

Die Sommer- und Herbstregen im Alpengebiete in Abhängigkeit von Wetterlage und Gebirgsrelief.

Von

Karl Lies.

Mit 6 Karten und 17 Textfiguren.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	2
Kap. I. Die Probleme der alpinen Regenforschung in der bisherigen Literatur.	4
Kap. II. Die Sommer- und Herbstregen nach den Mitteln der Periode 1876—1900	14
§ 1. Die Asymmetrie der alpinen Regenscheide	14
§ 2. Die Gebiete intensiven Sommerregens	16
§ 3. Die Gebiete geringen Sommerregens	20
§ 4. Das Herbstregengebiet	23
§ 5. Die Frühjahrsregen	25
§ 6. Die geographische Verteilung der Monatsmaxima	26
Kap. III und IV. Wetterlage und Regenverteilung bei 6 ausgewählten Einzelperioden	28
Kap. III. Wetterlage und Regenverteilung bei 3 ausgewählten Sommerperioden	31
§ 7. Die Regenperiode 18.—25. Juli 1913	31
§ 8. 8.—16. Juni 1910	37
§ 9. 8.—16. Aug. 1910	42
Zusammenfassung	46
Kap. IV. Wetterlage und Regenverteilung bei 3 ausgewählten Herbstperioden	50
§ 10. Die Regenperiode 21.—23. Oktober 1912	50
§ 11. 19.—25. September 1911	55
§ 12. „ 14.—20. November 1909	59
Zusammenfassung	64

Kap. V. Die mittlere Regenverteilung bei Sommer- und Herbstperioden	67
I. Die Sommerperioden	68
§ 13. Der Anteil leeseitiger Regen (Zyklonalregen).	68
§ 14. Die östlichen Gewitterregen	70
§ 15. Die südlichen Gewitterregen	72
§ 16. Die Trockengebiete	73
II. Die Herbstperioden	74
§ 17. Das Regenzentrum	75
§ 18. Die Regenstraßen	76
Schlußbemerkung	77
Literaturverzeichnis	79

Einleitung.

Niemals grenzen sich zwei Gebiete verschiedener klimatischer Eigenart starr und linienhaft gegeneinander ab; immer verbleibt noch, in der Wirkungssphäre beider Klimaregimes gelegen, eine mehr oder minder ausgedehnte Grenzzone, ein Überschneidungsgebiet, in welchem sich zwei typisch verschiedene Klimate um die Vorherrschaft streiten.

Der Wall der Alpen stellt bekanntlich eine Klimascheide dar zwischen dem Äquinoktialregengebiet des nördlichen Mittelmeeres und dem Sommerregenregime Mitteleuropas. Beide Gebiete sind, wie durch die Bezeichnungen bereits angedeutet ist, untereinander besonders durch die Verschiedenheit der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge gekennzeichnet: Im nördlichen Mittelmeergebiet fällt das primäre Maximum des Regenfalles in den Oktober, im Sommerregengebiet Mitteleuropas in einen der drei Sommermonate, meist in den Juli.

Es handelt sich in vorliegender Arbeit darum, die Verteilung der Sommer- und Herbstregen im Alpengebiete in ihrer Abhängigkeit von Weiterlage und Alpenrelief zu untersuchen. Und zwar kann mir dabei vorerst hauptsächlich an der Auffindung der Gesetze der geographischen Verteilung der Niederschläge, nicht so sehr an streng meteorologischen Begründungen einzelner Erscheinungen gelegen sein, da es sich um einen Überblick des großen und mannigfaltigen Gebietes der gesamten Alpen (mit Ausnahme der französischen) handelt.

Auf zwei verschiedenen Wegen kann man eine Lösung des Problems anstreben. Die traditionelle Methode besteht darin, durch Bildung langjähriger Mittelwerte die „normale“ Regenverteilung in

den einzelnen Jahreszeiten und Monaten festzustellen. Indem man dann die so errechneten normalen Verhältnisse kartographisch darstellt, wird man die mittlere Verbreitung der Sommer- und Herbstregen in Abhängigkeit vom Alpenrelief studieren können. Neuerdings hat man indessen mit Recht darauf hingewiesen, daß es nicht genüge, die Mittelwerte heranzuziehen, sondern daß man vor allem auch den „typischen Einzelfällen“ eine besondere Beachtung zu schenken habe, um sich „ein richtiges Bild von den klimatologischen Verhältnissen eines Landes“ zu machen¹⁾. Während die „mittleren Verhältnisse“ im Grenzgebiete zweier Regenregimes gewissermaßen das errechenbare Ergebnis des in Wirklichkeit nie endenden Kampfes der verschiedenartigen Regentypen darstellt, mithin einen nie erreichbaren stationären Zustand, gibt uns das Studium der einzelnen charakteristischen Regenperioden einen Einblick in das lebendige Naturgeschehen. „Die üblichen Darstellungen der Niederschlagsverhältnisse orientieren zwar über Niederschlagshöhe, Einfluß der orographischen Verhältnisse, geographische Verteilung der Niederschläge; sie gehen jedoch nicht so weit, uns darüber Aufschluß zu geben, wie in jedem einzelnen Falle, d. h. bei dieser oder jener Wetterlage, die Verteilung dieses meteorologischen Elementes sich gestaltete. Die typischen Einzelfälle, aus denen das Niederschlagsbild einer solchen Karte im letzten Grunde sich also zusammensetzt, kommen darin eben nicht zur Geltung²⁾.“

Demgemäß zerfällt die vorliegende Arbeit in zwei größere Teile: Im ersten werden wir uns auf Grund einer kartographischen Darstellung der mittleren jahreszeitlichen Verteilung über die „normale“ Verbreitung der Sommer- und Herbstregen im Alpengebiete orientieren, während ich im zweiten Teile 6 ausgewählte Einzelperioden (3 Sommer- und 3 Herbstperioden) nach ihrer Abhängigkeit von Wetterlage und Alpenrelief beschreiben werde. Die allen³⁾ Einzelperioden gemeinsamen Eigenarten werde ich dann als die „typischen“ Eigenschaften einer Sommer- bzw. Herbstperiode zusammenstellen.

Ich habe alsdann im letzten Kapitel noch versucht, durch Mittelbildung aus den entsprechenden Einzelfällen einen idealen

¹⁾ KUNZ, „Über die typische Niederschlagsverteilung in der Schweiz, insbesondere bei Föhn“ (Annalen der schweiz. meteorol. Zentralanstalt 1912).

²⁾ KUNZ a. a. O.

³⁾ Es sind deren im ganzen 10 (5 Sommer- und 5 Herbstperioden) untersucht worden und in den Zusammenfassungen berücksichtigt.

Sommer- bzw. Herbstregentypus zu konstruieren, dessen Beschreibung uns die indirekt gewonnenen Resultate des vorausgegangenen Kapitels bestätigen muß.

Alles in allem soll und kann die vorliegende Arbeit nicht etwas Letztes und absolut Fertiges bringen, sondern sie will vielmehr eine neue Anregung sein für eine weitere und endgültige Erforschung der alpinen Grenzzone zwischen Sommer- und Herbstregenregime, eine Forschung mit dem Prinzip, die Frage nach dem Kausalzusammenhang der Phänomene über die Frage nach ihrem zeitlichen Auftreten zu stellen. Die Behandlung jener meteorologischen Probleme, auf welche die vorliegende Untersuchung des öfteren hinführt, soll einer späteren Arbeit überlassen bleiben.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. NORBERT KREBS, der mir stets bereitwillig mit wertvollem Rat zur Seite gestanden hat, sage ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank.

Von den 17 dieser Arbeit zugrundeliegenden und im geographischen Institut der Universität zu Freiburg i. B. aufbewahrten Kartenwerken konnten nur 6 an dieser Stelle veröffentlicht werden; und zwar mußte, entsprechend dem beträchtlich verkleinerten Maßstabe, weitgehend generalisiert werden, so daß manche interessante Details fortfallen. In Freiburg erliegt auch das vollständige Tabellenmaterial, das für die 25jährige Periode 1876–1900 die Werte für 258, im ganzen für 378 Stationen, für die 10 Einzelperioden jene von 929 Stationen verwertet.

Kapitel I.

Die Probleme der alpinen Regenforschung in der bisherigen Literatur.

Wer immer sich mit den meteorologischen Verhältnissen eines Gebietes der Alpen oder gar der gesamten Alpen befaßt, muß sich mit der in Abhängigkeit von der orographischen und hydrographischen Position statthabenden Verschiebung der jährlichen Periode des Niederschlages beschäftigen. Denn kein hydrographisches Teilgebiet der Alpen ist in sich so einheitlich, als daß sich nicht auch auf die Ausbildung der jahreszeitlichen Periode die verschiedensten Einflüsse geltend machten.

Und so darf ich denn in diesem Kapitel neben den berühmten Arbeiten, welche die meteorologischen Verhältnisse der ganzen alpinen Zone des österreichischen oder schweizerischen Teiles behandeln, auch einige jener zum Teil recht wertvollen Arbeiten nennen, die sich nur auf einzelne Teilgebiete der alpinen Zone beziehen und dieselben auf alle klimatischen Momente hin eingehend studieren.

In einer Abhandlung: „Sur les climats européens par rapport aux pluies“¹⁾ hat GASPARIIN den Versuch gemacht, Europa in Hinsicht auf die jährliche Periode der Niederschläge in zwei hyetographische Provinzen zu teilen, nämlich

1. in das Gebiet des Sommerregens und
2. in das Gebiet der Frühjahrs- und Herbstregens.

Unter ersterem sollte dasjenige Gebiet verstanden sein, wo der prozentische Anteil der Sommerniederschläge größer ist als der jeder anderen Jahreszeit; unter letzterem dasjenige Gebiet, wo auf den Frühling und Herbst ein größerer Prozentsatz entfällt, als auf Sommer und Winter.

Von nun an war man bestrebt, zwischen beiden Gebieten eine Grenze festzulegen. Nachdem sich DOVE und KÄMTZ mit diesem Problem beschäftigt hatten, hat wohl zuerst HEINRICH BERGHAUS im 1. Teile seiner physikalischen Atlanten (Karte Nr. 10) diese Grenzlinie kartographisch festzulegen versucht. Sie trennte, wie bereits GASPARIIN vorausgesagt hatte, das Sommerregengebiet des mittleren und östlichen von dem Frühlings- und Herbstregengebiet des westlichen und südlichen Europa.

Zu einem Teile verläuft diese Grenzlinie durch das Alpengebiet. Schon 1850 hatte sich H. SCHLAGINTWEIT²⁾ mit der Niederschlagsverteilung im Alpengebiete beschäftigt und war zu dem Resultate gekommen, daß „in den Nordabfällen der Alpen die Sommerregen, in den südlichen und besonders den westlichen die Herbstregens“ vorherrschen. „In den westlichen Teilen ist noch ein Vorherrschen der Herbstregens bemerkbar, indem diese Partie der Alpen zu der allgemeinen Gruppe jener Herbstregens gehört, welche sich besonders im westlichen Frankreich und England vertreten finden. Auch die Südabfälle der Alpen haben wenig Sommerregen.“ Indem SCHLAGINTWEIT die ihm vorliegenden Stationen in drei

¹⁾ Biblioth. universelle Bd. 38.

²⁾ H. und A. SCHLAGINTWEIT, „Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen“. Leipzig 1850.

Gruppen teilt und in ihnen die mittlere prozentische Verteilung berechnet, findet er typische Unterschiede in der jährlichen Periode der „Nordseite der Alpen“, des „Südabhanges der Alpen“ und des „Westabhanges der Alpen“, die er in dem hier wiedergegebenen Graphikon veranschaulicht.

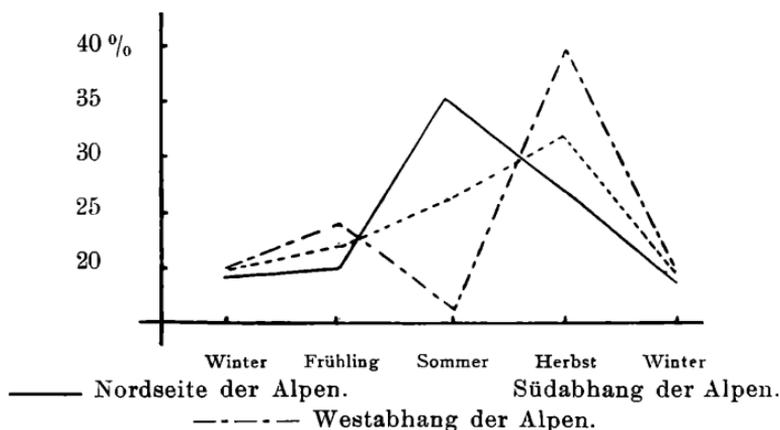


Fig. 1. Verteilung des Regens in den Alpen nach H. SCHLAGINTWEIT.

1860 versuchte CARL VON SONKLAR die „Grundzüge einer Hyetographie des österreichischen Kaiserstaates“¹⁾ herauszuarbeiten. Er berichtete zunächst die von BERGHAUS gezeichnete Grenzlinie. Nach SONKLAR's Untersuchungen wird „die Grenze der hyetographischen Sommer- und Herbstprovinz bei Turin in die lombardische Tiefebene einfallen, beiläufig Novara und Monza berühren, südlich von Bergamo und Brescia vorüberziehen, sich von hier auf den Kamm der Adamello-Gruppe erheben, die Etsch zwischen Trient und Bozen übersetzen, sofort den Kamm der Kadorischen und Karnischen Alpen bis in die Gegend von Mauthen im Gailtal verfolgen, daselbst zum Weißensee vorspringen, und sich östlich dem Höhenzuge der Karawanken anschließen, sie wird des weiteren ungefähr dem Kamme der Steiner-Alpen folgen, Cilli nördlich lassen, die Berge bei Krapina erreichen, Fünfkirchen berühren, südlich von Temesvar vorüberziehen und in die Wallachei einfallen“.

Darnach ging SONKLAR näher auf die Verhältnisse innerhalb der beiden „hyetographischen Provinzen“ ein und fand: „in der hyetographischen Herbstprovinz scheint im allgemeinen mit der relativen Menge des Herbstregens zugleich auch die des Frühlingregens zu wachsen. Je größer daher der Herbstregen wird, desto

¹⁾ Mitteilungen der k. k. geogr. Gesellschaft IV, Wien 1860.

kleiner werden in der Regel die auf den Sommer und Winter fallenden Prozente“, und „in der Sommerprovinz nimmt die relative Menge des Sommerregens mit der Entfernung von der Küste des adriatischen Meeres, d. h. mit wachsender geographischer Breite zu“. „Dieselbe Bewandtnis hat es mit dem Sommerregen auch in der hyetographischen Herbstprovinz“.

Vorerst mußte natürlich alles daran gelegen sein, die allgemeinen Regeln der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung in beiden Provinzen und womöglich in Übergangsgebieten zu erforschen, ehe man daran denken konnte, ein dem so mannigfaltigen Alpenrelief einigermaßen gerecht werdendes Bild der Niederschlagsverteilung zu entwerfen, da man ja vorerst nur über eine vollkommen unzureichende Anzahl von Stationen verfügte. Obwohl man in der Folgezeit diesem Mangel nach und nach abhelfen konnte, ist trotzdem eines jener allgemeinsten Prinzipien bis heute ungeklärt geblieben, wenn man sich schon der Entscheidung dieser Frage seitens einer Autorität wie HANN in Einmütigkeit angeschlossen zu haben scheint. Das Problem war und ist: Wie verhält es sich mit der Abhängigkeit der jahreszeitlichen Niederschlagsperiode von der Seehöhe?

Natürlich hatte man vorher nach einer Abhängigkeit der Niederschlagsmenge von der Seehöhe überhaupt gefragt und war leicht zu einem positiven Resultat gekommen. Schon H. SCHLAGINTWEIT glaubte eine Höhenzone maximalen Niederschlages entdeckt zu haben und zog mancherlei später als unhaltbar nachgewiesene Gründe zur Erklärung herbei; unter anderem den Einfluß der „ausgedehnten subalpinen Wälder“ usw.

Das Problem ist heute so gut wie gelöst. Wir werden bald noch davon zu sprechen haben. Verschiebt sich aber mit zunehmender Seehöhe auch die jahreszeitliche Periode oder existiert vielmehr für größere klimatische Teilprovinzen für jede Seehöhe eine bestimmte Konstante, die man für die jahreszeitlichen Niederschlagswerte einer in der Umgebung gelegenen Talstation als Multiplikator benutzen darf, um den jährlichen Gang des Niederschlages für die betreffende Seehöhe zu erhalten?

KÄMTZ hatte schon 1831 in seinem Lehrbuche der Meteorologie Seite 447 die Existenz einer solchen Konstanten für wahrscheinlich gehalten, gegen welche Meinung sich SONKLAR in aller Entschiedenheit wendet, indem er darlegt: „Schon eine oberflächliche Durchsicht der den vier Jahreszeiten entsprechenden Prozente des Jahres-

niederschlag es wird uns zeigen können, daß die von KÄMTZ ange-deutete Regelmäßigkeit in dem Verhältnisse der Regenmengen für die Jahreszeiten an benachbarten Orten nichts weniger wie allge-mein ist. Selbst zwischen den nahe nebeneinander liegenden Be-obachtungsstationen findet eine solche Regelmäßigkeit ebensoftt statt, als sie nicht stattfindet, z. B .“

Wir werden nachher sehen, daß HANN seine berühmten „Unter-suchungen der Regenverhältnisse von Österreich-Ungarn“ geradezu in der Hauptsache der Entscheidung dieses interessanten Problems widmet und zu dem Ergebnis kommt, es bestehe tatsächlich für weite Gebiete trotz erheblich differierender absoluter Mengen der-selbe jährliche Gang der Niederschlagsverteilung. Dieses Ergebnis haben in der Folgezeit die Bearbeiter einzelner Teilgebiete für ihr jeweiliges Gebiet bestätigen zu müssen geglaubt, und dieses Er-gebnis ist nach den hier vorliegenden Untersuchungen dennoch unrichtig. SONKLAR behält recht, obwohl er die Kühnheit hatte, eine so allgemeine These mit offensichtlich unzureichendem Material stützen zu wollen.

Halten wir uns indessen jetzt an den Gang der Entwicklung, so haben wir zunächst auf eine Arbeit hinzuweisen, die J. FRETZ in der „Zeitschrift für Schweizerische Statistik“ Jahrgang 4, 1868 veröffentlichte. Seit Dezember 1863 lagen von etwa 50 schweize-rischen Stationen vollständige Regenmessungen vor, so daß J. FRETZ die Resultate vierjähriger Beobachtungen (1864–1867) zur Ver-fügung standen. Er berechnete daher die Jahreszeitenmittel und Jahresmittel der vier Jahrgänge sowie daraus das vierjährige Mittel, um die allgemeinen Gesetze der Regenverteilung in der Schweiz zu erkennen. Die Arbeit ist insofern bemerkenswert, als es für die Er-forschung der Gesetze der Regenverteilung der erste Schritt gewesen ist.

Hervorzuheben ist vor allem, daß der Verfasser sich gleich eingangs darüber Klarheit verschafft, daß auf Grund seiner vier-jährigen Mittel „eine Beantwortung der sehr interessanten Frage

„ wie sich die jährliche Niederschlagsmenge prozentisch aus den Niederschlägen der Jahreszeiten zusammensetzt“, nicht ver-sucht werden könne, indem er einige der ihm vorliegenden lang-jährigen Mittel (Zürich 24 Jahre, Genf 36 Jahre, Mailand 68 Jahre und Ivrea 30 Jahre) mit den vierjährigen Mitteln der Periode 1864 bis 1867 vergleicht; er sieht in den beträchtlichen Differenzen der zu vergleichenden Werte „eine entschiedene Warnung vor weiteren Hypothesen“.

Bald hernach, nämlich im Jahre 1870 der „Schweizerischen meteorologischen Beobachtungen“ hat A. BENTELI eine Arbeit publiziert, in welcher er die Regenmengen der Jahre 1864—69 zur Bildung von Monats- und Jahresmitteln benutzt und die jährlichen Niederschlagsmengen kartographisch darzustellen versucht. Auf die Berechnung der mittleren Niederschlagsverhältnisse der sieben Hauptflußgebiete stützte er seine Ergebnisse, nämlich daß in bezug auf den jährlichen Gang in den nordalpinen Flußgebieten völlig andere Verhältnisse bestehen als im Tessingebiete, und die inneralpinen Gebiete zwischen beiden eine Art Zwischenstellung einnehmen, indem der Norden das Maximum im Sommer, der Süden im Herbste habe, während in den inneralpinen Flußgebieten der Rhone und des Inn sich die Niederschläge auf Sommer und Herbst annähernd gleichmäßig verteilen. Im übrigen macht er natürlich, wo es ihm zugänglich schien, auch feinere Abstufungen zwischen den einzelnen Flußgebieten, zieht Vergleiche zwischen den Verhältnissen der Nordschweiz und Nordwestdeutschland usw. Zwei Jahre vorher hatte FRETZ vor einem zu eiligen Versuch der Lösung der Frage nach der jahreszeitlichen Verteilung gewarnt: „Es erscheint vielmehr geboten, diese Lösung aufzuschieben, bis das Beobachtungsmaterial in die 10 und mehr Jahrgänge angewachsen sein wird.“ Da BENTELI diese Warnung nicht beachtet, sondern vielmehr auf Grund seiner sechsjährigen Mittel endgültige Schlüsse zu ziehen unternommen hatte, so mußten seine Ergebnisse in einer späteren, 1882 erschienenen Arbeit, von der gleich zu sprechen sein wird, wesentliche Berichtigungen und zum Teile Widerlegungen erfahren.

Im 14. Bande der Zeitschrift der österreichischen Gesellschaft für Meteorologie (Wien 1879) erschien eine Abhandlung von VIKTOR RAULIN „Über die Verteilung des Regens im Alpengebiete von Wien bis Marseille“, welche für die damals vorliegenden alpinen und alpennahen Stationen, 249 an der Zahl, die Monats-, Jahres- und Jahreszeitenmittel enthält, allerdings auf Grund ungleich langer Beobachtungsreihen. RAULIN war nämlich der Meinung, daß zur Ermittlung der jahreszeitlichen Verteilung, abgesehen von den Stationen „welche nahe der Grenzlinie zweier Gebiete liegen, und für welche kurze Reihen abwechselnd die eine oder die andere Verteilung geben können“, die Beobachtungen einiger weniger Jahre vollkommen ausreichten.

RAULIN findet: „In der Alpenkette selbst und an deren Fuß

findet man wieder und allein die vier Regengebiete, die in den französischen Alpen und auf dem anliegenden Zentralplateau angetroffen werden, und zwar:

1. Gebiet: Sommer regenreich, Winter arm an Niederschlägen.
2. Gebiet: Niederschläge zunehmend vom Winter zum Herbst.
3. Gebiet: Winter und Sommer trocken, Herbst regenreich.
4. Gebiet: Trockener Sommer, regenreicher Herbst.

Jede dieser Zonen hat „ihr spezielles Regenregime“, und so ist RAULIN viel daran gelegen, dieselben linienhaft möglichst genau gegeneinander abzugrenzen, und mit dem Versuch dieser gegenseitigen Abgrenzungen erschöpft sich im wesentlichen, was er aus seinem reichhaltigen Zahlenmaterial herauszuziehen vermag. Wir wollen RAULIN deshalb nicht tadeln; denn diese „Regimeabgrenzungen“ lagen eben, wie wir sehen, in der Tendenz jener Epoche der alpinen Regenforschung, wo man zum ersten Male die Beobachtungsergebnisse des alpinen Stationsnetzes für wissenschaftliche Zwecke benutzen konnte. Aber ebensowenig sind wir gesonnen, auf Grund unseres neuen und reichhaltigeren Materials auf diese Vierteilung irgendwie näher einzugehen. Das bleibende Verdienst der RAULIN'schen Arbeit ist allein die erstmalige Zusammenstellung einer großen Zahl von Beobachtungsreihen alpiner Stationen mit Angabe der zugrunde liegenden Beobachtungsdauer.

Noch im selben Jahre 1879 erschienen in den Berichten der k. k. Akademie zu Wien, math.-nat. Klasse LXXX. HANN's berühmte „Untersuchungen über die Regenverhältnisse von Österreich-Ungarn“. — Es ist nicht meine Absicht, die Resultate dieser großen Arbeit hier im einzelnen darzulegen, zumal ich mir in vorliegender Arbeit keine Charakteristik der einzelnen Teilgebiete nach primären und sekundären Monatsextremen vorgenommen habe. HANN betont zwar gleich eingangs, in einem so komplizierten Regengebiet verweise die Teilung des Jahres in nur vier Abschnitte manchen charakteristischen Zug der jährlichen Regenverteilung in den Übergangsgebieten, so namentlich dort, wo ein oft fast gleich großes Maximum auf Mai und Juni fällt, dem relative Maxima vorausgehen und folgen. Die jährliche Periode der Niederschläge müsse „deshalb durch Monatsmittel dargestellt werden“.

Auf Grund des von mir bearbeiteten Materials wäre eine sorgfältigere Klassifizierung nach Monatsextremen ohne weiteres möglich und für andere Zwecke auch durchaus erwünscht, zumal man sich für diesen Zweck auf die z. T. ausgezeichneten unter dem

Titel „Klimatographie von Österreich“ vom meteorologischen Zentralbureau herausgegebenen Abhandlungen einzelner Teilgebiete stützen könnte. Über den Rahmen der eingangs präzisierten Problematik führt aber diese Arbeit weit hinaus. Wir haben es — und das darf als etwas Neuartiges gelten — auf eine Typisierung der Sommer- und Herbstregen abgesehen, nicht auf eine Charakteristik der mittleren Monatsverhältnisse.

Mit besserem Überblick als RAULIN versucht HANN die Durchführung der uns bekannten Dreiteilung des Alpengebietes in eine nordalpine, eine inneralpine und eine südalpine Zone. Ich halte es für angebracht, seine eigene Charakteristik dieser drei Zonen hier zu zitieren, zumal ich auf einiges davon später zurückkommen muß:

I. sowohl im Alpenvorlande zwischen der Donau und den nördlichen Kalkalpen und in diesen selbst bis zur Zentralkette (Tauernkette) trifft man eine Verminderung der Winterniederschläge und Steigerung der Sommerregen. Das Minimum fällt auf Januar und Februar, das Maximum auf Juli oder August.

Ferner treffen wir hier ein gut entwickeltes relatives Minimum im Oktober. Nordtirol und Vorarlberg schließt sich in allem an, nur ist der Juni regnerischer, die Sommerregen im ganzen aber schwächer (!) entwickelt.“

II. „Wir treffen auf der ganzen Linie von Graz bis ins Vinschgau eine ziemlich übereinstimmende Verteilung der Niederschläge, die sich aber von jener auf der Nordseite der Zentralkette ziemlich wesentlich unterscheiden. Das Minimum, und zwar ein auffallend niedriges und gleichmäßiges, tritt im Februar ein (3 ‰), das Maximum im August (12,3 ‰), in Ostkärnten schon im Juli (14 ‰). März und April sind noch im Vergleiche zum Norden sehr niederschlagsarm, hingegen werden September und Oktober viel reicher an Niederschlägen, in den verschiedenen Teilen tritt schon ein sekundäres Maximum im Oktober ein (11 ‰).“

III. „In den Gruppen . welche . die Stationen der Südalpentäler umfassen, finden wir ein Frühsommermaximum zwischen Mai und Juni und ein stärkeres und besser ausgeprägtes Oktobermaximum. Ob das entschiedene Mai-Maximum und überhaupt die größere Tendenz zu Frühlingsregen in Südtirol in längeren Beobachtungsreihen sich erhalten wird, steht noch dahin.“

Wir werden auf manches und namentlich auf die Frühlings-

regen in Südtirol im Anschluß an die GOLDBERG'sche Arbeit ¹⁾ später zurückkommen. Hier interessiert uns im besonderen noch ein Problem, auf das HANN großen Wert gelegt hat, nämlich das oben bereits erwähnte Problem der Veränderlichkeit der jährlichen Periode mit der Seehöhe.

