Physiologie und Oekologie der Felsflurvegetation auf dem Isteiner Klotz

Von ERWIN und MARIA LITZELMANN, Höllstein, Krs. Lörrach/Baden

Zur Einführung

Fünfzehn Kilometer nord-nordwestlich vom Rheinknie bei Basel steigen aus den stromdurchflossenen grünen Rheinauen die weißgrauen Malmflühen des Isteiner Klotzen jäh empor. Genauer ausgedrückt: es erscheint das Wenige von seinem nach SW vorspringenden Sporn, was immer wiederholte, sinnlose Sprengungen als Rest einer ehedem schön gestalteten und eindrucksvollen Landschaftsform heute übrig gelassen haben.

Unter den stürzenden Felsmassen und Abraumhalden versank seit 1947 zum großen Teil eine Pflanzenwelt, einzigartig in ihrem äußeren Gepräge und in der Häufung von charakteristischen und farbenprächtigen Gestalten aus den mediterranen und mediterran-kontinentalen Florenreichen Europas (Abb. 1). Dieser auf kleinem Flächenraum ausgebreitete Artenreichtum hat im Laufe des letzten Jahrhunderts immer wieder Floristen und Pflanzengeographen aus dem In- und Ausland zum Klotz hergelockt und sie mit Freude und Begeisterung erfüllt. Ihre zumeist statistisch gehaltenen Erfassungen des Artenmosaiks, ergänzt durch all-

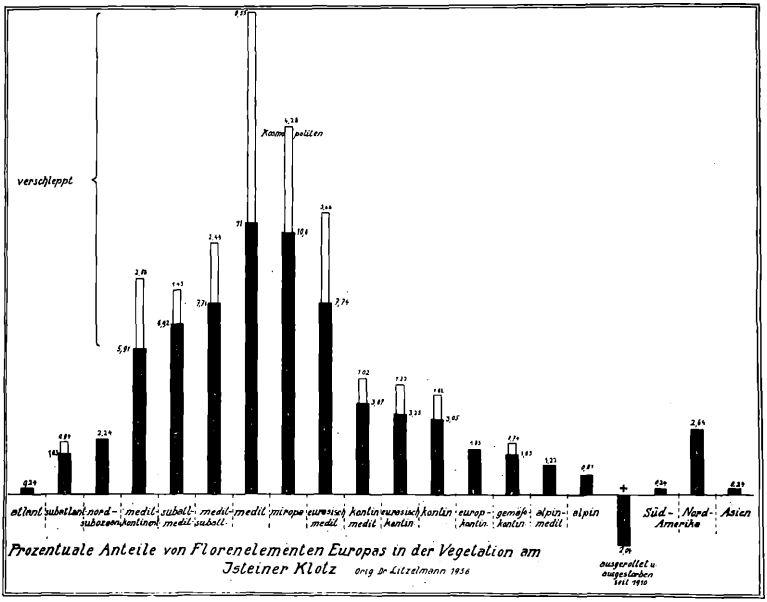


Abb. 1 (aus Litzelmann: Pflanzengeographie und Geschichte, Lahr 1957)

mählich wachsende Erkenntnisse über Herkunft und Verbreitung von dessen individuellen Komponenten, findet man in einzelnen zerstreuten Mitteilungen und als Standortsverzeichnisse in Fachzeitschriften und pflanzengeographischen Abhandlungen sowie in Florenwerken. Dabei ist es denn bedauerlicherweise auch geblieben. Eine zusammenfassende monographische Beschreibung der Natur- und Landschaftsgeschichte des gesamten Gebiets vom Isteiner Klotz ist zwar fast vollendet, harrt aber noch ihrer Drucklegung.

Hier möchten wir vorläufig eine in allen bisher erschienenen Veröffentlichungen klaffende Lücke füllen. Uns obliegt die Herausarbeitung des Verständnisses von den Ursachen für die Erscheinungsformen der xerischen Pflanzengestalten und Pflanzengesellschaften auf dem Klotz. Sodann mögen deren wechselseitige Bindungen an ihre Lebensabläufe, wie solche ihnen an ihrem Dasein unter sich selbst, nach den klimatischen Gegebenheiten der Oberfläche und jenen in den bisher unbekannt gebliebenen Tiefen der Felsspalten vorgeschrieben sind, aufgezeigt und gedeutet werden. Denn solche Antwort heischenden Fragen drängen sich jedem Besucher, der in extremen Trockenzeiten die scheinbar erstorbene Vegetation auf dem Felsensporn überschaut, mit unmittelbarer Gewalt auf. Denn der Mensch sieht zunächst nur, was vor Augen ist.

Unsere hier mitgeteilten Ergebnisse gründen sich auf fortlaufende Freilanduntersuchungen innerhalb eines vollen Jahrzehnts. Die Arbeit wurde ein Jahr nach Kriegsende, im Frühling 1946, begonnen und im Herbst 1957 zu einem vorläufigen Abschluß gebracht. Vor Beginn mußte von der französischen Besatzungsmacht erst die Erlaubnis zum Betreten, Graben und Photographieren im damaligen Sperrgebiet eingeholt werden. In den ersten armen und verschütteten Jahren des Materialmangels und der Geldentwertung war uns die Beschaffung geeigneter Apparate für physiologische Untersuchungen eine glatte Unmöglichkeit. Die Not zwang dazu, daß sowohl neuartige, der biologischen Denkweise dienende Arbeitsmethoden als auch einfachste Hilfs- und Meßgeräte von zuverlässiger Leistung ersonnen und während der Durchführung der Arbeit erprobt werden mußten. Galt es doch, in das schier unzugängliche Innere eines Felsmassivs einzudringen, Einblicke in Lebensräume zu erhalten, die in verborgenen, der direkten Sicht immer entzogenen Tiefen liegen, und Verständnis zu gewinnen über ein dort laufendes Lebensgetriebe, dessen Vorhandensein wir zunächst nur ahnen konnten. Solche Arbeiten an der Felsspaltenvegetation eines isolierten und höchst eigenartigen Biotops lassen sich eben nicht an Pflanzen durchführen, die aus ihrem Verband entfernt und in ein weit abgelegenes, zum natürlichen Standort total beziehungsloses Laboratorium gebracht und dort nur vom chemisch-physikalischen Prüfstand aus befragt werden. Das hätte zu völlig irreführenden Ergebnissen und Deutungen geführt. Denn was wir draußen auf dem Klotzen als gegeben vorfinden, ist nicht einfach eine Summe von getrennten Einzelgewächsen in Spalten und Klüften mit diesem oder jenem Bodensubstrat. Nein, wir haben es hier mit einem lebendigen, großen *Gesamtorganismus* mit einer besonders ausgeprägten und geradezu verblüffenden *Eigengesetzlichkeit* zu tun. Zum Verständnis des Phänomens von diesem Gesamtorganismus gelangt man aber nicht dadurch, daß man ihn nur als ein System von Energieumwandlungen auffaßt und dessen Einzelglieder lediglich den konventionell gebräuchlichen Experimenten der chemisch-physikalischen Denkweise unterwirft.

Die Umweltsbedingungen am Klotz, insbesondere während der heißesten Wochen in den extremen Dürresommern 1947 und 1949 erforderten ein beschleunigtes Arbeitstempo mit einer Unzahl wiederholter Messungen und Dauerbeobachtungen. Nur so konnten einigermaßen befriedigende Antworten auf die Fülle der an Ort und Stelle vorgegebenen und im Zuge der Arbeit neu erkannten Probleme erhalten werden.

Infolge der unlöslichen Bindung an den strengen Schuldienst, auch wegen der räumlichen Entfernung vom Arbeitsplatz mit schlechten Zugverbindungen dorthin, konnte die Arbeit nur mit einzelnen Unterbrechungen durchgeführt werden. So erklärt sich auch deren lange Dauer. Andererseits gewinnen die Ergebnisse solcher auf ein Jahrzehnt ausgedehnten vergleichenden Beobachtungen und Reihenmessungen erhöhten Sicherheitswert.

Alle mitgeteilten Beobachtungen und Befunde sind durch photographische Aufnahmen belegt, soweit solche sich draußen überhaupt ermöglichen ließen. Sonst müssen Zeichnungen und kombinierte Schnittbilder nach genauen Messungen das ersetzen, was sich photographisch nicht erfassen ließ.

1. Größe und Abgrenzung des Untersuchungsgebiets.

Wir haben zwar für die geplante Monographie die 7,5 km² große Gesamtfläche der Vegetation zwischen Efringen im Süden und über Kleinkems hinaus im Norden eingehend floristisch, soziologisch und pflanzengeographisch untersucht. Für die vorliegende Darstellung mit ihrer speziellen Ausrichtung beschränken wir uns auf das weitaus interessanteste und aufschlußreichste Teilgebiet. Unsere hier gewonnenen Ergebnisse führten auch zu einer vertieften Auffassung über das Zustandekommen der in der Felsflur vorherrschenden Assoziationen. Der eigentliche Klotz mit dem von uns untersuchten Vegetationsbereich wird vom nördlichen Istein-Tunnel durchfahren. Vom Rebengürtel über dem Dorf Istein oder vom Rheinsträßchen aus zeigt er sich als ein weit nach SW zur Burgundischen Pforte weisender, vorspringender Sporn (Tafel IV, Fig. 1*)). Die Oberfläche seines ersten Drittels, die nach links zum Rheinvorland unter ± 20° abgebogene „Nase", erscheint aus der Ferne kahl. In Wirklichkeit ist dort oben die bodennahe, extreme Felsvegetation entwickelt. Nach rechts schließt sich über der Mulde (bei der 1919 gesprengten Panzerkuppel der ehemaligen Festungsanlage) der Trockenbuschwald an. Dieser geht allmählich in einen lockeren Mischwald aus Eichen, Eschen und Weißbuchen über.

Tafel IV Fig. 2 zeigt den herausragenden Sporn von W, d. h. vom nahen Rheinvorland aus gesehen. Rechts und links davon heben sich hell und vegetationslos die Wände ab, die seit 1947—1950 aus Sprengungen erst durch die Franzosen und dann durch das Badische Wasserbauamt entstanden sind. Die vegetationsbedeckte Rückenfläche des Sporns ähnelt einem geneigten, annähernd gleichschenkligen Trapez. Dessen obere Grundlinie mißt noch 7 m; die untere 1,5 m. Ihr senkrechter Abstand voneinander beträgt 120 m. Theoretisch würde der Flächeninhalt demnach $\left(\frac{(7 + 2{,}5)}{2}\right)$ m. 120 m = 570 m² betragen. Diese Zahl muß aber wegen der sehr unregelmäßig verlaufenden Seitenlinien sowie wegen einer an der SO-Wand vor zwei Jahren vorgenommenen Teilsprengung (wegen Felssturzgefahr) auf 550 m² reduziert werden. Was heute dasteht, ist der 65. Teil (!) der Klotzenfläche, wie sie noch vor dem Jahr 1900 bestanden hat und die sowohl die badischen „Väter der Botanik" als auch die späteren Floristen noch gekannt und so sehr geliebt haben. Hier möchte man wirklich zitieren: „Der Rest ist Schweigen!"

Er schweigt aber gar nicht, dieser Rest einer einzigartigen Felsarchitektur. Sein farbenbuntes Pflanzenornament kündet in eigener Sprachmelodie und Rhythmik bald klar und deutlich vernehmbar, dann wieder leise und zurückhaltend von der seltsamen und geheimnisvollen Welt des Lebens, die offen und verborgen den Klotz beherrscht und uns immer wieder mit Macht in ihr von Problematik erfülltes Reich lockt und drängt.

2. Die Felsbodenstruktur der Oberfläche mit den Spalten.

Der harte Rauracienkalk wird überall von schmalen, unregelmäßig über die Oberfläche verteilten Klüften, Rissen und Spalten durchschwärmt. Querrichtung herrscht vor. Zunächst bemerkt man sie gar nicht, da alle von Moosen, Gräsern und Polsterpflanzen besiedelt und dadurch verdeckt sind. Da aber der kompakte Fels stets vegetationsfrei ist, zeigt die Flora der Spalten durch ihre lineare Anordnung die Anwesenheit und den Verlauf der Klüfte an. Daher beherrscht der für diese Felsflur so charakteristische stark lückige Vegetationstyp die ganze Spornfläche (Taf. V Fig. 3). Zu den seit altersher vorhanden gewesenen treten die im Zuge der letzten Sprengungen neu entstandenen Störungen mit deren Auswirkungen im Felsgefüge. Alte Spalten sind erweitert; tektonisch bedingt gewesene Spannungen im Innern neu belebt, bzw. ausgelöst worden. Größere, neu aufgetretene Querspalten hat die Sprengung der Kasematten von der Tiefe her aufgerissen.

Wir haben uns damit begnügt, insgesamt 35 Spalten zu untersuchen. Sonst wären größere Schädigungen der Vegetation auf dem bescheidenen Raum nicht zu vermeiden gewesen. Breite und Tiefe der pflanzenführenden Spalten schwanken erheblich. Solche von nur zwei bis fünf Millimetern Breite sind am häufigsten, nach der Tiefe aber natürlich unzugänglich. Sie werden hauptsächlich von Annuellen, von Gräsern, von *Sedum album* und von den Keimpflanzen der andern Polsterbildner besiedelt. Von 2 cm Breite an und darüber wird das Eindringen nach der Tiefe etwas weniger schwierig. Die absoluten Tiefen lassen sich verständlicherweise nur in wenigen Fällen erreichen, nämlich dann, wenn eine Spalte ihre senkrecht verlaufende Richtung gleichmäßig beibehält, dann aber an einer glatten, fugenlosen Basis endet.

Die überwiegend größere Zahl weist Richtungswechsel durch Knicke und Querversetzungen auf, die das weitere Vordringen nach der Tiefe unmöglich machen. Zeugen für Episoden aus der tektonischen Geschichte des Klotzen sind rheintalwärts und parallel zur Hangoberfläche verlaufende Klüfte.

Alle Spalten sind dicht erfüllt mit tief schwarz-brauner Feinerde von der Korngröße 0,05—1 mm. Darin eingebettet liegen eckige oder kantengerundete Malmbrocken von Schrotkorn- bis Hühnereigröße. Breitere Spalten können oberflächlich und bis ca. 40 cm Tiefe mit enggepackten Brocken von Faustgröße mit wenig Feinerde dazwischen verschlossen sein. Sonst ist die Feinerde 15—20 cm tief oft dicht verfilzt mit abgestorbenen Wurzelfragmenten, Rindensplittern, Blattresten, Stengeln von Gräsern und Moosfasern. Alle diese Gemengteile saugen sich in Regenzeiten voll Wasser, quellen stark auf und werden dann von allerfeinsten lebenden Saugwürzelchen ähnlich wie von Tracheen umsponnen.

