

Die Eiszeit in den Südkarpaten

Von S. Puchleitner

Schon 1881 wurde zum erstenmal über Eiszeit Spuren in dem Grenzgebirge zwischen Rumänien und Siebenbürgen berichtet. Lehmann¹⁾ hatte solche in den Fogarascher Alpen (östlich vom Durchbruche des Alt im Rothenthurmpasse) beobachtet und dehnte in der Folge seine Untersuchungen noch weiter aus, auf die ganze Gebirgskette vom Retiezat im W. bis zum Königstein im O.²⁾ Sie ließen es ihm zweifellos erscheinen, dass dieses Gebiet zur Eiszeit eine Vergletscherung getragen habe, deren Spuren Lehmann zu der Annahme führten, dass man die eiszeitliche Schneegrenze in den Südkarpaten nicht höher als in 1700 *m* über dem Meere suchen müsse. Aber die glaciale Deutung seiner als exact anerkannten Beobachtungen wurde von den ungarischen Geologen Primics³⁾ und Inkey⁴⁾ in Frage gestellt. Namentlich machte letzterer, welcher die Cirken als ein Werk der Erosion betrachtet, darauf aufmerksam, wie schwierig es sei, Moränen ohne gekritzte Geschiebe von Bergstürzen zu unterscheiden, und schloss, wenn eine Vergletscherung der Südkarpaten auch wahrscheinlich sei, so gebe es doch keine sicheren Beweise dafür. In den letzten Jahren mehrte sich das Interesse an der Frage der ehemaligen Vergletscherung der Südkarpaten, welche neuerlich von ungarischen und rumänischen Geologen⁵⁾ behauptet wurde, zumal in-

1) Zeitschr. D. Geol. Ges. 1881.

2) Zeitschr. Ges. Erdk. Berlin 1885.

3) Mitth. a. d. Jahrb. d. K. Ung. Geol. Anst. 1881, VI, p. 233—315.

4) Földtani Közlöny 1884, p. 116.

5) Math. u. naturw. Ber. aus Ung. 1891, X, p. 41 ff.

6) L. Mrazec, Sur l'existence d'anciens glaciers sur le versant S. des Carpates Méridionales. Bull. Soc. Sc. Bucarest Nov. 1898; Munteanu-Murgoci, Ann. du Musée de Géol. de Bucarest 1898, p. 68; Popovici-Hatzeg, Comm. à la Soc. des Sc. de Bucarest, 2./14. Nov. 1898; Schafarzik, Jahresber. d. K. Ung. Geol. Anst. 1899, p. 120, 152—156.

zwischen in den südlicher gelegenen Gebirgen der Balkanhalbinsel unzweifelhafte Gletscherspuren nachgewiesen werden konnten.

Eine klare, zusammenfassende Arbeit über diesen Gegenstand fehlte bisher; so war es einem allerdings aus der Schule von Penck hervorgegangenen Ausländer, dem Franzosen Emmanuel de Martonne vorbehalten, diese Frage in eingehender und ausführlicher Weise zu erörtern und zu beantworten. Ursprünglich von der Absicht geleitet, die Durchbruchsthäler in den Südkarpaten zu studieren, besuchte de Martonne 1898 das Gebirge; die merkwürdige Aehnlichkeit seiner höheren Partien mit den alpinen Hochthälern und anderen, einst vergletschert gewesenen Gebirgen veranlasste ihn zu einem gründlicheren Studium des Problems einer ehemaligen Vergletscherung desselben. Freilich fehlte dafür die kartographische Unterlage, da die bisher bestehenden Aufnahmen dieses Gebietes theils wegen des kleinen Maßstabes (1:75 000), theils wegen des geringeren Interesses, das man der exacten Aufnahme jener Details, auf welche die Eiszeitforschung sich stützen muß, schenkte, diese entweder gar nicht oder doch ungenau zur Darstellung bringen. Daher entschloss sich de Martonne zur selbständigen Aufnahme eines für seine Zwecke charakteristischen Gebietes in einem größeren Maßstabe und widmete dieser Arbeit einen sechswöchentlichen Aufenthalt in der Hochregion des Parengmassivs im Sommer 1899.

Dieses zumeist aus krystallinischen Gesteinen bestehende Gebirge, über dessen Kamm die Grenze zwischen Ungarn und Rumänien verläuft, erreicht im Verfu Mandra mit 2529 *m* seinen höchsten Punkt und sinkt auch in den Uebergängen nirgends unter 2100 *m* herab. Sein Kamm wird besonders auf der Nordseite von zahlreichen Karen gegliedert, welche auf der österreichischen Specialkarte nur theilweise dargestellt sind. Die in den Nordabhang eingesenkten besonders typischen Cirken von Găuri und Gălcescu bilden den Gegenstand der von de Martonne unternommenen topographischen Aufnahme im Maßstabe 1:10 000. Die schöne, sorgfältig ausgeführte Karte wurde im Februar 1900 mit einem erklärenden Texte unter dem Titel: „Le levé topographique des cirques de Găuri et Gălcescu“ im Buletinul Societății Inginerilor și Industriașilor de Mine (Bucarest) veröffentlicht. Nachdem der Verfasser darin über die Umstände und die Art seiner Arbeit bei Durchführung der topographischen Aufnahme berichtet und die von ihm verwendete Nomenclatur

