

war“, ist unverständlich; danach müßte ja das Mittel-Oberpliozän eine ältere Formation als das ‚Pontikum‘ sein.

7. Wenn Sch. zum Schluß zu meinen ausführlich dargelegten diluvial-morphologischen Ergebnissen nichts anderes zu sagen hat, als einen einzelnen Einleitungssatz hieraus „recht überflüssig“ zu nennen, so kennzeichnet das klar den Geist, von dem seine ganze Kritik getragen ist.

Zur besseren Unterrichtung über mein Werk darf ich wohl auf die vielen anderen, sämtlich sehr ausführlichen und aner kennenden Besprechungen meines Buches verweisen: J. Sölch (Geogr. Zeitschr. 40. Bd. S. 113—114, 1934), O. Maull (Geogr. Wochenschr. 2. Bd. S. 119—120, 1934), H. Hassinger (Peterm. Mitt. 80. Bd. S. 92, 1934 und Ztschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin 1934, S. 309—311), S. von Bubnoff (Die Naturwissenschaften 22. Bd. S. 153—155), und A. Winkler (Verhandl. der Geol. Bundesanst. Wien 1934, S. 89—95, ferner Mitteil. d. Geogr. Ges. München, 27. Bd. 1934, S. 133—134 und Neues Jahrb. für Geol. usw. 1934).

Geomorphologische Probleme des schottischen Hochlands.¹

Von **Johann Sölch**.

Schon Sir Archibald Geikie (6) sind die ausgedehnten Einflächungen des schottischen Hochlandes aufgefallen und ihr Gegensatz zu dessen tiefeingeschnittenen Tälern, die sich nur selten auf mehr als 200—300 m über den Meeresspiegel erheben. Auch andere britische Forscher haben darin ein Hauptmerkmal des schottischen Hochlandes erblickt und Peach und Horne (14), seinerzeit wohl die genauesten Kenner von dessen innerem Bau und Formenschatz, haben auch bereits erkannt, daß man es nicht bloß mit einem alten Flächensystem auf den Höhen zu tun habe, sondern sie haben drei „planes of denudation“ unterschieden: 1. das „high plateau (oder peneplain)“, in 600—900 m (2000—3000 Fuß), überragt von Ben Nevis, Cairngorm und anderen Gipfeln; 2. das „intermediate plateau“, mit einer oberen Grenze in 300 m (1000 Fuß); 3. den „continental shelf“, nach unten bis zu der 100 Faden-Linie reichend, am Rande des atlantischen Abfalls bzw. der Faer Öer-Rinne. In jeder dieser „Ebenen“ erblickten sie das Ergebnis einer langdauernden Abtragung mit dem Meer als Erosionsbasis. Die beiden Forscher haben sich im Zusammenhang damit auch

¹ Vortrag, gehalten am 24. Februar 1936, etwas erweitert.

mit der Entwicklung des Talnetzes des Hochlandes beschäftigt. Dabei sind sie im großen ganzen den Anschauungen gefolgt, welche A. Geikie, Cadell (4) und H. Mackinder (12) ausgesprochen hatten und die sich im wesentlichen mit den grundsätzlichen Darlegungen von W. M. Davis über die Umwandlung eines konsequenten in ein subsequentes bzw. obsequentes Talnetz deckten. Überaus auffällig ist dabei die Ausbildung besonders tief gelegener Talwasserscheiden, zumal dadurch bewirkt wird, daß das Hochland in eine große Anzahl von Berggruppen aufgelöst wird und langgestreckte, geschlossene Kämme überhaupt nicht die Rolle spielen wie etwa in den Alpen oder in den deutschen Mittelgebirgen. Gerade ein Vergleich mit diesen, etwa mit dem Schwarzwald, zeigt infolgedessen einen tiefgreifenden Unterschied. Jene Auflösung hat freilich auch bewirkt, daß sich die erwähnten Flächensysteme keineswegs in allen Teilen des Hochlandes zusammenhängend verfolgen lassen. Doch ist der Grad der Auflösung verschieden stark, eine Tatsache, die einer näheren Prüfung bedarf.

Im allgemeinen zeigt sich dabei folgendes: Am meisten geschlossen erscheint das Hochland in den Cairngorms, einem weithin, wenn auch keineswegs ausschließlich aus Graniten aufgebauten Blocke im W von Aberdeen. Hier sind demgemäß auch die höchstgelegenen Flächen am besten erhalten, und zwar anscheinend in zwei Systemen, einem oberen in 1100—1200 m, gipfelnd im Ben Macdhui (1309 m) und einem unteren in 800—900 m, das mehrfach in das obere eingreift oder es sogar breit durchzieht (zwischen Ben Macdhui und Beinn a' Bhuid). Durch die breite Furche des Speytals getrennt, schließen sich an dieses gegen NW ebenfalls ausgedehnte Flächen in den Monadliath Mts., in Höhen von 700—800 m, an, von den höchsten Gipfeln noch 100—150 m überragt (Càrn Bar 941 m). Beiderseits der Speyfurche ist ein tieferes System in 500—600 m entwickelt, das bald scharf gegen die höheren absetzt, bald sanfter in sie übergeht. Darin ist das heutige Talnetz 200—300 m verhältnismäßig scharf eingeschnitten (Speyentalgrund bei Aviemore in ungef. 200 m). N. der Monadliath Mts. durchsetzt das „Große Tal“ von SSW nach NN E die Insel. Gegen dieses hin senken sich die Systeme der Monadliath-Flächen und der Speyfurche ganz allmählich auf unter 700 bzw. unter 500 m ab. Auffallend greift dann niedrigeres Land n. des „Great Glen“ bis hinüber zum Strath Glass und R. Beaully weit gegen SW ein, mit Höhen um 200—250 m, die ein selbständiges Flächensystem bekunden dürften, denn eine bestimmte Beziehung zu Gestein oder Tektonik ist nicht erkennbar. Noch weiter nördlich wird die Auflockerung bereits stärker; doch stellen die East Morar Mts. und die Fannich Mts. immer noch Ketten dar. Völlig abge-

löst ist jedoch der B. Wyvis (1045 m), ein wirklicher Inselberg also, nahe der Ostküste gelegen.

Wieder anders liegen die Dinge an der Westküste. Man kann hier von einer Auflösung in dicht gedrängte Einzelstöcke sprechen. Sie kommt dadurch zustande, daß die Zertalung hier im allgemeinen keine so breiten Einsenkungen ausgeräumt hat wie weiter im E, sondern ein Talgeflecht erzeugt hat, das tief in den Körper des Gebirges eingesenkt ist. Die Zusammengehörigkeit bzw. Gleichaltrigkeit von hochgelegenen Flächen läßt sich hier leichter erkennen als in den stärker aufgelockerten Teilen des Hochlands, aber nicht so gut wie in den Cairngorms und Monadhliath Mts. Die obersten Flächen liegen übrigens auch im W in mindestens 1000 m Höhe wie in den Cairngorms und die höchsten Gipfel ragen meist nicht mehr als 100—150 m darüber auf. Nur der Ben Nevis, in welchem das Hochland gipfelt (1343 m), macht eine Ausnahme. Gegen S, gegen den Firth of Clyde und die Lowlands hin, nehmen die Höhen etwas ab; zuletzt gipfelt nur noch Ben Lomond wenigstens in 973 m. Ähnliches zeigt sich gegen N: Die Höhen erniedrigen sich etwas, der Streifen der Erhebungen wird zugleich immer schmaler. Gerade die höchsten Teile des Hochlands längs der Westküste sind auch durch besonders tief ins Land hineinreichende Fjorde — sea-lochs — gekennzeichnet. N. der Linie Ullapool-Dornoch Firth halten sich die Gipfel unter 1000 m; nur wenige erreichen mehr als 800 m. Einzelberge, wie Sulven, Canisp, Quinag, stehen hier nebeneinander, aber nicht in so großen Abständen, daß nicht ihre ehemalige Zusammengehörigkeit klar erwiesen wäre (das „Torridonian glacis and scarp“ nach Stevens, 16, S. 357). Ben More Assynt (998 m) ist lose mit ihnen verbunden. Östlich davon wird dann die Auflösung vollständig; hier treten wirkliche Inselberge auf: Ben Hope (927 m), Ben Klibreck (964 m), Ben Armine (709 m), Ben Loyal (763 m), die beiden Griams (580 bzw. 570 m), Morven (705 m), Scaraben (626 m) usw. Der größte von ihnen, Ben Klibreck mit Ben Armine eine Einheit bildend trotz der mitten hindurchgehenden Furche des Loch Coire, hat einen Längsdurchmesser von 12 km, einen Umfang von 30 km, die kleinsten, die Griams, sind nur unbedeutende Kuppen über der flachen Landschaft, die sich dazwischen viele Kilometer weit ausdehnt.

