

Die Vegetation frostgeformter Böden der Arktis, der Alpen und des Riesengebirges

Von Fritz Mattick

Mit 18 Abbildungen auf Tafel VI—XII

Inhaltsübersicht:

	Seite
Einleitung	129
I. Allgemeiner Teil	130
1. Erst- oder Neubesiedlung des Bodens durch die Vegetation	130
2. Frostgeformte Böden	131
3. Die Entstehung der frostgeformten Böden	131
4. Vorkommen	134
5. Abhängigkeit der Größe von Material und Klima	135
6. Alter und Ausbildungszustand	135
7. Fossile Strukturböden	136
8. Die Vegetation frostgeformter Böden	136
9. Ähnliche Formen anderer Entstehung	138
II. Spezieller Teil	141
A. Arktis und Subarktis	141
1. Texturböden	141
10. Netzrißböden	141
11. Rasenhügel	145
12. Torfhügel	146
13. Wald-Eishügel	146
2. Strukturböden	147
14. Brodelböden	147
15. Steinringe und Steinnetze	148
16. Polygon-Sumpftaiga	153
17. Streifenbildung	154
18. Streifen-Sumpftaiga	156
3. Verwandte Frost- und Fließbodenerscheinungen	156
19. Fließerdewülste und -terrassen	156
20. Steingirlanden	159

21. Strangmoore	160
22. Wandernde Einzelblöcke	161
23. Blockströme	162
24. Blockmeere	162
25. Pflasterböden	163
26. Wirkungen der Kammeisbildung	163
B. Die Alpen	164
27. Steinnetz-Kleinformen	165
28. Steinringe und Erdinseln	167
29. Steinstreifen	169
30. Andere Erscheinungen	170
31. Vergleich mit tropischen Gebirgen	171
C. Das Riesengebirge	172
32. Steinringe und Erdinseln	172
33. Steinstreifen	176
34. Blockmeere	177
35. Strangmoore	178
III. Vergleichende Zusammenfassung	178
IV. Verzeichnis der im Text besprochenen Arbeiten	180
V. Erklärung der Abbildungen	183

Einleitung

Den Anlaß zu vorliegenden Untersuchungen gab mir ein vierzehntägiger Aufenthalt in der Königsbucht (Spitzbergen) Ende Juli bis Mitte August 1938. Dem Naturfreund, der dieses nördlichste der leichter zugänglichen Gebiete der Polarwelt zu botanischen Studien aufsuchen will, tritt hier eine solche Fülle der eigenartigsten Naturerscheinungen entgegen, daß ihn bald die geographischen, geomorphologischen und geologischen Erscheinungen in gleichem Maße fesseln wie die botanischen. So bot sich mir bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Vegetation und Standortsverhältnissen in der Frage der Besiedlung frostgeformter Böden durch die Pflanzenwelt ein besonders anziehendes Problem dar, das ich anschließend auch in Nord- und Mittel-Norwegen und später (Juni 1940) auch im Riesengebirge und in den Alpen (September 1940) verfolgen konnte. Der Vergleich der verschiedenen Vorkommnisse zeigte mir wieder einmal, wie so manche Naturerscheinungen der Heimat, die zunächst gar nicht oder kaum deutbar zu sein scheinen, weil sie nur mangelhaft oder undeutlich entwickelt sind, ihre Erklärung finden können, sobald man sie in Verbindung bringen kann mit entsprechenden Er-

scheinungen anderer Klima- und Landschaftsgebiete, in denen sie in musterhafter Weise zur Ausbildung kommen. Diese eigenen Beobachtungen sollen den Grundstock der vorliegenden Zusammenstellung bilden. Ich möchte sie aber ergänzen und den Kreis der Betrachtungen erweitern durch Anführung weiterer Angaben über die Vegetation frostgeformter Böden, wie sie sich in dem reichen Schrifttum über dieses Gebiet in großer Zahl finden.

I. Allgemeiner Teil

1. Erst- oder Neubesiedlung des Bodens durch die Vegetation. — Unter den Problemen der Pflanzengeographie hat das der Besiedlung bisher vegetationsfreien Raumes durch die Pflanzenwelt seit langem bei den Botanikern besonderes Interesse gefunden. Da die Oberfläche der Erde ja dauernden Veränderungen unterworfen ist, wird an manchen Stellen die bestehende Pflanzendecke vernichtet, an anderen entwickelt sie sich erstmalig oder erneut, bis sie über verschiedene Anfangs- und Zwischenstadien ihre günstigste Zusammensetzung gefunden hat. In solchen Gebieten der Erde, die wegen der Ungunst der Standortsverhältnisse keine oder eine nur höchst spärliche Vegetation tragen können, nämlich den Trockenwüsten der heißen Zonen und den Kältewüsten der kalten, wo der Wasser- oder der Wärmemangel sich der Besiedlung durch die Pflanzenwelt feindlich entgegenstellt, ist eine rasch fortschreitende Entwicklung nicht möglich und ihre langsamten Veränderungen sind schwer zu beobachten; die vorhandene Pflanzenleere oder Pflanzenarmut stellt bereits das Endstadium dar. Nur in erdgeschichtlich längeren Zeiträumen treten hier Veränderungen ein, es sei denn, daß der Mensch hier eingreift und z. B. durch künstliche Bewässerung die Entwicklung reicherer Pflanzenbestände fördert. — Viel leichter läßt sich die Besiedlung des Bodens durch die Pflanzenwelt dort studieren, wo in klimatisch begünstigten Zonen neues Land entsteht, sei es, indem durch vulkanische Vorgänge neue Inseln aus dem Meere geboren werden, Aschenfelder sich am Fuße von Vulkanen absetzen oder Lavaströme erkalten, verwittern und sich dann begrünen, oder sei es, daß am Meeresstrande durch Anschwemmung oder durch Deltabildung einmündender Flüsse Neuland entsteht oder daß Seeböden durch Austrocknung zutage treten. In längeren Zeiträumen können auch durch Landhebung neue Strandflächen ans Licht treten oder

durch den Rückgang von Gletschern bisher von Schnee und Eis bedeckte Flächen der Besiedlung durch die Vegetation zugänglich werden.

2. Frostgeformte Böden. — Zu solchen Böden, die erst im Laufe der Zeit entstanden oder frei geworden sind und nun dem umbildenden Einflusse des Klimas, der Vegetation und der anderen erdgestaltenden Kräfte ausgesetzt werden oder bereits gewesen sind, gehören auch die frostgeformten Böden. Wie diese Bezeichnung sagt, sollen hierunter solche Böden verstanden werden, die durch die Wirkungen des Frostes eine von der ursprünglichen abweichende, charakteristische Erscheinungsform erhalten haben. Die Voraussetzung für ihr Zustandekommen ist eine bestimmte Zusammensetzung des Bodens, ein periodischer Wechsel von Gefrieren und Auftauen und ein hinreichender Wassergehalt, der den Boden zu einer plastischen, formbaren Masse macht und dem Frost einen Ansatzpunkt bietet. Diese Bedingungen sind am günstigsten verwirklicht in den subnivalen Gebieten der Erde, das heißt also in der Nachbarschaft großer Schnee- und Eisfelder, die einerseits dem Boden genügende Feuchtigkeit liefern, wo aber anderseits der Boden nicht mehr dauernd gefroren bleibt. Daher sind einmal die arktischen Zonen, dann aber die Hochgebirge, auch die der Tropen, als die Gebiete zu nennen, in denen frostgeformte Böden in verschiedenartigster und schönster Ausbildung zu beobachten sind, und zwar in Moränengebieten, auf Schotterfeldern, auf Strandterrassen und Seeböden. Aber auch in den Mittelgebirgen kommen frostgeformte Böden vor.

Welches sind nun die erwähnten kennzeichnenden Erscheinungsformen, die diese Böden durch den Frost erhalten haben? Es sind in den typischsten Fällen netzförmige Risse in der Bodenoberfläche, netz- oder ringförmige Anordnung größerer Gesteins um Zentren feinerer Erde, oder auch streifenförmige Anordnungen von Feinerde zwischen Streifen größerer oder kleinerer Steine. Zahlreiche andere Erscheinungen hängen eng mit diesen zusammen, stellen Veränderungen derselben dar oder lassen sich aus ihnen ableiten. Auf sie soll später näher eingegangen werden.

3. Die Entstehung der frostgeformten Böden. — Das Zustandekommen dieser eigenartigen Formen kann heute als im großen und ganzen geklärt angesehen werden und wird betrachtet als das Ergebnis des Zusammenwirkens von Frostvorgängen und Bodenfließerscheinungen. Seit Beginn dieses Jahrhunderts ist ein

reiches Schrifttum über dieses Gebiet entstanden und die verschiedenartigsten Auschauungen sind erörtert worden. Da hier ja in der Hauptsache die botanische Seite dieser Frage behandelt werden soll, kann auf die physikalischen Grundlagen nicht näher eingegangen werden, und die von den Geomorphologen und Physikern aufgestellten Theorien sollen hier nicht kritisch beleuchtet werden; in dieser Hinsicht kann auf die am Schluß angeführten Schriften verwiesen werden, vor allem auf die von Högbom, Poser, Gripp und Sörensen. — Als Vorgänge, die bei der Bildung der erwähnten Formen beteiligt sind, kommen folgende in Frage, die hier nur soweit besprochen werden können, als dies zum Verständnis der Zusammenhänge unbedingt erforderlich ist:

a) Die **Regelation**, das regelmäßige Gefrieren und Wiederauftauen des Bodens, das sich verschieden auswirkt, je nachdem, ob es sich um Boden aus gleichmäßig feinem Material handelt oder um solchen Boden, der gröbere und feinere Bestandteile gemischt enthält. Da sich Wasser beim Gefrieren um etwa 9% ausdehnt, muß auch wasserhaltiger Boden sein Volumen entsprechend vergrößern und es müssen Spannungserscheinungen auftreten. Das Eis kann in Schichten oder Linsen kristallisieren, von unten her kann neues Wasser nachgesaugt werden, und auf diese Weise kann die Ausdehnung des Bodens noch viel beträchtlicher werden, besonders bei den feinkörnigen Lehm-, Löß- und Tonböden; hier kann sie bis zu 40–60% erreichen. Von Wichtigkeit ist, daß in der Arktis eine feste, wasserstauende Grundlage gegeben ist in Gestalt des ewig gefrorenen Bodens (Gefronis oder Tjäle), wie er sich hier von etwa 70 cm Tiefe an findet. Taut dann der Boden von oben her wieder auf, so zieht sich die Oberfläche, die ja auch in waagerechter Richtung stark gespannt war, wieder zusammen und es kann im gleichmäßig feinkörnigen Boden ein System von netzförmigen, oft regelmäßig polygonalen Rissen entstehen. Solche Böden wurden schon frühzeitig als Polygonböden oder Netzböden beschrieben. Hier sollen sie, um keine Verwechslungen zu ermöglichen, als **Netzrißböden** bezeichnet werden. Hat sich später in den Spalten Wasser oder hincingewehrte Erde angesammelt, so können die einzelnen Felder sich bei erneutem Gefrieren infolge des Druckes nach oben wölben und es können so Muster entstehen, die an ein Katzenkopf-Pflaster oder aneinandergepreßte Klöße erinnern. Derartig geformte Böden aus gleichmäßig feinkörnigem Material werden als **Texturböden** bezeichnet. Solche Zellenriß-

böden oder Netzrißböden sind bisher nur aus der Arktis bekanntgeworden.

b) Anders ist es, wenn es sich um solche Böden handelt, die ein Gemisch sehr feinen Materials mit größerem Gestein darstellen. Hier tritt allmählich eine Sonderung des Materials ein, wobei die Erscheinung des „Auffrierens“ und „Ausfrierens“ eine große Rolle spielt. Dies äußert sich in der Weise, daß größere Steine auch aus tieferen Bodenschichten nach und nach emporgehoben und an die Oberfläche gepreßt werden.

c) Hierzu kommen in dem aufgetauten Boden Bewegungen, die einmal in ebenem Gelände als vertikal aufsteigende Konvektionsströmungen zu einem „Brodeln“ des Bodens führen können, anderseits auf geneigtem Boden in schräg abwärts führender Richtung als „Solifluktion“ die Erscheinungen des Fließbodens verursachen. Früher nahm man an, daß schon die verschiedene Dichte des Wassers zwischen 0° und +4° solche Konvektionsströmungen auslösen könnte, was sich jedoch als irrig erwies. Das Brodeln kommt wohl dadurch zustande, daß über der Tjäle sich besonders wasserreicher dünnflüssiger Boden findet, weiter oben weniger wasserhaltiger; die Oberfläche endlich kann ganz trocken sein. Diese Unterschiede in der Dichte können schließlich zu einem Emporquellen des dünnflüssigen Bodens von bestimmten Zentren aus führen, das oben in eine zentrifugale horizontale Ausbreitung übergeht, während an den Seiten der weniger wasserhaltige Boden sich abwärts bewegen kann. Die durch das Auffrieren nach oben beförderten Steine werden durch die Brodelbewegung nach außen getragen und ordnen sich, da die Brodelherde meist gleichmäßige Abstände voneinander haben, schließlich zu ring- oder netzförmigen Steinwällen an, die dann ähnliche Formen ergeben können wie die Netzrißböden; zwischen beiden können sich allerhand Übergänge finden. Auf geneigten Böden gehen diese Ringe und Netze in lang ausgezogene Formen über. Die springbrunnenförmigen Brodelbewegungen werden infolge der hinzukommenden schräg abwärts gerichteten Kraft des Bodenfließens zu Spiralbewegungen; die an die Oberfläche beförderten Steine ordnen sich dann zu langen Streifen, die von Erdstreifen unterbrochen werden.

Diese Böden, bei denen eine Sonderung des ungleichmäßigen Materials in Steinringe und Netze, die feinkörnige Zentren umschließen, oder auf geneigtem Gelände in Stein- und Erdstreifen eingetreten ist, werden Strukturböden genannt.

d) Außer der Regelation, dem Auffrieren und den Bodenbewegungen kann noch eine weitere Erscheinung an der Frostformung der Böden mitwirken, nämlich die Bildung von „Kammeis“. Hierunter versteht man die Erscheinung, daß beim Gefrieren des Bodens aus seinen Poren Eis in Form von Nadeln oder Stiften herausgepreßt wird, die, indem die oberen Bodenschichten von unten her immer neues Wasser nachsaugen, Längen von 4—8 cm erreichen können. Die Nadeln vereinigen sich zu Büscheln, die im Anbruch das Aussehen eines Kämmes zeigen. Sie können locker auf der Bodenoberfläche liegende Erdkrümel und kleine Steine mit emporheben, so daß eine dünne Erdschicht auf dem Kammeise ruht und dieses von oben her zunächst gar nicht sichtbar ist. Beim Abschmelzen des Kammeises gleiten dann die Steinchen und Erdbrocken wieder zurück und gelangen meist in eine ganz andere Lage als vorher, besonders wenn die Eisnadeln nicht genau senkrecht standen, sondern schräg, wie dies an Berghängen oft der Fall ist.

4. Vorkommen. — Texturböden sind, wie schon erwähnt wurde, bisher nur aus der Arktis bekanntgeworden. Strukturböden dagegen sind in subnivalen Gebieten weit verbreitet. Am typischsten entwickelt sind sie in der Arktis, wo der ewig gefrorene Boden eine Grundlage für ihre regelmäßige Ausbildung liefert. In den subarktischen Gebieten, wo die Tiefe des aufgetauten Bodens recht wechselnd ist, eine Tjälle meist schon fehlt und auch die Lage des Grundwasserspiegels im Laufe der Jahreszeiten sich verändert, gewinnen mehr und mehr solche Erscheinungen die Oberhand, die hauptsächlich von der Solifluktion beeinflußt sind, wie die Ausbildung von Fließerdeterrassen und Fließerdezungen, so z. B. in Nord-Schweden. In den gemäßigeren Zonen ziehen sich die Strukturbodenbildungen in höhere Lagen zurück. Sehr gut sind sie noch im mittleren Norwegen (Dovre) entwickelt, weiter wurden sie im schottischen Hochland beobachtet. In den deutschen Mittelgebirgen sind Strukturböden besonders im Riesengebirge festgestellt worden. Zahlreich sind die Vorkommnisse in den Alpen, die hier schon in Höhen über 2000 m liegen. Endlich bieten die höchsten Regionen der tropischen Gebirge, unterhalb der dauernd von Schnee und Eis bedeckten Gebiete, gute Möglichkeiten zur Ausbildung von Strukturformen; besonders aus dem tropischen Ost-Afrika und dem tropischen Süd-Amerika sind prachtvolle Strukturböden beschrieben worden (z. B. Troll: Bolivien; Flückiger: Kilimandscharo). Weiterhin können noch die Vor-

kommunis auf den subantarktischen Inseln genannt werden, z. B. auf den Kerguelen.

5. Abhängigkeit der Größe von Material und Klima.

— Die Größe der Strukturbodenformen hängt einmal von der Tiefe des regelmäßigen Gefrierens und Wiederaufstauens, von der Tiefenlage der Tjäle, zweitens von der Größe der dem Feinboden beigemischten größeren Elemente, drittens von den Besonderheiten des arktischen, gemäßigten oder tropischen Klimas ab. In der Arktis, wo die Tjäle in etwa 0,75 m Tiefe liegen, haben die Polygone oder Ringe Durchmesser von 0,75—1,50 m, wenn ihre Wälle von faust- bis kopfgroßem Material gebildet werden. Reicht das Auftauen besonders weit in die Tiefe, so bilden sich besonders großmaschige Formen, die dann auch größere Blöcke in sich einbeziehen können. Enthält der Feinboden nur kleineren Schotter, so bilden sich Miniatur-Steinnetze von 5—20 cm breiten Feldern. Auch dort, wo der Frost nicht tief geht und die entsprechenden Brodelbewegungen nur kleine Systeme darstellen, entstehen nur kleine Formen. Etwa vorhandene größere Steine werden dann nicht mit einbezogen und werden von den entstehenden Stein- und Erdstreifen einfach im Bogen umgangen. In den gemäßigten Gebieten, wo die Tjäle fehlt, ist hauptsächlich die Größe des Materials ausschlaggebend für die Entstehung von Groß- oder Kleinformen. — Der Gegensatz zwischen arktischem und tropischem Klima äußert sich vor allem darin, daß in den tropischen Hochgebirgen der Boden infolge der starken Sonnenstrahlung jeden Tag auftaut und jede Nacht wieder gefriert, allerdings nur bis in eine geringe Tiefe, während in der Arktis die Regelation nur einmal oder wenige Male im Jahre eintritt, und zwar im Anschluß an die kurzen Frühlings- und Herbstzeiten, wenn die Sonne wirklich auf- und untergeht. Infolgedessen entstehen in den Tropen vorwiegend Kleinformen in ziemlich kurzer Zeit, in der Arktis Großformen in langsamerer Ausbildung.

6. Alter und Ausbildungszustand. In bezug auf das Alter frostgeformter Böden kann man solche unterscheiden, die im Entstehen begriffen sind, andere, die bereits voll entwickelt sind, und schließlich solche, die schon wieder der Zerstörung ausgesetzt sind. Man hat sie auch als Arbeitsformen, Ruheformen und Verfallsformen bezeichnet. Kleinformen scheinen sich schon im Verlauf eines einzigen Sommers bilden zu können, größere Formen in einigen Jahrzehnten, wie viele Strukturböden der Alpen und der Arktis, die häufig im

Moränengebiete eines Gletschers zu finden sind, das erst vor 30 bis 40 Jahren beim Zurückgang des Gletschers frei geworden ist. Auf größere Entstehungszeiträume deuten Strukturböden in Landhebungsgebieten Grönlands, wo in tieferen Lagen, die erst in erdgeschichtlich junger Zeit dem Meere entstiegen sind, sich jüngere Ausbildungsförmen finden als in höheren Lagen, wo die Strukturböden schon deutlich im Zerfall durch die Verwitterung begriffen sind. Die Strukturböden des Riesengebirges sind erst nach der Eiszeit entstanden, und zwar, nachdem auch die nacheiszeitliche Wärmeperiode schon vorüber war; ihre Entstehung liegt aber auch schon so weit zurück, daß sich eine Ortsteinschicht in ihnen ausbilden konnte. Auch an solchen längst zur Ruhe gekommenen Strukturböden können sich jedoch auch noch in der Gegenwart allerhand Veränderungen vollziehen, z. B. durch Abtragung und Verwitterungsvorgänge.