Über die Zusammensetzung der Feinerde gibt die nachstehende Analyse Auskunft. Wir verdanken sie der Freundlichkeit von Herrn Professor Dr. GANSSEN, Freiburg i. Br.

pH (H_2O)	= 7,5	C	= 7,38 %
pH (KCl)	= 7,3	N	= 0,616 %
$CaCO_3$	= 3,96 %	C : N	= 12,0
Humus	= 12,71 %		

absolute „biologische Aktivität" = 19,60
relative „biologische Aktivität" = 1,5
(relative „Bil. Akt. = absolute „Bil. Akt." dividiert durch % Humus)

P_2O_5 = 2,2 mg/100 g Boden K_2O = 22,5 mg/100 g Boden

Sorptionskapazität n. Mehlich:

T - Wert des Gesamtbodens = 48,4 mval je 100 g Boden.
T - Wert der mineralischen Komponente = 15,4 mval je 100 g Boden.
Sorptionskapazität der organischen Substanz in mval je 100 g organischer Substanz (Quotient) = 260,0.
Analysenergebnisse der Bodenprobe aus einer Felsspalte vom Sporn des Isteiner Klotzen vom 17. 10. 1957. Ausgeführt vom Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg i. Br., lfd. Nr. 2803.

Die obersten 5—7 cm enthalten außerdem Zwiebeln von *Allium sphaerocephalum,* Fragmente oder ganze Gehäuse von Schnecken: *Helicella obvia* und *Zebrina detrita.*

Die in den Klüften und Spalten enthaltene Erdmenge ist verblüffend groß. Auf eine Fläche von 1 m² könnte die aus den dort befindlichen größeren Spalten herausgeschaffte Feinerde in gleichmäßiger Verteilung fünf bis acht Zentimeter hoch aufgeschüttet werden. Der Wind hätte sie aber in wenigen Stunden vom Felsen fortgeblasen. So aber ist die lebenspendende Bodenkrume in die Tiefe des Felsens verlagert und dort in Partialflächen verteilt. Hier offenbart sich im gesamten Haushalt der Felsflur ein ökonomisches Prinzip, das für die Erhaltung ihrer Lebensgemeinschaft mit deren soziologischer Struktur von entscheidender Bedeutung ist. Völlig ausgeräumte Spalten werden rasch wieder besiedelt. Eine solche von 1,55 m Länge, 12—25 cm Breite und bzw. 18—23—60 cm Tiefe blieb über zwei Jahre sich selbst überlassen. In dieser Zeit ist sie wieder von Feinerde und Malmbrocken erfüllt worden. Ihrer ganzen Länge nach hatten sich kräftige Pflanzen angesiedelt: *Sedum album, Potentilla arenaria, Stachys recta, Asperula glauca, Tunica prolifera, Dianthus carthusianorum, Satureja acinos, Helianthemum nummularium und Bromus erectus.*

3. Temperaturen.

Die mittlere Jahrestemperatur für das Gebiet am Klotz (seit 1923) beträgt + 10,2° C.

Jedoch zum Verständnis von den Lebensabläufen im Gesamtkörper der Xerophyten in der extremen Felsflurgenossenschaft genügen die von den Wetterwarten gelieferten Daten vom Großklima allein nicht. Entscheidend sind vielmehr die bodennahen Wärmewerte und jene in den Spalten von der Bodenoberfläche bis in größere Tiefen hinab.

Sehr wichtig ist dann der Einfluß der verschieden starken Luftströmungen in Bodennähe mit deren Auswirkungen auf die CO_2-Verwirbelung in den Polstern und auf die Transpiration (vgl. Abschn. 9). Deshalb mußten unsere Untersuchungen das Mikroklima am und im Felsboden bevorzugen.

Da erforderten vor allem die Dürresommer 1947 und 1949 erhöhte Aufmerksamkeit. Denn gerade damals war die Vegetation auf der wasserlosen Felsflur zwei bis drei Monate hindurch den wohl extremsten Wärmemaxima ausgesetzt, die seit 1911 in Südwestdeutschland anhaltend auf den Pflanzenwuchs einwirken konnten.

Freilich standen — unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten Überbelastung mit dem Schuldienst — nur zwei, höchstens drei Nachmittage je Woche ab 12 Uhr zur Verfügung. (So ist es auch in den folgenden Jahren mit Ausnahme der Ferienzeiten geblieben.) Dennoch erhielten wir genügend Beobachtungs- und Messungsergebnisse, um Einblick in den geradezu staunenswert regulierten Wärme- und Wasserhaushalt dieser Xerophyten zu bekommen, die unter allerhärtesten Umweltsbedingungen wochenlang ausdauern mußten und dabei ohne Wasserzufuhr aus der Atmosphäre lebenskräftig blieben.

Über die sommerlichen Temperaturgänge in den beiden Dürrejahren 1947 und 1949 orientieren die Abb. 2 und 3. Man erkennt: in beiden Dürresommern herrsch-

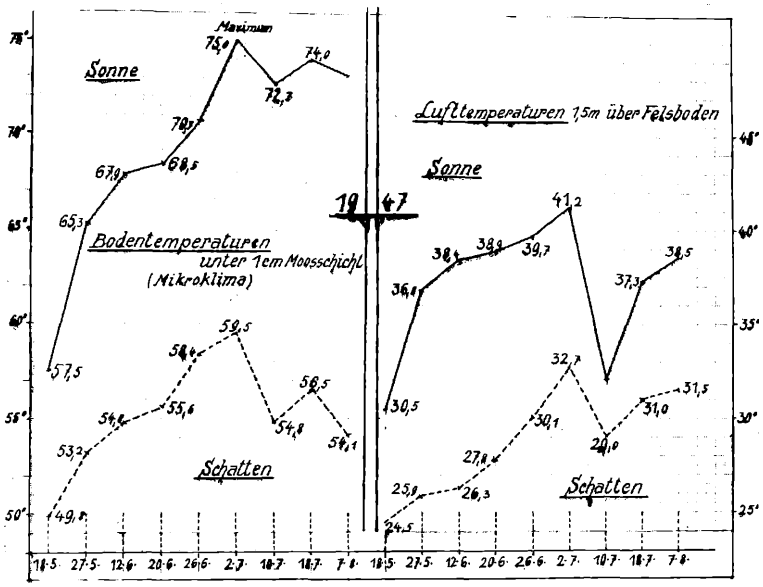


Abb. 2 Boden- und Lufttemperaturen auf dem Klotz im Dürresommer 1947. Orig. Litzelmann

ten zwischen Mai und August Bodentemperaturen, bei denen im Thermostaten das Paraffin zur Einbettung mikroskopischer Präparate schmilzt, Eiweiß koaguliert und Beerenobst sterilisiert werden kann. Als oberer Grenzwert für das tätige Leben der höheren Pflanzen und Tiere gelten sonst im allgemeinen + 50° C. Hier aber blieben alle perennierenden Pflanzen der Felsspalten am Leben. Die Gründe dafür werden im Folgenden und in den Abschnitten 4—5 und 7—9 ausgeführt.

Man ersieht aus den Temperaturtabellen, daß während der Dürrezeiten die Wärmewerte unserer Trockenoase im Oberrheintal jene von Südeuropa erreichen. Ja, mit den Maxima ihres Mikroklimas kann sie durchaus mit den Sommertemperaturen der Mittelmeerländer bis zu den Randgebieten der nordafrikanischen Felsgebirge verglichen werden. In den Dürresommern ist während der Beobachtungszeiten auch kein Tau gefallen.

Die Bodentemperaturen wurden unter 1 bis 2,5 cm dicken Moospolstern der Gattungen *Grimmia, Syntrichia, Ditrichum* und *Tortella* gemessen. Deren starre, schwarzbraune oder dunkel-braungrüne Rasen absorbieren die Wärmestrahlen weitaus am stärksten. Das ist auch für die Wintermonate mit Sonneneinstrahlung sehr wichtig. Dagegen sind die Oberflächentemperaturen direkt am vollkommen nackten, weißen Kalkfels erheblich niedriger. Bei größerem Neigungswinkel zur Sonnenstrahlung wird mehr Strahlungswärme absorbiert als an flach geneigten Felsplatten. Dafür möge diesmal ein Beispiel aus dem kühlen Regensommer 1953 gebracht werden.

6. 5. 1953; sonnig, windstill. Messung zwischen 13.00 und 15.00 Uhr.

1. Felsplatte mit Neigung 42°.

B o d e n t e m p e r a t u r unter *Ditrichum heteromallum* Britton + 55,3°.

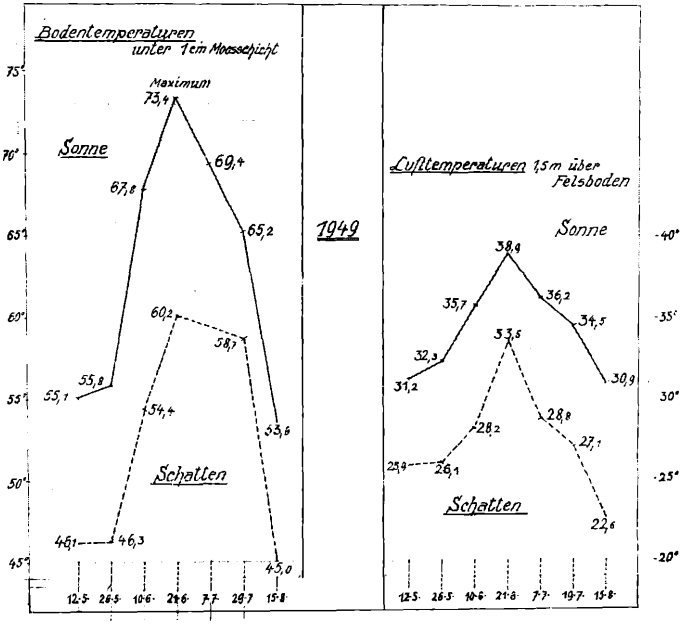


Abb. 3 Boden- und Lufttemperaturen auf dem Klotz im Dürresommer 1949
Orig. Litzelmann

Temperatur 2 cm über nacktem Fels + 40,2°.
Differenz in 2 cm Abstand + 15,1°.
2. Felsplatte mit Neigung 15°.
Bodentemperatur unter *Syntrichia montana* Nees + 46,7°.
Temperatur 2 cm über nacktem Fels + 30,2°.
Differenz in 2 cm Abstand 16,5°.

Die Lufttemperatur in 1,5 m Höhe über beiden Beobachtungsstellen betrug + 30,3°.

Die Differenzen zwischen Makro- und Mikroklima betrugen also 25° bzw. 14,4°.

Bei anhaltend feuchter Witterung mit mehr oder weniger starker Luftbewegung und geschlossener Wolkendecke bestehen zwischen Boden- und Lufttemperatur geringe Differenzen zwischen 3° und 5°. Dagegen kann schon ein darauffolgender Sonnentag die Unterschiede wieder erheblich vergrößern.

Um die Leitfähigkeit der hellen Malmkalke für die darauffallende Strahlungswärme nach der Tiefe zu prüfen, wurde der in Abb. 4 gezeigte Versuch ausgeführt. Nach mehreren mißlungenen Ansätzen wurde die Höhlung so geschaffen, daß das Gestein erst mittels Königswasser erweicht und alsdann ein rasch drehbarer Handbohrer mit einer Spitze aus Spezialstahl im Umkreis von etwa 1 cm Durchmesser nach unten vorgetrieben wurde. Größte Mühe bereitete es, eine gleichmäßig 2 mm dicke Außenwand vor der Höhlung unversehrt stehen zu lassen. Das eingeschobene Thermometer wurde bei der herausragenden Skala mit Asbestwolle umkleidet, um das Eindringen von warmer Außenluft zu ver-

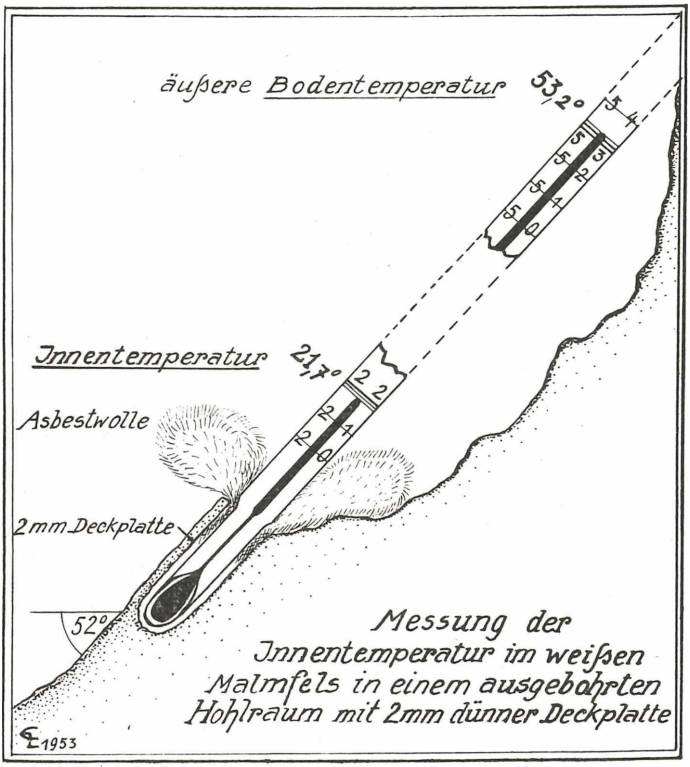


Abb. 4

hindern. So verblieb die Apparatur von 13.30—15.30 Uhr. Ein zweites unter ein benachbartes Moospolster eingeschobenes Thermometer zeigte eine Bodentemperatur von + 53,2° an (der Einfachheit halber für die kombinierte figürliche Darstellung ist es durch eine gestrichelte Linie angedeutet worden).

Am 27. 5. 1954 (dem heißesten Tag des sonst regenkühlen Sommers) registrierte das Thermometer unter einem handtellergroßen Polster von *Tortella tortuosa* + 58,3°. Um 15.22 Uhr zog eine graue Wolke vor die Sonne und gab sie um 15.47 Uhr wieder frei. Innerhalb dieser 25 Minuten sank die Bodentemperatur nur um 3°. Nach weiteren 10 Minuten voller Besonnung stieg sie wieder um 2° an. Während der gleichen Zeit sank die Außentemperatur am Fels von + 47,5° auf 33°, also um 14,5° und stieg 10 Minuten nach der Wiederbesonnung abermals auf 47°.

Man erkennt daraus, daß den Moospolstern die Eigenschaft eines ausgleichenden Temperaturreglers und Wärmeisolators zukommt. Dieser verhindert auch einen zu starken Wärmeverlust in der Nacht; besonders, wenn die Moospolster auf den pflanzenführenden Spalten sitzen, oder kleine Nischen und Mulden bedecken, was so gut wie überall der Fall ist (vgl. Abb. 6). So bleiben die daneben stockenden Xerophyten vor der schädigenden Wirkung jäher Temperatur-

sprünge — auch im Winter — bewahrt. *Alyssum alyssoides, Arenaria serpyllifolia, Minuartia fastigiata, Saxifraga tridactylites, Festuca glauca, Sedum album* und *Tunica prolifera* können nur dann in Felsnäpfen ohne Spalten auskommen, wenn sie von Moosdecken geschützt bleiben. Gleiches gilt für die Keimpflanzen der anderen Xerophyten.

Die Durchschnittstemperatur in der 2 bis 3 cm dicken Lage von Feinerde unter Moospolstern auf Fels oder über Spalten beträgt in normalen Sommern von Ende Mai bis Ende August bei voller Besonnung + 45° C.

