Eine morphologische Charakterisierung des Weizens (*Triticum aestivum* L.)

Peer Schilperoord

Zusammenfassung

Die Charakterisierungen der Gräser sind vielfältig und nicht frei von Widersprüchen. Ebenso vielfältig sind die morphologischen Interpretationen des Grasblattes und des Graskeimlings. Die Arbeiten von Hans-Jürgen Tillich ermöglichen eine sichere Interpretation des Keimlings. Dadurch lässt sich ein Überblick gewinnen über die gesamte Blattmetamorphose vom Keimblatt bis zum Fruchtblatt.

Der Weizen weicht in seiner Gestalt stark ab von einer einfachen zweikeimblättrigen Pflanze. Die Primärwurzel ist in ihrer Entwicklung zurückgehalten, der Wurzelbereich ist in den Sprossbereich hinaufgenommen, das verbliebene Keimblatt hat seine Assimilationsfähigkeit verloren und verhält sich auf seine Art wie eine Wurzel. Die Blattscheiden der Stängelblätter übernehmen Aufgaben der Sprossachse, die Spreite wird hochblattähnlich und die Hochblätter rücken in den Bereich der Kelchblätter vor. Die Weizenpflanze nimmt das Wurzelhafte hinauf und das Blütenhafte hinunter. Dies kommt in der speziellen Gestalt der Blattmetamorphose zum Ausdruck. Am auffallendsten ist der Stängelcharakter der Stängelblätter. Die Reproduktionskraft ist im generativen Bereich zurückgenommen. Dafür ist die Menge der Nährsubstanzen gesteigert.

Summary

Grasses can be characterised in many ways, though not without contradictions. There are also many morphological interpretations of the seedlings and the leaves of grasses. Hans-Jürgen Tillich's work makes possible a reliable interpretation of seedlings. It enables an overview to be gained of the entire leaf metamorphosis from cotyledon to carpel.

In its form, wheat differs greatly from that of a simple dicotyledonous plant. The development of the primary root is strongly retarded; the root region is taken up into the shoot region; the remaining cotyledon has lost its capacity for assimilation and behaves in the same way as a root. The leaf-sheathes of the stem leaves take on the functions of the axis of the shoot. The leaf blades become bract-like and the bracts extend into the region of the sepals. The wheat plant carries the root element upwards and the flower element downwards. This is expressed in its special form of leaf metamorphosis. Most striking is the stem character of the stem leaves. The reproductive force is taken back in the generative region. This increases the quantity of food substances.

Einleitung

Die Getreidearten als Untergruppe der Gräser sind die am häufigsten angebauten Kulturpflanzen. In Europa und Nordarmerika ist der Weizen die wichtigste Nahrungspflanze. Entsprechend groß ist die Zahl der Publikationen und vielfältig der Inhalt der wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu dieser bemerkenswerten Pflanze.

Die Gräser gehören zu den am weitesten entwickelten Familien innerhalb der großen Gruppe der einkeimblättrigen Pflanzen. Entsprechend schwierig gestaltete sich die Interpretation ihrer Gestalt. Besondere Schwierigkeiten bereitete die Analyse der Strukturen des Embryos. *Sendulsky et al.* (1987) geben eine Zusammenfassung der verschiedenen Interpretationen der Keimlingsstrukturen. Resignierend zitieren sie (S. 35) die Pflanzenanatomin *Katherine Esau* (1965): '… the development and structure of the grass embryo are so complex that this embryo may be said to raise more morphological problems than any other plant embryo.'[1] Aber nicht nur mit dem Embryo haben Botaniker ihre liebe Mühe, auch das parallelnervige Blatt gab Anlass zu vielfältigen Interpretationen. Das Verdienst des in München lehrenden Botanikprofessors *Hans-Jürgen Tillich* (1992, 1995) ist es, durch umfangreiche Untersuchungen die Strukturen des Embryos bzw. des Keimlings geklärt und gleichzeitig einen Schlüssel für das Verständnis der Blattformen der Einkeimblättrigen geliefert zu haben.

Die Zahl der Charakterisierungen des Getreides im goetheanistischen Sinne[2] ist gering. Ansätze dazu finden wir bei Ernährungsfachleuten wie Dr. Med. Werner-Christian Simonis und Dr. Med. Udo Renzenbrink, im medizinalen Bereich bei Wilhelm Pelikan, in der Botanik bei Gerbert Grohmann,

1 «Die Entwicklung und Struktur des Grasembryos sind so komplex, dass man sagen kann, dass dieser Embryo mehr morphologische Probleme aufwirft als jeder andere Pflanzenembryo.» Übersetzung P.S.

2 Das Adjektiv goetheanistisch hat sich in den letzten Jahrzehnten bei Biologen eingebürgert, die sowohl Goethes Methode des Vergleichens als auch die Anregungen von Rudolf Steiner in ihrer Arbeit aufgreifen. Ich verwende das Adjektiv goetheanistisch ungern, denn auch so bedeutende Morphologen wie Agnes Arber, Wilhelm Troll, Donald R. Kaplan und Wolfgang Hagemann fühlen sich mit der von Goethe praktizierten Methode verbunden und arbeiten in dem Sinne goetheanistisch = vergleichend. Sie verwenden allerdings das Adjektiv goetheanistisch nicht zur Charakterisierung ihrer Arbeit. Der Unterschied zwischen den Arbeiten dieser Forscher und explizit goetheanistisch arbeitenden Biologen wie Thomas Göbel, Andreas Suchantke, Wolfgang Schad und Jochen Bockemühl ist, dass Letztere versuchen, die Phänomene nicht nur im Sinne einer gegenseitigen Beleuchtung dieser Formen zu verstehen, sondern diese auch explizit zu charakterisieren und dabei Begriffe zu verwenden, die Rudolf Steiner zur Beschreibung des Pflanzenwachstums auf Grund seiner geisteswissenschaftlichen Forschungen eingeführt hat.

Ernst Michael Kranich, Ottilie Zeller und Andreas Suchantke und in der Züchtung bei Peter Kunz und Berthold Heyden. Neuerdings finden sich auch Charakterisierungen aus dem Forschungszweig der Bildekräfteforschung, so bei Dorian Schmidt.

Simonis in «Korn und Brot» (1966) und *Renzenbrink in* «Die sieben Getreide – Nahrung für den Menschen» (1981) haben ihre Beschreibung der Gestalt der Pflanzen und des Kornes populär wissenschaftlich gehalten. Es ist möglich, ohne morphologische Vorkenntnisse wesentliche Charakteristika der Gestaltbildung der Gräser zu erkennen und zu vermitteln. So zum Beispiel die Bestockungsfähigkeit, die Betonung vertikaler Linien, der Verzicht auf auffallende Blüten, der starke Bezug zum Wind, zum Licht und zum Kiesel. *Pelikan* vertieft in «Gräser – Stärkebildung im Kraftfeld des Kieselprozesses» (1962) die Charakterisierung der Gräser auf Grund seiner Erkenntnisse der Heilpflanzenkunde. Der Biologe *Kranich* (1979) weist auf kosmologische Beziehungen zu Sonne, Mond und Merkur hin und charakterisiert die Gräser im Vergleich mit den Zwiebelgewächsen. Er bleibt mit seinen morphologischen Beschreibungen im Allgemeinen. Die Botanikprofessorin mit Fachgebiet Entwicklungsmorphologie *Zeller* widmet dem Weizen ein eigenes Kapitel in ihrem Buch «Blütenknospen – verborgene Entwicklungsprozesse im Jahreslauf» (1983, S. 204–229). Sie gibt einen allgemeinen Überblick über das Wachstum und zeigt die Entwicklung des Sprosses und der Ähre an Hand von mikroskopischen Querschnitten. Auf besondere morphologische Fragen geht sie nicht ein. Der Getreidezüchter *Kunz* (1986) charakterisiert die vegetative Entwicklung von Hafer, Gerste, Weizen und Roggen mit Hilfe von Blattreihen. Die Charakterisierungen aus dem Bereich der Bildekräfteforschung (*Schmidt* 1998) beziehen sich nicht nur auf die Wirkung der Getreidearten, sondern auch auf die Wirkungen der einzelnen Getreidevarietäten auf den Menschen. Hier hat eine wachsende Zahl von Wissenschaftern ein Forschungsgebiet erschlossen, bei dem durch Verköstigung untersucht werden kann, welche Bildekräfte im Körper angeregt werden.

Einige Forscher haben sich etwas eingehender mit morphologischen Fragen auseinandergesetzt. Dazu gehören *Grohmann*, *Suchantke* und *Heyden*. Sie befassen sich u. a. mit der Frage, wie man die Gestalt der parallelnervigen Blätter im Vergleich zu den fiedernervigen Blättern verstehen kann. Ein Eichenblatt ist ein Beispiel für ein fiedernerviges Blatt mit klarer Gliederung in Blattgrund (Blattfuß), Blattstiel und Blattspreite. Die Forscher stellen sich die Frage, ob ein parallelnerviges Blatt nur bestimmte Teile eines fiedernervigen Blattes zur Ausbildung bringt, mit anderen Worten, ob ein Lilienblatt nur den Blattgrund, nur den Blattstiel oder nur die Blattspreite ausbildet.

