

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ — HYDROLOGIE

NR. 12

Herausgegeben von der Schweizerischen Geotechnischen Kommission
und der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

VALENTIN BINGGELI

ZUR MORPHOLOGIE UND HYDROLOGIE DER
VALLE DEL LUCOMAGNO

(Lukmanier-Brenno, Ticino)

Mit 5 Karten, 59 Figuren, 22 Abbildungen und 30 Tabellen

Kommissionsverlag: Geographischer Verlag Kümmerly & Frey, Bern

VORWORT DER HYDROLOGISCHEN KOMMISSION UND DER SCHWEIZ. GEOTECHNISCHEN KOMMISSION

Am 11. Februar 1960 legte Herr Prof. Dr. F. Gygax, Universität Bern, der Hydrologischen Kommission die Dissertation seines Schülers, Herrn Dr. Valentin Binggeli, vor und stellte den Antrag, diese Arbeit «Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno» in die Beiträge zur Geologie der Schweiz, Serie Hydrologie aufzunehmen. Die Hydrologische und die Schweiz. Geotechnische Kommission folgten dieser Anregung und beschlossen, sich an den Druckkosten zu beteiligen. Einen Beitrag leisteten auch die Maggia-Kraftwerke A. G. und der Staatsrat des Kantons Tessin. Einen Teil der Kosten übernahm der Autor.

Das Baudepartement des Kantons Tessin half bei der Finanzierung der Abflussmessungen in Pian Segno und Campra, sowie der Niederschlagsbeobachtungen.

Das Untersuchungsgebiet ist hydrologisch ausserordentlich kompliziert. Namhafte Fremdwassermengen, die aus den Räumen Ritom und Val di Campo stammen, finden ihren Weg durch die Triaszone Val Camadra—Lucomagno—Ritom—Bedretto. In diesem Zusammenhang war das Studium der Karstphänomene in der Gegend der Passhöhe von besonderem Interesse.

Methodisch stützt sich die Untersuchung über die Wasserhaushaltsprobleme auf Beobachtungen von Niederschlag und Abfluss, auf Messung physikalischer Eigenschaften wie Temperatur und Leitfähigkeit, sowie des Chemismus von Quellen und oberirdischen Wasserläufen, ferner auf geologisch-morphologische Befunde.

Diese Arbeit ist ein Beitrag zur Kenntnis der hydrologischen Grenzen zwischen Rhein und Po. Sie liefert auch einen Baustein zur Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse der Alpensüdseite. Die beiden Kommissionen freuen sich, die in mehrjähriger Feldarbeit gewonnenen Ergebnisse in ihrer gemeinsamen Publikationsreihe erscheinen zu lassen.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, April 1961

Für die
Schweiz. Geotechnische Kommission
der SNG

Der Präsident:
Prof. Dr. F. de Quervain

Für die
Hydrologische Kommission
der SNG

Der Präsident:
Prof. G. Schnitter

Mein Kind, es sind allhier die Dinge,
Gleichviel ob grosse, ob geringe,
Im Wesentlichen so verpackt,
Dass man sie nicht wie Nüsse knackt.

Wilhelm Busch

VORWORT DES VERFASSERS

1953 wurden dem Verfasser vom Direktor des Geogr. Instituts der Universität Bern, Herrn Prof. Dr. F. Gyax, die als Grundlagen für Wasserkraftwerke unternommenen hydrologischen Messungen im Lukmaniergebiet, im Rahmen eines Untersuchungsauftrags des Kantons Tessin, zur Durchführung übertragen.

An der hydrologischen Messreihe wurde von 1953—59 zu allen Jahreszeiten gearbeitet, die morphologischen Feldarbeiten hauptsächlich in den Sommer- und Herbstmonaten der Jahre 1956—58 ausgeführt.

Herrn Prof. Gyax schulde ich grossen Dank für sein stetes unterstützendes Verständnis, auch meinen Spezialstudien gegenüber. Ohne seine Schaffung der bedeutenden finanziellen Grundlagen — Kredite des Kantons Tessin und des Geogr. Instituts — wäre an eine derartige Untersuchung gar nicht zu denken gewesen.

Herzlich zu danken habe ich ferner für zahlreiche wertvolle Besprechungen und Ratschläge, zum Teil auf gemeinsamen Begehungen, den Herren Prof. Dr. J. Cadisch, Prof. Dr. Th. Hügi, Pd. Dr. G. Grosjean, alle in Bern, Dipl. Ing. H. H. Wymann und Dipl. Ing. P. Kasser, ETH. Für Mitarbeit bei den Uebersetzungen bin ich zu Dank verpflichtet Frau Prof. S. Gyax-Ferrari, Bern, Herrn Prof. Dr. M. M. Sweeting, University of Oxford, Erika Wymann und Fritz Rutschmann in Langenthal.

Der Blenio-Kraftwerke AG verdanke ich die Ueberlassung von Analysenresultaten von Lukmanierwässern, sowie der Messergebnisse der Abfluss-Station Pertusio, dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft den unpublizierten Bericht vom Jahre 1944 über hydrographische Erhebungen auf dem Lukmanier, der Baudirektion des Kantons Tessin (Uff. cant. di economia delle acque) umfangreiches Abfluss-Zahlenmaterial, der MZA in Zürich die Zusammenstellung damals noch unpublizierten Annalen-Materials, dem Labor der Städt. Wasserwerke Bern die sachkundige technische Beratung bei der Erstellung des feldmässigen Wasseranalysen-Instrumentariums, Herrn C. Ghezzi, ehem. Ing. EAWW, verschiedene die Abflüsse betreffende Materialien.

In sehr verdankenswerter Weise überliess mir Herr Dr. h. c. M. Oechslin, Redaktor der «Alpen» SAC, eine ganze Anzahl von Clichés aus seiner Zeitschrift, ebenso Herr Prof. Dr. E. Winkler ETH aus der «Geographica Helvetica».

Besondern Dank weiss ich den Schulkommissionen und Vorstehern der Sekundarschulen von Kirchberg BE und Langenthal, die mir das Studium, das sozusagen ausschliesslich neben dem Schulamt weitergeführt wurde, zeitlich ermöglichen halfen.

Was Beiträge an die Druckkosten sind, bin ich zu grossem Dank verpflichtet dem Tessiner Staatsrat, der Blenio Kraftwerke AG, der Hydrologischen Kommission der SNG und der Schweiz. Geotechnischen Kommission, den beiden Kommissionen vor allem auch für die Aufnahme der Arbeit in ihre Publikationsreihe.

Dankbar verbunden bleibe ich den zahlreichen Helfern bei den alljährlichen hydrologischen Messtouren; Bergkameradschaft trug im Erlebnis der Landschaft Wesentliches zu deren tiefern Kenntnis bei.

Je und je wurden Arbeitsbelastung und manches Entsagenmüssen wettgemacht durch den anregenden Gewinn in der Hingabe an die Erforschung unseres prächtigen Gebirges, durch die innere Bereicherung der in den Jahren wachsenden persönlichen Beziehung zur Landschaft, wie der wissenschaftlichen Beziehung zum geographischen Geschehen darin.

Der letzte Dank gehört fraglos meiner Frau, nicht bloss für die Mitarbeit bei den Uebersetzungen und der Niederschrift, sondern für ihre fördernde Anteilnahme überhaupt, sei es tagtäglich zu Hause gewesen oder auf gemeinsamen Gängen im Studiengebiet. Ihr sei diese Arbeit zugeeignet.

Langenthal, im Mai 1961.

INHALTSÜBERSICHT

VORWORT DER KOMMISSIONEN

VORWORT DES VERFASSERS

INHALTSÜBERSICHT

A. EINFÜHRUNG UND ÜBERSCHAU

	Seite
I. Probleme, Weg und Ziel der Untersuchung	13
II. Zusammenfassung der Ergebnisse	14
III. Riassunto	16
IV. Summary	18

B. TOPOGRAPHIE, OROGRAPHIE

I. Die topographische Nomenklatur	21
II. Lage, Grenzen, Grösse	22
III. Hydrographisch-topographische Gliederung	22
IV. Hypsographische Kurven (Vertikalgliederung)	23

C. DIE TEKTONISCH-GEOLOGISCHEN GRUNDLAGEN

I. Bedeutung und Ueberblick	24
II. Tektonik	25
III. Gesteinszonen und Gesteine	27

D. MORPHOLOGIE

I. Zur Methodik der morphologischen Kartierung	30
II. Morphometrische Studien (Hinweise)	32
III. Morphologie der Einzelformen	32
1. Die Verwitterung	33
2. Strukturformen: Tektonische Formen, Bruch- und Kluftekteonik und ihre morphologische Wirksamkeit, Geologische Formen — Selektiverosion	33
3. Mechanische Erosion und Akkumulation: Gips-Bad Lands, Wildbach-Serien, Bach-einschnitte und Flusskerben, Kolke und Strudellöcher, Flussterrassen, Rundhöcker, Schliffe, Schliffgrenzen, Tröge, Trogschultern, Trogplatten, Moränen, Kare, Riegel, Becken, Stufen, Bergstürze, Sackungen, Rutschungen, Schuttkegel und Schuttgehänge	42

	Seite
4. Chemische Erosion: Karren, Höhlen, Ponore, Karstquellen, Dolinen	51
5. Anthropogene Formen	53
IV. Morphogenese	
1. Materialdiskussion	54
2. Die Verflachungssysteme	54
3. Datierungsfragen	59
4. Geschichte der hydrographischen und morphologischen Verhältnisse	60