begründet hat, bespricht er die morphologischen Ergebnisse dieser Aufnahme und gelangt, indem er die Beweiskraft der verschiedenen Eiszeit Spuren für eine ehemalige Vergletscherung erörtert, zu einer rein morphologischen Definition des Cirkus. Im gleichen Jahre ließ de Martonne zwei größere, zusammenfassende Aufsätze erscheinen: „Contribution à l'étude de la période glaciaire dans les Karpatés méridionales“ im Bull. de la Soc. Géol. de Fr. 1900, t. XXVIII, p. 275—319 und „Recherches sur la période glaciaire dans les Karpatés méridionales“ im Bull. de la Soc. des Sciences de Bucarest 1900, Ann. X, Nr. 4, p. 1—60. Auch hier geht der Verfasser von derselben Discussion aus, um die dadurch gewonnenen allgemeinen Gesichtspunkte bei der Deutung seiner im Parengmassiv wie in anderen Theilen des Gebirges gemachten Beobachtungen zu verwerten. Dann stellt er die Ausdehnung der alten Vergletscherung in den Gebirgsmassiven der Südkarpaten fest, bespricht die Anzahl der Eiszeiten, welche sich aus den aufgefundenen Gletscherspuren ergeben, und die Höhenlage der ihnen entsprechenden Schneegrenzen.

Den wesentlichen Inhalt der genannten Aufsätze hier wiederzugeben ist die Aufgabe des vorliegenden Referates.

Die Detailaufnahme der beiden Cirken im Parengmassiv und die topographische Durchforschung der übrigen Theile der Südkarpaten führte zunächst zur Entdeckung mehrfacher Beweise für eine alte Vergletscherung und dann zur Feststellung mehrerer Punkte, welche eine Antwort erlauben auf die Frage: Welchen beweisenden Wert kann man den verschiedenen Eiszeitspuren zuerkennen?

Als allgemein anerkannte Zeugen einer ehemaligen Vergletscherung gelten Rundhöcker, Schrammen, Moränen und fluvio-glaciale Terrassen, Seen und centrale Depressionen. Sie alle sind aber nicht auf ihr bloßes Aussehen hin als Glacialspuren anzusprechen. So erzeugt auch die Verwitterung rundhöckerähnliche Formen; es ist daher die Vertheilung der Rundhöcker und ihre Position zu beachten, soll man aus solchen Vorkommen einen Schluss auf ihre Entstehungsursache ziehen können. de Martonne fand zahlreiche Rundhöcker mit thalabwärts gerichteter Steilseite in den Cirken von Găuri, Gălcescu und Jeşul. Sie finden sich dort — unabhängig von der Gesteinsart — in besonders großer Anzahl an den Seiten der Cirken am Fuße der Steilwände und an den Stufenrändern, also gerade an Stellen, wo —

eine Eisbedeckung vorausgesetzt — der Druck am stärksten und die Glacialerosion am intensivsten gewesen sein mußte. Sie entsprechen also den Bedingungen, unter welchen man für sie einen glacialen Ursprung annehmen kann, und sind daher wohl als Zeugnisse für eine einstige Vergletscherung anzusehen. Ihr Vorkommen ist nicht auf die genannten drei Cirken beschränkt; sie finden sich auch in den Cirken von Roșiile, Scliveiul, Muntinu, Urda, Plescoia u. a., wo ihre tiefsten Lagen zwischen 1900 und 1680 *m* schwanken.

Eine viel geringere Beweiskraft als den Rundhöckern erkennt de Martonne den Schrammen zu. Denn 1. können auch sie verschiedene Entstehungsursachen haben, wie z. B. Schuttrutschungen, und 2. sind es gerade die Schrammen, welche am schnellsten verschwinden, namentlich auf den stark verwitternden krystallinischen Schiefeln. Es ist daher (1) aus ihrem alleinigen Vorkommen noch kein sicherer Schluss auf eine einstige Vergletscherung zu ziehen, aber ebensowenig ist ihr Fehlen (2) ein Beweis dagegen. In den Südkarpaten, welche größtentheils aus krystallinischen Schiefeln bestehen, kommen — soviel die Untersuchungen bisher ergeben haben — gekritzte Geschiebe¹⁾ gar nicht, Schrammen auf anstehendem Fels selten vor. Der Verfasser beobachtete an drei Stellen unzweifelhafte Gletscherschrammen auf Rundhöckern mit geglätteter Oberfläche. Zwar fanden sich Schrammen auf den meisten noch nicht von der Vegetation angegriffenen Rundhöckern, doch wagt de Martonne sie wegen ihrer geringen Deutlichkeit nicht als unstreitig glacial zu bezeichnen, da es schwierig ist, schlecht erhaltene Gletscherschrammen von solchen, welche der Verwitterung auf Clivageflächen ihren Ursprung danken, zu unterscheiden.