HANN hat, wie ich schon früher sagte, diese Abhängigkeit bestritten. „Der Einfluß der Seehöhe tritt fast ganz zurück.“ Sein Beweis stützt sich in der Hauptsache auf den Vergleich einiger Stationen des Alpenvorlandes mit solchen des nördlichen Kalkalpengebietes:

Stationen:	Seehöhe	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
St. Florian, Linz, Kremsmünster, Salzburg	370	17	25	37	21
Altaussee, St. Lambrecht, Tamsweg, Bad Gastein, Haller-Salzburg	1100	18	25	37	23

Wir werden zeigen, daß nicht sowohl die Seehöhe als besonders die Exposition die jährliche Periode ändert, und daß HANN's Auswahl der Stationen eine ungünstige war. Im folgenden Kapitel werde ich die Art der Abhängigkeit näher charakterisieren und die Beweise dafür erbringen.

HANN's „Untersuchungen“ bedeuten einen vorläufigen Abschluß in der Geschichte der alpinen Regenforschung. Für die Schweiz war bis dahin eine ähnliche große Arbeit nicht geleistet worden.

1882 veröffentlichte JULIUS MÜLLER in den „Annalen der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt“ eine Abhandlung über „Die jährliche Periode des atmosphärischen Niederschlages in der Schweiz.“ Es sind darin von 46 Stationen die Monatsmittel zwar ungleich langer, aber mehr als zehnjähriger Perioden berechnet. Hinsichtlich der jahreszeitlichen Verteilung ergibt sich das folgende Resultat: „Mit Rücksicht auf die Verteilung des Regens nach den Jahreszeiten unterscheiden wir drei Gebiete: a) Eines mit vorwaltendem Sommerregen (Ost-, Zentral- und Nordschweiz), b) eines mit vorwaltendem Herbstregen (Westschweiz), c) eines mit zugleich vorherrschendem Sommer- und Herbstregen und dem Maximum im Sommer (Südschweiz).“ (Die relativ sehr große Regen-

¹⁾ MARIE GOLDBERG, „Niederschlag und Abflufs im Etschgebiet“. (Geographischer Jahresbericht aus Österreich XI. Band, Wien 1915).

menge des Sommers in der Südschweiz erklärt MÜLLER als „eine Folge des Einflusses der Alpen auf die feuchten warmen Südwinde.“)

Bemerkenswert ist es, daß MÜLLER für die Schweiz eine klar zutage liegende Abhängigkeit der jährlichen Periode des Regenfalls von der jährlichen Regenmenge konstatieren konnte. Außerdem meint er, daß jede Höhenstation, „gleichviel, ob sie sich an ein Gebirg anlehne oder ob sie sich frei aus dem flachen Lande erhebt“, die Eigentümlichkeit habe, „daß ihre Sommerregen relativ größer, ihre Winterniederschläge geringer sind als die der benachbarten, tief gelegenen Stationen“ und sucht diese These an Hand von Zahlenmaterial zu beweisen.

Neuerdings besitzen wir zwei große abschließende Werke über die Klimatographie der Alpen, in denen ein möglichst vollständiges Zahlenmaterial zusammengetragen und wissenschaftlich ausgenutzt worden ist: „Das Klima der Schweiz“ von MAURER, BILLWILLER und HESS und die „Klimatographie von Österreich“, die in einzelnen Abhandlungen über das Klima der verschiedenen Teilgebiete Österreichs erscheint, die nach einer von J. HANN (der den ersten Band, die „Klimatographie von Niederösterreich“, lieferte) empfohlenen Disposition angelegt sind und ebenfalls sehr viel Zahlenmaterial enthalten, u. a. die auf den Zeitraum 1881—1900 reduzierten Monatsmittel des Regenfalles.

Von weiteren klimatologischen Einzelarbeiten sind zu nennen: FR. KERNER VON MARILAUN „Untersuchungen über die Veränderlichkeit der jährlichen Niederschlagsperiode im Gebiete zwischen der Donau und nördlichen Adria“ (Denkschr. der kais. Akademie der Wissensch. math.-nat. Klasse Bd. LXXXIV, Wien 1909), in erster Linie auch das etwas ältere Werk FERDINAND SEIDL'S: „Das Klima von Krain“ dessen IV. Teil (Mitteilungen des Musealvereines für Krain, Laibach 1894) die Niederschlagsverhältnisse behandelt; ferner PAUL DEUTSCH: „Die Niederschlagsverhältnisse im Mur-, Drau- und Savegebiete“ (Geographischer Jahresbericht aus Österreich, IV. Jahrgang, Wien 1907); MARIE GOLDBERG: „Niederschlag und Abfluß im Etschgebiete“ (Geographischer Jahresbericht aus Österreich, XI. Band, Wien 1915) u. a.

Interessant ist es, daß HELLMANN in seinem großen Werke „Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten“ Berlin 1906 im 1. Bande S. 103 an Hand von sechs Zahlenbeispielen gerade die der von MÜLLER (s. o.) entgegengesetzte These hat beweisen können, nämlich, daß in den Alpen die Sommerniederschläge mit zu-

nehmender Höhe abnehmen, wie das auch in der „Klimatographie von Österreich“ für Teilgebiete nachgewiesen werden konnte. Wir werden uns im späteren mehrfach mit dieser Frage zu beschäftigen haben.

An meteorologischen Arbeiten, die für uns Bedeutung haben, sind vornehmlich zu nennen: HANN: „Die Verteilung des Luftdrucks über Mittel- und Südeuropa“ (Geographische Abhandlungen, hrsg. von ALBRECHT PENCK, Bd. II, Heft 2, Wien 1887), ferner HEINRICH FICKER: „Der Einfluß der Alpen auf Fallgebiete des Luftdrucks und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer“ (Met. Z. 1920, S. 350) und FELIX M. EXNER: „Das Wetter bei Keilen hohen Luftdrucks im Norden der Alpen“ (Jahrbücher der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus, Jahrgang 1903).

Da ich die in Frage kommenden Teile der meisten dieser Arbeiten in den folgenden Darlegungen an ihrer Stelle besprechen werde, namentlich wenn sich aus meinen Untersuchungen ein entgegengesetztes Resultat ergibt, so erübrigt sich eine Besprechung an dieser Stelle.

Kapitel II.

Die Sommer- und Herbstregen nach den Mitteln der Periode 1876—1900.

Beginnen wir zunächst mit den „normalen Verhältnissen“. Das Problem sei vorerst: Wie gestaltet sich die Verteilung des relativen Sommer- und Herbstniederschlages in Abhängigkeit vom Alpenrelief? Da auch der Frühjahrsregen in manchen Gebieten eine größere Rolle spielt, so werde ich zum Schluß seine Hauptverbreitungsgebiete wenigstens kurz charakterisieren müssen. Die Verteilung sowohl der absoluten als auch der relativen Sommer- und Herbstregensmengen ist kartographisch dargestellt worden. Entsprechend dem kleinen Maßstabe wesentlich generalisiert sind die beiden Karten der absoluten Mengen als Karten Nr. 1 und 2 hinten angefügt¹⁾.

§ 1. Die Asymmetrie der alpinen Regenscheide.

Beim ersten Überblicken der Karte zeigt sich, daß die Alpen die Sommerregen Mitteleuropas von den Herbstregen des nördlichen

¹⁾ Bezüglich der hier nicht publizierten Karten siehe S. 4.

Mittelmeeres scheiden, während die Gebiete mit mehr als 25 % Frühjahrsregen eine mehr untergeordnete Rolle spielen, und die Winterregen in den Alpen niemals 25 % des Jahresniederschlages erreichen.

Sehen wir uns zunächst die Linie an, die dem Prozentwerte 25 bzw. dem Koeffizientenwerte 1 entspricht. Die längs dieser Linie gelegenen Orte erhalten also soviel Sommer- bzw. Herbstregen, als wenn die Niederschläge gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt wären. Die Herbstlinie verläuft längs des Nordrandes der Grazer Bucht, dann unter kleineren Biegungen über Stub-, Pack-, Seetaler- und Metnitzeralpen, um dann nordwärts den Tauernkamm zu gewinnen, so daß der Lungau im Herbstregime bleibt; alsdann zieht sie sich in annähernd ostwestlicher Richtung am Nordhange der Zentralketten hin, dieselben am weitesten südlich lassend bei den Ötztaler Alpen, wo sie bei Landeck bis ins Oberinntal vorstößt. Von dort aus erhebt sie sich wiederum auf den Kamm, zieht über die Silvrettagruppe südwestwärts, umgeht in großem Bogen Davos, um dann kräftig im Rheintal nordwärts bis Sevelen vorzustößen. Sie läuft jedoch wieder zu den Zentralketten zurück und zieht sich an deren Nordhange hin, macht aber dann etwa längs der Quellgebiete der zum Thunersee entwässernden Flüsse einen großen Bogen ins Mittelland hinein und verläuft nun etwa in südwestnordöstlicher Richtung auf den Bodensee zu. In spitzem Winkel trifft, wie man an allen übrigen Isohyeten erkennt, in der Südwestschweiz das atlantische Herbstregengebiet mit dem mediterranen zusammen.

Im großen ganzen bieten also die Zentralketten dem Vordringen des Herbstregens ein wirksames Hindernis, so daß, mit Ausnahme ihrer nördlichen Hänge, im gesamten nördlichen Alpengebiete die mediterranen Herbstregen nicht mehr $\frac{1}{4}$ des Jahresniederschlages erreichen.

Nach einer analogen Sommerisohyete suchen wir im ganzen Alpengebiete vergebens. 25—27 $\frac{1}{2}$ % haben längs des ganzen Alpensüdrandes nur die Gebiete der Julischen- und Etschtaler Alpen. Im Tessingebiete erreichen die Sommerregen bis 35 %, in den Dolomiten gar bis über 40 %. Wenn aber eine Regenscheide den beiden durch sie voneinander getrennten Regenregimes nicht in gleicher Weise eine Schranke ist, sondern dem Vordringen des einen mehr hinderlich ist als dem des anderen, so wollen wir sie eine asymmetrische Regenscheide nennen. Gemäß dieser Definition

stellen wir also fest, daß die Alpen eine entschieden asymmetrische Regenscheide zugunsten des Sommerregens darstellen.

§ 2. Die Gebiete intensiven Sommerregens.

Im großen ganzen nehmen die Sommerregen in den Alpen von Norden nach Süden bzw. in der Schweiz von Osten nach Westen hin ab. Indessen ist uns mit dieser oft angeführten Bemerkung recht wenig gedient; denn nicht selten bewirkt das alpine Relief, daß auffallend verschiedenartige Verhältnisse an nahe beieinanderliegenden Stationen obwalten. Ich werde zunächst diejenigen Gebiete betrachten, die einen im Vergleich mit ihrer Umgebung auffallend großen Sommerregenanteil aufzuweisen haben. Dieselben zerfallen in zwei Gruppen:

1. Gebiete, in denen die relative Vermehrung auf Rechnung einer Vermehrung der absoluten Mengen zu setzen ist,
2. Gebiete mit geringem Jahresniederschlag.

Zu der ersteren Gruppe gehören die Zungenbecken der eiszeitlichen Gletscher im Alpenvorlande. Ringförmig umschließt die 40 %-Isohyete Gebiete der Zungenbecken des Salzach-, Inn- und Isargletschers. Das Zungengebiet des Rheingletschers erhält nur 37¹/₂—40 % Sommerregen, hebt sich aber offenbar auch recht deutlich gegen seine Umgebung ab.

Eine zweite Gruppe sommerregenreicher Stationen sind, wie gesagt, diejenigen mit geringem Jahresniederschlag. Schon HANN hat darauf hingewiesen, daß die zwischen hohem Gebirge eingeschlossenen Täler oder sonstige Gebiete, die aus Gründen des Reliefs einen geringen jährlichen Niederschlag empfangen, eine gegen ihre Umgebung oft beträchtlich vergrößerte Amplitude der jährlichen Periode, vermehrten Sommer-, verminderten Winterregenanteil aufweisen ¹⁾.

Im östlichsten Alpenvorlande sehen wir von Osten her einen Sack der 40 %-Linie hereinreichen und das schmale Gebiet zwischen Alpen und böhmischem Massiv als relativ sommerregenreich herausheben. Es handelt sich um die drei Stationen St. Georgen (Melk), Fahrthof und Krems. Wie man aus folgender Tabelle ersieht, bestätigt sich an ihnen sehr gut das Gesetz, daß die Amplitude mit abnehmender Jahresmenge zunimmt.

¹⁾ Im 9. Heft der Met. Zeitschr. 1925 hat FR. v. KERNER für das oberste Inntal ebenfalls festgestellt: „Die Station mit der geringsten Jahressumme zeigt die am meisten ausgeprägte jährliche Periode“.

	St. Georgen	Fahrthof	Krems
Winter	15,9 %	12,1 %	12,0 %
Frühling	23,8	27,3	25,5
Sommer	40,1	40,9	43,0
Herbst	20,2	19,7	19,5
Jahressumme	900 mm	685 mm	560 mm
Absolute Sommermengen	360	287	241
Amplitude	24,2 %	27,2 %	31,0 %

In dieselbe Kategorie gehören die Stationen der großen Längstäler von Inn, Salzach und Enns, von denen ich in folgender Tabelle einige zusammengestellt habe.

		W	F	S	H	J	A
Inn	{ Habichen	2,5	18,0	46,1	23,4	751	33,6
	{ Innsbruck	16,0	19,4	42,4	22,2	820	26,4
	{ Kirchbichl	17,6	20,0	43,2	19,3	1130	25,6
Salzach	{ Rauris	14,4	18,7	44,4	22,5	905	30,0
	{ Zell a. See	15,2	19,5	43,8	21,7	1053	28,6

Haben wir so durch einen Vergleich der Talstationen untereinander HANN's Regel bestätigt gefunden, so zeigt sie sich natürlich noch ungleich deutlicher in einem Vergleich der Talstationen mit denen des benachbarten Gebirges. Als Beispiel seien nur herausgehoben die beiden Nachbarstationen Mühlau und Admont, letzteres im Ennstale, ersteres ein wenig höher in Südexposition gelegen.

	W	F	S	H	J	So	A
Admont	16,1	22,4	41,1	20,4	1183	486	25,0
Mühlau	17,9	23,2	39,0	19,9	1576	615	21,1

Beispiele ließen sich hierfür beträchtlich vermehren. Wie sich schon mehrfach herausgestellt hat — HANN hat es für Niederösterreich im ersten Bande der „Klimatologie von Österreich“ nachgewiesen — beobachten wir in den nördlichen Alpen mit wachsender Seehöhe eine Verminderung des relativen Sommerregens, eine Zunahme des Winterregens, mithin eine Verringerung der Amplitude.

Zu derselben Gruppe niederschlagsarmer Gebiete mit relativ großem Sommerregenanteil gehören einzelne Sommerregeninseln im inneralpinen Trockengebiet südlich der Zentralketten, und zwar handelt es sich, von Osten nach Westen, um die Gebiete des oberen Mur- und Görttschitztales, des Puster- und Eisacktales, des Vinschgaues und Engadins sowie endlich des oberen Rhonetales. Im besonderen sollen uns hier die auffallenden Sommerregen im nordöstlichen Etschgebiete interessieren, zumal in einer Spezialarbeit über „Niederschlag und Abfluß im Etschgebiete“ von Dr. MARIE GOLDBERG eine Erklärung versucht worden ist mit den Worten: „Die

weiter im Inneren des Etschgebietes auftretenden größeren Sommerniederschläge beruhen zum kleineren Teile auf den durch das Roßbreitenmaximum hervorgerufenen Westwinden, vielmehr hauptsächlich darauf, daß hier in den geschlossenen Talbecken lokale Überhitzung und in ihrem Gefolge zahlreiche Gewitter auftreten.“ Dieser Erklärungsversuch ist nach meinem Dafürhalten ein Fehlgriß. Freilich spielen die sommerlichen Gewitterregen, wie wir im späteren sehen werden, eine gewisse Rolle. Aber es geht nicht an, die beträchtliche prozentuelle Zunahme der Sommerregen allein auf den Einfluß der Wärmegewitter zurückzuführen. Tatsächlich handelt es sich ja in den Talbecken um Gebiete mit wenig Jahresniederschlag, also nur prozentuell vermehrtem Sommerregenanteil. Zweitens aber ist zu beachten, daß wir es mit einem Gebiete relativ geringer Herbstregen zu tun haben. Das ganze linksseitige Etschgebiet hat weniger als 27,5 % Herbstregen, und diese Verminderung des relativen Herbstregens, die auf eine Verminderung der absoluten Mengen zurückzuführen ist, muß eine Erhöhung der relativen Sommerregen zur Folge haben.

Ich muß hier zur Erläuterung etwas vorweggreifen, indem ich anführe, daß die Herbstregen beim Vordringen gegen die Zentralketten bestimmte „Regenstraßen“ zu bevorzugen pflegen. Deren eine geht von der Adria aus über Karawanken und karnische Ketten gegen die Hohen Tauern, eine andere über die Etschtaler Alpen aufwärts gegen die Ötztaler Alpen. Zwischen beiden Regenstraßen aber bleibt das besagte Gebiet vermehrter relativer Sommerregen, deren prozentuelles Mehr kein absolutes Mehr ist, wie folgende Tabellen beweisen, die uns zwei westöstliche Querschnitte durch jenes Sommerregengebiet zeigen, so daß jeweils die mittlere Station dem Gebiete zugehört.

	Abs.	%		Abs.	%
St. Martin i. Passeier	396	37,1	St. Helena i. Ulten	321	29,7
Sand-Taufers	359	41,1	Brixen	313	43,2
Inner-Villgraten	359	36,3	Lienz	314	30,5

Eine entscheidende Rolle spielen die Sommergewitter, wie wir im späteren sehen werden, längs des Südrandes der Alpen, während sich die inneralpinen Wärmegewitter der Talbecken in den langjährigen Mitteln nicht entsprechend kenntlich machen. Verschiebungen des Regenmaximums innerhalb eines bestimmten Gebietes bei Zugrundelegung verschieden langer Beobachtungsreihen u. dgl., wird man ihnen natürlich getrost zuschreiben können; so

werden wir z. B. bei einer anders gewählten Periode nicht erwarten dürfen, daß wiederum Brixen die sommerregenreichste Station südlich der ganzen zentralen Hochgebirgsketten sein wird usw. Derartigen Verschiebungen des Maximums werden wir jedoch keinen Wert beilegen.

Wenig tritt wegen des Mangels langjähriger Reihen geeigneter Höhenstationen eine andere Zone vermehrter Sommerniederschläge auf unserer Karte hervor. Es handelt sich um eine gewisse Höhenzone namentlich längs des Alpennordrandes. In der Gegend des Vierwaldstättersees bemerken wir auf der Karte ein Gebiet mit mehr als $37\frac{1}{2}\%$ Sommerregen. Es handelt sich um folgende 4 Stationen:

	Seehöhe	Jahress.	Abs.	%	Anzahl der Niederschl.-Tage
Luzern	453	1224	478	39,1	
Schwyz	514	1801	695	38,6	
Engelberg	1018	1756	722	41,1	
Rigi	1787	1692	756	44,7	48
Säntis	2500	2573	922	35,8	54

Wir sehen, daß die prozentischen Sommerregen bis zu Righöhe allmählich wachsen. Über Righöhe hinaus aber nehmen sie infolge einer stärkeren Zunahme der Frühlings- und Winterregen wiederum ab, wiewgleich die absoluten Mengen noch zunehmen, letzteres aber nicht sowohl wegen einer Zunahme während der einzelnen Regenperioden, wie wir später auch noch sehen werden, als wegen der größeren Niederschlagshäufigkeit.

Was zunächst Vorarlberg betrifft, so stehen mir zum Vergleich folgende Stationen zur Verfügung.

	Seehöhe	Jahress.	Abs.	Sommer %
Bizau	700	1966	687	34,9
Schwarzenberg	700	2312	844	36,5
Ebnit	1100	2263	826	36,6
Langen	1219	1882	677	36,0

Natürlich lassen sich hieraus noch keine bestimmten Schlüsse ziehen; wohl aber kann uns daran der Einfluß der Exposition auf diese Höhenzone klar werden, wenn wir etwa das gegen die Sommerregenwinde etwas geschütztere Bizau mit dem gleich hohen Schwarzenberg vergleichen. Für die bayerischen Alpen stehen mir für meine Beobachtungsreihe leider nur wenige geeignete Stationen zur Verfügung. Ich habe daher in folgender Zusammenstellung für Hohenpeißenberg und Zugspitze die von J. HAEUSER

berechneten 10jährigen Mittel 1901—10 zum Vergleich mit herangezogen.

	Seehöhe	Jahress.	Sommer	
			Abs.	%
Lofer	639	1554	600	38,7
Tegernsee	742	1481	587	39,7
Mittenwald	919	1335	590	44,1
Hohenpeifsenberg	994	1001	408	40,7
Zugspitze	2964	1408	538	38,2

Betreffs der absoluten Zahlen (wenn man auch noch die allerdings kürzere Reihe des Wendelstein mit heranzieht) scheint sich zu bestätigen, was ERK über „Die vertikale Verteilung und die Maximalzone des Niederschlags am Nordabhange der bayerischen Alpen (Met. Zeitschr. 1887) gesagt hat, nämlich daß eine doppelte Maximalzone vorhanden ist, eine sekundäre in etwa 600 m Höhe (in die Lofer hineingehört), und die primäre zwischen 1000 und 1800 m Höhe. Was aber die Maximalzone des relativen Sommerregens betrifft, so scheint sie in den bayerischen Alpen in etwa 1000 m zu liegen. Wir werden bald sehen, daß diese Höhenzone nach Osten hin weiter beträchtlich sinkt, so daß wir sie am Nordrande der österreichischen Alpen in etwa 500—600 m Höhe annehmen müssen. Die oberhalb gelegenen Gebiete haben eben eine gleichmäßigere Verteilung der Niederschläge über alle Jahreszeiten. Im Osten kommt vor allem auch ein vermehrter Frühjahrsregen in Betracht infolge der Häufigkeit der im Frühjahr auf VAN BEBBER'S Vb-Straße nordwärts ziehenden Minima.

§ 3. Die Gebiete geringen Sommerregens.

Bis zu $27\frac{1}{2}\%$ Sommerregen zeigt uns unsere Karte auf dem Karst und in den Julischen Alpen, ferner im Gebiete der Etschtaler Alpen und endlich auf den schweizerischen Zentralketten. Weniger als 25% finden sich, wie bereits gesagt, im gesamten Alpengebiete überhaupt nicht. Eine bestimmte Abhängigkeit vom Relief ist im allgemeinen nicht zu erkennen. Wir finden an den Höhenstationen der Julischen Alpen die nämlichen Relativwerte wie am Golf von Triest, am Südhang der Ortleralpen dieselben wie am Gardasee.

Scharf hervor tritt der relativ starke Sommerregen im Laibacher Becken gegenüber dem westlich benachbarten Gebiete des Karstes und der Julischen Alpen, obwohl das Laibacher Becken die geringeren Absolutwerte aufweist. Die folgenden Tabellen stellen beide Gebiete zum Vergleich zusammen, woraus man ersieht, daß

im Becken für das sommerliche Plus zum guten Teil die Verminderung des Herbstregenanteils verantwortlich ist.

	Sommer		Herbst			Sommer		Herbst	
	Abs.	%	Abs.	%		Abs.	%	Abs.	%
Raibl	627	26,9	780	33,5	Krainburg	436	27,8	488	31,3
Flitsch	710	25,9	888	32,1	Stein	436	33,3	395	30,1
Mitterdorf	527	25,8	646	31,7	Laibach	445	30,9	440	30,6
Görz	460	27,1	567	33,4	Oberlaibach	459	28,0	517	31,5
Planina	455	25,4	587	32,8	Weixelburg	410	30,4	413	30,6
Mittel	556	26,2	694	32,7	Mittel	437	30,1	451	30,8

Es handelt sich eben auch hier um die Bestätigung der Regel, daß sich in Gebieten geringeren Jahresniederschlags der relative Sommerregenanteil vermehrt. Hinzu kommt aber namentlich, daß in dem adriatischen Gebiete vornehmlich das Mehr an Herbstregen den Sommerregenanteil vermindert, während die absoluten Sommermengen beträchtlicher sind als irgendwo sonst auf der ganzen Alpensüdseite. Letzteres gilt natürlich erst recht für die absoluten Herbstmengen, die uns den Sommerregenanteil so sehr vermindern.

Ganz andere Ursachen hat das relative Sommerminimum im Etschgebiete. Hier handelt es sich tatsächlich um eine Verminderung der absoluten Mengen, wie aus der nachfolgenden Tabelle deutlich hervorgeht. Ich habe hier die Stationen der sommerreichen Dolomitenseite denen der Etschtaler Alpen gegenübergestellt.

	Sommer		Herbst	
	Abs.	%	Abs.	%
Campitello, Welschnofen, Cavalese, Primiero, Pontarso	383	33,5	317	27,5
Malé, Pejo, S. Lorenzo, Condino, Riva	304	26,1	369	31,1

Die Etschtaler Alpen erweisen sich im Sommer als auffallend trockener als die Dolomitentäler. Hierfür möchte ich allerdings die in den Dolomiten zahlreichen Sommergewitter verantwortlich machen, die indessen insofern nicht rein lokaler Natur sind, als sie, wie wir im späteren sehen werden, mit der allgemeinen Wetterlage in gewissem Zusammenhang stehen. Aber es zeigt sich, daß auch die absoluten Herbstmengen in den Etschtaler Alpen bedeutender sind als auf der Ostseite. Ebenso die absoluten Frühjahrmengen. All das zusammen erklärt uns die auffallende Tatsache, daß das Gebiet mit nur $27\frac{1}{2}$ — 30% Herbstregen bis auf die Südseite der Dolomiten herunterreicht, während westlich das Gebiet mit $32\frac{1}{2}$ — 35% bis gegen die Ötztaler Alpen nordwärts vorstößt. Desgleichen sehen wir darin eine Ursache für die auffallenden sackförmigen Ausbuchtungen der Sommerisohyeten östlich des Etschtales.

Was endlich den geringen Sommerregenanteil auf den schweize-

rischen Zentralketten betrifft, so ist ohne weiteres klar, daß dieses lediglich auf eine Vermehrung der Herbst- und Frühjahrsregen zurückzuführen ist.

Als Gebiete mit 30—35 % Sommerregen treten hervor die Südseiten von Hohen Tauern und Ötztaler Alpen, ferner das obere Graubünden und die westliche Schweiz. Neben der Verminderung der absoluten Sommerregen kommt hier auch überall eine Vermehrung des Herbstregenanteils in Betracht. Recht gut tritt für die Sommerregen die große Sperrkraft der Hohen Tauern hervor, derart, daß in den norischen Alpen das Gebiet mit 35 % Sommerregen, das sich bei den Hohen Tauern nur noch über deren unmittelbaren Südhang erstreckt, um einen ganzen Breitengrad weiter südwärts reicht, allerdings auch infolge der von Osten hereingreifenden Sommerregen. Ähnlich gut sperren, wie man sieht, auch die Ötztaler Alpen und die schweizerischen Zentralketten, während dazwischen, einerseits im Engadin und andererseits über die Zillertaler Alpen gegen die Dolomiten hin der Sommerregen nach Süden vordringt. Relativ kräftige Sommerregen haben wir auch in der Südschweiz, über deren Zustandekommen uns die Einzelwetterlagen aufklären müssen.