Der Biologe *Grohmann* kommt in seinem Lehrbuch «Die Pflanze» (1951) zu folgender Schlussfolgerung: «Von den Monokotyledonen kann man sagen, dass das Blumenblatt ein in den Blütenbereich hinaufverwandeltes Laubblatt … sei.» (S. 117) Als Beispiel zeigt er eine missgebildete Tulpe, deren erstes Blütenblatt noch teilweise Stängelblatt ist. Bei der Behandlung des streifenadrigen Laubblattes kommt er zu der Schlussfolgerung: «Wenn man also das Streifenblatt als verbreiterten Blattstiel betrachtet, so bedeutet dies gleichzeitig, dass bei ihm eine wirkliche Spreite gar nicht vorhanden ist.» (S. 118) Zudem betont er die Gemeinsamkeit des Blattstieles mit der Sprossachse: «Der Blattstiel aber ist ein Abkömmling des Stängels. Wer diesen Unterschied von Stiel und Spreite im rechten Lichte sehen kann, der wird sich … nicht sonderlich darüber wundern, dass die Blätter der Dikotyledonen vorwiegend in der Horizontalen ausgebreitet sind, während bei den Monokotyledonen die Vertikalrichtung vorherrscht.» (S. 119) Grohmann macht als erster darauf aufmerksam, dass innerhalb der Einkeimblättrigen die wichtigsten Nahrungspflanzen keine besonders auffallenden Blütenblätter bilden und die Fähigkeit der Nahrungsbildung in dieser Gruppe mit dem Verzicht zusammenhängt, auffallende Blüten zu bilden.[3]

Suchantke (2002, S. 115ff.) kommt in seinem Buch «Metamorphose – Kunstgriff der Evolution» bei der Streifennervigkeit bei Einkeimblättrigen zu der Schlussfolgerung: «Die Blätter differenzieren sich überhaupt nicht oder nur undeutlich in Stiel und Spreite und ähneln in der Nervatur unvollkommen entwickelten Blattorganen der Dikotylen (Nebenblättern, Vorblättern, Knospenschuppen, Kelchblättern usw.).» (S. 116) Grohmann und Suchantke kommen also zu unterschiedlichen Ergebnissen. Gemäß Grohmann ist das parallelnervige Blatt aus einem verbreiterten Stiel eines netznervigen[4] (fiedernervigen) Blattes hervorgegangen. Gemäß Suchantke ist es das Unterblatt (der Blattgrund) des fiedernervigen Blattes, das die Grundlage für das parallelnervige Blatt gibt.

Eine ausführlichere Charakterisierung des Weizens findet sich bei dem Getreidezüchter *Heyden* (2001, 2006, 2007). Er befasst sich ebenfalls mit der Parallelnervigkeit und schließt sich der Ansicht an, dass sich der

3 Es ist wichtig zu bemerken, dass Grohmann den Zusammenhang für die ein- und nicht für ein- und zweikeimblättrige Pflanzen postuliert. Bei den Zweikeimblättrigen sehen wir gerade bei den Körnerleguminosen, dass die Blütenbildung und die Nahrungsbildung durchaus Hand in Hand gehen können.

4 Grohmann verwendet den Begriff netznervig. Fiedernervig wäre zutreffender, weil die großen Seitennerven wie an einem Fieder vom Hauptnerv weggehen. Im parallelnervigem Blatt sind die Hauptnerven auch untereinander netzartig verbunden.

Blattgrund (Unterblatt) des Stängelblattes zum Blütenblatt verwandelt und dass das Getreideblatt ganz aus dem Unterblatt hervorgeht. Als Ergebnis ihrer Überlegungen charakterisieren Suchantke und Heyden die Stängelblätter der Zwiebelgewächse und der Gräser als blütenhafter im Gegensatz zu den mehr vegetativen, fiedernervigen Blättern der Zweikeimblättrigen.

In der Geschichte der Morphologie gab die Frage, wie das parallelnervige Blatt vieler Einkeimblättrigen morphologisch zu verstehen sei, auch bei hauptberuflich tätigen Morphologen immer wieder Anlass für Untersuchungen und Darstellungen. Vier Untersuchungen seien hier genannt. Der deutsche Morphologe und Herausgeber von Goethes Schriften *Wilhelm Troll* (1926, 1937, S. 13–14, 1939, S. 1174ff.) und der amerikanische Morphologe *Donald R. Kaplan* (1973, 1975) gehen davon aus, dass die Blätter der Einkeimblättrigen hauptsächlich aus dem Unterblatt[5] (Blattgrund) der zweikeimblättrigen Pflanzen hervorgehen.[6] Eine Ausnahme machen sie für die unifazialen Strukturen. Dazu zählen Vorläuferspitzen und die radiär symmetrischen blattstielrunden Strukturen, wie man sie bei der *Sansevieria suffruticosa* vorfindet.[7] Sie gehen von der Annahme aus, dass unifaziale Strukturen nur im Bereich des Oberblattes, wozu sie Blattstiel und Blattspreite rechnen, auftreten können. Alles was am parallelnervigen Blatt bifazial (mit einer Unter- und Oberseite) ist, betrachten sie als zum Unterblatt gehörend.

Beide vertreten das so genannte Leafbase- oder Blattscheide-Modell. Dieses Modell besagt, dass sämtliche Teile des Blattes der einkeimblättrigen Pflanzen mit nur einem Teil des zweikeimblättrigen Blattes, und zwar mit dem Unterblatt, homolog seien. Einzig die im Querschnitt runden unifazialen Abschnitte wären homologisierbar mit unifazialen Blattstielen (Troll) oder Rachisteilen (Kaplan). Troll und Kaplan kommen also zur fast gleichen Schlussfolgerung wie Suchantke und Heyden, allerdings auf einem ganz anderen Weg. Troll, Kaplan, Suchantke und Heyden setzen methodisch beim Vergleichen von ausgewachsenen Blättern von Ein- und Zweikeimblättrigen an. Sie leiten die Blattformen der Einkeimblättrigen

5 Troll gliedert die Blattgestalt in Unter- und Oberblatt. Das Oberblatt gliedert er nochmals in Stiel und Spreite. Bei *Hagemann* (1970) sind Blattgrund (Unterblatt), Blattstiel und Blattspreite drei gleichwertige Glieder eines Blattes.

6 Bei Troll findet man allerdings auch Stellen, wo er zum Beispiel am Grasblatt die Blattscheide mit dem Unter- und die Spreite mit dem Oberblatt gleichsetzt (*Troll* 1939, S. 1071). Kaplan ist eindeutiger.

7 Bei vielen einkeimblättrigen Pflanzen findet man, dass die Blattspreite zur Spitze hin in eine radiäre Struktur ausläuft. Bei *Sansevieria suffruticosa* ist der größte Teil der Spreite radiär symmetrisch gestaltet.

im entwicklungsgeschichtlichen Sinne von jenen der Zweikeimblättrigen ab. Die Konsequenz dieser Ansicht ist, dass zum Beispiel die Spreite des Grasblattes nicht homologisierbar (=morphologisch gleichwertig) mit der Spreite eines Eichenblattes ist. Es ist der Blattgrund des Eichenblattes, der morphologisch gleichwertig ist mit dem gesamten Grasblatt mit Knoten, Blattscheide und Blattspreite.

Die Auffassung Grohmanns findet sich ebenfalls in der Pflanzenmorphologie. *Agnes Arber,* englische Botanikerin und Übersetzerin von Goethes Metamorphose (1946) hat 1918 theoretisch dargelegt, wie man aus dem Blattstiel eines zweikeimblättrigen Blattes die Spreite eines parallelnervigen Blattes ableiten kann.

Die genannten Autoren haben gemeinsam, dass sie in erster Linie von ausgewachsenen Blättern ausgehen und diese miteinander in Beziehung setzen. Ganz anders verfährt *Wolfgang Hagemann* (1970): Er setzt beim Wachstum an, er studiert die Bildungsgeschichte und schreitet dann weiter zur Interpretation der ausgewachsenen Blattgestalten. Er stellt fest, dass die Abgrenzung zwischen Unter- und Oberblatt nur im Falle der Blattstielbildung klar erkennbar ist und dass das Fehlen eines Blattstieles nicht bedeutet, dass keine Spreite (Oberblatt) gebildet wird. Für Hagemann gibt es keine prinzipiellen Unterschiede zwischen den beiden Blatttypen. Die Blattspreite eines Grasblattes ist der Spreite und die Blattscheide dem Blattgrund des Eichenblattes homolog. Zu der gleichen Schlussfolgerung kommt auch *Karl Goebel* (1932, S. 1578).

In der Diskussion werde ich auf die unterschiedlichen Ansichten noch zurückkommen. Für die Charakterisierung ist es nicht gleichgültig, welche Zusammenhänge zwischen parallel- und fiedernervigen Blättern bestehen. Ist das parallelnervige Blatt ein reduziertes fiedernerviges Blatt? Liegt eine Vereinfachung vor, eine Verjüngung (Suchantke), oder betonen die Blattformen unterschiedliche Wachstumsmöglichkeiten bei gleichbleibender Grundstruktur (Hagemann, Goebel)?