Robert LAUTERBORN maß am 9. 1. 1926 auf dem Klotz eine Lufttemperatur von + 7,6° und am Felsboden eine Temperatur von + 19,2°. (Anscheinend hat er aber nicht unter Moospolstern oder Rosettenpflanzen gemessen.) Während des abnorm kalten Februars 1956 herrschten auf dem Klotz bei sehr lebhafter Nordwindströmung Temperaturen von — 17°; — 23° bis — 25°. Am 3. 3. 1956, wenige Tage nach Beendigung der Frostperiode, betrug um 14.30 Uhr bei Sonnenschein und leichtem Wind die Lufttemperatur in 1,5 m Höhe + 3°. Unter einer braunen, vorjährigen Blattrosette von *Potentilla arenaria,* das zusammen mit *Sedum album* und dem Moos *Ditrichum heteromallum* in einer Spalte am Hang mit 12° Neigung wuchs, herrschte eine Temperatur von + 42,3° (!). So stark war die Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlen durch die dunklen Blattrosetten. Eindrucksvoller als durch diesen Befund könnte die ausschlaggebende Bedeutung des Mikroklimas für die Vegetation der Felsflur wohl nicht dokumentiert werden.

Temperaturen in den Spalten. Schwieriger gestaltet sich die Temperaturmessung in den Spalten bis zu größeren Tiefen hinab. Am besten eignen sich solche von 8—10 cm Breite, da diese auch größere Tiefen erreichen und sich nicht allzu stark verschmälern. Auch haben solche Spalten ziemlich glatte Wände mit wenigen Vorsprüngen und verlaufen meist ohne Knicke nach unten. Erst mußten die größeren und kleineren Gesteinsbrocken darin mit den Händen erfühlt und entfernt werden. Hierauf wurde die ausfüllende Feinerde mittels einer fingerdicken Eisenstange bis zur möglichst erreichbaren Tiefe durchbohrt. In dem so niedergebrachten Schacht wurde dann die Stange so lange gedreht und seitlich angedrückt, bis die Wände hinreichend verfestigt waren und keine Erde mehr nachbröckelte. Nach vorsichtiger Herausnahme der Stange ließen wir das an einem Blumendraht befestigte Maximum- und Minimum-Thermometer rasch hinabgleiten. Der Schachtraum darüber wurde wieder mit Feinerde zugestopft und oben mit einem angedrückten Moospolster verschlossen. Das Eindringen von etwas warmer Außenluft in den schmalen Schacht war natürlich nicht zu vermeiden. Doch wird ja die geringe Wärmemenge rasch an die Umgebung abgegeben worden sein. Das Thermometer blieb vier bis fünf Stunden in der Tiefe; in Dürrezeiten drei volle Tage, im Herbst und Winter jeweils zwei bis drei Wochen. Im Sommer wiederholten wir die Messungen an mehreren Tagen mit wechselndem Wetter. So erhielten wir schließlich Werte, die nicht wesentlich voneinander differierten.

Drei solcher Spalten haben wir von 1953 bis Spätherbst 1955 einer Daueruntersuchung auf Temperaturen und Wassergehalt unterzogen. Die dabei gefundenen Mittelwerte sind in einem kombinierten Schnittbild in Tafel VIII Fig. 9 (links) eingetragen.

Die größte, vom Thermometer noch erreichbare Tiefe beträgt 70 cm. Zwischen 30 und 50 cm Tiefe bleibt im Sommer die Temperatur bei + 12° bis + 15° konstant; zwischen 60 und 70 cm bei etwa 8,7°. Der letzte Wert wird in normalen Wintern höchstens auf + 7° erniedrigt. Welche Temperaturen in den Spalten während der Frostwochen im Februar 1956 geherrscht haben mochten, wissen wir nicht. Wäre überhaupt mit den uns zugänglichen Meßmethoden bei dieser arktischen Kälte und den herrschenden Nordwinden ein zuverlässiges Arbeiten wohl möglich gewesen? Wir glauben es nicht. Die Vermutung ist aber

wohl nicht unbegründet, daß die Temperaturen in den Spalten nicht sehr tief abgesunken sind. Einmal ist ja der Malmfels an sich schon ein schlechter Wärmeleiter. Dann wird die Spaltenfüllung oben durch frostbeständige Moospolster oder durch eine dicke Lage brauner Vorjahrsblätter der Rosettenpflanzen abgeschlossen. Beides wirkt isolierend.

Jedenfalls haben sämtliche Arten der Spaltenflora den extremen Frostfebruar 1956 schadlos überstanden.

4. Der Wassergehalt der Spalten.

Zur Deckung ihres Wasserbedarfs ist die Vegetation auf dem Sporn lediglich auf die Zufuhr von Niederschlägen aus der Atmosphäre angewiesen. Oberirdische und Grundwasserläufe fehlen ganz.

Am Ende einer längeren Dürreperiode macht die Vegetation oberflächlich den Eindruck völliger Abgestorbenheit. Blattpolster und Rosetten sind lufttrocken und zerfallen unter den Tritten. Aber schon kurz nach dem Einsetzen von Regenwetter beginnt es überall wieder zu grünen. Die Regenerationstätigkeit ist in vollem Gang.

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte in den auch für die Temperaturmessungen gewählten Spalten. Die aus aufeinander folgenden Tiefenregionen mit jeweils 5 cm Abstand herausgeschaffte Feinerde wurde an Ort und Stelle auf einer empfindlichen Briefwaage in Teilmengen von je 100 g abgewogen und in luftdicht verschließbare Cellophanbeutel gebracht. So blieben sie daheim ein Vierteljahr aufbewahrt. Danach wurden die Bodenproben sorgfältig und möglichst vollkommen im Trockenschrank getrocknet. Der Gewichtsverlust, bezogen auf 100 g Frischerde ergab den jeweiligen Prozentgehalt an Wasser. Nach Beendigung aller Messungen wurde das Original zur Fig. 9, Taf. VIII in natürlichen Größenverhältnissen auf weißen Karton gezeichnet. Es stellt den kombinierten Längsschnitt von drei Spalten nach den gefundenen Maßzahlen von Länge und Breite in ihrer allmählichen Verjüngung zur Tiefe dar.

Bei der von uns gewählten kombinierten Darstellung der Meßwerte für absolute Tiefe, Temperatur und Wassergehalt werden ermüdende Tabellen vermieden. Dafür lassen sich alle statistischen Daten mit einem Blick übersehen und besser für die folgenden und späteren Überlegungen auswerten.

Das erstaunliche und scheinbar Paradoxe sind die hohen und höchsten Prozentgehalte an Wasser gerade in den oberflächennahen Schichten bis 12 cm Tiefe, wo auch die höchsten Temperaturen herrschen. Ursprünglich erwarteten wir, daß der Wassergehalt nach der Tiefe zunehmen würde, so wie es in den Lößwänden am Kaiserstuhl der Fall ist. Aber hier in der Ausfüllmasse der Spalten zeigt sich das gerade Gegenteil!

Die obenauf sitzenden dichten Moos- und Blattpolster setzen in Trockenzeiten die Wasserabgabe von unten nach oben und nach außen stark herab. Bei außerordentlich heftigen, andauernden Regengüssen verhindern sie, daß die Feinerde heraus- und abgeschwemmt wird.

In Zeiten ergiebiger Niederschläge saugen sie sich wie ein Schwamm prall voll Wasser und geben dies nach der Tiefe ab. Da nehmen die Schichten zwischen 1,5 und 3 cm unter den Polstern bis zu 60 % Wasser auf; solche in 5 bis 7 cm Tiefe 50 bis 55 %.

Die Feinerde mit ihrer sehr geringen Korngröße hält das Wasser kapillar gebunden. Zwischen den Fugen eingebetteter Gesteinsbrocken versinkt das Wasser z. T. direkt in mittlere Tiefen. Bei größerer Trocknis in der Oberflächenumgebung saugen die Kapillaren der oberen Schichten das Wasser herauf. Unterhalb von 50 cm Tiefe beträgt während des ganzen Jahres der Wassergehalt 8 bis 6 %. Die ganze Füllmasse der Spalten ist durch den allseitig umgebenen Isoliermantel der harten Malmkalke und durch die Polsterung ihrer oberen

Öffnung allen schädigenden Einflüssen durch Temperaturextreme von außen und gegen verderblichen Wasserverlust von der Tiefe her geschützt. Der Spaltenraum ist gewissermaßen einem Thermostaten vergleichbar.

In extremen Dürrezeiten kann draußen auf dem vor Hitze flimmernden Sporn das Klima der Felswüste herrschen.

Aber im Innern der Spalten bis 15 cm Tiefe besitzt das dortige Mikroklima geradezu tropisch-feuchtwarmen Charakter und gewährt damit optimale Lebensbedingungen für die unterirdischen Vegetationsorgane!

Und gerade hier ist das System der Faser- und Saugwurzeln ausgebildet (Fig. 9, Taf. VIII, rechts). Nur diese vermögen ja das lebensnotwendige Wasser bzw. die Nährlösung aus dem Boden aufzunehmen. Die Faserwurzeln sind bei *Teucrium montanum* (Taf. VI, Fig. 5), *Alyssum montanum* (Taf. VIII, Fig. 9) und *Potentilla arenaria* mächtig entwickelt Dadurch wird eine größtmögliche resorbierende Oberfläche geschaffen und der lebhafte Transpirationsstrom in der Pflanze ermöglicht. Ausbildung eines starken Faserwurzelsystems und Dürreresistenz der zugehörigen Oberflächenformen stehen hier in ursächlichem Zusammenhang.

Die außerordentlich langen, stark verholzten Senkwurzeln können das nicht, nur ihre fadendünnen, unverholzten, 10 bis 15 cm langen Endabschnitte in den größten Tiefen sind dazu imstande.

Das so sinnvolle Zusammenspiel zwischen den physikalischen Gegebenheiten dieses in seiner Art gewiß sonderlichen Lebensraumes und der physiologischen Apparatur mit den ernährungsbiologischen Geschehnissen darin wird von den Pflanzen geradezu in einem Modellfall vorgeführt.

Dieses vielfache System von selbstregulierenden Sicherheitsvorrichtungen zwischen pflanzlichen Lebensformen in ihrem eigentlichen, nach der Tiefe verlagerten Lebensraum, verleiht der Spaltenflora die so erstaunliche Widerstandskraft in Dürre- und Frostzeiten. Es ermöglicht ihr auch die lange Lebensdauer (10 bis 15 Jahre je Einzelpflanze) an den äußerlich so arm und scheinbar lebensfeindlich anmutenden Kalkfelsen.

Noch entscheidender werden diese edaphischen Bedingungen für das Aufkommen der jungen, empfindlichen Keimpflanzen. Denn diese sind ja den größten Gefahren ausgesetzt. Nur solche Samen, die in Moospolster oder zwischen dichte Blattrosetten über Spalten fallen, können ihre Keimorgane erfolgreich entwickeln. Erst wird im Frühling oder Herbst eine lange Keimwurzel sehr rasch in das feuchtwarme Substrat hinabgesandt. Ein 1,5 mm großer Keim von *Sedum album* hatte innerhalb einer Woche eine Wurzel von 11,7 cm hinuntergetrieben; das ist das 78fache (!) seiner ursprünglichen Länge. Erst dann entsandte er ein 13 mm langes Stengelstück mit je einem mittel- und endständigen Blättertrieb. Die Annuellen verhalten sich nicht anders.

5. Osmotische Werte.

Bekanntlich verfügen die Xerophyten trockenheißer Standorte über sehr erhebliche Saugkräfte in ihren Blättern. Das vom Zellsaft angesaugte Wasser erzeugt einen Druck auf die Zellwand, der sich in Atmosphären messen läßt. Der Maximaldruck heißt „Osmotischer Wert".

Zu dessen Bestimmung erwies sich für unsere Arbeitsmöglichkeiten die von H. WALTER und O. WEISMANN 1935 angegebene kyroskopische Methode bestens geeignet. Sie besteht darin, daß der Zellsaft dem abgetöteten Blattgewebe durch Auspressen entzogen wird. Der Zellsaft ist eine wässerige Salzlösung, deren Konzentration mit zunehmender Trockenheit und Wasserverdunstung steigt. Solche Salzlösungen gefrieren erst unter Null Grad. Die Gefrierpunktserniedrigung ist um so größer, je höher der Zellsaft konzentriert

Untersuchte Xerophyten	nach 1 Woche anhaltender Trockenheit		nach 2 Wochen anhaltender Trockenheit		nach 3 Wochen anhaltender Trockenheit	
	Δt	OW	Δt	OW	Δt	OW
Sedum album	0,73	8,804	1,2	13,272	1,4	16,884
Potentilla arenaria	1,9	22,914	2,1	25,326	2,3	27,738
Helianthemum nummularium	2,1	25,326	2,5	30,150	2,7	32,562
Teucrium Chamaedrys	2,2	26,532	2,9	34,974	3,3	39,798
Teucrium montanum	2,6	31,356	3,1	37,386	3,5	42,210
Asperula glauca	3,0	36,18	3,6	43,416	4,1	49,446
Alyssum montanum	3,4	41,004	3,9	47,034	4,5	54,270

Osmotische Werte von Charakterarten der Felsvegetation am Jsteiner Klotz. Δt = Gefrierpunktserniedrigung des Zellsafts.

Litzelmann 57

Abb. 5

ist. Bezeichnet man die jeweils gemessene Gefrierpunktserniedrigung mit $\triangle t$, den Osmotischen Wert mit OW, so gilt die Gleichung

$$OW = 12{,}06 \cdot \triangle t \text{ (in Atm. gemessen).}$$

Wir sammelten an verschiedenen Stellen der Felsflur von jeweils 10 Pflanzenstöcken der in der Tabelle angegebenen Arten nur soviel beblätterte Sprosse, daß die Einzelpflanze keinen Schaden davontragen konnte. Das Material wurde in geschlossenen Plastikbeuteln nach Hause gebracht und dort im verschlossenen Gefäß durch heißen Wasserdampf innerhalb von 20 bis 30 Minuten abgetötet. Den so vorbehandelten Blättern kann im Braun-Multipreß-Gerät in ein bis zwei Minuten der Zellsaft so gut wie restlos entzogen werden. Dieser außerordentlich rasch und sicher arbeitende Apparat eignet sich gerade auch für solche Untersuchungen ganz ausgezeichnet. Die Menge des so erhaltenen Preßsaftes schwankt je nach Pflanzenart zwischen 2 und 5 cm^3.

In ein weites Reagenzglas wird Zellsaft eingefüllt und ein Thermometer mit Zehntelgradeinteilung darein gestellt, dessen unteres Ende von einer genügend weiten Öse an langem Griffdraht umgeben ist. Mittels dieser Rührvorrichtung wird eine Unterkühlung des Preßsaftes verhindert. Das ganze kommt in eine Kältemischung aus zerkleinertem Eis und Ammoniumnitrat. Unter ständigem Rühren kontrolliert man das Fallen der Quecksilbersäule, bis mit der Bildung von Eiskristallen die Rührbewegung gebremst wird und sofort die gesuchte kritische Temperatur abzulesen ist. Am besten wird der Versuch mehrmals hintereinander wiederholt.

Über die Meßresultate gibt die Tabelle Abb. 5 Auskunft.