Wenden wir uns nunmehr der Betrachtung der relativ geringen Sommerregen längs des Nordrandes der östlichen Alpen zu. HANN hat, wie ich früher bereits sagte, in seinen berühmten „Untersuchungen“ den Nachweis zu erbringen versucht, daß der Einfluß der Seehöhe auf die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung fast ganz zurücktrete. Der Beweis stützt sich im wesentlichen auf folgende Tabelle:

	Seehöhe	W	F	S	H
St. Florian, Linz, Kremsmünster, Salzburg	370	17	25	37	21
Alt-Aussee, St. Lambrecht, Tamsweg, Bad Gastein, Haller Salzburg	1100	18	22	37	23

Betreffs der benutzten Stationen des Salzkammergutes ist zu bemerken, daß sie wegen ihrer Abgeschlossenheit durch Hohe Zinken, Totes Gebirge, Dachstein und Tennengebirge im Vergleich mit den besser exponierten Stationen des Nordrandes relativ zu sommerregenreich sind, wie das aus meiner Karte hervorgeht. St. Lambrecht und Tamsweg aber liegen im Bereiche des trockenen und nur relativ sommerregenreichen oberen Murtales und sind daher von ganz anderem Typus, so daß man sie nicht gut mit den übrigen zur Bildung von Mittelwerten vereinigen kann. Man hat eben nicht allein die Seehöhe, sondern vor allem die Exposition sowie

den Einfluß der (kleineren) Regenprovinzen, innerhalb deren bzw. in deren Nachbarschaft die betreffenden Stationen liegen, in Betracht zu ziehen. Vergleicht man nun die von HANN gewählten Stationen des Alpenvorlandes mit denen am unmittelbaren Alpennordrande, so ergibt sich (für unsere Periode) folgendes Resultat:

	Seehöhe		W	F	S	H
St. Florian, Linz, Kremsmünster, Salzburg	370	{ %	16	24	39	21
		{ Abs.	165	243	413	223
Abtsdorf, Scharnstein, Kirchdorf, Reichraming	444	{ %	20	25	34	21
		{ Abs.	254	322	448	276

Um eine Variation der jährlichen Periode nachzuweisen, hat man demnach nicht Stationen mit großem Höhenunterschied zu vergleichen, sondern man braucht nur vom Alpenvorlande an den Alpenrand heranzugehen, um eine Verminderung der Sommerregen um durchschnittlich 5 % festzustellen, was durch eine annähernd gleich große Erhöhung der relativen Winterregen ausgeglichen wird. Gegen das Ennstal zu findet wiederum eine Steigerung der prozentuellen Sommerregen statt, gegen die Tauernketten hin wieder eine Abnahme usf., so daß sich im ganzen eine deutliche Abhängigkeit der jährlichen Periode vom Relief ergibt. Die HANN'sche Behauptung: „Der Einfluß der Seehöhe tritt fast ganz zurück“ ist daher höchstens in dem Sinne zu deuten, daß innerhalb des Sommerregimes auch in noch so großen Höhen nicht wie in den Mittelgebirgen eine Verlagerung des Maximums in eine andere Jahreszeit stattfindet. Eine „geringfügige Verkleinerung“ der Amplitude im Gebirge hat HANN übrigens später für Niederösterreich selbst nachweisen können. „Im großen ganzen“ sei jedoch „die Verteilung der Niederschläge auf das Jahr eine sehr gleichförmige.“

§ 4. Das Herbstregengebiet.

Die Verteilung des Herbstregens ist, wie wir sofort erkennen, bei weitem nicht von so mannigfachen Umständen abhängig, wie diejenige der Sommerregen. Im allgemeinen haben wir dort die größeren Relativwerte, wo sich auch die absoluten Werte steigern. Mit einigen wenigen Bemerkungen läßt sich daher die Verteilung der Herbstregen beschreiben.

Dreimal, nämlich in der Schweiz, im westlichen Etschgebiete und in der Verlängerung der Längsachse der Adria stößt der Herbstregen mit etwa 32 % bis gegen die Zentralketten vor. Dazwischen liegen jeweils Gebiete mit geringerem Herbstregen, die sogar südlich der Zillertaler Alpen einmal auf weniger als 25 %

herabsinken. Ich halte es für unnötig, an dieser Stelle aus dem Zahlenmaterial den Nachweis zu erbringen, daß die prozentuelle Vermehrung vor allem auf Rechnung der vermehrten absoluten Mengen zu setzen ist.

Von Interesse ist vor allem die Frage, an welchen Stellen die Herbstregen am weitesten über die Zentralketten nach Norden vorstoßen. Verfolgen wir zu dem Zweck den Verlauf der 25 %-Isohyete, so bemerken wir — abgesehen von den Verhältnissen der West- und Nordwestschweiz — eine starke Ausbuchtung derselben nach Norden längs des Rheintales. Offenbar handelt es sich längs des Rheintales für die herbstlichen Äquinoktialregen um eine Art Regenstraße. Ein zweites Mal verläuft diese Isohyete am Nordhange der Ötztaler Alpen in auffallendem nördlichen Abstände von der Gipfelregion. Selbst Landeck im Inntale hat noch mehr als 25 % Herbstregen. Ich habe oben gezeigt, daß im Gebiete der Etschtaler Alpen die absoluten Herbstregen beträchtliche Werte annehmen im Vergleich etwa zu den Stationen der Dolomitentäler. Auch hier scheint es sich um eine solche Regenstraße zu handeln, die über die Ötztaler Alpen nach Norden vorstößt. Weiter nach Osten hin hält sich dann die 25 %-Isohyete in der Nähe der Kammlinie, um dann über den Niederen Tauern in der Gegend des Hochgolling nach Süden abzubiegen. Aus dem Verlaufe der übrigen Isohyeten aber ist deutlich zu erkennen, daß gegen die Hohen Tauern hin ein drittes Mal der Herbstregen kräftig nach Norden vorstößt, in der Fortsetzung der Längsachse der Adria.

So scheint denn an mehreren Stellen ein Nordwärtsdringen der Herbstregen besonders begünstigt zu sein. Es wird sich im späteren zeigen, daß es tatsächlich an drei Stellen durch das Zusammenwirken von meteorologischen und morphologischen Ursachen, zur Ausbildung von regelmäßig (d. h. bei allen Herbstperioden) bevorzugten Regenstraßen kommt.

Die dem westeuropäischen Herbstregenregime angehörenden Teile der West- und Nordwestschweiz verdanken ihren Herbstregen dem bei allen Herbstperioden über Frankreich nach Süden ziehenden Tiefdruck, wie ich im späteren näher ausführen werde. Wie im Osten der Alpen die Vb-Straße der Minima stärkeren Frühjahrs- bzw. Frühsommerregen, so verursacht im Westen die Va-Straße vermehrte Herbstniederschläge.

§ 5. Die Frühjahrsregen.

Frühjahrsregen mit mehr als 25 % treten sowohl im Osten als auch im Süden des Alpengebietes auf. Im Osten handelt es sich um die bekannten Frühsommerregen Osteuropas, während man im Süden zwischen Frühsommerregen und gegen das Gebirge hin verspäteten Äquinoktialregen keine sichere Grenze ziehen kann. Von Interesse ist jedenfalls festzustellen, ob die prozentuelle Steigerung der Frühjahrsregen einer Zunahme der absoluten Mengen oder aber, wie man behauptet hat, einer Abnahme der Sommerregen entspricht. Für das Etschgebiet genügt uns folgende Zusammenstellung:

	Frühjahr		Sommer	
	Abs.	%	Abs.	%
Campitello, Welschnofen, Cavalese	245	25,4	352	36,4
Male, Tione, San Lorenzo	328	28,0	302	26,0

Wir ersehen daraus, daß die Zunahme der Frühjahrsregen auf der Westseite des Etschtales nicht nur durch die Abnahme der Sommerregen, sondern durch eine kräftige Zunahme der absoluten Frühjahrmengen verursacht wird. Wie die Herbstregen bevorzugen auch die äquinoktialen Frühjahrsregen die Westseite des Etschgebietes. Es scheint sich also hier um eine „Äquinoktialregengstraße“ zu handeln.

Im östlichen Frühjahrsregengebiet ist die große Vermehrung am Ostrande des Wiener Beckens auffallend, die indessen, wie folgender Vergleich mit drei weiter westlich gelegenen Stationen zeigt, fast lediglich auf Rechnung des verminderten Sommerregenanteils zu setzen ist.

	Frühjahr		Sommer	
	Abs.	%	Abs.	%
Rekawinkel, Klausen-Leopoldsdorf, Gutenstein	225	25,5	320	36,1
Baden, Wien Hohe Warte, Hadersdorf	210	28,9	233	32,0

Eine Zone vermehrter Frühjahrsregen scheint die Gipfelregion der Hochalpen zu sein. Ich verweise auf Göschenen (27,6 %), St. Bernhard (26,2 %), Stilfser Joch (28,9 %) und Sonnblick (29,6 %).

Da ich einige der von M. GOLDBERG auf Grund der 10 jährigen Periode 1896—1905 ausgesprochenen Ergebnisse auf Grund meiner 25 jährigen Periode nicht bestätigen konnte, so sei es gestattet, die betreffenden Punkte an dieser Stelle herauszustellen und zu vergleichen. M. GOLDBERG behauptet, daß sie für ihre Periode im südlichen Etschgebiete „wohl keinen Sommerregen mehr“ antreffe, „aber auch keine vorherrschenden Herbstregen, dafür aber ein ausgesprochenes Frühjahrsmaximum“. Schon HANN hatte in seinen

„Untersuchungen“ bemerkt: „Ob das entschiedene Maimaximum und überhaupt die größere Tendenz zu Frühjahrsregen in Südtirol in längeren Beobachtungsreihen sich erhalten wird, steht noch dahin.“ Man vergleiche einige der von M. GOLDBERG gefundenen Prozentwerte (a) mit denen der Periode 1876 bis 1900 (b):

Station	F	S	H	W
Malè a	29,8	25,7	26,6	17,9
b	27,7	27,2	31,0	14,1
Trient a	30,9	22,0	29,7	17,6
b	26,6	26,8	31,8	14,8
Roverete a	30,6	23,9	25,8	19,7
b	26,9	26,5	30,5	16,3
Ala a	31,2	23,9	27,7	17,2
b	27,5	26,2	32,4	14,1

M. GOLDBERG kommt ferner zu dem Resultat, „das Sommergebiet“ lasse sich „in zwei Teile gliedern, je nachdem nächst dem Sommer der Frühling oder der Herbst niederschlagsreicher ist“. Diese Zweiteilung wird für meine Periode hinfällig, da für sie im ganzen Etschgebiete niemals nächst dem Sommer der Frühling niederschlagsreicher ist. Ferner lesen wir: „So teilt sich das ganze Etschgebiet nach der jahreszeitlichen Verteilung des Niederschlages in folgende drei Gruppen:

I. Sommer	Herbst	Frühling	Winter
II. Sommer	Frühling	Herbst	Winter
III. Frühling	Herbst	Sommer	Winter.“

An die Stelle dieser drei Gruppen treten nach meinen Ergebnissen die beiden Gruppen:

I. Sommer	Herbst	Frühling	Winter
II. Herbst	{ Frühling (~Sommer)	{ Sommer (~Frühling)}	Winter

Erstere umfaßt das Etschgebiet im nördlichen und östlichen Teile, die zweite das Noce- und Sarcagebiet und das untere Etschtal.

§ 6. Die geographische Verteilung der Monatsmaxima.

Bekanntlich fällt der regenreichste Monat nicht immer in die regenreichste Jahreszeit. So ist etwa in manchen Gegenden der Alpensüdseite der Herbst die regenreichste Jahreszeit, der Mai aber der regenreichste Monat. Es ist daher nicht ohne Interesse, wenigstens mit einigen Worten die Verschiebung des Monatsmaximums im Alpengebiete zu charakterisieren.

Als regenreichste Monate treten im Alpengebiete auf die Monate von Mai bis Oktober einschließlich.

Das Vorkommen des absoluten Maimaximums beschränkt sich

auf einige Stellen des Alpensüdhangs und auf die Westseite des Wiener Beckens. Nirgends ist sonst auf der Alpensüdseite der Mai regenreicher als der Oktober. Mai- und Oktobermaximum wechseln sich daher in bunter Reihenfolge ab; nur am unmittelbaren Südabfalle der Bergamasker Alpen scheint das Maimaximum über ein größeres Areal zu herrschen. Vielleicht ist ein Teil dieser Mairegen verspäteter Äquinoktialregen; jedoch wird am Alpensüdhange auch Frühsommerregen niedergehen, da sich auch bei Sommerperioden am Südhange ein sekundäres Regenzentrum bildet, wie ich im nächsten Kapitel nachweisen werde. Am Westrande des Wiener Beckens handelt es sich natürlich um die bekannten östlichen Frühsommerregen, was sich am deutlichsten darin zeigt, daß dieses Maximum an benachbarten Stationen sich von Mai nach Juni verschiebt.

Ein über weites Gebiet einheitlich verbreitetes Junimaximum tritt hervor im Schweizer Mittelland und im Jura, während in den Schweizer Hochalpen, nördlich der Zentralketten überall der Juli regenreichster Monat ist. Neben dem Juli behauptet sich das Junimaximum auch im westlichen Alpenvorlande bis in die Gegend von München. Weiter östlich ist dann der Juli absolut vorherrschend. Neben dem Juli tritt alsdann der Juni wieder hervor auf der Ostseite der Alpen. Auch auf der Alpensüdseite ist an manchen Stellen der Juni regenreichster Monat, was auf die zahlreichen Sommergewitter zurückzuführen ist.

Die weiteste Verbreitung hat im Alpengebiet das Julimaximum (im wesentlichen nördlich der Zentralketten) und das Oktobermaximum (ausschließlich auf die Alpensüdseite beschränkt). Auffallend weit südwärts reicht das Julimaximum im östlichen Etschgebiete (bis ins Avisiotal), während weiter westwärts das Oktobermaximum bis gegen die Ötztaler Alpen nordwärts reicht (Pfelders).

Nirgends scheint das Gebiet des Julimaximums unmittelbar in das des Oktobermaximums überzugehen; überall schiebt sich zwischen beide ein Übergangsgebiet mit August- oder Septembermaximum. Solche Übergangsgebiete sind: Das Walliser Rhonetal (August), das Vorderrheintal (August und September), die Graubündner Täler (August und September), das obere Engadin (September), das oberste Addatal (August). Weiter gegen Osten hin wird dieses Übergangsgebiet streifenförmig schmal, läßt sich aber bis nach Krain hinein nachweisen. Dazu gehören folgende Stationen mit August- oder Septembermaximum: Trafoi, Sulden, St. Martin

im Passeier, Trient, Rovereto, San Vito di Cadore, Prägraten, Flattach, St. Peter im Katschtal, Villach, Klagenfurt, Höttitsch (Save).

Wir haben also die merkwürdige Erscheinung, daß sich der Sommerregen gegen das Herbstregengebiet hin gewissermaßen verspätet bzw. umgekehrt das Oktobermaximum sich gegen das Sommerregengebiet allmählich verfrüht. Nicht also, wie man längst weiß, daß sich das äquinoktiale Frühjahrsmaximum gegen das Sommergebiet allmählich verspätet, sondern beide, Frühjahrs- und Herbstmaximum der nördlichen Mittelmeerländer konvergieren gleichermaßen gegen das Sommermaximum Mitteleuropas.

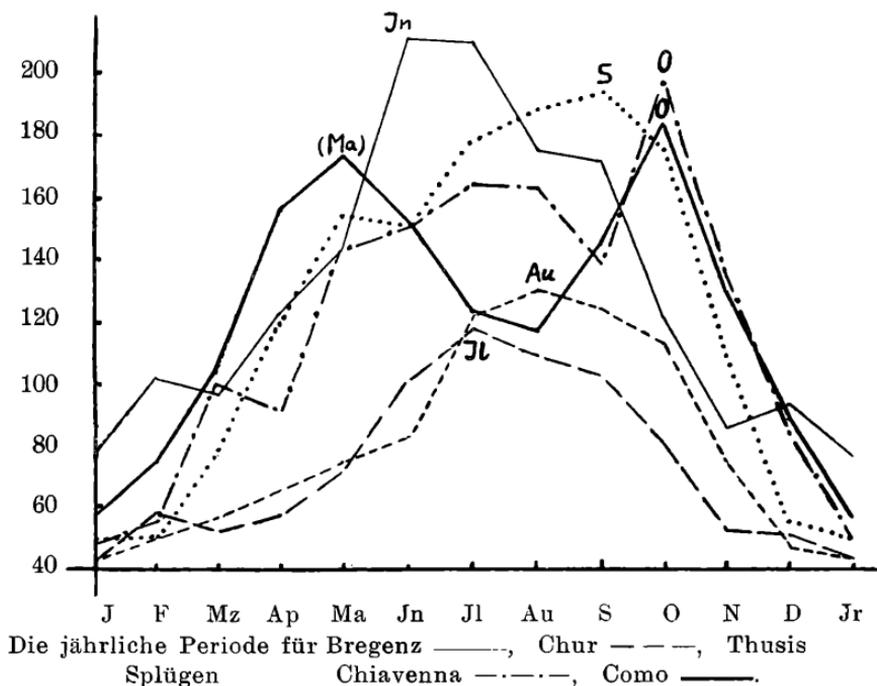


Fig. 2. Die Figur zeigt uns, wie sich längs einer nord-südlich von Bregenz nach Como gezogenen Linie das Maximum stetig vom Juni über Juli, August und September bis Oktober verschiebt.

Kapitel III und IV.

Wetterlage und Regenverteilung bei sechs ausgewählten Einzelperioden.

Ich komme nunmehr dazu, 6 Sommer- und Herbstregenperioden hinsichtlich der Abhängigkeit der Regenverteilung sowohl von der korrespondierenden Wetterlage als auch vom alpinen

Relief zu charakterisieren¹⁾. Und zwar werde ich in den folgenden Paragraphen die Disposition so vornehmen, daß je zunächst eine Übersicht über die Druck- und Temperaturverteilung insbesondere an den Hauptregentagen gegeben wird, dann in einem zweiten Abschnitte die Verteilung des Regens über das alpine Relief, verwoben mit den Hindeutungen auf die Ursachen in der zunächst geschilderten Wetterlage.

Als Unterlagen für die Beschreibung der Wetterlagen wurden außer den in den „Annalen der Schweiz. Met. Zentral-Anst.“ und in den „Jahrbüchern des k. k. Zentralbureaus für Meteorologie und Geodynamik“ publizierten Einzelregistrierungen vornehmlich auch verwendet die „Übersichten über den Witterungsverlauf in der Schweiz“ (Annalen der Schweiz. Met. Zentr.-Anst.) von Dr. R. BILLWILLER, die von der Landeswetterwarte in Karlsruhe und von der Meteorologischen Zentralanstalt in München herausgegebenen Wetterkarten und Wetterberichte, ferner die unter dem Titel „Niederschlag und Abfluß im Jahre.“ im „Jahrbuch des k. bayerischen hydrotechnischen Bureaus“ erscheinenden Ausführungen von Dr. I. HÄUSER, ferner auch die im „Jahrbuche des (österreichischen) hydrographischen Zentralbureaus im k. k. Ministerium für öffentliche Arbeiten“ (Wien) erscheinenden „Allgemeinen Übersichten der Niederschlags- und Temperaturverhältnisse“, sowie endlich die Wetterkarten und Registrierungen im „Bolletino meteorologico giornaliero dell'Ufficio centrale di Meteorologia e Geodinamica“ (Rom). Daneben habe ich in einzelnen Fällen auch die Wetterkarten der Hamburger Seewarte und auch diejenigen der Züricher Meteorologischen Zentralanstalt zurate gezogen.

Die Niederschlagsregistrierungen entnahm ich a) für Bayern dem „Jahrbuch des k. bayerischen hydrotechnischen Bureaus“, b) für Österreich dem „Jahrbuch des hydrographischen Zentralbureaus“, c) für die Schweiz den „Ergebnissen der täglichen Niederschlagsmessungen an den meteorologischen und Regenmeßstationen in der Schweiz (herausg. von der Schweiz. Met. Zentr.-Anst.), und d) für Italien dem „Bolletino Mensile“ 1913 des Ufficio Idrografico del Po. Im „Bolletino meteorologico giornaliero dell'Ufficio centrale“ finden sich die Registrierungen einzelner Stationen 1. Ordnung, die ich auch in meine Karten eingetragen habe, wenngleich damit die italienischen Lücken nicht ausgefüllt sind. Denn die

¹⁾ Vgl. Anm. 3 auf Seite 3.

Italiener publizieren ihr vollständiges Material erst seit 1913, und zwar war für meine Periode 18.—25. Juli 1913 nur die Publikation der lombardischen Stationen zu gebrauchen, so daß die venetianische Lücke auch hier unausgefüllt bleiben mußte.

Der besseren Übersicht wegen habe ich es für nötig gehalten, an den Schluß eine Zusammenfassung zu setzen, welche die Hauptresultate der ganzen Untersuchung, d. h. die in allen ¹⁾ Einzelbeschreibungen hervortretenden „typischen Eigenheiten“ der einzelnen Fälle, diejenigen Momente, die diesen oder jenen Einzelfall erst zu einem Repräsentanten seines Typus machen, enthält.

Die Reihenfolge der den nachfolgenden Beschreibungen zugrundeliegenden Einzelperioden habe ich aus praktischen Gründen so gewählt, daß jeweils die ihren Typus (auch in ihrer korrespondierenden Wetterlage) am deutlichsten zur Anschauung bringende den Anfang macht.

Prinzipiell habe ich mich in den folgenden Einzeldarstellungen an den geographischen Grundsatz gehalten, den rein zeitlichen Verlauf der Phänomene als erklärendes Moment der räumlichen Verbreitung derselben unterzuordnen und stelle mich damit in bewußten Gegensatz zu der häufig angewandten Methode, bei solchen Beschreibungen streng nach dem rein zeitlichen Verlauf zu disponieren.

Warum ich im folgenden auch den mittleren Monatsanomalien einzelner Elemente ein gewisses Interesse beilegen werde, wird sich aus der betreffenden Schlußfolgerung der Zusammenfassung ergeben.

Noch ein Wort über die Auswahl der Perioden. Nicht an Hand ähnlicher Wetterlagen, sondern lediglich an Hand der Niederschlagsregistrierungen habe ich meine Perioden ausgewählt. Heftige Niederschläge längs des Alpennordrandes in den Sommermonaten deuteten mir auf eine Sommerregenperiode, heftige Niederschläge längs des Alpensüdrandes auf eine Herbstregenperiode. Erst nach der Anfertigung der Niederschlagskarten habe ich die Wetterlagen untereinander verglichen.

Ich muß noch bemerken, daß die Hauptregentage einer Periode nicht in allen Teilen des Alpengebietes die gleichen sind. Wenn ich daher zum Beispiel von der Regenperiode 8.—16. Juni spreche, so besagt das, daß innerhalb dieser Zeitspanne in den meisten

¹⁾ d. h. allen 10 untersuchten Einzelfällen.

Teilen des Alpengebietes die Regentage liegen, nicht aber, daß jeder Tag vom 8.—16. in allen Gebieten ein Regentag gewesen ist. Wenn ich von der durchschnittlichen Dauer einer Periode spreche, so ist damit gemeint die durchschnittliche Anzahl der Tage, die in den Hauptregengebieten als Regentage anzusehen sind, d. h. mindestens 1 mm Niederschlag haben. Von den zehn ausgewählten Regenperioden, die untersucht wurden, werden hier nur sechs beschrieben. Es fallen weg die Regenperioden 11.—18. Juni 1912, 5.—13. Juli 1909, 3.—10. Oktober 1911 und 21.—29. Oktober 1911, um deren Darstellung das Manuskript für den Druck gekürzt werden mußte.

Kapitel III.

Wetterlage und Regenverteilung bei drei ausgewählten Sommerperioden.

§ 7. Die Regenperiode 18.—25. Juli 1913.¹⁾

Der ganze Juli war in Mitteleuropa unverhältnismäßig kühl. Die schweizerische meteorologische Zentralanstalt meldete einen Wärmeausfall von ca. $3\frac{1}{2}$ Graden und teilte mit, daß er der kälteste Juli ihrer 50 jährigen Beobachtungsreihe und um beinahe einen vollen Grad kälter sei als die seither kältesten (1888 und 1909). Auch habe selbst die bis 1836 zurückreichende Genferreihe keinen kälteren Juli.

Den abnormen Temperaturverhältnissen entsprachen abnormale Bewölkungsverhältnisse; die Sonnenscheindauer blieb in der Schweiz ca. 90 Stunden unter dem Mittel. Dagegen sind die Niederschlagsverhältnisse als annähernd normal zu bezeichnen. Niederschläge von geringer Ergiebigkeit verstreuen sich über den ganzen Monat. Die einzige Landregenperiode mit kräftigen Niederschlägen auf der ganzen Nord-, Nordwest- und Ostseite der Alpen war diejenige vom 18.—25. mit Hauptregentagen am 19. und 22.

Die Ursachen für die besagten unterwertigen Daten für Temperatur und Sonnenscheindauer haben wir in der großräumigen Druckverteilung und den daraus sich ergebenden Strömungsverhältnissen zu suchen. Während des ganzen Monats lag hoher Druck im Westen des Kontinents, über den Britischen Inseln oder dem freien Meere, seinen Kern bald nördlich, bald südlicher verlagernd. Nach dem Kontinente hin böschten sich die Isobarenflächen all-

¹⁾ Hierzu Karte Nr. 3.

mählich ab, und zwar derart, daß ihre Schnittlinien mit dem Meeresniveau eine annähernd nordsüdliche Richtung einhielten.

Betrachten wir (vgl. Fig. 3) aber einmal etwa die 760 mm-Isobare vom 8. des Monats ab, bis zum 25., so fällt auf, daß sie, mit Ausnahme des 13. und 14., über dem nördlichen Mittelmeere eine Ausbuchtung bzw. gar eine Abschnürung erfährt, bzw. korrelativ, daß, mit Ausnahme jener beiden Tage, der hohe westliche Druck nördlich der Alpenkette einen Keil von durchschnittlich 760—765 mm vorzutreiben versucht.

Auffällig ist es, daß wir dieses Randminimum der großen kontinentalen Depression nur in der Zeit bis zum 12. und vom 15.—25. ausgeprägt finden. Dieses aber waren für die Alpen gerade die Schlechtwettertage. — Im schweizerischen Julibericht R. BILLWILLER's heißt es: „Die trübe, kühle und meist regnerische Witterungsperiode, die mit dem 19. Juni ihren Anfang genommen hatte, hielt mit einem kleinen Unterbruch um den 13. herum bis zum 24. an.“ Und im Julibericht des k. bayerischen Hydrotechnischen Bureaus 1913 Heft IV lesen wir: „So bezeichnet der 15. den Beginn einer neuen, bis zum 25. dauernden Landregenperiode. An den Stationen des südlichen und östlichen Bayerns fielen täglich kräftige Niederschläge. . . Eine ganz besonders ungünstige Wendung nahm die Witterung für Südbayern am 19. und am 22. „Im ersten Falle hatte sich durch Verlagerung des hohen Druckes gegen die Britischen Inseln eine typische Rückseite ausgebildet. Am 22. lag die Ursache für die Zunahme der Niederschlagstätigkeit in dem Auftreten zweier korrespondierender Minima über der Lombardei einerseits und der Rhein- und Elbemündung andererseits.“

Die wahre Ursache ist meines Erachtens beide Male dieselbe: eine beträchtliche Zufuhr kühler Luftmassen aus NNW, die sich gegen das nordmediterrane Randminimum hin bewegen und vor dem Wall der Alpen eine Stauung erleiden.

Bekanntlich hat sich HELLMANN in seinem großen Werke: „Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten“ (7., S. 148 bis 158) mit diesem auffallenden Luftdruckkeile am Fuße der Nordalpen beschäftigt und ihn schließlich in der Hauptsache auf die Temperaturdifferenz zwischen der Nord- und Südseite der Alpen zurückführen wollen. In der Dissertation von FRIEDRICH LEX „Über die geographische Verteilung der Niederschläge im diesseitigen Bayern“ (München 1915) wird m. E. mit Recht auf die Unzu-

länglichkeit dieser Erklärung hingewiesen (S. 20) und manches stichhaltige Argument dafür beigebracht, daß es sich hier doch um eine große Stauung der von Norden heranziehenden Luftmassen handelt¹⁾.

Mit einer solchen Stauungserscheinung haben wir es auch während unserer Regenperiode zu tun. Und zwar handelt es sich, wie gesagt, um verhältnismäßig kühle Luftmassen. Fast ganz Süddeutschland sowie das westliche Frankreich wird von einem mächtigen Sack der 16⁰-Isotherme eingeschlossen.

Die am Alpenrande aufsteigenden Luftmassen kondensieren ihren Wassergehalt und bewirken ausgedehnte Regenfälle in ganz Oberbayern und in der Schweiz.