Fast die gleiche Schwierigkeit bietet in den Südkarpaten die Feststellung von Moränenablagerungen. Ohne gekritzte Geschiebe läßt sich eine Grundmoräne nicht constatieren, und die Oberflächenmoränen, welche sich als solche nur durch ihre Form und Zusammensetzung kennzeichnen, lassen sich namentlich dann, wenn erstere durch die Erosion bereits zerstört ist, nicht leicht von Schuttstürzen unterscheiden. Das einzige Mittel, sie als Moränen zu erkennen, ist das Studium der petrographischen Be-

¹⁾ Inkey, der im Retiezat solche fand, ist von ihrem glacialen Ursprung nicht überzeugt.

schaffenheit ihrer Trümmer und des in der Nähe anstehenden Gesteins: ein Mittel, das aber dann versagt, wenn die Gesteinszusammensetzung, wie es in den Südkarpaten oft der Fall ist, sehr wenig Abwechslung bietet. Dennoch haben alle Forscher, welche eine Vergletscherung des Gebirges behaupten, ihre Annahme auch auf das Vorkommen von Moränen gestützt. So erwähnt Lehmann Moränen in den Cirken des Arpasiu mare in den Fogarascher Alpen, in den Massiven des Cindrelu und Surian im Mühlbachergebirge und im Cirkus von Roșiile am Nordabhang des Parengmassivs. Mrazec will in den Cirken von Boianu und Gäuri Moränen beobachtet haben; Schafarzik beschreibt eine Stirnmoräne aus dem Hochthal des Murariu im krystallinischen Massiv von Borlova; zudem werden einige Gneisblöcke auf den Gehängen von Cărbunele von Murgoci und Mrazec als Erratica bezeichnet. Auch Inkey fand im oberen Thale des Sibiselu im Reticzat einen moränenähnlichen Blockwall, der jedoch seiner Anschauung nach auch von einem Bergsturze herrühren könnte. de Martonne erklärt, der lange Aufenthalt im Parenggebirge und das eingehende Studium seiner Cirken lasse ihm den Skepticismus Inkey's nicht unberechtigt erscheinen; thatsächlich dürfte die Mehrzahl der angeblichen Moränen nur von Schuttrutschungen herrühren. Da man in keiner derselben geschrammte Blöcke fand, habe man es höchstens mit Oberflächenmoränen zu thun. Der Mangel an Grundmoränen könne allerdings nicht überraschen, da Localgletscher von pyrenäischem Typus, wie man sie in den Südkarpaten ausschließlich erwarten dürfe, sehr arm an Grundmoränen seien, ja gegebenenfalls ihrer ganz entbehren, wie dies Vallot kürzlich am Mer de Glace constatieren konnte, wo er keine Spur von Grundmoräne fand, trotzdem er ziemlich weit unter dem Gletscher vordrang.

Aber auch die von den vorhin genannten Verfassern angeführten Oberflächenmoränen seien in der Regel recente Schutthäufungen; der von Mrazec seinem Aussehen nach für eine Moräne gehaltene Wall von Cărbunele bestehe dagegen aus anstehendem Gestein. Selbst die auf seiner Karte dargestellten hufeisenförmigen Blockmauern hält de Martonne für recente Schuttwälle; höchstens könnten sie als Firnmoränen gelten, welche während des letzten Rückzugstadiums des Gletschers gebildet worden seien. Nur in zwei Fällen führte ihn die Untersuchung der Gesteinsbeschaffenheit dazu, die Ueberreste von echten Mo-

ränen feststellen zu können: am Ausgange des Cirkus von Găuri und im Thal des Lotru an den Gehängen von Cărbunele, an der Stelle, wo der aus drei Quellbächen gebildete Fluss seinen Lauf nach Norden einschlägt. de Martonne erklärt die Blöcke von Cărbunele für die Trümmer einer Seitenmoräne, welche seit ihrer Ablagerung allerdings durch die Erosion sehr verändert wurde. Sie deutet auf die Existenz eines ansehnlichen Gletschers, dessen Ende wenigstens bis 1550 *m* in das Lotruthal hinabreichte, während die Bildung der Moräne von Găuri nur einen kleinen Gletscher von $1\frac{1}{2}$ *km* Länge und 100—150 *m* Mächtigkeit voraussetzt. de Martonne gelangt zu dem Schlusse: es gibt keine wohl erhaltenen Stirn- oder Seitenmoränen in den Cirken des Pareng; die typischen Glacialablagerungen müssen anderswo gesucht werden. Denn bei den Kargletschern befand sich die Stirn- moräne auf der untersten Stufe, an einer Stelle stärkster Erosionswirkung, durch welche sie zerstört werden mußte; die Seitenmoränen dagegen wurden allmählich unter dem herabstürzenden Gesteinschutt begraben und unkenntlich gemacht. Thal- gletscher aber mußten ihre besser entwickelten Moränen tiefer unten abgelagert haben.¹⁾

In der That hat die Terrasse von Baraken in 1270 *m* am Knie, welches der Jieţu bildet, ehe er das Becken von Petroseny erreicht, einige Aehnlichkeit mit einer glacialen Ablagerung. de Martonne läßt es unentschieden, ob man es hier mit einer Moräne oder einer fluvioglacialen Terrasse oder nur mit einer recenten Flussterrasse zu thun habe. Dagegen erhebt er einige Bedenken²⁾ gegen die Ansicht von Mrazec, welcher in einer der Terrassen des Jiu bei Bumbesti am Ausgange des Defilés von Surduk eine Glacialablagerung erblicken will.