Die hohen Salzkonzentrationen verleihen den Xerophyten auch die große Resistenzfähigkeit gegen Frosteinwirkungen; ganz abgesehen von den andern bekannten morphologischen Schutzeinrichtungen an den Sprossen (Sternhaare, Verholzung, dicke Cuticula, Verkleinerung der Blattoberfläche).

MOTHES hat (1932) gezeigt, daß Kalküberschuß ausgesprochene Xeromorphie bewirkt und daß Stickstoffmangel zur Erhöhung der Osmotischen Werte führt.

6. Wirkungen des Windes.

Der vorspringende Sporn wird das ganze Jahr hindurch von Luftströmungen umspült, vor Gewittern und zur Zeit der Äquinoktien von Stürmen umbraust. Absolute Windstille herrscht nur an ganz wenigen Tagen für zwei bis drei Stunden.

Vorherrschend sind die von SW aus der Burgundischen Pforte herüberwehenden Winde mit milder, ozeanischer Luft. Sie führen die Hauptmenge aller Niederschläge heran. Je nach der allgemeinen Großwetterlage wehen auch NW-Winde; sie bringen Abkühlung und kalten Regen. Selten pfeift der trockenkalte Nordwind; so im Frostfebruar 1956.

Der trockenheiße Sommerwind beschleunigt die Wasserverdunstung ungleich stärker als es die Wärme allein bei unbewegter Luft tut. Aber in wechselnder Höhe über dem Felsboden haben wir verschieden große Windstärke, daher ist auch deren Wirkung auf die Pflanzengestalten und auf ihre Lebensvorgänge ganz ungleich.

Dichte, flach ausgebreitete Blattrosetten, niedrige Rasen und Polsterformen von ± 5 cm Höhe bieten geringe Angriffsflächen für den Wind. Polster- oder Rosettenbildung ist daher auch die vorherrschende Wuchsform in der Felsvegetation *(Potentilla arenaria, Alyssum montanum, Helianthemum nummularium, Teucrium Chamaedrys* und *T. montanum;* die *Sedum*arten, niedrige Horstbüschel von *Carex humilis* und *Bromus erectus).*

Alle diese Blattpolster wirken abbremsend auf ankommende Luftströmungen und zerstreuen diese im Innern der Blattrosetten.

Wie gering die Luftströmungen in Bodennähe oder innerhalb einer niederen Blattrosette sein können, zeigt folgendes, von der Natur selbst, ohne Zutun des Menschen, vorgeführtes Experiment:

Die langen, feinbehaarten Grannen vom fruchtenden Federgras *(Stipa pennata,* Taf. VII, Fig. 7) werden zur Reifezeit mit der am unteren Ende sitzenden spitzen Caryopse verweht. Sie alle landen in Grashorsten oder in Blattpolstern, soweit sie vom Wind nicht über den Felsgrat hinausgeblasen werden. Nach einigen Tagen steckt die Grasfrucht tief in der Polsterbasis, die Granne ragt 20 bis 30 cm weit schräg heraus. Wie an der Mutterpflanze, so reagiert das äußerst nachgiebige Gebilde auch hier auf den leisesten Lufthauch. So liefert es einen trefflichen Indikator für bodennahe Luftströmungen. Noch genauer tun das die feinen, abstehenden Grannenhärchen. Nur muß man mit der Lupe beobachten, um deren Bewegungen noch erkennen zu können. Doch zwischen den Blattpolstern ist auch bei stärkeren äußeren Luftströmungen kein Zittern der Härchen zu beobachten, selbst wenn das Grannenende zum Schaukeln kommt.

Gleichgute Ergebnisse erhält man mit den in den Rosetten hängengebliebenen Fallschirmen der Früchte von *Carduus nutans, Cirsium lanceolatum* und *Epilobium Dodonaei.*

Diese feinsten Zeiger stellen eine von der Pflanze selbst aus eigenem Werkstoff erzeugte Apparatur dar. Sie arbeitet spielend leicht und äußerst empfindlich. Ihre Angaben erschienen uns deshalb überzeugender, als ein maschinelles Gerät sie uns hätte vermitteln können. Nur geben sie keine Auskunft über die Geschwindigkeit des Windes. Mit der fast völligen Niederbremsung von Luftströmungen verhindert der Polsterwuchs auch gleichzeitig den Abtransport der für die Assimilation so wichtigen CO_2. Das Kohlendioxyd wird zum größten Teil bei der Gärung von welken und abgestorbenen Blättern am Grunde der Rosetten gebildet (vgl. Abschn. 9). Höherwüchsige Pflanzen *(Centaurea maculosa* ssp. *Rhenana, Scrophularia canina, Stachys recta, Asperula glauca, Allium sphaerocephalum)* werden von Winden aller Stärken umspült. Aber vermöge der Sicherungsvorrichtungen in ihrem Bauplan bieten sie dem Wind auch wenig Angriffsflächen. Zudem verharren sie in der vegetativen, ernährungsbiologisch wichtigen Phase ihres Daseins im Niederwuchs und strecken sich erst zur Blüte- und Reifezeit nach der Höhe.

7. Wirkung des Lichts.

Die intensive Lichtfülle über dem gänzlich schattenlosen Sporn wirkt ebenfalls hemmend auf das Längenwachstum der Felsenpflanzen. So kann während der vielen wolkenlosen Tage zu allen Jahreszeiten die direkte Sonnenstrahlung ihre volle Wirkung an den geneigten Hängen ausüben. Wenn sie auch weit hinter jener des Alpenlichts mit gleichem Effekt zurückbleibt, so darf dieser wesentliche Faktor zur Hervorbringung der charakteristischen Pflanzengestalten auf der Felsflur nicht vernachläsigt werden. Im Grenzgürtel zu den Trockenbuschbeständen mit Halbschatten werden die gleichen Xerophyten hochwüchsig und in der Gesamttracht sehr stark verändert.

Das direkte Sonnenlicht ist auch Ursache für die große Leuchtkraft vieler Blumen. Gelb ist die weitaus vorherrschende Farbe. *(Potentilla arenaria, Alyssum montanum, Euphorbia Cyparissias, Sedum acre, Helianthemum nummularium.)* Das Gelb bestimmt völlig den Farbaspekt im Vor- und Vollfrühling (hellste Bienenfarbe!) und bleibt hervortretend bis in den Dezember hinein *(Alyssum montanum).*

8. Bau und Aufgabe der Wurzelsysteme.

a) Faserwurzeln besitzen *Carex humilis* und alle hier vorkommenden Gräser. Ebenso die beiden *Sedum*arten. Außer Spalten vermögen diese Pflanzen noch Nischen und Mulden mit Bodenkrume unter deckenden Moospolstern zu besiedeln. *Sedum album* als Pionierpflanze entsendet haarfeine Wurzeln in engste Ritzen. Sie treten auch adventiv aus Stengelgliedern, die unter Moosrasen dem Boden dicht anliegen, aus, und verlaufen alle einseitswendig nach der nächsten feinen Spalte (Taf. V, Fig. 4). Alle Gräser sind mit ihren Wurzelschöpfen außerordentlich fest im Substrat verankert.

Festuca glauca besiedelt Spalten von 3 bis 5 cm Breite; Länge des Wurzelschopfs 10 bis 15 cm.

Bromus erectus auf 10 bis 12 cm breiten Spalten entsendet seinen Wurzelschopf 25 cm tief hinab.

Carex humilis als Horst von 8 bis 10 bis 15 cm Umfang und einem Wurzelrasen bis 50 cm Umfang reicht damit 20 bis 25 cm tief hinab.

b) Die Pfahl- und Senkwurzeln. Eine Pfahlwurzel im üblichen Sinn des Wortes besitzt nur *Trinia glauca*. Für die Bodenorgane der anderen Spaltenbewohner möchten wir die Bezeichnung Senkwurzeln vorschlagen.

Verglichen mit dem Umfang der oberirdischen Rosetten und Polster erreichen die in die Tiefen der Spalten vordringenden Senkwurzeln — soweit diese überhaupt erfaßbar sind — ganz außerordentlich bedeutende Längen. Hierüber geben Text-Abb. 7 und die Taf. VII, Fig. 8 Auskunft. Diese Wurzeln können von der Ein- bis zur Fünfzahl ausgebildet sein. Den angegebenen Längenmaßen dürfen aber noch 15 bis 20 cm zugezählt werden, da die unverholzten Endabschnitte der Wurzeln beim Herauspräparieren aus den tiefsten Tiefen der Spalten vorzeitig abbrechen. Diese Arbeit ist überhaupt am mühsamsten und dauert oft viele Stunden, wenn völlig unbeschädigte Wurzeln ihrer ganzen Länge nach freigelegt werden sollen. Aus der Länge der herausgezogenen Senkwurzeln lassen sich indirekt noch solche Spaltentiefen ermitteln, die infolge ihrer räumlichen Beschaffenheit oder wegen horizontaler Versetzung der direkten Messung unzugänglich sind.

Stachys recta und *Asperula glauca* entsenden vom Wurzelhals aus zwei bis drei lange Senkwurzeln. Unter der Moosdecke kriechen diese horizontal weiter, bis sie Nachbarspalten erreichen und senken sich dort hinein. Damit wird eine große Versorgungsbasis geschaffen.

Bei *Teucrium montanum* wurde der höchst interessante Sonderfall einer räumlichen Trennung des Faser- und Senkwurzelsystems festgestellt (Abb. 6). Die Pflanze siedelte auf ebenem Felsensims dicht neben einem größeren Polster von *Syntrichia montana*.

Die beiden starken Senkwurzeln wachsen in einer 1 cm breiten Spalte in unzugängliche Tiefen hinab; sie konnten auch nur 12 cm weit verfolgt werden. Neben ihnen war weder Raum noch genügend Substrat für Faserwurzeln, die ja gerade bei dieser Art außerordentlich mächtig ausgebildet sind (vgl. Taf. VI, Fig. 5). Die Faserwurzeln werden gleich bei ihrem Ursprung am Wurzelhals seitlich an die Oberfläche hinaus verlegt. Dort kriechen sie unter dem Moospolster in eine schüsselförmige, handgroße und fugenlose Mulde, die mit Feinerde gefüllt ist. Sie verfilzen sich eng mit Moos und Erde, daß beides als zusammenhängende Platte sich abheben läßt. Dieser Befund lieferte den schlüssigen Beweis für die Richtigkeit unserer schon lange gehegten Vermutung, daß Faser- und Senkwurzeln zwei getrennt voneinander arbeitende Systeme darstellen. Jedes sucht von sich aus den Raum auf, der die Erfüllung seiner physiologischen Aufgaben am besten gewährleistet (Prinzip des räumlichen Wahlvermögens). Dies ist die äußerlich in Erscheinung tretende Sonderung. Welche innerlich ablaufenden Vorgänge sich hinter diesem Ordnungsprinzip als

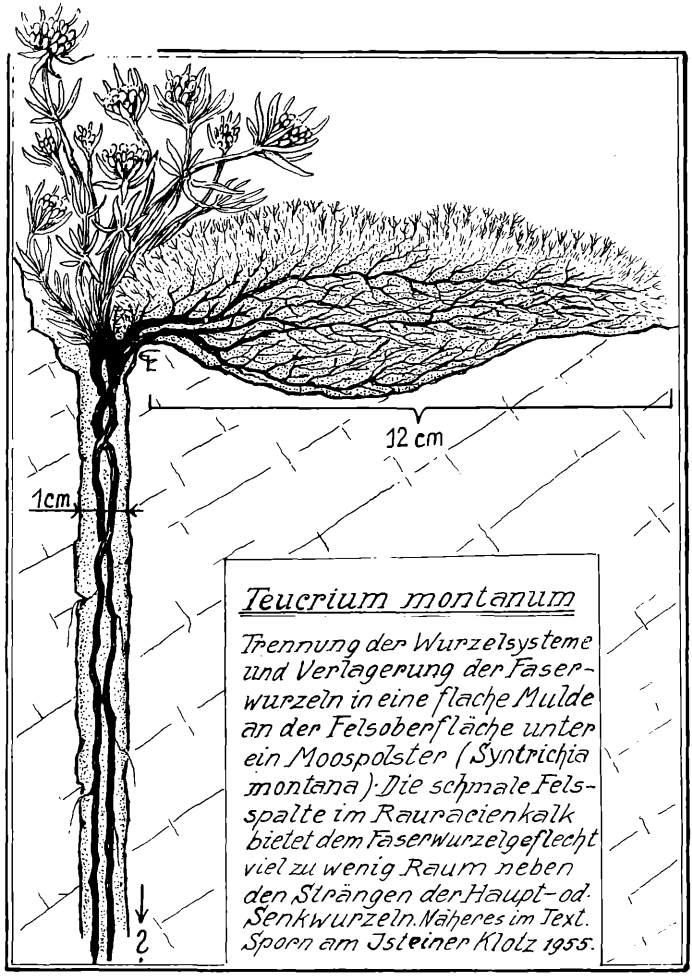


Abb. 6

Ursachen dafür verbergen, wissen wir freilich nicht. Sie liegen — wie so vieles andere auch — im Geheimnis des Lebens selbst begründet.

Dieser Sonderfall ergänzt auch unsere in den Abschn. 3 und 4 mitgeteilten Ergebnisse über die physiologische Bedeutung des Mikroklimas. Denn das Exemplar von *Teucrium montanum* (in Abb. 6 nur zum kleinen Teil dargestellt) hatte ein Alter von mindestens 7 Jahren. Es ist also während dieser ganzen Zeit allen nur möglichen außenbürtigen Klimazuständen unterworfen gewesen.

Welche physiologischen Leistungen mögen die abnorm langen Senkwurzeln wohl erfüllen?

Nach unseren Beobachtungen vermögen sie in Trocken- und Kälteperioden ihren oberflächennahen Abschnitt zu verkürzen. Durch die dabei entstehenden Kohäsionskräfte wird der Wurzelhals samt den ihn eng umschließenden Grund- und Niederblättern bis 2 cm tief in die schützende Spalte eingezogen. Dann werden die Rosetten — auch bei Jungpflanzen — derart fest hineingepreßt, daß sie ohne Totalschädigung weder zu lockern noch herauszuziehen sind. Dieses rechtzeitig und automatisch funktionierende mechanische System sichert neben den bereits gezeigten Regulatoren in noch erhöhtem Maße den Wasserhaushalt in der Spalte und schützt gegen Temperaturschädigungen.

Da die Senkwurzeln auf einige dm Länge sehr stark verholzt sind und auch fast keine Seitenwurzeln abgeben, kommen diese Abschnitte für die Aufnahme von wässerigen Nährlösungen offensichtlich gar nicht in Frage. Auf Strecken von 50 bis 70 cm Länge gleichen sie 1,5 bis 3 mm dicken Drähten. Dann verjüngen sie sich ganz allmählich auf Zwirnsfadenstärke und ihre gerade noch erreichbaren Endabschnitte in Tiefen zwischen 0,8 m bis 1,3 m sehen wie heller, dünner Nähfaden aus. Erst von da an hört die Verholzung der Wurzelrinde auf. Deshalb reißt beim Herausziehen die Verbindung an solchen Übergangsstellen stets ab. Doch in parallel zur Hangneigung verlaufenden Spalten, die von oben her in ganzer Reichweite eröffnet werden konnten, haben wir die darin liegenden Senkwurzeln manchmal in ganzer Länge, also mit den unverholzten Endabschnitten, freilegen können. Deren durchschnittliche Länge beträgt 15 bis 20 cm. Wie schon erwähnt, muß dieser Betrag zur Länge von abgerissenen Senkwurzeln addiert werden.