Betrachten wir die Regenkarte unserer Periode zunächst in Hinsicht auf die Gebiete intensiveren Regenfalles, mithin etwa die Räume innerhalb der 60 mm-Isolyete, so gelangen wir auf Grund unserer obigen Ergebnisse zu folgenden Feststellungen:

1. Das primäre Regenzentrum ist zweifelsohne die Nordseite der Alpen.
2. Ein sekundäres Regenzentrum ist das Gebiet der Umgebung des Semmering (Schneeberg, Wechsel), die Grazer Bucht

¹⁾ FELIX M. EXNER veröffentlichte in den „Jahrbüchern der k. k. Zentralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus“ Jahrg. 1903 eine Untersuchung über „Das Wetter bei Keilen hohen Luftdrucks im Norden der Alpen“. Er hat aus den synoptischen Wetterkarten alle jene Tage der Jahre 1896/1902 ausgewählt, bei denen „von Westen her sich ein mehr oder minder scharfer Keil hohen Drucks im Norden der Alpen vordrängt“. Er fand, daß diese Situation sich in allen Jahreszeiten fast durchschnittlich einmal in der Woche einstellt. Demnach erhielt er ca. 360 brauchbare Wetterkarten und konnte sie nach 13 verschiedenen Typen ordnen. Unsere Wetterlage entspricht seinem Typus VI, den er wie folgt charakterisiert:

Situation des Vortags: „Hoch im Westen von Europa; der tiefe Druck liegt verschieden, im Nordwesten bis Südosten Europas auch in der Mitte.“

Wetter am Vortage: „Sehr verbreitete Niederschläge im nordwestlichen und südlichen Teile unseres Gebietes; häufige Niederschläge in Nordsteiermark und Ostkärnten.“

Wetter am Tage selbst: „Ausgebreitete Niederschläge in dem nördl. und nordöstl. Teile unseres Gebietes (Österreich und östl. und nordöstl. angrenzende Stationen); die südlicheren Länder teilweise bewölkt.“ Die Nachtage sind meist von anderem Typus, oft von ganz anderer Situation.

und das österreichische Drau- und Savegebiet. Dieses Regenzentrum verdankt seine Entstehung offenbar der Temperaturdifferenz zwischen den kalten, von N über die Ostalpen vordringenden Luftmassen und den warmen Luftmassen des ungarischen Beckens. Die mit Gewittern verbundenen Niederschläge erreichen daher auch überall in den Tälern und Niederungen erhebliche Werte, während die Kondensation an der Alpennordseite in den Höhen infolge des Aufsteigens die größeren Werte annimmt und dort überall die Niederungen als regenärmer sich abheben. (Mit Ausnahme natürlich der luvseitig unmittelbar am Nordfuße gelegenen Stationen.)

Einige Zahlenbeispiele mögen den Sachverhalt verdeutlichen: Während der ganzen Periode fielen an Niederschlag in:

Station	Fluss- gebiet	Meeres- höhe	mm	Station	Fluss- gebiet	Meeres- höhe	mm
{ Pölschach St. Hemma	Drau	261	98,0	{ Zell a. See Schmitten- höhe	Salzach	759	58,4
	Save	349	48,9		Salzach	1935	81,5
{ Cilli Ober- rasswald	Save	241	114,2	{ Appenzell Säntis	Thur	781	95,6
	Save	884	74,9		Thur	2500	249,0

Indessen bemerken wir auf unserer Niederschlagskarte außer dem nördlichen und östlichen noch ein drittes, südliches und weniger intensives Regenzentrum. Als Niederschlagstage kommen hier in Betracht der 21., 22. und 24. Den 21. lehren uns die Wetterkarten kennen als den Tag, an welchem die kühlen Luftmassen am auffälligsten weit über die Ostalpen nach S vordringen und an der Ostküste Italiens ausgedehnte Gewitter verursachen. Die Kondensation erstreckt sich am Südfuße der Alpen an diesem Tage westwärts nur bis in die Gegend von Verona. Brescia ist bereits niederschlagsfrei.

Am 23. wird die nord-südliche Druckkomponente der kalten Luftmassen gegen die Zentralketten so groß, staut sich infolgedessen die Luft so sehr an, daß auch in den Hochalpen auf weite Erstreckung hin ein Überfließen nach S stattfindet, was sich durch eine geringe Ausbuchtung der Isothermen und Isobaren in Oberitalien kenntlich macht. So entsteht beim Zusammentreffen der ungleich erwärmten Luftmassen auch längs des Alpensüdrandes ein sekundäres Regenzentrum.

Glücklicherweise hatte ich für die vorliegende Periode die Niederschlagsregistrierungen der lombardischen Stationen zur Verfügung (Bollettino Mensile Luglio 1913 des Ufficio Idrografico del Po). Die Registrierungen der wichtigen venetianischen Stationen

hat man leider in den Publikationen (Bollettino Mensile des Ufficio Idrografico del R. Magistrato alle Acque di Venezia) für meine Zwecke unbrauchbar gemacht, indem man die täglichen Messungen zu Dekadenmitteln vereinigte und nur diese letzteren publizierte. Die Niederschlagsverteilung in der Lombardei zeigt aber aufs deutlichste, daß es sich längs des Alpensüdrandes um Regen von äußerst wechselnder Intensität handelt.

Wichtig ist, daß der hier sich kondensierende Wassergehalt nicht etwa den von N vorstoßenden Luftmassen entstammt, sondern den über der Poebene aufgelockerten und durch die hereinbrechende Nordluft abgekühlten Luftmassen. Denn erstens könnte ein Vorstoß in wärmeres Gebiet keine Kondensation zur Folge haben, und zweitens haben ja jene kühlen Luftmassen ihren Wassergehalt an der Nordseite größtenteils bereits abgegeben. Ähnlich wie bei dem sekundären Ostzentrum haben wir es auch hier mit Gewitterregen zu tun.

Dafür, daß es sich um echte Zyklonalregen¹⁾ handelt, spricht auch die Tatsache, daß auf Berg- und Talstationen annähernd gleiche Niederschlagsmengen gemessen werden:

Station	Flufsgebiet	Meereshöhe	mm
{ Folgaria	Etsch	1168	50,1
{ Ala	Etsch	147	76,2
{ Rollepafs	Travignola	1984	51,7
{ S. Martino di Castrozza	Cismone	1465	54,9
{ Mte. Generoso	Tessin	1610	55,3
{ Ponte Tresa	Tessin	280	60,0

So haben wir es denn in unserer Periode mit drei wohl ausgebildeten Regenzentren zu tun: dem primären Zentrum der Nordseite, bei welchem die am Gebirge aufsteigende Luftbewegung die Kondensation verursachte und zwei sekundären, bei denen die Kondensation verursacht wurde durch das Zusammentreffen der

¹⁾ Das Wort „Zyklonalregen“ wird hier und im folgenden nicht in irgendeinem prägnanten Sinne gebraucht, sondern hauptsächlich im Unterschiede zu den „Geländeregen“. Auch wenn es sich im Sinne der modernen Meteorologie um „Regen an Aufgleitflächen“ handeln sollte, werde ich getrost von „Zyklonalregen“ sprechen, da es mir im wesentlichen hier nur auf die Tatsache des Zusammentreffens warmer und kalter Luftmassen ankommt. H. v. FICKER hat unlängst gezeigt, daß die in die südliche Alpenabdachung übertretenden Winde nicht in die Täler hinabführen, aber in Saugwirkung die Luft dieser Täler an sich ziehen, so daß im Lee der Zentralkette ein Wirbel entsteht. Auch das führt natürlich zur Kondensation.

kalten nördlichen mit den wärmeren Luftmassen der ungarischen Ebene einerseits und der Poebene andererseits.

Zwischen den drei Regenzentren hebt sich auf unserer Karte recht gut eine Trockenzone heraus, in welcher wir die bekannte, auf den Karten der langjährigen jährlichen Niederschlagsmengen sich abhebende inneralpine Trockenzone wiedererkennen.

Sie erstreckt sich von der Lee(Süd-)Seite der Niederen und Hohen Tauern ins Rienzer und Oberetschtal, weiter ins Engadin und Tessingebiet. Das Vorkommen regenfreier Stationen beschränkt sich auf die Leeseite der westalpinen Zentralketten; regenfrei ist ein großer Teil des Tessin- und Adagebietes, obgleich die Niederschläge auf der westalpinen Nordseite intensiver sind als weiter im Osten, was uns die größere Sperrkraft der westlichen Ketten aufs beste zeigt. Niederschlagsfrei ist auch der immer trockene Vinschgau, während sich weiter östlich die Gebiete mit weniger als 20 mm Regen nur noch fleckenhaft herausheben.

Sehr gut treten die Gegensätze von Luv und Lee bei der Kette der Hohen Tauern hervor. Während die luvseitige Station Moserboden (1960 m) 136,9 mm Niederschlag verzeichnet, hat das leeseitige Kals (1321 m) nur 16 mm! — Minder extreme, aber eben so deutliche Kontraste ergeben sich in den Niederen Tauern: das luvseitige Donnersbachwald (950 m) mit 80,4 mm gegenüber dem leeseitigen Mahralpe (1300 m) mit 54 mm usw.

Auch in der Schweiz läßt sich natürlich eine ganze Anzahl von Beispielen derart anführen, wie Elm (958 m) mit 102,1 mm gegen Ilanz (704 m) mit 24,4 mm usw.

Auch wird, wie das aus den Karten der Jahresmittel stets hervorgeht, der Streifen intensivsten Niederschlags an der Nordseite sozusagen in zwei Parallelstreifen zerlegt durch die trockeneren Längstäler von Inn und Salzach, wie auf der Karte unserer Periode deutlich erkennbar, während wir in der Schweiz ähnliches nicht antreffen, es sei denn, daß man hier zum Vergleiche die Tatsache heranzieht, daß der breite trockenere Streifen des Schweizer Mittellandes den intensiver berechneten Jura von den Zentralketten scheidet.

Auffallend und merkwürdig ist es, wie das sekundäre östliche Regenzentrum weit nach W hin ins Klagenfurter Becken auslappt. Man hat das Klagenfurter Becken als einen westlichen Vorposten Pannoniens bezeichnet (siehe LEX, PASCHINGER und WUTTE, „Landes-

kunde von Kärnten“). Ich wüßte dieses Wort nicht besser zu illustrieren als durch die Regenkarte der Periode vom 18.—25. Juli 1913.

Die Erklärung hierfür ergibt sich vermutlich aus dem, was ich oben über die durch die Auflockerung entstehenden lokalen Depressionen gesagt habe. Die intensivere Überregnung des südlichen Teiles des Beckens möchte ich der Wirkung der Karawankenketten zuschreiben, die den von N vordringenden kühlen Luftmassen und den aus den Becken aufsteigenden, südwärts abgedrängten ein letztes ernsthaftes Hemmnis waren.

Auch das Laibacher Becken wurde von der kalten Nordluft erreicht. Die Niederschläge aber erreichen auch hier wiederum weiter südlich, besonders im Zirknitzer Becken ihre Maximalwerte, was ich auf einen Stauungsprozeß vor dem Schneeberg-Massiv zurückführen möchte.

§ 8. Die Regenperiode 8.—16. Juni 1910.

Im Gegensatz zu dem bekannten Trockenjahre 1911 muß das Jahr 1910 als unverhältnismäßig niederschlagsreich bezeichnet werden, wengleich die Temperaturen im allgemeinen normal waren. Für manche Teile der Alpen ist es seit 50 Jahren das niederschlagsreichste Jahr gewesen. Insbesondere muß der Juni dieses Jahres als ganz außerordentlich regenreich gelten. An manchen Orten der Nordseite überstiegen die Beträge das Doppelte, an manchen sogar das Dreifache des langjährigen Monatsmittels. Und im besondern wiederum hat daran Anteil die Regenperiode vom 8.—16. Juni.

In den ersten Junitagen, solange das Alpengebiet entweder im Bereiche hohen Druckes oder aber auf der Vorderseite des Minimums lag, herrschte — wenigstens auf der Alpennordseite — bei östlichen oder südlichen Winden heiteres Wetter, unterbrochen nur von durch lokale Störungsgebiete verursachten Gewitterregen. Sobald aber am 7. das Minimum ostwärts zog, so daß unser Gebiet auf dessen Rückseite kam, änderte sich die Situation.

Bis zum 12. haben wir recht unbeständiges Wetter, ohne daß noch ein bestimmter Wassertypus erkennbar wäre. Erst mit dem Auftreten eines südwestlichen Maximums am 12. beginnt die für unsere Regenperiode typische Situation. Über Frankreich lag ein Teilminimum einer isländischen Depression, das durch den vorstoßenden Hochdruck ostwärts abgedrängt wurde, sich alsbald verselbständigte und seinerseits über dem Kontinente an Ausdehnung und Tiefe zunahm. Der Kern dieses Minimums legte sich

über Norditalien und erlangte dort am 13. ganz beträchtliche Intensität. Auf der Alpennordseite herrschten infolgedessen bis in große Höhen (in Friedrichshafen bis 3500 m) östliche, auf der Alpenostseite südöstliche Winde.

Das Hauptregengebiet des 13. liegt auf der Alpenostseite und schlägt nordwestlich bis gegen Reisalpe und Untersberg hinüber. Dies östliche Niederschlagsgebiet haben wir als unser sekundäres Ostregenzentrum anzusehen, das diesmal dem Hauptregenzentrum der Nordseite zeitlich vorausgeht. Denn diese intensiven östlichen Gewitterregen entstanden auch diesmal durch das Zusammentreffen der warmen Luftmassen des ungarischen Tieflandes mit der kalten, von Nordwesten her die Alpen überflutenden Luft. Hinzu kommt noch, daß die kräftige Süddepression ihren Einfluß auch auf die ungarischen Luftmassen erstreckte und sie gegen das Alpengebiet heranführte. Zwischen diesem und der ungarischen Ebene bestand aber schon länger eine beträchtliche Temperaturdifferenz, die sich im Laufe des 13. durch zunehmende Erwärmung Ungarns noch vergrößerte. Die Hauptrolle spielt also auch diesmal bei dem Ostzentrum, trotzdem es dem Nordzentrum zeitlich vorausgeht, die Temperaturdifferenz zwischen Ungarn und dem Alpengebiete. Daß es sich nicht um reine Geländeregen handelt, geht aus der Karte zur Genüge hervor.

Am Abend des 13. fand mit dem Vordringen des westlichen hohen Druckes auf der Alpennordseite auch in größerer Höhe eine Winddrehung nach Nordwesten statt (auf dem Säntis zwischen 9^h und 10^h p. m.). Nun aber setzen die ausgiebigen Niederschläge auf der Nordseite ein, wie sie z. T. niemals vorher beobachtet worden sind.

Es muß noch gesagt werden, daß sich am 13., wenn schon nur in schwacher Andeutung, der aus der vorigen Periode bekannte Hochdruckkeil im Alpenvorlande wiederfindet, der, wie wir sehen werden, für die Sommerwetterlagen typisch ist. Übrigens macht er sich auch recht deutlich in den Monatsmitteln des Luftdruckes für Juni, Juli und August geltend, wie die Kärtchen in HANN's Abhandlung über „Die Verteilung des Luftdrucks über Mittel- und Südeuropa“ (PENCK's geographische Abhandlungen, Bd. II, Heft 2, Wien 1887) beweisen. — Jedoch hat sich anscheinend dieser typische Hochdruckkeil unter den störenden Einflüssen der außergewöhnlich starken Süddepression nicht gut entwickeln können.

Am 14. laufen die Isobaren annähernd nordsüdlich, nur daß

sie im Alpenvorlande etwas nach Osten ausbuchten und sich vor den westlichen Zentralketten scharen und umbiegen. Dadurch entsteht eine kräftige, gegen die Alpen gerichtete Nordströmung. R. BILLWILLER berichtet darüber im Jahrgang 1911 der Schweizer Annalen: „Entsprechend dem Nordsüdverlauf der Isobaren führte jetzt am 14. eine kräftige und anhaltende Nordströmung die Luftmassen gegen die Nordabdachung der Alpen, wo sie beim Aufsteigen ihren Wasserdampf kondensieren mußte. Die Intensität dieser Luftdrift wird von Friedrichshafen (Ballonaufstieg vom Morgen des 14. um $1\frac{1}{2}$ 7^h a. m.) zu NW 7 sek/m in 1000 m Höhe, N 10 sek/m in 2500 m und N 11 sek/m in der erreichten Maximalhöhe von 3075 m angegeben.“

Es mag noch gesagt werden, daß BILLWILLER, um die abnormen Regenmengen verständlich zu machen, darauf aufmerksam macht, daß der Nordwind, wie bereits von einigen ähnlichen Fällen bekannt ist, nicht nur feuchte, sondern zugleich auch warme Luftmassen gegen die kühle Alpennordseite heranzführt. Denn es sind am Morgen des 14. im Nord- und Ostseegebiet relativ hohe Temperaturen nachzuweisen (Christiansund 20°, Wisby 22,5°, Königsberg 23°), während die Temperaturen im Schweizer Mittel-land zu derselben Zeit viel tiefere sind (Bern 12°, Zürich 14°). — Das hindert indes nicht, daß wir es mit einem echten „Geländeregen“ zu tun haben. Auch BILLWILLER betont die deutliche Abhängigkeit von der „Terrainkonfiguration“: „Da, wo die Bergstöcke der Voralpen besonders unvermittelt aus dem Molasseland emporstreben, mußten bei diesem Geländeregen die intensiven Niederschläge fallen.“ Dabei lag jedoch die Kondensationsgrenze nach BILLWILLER's Berechnung in der beträchtlichen Höhe von etwa 1700 m, so daß innerhalb des Regengebietes auf den Höhenstationen nicht weniger Regen fiel als an den luvseitigen Talstationen. „Das nun war das entscheidende für den katastrophalen Charakter des 14. Juni: Über Berg und Tal gingen die gleichen enormen Regenmengen nieder.“

Es bleibt uns noch das sekundäre Südzentrum zu untersuchen. Gut ausgeprägt zeigt es sich auf der Regenkarte: Bergamo 120,8 mm, Brescia 120,9 mm, Cremona 114,1 mm, Belluno 74,7 mm usw. Allein dieses Zentrum am Südfalle der Alpen verdankt seine Entstehung nicht einem einheitlichen Regenfalle, sondern vereinzelte heftige, nach längeren Unterbrechungen sich wiederholende Gewitterregen haben ihm zu seiner summarischen Intensität verholfen. Und

zwar traten diese Regengüsse vor allem am 9., 10., 11. und 13. dann auf, wenn es der kühlen Luft gelang, die Alpenkämme zu überschreiten und nach Süden gewissermaßen überzufießen; denn jedesmal dann melden die Italiener „lampi e tuoni“ und „pioggia forte“, Gewitter mit heftigen Regengüssen. Das entspricht ja gerade dem Charakter des sekundären Südzentrums, daß es nur in Abhängigkeit von den nördlichen kühlen¹⁾ Luftmassen, die durch ihre Stauung vor den nördlichen Alpenketten das Hauptzentrum verursachen, auftreten kann.

Es liegt mir hier weniger daran, die Intensität des Regenfalles innerhalb des abnorm intensiven primären Regenentrums im einzelnen zu untersuchen, als vielmehr die Ausbreitung desselben zu studieren. Da es sich in unserem Falle für das Schweizer Mittelland, Vorarlberg und Tirol um eine der katastrophalsten Hochwasserperioden handelt, so sind die Einzelheiten des Regenfalles und Wasserstandes veröffentlicht: Für die Schweiz der bereits zitierte BILLWILLER'sche Bericht in den Schweizer Annalen und für Österreich unter dem Titel: „Die Wetterkatastrophen und Hochwässer des Sommers 1910 in Österreich.“ (Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, Heft 23 u. 24, Jahrgang 1911), verfaßt vom k. k. hydrographischen Zentralbureau.

Vollkommen unvermittelt läßt in der Schweiz die abnorme Intensität des Regenfalles jenseits der Zentralketten nach, was uns beweist, daß es sich um einen echten und reinen Geländeregen handelt. Die Übergangsgebiete von 60—80 mm Niederschlag finden sich außer in den westlichen Teilen nur in Graubünden, wo zwar das Gelände bis zu den südlichen Zentralketten noch ansteigt, während aber die Feuchtigkeit durch die nördlichen Ketten bereits beträchtlich reduziert ist. Vergleichen wir aber z. B. die im Berner Oberland niedergegangenen Regenmengen mit denen des Wallis oder die in Uri und Glarus gemessenen mit denen des Oberrheintales, so ergeben sich gewaltige Differenzen. Interessant ist auch der Vergleich von Julierpaß und Sils Maria im Oberengadin, wo sich eine Differenz von nicht weniger als 117,4 mm ergibt.

Das Primärzentrum ist über die ganze Alpennordseite ausgebreitet. Das Inntal bildet die Grenze zwischen der abnormen Intensität des westlichen und der etwa „normalen“ des östlichen Teiles.

An keiner Stelle aber wird die Zentralkette überschritten, ja

¹⁾ d. h. im Verhältnis zu den Temperaturen der Poebene.

östlich des Inntales beschränkt sich das eigentliche Regengebiet nur auf die nördlichen Abfälle, während die Zentralketten nur in ihrer Gipfelregion intensiver überregnet werden. Von einzelnen Regenstraßen kann keine Rede sein. Denn, obschon die Polarströmung, wie wir im zweiten Kapitel sahen, an einzelnen Stellen kräftig über die Zentralketten nach Süden vorstößt, so wird das dennoch nicht so sehr in den absoluten als in den relativen Regenhöhen zum Ausdruck kommen, da die Feuchtigkeit der kühlen Luftmassen an der Nordseite beträchtlich reduziert wird.

Interessant ist bei unserer kräftigen Periode die Regenschattenwirkung der großen Längstäler, die nur beim Inntal in der Gegend des Tschirgant einmal gestört wird, wo das Zentrum auf die Nordhänge der Ötztaler Alpen übergreift. Aber man vergleiche nur die Stationen Scharnitz (132,9 mm) und Hinterau (109,7 mm) mit Innsbruck (55,1 mm) und Hall (57,8 mm), oder Hallstatt (107,1 mm) im Salzkammergut mit Schladming (35,3 mm) im Ennstal usw. Ferner mache ich aufmerksam auf die Bedeutung einzelner Pässe innerhalb des Nordzentrums. So glaube ich mit Bestimmtheit, daß man ohne den Fernpaß in Imst nicht hätte 129,5 mm messen können, ohne den Scharnitzpaß nicht noch im Sellrain über 100 mm usw.

Weiter im Osten nimmt, wie gesagt, die Intensität des Regenfalles beträchtlich ab. Nur ein Regenloch ist hier zu nennen: Salzburg mit über 150 mm! Diese abnormen Mengen aber nehmen uns nicht wunder, wenn wir uns die Lage Salzburgs betrachten. Trichterförmig greift die Schotterebene zwischen Saalach und Salzach bis Hallein in das Gebirge hinein; Salzburg aber liegt gerade vor dem südlich auf Hallein zulaufenden Gebirgsrande, der mit einem Steilrande von über 800 m zur Ebene abfällt und gegen den die von NW heranziehenden wasserdampfschweren Luftmassen anstoßen, unter starker Kondensation nach S an demselben entlang geschoben werden und in der trichterförmig enger werdenden Ebene eine Stauung erleiden und sich abregnen. Daher kann man die Salzburgerischen Regenverhältnisse nicht, wie KERNER VON MARILAUEN es getan hat¹⁾, als für den Nordrand der Alpen typisch betrachten.

Gehen wir weiter nach Osten, so haben wir etwa längs einer Linie, die von der St. Pöltener Gegend ins obere Mürztal führt, eine Mischzone, in die sowohl der Einfluß des Nordzentrums als

¹⁾ „Unters. ü. d. Veränderlichkeit d. jährl. Niederschlagsperiode im Gebiete zwischen Donau und der nördl. Adria.“ Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss., math.-nat. Klasse Bd. LXXXIV, Wien 1909.

auch der des Ostzentrums hinübergreift. Dieses sehr intensive Ostzentrum nämlich, dessen Niederschläge, wie ich ausgeführt habe, denen des Nordzentrums zeitlich vorausgehen, ist infolge der südost-nordwestlichen Strömung mit seinem Maximum weit nach Norden hin verschoben und betrifft vor allem die Gegend des Wechsel und Semmering sowie der nördlich desselben gelegenen Kalkklötze (Schneeberg, Raxalpe usw.). Aber auch die Grazer Bucht bleibt nicht verschont. Namentlich schlägt der Regen im Raabtale aufwärts, wo (in Nestelbach) 128 mm gemessen wurden, was uns zeigen mag, daß es sich hier im Gegensatz zum Nordzentrum um Regenfälle handelt, die sich gleichmäßig über Höhen und Täler ergießen. Ein starker Gewitterregen scheint auch wiederum im Lavantale niedergegangen zu sein.

Über dem Karst und den Julischen Alpen, ferner auffallend gut in Südtirol sowie im Tessingebiet der Gegend des Luganer Sees finden wir das Südzentrum entwickelt. Ein Vergleich verschieden hochgelegener Stationen würde uns leicht zeigen, daß eine regelmäßige Änderung des Regenfalles mit der Seehöhe nicht zu beobachten ist. Dagegen nimmt von Norden nach Süden die Regenhöhe im Etschtale regelmäßig zu (Gries bei Bozen 38, Lavis 69, Rovereto 84 mm).

Im Gegensatze zu den Verhältnissen bei Herbstperioden dehnt sich die inneralpine Trockenzone fast ununterbrochen vom oberen Murtale längs des Südhanges der Zentralketten bis ins Rhonetal aus. Da das aber nicht sowohl an der Eigenart der vorliegenden Periode als vielmehr an der Eigenart der alpinen Sommerregen überhaupt liegt, nicht wie bei Herbstregen einzelne „Regenstraßen“ zu bevorzugen, so wird sich die inneralpine Trockenzone bei der Darstellung der „typischen“ Verhältnisse im Sommer und Herbste auch anders ausprägen müssen, wie meine Karten in der Tat deutlich zeigen.

Zum Schluß mag noch darauf hingewiesen werden, daß die beiden sekundären Zentren nicht scharf voneinander getrennt zu sein pflegen, sondern (in Krain) eine Mischzone gemeinsam haben, wie ja auch das Ostzentrum sich nicht ganz scharf von dem Hauptzentrum abhebt, während letzteres vom sekundären Südzentrum scharf geschieden wird durch die inneralpine Trockenzone.

§ 9. Die Regenperiode 8.—16. August 1910.

Der August 1910 war für die Alpennordseite ein feuchter, niederschlagsreicher Monat, was indes mehr auf die Niederschlags-

häufigkeit als auf besonders intensive Regen zurückzuführen ist. Eben infolge des feuchten und häufig regnerischen Wetters haben wir, wenigstens wiederum auf der Nordseite, mäßige Temperatur.

Bis zum 4. d. M. lagerte über den britischen Inseln eine Depression, während über dem Kontinente, abgesehen von kürzeren Störungen, höherer Druck herrschte. Vom 4. an setzte sich die britische Depression gegen den Kontinent hin in Bewegung und verursachte einige Tage hindurch auch im Alpengebiete unbeständiges Wetter, ohne daß sich ein besonderer Regentypus herausbildete. Dieses Mal änderte auch der im Rücken des Minimums von Frankreich her ostwärts einbrechende Hochdruck am 8. d. M. die Situation nicht, außer daß er über dem Alpengebiete vorübergehende Aufklärung brachte; denn schnell wird dieses nicht sehr kräftige Maximum von dem ausgedehnten kontinentalen Minimum aufgesogen. In der Nacht vom 9. auf 10. begann ein Minimum von Frankreich her auf van BEBBER's Va-Straße nach der Adria zu wandern und verursachte auf seinem Wege wiederum unbeständiges Wetter mit Gewitterregen. Aber hinter diesem Minimum zeigte sich nun im Golf von Biskaya jener aus den bereits besprochenen Sommerperioden bekannte typische Hochdruck, der für das Zustandekommen einer guten Sommerregenperiode unerlässlich ist.

In der bekannten Weise drängt dieser Hochdruck während der folgenden Tage ostwärts und bildet am 12. über dem Alpenvorlande den typischen Hochdruckkeil aus. Mit dem hohen Drucke drängt zugleich kühle Luft von NW gegen die Alpen herein, und zwar in anscheinend größerer Mächtigkeit, so daß bereits am 10. ein Überfließen derselben über die Zentralketten in die südalpine Depression stattfindet, was auch diesmal, wie jedesmal, starke Gewitter zur Folge hat. Während des 10. und 11., da die west-östlich verlaufenden Isothermen über den Alpen lappenförmig nach Italien hinein ausbuchten, fallen auch die verhältnismäßig kräftigen Niederschläge unseres sekundären südlichen Regenzentrums. Die Temperaturdifferenz zwischen Nord- und Südseite betrug am 9. durchschnittlich 5°. Die südseitigen Niederschläge waren natürlich durchweg Gewitterregen und wanderten sozusagen hinter der Depression her von Westen nach Osten, da die über die Alpen fließende kühle Luft sich naturgemäß auf die Rückseite der Depression drängte. In der Lombardei und der Südschweiz haben wir daher die Hauptregenfälle am 10., in Venetien erst am 11.