Diese Auflockerung nun tritt dadurch ein, daß sich tiefer gelegene Flächensysteme zu großer Ausdehnung entfalten, deutlich alte Ebenen, die ihrerseits wiederum leicht zerschnitten worden sind. Im NE, im Bereich der Inselberge, spannen sie sich am weitesten. Von kaum 100—150 m im NE. in Caithness, steigen sie gegen das Innere, gegen SW allmählich auf 250—300 m an, noch weiter gegen SW sogar auf

400 m. Darüber ist aber ein höheres Stockwerk erkennbar, das sich von 350—400 m im NE, hier allerdings bloß in spärlichen Resten vertreten (um forsinarð) auf 450—500 m im SW, so sw. Loch Shin, erhebt.

Auch im W fehlen endlich die verschiedenen Systeme nicht. Aber sie sind hier zwischen den Erhebungen schmaler und nur längs dem W-Rand und um das SW-Ende des Hochlandes zu größerer Breite entfaltet. Auffallend ist, daß auch hier ein System bald etwas unter, bald etwas über 300 m ü. d. M. auftritt und über die Talwasserscheiden hinweg mit weiter im Innern gelegenen Einflächungen von derselben Höhe verwächst. Man kann so oft ohne besonderen Anstieg von der einen Hauptabdachung auf die andere gelangen. Die größten Einflächungen überziehen die Halbinseln zwischen den Fjorden und Inseln des W-Gestades, sie kehren sowohl an der Mündung des Firth of Clyde wie ganz im N, in West-Rosshire und West-Sutherland, wieder. Sie sind schon von verschiedenen britischen Forschern bemerkt worden: Stevens (16 a, S. 361) erwähnt sie von Cowal und Kintyre, auch auf Lorne, Morvern (15) usw. kehren sie wieder. Auch ein 550 m-System kehrt mehrfach wieder und ist u. a. um Glasgow schön entwickelt. Dessen Umgebung möge noch in aller Kürze als Beispiel für die Lagerung der Systeme dienen. Die Kilpatrick Hills lassen in der auffallenden Übereinstimmung ihrer Höhen ein System in 300—350 m erkennen, das sich bis an die Südseite von Glen Fruin und noch weiter nach W verfolgen läßt. Die Campsie Fells stellen dagegen eine 10—15 km breite Platte dar, in der Hauptsache in 450—550 m (Earl's Seat 578 m), deren ursprüngliche Einheitlichkeit sich trotz einer gewissen Zerschneidung — besonders die Furche Endrick Water—R. Carron ist auffällig — noch deutlich verrät. SW um Glasgow dehnen sich kilometerweit Einflächungen, im einzelnen mit sehr unregelmäßigem, durch die Vergletscherung ausgestaltetem Relief in 200—250 m. Sie steigen gegen S leicht an, jedoch erst im Quellgebiet des White Cart Water auf über 300 m. Eine Rampe desselben Systems zieht auch an der Südseite des Firth of Clyde entlang, hier überragt von einem höheren System in 430—480 m (Scheitelpunkt der Misty Law, 507 m), schon stärker angegriffen von dem unteren System der Einflächungen — offenbar einem Gegenstück zu den Flächen auf den Campsie Fells. Beide Systeme liegen also im S des Clyde etwas niedriger als im N. Ein höheres System stellt sich dann erst an den Ufern des Loch Lomond ein, n. Glen Fruin, in 650—700 m, infolge der starken Zerschneidung wohl schon etwas unter seine ursprüngliche Höhe abgetragen, wie der Gipfel von Doune Hill (734 m) anzudeuten scheint. Ben Lomond mit seinen 973 m ist dagegen der schon erwähnte letzte Vorposten des obersten Flächensystems des Gebietes.

Ohne daß jetzt weiter auf die Ausdehnung dieser Systeme eingegangen oder gar die Korrelation der Flächenreste hier für das ganze Hochland geprüft werden kann, sei nur noch bemerkt, daß jenes 650—700 m-System nach W noch hinüberreicht über Loch Long, Loch Goil und selbst Loch Eck (Beinn Mhòr, 724 m) und daß sich auch hier die genannten tieferen Systeme gegen S und im W anschließen. A. G. O g i l v i e (13 b) hat sie anderseits im Bereich der Lowlands als erster erwähnt und hier deren drei unterschieden, in 450—600 m, in 150—230 m („Higher Lowland Peneplane“) und in 30—150 m („Lower Lowland Peneplane“). Die beiden ersteren entsprechen unserem Campsie Fell- bzw. Kilpatrick-System; auch das dritte ist in neben dem Firth of Clyde und auch sonst im W verbreitet, doch habe ich vorhin aus Raum-mangel auf nähere Angaben verzichtet.

Das Vorhandensein übereinander gelegener Flächensysteme (Ein-ebnungsflächen) weist auf eine Höherschaltung des Landes hin, welche in mehreren Phasen erfolgte. Aber die Einflächungen sind am weitesten fortgeschritten im N und NE, am wenigsten weit in den Cairgorms. An der W-Seite ist die Talvergitterung am schönsten ausgeprägt. Die Frage: „Warum diese auffallende Ungleichmäßigkeit?“ ist eine, soviel ich sehe, noch nicht genügend gewürdigte Grundfrage der Morphologie des schottischen Hochlandes. Schwierig ist allerdings auch die Antwort. Ich maße mir nicht an, sie schon heute oder überhaupt geben zu können, doch sei im folgenden auf einige m. E. wichtige Punkte aufmerksam gemacht, die bei der weiteren Verfolgung des Problems jedenfalls werden berücksichtigt werden müssen.

1. Die Auflockerung des schottischen Hochlands, seine Auflösung in einzelne Gebirgsstöcke und die Ausbildung selbständiger Inselberge kann nicht einfach auf die Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit des Gesteins zurückgeführt werden. Selbstverständlich haben solche ihren großen Einfluß auf die Ausbildung der Formen gehabt; viele Beispiele lassen sich dafür anführen, daß bestimmte Käme und Tal-furchen, Gipfel und Pässe, Leisten an den Berghängen und Talstufen darauf zurückzuführen sind (vgl. 17 b, c). Dagegen sind die beiden Griams offenkundig letzte Zeugen einer Old Red Sandstein-Bedeckung, die einstmals viel weiter gegen W reichte als heute. Sie knüpfen sich an die Basiskonglomerate des mittleren Old Red wie der Morven. Man könnte ferner darauf hinweisen, daß beiderseits des Loch Coire Ben Klibreck und Ben Armine von intrusiven Graniten und Granuliten aufgebaut sind, und diese Gesteine für die Inselbergbildung verantwortlich machen. Allein es sind die gleichen, die weiter nördlich, am Loch Badenloch, die Flächen am Fuße der Ben Griams aufbauen. Obwohl von nicht

geringerer Ausdehnung als im Loch Coire, sind sie hier doch einer in viel tieferem Niveau erfolgenden Einebnung erlegen. Das fällt auch sonst auf, daß die gleichen Gesteine, welche einen Inselberg bilden, ihn auch auf mehreren Seiten oder sogar allen umfassen. Allerdings, auch Ben Hope besteht in der Hauptsache aus Moinegranuliten, Ben Loyal aus Syeniten, Scaraben aus Quarziten. Man darf aber die Inselberge Nordschottlands nicht einfach als Monadnocks oder Härtlinge bezeichnen, sie sind vielmehr als Mosore im Sinne A. P e n c k s als „Fernlinge“ aufzufassen, wenn auch stellenweise größere Widerstandsfähigkeit des Gesteins mit ins Spiel gekommen ist. Die Entwicklungsgeschichte dieser Restberge, dieser „isolated“ oder „solitary mountains“, wird freilich nur sehr schwer aufzuhellen sein. Sie sind unter ganz anderen klimatischen Verhältnissen entstanden als den heutigen; in der Hauptsache waren sie schon vor der Vergletschterung in ihren gegenwärtigen Umrissen vorhanden, wenn auch noch nicht mit denselben Formen im einzelnen.