E. HYDROLOGIE

I. Hydrographie, Hydrogeologie	
1. Flüsse und Seen	64
2. Quellen. Typen, Lage, Wasserherkunft, Temperaturverhältnisse, Abflussmengen, Chemismus	65
3. Unterirdische Kommunikationen	69
4. Härte-Studien: Unsere feldmässige Analysenmethode, Ziele und Möglichkeiten, Karbonat- und Gesamthärte der Lukmanierwässer	71
5. Beträge chemischer Erosion	79
II. Die klimatischen Grundzüge	
1. Das Beobachtungsmaterial	82
2. Atlantisch-kontinentaler und insubrisch-mediterraner Typus	82
3. Doppelter Regime der alpinen Kammzone	83
III. Klima und Vegetation	83
IV. Der Wasserhaushalt	
1. Der Niederschlag: Beobachtungsnetz und Meßmethodik, Technische Mängel / Fehlerquellen, Schneehöhen und Wasserwerte; Periode und mittlere Jahressummen, Die regionale Verteilung, Die Ozeanität, Zeitliche Verteilung, Einzelniederschläge	84
2. Der Abfluss: Die Messungen, Das hydrologische Jahr, Die Jahreswerte, Dauerkurven, Der Jahreslauf des Abflusses, Schwankungen	99
3. Niederschlag — Abfluss — Beziehungen: Jahressummen und Periode, Der Abflusskoeffizient, Die monatlichen Beziehungen, Winter-Niederschlag/Sommer-Abfluss, Starkregen und Hochwasserabflüsse	106
4. Die Fremdwasser-Frage	115
5. Die hydrologische Bilanz	118

LITERATURVERZEICHNIS

A. EINFÜHRUNG UND ÜBERSCHAU

I. PROBLEME WEG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG

«Die weissgelbe Dolomitlandschaft von Casaccia an der Lukmanierstrasse, der wildzackige Dolomitgipfel des Pizzo Columbe zwischen den Gneisgipfeln Scai und Pizzo Lucomagno, die durch kohliges Pigment schwarz gefärbten, von Runsen und Tobel durchbrochenen Bündnerschieferberge der Ganna Negra und des Scopi ergeben auf engstem Raume in Farbe und Gestalt eine Mannigfaltigkeit, wie sie sonst kaum aus andern Teilen der Alpen bekannt ist.»

Paul Niggli, 1936

Es ist eigenartig genug, dass die Landschaft am altherühmten Kaiser-Pass Lucus Magnus, dieses Dorado der Mineralogen und Geologen, bis dato ohne besondere morphologische Bearbeitung geblieben ist. Wohl finden sich in den geologischen Werken — wir erwähnen unter ihren Autoren NIGGLI, PREISWERK, BOSSARD, HUBER und als solche von Kraftwerk-Gutachten CADISCH, STAUB, LEUPOLD, GYGAX und HÜGI — durchwegs verstreut auch einige morphologische Angaben und Hinweise.

Wohl haben auch LAUTENSACH 1912 und ANNAHEIM 1943 den Lukmanier in ihre Gesamt-Morphologien des Tessins eingebaut. Eine spezielle und detaillierte Untersuchung der *Formenwelt und Talbildungsgeschichte* der Valle del Lucomagno aber fehlte noch und wurde so zu einer unserer Hauptaufgaben.

Zu einem Spezialkapitel entwickelte sich im Laufe der Feldarbeiten die «*tektonische Morphologie*», indem wir die Oberflächenformen, möglichst zahlenmässig, auf ihre Struktur-Abhängigkeit hin prüften (v. a. Kluft-Morphologie).

Hydrologisches Hauptziel war allgemein eine Darstellung des *Wasserhaushaltes* der Valle d. Lucomagno, die den auftraggebenden Staat Tessin vornehmlich technisch, als *Grundlage für hydroelektrische Werke*, interessierte. Zu diesem Zwecke waren einmal Niederschlags- und Abfluss-Messapparate zu erstellen, sodann hieraus *Messreihen* über mehrere Jahr hin.

Das hydrologische Geschehen des Untersuchungsgebietes erwies sich des öftern als allen Regeln zuwiderlaufend. Dies ist in seinen Eigenheiten in Bezug auf Lage, Bau, Gesteine, Formenwelt etc. zu begründen. Die Kenntnis dieser Grundlagen zeigte sich deshalb gerade hier als für den Hydrologen unumgänglich, wie es auch wegweisend in der folgenden Definition O. LÜTSCHGS, des Pioniers und Altmeisters der Hochgebirgshydrologie, zum Ausdruck kommt: «Die Gewässerkunde muss nach *geographisch-hydrologischer Methode* arbeiten. Ihre Aufgabe besteht darin, den ursächlichen Zusammenhang sämtlicher Gewässer eines gegebenen Forschungsgebietes mit der geographischen Landschaft nach Geologie, Geomorphologie, Boden und Vegetation, klarzustellen.»

Eine Spezialaufgabe bestand in der Verfolgung der *Fremdwasser-Frage*, die von GYGAX (1946, a) aufgeworfen worden war. In diesem und im Zusammenhange mit dem morphologischen Spezialkapitel der *Karstphänomene* ergab sich in der *chemischen Morphologie und der Hydrogeologie* ein neues Teilziel. Den *Härte-Studien* kommt insofern eine gewisse besondere Bedeutung zu, als wohl noch nie auf diese Weise ein Gebiet systematisch studiert worden ist.

II. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Topographie, Orographie

Es liegt nahe, den wohlklingenden Namen des alten Kaiser-Passes von «Lucus Magnus», grosser Hain, abzuleiten, woran in der Tat die Föhren-, Arven- und Lärchen-Bestände erinnern könnten, die heute noch das augengefällige Charakteristikum des Hochgebirgspasses darstellen und zu den schönsten der Schweiz gezählt werden. Auf der Südseite der Passhöhe umfasst unser morphologisches Untersuchungsgebiet die ganze Valle del Lucomagno bis Olivone mit 55,5 km², das hydrologische Gebiet die Fläche von 34,9 km² bis zum Limnigraphen Campra. Das zentralalpine Hochtal des Brenno d. L. gehört mit dem V. Camadra, der grössern der beiden Quellwurzeln des Bleniotals, zum südalpinen Flussgebiet des Ticino. Mittl. Höhe (aus der hypsograph. Kurve): 1907 m ü. M.

Tektonik, Geologie

Der Lukmanier liegt in der spannungsreichen heterogenen Brandungszone der penninischen Decken ans Gotthardmassiv (Tessin-Kulmination). Drei tektonische Einheiten streichen E—W durch das Gebiet: im N das SE-Ende des herzynischen Kristallinmassivs, im S die Lucomagno-Decke (v. a. Gneise), dazwischen die sedimentäre Mulde Bedretto—Piora—Lucomagno. Deren mächtig entwickelte durchlässige Gesteine, Dolomit, Rauhwacke und Gips, sind für die Hydrologie von besonderer Bedeutung. Zu Ihnen gesellen sich als Charaktergesteine mächtige gotthardmassivische und penninische Bündnerschiefer-Massen. Die eigenartige Verbreiterung der Sedimentzone im Gebiet des Passtaies dürfte auf eine tektonische Störungslinie zurückzuführen sein.

Methodisches

Zwei feldmässige Instrumentarien wurden vom Verfasser teilweise selbst entwickelt: 1. wurde zur *Bestimmung von Schnee-Wasserwerten* und damit zur Korrektur der *Totalisatoren-Werte* (Wind-Fehler) auf der Basis der gewichtsmässigen Bestimmung eine geeignete Einrichtung zusammengestellt, deren Hauptgerät eine auf den gewünschten Messbereich geeichte Hebelwaage darstellt. Ein 2. Instrumentarium wurde zur *feldmässigen Ermittlung von Karbonat- und Gesamthärte* des Wassers erstellt, wobei u. W. erstmals in Schweizer Gelände mit der neuen Polyäthylen-Titrationsflasche, zudem, ebenfalls wohl erstmals, mit einem Trockenindikator gearbeitet wurde.

Des weitern liegen die methodischen Anliegen vorwiegend auf 3 Ebenen:

1. *Die morphologische Kartierung.* Die diesbezüglichen Methoden werden in einem Kapitel speziell erörtert (versch. Beilagen: Detailkarten).
2. *Morphometrische Studien.* Sie stellen einen Beitrag dar an einen mutmasslichen Hauptforschungszweig der zukünftigen Morphologie: die quantitative Erfassung von morphologischen Zuständen und Prozessen und ihrer Entwicklungsgeschichte.
3. *Graphische Darstellungen.* Alle wichtigeren zahlenmässigen Erhebungen wurden bewusst graphisch zu veranschaulichen versucht. Verschiedene Diagramme wurden selbst entwickelt (Richtungsrosen, Härte-Diagramm und Härte-Profil, Schneeprofile und Wasserwertskurven). Auch dürften graphische Darstellungen gewisser anderer Probleme hier zum ersten Mal vorgelegt worden sein:

Temperaturverhältnisse in Dolinen

Härte-Karte

Härte-Diagramme von Lukmanierwässern u. a.

Härte-Profil des Brenno d. L.

Profil der Ozeanität (Niederschlag)

Kurven der N Häufigkeit und -Dichte

Verteilungskurven von Dauer, Ertrag und Intensität der Einzelniederschläge

Bilanz-Diagramm des Wasserhaushalts.

Morphologie

Sowohl tektonisch bedingte Grossformen (allg. E-W-Morphologie, einzelne Aufwölbungen des untertauchenden Gotthardmassivs, Talverläufe, Lucomagno-Massiv u. a.) wie Kleinformen (Rund-

höcker, Kerbtälchen u. a.) sind zahlreich, teilweise exemplarhaft, vorhanden. Ferner konnte auf Grund Hunderter von Kluftmessungen eine starke Ausrichtung der morphologischen Linien (Talrinnen, Flusslaufstücke, Ketten, Rippen, Kerben, Couloirs etc.) nach bestimmten Kluftsystemen nachgewiesen werden. Ebenfalls sind fast ausschliesslich die Riegel und Stufen der V. d. Lucomagno tektonisch-geologisch bedingt.