Da wir nun erstens keine allzu große Intensität des Regenfalles

auf der Nordseite haben, und zweitens das südseitige sekundäre Regenzentrum kräftig ausgebildet ist, so steht zu erwarten, daß die inneralpine Trockenzone besonders gut hervortreten werde — wovon nachher zu sprechen sein wird.

Zunächst noch ein Wort über das Hauptzentrum. Ich sagte eben bereits, daß es keine übermäßige Intensität aufweise. Suchen wir noch den Grund hierfür. Hauptregentage dieses Zentrums waren im Westen der 10., gegen Osten hin der 13. Am 10. nämlich lag die Westseite im Rücken der adriatischen Depression, am 13. aber war der Luftstau vor dem Alpenwalle am kräftigsten, zumal eine tiefe, über Jütland liegende Zyklone auf ihrer Rückseite immer neue ozeanische Luft südwärts transportierte und auf diese Weise die Stauung verstärkte. Und so wäre ein außerordentlich intensives Hauptzentrum zu erwarten gewesen, wenn nicht „zur rechten Zeit“ die charakteristische Süddepression fehlte. Diese war aber am 13. vor dem westlichen Hochdruck über das östliche Mittelmeer zurückgewichen. So fehlte also den nördlichen Luftmassen neben der Schubkraft von Norden die Zugkraft von Süden. Durch das rechtzeitige Verschwinden der Süddepression war die Alpen-nordseite vor einer ähnlichen Regen- und Hochwasserkatastrophe wie zwei Monate zuvor bewahrt.

Sehen wir uns nunmehr nach dem Ostzentrum um, so finden wir dasselbe so gut wie gar nicht ausgebildet. Nur über dem Lavantale ist offenbar ein schwerer Gewitterregen niedergegangen, den ich mir aus der starken lokalen Erhitzung des Talbeckens erkläre. Ein erstes Überblicken der Isothermenkarten unserer Periode läßt erkennen, daß während ihrer ganzen Dauer niemals die ungarische Ebene eine höhere, ja teilweise sogar eine geringere Temperatur aufweist als das Ostalpengebiet. An dieser Tatsache aber mußte natürlich das Zustandekommen unseres Ostzentrums scheitern, was wir als einen Beweis unserer Interpretation desselben ansehen dürfen. — Erst im Laufe des 16., also am Ende unserer Periode, erwärmt sich die ungarische Ebene in kurzer Zeit um durchschnittlich etwa 5° , während sich gleichzeitig die Süddepression noch einmal vertieft und nordwärts der Alpen noch immer die kältere Luft und hoher Druck lagert. Jetzt also waren für kurze Zeit die Bedingungen für die Ausbildung des Ostzentrums gegeben, und in der Tat verzeichnen jetzt unsere östlichen Stationen leichte Gewitterregen (Graz: „● nachm., ☐ ● nachts“), ein Beweis, mit welcher Sicherheit der östliche Gewitterregen bei der dafür notwendigen Situation eintritt.

Das Fehlen des Ostzentrums läßt uns seinen Wirkungsbereich erst recht erkennen, der sich bis in das Quellgebiet der Drau erstrecken muß.

Vergleichen wir nämlich die beiden hinsichtlich der Ausbreitung ihres Hauptzentrums fast ideal gleichen Perioden 11.—18. Juni 1912 und die vorliegende, so ergibt sich ein auffallender, wenngleich nicht sehr beträchtlicher Unterschied in der Überregnung des östlichen Teiles der inneralpiner Trockenzone. Während diese bei jener Periode nur von einigen kleineren Inseln der 20 mm-Isohyete durchsetzt war, ist sie bei der vorliegenden fast geradezu durch das Gebiet mit weniger als 20 mm Regenfall charakterisiert, trotzdem das Nordzentrum keinesfalls weniger intensiv, das Südzentrum aber noch weit stärker ausgebildet ist. Ich bin daher geneigt, hierin lediglich den fehlenden Einfluß der durch Lokaldepansionen entstehenden „östlichen Gewitterregen“ zu sehen.

So gering und für die Hydrographie wenig einflußreich immer das Westwärtsgreifen des Ostzentrums nach Illyrien hinein sein mag: interessant ist es dennoch, daß die nach Osten entwässernden Gebiete bis in die Quellregion hinein den „östlichen Einfluß“ zu spüren bekommen.

Hinweisen möchte ich noch auf eine besondere Eigentümlichkeit der Regenverteilung im südlichen Alpengebiete, auf die man wohl zu achten hat. Zwei Gebiete erweisen sich hier nämlich als besonders niederschlagsreich: Der Südhang der Bergamasker Alpen und die Südostseite der Dolomiten (Bergamo 56,7 mm, Castello-Tesino über 80 mm). Das ist aber, wie wir im zweiten Kapitel gesehen haben, keine zufällige Erscheinung und läßt sich auch bei allen Einzelperioden mehr oder minder deutlich beobachten. Nördlich dieser Stellen sehen wir auch die inneralpine Trockenzone durch größere Regenfälle unterbrochen. Besonders gut tritt das in unserer Periode im Eisackgebiet und Pustertal hervor.

Die Erklärung ergibt sich, wie wir schon wissen, aus der Orographie der Zentralketten, die sich zwischen Hohen Tauern und Ötztaler Alpen sowie zwischen letzteren und den schweizerischen Zentralketten erniedrigen. An diesen Stellen kann also die nordwärts angestaute kühle Luft verhältnismäßig leichter nach Süden überfließen. Im inneren Alpengebiete wird sie zwar wegen des Absinkens keine bedeutende Kondensation verursachen können; vielmehr wird der hier niedergehende Regen hauptsächlich auf die plötzliche Abkühlung der kontinentalen „bodenständigen“ Luft-

massen zurückzuführen sein. Sobald aber die polare Strömung den Alpensüdrand erreicht, werden beim Zusammentreffen mit der warmen Luft der Poebene jene Wirbel entstehen, die das südliche Regenzentrum an diesen Stellen erheblich verstärken.

Es handelt sich also um zwei wichtige „Zuglöcher“ der Polarströmung, auf die ich im letzten Kapitel nochmals zu sprechen komme.

Zusammenfassung.

Überschauen wir kurz noch einmal die typischen Eigenheiten der fünf untersuchten Sommerperioden¹⁾, so bemerken wir zunächst, daß alle innerhalb solcher Monate liegen, die im Mittel auf der Alpennordseite ein beträchtliches Plus an Niederschlag und ein ebenso beträchtliches Temperaturdefizit, auf der Südseite dagegen zu wenig Niederschlag und zu hohe Temperaturen aufzuweisen hatten. Und zwar kommt die abnorme Kühle und Nässe der Nordseite nicht lediglich auf Rechnung der einen ausgewählten Periode, sondern schon eine geraume Zeit vor dem Eintreten der eigentlichen Periode zeigt der Gesamtwitterungscharakter eine gewisse Tendenz auf dieses Eintreten hin, wie auch nach dem Aufhören der Periode dieselbe im Witterungscharakter längere Zeit hindurch noch „nachwirkt“.

Folgender Verlauf der Wetterlage erwies sich als für das Zustandekommen einer guten Sommerregenperiode typisch und notwendig:

- I. Niederer Druck über dem Kontinente, hoher Druck über dem Ozeane,
- II. Der hohe Druck drängt gegen den Kontinent von W und NW vor und bildet nordwärts der Alpen einen Hochdruckkeil aus. Kühle Luftmassen dringen von NW herein und stauen sich vor den Alpen. Gleichzeitig entsteht südwärts der Alpen eine Teildepression des kontinentalen Tiefs, das auf die nordwärts gestauten Luftmassen eine Saugwirkung ausübt (Fig. 3).

Zuerst findet im Osten ein Überfließen über die Zentralketten bis gegen die Karawanken hin statt.

- III. In den Becken und Tälern des östlichen Alpengebietes

¹⁾ Nicht besprochen wurden die Perioden: 11.—18. Juni 1912 und 5.—13. Juli 1909.

lagert warme aufgelockerte Luft, die der Entstehung von lokalen Depressionen in diesen Gebieten günstig ist. Beim Hereindringen der kalten Nordluft kondensiert sich unter Gewittererscheinungen der kontinentale Wasserdampf der abgekühlten Luftmassen.



Fig. 3. Isobaren des 19. Juli 1913.

IV. Das Maximum dringt weiter ostwärts vor. Die kalte Luft fließt über die Zentralketten und dringt ins Bereich der Poebene ein. Im Lee des Gebirges entstehen Wirbel und durch das Zusammentreffen der ungleich warmen Luftmassen werden längs des Alpensüdrandes Gewitterregen verursacht, die sich meist auch über das ganze mittlere Italien ausdehnen.

Allmählich wird die südliche Depression ausgefüllt und das Maximum beherrscht die Situation. Die Wetterlagen in Fig. 4 und 5 sind für das Alpengebiet vollkommen gleichwertig und bedeuten das Ende der Sommerregenperiode.

Entsprechend den Stadien II, III und IV der typischen Wetterlage bilden sich drei verschiedene Regenzentren aus.

1. Das primäre Regenzentrum der Nordseite: Es entsteht durch den Stau und das Aufsteigen der Luftmassen am Alpennordrande. Die großen Längstäler von Inn, Salzach und

Enns scheiden die intensiv überregnete Nordseite von dem wiederum stärker überregneten Zentralkamm. Es handelt sich um echten Geländeregen.

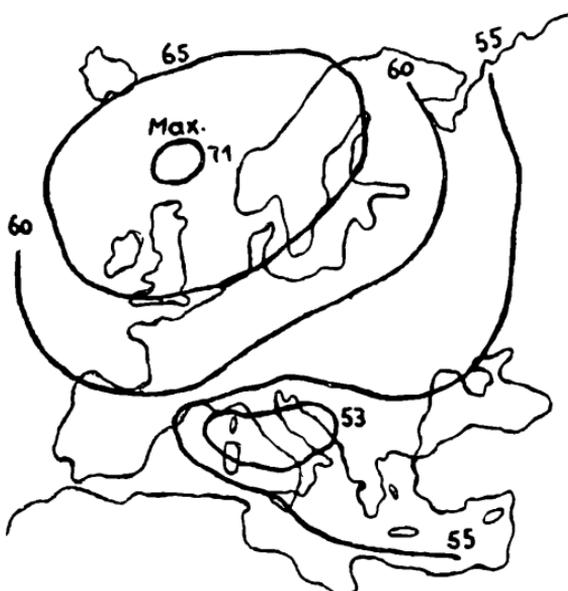


Fig. 4. Isobaren des 24. Juli 1913.

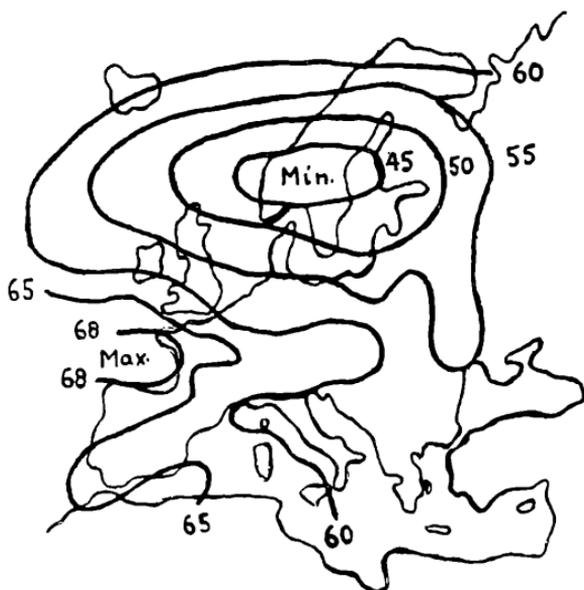


Fig. 5. Isobaren des 15. Juni 1912.

2. Das sekundäre Zentrum auf der Alpenostseite. Es entsteht in dem unter III charakterisierten Stadium. Die aufgelockerte Luft kommt erst in der Höhe zur Kondensation,

die Gewitterregen ergießen sich mit gleicher Heftigkeit über Berg und Tal.

3. Das sekundäre Zentrum längs des Südrandes der Alpen. Auch hier handelt es sich um Gewitterregen, die während des unter IV charakterisierten Stadiums niedergehen und sich gleichmäßig über Berg und Tal zu ergießen pflegen.

Das Nordzentrum hat mit dem Ostzentrum, letzteres mit dem Südzentrum eine Durchdringungszone gemeinsam, während Nordzentrum und Südzentrum durch die inneralpine Trockenzone scharf voneinander geschieden werden.

Sobald sich die in II bis IV genannten meteorologischen Momente nicht glücklich kombinieren, treten Störungen in der typischen Regenverteilung auf, indem entweder das Ostzentrum wenig oder gar nicht hervortritt oder das Nordzentrum von relativ geringer und sehr ungleicher Intensität ist usw.

An zwei Stellen — abgesehen vom östlichen Alpengebiete — nämlich zwischen Hohen Tauern und Ötztaler Alpen und zwischen letzteren und den schweizerischen Zentralketten vermag die kühle Nordluft auch in den unteren Schichten relativ leicht auf die Südseite vorzudringen. Im Alpeninnern erhöht sich an diesen Stellen die Kondensation wegen der absteigenden Luftbewegung nicht bedeutend, so daß man nicht gut von „Regenstraßen“ sprechen kann. Sobald aber die südwärts dringende Kaltluft mit der aufgelockerten Luft der Poebene zusammentrifft, wird sich in der Fortsetzung der beiden „Zuglöcher“ der Polarströmung die Kondensation am Alpensüdhang besonders verstärken. Natürliche Abflußrinnen für die tieferen Schichten der kalten Luft sind die Comerseefurche und das Etschtal¹⁾. Die Bewegung der höheren Luftschichten ist offenbar nicht mehr vom Relief abhängig.

¹⁾ Das Vordringen der kalten Luft ist meist mit heftigen Sturmböen und Gewittern verbunden. In einem Aufsätze über „Die Gewitter in Südtirol im Sommer 1917“ (Met. Zeitschr. 1918) schreibt Dr. ERNST NOWAK: „Die verhältnismäßig auch öfter beobachtete Zugrichtung aus N hängt offenbar damit zusammen, daß das mit Kälteeinbrüchen verbundene Vordringen des hohen Luftdruckes über den Westalpen und deren nördliches Vorland im Sommer 1917 fast stets von Gewittern begleitet war, und diese naturgemäß mit der bei solchen „Westkeilsituationen“ bis tief hinabreichenden kräftigen Nordströmung zogen.“

Kapitel IV.

Wetterlage und Regenverteilung bei drei ausgewählten Herbstperioden.

§ 10. Die Regenperiode 21.—23. Oktober 1912.

Der Oktober 1912 zeichnete sich durch besonders kühle und trübe Witterung aus. Auch ist der Niederschlagsreichtum weit übernormal und erreicht in einzelnen Gebieten gar das anderthalbfache des durchschnittlichen Wertes. Der Temperatúrausfall beziffert sich für die Schweiz auf mehr als 1° und die Bewölkungsverhältnisse waren derart abnorm, daß die Registrierung der Sonnenscheindauer einen Ausfall von 30—40 Stunden ergab.

Ein ausgedehntes Maximum des Luftdruckes lag während des größten Teiles der ersten Monatshälfte über dem europäischen Festlande und verursachte auch im Alpengebiete ungewöhnlich tiefe Temperaturen, auf deren Rechnung hauptsächlich das oben besagte Temperaturdefizit von 1° zu setzen ist.

Am 19. aber beginnt eine andere Wetterlage den Kontinent zu beherrschen durch das Hereinbrechen einer nördlichen, mit ihrem Kern über dem Eismeere gelegenen Depression, welche am 18. über Island eine Tiefe von 725 mm erreicht. Ein von Frankreich her östlich vorspringender Hochdruckkeil verursacht am 18. für das südlichere Mitteleuropa noch einmal vorübergehende Aufheiterung. Alsdann aber greift auch im Alpengebiete während des ganzen Restes des Monats trübe und nasse Witterung Platz mit zum Teil recht niedrigen Temperaturen, so daß der atmosphärische Wasserdampf teilweise in fester Form niederging.

Am 21. lag der Kern der nördlichen Depression mit 739 mm Druck über den britischen Inseln. Die ausgedehnte Depression erstreckte ihren Einfluß über den ganzen Kontinent. Im Mittelmeere ist es indessen schon am Vortage zu einer sackförmigen Ausbuchtung der 760 mm-Isobare gekommen, die sich bis zum folgenden Tage zu einer selbständigen sekundären „Genua-Zyklone“¹⁾ entwickelt hat mit einem Kern von 746 mm über Ligurien und Piemont.

¹⁾ Siehe v. FICKER, „Der Einfluß der Alpen auf Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer.“ (Met. Zeitschr. 1920.)

Am 21. hat die Depression innerhalb der 755 mm-Isobare fast das ganze Frankreich eingenommen und die 760 mm-Isobare läuft — abgesehen von einer charakteristischen Biegung über den Alpenketten — im wesentlichen in nordsüdlicher Richtung, so daß die Strömungslinien der Luft angenähert süd-nördlichen Verlauf haben, im Schweizer Mittellande infolge der Umbiegung der Isobaren vor den Alpenketten südwest-nordöstlichen.

Man kann aus den Beobachtungen der Windrichtung auf den Gipfeln von Rigi und Säntis deutlich ersehen, wie die Luft durch diese Umbiegung der Isobaren vor den Alpenketten, die durch folgendes Schema charakterisiert werden soll, in eine südwest-



Fig. 6.

nordöstliche Richtung gedrängt wird, während sie — am Morgen des 21. — die Zentralketten noch in süd-nördlicher Richtung überschreitet.

Ich lasse zur Verdeutlichung des Gesagten die Temperatur- und Windbeobachtungen der Gipfelstationen der Schweiz folgen:

	Temperatur					Abweich. vom Nor- malst.	Windrichtung und Stärke		
	7 ³⁰	1 ³⁰	9 ³⁰	Mittel	7 ³⁰		1 ⁰⁰	9 ³⁰	
Rigi:	21.	1,0	2,4	2,0	1,8	-0,2	SW ₃	NW ₀	NW ₂
	22.	-3,8	-4,0	-4,4	-4,1	-6,0	N ₁	NW ₁	NW ₃
	23.	-4,8	-1,2	-4,0	-3,3	-5,1	W ₃	SE ₂	E ₁₋₂
Säntis:	21.	-4,9	-2,0	-3,2	-3,4	-1,6	SW ₂	WSW ₃	WSW ₄
	22.	-5,5	-8,3	-8,9	-7,6	-5,7	NE ₀	WSW ₃	SW ₁
	23.	-8,4	-8,8	-9,2	-8,8	-6,7	WSW ₁	SW ₂	WSW ₃
St. Gotthard:	21.	-1,6	-0,9	-2,3	-1,6	-1,6	S ₂	S ₂	S ₂
	22.	-3,8	-6,3	-6,4	-5,5	-5,3	S ₂	N ₃	N ₁₋₂
	23.	-7,0	-5,8	-5,0	-5,9	-5,6	N ₂	N ₀	SE ₁

Schon gegen Mittag des 21. macht sich — man achte auf die Winddrehung auf dem Rigi — das Herannahen der kalten Front bemerkbar. Die Isothermen des 21. von 10⁰ bis 6⁰ laufen in der Schweiz annähernd senkrecht zu den Isobaren und ziemlich dicht geschart, woraus verständlich wird, daß die von Süden herbeige-

führen warmen Luftmassen durch die beträchtliche Abkühlung über dem Schweizer Mittellande ihren Wasserdampf zu kondensieren gezwungen sind, so daß es in der gesamten Schweiz (etwa nur mit Ausnahme der Gegend des Neuenburger Sees) zu ausgedehnten Niederschlägen kommt, die in ihrer Ausdehnung jedoch etwa die Rheintalgrenze respektieren. Vor dem Regenfall ist im Rheintale ein schwacher Föhnstoß nachzuweisen. (Auch auf der nicht sehr günstig exponierten Station Feldkirch beträgt die Temperaturerhöhung vom Mittag des 20. bis zum Mittag des 21. etwa 3°.)

Am 22. kommt es zu der oben besagten Ausbildung der „Genua-Zyklone“, die auf der gesamten Alpensüdseite, namentlich auch im Etschtale und in Venetien, heftige Niederschläge herbeiführt und über Istrien und dem Karst Scirocco verursacht.

Gleichzeitig mit der Umkehr der Strömungsrichtung (vgl. auch die obige Tabelle) setzt, wie gesagt, ein beträchtlicher Temperaturfall ein. Die Temperaturdifferenz vom 21. zum 22. beträgt, wie die Tabelle zeigt, auf dem Rigi 5,9°, auf dem Säntis 4,2° und auf dem St. Gotthard 3,9°. Aus der Isothermenkarte des 22. ist deutlich zu ersehen, wie von Norden und Nordosten kalte Luftmassen von der Depression angezogen werden und auf ihrer Rückseite eine Zunge kalter Luft bis über die Rhonemündung hinausreicht (Mistral-Situation).

Auch dieser zweite Tag bringt der gesamten Schweiz ausgedehnte Niederschläge.

Die mediterrane Depression hat am 23. ihre Basis beträchtlich erweitert und ist am 24. bis auf eine Tiefdruckrinne von 754 mm verflacht. Ein schmaler Keil hohen Druckes von SW her verursacht im Alpengebiete vorübergehende Aufheiterung.

Sehen wir die Ausdehnung des südl. Regenzentrums etwas näher an, so bemerken wir zunächst, daß in den Ostalpen die Ketten der Karawanken eine so wirksame Sperrkraft besitzen, daß wir getrost das nördlich derselben gelegene Gebiet in unserem Sinne zur „Nordseite“ rechnen dürfen; denn auch die kühle Nordluft vermag, wie wir gesehen haben, in den Ostalpen leicht bis gegen die Karawankenketten vorzudringen. Die eigentliche Zentralkette (Tauernkette) hebt sich demnach als Regeninsel heraus.

Versuchen wir nunmehr einen Vergleich zwischen unserem herbstlichen Südzentrum mit dem Nordzentrum der Sommerperioden, so fällt auf, daß sich unser Südzentrum nicht annähernd so gleichmäßig über die ganze Alpensüdseite verteilt wie das Nordzentrum

über deren Nordseite. Vielmehr bemerken wir sozusagen mehrere Stoßrichtungen, mehrere nach Norden vordringende „Regenstraßen“.

Deren eine sei bezeichnet durch die Gebiete: Julische Alpen — Karnische Ketten — Hohe Tauern; die zweite zieht im Etschtale aufwärts und endigt über den Öztaler Alpen, und die dritte sei angedeutet durch die Namen: Tessingebiet — Rheintal. Natürlich muß der Regen innerhalb des Südzentrums mit der Depression von Westen nach Osten fortschreiten, so daß die Herbstperiode im Tessingebiet beginnt und dann sich schnell über das Etschgebiet und Venetien ausbreitet. Dreimal sind bei solchem Fortschreiten die natürlichen Bedingungen für ein Nordwärtsdringen gegeben, einmal wahrscheinlich

durch die meteorologischen Verhältnisse in der Schweiz, wo das Hereinbrechen kühler Nordluft auf der Rückseite des ostwärts wandernden Tiefdruckes von Einfluß sein dürfte. Da diese Verhältnisse mit ihren interessanten Wirkungen auf den Regenfall in anderen Perioden charakteristischer ausgeprägt sind, als in der jetzt besprochenen, so will ich an dieser Stelle nicht näher darauf eingehen.

Zweitens durch das breite Etschquertal. Und zwar findet hier die Kondensation außer auf den Höhen der Dolomiten und im Tale selbst vornehmlich im Gebiete der westlichen Seitentäler der Etsch statt. Über das Längstal des Vinschgaues geht die feuchtigkeitsbeladene Luft hinweg (nicht ohne daß natürlich auch hier relativ starke Regenfälle auftreten) und stößt nun gegen die Südhänge der Öztaler Alpen, wo sie nochmals zu intensiver Kondensation gezwungen wird. Die ganzen Öztaler Alpen samt deren Nordseite gehören noch mit zum südlichen Regenzentrum. An dieser Stelle dehnt es sich am weitesten nördlich aus, während weiter östlich die Zillertaler Alpen mit ihren bequemeren Übergängen weniger überregnet werden. Gerade dort, wo das Gebirge am höchsten ist, schlägt der Regen nordwärts herüber.

Drittens endlich durch die Nähe der Adria. Hier ist der Feuchtigkeitsgehalt der über dem Meere heranwehenden Luft so unerschöpflich, daß die gewaltigen Kondensatoren der Karawanken, der Julischen und Karnischen Alpen nicht fähig sind, all das heranbrandende atmosphärische Wasser aufzuhalten, so daß einzelne Wellen nach Norden bis gegen die Tauernketten herüberschlagen.

Der zur Kondensation gelangende atmosphärische Wasserdampf ist natürlich in der Hauptsache ozeanischer Herkunft; jedoch möchte ich die Vermutung aussprechen, daß ein Teil desselben, der im Tessin- und Etschgebiete kondensiert wird, auch kontinentaler Herkunft sein mag.

Zwischen den „Regenstraßen“ liegen, wie man sieht, jeweils die Gebiete geringeren Regenfalles. Als solche treten hervor die ostalpinen Becken, das Rienzertal nebst der Luvseite der Zillertaler Alpen, sowie drittens das Oberengadin. Niederschlagsfrei ist auch das östliche Alpenvorland, während die Schweiz eine ziemlich gleichmäßige Überregnung erfährt, da sie ja, wie wir gesehen haben, im Bereiche der über Frankreich südwärts dringenden Depression lag. Auch hier finden sich jedoch im Lee des Jura und im oberen Rhonetal niederschlagsärmere Gebiete.

War der Regen des Primärzentrums bei Sommerperioden durch hohen Druck und Luftstauung am Alpenrande verursacht, so sehen wir in dem Regen unserer Herbstperiode die Spur einer von Frankreich her südwärts der Alpen auf der Va-Straße vorübergezogenen Depression. Sehen wir unsere Periode als einen Repräsentanten des Herbstregentypus an, so ergibt sich aus den Konsequenzen dieser Tatsache die einfache Erklärung für die charakteristische Verschiedenheit der Ausbreitung der Hauptregenzentren bei Sommer- und Herbstperioden.

§ 11. Die Regenperiode 19.—25. September 1911¹⁾.

Das Jahr 1911 war für Mitteleuropa das bekannte Trockenjahr. Ich habe im Jahre 1911 keine einzige für meine Zwecke brauchbare Sommerperiode finden können, wohl aber drei recht gute Herbstperioden. Denn die Niederschlagsmengen der Alpensüdseite bleiben durchweg nicht unter den normalen. Nachdem R. BILLWILLER in seinem Jahresbericht in den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt die ungewöhnliche Wärme und Trockenheit des Jahres anschaulich gemacht hat, setzt er betonend hinzu: „Das für die verschiedenen Elemente Gesagte gilt für den Nordfuß der Alpen; im Tessin zeigt das Jahresmittel der Temperatur nur eine geringe positive Anomalie, die Niederschläge übersteigen die normalen nicht unbeträchtlich und die Sonnenscheindauer weist ein kleines Defizit auf.“

Die erste Hälfte des September fiel noch in die große Trockenperiode, die erst mit dem am 14. einsetzenden Wetterumschlag ihr

¹⁾ Hierzu Karte Nr. 4.

Ende erreichte. Indessen machte sich die Wärme und Sonnenscheindauer der ersten Monathälfte in den Monatsmitteln noch stark bemerkbar, so daß wir im Monatsmittel eine positive Temperatur-anomalie von $+ 2^{\circ}$ und (in der Schweiz) an Sonnenscheindauer ein Plus von 40 Stunden haben.

Der Wetterumschlag beginnt mit dem Hereinbrechen einer nördlichen Depression, die ihren Einfluß sogleich auch über Südeuropa erstreckt. Nachdem vorübergehend hoher Druck sie wieder aus dem Süden verdrängte, rückt sie am 21. endgültig gegen die Alpen vor und bildet südlich derselben eine Teildepression aus.

Aber auch im nördlichen Alpenvorlande liegt am 21. noch eine Furche niederen Druckes!

Während der folgenden beiden Tage vertieft sich die mediterrane Depression bis auf 749 mm, um bereits am 24. beträchtlich zu verflachen und am 25. als solche gänzlich zu verschwinden.

Gleichzeitig findet, wie die Isothermenkarten deutlich zeigen, während unserer Periode ein beträchtlicher Kälteeinbruch von NW her statt, ähnlich wie während der im vorigen Paragraphen besprochenen Periode, wie ja auch der Typus des Witterungsverlaufes im wesentlichen als derselbe erscheint.

