Über Wurzelkork bei Pflanzen stark erwärmter Böden.

Von **L. Diels.**

(Mit 3 Abbildungen im Text.)

Unter dem Einfluß von Schimper's Pflanzengeographie ist eine Zeitlang die Ansicht obwaltend gewesen, daß Anpassungen an die thermischen Eigenschaften der Umgebung bei den Pflanzen sich nicht ausgebildet hätten, oder daß solche wenigstens nicht nachweisbar wären. Das vorherrschende Studium xerotischer Gewächse hatte den Boden für diese Anschauung vorbereitet und dazu geführt, die transpirationsbeschränkenden Vorrichtungen einseitig in den Vordergrund zu stellen. Noch heute ist diese Auffassung nicht ganz überwunden. Aber sie hat viel von ihrer Ausschließlichkeit verloren, und die Zahl der Ökologismen, die in ihrer thermischen Bedeutung gewürdigt werden, ist im Wachsen begriffen.

Zu dieser Wendung hat Stahl durch seine Beobachtungen wesentlich beigetragen, und er selber gibt der veränderten Einsicht klaren Ausdruck, wenn er 1909 erklärt, der von Schimper aufgestellte Satz, wonach Schutzmittel gegen übermäßige Erhitzung nicht nachgewiesen worden seien, könne nicht mehr aufrecht erhalten bleiben.

Neben den Eigenschaften, die „nur als Schutz gegen die Gefahr der Sonnenstrahlung begreiflich sind", gedenkt Stahl[1]) auch kurz der Bedeutung, „welche dem hellen Periderm als schützendem Mantel der Baumrinden und als isolierendem, schlechtem Wärmeleiter von im heißen Boden vergrabenen Pflanzenteilen zugeschrieben wird".

Von diesen beiden Erscheinungen ist die Borken- und Korkbildung an Stämmen seit Hartig's klärenden Versuchen oft erwähnt und besprochen. Dagegen hat man sich mit den Wärmeregulatoren der Organe an der Erdoberfläche oder im Boden wenig beschäftigt. Was Seignette darüber mitteilt, beschränkt sich auf die besondere Klasse der Knollengewächse und berücksichtigt nur ihre Wärmeproduktion bzw. den Wärmeausgleich in kalten Böden, ohne sich auf die Zustände in erhitztem Untergrund einzulassen. Weitergehende Untersuchungen darüber wären erwünscht, und es ist der hauptsächliche Zweck dieses kleinen Beitrages, zu solchen Studien anzuregen.

---

1) Zur Biologie des Chlorophylls, pag. 77.

Was von der Ökologie der Wurzel bekannt ist, leitet sich vorwiegend von den Erfahrungen her, die an den Pflanzen unserer Klimazone gewonnen sind. Die gehaltvollste Arbeit darüber, Freidenfelt's Darstellung des anatomischen Baues der Wurzel „in seinem Zusammenhang mit dem Wassergehalt des Bodens", gründet sich ja auf Arten der schwedischen Flora. Von den Verhältnissen in den tropischen und subtropischen Zonen wußten wir lange Zeit recht wenig. Erst die Darstellung Cannon's von der Bewurzelung der Pflanzen in Arizona hat an Beispielen aus der Umgebung des Desert Laboratoriums von Tucson gezeigt, welche Wurzeltypen in einem ariden Klima unter bestimmten Verhältnissen vorkommen. Freilich ist der Titel seiner Abhandlung: „The Root Habits of Desert Plants" zu weit gefaßt: auf Wüsten allgemein lassen sich seine Ergebnisse nicht übertragen, da das Beobachtungsgebiet doppelte Regenzeit besitzt, also unter den Wüsten der Erde eine Sonderstellung einnimmt. Außerdem geht Cannon nirgends auf den anatomischen Bau seiner Objekte ein und gelangt daher nur zu einem oberflächlichen Einblick in die ökologischen Verhältnisse. Es bleibt also vieles nachzuholen, bis die physiologische Anatomie der Wurzel auch für die Gewächse der wärmeren Erdgebiete hinreichend gefördert sein wird.

Für die Frage des Wärmeschutzes interessiert hier zunächst das Korkgewebe der Dikotylen und seine quantitative Entwicklung an ihren unterirdischen Organen.