Unter den fluvialen Formen sind hervorzuheben die eigenartigen «Bad Lands» im Gips von Pertusio, die Wildbach-Kerben der steilen linken Talflanke oberhalb Acquacalda und ihre Schuttdeltas (nach LAUTENSACH (1912) die markantesten Beispiele des Tessins), die fossilen Schluchten und Kolke von Pertusio. Die Glazialformen sind typisch vertreten durch die Lehnstuhl-Kare und die Trogshulter des Lucomagno-Massivs, verschiedenerorts durch Rundhöcker grossen Stils (Passhöhe!) und durch Moränenwälle der Jungeiszeit. Zahlreich weisen die steilen reichgeklüfteten Talflanken Bergstürze, Sackungen und Rutschungen auf.

Von den Karstformen wurden speziell Dolinen und Karstquellen studiert. Anhand von Richtungs-Rosen wurde das Auftreten der Dolinen auf Kluft-Lineamenten deutlich gemacht. Dichte: > 100/ha. Als Typform wurde die Trichterdoline, als genetische Typen 1. Versickerungsdoline, 2. Schluckdoline, 3. Einsturzdoline, als Sonderbildungen blinde Tälchen, Dolinenfamilien (Uvalas), Moränendolinen und Dolinenseelein dargestellt.

Morphogenese

Die Verflachungs-Stücke konnten (recht unsicher) zu 4 Felsterrassen-Systemen verbunden werden: 1. Niveau der Hochkare (Pettanetto), 2. Niveau der Hauptverflachungen (Bedretto), 3. Niveau der Talterrassen (Sobrio), 4. Boden-Niveau (Würm). Ueber diesen erstreckt sich eine ausgeprägt einheitliche Gipfflur. Ein eigentliches Schachtelrelief weist das Tal nicht auf.

In der Tertiärzeit dürfte der Lukmanier-Brenno nach STAUB (via Medels) als Seiten-Quellwurzel einer Blenio-Linth bestanden haben. Im Pliozän verlief die kontinentale Wasserscheide auf der Höhe des Lucomagno-Massivs. Der Einbruch der südalpinen Flüsse brachte in der Späteiszeit die Nordverlegung der alpinen Firstlinie an die heutige Stelle. Der Lukmanier ist als Diffluenzpass des Eises aus dem Cadlimo-Rondadura-Gebiet zu bezeichnen. Zahlreich sind postglaziale Epigenesen durch Jungmoränen. Es sind Hinweise auf eine Schluss-Eiszeit vorhanden.

Hydrographie, Hydrogeologie

Als Flussdichte resultiert ein recht kleiner Wert 0,7—0,8 km/m², zu erklären durch die Karsthydrographie. Grössere Seen fehlen. Unter den Quellen sticht hervor die grosse Stromquelle Pertusio, die eingehend auf Wasserherkunft (Färbversuche EAWW), Temperatur, Ertrag und Chemismus untersucht wurde.

Wasser-Analysen, systematisch über das ganze Gebiet verteilt, erbrachten für den Brenno d. L. und Ri di Lareccio aussergewöhnlich hohe Sulfatgehalte bis zu 70° frz. Härte. Die Härten lieferten über hydrochemische Angaben hinaus (petrochem. und jahreszeitl. Abhängigkeit Härte-Profil des Brenno d. L., Parallelität zu el. Leitfähigkeit) Anhaltspunkte über unterirdische Wasserwege, Fremdwasser-Zuflüsse und stellen ein Mass der chem. Gebirgsabtragung dar (1 mm in bloss 3—4 Jahren!). Interesse von technischer Seite wird ihnen vom Kraftwerksbau her entgegengebracht (Betongefährdung durch Sulfatwässer).

Hydrologie

Das Klima der V. d. Lucomagno ist gemischt aus nordalpin-kontinentalen (und atlantischen) Elementen einerseits und südalpin-insubrisch-mediterranen andererseits («doppeltes Regime» der alpinen Kammzone). Hydrologisch kommt dies vorerst in den bekannten gussartigen Kurzniederschlägen zum Ausdruck, denen aber nun im Lukmanier 32,5% «kontinentale» Landregen mit Dauer > 12 h gegenüberstehen. Auch zeigen sich Intensität (mehr. < 0,2 mm/min.), Ertrag (mehr. < 20 mm), Häufigkeit (142 tg.) und Dichte der Einzelniederschläge (14,4 mm/Ntg.) als doppelten Einflüssen unterworfen. So stellt sich ebenso im Jahresverlauf der 5jährigen Periode ein Sommer-Hauptmaximum ein (allerdings entgegen der 40jährigen Periode mit insubrischem Herbst-Maximum).

Die regional grossen Niederschlags-Unterschiede sind in lokalen Sonderlagen begründet, was sich besonders in der Abhängigkeit von der Meereshöhe, die eine sehr bedingte ist, zeigt. Niederschlags- und Ozeanitäts-Profile erhellen des weitern die vornehmlich durch Staulagen bewirkten Niederschlags-eigenheiten (Ozeanitäts-Mittel = $46^{\circ} 57'$). Ueber die Jahre hin bewegen sich die Unterschiede zwischen den Stationen mit höchstem und geringstem Niederschlag recht einheitlich um 1:2. Mittl. N Masse 71,2 Mio m³/Jahr. Mittl. N Höhe = 204 cm/Jahr.

Die Abflusswerte erweisen sich als ausserordentlich hoch, was einmal in der A Spende von 62,7 l s⁻¹ km⁻², zum andern besonders relativ zum Niederschlag zur Geltung kommt, indem der A Koeffizient 97,3% beträgt! Diese Verhältnisse müssen mit Wasser-Zutritt aus Fremdgebieten gedeutet werden. Im Jahresverlauf erkennen wir für den Brenno d. L. ausgesprochenes «Schnee-regime» (Juni-Maximum). Die A Schwankungen sind durchwegs eher gering (Retentions-Ausgleich).

Sowohl in den Jahres- wie den monatlichen Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss machen sich starke Retentionen bemerkbar: besonders ist festzustellen, dass Vorräte aus nassen Jahren in trockenen nachfolgenden zum Abfluss gelangen. — Gleichungen wurden bestimmt für die Relationen zwischen N und A, N und A Koeff. und zwischen Winter N und Sommer A.

Die Mehrzahl der Hochwasserwellen, verursacht durch einzelne Starkregen, fallen auf den Juni (Kumulation mit Schnee-Schmelzwassern). Für 2 Hochwasser konnten die geringen A Koeff. von 2,3 und 6,3% ermittelt werden, sowie Verzögerungen im Abfluss (Retention in Karstgesteinen). Die Geschwindigkeit der Hochwasserwellen beträgt bei mittlerem A von 10—20 m³ s⁻¹ rund 10 km/h.

Aus den Nachbargebieten V. Piora, V. d. Campo und Ri d. Dötra werden Zuschüsse von (Fremd-)Wasser postuliert — vermutet aus V. Medels — und auch zahlenmässig belegt. Diese Zuflüsse machen den Hauptteil der bekannten hohen Minimal-Abflussmengen des Brenno d. L., fast $\frac{1}{6}$ des mittl. Abflusses (des geschlossenen Gebietes), aus.

Die hydrologische Bilanz als zusammenfassende und bedeutungsvollste Aussage lässt sich für das komplizierte Gebiet, v. a. mangels breiterer Streuung der Werte, nur mit Vorbehalten mitteilen; sie lautet für die 5jährige Periode 1953/54—1957/58:

$$\begin{aligned} V &= N - A + (B - R + F) \\ &= 2038 - 1984 + (-60 + 310)\text{mm} = 304\text{ mm} = 15\% \text{ (des N)} \end{aligned}$$

In der Gleichung durfte (B—R) nicht als ausgeglichen belassen werden ($V = N - A$), da die R bildenden nassen Jahre 3:2 überwiegen; zudem musste die Formel um das neue Glied $F = \text{Fremdwasser-Zuschuss}$ erweitert werden. Mit dem Bilanz-Diagramm wurde versucht, die Wasser-Bilanz auch graphisch darzustellen.

III. RIASSUNTO

Topografia

La valle del Lucomagno, già valle di Sta. Maria, è parte del bacino superiore del Brenno, affluente del fiume Ticino. Ora ampia, ora augusta, solca per una lunghezza di km 15 il versante meridionale delle Alpi Centrali, ad una altitudine media di 1907 m s. m., con una superficie di 55,5 km² fino ad Olivone. Il suo bacino idrologico occupa 34,9 km².

Geologia

Il Lucomagno è situato nella eterogenea zona di contatto delle coltri penniniche con il massiccio del Gottardo (culminazione del Ticino). Tre elementi tettonici percorrono la regione in direzione E—O: a Nord il massiccio cristallino, a Sud la «coltre del Lucomagno» e fra i due la sinclinale mesozoica Bedretto—Piora—Lucomagno con dolomia, dolomia carinata, calcemiscisti (Bündnerschiefer), rocce permeabili che rivestono particolare importanza per l'idrografia della regione.

Morfologia

Studi morfometrici (morfologia quantitativa)

Cartine morfologiche

Rappresentazioni grafiche

Forme dovute alla tettonica generale in direzione E—O, singole culminazioni del massiccio del Gottardo che si immerge verso Est. Forme meno pronunciate (piccole), a volte esemplari (dossi montonati, intaccature). In base a misurazioni delle fessure si è potuto comprovare la dipendenza delle linee morfologiche da determinati sistemi di fessuramento (valloncelli, tratti di percorsi fluviali, catene, costole, frastagli, couloirs). Nella valle del Lucomagno la geologia ha inoltre prestabilito la formazione di conche e di gradini.

Delle forme fluviali sono da citare quelle dovute all'erosione dei torrenti che incidono i fianchi scoscesi del versante di sinistra sopra Acqualda ed i loro con di deiezione (secondo LAUTENSACH gli esempi più classici del Ticino), le gole ed i pozzi di Pertusio. Esempi tipici di conche glaciali (Kare), di dossi montonati (valico!), dei cordoni morenici dell'ultimo periodo glaciale. I pendii ripidi, abbondantemente fessurati, hanno favorito frane e scoscendimenti. Delle forme tipicamente carsiche sono state studiate le doline e le sorgenti. La distribuzione delle doline è in stretta relazione con la linea di fessuramento, con una media di più di 100 per ettaro. Tipiche le doline imbutiformi rivestite di vegetazione.