Die Vermutung, daß diese Senkwurzeln Speicherorgane für Nährstoffe analog den Rhizomen sein könnten, lag nahe. Auskunft darüber mußte die mikroskopische Untersuchung geben.

Eine starke Senkwurzel von *Potentilla arenaria* wurde vom Wurzelhals nach unten in aufeinanderfolgende, je 5 cm lange Stücke zerteilt. Jeweils 1 cm davon wurde mittels einer in einem Halter befestigten Rasierklinge in möglichst feine Längsschnitte zerlegt und diese in der üblichen Weise mit Jod - Jodkalium behandelt. Folgendes zeigte sich:

Auf 4 bis 5 cm Länge unterhalb vom Wurzelhals sind zwischen sehr starken Sklerenchymbündeln Stärkekörner in zerstreuten Klümpchen eingebettet. Weiter abwärts nimmt der Stärkegehalt rasch zu. Von 12 cm Tiefe an sind die Zellen neben dem Leitungssystem gepfropft voller Stärkekörner. Schon makroskopisch hebt sich an gefärbten Längsschnitten das typische Schwarzviolett in zwei parallel zum Zentralzylinder verlaufenden Streifen ab. Diese lassen sich bis zwischen 60 und 70 cm Tiefe verfolgen. Dann nimmt der Stärkegehalt ab und verschwindet schließlich im unverholzten Endabschnitt. So bleibt es während der winterlichen oder einer durch Dürre erzwungenen Vegetationsruhe.

In der ersten Märzhälfte 1956 wurde der Mesocormus von *Potentilla arenaria* am oberen Ende der Senkwurzel mit Fehling'scher Lösung auf Traubenzucker geprüft. Die Reaktion erfolgte sofort positiv. Am Boden des Reagenzglases sammelten sich ca. 3 mm³ rotes Cu_2O als Niederschlag an. Daraus ergibt sich:

Zu Beginn der neuen Vegetationsperiode wird in den obersten, sproßnahen Wurzelabschnitten die Reservestärke mobilisiert, in Traubenzucker umgewandelt und dieser als Energiespender zunächst zum Austreiben der Blütensprosse verwendet. Denn zuerst erscheinen immer die Blüten. Diese müssen also aus den Senkwurzeln ein sehr erhebliches Maß an biochemischer Energie zugeführt erhalten; ein Betrag, den sie sonst nirgendwoher beziehen könnten. Denn das assimilierende Blattpolster erscheint erst einige Tage bis eine Woche später. Dann aber nimmt es rasch zu und erreicht nach einem Monat eine doppelt so große Fläche wie der vorherige Blütenteppich.

So wird es verständlich, weshalb gerade *Potentilla arenaria* als erster Vorfrühlingsblüher in der Felsflur erscheint.

Wenig später folgt ihm *Alyssum montanum,* das aber auch in perennierenden Blattsprossen Stärke enthält und über den Winter auch weiterbildet.

Die gebildete Wurzelstärke wird auch für Zeiten extremer und langanhaltender Sommerdürre in Bereitschaft gehalten. Wohl mag es dann, wie in den Jahren 1947 und 1949, so erscheinen, als seien die Xerophyten in der Felsflur erstorben. Das sind sie aber keineswegs. Nur die oberflächlich ausgebreiteten Vegetationsorgane können dann verdorrt sein. Doch die grundständigen, zähen Blättchen und Nebenblättchen haben sich dann gleich braunen Zwiebelschalen sehr eng und äußerst fest um den in die Spalte eingezogenen Vegetationskopf gelegt und verhindern dessen Austrocknung. Gleiches gilt für winterliche trockene Frostperioden.

Wenn nach einigen Dürrewochen wieder Tage mit Niederschlägen folgen, so hebt in den Senkwurzeln derselbe physiologische Vorgang wie im Frühling erneut an. Ja, im Herbst und bis Ende Dezember milder Winter können besonders *Alyssum montanum* und (spärlich) *Potentilla arenaria* ein zweites Mal zum Blühen kommen.

Alle am Isteiner Klotz vertretenen Elemente des Mediterranen Florenreichs verharren während normaler, nicht zu kalter Winter in der Assimilationstätigkeit. An diesem physiologischen Verhalten vermag man die Südeuropäer unter den andern Komponenten der Felsvegetation zu erkennen.

c) Sonderfälle im Verlauf des Senkwurzelsystems. Abweichungen von der normalen, senkrechten Wachstumstendenz wurden mehrfach beobachtet. Sie können dadurch bedingt sein, daß eine senkrecht nach der Tiefe verlaufende Spalte auf eine solide Kalkbank stößt, die ihrerseits wieder die Basis einer querenden, parallel zum Hang streichenden Kluft bildet. Dann vermag die Wurzel hangaufwärts, ja sogar wieder in Richtung der Oberfläche zu wachsen und zeigt so die Erscheinung des „Negativen Geotropismus".

Es kann aber auch eine physiologische Ursache dafür verantwortlich gemacht werden. Eine solche wurde beim abnormen Wurzelverlauf eines *Allysum montanum* von 42 cm Sproßumfang offenbar. Fig. 7 erspart unnötige

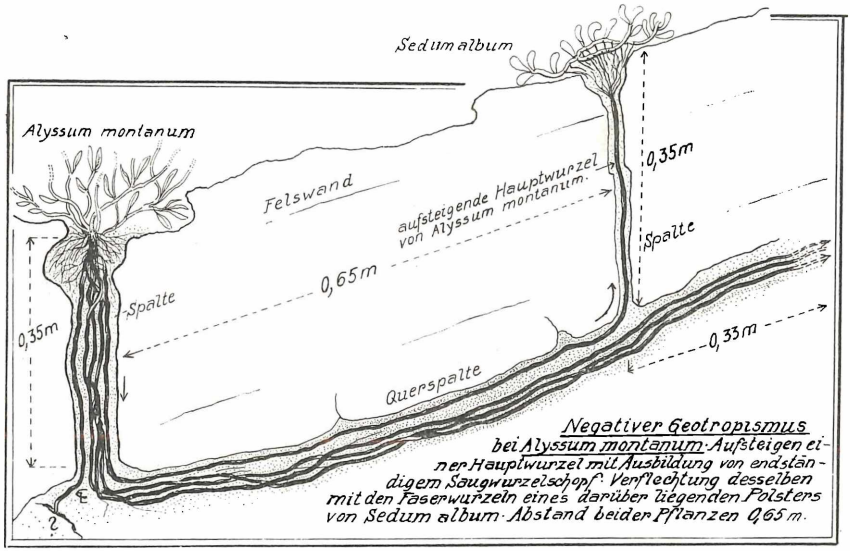


Abb. 7

Einzelheiten der Beschreibung. Die Querspalte verläuft unter 15° Neigung hangaufwärts. Nach 65 cm Länge öffnet sich eine senkrecht nach oben verlaufende, 4 cm breite Spalte, deren obere Öffnung durch ein starkes Polster von *Sedum album* verschlossen wird. Die Querspalte setzt sich noch 98 cm weiter fort (in der Figur sind aus Raummangel nur 33 cm gezeichnet) und verliert sich dann in ± 2 mm breiten Ritzen. Das *Alyssum* in der linken Spalte hat ein dichtes Geflecht von Faserwurzeln bis in 20 cm Tiefe entwickelt. Weiter sendet es fünf 2 bis 3 mm starke, verholzte Senkwurzeln hinab. Deren stärkste verschwindet in einer 2 mm breiten Fuge am Boden der Querspalte und kann nicht weiter verfolgt werden. Drei der andern vier Wurzelstränge kriechen der Querspalte entlang und tauchen an deren Ende in den dortigen Ritzen unter. Bis dahin beträgt die Gesamtlänge dieser drei Senkwurzeln 60 + 98 cm = 158 cm (!). Das ist die größte Länge, die wir bei Senkwurzeln aller untersuchten Xerophyten überhaupt nachweisen konnten. Ihre absolute Größe vermochten wir leider nicht mehr festzustellen, da eine Lockerung des Felsbodens ganz unmöglich war.

Die vierte Senkwurzel biegt plötzlich in die rechts herabkommende Spalte ein und steigt durch die Feinerde senkrecht gegen die Oberfläche zum *Sedum album* empor. Sobald sie dessen Faserwurzelschopf erreicht hat, sprossen aus ihrem fadendünnen, unverholzten Endabschnitt eine Menge fein verästelter Saugwurzeln hervor. Diese verflechten sich mit jenen vom *Sedum* zu einem dichten Gespinstknäuel. In jenem Spaltenbezirk wies die Feinerde einen Wassergehalt von 45 % auf.

Zum ersten Male zeigte sich hier, daß die unverholzten äußersten Endabschnitte der Senkwurzeln sich wieder zu Saugwurzeln umwandeln können.

Hier drängen sich eine Reihe von Fragen auf:

Erstens: Weshalb ändert nur eine der vier Wurzeln ihre Wachstumsrichtung im Sinne des Negativen Geotropismus? Die drei andern Wurzeln hätten ja in der querenden Spalte genügend Platz mit reichlich Feinerde gehabt.

Zweitens: Auf welchen Reiz hin reagiert diese eine Wurzel bei ihrem offensichtlich doch sehr zielsicheren **Wachstumsverlauf?**

Drittens: War der hohe Gehalt an wässeriger Nährlösung in der oberen Spaltenfüllung alleiniges „Lockmittel", um in Konkurrenz mit dem Faserwurzelsystem von *Sedum album* zu treten? Zuerst waren wir versucht, uns dieser wohl nächstliegenden Annahme zuzuneigen. Doch eine genauere Untersuchung des Wurzelballens ließ starke Bedenken dagegen aufkommen. Es zeigte sich nämlich mit aller Deutlichkeit, daß Faserwurzeln beider Pflanzenarten stets büschelweise eng miteinander verflochten waren und daß dazwischen wurzelfreie Feinerde lag. Sollte es sich hier gar nicht um einen Konkurrenzvorgang handeln? Oder offenbarte sich in diesem seltsamen Verhalten der Saugwurzeln möglicherweise das Phänomen einer gegenseitigen Förderungsgemeinschaft im Dasein der Felsspaltenflora? Dann würden ja Bindungen, die auf solch große gegenseitige Distanzen noch als wirksam bestehen, dynamischen Charakter in sich bergen müssen.

Heute sind wir allerdings davon überzeugt, daß wir diese Möglichkeit voll bejahen dürfen.

Denn in den Sommern 1955 und 1956 konnten wir ähnliches oder gleiches Verhalten bei den Wurzelsystemen von anderen Arten feststellen. So zwischen *Potentilla arenaria, Stachys recta* und *Teucrium montanum* einerseits und mit *Sedum album* andererseits.

Aber von besonderem Interesse erschien die Beziehung der Wurzeln zwischen *Trinia glauca* und *Potentilla arenaria*. Es gehört dies zum Verblüffendsten, was die Vegetation der Felsflur an biologischen Zusammenhängen uns geboten hat (vgl. hierzu Taf. VI, Fig. 6).

Jede Pflanze besiedelte eine Spalte für sich; beide waren durch ein kompaktes Felsensims 33 cm voneinander getrennt. Der Zwischenraum in ganzer Länge

war von einem 4 cm dicken Moospolster bedeckt. Dieses umschloß auch die Basis von *Trinia* völlig, jene von *Potentila* mehr als zur Hälfte. *Trinia* hatte eine 20 cm lange, oben 12 mm dicke Pfahlwurzel in seine fingerbreite Spalte getrieben. Unmittelbar am herausragenden Wurzelhals zweigte eine zweite, 0,8 cm dicke Pfahlwurzel ab. Diese verlief ohne Seitenwurzeln erst einfach, dann gegabelt waagrecht unter der Moosdecke, dem Felsboden anliegend, und schnurgerade zur Potentilla hinüber. Beide Gabeläste, eng aneinanderliegend, erreichten den Mesocarpus des Fingerkrauts. Inzwischen hatten sie sich auf 2 mm ⌀ verjüngt. Sie drangen unmittelbar neben der Senkwurzel von *Potentilla* in die dort 3 mm breite Spalte ein, obgleich rechts und links davon noch 5 cm Raum gewesen wäre. Die drei miteinander vereinigten Wurzeln waren so eng und fest aneinander geschmiegt, als bildeten sie eine Einheit.

Die seitwärts abgehende Pfahlwurzel von *Trinia* hatte also ganz offensichtlich den Standort der *Potentilla* aufgesucht. Ohne die geringste Richtungsänderung, ohne tastende Orientierungsversuche hatte sie die 33 cm entfernte Nachbarpflanze zielsicher gefunden. Wie tief die aufgesuchte, schmale Spalte war, kann nicht gesagt werden. Auch ließen sich die darin fest verankerten Wurzeln absolut nicht herausziehen.

Wir kommen später bei der Untersuchung über die Ursachen vom Zustandekommen des Gesellschaftsgefüges mit dessen ökologischem Verhalten auf diese letzten beiden Befunde zurück.

Ein *Teucrium montanum* bot durch seinen völlig abnormen Wurzelverlauf ein weiteres erregendes Moment für das Studium vom Gang des Lebens in der Felsflur. In seiner Eigenart stellt es wohl eine singuläre Erscheinung überhaupt dar. Unseres Wissens ist sie bisher auch weder beobachtet noch beschrieben worden und zwar einfach deshalb, weil die auslösenden Faktoren zu dieser Verhaltensweise anderenorts eben fehlten.

Schon bei den ersten floristischen Bestandesaufnahmen auf dem Sporn (zwischen 1946 und 1948) zeigte es sich, daß *Teucrium montanum* in Anzahl besonders die parallel verlaufenden, ca. 2 cm breiten Spalten nahe der Südostkante bevorzugte. Im Vorfrühling 1949 erfolgte dort die letzte große Sprengung. Wie schon erwähnt, sind dadurch die Dehnungskräfte in bereits bestehenden Klüften neu belebt worden. Jetzt, da diese ihres Widerlagers beraubt wurden, erweiterten sie sich innerhalb der folgenden Jahre allmählich immer mehr. Sechs Jahre später waren die Wände einer solchen ehemals von *Teucrium montanum* besiedelt gewesenen Spalte um 28 cm seitlich auseinander gewichen. Jetzt war ein keilförmiger Riß entstanden, der sich hangauf rasch verschmälerte und abwärts auseinander klaffte. Seine Tiefe betrug 2,65 m; Pflanzenwuchs fehlte sowohl an den rissigen Wänden als im dunkeln Grunde. Auf der zerklüfteten Oberkante der linken Felswand wuchs ein handgroßes Exemplar von *Teucrium montanum.* Zwölf cm darunter war ein ca. 10 cm breites und 5 bis 7 cm dickes Moosband gleich einer Schwebebrücke von einer Spaltenwand zur Gegenseite gespannt. Darunter gähnte die dunkle Leere.