7. **Fossile Strukturböden.** — Müssen zahlreiche Erscheinungen im geologischen Sinne bereits als fossil betrachtet werden, auch wenn es sich um freiliegende Gebilde handelt, wie z. B. die in Mittel-Europa nicht seltenen Blockströme der Diluvialzeit oder die teils freien, teils bereits vom Walde bedeckten Strukturböden des Riesengebirges, so sind andere auch in der wörtlichen Bedeutung dieses Ausdrucks fossil, nämlich bei Ausgrabungen und Bodenaufschüssen entdeckt worden, so z. B. die von Gripp bei Hamburg und am Kaiser-Wilhelm-Kanal beobachteten eigenartigen schwelbenden Torfschweife und Torffetzen in torfstreifigem oder tonigem Sandboden, die vom Autor als aufsteigende Brodelströme gedeutet wurden, oder die von Krekeler aus der Umgebung von Gießen und Wiesbaden von den Diluvial-Hauptterrassen der Lahn und des Rheins beschriebenen eigentümlichen Schichtenverbrodelungen und Verfaltungerscheinungen, die als fossile Strukturböden aus der diluvialen Zeit angesehen werden. — Fossile Strukturböden im deutschen Tieflande auch im Aufriß freizulegen, so daß wirklich Ring- oder Netzformen erkennbar würden, ist jedoch bisher noch nicht gelungen.

8. **Die Vegetation frostgeformter Böden.** — Bisher ist nur die Entstehung der Frostbodenformen behandelt worden, ohne daß darauf geachtet wurde, daß schon beim Entstehen entgegengesetzte Kräfte einsetzen, die ihr Zustandekommen heiminen oder vernichten können, z. B. die Abtragung oder die Verwitterung, besonders aber die Besiedlung durch die Pflanzenwelt. Es ergibt sich nun eine ganze Reihe von Fragen, nämlich ob die Besiedlung durch

die Vegetation durch die Strukturbodenbildung (ich gebrauche hier der Einfachheit wegen nur diesen Ausdruck, möchte aber auch die Bildung der Texturböden mit einbeziehen) gefördert werden kann, ob beide Vorgänge ohne Wechselwirkung aufeinander sind, oder ob sie sich so beeinflussen können, daß das Entstehen einer Vegetationsdecke durch die Strukturbodenbildung gehemmt oder unmöglich gemacht wird oder umgekehrt die Vegetationsentwicklung die Ausbildung des Strukturbodens hemmt oder zum Stehen bringt. — Die Frage nach dem Verhältnis zwischen Frostbodenbildung und Vegetationsentwicklung ist auch in der Form gestellt worden, ob die Strukturböden in der Arktis deshalb so häufig seien, weil hier die Vegetation fehlt oder sehr spärlich ist, oder ob die Vegetation deshalb so spärlich sei, weil die Bodenbewegungen ihre Entwicklung hemmen. Diese Problemstellung ist jedoch falsch, denn die Strukturböden fehlen nicht deshalb in wärmeren Gebieten, weil dort die reiche Vegetation ihre Ausbildung hindern würde, sondern weil die klimatischen Voraussetzungen fehlen, nämlich die Regelation und die Solifluktion; und anderseits ist die Vegetation nicht wegen der Behinderung durch die Bodenbewegungen so spärlich, sondern weil die klimatischen Bedingungen ihr keine üppigere Entwicklung ermöglichen. — Bei Betrachtung des erstgenannten Fragenkomplexes ist zu beachten, welcher Art überhaupt die Vegetation ist, die von den Strukturböden Besitz ergreifen kann. Erstens haben schon aus klimatischen Gründen nur gewisse Pflanzengesellschaften die Möglichkeit, sich hier anzusiedeln, nämlich solche, die in den subnivalen Gebieten, wo allein wir die Strukturböden finden, noch gedeihen können. Weil die rezenten Strukturböden bereits oberhalb (im Gebirge) bzw. außerhalb (in der Arktis) der Baungrenze liegen, kommen hierfür hauptsächlich Zwergstrauchheiden, Matten aus Gräsern und Halbgräsern, Strauchflechten-gesellschaften und Schneeboden- (Schneetälchen-) Gesellschaften in Frage. Zweitens wird aus diesen Gesellschaften, die wir in der schon seit längerer Zeit von der Vegetation besiedelten Umgebung der entstehenden Strukturböden antreffen werden, wieder eine natürliche Auswahl zustande kommen je nach den Bodenverhältnissen. Nicht nur die Gesteins- und Bodenbeschaffenheit (ob Kalk- oder Urgestein, ob basische oder saure Bodenreaktion) ist von Einfluß, sondern auch die Korngröße und die mit ihr zusammengehörende Wasserführung. Auf dem größeren Gesteinsmaterial der Steinringe, Steinnetze und Steinstreifen können andere Pflanzen (besonders die der Zwerg-

strauch- und Flechtenheiden) Fuß fassen als auf der feinen, feuchten Erde im Innern dieser Gebilde, wo meist die Schneetälchen-Vegetation die günstigsten Bedingungen findet. Weiter ist zu bedenken, daß die weiche Feinerde des Zentrums meist noch in langsamer Bewegung begriffen ist, so daß hier raschwüchsige und kurzlebige Pflanzen besser fortkommen können als die an den ruhenden Steinrändern gedeihenden langsam wachsenden Zwergsträucher und Strauchflechten.

Auf diese Weise kann also die Erstbesiedlung des Strukturbodens sich vollziehen. Auf diesem Stande braucht die Entwicklung nun aber nicht stehenzubleiben. Nach dem Gesetz der Sukzession verschiedenartiger Pflanzengesellschaften bis zum Erreichen des günstigsten Entwicklungszustandes können in der Folge noch verschiedene Veränderungen vor sich gehen, und es ist nun wieder auf die oben erwähnten Fragen zurückzukommen, ob die Weiterbildung des Strukturbodens hierdurch gehemmt werden kann oder ob sie umgekehrt den Pflanzenwuchs in der Entwicklung hindern kann. Die hierbei sich ergebenden Probleme sind aber so mannigfaltig, daß sie später näher im einzelnen beschrieben werden müssen.

9. Ähnliche Formen anderer Entstehung. — Netz- und Streifenformen des Bodens mit oder ohne entsprechende netz- oder streifenförmige Anordnung der Vegetation brauchen nun nicht immer auf der Bildung von Textur- und Strukturböden zu beruhen. Es gibt auch bei ihnen ganz ähnliche Formen von ganz anderer Entstehung, die gegebenenfalls mit ihnen verwechselt werden können, aber nicht das geringste mit ihnen zu tun haben.

a) Hier sind einmal Austrocknungserscheinungen zu nennen, die zu Rißbildungen führen können; die Risse können sich zu netzförmigen Mustern anordnen, die ganz an die Netzrisse der Texturböden erinnern. So bilden z. B. Warming und Graebner (1933, S. 405) Trockenrisse auf Schlammböden in Dänisch-West-Indien ab. Auch von anderwärts sind solche Netzrisse auf dem Boden ausgetrockneter Tümpel und Seen bekanntgeworden. Sie sind wohl immer vegetationslos, da sie in kurzer Zeit entstehen und auch ebenso rasch wieder vergehen können. Schimper (Pflanzengeographie, 1. Auflage 1898, S. 791) bildet solche Trockenrisse vom Karakul-See (Pamir-Hochland) ab; sie sind wohl kaum mit den arktischen Netzerißböden übereinstimmend, wie dies Wulff angenommen hat. Auf Färö (Insel Gotland) hat Näsström solche Trockenrisse beobachtet (Svenska Turistföreningens Årsskrift 1940, 277). Auch die Netzeriß-

formen der echten arktischen Texturböden werden von Warming und Graebner (übereinstimmend mit der Anschauung von Wulff) als durch einfache Austrocknung entstanden betrachtet; in der Tat mag auch die Austrocknung hier Hand in Hand mit dem Zusammenziehen der Bodenoberfläche nach dem Auftauen gehen, aber den Vorgängen der Regelation ist wohl die Hauptrolle zuzuschreiben. — Auch austrocknende Salzböden können netzförmige Muster hervorbringen, wie dies die Abbildung des Polygon-Salzbodens am Étang de Vic, Süd-Frankreich, bei Braun-Blanquet (1928, S. 193) zeigt. Säulenförmige Salzböden, die gleichfalls von oben den Anblick eines Netzes bieten können, sind als Solonezböden im Süden Rußlands weit verbreitet (abgebildet in Stebutz, A., Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde, Berlin 1930, S. 398 u. 402).

b) Häufiger als Netzbildungen sind streifenförmige Anordnungen des Bodens oder der Pflanzenwelt, die dann mit streifenförmigen Strukturböden verwechselt werden können. Eine besonders interessante Erscheinung hat Furrer 1928 aus den Appenninen beschrieben (S. 663 u. Taf. 20, Fig. 1). Hier handelt es sich um windgekämmte Vegetation an einer Gratlücke des Corno Grande bei 2300 m. Der meist in der gleichen Richtung durch die Gratlücke wehende Wind hat den Horsten von *Festuca dimorpha* eine langgezogene Wuchsform aufgeprägt und sie in Linien angeordnet, die der Windrichtung folgen und die sich weit über den Berg hinziehen in Form langer Streifen mit gleichen Abständen. Daß diese Streifen teils den Hang hinablaufen, teils aber auch in gleicher Richtung an den benachbarten Hängen entlang und dort senkrecht zur Gefällerichtung verlaufen, also in Richtung der Höhenlinien, unterscheidet sie von den stets hangabwärts laufenden frostgeformten Stein- und Erdstreifen, die gleichfalls einen solchen streifenförmigen Pflanzensuchs tragen können. Auch aus anderen Hochgebirgen sind ähnliche Erscheinungen reihenförmiger Anordnung von Horst- und Polsterpflanzen infolge der Windwirkung bekanntgeworden. — Andere Windformen bilden sich dort aus, wo weit ausgebreitete Polsterkomplexe, Polstereinzelpflanzen oder am Boden kriechende Spalierstrauchdecken vom Winde und dem durch ihn verursachten Sandgebläse so stark beeinflußt werden, daß sie auf der dem Winde zugekehrten Seite absterben und völlig zerstört werden, so daß nur noch die vom Winde abgewandte Seite in Form eines Bogens übrigbleibt, wie dies Warming und Graebner (S. 84) für Rasen von

Dryas octopetala, für *Empetrum*-Heiden (S. 85) aus Grönland, und für *Silene*-Polster (S. 87) abbilden. Solche Vegetationsbögen, die in gleichen Abständen und in gleicher Richtung verlaufen, lassen einen gewissen äußerer Vergleich mit den später zu besprechenden Stein-girlanden und den Terrassenfleißböden zu. — Endlich können auch solche Windformen mit wirklichen Polygonböden kombiniert sein, wie dies später bei den windbeeinflußten Netzböden Spitzbergens zu besprechen sein wird. — Weiter sei daran erinnert, daß auch Dünen und die auf und zwischen ihnen gedeihenden verschiedenartigen Pflanzengesellschaften durch den Wind eine reihenförmige, streifenähnliche Anordnung erhalten können, allerdings in recht großen Dimensionen, und ferner daran, daß auf Sandböden feine wellenförmige Parallelstreifen durch den Wind erzeugt werden können, Rippelmarken oder Rippeln, die rechtwinklig zur Windrichtung verlaufen und in ähnlicher Weise auch auf Schneeflächen und auf dem Boden flacher Gewässer zu beobachten sind.

Auch die echten Struktur-Streifenböden wurden zuweilen als Wirkungen des Windes angesehen, so z. B. von Werth 1901, der sie auf den Kerguelen beobachtete und sie als eine Art Rippelmarken bezeichnete; auch die vertieften Rinnen um größere Steinblöcke, die Werth als „Windkanäle“ auffaßte, wurden später von Högbom als Ausfrierungsrisse gedeutet. Gleichzeitig mit Werth hatte Philippi Erdstreifen auf der Possession-Insel festgestellt und sie schon richtig als Wirkungen der Solifluktion und des Frostes erklärt.

c) Auch rinnendes Wasser kann Streifenbildungen zustande bringen. Wenn z. B. an Berghängen Schmelz- oder Regenwasser in gewissen Abständen zu Talc fließt, kann es die Feinerde auswaschen, so daß Steinstreifen übrigbleiben. Högbom meint jedoch (dies gilt wohl vor allem für sehr schwach geneigte Hänge), daß solche Streifen dann die für Wassersysteme charakteristische Federverzweigung aufweisen müßten, die echte Strukturböden nie zeigen. — An Schutt-hängen von Bergen trockenwarmer Gebiete kann abwärtsrieselndes Wasser feuchtere Streifen schaffen, die dann als üppiger grünende Vegetationsstreifen sich von dem kahlen Schutt abheben.

d) Endlich sind noch die bekannten Viehtrittpfade der Alpen-matten und anderer Hochgebirge zu nennen, die auf den Hängen ein waagerecht verlaufendes System kleiner Terrassen aus grünen, girlandenförmigen Rasenbögen und dazwischen eingetieften pflanzen-

freien Bodenstellen schaffen. Diese Viehtrittpfade können gewisse Ähnlichkeit haben mit den durch Solifluktion und Frostwirkung verursachten Fließbodenterrassen, die später zu besprechen sein werden.

II. Spezieller Teil

A. Arktis und Subarktis

1. Texturböden

10. **Netzrißböden.** — Wie schon unter 3a erwähnt, kennzeichnen sich die Texturböden in ihrer einfachsten Form als ein netzförmiges System von Spalten, die anfänglich ganz vegetationslos sind und später von den Spalten ausgehend durch die Pflanzenwelt besiedelt werden. Dieser Vorgang hat das Interesse der Botaniker frühzeitig wachgerufen und ist schon 1837 von Baer aus Nowaja Semlja, 1882 von Kjellman aus Sibirien beschrieben worden: letzterer hat den Ausdruck „rutmark“ (Rautenboden) eingeführt. Später haben sich Andersson (1902) und besonders Th. Wulff (1902) und Hanna Resvoll-Holmsen (1909 und 1913) auf Spitzbergen eingehend mit der Besiedlung der Netzrißböden durch die Vegetation befaßt.

Im ersten Stadium nach ihrer Entstehung zeigen diese Böden also ein einfaches Netz von etwa zentimeterbreiten Spalten, die ebene Vielecke von einem bis zu mehreren Dezimetern Größe umfassen (Abbildungen bei Wulff). Sind sie stärker vom Frost beeinflußt, so wölben sich die Vielecke in der Mitte empor und können wie ein äußerst regelmäßiges Kopfplaster erscheinen (Sapper 1912, Abb. 11). — Bereits jetzt kann die Abtragung einsetzen und die Ecken der Polygone abrunden, so daß sie mehr wie rundliche Scheiben mit größeren Zwischenräumen nebeneinander liegen (Högbom 1914, Abb. 21). — Meist kommt es hierzu aber nicht, sondern die Pflanzenwelt nimmt Besitz von den Spalten, die für das Haftenbleiben von Sporen und Samenkörnern und für ihre Keimung geeignete Bedingungen und geschütztere Lage bieten als die Flächen, und später auch von den Flächen selbst. Zuerst finden sich niedere, blütenlose Pflanzen ein. Auf sehr feuchtem Netzrißboden, dessen Spalten noch von Wasser erfüllt sind, können sich Grünalgen und Blaualgen (*Nostoc*) ansiedeln, die die schlammigen Vielecke mit wulstigen, schleimigen Falten überziehen (Resvoll-Holmsen 1913, Taf. 5. 1). — Auf trockenem Netzrißboden machen gewöhnlich die Flechten

den Anfang; graue und weißliche Krusten von *Lecanora*-, *Ochrolechia*- und *Lecidea*-Arten greifen bald auf die Bodenflächen über, während Strauchflechten wie *Stereocaulon denudatum* und *arcticum*, *Cladonia elongata* und zuweilen *Thamnolia vermicularis* sich auf die Spalten beschränken.

Das nächste Stadium wird dadurch eingeleitet, daß auch Moose (*Polytrichum*-, *Bryum*- und *Rhacomitrium*-Arten) in den Spalten Fuß fassen und sie schließlich ganz ausfüllen. Darauf folgen endlich die Blütenpflanzen, und zwar meist zuerst *Salix polaris* und *Saxifraga oppositifolia*, später *Dryas octopetala* oder *Cassiope tetragona*, untermischt mit Einzelpflanzen aus vielen anderen Gattungen. Die ursprünglichen Spalten werden zu immer breiteren Vegetationsbändern, bis schließlich auch die Flächen ausgefüllt sind und endlich das ganze Gelände von einer dichten Zergstrauchtundra überzogen ist. Zuweilen sind auch sogleich Blütenpflanzen die Erstbesiedler der Spalten, z. B. *Mertensia maritima* (R.-H. 1913, Taf. 4, 2). — Manchmal läßt sich das Fortschreiten der Besiedlung in horizontaler Richtung gut verfolgen, besonders wenn die Gunst der Standortsverhältnisse gradweise abnimmt, wie etwa auf langsam ansteigenden Böden; Andersson bringt davon ein eindrucksvolles Bild (Taf. 5), welches veranschaulicht, wie die Vielecke in der ersten Zone bereits von einem so dichten Netz von Zergstrauchpolstern überzogen sind, daß nur noch kleine Flächen im Zentrum freibleiben sind, während anschließend die Vegetation sich noch auf die Spalten oder schließlich auf die Ecken der Polygone beschränkt und in noch größerer Entfernung und etwas höherer Lage noch völlig fehlt.

Je nach den Feuchtigkeitsverhältnissen kann die Besiedlung des Netzrißbodens auch eine etwas andere Richtung einschlagen; auf sandigen Böden können Trockenmoose und -flechten, *Caryophyllaceen* und *Trockengräser*, auf feuchtem lehmigem Boden *Cruciferen*, *Compositen*, andere *Saxifraga*-Arten, *Pedicularis* u. a. tonangebend werden.

Auf den schon erwähnten schlammig-nassen Böden kann es sogar zur Ausbildung einer Sumpfvegetation kommen, in der *hygrophile* Moose, Gräser, Wollgras, *Carex* und *Juncus* vorherrschen. Ein ganz eigenartiges Aussehen erhält dieser Sumpfnetzboden dann, wenn die in den Spalten angesiedelte Vegetation allmählich die Spalten ausgefüllt und überhöht hat und in den Feldern selbst sich Wasser angesammelt hat, so daß das ursprüngliche Verhältnis umgekehrt erscheint und aus dem Spaltennetz ein Netz schmaler Wälle geworden

ist, die im kleinen denselben Anblick bieten wie die später zu beschreibende Sumpf-Taiga (Abschnitt 16) im großen (Abbildung bei Resvoll-Holmsen 1909, Taf. 20, und 1913, Taf. 6, 1).

Unter dem Einfluß vorherrschenden einseitigen Windes und des durch ihn verursachten Sandgebläses kann die Bewachsung des Zellenrißbodens so behindert werden, daß sie einseitig in denjenigen Spalten der Polygone sich entwickelt oder erhalten bleibt, die konkav zum einwährenden Winde gerichtet sind, wo sie dann lauter gleichgerichtete, bogenförmige Zwergsstrauchwälle bildet (z. B. *Dryas*, bei R.-H. 1909, T. 21, 1, und 1913, T. 5, 2).

Auf geneigtem Boden werden die Polygone unregelmäßig in die Länge gezogen, wobei die Längsachse in die Richtung der Neigung fällt, wie dies Abb. 4 (Taf. 7) aus der Königsbucht zeigt. Hier sind die Spalten von *Saxifraga oppositifolia* erfüllt, in der sich auch schon *Salix polaris* eingenistet hat. Von der ursprünglichen Kryptogamenflora sind noch zahlreiche Moose, gelblich-weiße *Cetraria nivalis* und silbergraues *Stereocaulon arcticum* zwischengestreut, ferner stellenweise etwas *Dryas*. Im vorliegenden Falle handelt es sich nicht mehr um typische Ausbildung des Netzerrißmusters auf feinkörnigem Boden, sondern der Boden ist schon stark mit Schotter untermischt, der hier noch der Oberfläche aufgestreut erscheint, aber später sich auch in den Spalten ansammelt und so einen Übergang zu den Steinnetzwerken bilden kann. — Auf noch stärker geneigtem und durch das Erdfließen in die Länge gezerrten fast nacktem Netzerrißboden werden die einzelnen *Dryas*-Pflanzen so stark beeinflußt, daß sie vollkommen abwärts wachsen und die Wurzeln und der Grund der Zweige höher liegen als die dem Boden angeschmiegten Zweigenden und Blattbüschel (Högbohm 1908/09, Abb. 6).