Genesi della valle

I ripiani della regione del Lucomagno vengono attribuiti (senza indiscutibili prove!) a quattro sistemi di terrazzi.

- 1° livello delle alte conche glaciali (Hochkare. Pettanetto)
- 2° livello dei grandi ripiani (Bedretto)
- 3° livello dei terrazzi inferiori (Sobrio)
- 4° livello del fondo vallivo (Würm)

Le cime che dominano le linee di vetta conservano più meno la stessa altitudine (Gipflur). Ma nella valle del Lucomagno, queste caratteristiche forme di rilievo non si presentano nette e continue. Si suppone che nell'epoca Terziaria il Brenno del Lucomagno sia stato una delle sorgenti laterali della «Blenio-Linth» (STAUB). Nel Pliocene lo spartiacque continentale potrebbe essersi trovato sulla linea del massiccio del Lucomagno.

Idrogeologia

Apparecchi, costruiti in parte dall'autore stesso, hanno permesso:

- 1° la determinazione del peso dell'acqua di neve sciolta.
- 2° l'analisi chimica della durezza dell'acqua (nuova bottiglia di Polyäthylen per la titrazione).

Studio della grande sorgente carsica di Pertusio: provenienza dell'acqua, temperatura, portata e chimismo. Da analisi, ripartite sistematicamente su tutta la regione, si ebbero, per il Brenno del Lucomagno ed il Ri di Lareccio, eccezionali quantità di solfato, fino ad una durezza di 70° francesi (Reno a Landquart 12°). Oltre ai dati idrochimici, i gradi di durezza fornirono punti di riferimento per la provenienza dell'acqua, l'afflusso di acque estranee e la possibilità di stabilire con esattezza particolari sulla corrosione chimica della roccia. (1 mm in soli 3—4 anni!). Questi risultati possono tornare utili anche alla tecnica, come per l'effetto negativo dell'acqua solforosa sul cemento.

Idrologia

Il clima della regione del Lucomagno subisce l'influsso di elementi insubrici (clima mediterraneo subalpino) e di elementi nordalpini (atlantico—continentale).

Precipitazioni: in base ai dati forniti da 10 pluviometri (totalizzatori) sono stati allestiti cartine, profili. La quantità media delle precipitazioni annue è di 71,2 milioni di m³, ossia 204 cm. Per gli anni 1901—41, la distribuzione mensile presenta le 3 punte insubriche: ottobre

(massimo) agosto e maggio. Ma per 1953/54—1957/58 il massimo continentale è nell'estate (agosto); il minimo in gennaio.

Media delle giornate con precipitazioni: 142 (Zurigo 158) Densità delle precipitazioni per un giorno di pioggia: 14,4 mm (Zurigo 6,8 mm).

Di 350 precipitazioni (Campo Blenio) venne registrata la durata di 51,8% da 30 min. a 6 ore; 32,5% più di 12 ore. Intensità (mm per min.): generalmente più di 0,2 mm al min.

L'altezza delle precipitazioni annue aumenta più o meno regolarmente con l'altitudine: per 100 m d'altitudine 100 mm di precipitazioni.

Deflusso: Misurazioni con 3 limnometri e con mulinello. La portata annua media è molto alta: 69,4 milioni di m³, ovvero 198 cm di altezza, corrispondenti ad un deflusso specifico di 62,7 litri per secondo e per km². Distribuzione mensile del deflusso: massimo in giugno (regime nivale), minimo in marzo.

I valori estremi danno un coefficiente di oscillazioni piuttosto basso: 1:18 (Magliasina 1:113), assoluto 1:58 (copiose riserve nella roccia madrosa carsica).

Precipitazioni e deflusso: Il numero delle punte di deflusso (portata superiore a 4 m³/sec.) raggiunge una media annua di 12, quasi tutte in giugno (cumulazione con lo scioglimento delle nevi). Segue lo studio analitico di due acquedotti isolati: durata delle piene, coefficienti di deflusso, ritenzione, velocità delle onde di piena.

Determinazione dei rapporti:

- a) tra precipitazioni e deflusso
- b) tra precipitazioni e coefficiente di deflusso
- c) tra precipitazioni invernali e deflusso estivo.

Tanto nei rapporti annui quanto in quelli mensili si riscontra una forte ritenzione. Le riserve di un anno umido defluiscono nel prossimo anno asciutto (secondo i coefficienti di deflusso per singole annate fino a 112,2%: 1954/55). Il deflusso è dunque relativamente grande in anni asciutti! Coefficiente di deflusso: media 97,3%. Questo singolare valore alto, caratteristico come gli altri deflussi specifici minimi, è dovuto ad affluenti estranei. Si tratta di affluenti di V. Piora, V. di Campo, del Ri di Dötta e probabilmente dalla V. Medels, ai quali si può attribuire quasi 1/6 del deflusso medio normale (Brenno Campra).

Per un bilancio idrologico di una valle così eterogenea come questa, sono indispensabili ulteriori misurazioni.

Medie 1953/54—1957/58

Precipitazioni = 2038 mm

Deflusso (dello stesso periodo) = 1984 mm

Evaporazione = 304 mm = 15% delle precipitazioni

Riserve (devute a queste precipitazioni) minus consumo (delle vecchie riserve) = 60 mm

Affluenti estranei (regioni limitrofe) = 310 mm

IV. SUMMARY

The central-Alpine high-valley of the Brenno del Lucomagno, together with the Valle Camadra, the bigger of the two source-roots of the Blenio valley, belongs to the south-Alpine river district of the Ticino. Average altitude according to the hypsographical map is 1907 m.

On the southern slopes of the Lucomagno pass, our morphological field of investigation encloses the whole Valle del Lucomagno as far as Olivone and has a surface area of 55,2 km². The hydrological area includes 34,9 km² extending as far as the limnigraph at Campra.

Methods of Fieldwork and Evaluation

Two instruments for use in the field were developed, partly by the author himself: one for the evaluation of snow-water-values (correction of totalizer values, wind-errors); the second to measure the carbonate and the total degree of hardness of the water by means of a polyethylene titration-bottle and a dryindicator, both probably being used for the first time in Switzerland. Three principal topics of the author are:

1. the morphological mapping

2. morphometrical studies (quantitative examination of morphological processes and their evolution)
3. graphic tables illustrating quantitative investigation

Tectonics; Geology

The Lucomagno lies in the high-stress and heterogeneous «breaker» zone between the Pennine cover masks and the massif of the Gotthard (Ticino culmination). Three tectonic units cross the district from east to west: in the north, the south-east end of the herzynian cristalline massif; in the south, the Lucomagno cover, especially its gneiss; and in between the two, the sedimentary basin of the Bedretto—Piora—Lucomagno area. The massively developed and pervious rockmasses of the latter, consisting of dolomite, «Rauhwasche» and gypsum, are of special importance for hydrology. Huge rocks of the Gotthard massif and pennine layers of micaschists of the Grisons are characteristic features of this region too.

Morphology

Both major and minor features due to tectonics are numerous and are, to a certain extent, typical. (The major features are: general east-west morphology, occasional updomings of the plunging Gotthard massif, watercourses. Minor features include glaciated knobs, cuts etc.)

Furthermore, owing to very many measurements, the morphological lines (valleys, watercourses, chains, ridges, breaches, couloirs) could clearly be traced back to certain systems of joints. The barriers and steps of the Lucomagno valley too are nearly all dependent on tectonics and geology.

Among the fluvial forms should be stressed the typical «Bad Lands» in the gypsum of Pertusio, the torrent-cuts of the steep flank above Acquacalda and their talus deltas, (according to LAUTENSACH the best examples in the Ticino) and finally the fossil gorges and pot-holes of Pertusio.

Typical of the glacial forms are the armchair-cirques and the trough-shoulder of the Lucomagno massif; here and there are enormous glaciated knobs (summit of the pass) and moraine-walls of the Würm iceage. The steep, richly cleft flanks of the valleys show numerous rockslips, settlings and slides.

Among the Karst forms sink-holes (Dolinen) and springs were especially studied. By means of sketches indicating the direction, the appearance of sink-holes on cleft-Systems was clearly outlined. Density: more than 100 to one hectare. Quotient of sink-holes, i. e. $\frac{\text{average diameter}}{\text{maximal depth}} =$ about 2. The funnel sink-hole is typical for the region. With regard to their origin we distinguish between trickle sing-holes, engulfing sink-holes and collapse sink-holes. Special formations are blind valleys, uvalas, moraine sink-holes and sink-hole ponds.

Morphogenesis (Formation of Valleys)

The more level parts of the valley can probably be traced back to rock-terrace systems:

1. Level of the high cirques (Pettanetto)
2. Level of the main flat parts (Bedretto)
3. Level of the valley-terraces (Sobrio)
4. Ground level (Würm period)

Above these levels there is a very homogeneous summit region. In the tertiary period the Brenno des Lucomagno may have existed as a lateral river of a Blenio-Linth flowing through the Medels valley (STAUB). In the Pliocene age the continental water-partings were at the top of the Lucomagno massif.

Hydrogeology

In the region in question there are no glaciers. The big Karst streamsource at Pertusio was thoroughly examined with regard to the origin of its water (colouring experiments), temperature, quantity and chemical composition.

For the Brenno del Lucomagno and the Ri di Lareccio systematic wateranalyses showed an exceptionally high sulphate content, up to 70° of French hardness (Table). Hydrochemical statements concern hardness, off-flowing conditions in the course of the seasons, hardness-profiles of the Brenno del Lucomagno, electric conducting capacity.

Research was also conducted into subterranean waterways, foreign tributaries and the extent of chemical erosion (1 mm in only 3 to 4 years).

Hydrology

The climate of the Valle del Lucomagno is a mixture of the north-Alpine, continental and Atlantic elements on one side and south-Alpine, insubric, mediterranean ones on the other. We speak of a double climate in the alpine crest-zone. This is observed in the characteristic of short rain showers, although on the other hand 32,5% of rainfalls in this area last more than 12 hours.