Ein neues Element in der Diskussion bringt *Tillich* (1992, 1995). Seine Beschreibung der verschiedenen Keimblattformen der Einkeimblättrigen und sein Beitrag zum Verständnis des Keimblattes der Gräser macht es möglich, der Frage nach dem Verständnis des Grasblattes im Rahmen der Blattreihe vom Keim- bis zum Hochblatt nachzugehen. Tillich belegt mit umfangreichem Material, was *Goebel* (1932, S. 1440ff.) noch als wahrscheinliche These zur Interpretation des Schildchens und der Koleoptile des Grasembryos formuliert. Darüber hinaus kann Tillich auch das Auftreten der Koleorhiza (Wurzelscheide) erklären.

Das parallelnervige Blatt ist nicht typisch für die Gruppe der einkeimblättrigen Pflanzen, wie Grohmann, Suchantke und Heyden annehmen,

sondern nur typisch für eine Untergruppe.[8] Es gibt viele Einkeimblättrige mit Blattformen, die klar gegliedert sind in Blattfuß, Blattstiel und Blattspreite, z. B. Palmen, Aronstabgewächse und Dioscoreaceae.

Charakterisierung des Weizens, zur Methode

Die Gräser nehmen innerhalb der großen Gruppe der Einkeimblättrigen eine besondere Stellung ein. Als Windbefruchter verzichten sie auf auffallende Blütenblätter. Die Anordnung der Stängelblätter ist zweireihig, die Zahl der Kelch-, Kronen-, Staub- und Fruchtblätter kann von der vorherrschenden Dreizähligkeit abweichen.

Das Ziel der folgenden Abschnitte ist es, die Gestalt der Weizenpflanze vom Samen bis zur blühenden Pflanze genau zu beschreiben und zu charakterisieren. Charakterisieren heißt hier, dass ich die besondere Form des Weizens mit der allgemeinen Form einer zweikeimblättrigen Pflanze vergleiche, konkret mit einer Pflanze mit gut entwickeltem Wurzel- und Sprosspol, differenzierter Blattmetamorphose, klarer Trennung in Blüten- und Blattbereich und mit Blüten, die Kelch-, Kronen-, Staub- und Fruchtblätter voll zur Ausbildung bringen. Erhellend ist auch der Vergleich mit einer konkreten zweikeimblättrigen Pflanze, die von dem geschilderten Modell einer zweikeimblättrigen Pflanze etwas abweicht. Hierfür habe ich die Ackerbohne (*Vicia faba* L.) gewählt, welche, wie das Getreide auch, agronomisch zu den Körnerfrüchten gezählt wird.

Frucht und Samen

Bei den Hülsenfrüchten befinden sich mehrere Samen in einem Fruchtblatt und lassen sich nach der Reife leicht aus der Hülse herausnehmen. Die Samen sind hartschalig. Das Fruchtblatt hat Ähnlichkeiten mit einer Blattspreite, die am Hauptnerv gefaltet und deren Blattränder miteinander verwachsen sind. In einem Fruchtblatt können sich mehrere Samen bilden.

8 Parallelnervige Blätter finden sich auch innerhalb der Gruppe der Zweikeimblättrigen, z. B. innerhalb der Enziangewächse und beim grasblättrigen Hahnenfuß (*Ranunculus gramineus* L.).



Abb. 1: Fruchtblätter und Samen der Ackerbohne
Ein Fruchtblatt (Hülse) kann mehrere Samen enthalten. Die Fruchtblätter haben den Blattcharakter behalten. (*Schilperoord*)

Beim Getreide ist die Blattnatur der den Samen umhüllenden Schicht auf den ersten Blick nicht mehr erkennbar. So ist nicht ohne weiteres nachvollziehbar, dass bei den Gräsern gar zwei bis drei Fruchtblätter miteinander verschmelzen und gemeinsam einen Fruchtknoten mit nur einem Samen bilden. Die Fruchtschale und der Samen lassen sich nur noch schwer voneinander trennen; sie bilden eine Einheit. Die Frucht (Karyopse genannt) sieht aus wie ein Samen. Die samenbildenden Kräfte haben sich beim Getreide auf die Fruchtblattbildung ausgedehnt und den Blattcharakter zurückgedrängt, maskiert.

Bei der Bohne kommt die Blattnatur des Fruchtblattes voll zur Geltung. Es bleibt bei der klaren Trennung von Fruchtblatt und Samen. Weiter kann man sagen, dass die Fruchtbarkeit im Sinne von Samenzahl pro Fruchtblatt beim Getreide mit 0.33 bzw. 0.5 deutlich kleiner ist als bei der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) mit zwei bis fünf Samen pro Fruchtblatt.

Der Embryo in den reifen Samen von Getreide und Bohne ist bei beiden relativ weit entwickelt. Wir finden nicht nur Keimblätter, bei den Bohnen zwei und beim Getreide eins, sondern auch deutlich sichtbar die Anlagen der nachfolgenden Blätter. Die Embryos sind weiter entwickelt als beispielsweise die Embryos in den Samen der Kohlgewächse. Die Kohlarten haben zwar die Keimblätter veranlagt, aber die Sprossanlage zwischen den Keimblättern wächst erst mit der Keimung heran.



Abb. 2: Weizenkörner und Weizenspreu
Beim Weizenkorn bilden Samen und Fruchtschale eine Einheit. Die Frucht, das Getreidekorn, geht aus zwei Fruchtblättern hervor, die zusammen nur einen Samen enthalten. Die Fruchtschale hat Samencharakter angenommen. (*Schilperoord*)

Bohne und Getreidesamen speichern Nährstoffe, welche eine rasche Stärkung der Keimpflanze ermöglichen. Dank dieser Nährstoffspeicherung sind sie unabhängiger von den Umgebungsverhältnissen. Sie haben sich «emanzipiert». Es gibt Pflanzen, die genau das Gegenteil machen. Sie lagern keine Nährstoffe im Samen ein und der Embryo ist zur Samenreife kaum entwickelt. Die Orchideen verhalten sich so. Bei ihnen ist zur Samenreife noch nicht einmal das Keimblatt veranlagt. Ihre Samen sind dementsprechend winzig.[9]

Ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Getreide und der Bohne liegt in der Art der Speicherung der Nährstoffe und in der Zusammensetzung. Wie und wo speichern sie ihre Reservestoffe? Bei der Ackerbohne sind die Nährstoffe in den beiden Keimblättern gespeichert. Sie füllen den Samen komplett aus. Der Eiweißanteil ist hoch. Die Keimblätter sind angeschwollen und unförmig. Das Speichergewebe ist nicht abgestorben,

9 Der Orchideenembryo hat bei der Samenreife erst das Kugelstadium erreicht. Spross- und Wurzelpol sind in diesem Stadium veranlagt, aber die Anlage des Keimblattes ist als seitliche Wölbung noch nicht sichtbar. Entsprechend lang brauchen die Orchideen bei der Keimung.

die Nährstoffe lassen sich leicht mobilisieren und stehen dem Keimling unmittelbar zur Verfügung.

Ganz anders sind die Verhältnisse beim Getreidekorn. Der Embryo macht nur fünf Prozent des Samengewichtes aus, davon entfallen eins bis zwei Prozent auf die Frucht- und Samenschale und ca. 93 Prozent steht dem Mehlkörper, auch Endosperm genannt, zur Verfügung (vgl. Querschnitte durch die Samenstruktur der Bohne und des Getreides). Die Zellen, die das Endosperm bilden, sind abgestorben und die Stärke liegt in kristalliner Form in einer Eiweißmatrix eingebettet vor. Um das Endosperm herum befindet sich eine enzymreiche, noch lebendige Randschicht (Aleuronschicht). Die Mineralstoffe befinden sich in den Randschichten und die Fette hauptsächlich im Embryo.[10] Der Embryo befindet sich nicht in der Mitte des Samens, sondern seitlich am unteren Ende. Die einkeimblättrigen Pflanzen verzichten auf ein Keimblatt. Das verbliebene Keimblatt wandelt einen Teil des Blattes zu einem Saugorgan (Haustorium) um, mit dem Nährstoffe aufgenommen werden.[11] Dieses Saugorgan, auch Schildchen genannt, grenzt unmittelbar an das Endosperm an. Ausgehend vom Schildchen und von der Aleuronschicht findet eine Art «Verdauung» des Mehlkörpers statt. Ein Teil des Keimblattes des Getreides, das Schildchen, übernimmt auf seine Art die Funktion, Nährstoffe aufzunehmen. Normalerweise ist diese Funktion der Wurzel vorbehalten.

10 Unter den Einkeimblättrigen gibt es auch Arten, bei denen das Haustorium den Samen vollständig ausfüllt und die Nährstoffe, die sonst im Endosperm gelagert sind, sich alle bereits im Haustorium befinden, z. B. Aglaonema (Kolbenfaden, Zimmerpflanze), Arophyton (gehört zu den Aroideae oder Aronstab-ähnlichen Gewächsen) und Nephthytis (Zimmerpflanze, auch Eselskopf genannt, Araceae) (*Tillich* 2003).