Besonders eindrucksvoll erscheint der Netzerrißboden dann, wenn ein großes mit einem kleinen Spaltensystem kombiniert und ineinander geschachtelt ist, wobei die großen Polygone einen Durchmesser von 2–3 m haben, die kleinen einen solchen von 15–25 cm. Die großen Polygone sind älter und bereits als ein Netz aus Pflanzenstreifen von mehreren Dezimetern Breite markiert, während die kleinen Vielecke innerhalb der großen noch vegetationslos sind. Zuweilen wird das große Netz von Gräsern gebildet (z. B. *Glyceria reptans*, R.-H. 1913, T. 3, 1), häufiger aber von der *Saxifraga oppositifolia*-*Salix polaris*-Gesellschaft. — Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn Brodelstellen („Lehmbeulen“) von 0,50–1 m Durchmesser den von

der *Saxifraga-Salix*-Tundra übersponnenen Boden in Abständen von 1—1,50 m durchsetzen, wie ich dies gleichfalls in der Königsbucht beobachtete. Die schwach gewölbten Lehmausbrüche waren von einem vegetationsfreien Spaltennetz von etwa 10 cm breiten Feldern durchsetzt, bei dessen Bildung die Ausdehnung infolge der Aufwölbung, der Frost und das Austrocknen in gleicher Weise mitgewirkt haben mögen. Die gleiche Erscheinung hat hier auch Poser beobachtet.

Gut vergleichen mit diesen Erscheinungen lassen sich die von Frödin in Schwedisch-Lappland beobachteten (auf Tafel 3 bei Frödin abgebildet), die er als Vegetationsnetze bezeichnet hat. Auch hier finden sich runde, völlig pflanzenlose Erdflecken in einer gleichmäßigen Vegetationsdecke, die dadurch zu einem weitmaschigen Netz aufgelockert wird und sich aus *Betula nana*, *Salix polaris*, *Salix herbacea*, *Empetrum nigrum*, *Cassiope hypnoides*, *Carex rigida*, *Festuca orina*, *Luzula*-Arten, eingespreuhten Stauden, Moosen und Flechten zusammensetzte.

Eine äußerlich dem Netzerißboden ähnelnde Erscheinung fand ich auf solchen Schotterflächen der Königsbucht, wo weit ausgedehnte Bestände der Flechte *Cetraria Delisei*, nur von spärlich eingestreuter *Salix polaris* unterdrückt, sich über Hunderte von Metern ausbreiten. Hier hatte sich *Cetraria Delisei* stellenweise zu schwach gewölbten Polstern von 10—15 cm Durchmesser zusammengetan, die dicht aneinandergedrängt gleichfalls ein netzähnliches Aussehen ergaben. Die Annahme, daß sich unter diesem Flechtennetz ein entsprechendes Bodennetz verberge, bestätigte sich jedoch nach dem Entfernen der Vegetation nicht: der Boden war vollkommen gleichförmig. Hier handelte es sich nur um eine besondere Wachstumsweise dieser Flechten, ähnlich wie auch in den norddeutschen Flechtenheiden die Cladonien oft in dicht aneinandergedrängten Polstern wachsen (vgl. die Abbildungen bei Tobler und Mattick 1938). — An anderen Stellen des gleichen Gebietes wuchs *Cetraria Delisei* in ganz gleichmäßigen Teppichen, in denen ich zuweilen ein System vollkommen gerader Spalten bemerkte, die eine Länge von 5—10 m hatten und sich jeweils zu dreien in Winkeln von 120° trafen, so daß riesige Netze entstanden. Aber auch hier ließen sich in dem unter der Flechtendecke liegenden Boden keine entsprechenden Risse feststellen, und die Risse in der Flechtenschicht waren wohl nur infolge Austrocknens bei sommerlicher Wärme entstanden.

11. **Rasenhügel** (isländ. *Thufur*, schwed. *Tufvor*). — Stellten die bisher besprochenen Netzrißböden eine Wirkung der Regelationserscheinungen auf pflanzenfreien Boden dar, der erst nach ihrer Entstehung von Vegetation besiedelt wird, so bilden die Rasenhügel das Ergebnis der Frostwirkung auf rasenbewachsenen Boden; ihr Zustandekommen zeigt, daß die Vegetationsdecke kein Hindernis für die Frostwirkungen und damit verbundenen Bodenbewegungen darstellt, sondern daß sie von ihnen beeinflußt und umgeformt werden kann. Die Rasenhügel finden sich am häufigsten auf Island, von wo sie durch Thoroddsen eingehend beschrieben worden sind (Abbildung bei Th. 1914, S. 256). Nicht nur auf unbebauteem Grasland, sondern auch auf den „Hauswiesen“ (Tun), die sich um die Siedlungen erstrecken, treten sie zu Tausenden auf in Form bültenförmiger Hügel von 25—50 cm Höhe und 0,50—2 m Durchmesser bei wenig gewölbter bis fast ebener Oberfläche. Die oberste Bodenschicht besteht aus humusreicher Erde mit Pflanzenresten und ist von einem geschlossenen Rasen überzogen, der sich aus Gräsern zusammensetzt, vor allem *Aira*-, *Poa*-, *Festuca*-, *Agrostis*-, *Alopecurus*- und *Anthoxanthum*-Arten. Unter diese mischen sich *Rumex Acetosa*, *Polygonum viviparum*, *Taraxacum officinale*, *Ranunculus acer* und *repens*, so daß die Hügel zu deren Blütezeit leuchtend gelb erscheinen. Die 10—20 cm breiten grabenförmigen Zwischenräume zwischen den Hügeln sind im Frühjahr beim Schmelzen des Schnees oft bis zur Hälfte mit Wasser angefüllt, das wegen des gefrorenen Untergrundes nicht abfließen kann, während die Rücken oft schon ganz trocken sind. Deshalb ist die Vegetation dieser Gräben ganz anders zusammengesetzt und weist vor allem *Carex*-Arten und Moose auf. — Diese Hügelbildung ist für die Hauswiesen recht hinderlich. Ebnet man die Hügel mit großer Mühe ein, so bilden sich zunächst keine neuen; es kann ein Netzrißboden entstehen, dessen Felder sich nur ganz wenig wölben. Sobald er aber völlig von der Vegetation überzogen ist, setzt die Hügelbildung von neuem ein.

Sapper (1912) hat die gleichen Erscheinungen auch auf Spitzbergen beobachtet, wo sie allerdings verhältnismäßig selten und ebenfalls nur auf vegetationsüberzogenem Gelände auftreten in Form 20—30 cm hoher und 30—50 cm breiter rundlicher, zuweilen auch länglicher Hügel. Er hat sie Frosthügelchen genannt. Sie können mit Gripp als Brodelstellen angesehen werden, die die Vegetationsdecke nicht haben durchbrechen können. — Högbom (1913/14) hat

aber gefunden, daß gelegentlich auch oben die Erde offen liegt und herausquillt. Sörensen bezeichnet die Rasenhügel als Haufenböden und meint, daß die formbildenden Vorgänge in ihnen im wesentlichen an die Zwischenräume zwischen den Hügelchen gebunden seien, während sie im Strukturboden an die zentralen Teile der Felder geknüpft sind. Bergström (1912) hat die Rasenhügel in seinem System der frostgeformten Böden als knöll-rutmark (Buckel-Rautenböden) aufgeführt.

Diese Rasenhügel haben nichts zu tun mit den ebenfalls als Thufur bezeichneten Buckeln, die nur Knotenbildungen der Vegetationsdecke über mit Steinblöcken besätem Boden darstellen, ebenso wenig mit den Bülten in den Mooren, die nur Polster aus Wurzelfasern und Blattrosetten der Riedgräser sind.

12. Torfhügel (finn. Palsen). — Nahe verwandt hiermit scheinen die Torfhügel der finnischen und sibirischen Tundra zu sein (vgl. Pohle 1907), die jedoch viel größere Dimensionen erreichen und gleichmäßig gerundete Kuppen von mehreren Metern Höhe und etwa doppelt so großem Durchmesser darstellen. Sie werden mit einem finnischen Worte als Palsen bezeichnet. Sie scheinen aus ursprünglich ganz unbedeutenden Erhebungen der moorigen Flächen zu entstehen, die im Winter nackt liegen und dem Frost besonders ausgesetzt sind. Obwohl ihr gefrorener Kern auch im Sommer nicht auftaut, sind sie oberflächlich dann ganz ausgetrocknet und tragen eine ausgesprochen xerophile Vegetation von *Polytrichum*- und *Dicranum*-Arten, Zwergräuchern wie *Empetrum*, *Betula nana* und *Vaccinium Myrtillus*, während die Senken an ihrem Fuße von einer feuchten *Sphagnum*-Decke überzogen sind. Zuweilen wird ihre Oberfläche auch durch die Winderosion bloßgelegt oder sie tragen eine Krustenflechtengesellschaft mit überwiegender gelblichweißer *Ochrolechia*. Außer in Sibirien sind die Palsen auch in Lappland, im Gebirge von Härjedalen (Högbo) und auf Island (Thoroddson) beobachtet worden.

13. Wald-Eishügel. — Die Reihe derartiger Bildungen wird abgeschlossen durch solche des sibirischen Waldgebietes, die die größte Ausdehnung der Einzelformen aufweisen. Es ist äußerst interessant, daß, wie später gezeigt werden wird, auch die Reihen der Strukturbodenerscheinungen mit netzförmiger und mit streifenförmiger Ausbildung die Höchstausdehnung der Einzelformen im sibirischen Waldgebiet erreichen und daß auch die größten Formen der Terrassen-

bildung auf Fließerde baumbewachsene Gebilde darstellen. — Bei den hier zu beschreibenden Hügeln handelt es sich um Erhebungen, bei denen man bis zu 14 m Höhe und 200 m Umfang gemessen hat (so im Jakuten-Gebiet nach Schostakowitsch). Sie entstehen durch Ausbildung unterirdischer Eislinsen infolge Gefrierens aufquellenden Wassers. Die dabei sich entwickelnde mechanische Kraft ist so groß, daß die oberen Erdschichten mitsamt den darauf wachsenden Bäumen emporgehoben werden. Dann stehen die Bäume (hauptsächlich handelt es sich um Lärchen) wie Stacheln nach den Außenseiten ab. Kleinere derartige Hügel können im Sommer wieder vergehen und sich jeden Winter neu bilden. Bei größeren bleibt der Eiskern meist erhalten und sie können ein hohes Alter erreichen. Dann paßt sich auch die Vegetation der gekrümmten Oberfläche an. Junge dabei in Schräglage geratene Bäumchen krümmen sich, bis sie wieder senkrecht stehen. Hierbei werden in dem entstehenden Knie ihre Jahresringe exzentrisch, und man hat hieraus das Alter derartiger Hügel auf 100–160 Jahre berechnen können.

2. Strukturböden

14. Brodelböden. — In Abschnitt 3 ist dargelegt worden, wie an dem Zustandekommen der Strukturböden außer den Frosterscheinungen auch Bodenbewegungen beteiligt sind, die auf ebenem Boden als ein langsames, springbrunnenförmiges Brodeln in Erscheinung treten. Derartige Brodelstellen können als die Anfangsstadien späterer Steinringe und Steinnetze angesehen werden. Gripp hat diese Erscheinungen 1927 eingehend aus dem Kongreß-Tal (Spitzbergen) beschrieben. Wenn diese Vorgänge sich in völlig vegetationslosem Boden vollziehen, sind sie nicht leicht zu erkennen, sehr gut dagegen, wenn sie in solchem Gelände auftreten, das mit einem geschlossenen Teppich aus Tundravegetation bedeckt ist. Dann wird diese durchbrochen, und die pflanzenfreien Stellen von 10–100 cm Breite fallen dem Blick sofort auf. Durch die an der Oberfläche vom Zentrum nach außen gerichtete Bewegung kann die Pflanzendecke zur Seite geschoben und dort zu einer Art Ringwall zusammengestaut werden. Manchmal wird die Vegetation sogar zu mehreren kleinen parallelen, konzentrischen Wällen zusammengeschoben. Gripp hat sogar beobachtet, wie dann an der Außenseite der Brodelstellen durch die sich hier nach abwärts umkehrende Bodenbewegung die Pflanzendecke eingeklemmt und in Fetzen und Schweifen in die Tiefe gezerrt

wurde. Diese Bewegungen gehen sicher nicht ständig, sondern nur zeitweise vor sich, und sie können auch in Strukturböden wieder eintreten, die schon längst zur Ruhe gekommen waren: so sind sie im Innern schon fast ganz bewachsener Steinringe festgestellt worden, außer von Gripp auch in der Königsbucht von Poser und in den alten Steinringen des Riesengebirges von Schott. — Auf dem mit dichter Grasdecke überzogenen Boden eines von Birken durchsetzten Kiefernwaldes in Lappland hat Bergström (1912) ähnliche Bodenbewegungen beobachtet, die er als „Gärlehmausbrüche“ bezeichnet. Sie führten zunächst zu einer Aufwölbung, die dann oben aufbrach und Torf und Lehm auswarf, weshalb er die derartigen Böden „Kraterrutmark“ nannte.

Auf geneigtem Boden, sogar steilen Hängen, die von dichter Pflanzendecke überzogen waren, fand Gripp auf Spitzbergen solche Brodelstellen zu parallelen Reihen angeordnet, die den Haug hinab liefen und wohl als eine Vorstufe von Steinstreifen angesehen werden können.

Daß auf ebenem Boden solche Brodelstellen in ganz regelmäßigen Abständen die Pflanzendecke durchsetzen können und dann die freien Erdflecke von einem Netzrißsystem durchzogen werden können, habe ich schon unter 10 von der Königsbucht beschrieben, wo auch schon Poser die gleiche Erscheinung beobachtet hatte.

15. Steinringe und Steinnetze. — a) Klein-Steinnetzwerke, deren Felder wenige Zentimeter Durchmesser haben und im Höchstmaß 20—30 cm erreichen, scheinen in sehr kurzer Zeit entstehen zu können auf Grund kleinräumiger Bodenbewegungen. Poser hat solche Bildungen am Südufer des Kohlenhafens (Königsbucht) angetroffen. Das Steinnetz bestand aus nußgroßen Steinchen, die durch seitliche Pressung Kantenstellung angenommen hatten. Die Netzinassen waren etwa eben so breit wie die umschlossenen Feinerdefelder und ohne jede Vegetation. Über ihre Besiedlung durch die Pflanzenwelt ist aus der Arktis noch nichts bekannt geworden. Ich habe ganz ähnliche Kleinsteinnetze in den Alpen beobachtet und konnte dort auch die ersten Anfänge der pflanzlichen Besiedlung verfolgen (siehe Abschnitt 27). Eine solche Sonderung der Vegetation, wie sie anschließend für die großen Steinnetze beschrieben wird, ist für die Miniaturformen kaum anzunehmen; wahrscheinlich wird hier die Oberfläche bald von gleichmäßiger Flechten- und Zergstrauchtundra überzogen.

b) **Großformen.** — Das verschiedenartige Aussehen der Großformen hängt von der Bodenbeschaffenheit ab. Enthält der Feinboden nur wenig gröberes Material und liegen die Entstehungszentren weit genug voneinander entfernt, so bilden sich kreisrunde Steinringe. Ist der Boden reicher an Steinen, so treten die Ringe so nahe aneinander, daß sie sich berühren und zu Polygonen werden, so daß man von einem Steinnetzwerk sprechen kann. Mit abnehmendem Gehalt an Feinerde werden die Netzmächen immer breiter; auf Blockfeldern, die nur wenig Feinerde enthalten, kann diese schließlich in Form von Erdinseln an der Oberfläche angereichert werden. Sogar in solchen Blockmeeren und Schotterfeldern, die gar keine Feinerde enthielten, hat man Steinringe beobachtet, wo in den Ringen selbst die Steine Kantenstellung zeigten, während sie im Innern der Felder waagerecht lagen (so z. B. in Schottland [Gregory] und im Riesengebirge, siehe unter 32).

Die prachtvollen Steinringe und Steinnetze von Spitzbergen sind schon von vielen Autoren beschrieben worden, so von Resvoll-Holmsen, Miethe, Meinardus, Högbom, Gripp und Poser. Ursprünglich bezeichnete man sie gern als „falsche Polygonböden“ (im Gegensatz zu dem Polygonboden, der als Netzrißboden unter 10 besprochen wurde). Mit ihrer Vegetation haben sich jedoch im Gegensatz zu den Netzrißböden die Botaniker viel weniger befaßt.

Auf Spitzbergen sind die verschiedensten Stadien der Pflanzenbesiedlung dieser Steinringe und Steinnetze beobachtet worden. Noch völlig vegetationsloses Steinnetzwerk hat Poser in der Königsbucht festgestellt, ellipsenförmige Bildungen von 0,5—3 m Ausdehnung mit Steinrahmen von etwa 20 cm Breite und 12 cm Höhe aus bis faust großem Material. Nur hier und da fanden sich einzelne Pflänzchen. Auch am Ufer eines Sees beim Bröggergletscher fanden sich schöne Steinnetze aus Ellipsen von 2—8 m, deren Mittelfelder gewölbt waren; ihre ganze Erscheinung zeigte frische Züge, und Vegetation fehlte noch vollständig.

In einem späteren Entwicklungsstadium fangen nun die Pflanzengesellschaften der Umgebung an, von dem Steinnetzwerk Besitz zu ergreifen. Die weiten, mehr oder weniger ebenen Flächen, die auf Spitzbergen stellenweise dem dauend von Schnee und Eis bedeckten Höhengelände vorgelagert sind, werden, wo dies die Gunst des Klimas einigermaßen zuläßt, hauptsächlich von Zwergstrauchheiden (aus *Dryas octopetala*, *Cassiope tetragona*, *Salix polaris*) und *Saxifraga*

oppositifolia-Beständen überzogen, und zwar dort, wo die schneefreie Zeit lang und der Boden verhältnismäßig trocken und humushaltig ist und aus Erde, mit kleinen Steinen untermischt, besteht. Auf den weiten feuchten Schotterflächen, die den Gletschern vorgelagert sind und von ihren Abflüssen in vielfachen Verästelungen durchzogen werden, finden wir dunkelbraune Strauchflechtenheiden, vor allem von *Cetraria Delisei*, die sich kilometerweit hinziehen können. Für den weichen, nassen und plastischen Lehmboden feuchter Lagen aber sind Krustenflechten-Gesellschaften von bläulichgrauer, gelblicher oder schwärzlicher Farbe kennzeichnend. Diese verschiedenen Gesellschaften versuchen nun auch auf den Steinnetzwerken die ihnen zusagenden Stellen zu besiedeln; dies geschieht in ganz eigenartiger Weise, wie es an Hand der Abb. 1 und 2 (Tafel 6) näher gezeigt werden soll. Abb. 1 stellt Steinringe aus der Umgebung von Ny-Aalesund (Königsbucht) dar. Die Steinwälle selbst sind noch völlig vegetationslos, aber in ihrem Innern hat sich ein etwa 20 cm breiter wallartiger Gürtel von Strauchflechten mit eingestreuten Blütenpflanzen ausgebildet. In folgender Zusammenstellung ist seine Zusammensetzung angegeben, wobei die Zahlen in der üblichen Weise den Deckungsgrad bedeuten. Sie stellen den Durchschnittswert zahlreicher Abschätzungen einzelner Ringflächen dar. Zahlen für die Stetigkeit habe ich nicht angegeben, da die Zusammensetzung fast durchweg die gleiche war: *Cetraria Delisei* 5, *Salix polaris* 1—2, *Saxifraga oppositifolia* +—1, *Oxyria digyna* +—1, *Silene acaulis* +—1, in vereinzelten kleinen Polstern eingestreut. *Phippia algida* +—1, *Stereocaulon arcticum* +—1, *Cetraria islandica* +—1, *Luzula nivalis* +, *Cerastium alpinum* +, *Saxifraga grönlandica* +, *Alectoria nigricans* +, *Drepanocladus spec.* +, in kleinen Rasen von 3—6 cm Durchmesser eingestreut, *Polytrichum spec.* +—.