Nach vorsichtiger Abhebung dieses doch ganz unnatürlich gewachsenen Moosbandes erschienen darunter — gleich tragenden, gespannten Seilen — drei parallel verlaufende, eng aneinander liegende Wurzelstränge von 3 mm Dicke (Abb. 8). Sie kamen aus einer schmalen Felsritze unterhalb vom *Teucrium* heraus und verschwanden nach Überquerung des Luftraumes in Fugen der gegenüberliegenden Wand unter einem herabhängenden Vorhang von *Sedum album.* Darin waren sie derart fest verankert, daß eine Loslösung wieder einmal — wie so oft — vergeblich war. Die *Teucrium*pflanze war aber noch mittels einer vierten, sehr starken Senkwurzel, ganz fest in einer von der Spaltenwand schräg in den Fels verlaufenden Fuge verankert.

Nun widerspricht es ja aller Erfahrung, daß Senkwurzeln von sich aus einen trockenen Luftraum in solcher Breite überbrücken, um erst

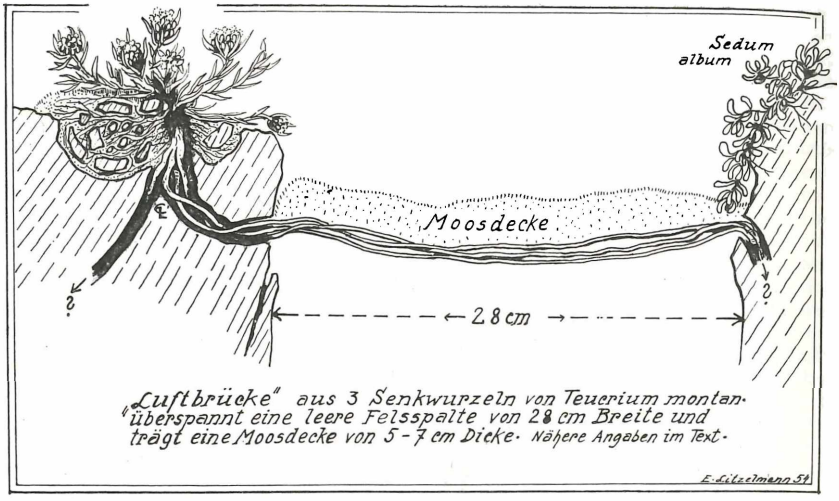


Abb. 8

drüben an der anderen Wand etwa dort befindliche Spalten aufzusuchen. Welche Deutung mußte diesem seltsamen Phänomen zugebilligt werden? Denn ein solches war es ohne allen Zweifel. Folgende Denkmöglichkeit erschien berechtigt:

Vor der Sprengung im Frühling 1949 hatte dieses *Teucrium* drei seiner vier Senkwurzeln in eine Ritze der rechten, ursprünglichen Spaltenwand versenkt gehabt. Nachdem die benachbarte Südostwand des Klotzen abgesprengt worden war, ist diese vorher 2 cm breit gewesene Spalte innnerhalb von sechs Jahren langsam und stetig auf 28 cm Distanz auseinander gewichen. Ihre rechte, abrückende Wand behielt dabei die drei in ihr festhaftenden Senkwurzelstränge bei und nahm sie mit sich, ohne daß diese dabei zerrissen wurden. Man darf wohl annehmen, daß gleich zu Beginn des Vorgangs ein energisches Streckenwachstum im Wurzelgewebe eingesetzt hat.

Trotzdem bleibt es erstaunlich, daß die Wurzelstränge die an sie gestellte große Zugkraft nicht nur schadlos ausgehalten, sondern ihr auch vermöge des dehnbaren Festigungsgewebes elastisch nachgegeben haben.

Sofort erhob sich die Frage: Wie groß ist die Zerreißfestigkeit der Wurzeln, d. h. welche Zugkraft muß aufgewendet werden, um das Zerreißen herbeizuführen?

Abb. 9 stellt die zur Prüfung erdachte Versuchsanordnung dar. Eine der drei langen Wurzeln wurde abgeschnitten und in einem durchfeuchteten Tuch im Cellophanbeutel nach Hause gebracht. (Alle Wurzeln trocknen an der Luft sehr rasch aus und werden brüchig.)

An einer Aufhängevorrichtung wurde der Anfangsteil der Wurzel zwischen die mit Zellstoffwatte belegten Backen einer Klammer fest eingespannt. Die herabhängende Wurzel wurde um den mit Watte belegten Hals eines großen, 30 l fassenden Kanisters von 1,750 kg Leergewicht gewickelt. Darüber lag wieder eine dünne Watteschicht, und schließlich wurde das Ganze sehr fest mit Leukoplast verklebt. So war jede mechanische Schädigung der Wurzel durch Metallränder ausgeschlossen. Vom Handgriff des Kanisters führte ein Klaviersaiten-

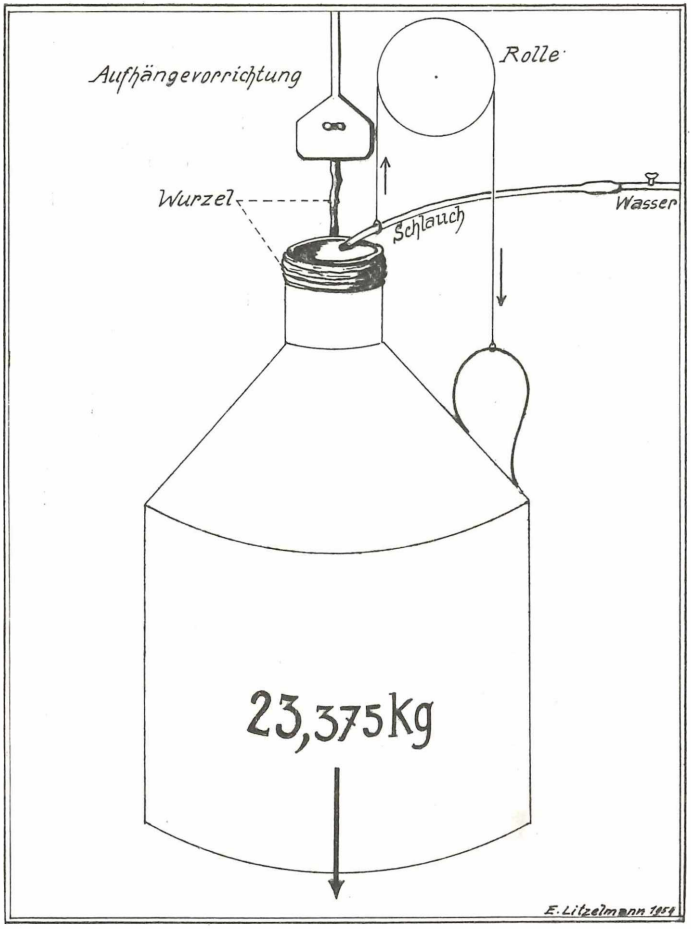


Abb. 9 Messung der Zerreißfestigkeit einer Senkwurzel von Teucrium nontanum

draht nach oben über eine Rolle und wieder hinab zu einem an die Wasserleitung angeschlossenen Gummischlauch. Dessen Mündung über der Halsöffnung des Kanisters lag in dem Schlingenende des herabhängenden Drahtes. Die Apparatur war so angebracht, daß der Kanisterboden sich 20 cm über dem Experimentiertisch befand.

Sodann wurde das Wasser in sanftem Strom solange in den Kanister geleitet, bis die kritische Größe der Zugkraft erreicht war und das freie Wurzelstück zerriß. In derselben Sekunde, da der Kanister fällt, wird durch die emporschnellende Drahtschlinge der Schlauch vom Kanistermund weggezerrt, weiterer Wasserzufluß momentan abgeschaltet und so eine nachträgliche Vergrößerung

des Zuggewichts verhindert. Der einfache Apparat arbeitet höchst zuverlässig und einwandfrei.

Die eingelaufene Wassermenge betrug 21,525 l = 21,525 kg. Zusammen mit dem Leergewicht des Kanisters ergab sich demnach eine Zerreißkraft von 23,275 kg auf die Wurzel von 3 mm ϕ.

Am Klotzensporn wird freilich die Zugkraft der abrückenden Spaltenwand auf die Wurzeln erheblich größer gewesen sein und auch ungleich länger eingewirkt haben. Dabei darf aber nicht übersehen werden, daß draußen die wirkende Kraft sich auf drei gleichstarke, in parallel verlaufendem Verband angeordnete Wurzelstränge verteilen mußte.

Jedenfalls hat diese einzigartige „Brücke" die Belastung während sechs Jahren ununterbrochen ausgehalten. Während dieser langen Zeit war sie in Sommern und Wintern ständigen Temperaturwechseln ausgesetzt gewesen; gewiß eine höchst beachtliche Leistung des pflanzlichen Festigungsgewebes. Zweifellos hat die allmählich darüber aufgebaute Moosschicht viel zur Feuchthaltung und zum Ausgleich von Temperaturextremen beigetragen. Aber unterhalb der Moosdecke lagen die Wurzeln völlig frei.

Wundern wir uns noch, wenn die Xerophyten in der Felsflur jedem Versuch, sie aus engen Spalten herauszuziehen, beharrlichen und erfolgreichen Widerstand entgegensetzen? Andererseits wird es aber auch verständlich, weshalb es uns beim vorsichtigen Arbeiten in den etwas breiteren Spalten im Lauf einiger Stunden gelungen ist, Senkwurzeln von den angegebenen Längen herauszupräparieren.

9. Beobachtungen zum Assimilationsvorgang.

Hier interessierte uns besonders die Frage nach dem Bezug der Kohlensäure für die Photosynthese. Den Xerophyten auf dem windumspülten Felssporn steht außer der atmosphärischen noch eine zusätzliche CO_2Quelle zur Verfügung. Diese wird gespeist von den in Gärung befindlichen welken und halbverwelkten Blättern, die in Menge unter der grünen Blattrosette liegen.

Es gibt Sommer, in denen Regen- mit Sonnentagen rhythmisch wechseln. Oder es regnet den Vormittag über, und am Nachmittag brennt die Sonne herab. Dann geht die vergilbte, bodenbedeckende Blätterlage in Gärung über. Dabei wird außer Wärme viel CO_2 erzeugt, das dem grünen Blattpolster gleich zur Photosynthese verfügbar ist. So vermag diese bei dem feuchtwarmen Mikroklima und bei der Anwesenheit von reichlich Wasser in der oberen Spaltenschicht mit dem Saugwurzelsystem darin im Optimum zu arbeiten.

Im Sommer 1954 registrierten wir nach feuchtwarmen Tagen am wolkenlosen 21. Juli eine Lufttemperatur von + 31,5°; anderthalb Zentimeter unter den Blattrosetten von *Potentilla arenaria* eine Bodentemperatur von + 68,2°. Unter das Blattpolster der *Potentilla* (im Schatten eines Felsriegels) wurde um 17.30 Uhr ein Uhrschälchen mit Barytwasser geschoben. Darüber kam eine Glasglocke, deren am Boden aufsitzender Rand mit Erde abgedichtet wurde. Schon 15 sec. darauf zeigte sich die erste Trübung und 3 Min. später stand eine milchige Flüssigkeit im Schälchen. Derselbe Versuch, aber ohne Glasglocke, wurde 5 cm über dem Boden an der Oberfläche des Blattpolsters wiederholt. Nach 2 Min. zeigte sich schon erhebliche Trübung, desgleichen im Blattwerk von Alyssum montanum.

In solch feuchtwarmen Klimaperioden mit starker CO_2-Produktion und lebhafter Assimilationstätigkeit wachsen die Xerophyten rasch und üppig. Dann gleichen sie das Manko aus dürftigen Zeiten nicht nur aus, sondern es wird dieses durch erhöhte Produktion von Kohlehydraten überkompensiert und die gebildete Reservestärke in die Speicherbehälter in den langen Senkwurzeln verlagert.

Infolge der nachgewiesenermaßen sehr geringen Luftströmungen im Innern der Rosettenflächen wird das gebildete Kohlendioxyd nicht fortgeblasen. Es umspült als „Kohlensäurewirbel (Hans THOENELT 1955, mündliche Mitteilung) die assimilierenden Sproßorgane.

Die deckende Schicht aus braunen, gärenden Blättern um den Sproßkegel besitzt im Vorfrühling sowie nach späteren milden Regen und der sich dabei entwickelnden Wärme die Beschaffenheit von Komposterde.

Die Spaltenflora hat sich ihr eigenes, natürliches Frühbeet geschaffen.

Die Frage nach dem Atmungsvorgang in großen Tiefen bei den unverholzten Endabschnitten der Senkwurzeln wird uns natürlich auch nahe gelegt. Wir können sie aber nur so beantworten: Wir wissen nichts darüber, weil jene Bezirke dem experimentellen Zugriff an Ort und Stelle entzogen sind und es wohl auch so bleiben werden!

10. Kälteresistenz.

Alle Xerophyten haben den Frostfebruar 1956 schadlos überstanden; die Gründe dafür sind schon ausgeführt worden. Auffallend war nur, daß auch *Sedum album* und sogar *Himantoglossum hircinum* keine Frostschäden davongetragen haben. *Himantoglossum* steht zwar nicht in der extremen Felsflur, sondern aufwärts davon auf einem waagrecht verlaufenden Felsband, neben der abgesprengten nördlichen Spornwand zwischen reichlich *Bromus erectus*. In der ersten Märzwoche fanden wir dort 24 Exemplare. Alle im vorigen Sommer bis Herbst ausgebildeten Grundblätter waren wohl erhalten und ohne Frostspuren. Sie steckten tief verborgen in trockenen und deckenden Grashorsten, von denen sie gleich einem Mantel mit Luftisolierung umgeben und so vor allem gegen Windwirkung geschützt waren. Dies konnte aber für die weichhäutigen und breiten Blätter ohne Haarkleid oder derbe Cuticula ein zwar notwendiger, aber unmöglich ein hinreichender Schutz gegen Frosteinwirkung sein. Es mußte wohl eine noch wirksamere Temperatursicherung existieren und diese konnte nur im Zellinhalt zu suchen sein.

Ein vorjähriges grünes Blatt wurde der Fehlingschen Probe auf Traubenzucker unterworfen. Die Reaktion erfolgte schlagartig und so intensiv, daß am Boden des Reagenzglases sich 0,8 cm^3 Cu_2O als Niederschlag ansammelten. Ein derartig hoher Zuckerspiegel im Zellsaft bewirkt ja bekanntlich auch eine starke Gefrierpunktserniedrigung und wirkt so in der Pflanze als Frostschutz. Die Zuckerlösung — zusammen mit dem großen Gehalt an Schleimsubstanz in den Blättern — haben die mediterrane Orchidee über die Frostperiode hinweggerettet.

Stutzig machte nur die erhaltene unverhältnismäßig große Menge an reduziertem Cu_2O aus einem einzigen Blatt. Sollte noch ein anderer Reduktor im Zellsaft enthalten sein? Es konnte an Ascorbinsäure, d. h. Vitamin C, gedacht werden. Seit den Untersuchungen von SZENT-GYÖRGYI ist sie ja als wichtiges Prinzip bei den Oxy-Reduktionsvorgängen im pflanzlichen Gewebe erkannt worden.