Aus den vorangegangenen Erörterungen ergibt sich: 1. die Schwierigkeit, unzweifelhafte Moränen zu finden in einem Massiv, welches einer geringen und schon weit zurückliegenden Vergletscherung unterworfen war; 2. die Feststellung einiger allge-

¹⁾ de Martonne bemerkt dazu in einer Anmerkung (Contributions . . . , p. 291 und Recherches . . . , p. 19), er sei infolge seiner flüchtigen Besuche im Jahre 1898 überzeugt gewesen, dass es in den Karpaten nur Hängegletscher gegeben habe; daher beschränkte er 1899 seine Untersuchungen auf das Hochgebirge. Es sei möglich, dass man Moränenablagerungen finde, wenn man die Thäler bis 1500 und 1300 *m* herab mit derselben Genauigkeit durchforsche.

²⁾ Contributions . . . , p. 291, 292; Recherches . . . , p. 20.

meinen Grundsätze, welche bei solchen Untersuchungen maßgebend sind, und die Wichtigkeit des Studiums der Gesteinsbeschaffenheit; 3. die Seltenheit gut erhaltener Moränen im Parengmassiv; 4. das Vorhandensein umgelagerter Moränen, von welchen die einen einer Phase geringerer Gletscherentwicklung, die anderen einer Eiszeit mit ziemlich mächtigen Thalgletschern entsprechen.

Häufig hat man die Bergseen als offenbare Eiszeitspuren betrachtet; Penck hat sie die Leitfossilien der Gletscherkunde genannt. Gewiss weist die Existenz zahlreicher kleiner Seen in einem aus krystallinischen Schiefern gebildeten Massiv, welches seit langem der oberirdischen Erosion unterworfen ist, auf eine Unfertigkeit des hydrographischen Netzes, welche sich nur durch Gletscherwirkung erklären lässt. Doch können auch die Bergseen verschiedenen Ursachen ihre Entstehung danken; um diese kennen zu lernen, ist es nöthig, jeden einzeln zu studieren.

de Martonne fand in dem von ihm aufgenommenen Terrain nicht weniger als 20 Seen, von welchen sich nur ein einziger auf der österreichischen Specialkarte in 1:75 000 verzeichnet findet. Sechs Seen fanden sich in den Nachbircirken. Ihre Höhenlage hält sich innerhalb enger Grenzen, zwischen 1900 und 2100 *m*, die Mehrzahl der Seen liegt in 1900—2000 *m*. Elf davon sind glacialen Ursprunges, zwei sind Dolinen-, die übrigen Abdämmungsseen. Fast alle (mit vier Ausnahmen) liegen auf dem Nordabhang und sind durchaus auf die Kare beschränkt.

In innigem Zusammenhang mit der Lage der Seen und wahrscheinlich auch mit der Gletscherwirkung steht die Topographie der Cirken. Eines der Hauptargumente Lehmann's ist die Aehnlichkeit der Cirken in den Südkarpaten mit den Karen der Tatra, des Riesengebirges, der Pyrenäen etc. Auch Mrazec stützt sich auf die Topographie der Cirken als auf einen der unzweifelhaftesten Beweise der alten Vergletscherung. Aus demselben Grunde behauptete Popovici-Hatzeg die Vergletscherung des Bucegiu. Allerdings wird die glaciale Entstehung der Cirken durchaus nicht allgemein zugegeben. Solchen Meinungsverschiedenheiten gegenüber scheint es schwierig, in dem Vorhandensein von Cirken ein entscheidendes Argument für die einstmalige Gletscherbedeckung des betreffenden Gebirges zu erblicken, wenigstens solange es nicht gelungen ist, zu beweisen, dass sie wirklich glacialen Ursprunges sind. Die Ursache der auseinandergehenden Meinungen ist nach de Martonne der Mangel einer deutlichen

Feststellung des Begriffes, den man mit dem Ausdruck Cirkus (Kar, Botn, Oule, Coomb, Căldarea oder Zanoăga) zu verbinden habe. Es fehlt an einer rein morphologischen Definition dieses Begriffes, einer Definition, welche bloß auf die topographische Betrachtung derjenigen Objecte gegründet ist, welche man im engsten Sinne des Wortes mit obgenannten Ausdrücken bezeichnet. Freilich ist eine exacte Analyse dieser Reliefform erst nach einer detaillierten topographischen Aufnahme möglich.

Indem de Martonne durch seine Aufnahme der Cirken von Gäuri und Gălcescu im Maßstabe 1:10 000 sich selbst die kartographische Unterlage für eine topographische Beschreibung der in Frage stehenden Reliefform schuf, gelangte er dazu, den typischen Cirkus auf folgende Weise zu charakterisieren: Von ferne gesehen erscheint der Cirkus als eine Nische im Gehänge in der Nähe des Kammes; man hat oft den Eindruck, als ob sein Boden tiefer läge als der äußere Rand. Bei näherer Betrachtung zeigt er einen breiten, ebenen oder schwach geneigten Boden, der von allen Seiten von Steilwänden umgeben ist; diese erniedrigen sich gegen den Ausgang des Beckens allmählich, wobei sie sich öfter einander nähern. In großen Cirken wird die allgemeine Neigung des Bodens ziemlich merklich, doch wird sie öfter von einer Reihe von Stufen unterbrochen. Auf den Stufenabsätzen finden sich hie und da Stellen, welche niedriger liegen als der Rand der Böschung, die sie thalabwärts begrenzt; dort treten dann Seen, Torfmoore und feuchte Wiesen auf. Manchmal kann jede solche Stufe einen neuen Cirkus darstellen; man hat dann eine Reihe von hintereinanderliegenden Karen. Eine solche Kartrepe ist der Cirkus von Gäuri. Andererseits finden sich nicht selten in die Wände eines großen Cirkus kleine Nebencirken eingeschnitten; man hat dann einen zusammengesetzten Cirkus, wofür der Cirkus von Gălcescu eines der schönsten Beispiele bietet. Die Nebencirken liegen stets in höherem Niveau als der Hauptcirkus; wenn thatsächlich ein Zusammenhang existiert zwischen der Cirkusform und der Existenz von Gletschern, so müssen jene einem geringeren Maße und späteren Stadium der Vergletscherung entsprechen als die großen Cirken. Die Richtung der Hauptwasserläufe stimmt nicht mit der allgemeinen Neigung des Karbodens überein. Am äußersten Ende desselben trifft man immer einen Steilrand, welcher das benachbarte Thal beherrscht und unter den die einzelnen Stufen trennenden Absätzen der auffallendste ist. Nachbarcirken