Die Strauchflechten erreichen etwa 5 cm Höhe; sie sind zu Tausenden polsterförmig fest aneinander gepreßt, werden unten schwarz und sterben ab und gehen in eine dünne Laubstreu aus zerfallenen Flechtenteilen und *Salix*-Blättern über, worunter dann der Steinschotter folgt, der meist aus eckigen Kalksteinen besteht, die mit rundlichen Granitstücken oder Tonschieferbrocken vermischt sein können. Während die Steinringe selbst aus Steinen von 2—5 cm oder bis zu Faustgröße zusammengesetzt sind, wird die Unterlage dieses Strauchflechtengürtels von etwa haselnußgroßen Brocken gebildet. Auf Abb. 3 (Taf. 7), wo im Vordergrund des langgezogenen

Steinringes diese Unterlage an einigen Stellen frei liegt, kann man diesen Unterschied sehen.

An diesen *Cetraria-Salix*-Ring über Schotter schließt sich nun nach innen das Feinerdefeld an, das meist etwas gewölbt erscheint und aus feuchtem, weichem, tonig-lehmigem Boden besteht, in den man zuweilen einsinkt und in den man mit dem Stock etwa $\frac{1}{2}$ m tief hineinstechen kann, ohne Widerstand zu finden.

Hier beginnt von außen nach innen eine Krustenflechtengesellschaft vorzudringen, die folgende Zusammensetzung hat: *Lecidea ramulosa* 2—4, graublaue Krusten bildend, zuweilen in quadrat-dezimetergroßen Reinbeständen, zuweilen unterbrochen von schwarzen Flecken (1—2) abgestorbener Moose, die anscheinend von einer sterilen dünnen Krustenflechte überzogen sind, die sie in kohlige Massen verwandelt; *Ochrolechia tartarea* 2—3, *Grimmia* spec. 1—2, *Lecanora verrucosa* +—1, *Stereocaulon arcticum* +—1, *Riatara* sp. +, *Collema* sp. +.

Diese Krustenflechtengesellschaft bildet, sich an den Strauchflechtenring innen anschließend, einen zweiten, bläulich- oder gelblich-grauen Ring, der anfangs noch ein völlig pflanzenfreies Mittelfeld umschließt; dieses wird zuweilen von feinen Netzrissen durchzogen. In dem frühen Stadium fehlen dem Krustenflechtenring noch alle höheren Pflanzen; später aber beginnen *Saxifraga oppositifolia* und vereinzelte Gräser in ihn vorzustoßen (Abb. 2, Taf. 6), bis auch das Zentrum ganz von Krustenflechten und *Saxifraga* überzogen sein kann, wenn nämlich die Bodenbewegungen hier zum Abschluß gekommen sind.

Die einzelnen Steinringe stoßen meist so eng aneinander, daß die sich berührenden Steinwälle nur noch eine furchenartige Vertiefung zwischen sich lassen; ein Verschmelzen beider Wälle habe ich nicht beobachtet. Sind die Ringe aber etwas weiter voneinander entfernt, so können die Zwischenräume ebenfalls von der *Cetraria-Salix*-Gesellschaft ausgefüllt werden, wie man es in Abb. 1 im Vordergrund rechts sieht. Bei Abb. 2 dagegen handelt es sich schon um ein Steinnetz, dessen einzelne Felder keine getrennten Steinwälle mehr besitzen, sondern einen gemeinsamen. Abb. 3 (Taf. 7) zeigt einen auf schwach geneigtem Gelände in die Länge gezogenen Steinring, der eine wattenförmige Vertiefung umschließt. Daraus, daß viele von den Steinen von Krustenflechten überzogen sind (*Lecidea*-, *Lecanora*- und *Rhizocarpon*-Arten), zuweilen auch von Blattflechten (*Parmelia*

pubescens, *P. alpicola*), ist zu ersehen, daß diese Steine schon lange die gleiche Lage haben, denn diese Flechten brauchen wegen ihres sehr langsamen Wachstums viele Jahre zu ihrer Entwicklung.

Ähnliche Beobachtungen über verschiedenartige Entwicklungs-zustände in der Pflanzenbesiedlung der Steinringe hat auch Meinardus in der Königsbucht machen können. Er fand an einer Stelle voneinander noch entfernte Steinringe, die dunkelfarbige, vegetationsarne Felder umschlossen, voneinander aber durch grüne, pflanzenbedeckte Zwischenräume getrennt waren. Auf etwas höher gelegenem Gelände dagegen waren die Innenseite der Steinringe von dunklen Vegetationsringen und hellgrauen, flechtenbedeckten Mittelfeldern ausgefüllt.

Als nächstes Stadium der Vegetationsentwicklung beobachtete ich im gleichen Gebiet, wie sich die *Cetraria-Salix*-Gesellschaft auch über die Steinwälle selbst ausgebretet hatte und sie völlig überzog, so daß hier das Gelände nicht mehr mit hellfarbigen Steinringen, sondern nur noch mit dunklen Pflanzenringen bedeckt war; die Innenseiten nahmen immer noch Krustenflechten mit spärlicher *Saxifraga oppositifolia* ein.

Noch später können auch Zwergstrauchbestände von *Dryas octopetala* und *Cassiope tetragona* vermischt mit der hellgelben *Cetraria nivalis*, auf den Steinringen Fuß fassen, und dann ergeben sich ähnliche Bilder, wie sie schon bei den Netzrißböden beschrieben worden sind.

Ob endlich als Abschlußstadium auch das ganze Steinnetzwerk von einer gleichmäßigen Zwergstrauchtundra überzogen werden kann, ist bisher noch nicht festgestellt worden, da derartige ganz unter einer Vegetationsdecke versteckte Strukturböden wohl leicht der Beobachtung entgehen.

Poser hat darauf hingewiesen, wie beim Entstehen einer derartigen Vegetationsdecke durch das Eindringen der Wurzeln in den Boden und die Zersetzung der abgestorbenen Pflanzenteile sich allmählich Humus bildet und der Boden sich dunkler färbt.

Ganz besonders großmaschiges Steinnetzwerk, dessen einzelne Formen bis 16 m lang und bis 5 m breit waren, hat Poser auf schwach geneigtem Boden westlich vom Kohlenhafen der Königsbucht festgestellt. Die schwach gewölbten erdigen Felder waren von einer grauen Flechte (wohl der obengenannten Gesellschaft) überzogen.

Auch Erdinseln mit dürftiger Vegetation sind in blockbedecktem Gelände Spitzbergens von Poser und Meinardus beobachtet worden.

Ganz parallel hierzu verläuft die Vegetationsbesiedlung der Steinnetze in Skandinavien, wie sie von Frödin aus Schwedisch-Lappland dargestellt worden ist (Frödin, Taf. 2). Nur werden hier die arktischen Arten zum Teil durch nordische oder alpine ersetzt. Der an den Steinring sich innen anschließende Pflanzengürtel bestand hier hauptsächlich aus *Salix herbacea* (2), *Cassiope hypnoides* (3—4), *Stereocaulon tomentosum* (1—2), *Polytrichum strictum* (1—2), *Cetraria islandica* (+—1) und *Carex rigida* (+). Der innere Vegetationsgürtel setzte sich ebenso wie auf Spitzbergen hauptsächlich aus Krustenflechten, Blattflechten und Moosen zusammen und entsprach dem aus Skandinavien und den Alpen oft beschriebenen *Anthelietum* mit *Anthelia nivalis* 3—4, *Solorina crocea* 1—2, *Stereocaulon tomentosum* und *paschale* +—1, *Cladonia alpina* +, *Polytrichum alpinum* +, *Ranunculus glacialis* +. Auch hier ist das Zentrum der Erdfelder zunächst pflanzenfrei, wird später aber von der *Anthelia*-Gesellschaft besiedelt. — Die gleichen Beobachtungen haben Rübel im zentralen Süd-Norwegen (Finse) und Högbom in Dovre (Snehätta) gemacht; auch ich konnte im letztgenannten Gebiet die zoneninäßige Anordnung feststellen. — In einem späteren Entwicklungszustande sind dann diese skandinavischen Steinnetzfelder gleichmäßig von einer Zwergstrauchdecke überzogen.

Im nordschwedischen Nadelwaldgebiet hat Bergström Steinnetze auch in tieferen Lagen angetroffen, und zwar in Lule Lappmark und Västerbotten, allerdings nicht im waldbedeckten Gelände, sondern auf den Böden zeitweilig trocken liegender Seen und hier dementsprechend ohne jeden Pflanzenwuchs.

16. *Polygon-Sumpftaiga*. — Ihre großräumige Entwicklung erreichen auch die *Polygon*-Bildungen wieder in Sibirien, wo auch die höchste Stufe der Vegetationsentwicklung, nämlich der Wald, ihre Besiedlung übernimmt. Es handelt sich dabei um eine höchst eigenartige amphibische Landschaft, die bis vor kurzer Zeit noch unbekannt war, und von der erst die Weltfahrt des Luftschiffes „Graf Zeppelin“ im August 1929 durch prachtvolle Aufnahmen aus dem Gebiet zwischen Ob und Jenissei bei 62° n. Br. Aufschluß gebracht hat (Wasmund 1930, Taf. 31). Da die Sumpftaiga im Sommer völlig unzugänglich ist, im Winter aber die Schneedecke die Landschaftsformen verhüllt, blieb ihre merkwürdige Struktur bisher verborgen.

Ein Netz von Erdwällen, die nur 1—3 m breit sind, ragt nur wenig empor über die eingeschlossenen Sumpf- oder Wasserflächen und erzeugt so mehr oder weniger regelmäßige Vielcke, die Durchmesser von 50—100 m und mehr besitzen. Die Netzeleisten sind von lichtem Walde bedeckt, der sich aus Birken, Espen und Zirbelkiefern zusammensetzt. Dichte *Sphagnum*-Bestände in giftig grünen oder flammend gelben und roten Farbtönen überziehen dazwischen die weiten Sumpfflächen, stellenweise blitzt auch freie Wasserflächen auf. Ob diese Strukturgroßbodenformen, die schon einen Übergang zu Unterwasserformen darstellen, auf ewig gefrorenem Boden ruhen, der das Schmelzwasser aufstaut, hat sich noch nicht nachprüfen lassen; es ist aber als wahrscheinlich anzunehmen.

17. **Streifenbildungen.** — Die Streifenbildungen können hier kürzer behandelt werden, da es sich bei ihrer Vegetation meist um die gleichen Pflanzengesellschaften handelt wie bei den Steinnetzen, nur daß sie auf dem geneigten Gelände zu mehr oder weniger breiten parallel abwärts laufenden Bändern geordnet sind.

Als Anfangsstadien der Streifenbildung können reihenweise angeordnete Brodelstellen auf geneigtem Gelände angesehen werden, wie sie von Högbom in Lappland und von Gripp auf Spitzbergen beobachtet wurden. Sie sind schon unter 14 erwähnt worden. Sie können sowohl auf vegetationslosem Boden entstehen wie auch auf bedecktem, wobei dann die Pflanzendecke zu ringförmigen Falten zusammengeschoben werden kann.

Kleinformen ohne jeden Pflanzenwuchs, in Gestalt von dunklen, 2—4 cm breiten Erdstreifen, die ein wenig gewölbt sein können, und ebenso breiten hellen Streifen linsen- bis erbsengroßer Steinchen in schwach vertieften Furchen beobachtete Poser bei Ankershafen (Green-Harbour-Fjord, Spitzbergen); 10—25 cm breite Steinstreifen zwischen 20—40 cm breiten Erdstreifen sah er auf Island.

Großformen, schon richtige Steinwälle von 20—40 cm Breite und 12 cm Höhe mit dazwischenliegenden Erdstreifen von 50—120 cm Breite fand Poser in der Königsbucht. Sie liefen in der Hauptsache parallel, waren aber vielfach geschlängelt und gewunden, und zuweilen vereinigten sich zwei Steinstreifen wie ein langgezogenes Netz. Die Vegetation, aus niedrigen Einzelpflanzen oder langgezogenen Polstern bestehend, spielte eine geringe Rolle und zog sich in schmalen Bändern an der Grenze von Stein- und Erdstreifen hin.

Auch die umgekehrte Erscheinung hat Poser hier beobachtet, daß nämlich Vegetationsstreifen von 20—50 cm Breite in den tieferen Rinnen über dunklem Feinmaterial abwechselten mit 50—80 cm breiten schwach gewölbten Bodenstreifen, die von kleinen Steinen übersät waren: Poser nimmt an, daß die Steine später in die Rinnen abtransportiert werden und so daraus die gewöhnliche Form des Streifenbodens entstehen könnte.

Auch unter vollkommen einheitlicher Pflanzendecke konnten noch Steinstreifen festgestellt werden, wenn man die Pflanzendecke entfernte, wie dies Gripp ebenfalls auf Spitzbergen zeigen konnte. Wahrscheinlich stellt dieser Zustand das Endstadium dar; ob sich hier auch unter der Pflanzendecke noch gelegentliche Bewegungen im Boden vollziehen, vernochte Gripp nicht zu entscheiden.

Eine besonders merkwürdige Form fand Högbom am Nuolja bei Abisko: Hier verliefen parallele wulstförmige Vegetationsstreifen nicht gleichlaufend mit dem Gefälle, aber auch nicht in Richtung der Höhenlinien, wie dies für Terrassenbildungen kennzeichnend ist, sondern schräg abwärts, ohne daß sich dies irgendwie näher erklären ließ.

Ich selbst beobachtete in der Königsbucht, nordwestlich von Ny-Aalesund, auf schwach geneigtem Gelände einen Streifenboden, der bereits stark von der Vegetation überzogen war, obwohl die Aussonderung des größeren Materials hier noch nicht zum Abschluß gelangt war. Schon von weitem fielen dunkelbraune Streifen von *Cetraria Delisei* auf, die 4—6 cm Breite besaßen und sich in Abständen von 15—20 cm in der Fließrichtung über viele Meter hinunterzogen, zuweilen ganz gerade, zuweilen etwas geschlängelt. Die *Cetraria*-Streifen saßen auf einem groben Kalkschotter, der an manchen Stellen neben ihnen auch noch frei sichtbar war (Abb. 5, Taf. 8). Stellenweise war den Flechten eine Moosvegetation vorausgegangen, die dann von ihnen überwachsen wurde. Diese Flechtenstreifen über dem groben Schotter bildeten etwas tiefer liegende Rinnen, während die Zwischenräume von lehmigem Boden, mit ganz feinkörnigem Schotter bestreut, erfüllt waren und eine schwach gewölbte Oberfläche zeigten. Hier wuchsen zwar auch noch ver einzelte *Cetraria*-Büschele (1—2), im übrigen aber eine lockere Pflanzendecke aus *Drepanocladus* spec. (1—2), *Polytrichum* spec. 1—2, *Oxyria digyna* 1, *Luzula nivalis* +, *Cerastium alpinum* +, *Ochrolechia tartarea* +, *Stereocaulon arcticum* +.

An anderen Stellen, wo die Materialsonderung in Schotterstreifen und steinfreie Lehmstreifen vollständig durchgeführt war, erschienen die Steinstreifen von geschlossner *Cetraria Delisei*-Decke mit eingestreuter *Salix polaris* überzogen, während die Erdstreifen schwarzblau gesprenkelt aussahen von abgestorbenen, schwarzen Moosen und kleinen streifenförmigen Beständen der bläulichgrauen Krustenflechte *Leucidea rambulosa*.

Eine besonders eigenartige Erscheinung bot sich in der Nähe des Amundsen-Gedenksteins an einem schwach nach dem Strande zu geneigten Hange. Hier bildeten 10—15 cm breite Streifen von *Dryas octopetala*, durchsetzt von *Cetraria nivalis*, waagerechte, girlandenförmige Terrassen in Abständen von 50—60 cm; senkrecht dazu verliefen hangabwärts dunkle Streifen feiner Erde, etwa 3 cm breit und in Abständen von etwa 10 cm; zwischen diesen zogen sich breitere hellere Streifen hin, die aus 1—3 cm großen Schotterstückchen von Schiefer, Granit und Kalkstein bestanden. Während sie völlig pflanzenfrei blieben, waren auf den Erdstreifen an einigen Stellen bereits Krustenflechten zu finden. Auf diese Weise hatte die Bodenoberfläche ein merkwürdig gitterförmiges Aussehen erhalten.

18. Streifen-Sumpftaiga.— Den Streifenbildungen auf festem Boden entsprechen in der sibirischen Sumpftaiga Parallel-Struktursümpfe, die hier im subarktischen Klima riesige Ausmaße annehmen. Sie sind von gleichem Aufbau wie die unter 16 beschriebenen Vielecke, nur daß schon bei ganz unbedeutendem Gefälle sich das Erdfließen bemerkbar macht und die Vielecksmaschen zu langen Streifen auszieht, die dem hier allgemein vorherrschenden Nord-Süd-Gefälle folgen. Reihen von Birken und Espen besetzen die Erdwälle, deren Verknüpfungspunkte über 100 m voneinander entfernt sein können, während ihre Abstände 5—20 m betragen dürften.

3. Verwandte Frost- und Fließboden-Erscheinungen

19. Fließerdewülste und -terrassen.— Die Vegetationsbesiedlung der Fließerdewülste, -terrassen und -zungen, wie sie in den subarktischen Gebieten recht häufig sind und besonders aus Skandinavien beschrieben wurden, zeigt interessante Parallelen zu der Besiedlung der Strukturböden durch die Pflanzenwelt; hierauf hat besonders Frödin hingewiesen, wie noch näher auszuführen sein wird.

Langsam kriechende Bodenbewegungen können nach der Angabe Högboms über große Areale hin stattfinden, ohne daß die deckende Vegetation merkbar beeinflußt wird; nur gewisse, scheinbar unbedeutende Einzelerscheinungen geben dann von dem Vorhandensein der Bodenbewegungen Kunde.