Nur ein Phänomen tritt während der jetzigen Periode besonders akzentuiert auf und hat auf die Niederschlagsverteilung, wie wir gleich sehen werden, einen ganz besonderen Einfluß: die Tiefdruckrinne im Alpenvorlande am 21.

An diesem Tage ist die südalpine sekundäre Depression noch in statu nascendi, und so kann der nördliche tiefe Druck seine aus der Föhntheorie bekannte Wirkung ausüben auf die Luftmassen der alpinen Quertäler.

Die außerordentliche Wirkung des Rheinquertales auf die Kondensation auch seines weiteren Nachbargebietes während unserer Periode ist außerordentlich interessant. Studieren wir daraufhin etwas genauer die Wetterlage am 20. und 21.

Seit dem 20. liegt über dem Alpengebiete ein Keil hohen Druckes, der sich von NE vorschob, wo zwischen Alpen und Nordkarpathen ein kleines Maximum von 765 mm lag. Dieser Hochdruckkeil weicht aber anscheinend noch im Laufe des 20. vor dem von NW herannahenden großen Tief zurück und legt sich auf die Alpensüdseite, während auf der Nordseite die besagte Tiefdruckrinne sich bildet.

Zwischen Nord- und Südseite haben wir am 21. morgens einen

Druckunterschied von etwa 4 mm, mithin eine Südföhnsituation. In der Tat schließen wir leicht aus den Temperatur-, Wind- und Feuchtigkeitsregistrierungen der in Betracht kommenden Stationen, daß der Südföhn vom Mittag des 20. bis zum Morgen des 21. ange dauert hat.

Namentlich im Rheintale war er charakteristisch ausgeprägt. Noch in Bregenz, wo der Bodensee nachweislich den Temperaturanstieg beträchtlich gemildert hat, bemerken wir am 20. gegen den Vortag eine Temperaturerhöhung von 4° (Mittag des 19. 17°, Mittag des 20. 21°). Der Gotthard verzeichnet vom Mittag des 20. bis zum Morgen des 21. starken Südwind. Das Rheinquertal und das obere Graubünden erfahren eine deutliche Erwärmung.

Am Nachmittage des 21. erfolgt der Wettersturz. Ungemein schnell ist die nordalpine Tiefdruckrinne aufgefüllt. Auf der Alpensüdseite hat sich ein selbständiges Teiltief der nordwestlichen Hauptdepression gebildet. Zwischen beide Niederdruckgebiete schiebt sich von dem über Spanien gelegenen Hochdruckgebiete ein Keil hohen Druckes bis weit in das Alpenvorland. Plötzlich ist also die Situation gerade in die entgegengesetzte übergegangen: im Alpenvorlande ein (wenn auch nicht starker) Hochdruckkeil, auf der Südseite ein Tiefdruckgebiet.

Dabei beobachten wir wie in der Regel bei den herbstlichen nordmediterranen Depressionen ein Südwärtsfließen kalter Luft westlich der Alpen im Rhonetal abwärts auf die zyklonale Rückseite (Mistral!). Ich habe keinen Anlaß, im Rahmen dieser Arbeit, die sich in erster Linie das Studium der geographischen Verbreitung der Niederschläge zur Aufgabe gesetzt hat, die rein meteorologischen Ursachen für das Zustandekommen der Niederschläge im Rheintale zu untersuchen. Ich kann hier nur soviel feststellen, daß diese Niederschläge genau dann einsetzen, wenn die kalte Front bis zu den westlichen Zentralketten vorgestoßen ist.

Am Nachmittag und Abend des 21., als die kalten Luftmassen mit Heftigkeit von Norden her über die Alpen und westlich von der Rhonemündung her gegen die mediterrane Depression vordringen, sind die Niederschläge auf der Alpensüdseite als auch fast im ganzen übrigen Bereiche der Depression mit starken Gewittern verbunden. Am 22. und 23., da die Depression am kräftigsten ausgebildet ist, haben wir auf dem Karst starken Scirocco, der in Istrien und im Krainer Schneeberggebiet intensive Regenfälle verursachte.

Wie die Regenkarte zeigt, haben wir es mit einer recht kräftigen und gut ausgebildeten Periode zu tun, so daß durchweg die Hauptregengebiete innerhalb der 100 mm-Isohyete liegen. Niederschlagsfreie Stationen kommen im ganzen Alpengebiete überhaupt nicht vor, im Alpenvorlande nur in dessen östlichem Winkel.

Um so deutlicher aber treten die drei „Regenstraßen“ hervor, namentlich die „Rheinstraße“. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß hier gegen alle Erwartung, aber dennoch in guter Übereinstimmung mit der oben mitgeteilten Wetterlage, der Regenfall im Rheintale und im oberen Graubünden weit intensiver ist als auf der Luvseite der südlichen Zentralketten: Airolo 53,7, Faido 68,5, Comprovasco 78,5, Misox 76,2, Bernhardin 55,6 mm gegen Vrin 153,2, Vals 125,6, Hinterrhein 140,3, Splügen 158,0 mm. Besonders drastisch ist der Vergleich Bernhardin—Hinterrhein, wo wir eine Differenz von 84,7 mm konstatieren. Man vergleiche auch die Stationen des Ober-Engadin mit den nach NW geneigten Tälern, des Hinterrhein, Sils-Maria 78 mit Stalla 119,6 mm usw. Deutlich spricht auch der Vergleich der eigentlich luvseitig am Nordhange des Vorderrheintales gelegenen Station Panix 63,8 mit der Talstation Ilanz 106,2 mm.

Deutlich ausgebildet ist auch die „Etschtalstraße“; und zwar ist es wiederum nicht das rezente Etschtal, sondern das Gebiet der Etschtaler Alpen, in welchen das atmosphärische Wasser durch reichlichere Kondensation seine deutlichere Spur hinterläßt.

Gut erkennbar ist auch die dritte Regenstraße (Karstgebiet — Julische Alpen — Hohe Tauern). Sowohl über dem Karst als auch im Gebiete der Julischen Alpen sind enorme Beträge gemessen worden (Mompaderno 169,3, Groß Bergud 180,2, Hermsburg 201,9, St. Polaj 165,5, Flitsch 166,2 mm usw.). Zwischen dem Sciroccogebiet des Karstes und den Julischen Alpen findet sich ein wenig intensiv überregener Streifen etwa längs der Linie Laibach—Triest. Man sieht recht deutlich (auch in der vorigen Periode trat das hervor) wie die morphologische Grenze zwischen Alpen und dinarischem Gebirge sich auch pluviometrisch kenntlich macht.

Gewaltige Mauern stehen den heftig heranbrandenden Regenwogen entgegen in den Karnischen Alpen und Karawanken. Und gerade dort, wo das Kanaltal eine Bresche in diese Mauer schlägt, legt sich die zweite Mauer der Gailtaler Alpen mit dem mächtigen Kalkklotz der Villacher Alpe (Dobrač) sperrend davor. So wird durch die orographischen Verhältnisse gerade an der Stelle, wo die

Nähe der feuchtigkeitsspendenden Adria günstige Bedingungen schafft für ein weites Nordwärtsdringen des Herbstregens, letzteres durch das Relief recht wirksam verhindert. Hinzu kommt, wie ich annehme, daß die ostalpinen Becken und Täler durch die Ausfüllung mit kühler Luft vor der Feuchtigkeit der höheren Luftschichten, welche die sperrenden Ketten zu überqueren vermögen, geschützt sind¹⁾. Nur wo das Gebirge höher emporragt — in unserem Falle kommt außer den Hohen Tauern des Hochalmspitzgebietes u. a. der Gebirgsknoten des Königstuhles in Betracht — erreicht die Niederschlagshöhe beträchtliche Werte. — Zur Verdeutlichung des Gesagten vergleiche man etwa Neu-St. Leonhard a. Loibl (795 m, 135,0 mm) mit Klagenfurt (448 m, 40,2 mm), letzteres wieder mit der im Luv des Roseneck gelegenen Station St. Oswald (1310 m, 82,9 mm).

Zwischen den drei besprochenen Regenstraßen liegen die weniger überregneten Gebiete, die sich auf der Karte der jahreszeitlichen Verteilung als Gebiete mit verhältnismäßig großem relativen Sommerregenanteil erweisen, nämlich 1. Engadin, Ober-Inntal, Vinschgau, 2. Pustertal und Einzugsgebiet der Drau und 3. die ostalpinen Becken und Täler, namentlich das obere Mur- und Görtschitztal. — Das folgende Graphikon sucht die geschilderten Verhältnisse an-

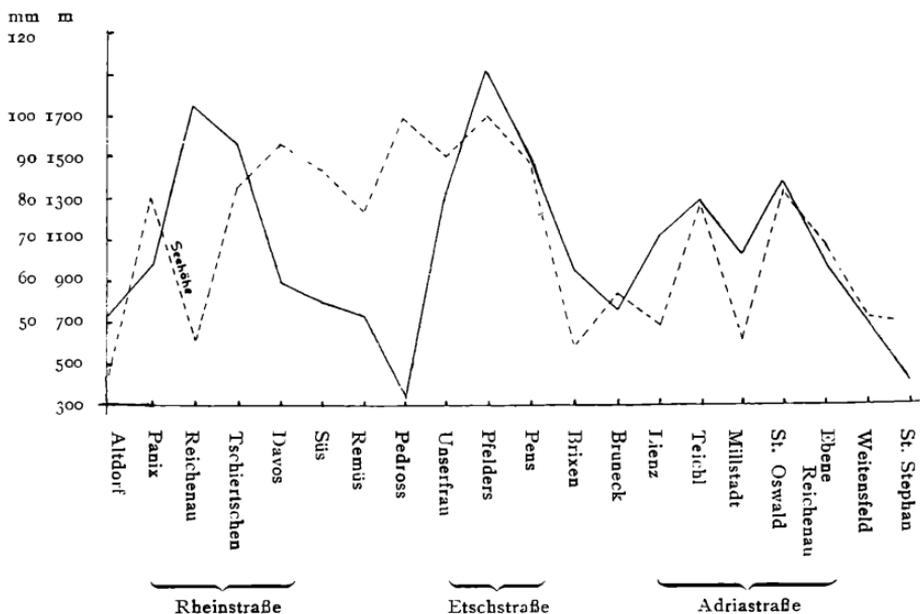


Fig. 7.

¹⁾ Vgl. weiter unten S. 76/77.

schaulich zu machen, indem es die Regenhöhen unseres Gebietes etwa längs 46°50' n. Br. zur Darstellung bringt.

Es ist kein Zweifel, daß wir mit der Entdeckung dieser offenbar typischen drei Herbstregenstraßen eine wichtige Erklärung gefunden haben für die in den langjährigen Mitteln sich ausprägende regionale Verschiedenheit der jährlichen Periode im Herbstregengebiet.

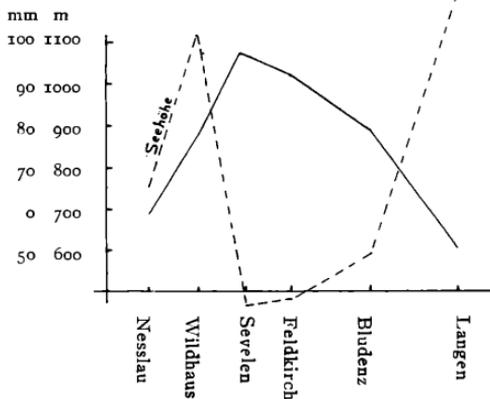


Fig. 8.

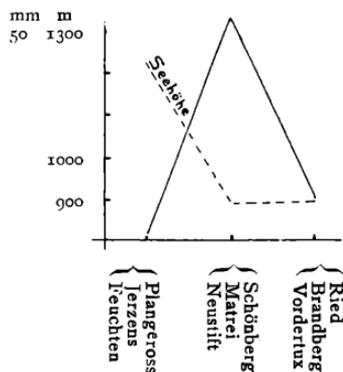


Fig. 9.

Fig. 8 u. 9. Regenfall im Rheintal und am Nordhange der Ötztaler Alpen.

Relativ weniger Regen erhält das Schweizer Mittelland und, wie bei allen Regenperioden, das obere Rhonetal, während der Jura und die Zentralketten samt ihren nördlichen Hängen wieder mehr Niederschlag empfangen.

§ 12. Die Regenperiode 14.—20. November 1909.

Hinsichtlich der mittleren Verhältnisse der einzelnen klimatischen Elemente kann man den November 1909 als annähernd normal bezeichnen, nur daß das Temperaturmittel der Alpennordseite ein kleines Defizit aufweist. In bezug auf den Witterungsverlauf lassen sich zwei Perioden deutlich unterscheiden: Eine warme trockene Periode während der ersten Dekade und eine kalte und feuchtere während des übrigen Monats. — Natürlich unterscheidet sich auch innerhalb dieser Perioden das Klima der Nordseite nicht unbeträchtlich von dem der Südseite, die im ganzen als zu trocken erscheint.

Die Herbstregenperiode, innerhalb deren im Süden die einzigen bedeutenderen Regenfälle des Monats niedergingen, war diejenige

vom 14.—20. mit dem Hauptregentage am 16. Und zwar ist diesmal, wie wir sehen werden, nicht wie bei den übrigen Herbstperioden das Regenzentrum mit einiger Gleichmäßigkeit über die Alpensüdseite verteilt, sondern es hat seinen Kern weit im Osten, über dem Dinarischen Gebirge, über Istrien (heftiger Scirocco) und den Julischen Alpen, während es nach Westen gegen die Südschweiz hin zusehends schwächer wird, ein Umstand, der uns diese Periode in Hinsicht auf die Regenverteilung in der Schweiz besonders interessant erscheinen läßt.

In der ersten Dekade herrschte über dem Westen und Süden des Kontinents hoher Druck, während sich das Minimum im hohen Norden befand und auf das Wetter in Mitteleuropa keinen Einfluß hatte. Diese Situation änderte sich langsam und stetig schon vom 11. ab, indem sich das Minimum südwärts ausdehnte, das Maximum nach SE zurückwich.

Am 14. hat sich der Kern des Maximums ostwärts über die Balkanhalbinsel verlagert, das Minimum aber sich auch über den atlantischen Ozean nach Süden vorgeschoben, und zwar kommt es noch am 14. zur Ausbildung einer Tiefdruckrinne über dem Golfe von Genua und der nördlichen Adria. Mit dieser Situation beginnt unsere Niederschlagsperiode, zunächst zwar noch kein Niederschlag, wohl aber namentlich im Süden überall vollbedeckter Himmel. (Über Istrien und dem Karst „Scirocco marzo“). Am 15. ist zwar die südalpine Tiefdruckrinne schon wieder aufgefüllt, aber von Westen her schiebt sich der tiefe Druck stark nach Osten vor und verlagert ein Teilminimum über das südwestliche Frankreich, so daß namentlich über den westlichen Alpen eine starke Südströmung entsteht, zumal — und dieser Umstand ist wiederum von Wichtigkeit — sich über dem Alpenvorlande eine Tiefdruckrinne gebildet hat, während, wie schon bei früheren Perioden, südlich der Alpen ein schwacher Hochdruckkeil nach W vorspringt. Der 15. bringt uns also die bei Herbstperioden, wie wir bereits sagen können, typische, dem Hauptniederschlagstag vorangehende Südföhn-situation, die sich namentlich wiederum im Rheintale auswirkt. Wir haben hier wie im benachbarten St. Gallen und Vorarlberg vom Morgen des 13. bis zum Morgen des 14. einen Temperatursprung von durchschnittlich mehr als 6° und ein etwa ebenso großes Plus gegenüber den Temperaturen des Alpenvorlandes.

Und nun erfolgt am 16., dem Hauptniederschlagstage, das uns bereits bekannte Umschlagen der Strömungsrichtung in der plötz-

lich auf die zyklonale Rückseite auch des südlichen Minimums gekommenen Schweiz. Die Regenkarte überzeugt uns von dem zu erwartenden Nordwärtsdringen des südlichen Regenzentrums längs des Rheintales, und zwar nicht so sehr im Tale selbst als auf den beiderseits benachbarten Bergen. Die Ursache liegt wohl hauptsächlich darin, daß die Intensität des Windes auf den Höhen eine größere ist als im Tale, so daß oben eine stärkere Mischung und Abkühlung stattfindet als unten. In Feldkirch (479 m) beträgt die mittlere Temperaturdifferenz vom 15. zum 16. $1,6^{\circ}$, während sie in Langen (1219 m) $2,6^{\circ}$ beträgt.

Im Südosten unseres Gebietes, auf der Vorderseite der Depression, tobt an diesem Tage ein wütender Scirocco und verursacht enorme Regengüsse.

Im übrigen wollen wir die Windverhältnisse, die bei der eigenartigen Ausdehnung und raschen Veränderlichkeit der südlichen Depression sehr kompliziert sind, nicht eingehender untersuchen. Uns interessiert vielmehr hier besonders, wie sich auch bei der ungewöhnlich geringen Intensität des südlichen Regenzentrums der Westseite letzteres ungestört über die Zentralketten hinweg längs des Rheintales nach Norden ausdehnt. Wir sehen die Ursache in der während der Föhnsituation herannahenden Kältewelle, welche wahrscheinlich vor den westlichen Alpen so lange zum Stillstand gebracht wird, als die mediterrane Depression kräftig genug ist, sie auf ihrer Rückseite festzuhalten. Der Gedanke mag durch folgendes Schema erläutert werden:

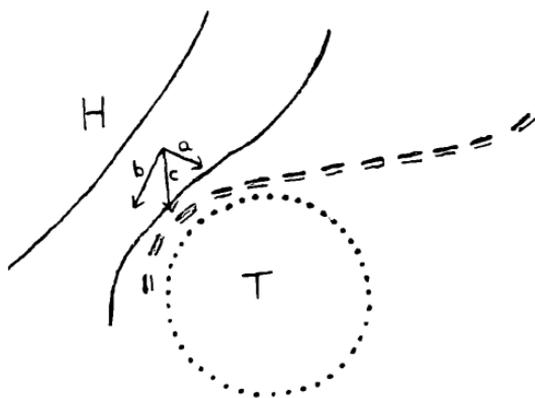


Fig. 10.

Darin sei a die Richtung der herannahenden Kältewelle, b die Strömungskomponente auf der Rückseite der südlichen Depression, die dem Vorrücken der kalten Front in Richtung a hinderlich ist.

Aus a und b ergibt sich die Resultante c, deren Richtung um so weniger von der Richtung a abweichen wird, je schwächer die südliche Depression, d. h. je kleiner der Vektor b wird. Sobald es nun der kühlen Luft gelungen sein wird, über die Rhonemündung ostwärts gegen das Tiefdruckgebiet vorzudringen, wird sich dieses schnell verflachen, bzw. ostwärts abwandern. Ebenso schnell wird sich aber mit dem Verschwinden der Komponente b die kalte Luft über die ganze Alpennordseite ausbreiten.

Nur einmal wird also die kalte Front bei ihrem Ostwärts wandern eine Zeitlang festgehalten durch die südliche Depression. Längs dieser „stationären“ Böenlinie entsteht die „Rheinstraße“, unabhängig von der Intensität des südlichen Regenzentrums als eine direkte Wirkung des mediterranen Tiefs.

Auf den ersten Blick fällt die Regenverteilung der Südseite auf durch ihre Inhomogenität. Das Gebiet intensivsten Regenfalles, wie es sich bei den anderen Perioden mit einiger Gleichmäßigkeit über die Alpensüdseite ausgedehnt hatte, beschränkt sich diesmal allein auf die Adriastraße. Namentlich im Gebiete des Karstes hatte ein heftiger Sciroccosturm starke Regenfälle verursacht. Auch in den Julischen und Karnischen Alpen sowie in den Karawanken sind über 100 mm, ja teilweise bis zu 200 mm gemessen worden (Flitsch, Karfreit).

Die Regenverteilung längs der ganzen Alpensüdseite läßt deutlich die vorwiegend südost-nordwestliche Strömungsrichtung erkennen. Dabei nimmt die Intensität des Regenfalles zusehends von Osten nach Westen ab, so daß in der Südschweiz die Gebiete innerhalb der 60 mm-Isohyete nur noch fleckenhaft auftreten. Trotzdem tritt sowohl die Etschstraße als auch die Rheinstraße recht deutlich hervor. Darin zeigt sich auch aufs beste, daß diese Regenfälle von der Intensität des südlichen Regenzentrums geradezu unabhängig sind. Namentlich gilt das von der Rheinstraße, die trotz des relativ wenig überregneten Tessingebietes bis weit auf die Alpennordseite vorstößt, wie ich bereits vorweg sagte.

In den Becken und Tälern des inneren Alpengebietes stagniert immerfort relativ kühle Luft, über welche die warme Südströmung hinweggleitet. Diese kühle Luft aber ist für die herbstliche Regenverteilung von großer Bedeutung, da sie das betreffende Gelände vor starkem Regenfall bewahrt. In Betracht kommen außer den ostalpinen Becken die zwischen den drei Regenstraßen gelegenen

Gebiete. Man vergleiche z. B. die Nordhänge der Ötztaler Alpen nebst dem Unter-Inntale mit dem Ober-Inntal, Engadin und Vinschgau. Freilich würde im Tale selbst auch ohne die darin ruhende kühle Luft weniger Niederschlag fallen, aber sehen wir einmal die Regenhöhen in der Umgebung des Unter-Vinschgaues an, so bemerken wir, daß sowohl der Nordhang der Ortler-Alpen als auch der Südhang der Ötztaler Alpen bis über 1800 m Höhe nicht mehr Niederschläge empfangen als die Talstationen des Vinschgaues, was mir darauf hindeuten scheint, daß die durch Ausstrahlung abgekühlte stagnierende Luft, über die die warme Südströmung in der Höhe hinweggleitet, eine wesentliche Rolle spielt. Ähnliches scheint, wie die Niederschlagskarte zeigt, vom oberen Murtal zu gelten.

Auch auf der Südseite der Hohen Tauern pflegen im eigentlichen luvseitigen Gebiete trockenere Inseln aufzutreten. Es handelt sich um quer zur Strömungsrichtung streichende Täler wie das Virgen- und Defreggental oder wie bei der Station Kals um eine ausgesprochene Kessellage.

Bei den Sommerperioden haben wir die Becken und Täler als Depressionen im kleinen kennen gelernt; jetzt sind es sozusagen lokale Antizyklonen mit geringem Regenfall. Im Winter endlich ist bekanntlich das ganze Alpengebiet eine einzige Antizyklone.

Sehr gut hebt sich die Strömungsrichtung auf der Karte dadurch ab, daß die zu derselben senkrechte Richtung längs einer Linie, die von Cles im Nocetal über Bozen und Brixen nordöstlich ins Ahrntal führt, durch relative Trockenheit hervortritt. In die gleiche Richtung fällt auch das obere Piavetal, während z. B. das Etschtal von Bozen bis Meran, weil seine Richtung mit der Strömungsrichtung zusammenfällt, auch kräftiger überregnet wird. Gegen die Schweiz hin werden die Strömungsverhältnisse wegen der Nähe der kalten Front komplizierter.

Eine kräftige Überregnung erfährt, wie man sieht, infolge des französischen Minimums am 15., das Gebiet des Jura und Genfer Sees. Gebiete mit weniger als 20 mm Niederschlag weist die Schweiz nur auf im Walliser Rhonetal und in der Gegend des westlichen Bodensees, im Kanton Thurgau, während dieses trockene Gebiet gegen Osten hin (mit charakteristischen Ausnahmen) bis an die Zentralketten heranreicht und, wo diese im Osten niedriger werden, sogar darüber hinaus bis fast gegen die Karawanken, so daß, entgegen der Erwartung, aber verständlich aus der Gesamtwetterlage, das Herbstregengebiet gerade dort, wo im Westen die

Zentralketten am höchsten emporsteigen, am weitesten darüber hinaus nordwärts vordringt, während im Osten die in den Becken und Tälern lagernde Kaltluft einen wirksamen Schutz bietet.

Zusammenfassung.

Stellen wir die allen herbstlichen Wetterlagen¹⁾ gemeinsamen Characteristica in einigen Stichworten zusammen, so ergibt sich zunächst hinsichtlich der mittleren Regenverhältnisse des Monats, in welchen eine Herbstperiode fällt, daß die Alpensüdseite meist zu kühl und feucht, die Nordseite zu warm und trocken ist. Im allgemeinen sieht man an den Monatsanomalien deutlich, ob der betreffende Monat gute Herbstperioden aufweist oder nicht. Jedoch kommen auch gute Herbstperioden in einem auf der Alpensüdseite zu trockenem Monat vor. Es liegt das an der relativen Kurzlebigkeit der diesen Perioden korrespondierenden Wetterlagen.

Was den typischen Verlauf einer Herbstregenwetterlage betrifft, so ergeben sich zwei Perioden, deren erste gleichsam den Auftakt bildet und die Gesamtsituation einleitet:

1. Periode: Großes Minimum über dem NW des Kontinentes (Kern über den Britischen Inseln oder dem Kanal), welches in der von FICKER beschriebenen Weise über dem westlichen Mittelmeere eine Teildepression bildet (Fig. 11). Das meist ostwärts wan-

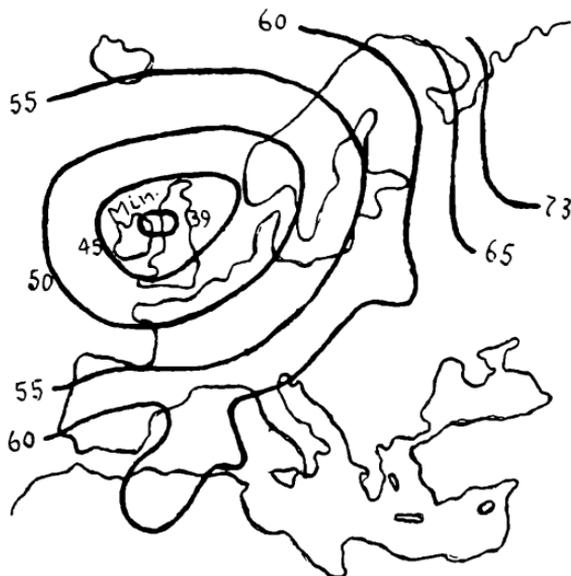


Fig. 11. Isobaren des 21. Okt. 1912.

¹⁾ Nicht besprochen wurden die Perioden: 3.—10. Okt. 1911 und 21.—29. Okt. 1911.

dernde Hauptminimum transportiert auf seiner Rückseite kalte Luft gegen die Alpen.

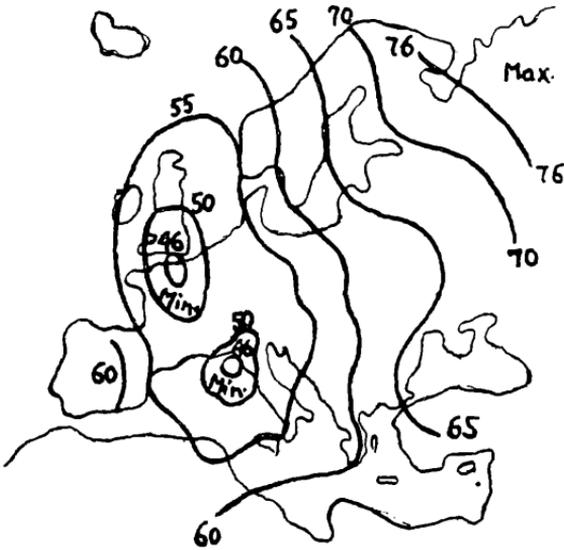


Fig. 12. Isobaren des 22. Okt. 1912.

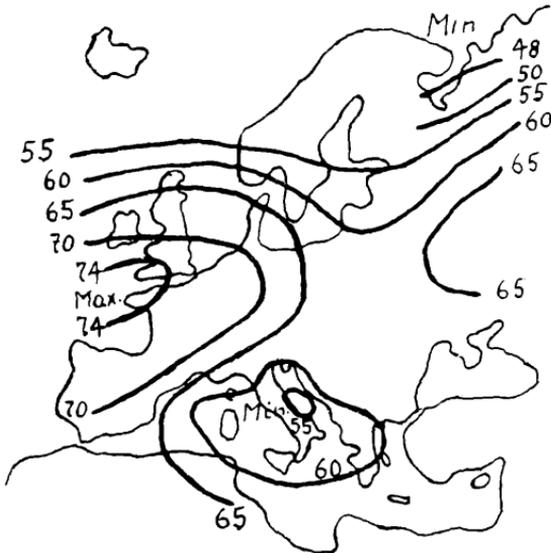


Fig. 13. Isobaren des 23. Sept. 1910.

