Hat man die verschiedenen Wirkungen des Stickstoffs in der Natur aufgesucht und ist in dem die unterschiedlichen Stickstoffwirkungen verbindenden Element der Stickstoffprozeß erlebbar geworden, so kann man nun die Welt unter dem Aspekt des Stickstoffs betrachten. Betrachtet man z.B. ein Getreidefeld unter dem Aspekt des Stickstoffs, so offenbart u.a. die grüne Farbe der Pflanzen etwas über den Stickstoffprozeß: Neigt das Grün mehr zum Aufgehellten, Gelben, so ist der Stickstoffprozeß nicht intensiv genug und wir tun gut daran, ihn beispielsweise durch Düngung etwas anzuregen. Finden sich dagegen dunklere bis bläulichgrüne Farbtöne, evtl. verbunden mit schwacher Aufrichtekraft der Halme, so überwiegt der Stickstoffprozeß in einseitiger Weise z.B. die Gestaltungsprozesse. Aber auch in der Bildung z.B. der Möhre, bei deren chemischer Analyse nur wenig Stickstoff nachgewiesen wird, kann man nun das fruchtbildende Wirken des Stickstoffs erleben. In diesem Sinne kann man in Abwandlung eines Wortes von Schelling sagen:
Stickstoff ist da, wo er wirkt. –

LITERATUR

Allen, O.N. & E.K. Allen (1981): The Leguminosae. Wisconsin.
Bockemühl, J. (1975): Die Bedeutung des Entwicklungsverlaufs für die Qualitätsbeurteilung von Bohnen. Elemente d.N. 23.
– (1983): Vergleiche zwischen Wild- und Kulturformen Elemente d.N. 39.
– (1985): Vom Umgang mit Stoffen und Prozessen. Unveröffentl.
Broughton, W.J. (1981): Nitrogen fixation. Vol. 1: Ecology. Oxford.
Fedorow, M.W. (1960): Biologische Bindung des atmosphärischen Stickstoffs. Berlin.
Goebel, Th. (1968): Laubblatt und Keimblatt in der Pflanzenmetamorphose. C.G. Carus-Institut Sonderdruck.
Goethe, J.W. (1891): Metamorphose der Pflanzen. Weimar.
Grohmann, G. (1968): Die Pflanze. Band 2. Stuttgart.
Hegi, G. (1964): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Band IV, 3. Teil. München.
Hess, D. (1983): Die Blüte. Stuttgart.
Jolly, L. (1980): Schmetterlingsblütler. Studienarbeit im Rahmen des anthroposophisch-naturwissenschaftlichen Studienjahres am Goetheanum. Unveröffentlicht.
Petersen, A. (1967): Klee und Kleeartige. Berlin.
Postgate, J.R. (1982): The fundamentals of nitrogen fixation. Cambridge.
Roponen, I. (1970): Studies on the nitrogen metabolism of leguminous plants. Dissertation, Helsinki.
Rothmaler, W. (1976): Exkursionsflora. Berlin.
Schilperoord, P. (1980): Pflanzengallen. Unveröffentlichte Studienjahrarbeit im Forschungslabor am Goetheanum.
Sprent, J.I. (1979): The biology of nitrogen-fixing organisms. London.
Steiner, R. (1924): Landwirtschaftlicher Kursus. Dornach. 6A 327
Strasburger, E. (1978): Lehrbuch der Botanik. Stuttgart.
Troll, W. (1937): Vergleichende Morphologie höherer Pflanzen. Berlin.
– (1959): Allgemeine Botanik. Stuttgart.

Erdmut Rohlfs
Solmarka Arby 4178
S-38803 Vassmolösa