Meist aber, und besonders wenn die Solifluktuation sich rascher vollzieht, wird die Pflanzendecke dadurch in Mitleidenschaft gezogen und sie hemmt anderseits wieder das Abwärtsfließen des Bodens durch die Bildung von fältigen Wülsten und Terrassen. — Fließerdezungen kommen dadurch zustande, daß auf geneigtem Gelände der Boden soviel Wasser aufgenommen hat, daß er zu einer plastischen Masse wird, die nun durch die Schwerkraft in Bewegung versetzt wird und langsam abwärts wandert in Form schmaler Zungen (Erdgletscher) oder breiter Wülste. Zuweilen war der Boden anfangs vegetationslos und wird erst dann, wenn er zur Ruhe gekommen ist, von einer Pflanzendecke überzogen. In anderen Fällen war er von vornherein mit Pflanzenwuchs bekleidet, der nun der Abwärtsbewegung ein gewisses Hindernis entgegenseetzt und sie vielleicht nach einiger Zeit auch wieder zum Stillstand bringt. Auch indirekt übt die Vegetation einen gewissen Einfluß aus, indem durch die Transpiration der Pflanzen die Verdunstung vom Boden aus zu- und sein Wassergehalt abnimmt, was zu seiner Stabilisierung beitragen muß. Beim Vorwärtskriechen wird die Pflanzendecke oft losgerissen, so daß die Fläche der Bodenfalte vegetationsfrei wird, an der meist bogenförmigen Front dagegen eingepreßt und allmählich begraben. Sernander berichtet von einem Fall, wo man aus der Länge der Rhizome auf solche Weise begrabener *Saussurea*-Pflanzen schließen konnte, daß die Vorwärtsbewegung während des Sommers 2–3 dm betragen hatte. Högbom beobachtete, daß bei *Braya purpurascens* die Hauptwurzel, die sich dem Bodenfließen anzupassen versuchte, viermal so lang wuchs wie bei Pflanzen auf unbewegtem Boden. Von Spitzbergen (Kap Wijk) beschreibt Högbom Erdwülste, die eine 2 dm dicke von Flechten- und *Dryas*-Vegetation überzogene Torfschicht zusammenfalteten. Kleine Bäume und Sträucher, die dem Vorrücken der Faltung im Wege stehen, werden umgebogen und schließlich begraben, wie es Sernander an *Salix lanata* in Härjedalen und Högbom ebenda an Birken beobachtet haben. Die so unter die Erde geratene Pflanzendecke kann sich in eine Torfschicht umwandeln. Wo Fließerde im Walde auftritt, wie dies in den höheren Lagen der Birkenregion

Lapplands recht allgemein ist, zeigen auch die auf der bewegten Fläche stehenden Bäume deutliche Beeinflussung, indem die Birkenstämme am Grunde gebogen erscheinen. Das gleiche ist auch im nord-schwedischen Nadelwaldgebiet festgestellt worden. Daß Nadelbäume auch auf ganz andere Weise durch Erdfließen geschädigt werden können, zeigt die Mitteilung A. G. Högboms, wonach sich schlammige Fließerde durch einen Kiefernbestand wälzte, den Waldboden überzog und infolge gehemmter Luftzirkulation des Wurzelsystems die Bäume zum Absterben brachte. — Größere Fließerdezungen nehmen den Charakter von breiten Wülsten an; ihre sich vorwärts wälzende Front überquert in Form langgestreckter Girlanden die Abhänge, während die Oberfläche mehr oder weniger waagerecht ist. Die Front kann mehrere Meter hoch werden und ist oft reich an Blockmaterial, das sich zu moränenartigen Wällen ansammeln kann, während die Fläche aus feinerem Material besteht und oft weich und lehmig ist. Derartige Wülste können nun zu mehreren übereinander liegen und dann treppenartige Terrassen bilden (abgebildet z. B. bei Frödin, Taf. 4), auf denen die Vegetation in regelmäßiger Weise folgendermaßen angeordnet ist: Die Steilhänge sind aus festerem, oft völlig trocken erscheinenden Erdmaterial aufgebaut mit reichlich eingestreuten Steinen, zuweilen sogar größeren Blöcken, und sie tragen ein dichtes Gebüsch von *Betula nana* und Weiden (*Salix lapporum*, *lanata*, *glauca*), oder in anderen Fällen von Zwergräuchern wie *Dryas*, *Empetrum*, *Cassiope*; dies gilt besonders für schon länger zum Stillstand gekommene Wülste. Die waagerechten Flächen dagegen bestehen aus feiner Erde ohne Steine, sind viel wasserreicher, weich lehmig-tonig, oft sogar schlammig, besonders während der Schneeschmelze, können aber später an der Oberfläche stärker austrocknen. Zuweilen ist ihre Oberfläche vollkommen vegetationslos. Die erste Pflanzenbesiedlung besteht meist aus Lebermoosgesellschaften (z. B. dem *Anthelietum*), dann kann sich die Krusten- oder Strauchflechten-tundra auf ihnen ausbreiten, in wieder anderen Fällen *Carex*-Bestände oder Staudengesellschaften, zuletzt gelegentlich auch die Zwergräuchertundra. Bei den stufenförmig übereinanderliegenden Terrassen hat Frödin beobachtet, wie die Entwicklung um so weiter fortgeschritten war, je tiefer die Terrasse lag, so daß die höchst gelegenen Stufen zuweilen auf ihrer Fläche noch nackt waren und erst die Abstürze sich mit einer Pflanzendecke überzogen, während weiter unten schon die späteren Stadien der Entwicklung erreicht waren. Ser-

nander, der die Fließerdeerscheinungen der schwedischen Gebirge zuerst in botanischer Hinsicht eingehend untersuchte, nahm an, daß die Vegetationslosigkeit oder -armut der Terrassenflächen eine Folge der Winderosion sei. Doch wies schon Högbom darauf hin, daß es schwer einzusehen wäre, warum dann gerade nur die horizontalen Flächen erodiert sein sollten und nicht auch die Hangflächen; er meint vielmehr, daß diese Nacktheit die gleichen Ursachen habe wie die der Zentren der Steinnetze. Eingehend hat dieses Verhältnis dann Frödin untersucht; er weist darauf hin, daß die Pflanzengesellschaften der steinhaltigen Terrassenabhänge genau übereinstimmen mit denen der Steinwälle, die auf ebenem Boden die Steinnetze formen, und daß die Vegetation und die Besiedlungsfolge der waagerechten Terrassenflächen die gleiche ist wie die der Feinerdeflächen im Innern der Steinnetze und Steinringe. Es machen sich also auf dem Terrassenfließboden die gleichen vegetationshemmenden Einflüsse geltend, und zwar von der Fläche nach dem Abhange zu in abnehmendem Maße, wie sie bei den Steinringen vom Zentrum her gegen den Steinwall ebenfalls mit abnehmender Intensität wirken. Später hat auch Sörensen für Grönland auf diese Kausalverbindung zwischen Strukturierung und Erdfließen hingewiesen; er hat eine Zusammenstellung gebracht, die alle diese Erscheinungen in ein System einreih't und ihre Abhängigkeit von der homogenen oder inhomogenen Materialbeschaffenheit, der schlenden oder mehr oder weniger gegebenen Neigung des Geländes, der Dauer der Schneedecke und der Tiefe des Aufstauens klar und übersichtlich aufzeigt.

Es ergibt sich also eine deutliche Übereinstimmung zwischen den Kräften, die in der Arktis Strukturböden, in der Subarktis Terrassenböden erzeugen, und der jeweiligen Besiedlung der Feinböden und der Steinwälle durch entsprechende Pflanzengesellschaften.

20. Steingirlanden. — Hierunter versteht man Steinstreifen, die sich auf Geländehängen waagerecht hinziehen, stufenförmig übereinanderliegen können und oft girlandenförmig durchhängen. Sie sind mit den zuletzt beschriebenen Terrassenbildungen nahe verwandt und auf Spitzbergen, in Lappland, Härjedalen und Dovre von Högbom beobachtet worden. Über ihre Vegetation teilt er nur mit, daß sie sich meist in Gebieten mit gut entwickelter Pflanzendecke finden; die Zusammensetzung derselben wird wohl der von den Fließerdeterrassen beschriebenen ähneln. — Auf pflanzenfreiem Boden hat Högbom auch solche Steingirlanden gefunden, die aus Steinnetzen

entstanden zu sein schienen, die nicht wie sonst abwärts in die Länge gezogen waren, sondern eher zusammengedrückt erschienen, so daß die Horizontalstreifen gut entwickelt waren, die abwärts laufenden Verzweigungen dagegen nur schwach.

Terrassenförmig angeordnete Steinstreifen, hinter einem Küstenwaldgürtel von *Betula tortuosa* gelegen, hat Pohle aus Nord-Rußland beschrieben. Sie werden von größeren und kleineren Steinblöcken gebildet und liegen in mehreren Metern Abstand, durch Zwergstrauchtundra-Gürtel voneinander getrennt. Pohle erklärt sie für alte Strandlinien; sie haben aber in ihrem Aussehen große Ähnlichkeit mit echten Fließerdeterrassen und Steingirlanden.

21. **Strangmoore.** — Bei den Hochmooren Mitteleuropas und Süd-Skandinaviens sind auf dem im allgemeinen ebenen Gelände die um wenige Dezimeter erhöhten, mehrere Quadratmeter großen Bulte und die dazwischenliegenden tieferen und feuchteren Schlenken, die sich von ihnen meist auch durch etwas andere Vegetationszusammensetzung unterscheiden, sowie die eingestreuten Hochmoorteiche (Blänken oder Kolke) meist ganz unregelmäßig angeordnet und liegen wirr durcheinander. Im nördlichen Verbreitungsgebiet der Hochmoore, also in Nord-Skandinavien, Nord-Rußland, Nord-Kanada, sowie im Hochgebirge oberhalb der Baumgrenze nehmen unter dem Einfluß des Bodenfließens und der Frostwirkungen die Bulte die Form langgestreckter, bis zu 0,50 m hoher Stränge an, die sich parallel in Richtung der Höhenlinien und rechtwinklig zur Gefällerichtung anordnen und ebenso verlaufende Senken, hier Flarke (schwedisch) oder Rimpis (finnisch) genannt, zwischen sich lassen. Diese Moore heißen deshalb **Strangmoore** oder finnisch **Aapamoore**. Auer, der die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren Nord-Finnlands eingehend studiert hat, stellte fest, daß selbst dann, wenn das Gefälle nur noch 30—40 cm auf 1 km betrug, noch Strangbildung zustande kam, und daß das Vorwärtsgleiten des Torses in der Richtung des abfließenden Wassers, die Schubwirkungen der Bodenfließerscheinungen über dem noch gefrorenen Untergrunde, der Druck des Schmelzwassers und des Schneebreies besonders im Frühling zusammenwirken mit den Gefriererscheinungen der kälteren Jahreszeiten. — Die Vegetation der Flarke und Stränge ist gleich der unserer Bulte und Schlenken entsprechend den verschiedenen Standortsverhältnissen ganz verschieden zusammengesetzt. Die Flarke können ganz von Wasser erfüllt sein, und sie tragen dann Schwimm-

pflanzen oder schlammwurzelnde Pflanzen mit schwimmenden oder emporragenden Blättern, z. B. *Nymphaea*-Bestände, oder sie sind auch völlig mit Vegetation bedeckt, vor allem Flachmoorgesellschaften, z. B. *Carex*- und *Eriophorum*-Beständen. Die Stränge dagegen, die bis 5—10 m Breite und bis zu 200 m Länge erreichen können, sind im feuchteren Zustande hauptsächlich mit *Sphagnum fuscum*, *Scirpus caespitosus*, *Menyanthes*, *Equisetum limosum*, *Carex*- und *Juncus*-Arten, *Comarum* und *Molinia* bedeckt, später mit *Ledum*, *Andromeda*, *Rubus Chamaemorus*, *Betula nana*, im trockneren Schlußstadium sogar mit *Cladina*-Arten, *Calluna* und *Pinus*.

Seit die Möglichkeit besteht, aus dem Flugzeug Einsicht in die Anordnung der Vegetation zu gewinnen, sind prachtvolle Luftbilder nicht nur von der früher erwähnten Sumpftaiga, sondern auch von den Strangmooren veröffentlicht worden, so z. B. von Tanner aus Labrador (wiedergegeben bei Troll 1939, Taf. 14), wo man wundervoll die der Gefällsrichtung entsprechenden terrassenförmigen Anordnungen erkennen kann.

Mit den sibirischen Streifensümpfen (Abschnitt 18) bestehen gewisse Übereinstimmungen, doch verlaufen bei den Streifensümpfen die Erdwälle in der Richtung des Gefälles, bei den Strangmooren jedoch girlandenförmig rechtwinklig zum Gefälle.

Auch Högbom hat in den nordschwedischen Mooren dergattige Stränge beobachtet, die als Bänder mit einer abweichenden Vegetation aus Gebüsch und Sträuchern die Moore schwach terrassieren. Er hat sie als Rissträngar (Gesträuchestränge) bezeichnet. In Härjedalen und Dovre fand er sie auch auf stärker geneigten Mooren oberhalb der Birkengrenze, und hier zeigten sich allerhand Übergänge zu den Fließerdterrassen, besonders wenn die Stränge aus zusammengeschobenem blockreichem Material bestanden.

22. Wandernde Einzelblöcke. — In Nord-Skandinavien sind von Sernander und Högbom zahlreiche Beispiele dafür beobachtet worden, daß einzelne Steinblöcke auf Fließboden sich viel rascher vorwärtsbewegten als der Boden selbst. Dies dürfte daher kommen, daß der Steinblock die Wärme auffängt und den Boden in seiner Umgebung rascher zum Aufstauen bringt, und daß um den wärmeleitenden Block die Regelation besonders oft wirksam wird. Solche wandernden Blöcke schieben an ihrer Vorderseite die Pflanzendecke zu einem Wulst zusammen und können sie sogar unter sich begraben, während sie hinter sich eine Rinne in die Vegetationsdecke reißen,

die bis 20 m Länge erreichen kann. Selbst in Gelände, dessen Neigung nur einige Grad betrug, wurden solche Wanderblöcke gefunden. Die Rinne wird nach oben hin immer schmäler und immer mehr wieder von der Pflanzendecke überwachsen. Sernander hat diese Vorkommnisse in Härjedalen als fossile Erscheinungen betrachtet aus einer Zeit, wo der Boden noch wasserreicher und plastischer war, aber dem widerspricht Högbom auf Grund der Tatsache, daß dann die Rinnen längst zugewachsen sein müßten; außerdem hat er bemerkt, daß in Härjedalen diese Erscheinung sogar im Birkenwald auftrat und eine im Wege stehende Birke eine seitliche Verschiebung der Rinne verursachte. Solche gleitenden Blöcke können somit nicht nur auf feuchtfließendem, sondern auch auf oberflächlich völlig trockenem Wiesen- oder Heideboden vorkommen.

23. **Blockströme.** — Treten in flach-hügeligem Gelände unter dem Einfluß der Frosterscheinungen und der Solifluktion solche wandernden Blöcke zu ganzen Blockstreifen und diese wieder zu Blockströmen zusammen, so entstehen solche Gebilde, wie sie in fossilem Zustande aus einer Zeit stärkerer Vereisung Süd-Amerikas die „Stone rivers“ der Falkland-Inseln darstellen. Die Blöcke sind durch die Frostverwitterung aus den aufragenden Quarztrüken losgerissen worden, und die scharfkantigen Blöcke ziehen sich in Stromsystemen bis zu 5 km Länge hin. Das früher wohl vorhanden gewesene feinere Zwischenmaterial ist inzwischen größtenteils weggeführt worden. Eine Abbildung dieser falkländischen Steinströme gibt Skottsberg (Taf. 19); über ihre Vegetation teilt er mit, daß an den Stellen, wo noch feinere Erde erhalten ist, sich streifenförmig eine Pflanzendecke findet, die dann an den Seiten des Steinstroms sich auch zu größeren Flecken zusammenschließen kann. Sie besteht aus grauen Beständen des Steppengrases *Cortaderia pilosa* und aus schwärzlichen Heiden von *Empetrum rubrum*. Die kantigen Blöcke des Steinstromes dagegen haben sich in der langen Ruhezeit mit Flechten überzogen.

Auch im Ural finden sich solche Blockströme, die ebenfalls fossil sind. Sie liegen heute größtenteils tief unterhalb der Waldgrenze, sind selbst aber nicht vom Walde bedeckt und wohl höchstens mit Krusten- und Laubflechten überzogen.

24. **Blockmeere.** — Endlich sind an dieser Stelle noch die Blockmeere der Gebirge zu nennen, die zwar nur zum Teil als diluviale Steinströme aufzufassen sind und in anderen Fällen Moränenzüge

darstellen oder an Ort und Stelle aus dem anstehenden Gestein durch Spaltenfrostverwitterung hervorgegangen sind. Aber für ihre Vegetation ist die Art ihrer Entstehung belanglos und entscheidet nur die Gesteinszusammensetzung. Zum Teil sind die Blockmeere als fossil zu betrachten, zum Teil dauert auf geneigtem Gelände die Bewegung noch jetzt an. — Da die Blockmassen meist völlig frei von Erde sind, kommen höhere Pflanzen für ihre Besiedlung nicht in Frage, und nur Moose und vor allem Flechten tragen zu ihrer Bekleidung bei. Allerdings liegen noch recht wenige Studien über die Zusammensetzung dieser Flechtengesellschaften vor. Frey hat eine Darstellung der Flechtenvegetation des Snehättagipfels gegeben; ähnlich dürfte auch auf wirklichen diluvialen Fließboden-Blockmeeren die Zusammensetzung sein. Von Laubflechten kommen in der Arktis und in Skandinavien wie auch in den Alpen vor allem *Umbilicaria*- und *Parmelia*-Arten, von Krustenflechten, die in den ungünstigen Lagen überwiegen oder allein herrschen, zahlreiche *Lecidea*-, *Rhizocarpon*-, *Lecanora*-, *Haematomma*- und *Biatorella*-Arten in Frage. Wenn sich später, vor allem in tieferen Lagen, infolge der Verwitterung auch Erde zwischen den Blöcken angesammelt hat, können auch Flechtenheiden aus *Cladina*-, *Alectoria*- und *Cetraria*-Arten Fuß fassen und zu einer Besiedlung durch Zwergstrauchheiden überleiten.

25. Pflasterböden.— Als Pflasterböden bezeichnet man ^{Stellen,} wo Steine bis zu Kopfgröße mit ebener Oberfläche so in ein weiches, schlammiges Feinmaterial eingedrückt sind, daß die meist schwach geneigte Bodenfläche wie glattgewalzt erscheint. Den größten Teil des Jahres liegen diese Pflasterböden, die von Grönland und Spitzbergen, aber auch aus den Alpen bekanntgeworden sind, unter einer festen, dicken Schneedecke verborgen, die sie wohl so glatt drückt. Zur Zeit der Schneeschmelze ist dann ihre weiche Unterlage stark von Wasser durchtränkt. Eine Vegetation ist auf solchen Pflasterböden bisher noch nicht beobachtet worden, wohl weil sie aus den genannten Gründen gar nicht entstehen kann.

26. Wirkungen der Kammeisbildung.— Durch die Bildung von Kammeis können die Wurzeln der Rasendecke des Bodens zerriissen und die Pflanzen dadurch zum Verwelken und Absterben gebracht werden. Für die Alpen wird dies noch näher zu schildern sein. In Norrland wird nach Högbom diese Erscheinung als Tjälébrand bezeichnet, weil der abgestorbene Rasenteppich dann wie verbrannt erscheinen kann.

B. Die Alpen

Strukturbodenformen sind zwar schon seit 1864 (C. Hauser) aus der Schweiz bekanntgeworden, besonders in der am meisten auffallenden Form der Steinnetze, die in der älteren Alpenliteratur als „Steingärtchen“ oder „Schuttfacetten“ erwähnt werden; besonders aber widmete man sich ihrem Studium, nachdem zu Beginn unseres Jahrhunderts so prachtvolle Beispiele aus der Arktis bekanntgeworden waren, und durch die Arbeiten von Tarnuzzer (1911), Kinzl (1928), Salomon (1929), Mohaupt (1932) und Büdel (1937) wurden Strukturböden fast aus allen Teilen der Alpen nachgewiesen, wo sie vor allem aus den Zentralalpen der Schweiz und Österreichs, aber auch aus den Kalkalpen (Dolomiten) eingehend beschrieben wurden.

Während nun in der Arktis schon von Anfang an auch die Botaniker auf diese Erscheinungen aufmerksam wurden und die Zusammenhänge zwischen der Bildung der Strukturbodenformen und ihrer Besiedlung durch die Pflanzenwelt untersuchten, ist aus den Alpen über die von der Pflanzenwelt dabei gespielte Rolle noch recht wenig bekanntgeworden. Es lag daher nahe, einmal vergleichend festzustellen, ob auch in den Alpen und im Riesengebirge die Besiedlung der Strukturböden in der gleichen Weise erfolge und die Vegetation die gleichen Züge einer regelmäßigen Anordnung aufweise wie in der Arktis.

Herrn Prof. Dr. C. Troll-Bonn bin ich zu herzlichem Danke dafür verpflichtet, daß er mir als eins der geeigneten Gebiete vorschlug, das Vorgelände des Schwarzensteinkeeses in den Zillertaler Alpen zu untersuchen. Hier finden sich in der Höhe von etwa 2130 m schön ausgebildete Steinnetze, Steinringe und Erdinseln. Abb. 11 (Taf. 12) bringt eine Übersicht über dieses Gebiet. Im Hintergrunde links sieht man den Schwarzensteingletscher, ihm ein Stück entfernt vorgelagert die Endmoräne des Standes von 1900 (links Mitte). Einen anderen Moränenwall erblickt man rechts, auf seiner steil abfallenden Außenseite hell von der untergehenden Sonne beleuchtet. Er bezeichnet den Stand des Gletschers um 1820. Weiter nach links erkennt man noch einige kleine gleichgerichtet laufende niedrige Wälle, die späteren Rückzugsstadien entsprechen. Von hier dehnt sich nach links eine sonnenbeschienene Fläche aus, mit Steinblöcken überstreut; sie ist als Grundmoräne aus der Zeit von 1850 bis 1860 anzusprechen. Auf diesem Schotterfeld finden sich die später

(Abschnitt 28) zu besprechenden Steinringe und Erdinseln (Abb. 12 bis 14, Taf. 12). Viel jünger ist der sich links anschließende Schotterfächer, der von hier bis zur Endmoräne von 1900 und bis an den Gletscherbach heranreicht, aus viel feinerem Schutt besteht, etwas tiefer liegt und daher stärker durchfeuchtet ist. Auf diesem Schotterfächer finden sich Kleinformen von Steinnetzen in den verschiedensten Stadien der Ausbildung und der Besiedlung durch die Pflanzenwelt (Abschnitt 27 und Abb. 15—18, Taf. 11). — Weitere Untersuchungen wollte ich in den Stubai-Alpen vornehmen. Wegen plötzlich eintretenden Schneefalles konnte ich jedoch nur in der Umgebung der Sulzenau-Hütte (2200 m) einige vergleichende Beobachtungen machen, wo weniger gut ausgebildete Strukturformen zu finden waren, die in botanischer Hinsicht jedoch das gleiche zeigten wie die des Schwarzenstein-Gebietes. — Auch die von Mohaupt dargestellten prachtvollen Streifenböden im Sella-Gebiet aufzusuchen verboten leider die Zeitverhältnisse.