11 Die Einkeimblättrigen können dieses Grundschema abwandeln, wie bei den Orchideen, wo keine Reservestoffe gespeichert werden und der Embryo «embryonal» bleibt. Es kann auch sein, dass ähnlich der Bohne das Oberblatt zum alleinigen Speicherorgan wird und die Samen endospermlos sind (*Tillich* 2003).

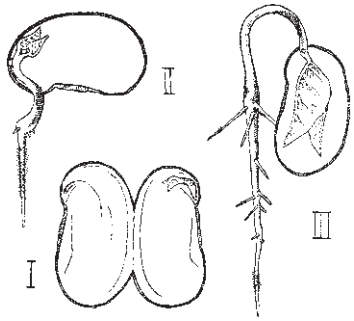

Abb. 3: Die Keimung der Gartenbohne
I Samen geöffnet. Die beiden Keimblätter sind auseinandergelegt, sodass der Keimling zwischen ihnen sichtbar wird. An dem linken Keimblatt ist das Stielchen zu sehen, durch das es mit dem Keimling verbunden ist. Der Keimling selbst besteht aus einer Keimachse, die unten in die Keimwurzel übergeht, und aus der Sprossknopse, auch Federchen genannt. II Eine in Keimung begriffene Bohne. Ein Keimblatt ist weggenommen, sodass die junge Pflanze freiliegt. Sie hat sich gegenüber I stark vergrößert und die Primärwurzel kräftig entwickelt. III Ein noch weiter fortgeschrittenes Stadium. (*Troll* 1926)

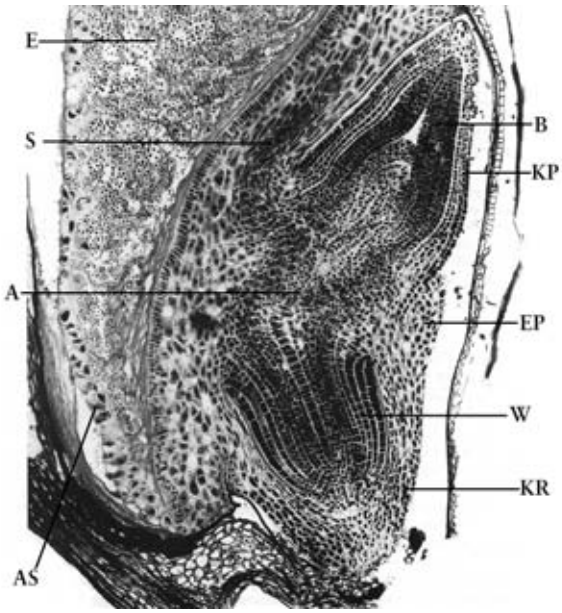

Abb. 4: Längsschnitt durch den Keimling eines ruhenden Weizenkorns
A Keimachse; AS Aleuronschicht; B Blattanlage; E Endosperm; EP Epiblast an der Grenze von Sprossachse und Wurzelachse; KP Koleoptile Blattscheide des Keimblattes; KR Koleorhiza = Wurzelscheide; S Schildchen, die zu einem Saugorgan verwandelte Blattspreite des Keimblattes; W Wurzelanlage (*Zeller* 1983)

Das Getreide geht bei der Speicherung der Nährstoffe weiter als die Bohne. Beim Getreidekorn sind die Reservestoffe Stärke und Eiweiß außerhalb des Embryos gelagert und bilden eine eigene «organische» Erde. Der Reifeprozess läuft intensiver ab, ein Sterbeprozess setzt ein, die Speicherzellen sterben ab, kristallähnliche Strukturen treten auf. Für die Reifeprozesse ist Wärme der entscheidende Faktor, es findet ein Art Darren statt. Bei der Bohne sind sämtliche Nährstoffe im Keimling in den Keimblättern eingelagert, die Reifeprozesse führen nicht zum Absterben des Speichergewebes. Die ganze Fruchtbildung ist bei der Bohne in dem Blattbereich untergetaucht, beim Weizen findet sie weit oberhalb des Blattbereiches in der Ähre statt.

Embryo und Keimling

Wie am Anfang erwähnt, hat das Getreidekorn eine komplizierte Gestalt. Der Pflanzenmorphologe Tillich hat sich auf die Gestalt der Keimpflanzen der Einkeimblättrigen spezialisiert. Ihm verdanken wir die Klärung der morphologischen Verhältnisse dieser Gruppe. Schauen wir uns das Getreidekorn genauer an, um zu sehen, welche Strukturen Schwierigkeiten bei der Interpretation bereiten (vgl. Abb. 4–7). Umstritten waren lange die Wurzelscheide (Koleorhiza) und die Keimscheide (Koleoptile).

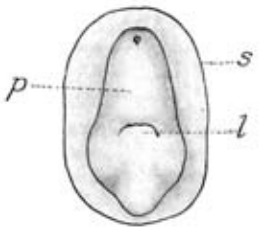

Abb. 5: Weizenembryo, Ansicht frontal, nach Entfernung der Fruchtschale
P Koleoptile; S Schildchen; l Epiblast, unterhalb davon die Koleorhiza

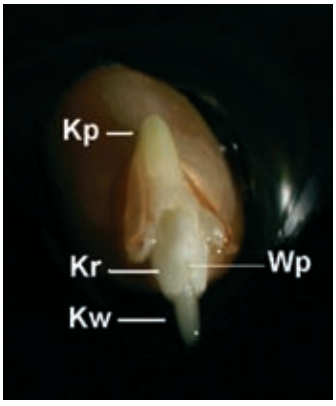

Abb. 6: Weizenkorn während der Keimung
Die Fruchtschale ist durchbrochen, oben die Koleoptile (Kp). Die erste sprossbürtige Wurzel (Kw) hat die Koleorhiza (Kr) durchbrochen. Angedeutet ist die Lage der Primärwurzel (Wp), sie hat sich nicht weiter entwickelt, ihre verkümmerte Anlage ist von der Koleorhiza praktisch überwachsen worden. (*Schilperoord*)



Abb. 7: Junge Keimpflanze
Zwei Wurzeln, die aus der Keimachse hervorgehen, sind sichtbar. Durch das nach unten gerichtete Wurzelwachstum hat sich das Getreidekorn angehoben. Die Koleoptile wächst in entgegengesetzte Richtung. Wurzelhaare sind deutlich sichtbar. Die Haare auf der Koleorhiza sind im Gegensatz zu den Wurzelhaaren mehrzellig und werden Rhizoiden genannt.

Der Längsschnitt in Abbildung 4 zeigt eine Wurzelanlage, die von einer Scheide umgeben ist. Weiter sind das Schildchen, die Koleoptile und eine Reihe von Blattanlagen erkennbar. In Abbildung 5 schaut man auf den Keimling, die Fruchtschale ist entfernt. Die Keimung hat in Abbildung 6 eingesetzt. Die Fruchtschale ist zerrissen und beiseite gedrängt. Die Keimwurzel hat die Koleorhiza durchbrochen, zwei Seitenwurzeln deuten sich an. Die Koleoptile verfärbt sich an der Spitze leicht grünlich. In Abbildung 7 ist die Keimung weiter vorangeschritten, die Wurzelhaare sind klar erkennbar, ebenso die Rhizoiden auf der Koleorhiza. Rhizoiden sehen wie Wurzelhaare aus, sind aber mehrzellig im Gegensatz zu den einzelligen Wurzelhaaren.

Einige Fragen drängen sich bei der Betrachtung des Weizenkeimlings auf. Wie ist die Koleorhiza (Wurzelscheide) zu verstehen? Wieso tritt keine Primärwurzel in Erscheinung?

Eine Primärwurzel ist nie von einer Keimscheide umgeben. Das hängt mit ihrer Entstehungsgeschichte zusammen. In der frühen Embryogenese bilden sich Spross- und Wurzelpol (*Schilperoord* 2007a). Aus dem Wurzelpol geht die Primärwurzel hervor, aus dem Sprosspol gehen Keimblätter und Sprossanlage hervor. Eine zusätzliche scheidenartige Umhüllung des Wurzelpols gibt es nicht. Somit ist die Primärwurzel einer dikotylen Keimpflanze nie von einer Wurzelscheide umgeben. Die Keimpflanze der einkeimblättrigen Dattelpalme bildet ebenfalls eine kräftige Primärwurzel

ohne Keimscheide aus. Woher kommt beim Weizen die Wurzelscheide, was ist mit der Primärwurzel?