Zwei nachträglich geholte Blätter von Himantoglossum wurden auf freundlichen Rat von Prof. Dr. T. REICHSTEIN, Basel (dem wir hiermit ganz besonderen Dank aussprechen!), in einer Lörracher Apotheke auf einen evtl. Gehalt an Ascorbinsäure untersucht. Mittels des Indicators Dichlorphenolindophenol konnten wir Ascorbinsäure an der lebhaften Rosafärbung wenigstens qualitativ nachweisen. Nach einer einwöchigen Kälteperiode im Februar des folgenden Jahres wurde die quantitative Bestimmung des Gehalts an Ascorbinsäure und Traubenzucker unter freundlichster Leitung von Herrn Apotheker K. SYRE in Lörrach durchgeführt. Durch Titrieren mittels Dichlorphenol—Indophenol ergaben sich 0,8 mg % an Ascorbinsäure.

Der Gehalt an Traubenzucker wurde mittels Polarimeter zu 0,86 %; durch Vergären von Hefe im Blattabsud zu 0,82 % bestimmt. Eine Lösung beider Substanzen in diesem prozentualen Verhältnis kam in eine Kältemischung aus Eis und Ammoniumnitrat. Bei einer erreichten Außentemperatur von —18° erreichte das Lösungsgemisch selbst als tiefsten Wert + 0,5°. *Himantoglossum* besitzt also auch ohne xeromorphe Struktur ein vorzüglich wirkendes biochemisches Sicherungssystem gegen das Erfrieren.

11. Die Spaltenvegetation als Lebensgemeinschaft.

In den zehn Jahren unserer Untersuchungen sind wir dazu geführt worden, die Vegetation der Felsflur noch von höherem Gesichtspunkt aus zu schauen.

Es genügt uns nicht, die Gestalten ihrer Individuen allein aus deren unlöslichen Bindung an die höchst eigenartigen, standörtlich gegebenen Daseinsbedingungen zu verstehen. Auch vermögen die bisher geschilderten Abläufe ihrer Lebenstätigkeit in ursächlicher Verknüpfung an chemisch-physikalische Vorgänge außerhalb und innerhalb der Gewächse noch nicht zu einer Einsicht in das *Besondere* dieser Felsflurgesellschaft *als Ganzes* zu führen.

Es erhebt sich die Frage: Wie mag diese Pflanzengemeinschaft auf dem Sporn, die mit höchst spezialisierter Eigengesetzlichkeit gleich einer fremdartigen Insel aus dem grünen Meer der Tieflandvegetation aufragt, sich wohl zusammengefunden haben? Und ebenso: Wieso hat sich dieser isolierte Bestand in seiner Zusammensetzung aus relativ wenigen, aber ganz bestimmten Pflanzenarten, während langer Zeiträume hindurch bis in die jüngste Gegenwart hinein, unverändert erhalten können? (abgesehen von Eingriffen des Menschen im letzten halben Jahrhundert). Die Möglichkeit zum wechselseitigen Austausch ihrer Gewächse mit solchen aus unmittelbar benachbarten Vegetationsräumen bleibt dieser Felsflurgenossenschaft mit ganz wenig Ausnahmen versagt. Zwar befördert der Wind alljährlich große Mengen von Flugfrüchten und Samen hinauf und hinunter. Doch speziell hier oben geht es auch wieder zu wie im Gleichnis vom Sämann (das seine — auch biologisch gesehene — Gültigkeit über die Jahrtausende hinweg bewahrt hat, weil es einer tiefen Einsicht des Herrn in eine der fundamentalsten Lebensgesetzlichkeiten entnommen ist). So findet auch hier unter den vielen, in weiter Streuung anfliegenden Samen eine Auslese dahin statt, ob sie in dem ihnen von Natur aus fremdartigen Lebensraum überhaupt keimen und fortbestehen können, oder ganz zugrunde gehen müssen.

Bekanntlich wirken zunächst edaphisch und klimatisch gegebene Faktoren dabei mit.

Daß aber die Komponenten der Felsflur unter sich selbst, sowie die Gemeinschaft als Ganzheit auf ihrem zugewiesenen Raum sich noch viel energischer an diesem Ausleseprozeß beteiligen, zeigt die Pflanzengesellschaft des Sporns aufs allerdeutlichste.

Seit Jahrtausenden hat diese Bevölkerung sich mit ihren biologischen Wechselwirkungen aufeinander eingespielt. So kam es dazu, daß die Felsflurgesellschaft auf dem Klotz gerade diese ihre ureigenste Sonderausprägung erhielt. Sie hat sie beibehalten und ist bis heute keinem Wandel darin unterworfen worden. Bis heute! Denn seit 1950, also seit der Zeit nach den letzten Sprengungen, zeigt die Vegetation auf dem Sporn deutliche Zeichen einer zunehmenden Verarmung. Die Stückzahl der Charakterarten wird von Jahr zu Jahr geringer. Einige Arten sind schon gänzlich verschwunden, andere eben im Aussterben begriffen. Das Verhältnis von Vegetationsfläche zum Gesamtvolumen der in ihr lebenden Pflanzen nach Arten = und Stückzahl verschiebt sich zu Ungunsten der Gesellschaftsgröße. Der ehedem ausreichend gegebene Raum ist sehr stark verkleinert worden. Es ist ja eine Erfahrungstatsache, daß zur gedeihlichen Erhaltung einer spezifischen Artengesellschaft auf isoliertem Lebensraum

mit bestimmten, von einander getrennten Siedlungsmöglichkeiten (hier Felsspalten), eine auch hinreichende Größe der Gesellschaft auf der Gesamtfläche notwendig ist. Oder anders ausgedrückt: eine solche Gesellschaft muß auf ihrem gegebenen, isolierten Raum über eine hinreichend große Zahl von verschiedenen Arten verfügen, die in ihren biologischen Wechselwirkungen aufeinander angewiesen sind. Jede Art muß ihrerseits wieder mit einer bestimmten Mindestzahl von Individuen darin vertreten sein, damit der Gesamtbestand existenzfähig bleibt.

Denn in der Felsflur lebt keine Art für sich allein. Eine jede ist auf Gedeih und Verderb auf die Gemeinschaft mit anderen, untereinander verträglichen Arten, angewiesen.

Es ist eine weitere Erfahrungstatsache, daß in einer isolierten Xerophytenvegetation reine Massenbestände aus ein und derselben Art gar nicht oder nur höchst selten auftreten. Und wenn es doch einmal der Fall sein sollte, so doch nur ganz vorübergehend. Nach einem, spätestens nach zwei Jahren, ist die Gesellschaft wieder auf den status quo ante reduziert. So ist auch die lückige Vegetation auf dem Klotzensporn zusammengesetzt aus vielen kleinen Assoziationen, die von 2 — 3 — 5 untereinander verträglichen Arten gemischt erscheinen.

Kleingesellschaften.

Es vertragen sich gegenseitig in nächster Nachbarschaft

Alyssum montanum	mit	*Potentilla arenaria* *Asperula glauca* *Silene nutans* *Euphorbia cyparissias* *Teucrium Chamaedrys*
Asperula glauca	mit	*Teucrium Chamaedrys* *Potentilla arenaria* *Stachys recta*
Festuca glauca	mit	*Tunica prolifera*
Helianthemum nummularium	mit	*Potentilla arenaria* *Silene nutans* *Stachys recta* *Asperula glauca* *Teucrium Chamaedrys*
Potentilla arenaria	mit	*Sedum album* *Trinia glauca* *Teucrium Chamaedrys* *Euphorbia cyparissias*
Stachys recta	mit	*Teucrium Chamaedrys*
Trinia glauca	mit	*Teucrium montanum* *Satureja acinos* *Sedum album* *Festuca glauca* *Stachys recta*

Im Abstand von 20 bis 25 cm vertragen sich:

Alyssum montanum	mit	*Potentilla arenaria*
Satureja acinos	mit	*Potentilla arenaria*
Stachys recta	mit	*Teucrium montanum*

Es vertragen sich gegenseitig nicht oder zumindest sehr schlecht:

Helianthemum nummularium	mit	*Teucrium montanum*
Alyssum montanum	mit	*Trinia glauca*

Als Keimpflanze verträgt sich *Centaurea maculosa* ssp. *Rhenana* mit *Sedum album.* Sobald *Centaurea* zur hochwüchsigen und stark verästelten Staude geworden ist, stirbt *Seum album* in tellergroßem Umkreis davon ab.

Nun gehört aber *Centaurea Rhenana* ursprünglich gar nicht in die **Felsflur,** ebensowenig *Scrophularia canina.* Beide Arten sind erst vor 30 Jahren von den Kiesriegeln des Vorgeländes,wo beide massenhaft im Verband beisammen stehen, durch Windverfrachtung ihrer Flugsamen auf den Sporn gebracht worden und haben dort vereinzelt Fuß gefaßt. Im Lauf der letzten fünf Jahre hat Centaurea an der Basis des Sporns rasch und so stark zugenommen, daß sie heute dort einen dichten Bestand von bis 1,5 m hohen Pflanzen bildet. In Felsspalten dagegen tritt sie nur vereinzelt und niederwüchsig auf; ja sie erscheint dort oft nur als Kümmerform.

Des Rätsels Lösung ergab die Bodenuntersuchung an der Spornbasis. Denn dort liegt, überwachsen von *Potentilla arenaria, Sedum album* und seit neuem *Centaurea Rhenana* eine noch über 0,5 m mächtige Lage aus Rheinkiesen. Es sind die liegengelassenen Restbeständen der zur Betonierung von Stützmauern und der Panzerkuppel verwendeten Kiesmassen vom Rheinvorland. Dieses — hier oben ortsfremde Bodenmaterial — sagt sowohl *Centaurea Rhenana* wie *Scrophularia canina* als Besiedlern der kiesigen Stromtallandschaft besonders zu, und deshalb konnten sie sich hier nach dem Ende des zweiten Weltkrieges ansiedeln und im gewissen Bereich ausbreiten.

Wir durften schon darauf hinweisen, welch enge Bindungen untereinander die Wurzeln von Spaltenbewohnern, auch auf Distanz, eingehen. Es sind immer relativ wenige Arten, die — aufeinander abgestimmt — auch in engerer Nachbarschaft kräftig gedeihen.

Immer mehr will unsere aus langjährigen, vergleichenden Beobachtungen gewonnene Vermutung sich zur Gewißheit verdichten, daß die Felsflurspezialisten Stoffe bilden und ausscheiden, die eine gegenseitig existenzfördende und erhaltende Wirkung ausüben, ganz besonders auf ihre jungen Keimpflänzchen.

Wir beobachten andererseits, daß solche Wirkstoffe unverträglich und direkt lebensfeindlich eingestellt sind gegen alle Arten, die nicht in das harmonische Gefüge der Felsspaltengesellschaft passen und durch ihr Aufkommen deren sehr fein austariertes Biologisches Gleichgewicht dort stören würden.

Wir sind uns vollkommen klar darüber, daß wir hier nur die Existenzmöglichkeit eines derartigen Ausleseprinzips postulieren. Dieses wäre noch experimentell mit empfindlicheren als uns zur Verfügung stehenden Arbeitsmethoden zu prüfen.

Doch die Felsflurgesellschaft führt dieses Experiment, soweit dessen pathologische Auswirkungen äußerlich wohl erkennbar sind, schon lange selbst durch!

Alljährlich stellen wir immer wieder fest:

Die aus S oder SW vor einer ankommenden Gewitterfront heranbrausenden Stürme verfrachten außer Staub und Sand stets eine Menge von Samen und Flugfrüchten von der Unkrautflora in den benachbarten Rebgeländen und von der Vegetation der unmittelbar vorgelagerten Rheinauen hinauf auf den Sporn, Man kann sie im flach auf dem Boden ausgebreiteten Mantel leicht und reichlich auffangen. Soweit die Ankömmlinge nicht sofort wieder vom blanken Fels fortgeblasen werden, fallen sie in und zwischen die Polster und Rosetten der Spaltenflora. Dort fänden sie an und für sich durchaus die Möglichkeit zu keimen und sich in der Feinerde darunter zu bewurzeln. Doch die allermeisten Samen solcher gesellschaftsfremden Pflanzenarten gehen überhaupt nicht auf. Wir finden sie noch wochen- und monatelang später beim Aussieben der Spaltenfüllung erstorben in deren obersten Schicht.

Andere Arten entwickeln zwar Keimpflänzchen, die fingerlang und mitunter noch höher werden.

Aber bald darauf zeigen sie — ganz unabhängig von den äußeren Klimazuständen — sehr deutliche Zeichen einer fortschreitenden Degeneration. Das Längenwachstum wird eingestellt; sie vergilben, am Sproß treten Mißbildungen auf; der Blütenstand wird unterdrückt oder erscheint zusammengestaucht. Solche Krüppelpflänzchen lassen sich sehr leicht herausziehen. Dann sieht man, wie ihre in den Bereich des Faserwurzelsystems von Xerophyten der Nachbarschaft vorgetriebenen Wurzeln abseitswendig gewachsen, verkrümmt sind, knotige und blasige Schwellungen zeigen und Fäulnisstellen mit ekelhaftem Verwesungsgeruch aufweisen. Nach wenigen Tagen sind die Ankömmlinge dann vollständig abgestorben.

Zu den unter der Einwirkung von solchen Letalstoffen eingegangenen Arten gehören: *Chenopodium album* und *Ch. polyspermum*, *Atriplex-* und *Rumex*arten, *Corydalis cava*, *Lamium amplexicaule*, *Lepidium Draba*, *Thlaspi arvense*, *Chelidonium majus*, *Anthriscus silvestris*, *Torilis arvensis*, *Sonchus oeleraceus* und *Calendula arvensis*. Ein *Echium vulgare* hatte in einer Spalte neben *Stachys recta* Fuß gefaßt und eine handtellergroße Rosette aus verkrümmten und halbeingerollten Blättern gebildet. Aber an Stelle des sonst hochwüchsigen Blütenstandes waren nur kurze, flach und radial verlaufende Stielchen mit je einer endständigen Blüte ausgebildet*).

12. Ergebnisse und Ausblicke.

Versuchen wir, die vielen Einzelergebnisse unserer zehnjährigen Arbeit auf dem Isteiner Klotz zu einem sinnvollen Ganzen zu fügen, so resultieren daraus einige wichtige Erkenntnisse:

a) In den Lebensvorgängen dieser Felsflurgesellschaft äußert sich ganz offenkundig eine Dynamik. Sie ist ein wesentliches, wenn nicht gar das entscheidende Prinzip für das Zustandekommen und für die Erhaltung der Gemeinschaft als solcher.

b) Mit ihr gekoppelt erscheint das Vorhandensein eines sozialen Triebs zwischen den besiedelnden Arten, der die untereinander verträglichen Florenelemente zur Vergesellschaftung drängt.