werden durch schmale, auf beiden Seiten steil geböschte Grate getrennt, welche zu den flachen breiten Formen der Cirken in starkem Gegensatz stehen. Die Hydrographie der Cirken ist sehr unbestimmt. Die Bäche fließen meist nicht in der Mitte, sondern am Rande des Kares am Fuße der Steilwände; zuweilen ist ihr Gefälle der Hauptneigung des Cirkus entgegengesetzt. Die wesentlichen Elemente der Topographie der Cirken lassen sich in folgenden vier Punkten zusammenfassen:

1. Das Querprofil zeigt die U-Form, im Längsprofil kommt die Stufenform zum Ausdruck. Die letzte Stufe ist die höchste.
2. Die Neigungslinien der Gehänge convergieren nicht gegen einen einzigen Punkt, sondern gegen die Linie eines Gefällsbruches, welche einen flachen oder vertieften Boden umschließt.
3. Die Niveaucurven sind von jenen in gewöhnlichen Thälern durchaus verschieden. Charakteristisch sind stumpfwinklige Curven (*courbes carrées*) für die Hohlformen (Cirken) und spitzwinklige für die Vollformen (trennenden Grate).
4. Die Richtung der Wasserläufe ist unabhängig von den Niveaulinien.

Diese Definition gestattet, die Form des Cirkus von verwandten Formen: Erosionstrichter, Krater, Doline zu unterscheiden. Der Krater erhält allerdings erst dann Aehnlichkeit mit einem Cirkus, wenn die Erosion in den ihn umgebenden Gürtel eine Bresche gerissen hat — dann finden auch auf ihn die Punkte 1—3 Anwendung. Die Wassererosion strebt aber darnach, sein Gefälle auszugleichen, und infolge dessen wird auch Punkt 2 nicht lange für ihn Geltung haben. Zudem bleibt der Hauptunterschied, dass beim Krater die Hohlform das Wesentliche ist, während der Cirkus nur einen leichten Einschnitt in eine große Gebirgsmasse darstellt; hier überwiegt die Vollform, während dort Hohl- und Vollform einander das Gleichgewicht halten oder die erstere vorherrscht. — Auch die Doline oder das Einsturzbecken nähert sich in ihrer Form dem Cirkus erst dann, wenn die Erosion die Linie der fortlaufenden Böschung, welche die Depression rings umgibt, auf einer Seite durchbricht. Aber dann erzeugt die Wassererosion auch hier dieselben Unterschiede wie bei dem einseitig geöffneten Krater. Ueberdies finden sich Dolinen nur auf Plateaux oder einem Terrain mit schwach geneigten Hängen, während der Cirkus dem Hochgebirge eigenthümlich ist und nur in der Nachbarschaft der Kämme angetroffen wird.

Noch wichtiger ist die Unterscheidung der typischen Kare von den Sammelbecken der Quellbäche (bassin de reception torrentiel), den Erosionstrichtern. Gerade die Verwandtschaft dieser beiden Formen dürfte am meisten zu den Meinungsverschiedenheiten bezüglich der Entstehung der Kare Veranlassung gegeben haben, indem die Verfechter der Erosionstheorie das Sammelbecken, die Vertreter der Glacialtheorie den eigentlichen Cirkus vor Augen hatten. Dennoch gibt es mehrere Unterscheidungsmerkmale zwischen beiden Formen. Zunächst fehlt dem Erosionstrichter das stufenförmige Längsprofil; das Querprofil hat die V-Form, oder die U-Form geht thalabwärts allmählich in erstere über. Im Cirkus ist die U-Form stark ausgeprägt, und der Uebergang zur V-Form ist nicht allmählich, sondern plötzlich. Im Sammelbecken convergieren die Gefällslinien gegen einen einzigen Punkt, welcher am Beginne des Ausflusscanales gelegen ist; es gibt keinen starken Gefällsbruch, keinen flachen Karboden. Dagegen herrscht hier ein inniger Zusammenhang zwischen der Richtung der Hauptwasserläufe und jener der Niveaulinien.