Für die Deutung der Wurzelscheide konnte Tillich auf eine Arbeit des Franzosen *L. C. Richard* zurückgreifen, die bereits 1811 veröffentlicht wurde. Richard konnte zeigen, wie bei der Bildung von Seitenwurzeln das umringende Gewebe angeregt wird, mit der heranwachsenden Wurzelanlage mit- und vorauszuwachsen und so eine Scheide zu bilden, die später von der Wurzelspitze durchstoßen wird. Seitenwurzeln werden im Gegensatz zu Seitensprossen endogen veranlagt und müssen das umringende Gewebe durchstoßen. Solange dieses Gewebe noch nicht vollständig differenziert ist, kann es auf das Wachstum der Wurzelanlage reagieren und eine Scheide bilden. Weil sämtliche Keimwurzeln des Getreides solche Wurzelscheiden bilden, bedeutet dies, dass die Primärwurzel verkümmert und alle gebildeten Wurzeln Seitenwurzeln sind. Tillich zeigt, dass dies nicht für alle Einkeimblättrigen zutrifft. Der Getreidekeimling steht am Ende einer Entwicklungsreihe, in der die ursprüngliche Polarität des Embryos mit Spross- und Wurzelpol aufgegeben wird. Die Primärwurzel verkümmert. Die Folge ist, dass die Wurzelbildung im Bereich des Hypokotyls und der (gestauchten) Sprossachse stattfindet. Die enge Verzahnung von Sprossachse und Wurzelsystem ist beim Getreide von Anfang an veranlagt. Die neuen Seitensprossen können sofort selber Wurzeln schlagen.

Weiter stellt sich bei der Keimscheide die Frage, ob Keimscheide und Schildchen zusammen das Keimblatt bilden oder ob die Keimscheide bereits als zweites Blatt aufzufassen ist.

Tillich kann diese Fragen lösen, indem er die Keimlinge von den verschiedenen Gruppen der Einkeimblättrigen untersucht und anschließend die Blattformen in eine Entwicklungsreihe einordnet. Zum Verständnis dieser Evolutionslinie ist es hilfreich, die Blattbildung bei der Sumpfdotterblume anzuschauen.

Ausgehend von diesem zweikeimblättrigen Blatt können wir die schematische Entwicklungsreihe des monokotylen Keimblattes leichter verstehen. Das grundständige Blatt der Sumpfdotterblume bildet Spreite, Stiel und einen stängelumfassenden Blattgrund aus, der einen Teil des Stängels scheidenförmig umfasst. Diese Scheide wird in der ersten Phase der Blattentwicklung veranlagt. Sie umschließt zunächst den Vegetationspunkt. Bei den ausgewachsenen Blättern ist diese Scheide häutig und das Blattgrün fehlt. Von da ist es zum Keimblatttypus der Einkeimblättrigen kein großer Schritt mehr. Ein Teil der Spreite wird zum Haustorium (vgl. Abb. 8, schraffiert). Der Bromus-Typ (Bromus = Trespe) entspricht dem Bild, wie wir es beim Weizen haben. Das Keimblatt bildet keinen Blattstiel aus, und so grenzt das Schildchen direkt an die Keimscheide. Die Keimscheide ist

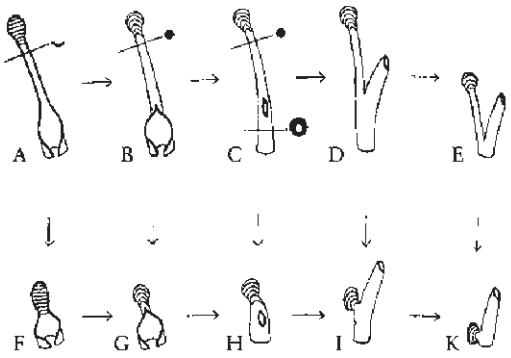

Abb. 8: Evolutionslinien des Keimblattes der Monocotylen (schematisch)
A bis E Hauptlinie; F bis K Nebenlinie. Das Haustorium ist jeweils durch Schraffur, der morphologische Blattrand durch eine deutlich dickere Linie hervorgehoben. A Haemanthus-, B Agave-, C Juncus-, D Asphodelus-, E Chlorophytum-, F Pancratium-, G Cryptocoryne-, H Polygonatum-, I Roscoea-, K Bromus-Typ (*Tillich* 1992)

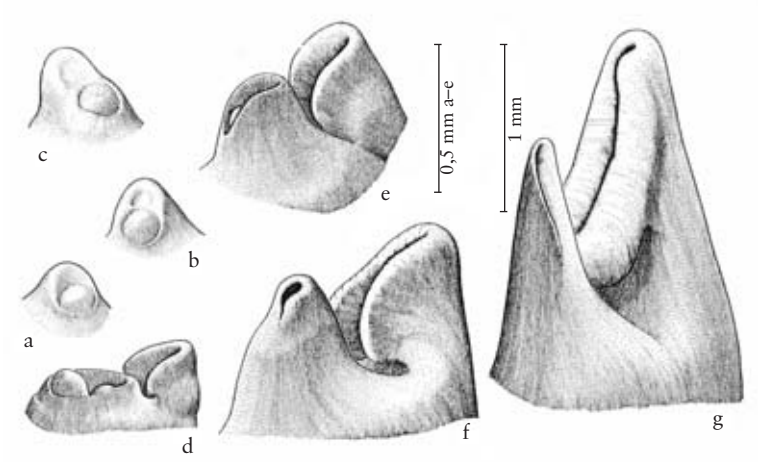

Abb. 9: Blattentwicklung bei der Sumpfdotterblume *Caltha palustris*, eine Scheide bildend, die das Sprossmeristem umhüllt (*Hagemann* 1970)



Abb. 10: Sumpfdotterblume, Blattbasis (*Schilperoord*)

wie bei der Sumpfdotterblume häutig. Blattgrün wird nicht gebildet. Die Keimscheide ist eine Bildung des Unterblattes.

In Tillichs Schema (siehe Abb. 8) ist oben von links nach rechts die Evolutionslinie vom einfachen zum stark abgewandelten Keimblatt dargestellt. Unten von F bis K ist die gleiche Linie angegeben, aber diesmal mit verkürztem Blattstiel. K entspricht dem Grastyp. Das Blatt der Sumpfdotterblume entspricht dem Stadium D. Allerdings finden wir bei ihr kein Haustorium, sondern eine voll ausgebildete Spreite.

Kräftigungswachstum

Die Kräftigungsphase nennt der Landwirt Bestockungsphase. Das ganze Feld ergrünt allmählich. Die Pflanze verbindet sich vollkommen mit der Erde, sie wird irdisch. In dieser Phase nimmt der Umfang des Vegetationspunktes (des apikalen Sprossmeristems) zu. In der Blattmetamorphose zeigt sich diese Phase deutlich. Die Länge der Blattspreite nimmt zu und es bildet sich eine kräftige Mittelrippe. Gleichzeitig mit der Erstarkung des Sprossmeristems werden auch die veranlagten Seitenwurzeln stärker. Es sind die jüngeren Wurzeln, die später der Pflanze ihre Standfestigkeit verleihen. Der Spross ist an seinem unteren Ende konisch. Dies ist sehr deutlich an Maispflanzen zu beobachten.[12] Beim Mais nehmen die Wurzeln sogar etwas von dem Sprosscharakter an, die Kronenwurzeln ergrünen und tragen so zur Foto-

12 Der Mais bestockt im Gegensatz zu Weizen, Gerste und Roggen kaum.



Abb. 11: Zea mais, Sprossbasis einer getrockneten Pflanze
Die untere Pfeilspitze deutet auf die erste Keimwurzel hin, die etwas kräftiger ist als die späteren. Die Kronenwurzeln werden mit jedem Knoten kräftiger. Die obere Pfeilspitze weist auf Kronenwurzeln, von denen einige auf der Vorderseite abgetrennt sind. (*Schilperoord*)

synthese bei (siehe Abb. 11). Die Gräser haben die Wurzelbildung in den Bereich der Sprossachse hinaufgenommen.
Das Getreide bildet durch die frühe Veranlagung der Seitentriebe eine Art Rosette. Die Vermehrung der Sprossachsen in dieser noch sehr frühen Phase der Kräftigung ist, soweit ich das beurteilen kann, innerhalb der Kulturpflanzen einzigartig und weist auf außerordentlich starke vegetative Vermehrungskräfte hin. Die Seitentriebe erhalten ein eigenes Wurzelsystem, dadurch sind sie unabhängiger vom Haupttrieb.