Ebensowenig knüpfen sich die breiten Streifen niedrigeren Landes regelmäßig an leichter ausräumbares Gestein: das Becken des Moor of Rannoch z. B. wird von den gleichen Graniten gebildet wie die Umrahmung im N gegen das Blackwater Res. mit dem Stob na Cruaiche (738 m). Die Einflächungen der verschiedenen Niveaus greifen unbekümmert um Gestein verschiedenen Alters und verschiedener Widerstandsfähigkeit hinweg, so auch in der Nachbarschaft von Glasgow. Die Kilpatrick Hills und die Platte s. von Glasgow, dem unteren System angehörig, bestehen aus den gleichen alten Basaltdecken, welche die Campsie Fells und das Land um den Misty Law aufbauen mit ihren Einflächungen des höheren Systems. Doch nehmen auch die Karbonsandsteine an der unteren Einflächung teil (zwischen Gourrock und Berryhill sw. L. Thom), während sie andererseits ö. Inverkip stark ausgeräumt sind. Das untere System zieht an der Nordseite des inneren Firth of Clyde über Gesteine verschiedenen Alters und verschiedener Beschaffenheit hinweg, während die kristallinen Gesteine zwischen Loch Long und Loch Fyne Flächensysteme in verschiedenen Stockwerken übereinander tragen. Die Einflächungen bestehen also keineswegs ausschließlich in Ausräumung weicherer Gesteine und in der Wirksamkeit lokaler Erosionsbasen, sondern sie sind auf die allgemeine Erosionsbasis des Landes hin entwickelt worden. Dies ist wichtig auch für die Beurteilung der Entstehung des Talgeflechts oder Talgitters längs des W-Gestades.

2. Die Auffassung der britischen Geologen über die Entstehung des Talnetzes wurde schon vorhin gestreift: es handelt sich darnach

um das Ergebnis des Kampfes konsequenter und subsequenter Flüsse. Zu ihr hat sich auch O g i l v i e (13 b, S. 416) bekannt und S t e v e n s (16 a) hat u. a. die Geschichte des Garry—Tay-Flußsystems in ihren Beziehungen zu der des Speygebietes ganz von solchen Gesichtspunkten aus erklären wollen. In zahlreichen Fällen seien die konsequenten Flüsse durch subsequeute enthauptet worden, die sich längs weniger widerstandsfähiger weicher Gesteine oder durch tektonische Vorgänge besonders stark zerrütteter Gesteine (worauf namentlich J. W. G r e g o r y und E. B. B a i l e y großes Gewicht legen) rückwärts verlängert hätten. Ohne bezweifeln zu wollen, daß sich derartige Vorgänge in einem so niederschlagsreichen Gebiet wie in Schottland überhaupt abgespielt hätten, dürfte m. E. doch die Rolle der Anzapfungen ein zu einseitiges Auskunftsmittel und als solches in seiner Bedeutung überschätzt worden sein. Man müßte in jedem einzelnen Falle die geringere Widerstandsfähigkeit des Gesteins im Tal des „siegreichen“ Flusses erweisen, und zwar im einzelnen gerade auch für den Abschnitt der Talgeschichte und der Höhenlage, in welcher die betreffende Rückwärtsverlängerung bzw. Anzapfung erfolgte. Zu beachten ist ferner, daß sich Anzapfungen bei gleicher Höhenlage der miteinander kämpfenden Flüsse und deren Erosionsbasen nicht ohne weiters abspielen können. Es müssen ausreichende Unterschiede in der Höhenlage der Erosionsbasen vorhanden sein, der anzapfende Fluß muß über ein größeres Gefälle verfügen. Solche Voraussetzungen waren an der W-Küste, wie wir später noch sehen werden, am chesten im jüngeren Pliozän, in der Zeit vor dem Eintritt der Vergletscherung gegeben. Damals mag die Entwicklung eines Talnetzes wirklich durch Anzapfungen besonders begünstigt worden sein. Allein ein Gitterwerk von Talfurchen zeigen auch manche der größeren Inseln; kann man hier mit der Anzapfungs-Hypothese auskommen? Die meisten und schönsten Talwasserscheiden zwischen atlantischer und Nordsee-Abdachung liegen in ± 300 m. Über sie sollen einst Flüsse von weit aus dem W mit konsequentem Laufe gegen die Nordsee geströmt sein. Wenn nun die heutigen Paßhöhen die Höhenlage jener konsequenten Flüsse zur Zeit der Anzapfung darstellen, so bleibt unerklärt, wohin das höhere Gebirge weiter im W, das diese Flüsse geliefert haben soll, verschwunden ist. Nimmt man an, daß die heutigen Paßhöhen nicht mehr die ursprüngliche Höhenlage der konsequenten Täler im Zeitpunkt der Anzapfung angeben, sondern schon erniedrigt sind, so wird die gleiche Frage sozusagen nur in ein höheres Stockwerk verlegt. Heute sind ausgedehnte Plattformen an der W-Seite des Gebirges vorhanden, auf den Halbinseln und Inseln. Ich halte es nun für ganz ausgeschlossen, daß

Flüsse z. B. im W des Gebirges Einflächungen in 300—400 m oder in 400—500 m erzeugt haben und gleichzeitig oder gar nachher noch in verhältnismäßig schmalen Tälern das Gebirge quer gegen E durchsetzt hätten. Deutet man aber die Einflächungen im W jünger, so bleibt ihre Höhenlage und Verbreitung unverständlich. Und in welchem zeitlichen Verhältnis stehen sie zu den Anzapfungen, welche durch die in der Richtung NNE—SSW (oder entgegengesetzt) gerichteten Talverlängerung verursacht wurden? Jedenfalls führen die als ehemalige konsequente Täler angesehenen Talfurchen quer durch die entgegenstehenden Ketten hindurch, wenn auch vielfach heute gegensinnig gerichtete „obsequente“ Flüsse die Furchen einnehmen. Sie müßten sich doch erstaunlich schnell rückwärts verlängert haben, zumal wenn man bedenkt, daß ja erst die subsequente die Anzapfungen durchführen mußten. Auch Kendall-Bailey's „Corroms-Theorie“ scheint mir da nicht ausreichend (1, 2). Alles in allem: Ich halte die großen konsequenten Flüsse von weit aus dem W für sehr unwahrscheinlich, ich bin vielmehr der Meinung, daß der Streifen der größten Höhen von Firth of Clyde bis ins nördliche Schottland von Anfang an eine Haupthebungs- oder Aufkrümmungszone darstellt und daß sich zu dessen beiden Seiten die Einflächungssysteme während der Ruhephasen des Hebungsvorganges entwickelten. Die Flußsysteme der beiden Abdachungen gerieten dabei in einen lebhaften Kampf, der von jenen mit besserem Erfolge geführt werden konnte, welche in weniger rückständigem Gestein oder mit größerer, infolge reicherer Niederschläge oder stärkeres Gefälle überlegener Kraft arbeiten konnten. Dabei ergaben sich im Gang der Entwicklung die verschiedensten Kombinationen. Überdies haben dabei tektonische Vorgänge, wie wir noch sehen werden, anscheinend entscheidend eingegriffen. Übrigens hat neustens Stevens (16 b, S. 457 f.) wenigstens für die Südlichen Uplands, durch die man früher ebenfalls lange, von jenseits des Firth of Clyde kommende alte Täler mit konsequenten Flüssen ziehen wollte, Zweifel an der Richtigkeit solcher Ansichten geäußert und den Südlichen Uplands eine eigene unabhängige Entwässerung zugeschrieben (vgl. dazu auch Linton, Sc. G. Mg. 50, 1934).