In dieser Hinsicht betont Freidenfelt, was vor ihm schon Volkens ausgesprochen hatte, man könne „den endogenen Korkmantel der Dikotylenwurzeln der Schutzscheide der Monokotylen als biologisches Analogon zur Seite stehen". „Seine Ausbildung", sagt er[1]), „wird mit zunehmender Xerophilie durchgehend stärker." Er belegt dies durch den Vergleich von zwei Dianthus-Arten, die er untersucht hat. „Dianthus arenarius besitzt einen bedeutend mächtigeren Korkmantel als der mehr Feuchtigkeit fordernde D. deltoides. Bei der letzteren Art umfaßt er in dem Basalteil der Hauptwurzel etwa 10—20 Schichten, bei der ersten wohl im allgemeinen etwa $1^1/_2$—2mal so viele." Auch bei einer und derselben Art wiederholt sich diese Beziehung. „So habe ich an Individuen von Sagina procumbens", berichtet Freidenfelt, „die in dürrem Sande gewachsen waren, einen aus 3—4 Schichten bestehenden Korkmantel gefunden, während Individuen aus Moorboden nur 2—3 Korkschichten entwickelt hatten".

---

1) Der anatomische Bau der Wurzel, pag. 93.

Nach diesen Befunden läßt sich erwarten, daß in den warmen Trockengebieten der Erde die Wurzeln perennierender Dikotylen einer ergiebigen Korkerzeugung fähig sein werden. Die Literatur bestätigt dies auch, aber ihre Angaben gehen wenig auf die näheren Umstände ein. Volkens sagt, daß in der ägyptischen Wüstenflora bei allen untersuchten ausdauernden Dikotylenwurzeln der Kork eine ganz hervorragende Rolle spielte. Öfters nähme er da die Hälfte des gesamten Querschnittes ein, ja es seien ihm daumenstarke Wurzeln vorgekommen, wo Korklamellen so tief in das Innere eingriffen, „daß im Zentrum nur ein kaum bleistiftstarker Strang lebenden Gewebes übrig blieb“[1]). Leider kommt Volkens im speziellen Teile seines Buches nirgends wieder auf solche Vorkommnisse zurück; man erfährt also nicht, bei welchen Arten und an welchen Standörtlichkeiten diese starken Korkmäntel zu finden sind.

Deshalb scheint es mir gestattet, auf einige Wahrnehmungen über Wurzelkork zurückzukommen, die ich in meiner Pflanzenwelt von Westaustralien (pag. 169) nur gestreift habe. Es ist dort erwähnt, daß ein mehr oder minder mächtiger Mantel von Kork an der Berührungszone von Pflanze und Unterlage sehr verbreitet sei „bei den Kleinsträuchern und suffrutikosen Gewächsen der Sandheiden“. In der Tat wird die Korkkruste in jener Zone, also nahe dem „Fußpunkt“ der Pflanze am stärksten; sie reicht aber von dort an der Wurzel meist noch weiter spitzenwärts und zieht sich auch am Stengel öfter noch etwas aufwärts. Als Beispiele solcher Pflanzen mit Korkfuß wurden genannt Vertreter der Leguminosen, Dilleniaceen, Myrtaceen, Loganiaceen, und Goodeniaceen, nur um zu zeigen, in wie weit verschiedenen Dikotylen-Familien die Erscheinung anzutreffen ist. Es hätten dafür noch viele andere Beispiele aufgezählt werden können, vollständig aber würde die Liste doch nicht geworden sein. Auch an dieser Stelle soll es nicht darauf ankommen, die Zahl der Fälle zu vermehren, sondern ein paar bezeichnende Beispiele zu beschreiben und abzubilden, sodann aber auf die Bedingungen ihres Vorkommens näher einzugehen.

Fig. 1 links zeigt das Sproßsystem der Logania spermacocea F. v. M. aus Westaustralien in seinem unteren Teile nebst dem Basalstück der Pfahlwurzel. Das perikambiale Phellogen dieser Wurzel beginnt frühzeitig seine Tätigkeit und erzeugt eine weißliche Korkkruste, die schon bei einer jüngeren Wurzel $^2/_3$—$^4/_5$ des gesamten Durchmessers ausmacht.

---

1) Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste, pag. 26.

Einen ähnlichen Korkmantel besitzt die systematisch isoliert stehende, blattlose Celastracee Psammomoya choretroides aus derselben Gegend von Westaustralien. Eine Wurzel, deren Zentralzylinder etwa 1,8 mm breit ist (Fig. 1 rechts), zeigt eine 0,7—0,8 mm dicke Korkkruste von hollundermarkähnlicher, gelblichweißer Färbung, wie sie den meisten dieser Korkbildungen eigentümlich ist. Die primäre Rinde war bereits abgestoßen.

Fig. 1. Links Logania spermacocea F. v. M., rechts Psammomoya choretroides (F. v. M.) Diels et Loes.