Es gibt allerdings Uebergangsformen. Manche Kare sind im Begriffe, sich in Erosionstrichter umzuwandeln, und zeigen daher nicht mehr die reinen Züge des Kares. Wenn aber der Name Cirkus nur auf die vorhin beschriebene Reliefform angewendet wird, so muß man zugeben, dass er einige seiner Züge in keinem Falle der subaërischen Erosion verdanken kann; doch auch gegen die Entstehung durch bloße Glacialerosion sprechen nicht unwichtige Bedenken: 1. Nach dieser Theorie wären die Kare Stellen stärkster Erosion gewesen. Nun liegen sie aber gerade dort, wo die Eiserosion am geringsten gewesen sein mußte, nämlich am Beginne des Gletschers; denn man trifft sie in der Regel in der Nähe der Kammlinie, wo der Raum fehlt für die Entwicklung eines so mächtigen Gletschers, dass man ihm die Aushobelung des Karbeckens zuschreiben könnte. 2. In Gegenden, welche einst von Inlandeis bedeckt waren, und wo Schrammen, Gletscherschliffe und Rundhöcker überall in gleicher Weise verbreitet sind, fehlen die Steilwände der Cirken.

Trotzdem zeigt die Topographie der Kare zu sehr den Einfluss der Glacialwirkung, als dass man dieser nicht eine entscheidende Rolle bei ihrer Bildung zuerkennen sollte. Aber diese theils erhaltende, theils umgestaltende Wirkung des Eises konnte solche Ergebnisse wie in den Karpaten nur dann herbei-

führen, wenn die Gletscher auf die oberen Partien des Gebirges beschränkt blieben und im Verein mit anderen Naturkräften, wie der mechanischen Verwitterung, an dessen Umgestaltung arbeiteten.

de Martonne gibt hierauf eine Analyse des Processes der Karbildung, deren Ausgangspunkt nach ihm in der Regel ein Erosionstrichter gewesen ist. Er beschreibt die Einlagerung des Schnees, das Zurückweichen der Wände unter dem zersetzenden Einflusse der Atmosphärlilien, die Wirkung des Eises auf den Untergrund durch Ausräumen des Schuttes, Abhobelung des festen Gesteins und Abrundung seiner Formen. Durch Unterschneiden der Seitenwände entsteht das U-förmige Querprofil. Je länger die Eiszeit dauert, desto mehr erweitert sich der Cirkus. Aber er vertieft sich auch unter der erodierenden Kraft des bewegten Eises.¹⁾ Einen Beweis dafür sieht de Martonne in dem Vorhandensein von Gletscherschliffen und Rundhöckern an den seitlichen Hängen der die Cirken trennenden Grate in einer Höhe von 20—30 m über dem flachen Karboden. Das wichtigste Moment in diesem Prozesse ist die Herstellung eines doppelten Gefällsbruches: nach oben die durch Zurückwintern entstehende Steilwand, an welche sich der flache Karboden schließt, nach unten ein Steilrand, der das Kar gegen das darunter beginnende Erosionsthal begrenzt. Der obere Gefällsbruch scheidet die der Eiserosion unterworfenen Oberfläche von jener, welche der Wirkung der Atmosphärlilien ausgesetzt ist, der untere begrenzt sie gegen die Region, wo Wassererosion und Abspülung herrschen.

Alle auffallenden Gefällsbrüche sind daher ein Beweis, dass hier zwei Regionen aneinander grenzten, wo die Naturkräfte in durchaus verschiedener Weise an der Abtragung der Erdoberfläche arbeiteten.

Verwandeln sich die Kargletscher bei weiterer Verschärfung des Klimas in Thal-gletscher, so trägt die Glacialerosion den unteren Steilrand ab, und das Thal endet in einem Cirkus. Senkt sich die Schneegrenze noch tiefer, so dass das ganze Gebirge vom In-

¹⁾ Hier wendet sich de Martonne gegen die Aufstellung Richter's, dass der Cirkus sich bloß erweitere, und dass der Gletscher nicht die erste Ursache der Karbildung sei. Contributions . . ., p. 305, 306. Recherches . . ., p. 35, 36. Dies scheint aber auf einem Missverständnis zu beruhen, da de Martonne's Definitionen in allen Hauptpunkten mit der Richter's übereinstimmt. S. Geomorphol. Untersuchungen in den Hochalpen. Peterm. Ergänzungsheft 132.

landeis bedeckt wird, dann verschwinden auch die hinteren Steilwände, welche nun nicht mehr dem Einflusse der Verwitterung, sondern nur der Glacialerosion ausgesetzt sind. Nicht minder verschwinden die charakteristischen Züge des Cirkus, wenn er eisfrei geworden ist und Abspülung und Erosion ihn wieder zu einem Erosionstrichter umzugestalten suchen.

de Martonne schließt diese Erwägungen, indem er daraus zwei Folgerungen zieht, deren erste für die Geologie, deren zweite für die Morphologie von Bedeutung ist:

A) Der Cirkus ist ein mindestens ebenso sicherer Beweis der Vergletscherung wie Moränen, Schrammen und Rundhöcker. Er erhält sich nicht nur länger als alle anderen Eiszeit Spuren, sondern gibt auch Aufschluss über die Art der Vergletscherung. Er ist ein Zeichen für die Existenz von Kar- oder Hängegletschern, deren Ausdehnung er mit ziemlicher Sicherheit festzustellen gestattet.