The influence of both climate-types is also to be seen in intensity, very often reaching more than 2 mm in a minute, in quantity, reaching to over 20 mm, in frequency up to 142 days in one year, and in the density of the rainfall, namely 14,4 mm on one rainy day.

Considering more extensive lengths of time there is a 5 years' period with a summer maximum, and a 40 years' period with an insubric autumn maximum. The great regional differences in rainfall are attributed to exceptional local weather conditions, especially dependent on altitude above sea-level.

Tables showing precipitation and oceanity illustrate the peculiarities in rainfall chiefly caused by the stowing effect of the mountainchains. Average of oceanity: more than 46° 57'. During the years the differences between the measuring stations with the highest and the lowest rainfall move quite homogeneously in a proportion between 1 and 2. Average quantitative precipitation 71,2 million m³ in a year, average precipitation height 204 cm in a year.

The discharge values are exceptionally high, the run-off amounting to 62,7 litres per second per km². This can only be explained by a supply of water from neighbouring districts.

In the course of the year the Brenno del Lucomagno proves to be a river of the so called nival type reaching its maximum of discharge in June. The vacillations are rather insignificant throughout, and we may speak of compensation by retention.

In the annual as well as in the monthly relations between precipitation and discharge we state much retention, and we noticed that water from wet years flows off during the following dry years.

Equations were drawn up showing the relations between precipitation and discharge, precipitation and discharge-coefficient and between winter precipitation and summer discharge.

Most high-waters caused by single dense rains are in June, owing to accumulations of snow melt. Two high-waters showed low discharge-coefficients of 2,3 and 6,3%, as well as retardations in discharge due to retention in Karst rock.

The speed of the high-waters at an average discharge of 10 to 20 m³ a second amounts to about 10 km an hour.

Additional supplies of foreign water are proved to come from the neighbouring Valle Piora, Valle die Campo and Ri di Dötra, whereas supply from the Val Medels is assumed. These supplies form the main part of the well-known high minimal discharges of the Brenno del Lucomagno, nearly 1/6 of its average run-off.

All results can be given only with reservation, especially because the measured values do not spread sufficiently in the 5 years' period 1953—58. The following equation was drawn up to find out evaporation:

Precipitation + foreign water + consumption = discharge + evaporation + retention

or

evaporation = precipitation — discharge + (consumption — retention + foreign water)
 = 2038 mm — 1984 mm + (— 60 mm + 310 mm)
 = 304 mm or 15% of precipitation

B. TOPOGRAPHIE, OROGRAPHIE

I. DIE TOPOGRAPHISCHE NOMENKLATUR

In Form und Schreibweise der Namen halten wir uns an die neue Landeskarte 1:50 000. Da mit der Neubezeichnung im dialektischen Prinzip Veränderungen und Verstellungen älterer schriftsprachlicher Kartennamen (Topogr. Atlas) verbunden sind, geben wir in einer Liste eine Gegenüberstellung der wichtigsten derartigen Formen:

<i>Topogr. Atlas</i>	<i>LK 1:50 000</i>
Val S. Maria	Valle del Lucomagno
P. Negro	Porta del Corvo
P. Corvo	P. Cadreghe
Pertusa	Pertusio
Scai	P. dell'Uomo
P. Columbe	P. Corombe
P. Lucomagno	P. Sole
San Pro	Samprou
R. Bianco	Ri di Lareccio
Brönico	Brönich
Mti. Dotro	Dötra
Mti. Anvedua	Anvéuda
Mti. Sasco	Sacco
Bosco Maggiore	Gualdo Maggiore

Gelände- und Siedelungsnamen machen nicht selten bedeutsame Aussagen über die Natur- wie die Kulturlandschaft, v. a. auch über ältere Zustände, was wir mit einigen Hinweisen für unser Gebiet belegen möchten.

Die Deutung «Lucus magnus» (Lucomagno) für den Namen des alten Kaiserpasses mit der prächtigen Eigenart seines Arven-Föhren-Lärchen-Haines ist zwar nicht gesichert.

«Gana Negra» und «Gana Rossa» (Schutthalden) weisen hin auf die geologische Farbmännigfalt, und treffend sind mit dem ältern Flurnamen «La Farina» die mehligweissen Gipsvorkommen bei Pertusio charakterisiert. «Selva Secca» heisst ebenso treffend die den kluftreichen Granitstock bei Acquacalda bedeckende Waldkappe.

Zur klassischen Karstquelle unterhalb der Passhöhe führt der Name «Pertusio» (Pertusa), wobei wir an die Pierre Pertuis, den «durchlöcherten Fels» am alten Römer Jurapass erinnert werden. Bezeichnet «Acquacalda» einen ehemaligen Zustand? Heute tritt dort nirgends thermisches Wasser aus. — Bezeichnend für die dialektische Nomenklatur ist in der neuen Landeskarte das Auftauchen des in der Mundart überlieferten alten «Gualdo» (Maggiore) (valdo, langobard. waldus).

Bloss an zwei Beispielen sei aufgezeigt die Aussage von Ortsnamen über das Leben der Menschen in der Berg- und Passlandschaft: «Casascia» (Casaccia) bezeichnet die unwirtliche Stelle am Rand des Vallone-Wildbachschuttfächers, wo das ehemalige gleichnamige Ospizio stand, das am 31. August 1877 von Hochwasser und Wildbachschutt zerstört wurde. — Ein häufiger altertümlicher Siedelungsname, typisch für die Alpweidenregion des Lukmaniergebietes, ist «Stabio» (lat. stabulum, Stall).

II. LAGE, GRENZEN, GRÖSSE

Unser Untersuchungsgebiet, die Valle del Lucomagno, liegt sowohl mit Bezug auf die Längs- wie die Quererstreckung im Zentralraum der Alpen (Gotthard-Massiv), einmal in der Ueberschneidungszone von west- und ostalpinem Streichen, zum andern unmittelbar angrenzend an die Hauptwasserscheide (Firstlinie) des Gebirges auf dessen Südabdachung. Dieses Gebiet, eine tektonische Kulminationszone, ist durch eine ausgeprägte morphologische Depression gekennzeichnet; die das Tal durchziehende Lukmanierstrasse stellt den *tieftsten zentralalpinen Passübergang* der Schweiz dar (1916 m), da die Maloja bloss das Engadin mit dem Süden verbindet.

Die V. d. Lucomagno, Einzugsgebiet des Brenno del Lucomagno, gehört hydrographisch zum Tessin-Flussgebiet, politisch zur tessinischen Gemeinde Olivone (Abb. 1).

Lage im Gradnetz der Erde: ca. zwischen $46^{\circ} 30'$ und $46^{\circ} 34'$ nördlicher Breite
und $8^{\circ} 45'$ und $8^{\circ} 56'$ östlicher Länge

Km-Koordinaten von Bern: ca. 702 000 — 715 000 /
151 000 — 159 000

Die Begrenzung des Untersuchungsgebiets ist eine völlig *natürliche*, jene des Einzugsgebiets des Brenno d. L. von Scopi und Lukmanier-Passhöhe bis zum Brenno-Haupttal bei Olivone (Val Blenio). Den begrenzenden Gebirgsrahmen bilden, vom Bleniotal aus nord- und westwärts begonnen: Toira — Costa — P. Cadreghe — Scopi — Passhöhe Lucomagno — P. dell'Uomo — P. Sole — P. di Campello — Pta. di Larescia. In der selben Linie verläuft die Westgrenze der Gemeinde Olivone, zudem fallen in der Passhöhegegend die Hauptwasserscheide der Alpen und die Kantonsgrenze Tessin/Graubünden damit zusammen.

Im N grenzen an das Gebiet das Val di Campo (Campo Blenio) und das bündnerische Val Medels, im W das Val Piora, im S die Valle Leventina.

Die V. d. Lucomagno bedeckt mit 55,5 km² die w Teile der ausgedehnten Berggemeinde Olivone (72 km²). Die Tallänge beträgt ca. 15 km. Der hydrologische Untersuchungssektor bis zum Limmigraphen von Campra umfasst die Fläche von 34,9 km². Diesen relativ kleinen Arealzahlen steht eine beträchtliche Vertikalausdehnung von 860 bis 3199 m ü. M. gegenüber.

III. HYDROGRAPHISCH-TOPOGRAPHISCHE GLIEDERUNG

Das bei Biasca ebensohlig ins Tessintal mündende Val Blenio steht jenem als gleichgeordnetes Seiten-Haupttal gegenüber, dessen eiszeitlicher Gletscherstrom aus dem ausgedehnten hochgelegenen Firngebiet Adula — P. Medels — Lukmanier sogar den des Stammtals übertraf. Auch heute noch: Ticino bis Brenno, Firn und Gletscher 7,5 km²; Brenno bis Ticino 12,9 km².

In den Blenio-Brenno ergiesst sich bei Olivone von 550 m hoher Mündungsstufe der *Brenno del Lucomagno*. Sein Flussgebiet stellt demnach mit Ausnahme des geringen, durch Steilenwanderung etwas erweiterten Anteils am Kessel von Olivone (Sommascona — Lavórceno) ein ausgeprägtes *sekundäres Hängetal* dar.

Im S ist das Tal begrenzt durch das Lucomagno-Massiv von P. Sole bis Pta. di Larescia, die penninische Deckenstirn, im N durch die Bündnerschieferberge Scopi — Costa — Toira. Es handelt sich beidseits um markante Bergketten, die den stark übertieften, *recht einheitlichen Talraum* hoch abschliessen. Im NW bildet die Grenze der P. dell'Uomo, rundgebuckeltes Kristallin des abtauchenden Gotthardmassivs, während gegen die Piora zu der Grenzkamm in den Rauh- wackegesteinen tiefe Einsattelungen aufweist und schliesslich im Gebiet der flachen Pass-Wasserscheide ganz zu einer Lücke durchbrochen ist.