3. Die Höhenlage und die Ausdehnung der Einebnungsflächen gibt gewisse Anhaltspunkte für die Frage ihrer Entstehung. Die tiefer gelegenen Flächensysteme, deren Zusammenhang noch besser erhalten und dadurch leichter erkenntlich ist, ziehen sich, wie früher erwähnt, von der E-Seite der Insel ins Land hinein; sie verschmälern sich dabei und kommen zugleich gegen W etwas höher zu liegen. Das weist auf eine Entstehung durch die Tätigkeit von Flüssen im Verein mit der all

gemeinen Landabtragung, jedenfalls nicht auf marine Abrasion. Doch kommt auch diese in Betracht. Sie dürfte von den ehemaligen Küsten aus die eigentliche Glättung, d. h. die völlige Einebnung des Landes, besorgt und die Küstenlinie mehr weniger ins Land zurückgetrieben haben. Die Anordnung des Flußnetzes ist jedoch damals eine andere gewesen als heute. Nun dürfen die durch das Eiszeitalter verursachten Einwirkungen — von ihnen wird noch später kurz die Rede sein — keineswegs unterschätzt werden; sie haben auch das Talnetz mannigfach beeinflusst. Aber durch die breiten Niederungen sind schon vor dem Eiszeitalter die Hauptflüsse geflossen, so etwa der Spey in der seinen. Sie erscheint hier als die Sammlerin der Gewässer, die von zwei Seiten her gegen sie abfließen. Inwieweit hat man es hier mit ganz flachen Einkrümmungen zu tun, die gerade in einer Flachlandschaft besonders wirksam werden mußten? In einer schon stark zerschnittenen Landschaft sind die Flüsse zwischen ihren Talgehängen festgelegt; Änderungen im Talnetz werden nur durch Anzapfungen und durch starke Krustenbewegungen möglich. Damit etwa ein Fluß in seinem schon eingeschnittenen Tal die seinem ursprünglichen Lauf entgegengesetzte Richtung einschlagen könnte, müßte irgendwie quer oder schräg zu seinem Lauf eine Hebung so rasch eintreten, daß er sie nicht in gleichem Maße zu durchschneiden vermöchte, sondern aufschütten müßte oder sogar aufgestaut würde, so hoch, daß er über einen Paß seines Quellgebietes nach der anderen Seite abzufließen gezwungen wäre. Ein solcher Fall wird nicht leicht eintreten können, zumal sich ihm wahrscheinlich noch Auswege irgendwo nach einer Seite zu einem Nachbartal bieten würden. Anders in einer stark eingeflachten Landschaft. Hier werden nicht bloß die kleineren, sondern auch die großen Gewässer sehr stark auf jede Krustenbewegung antworten, durch Ableitung in der Richtung der Kippungsfläche. Wenn nun das Land nicht gleichmäßig von der Hebung erfaßt wird, sondern sich einzelne flache Aufbeulungen bilden, werden diese von den Flüssen randlich umflossen werden, das Flußnetz bleibt immer noch ein konsequentes. Derartige Vorgänge scheinen mir z. B. für den Lauf des Spey mehr in Betracht zu kommen als verschiedene Akte von Rückwärtsverlängerung, welche nur einen einzigen alten konsequenten Fluß, den Garry-Tay, unangezapft übriggelassen haben soll. Auch die Verknotung der Gewässer im Hintergrund des Dornoch Firth müßte auf die Rolle der Einkrümmungen noch untersucht werden.

4. Aber es ist auch noch mit einer anderen Möglichkeit zu rechnen: Ein Flachland wird schon bei einer geringfügigen Hebung des Meeresspiegels, wenn es dabei nicht selbst unter Wasser gesetzt wird, Auf-

schüttungsbereich der Flüsse, die aus einem benachbarten Gebirge kommen. Bei genügender Schuttlieferung mag es schließlich ganz unter den Aufschüttungen begraben werden. Tritt nachher wieder eine Hebung ein, so wird dann diese Aufschwemmung zerschnitten, aber die Flüsse werden, selbst wenn die Abdachungen im großen ganzen bleiben, nicht allenthalben ihren alten Lauf wiederfinden. Wenn nun die Hebung überhaupt neue Abdachungsrichtungen schafft, so werden sich die alten Flüsse nicht einfach in die Tiefe vererben, sondern sich in anderen Lagen einschneiden als früher. Wird später der früher aufgeschwemmte Schutt wiederum abgetragen, so werden die alten Tiefenlinien freigelegt, aber sie durchschneiden sich mit den neuentstandenen Tälern unter verschiedenen Winkeln.

Inwieweit derartige Vorgänge eine Rolle im schottischen Hochland gespielt haben, ist schwer zu entscheiden. Denn die gewaltigen Vergletscherungen haben nicht bloß den älteren Verwitterungsschutt, sondern auch die älteren Flußaufschüttungen gründlich beseitigt bzw. ihren Moränen einverleibt und zum Teil in weiter Ferne wieder abgelagert. Nicht wenig von dem Drift, das bis ins südliche England gelangt ist, dürfte aus verfrachteten älteren Aufschüttungen hervorgegangen sein. Sieht man die große Ausdehnung der alten Flächensysteme, das Zurückgreifen derselben weit ins Gebirge hinein, so fragt man sich unwillkürlich, wohin denn eigentlich alle diese hier entfernten Gesteinsmassen gekommen sind. Soweit sie nach W geschafft wurden, müssen sie über die atlantische Böschung hinabgeschüttet worden sein. Soweit aber die Hauptentwässerungslinien des Gebirges nach E zielten, muß man die jenen Ausräumungen entsprechenden „korrelativen“ Ablagerungen in der Tiefe der Nordsee suchen. Das Sonderbare ist nur, daß hier die Britische Insel in Nordschottland weithin mit einer ausgesprochenen Steilküste endigt. Die Flächen über ihr liegen 70 bis 100 m und mehr über dem Meeresspiegel, der Grund der Nordsee 100 bis 200 m niedriger. War deren Bereich zur Zeit, wo sich die Einflächungen bildeten, Land, so muß dieses in die Tiefe abgesunken, die E-Küste von Caithness eine durch marine Abrasion etwas zurückgeschobene Bruchküste sein.

5. Dies führt nun weiter zur Frage nach dem Alter der Einebnungsflächen. Im W-Flügel liegt hier der Sachverhalt insofern günstig, als man mit einiger Sicherheit die zeitlichen Grenzen bestimmen kann, innerhalb deren sich jene gebildet haben müssen. Die Flächen müssen nämlich, wie schon die britischen Forscher zumal seit Arch. Geikie wiederholt betont haben, jünger sein als die alttertiären (nach Gregory aber erst miozänen) Basaltdecken des W. Denn auch sie sind

sowohl von der Zerschneidung wie der Einflächung noch betroffen worden. Auf der Insel Skye z. B. greifen auch die obersten Einflächungen noch über die alttertiären Eruptivgesteine hinweg. Zum Teil schon vorher waren die mesozoischen Gesteine verworfen worden, aber auch die Basalte wurden von den Verwerfungen noch erfaßt. Zuletzt hat Gregory verschiedene Beispiele dafür erwähnt (8 b, c, d). Dadurch werden die Verhältnisse erst recht verwirrt. Denn damit entsteht auch die Frage, inwieweit auch alte, ehemals einheitliche Abtragungsflächen heute in verschiedener Höhenlage liegen. So erstrecken sich heute besonders ausgedehnte Verflächungen im Gebiet der äußeren Hebriden, und der Boden der benachbarten Flachsee selbst ist eine solche Einflächung. Hat man es hier mit einer abgesunkenen Scholle zu tun, wobei ihre alte schon vorher ausgebildete Landoberfläche in ein tieferes Niveau zu liegen kam als drüben auf der Hauptinsel, oder ist hier in einem tieferen Niveau bei einem höheren Stande des Landes eine unterste Einebnung, sei es durch marine, sei es durch fluviatile Erosion gebildet worden? Für die E-Seite fehlen dagegen Anhaltspunkte für eine Altersbestimmung überhaupt vollständig.