Bei der Ackerbohne kräftigen sich sowohl Hauptwurzel als auch Sprossachse. Die Trennung zwischen Wurzel und Spross ist klar und eindeutig. Spross- und Wurzelachse bilden eine Linie, die Pflanze «steckt im Boden drinnen». Die Größe der Spreite nimmt zu und mit ihr auch die Zahl der Blattfiedern. Eine Besonderheit bei der Ackerbohne sind die Niederblätter, die sich den Keimblättern anschließen und vor den ersten Blättern mit Stiel und Spreite auftreten. Solche Niederblätter finden sich auch bei Keimlingen der Einkeimblättrigen, z. B. bei der Dattelpalme (*Phoenix dactylifera* L.) und beim Bambus (*Bambusa polymorpha* Munro) (*Goebel* 1932, S. 1437) (siehe Abb. 12). Wie kann man diese schuppenförmigen Niederblätter verstehen, die auf den ersten Blick aus der «Blatt-Reihe» tanzen? Solche

Niederblätter treten oft bei Embryonen auf, die bereits im Samen weit entwickelt sind und schon kleine Pflänzchen gebildet haben. Der gesamte Keim durchläuft anschließend eine Ruhephase. Eine Ruhephase durchlaufen auch zwei- oder mehrjährige Pflanzen. Diese bilden nach der Ruhephase Knospen, in denen die Sprossanlagen überdauern. Die Knospen sind, wie die Niederblätter auch, Schuppenblätter, und so können wir verstehen, wieso gerade Keimlinge aus reservestoffreichen Samen Niederblätter bilden können und mit ihnen eine Art Knospenphase mit Ruhephase durchlaufen.[13] Ähnliche Blattformen mit Übergangsformen zum Grasblatt findet man bei der mit Weizen verwandten Quecke (*Agropyron repens* L.). Hier sind diese Blattformen an den unterirdischen Ausläufern anzutreffen, sobald die Sprosse hinaufwachsen, um oberirdische Sprosse zu bilden. Solche Sprosse schließen nicht immer mit einer Ähre ab, sie können vegetativ bleiben.[14]



Abb. 12: Zwei Keimpflanzen von Bambusa polymorpha, schwach vergrößert
I Jüngere Keimpflanze, Col Koleoptile, N_1, N_2 Niederblätter, L erstes Laubblatt
II Ältere Keimpflanze mit zwei Laubblättern (*Goebel* 1932)

13 Weitere Beispiele sind: Eiche, Erbse, Banane. Reis bildet am ersten Stängelblatt nur die Blattscheide aus, erst das zweite Blatt hat zusätzlich eine Spreite. Der Botaniker *Robert Bünsow* hat 1988 auf diese Zusammenhänge aufmerksam gemacht.

14 Die Quecke lässt sich mit etwas Aufwand mit Weizen kreuzen, was zeigt, wie nah verwandt beide Arten sind. Die Quecke speichert Reservestoffe in den stärkehaltigen Rhizomen. Der Weizen verfügt nicht über diese Möglichkeit. Er bildet keine unterirdischen Ausläufer.

Das Schossen, der Blühimpuls

Bei Rosettenpflanzen ist das Schossen ein spektakuläres Ereignis. Wir kennen es von den zweikeimblättrigen Pflanzen wie etwa der Königskerze oder der Möhre. Bei diesen Pflanzen und auch beim Getreide findet eine Erstarkung statt, ohne dass sich die Internodien strecken. Die Erstarkung findet im und am Boden statt. Plötzlich wachsen die Pflanzen in die Höhe. Beim Getreide ist zu diesem Zeitpunkt der Blütenstand bereits veranlagt und die Zahl der Ährchen festgelegt. Bei den zweikeimblättrigen Pflanzen wird die vergleichbare Phase erst während des Schossens erreicht. Noch nicht festgelegt ist beim Getreide, wie viele Blüten pro Ährchen gebildet werden. Der Blühimpuls greift also beim Getreide sehr früh und sehr stark in die Entwicklung ein. Dies ist auch bei der Ackerbohne der Fall. Allerdings ist nicht die Hauptachse als Ganzes betroffen. Bei der Ackerbohne wirken die Blüten wie in den vegetativen Bereich hineinversetzt. Die Sprossachse ist nicht betroffen, im Gegensatz zum Getreide, wo der ganze Spross bereits im Rosettenstadium von dem Impuls ergriffen wird. Bei der Ackerbohne ist das Ende der Pflanzengestalt nicht vorgegeben. Je nach Umweltbedingungen stirbt die Pflanze früher oder später ab, ohne zu einem Abschluss gekommen zu sein.

Die Unterschiede zwischen schossendem Getreide und zweikeimblättrigen Rosettenpflanzen sind charakteristisch. Was beim Getreide in der Anfangsphase des Schossens nach einem Halm aussieht, entpuppt sich bei genauerer Betrachtung als Scheinstängel. Die Sprossachse hat sich in dieser Phase noch kaum gestreckt, umso mehr aber die Blattscheiden. Es bildet sich eine röhrenförmige, teleskopartige Gestalt. Die Blattscheiden wachsen im basalen Bereich etwas oberhalb ihrer Ansatzstelle. Durch das basale Wachstum schiebt sich das zusammengerollte Blatt durch die vom älteren Blatt gebildete Scheide hinauf. Der Blattfuß wird bei den Gräsern als Gelenk, besser bekannt als Knoten, ausgebildet. Er verdickt sich während des Schossens. Die Knoten geben dem Halm eine klare Strukturierung. Die Wachstumszone des Stängelteiles ist von dem Knotengewebe umgeben. Die bereits gebildeten Blattscheiden und der Knoten geben dem Stängel den nötigen Halt beim Herausschieben (siehe Abb. 13). So übernehmen die Blätter der Gräser einen Teil der Aufgabe, die bei der Bohne die Sprossachse innehat. Letztere wächst an der Sprossspitze kontinuierlich, Erstere verteilen das Längenwachstum über die verschiedenen Stängelabschnitte, was ein rasantes Wachstum ermöglicht. In einer Woche kann eine Weizenpflanze 25 Zentimeter wachsen, wobei das Wachstum sich jeweils auf drei bis vier Internodien verteilt (*Percival* 1921). Diese Art, das Achsenwachstum aufzuteilen, gibt es bei zweikeimblättrigen Pflanzen, sofern mir bekannt, nur bei der Fiederblattbildung, wo jedes Rhachisglied nach der primären Morphogenese über ein separates (interkalares) Meristem verfügt. In diesem Sinne hat die Sprossachse der Gräser Blattcharakter angenommen.

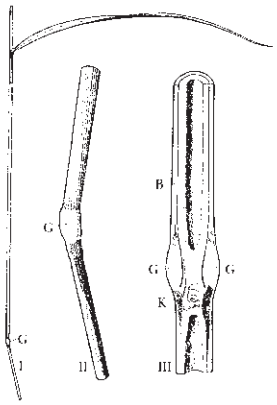

Abb. 13: Scheidengelenke der Gräser
I, II Trisetum flavescens; I Halmstück mit Blatt; G Scheidengelenk; dieses ist in II vergrößert. III Festuca gigantea, Stängelstücke mit Knoten (K); B das an diesem inserierte und dem folgenden Internodium eng anliegende Blatt mit basaler Anschwellung bei G (Scheidengelenk); die Wachstumszone des Achsenteils lag auf der Höhe des Knotens (*Troll* 1937, Zweiter Teil)

Bei Reis (vgl. *Kaufmann* 1959, *Itoh et al.* 2005) und auch bei Weizen, Gerste und Roggen bildet die Blattanlage nach dem Schuppenstadium zunächst eine Art Kapuze, die das Sprossmeristem umhüllt. Anschließend bildet sich die Anlage der Ligula (Zunge), die die Grenze zwischen Blattscheide und Spreite kennzeichnet. Jetzt sind alle Glieder des Blattes (Blattgrund, Blattscheide, Blattspreite) veranlagt. Als erstes Glied wächst die Spreite in die Länge, anschließend die Blattscheide. Die Blattscheide des Grases übernimmt die Rolle des Blattstiels, dadurch rückt die Spreite eng an die Sprossachse heran. Gelegentlich bilden sich hier Öhrchen, die den Stängel teils oder ganz umschließen können (wie bei Weizen, Gerste und Roggen, aber nicht bei Hafer). Diese Öhrchen umfassen die Sprossachse wie die Stipeln sitzender Hochblätter bei zweikeimblättrigen Pflanzen.

Die Beziehung zwischen Blatt und Halm ist extrem innig, die Blattscheide hat bereits Halmcharakter angenommen und die Spreite benimmt sich wie ein Hochblatt. Das Grasblatt stellt sich einerseits kompromisslos in die Senkrechte, die Erde und Himmel miteinander verbindet. Trotzdem verzichtet es nicht auf die Waagrechte, wobei die Blattfläche lang gezogen ist. Die Sprossachse ist wie das Blatt assimilatorisch tätig, der Beitrag der im Halm produzierten Kohlehydrate an der Kornbildung ist nicht zu unterschätzen. Falls nach einem Gewitterregen Getreidepflanzen zum Boden gedrückt sind, können sich die Halme mit Hilfe der knotig verdickten Blattfüße wieder aufrichten. An der vom Licht abgewendeten Seite setzt Streckungswachstum ein und

der Halm richtet sich auf. Das Blatt hilft, die Aufrechte zu bewahren. Eine ähnlich innige Beziehung zwischen Sprossachse und Blatt kenne ich von den zweikeimblättrigen Pflanzen nicht.

Der Blütenstand und die Blüte

Wir haben gesehen, wie das Getreidekorn am weitesten abgeleitet ist. Die Blüten sind, wie wir sehen werden, ebenfalls stark abgeleitet. Die Blüten von Bohnen und Getreide können kaum unterschiedlicher sein. Auf der einen Seite ist die zur Seite gewendete Schmetterlingsblüte, die die Pflanze auffallend schmückt. Die Blüte ist nicht radiärsymmetrisch wie die meisten Blüten, die nach oben (oder unten) schauen, sondern bilateralsymmetrisch. Sie hat fünf miteinander verwachsene Kelchblätter, fünf Kronenblätter, wovon das oberste als Fahne, die zwei seitlichen Kronblätter als Flügel bezeichnet werden und die beiden unteren zum Schiffchen verwachsen sind. Die Blüte enthält zehn Staubblätter, wovon neun zu einer oben offenen Röhre verwachsen sind und das zehnte die Öffnung abdeckt. Die Bestäubung findet durch Hummeln statt.