Sehr deutlich ist der Korkmantel des Fußteiles bei zahlreichen Kleinsträuchern aus der Myrtaceengattung Verticordia, z. B. V. grandiflora Endl., V. chrysantha Schau., V. picta Endl. u. a. Auch hier erreicht er seine stärkste Ausbildung an der Oberfläche des Bodens, um von dort sowohl aufwärts wie abwärts abzunehmen. Die aus dem Boden gezogene Pflanze zeigt daher in dieser Zone eine spindelförmige Verdickung, die stärker erscheint, als wie sie sonst am Übergang vom

Stamm zur Wurzel sich darbietet. Schon frühzeitig ist an derartigen Sträuchlein diese Eigentümlichkeit der Fußpunktregion wahrzunehmen. Fig. 2 veranschaulicht dies an einem jungen Exemplare des Leucopogon gibbosus Stschegl., einer Epacridacee, die in der Wuchsform große Ähnlichkeit mit jenen Verticordien und zahlreichen anderen Arten der australischen Sandheide aufweist.

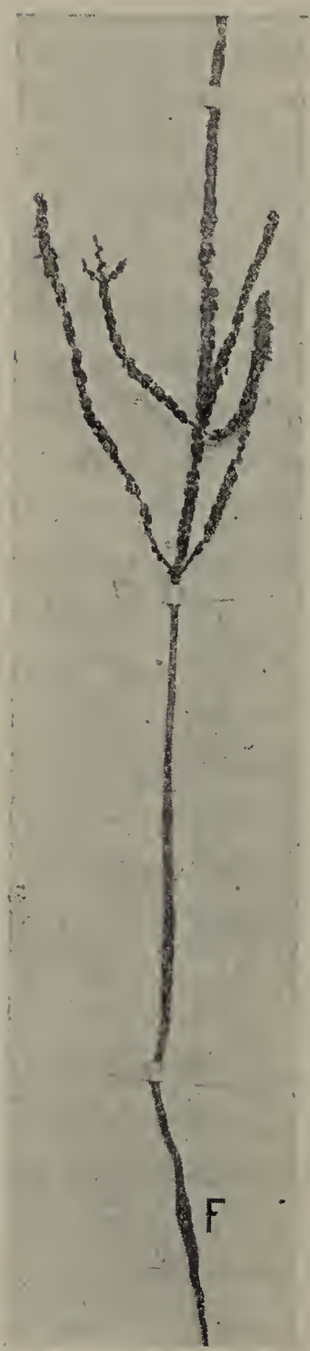

Fig. 2. Leucopogon gibbosus Stschegl. Bei *F* der Fußpunkt der Pflanze.

Die Monokotylen sind in der Gemeinschaft dieser kleinen Sträucher nur schwach vertreten. Noch am zahlreichsten finden sich einige Restionaceen, und zwar in stark xerotischen Formen, wie Hopkinsia calovaginata, Lepidobolus, Ecdeiocolea. Für deren Wurzeln sind vor allem bezeichnend die „Sandstrümpfe", die sich in kräftigster Ausbildung bei ihnen finden. Wir kennen diese sonderbaren Bildungen seit Volkens von den Wüsten-Gramineen her, und ihre Entstehung ist neuerdings von Price an Aristida näher beschrieben worden. Für unser Thema ist beachtenswert, daß nach Volken's Vermutung darin „ein Ersatz der bei den Dikotylen üblichen peripherischen Korklage" vorliegt. Ebenso wie diese, hindere diese Sandhülle die Verdunstung aus den inneren Geweben. Ob diese Vorstellung vollkommen ausreicht, ist nicht erwiesen, es wäre an der lebenden Pflanze zu prüfen. So weit aber scheint sie zuzutreffen, daß durch diese eigenartige Hülle ein Abschluß der inneren Gewebe nach auswärts stattfindet.

Außer den Restionaceen ist es die Amaryllidacee Anigozanthus, die einige Arten, z. B. A. pulcherrimus und A. humilis auf die Sandheiden übergehen läßt. Sie besitzen eine kräftige Grundachse, die gerade unter der Bodenoberfläche wagerecht dahinwächst. Auf der Oberseite ist sie dicht besetzt mit den als tote Masse bleibenden Scheiden der abgestorbenen Laubblätter. Die Wurzeln zeigen eine einschichtige Schutzscheide mit starkverdickten Wänden; die Rinde besteht aus einem sehr lakunösen Gewebe in der Mitte und dichterem Parenchym innen und außen davon. Der Bau hat also wesentliche Züge gemeinsam mit der Einrichtung vieler schlamm-