Das Flussgebiet des Brenno d. L. lässt sich wie folgt gliedern: 3 Seitentäler münden ins Haupttal, das seinerseits in 2 genetisch verschiedenartige Abschnitte zerfällt. In den oberen, den *Quertalabschnitt* Passhöhe—Pian Segno, münden von W der Riale aus der *Piano dei Canali* und sein grösserer Parallelfluss *Ri di Lareccio*. Dessen Tal stellt die eigentliche Fortsetzung des untern, *längstaligen Abschnittes* des Brenno d. L. dar. Unterhalb der Mündungsstufe nimmt dieser im *Kessel von Olivone* noch die Bäche aus dem ausgedehnten nördlichen Hochflächengebiet von *Dötra—Anveuda* auf.

IV. HYPSOGRAPHISCHE KURVEN (VERTIKALGLIEDERUNG)

Zu Fig. 1, worin neben derjenigen des Lukmaniertals vergleichshalber die hypsographische Kurve des gesamten Tessin-Einzugsgebiets konstruiert wurde, gehören die folgenden Werte:

Brenno d. L.

höchster Punkt: Scopi 3198,9 m
 tiefster Punkt: Solario (Olivone) 860 m
 mittlere Höhe: 1907 m

Ticino

höchster Punkt: Rheinwaldhorn 3402,2 m
 tiefster Punkt: Lago Maggiore 193 m
 mittlere Höhe: 1642 m

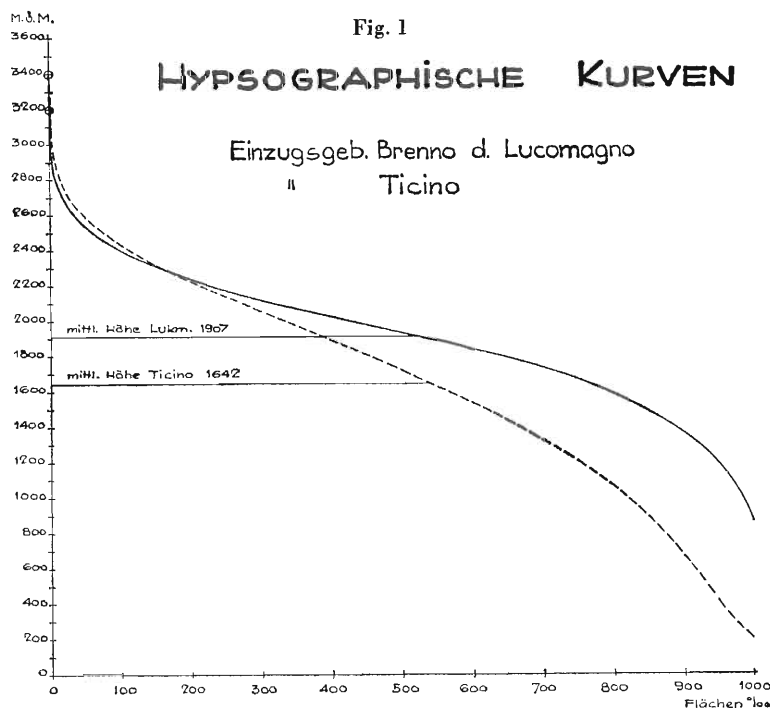
Zur Errechnung der mittleren Höhe wurde graphisch (planimetrisch) das Volumen des Einzugsgebietes, dargestellt durch die Fläche unter der Kurve, ermittelt.

$$\text{mittlere Höhe} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Fläche}} \quad (\text{des Einzugsgebiets})$$

$$V_{\text{Lucomagno}} = 58,224 \text{ km}^3$$

$$F = 55,504 \text{ km}^2$$

$$h_m = 1047 \text{ m } (+ 860 \text{ m})$$



Vergleichen wir die beiden Kurven, so fällt vorerst die bedeutend höhere Lage derjenigen des Untersuchungsgebiets auf, was indessen nicht erstaunt, halten wir uns das über seiner Mündungsstufe aufgehängte Tal vor Augen. Wer hätte dagegen die mittlere Höhe der V. d. Lucomagno um so vieles über der bereits relativ hohen des Tessingebiets geglaubt, wer hätte sie durch die Höhe der Passkulmination gelegt? 80% des Untersuchungsareals liegen über 1600 m (Tessin 57%), unter 1200 m liegen 5% (Tessin 25%).

Was speziell den Lukmanier betrifft, vermag man aus der Kurve nicht mehr herauszulesen, als dass es sich um ein steiles, stark reliefiertes Talgebiet handelt, dessen Höhendifferenz auf 15 km Lauflänge des Flusses 2340 m beträgt. Die grössten Arealanteile machen mit vollen 75% jene zwischen 1500 und 2400 m aus (Niveau der Hauptverflachungen). Der flachere Teil bei 2400 m liegt im Hochkarniveau, während andererseits der Steilabfall der Kurve unter 1200 m anschaulich die Mündungsstufe wiedergibt.

C. DIE TEKTONISCH-GEOLOGISCHEN GRUNDLAGEN

I. BEDEUTUNG UND ÜBERBLICK

Aus wenigen Hinweisen auf Begriffe wie Selektiverosion, formbildende tektonische Linien, glaziale Leitgesteine erhellt in klarer Eindringlichkeit die für den Morphologen schlechthin unbedingte Notwendigkeit der Kenntnis der tektonisch-geologischen Grundlagen seines Untersuchungsgebietes.

Ihrem Einfluss kommt ohne Zweifel innerhalb der meist komplexen Erosionsvorgänge eine dominierende Bedeutung zu. Als Wirkungsfaktoren sowohl von Gross- wie Kleinskulpturformen der Landschaft schenkt man ihnen heute die nötige vermehrte Beachtung.

Bereits zeichnet sich auf dem Hintergrunde des alten Gelehrtenstreites zwischen Fluvial- und Glazialtheoretikern eine neue Diskussionsrichtung ab, eben um die grössere Wirksamkeit der verschiedenen tektonischen und petrographischen Untergrundverhältnisse. Wie weit auch im Tessin, wo infolge ausgeprägter axialer Kulmination der Alpenkörper bis auf die tiefsten Decken durchbrochen ist, ergo die Erosion ein hohes Stadium erreicht hat, die morphologische Abhängigkeit von Bauefüge und Gesteinen besteht, oder noch besteht, soll als Teilziel der vorliegenden Arbeit für das nördliche Grenzgebiet im Raume des Lukmaniers geprüft werden.

Ein Detailstudium der Strukturabhängigkeit der Landschaftsformen bedingt wie erwähnt eine entsprechende, tiefergehende Kenntnis von Tektonik und Geologie des Untergrundes, was hier eine aussergewöhnlich breitangelegte Darstellung dieser Gegenstände zur Folge hat.

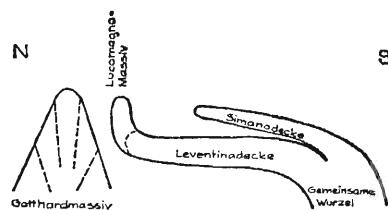


Fig. 2. Schematisches Profil durch die unterpenninischen Decken: Tessinkulmination. Nach PREISWERK und REINHARD (1934).

Die Decken des Untersuchungsgebietes — Lucornago-Teildecke, untergeordnet Sojadecke — liegen im Kulminationsraum der e Teil-Aufwölbung der Tessiner Decken, der Tessin-Kulmination s. str., (Tosa-Teil-Kulmination im W). Auch dem n angrenzenden Teil des Gotthardmassivs drückt dieses tektonische Primärphänomen, «das gewaltigste Phänomen im Längsprofil der Alpen» (BOSSARD, 1936) seinen Stempel auf.

Fig. 2 (PREISWERK, REINHARD, 1934) zeigt, wie die penninischen Deckenmassen aus den steilstehenden Schichten der Wurzelzone Locarno—Bellinzona übergehen in flachliegende Schubdecken, im N in aufgeworfener Stirn und neuer Steilstellung ans herzynische Widerlager des Gotthardmassivs branden. Unser Untersuchungsgebiet liegt zur Hauptsache in der diese spannungsreiche Grenzzone durchziehenden Sedimentmulde und schliesst noch je einen Gürtel der beiden erwähnten kristallinen Grosseinheiten des Alpenbaus ein (Abb. 3).

Diese Kontaktregion ist zwangsläufig gekennzeichnet durch grosse Heterogenität in Bauefüge und Gesteinen, ist dazu ein gut erschlossenes, instruktives Exkursionsgebiet, klassisches Dorado der geologisch-tektonischen wie der mineralogisch-petrographischen Forscher. So kann eine ebenfalls spannende und mannigfaltige Morphologie für das Gebiet vermutet werden!

II. TEKTONIK

Wir schliessen uns voll und ganz J. CADISCH (1953) an, wenn er betont: «Nur bei Berücksichtigung von Gross- und Kleintektonik kann die morphologische Forschung Erspriessliches leisten.» Die Tektonik des Untersuchungsgebietes ist nach der gegebenen Uebersicht jene des se Gotthardmassivs, seiner s Muldenzüge und der Stirnregion der permischen Decken, ist selbstredend und wie bereits erwähnt von grosser Komplex- und Kompliziertheit.