Die andere Grenze ist gegeben durch den Befund über die präglaziale Landschaft. Eindeutig ist leider auch er nicht. Immerhin ist folgendes wichtig: Noch vor der Ankunft des Eises war das Gebiet um Glasgow zu größerer Tiefe zerschnitten worden, als der heutigen Lage des Meeresspiegels entspricht. Durch Bohrungen wurde erwiesen, daß damals der präglaziale R. Kelvin 73 m (240 Fuß) tiefer floß als der heutige Clyde (vgl. zuletzt Macgregor, 11). Dementsprechend muß seine Mündung viel weiter im W gesucht werden; der Nord-Kanal muß damals weithin trocken gewesen sein. Die Vermutung von Peach und Hone, daß der ganze Kontinentalschelf damals hier trocken lag, hat viel für sich. Aber wenn das eben neu eingeschnittene Tal bei Glasgow doch nur eine verhältnismäßig schmale Kerbe war, so wäre nicht recht einzusehen, wie unweit davon durch fluviatile oder marine Erosion eine so ausgedehnte Einflächung, die unterste im Sinne von Peach und Hone, hätte entstehen können, wenn diese Aufgabe nicht dadurch erleichtert gewesen wäre, daß nur verhältnismäßig wenig Material abzutragen war. Sollte diese Voraussetzung etwa dadurch erfüllt gewesen sein, daß hier infolge jener Phase tektonischer Bewegungen tatsächlich ein Stück Land weiter abgesunken war als auf der benachbarten Hauptinsel?

Wie dem auch sei, eines ist sicher: Die präglaziale Zertalung hatte jene ältere Landoberfläche betroffen, die hier im W allenthalben in 150—250, selbst 300 m Höhe auftritt. Dieses Flächensystem muß also

noch pliozän sein, und da es mit den jenseits der Haupterhebungen gebildeten Flächen über die Talpässe unmittelbar zusammenhängt, so müssen auch die Flächen an der E-Seite, die so weithin ausgedehnt sind, gleiches Alter haben. Damit stimmt die Feststellung von John Flett und H. Read (5) gut überein, daß sich im nö. Aberdeenshire präglaziale Schotterreste finden im Zusammenhang mit Einflächungen, die dort in 100—150 m Höhe liegen. Präglaziale Flächen sind aber nicht auf Schottland beschränkt, sondern sie finden sich auch in den verschiedensten Teilen von England, so auch in Cornwall, Devon und in den Küstenstrichen von Wales wieder. Auch SE- und NE-England sind damals weithin eingeflächt worden. Es muß im Pliozän lange Zeit tektonische Ruhe geherrscht haben. Aber die Übereinstimmung geht noch weiter: auch in England ist in verschiedenen Gebieten eine ansehnliche präglaziale Zertalung nachgewiesen, u. a. besonders schön für Northumberland und Durham, wo Bohrungen einen alten Lauf des Wear haben erkennen lassen, der damals oberhalb Newcastle in den Tyne mündete (vgl. z. B. 18). Wie im W Irische See und Nordkanal, so kann ebenso die Nordsee im E der Britischen Inseln nicht vorhanden gewesen sein. Ganz im N Schottlands konnten zwar solche präglaziale Einkerbungen geologisch-stratigraphisch nicht nachgewiesen werden, und auch der morphologische Befund ist nicht irgendwie zwingend. Hier ist mit mehreren Möglichkeiten zu rechnen: Es kann sein, daß jenes Gebiet die präglaziale Hebung überhaupt nicht mitgemacht hat, mit anderen Worten, daß diese gegen N bzw. NE ausklang. Dafür spricht, daß sich die pliozänen Einflächungen in dieser Richtung senken — gehoben im Vergleich zur Höhenlage ihrer Ausbildung sind allerdings auch sie, aber nicht so stark wie weiter im SW und S. Dafür ist das Land hier später auch nicht wieder so stark abgesenkt worden, es gibt hier keine präglazialen Täler, die heute unter dem Meeresspiegel liegen; erst im Moray Firth sind Anzeichen eines solchen vorhanden (13 a) und Firth of Tay und F. of Forth haben tiefe, silterfüllte präglaziale Täler, wie Bohrungen erwiesen haben (16 a, S. 360). Der Forth ist nach Cadell (4 b) bei Queensberry 140 m tief eingeschnitten. Andererseits könnte es aber auch sein, daß die präglaziale Einschneidung der Täler bis zu einer Tiefe unter den heutigen Meeresspiegel hinab im N noch nicht bis in die Gegend der heutigen Küste zurückgeschritten war, als die Vergletscherung einsetzte. Daß diese die jüngste Phase der Talvertiefung noch in einem frühen Stadium überrascht hat, lehrt ja auch die Umgebung von Glasgow. Doch hatte hier an der W-Seite, im Luv der regenbringenden Winde, die Zerschneidung sicher schon größere Fortschritte gemacht als an der E-Seite, und am stärksten

war sie anscheinend in den höchstgelegenen Gebieten fortgeschritten. Gerade diese Phase der jüngsten Hebung und Zerschneidung ist auch die, welche für Anzapfungen am ehesten in Betracht kommt.

6. Ein weiterer Gesichtspunkt, die Vorgänge zu beurteilen, welchen das schottische Hochland seine präglaziale Formenentwicklung verdankt, ist folgender: Nimmt man an, daß die obersten Flächenreste und Gipffluren wirklich gleichalt sind, so ergibt sich, daß das Gebiet im nördlichsten Schottland nicht so stark herausgehoben wurde wie im S beiderseits des Loch Linnhe und in den Cairgorms. Die alte Fastebene, welche der Entstehung und Auflockerung des heutigen Hochlands voranging und die sich unbedingt noch während eines Abschnittes des Miozäns gebildet haben muß, kann ursprünglich im S nicht in viel anderer Höhe über dem Meere gelegen gewesen sein als im N. Das Gebiet der höchsten Erhebungen von heute ist also unter dieser Voraussetzung auch das am stärksten gehobene. Gerade dieses Gebiet ist dann auch wieder stark versenkt worden, so stark, daß das Meer hier eindringen konnte. Es ergibt sich somit eine anteglaziale Schaukelbewegung¹. Sollten sich nun solche auch während des Eiszeitalters abgespielt haben? Dieser Gedanke eröffnet eine Reihe von weitgehenden Ausblicken, so auf die Ursache der Ungleichmäßigkeit der schottischen Vergletscherungen in den verschiedenen Eiszeiten, soweit diese überhaupt feststellbar sind, aber auch die Frage der Talvergitterung. Sollte diese auf zeitweilige Auffüllung der Täler bei Senkungen und neues Einschneiden in anderen Flußrichtungen bei Hebungen zurückzuführen sein, und inwieweit haben solche Vorgänge auch schon im Anteglazial eine Rolle gespielt?

Auch sonst fehlt es nicht an Fragen. Die Cairgorms z. B. sind tatsächlich ein verhältnismäßig wenig zerschnittener Block. Wenn man von den wirklichen Inselbergen im NE sagen könnte, sie seien im Bereich des Unterlaufs der größeren Flüsse, die von N her kamen, entwickelt worden, warum gilt Gleiches nicht auch von den Cairgorms? Warum sind nicht auch sie ähnlich zerlegt und aufgezehrt worden, so daß nur eine Art Ben Wyvis übrigblieb? Soll das wirklich nur mit Gesteinsunterschieden begründet werden können? Oder ist etwa die Hebung des Blocks der Cairgorms jüngeren Datums als die Hebung des Gebietes weiter im W?

¹ Ich unterscheide zwischen anteglazial und präglazial: das erstere soll voreiszeitlich überhaupt bezeichnen, das letztere die Zeit unmittelbar vor dem Eintritt des Eiszeitalters. Nicht alle anteglazialen Formen sind präglazial, aber alles Präglazial ist zugleich anteglazial.