bewohnender Monokotylen, wie etwa Triglochin, Calla u. a.; die Lakunenbildung namentlich ist z. B. von Olivier und von Freidenfelt als bezeichnend für hydrophile Arten hervorgehoben worden. In der Regel hat man diese lakunöse Wurzelrinde als eine Atmungseinrichtung betrachtet, und auch Freidenfelt entscheidet sich für diese Auffassung, indem er die Tatsachen zusammenstellt, die für sie sprechen. Demgegenüber sollte auch hier festgehalten werden, daß die Bedeutung der Struktur je nach den Lebensumständen der Arten wechselt. Bei Anigozanthus und ähnlich xerotischen Gattungen dürfte ebenso wie bei den Restionaceen und Gräsern dürrer Standorte der Nachdruck nicht auf den Sauerstoffgehalt der luftreichen Schicht zu legen sein, sondern auf ihre physikalischen Eigenschaften.

In diesem Sinne ist die Verwendung luftreicher Gewebe — seien sie luftreich nun innerhalb der Zellen oder in den Lücken dazwischen — bei den oberirdischen Organen der Xerophyten ja ungemein verbreitet. Bei den perennierenden Stauden sind es besonders wieder die Fußpunkte der Pflanze, wo diese Bildungen ihren Sitz haben: wir gewinnen damit den Anschluß an die luftreichen Wurzelperidermen. In der Tat sieht man nicht selten beides kombiniert. Bei der westaustralischen Dampiera Mooreana E. Pritzel ist das Rhizom mit kräftiger Korkkruste belegt, die Achse trägt an den äußerst verkürzten Internodien der Basis dichte Behaarung und dazwischen die kahlen verbreiterten Blattscheiden abgestorbener Grundblätter, die vorwiegend aus hellfarbigem, lufterfülltem, schwammigem Parenchym bestehen (Fig. 3). Ähnliche Einrichtungen kehren häufig wieder an den Achsenbasen verschiedener xerotischer Stauden auf den westaustralischen Sandheiden, z. B. bei Stylidium-Arten und, sehr ausgeprägt, bei der Restionacee Lepidobolus deserti Gilg, die dort von allen ihren Familiengenossen am weitesten gegen die regenarmen Binnenwüsten hin vordringt. Das wesentliche ist bei ihnen sämtlich die Bildung einer luftreichen Außendeckung in der Region des Fußpunktes und unmittelbar oberhalb davon. Ähnlich wirken auch die

Fig. 3. Dampiera Mooreana E. Pritzel.

„Stroh-“ und „Wolltuniken“ xerotischer Gräser, selbst wenn sie zugleich im Sinne von Hackel bzw. Brockmann-Jerosch an der Wasserversorgung der Pflanze beteiligt sind.

Die Korkkrusten der Dikotylen, die lakunösen Gewebe der Monokotylen und die zwiebelartigen Bildungen, die am Wurzelhals oder um den Stengelfußpunkt entwickelt sind, stimmen darin überein, daß sie als luftreiche Isolatoren das Innere umgeben, wo die Gewebe des Leitsystems liegen.

Ökologisch gleichen sich die Pflanzen, die derartige Einrichtungen haben, in ihrem Vorkommen auf locker bewachsenen, meistens sandigen Böden trockenwarmer Erdgebiete. Aus Nordafrika und aus Westaustralien sind bisher die meisten solcher Arten erwähnt. Ihre edaphische Abhängigkeit von Sand scheint nicht unwichtig. Denn in Westaustralien sind sie mir auf den dichteren Böden, auf Lehm und auf tonig gebundenen Konglomeraten, nicht aufgefallen; bei den niedrigen erikoiden oder spartioiden Sträuchern der Sandheide dagegen schätzte ich[1]), etwa drei Viertel aller zugehörigen Arten seien mit Basalkork ausgestattet.

Diese beiden Kennzeichen unserer ökologischen Erscheinung, die lufterfüllten Isolatoren und die Gebundenheit an Sand in warmem Klima, werden den Weg weisen müssen, sie zu deuten.

Bisher hat man in dieser Hinsicht den Transpirationsschutz in den Vordergrund gestellt. So sagt z. B. Volkens, der peripherische Korkbesatz der Dikotylen finde seine „hauptsächlichste Bedeutung in einem Schutz der saftigen Teile gegen Austrocknung“ und vergleicht damit „die dichtgefügte Sandhülle der Wurzel von Wüstengramineen, als eine Röhre, welche sich dem Austritt des Wasserdampfes hindernd in den Weg stellt“. In der Tat wird niemand bestreiten, daß diese Einrichtungen an sich die Abgabe von Wasserdampf nach außen wirkungsvoll behindern. Es fragt sich nur, ob diese Wirkung einen erheblichen ökologischen Wert hat für den Zentralzylinder der älteren Wurzelteile, der doch vielfach schon durch die Endodermis kräftig geschützt wird oder durch die verkorkten Hypodermisschichten vor Austrocknung bewahrt ist. Versuche zu dieser Frage liegen meines Wissens nicht vor, und theoretisch läßt sich nicht leicht übersehen, wie eine stärkere Verdunstung aus den unterirdischen Pflanzenteilen selbst in anscheinend trockenen Böden vor sich geht. Eine besonders ergiebige Transpiration

1) Pflanzenwelt von Westaustralien, pag. 169.

2) Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste, pag. 26.

des Wurzelhalses und der benachbarten Stammbasis ist jedenfalls weder nachgewiesen noch wahrscheinlich. Dagegen steht es fest, daß an den Standorten, um die es sich handelt, eine starke Erhitzung in der Umgebung jener Organabschnitte stattfindet.

Die verfügbaren Daten darüber sind zwar nicht so eingehend, wie man es wünschte, gestatten aber annähernd zu schätzen, welche Temperaturgrade in Betracht kommen.

In dem Gebiete von Westaustralien, dem die mehrfach erwähnten Sandheiden angehören, herrschen extreme Wärmeverhältnisse. In der heißen Jahreszeit beträgt die mittlere tägliche Schwankung zwischen 15° und 18°. Die mittleren und absoluten Extreme liegen sehr hoch. Die Lufttemperatur hat ein mittleres Maximum in York von 33°, weiter nördlich und östlich davon werden 35° und mehr erreicht: Cue 34,5°, Yalgoo 38°; die absoluten Maxima, die ich in meiner Pflanzenwelt von Westaustralien nicht erwähnt habe, betragen für York 46°, Southern Cross 46°, Geraldon 46°, Yalgoo 45°. Über 40 Grad kommen z. B. in York in sehr vielen Sommern vor.

Über die Temperaturen des Bodens auf diesen Sandheiden liegen bisher keine Angaben vor. Ich selber habe damals leider zu wenig derartige Messungen angestellt, hatte auch nicht die nötigen Thermometer zur Verfügung, um festzustellen, wie sich die einzelnen Bodenschichten verhalten. Doch läßt sich dieser Mangel an tatsächlichen Beobachtungen bis zu einem gewissen Grade ausgleichen; man ist imstande, den allgemeinen Wärmezustand dieser Sandböden abzuleiten, seitdem nach dem Vorgange von H. Wild über das thermische Verhalten der verschiedenen Bodentiefen und Bodenarten in neuerer Zeit planmäßigere Untersuchungen angestellt worden sind.

Die pflanzengeographische Literatur gibt ja in dieser Hinsicht nur gelegentliche Beobachtungen wieder. In Cannon's Wurzelarbeit werden zwar pag. 20—23 die Bodentemperaturen bei Tucson für 2,5 cm, 15 cm und 30 cm Tiefe angegeben und dabei Maxima von 40—41° erwähnt. Doch da die Messungen alle in dem tonigen Boden unweit des Desert Laboratorium vorgenommen wurden, so sind sie mit solchen in lockeren Böden nicht vergleichbar. Außerdem wurde die Wärme an der Oberfläche selbst offenbar nicht gemessen. Es fehlen also gerade die für unsere Zwecke wichtigsten Daten. Deshalb erwähne ich die Notizen von Volkens aus der Gegend von Cairo, die thermisch besser vergleichbar mit den südwestaustralischen Heidegebieten ist:

28. Mai	Luft 30°,	Geröllboden 48°
5. Juni	Luft 28°,	Flugsand 52°

Volkens[1]) sagt zusammenfassend, daß die Erwärmung des Bodens über die der umgebenden Luft sich infolge der Insolation auf 20 und mehr Grade steigern kann, und daß entsprechend in der Nacht eine bedeutende Erkaltung als Wirkung der Ausstrahlung eintreten muß.

Diese summarische Einsicht ist, wie schon oben angedeutet, heute erweitert und vertieft worden, und da diese Erfahrungen auch für die Physiologie der Wurzel fruchtbar werden können, seien einige wesentliche Ergebnisse mitgeteilt. Im Hinblick auf unser Thema halte ich mich dabei an die Angaben von P. Vujević für Belgrad und bediene mich der von ihm festgestellten Juliwerte. Denn die Mitteltemperatur des Juli von Belgrad, 22°, und auch das absolute Maximum, 39,2, erreichen zwar nicht die Januarmittel des eigentlichen südwestaustralischen Heidegebietes (York 25° [46°], Southern Cross 26° [46], Yalgoo 30° [45]), kommen ihnen aber vielleicht näher, als die meisten sonst veröffentlichten Daten, die aus nördlichen Breiten stammen. Für uns sind dabei drei Dinge in Betracht zu ziehen: die Wärme verschiedener Bodenarten, sodann der Gang der Wärme nach der Tiefe, endlich ihre Kurve während des Tages.