27. Steinnetz-Kleinformen. — Die Abb. 15—17 (Taf. 11) stellen Kleinformen von Steinnetzen aus dem Vorfeld des Schwarzensteinkeeses dar und veranschaulichen die allmähliche Besitzergreifung durch die Vegetation. Solche Kleinformen finden sich auf dem erwähnten jungen Schotterfelde recht zahlreich, bald sehr deutlich ausgebildet, bald weniger gut erkennbar oder nur andeutungsweise entwickelt. Abb. 15 zeigt ein Steinnetz, dessen Entstehung noch nicht lange zurückliegen kann. Die einzelnen Vielecke haben Durchmesser von 20—30 cm und sind in der Mehrzahl von feuchtem Schlamm erfüllt. Die Netzmaschen werden von kantigen oder abgerundeten Gneishocken gebildet, die erbs- oder nußgroß oder bis zu 5 cm groß sind und eine völlig frische Oberfläche ohne jeden Krustenflechtenbewuchs aufweisen. — Ein Teil eines Steinnetzes mit größeren Maschen ist in Abb. 16 wiedergegeben. Hier sind die Vielecke 50—70 cm breit und die Steine ihrer Seiten 5—10 cm groß, während die Flächen von feinem Schutt aus 2—5—10 mm großen Körnchen bedeckt sind. Hier beginnt nun die Pflanzenwelt sich anzusiedeln in Form kleiner Moospolster von *Rhacomitrium canescens*, die einen bis mehrere Zentimeter Durchmesser haben, anfangs ganz vereinzelt auftreten, dann in größeren Mengen und schließlich miteinander zu größeren Flächen verschmelzen. — In Abb. 17 ist diese Besiedlung schon so weit fortgeschritten, daß die Schuttfelder zwischen den Maschen bereits vollkommen von *Rhacomitrium canescens* über-

zogen sind. Ja, im Anschluß an den Steinrand findet man nun sogar schon einzelne höhere Pflanzen, z. B. kleine Pflänzchen von *Agrostis alpina*, *Rumex Acetosella*, *Cerastium alpinum*, *Salix herbacea*. Im Innern der Felder fehlt solche höhere Vegetation aber vollständig.

An anderen Stellen fand ich entsprechende kleine Steinnetze, die vollkommen von der grauen Strauchflechte *Stereocaulon alpinum* ausfüllt waren.

Sowohl die *Rhacomitrium*- wie auch die *Stereocaulon*-Bestände sind als Anfangsstadien einer Gesellschaft anzusehen, die ich auf benachbarten Schuttfeldern oft über größere Flächen hin in folgender Zusammensetzung fand: *Rhacomitrium canescens* 2—4, *Stereocaulon alpinum* 2—3, *Cetraria nivalis* 1—2, *Cetraria islandica* +—1, *Baeomyces roseus* +—1, *Polytrichum piliferum* +—1, *Luzula spadicea* +, *Cornicularia tenuissima* +, *Psoroma hypnorum* +, *Cladonia uncialis* +, *Cladonia alpestris* +, *Cladonia symphycarpia* +, *Cladonia subcervicornis* +.

Bestand das Innere der Klein-Steinnetze aus recht feinem sandigen Boden, so war es bisweilen mit grauen welligen Krusten überzogen; sie erwiesen sich bei näherer Untersuchung als abgestorbene und vom Sande überkrustete und größtenteils wieder zerstörte Lebermoose, die nicht mehr näher bestimmbar waren, aber wohl dem *Anthelietum* angehören, wie es, aus *Anthelia nivalis*, *Cesia varians* und anderen Lebermoosen zusammengesetzt, in den Alpen und Skandinavien weit verbreitet ist.

Alle die hier genannten Gesellschaften sind typische Schneetälchen-Gesellschaften, die also auch hier in gleicher Weise wie in der Arktis die Feinerdeflächen im Innern der Steinnetze besiedeln.

Auf der Sella-Hochfläche hat Mohaupt Kleinformen von Steinnetzen gefunden, die anscheinend vollkommen vegetationslos waren; seine Abbildungen entsprechen ganz denen der Miniatur-Steinnetze von Spitzbergen durch Poser.

Bei der Besprechung der arktischen Steinnetze waren Beispiele dafür gebracht worden, daß sich diese Bildungen auch auf dem Boden von Seen entwickeln können. Aus den Alpen ist das gleiche bekannt, und Abb. 18 (Taf. 11) zeigt (gleichfalls aus dem Vorland des Schwarzensteinkeeses) ein solches Steinnetz in einem flachen Tümpel. Der Durchmesser der einzelnen Felder, die ich hier aneinander-grenzend und mehr oder weniger deutlich entwickelt beobachteten konnte (im ganzen 4—5 Stück), betrug 60—80 cm, die Steine des

Netzes waren 3—8 cm groß, einige ragten etwas aus dem Wasser, das wohl im Frühjahr höher gestanden haben mag. Die Innenflächen bestanden aus feinem Schlamm. Irgendwelche Wasserpflanzenvegetation war nicht zu finden. — Solche Steinnetze in Wasserbecken hat Mohaupt in den Stubaiern Alpen bei 2700 m Höhe in etwas kleineren Formen beobachtet. Büdel erwähnt sie vom Grünen See im Hochschwabgebiet, wo sie, ähnlich wie in Schweden, tiefer, sogar schon im Waldgebiet, vorkommen.

28. Steinringe und Erdinseln. — Viel weiter fortgeschritten ist die Vegetationsentwicklung in den größeren Steinringen, die sich vor dem Schwarzensteinkees auf dem etwas höher und trockener gelegenen Moränenschotter von 1856 finden. In diesem blockübersäten Gelände kann man unter zahlreichen nur andeutungsweise entwickelten auch eine Anzahl recht gut ausgebildeter Steinringe finden (Abb. 12 bis 14, Taf. 12). Sie haben Durchmesser von 1,50—2 m; ihre Wälle bestehen aus 5—10—30 cm großen abgerundeten Blöcken und verschmelzen meist nicht miteinander, sondern stoßen nur aneinander, wie dies auf Abb. 12 im Mittelgrunde gut zu sehen ist. Die Aussonderung der Steinblöcke ist zwar nicht so restlos erfolgt wie bei den Spitzbergenschen Steinringen, man kann immerhin auch im Innern noch einige größere oder kleinere Steine liegen sehen, aber im großen und ganzen besteht die Innenfläche aus feinem Schotter und Grus, vermischt mit sandig-lehmigem Boden. Die Wälle dagegen sind völlig frei von Feinerde, auch in den Rinnen zwischen den aneinanderstoßenden Ringen fehlt sie. Die Innenflächen sind meist schwach gewölbt und erheben sich um etwa 10—30 cm. Manchmal findet man, daß ihr Material eine sekundäre Sonderung und Ausbildung eines Miniatur-Steinnetzes angestrebt hat, wie man dies auf Abb. 14 einigermaßen deutlich ausgebildet erkennen kann.

Nachdem ich nun vorher die Steinnetze Spitzbergens kennengelernt hatte mit ihrer schönen zonenförmigen Gliederung der Vegetation in einen Strauchflechten-Zwergweiden-Gürtel in Anlehnung an den Steinring und eine Krustenflechtenzone auf der Feinerde des Innern, hatte ich gehofft, auch in den Steinringen der Alpen eine ähnliche Ausbildung zu finden. Hier war allerdings eine solche Gliederung nicht so augenfällig zu erkennen, doch konnte man feststellen, daß immerhin die gleichen Grundzüge auch hier sich durchzusetzen versuchten. Wo sich nämlich schon eine höhere Vegetation eingefunden hatte, wie kleine Büsche von *Rhododendron ferrugineum*,

3—8 cm große Polster von *Loiseleuria procumbens*, *Calluna vulgaris*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium Myrtillus*, *Lycopodium Selago* und *alpinum* und Polster von *Cetraria islandica* oder *Cladonia rangiferina* und *mitis*, da traten diese immer in enger Anlehnung an die Blöcke des Steinringes an dessen Innenseite auf, oder wenn sie sich auch im Innern des Feldes fanden, dann immer an solchen Stellen, wo eine Ansammlung größerer Materials um einzelne Blöcke stattgefunden hatte. — Die Feinerdeflächen des Innern der Steinringe waren von der schon bei den Kleinformen ausführlicher erwähnten Gesellschaft bewachsen, die sich hauptsächlich aus *Rhacomitrium canescens*, *Stereocaulon alpinum* nebst anderen Moosen, Krusten- und Strauchflechten zusammensetzte. — Daß auch die Miniatur-Steinnetze im Innern der größeren Ringe schon länger zur Ruhe gekommen sein müssen, war daran zu erkennen, daß stellenweise schon eine *Lecidea*-Art ihre schwarzen, punktförmigen Früchte entwickelt hatte. Vor allem aber waren die Blöcke der Ringe selbst schon mit einer reichen Krustenflechtenvegetation überzogen aus *Rhizocarpon geographicum* 1—2, *Lecidea armeniaca* 1—2, *Lecidea platycarpa* +—1, *Lecanora polytropa* +.

Ganz ähnlich fand ich auch bei den weniger gut ausgebildeten Steinringen oberhalb der Sulzenau-Hütte in den Stubaier Alpen die Anordnung der Vegetation. Die 5—15 cm großen Blöcke des Ringes selbst waren zum Teil mit Flechten bewachsen; zu den schon genannten *Lecidea*- und *Rhizocarpon*-Arten trat hier vereinzelt noch *Parmelia encausta*. Innen an die Steinringe schlossen sich wieder Polster von *Cetraria islandica* und kleine Sträucher von *Rhododendron ferrugineum*, auch einzelne Pflanzen von *Agrostis alpina*, *Nardus stricta*, *Carex* sp., während die Innenflächen wieder von der *Stereocaulon alpinum*-*Rhacomitrium canescens*-Gesellschaft eingenommen wurden, zu der hier außer den schon genannten Arten noch vereinzelt *Thamnolia vermicularis*, *Cladonia pleurota*, *Cl. deformis* und *Alectoria ochroleuca* traten.

Im Vergleich mit Spitzbergen kann demnach zusammenfassend festgestellt werden, daß die arktischen Zwergsträucher und Strauchflechten, die dort die Steinringe der Strukturböden überzichen oder sich ringförmig innen anlegen, in den Alpen durch die alpinen Zwergsträucher und *Cetraria islandica* ersetzt werden, hier aber noch nicht in Form eines geschlossenen Ringes beobachtet worden sind, sondern nur fragmentarisch in Anlehnung an die Steinblöcke. Der arktischen

Flechtentundra auf der Feinerde des Ringinnern entsprechen in den Alpen ebenfalls Schneebodengesellschaften aus Moosen und Flechten.

In dem schon erwähnten Schrifttum über die Strukturböden der Alpen wird über die Vegetation der Steinringe und Erdinseln nichts Näheres gesagt. Nur Mohaupt erwähnt, daß er in den Stubaier Alpen einzelne Gras- und Steinbrechpflanzen an der Grenze von Feinerde und Steinblöcken einer Erdinsel beobachtet hat.

29. **Steinstreifen.** — Ich selbst hatte leider in den Alpen keine Gelegenheit zur Beobachtung von Steinstreifen. Im Schrifttum finden sich aber einige Angaben über ihre Vegetation. — Salomon fand im Unter-Engadin Steinstreifen bei 2600—2900 m Höhe; auf der dazwischenliegenden Feinerde saßen Polsterpflanzen, was diese Erdstreifen noch mehr hervortreten ließ. Eine auffallende Verlängerung der Wurzeln dieser Pflanzen infolge der Solifluktion, wie sie aus der Arktis bekannt ist, konnte hier jedoch nicht festgestellt werden; nach Meinung des Beobachters sind diese Streifen nicht in Bewegung und vielleicht gar nicht durch Bodenfließen, sondern durch abfließendes Schmelzwasser entstanden. — Mohaupt hat in den Stubaier Alpen mehrere 30 cm breite und 6 m lange Steinstreifen aus faustgroßen Blöcken beobachtet. Zwischen ihnen fand er auf Feinerde Moos- und Grasrasen, die den einen Streifen schon von der Seite her überwachsen hatten. Auch hier soll das fließende Wasser die Entstehung der Steinstreifen erklären.

Steinstreifen von 20—40 cm Breite, die mit Vegetationsstreifen von 10—20 cm Breite abwechselten, fand Mohaupt auf dem Kalkschutt des Langkofels bei 2300 m. Die Steinstreifen zogen sich etwa 10 m hangabwärts und ließen spitz zungenförmig aus, wo sich die dazwischen befindlichen Vegetationsstreifen dann zu einer Rasendecke vereinigten. Bei einem tiefer gelegenen Streifenboden vorkommen war der Boden so stark mit Wasser durchtränkt, daß die Rasendecke netzförmig auseinander gerissen wurde. Auch diese Steinstreifen verdanken ihr Entstehen wohl der erodierenden Wirkung des Wassers.

Sehr schön entwickelte Erdstreifen beobachtete Mohaupt in den Südtiroler Dolomiten (Puez-Gruppe) bei 2700 m. Sie waren 5—6 cm breit und überragten den Kalkschutt der sanftgewölbten Bergkuppe um 1.5—3 cm, so daß sie den Eindruck erweckten, als wären sie von unten her durch den Schutt durchgebrochen. Im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Streifenbildungen scheint es sich

hier um solche zu handeln, die wie in der Arktis wirklich durch Solifluktion und Frostwirkung entstanden sind. Die Fläche war von zahlreichen Polstern von *Silene acaulis* überstreut, die 0,50–1,50 m Durchmesser besaßen. Zwischen ihnen schlängelten sich die Erdstreifen stromlinienförmig hindurch, indem sie sich eng aneinander drängten, um sich dann wieder zu entfernen. So zogen sie sich in Windungen den Hang hinab. Hieraus geht hervor, daß die Erdstreifen jünger als die *Silene*-Polster waren. Die *Silene*-Polster hatten nicht die gewöhnliche halbkugelige Form, sondern waren zum großen Teil konkav, also am Rande höher als in der Mitte. Oberhalb fand sich oft eine Schuttanstauung, kleine Schuttzungen ragten über den Rand der Polster, oder der Rand des Polsters war durch den Druck emporgekippt worden. Kleinere, junge Polster waren recht selten. Da nach der Angabe Schrötters *Silene*-Polster von 50 cm Durchmesser ein Alter von 100 Jahren haben können, müssen die hier erwähnten schon sehr alt sein, und die Erdstreifen haben sich dann erst in viel jüngerer Zeit ausgebildet.

30. **Andere Erscheinungen.** — Auch die anderen Erscheinungen, die aus der Arktis als kennzeichnend für die von den Frostwirkungen und der Solifluktion beeinflußten Böden erwähnt wurden, sind zum großen Teile auch in den Alpen anzutreffen. — Den Brodelböden Spitzbergens entsprechen die Erscheinungen, die Mohaupt von der Sella-Hochfläche und der Puez-Gruppe beschrieben hat, wo im ersten Falle Feinerdezyylinder, im zweiten Feinerdestreifen den Kalkschuttboden durchbrechen. Vielleicht gehören hierher auch die aus dem Grödener Porphyrr- und Dolomitgebiet beschriebenen runden oder länglichen, 20–40 cm breiten und etwa 10 cm tiefen Durchbrüche der Rasendecke, aus denen Schuttzungen herausquellen und sich talabwärts in die Vegetationsdecke schieben können, die sie dann zum Vergilben und Absterben bringen. An den Rändern dieser kahlen Flecke setzt die Kammeisbildung mit ihrer zerstörenden Wirkung ein, indem die Kristalle des Kammeises die Rasendecke in die Höhe heben und die Wurzeln lockern, bloßlegen und zerreißen. Dies kann so schnell geschehen, daß die Pflanzen gar nicht erst gelb werden, sondern gleich wie gemähtes Gras zu Heu vertrocknen. Während das Kammeis seine zerstörende Wirkung hauptsächlich im Frühjahr und Herbst ausübt, wird die Vegetation bestrebt sein, im Sommer die angerichteten Schäden wieder auszubessern. Nach Ansicht Mohaupts könnte das Kammeis wohl eine Auslese der Pflanzen

herbeiführen, indem Arten mit tiefgehenden, festen Wurzeln von ihm kaum angegriffen werden können.

Wandernde Einzelblöcke mit der von ihnen hinterlassenen Rinne in der Vegetationsdecke und der vorn aufgestauten Falte, wie sie unter 22 beschrieben wurden, hat Mohaupt auch in den Stubaier Alpen gefunden. Die gefaltete Pflanzendecke kann in der Mitte von oben nach unten aufreißen und einen Schlamminstrom entlassen. Sie kann aber auch wieder zuwachsen, und ein Streifen junger Pflanzen bildet dann eine Naht, die durch ihren dünneren Wuchs und die hellere Farbe sich deutlich von der üppigen älteren Vegetation abhebt. — Ferner entspricht auch die von Mohaupt beschriebene Erscheinung der Wulstbildung den arktischen Fließerdewülsten und -terrassen; wie bei diesen ist auch hier die Vegetation am dichtesten an dem steilen 30—40 cm hohen Abfall der Falte, wo der dichte Rasen durch die Bewegung völlig begraben werden kann, während die nicht oder wenig geneigte Fläche dahinter keine geschlossene Rasendecke trägt, sondern nur vereinzelte Kräuter.

Girlandenartigen Wuchs fand Mohaupt dort, wo durch die Abwärtsbewegung des Bodens sich der Kalkschutt an den Polstern von *Silene acaulis* aufgestaut hatte. — Vegetationsloser Steinpflasterboden, entsprechend dem unter 25 aus der Arktis beschriebenen, ist von Salomon, Mohaupt und Kinzl in verschiedenen Gebieten der Alpen festgestellt worden. — Endlich sind noch die von Salomon erwähnten Blockgletscher zu nennen, über deren etwaige Pflanzendecke er nichts gesagt hat; sie wird der der Moränen und Blockfelder entsprechen. Die Vegetation solcher Blockfelder und Schutthalden ist von Schröter, Frey und Jenny-Lips eingehend beschrieben worden, worauf hier verwiesen werden kann.

Völlig fehlen den Alpen, wie schon mehrfach betont wurde, die Netzrißformen der gleichmäßig-feinkörnigen Böden (Texturböden), die man nur aus der Arktis kennt (Abschnitt 10).

31. Vergleich mit tropischen Gebirgen. — In den tropischen Hochgebirgen unterscheiden sich, wie schon unter 5 ausgeführt wurde, die klimatischen Verhältnisse, die zur Bildung von Strukturböden führen, von denen der Arktis dadurch beträchtlich, daß das Gefrieren hier jede Nacht von neuem stattfindet, aber dafür nicht so weit in die Tiefe reicht, und deshalb Formen von geringem Durchmesser der Polygonfelder und geringer Entfernung der Streifen entstehen. Diese Unterschiede hat C. Troll 1941 klargestellt. Er hat

prachtvolle Abbildungen von Steinnetzen und Streifenböden aus der Cordillera Real (Bolivien) bei 4800 m und von Steinnetzen auf dem Kenya (Ost-Afrika) bei 4000 m veröffentlicht. Ähnliche Bilder von Steinnetzfeldern und Steinstreifen von der Sattelhochfläche des Kili mandscharo bei 4600—5000 m hat Flückiger 1934 gebracht. Bei allen aber handelt es sich um völlig vegetationslose Bildungen. — Ob auch in tieferen Lagen, wo einerseits noch Frostwirkungen auftreten, anderseits bereits Pflanzenwuchs sich einfindet, noch Strukturböden vorkommen, die dann auch der Vegetation eine regelmäßige Gliederung aufprägen könnten, ist vorläufig noch unbekannt.