Beim Getreide (Abb. 14) ist die Blüte nicht auffallend, zur Blütezeit fallen bloß die Staubbeutel auf. Die Kronblätter sind zu unscheinbaren Schwellkörperchen, zwei an der Zahl, umgebildet. Diese drücken zur Zeit der Blüte die Vor- und Hüllspelze etwas auseinander, wonach die Staubblätter ihre Staubbeutel aus der Blüte hinausschieben. Gräser sind, sofern sie nicht selbstbestäubend sind, auf die Bestäubung durch den Wind angewiesen. Bei den einkeimblättrigen Pflanzen spielt die Zahl 3 eine große Rolle. Oft sind die Stängelblätter im Dreierrhythmus um die Sprossachse inseriert, die Zahl der Blütenblätter und Staubblätter ist oft durch drei teilbar und ebenso bilden sich meistens drei Fruchtblätter. Bei den Gräsern aber stehen die Blätter abwechselnd auf der einen und auf der anderen Seite des Halmes. In der Ähre sind die Ährchen in zwei Reihen angeordnet. Die Dreierzahl findet sich in der Blüte nur bei den Staub- und Fruchtblättern. Die Reisblüte enthält zwei Kreise mit drei Staubblättern und der Fruchtknoten trägt drei federartige Narben. Weizen, Gerste und Roggen bilden nur einen Kreis mit drei Staubblättern, der Fruchtknoten trägt bei ihnen zwei Narben. Auf Grund der Narbenzahl gehen die Botaniker davon aus, dass der Fruchtknoten aus drei bzw. zwei verschmolzenen Fruchtblättern hervorgegangen ist. Nur zwei von drei Kelchblättern sind erhalten geblieben, die miteinander verwachsen sind und die Vorspelze (Lemma) bilden. Sie umschließen die gefurchte Bauchseite des Kornes. Die Lage des dritten Kelchblattes nimmt die Deckspelze (Palea) ein, sie umschließt die Rückseite des Kornes. Die Deckspelze gehört morphologisch zu den Hochblättern, die Kelchbildung rückt somit im Hochblattbereich vor, was auf einen starken Blühimpuls deutet. Die Deckspelzen und die beiden Hüllspelzen (Gluma), die jeweils

an der Basis eines Ährchens stehen und morphologisch zu den Vorblättern gerechnet werden[15], sind einander ähnlich. Die Hüllspelzen zeigen eine interessante Metamorphose, die von den Deckspelzen fortgesetzt wird. Die kräftigsten und charakteristischsten Hüllspelzen finden sich am siebten Ährchen, von der Ährenbasis her gezählt, dabei ist von den beiden Hüllspelzen die höher angesetzte für die Bestimmung der Varietäten am geeignetsten (*Wagner* 1937, *Schilperoord* 2007b).

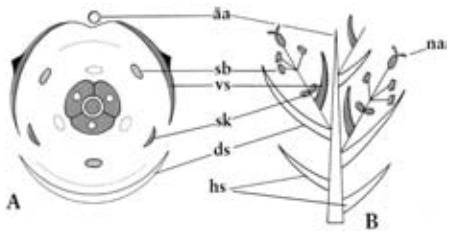

Abb. 14: Blütendiagramm Gräser
A Querschnitt; B Längsschnitt; äa Ährchenachse; hs Hüllspelze; ds Deckspelze; vs Vorspelze; sk Schwellkörper; sb Staubblatt; na Narben und in der Mitte links ein Fruchtknoten, hervorgegangen aus drei verwachsenen Fruchtblättern (Reis); bei Weizen, Gerste und Roggen sind es nur noch zwei verwachsene Fruchtblätter; punktiert, Organe die nicht ausgebildet sind (*Hess* 1990)

Die Bohne schafft es nicht bis zur Hochblattbildung, es gibt bei ihr keine klare Trennung zwischen Blüten- und Blattbereich. Wo bei anderen Pflanzen noch Seitensprosse gebildet werden, werden hier bereits die ersten Blüten angelegt. Wir haben hier einen starken Blühimpuls. Allerdings ergreift dieser Impuls nicht die Gestalt der Stängelblätter. Der Blühimpuls setzt bei der Bohne früh ein, ohne das Vegetative zu metamorphosieren. Die ersten Blütenanlagen bilden sich in den Blattachseln der kräftigen Stängelblätter. Die Bohnenpflanzen schließen das vegetative Wachstum nicht eindeutig ab, irgendwann erschöpft sich das Wachstum der Sprossspitze, und es werden keine neuen Organe mehr gebildet. Die Blütenstände der Gräser, die Rispen und Ähren, heben sich dagegen deutlich aus dem Blattbereich heraus, und mit dem Blühen ist das vegetative Wachstum abgeschlossen.

15 Vorblätter sind die ersten Blätter eines Seitensprosses, in der Regel weichen sie in der Gestalt stark ab von den nachfolgenden Blättern. Jeder Seitenspross wiederholt in verkürzter Form die Blattmetamorphose des Hauptsprosses. Die vegetativen Seitensprossen der Getreidepflanzen haben an ihrer Basis ein scheidenförmiges Vorblatt. Die Hüllspelzen haben bereits mehr Hochblattcharakter angenommen.

Die morphologische Charakterisierung zeigt, wie unterschiedlich die Ackerbohne und der Weizen sind. Ähnlich groß sind die Unterschiede bei den Inhaltsstoffen. Das Getreide nimmt viel Kieselsäure auf und ist darauf angewiesen, diese auch wieder auszuscheiden. Bekannt sind die kieselreichen Grannen mit ihrer feinen Zähnung. Die Bohnenpflanzen sind dafür bekannt, dass sie mit Hilfe ihrer Wurzelknöllchen Luftstickstoff einatmen können. Die Pflanze braucht Stickstoff für die Eiweißbildung, und die Bohnengewächse speichern deutlich mehr Eiweiß in ihren Samen. Auf diese sehr wichtige physiologische Seite der Pflanzen sei nur hingewiesen.

Rückblick

Fassen wir die wichtigsten Eigenschaften der Weizenpflanze zusammen: Das Getreide speichert die Reservestoffe außerhalb des Embryos im Endosperm. Sie werden aus dem lebendigen Bereich herausgesetzt und sind dadurch stärker «mineralisiert» als die Reservestoffe in den Keimblättern der Bohnen. Die Keimpflanze verzichtet auf die Primärwurzel, die Wurzelbildung findet am Hypokotyl und insbesondere an der Sprossachse statt. Es liegt eine enge Verzahnung von Sprossachse und Wurzelsystem vor. Bei der schossenden Pflanze verbindet sich das Getreideblatt sehr stark mit der Sprossachse, die Stängelblätter bilden mit ihren Blattscheiden einen Scheinstängel, das Blatt nimmt Achsencharakter an. Die Blattspreite hat die Gestalt und Stellung eines Hochblattes. Die unauffällige Blüte reduziert die Zahl ihrer Organe. Hochblätter (Deckspelzen) bekommen die Rolle des Kelchblattes. Anstelle von auffallenden Kronblättern bildet die Blüte kleine schuppenförmige Schwellkörperchen, die auch in den reifen Ähren in eingetrocknetem Zustand noch auffindbar sind. Die Kronblätter treten äußerlich zu Gunsten der Staubblätter zurück. Die Blüten sind staubblattbetont. Die Zahl der Fruchtblätter ist reduziert, und statt vielen kleinen Samen bildet die Blüte einen größeren Samen aus. Die Frucht als Ganzes hat den Charakter eines Samens angenommen. Der Blühimpuls greift sehr stark ein, die Blühweisen werden bereits in der Bestockungsphase veranlagt, die ganze Gestalt der Pflanze ist von diesem starken Eingreifen betroffen.

Insgesamt weicht das Getreide in seinem gesamten Bau stark ab von einer einfachen zweikeimblättrigen Pflanze. Der Wurzelbereich ist in den Sprossbereich hinaufgenommen, die Keimblätter haben ihre Assimilationsfähigkeit verloren und verhalten sich auf ihre Art wie eine Wurzel. Die Blattscheiden der Stängelblätter übernehmen Aufgaben der Sprossachse, die Spreite wird hochblattähnlich und die Hochblätter rücken in den Bereich der Kelchblätter. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Weizenpflanze das Wurzelhafte hinauf- und das Blütenhafte hinunternimmt, was dann bildhaft in der speziellen Gestalt der Blattmetamorphose zum Ausdruck kommt. Am auffallendsten

ist der Stängelcharakter der Stängelblätter. Weiter kann man feststellen, dass die Reproduktionskraft im generativen Bereich zurückgenommen ist, dafür die Menge der Nährsubstanz gesteigert wurde.