B) Die Formen des Hochgebirges verdanken ihre Entstehung oft der Gletscherwirkung. Das ist eine charakteristische Tatsache für Gebirge, welche wie die Karpaten nur hie und da in jene Höhenzone hineinragen, wo man gegenwärtig alpine Formen erwarten dürfte. Sie sind an die Existenz der alten Gletscher gebunden, welche die verschiedenartige Beeinflussung des Bodens durch die äußeren Agentien bewirkten. Dort, wo die Region der Eiswirkung mit jener der Luft- und Wasserwirkung zusammenstieß, findet sich immer ein auffallender Gefällsbruch.

Nach diesen die Kare betreffenden Erwägungen scheint die Annahme gerechtfertigt, dass jene Theile der Karpaten, welche Hochgebirgsformen aufweisen, eine Vergletscherung trugen, für welche jede einigermaßen deutliche örographische Individualität ein locales Centrum bildete.

Im Pareng sind die zahlreichsten und schönsten Cirken nach N. geöffnet. Zwei, Muntinu und Urda, haben Ostexposition. Mehrere, wie Zănoaga, Scliveiului, Găuri, Gălcescu, Jeseru, Urda, Dengheru sind von kleinen Seitencirken begleitet. Einige Kare öffnen sich nach S.; doch sind sie mit Ausnahme von Găura Mohorului bedeutend kleiner, und manche nähern sich in ihrer Form bereits dem Erosionstrichter. Es scheint gewiss, dass der Nordabhang des Pareng, der mit einem größeren Areal seiner Oberfläche in Höhen über 2000 m hinaufreicht als der Südabhang, intensiver vergletschert war als dieser, wo sich Gletscher nur in geschützten Lagen entwickeln konnten.

Nordwestlich vom Parengebiege liegt das Massiv des Retiezat zwischen dem Becken von Petroseny und der Ebene von Hatzeg. Seine Gipfel sind niedriger als die des Pareng, aber an mittlerer Höhe dürfte es diesen übertreffen. Gegen Süden durch das Vulcangebirge gedeckt, waren seine Gletscher auf der Südseite wahrscheinlich ebenso bedeutend wie auf der Nordseite. Am Südabhange findet man hier sogar die großartigsten und am meisten zusammengesetzten Cirken, die größten und tiefsten Seen. Wie der Pareng besteht es aus krystallinischen Gesteinen von noch einförmigerer geologischer Zusammensetzung. Seinen alpinen Charakter dankt es allein der Eiswirkung.

Nördlich von beiden Gebirgen dehnt sich eine ebenfalls krystallinische Region aus, welche manchmal unter dem Namen Mühlbachergebirge zusammengefasst wird. In den Gruppen des Surian (2061 *m*), des Cindrelu (2245 *m*) und des Steffleste (2251 *m*) gibt es Cirken mit Seen. Einer derselben wurde von Lehmann beschrieben, welcher hier sogar eine typische Stirnmoräne entdeckt zu haben glaubte.

Besonders zahlreich scheinen die Eiszeit Spuren im Westen des Retiezat zu sein. Hier erinnern der Sarco (2190 *m*), Munte micu (1806 *m*), Boeresco (2160 *m*), Scărisoara (2223-*m*) und Paltinu (2145 *m*) ganz auffallend an die charakteristische Topographie des Parenggebirges. Alle Hochgipfel bestehen auch hier aus krystallinischen Schiefen. Die Cirken sind im allgemeinen auf dem Nordabhange mehr entwickelt. Mehrere derselben wurden von Schafarzik beschrieben, der im Cirkus von Murariu eine typische Stirnmoräne in 1700 *m* Höhe gefunden zu haben glaubt.

In den Fogarascher Alpen wurden zum erstenmale Eiszeit Spuren von Lehmann entdeckt. Dieses Gebirge besteht aus zwei getrennten Ketten, welche sich im Osten in der Gruppe des Jezeru vereinigen. Mit Ausnahme dieser letzteren, welche an den Pareng erinnert, da sich auch hier die Cirken und Seen besonders schön auf der Nordseite entwickelt zeigen, sind nur in der nördlichen Kette Eiszeit Spuren zu finden. Sie sind einerseits zwischen Surul und Negoï, andererseits in der Gegend des Ourla und Berivoesco localisiert. Lehmann hat mehrere Cirken auf der Nordseite beschrieben, doch sind sie auf dem Südabhange mindestens ebenso schön. Drei Stufenkare mit Rundhöckern, aber ohne Seen nehmen die Gehänge des Negoï ein. Die von dort herkommenden Wasserläufe fließen dem Topologu zu. Die Quellbäche des Argesch,

Apa Capra und Apa Buda werden von Bächen gebildet, welche aus den zusammengesetzten Cirken von Lespezile, Paltinu, Capra, bzw. von Muşăteca, Rîoşu und Buda kommen. Die Cirken sind gleich vollkommen ausgebildet im krystallinischen Kalk wie im Schiefer und granitischen Gneis. Einige haben Südexposition, die Mehrzahl öffnet sich theils gegen Westen, besonders aber gegen Osten. In einigen Cirken finden sich Seen von ähnlicher Ausdehnung wie jene des Pareng. Rundhöcker fehlen nirgends. Die schönsten sind im Cirkus Capra, welcher drei stufenförmig angeordnete Seen enthält, nach Osten orientiert. Hier fand de Martonne auch die schönsten Gletscherschrammen, die er bisher in den Karpaten gesehen. Auf den Ostgehängen der Cirken Paltinu und Capra fehlen wegen der Erosion der Wildbäche die Eiszeitspuren; doch finden sie sich wieder im Thale von Capra. So sind bei der Stina de Capra in 1550 *m* sehr schöne Rundhöcker zu beobachten. Eben hier gibt es auch eine allerdings nicht unzweifelhafte moränenartige Ablagerung; und am Ausgange eines Nebencirkus des Thales von Buda glaubt Mrazec Moränen beobachtet zu haben.

