in den Markstrahlen und den die Gefäßbündel transversal durchziehenden Holzparenchymschichten.

In einzelnen Fällen (Wurzeln von Polygala Senega) erfolgt das Dickenwachstum nicht ringsum, sondern nur einseitig, während es auf der anderen Seite ganz fehlt.

4. Kapitel.

Anatomie der Wurzel.

Ähnlich wie beim Stamm nimmt auch die Entwicklung der Wurzel ihren Ursprung in einem Vegetationspunkt, an dessen Spitze bei den Phanerogamen eine Scheitelzellgruppe, bei den Gefäßkryptogamen eine dreiseitige pyramidale Scheitelzelle liegt. Diese Zellen scheiden aber nicht nur wie beim Stamm nach innen, sondern auch nach außen Zellen ab. Aus den ersteren entwickelt sich ähnlich wie beim Stamm Dermatogen, Periblem und Plerom, aus den letzteren aber entsteht eine den Vegetationspunkt umgebende und schützende Wurzelhaube (Fig. 49). Die Wurzelhaube ist überhaupt das Merkmal, welches jeder Wurzel gegenüber dem Stamm zukommt. Bei vielen Wurzeln entsteht die Wurzelhaube aus einer besonderen, vom Vegetationspunkt nach außen abgeschiedenen Zellschicht, dem Kalyptrogen. In anderen Fällen gehen Dermatogen und Wurzelhaube aus einer gemeinsamen Zellschicht am Vegetationspunkt hervor. Bei den Gymnospermen ist eine Gliederung am Scheitel nur insofern bemerkbar, als sich das Plerom deutlich von dem übrigen Gewebe abhebt, eine Unterscheidung von Kalyptrogen, Dermatogen und Periblem aber nicht möglich ist.

Die primären Gewebe der Wurzel sind zum Teil nicht unwesentlich anders geordnet als die des Stammes. Die Epidermis besitzt keine Spaltöffnungen, dagegen sind ihre Zellen

teilweise zu langen Haaren (Wurzelhaaren) ausgewachsen. Darunter liegt die oft ziemlich stark entwickelte, farblose, parenchymatische, primäre Rinde, welche fast stets gegen den Zentralzylinder der Wurzel durch eine Endodermis abgegrenzt ist. Die äußerste Schicht des Zentralzylinders wird durch ein nur selten fehlendes Perikambium eingenommen. Darauf

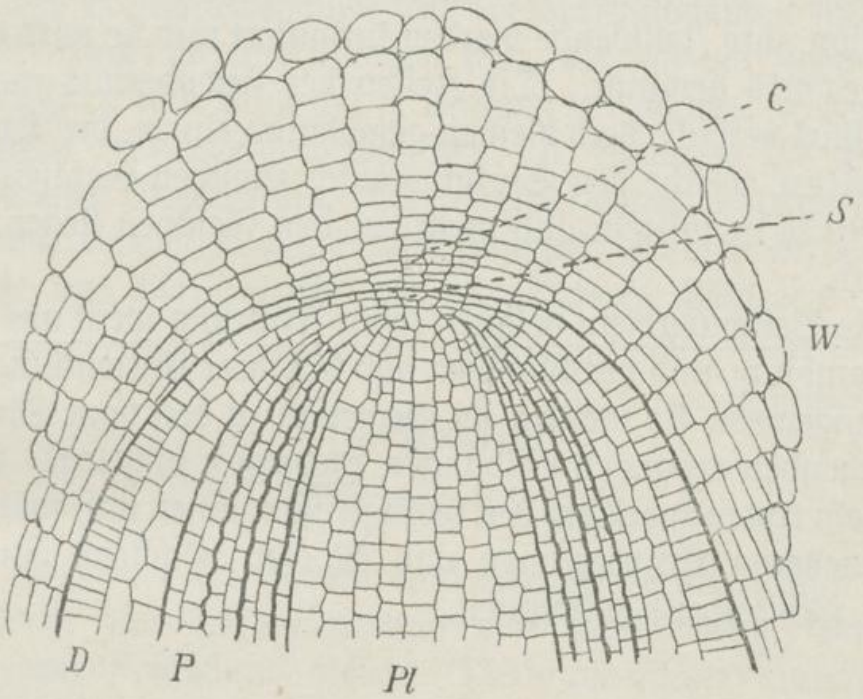

Fig. 49. Längsschnitt durch die Wurzelspitze einer Graminee. Pl Plerom, P Periblem, D Dermatogen, S Scheitelpunkt der Wurzel, C Kalyptrogen, W Wurzelhaube. Schwach vergrößert.