1. Wärme der äußeren Bodenoberfläche im Juli von Belgrad[2]):

	Sandboden kahl	Humöser Boden kahl	Rasenfläche
Mittl. Maximum	51,7	49,0	45,7
Mittl. tägl. Amplitude .	37,7	35,2	32,8

Zu beachten ist, daß diese Temperaturen der äußeren Bodenoberfläche mit unbedecktem Thermometer abgelesen werden. Die innere Oberfläche, deren Wärme bei ganz dünner Bedeckung des Thermometers angezeigt wird, liegt noch höher, und zwar nachts um etwa 1°, nachmittags von 1—5 Uhr um etwa 3°.

Es ergibt sich also, daß der unbedeckte Sandboden sich stärker erwärmt, als kahler humöser Boden und noch stärker als rasenbedeckter. In den Dünen- und Wüstengebieten gibt es besonders viele unbedeckte Sandstellen, deren Bodenwärme also unvermindert auf die Pflanzen einwirkt. Dabei sind natürlich wichtig der Wassergehalt und die Dichtigkeit. Daß die Erwärmung feuchteren Bodens geringer bleibt, ist bekannt. Über den Einfluß der Dichte hat Münch (1915, pag. 257) einiges mitgeteilt. Sehr lockerer Sand ist demnach in der Sonne meist um 2—4° wärmer als der gleiche Sand, der durch mäßigen Druck dichter gemacht ist (vgl. pag. 499 oben).

1) Flora der ägyptisch-arabischen Wüste, pag. 14.

2) Vujević in Meteorol. Ztg. 1912, pag. 575.

2. Gefälle der Wärme im Boden nach der Tiefe. Ein Beispiel aus unseren Breiten gibt Münch (1915, pag. 252) aus der Gegend von Kaiserslautern vom 22. April:

	Lockerer Sand	Fester Sand
Oberfläche . . .	49°	45°
0—2 cm . . .	37°	33°
3—5 „ . . .	26°	28,5°
4,3—6,2 „ . . .	23°	25°
9—11 „ . . .	17,5°	20°
15—17 „ . . .	14°	16°

Und ähnlich (1914, pag. 178), für sehr lockeren Sand, vom 18. Juni:

Oberfläche	62°
2,5—4,5 cm . . .	46°
6—8 „	31°
12—14 „	27°
22—24 „	20°

Die gleichen thermischen Unterschiede der Bodentiefen treten hervor an ihrer durchschnittlichen Wärmeamplitude in Belgrad[1]):

1 cm	12,08°	20 cm	2,29°
5 „	8,3	30 „	0,76
8 „	6,62	50 „	0,12
15 „	3,70	60 „	0,13

Das Wärmegefälle ist unter derartigen Verhältnissen also sehr steil. Wie dieser Umstand auf das Leben der Wurzel wirkt, ist nicht näher bekannt.

Ebenso kennen wir nicht den Einfluß der sehr beträchtlichen täglichen Amplitude. Über deren Werte geben folgende Daten Aufschluß:

3. Gang der Temperatur an der äußeren Oberfläche von Sandboden während des Tages im Juli von Belgrad[2]).

1 am 17,2°	9 am 37°	5 pm 38,8°
2 „ 16,6	10 „ 41,5	6 „ 32,9
3 „ 16,1	11 „ 46	7 „ 26,2
4 „ 15,2	12 „ 48,2	8 „ 22,7
5 „ 15,9	1 pm 48,4	9 „ 20,8
6 „ 18,4	2 „ 48,2	10 „ 19,5
7 „ 24,2	3 „ 46,9	11 „ 18,7
8 „ 30,6	4 „ 43,5	12 „ 17,9

Während, wie gesagt, nicht untersucht ist, wie diese starken Schwankungen der täglichen Wärmeumgebung auf die Wurzel wirken, hat die maximale Erhitzung der Oberfläche die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt. Hellriegel kultivierte Gerste bei verschieden abgestufter Exposition und konnte feststellen, daß in den gegen Einstrahlung ganz ungeschützten Kulturgefäßen die Bodenoberfläche auf 34—53°, ja einmal

1) Vujević in Meteorol. Ztg. 1911, pag. 295.
2) Vujević in Meteorol. Ztg. 1912, pag. 575.