Das einzige Massiv im Osten der Fogarascher Alpen, aus welchem bisher Eiszeitspuren gemeldet wurden, ist das des Bucegiu. Es hat die Form eines großen Hufeisens und besteht zumeist aus jurassischen Kalken und Kreideconglomeraten. Das Vorhandensein von Cirken, deren einige auf der österreichischen Spezialkarte sehr unzureichend dargestellt sind, veranlasste Popovici-Hatzeg, im Gegensatze zu Lehmann die Vergletscherung des Bucegiu zu behaupten. Die Cirken auf dem Südabhange sind deutlicher als auf der Nordseite; am schönsten sind sie im höchsten Theile des Bucegiu entwickelt (Omu 2508 *m*). — Es gibt noch eine Anzahl von Berggruppen in den Südkarpaten, welche wahrscheinlich eine Localvergletscherung trugen. Solche sind der Csukas (1958 *m*) in der Wallachei, der Cihlău (1908 *m*) in der Moldau, welche in mancher Beziehung dem Bucegiu gleichen. Auch ist zu erwarten, dass am Caliman (2031 *m*) eines Tages Eiszeitspuren entdeckt werden.

In allen Gëbirgen Mitteleuropas, deren Vergletscherung sichergestellt ist, konnte man zwei oder mehrere Glacialperioden voneinander unterscheiden. Die Anzahl derselben scheint sich übrigens mit der Intensität der Vergletscherung zu vermindern. Es würde also nicht sehr verwunderlich sein, wenn die Südkarpaten nur während der Zeit, da die Schneegrenze ihre tiefste

Lage erreichte, mit Gletschern bedeckt gewesen wären. Dennoch erlaubt eine Reihe von Thatsachen, auch hier eine wiederholte Vergletscherung anzunehmen. So lassen die beiden Moränenvorkommnisse im Parenggebirge auf eine verschiedene Entwicklung des Gletscherphänomens in zwei voneinander getrennten Perioden schließen. Die erste war die bedeutendere; sie erzeugte Thalglletscher, welche allerdings nur schwer auffindbare Spuren hinterlassen haben. Sie muß deshalb ziemlich weit zurückreichen in eine Zeit, da die in sehr junger geologischer Zeit gehobenen Südkarpaten noch höher gewesen sein müssen als heute. de Martonne setzt sie an das Ende des Pliocän, so dass sie der ersten oder zweiten Eiszeit von Geikie entsprechen würde. — Die zweite Glacialperiode, durch eine interglaciale Erosionsperiode von der ersten getrennt, war viel weniger intensiv und blieb auf die Kare beschränkt. Ob die kleinen Seitencirken einer besonderen dritten Eisperiode oder nur einer Epoche des Stillstandes während des Rückzuges der Gletscher ihre Entstehung verdanken, lässt de Martonne noch unentschieden.

Den verschiedenen Eiszeiten entsprechen natürlich verschiedene Höhenlagen der Schneegrenze, welche während der ersten Periode tiefer liegen mußte als in der zweiten. de Martonne unterscheidet eine obere und untere Schneegrenze. Erstere ist die klimatische, unter welcher sich der Schnee von einem Jahre zum anderen nicht erhalten kann; letztere die orographische, d. i. die Minimalhöhe, bis wohin ausdauernde Schneeflecken noch herabreichen; ihr Mittelwert ist von dem Mittel der unteren Gletschergrenze nicht sehr verschieden. Dagegen liegt die klimatische Schneegrenze bei Localvergletscherung etwas über der mittleren Grenze der Firnfelder und Eisströme. Für die Feststellung der Schneegrenze während der ersten Eiszeit sind die Moräne im Lotruthale und die in den tiefsten Lagen gefundenen Rundhöcker in den Fogarascher Alpen maßgebend. Demnach verlief die klimatische Firnlinie in 1850—1900 *m*, die orographische in circa 1650 *m*. Für die Berechnung der Grenzwerte während der zweiten Eiszeit dienen die Cirken als Ausgangspunkt. Wenn die früher dargelegte Theorie über ihre Entstehung richtig ist, so kann man das Ende der untersten Stufe als die Stelle betrachten, wo der Gletscher während längerer Zeit stationär geblieben ist. Danach betrug die Höhe der orographischen Schneegrenze in den Südkarpaten 1900—1950 *m*, die der

klimatischen 2150 *m*, was dem Mittel der Maximalhöhen der Karböden entspricht.

Da die Südkarpaten gegenwärtig keine Gletscher tragen, gehören sie zu den Gebirgen, welche sich nicht über die klimatische Schneegrenze erheben. Dagegen scheinen ihre höchsten Gipfel über die orographische Firnlinie hinauszuragen. Nach zahlreichen Beobachtungen der perennierenden Schneeflecken kann die Höhe der orographischen Firnlinie zu 2400 *m* angenommen werden, während die klimatische Schneegrenze gegenwärtig wahrscheinlich in 2800 *m* liegen dürfte.

Graz, Geographisches Institut