Über eine recht merkwürdige Erscheinung aus dem Hochlande von Semien (Abessinien) hat Pichi Sermolli 1938 berichtet: Auf den flachen Gipfeln hoher Berge (4000—4600 m) fand er den feinen, tonigen grauen Boden, der beständig heftigen Winden preisgegeben ist, von Wanderflechten bedeckt, die vollständig frei in Form kugelförmig zusammengeballter Lager vom Winde massenhaft in ganzen Schichten zusammengetrieben werden. Diese Wanderflechten-decke war stellenweise netzförmig aufgelöst und umschloß vieleckige Flächen freien Bodens. Die von Pichi Sermolli gebrachte Abbildung erweckt vollkommen den Eindruck eines Steinnetzes oder Netzrissbodens. Er bringt jedoch keine nähere Erklärung. Wenn aber der Wind die Flechten in Form eines Netzes zusammenbläst, müssen entsprechende Bodenvertiefungen vorhanden sein, in denen sie hängen bleiben können, und diese könnten dann sehr wohl Netzrisse sein, an deren Zustandekommen nach der Zeit der Niederschläge der Frost und die Austrocknung arbeiten könnten.

C. Das Riesengebirge

Aus dem Riesengebirge sind Strukturböden erstmalig 1929 von Gellert und Schüller sowie 1931 von Schott beschrieben worden. Über ihre Vegetationsverhältnisse bringen diese Autoren einige allgemeine Angaben, ebenso wie später Dücker (1937) und Büdel (1937). Schon 1927 hatten Rudolph und Firbas auf die Ähnlichkeiten hingewiesen, die die Hochmoore des Riesengebirges mit den nordskandinavischen Strangmooren besitzen. Auch Hueck hat 1939 die Zusammenhänge zwischen der Vegetation und der Strukturbodenbildung kurz dargestellt.

32. Steinringe und Erdinseln. — In schönster Ausbildung und reichlicher Anzahl sind Steinringe und Steinnetze auf dem Ge-

lände vom Brunnberg bis zum Hochwiesenberge in einer Höhenlage von 1500—1550 m anzutreffen. Auf der etwas tiefer liegenden Fläche zwischen den sanften Anhöhen beider Berge treten sie mehr in Form von Steinringen auf, die in die dichte *Nardus*-Matte eingebettet sind; nach der fast ebenen Gipfelfläche des Hochwiesenberges zu, wo das Gelände immer mehr den Charakter eines Blockmeeres annimmt, gehen sie immer mehr in die Form von Erdinseln über. Jedoch erwecken sie überall auf den ersten Blick den Eindruck von Strukturformen, die bereits dem Verfall entgegengehen und in denen die Vegetation schon seit längerer Zeit die Oberhand gewonnen hat, wenn auch stellenweise noch frischere Züge zu finden sein mögen. Die Abb. 6—10 (Taf. 8—10) können hiervon eine ungefähre Vorstellung geben.

In der Nähe der kleinen Kapelle, die auf dem Höhenrücken an dem Wege steht, der von der Wiesenbaude zur Geiergucke führt, sieht man zu beiden Seiten des Weges die verschiedenartigsten Ausbildungsförmen. Abb. 10 zeigt einen etwas unregelmäßigen Steinkreis von etwa 2 m Durchmesser. Die Glimmerschieferblöcke und -platten verschiedener Größe bilden einen Ring von 40—50 cm Breite. Sie erscheinen an manchen Stellen recht locker gelagert, da sie dort schon von der *Nardus*-Decke überwachsen sind. Teils liegen sie flach, teils stehen sie hochkant. Das Innere ist zum größten Teile von dichtem *Nardus*-Rasen überzogen, aber an einigen Stellen kann man entblößten torfigen Boden mit kümmerlichen Flechtenkrusten (z. B. sterilen *Cladonia*-Rasen) sehen. — Während an der hier abgebildeten Stelle die Steine an der Oberfläche liegen und den Boden und die Rasendecke mehr oder weniger überragen, findet man ganz in der Nähe andere Stellen, die direkt den Eindruck machen, als wollten die Steinringe völlig in der Vegetation und im Erdboden versinken. Man erkennt zwischen den üppigen *Nardus*-Rasen noch deutlich die ringförmige Anordnung der Steinblöcke und Platten, die bis zu 20 cm Länge und Breite haben, oft deutlich tangential angeordnet sind und aufrecht stehen. Aber sie ragen kaum mehr aus dem Boden, und der dichte Rasen von *Nardus stricta* mit eingestreuter *Carex rigida* hat sich von außen und innen so dicht an die Steinringe herangeschoben, daß er sie an vielen Stellen schon überdeckt hat, man die Steine darunter aber noch feststellen kann. Die meisten dieser Ringe haben Durchmesser von 1.50—2 m. Ihre Innenfläche ist meist schwach nach oben gewölbt und größtenteils vom *Nardus*-Rasen erfüllt. Da

in diesem Gebiet der Anteil des Bodens an Feinerde den Blockreichtum überwiegt, stoßen die Steinringe nicht aneinander, sondern sind durch etwa 1 m breite und zuweilen etwas vertiefe Rasenbänder voneinander getrennt. Doch gleichen sich die Steinringe nicht alle vollständig. Während der eine innen lückenlos vom *Nardus*-Rasen überzogen ist, findet man im anderen an den Steinring innen sich anschmiegend Polster von *Cetraria islandica*, Pflanzen von *Vaccinium Myrtillus* und *Hieracium alpinum*, während in der Mitte Flächen weicher Feinerde teilweise ganz nackt erscheinen, teils auch mit *Cladonia pleurota*, *Cl. deformis*, *Cl. mitis* oder sterilen Krustenflechten bewachsen sind. Stellenweise sind aber auch die schwach vertieften Gräben zwischen den Steinringen mit Steinen erfüllt, die man unter einer dichten Decke von *Nardus* 4—5, *Hieracium alpinum* 2—3, *Cetraria islandica* 1—2, *Homogyne alpina* +, *Lycopodium Selago* +, *Carex rigida* + — 1, *Vaccinium Myrtillus* beim Hineinstechen leicht fühlen kann.

An wieder anderen Stellen wird das Steinnetz unregelmäßiger, die Felder mehr zu Vielecken, die Zwischenräume zu Steinbändern oder Wällen von 1 m und mehr Breite, oder die Polygone stoßen auch in Zwickeln zusammen, die als nackte nur mit Steinen erfüllte Vertiefungen erscheinen. So vielfältig wechselnd zieht sich das Gebiet dieser Steinnetze über die Linie der zerstörten tschechischen Bunker hinaus bis an den Rand der angrenzenden Knieholzbestände hin, unter denen sich weitere alte Steinnetze verbergen mögen.

Auf der Gipfelfläche des Hochwiesenberges ist der Blockreichtum viel größer, sie erscheint als richtiges Blockmeer. Das Steinnetzwerk nimmt hier viel mehr Raum ein, so daß die Feinerdeflächen mehr als eingestreute Inseln erscheinen (Abb. 6), oder doch als von ebenso breiten oder noch breiteren Ringen umgeben. Die Vegetation ist die gleiche, wie sie von den tiefer gelegenen Flächen geschildert wurde. Abb. 7 (Taf. 9) zeigt den dichten *Nardus*-Rasen einer solchen Erdinsel, Abb. 8 ebenfalls *Nardus*-Büsche mit zahlreichen eingestreuten Pflanzen von *Hieracium alpinum*, die besonders am Rande recht dicht stehen. Auch die Polster von *Cetraria islandica* sieht man vor allem im Schutze der großen Steine wachsen. Auf den Steinen erkennt man den fast geschlossenen Überzug von Krustenflechten (vor allem *Rhizocarpon geographicum* und *Lecidea*-Arten), der das lange ungestörte Lagern dieser Steine verrät. Auch die Kantenstellung der Steine, die durch die plattenförmige Verwitterung des Glimmerschiefers begünstigt wird, kann man auf Abb. 8 an vielen Stellen

sehen; an anderen Ringen war sie noch viel deutlicher ausgebildet als hier.

In manchen von den Steinringen findet man ein Steinnetz zweiter Ordnung ausgebildet, dessen Maschen in 3—5 cm Breite von 1—3 cm großen Steinen zusammengesetzt werden, meist aus Glimmerschieferstücken, die dann ebenfalls oft auf ihren schmalen Kanten stehen; zuweilen sind auch Stücke reinen weißen Quarzes eingestreut. Die Vielecksflächen haben 20—30 cm Durchmesser. Meist sind auch sie von *Nardus stricta*, *Carex rigida* und *Hieracium alpinum* bewachsen.

Vergleicht man die Anordnung der Vegetation dieser Steinringe mit den Verhältnissen in den Alpen, so findet man die gleichen Grundzüge: Die Zwergräucher und Strauchflechten bevorzugen die Innenseite des Steinringes, nur daß sie nicht wie in der Arktis einen geschlossenen Ring bilden, sondern nur in Bruchstücken vertreten sind. Die Erdflechten- und Moosgesellschaften auf der Feinerde des Innern sind ebenfalls im Riesengebirge noch spärlicher entwickelt. Dafür hat die *Nardus-stricta*-Gesellschaft die Steinringe fast vollkommen erfüllt und sie stellenweise schon überwachsen. Die Vegetationsentwicklung ist hier also noch weiter fortgeschritten als in den Alpen. Auch das Eindringen von *Pinus montana* in die Blockfelder veranschaulicht dieses immer stärkere Überhandnehmen der Vegetation. Strukturböden, deren Vegetation erst im Beginn der Entwicklung stand oder auf kürzliches Entstehen schließen ließe, habe ich im Riesengebirge nirgends finden können.

Auf dem Gipfel der Kesselkoppe (1430 m) fand Schott Reste von Steinringen, die von der Vegetation schon fast vollständig verdeckt waren, nicht nur von der *Nardus*-Wiese, sondern auch von dichtem Krummholz. — Auf dem Glimmerschiefer-Blockfeld, das den sich von der Schneekoppe zur Schwarzen Koppe hinziehenden Rücken bedeckt, stellten Gellert und Schüller auch im feinerdefreien Gelände Ringbildung fest. Hier umschließen 1 m breite, ringförmige Wälle aus kantengestellten oder schrägstehenden Steinplatten gewölbte, höherliegende Innenflächen aus flachliegenden Steinplatten. Die Vegetation beschränkt sich dementsprechend, außer den blockbewohnenden Krustenflechten, auf einige kümmerliche Grasbüschel.

Gellert und Schüller hatten die Riesengebirgs-Strukturböden für Gebilde der Diluvialzeit betrachtet. Dieser Ansicht widerspricht jedoch Schott, der darauf hinweist, daß die Zeit, die seit ihrer Entstehung dann verstrichen wäre, gegen 15000 Jahre betragen würde.

daß sich aber so leicht zerstörbare Gebilde in einem so niederschlagsreichen Gebiet nicht so lange halten könnten. In der postglazialen Wärmezeit lag die Waldgrenze, wie Rudolph und Firbas gezeigt haben, mindestens 400 m höher als heute, das gesamte Kamngebiet einschließlich der heutigen Gebiete des Strukturbodenvorkommens war also waldbedeckt. Erst nachdem die Klimaverhältnisse sich wieder verschlechtert hatten, war Gelegenheit zur Entstehung der Strukturformen. Immerhin liegt sie schon so lange zurück, daß in den Feinerdeflächen der Steinringe eine typische Podsolierung eintreten konnte, wie dies Dücker (1937) gezeigt hat: Unter einer feinsandigen, von der *Nardus*-Matte überzogenen Humusschicht und einer grauen Bleichsandschicht findet man in 6–10 cm Tiefe eine 3–6 cm mächtige, schwärzlich-braune, verkittete Ortstein- (Orterde-) Schicht, die über hellerem steindurchsetztem Boden lagert. Diese Orterdeschicht zieht sich auch seitlich unter dem Steinringe selbst hinweg. Ihr Vorhandensein deutet auf den recht beträchtlichen Zeitraum hin, der vergangen ist, seit die Bildung der Strukturformen abgeschlossen war und der sich auch aus der so weit fortgeschrittenen Vegetationsbesiedlung erschließen läßt. Doch tragen nach der Feststellung Dückers auch die gegenwärtigen Klimaverhältnisse, besonders der Frost, noch zur weiteren Verwitterung und Umbildung der Strukturformen bei. Das Innere der Steinringe ist zur Zeit der Schneeschmelze völlig durchweicht, und auch Schott hat beobachtet, daß im Zentrum der Pflanzenwuchs oft schwächer als am Rande ist, und er hat sogar in einigen Fällen frische Brodelstellen von 20–30 cm Durchmesser finden können. Aber im großen und ganzen lassen sich Anzeichen rezenter Bewegungsvorgänge nicht mehr feststellen; der hohe Grad chemischer Feinverwitterung der Steine und ihr reichlicher Flechtenbewuchs sowie die dichte Vegetationsdecke zeigen, daß die Strukturböden des Riesengebirges, wenn sie auch sicher nicht alle gleich alt sind, doch in der Hauptsache den Höhepunkt ihrer Entwicklung überschritten haben und der Zerstörung entgegengehen.

33. **Steinstreifen.** — Am Südwesthange geht das Blockfeld des Hochwiesenberges in Steinstreifen über (Abb. 9, Taf. 10). Ich konnte etwa 16 zählen, die sich in Abständen von 1–2 m und einer Breite von etwa 50 cm hangabwärts ziehen, stellenweise vollständig getrennt, stellenweise auch durch kurze Querverbindungen miteinander nach Art eines langgezogenen Netzes vereinigt. Die *Nardus*-Matte überzieht die schwachgewölbten Zwischenfelder, die

das gleiche Vegetationsbild zeigen, wie es von dem Innern der Steinringe beschrieben wurde, nämlich vereinzelte *Calluna*, *Lycopodium*, *Selago* usw. in der Nähe der Steine, gelegentliche freie Erdstellen mit Flechtenwuchs in der Mittellinie. Die Steinstreifen selbst liegen etwas vertieft und sind völlig von Flechten überzogen (*Rhizocarpon*-, *Lecidea*-, *Umbilicaria*- und *Parmelia*-Arten). Hangabwärts werden sie immer schmäler und tauchen schließlich ganz in der *Nardus*-Matte unter. — Schott hat diese Steinstreifen als rezenten Strukturboden angesehen. Büdel hält sie mit Flohr für von den Schneeschmelzwässern ausgespülte Bahnen. — Ähnliche Steinstreifen hat Schott im Granitgebiet am Hohen Rad beobachtet, ferner (wie auch Steinnetzwerke) am Glatzer Schneeberg, am Altvater und im Taunus.

34. Blockmeere. — Die Vegetation der Blockmeere des Riesengebirges hat Hueck (1939) eingehend beschrieben und abgebildet. Sie entspricht in den höheren Lagen mit dem dichten Flechtenbewuchs der Blöcke weitgehend der der Alpen; in den tieferen Lagen, so besonders über den Moränen, hinter denen die Teiche aufgestaut worden sind, hat sich das Knieholz der Steinwälle bemächtigt.

Neben der chemischen Verwitterung arbeiten auch die Krustenflechten an der Zerstörung der Oberfläche der Steinblöcke mit, und in harten Wintern kann dann die Frostspaltung einsetzen. Schott beobachtete, daß dann millimeterdünne Gesteinsblättchen bis zu Talergröße massenhaft abspringen und die frischen Bruchstellen den flechtenüberkrusteten Steinen dann ein narbiges, gesprenkeltes Aussehen verleihen.

Endlich ist nochmals auf den Einfluß hinzuweisen, den in tieferen, waldbekleideten Lagen die Bodenbewegungen auf die Form der Bäume ausüben, die dadurch „säbelbeinig“ werden, wie dies Hueck an Beispielen von Rothuchen und Fichten schön abgebildet hat. Schmid (1925) hat diese Erscheinungen der Bodenbewegung und ihre Wirkung auf die Rasendecke und den Baumwuchs eingehend im Schwarzwald studiert.

Anhangsweise sei noch erwähnt, daß Schott und Büdel auch terrassenförmige Bildungen vom Hochwiesenberge beschrieben haben, die sowohl in Form kleiner Treppen auftreten, als auch Stufen von 5–8 m Höhe bilden und dem Hochwiesenberge sein eigenartiges Profil verleihen. Büdel nimmt an, daß vielleicht der Einfluß örtlicher Hindernisse, etwa ehemaliger Inseln höherer Vegetation, das

Zusammenwachsen kleinerer Terrassen zu diesen größeren Stufen veranlaßt haben könnte.

35. **Strangmoore.** — Die in Abschnitte 21 beschriebene Erscheinung der Strangmoore kommt auch im Riesengebirge vor, wo die dem subalpinen und dem subarktischen Klima gemeinsamen Faktoren, nämlich die Frostwirkung bei kurzer Vegetationszeit und die Solifluktionserscheinungen, gleichfalls ihr Entstehen ermöglichten. Die streifenförmigen Knieholzbestände und die langgezogenen offenen Wasserflächen des Kuppenplanmoores, die mit *Sphagnum*-reichen *Eriophorum vaginatum*-, *Scirpus caespitosus*- und *Carex*-Beständen wechseln, sind ebenso wie in der Subarktis rechtwinklig zur Gefällerichtung angeordnet, wie dies Rudolph und Firbas (1927) und Hueck (1939) eingehend dargestellt haben.

III. Vergleichende Zusammenfassung

Die hier beschriebenen Bodenerscheinungen sind in der Hauptsache auf die Gebiete subnivalen Klimas beschränkt, also auf die Arktis und Subarktis sowie die alpinen bzw. subalpinen Regionen der Gebirge, außerhalb bzw. oberhalb der Baumgrenze. Infolgedessen kommen für die pflanzliche Besiedlung dieser Böden hauptsächlich arktische und alpine Pflanzengesellschaften in Frage, nämlich in den arktischen und alpinen Gebieten Tundren in Form von Schneebodengesellschaften, Flechtenheiden und Zergstrauchheiden, in den subarktischen und subalpinen Gebieten auch Grasmatten und Moorgesellschaften. Einige Struktur- und Fließbodenerscheinungen reichen noch in die Gebiete der Weiden- und Krummholtzgebüsch hinein, im Gebirge (nach Büdel) etwa 100 m unter deren äußerste Verbreitung; ja, sogar in den Birken- und Nadelwaldgebieten treten ausnahmsweise solche Erscheinungen noch auf und dann können auch diese Pflanzenbestände an ihrer Besiedlung teilnehmen. Anderseits finden sich Frostbodenerscheinungen auch noch unter solchen klimatischen Verhältnissen, die überhaupt keinen Pflanzenwuchs mehr ermöglichen.

Die Frostformen des gleichmäßig-feinkörnigen Bodens (Texturböden) setzen wegen des Fehlens umfangreicher Bodenbewegungen der Ansiedlung der Vegetation keinen besonderen Widerstand entgegen, ja, sie können sie in der Arktis durch Bildung von Bodenrissen,

die den Pflanzen geschützte Wuchsstellen bieten, sogar fördern (Abschnitt 10). Anderseits kann eine schon vorhandene Pflanzendecke das Zustandekommen solcher Bodenformen nicht hindern (Abschnitte 11—13), und die Bodenveränderungen können die Pflanzendecke umändern oder zerstören.

Bei den Strukturböden (Abschnitt 14—18) wird die Ansiedlung der Pflanzenwelt durch verschiedene pflanzenfeindliche Faktoren erschwert, nämlich durch die Bewegung des Substrates, die Stagnation des Wassers und den wurzelzerreißenden Frostschub. Sie kann aber hierdurch nicht verhindert werden, sondern diese Faktoren führen nur zu einer Auslese, indem auf dem weichen Feinboden die Schneebodengesellschaften, auf und an dem Gesteinsmaterial die Strauchflechten- und Zergstrauchgesellschaften leichter Fuß fassen können. Die isolierende Wirkung der Pflanzendecke verzögert nach den Beobachtungen Sörensens das Eindringen des Frostes ebenso wie später das Auftauen, so daß diese Vorgänge auf den nicht oder weniger besiedelten Feinerdefeldern stärker eingreifen können als an den Steinwällen. Dies gilt für die Steinringe ebenso wie für die Steinstreifen, aber auch bei den Terrassenbildungen (Abschnitt 19) hat sich die gleiche Gesetzmäßigkeit für die Feinerdeflächen und die Grobmaterial-Frontalwälle feststellen lassen.