auf 56° sich erhitzte. Die Gerste hielt diese — allerdings nur während kurzer Dauer einwirkenden — Hitzegrade aus, blieb aber ausnahmslos kürzer im Stroh und ärmer in den Ähren als Individuen, die mehr oder minder geschützt gegen solche Bodenhitze waren. In den südrussischen Steppen sah Ramann[1]) „einjährige Eichen in großer Zahl dadurch abgestorben, daß genau an der Grenze der Bodenoberfläche eine kaum millimeterdicke Schicht des Stammes getötet war. Da andere Beschädigungen nicht nachweisbar waren und die abgestorbenen Stellen stets an der Bodenoberfläche lagen, so kann kein Zweifel sein, daß Hitzewirkungen die Ursachen der Beschädigungen waren". Am ausführlichsten hat Münch solche Hitzeschäden behandelt. Zunächst konnte er zeigen, daß schon in unseren Breiten die Oberfläche lockerer Böden sich oft hochgradig erhitzt; so wurden 1914 — und zwar nicht nur im Hochsommer, sondern bereits im Frühjahr — hohe Maxima abgelesen, z. B.[2]):

	Luft	Bodenoberfläche		Luft	Bodenoberfläche
26. April . . .	15,2	60	4. Juni . . .	22,1	54,5
29. April . . .	21,9	62	30. Juni . . .	28,2	53
22. Mai	27,9	55	2. Juli . . .	30,8	63

Eine derartige Erhitzung der Oberfläche müßte für viele unserer Pflanzen verderblich werden. Wenn z. B. Fichten- und Kiefernkeimlinge ihren kritischen Punkt bei 54° haben, so werden sie in solchen Fällen bei ungehemmter Wärmeleitung an der Berührungsstelle mit der Bodenoberfläche absterben. In der Tat finden sich Bilder solchen Absterbens nach Münch (1913, pag. 557) „in sandigen Forstgärten und Kulturen zu Tausenden; jedoch nie im Schatten. Jene Berührungsstelle von Atmosphäre und Boden, wo das Stämmchen aus dem Boden tritt, der „Fußpunkt" der Pflanze, ist am meisten gefährdet." Die Lage dieser Stelle wird unter natürlichen Verhältnissen keine unverrückbar feste sein, sondern es wird eine ganze Gefährdungszone bestehen, deren Breite davon abhängt, wie stark die Bodenteilchen sich durch Luftströmungen und dgl. verschieben und wie weit die kritischen Temperaturen hinabreichen.

Für normal vegetierende Teile phanerogamischer Gewächse liegt nach Sachs' Versuchen die Tötungstemperatur bei uns selten höher als 51—52°. Nun wird man zwar Schimper zustimmen, daß dieser Grenzwert für Pflanzen extremer Klimate wohl nicht gelten dürfte

1) Bodenkunde, 3. Aufl., pag. 397.
2) Münch 1915, pag. 250.

Wissen aber tun wir sehr wenig darüber, welche Grade von den Arten der trockenheißen Subtropen- und Tropengebiete vertragen werden. Stahl[1]) maß in einer mexikanischen Opuntia am natürlichen Standort eine Innentemperatur von 49°, sah aber bei Versuchen mit erwärmtem Wasser, daß mehrere Kakteen schon bei 53—54° zugrunde gehen, wenn solche Temperatur länger als ein paar Stunden einwirkt.

Man hat also bis jetzt keinen Beweis, daß lebende Gewebe von Phanerogamen eine längere Erhitzung über etwa 52° ohne Schaden überstehen. Vielmehr weisen vorläufig alle Beobachtungen darauf hin, daß um 50° herum der kritische Punkt gelegen ist. Diese Temperatur wird aber an der äußeren Oberfläche kahlen Bodens bereits in unseren Breiten zeitweilig überschritten, und zwar am häufigsten auf trockenem Sande. Für die Subtropen entgeht man nicht der Annahme, daß derartige Sande sich dort bei einer Luftwärme von 40—45° auf mindestens 55—65° erwärmen. Diese Hitze wird wenigstens im Sommerhalbjahr dort gar nicht selten erreicht werden und oft mehrere Stunden lang anhalten.