folgt der axile Bündelstrang, welcher als eine Verschmelzung mehrerer bis vieler Gefäßbündel anzusehen ist. Es liegen nämlich Xylem und Phloem nicht hintereinander, sondern radial angeordnet nebeneinander, so daß zwischen je zwei Xylemgruppen eine Phloemgruppe liegt. Solcher Xylemgruppen können bei den Dikotylen 2—4, bei den Monokotylen bis 50 und mehr zu dem axilen Strang vereinigt sein. Nach der Zahl der Xylemgruppen nennt man die Stränge diarch,

triarch, tetrarch usw. Zuweilen, aber nicht immer, ist innerhalb der Stränge des axilen Gefäßzylinders noch ein primäres Mark vorhanden. Zwischen Xylem- und Phloemteilen ist eine Schicht parenchymatischen Gewebes vorhanden, welches Verbindungsgewebe genannt wird.

Die Epidermis der Wurzeln stirbt in der Regel bald ab, und dafür übernimmt die äußerste Schicht der Rinde ihre Funktion, ihre Zellwände werden kutinisiert und sie wird dann Exodermis genannt. Die Zellen der Endodermis werden meist stark verdickt, doch bleiben gewöhnlich einige, die Durchlaßzellen, welche den Stoffaustausch zwischen Gefäßbündel und Rinde vermitteln und meist vor den Gefäßen liegen, unverdickt.

Die Seitenwurzeln nehmen ihren Ursprung meist aus dem Perikambium und durchbrechen also bei ihrer Entwicklung das Rindengewebe, sie werden im Gegensatz zu den vom Stengel ausgehenden exogenen Bildungen endogen angelegt. Echte Wurzeln treten zuerst bei den Gefäßkryptogamen auf, während den niederen Kryptogamen und Moosen höchstens Wurzelhaare (Rhizoiden) zukommen.

Nachträgliches Dickenwachstum der Wurzel.

Bei den Wurzeln der Gymnospermen und Dikotyledonen kommt das Dickenwachstum ebenfalls durch die Tätigkeit eines Kambiumringes zustande und verläuft dann ganz in derselben Weise wie im Stamme. Nur die Entstehung des Kambiumringes ist eine abweichende, da ja die primären Phloem- und Xylemteile anders angeordnet sind als im Stamm. Es entwickelt sich nämlich auf der Innenseite eines jeden Phloemstranges eine Kambialzone, welche nach der Mitte zu sekundäre Xylemelemente, nach der Peripherie zu sekundäre Phloemelemente abscheidet. Durch diese Tätigkeit wird die Kambial-

zone selbst allmählich nach außen zu gedrängt und dringt über die primären Gefäßteile, die bisher ein Zusammenschließen der getrennten Kambialschichten hinderte, hinaus; die Kambialschichten der einzelnen Phloemteile vereinigen sich und der so entstandene Kambiumring funktioniert ganz so wie der des Stammes.

Bei Monokotyledonen und Gefäßkryptogamen findet ein Dickenwachstum nur insoweit statt, als sich die Zellen selbst vergrößern und dadurch der Umfang der Wurzel größer wird, dagegen tritt ebensowenig wie im Stamme die Bildung sekundärer Gewebe ein. Nur einige Dracaena-Arten machen hiervon eine Ausnahme; ihre Wurzeln wachsen in derselben Weise wie die Stämme der baumartigen Liliaceen.

5. Kapitel.

Bau der Blätter.

Ebenso wie bei Stamm und Wurzel kommt es auch in den Blättern zur Differenzierung von Hautgewebe, Grundgewebe und Gefäßbündelsystem. Die in die Blätter eintretenden Gefäßbündel verlaufen zunächst im Zentralzylinder des Stammes; sie verzweigen sich im Grundgewebe des Blattes, bleiben aber von diesem immer getrennt durch Scheiden, welche zunächst von dem Grundgewebe des Zentralzylinders abstammen, später aber aus lückenlos um das Gefäßbündel schließenden Zellen des Mesophylls gebildet werden. Das Grundgewebe des Blattes, Mesophyll genannt, entspricht der primären Rinde des Stammes und geht in diese über. Bei den Laubblättern ist es häufig auf der Oberseite anders ausgebildet als auf der Unterseite, nämlich als Palisadenparenchym. Die Zellen bilden dann eine oder zwei, höchstens drei eng gedrängte Schichten unter der Epidermis, sind palisadenartig

senkrecht zur Oberfläche des Blattes gestreckt und chlorophyllreich. Die Unterseite des Blattes wird dann von Schwammparenchym eingenommen, dessen chlorophyllärmere Zellen nur an den Enden zusammenstoßen, unregelmäßig rundlich sind und große Interzellularen zwischen sich lassen, welche ein zusammenhängendes System von Luftkanälen bilden. Von dem Schwammparenchym stoßen einzelne oben trichterförmig er-