7. Noch vor Eintritt der ersten heute noch nachweisbaren Vergletscherung war das schottische Hochland neuerdings zerschnitten worden, aber nur in einzelnen Abschnitten nahe der heutigen Küste bis unter den gegenwärtigen Meeresspiegel. Weiter landeinwärts waren die jungpliozänen Flächen in großer Ausdehnung erhalten geblieben. Auch die Vergletscherung hat sie nicht wesentlich verändert, trotz ihrer gewaltigen Mächtigkeit. So hoch stand das Eis während des Höhepunkts des Eiszeitalters, daß auch die höchsten Gipfel nicht über seine Oberfläche aufragten. Gerade das Vorhandensein weiter Hochflächen hat die Entfaltung der großen Eisüberschwemmung begünstigt. Sehr bezeichnend ist jedoch, daß der Eisscheitel während der größten Vergletscherung keineswegs allenthalben von den höchsten Gipfeln des betreffenden Gebietes getragen wurde, sondern sich mehrere Hauptausstrahlungszentren an geräumige Becken knüpften, in welche von den umrahmenden Höhen das Eis solange hineinfloß, bis es, genährt von den schneeigen Niederschlägen, schließlich über die Umrahmung emporwuchs und infolgedessen eine Eisbewegung über diese hinweg einsetzte. Das Moor of Rannoch ist eines der ansehnlichsten und bekanntesten Beispiele für solche Eissammelbecken.

War der Ausgangspunkt für die Bewegung der Eisströme durch die Lage der Eisscheiden und Eisscheitel gegeben, so waren ihnen die Bewegungsrichtungen vorgezeichnet einerseits durch das vorhandene Talnetz, andererseits durch die Stauungen, die sie einander selbst bereiteten oder die ihnen durch ein fremdbürtiges Eis aufgedrängt wurden, das skandinavische bzw. Nordsee-Eis. Dieses war besonders an der E-Seite des s. Hochlandes wirksam. Es verhinderte zeitweilig die Gletscher der Cairngorms, die E-Küste zu erreichen, so daß sie einerseits nach N. andererseits nach S abbiegen mußten. Aber das Kräfteverhältnis des schottischen und des skandinavischen Eises hat auffallend geschwankt und innerhalb des schottischen Eises selbst das Kräfteverhältnis der einzelnen Eisströme. Daher kommt es, daß man etwa in der Landschaft zwischen dem Moray Firth und Aberdeen drei Hauptphasen der Vergletscherung unterscheiden kann: in einer ersten ist das Eis der Cairngorms gegen SE abgeflossen, in einer 2. wurde es durch das skandinavische Eis gegen N bzw. S gewendet, in einer 3. strömte es gegen E ab. A. B r e m n e r, dem wir so viele wertvolle Untersuchungen nicht bloß zur Glazialgeologie, sondern auch zur Morphologie des Cairngorms und ihres Vorlandes verdanken, hat dies eindrucksvoll auseinandergesetzt (3). Die Ursachen für diesen Wechsel im Kräfteverhältnis und die sich daraus ergebenden Änderungen in der Bewegungsrichtung sind noch nicht geklärt; sie können klimatischer Natur oder in Krusten-

bewegungen gelegen gewesen sein oder aber auch einer Verbindung beider Erscheinungen entsprungen sein. Ebenso wenig haben sich bis heute die britischen Geologen darüber geeinigt, ob die genannten drei Phasen als eigene Eiszeiten innerhalb des Eiszeitalters aufzufassen seien, getrennt durch echte Zwischeneiszeiten, oder bloß als Schwankungen einer einzigen Vergletscherung. Doch ist es m. E. ausgeschlossen, daß während so langer Zeiträume, wie sie etwa das M-R-Interglazial der Alpen darstellt, das schottische Hochland ununterbrochen fortdauernd vergletschert gewesen sein könnte. Nur ist wenig Aussicht vorhanden, völlig sichere interglaziale Schichten aufzufinden. Denn die Bodenbildung in dieser geographischen Breite kann nur langsam erfolgt sein und die bloß dünne Boden- oder Verwitterungsschicht einer Interglazialzeit wurde bei der nächsten größeren Vergletscherung leicht wieder beseitigt bzw. der Grundmoräne einverleibt.

Bekanntlich haben die britischen Geologen wiederholt drei Phasen der Hochlandvergletscherung unterschieden. Sie bezeichnen die größte Ausdehnung des Eises als „maximum glaciation“: Ganz Schottland lag unter den Eisfluten ähnlich begraben wie heute, allerdings in noch viel größerer Ausdehnung, Grönland. Damals flossen die oberen Teile der Eismassen auffallend unabhängig vom Relief des Landes dahin: auch aufsteigende Bewegungen von Eissträngen sind durch die Verbreitung der Erratika nachgewiesen. Die tieferen Lagen des Eises strömten dagegen zwischen den Talwandungen in den durch die Täler vorgezeichneten Richtungen ab. Später erfüllte dann das Eis überhaupt nur mehr die Täler, immer mehr Gipfel begannen als Nunatakker über die Eisoberfläche aufzuragen: es ist die Zeit eines Eisstromnetzes, der „confluence glaciation“. Schließlich wurden auch die Täler nach und nach vom Eis frei gegeben, dieses hielt sich nur noch in den Karen: die „corrie glaciation“ war gefolgt. Natürlich sind nicht alle Täler gleichzeitig vom Eis verlassen worden. Bei genauerem Zusehen löst sich der Eisrückzug in eine größere Anzahl von Stadien auf, deren ältere bloß in den niedrigeren Teilen des Hochlandes oder weiter draußen zu finden sind, während die jüngsten Stadien bloß in den höheren und höchsten Teilen vermarktet werden konnten. Heute reichen der Ben Nevis und vielleicht auch die höchsten Gipfel der Cairgorms nahe an die orographische Schneegrenze heran, wie das Vorhandensein von Firneis im Schatten der Schlucht unter dem Ben Nevisgipfel bzw. das Perennieren von kleinen Firnflecken an ein paar Stellen der Cairgorms in manchen Sommern bekundet (8 a). Eine geringe Senkung der Schneegrenze um nur 100—200 m würde bereits kleinere Kargletscher entstehen lassen (vgl. dazu meine Ausführungen in [9]).

Man würde nun im Sinne der Theorie der Glazialerosion erwarten, daß die so gewaltige Vergletscherung des Eiszeitalters, ob sie nun eine einmalige, ununterbrochene und entsprechend langdauernde war oder ob sie sich wiederholt abwechselnd über das Land breitete und wieder verschwand, den älteren Formenschatz auf das nachdrücklichste umgestaltet habe und daß alle die Erscheinungen, durch welche sich ehemals vergletscherte von gleichartigen unvergletscherten Landschaften unterscheiden, in besonders großartigem Maße entfaltet wären. Tatsächlich ist der sogenannte glaziale Formenschatz vorhanden, mit Karen und Felswannen, mit Talstufenmündungen und Wasserfällen, mit Übertiefung und Trogformen. Grundmoränen und Erratika sind weit verbreitet, eisüberschliffene Felsen, Rundbuckel, Schrammen usw. Kein Zweifel, daß verschiedene kleinere Erosionsformen der Arbeit der Gletscher zuzuschreiben sind. Aber die Frage ist: Inwieweit hat das sich bewegende Eis selbst die voreiszeitlichen Täler umgestaltet oder die Talgründe gar erst erzeugt?

Besonders die englischen Forscher, weniger die schottischen, haben sich lange Zeit sehr ablehnend gegenüber einer starken Bewertung des Gletscherschurfes verhalten, obwohl doch dieser besonders von Ramsay für die Ausgestaltung der Seebecken so stark betont worden war. Auch die Bekehrung von W. M. Davis zur Theorie der glazialen Erosion und die Ausführungen von Tarr (17) über die glaziale Skulptur des schottischen Hochlands haben daran nicht viel geändert. Ein heftiger Gegner allen Gletscherschurfs ist, trotz der Beobachtungen A. Harker's auf der Insel Skye (9), namentlich J. W. Gregory (7, 8), zeitlebens geblieben und mit ihm seine Schüler. Erst E. B. Bailey, dieser vorzügliche Kenner des Baues des schottischen Hochlandes, hat jüngst die Rolle des Eises etwas höher veranschlagt (1, 2); doch ist auch nach seiner Meinung Tarr zu weit gegangen, wenn er alle Hängetäler auf die Vergletscherung zurückführen wollte (2, S. 328).