Ein Fortbestand des vegetativen Lebens ist für eine höhere Pflanze unter solchen Umständen nur möglich, wenn durch Isolationseinrichtungen die Wärmekurve der Gewebe im Vergleich zu der der Umgebung erheblich ausgeglichen wird. Diese Voraussetzung scheint mir erfüllt durch die Einschaltung trockener Korkkrusten oder anderen hellfarbigen luftreichen Deckmateriales an den bedrohten Partien in der Nähe des Fußpunktes. Supramaximale Temperaturen dürften dadurch vermieden werden, und darin möchte ich die Hauptbedeutung dieser Strukturen in ökologischer Hinsicht erblicken. Wie die Wärmeausgleichung im übrigen wirkt, und namentlich, wie die Minderung des Temperaturgefälles zwischen Oberfläche und tieferen Bodenschichten den Wasserverkehr in der Wurzel beeinflußt, läßt sich gegenwärtig nicht übersehen. Es ist aber wahrscheinlich, daß auch in dieser Hinsicht physiologisch nicht unwichtige Wirkungen an jene Bildungen geknüpft sind.

Zur weiteren Aufklärung dieser Zusammenhänge ist die Lösung verschiedenartiger Aufgaben erforderlich. Unter anderem müssen die thermischen Verhältnisse der Böden in den warmen Ländern gründlicher untersucht werden als es bisher geschehen ist. Besonders wären die Maxima der oberen Bodenschichten unter verschiedenen Bedingungen zu ermitteln und auch die Dauer der bedrohlichen Temperaturen fest-

1) Biologie des Chlorophylls, pag. 71.

zustellen. Daneben müßte an den Sandpflanzen der trockenheißen Erdgebiete, die wir jetzt als die meistgefährdeten Gewächse kennen, geprüft werden, wie sich die Wurzeln der jungen Individuen verhalten, und wann sich die isolierenden Bildungen daran zu entwickeln beginnen. Sehr erwünscht wären natürlich Wärmemessungen im Innern der Gewebe, und zwar sowohl an Stämmen nach Art von Hartig's Messungen über den Einfluß der Borke an unseren Bäumen, wie auch an Wurzeln, wo die Wirkung der Korkkrusten und der isolierenden luftreichen Gewebe zahlenmäßig nachzuweisen wäre. Man darf erwarten, auf diesem Wege tiefer einzudringen in die Bedingtheit jener Bildungen am Pflanzenkörper, die nur als Schutz gegen die Gefahren der Überhitzung im Sinne Stahl's verständlich scheinen.

Literatur.

v. Alten, H., Beiträge zur vergleichenden Anatomie der Wurzeln. Inaug.-Diss. Göttingen 1908.

Brockmann-Jerosch, H., Die Trichome der Blattscheiden bei Gräsern. Ber. Deutsch. bot. Ges. 1913, Bd. XXXI, pag. 590—594.

Cannon, W. A., The Root Habits of Desert Plants. Carnegie Institution of Washington. Publ. No. 131. Washington 1911.

Diels, L., Die Pflanzenwelt von Westaustralien südlich des Wendekreises. Leipzig 1906.

Hackel, E., Über einige Eigentümlichkeiten der Gräser trockener Klimate. Verh. Zool.-bot. Ges. Wien 1890, Bd. XL, pag. 125—138.

Freidenfelt, T., Der anatomische Bau der Wurzel in seinem Zusammenhange mit dem Wassergehalt des Bodens. Bibliotheca Botanica, Heft 61. Stuttgart 1904.

Hellriegel, H., Einfluß hoher Bodentemperaturen von kurzer Dauer auf die Vegetation. Beiträge zu den naturw. Grundl. d. Ackerbaues. Braunschweig 1883, pag. 334 ff.

Münch, Hitzeschäden an Waldpflanzen. Naturw. Zeitschr. f. Forst- u. Landwirtsch. 1913, Bd. XI, pag. 557—562; 1914, Bd. XII, pag. 169—188.

Ders., Beobachtungen über Erhitzung der Bodenoberfläche im Jahre 1914. Ebendort 1915, Bd. XIII, pag. 249—260.

Price, S. R., The Roots of Some North African Desert-Grasses. The New Phytologist, Vol. X. Cambridge 1911.

Ramann, E., Bodenkunde, 3. Aufl. Berlin 1911.

Seignette, A., Recherches sur les tubercules. Rev. génér. bot., Tome I, pag. 573 ff. Paris 1889.

Stahl, E., Zur Biologie des Chlorophylls, pag. 45—78. Jena 1909.

Volkens, G., Die Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. Berlin 1887.

Vujević, P., Über die Bodentemperaturen in Belgrad. Meteorol. Ztg. 1911, p. 289—301.

Ders., Die Temperaturen verschiedenartiger Bodenoberflächen. Meteorol. Ztg. 1912, pag. 570—576.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: 111-112

Autor(en)/Author(s): Diels Friedrich Ludwig Emil

Artikel/Article: Über Wurzelkork bei Pflanzen stark erwärmter Böden 490-502