Diskussion

In dem einleitenden Teil sind die unterschiedlichen Ansichten in Bezug auf die morphologische Natur des Grasblattes zusammengefasst. Mit den Arbeiten von *Tillich* (1992, 1995) hat sich die Grundlage der Diskussion wesentlich geändert. Die klare Gliederung des einkeimblättrigen Keimblattes in Spreite, Stiel und Blattgrund, der sich scheidig erweitern kann, zeigt deutlich die Übereinstimmung mit Blättern der zweikeimblättrigen Pflanzen. Ausgehend von dieser Blattform lassen sich sowohl die fiedernervigen Blätter wie die parallelnervigen Blätter der einkeimblättrigen Pflanzen ableiten. Die Auffassung, dass das parallelnervige Blatt typisch für die einkeimblättrigen Pflanzen sei, ist mit der Arbeit von Tillich widerlegt. *Goebel* (1932, S. 1444) hat dies geahnt und auch wichtige Gründe angegeben, wieso die Koleoptile Teil des Keimblattes sei. Er wies damals auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen hin, die dann Tillich 60 Jahre später durchführte.

Was bei der Ableitung des Grasblattes aus dem Blatttypus der Sumpfdotterblume bleibt, ist die Frage nach der Zuordnung der Blattscheide. Bei der Sumpfdotterblume bildet sich der Blattstiel, nachdem Spreite und Blattgrund mit den zu einer Röhre verwachsenen Nebenblättern veranlagt sind. Bei dem Grasblatt tritt die Blattscheide auch nach der Veranlagung von Spreite und Blattgrund in Erscheinung. Stellt man sich vor, dass der Blattstiel des Sumpfdotterblumenblattes in der Verlängerung des Blattgrundes fast röhrenförmig veranlagt ist und die Scheide der Nebenblätter nicht zur Ausbildung kommt, so hat man die Gliederungsverhältnisse bei den Stängelblättern des Getreides.

Die Ansicht von *Suchantke* (2002, S. 115): «Die meisten Einkeimblättrigen (Monokotyledonen), also die Lilienverwandten, Gräser, Orchideen, bilden mit ihren einfachen, lang gestreckten, parallelnervigen Blättern nur noch die jugendlichste Stufe der Blattentwicklung aus, diejenige des Sprießens …» ist widerlegt, und somit kann von einer Tendenz der «Verjugendlichung» als treibende Kraft in der Evolution des parallelnervigen Blattes nicht gesprochen werden.[16]

Über Charakterisierungen lässt sich streiten und wird gestritten. Ich halte es allerdings für problematisch, wenn man Resultate einer «anschauenden Urteilskraft» darstellt. Was wäre, wenn Troll, Arber, Kaplan, Grohmann und Suchantke alle ihre Ableitungen, die den Charakter eines Bildegesetzes

16 Insbesondere fehlt die Auseinandersetzung mit den Arbeiten von Hagemann und Tillich.

haben, als Ergebnis einer «anschauenden Urteilskraft» darstellen würden? Im Gegensatz zu *Kranich* (2007) halte ich den Begriff für unbrauchbar. Mit dem populären Begriff der «anschauenden Urteilskraft» lässt sich keine Charakterisierung rechtfertigen. Wenn die Charakterisierungen mit spezifisch morphologischen Aussagen begründet werden wie bei Grohmann und Suchantke, dann muss auch eine vertiefte Auseinandersetzung mit den morphologischen Fragen stattfinden, sonst hat man es mit zu wenig (Suchantke) oder nicht (Grohmann) begründeten Ansichten zu tun, die im gesamten wissenschaftlichen Betrieb isoliert dastehen.

Und trotzdem … man muss kein ausgebildeter Morphologe sein, um das Charakteristische einer Gestalt zu erfassen. Im Erleben des Abreifens eines Getreidefelds offenbaren sich spezifische Qualitäten, die man mit einer morphologischen Charakterisierung nicht einfangen kann. Als ich diese Arbeit vor Jahren anfing, stellte ich mir die Frage, ob eine morphologische Charakterisierung des Weizens zum Verständnis beiträgt, wieso gerade Getreidepflanzen unsere wichtigsten Nahrungspflanzen sind. Eine Antwort darauf überlasse ich dem Leser.

Literatur

Arber, Agnes (1918): The phyllode theory of the monocotyledonous leaf, with special reference to anatomical evidence. Annals of botany 32, S. 465.

Arber, Agnes (1946): Goethe's Botany. Chronica Botanica.

Bünsow, Robert (1988): Same, Keimung, Keimpflanze. Elemente d. N. 49, S. 31–45.

Esau, Katherine (1965): Plant Anatomy. Second edition. New York.

Goebel, Karl (1932): Organographie der Pflanzen – insbesondere der Archegoniaten und Samenpflanzen. Dritter Teil, Samenpflanzen, erste Hälfte. Jena.

Grohmann, Gerbert (1951): Die Pflanze. Ein Weg zum Verständnis ihres Wesens, Bd. 2. über Blütenpflanzen. Stuttgart.

Hagemann, Wolfgang (1970): Studien zur Entwicklungsgeschichte der Angiospermenblätter. Bot. Jb. 90/3, S. 297–413.

Hess, Dieter (1990): Die Blüte. Stuttgart.

Heyden, Berthold (2001): Schossendes Getreide. Saatgut 16, S. 24–40.

Heyden, Berthold (2006): Grannenbildung bei Gräsern und Getreide. Saatgut 20, S. 4–22.

Heyden, Berthold (2007): Das Grannenprojekt – auch eine Frage nach der Bedeutung des Kiesels. Saatgut 21, S. 13–44.

Itoh et al. (2005): Rice plant development: from zygote to spikelet. Plant Cell Physiologie 46(1), S. 23–47.

Kaplan, Donald R. (1973): The Monocotyledons: their evolution and comparative biology, Quarterly Review of Biology 48, S. 437–457.

Kaplan, Donald. R. (1975): Comparative developmental evaluation of the morphology of unifacial leaves in the monocotyledons. Bot. Jb. 95/1, S. 1–106.

Kaufman, P. B. (1959): Development of the shoot of Oryza sativa L. II Leaf histogenesis. Phytomorphology, S. 277–311.
Kranich, Ernst-Michael (1979): Die Formensprache der Pflanze – Grundlinien einer kosmologischen Botanik. Stuttgart.
Kranich, Ernst-Michael (2007): Goetheanismus – seine Methode und Bedeutung in der Wissenschaft des Lebendigen. Elemente d. N. 86, S. 31–46.
Kunz, Peter (1986): Entwicklungscharakteristik und Substanzbildungen der Getreidearten. Elemente d. N. 44, S. 22–53.
Pelikan, Wilhelm (1962): Heilpflanzenkunde II. Dornach.
Percival, John (1921): The wheat plant. A monograph. London.
Renzenbrink, Udo (1981): Die sieben Getreide – Nahrung für den Menschen. Dornach.
Richard, L. C. (1811): Analyse botanique des embryons endorhizes ou monocotylédones, et particulièrement de celui des Graminées. Ann. Mus. Hist. Nat. 17, S. 223–251 und 442–487.
Schilperoord, Peer (2007a): Metamorphosen der Pflanze. Elemente d. N. 86, S. 46–71.
Schilperoord, Peer (2007b): NAP 03–15/NAP 03–03 Dokumentation und morphologische Beschreibung der Weizenlandsorten. Unveröffentlichter Arbeitsbericht.
Schmidt, Dorian (1998): Beobachtungen im Bildekräfte-Bereich der Natur – eine Wegbeschreibung. Das Goetheanum 18, 19, 20.
Sendulsky, Tatiana, Filgueiras Tarciso S., Burman, Alasdair G. (1987): Fruits, Embryos and Seedlings. In: *Soderstrom, Thomas R., Hilu Khidir W., Campbell Christopher S. Barkworth*: Grass systematics and Evolution. Smithonian Institution.
Simonis, Werner-Christian (1966): Korn und Brot. Stuttgart.
Suchantke, Andreas (2002): Metamorphose – Kunstgriff der Evolution. Stuttgart.
Tillich, Hans-Jürgen (1992): Bauprinzipien und Evolutionslinien bei monocotylen Keimpflanzen. Bot. Jb. Syst. 114, 91–132.
Tillich, Hans-Jürgen (1995): Seedlings and systematics in monocotyledons. In: *Rudall P. J. et al.*: Monocotyledons systematics and evolution. Whistable.
Tillich, Hans-Jürgen (2003): Seedling diversity in Araceae and its systematic implications. Feddes Repertorium 114, S. 7–8 und 454–487.
Troll, Wilhelm (1926): Goethes Morphologische Schriften. Jena.
Troll, Wilhelm (1937): Vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen. Erster Band: Vegetationsorgane. Erster Teil.
Troll, Wilhelm (1939): Vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen. Erster Band: Vegetationsorgane. Zweiter Teil.
Wagner, Siegfried (1937): Die Beschreibung der schweizerischen Weizensorten. (Grundlagen für ein schweizerisches Getreide-Sortenregister.) Mitteilung aus der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon. S. 121–142.
Zeller, Ottilie (1983): Blütenknospen – Verborgene Entwicklungsprozesse im Jahreslauf. Stuttgart.

Peer Schilperoord
Hauptstraße 16
CH-7492 Alvaneu Dorf
schilperoord@bluewin.ch