Zu diesem Streit der Meinungen der einheimischen Forscher Stellung zu nehmen, ist für den Fremden schwierig, denn er verfügt hier nicht über so langjährige Erfahrung und solche Fülle eigener Beobachtungen wie jene und kann sich nicht auf genaueste Einzelkenntnis aller Teile der Landschaft stützen. Immer wird auch die Gefahr bestehen, daß er die Dinge im Lichte jener Vorstellungen sieht und deutet, die er selbst in einem anderen Gebiet gewonnen hat. So wollen auch die folgenden Ausführungen keineswegs als feststehende Ergebnisse aufgefaßt werden, sondern nur einige Punkte zur Erörterung stellen, die bei weiteren Untersuchungen mitberücksichtigt werden sollten, un-

bekümmert darum, ob diese dann dafür oder dagegen entscheiden. Denn wissenschaftliche Fortschritte werden nur erzielt, wenn man alle Möglichkeiten unvorhereingenommen prüft und nicht, indem man für oder gegen bestimmte Hypothesen kämpft. Dabei darf auch nicht vergessen werden, daß die Fortschritte unserer Kenntnisse überhaupt und der Fortgang der Untersuchungen im besonderen Arbeitsgebiete immer wieder auch neue Möglichkeiten aufsteigen lassen kann, an die man früher gar nicht gedacht hat.

Betrachtet man nun die einzelnen Elemente des „glazialen Formenschatzes“, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß Rundbuckel, Kare und Karwannen das Ergebnis der glazialen Erosion sind. Für Karwannen, d. h. Felsbecken, die durch einen Riegel abgeschlossen sind, ist m. E. eine andere Erklärung überhaupt unmöglich, wenigstens wenn es sich um geräumige, tiefe Wannen handelt. Nur wird vielleicht der Anteil von Lawinen und besonders von Eislawinen an der Auskolkung solcher Hohlformen noch genauer geprüft werden müssen. Einigermaßen zweifelhaft scheinen mir dagegen die an und für sich sehr fesselnden Ansichten H o l l i n g w o o d's (9 a), wonach Gletschermassen, wenn sie über einen Abfall in niedrigeres Gelände hinabfließen, hier unten bei gewissen Voraussetzungen eine rückläufige, gegen das höhere Land hin schließlich wieder aufsteigende Bewegung machen sollen. Was die Tröge betrifft, so fehlen sie zwar im schottischen Hochland nicht, aber sie sind keineswegs so zahlreich und weit verbreitet, daß man sie wirklich als ein Merkmal der schottischen Gebirgslandschaft ansehen könnte. Die langen Haupttäler sind vielmehr durchwegs mehr breit, ihr Querschnitt im ganzen genommen in der Regel muldenförmig, wenn auch die Gehänge im einzelnen vielfach mit Untergrabungskehlen und Ausbruchsnischen besetzt sind und besonders im Zusammenhang mit diesen mitunter trogförmige Querschnitte auftreten. Solche stark ausgereifte Täler hat J. W. G r e g o r y „gutter-valleys“ genannt (8 d, S. 197). Die wenigen wirklich schönen Tröge sind dagegen schmaler, sie erwecken den Eindruck junger Flußkerben, die vom Eis und besonders der Schwarz-Weiß-Verwitterung überformt worden sind und die durch Ausbrüche, Rutschungen und Bacherosion in den eisfreien Zeiten erweitert werden. Klüftige Gesteine sind ihrer Ausbildung besonders günstig. Hängetäler und Stufenmündungen, überhaupt Talstufen, sind dagegen weit verbreitet, aber ich kann in ihnen nicht überzeugende Beweise für ungleichen Gletscherschurf erblicken. Vielmehr halte ich meine jüngst für die „alpine Übertiefung“ dargelegte Auffassung (20) auch anwendbar auf das schottische Hochland: In vielen Fällen sind die Seitentäler nicht weiter eingetieft wor-

den, weil aus ihnen Schwemmkegel hervorgewachsen sind, deren Scheitel jeweils die Erosion in dem oberhalb gelegenen Seitentalstück regelt, in zahlreichen anderen, weil der Seitenbach nach dem Schwinden einer Vergletscherung nicht wieder an der Stelle einschnitt wie vorher, also seine ganze Erosionsarbeit nochmals zu leisten hatte. Auch manche und gerade besonders hohe Stufen in den Haupttälern lassen sich so erklären. Im schottischen Hochland kommt aber dazu, daß es schon vor der ersten Vergletscherung tief zerschnitten gewesen ist: umso größer konnte die Wirkung sein, welche von den Schmelzwasserströmen beim Rückzug der Vergletscherung erzielt wurde, — in deren Leistung, nicht in der Erosion der Eisströme selbst, möchte ich eine Hauptursache für die Ausbildung des Talgitters gewisser Teile des Hochlandes erblicken. Zahlreiche Beispiele für eiszeitliche Stauseen, Randgerinne, welche den einzelnen Eisständen entsprechen, Überflußdurchbrüche, die einander oft im Verlauf des weiteren Rückgangs der Vergletscherung ablösten, sind, seit Kendall (10) ihnen seinerzeit in den Cleveland Hills besondere Bedeutung beigemessen hat, allenthalben im Bereich der britischen Vergletscherung, auch im schottischen Hochland nachgewiesen worden. Die Überflußdurchbrüche gingen dabei teils über die Kerben der seitlichen Wasserscheiden, in manchen Fällen nach einer der ursprünglichen Talrichtung entgegengesetzten. Die Erosionsleistungen jener Schmelzwasserflüsse sind groß gewesen; selbst manche Randgerinne, die doch nur einem vorübergehenden Stand des Eises entsprochen haben, sind 20, 30 und noch mehr Meter eingeschnitten worden. Erst recht erheblich müssen die Leistungen jener jener Sammelstränge der Eisschmelzwässer gewesen sein, die über eine Einsattelung im Hintergrund oder an den Flanken eines Tales in ein benachbartes Talgebiet abfließen. Gewiß werden solche Überflußwege nur in einzelnen Fällen dauernd, auch nach weiterem Rückzug des Eises, beibehalten, die meisten aber doch nur zeitweilig von den Flüssen benützt worden sein. Auf jeden Fall aber wurden sie weiter eingetieft und dabei das Talgitter weiter entwickelt. Wenn vollends auch das schottische Hochland, wie ich glaube, wiederholt Vergletscherungen durchgemacht hat (ja vielleicht noch mehr als der Kontinent, da ja eine geringere Senkung der Schneegrenze auch bereits wieder eine Vergletscherung erzeugen mußte), so hätten sich auch solche Vorgänge wiederholt abgespielt und ich könnte mir vorstellen, daß spätere morphologische Untersuchungen, die sich mit den kleineren Zügen des Hochlandes weit mehr werden beschäftigen müssen als die bisherigen, es sogar ermöglichen könnten, entsprechende Formen als verschieden alt zu erweisen, und damit auch einen Beitrag

zur Frage der Gliederung des Eiszeitalters liefern könnten. Die Arbeit des Eises selbst war gewiß auch etwas an der Niederschleifung von Pässen mitbeteiligt, doch nach meinem Dafürhalten nicht in dem Maße, wie H. L o u i s annimmt (10 a, S. 84). Die Hauptleistung hatten die Flüsse bzw. die Quellbäche vollbracht, ihre Rückwärtsverlängerung war durch Rückwitterung der Karwände während der „Corrie-Stadien“ mit sehr ungleichem Erfolge fortgesetzt worden; aber besonders wirksam sind die transfluierenden Eisschmelzwässer gewesen. Die Verhältnisse um den Loch Awe scheinen eines der lehrreichsten Beispiele hierfür zu sein. Vielleicht kann ich später einmal auf diese Dinge zurückkommen.