Es vermag weder die aussortierende Bodenbewegung die Pflanzansiedlung zu verhindern, noch umgekehrt die Pflanzendecke die Strukturformung. Ist aber die Bodenformungträger geworden oder abgeschlossen, so kann die Vegetation ungestört ihre Entwicklung vollenden. Der Vegetationszustand ermöglicht es oder hilft mit zu beurteilen, ob Strukturformen am Anfang oder auf dem Höhepunkt ihrer Ausbildung stehen oder ob sie schon im Stillstand sind oder bereits der Zerstörung unterliegen. Der Anfang der Ausbildung von Frostbodenformen und ihrer Vegetationsbesiedlung konnte vor allem in der Arktis und den Alpen studiert werden (Abschnitt 10, 14, 15, 27), der Höhepunkt der Entwicklung vor allem in der Arktis (Abschnitt 10—13, 15—26), der beginnende Verfall der Strukturformen und das Überhandnehmen der Vegetation namentlich im Riesengebirge (Abschnitt 32—34).

Die gleichen Gesetze, die für die Vegetationsanordnung auf den Feinerde- und Grobmaterialstellen in der Arktis gelten, treffen auch bei den Strukturböden der Alpen und des Riesengebirges zu, nur daß

hier infolge der oft weniger deutlich entwickelten Ausbildung dieser Erscheinungen auch die Vegetationsgliederung meist weniger auffällt oder nur andeutungsweise entwickelt ist.

In Kleinformen sind die Strukturerscheinungen vor allem in den tropischen Hochgebirgen ausgebildet (und hier bisher nur vegetationslos bekannt. Abschnitt 31), in kleinen und mittelgroßen Formen in der Arktis und Mitteleuropa (wobei die Arktis die besten Beispiele betreffs der Vegetationsbesiedlung zeigt), undeutlicher und mit Überwiegen von Fließböden- und Terrassenerscheinungen in der Subarktis (Abschnitt 19–22), am größtmöglichen und unter Einbeziehung der höchstentwickelten Vegetation, nämlich des Waldes, in Sibirien (Abschnitt 13, 16, 18).

Bei vergleichender Betrachtung der so verschiedenartigen Erscheinungsformen der Textur- und Strukturböden zeigt sich also, daß ihre Besiedlung durch die Vegetation ein Problem ist, das in ein Grenzgebiet fällt, da die Geomorphologen die ihnen ferner liegende botanische Seite meist nur andeutungsweise gestreift haben, die Botaniker aber sich hauptsächlich mit der Vegetationszusammensetzung der betreffenden Gebiete, weniger mit der Einwirkung der Bodenveränderungen auf die Vegetation beschäftigt haben. Manche Einzelfragen dieses umfangreichen Gesamtproblems sind bereits geklärt worden und offenbaren klare Gesetzmäßigkeiten, andere dagegen spornen noch zu weiteren Untersuchungen und Klärstellungen an.

IV. Verzeichnis der im Text besprochenen Arbeiten

- Andersson, G.: Zur Pflanzengeographie der Arktis. — *Geograph. Zeitschr.* **8**, 1902, 1—23, 5 Taf. u. 8. Textabb.
- Auer, V.: Über die Entstehung der Stränge auf den Torfmooren. — *Acta Forest. Fenn.* **12**, 1920, 145 S.
- Bergström, E.: En märklig form af rutmark från barrskogsregionen i Lappland. — *Geolog. Fören. i Stockholm Förhandl.* **34**. H. 3, 1912, 335—342.
- Braun-Blanquet, J.: *Pflanzensoziologie*. — Berlin 1928.
- Büdel, J.: Eiszeitliche und rezente Verwitterung und Abtragung im ehemals nicht vereisten Teil Mitteleuropas. — *Petermanns Mitt.*, Erg.-Heft Nr. 229. Gotha 1937, 71 S., 26 Abb.
- Dücker, A.: Über Strukturböden im Riesengebirge. Ein Beitrag zum Bodenfrost- und Lößproblem. — *Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Ges.* **89**, 1937, 113 bis 129, 8 Textabb. u. 2 Taf.

- Flückiger, O.: Schuttstrukturen am Kilimandscharo. — Petermanns Mitt. **80**, 1934, 321—324 u. 357—359, 8 Abb. auf 2 Taf.
- Frey, Ed.: Die Vegetationsverhältnisse der Grimselgegend im Gebiet der zukünftigen Staueseen. — Mitt. d. Naturf. Ges. Bern **6**, 1921, 1—196, 1 Karte, 11 Taf., 5 Textabb.
- Frey, Ed.: Bemerkungen über die Flechtenvegetation Skandinaviens, verglichen mit derjenigen der Alpen. — Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel in Zürich. 4. Heft. Bern 1927, 210—259, 4 Abb.
- Frödin, J.: Über das Verhältnis zwischen Vegetation und Erdfließen in den alpinen Regionen des schwedischen Lappland. — Lunds Univ. Årsskr., N. F. Avd. 2. **14**, Nr. 24, Lund 1918, 32 S., 4 Taf., 9 Textabb.
- Furrer, E.: Die Höhenstufen des Zentralapennin. — Hans-Schinz-Festschr. d. Naturf. Ges. Zürich 1928, 642—664 u. Taf. 20.
- Gellert, J. F. und Schüller, A.: Eiszeitböden im Riesengebirge. — Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Ges. **81**, 1929, 444—449, 2 Textabb., 1 Taf.
- Gregory, J. W.: Stone polygons beside Loch Lomond. — Geograph. Journ. **76**, 1930, 415—418, 2 Taf.
- Gripp, K.: Beiträge zur Geologie von Spitzbergen. — Abhandl. des Naturwiss. Ver. Hamburg **21**, H. 3—4, 1927, 1—37, 7 Taf. u. 13 Textabb.
- Högbohm, A. G.: Om s. k. „jäslera“ och om villkoren för dess bildning. — Geolog. Fören. i Stockholm Förhandl. **27**, 1905, H. 1, Nr. 232, 19—36.
- Högbohm, Bertil: Einige Illustrationen zu den geologischen Wirkungen des Frostes auf Spitzbergen. — Bull. Geolog. Inst. Univ. Upsala **9**, 1908—1909, 41—59.
- Högbohm, B.: Über die geologische Bedeutung des Frostes. — Bull. Geolog. Inst. Univ. Upsala **12**, 1913—1914, 257—390.
- Hueck, K.: Botanische Wanderungen im Riesengebirge. — Pflanzensoziologie, **3**, Jena 1939, 116 S., 1 Karte, 51 Textabb.
- Jenny-Lips, H.: Vegetationsbedingungen und Pflanzengesellschaften auf Fels-schutt. — Beih. z. Bot. Centralbl. **46**, Abt. II, 1930, 119—296.
- Kinzl, H.: Beobachtungen über Strukturböden in den Ostalpen. — Petermanns Mitt. **74**, 1928, 261—265, 6 Abb. auf 2 Taf.
- Krekeler, F.: Fossile Strukturböden aus der Umgebung von Gießen und Wies-baden. — Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Ges. **81**, 1929, 458—470, 4 Textabb.
- Meinardus, W.: Beobachtungen über Detritussortierung und Strukturboden auf Spitzbergen. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1912, 250—259.
- Meinardus, W.: Arktische Böden. — In: Blanck, Handbuch der Bodenlehre **3**, 1930.
- Miethe, A.: Über Karreebodenformen auf Spitzbergen. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1912, 241—244.
- Mohaupt, W.: Beobachtungen über Bodenversetzungen und Kammeisbildung aus dem Stubai und dem Grödener Tal. — Dissert. Hamburg 1932, 69 S., 54 Abb.
- Penck, A.: Über Polygonböden in Spitzbergen. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1912, 244—246.

- Philippi, E.: Geologische Beobachtungen auf der Possession-Insel (Crozet-Gruppe). — In: Drygalski, Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1902, II. Bd., H. 4. hierzu Taf. 26, Abb. 2.
- Pichi Sermolli, R.: Aspetti del paesaggio vegetale nell'alto Semièn (Africa Orientale Italiana). — Nuov. Giorn. Bot. Ital., N. S. 45, CXV—CXXIV, 1938, 4 Taf. u. 3 Textabb.
- Pohle, R.: Vegetationsbilder aus Nord-Rußland. — In Karsten u. Schenck, Vegetationsbilder, 5. Reihe, H. 3—5, Jena 1907.
- Poser, H.: Beiträge zur Kenntnis der arktischen Bodenformen. — Geolog. Rundschau 22, 1931, 200—231, 18 Textabb.
- Resvoll-Dieset, H.: Lidt om Spitsbergens planterekst. — Det Norske Geografiske Selskabs Aarbog 20, 1908—1909 (Kristiania 1909), 9—17.
- Resvoll-Holmsen, H.: Om jordbundssstrukturer i polarlandene og planternes forhold til dem. — Nyt Magazin for Naturvidenskaberne 47, 1909, 289—296, 4 Taf.
- Resvoll-Holmsen, H.: Observations Botaniques. — In: Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par Albert I^{er}, Prince Souverain de Monaco, publiés sous la direction avec le concours de M. Jules Richard. Fasc. XLIV, Exploration du nord-ouest du Spitzberg, cinquième partie. Monaco 1913, 81 S., 9 Taf.
- Rudolph, K. und Firbas, Fr.: Die Moore des Riesengebirges. — Beih. z. Bot. Centralbl. 43, 2. Abt., 1927, 69—144.
- Salomon, W.: Arktische Bodenformen in den Alpen. — Sitzungsber. d. Heidelberg. Akad. d. Wiss., Math.-Naturw. Kl., Jahrg. 1929, 5. Abh., 31 S., 6 Abb. auf 3 Taf.
- Sapper, K.: Über Fließerde und Strukturböden auf Spitzbergen. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1912, 259—270.
- Schimper, A. F. W.: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. — 1. Aufl. Jena 1898. — 3. Aufl., herausg. von F. C. v. Faber, Jena 1935.
- Schmid, J.: Klima, Boden und Baumgestalt im beregneten Mittelgebirge. — Neumann-Nendamm 1925.
- Schostakowitsch, W. B.: Der ewig gefrorene Boden Sibiriens. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1927, 394—427.
- Schott, C.: Die Blockmeere in den deutschen Mittelgebirgen. — Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde 29, H. 1, Stuttgart 1931.
- Schröter, C.: Das Pflanzenleben der Alpen. 2. Aufl., Zürich 1926.
- Sernander, R.: Flytjord i svenska fjälltrakter. — Geol. Fören. i Stockholm Förhandl. 27, H. 1, Nr. 232, 1905, 42—84.
- Skottsberg, C.: Vegetationsbilder von den Falkland-Inseln und von Südgeorgien. — In: Karsten und Schenck, Vegetationsbilder, 4. Reihe, H. 4, Jena 1906.
- Sörensen, Th.: Bodenformen und Pflanzendecke in Nordost-Grönland. Beiträge zur Theorie der polaren Bodenversetzungen auf Grund von Beobachtungen über deren Einfluß auf die Vegetation in Nordost-Grönland. — Meddelelser om Grönland 93, Nr. 4, Kopenhagen 1935, 69 S., 6 Textabb., 1 Taf.

- Spethmann, H.: Über Bodenbewegungen auf Island. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1912, 246—248.
- Thoroddsen, Th.: Polygonboden und „thufur“ auf Island. — Petermanns Mitt. 59, II. 1913, 253—255.
- Thoroddsen, Th.: An account of the physical geography of Iceland with special reference to the plant life. — In: Kolderup Rosenvinge and Warming. The Botany of Iceland, I, 2. Kopenhagen 1914.
- Tobler, Fr. und Mattick, Fr.: Die Flechtenbestände der Heiden und der Reitdächer Nordwestdeutschlands. — Bibliotheca Botanica Heft 117, Stuttgart 1938, 71 S., 2 Karten u. 31 Abb. auf 14 Tafeln.
- Troll, C.: Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. Ihr zweckmäßiger Einsatz für die wissenschaftliche Erforschung und praktische Erschließung wenig bekannter Länder. — Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin. 1939, 241—298, 22 Taf., 3 Textabb.
- Troll, C.: Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. — Bericht d. 23. Hauptversamml. d. Ges. v. Freunden u. Förderern d. Rhein. Friedr.-Wilh.-Univ. zu Bonn, am 2. Nov. 1940. — Bonn 1941, S. 49—96, 27 Textabb., 1 Taf.
- Warming, E. und Graebner, P.: Lehrbuch der ökologischen Pflanzengeographie. 4. Aufl., Berlin 1933.
- Wasmund, E.: Illust. Begründung einer Aero-Limnologischen Zentrale. — Arch. f. Hydrobiol. 21, 1930, 502—536.
- Werth, E.: Aufbau und Gestaltung von Kerguelen. — In: Drygalski. Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903, II. Bd., H. 2.
- Wulff, Th.: Botanische Beobachtungen auf Spitzbergen. Lund 1902, 115 S., 4 Taf., 4 Textabb. *

V. Erklärung der Abbildungen

Sämtliche Abbildungen nach Aufnahmen von Fr. Mattick. Die Spitzbergen-Bilder wurden Anfang August 1938 aufgenommen, die Riesengebirgsbilder am 18. und 19. Juni 1940, die Alpenbilder am 5. und 6. September 1940.

Abb. 1, Taf. 6: Spitzbergen, Königsbucht. Steinringe in der Nähe von Ny-Aalesund.

Abb. 2, Taf. 6: Spitzbergen, Königsbucht. Steinnetz in der Nähe von Ny-Aalesund.

Abb. 3, Taf. 7: Auf geneigtem Boden in die Länge gezogene Steinringe, ebenda.

Abb. 4, Taf. 7: Spitzbergen, Königsbucht, Nähe von Ny-Aalesund, Netzrißboden, auf etwas geneigtem Boden in die Länge gezogen.

Abb. 5, Taf. 8: Spitzbergen, Königsbucht, Nähe von Ny-Aalesund, Streifenboden.

Abb. 6, Taf. 8: Riesengebirge. Erdinseln und Steinringe im Blockmeer auf der Gipfelfläche des Hochwiesenberges.

Abb. 7, Taf. 9: Erdinsel mit *Nardus stricta*-Vegetation, ebenda.

Abb. 8, Taf. 9: Erdinsel mit Vegetation von *Nardus stricta*, *Hieracium alpinum* und *Cetraria islandica*, ebenda.

- Abb. 9, Taf. 10: Steinstreifen am Südwesthang des Hochwiesenberges.
Abb. 10, Taf. 10: Steinring am Brunnberg, von *Nardus*-Matte überwachsen.
Abb. 11, Taf. 12: Moränenvorgelände des Schwarzenstein-Keeses in den Zillertaler Alpen.
Abb. 12, Taf. 12: Steinringe im Moränenvorgelände des Schwarzenstein-Keeses.
Abb. 13, Taf. 12: Steinring, ebenda.
Abb. 14, Taf. 12: Steinring, ebenda.
Abb. 15, Taf. 11: Steinnetz-Kleinformen, vegetationslos, ebenda.
Abb. 16, Taf. 11: Miniatur-Steinnetz, ebenda, mit beginnender Besiedlung durch Moose.
Abb. 17, Taf. 11: Ebenso, Innenfläche von Moosen besiedelt.
Abb. 18, Taf. 11: Steinnetz am Boden eines Tümpels, vegetationslos, ebenda.

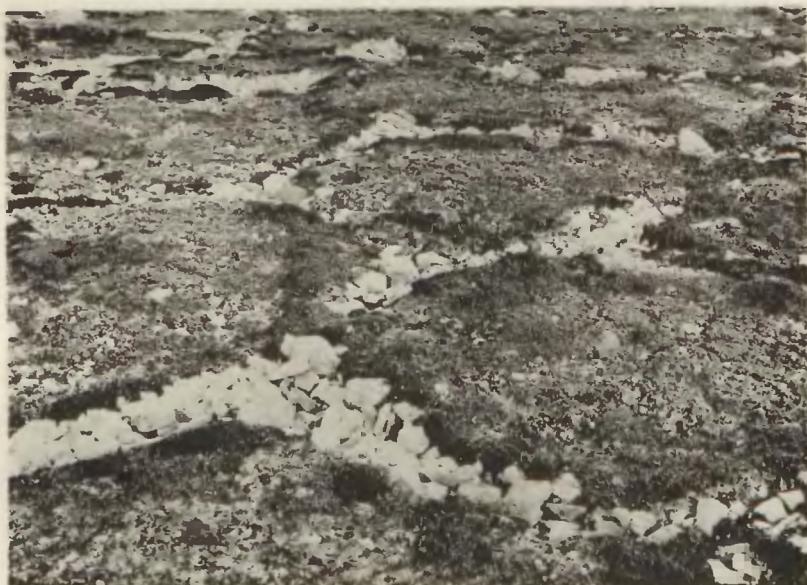
Zur Beachtung. Da beim Druck der Tafeln die Tafelnummern 11 und 12 leider vertauscht worden sind, folgen die Abbildungen 11—14 nach 15—18.

Botanisches Museum Berlin-Dahlem, am 14. April 1941.





1. Spitzbergen, Königsbucht: Steinringe.



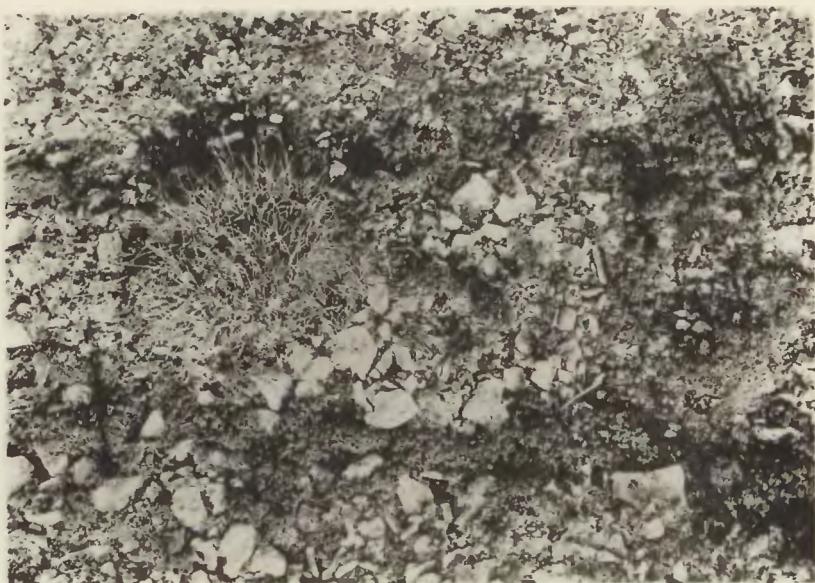
2. Königsbucht: Steinnetz.



4. Königsbucht: Netzrißboden.



3. Spitzbergen, Königsbucht: langgezogener Steinring.



5. Spitzbergen, Königsbucht: Streifenboden.



6. Riesengebirge, Hochwiesenberg: Erdinseln im Blockmeer.



7. Riesengebirge, Hochwiesenberg: Erdinsel.



8. Hochwiesenberg: Erdinsel.



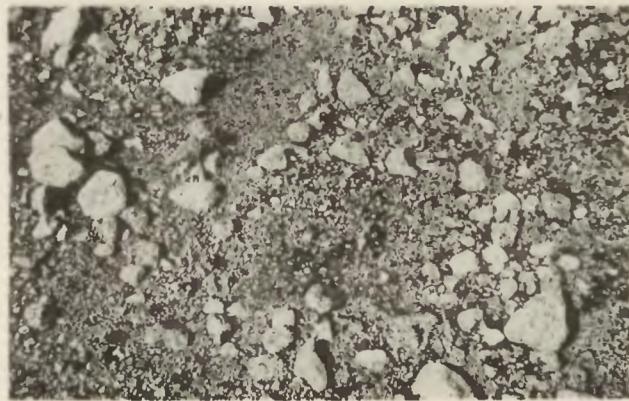
9. Riesengebirge, Hochwiesenberg: Steinstreifen.



10. Brunnberg: überwachsener Steinring.



15



16



17



18

15-18: Zillertaler Alpen, Schwarzenstein-Kees, Moränenvorgelände: Steinnetz-Kleinformen.



11



12



13



14

11—14: Zillertaler Alpen, Moränenvorgelände am Schwarzenstein-Kees mit Steinringen und Erdinseln.