Das *Gotthardmassiv* ist als autochthon zu betrachten, es erfuhr ungefähr an Ort und Stelle Hebungen und weitere Beanspruchung innerhalb der alpinen Orogenese. Seine mesozoischen Mantelsedimente im S wurden durch die Deckenbrandung z. T. nordwärts über den Massivkörper verschoben und mit dem prätriadischen Kristallin in Schiefer- und Schichtflächen steilgestellt oder sogar nach S überkippt, zeigen also Nordfallen (NIGGLI, 1934) (Fächerstruktur des Gotthardmassivs). Im Orthogneis bei A. di Croce (1) und im Granitgneis der Selva Secca (2) ermittelten wir die folgenden Beträge:

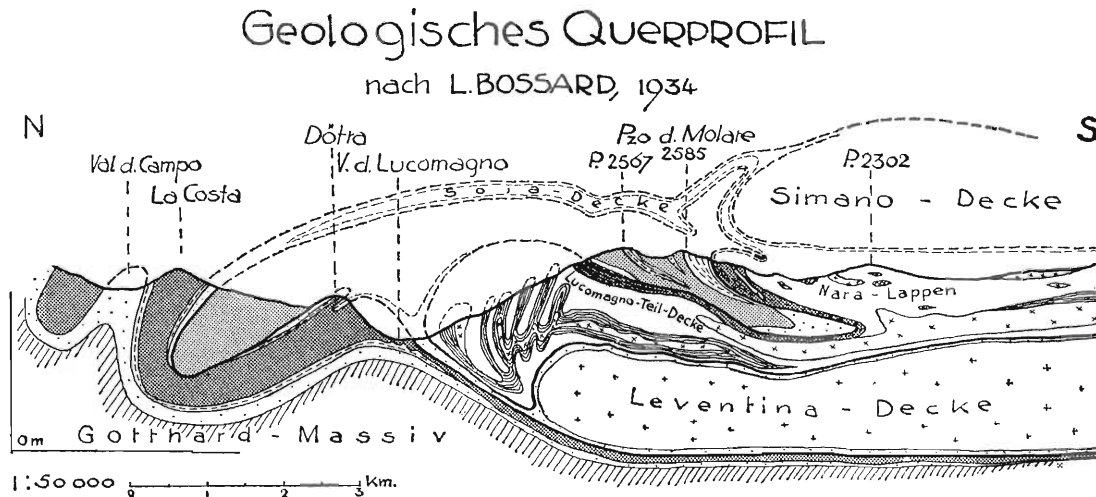
1.) Streichen 112° , Fallen 50° N

2.) Streichen 92° , Fallen 64° N
 103° , 55° N

Das gotthardmassivische Streichen ist demnach ungefähr W — E. Dazu erfolgt im Sinne des Streichens ein e Axialgefälle: Die südlichsten Orthogneiszüge tauchen auf der Höhe der Passtrasse (Acquacalda — Sta. Maria) unter ihre Sedimente ab. Nach CADISCH (1945) «fallen die ganzen Gesteinskomplexe in der Passregion mit ca. 32° axial nach E ein». Die gotthardmassivischen Bündnerschiefer am Oer d'Angiasco zeigen 20° .

Das se Ende des Massivs ist aufgelöst in einzelne Gneis-Granit-Aufwölbungen (Rondadura [Graubünden], P. dell'Uomo, Selva Secca), deren beide letzte sich im Untersuchungsgebiet morphologisch deutlich ausprägen. Dies tun vor allem die zwei Intrusionsstöcke der Pigna (Uomo) und der Selva Secca, der letztgenannte als Fenster in den Triassedimenten, dem natürlichen Hangenden.

Fig. 3



Mesozoische Sedimente

- Bündnerschiefer des Gotthardmassivs
- Bündnerschiefer des Penninikums
- Quartenschiefer hochmetamorph
- Rauhwacke, Dolomit, Gips, Marmor, Quarzit

Praetriadische, kristalline Gesteine

- Paragesteine des Verrucano
- Graphit. Schiefer (Carbon)
- Basische Gesteine Amphibolit, Serp. etc.
- Orthogesteine, varw. Aplit- u. Granulitgneise
- Mischgesteine Injektionszonen
- Paragneise Glimmerschiefer
- Leventina-Granit-gneis

Die *jurassischen und triadischen Sedimente* (v. a. Bündnerschiefer, resp. Dolomit und Rauh- wacken) der Muldenzüge im S des Massivs passen sich den genannten grosstektonischen Linien an, sind ihr getreues Abbild; die meist steil nordgestellten Isoklinalfalten (vergl. Profil Fig. 3) streichen ebenfalls ungefähr E—W und markieren die Fortsetzung der genannten Kristallinantiklinalen: die n durchs V. di Campo, die s längs der V. del Lucomagno.

E der Tessinkulmination und des abtauchenden Gotthardkristallins sind die mesozoischen Se- dimentmassen gehäuft. Die Geschmeidigkeit der Bündnerschiefer gegen Beanspruchung äusserte sich in intensiver Verfaltung und Verfältelung, wodurch eine besondere Erosionsresistenz ent- stand, die im Schiefer die Bildung von Gipfeln wie des Scopi 3199 m (Toira und Sosto im pen- ninischen Bündnerschiefer) ermöglichte (CADISCH), denen an Höhe sogar benachbarte Kristallin- gipfel nachstehen. Das auffällige Fehlen der Bündnerschiefer w des Scopi dagegen mag der tek- tonischen Ausquetschung der Hauptmasse gegen N zuzuschreiben sein, die in der n Fortsetzung der Tessinkulmination am deutlichsten zum Ausdruck kommt, z. T. auch der Erosion, die im stark zerrütteten Gestein geeigneten Boden vorfand.

Zwischen Deckenstirn und Gotthardkristallin und konform ihres Verlaufs erreicht im Unter- suchungsgebiet der Triasdolomit-Zug Bedretto — Piora — Lucomagno — Campo seine beiden Breitenextreme: im W zwischen Pso. Sole und Pso. Corombe im Raume höchster Zusammen- quetschung mit 500 m die geringste, auf der Höhe der Passtrasse zwischen Pian Segno und Sta. Maria in Ueberflutung der e abtauchenden Massivzüge mit 4 km die grösste Breiten- ausdehnung.

Dieser auffällige n Ausfall dürfte indessen auch durch eine tektonische Störung, ev. sogar im Sinne einer Blattverschiebung oder zumindest «Blattflexur» verursacht worden sein, die durch die Verdoppelung des w Triaszuges gegen E und den Nordknick der n der beiden Zonen angedeutet wird, wie auch durch entsprechende Bruch- und Kluftsysteine. Zu prüfen wäre überdies, wie weit damit in ursächlichem Zusammenhang die penninische Tauchfalte e Croce Portera steht (siehe unten). In den beiden herzynischen Intrusionen Scai und Selva Secca mag man überdies eine alte, präexistente Spannungszone vermuten.

Zur eben besprochenen Sedimentmulde zwischen Massiv und Decken stellen sich auch pen- ninische mesozoische Sedimente, die einerseits als Deckenscheider, z. T. auch als keilartige Teil- synklinalen in diese hineingepresst, auftreten, hauptsächlich aber an der Stirn der Lucomagno- decke ausgepresst und angehäuft wurden. E des verschwindenden Altkristallins des Gotthard- massivs überfluten sie (als eingefaltete Tauchfalte?) die gotthardmassivischen Bündnerschiefer (BOSSARD, 1934).

Der schöne, wandartig steile Talhang, der das Untersuchungsgebiet im S begrenzt, stellt die *Stirnfront der penninischen Decken*, v. a. *diejenige der Lucomagno-Decke*, dar. Der einheitliche Grat des Lucomagnomassivs repräsentiert den W—E-Verlauf der Stirnaxe. (Die Mächtigkeit des Deckenpaktes beträgt hier 1500 m.) Hinein streicht von Biasca her nach P. di Molare — P. Sole die Tessinkulmination, deren Axialgefälle (beidseits nach BOSSARD (1934) 20—30°) für Mor- phologie und Morphogenese der V. del Lucomagno von primärer Bedeutung ist.

Für unser Gebiet zusammengestellt lautet das Deckenschema (nach BOSSARD, 1934) wie folgt:

Simano-Decke	höhere	} unterpenninische Decken
Nara-Soja-Teildecke	} mittlere	
Lucomagno-Teildecke		
Leventina-Decke		
	tiefere	

Die Lucomagno-Decke, die für unser Gebiet sozusagen ausschliesslich in Betracht fällt, wird von PREISWERK (1934) als Teil der Leventina-Decke gedeutet. Seine Auffassung zeigt Skizze Fig. 2, diejenige BOSSARDS (1934) Profil Fig. 3.

Wie Profil Fig. 3 veranschaulicht, sind für die morphologischen Probleme unseres Gebietes diese grosstektonischen Gliederungsansichten nicht von Bedeutung. Mehr indessen ist es die komplizierte Detailtektonik der Lucomagno-Deckenstirn: die stark verschuppte Stirnregion ist in der n Fortsetzung der Hauptaxe der Tessinkulmination intensiv zusammengepresst, sodass ursprünglich schwach südfallende Isoklinalschuppen in einer Reihe steil nach N fallender, iso- klinal gestellter Falten erscheinen (BOSSARD, 1934). Derselbe Autor zählte auf 2 km zwischen Mti. Sorda und Pta. di Larescia 74 Falten von 3—25 m Grösse.

Abb. 2 Ausblick von Lareccio gegen Osten, hinunter ins Becken von Pian Segno und hinüber zur Adula-Gruppe

Aufnahmen Verfasser

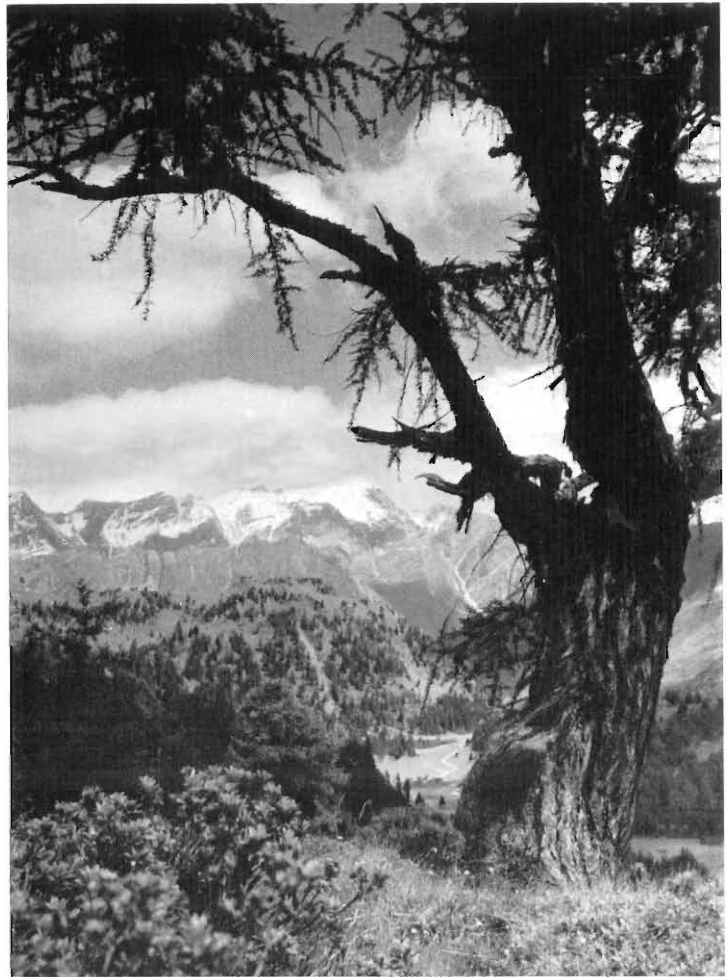


Abb. 3 Blick von der Passtrasse bei Casascia gegen Westen. Von rechts nach links die drei tektonischen Einheiten des Gebietes: Gotthard-Massiv (P. dell'Uomo), Lucomagno-Mulde (P. Corombe) und Penninische Decken (P. Sole)