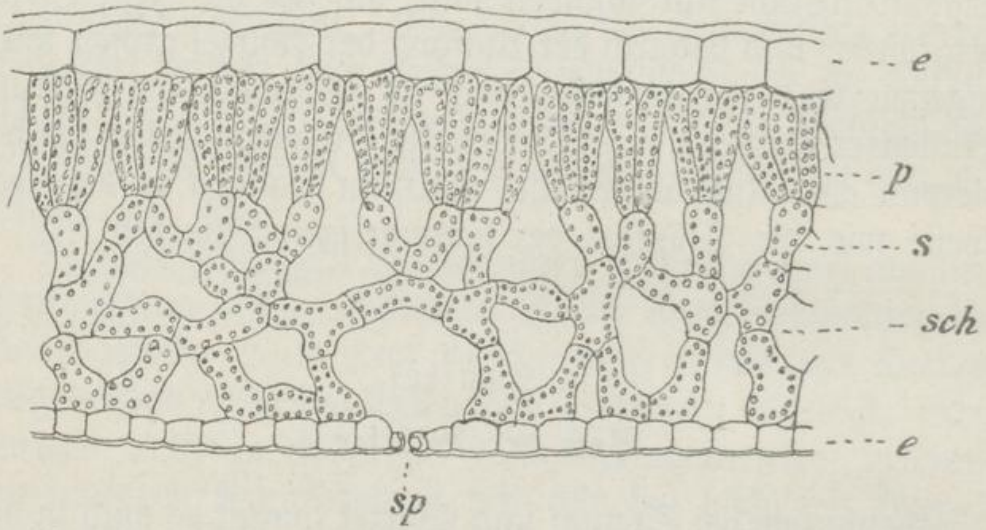

Fig. 50. Querschnitt durch einen kleinen Teil eines Laubblattes von Fagus silvatica. e obere und untere Epidermis, sp Spaltöffnung, p Palisadenparenchym, s Sammelzellen, sch Schwammparenchym. Vergrößert.

weiterte Zellen, die Sammelzellen, immer an mehrere an der Basis eng aneinandergeschlossene Zellen des Palisadenparenchyms, um die in diesen gebildeten Stoffe aufzunehmen und weiterzuleiten.

Das Hautgewebe der Blätter besteht fast stets nur aus der Epidermis, welche wieder meist nur auf der Unterseite Spaltöffnungen trägt.

Bei den Blumenblättern tritt ein solcher Unterschied zwischen Ober- und Unterseite in der Regel nicht hervor; das Mesophyll ist meist locker gebaut, reich mit Interzellularen durchsetzt. Dagegen ist die Epidermis von Ober- und Unterseite zu-

weilen etwas verschieden gebildet. Die Epidermiszellen mancher Blumenblätter besitzen eigentümliche Gestalt, zuweilen sind sie, wie bei Viola tricolor, höckerartig nach außen aufgetrieben.

In der Blattspreite nimmt das Mesophyll die Hauptmasse des Gewebes ein; in dem Blattstiel ist es erheblich reduziert. Hier hat es auch weniger die Aufgabe, zu assimilieren, als die in den Blättern gebildeten Stoffe im Verein mit den Gefäßbündeln dem Stamme zuzuführen.

III. Abteilung.

Physiologie.

I. Abschnitt.

Allgemeine Eigenschaften der lebenden Pflanze.

Schon der uns unter dem Mikroskop erkennbare Bau der Pflanze zeigt uns ein überaus kompliziertes Gebäude, und doch müssen wir annehmen, daß das, was uns das Mikroskop noch nicht enthüllt hat, noch weit mannigfaltiger und komplizierter ist. Die Pflanze lebt, sie nimmt Nahrung auf, die sie in ihrem Innern verarbeitet, sie wächst, sie atmet, sie vermag innerhalb gewisser Grenzen Bewegungen auszuführen, sie pflanzt sich fort und sie stirbt. Mit diesen Lebenserscheinungen der Pflanze beschäftigt sich die Pflanzenphysiologie; sie alle haben ihren Sitz in dem lebendigen Protoplasma der Zelle. Dieses Protoplasma nun ist empfindlich für von außen einwirkende Kräfte, es ist reizbar, eine Eigenschaft, die auf einer äußerst feinen, uns unerkennbaren Struktur des Protoplasmas beruht. Die