Schließlich harrt noch das Phänomen der Fjorde endgültiger Lösung. Wie man annehmen muß, daß das Eis Karfelsenwannen ausschürfen kann, so muß man folgerichtig auch für die Entstehung der Felswannen der Talseen und die der Fjorde die gleiche Erklärung ins Auge fassen. Doch reicht sie allein nicht aus, um den Befund zu erklären. Warum sind sie so verschieden tief? Die wenigsten reichen freilich, trotz so starker und vermutlich wiederholter Vergletscherung mehr als 50 m in den Fels hinab. Aber Loch Morar ist 310 m tief, sein tiefster Punkt liegt 300 m unter dem Meeresspiegel, erst weiter draußen, am Rand des Schelfs, jenseits St. Kilda, steigt der Meeresgrund wieder zu dieser Tiefe hinab. Auch Loch Ness ist 229 m, L. Linnhe 189 m tief; ihre Wannen liegen größtenteils unter dem Meeresspiegel. Gewiß wurde das Eis in diesen Strecken zusammengedrängt, seine Geschwindigkeit demgemäß wohl erhöht; allein es gibt auch zahlreiche andere schmale Täler, die nicht ein paar hundert Meter tief ausgehobelt worden sind. Eigenartig ist, daß das Fjordphänomen und auch die Ausschürfung von Talwannen nur im W großartig entwickelt ist, im Vergleich dazu in und um die Cairgorms ganz zurücktritt, mindestens viel schwächer entwickelt ist. Man kann dafür nicht einfach die Stauwirkungen des skandinavischen Eises verantwortlich machen, denn diese haben sich nur auf einen Teil der Cairgormvergletscherung ausgewirkt, und wie wir gesehen haben, auch nicht ununterbrochen. Auch glaube ich nicht, daß die Vergletscherung der Cairgorms geringer gewesen sei als die weiter im W; lagen doch besonders große Flächen in über 900 m Höhe. Merkwürdig ist ferner auch die konzentrische und radiale Anordnung der Fjord- und Talfurchen um zwei Hauptmittelpunkte, auf Skye und auf Mull, wie G r e g o r y gezeigt hat (8 b, c, d). Wir können es durchaus verstehen, wenn dieser jungen (alt-, mittel- und oberpliozänen) Krustenbewegungen, lokalen Grabenbildungen zumal, eine besondere Rolle bei der Entstehung der Fjorde zuerkennen wollte (7, 8 d). Aber

ebensowenig wie die rein glaziale Theorie wird eine solche tektonische allen Erscheinungen gerecht.

So bietet das schottische Hochland fortdauernd eine große Fülle von ungelösten Problemen. Weder die voreiszeitliche Formengeschichte noch die Auswirkungen des Eiszeitalters sind näher geklärt. Das hängt nicht sosehr mit den technischen Schwierigkeiten der Untersuchungen zusammen, obwohl diese in einem solchen weithin unbesiedelten, nebel- und regenreichen Gelände an die Ausdauer und Kräfte des Forschers erheblich größere Anforderungen stellen, als die in einer mitteleuropäischen Kulturlandschaft, sondern vor allem damit, daß hier seit langer Zeit in einem mannigfaltigen, einander auch vielfach durchkreuzenden Wechselspiel fast alle landformenden Kräfte an der Arbeit sind: Meer und Flüsse, Frost und Gletscher, Regen und Wind, und daß sie Arbeit zu leisten hatten an einem ungemein verwickelt aufgebauten Stück Erdkruste, das bis in die jüngste Zeit von allerhand tektonischen Bewegungen betroffen wurde: Hebungen, Senkungen, Kippungen und Verkrümmungen. Nichts aber ist für uns Sterbliche ergreifender als die Tatsache, daß die Kräfte der jüngsten geologischen Vergangenheit und der Gegenwart darum bemüht sind, eine der ältesten Berg- und Tallandschaften, die sich vor Millionen von Jahrhunderten auf eben diesem Raum gebildet hatte, wieder herauszuschälen und der Meeresspiegel heute wieder das alte Land fast in der Höhe von dessen damaliger Erosionsbasis bespült.

Literaturverzeichnis.

1. Bailey, E. B., The Geology of Ben Nevis and Glen Coe. Mem. Geol. Surv. 1916.
2. — The Interpretation of Scottish Scenery. Scot. G. Mag. vol. 50, 1934.
3. Bremner, A., The Glaciation of Moray and Ice Movements in the North of Scotland. Trans. Edin. Geol. Soc. vol. XIII. Pt. 1. (Vortrag 1931).
4. Cadell, H. M., a) The Dumbartonshire Highlands, Scot. G. Mag. vol. 11, 1886.
b) The Story of the Forth. Scot. G. Mag. XXVIII. 1912, S. 225 ff.
c) The Story of the Forth. Glasgow. 1913.
5. Flett, J. S., and Read, H. H., Tertiary Gravels of the Buchan District of Aberdeenshire. Geol. Mag. LVIII. 1921, S. 215 ff.
6. Geikie, A., The Scenery of Scotland 1865 (3rd ed. 1901).
7. Gregory, J. W., The Nature and Origin of Fiords. 1913.
8. — a) The Snow-patches of Ben Nevis etc. Scot. Ski Club Mag. 1912, S. 147 ff.
b) The Sea-lochs of the Outer Hebrides. Trans. Geol. Soc. Glasgow XVIII. pt. 1. 1926/27.
c) The Geology of Loch Lomond. Trans. Geol. Soc. Glasgow. XVIII. pt. 2. 1927/28.
d) The Fiords of the Hebrides. Geogr. Journ. LXIX. 1927, S. 193—216.

9. Harker, A., Ice-Erosion in the Cuillin Hills of Skye. Trans. R. Soc. Ed., vol. 91. 1901.
9. a) Hollingworth, S. E., The Glaciation of Western Edenside and adjoining areas usw. Quart. Journ. Geol. Soc. LXXXVII. 1931.
10. Kendall, P. F., A System of Glacial Lakes in the Cleveland Hills. Quart. Journ. Vol. XII. 1902.
10. a) Louis, H., Glazialmorphologische Studien in den Gebirgen der Britischen Inseln. Berliner G. Abh. H. 6. Stuttgart 1934.
11. Macgregor, M., The Pre-glacial Valley of the Clyde and its Tributaries. Rep. Brit. Ass. Glasgow 1928. S. 546.
12. Mackinder, H. J., Britain and the British Seas. (2nd ed. 1907). 1902.
13. Ogilvie, A. G., a) The Physical Geography of the Entrance to Inverness Firth. Scott. Geog. Mag. XXX. 1914.
- b) Central Scotland. In Great Britain, Essays in Regional Geography, 1928 (2nd ed. 1930).
14. Peach, B. N. and J. Horne, a) The Scottish Lakes in relation to the Geological Features of the Country, in J. Murray and L. Pullar, Bathymetrical Survey of Scottish Freshwater Lochs. 1910.
- b) Chapters on the Geology of Scotland. Oxford 1930.
- c) Geological Features of Scottish Mountains. In: The Scottish Mountaineering Club Guide. Edinburgh.
15. Scott, J. F., General Geology and Physiography of Morvern, Argyll. Trans. Gl. Soc. Glasgow. XVIII. 1926/27.
16. Stevens, A., a) 'The Highlands and Hebrides.
- b) The Southern Uplands. In: Great Britain (vgl. unter 13).
17. Tarr, R. S., Glacial Erosion in the Scottish Highlands. Scot. G. Mag. vol. XXIV. 1908.
18. Woolacott, D., The Glacial History of the Tyne, Wear and Associated Streams. Proceed. Durham Philos. Soc. II. pt. 3. Newcastle-upon-Tyne. 1903.
19. Sölch, J., Der Rückzug der letzten Vergletscherung. Eine vergleichende Betrachtung. Sber. Heidelberger Ak. Wiss. Mathem.-naturw. Kl. 1932. 1. Abh.
20. — Fluß- und Eiswerk in den Alpen zwischen Ötztal und St. Gotthard. Peterm. M. Ergh. 219, 220. Gotha 1935.

Erforschung Syriens durch Fliegeraufnahmen.¹

Von **Wilhelm Kubitschek**.

1. Mauerspuren in keimender Saat.

Auf Ausgrabungsfeldern hat sich die Erfahrung gebildet, daß Mauerzüge auch unter der Humusfläche in der jungen Saat für kurze Zeit

¹ Haut-Commissariat de la rép. franç. en Syrie et au Liban, service des antiquités et des beaux arts. Bibliothèque archéol. et hist., tome XVIII. Le père A. Poidebard, la trace de Rome dans le désert de Syrie. Le Limes de Traian à la conquête Arabe. Recherches aériennes 1925—1932. Introduction de Franz Cumont. Zwei Bände, Paris, librairie orientaliste Paul Geuthner, 1934, 4°. Text 209 SS.; Tafelband 8 und 11 SS., 1 Landkarte und 161 Tafeln.