*) Unmittelbar vor Drucklegung unseres Ms. erhielten wir durch freundliche Vermittlung von Herrn Apotheker K. SYRE in Lörrach die Arbeit von Prof. Dr. A. G. WINTER: „Beziehungen zwischen Edaphon und Pflanze im Lichte neuerer Biocönoseforschung". (Aus dem Bot. Institut Madaus, Köln-Mertheim.) Die darin ausgesprochenen Leitgedanken und Ergebnisse laufen konkordant mit unseren soeben mitgeteilten Beobachtungen und Überlegung. Da es uns jetzt leider nicht mehr möglich ist, die Winter'sche Arbeit in die unsrige einzubauen, möchten wir doch dringendst zu deren Studium raten. Die Verf.

c) Aus dem Gesagten dürfte auch eine vertiefte Auffassung über den Vorgang und die biologische Bedeutung der Auslese von Arten für die erfolgreiche Besiedelung und Gesellschaftsbildung auf einem solchen Lebensraum erwachsen. Weiter möchten wir darin das leitende Prinzip für Bildung und Förderung bestimmter, stets wiederkehrender Assoziationen in unserer Felsflur als einem isolierten, bisher vom Menschen unbeeinflußten Lebensraum erblicken.

d) Die Verarmung der Vegetation auf dem Sporn schreitet unaufhaltsam weiter. Im Abschlußjahr dieser Arbeit (Herbst 1957) zählten wir von den im Verschwinden begriffenen Arten:

Carex humulis Leyss.	12 Horste	
Brachypodium pinnatum (L) P. Beauv	2 Horste	
Poa bulbosa L	3 Horste	
Melica ciliata L	5 Horste	an der Spornbasis
Stipa pennata L	15 Horste	
Andropogon Ischaemum L	4 Horste	
Minuartia fastigiata (SM) Rechb.	5 Pflanzen	
Arabis hirsuta L ssp sagittata (Berb)	7 Pflanzen	
Sedum boloniense Lois	8 Pflanzen	
Cotoneaster integerrima Med	1 Strauch	
Eryngium campestre L	1 Pflanze	
Teucrium montanum L	7 Pflanzen	
Medicago minima (L) Grufb.	6 Pflanzen	
Stachys recta L	7 Pflanzen	
Globularia elongata Hegetsch	2 Pflanzen	
Asperula glauca (L) Bess	10 Pflanzen	
Asperula cynanchica L	3 Pflanzen	
Carduus nutans L	1 Pflanze	

Verschwunden seit 1947:

Poa compressa var Langeana Rechb
Saxifraga tridactylites L
Linum tenuifolium L
Potentilla heptaphylla Inst.
Potentilla arenaria x P. heptaphylla.
Scabiosa canescens W. et Kit
Turritis glabra L

In annähernd gleicher Zahl wie früher haben sich gehalten:

Sedum album L
Potentilla arenaria Borkh.
Euphorbia Cyparissias L
Silene nutans L
Arenaria serpyllifolia L
Trinia glauca (L) Dum (wechselt zw. 45 bis 60 Stöcken)
Sanguisorba minor Scop.
Helianthemum nummularium L
Satureja acinos (L) Scheele
Festuca glauca Lam

Vorherrschend bleibt immer noch *Sedum album* mit den Moosen: *Syntrichia montana* Nees. (= *S. intermedia* Brid.), *Ditrichum heteromallum* Britton (= *D. homomallum* Hedw.), *Tortella inclinata* (Hedw. Limpr.) *T. tortuosa* (L) Limpr., *Grimmia orbicularis* Bruch, *Tortula canescens* (Bruch) Mont.

Die zweite Stelle in der Häufigkeitszahl nimmt *Bromus erectus* ein. Sie ist gegen früher auffallend im Zunehmen begriffen und rückt mit den Jahren wahrscheinlich an erste Stelle.

An dritter Stelle kommt *Potentilla arenaria* und etwa in gleicher Häufigkeit tritt *Trinia glauca* auf.

Es hat den Anschein, als zeichne sich in der Vegetation soeben eine Rückwärtsentwicklung gegen den (noch fernen) Zustand einer Initialgesellschaft ab.

Das könnte zur Annahme führen, als seien die vorhin genannten Kleingesellschaften mit den Moosen auch die primären bei der postglazialen Besiedelung des Klotzen gewesen. Wir wissen es nicht. Die nächsten Jahrzehnte werden vielleicht erkennen lassen, ob unsere Vermutung zu Recht besteht oder irrig ist.

Wir möchten ausdrücklich hervorheben, daß wir die im Lauf unserer Arbeit entwickelten Ansichten als Deutungsmöglichkeiten zunächst nur auf unseren Erfahrungsbereich am Isteiner Klotz beschränken können. Denn gerade seiner relativen Kleinheit wegen konnte dieser doch so ärmliche und karge Lebensraum das Besondere und Wundersame im Dasein seiner Vegetation als einem Modellfall der vergleichenden Beobachtung so leicht zugänglich machen.

Ob sich die hier gewonnenen Ergebnisse auch in anderen isolierten Vegetationsbereichen mit betont eigener Ausprägung feststellen lassen werden, möge vorerst als glaubhaft und wahrscheinlich dahingestellt bleiben. Wir wissen es nicht. Doch würden wir gerne unsere Erfahrungen als Anregung zu gleichsinnig gerichteten Untersuchungen an ähnlich gelagerten Vegetationsräumen weitergeben. Leider ist uns erst im vergangenen Jahr, als unsere Untersuchungsergebnisse fertig vorlagen und die theoretischen Folgerungen daraus gezogen waren, das Lehrbuch von Friedrich BOAS: Dynamische Botanik (3. Auflage) zugänglich geworden. Wir bedauern dies ganz außerordentlich. Um so mehr dürfen wir unserer Befriedigung darüber Ausdruck geben, daß wir unabhängig davon zu den selben, sich oft deckenden Erkenntnissen und Bestätigungen der in dem gedankentiefen Buch von BOAS ausgesprochenen Wahrheiten gekommen sind. Wir möchten deshalb auch glauben, daß manche in dieser Arbeit zutage getretenen Ergebnisse willkommene Beiträge und Ermutigungen zur Fortführung der von BOAS vertretenen Forschungsrichtung liefern könnten.

Daß diese Untersuchungen während der beiden vergangenen Jahre überhaupt noch durchgeführt und zu einem vorläufigen Abschluß gebracht werden konnten, verdanken wir Beihilfen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom Regierungspräsidium Südbaden (Kulturabteilung).

Die Bestimmung der Moose haben freundlicherweise übernommen die Herren Prof. Dr. H. GAMS, Innsbruch, Hans KELLER-MEISEL, Basel, Klaus WINKLER, Sinsheim. Für viele floristische Mitteilungen über die Vegetation am Isteiner Klotz aus Vergangenheit und Gegenwart danken wir ferner den Herren Dr. August BINZ, Basel, Prof. Dr. Hans KUNZ, Riehen-Basel, Konrektor Hermann SCHÄFER, Steinen.

Ungemein fruchtbar an theoretischen und praktischen Anregungen ist uns der Gedankenaustausch mit unserem lieben Freunde Prof. Hans THOENELT, Sasbachwalden/Baden, geblieben. Herrn Apotheker KURT SYRE in Lörrach sind wir zu tiefem Dank verpflichtet. In seiner steten Hilfsbereitschaft hat er uns die Ausführung der qualitativen und quantitativen Analysen in seinem Labor ermöglicht und zum größten Teil selbst übernommen.

Einen besonders herzlichen Dank dürfen wir Herrn Gärtnermeister Kurt NIEDERER, Reinach (Baselland) dafür aussprechen, daß er uns mit seinem Wagen so oft in kürzester Frist zum Klotzen gebracht, dort in der praktischen Arbeit geholfen und mit seiner beruflichen Erfahrung zur Seite gestanden hat.

Benützte Literatur.

BERTSCH K.: Moosflora. Stuttgart 1949.

BINZ A.: Flora von Basel und Umgebung. 2. Aufl., Basel 1905.
Flora von Basel und Umgebung. 3. Aufl., 1911 ebenda.
Ergänzungen zur Flora von Basel. I—VI, Basel 1915/1956.
Schul- und Exkursionsflora der Schweiz. 7. Aufl., Basel 1953.

BOAS Fr.: Dynamische Botanik. 3. Aufl., München 1949.

BRAUN-BLANQUET J.: Pflanzensoziologie. Berlin 1928.

DRAWERT H.: Die Pflanze und ihre Wirkstoffe. Stuttgart 1949.

FILZER P.: Pflanzengemeinschaft und Umwelt. Stuttgart 1936.

FRIEDRICHS K.: Ökologie als Wissenschaft von der Natur. Leipzig 1937.

HEGI G.: Illustrierte Flora von Mitteleuropa. 13 Bde., München 1906.

LITZELMANN E.: Pflanzenwanderungen im Klimawechsel der Nacheiszeit. Öhringen 1938.
Rheinkorrektion und Rheinseitenkanal, Auswirkungen auf das Vegetationsbild der Stromlandschaft. Die Umschau, Heft 5, 1957.
Neue Pflanzenfunde in Südbaden. Mitt. d. Bad. Landesvereins f. Naturkunde. Freiburg 1953.
Pflanzengeographie und Geschichte in ihren Wechselbeziehungen. Aleman. Jahrbuch 1957, Lahr/Bd.

Mitteilungen des Bad. Landesvereins, Jahrgänge v. 1888—1957

MOLISCH H.: Botanische Versuche ohne Apparate. Jena 1931.

NEUBERGER J.: Flora von Freiburg. Freiburg 1912.

OBERDORFER E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Südwestdeutschland. Stuttgart 1949.

RÜBEL E.: Geobotanische Untersuchungsmethoden. Berlin 1922.

WALTER H.: Einführung in die Phytologie. 3. Aufl., Stuttgart 1950.

STOCKER O.: Pflanzenphysiologische Übungen, Jena 1942.

WINTER A. G. (Botan. Institut Madaus): Beziehungen zwischen Edaphon und Pflanze im Lichte neuerer Biocönoseforschung. Ztschr. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 64. Band, Jahrg. 1957, Heft 7/10, Stuttgart 1957.

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. E. Litzelmann und Frau Maria, Höllstein, Krs. Lörrach.

Tafel V
(LITZELMANN, Isteiner Klotz)

Fig. 3 Lückige Felsvegetation auf dem Sporn. Nur Spalten sind besiedelt. Trinia glauca (Mitte ♂, links ♀). Litzelmann 1947.

Fig. 4 Sedum album, aus den Sprossen treten Adventiv-Faserwurzeln aus und dringen einseitswendig in feine Spalten ein. Litzelmann 1953.

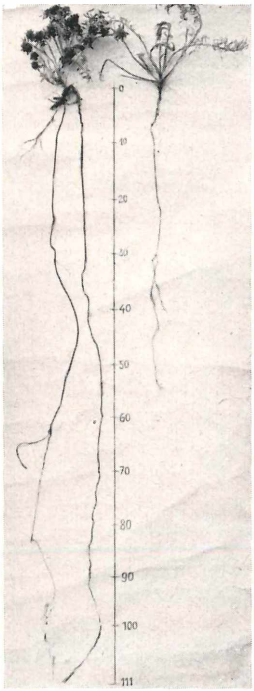
Tafel VI
(LITZELMANN, Isteiner Klotz)

Fig. 5 Faserwurzelgeflecht von Teucrium montanum; davon gehen zwei starke Senkwurzeln soweit verfolgbar 111 cm tief in die Felsspalten hinab. Litzelmann 1954.

Fig. 6 Pfahlwurzel von Trinia glauca (2 cm ⌀) dringt 18 cm tief in eine 2,3 cm breite Felsspalte hinab. Am Wurzelhals entsendet sie eine zweigegabelte Seitenwurzel zu Potentilla arenaria auf 33 cm Distanz; deckende Moosschicht abgehoben. Litzelmann 1956.

Tafel VII
(LITZELMANN, Isteiner Klotz)

Fig. 7 Federgrasflur auf dem Sporn des Isteiner Klotz bei lebhaftem Nordwestwind. Litzelmann 1958.



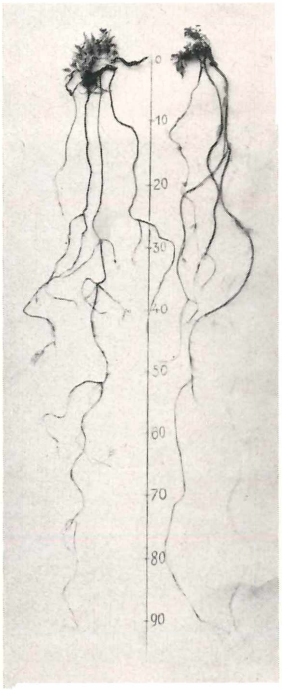


Fig. 8 Senkwurzeln einiger Spaltenbewohner vom Sporn des Isteiner Klotz. Von links nach rechts: Teucrium montanum, Euphorbia cyparissias, Potentilla arenaria, Globularia elongata. Litzelmann 1953.

Tafel VIII
(LITZELMANN, Isteiner Klotz)

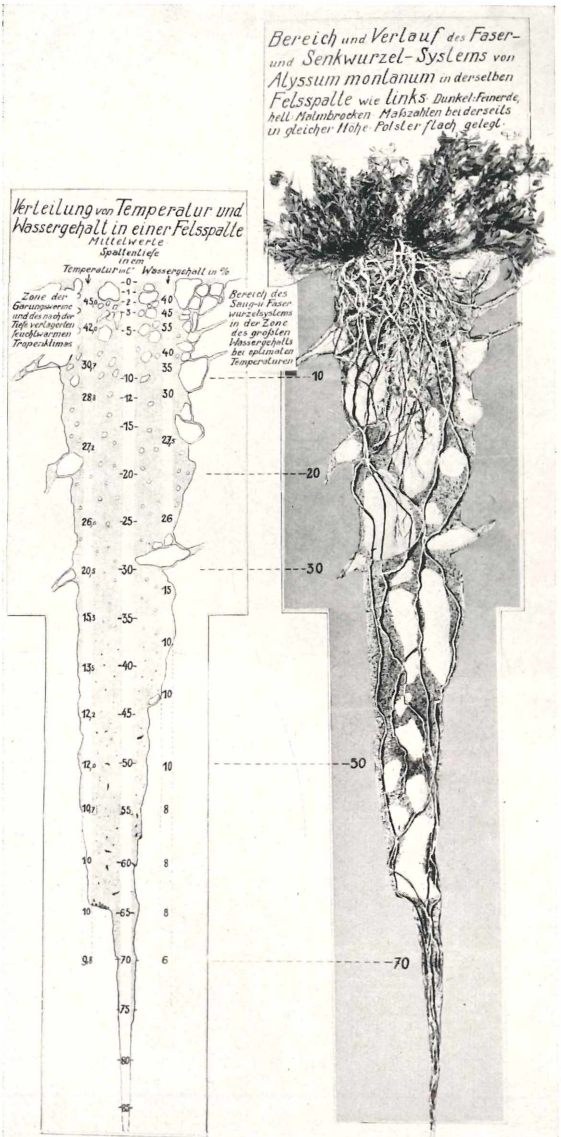


Fig. 9 Kombiniertes Längsschnittbild aus den Maßen von drei gleichartigen Spalten (Original in natürlicher Größe). Links: Mittelkolonne = absolute Tiefe der Spalte; linke Kolonne: Bodentemperaturen; rechte Kolonne: Wassergehalt in %. Rechts: Dieselbe Spalte mit der Anordnung des Faser- und Senkwurzelsystems von Alyssum montanum in natürlicher Anordnung darin. Orig. 1956.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland

Jahr/Year: 1959

Band/Volume: 18

Autor(en)/Author(s): Litzelmann Erwin, Litzelmann Maria

Artikel/Article: Physiologie und Oekologie der Felsflurvegetation auf dem Isteiner Klotz 144-174