2. Periode: Ostwärtswandern der südlichen Teildepression.

1. Stadium: Die Schweiz liegt auf der NE-Seite des Minimums. In den westlichen Alpen starke Südströmung. Regen-

fälle am Südhang. Relativ niederer Druck im Alpenvorlande. Südföhnsituation.

2. Stadium: Die Schweiz gelangt auf die NW-Seite des Südminimums. N-Strömung. Allgemeine Abkühlung. Regenschall namentlich längs der Böenlinie, die sich vor den westlichen Zentralketten befindet (und hier offenbar durch die Rückseitenwirkung der südlichen Depression eine Zeitlang festgehalten wird). Die nördliche Kaltluft dringt die Rhone abwärts auf die Rückseite der Depression (Mistral). Von W her dringt höherer Druck gegen den Kontinent vor (Fig. 12).
3. Stadium: Der Kern der Süddepression liegt auf der adriatischen Seite. Starker Scirocco über dem Karst (Fig. 13).

An drei Stellen erkennen wir auf allen Regenkarten ein besonders weites Nordwärtsstoßen des südlichen Zentrums und entdecken entsprechend drei Hauptregenstraßen, die ihre Entstehung teils meteorologischen, teils morphologischen Verhältnissen verdanken.

1. Die Rheinstraße: Die Entstehung derselben fällt in das zweite Stadium der zweiten Periode (s. o.). Sie wird verursacht durch die vor den westlichen Zentralketten lagernde kalte Front, vor der die warme Südluft emporsteigt.
2. Die Etschstraße, die über die Etschtaler Alpen gegen die Ötztaler Alpen nordwärts führt. Im 3. Stadium (s. o.), das nicht immer gut ausgeprägt ist, pflegt sich diese Regenstraße über die Nordhänge der Ötztaler Alpen zu verlängern.
3. Die Adriastraße in der Verlängerung der Längsachse der Adria, von den Julischen Alpen gegen die Hohen Tauern. Infolge der in den Niederungen stagnierenden kühleren Luft werden zwischen Karnischen Ketten und Tauern nur hochgelegene Partien intensiv überregnet.

Die Schweiz erfährt wegen der Nähe des über Frankreich nach S ziehenden Tiefs auch nordwärts eine relativ starke Überregnung, so daß die Zentralketten gerade in der Gegend ihrer höchsten Erhebungen als Regenscheide weniger wirksam werden.

Kapitel V.

Die mittlere Regenverteilung bei Sommer- und Herbstperioden ¹⁾.

Nachdem ich in den beiden vorigen Kapiteln typische Einzelperioden nach Wetterlage und Regenverteilung beschrieben und je zum Schluß die wesentlichen, aus allen untersuchten Perioden abgeleiteten, also „typischen“ Momente zusammengestellt habe, werde ich in diesem letzten Kapitel den idealen Sommer- und Herbstregentypen auf eine andere Weise näher zu kommen versuchen, indem ich alle Einzelfälle zu Mitteln vereinige. Es hat sich im letzten Kapitel herausgestellt, daß der typischen Regenverteilung jeweils auch eine typische Wetterlage korrespondiert. Wir erhalten daher nunmehr die mittleren Niederschlagswerte bei typischen Wetterlagen. Bei den langjährigen Mitteln des konventionellen Sommer- bzw. Herbstzeitraums ergeben sich einige Schwierigkeiten bei der Frage, ob sie sich tatsächlich nur aus typischen Einzelfällen zusammensetzen. Störend müssen hier namentlich die Niederschlagswerte in den Übergangsmonaten wirken, da man zweifellos einen großen Teil sowohl der Mai- als auch der Septemberregen ihrem Charakter nach zu den Sommerregen zu rechnen hat, während sie konventionell zu den Frühjahrs- bzw. Herbstregen gerechnet werden. Schon dieser Umstand muß aber eine Verzerrung der typischen Verhältnisse zur Folge haben, abgesehen davon, daß nicht alle Niederschläge, die mitten im Sommerquartal fallen, einer typischen Sommerperiode angehören. Entsprechend in den übrigen Jahreszeiten. Verwendet man dagegen nur solche Einzelwerte zur Mittelbildung, die bei einer hinsichtlich der Gesamtwetterlage charakteristischen Druckverteilung registriert worden sind, so hat man damit nicht nur eine mittlere, sondern auch eine typische Regenverteilung. Eine solche Mittelbildung nimmt eben nicht nur Rücksicht auf das rein zeitliche Auftreten der Niederschläge, sondern auch auf ihren Kausalzusammenhang mit der Wetterlage.

Auch die mittleren Relativwerte habe ich kartographisch dargestellt und die ungleiche Dauer der Perioden durch Koeffizientenbildung eliminiert. Man ersieht daher aus den betreffenden ²⁾ Karten sofort, das Wievielfache des „Normalwertes“ (d. h. derjenigen Regenmenge, die bei ideal gleichmäßiger Regenverteilung über das

1) Hierzu Karte Nr. 5 u. 6.

2) hier nicht veröffentlichten

ganze Jahr während einer Periode fallen würde) an einer bestimmten Station während einer Sommer- bzw. Herbstperiode durchschnittlich niedergehen wird, von welcher Dauer dieselbe auch immer sei. Auch in den Tabellen habe ich neben den prozentischen Einzelwerten noch die Koeffizienten angegeben, da dieselben viel besser als die Prozentwerte über die „typische Anomalie“ des Regenfalles orientieren. — Fragen wir uns beispielsweise wieviel Niederschlag voraussichtlich während einer 4-tägigen Herbstperiode in Klagenfurt fallen wird. Der „Normalwert“ beträgt für 4 Tage $\frac{4 \cdot 100}{365} = 1,09 \%$, der Koeffizientenwert beträgt, wie wir aus der Karte oder aus der Tabelle ablesen, für Klagenfurt 3,7, d. h. es wird während einer kräftigen 4-tägigen Herbstperiode $3,7 \times 1,09 = 4,03 \%$ der Jahressumme oder 41,5 mm Regen fallen.

Es kommt mir jetzt darauf an, die mittlere Niederschlagsverteilung bei typischen Sommer- bzw. Herbstperioden zu beschreiben, namentlich unter Berücksichtigung der Wetterverhältnisse, die wir im früheren als einflußreich kennen gelernt haben. Daß sich dabei einiges früher Gesagte wiederholt, wolle man im Interesse des ganzen Zusammenhangs entschuldigen.

I. Die Sommerperioden.

§ 13. Der Anteil leeseitiger Regen (Zyklonalregen)¹⁾.

Sowohl die Karte der absoluten als auch diejenige der relativen Regenmenge zeigt uns wiederum, daß die Sommerregen, wenn auch bei weitem vorwiegend, so doch nicht ausschließlich auf der Alpennordseite niedergehen, sondern in viel höherem Grade als man seither annahm auch Regen der Ost- und Südseite von Bedeutung sind. Regenarm bleibt lediglich eine inneralpine Trockenzone, die vom Gebiete der oberen Mur sich südwärts der Zentralketten bis ins obere Rhonetal hinzieht, und zu der man auch noch das westliche Etschgebiet zu rechnen hat.

Für die restlose Aufklärung der Ursachen für die Zyklonalregen würde eine eingehende meteorologische Untersuchung über die Luftdruckverhältnisse in den Alpen von größtem Werte sein. Die aufgelockerte Luft namentlich über den Talbecken und Niederungen der Alpenostseite bewirkt offenbar das Zustandekommen lokaler Depressionen, in die die kalten, von Norden kommenden

¹⁾ Siehe die Anmerkung S. 35.

Luftmassen mit Heftigkeit hereindringen und die feuchtwarme Luft abkühlen und zur Kondensation zwingen. In großartiger Weise scheint das der Fall zu sein über der Ungarischen Niederung. Wie uns aber die Periode vom 18.—25. Juli 1913 gezeigt hat, kann sich auch im rings abgeschlossenen Klagenfurter Becken eine örtliche Depression ausbilden.

Wie wir gesehen haben, sind die Alpen eine markante Klimascheide besonders dadurch, daß sie, allerdings namentlich in der kühleren Jahreshälfte, „eine wirksame Sperre zwischen Äquatorial- und Polarströmen bilden“¹⁾. Was den Polarstrom betrifft, so weiß man, daß die Sperre der Alpenmauer „nur zwei bedeutende Lücken“ hat, „die eine in der Nordostecke des Adriatischen Meeres (Karstbora), die andere zwischen Pyrenäen und Alpen, vorzüglich in der unteren Rhonegegend (Mistral)²⁾“. Unsere Karten zeigen, daß innerhalb der Alpenmauer noch zwei weitere, wenn auch weniger bedeutungsvolle Lücken vorhanden sind, nämlich einmal längs einer Linie Rheintal—Graubünden (Richtung Comersee), zweitens über die Zillertaler Alpen gegen die Dolomiten. Mit dem an diesen beiden Stellen vordringenden Polarstrom dringt auch das Sommerregime in Anpassung an das Relief (warme, nach S geöffnete Täler wie das Etschtal) nach Süden vor. Besonders aber müssen in der Fortsetzung dieser Vorstoßlinien auf der Alpensüdseite relativ stärkere Gewitterregen auftreten, was uns auch die Karte der langjährigen Mittel zu bestätigen schien. Deutlich wird die hyetographische Wirkung dieser beiden Zuglöcher auf den Karten der relativen Regenhöhen durch das Südwärtsgreifen der 35 %-Isohyete im Etschtale (der 30 %-Isohyete in den Bergamasker Alpen). Von eigentlichen Regenstraßen kann jedoch nicht gut die Rede sein. Wohl dringt an diesen Stellen der Regen nach Süden vor, aber es kondensiert sich nicht so sehr der Wasserdampf der herandrängenden Kaltluft, als vielmehr der kontinentale der „bodenständigen“ wärmeren Luftmassen, die durch den Kälteeinbruch eine plötzliche Abkühlung erfahren. Die Ausdehnung der Geländeregen des Alpennordrandes, die das primäre Regenzentrum bilden, läßt sich durch diese beiden Zuglöcher nicht weiter beeinflussen.

¹⁾ PEPPLER, „Meteorologische Skizzen“ in der Zeitschr. „Das Wetter“ 1924, Heft 5/6.

²⁾ Ders. a. a. O.

§ 14. Die östlichen Gewitterregen.

Wie ich des öfteren betont habe, handelt es sich bei den im Osten unseres Gebietes niedergehenden Regenfällen um Zyklonalregen, die eine bestimmte Abhängigkeit vom Relief in keiner Weise erkennen lassen. Eine scharfe Abgrenzung gegen die nördlichen Geländeregen einerseits und die Zyklonalregen der Alpensüdseite andererseits zu versuchen ist müßig, da auch nur einigermaßen scharfe Grenzen nicht existieren.

Die durchschnittliche Niederschlagshöhe beträgt im ganzen Gebiete etwa 55 mm. Nur das gewitterreiche Lavanttal und die Nordseite des Bacher erhalten über 60 mm. Indessen dürfen wir hier auf Grund unserer Karte der mittleren Verhältnisse nicht den Schluß ziehen, daß in jedem einzelnen Falle die Regenhöhe im ganzen Gebiete mit großer Gleichmäßigkeit zwischen 40 und 60 mm liegen würde. Im Gegenteil haben wir hier ein treffliches Beispiel dafür, daß uns die mittleren Verhältnisse — auch auf die langjährigen Mittel muß sich das natürlich beziehen — kein getreues Bild der tatsächlichen Regenverteilung liefern. Bei den einzelnen Regenperioden kann, wie wir gesehen haben, im Osten ein sehr intensives Regenzentrum mit über 100 mm Niederschlag auftreten. Aber dieses Zentrum ist nicht an eine bestimmte Gegend gebunden, sondern ist, da es sich um reine Zyklonalregen handelt, je nach den meteorologischen Verhältnissen bald nördlich, bald weiter südlich verlagert, so daß die „mittleren Verhältnisse“ diese einzelnen intensiven Regenentren sozusagen verwischen und im ganzen Gebiete eine ziemlich gleichförmige Regenhöhe von etwa 55 mm zur Darstellung bringen. Nur dort, wo die örtlichen Verhältnisse bei allen Situationen einen stärkeren Regenfall bedingen, wie im Lavanttal und nördlich des Bacher-Gebirges, wird sich auch in den Mitteln eine Vermehrung des Regenfalles zeigen. Wir sehen an diesem Beispiel aufs deutlichste, daß es außer der Kenntnis der mittleren Regenverteilung notwendig auch des Studiums der ihr zugrunde liegenden Einzelfälle bedarf, um sich ein richtiges Bild von den tatsächlichen Verhältnissen zu machen.

Allerdings eröffnet uns namentlich die Karte der prozentischen Verteilung noch die nicht unwichtige Erkenntnis, daß dort der (prozentuell) meiste Regen fällt, wo die kalte Nordluft mit der warmen Ostluft am ehesten und intensivsten in Berührung kommt, nämlich im nördlichen und nordöstlichen Teile der Grazer Bucht und noch

weiter nördlich in der Gegend des Semmering und im Wiener Becken.

Wir wissen, daß die nördliche Luft, selbst wenn sie ursprünglich nordsüdlich gegen die Alpenketten stößt, durch letztere eine Ablenkung in eine westöstliche Richtung erfährt und, obgleich sie von der südlichen Depression über die niederen Ostalpen wiederum nach Süden herübergezogen wird, dennoch — wenigstens auf der Alpennordseite — eine stärkere westliche Komponente behält, so daß sie zunächst im Norden mit der warmen Ostluft zusammentrifft, wie das die folgende Skizze andeuten soll:

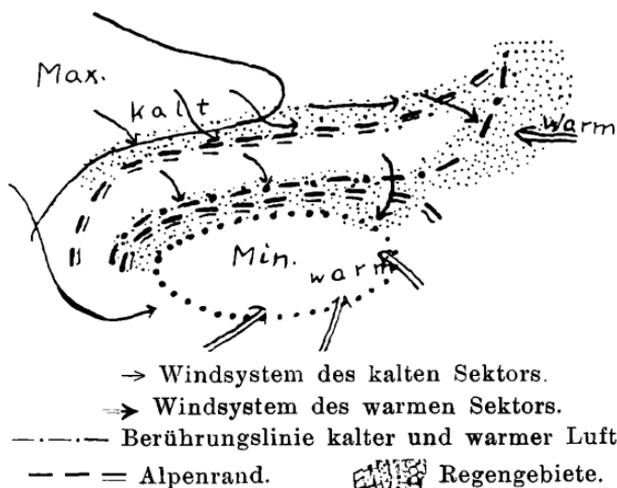


Fig. 14.

Dieses nun scheint mir der Grund dafür zu sein, daß die Ostregen gerade etwa in der östlichen Verlängerung des Nordzentrums ihre relativ größte Höhe erreichen, welcher, wie wir sehen, auch eine Vergrößerung der absoluten Höhe entspricht. Denken wir uns etwa eine Linie gezogen von Spital a. Semmering in südlicher Richtung über Alpsteig, Birkfeld, Gleisdorf, Kirchbach, Wolfsberg, so nehmen längs dieser sowohl die absoluten als auch die relativen Regenhöhen ab. Weiter nach Süden, auch im Murtales selbst, erhöhen sich die absoluten Werte wiederum. Hier sind es besonders lokale Einflüsse, wie die Feuchtigkeit des Murtales usw., welche die Regenhöhen wieder vergrößern. Auf keinen Fall darf man das Relief als erklärendes Moment zu Hilfe nehmen. Zufällig nehmen längs der Linie, die wir in Nordsüdrichtung gezogen haben, auch die Seehöhen ab, aber nur zufällig; denn man braucht ja nur das 1200 m hoch gelegene Teichalpe (50 mm) mit dem 655 m hoch

gelegenen Passail (53 mm) zu vergleichen, oder man vergleiche Sinabelkirchen (327 m, 48 mm) mit Fürstenfeld (276 m, 63 mm) usf., um zu sehen, daß das Relief bei diesen Zyklonalregen gar keine Rolle spielt. Die Erklärung des vermehrten Regenfalles im Norden ergibt sich, wie gesagt, lediglich daraus, daß hier die kalte Nordluft am ehesten und intensivsten mit der aufsteigenden warmen Ostluft in Berührung kommt.

§ 15. Die südlichen Gewitterregen.

Doch wenden wir uns nunmehr noch kurz der Zyklonalregenzone zu, die sich am südlichen Alpenhange hinzieht und alsdann entsteht, wenn die kühle Nordluft den Alpenkamm überschreitet und mit der Luft der Poebene in Berührung kommt. Sehr große Werte werden wahrscheinlich nur in Venetien erreicht, wo zu der Tatsache, daß die Nordluft leicht über die niederen Ostalpen hereinbrechen kann, noch hinzukommen mag, daß hier auf der Vorderseite des südlichen Minimums eine Südströmung warmer Luft von der Adria her die Hänge der Julischen und Karnischen Alpen treffen, so daß beide Einflüsse sich summieren. Immerhin erhalten wir wegen der enorm hohen Jahressummen auffallend geringe Prozentwerte, was uns darauf hinweist, daß wir uns in einem der regenreichsten Gebiete Europas befinden.

Gegen Osten hin hat das südliche Sekundärzentrum, wie ich schon mehrfach gesagt habe, keine scharfen Grenzen. Wir dürfen aber annehmen, daß die Abgrenzung gegen die inneralpine Trockenzone im Osten etwa durch den Verlauf der 50 mm-Isohyete gegeben ist. Eine scharfe Grenze bilden, wie wir sehen, die Kammregionen der Karnischen Alpen und der Dolomiten. Im Westen ist die Grenze komplizierter, aber immerhin dürfen wir hier die Gebiete mit weniger als 40 mm zur inneralpinen Trockenzone rechnen.

Besonders fließend muß die Grenze natürlich dort sein, wo keine hohe Gebirgswand die warme Luft der Poebene nach Norden hin abschließt, wie im Gebiete des Etschtals. Folgendes Graphikon bringt die Regenhöhen im Etschtale zur Darstellung von Gries bei Bozen bis Ala (s. Fig. 15):

Wir sehen eine kontinuierliche Zunahme gegen Süden, die erst dort beträchtlich wird, wo, südlich von Rovereto, das Tal enger wird, was eine lebhaftere Mischung zur Folge haben muß.

Eine bestimmte Abhängigkeit vom Relief ist nirgends zu er-

kennen. Man vergleiche nur Madonna di Campiglio (1500 m, 36 mm) mit Pinzolo (766 m, 45 mm) oder Grana-Toricella (1010 m, 51 mm) mit Ponte Tresa (280 m, 64 mm) usw. In der Hauptsache haben wir es also mit Zyklonalregen zu tun, deren Entstehung wir

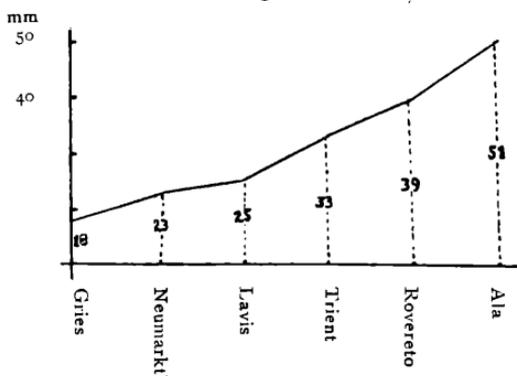


Fig. 15.

uns ähnlich zu denken haben werden wie im Osten. Die Berührungslinie kalter und warmer Luftmassen, die wir im Osten bereits kennen gelernt haben, setzt sich eben längs des ganzen Alpensüdrandes fort. Ich halte sie für einen Teil der Böenlinie des großen kontinentalen Tiefs¹⁾.

§ 16. Die Trockengebiete.

Rings sind die Alpen bei Sommerperioden umrahmt von einer Zone vermehrten Regenfalles. Relativ weniger niederschlagsreich bleibt dagegen im Alpeninnern eine streifenförmige Zone mit weniger als 40 mm Regenfall. Wir nennen diese Zone kurz die inneralpine Trockenzone. Zu ihr gehört noch der weitaus größte Teil des früher österreichischen Etschgebietes.

Eine zweite, aber viel schmalere und sich oft nur auf die Talböden beschränkende Trockenzone haben wir nördlich der Zentralketten in der nördlichen Längstalfurche. Allerdings muß man hier wegen der Nähe des überaus intensiven Nordzentrums Gebiete mit weniger als 60 mm Regenhöhe schon als relativ trocken bezeichnen. Beide Trockenzonen stoßen im Engadin zusammen. Weiter westlich sind als trocken anzusehen ein Teil des schweizerischen Tessingebietes, Wallis, ein im Regenschatten des Jura gelegener Streifen vom Genfersee bis zum Bielersee und einige kleine Flecken im Gebiete des Vorder- und Hinterrhein usw.

Weniger als 20 mm Regen hat im gesamten Alpengebiete nur

¹⁾ Siehe Fig. 14.

der Vinschgau und die Gegend von Sitten im oberen Rhonetal. Am trockensten ist der Vinschgau. In Gand und in Naturns ist durchschnittlich während einer intensiven Sommerregenperiode von über 6 Tagen Dauer nicht mehr Regen niedergegangen als in diesen Tagen bei einer ideal gleichmäßigen Verteilung des Regens über das ganze Jahr auch niedergegangen wäre. Außer an einigen Stationen des Tessingebietes wird der Koeffizientenwert 1 sonst nirgends in den Alpen erreicht. Auf's deutlichste zeigt uns diese Tatsache, welch wasserarme Gegend der untere Vinschgau ist, und daß man infolgedessen dort nur durch künstliche Bewässerungsanlagen die Kulturen erhalten kann.

Zweimal sehen wir die inneralpine Trockenzone deutlich unterbrochen. Einmal in der Fortsetzung des Rheinquertales in Richtung auf den Comersee, ein anderes Mal von den Zillertaler Alpen gegen die Dolomiten hin. Ich möchte an dieser Stelle noch darauf aufmerksam machen, wieviel deutlicher sich das ausprägt in den Karten der Relativwerte, weil die Nachbargebiete, wie das westliche Etsch- und das obere Draugebiet wie auch das Tessingebiet so auffallend geringe (relative) Werte haben.

Sehr deutlich tritt, um das noch beiläufig zu bemerken, die Wirkung des Brenner hervor. Dem langsamen Aufsteigen des Wipptales entspricht eine stetige Zunahme der Regenhöhe, während der Steilabfall nach Süden hin auf eine kurze Entfernung eine plötzliche Verminderung zur Folge hat.

Der Wert von Gossensass (28 mm) ist auffallend gering, wenn wir ihn vergleichen mit der Regenhöhe der übrigen unmittelbar südlich des Zentralkammes gelegenen Stationen.

Den schärfsten Gegensatz von Luv und Lee geben übrigens die schweizerischen Zentralketten, wo auf nur wenige Kilometer Horizontalentfernung mehr als 65 mm durchschnittliche Differenz der Regenhöhe zu verzeichnen ist. Außerdem ist auch die Differenz zwischen bayerischen Alpen und Inntal auf kurze Horizontalentfernung eine ganz beträchtliche.

II. Die Herbstperioden.

Es ist von vornherein klar, daß wir bei der Verteilung der Herbstregen mit alledem, was sich beim Sommerregen durch Auflockerung der Luft und Bildung von Lokaldepressionen ergab, überhaupt nicht bzw. nur in bescheidenem Maße rechnen dürfen, so daß sich jetzt die Verhältnisse wesentlich einfacher gestalten.

Vielleicht stellen allerdings die Frühherbstperioden einen Übergangstypus dar, den ich wegen seiner weiteren Ausbreitung über das innere Alpengebiet für das Septembermaximum der Übergangszone zwischen Juli- und Oktoberregengebiet (siehe § 6) verantwortlich machen möchte. Sekundäre Regenzentren bilden sich im Herbstregengebiet nicht aus, sondern ein einziges Regenzentrum zieht sich am Alpensüdrande hin, das allerdings, wie wir bereits wissen, nicht ganz einheitlich ist, sondern an drei charakteristischen Stellen mit besonderer Intensität nach Norden vordringt.

Dabei spielt jedoch auch im Herbst das Zusammentreffen warmer und kalter Luftmassen eine gewisse Rolle. Die Herbstregen dringen mit dem warmen Äquatorialstrom nach Norden, die Sommerregen mit dem kalten Polarstrom nach Süden. Bei Sommerperioden befinden wir uns stets auf der Zyklonenrückseite, und zwar im kalten Sektor hinter der Böenlinie, auf deren Verlauf ich oben aus der Regenverteilung auf der Ost- und Südseite der Alpen einen Schluß gezogen habe; bei Herbstperioden dagegen liegt das Alpengebiet im warmen Sektor, und die Böenlinie rückt von Westen her nach.

§ 17. Das Regenzentrum.

Zunächst noch ein paar Worte zur Regenverteilung auf der Südseite, deren Studium uns allerdings durch das Fehlen der italienischen Stationen erschwert wird. — Was zunächst die Intensität des Regenfalles betrifft, so ist sie naturgemäß dort am größten, wo der Feuchtigkeitsvorrat am bedeutendsten ist; nämlich dort, wo die feuchtwarme Luft von der Adria gegen die venetianischen Alpen heranweht. Auch bei Sommerperioden bekam diese regen-gesegnete Gegend nicht unbeträchtliche Niederschläge; bei Herbstperioden sind es ganz enorme Wassermengen, die hier niedergehen. Es steht dahin, ob der meiste Regen im Isonzotal fällt, und doch mißt die Station Flitsch während einer durchschnittlich fünftägigen Herbstperiode 214 mm oder 7,85 % der ansehnlichen Jahressumme von 2722 mm. Das ist die gewaltige Brandung der Adria gegen die Hänge der Alpen. Relativ am geringsten sind die Regenhöhen in dem nach Süden hin abgeschlossenen und vom Meere entfernten Etschgebiete, während das Tessingebiet infolge der Nähe des Genuagolfes wiederum bedeutendere Regenhöhen aufweist. Trotzdem kann im Etschgebiete aus Gründen des Reliefs der Regen besonders weit nach Norden herüberschlagen.

Wie wir bereits wissen, fallen die meisten Niederschläge auf der Westseite des Etschgebietes, nicht aber im Etschtale selbst. Dagegen zeigt uns unsere Karte der relativen Mengen, daß der größte prozentische Anteil im Tale gemessen wird wegen der geringeren Jahressummen. In Hinsicht auf die jährliche Periode des Niederschlages hat das u. a. zur Folge, daß das Tal einen sehr viel größeren Herbstregenanteil aufweist als etwa seine östlichen Seitentäler, wie das unsere Karte der langjährigen Mittel auch deutlich zeigt.

§ 18. Die Regenstraßen.

Mit großer Deutlichkeit zeigen uns die Karten die drei aus Früherem bekannten Regenstraßen. Am deutlichsten ist die Rheinstraße ausgeprägt, aber auch die beiden übrigen treten recht gut hervor. Zwischen ihnen befinden sich jeweils Gebiete geringeren Niederschlages. Das folgende Graphikon stellt uns einen Schnitt längs etwa 46°50' Breite dar und läßt uns die Wirkung der drei Regenstraßen erkennen. Ein analoges Graphikon hatte ich beiläufig der Beschreibung der Periode 19. bis 25. September 1911 beigelegt (siehe S. 58) und hätte es jeder der besprochenen Herbstperioden beifügen können.

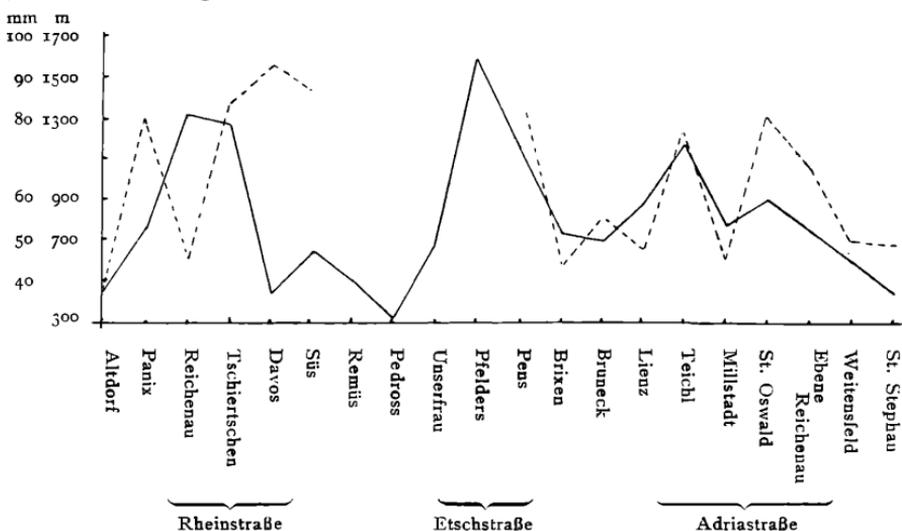


Fig. 16.

Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß sich auf unseren Karten gut die Tatsache äußert, daß der zur Kondensation gelangende Wasserdampf den warmen, in ansehnlicher Höhe das

Gebirge überquerenden Luftmassen entstammt: Nachdem die gewaltigen Sperren der Karnischen Alpen und Karawanken überwunden sind, streift weiter nördlich die wasserdampfschwere Luft nur noch die höheren Teile des Gebirges. So fällt der Gebirgsknoten des Königstuhls als ein stärker überregnetes Gebiet aus seiner Umgebung heraus. Außerdem streifen die Regenwolken offenbar auch die Kämme von Sau- und Seetaler-, Stub- und Gleinalpe. Die Regenverteilung in der Etschstraße deutet ebenfalls an, daß sich der Niederschlag in den Höhen nordwärts zieht. Nur die Rheinstraße scheint eine Ausnahme zu machen. Wir sehen, daß sich hier der Regen auch im Tale hinzieht und sich wie ein talabwärts fließender Strom nach Norden gegen den Bodensee hin ergießt.

Folgendes Schema mag uns noch das zeitliche Nacheinander der Regenfälle während einer Herbstperiode vor Augen führen:

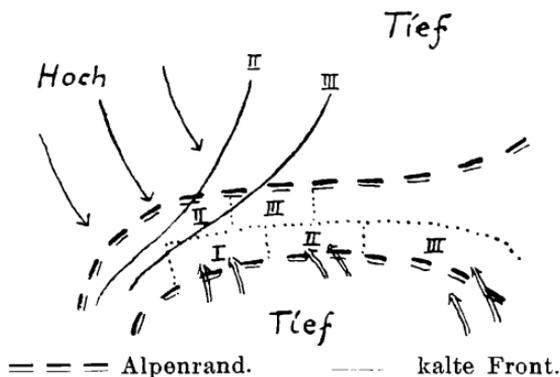


Fig. 17.

Zuerst tritt der Regenfall im Tessingebiete auf (I), im zweiten Stadium (II) zugleich im Etschgebiete und im Rheintal, im dritten Stadium (III) zugleich nordwärts der Adria (Scirocco) und der Ötztaler und Zillertaler Alpen, wie mir alle fünf benutzten Herbstperioden gezeigt haben.

Schlußbemerkung.

Wir haben bei der Interpretation unserer Mittelwertkarten gesagt, daß für die Herbstregen die Zentralketten eine im allgemeinen nicht überschrittene Sperre bilden, während die Sommerregen sich auch noch über den ganzen Südhang ausbreiten, und ich hatte die Alpen daher eine asymmetrische Regenscheide zugunsten des Sommerregenregimes genannt. Wir wissen nunmehr, daß die Herbstregen mit der in größeren Höhen über die Alpen nach Nor-

den hinwegziehenden Luft des warmen Äquatorialstromes sehr weit nach Norden hinüberschlagen, so daß der bei Herbstperioden in Süddeutschland niedergehende Regen zum größten Teile den warmen mediterranen Luftmassen entstammt. Für den Sommerregen aber, der wirklich dem Polarstrome entstammt, sind die Alpen eine wirksame Sperre, und der im Osten und Süden der Alpen fallende Regen ist der kontinentale Wasserdampf der erhitzten Landmassen, der vor der herannahenden Polarfront in die Höhe steigt und sich abkühlt. Der mit dem Polarstrom vordringende Sommerregen muß daher in der alpinen Kampfzone der beiden Regenregimes gegenüber dem Herbstregen im Vorteil sein, weil die mit ihm verknüpfte Kältewelle auch die warme Luft jenseits der Alpen zur Kondensation zwingt, während im Herbst der Regenschall nordwärts der Alpen nur der vor der Polarfront aufsteigenden Südluft entstammen kann, die einen großen Teil ihres Wasserdampfes schon am Alpensüdrande abgegeben hat. So ist also der Sommerregen, der mit der Kältefront vordringt, im Vorteil gegenüber dem Herbstregen, der im warmen Sektor gegen die Kältefront vordringt, obgleich weit nordwärts der Alpen sich noch mediterraner Wasserdampf kondensiert.

Meine Aufgabe, die Regenverteilung in den Alpen bei Sommer- und Herbstperioden zu untersuchen in ihrer Abhängigkeit von der allgemeinen Wetterlage einerseits und vom Alpenrelief andererseits betrachte ich als erledigt und glaube, unser Wissen vom Klima der Alpenländer damit um ein Geringes erweitert zu haben. Das Eine aber ist, wie ich hoffe, aus meinen Untersuchungen deutlich geworden, daß es, namentlich um über die Temperatur- und Druckverhältnisse bei Sommer- und Herbstperioden letzte Klarheit zu schaffen, noch mancher mühevoller Einzelforschungen bedarf, zu denen ich eine Anregung gegeben haben möchte.

Literaturverzeichnis ¹⁾ und Materialnachweis.

- 1) A. BENTELI, Die Niederschlagsverteilung in der Schweiz nach den Mitteln 1864/69. (Schweiz. meteorol. Beob. 1870.)
- 2) BERGHAUS, Physikalische Atlanten, I. 1. Teil Karte Nr. 10.
- 3) R. BILLWILLER, La répartition des pluies en Suisse. (Bibl. univers. Genf 1897.)
- 4) CHAVANNE, Physikalisch-statistischer Handatlas von Österreich-Ungarn. (Wien, ED. HÖLZEL, 1882, — besprochen von HANN, Met. Zeitschr. 1883, XVIII, S. 400.)
- 5) P. DEUTSCH, Die Niederschlagsverhältnisse im Mur-, Drau- und Savegebiet (Geogr. Jahresber. a. Öst. IV. Bd. Wien 1907.)
- 6) F. EREDIA, Le precipitazione atmosferiche in Italia dal 1880 al 1905. (Roma 1908.)
- 7) ERK, Die vertikale Verteilung und die Maximalzone des Niederschlags am Nordhange der Bayerischen Alpen im Zeitraum Nov. 1883/Nov. 1885. (Met. Zeitschr. 1887.)
- 8) F. M. EXNER, Dynamische Meteorologie. Leipzig 1917.
- 9) F. M. EXNER, Das Wetter bei Keilen hohen Luftdrucks im Norden der Alpen. (Jahrb. d. k. k. Zentr.-Anst. f. Met. u. Erdmagn. Jahrg. 1903.)
- 10) H. v. FICKER, Der Einfluß der Alpen auf Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. (Met. Zeitschrift 1920.) Bemerkungen über den Verlauf von Stromlinien im Gebirge. Ber. über die Tätigkeit des preufs. meteor. Inst. 1924.
- 11) TH. FISCHER, Studien über das Klima der Mittelmeerländer. (Pet. Geogr. Mitteilungen, Erg. H. 58, 1879.)
- 12) J. FRETZ, Die Niederschläge während 4 Jahren (1864/67) nach Jahreszeiten. (Zeitschr. f. schw. Stat. Jahrg. 4, 1868.)
- 13) GASPARI, Sur les climats européens par rapport aux pluies. (Bibl. univ. Bd. 38.)
- 14) M. GOLDBERG, Niederschlag und Abfluß im Etschgebiete. (Geogr. Jahresber. a. Öst. Wien 1915, 11. Bd.)
- 15) J. HANN, Untersuchungen über die Regenverhältnisse von Öst.-Ungarn. (Ber. d. k. k. Akademie z. Wien, Math.-nat. Klasse, Bd. LXXX.)

¹⁾ Nicht mit angeführt sind die vielen Klimamonographien, sowie ältere Arbeiten, die überholt und von nur historischem Interesse sind.

- 16) J. HANN, Die Verteilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa. (PENCKS geogr. Abhandl. Bd. II, H. 2, Wien 1887.)
- 17) HEGYFÖKY, Über die Windrichtung in den Ländern der ungarischen Krone. (Budapest 1894.)
- 18) HEGYFÖKY, Die jährliche Periode der Niederschläge in Ungarn. (Budapest 1909.)
- 19) HELLMANN, Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten. (Berlin 1906.)
- 20) FR. KERNER v. MARILAUN, Untersuchungen über die Veränderlichkeit der jährlichen Niederschlagsperioden im Gebiete zwischen der Donau und nördl. Adria. (Denkschr. der k. Ak. d. Wiss., Math.-nat. Kl. Bd. LXXXIV, Wien 1909.)
- 21) KÄNTZ, Lehrbuch der Meteorologie 1831.
- 22) F. LEX, Über die geogr. Verteilung der Niederschläge im diesseitigen Bayern, bei, durch Süd- und Ostdepressionen (Vb) bedingten Hochwasserwetterlagen. (Diss. München 1915.)
- 23) R. MAREK, Der Wasserhaushalt im Murgebiete. (Mittlg. d. naturwiss. Vers. f. Steiermark. Graz 1901.)
- 24) J. MATHIS, Die hydrographischen Verhältnisse des östl. Rheingebietes. Wien 1917.
- 25) MAURER, BILLWILLER und HESS, Klima der Schweiz.
- 26) MÜLLER, Die jährliche Periode des atmosphärischen Niederschlages in der Schweiz. (Ann. d. schweiz. met. Zentr.-Anst. 1882, Anhang Nr. 3.)
- 27) OBST, Wirtschaftsgeographische Studien in der europäischen Türkei, I, Das Klima als Grundlage der Wirtschaft. (Leipzig 1920.)
- 28) PEPPLER, Meteorologische Skizzen. (Das Wetter, Met. Monatsschr. f. Gebildete all. Stände, 1924, Heft 5/6.)
- 29) V. RAULIN, Über die Verteilung des Regens im Alpengebiete von Wien bis Marseille. (Zeitschr. d. öst. Ges. f. Met. Wien 1879.)
- 30) V. RAULIN, Atlas météorol. de l'observatoire de Paris 1869/71.
- 31) V. RAULIN, Regenverteilung im Murtales. (Met. Zeitschr. 1893, XXVIII, S. 462.)
- 32) G. ROSTER, Climatologia dell'Italia. Torino 1907.
- 33) H. SCHLAGINTWEIT, Untersuchungen über die physikalische Geographie der Alpen. Leipzig 1850.
- 34) F. SEIDL, Das Klima von Krain. (Mitteil. d. Musealvers. für Krain. Laibach 1894.)
- 35) K. v. SONKLAR, Grundzüge einer Hyetographie des österr. Kaiserstaates. (Mitt. d. k. k. geogr. Ges. IV, Wien 1860.)
- 36) F. THORBECKE, Das ozeanisch-subtropische Klima und die Gebiete der Etesien und Winterregen. (Geogr. Zeitschr. H. 6 u. 7, dort weitere Literatur.)
- 37) W. TRABERT, Die kubischen Niederschlagsmengen im Donaugebiete. (Beil. z. H. 8, Bd. XXXVI d. Mitt. d. k. k. geogr. Ges. Wien 1893.)
- 38) L. WEICKMANN, Zum Klima der Türkei I, Luftdruck und Winde im östl. Mittelmeergebiete. (München 1922.)

Bolletino mensile (Luglio 1913) des Ufficio hydrografico del Po, Parma.
Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen auf den met. u. Regen-
mefsstationen in der Schweiz Jahrg. 1909/13 (herausg. v. d. schweiz. met.
Zentralanst.).

Jahrbuch des hydrographischen Zentralbureaus im k. k. Ministerium für
öffentliche Arbeiten, Jahrg. 1909/13.

Jahrbuch des k. bayerischen hydrotechnischen Bureaus, Jahrg. 1909/13.

Osservazioni pluriometriche del R. Magistrato del Po.

” ” ” ” del Veneto.

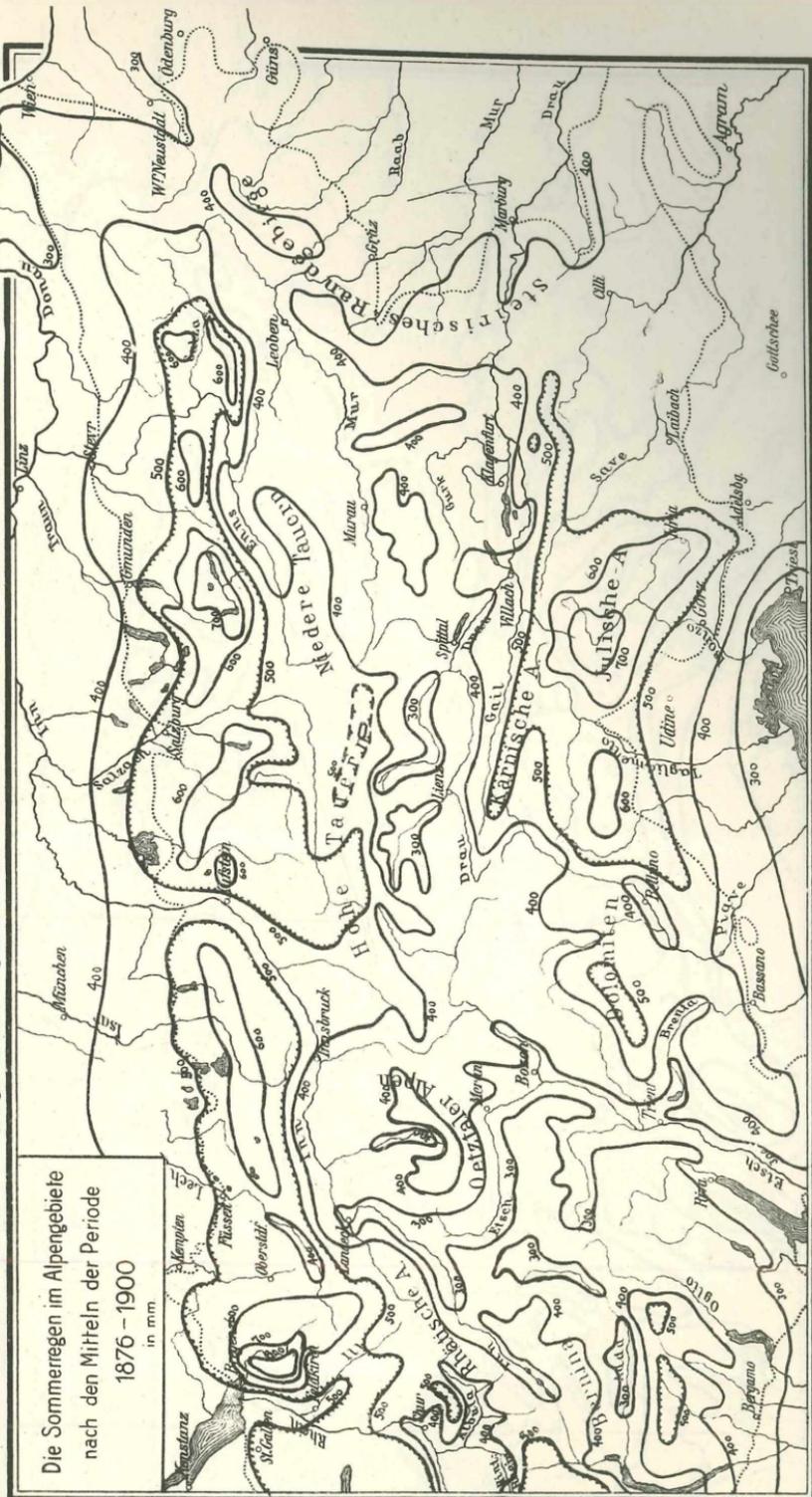
Wetterkarten und Wetterberichte der Hamburger Seewarte, der met. Zentral-
anstalt Karlsruhe, Zürich, München usw. 1909/13.

Die Wetterkatastrophen und Hochwässer des Sommers 1910 in Österreich
in „Österreichische Wochenschr. f. d. öffentl. Baudienst“, Heft 23/24,
Jahrg. 1911.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

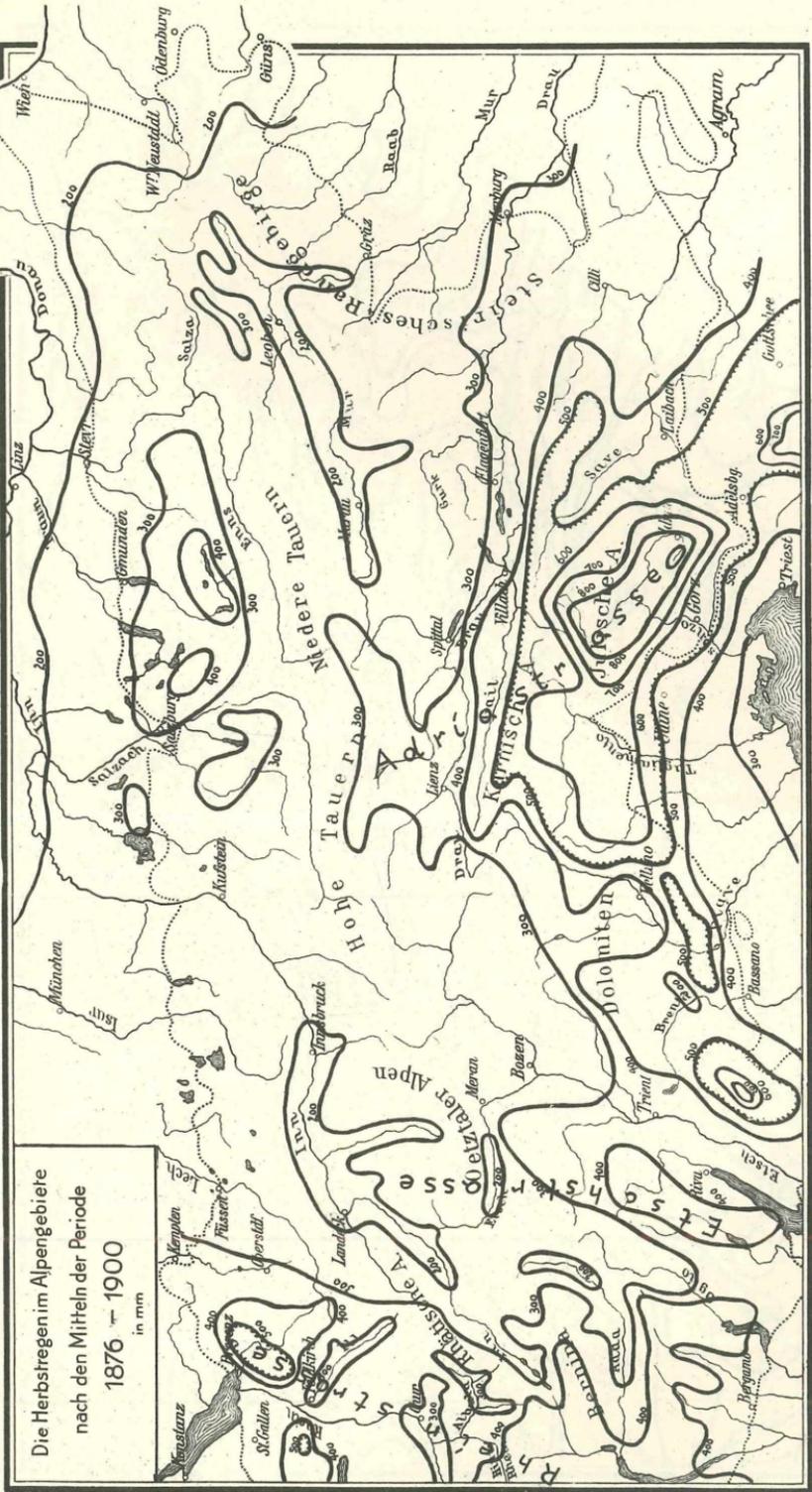
Karl Lies. Die Sommer und Herbstregen im Alpengebiete u.s.w.

Die Sommerregen im Alpengebiete
nach den Mitteln der Periode
1876 - 1900
in mm



Karte No 1

Karl Lies. Die Sommer und Herbstregen im Alpengebiete u.s.w.



Die Herbstregen im Alpengebiete
nach den Mitteln der Periode
1876 - 1900
in mm

Karte No 2

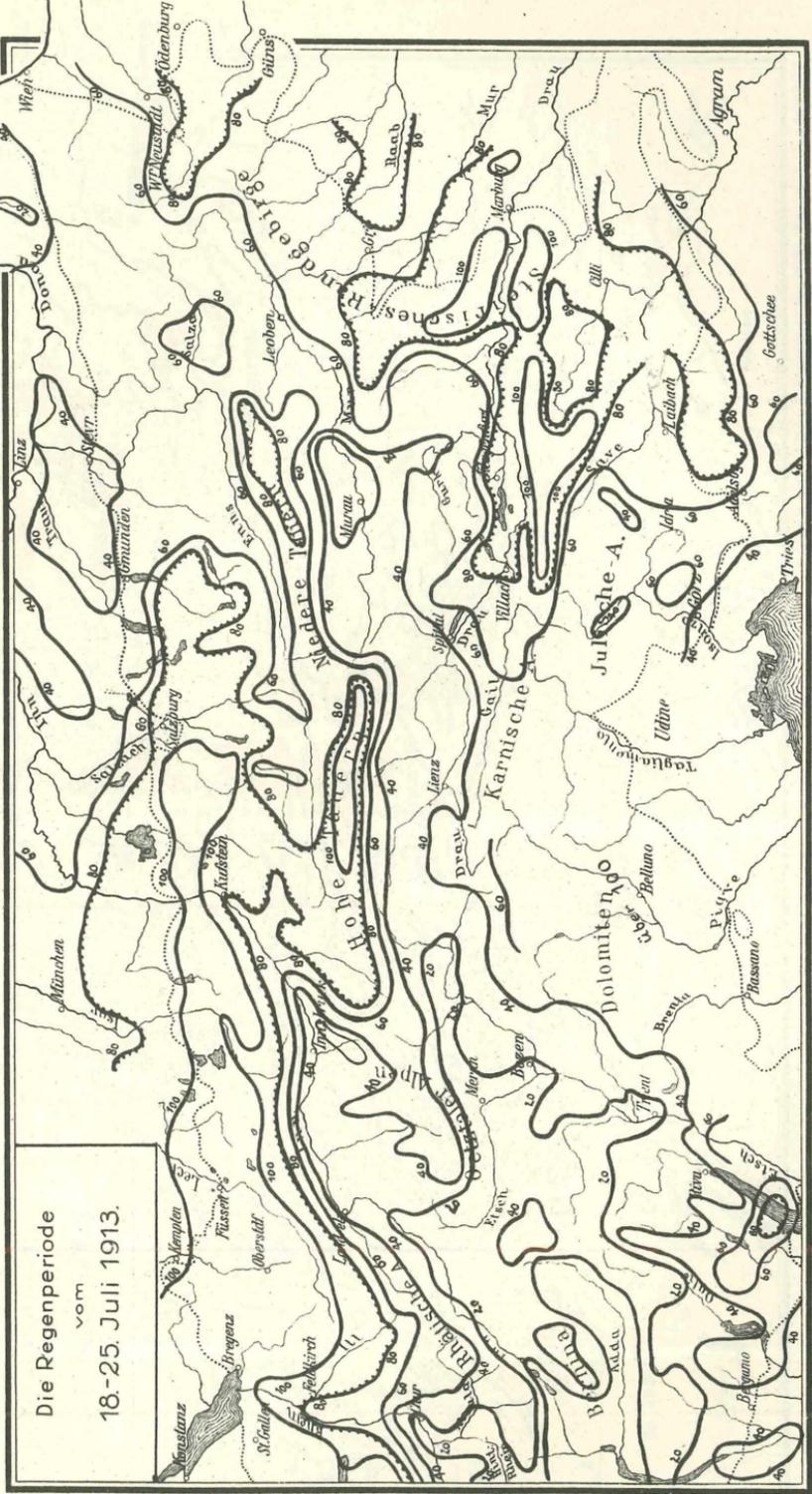
Ber. d. Naturf. Ges. in Freiburg i. Br. XXVII Band 1. Heft 1922.

Karl Lies. Die Sommer und Herbstregen im Alpengebiete u.s.w.

Die Regenperiode

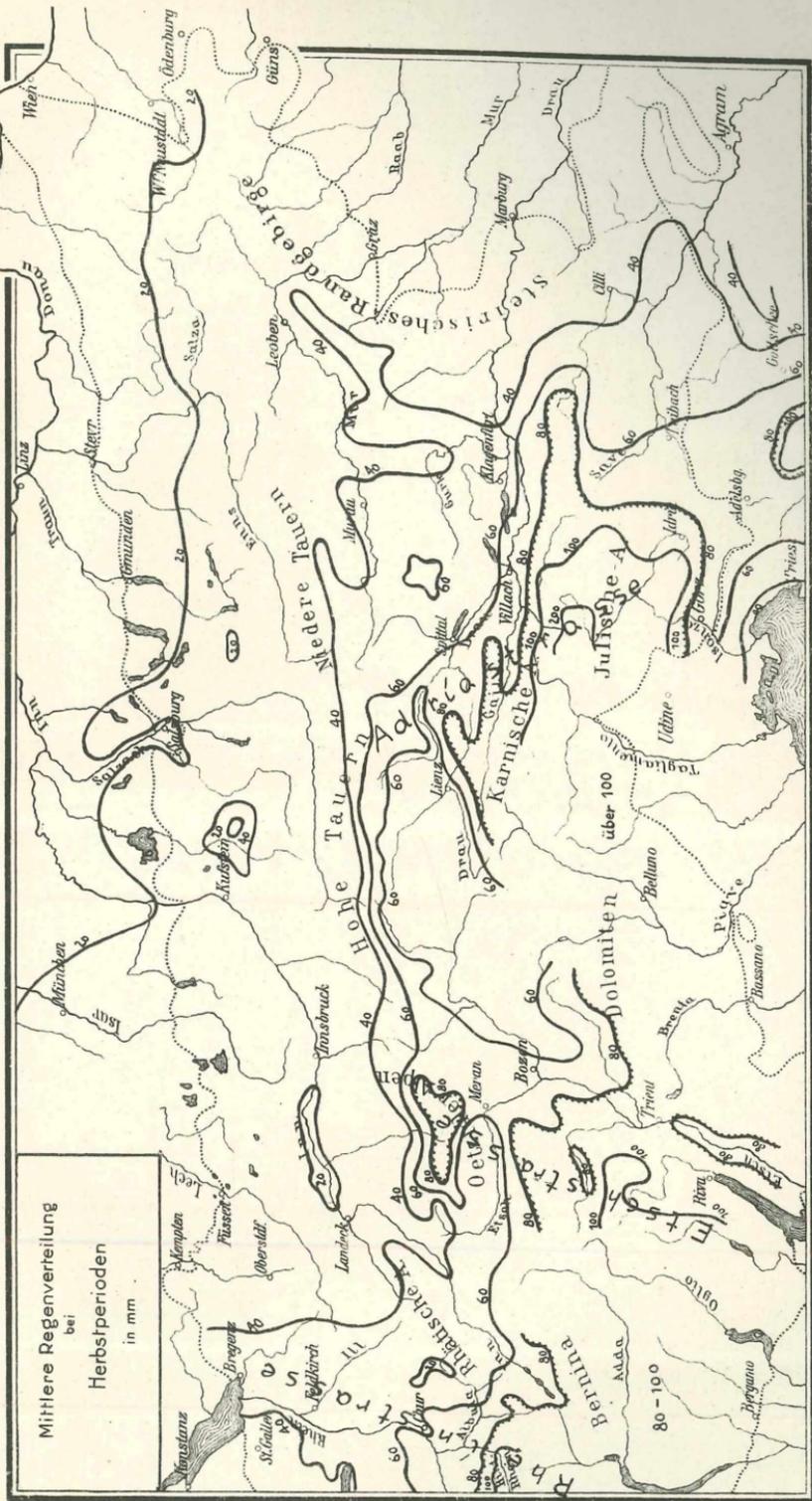
vom

18.-25. Juli 1913.



Karte No 3

Karl Lies. Die Sommer und Herbstregen im Alpengebiete u.s.w.



Ber. d. Naturf. Ges. in Freiburg i.Br. XXVII Band 1. Heft 1927.

Karte No 6