III. GESTEINSZONEN UND GESTEINE

Gemäss der E — W-Tektonik durchziehen gleichsinnig verschiedene Gesteinsgürtel das Untersuchungsgebiet. Von N nach S sind es die folgenden:

1. Granit-Gneis-Zentralzone des G. M.
2. s Paragesteinszone des G. M.
(Tremola-Serie)
3. s mesozoische Sedimentzone des G. M.
(gotthardmassivische Bündnerschiefer)
4. Trias der Piora-Lucomagno-Mulde
5. penninisches Mesozoikum
v. a. die penninischen Bündnerschiefer
Muldensedimente
Deckenscheider und Keile der Stirnregion
6. Kristallin der Lucomagno-Decke

autochthones
Gotthardmassiv

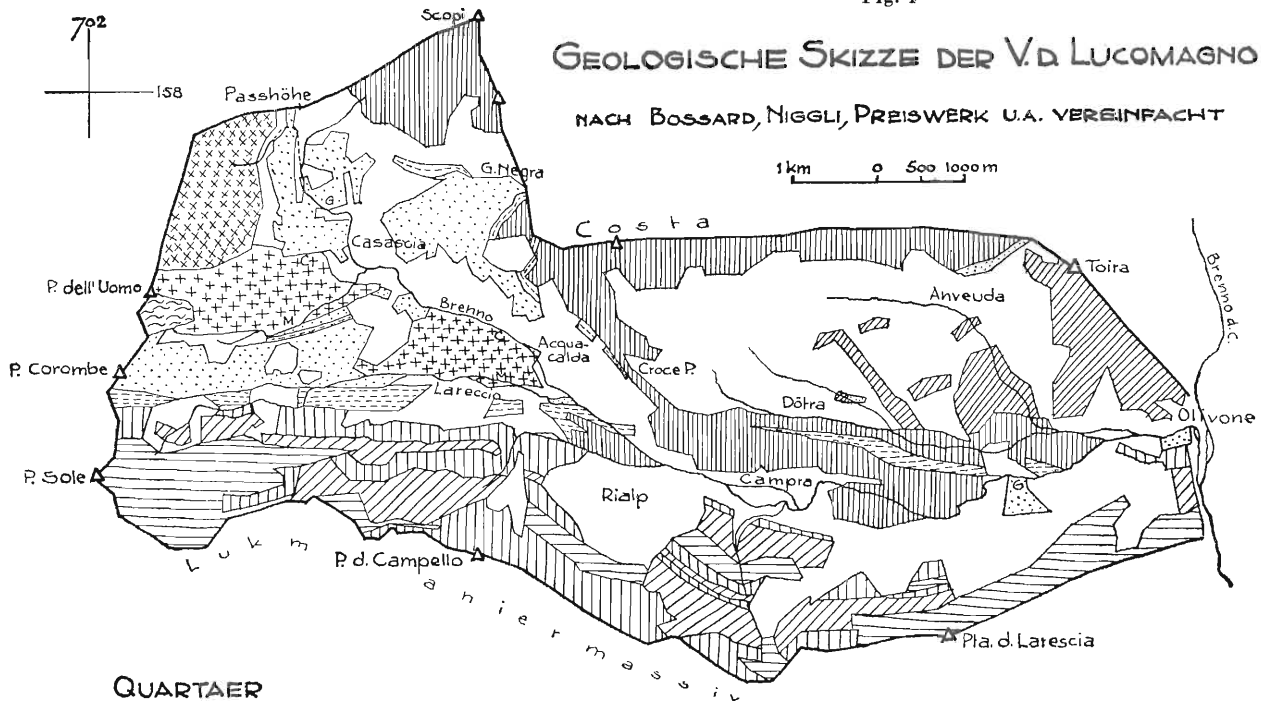
sedimentäre Muldenzone
Bedretto—Piora—Lucomagno

penninisches
Deckengebirge

Fig. 4

GEOLOGISCHE SKIZZE DER V.D. LUCOMAGNO

NACH BOSSARD, NIGGLI, PREISWERK U.A. VEREINFACHT



QUARTAER

□ ALLUVIONEN; GEHANGESCHUTT
MORÄNEN

MESOZOISCHE SEDIMENTE

▨ GOTTHARDMASS. BÜNDNERSCHIEFER
▨ PENNINISCHE
□ G DOLOMIT, VORW. RAUHWACKE; G GIPS
▨ QUARTENSCHIEFER

PRAETRIAD. KRISTALL. GESTEINE

▨ GRANIT C CRISTALLINA-GR. GNEIS
M MEDELSER-GR. PORPHYR
▨ ORTHOGNEISE
▨ PARAGNEISE
▨ ORTHOGESTEINE
▨ PARAGESTEINE
▨ MISCHGESTEINE

1. Die *Zentralzone des Gotthardmassivs* mit ihren Orthogneisen, vorwiegend Streifengneisen und Graniten, sinkt in der NW-Ecke des Gebietes axial unter ihr sedimentäres Hangendes. Zu erwähnen sind dabei zwei für die Morphologie wichtige Intrusionsstöcke, Scai — Pigna im N und Selva Secca, (diese als Fenster in den triadischen Sedimenten) s davon. Ihre Granite fungieren als charakteristische Moränen-Leitgesteine. Zwei Typen sind deutlich zu unterscheiden: ein Biotit-Gneisgranit (Typus Cristallina-Granit), in der Selva Secca stark gneisig verschiefert, mit basischen Schollen und Schlieren. Dieser Biotit-Granit hat eine porphyrische Randfazies (Typus Medelser Protogin), die durch die zentimetergrossen weissen Kalifeldspat-Einsprenglinge (Porphyroblasten), stellenweise zu eigentlichem Augengneis umgewandelt, charakterisiert ist. Bei P. Segno treten darin Aplit- und Lamprophyrgänge auf.
2. Die paramateriale *Tremola-Serie* langt nur in einem geringmächtigen Schwanz n des Pso. Corombe ins Gebiet. Sie führt die bekannten hochmetamorphen prätriadischen Sedimente, Glimmerschiefer und Glimmergneise, v. a. Zweiglimmergneise, und hornblendeführende Gesteine.
3. Zur s *mesozoischen Mantelzone des Gotthardmassivs* gehört als hauptsächliche und typische Gesteinsserie die der gotthardmassivischen Bündnerschiefer, bekannt als mächtige Auftürmung am Scopi, dem «verbrannten Berg», mit seinen grauen bis schwarzen Phylliten (kohlig-graphitisches Pigment). Es handelt sich um metamorphisierte Liassedimente, wie mittels seltenen, Umwandlung und Verfaltung «überlebenden» Belemniten, Gryphaeen und Crinoiden nachgewiesen werden konnte. Typisch sind ferner die Knotenschieferbildungen, dunkle Gesteine mit herausgewitterten Zoisit- und Granatporphyroblasten als Knoten. Hauptmineralien sind Serizit bis Muskovit, Quarz, Zoisit, Albit, Biotit, Turmalin, Pyrit. An der Costa kommen Kalkphyllite, Marmorlagen vor, an P. Cadreghe — Croce Portera, als unterste Stufe der Bündnerschiefer, graue und rötliche Sandsteinquarzite.

Zu den untern Bündnerschiefern werden allgemein auch die Quartenschiefer (ob. Trias) gezählt. Eine Charakterlokalität dieser überall im Gebiet auftretenden mannigfaltigen und mineralreichen Gesteine ist jene von Frodalera — Brönich (Pian Segno). NIGGLI (1934 a) erklärt «Die prachtvollsten Gesteine . . . führt der s Quartenschieferzug in den Felsen unterhalb den Hütten von Frodalera. Hornblende — Cranat — Plagioklasschiefer und Gneise, Granat-Glimmerschiefer, Granat-(Chlorit-)Biotitfelse in grobkristalliner, porphyroblastischer Ausbildung und in teilweiser Wechsellagerung mit Dolomithändern und Quarzitbänken treten hier auf.»

4. Die gotthardmassivischen *Triaszüge Piora—Lucomagno* (v. a. die Rauhacke) sind für Einzelformen wie die Talgeschichte des Gebietes von hervorragender Bedeutung. Die Trinität setzt sich bekanntlich zusammen wie folgt:

Quartenschiefer
Dolomit
Quarzite

Die höhere Stufe ist oben bereits besprochen worden, während Quarzite ein einziges unbedeutendes Vorkommen bei Anveuda aufweisen.

Die kalkig-dolomitischen Gesteine der mittleren Stufe indessen spielen nicht nur in der Morphologie, sondern ihrer Permeabilität wegen ebenso für den Wasserhaushalt eine bedeutende Rolle (Karstphänomene, unterirdische Kommunikationen, Fremdwasser). Sie treten im Gebiet 500 bis 800 m mächtig und in grösster Breitenausdehnung ihrer Zone auf, was nach BOSSARD (1936) nicht nur stärkerer Sedimentation zuzuschreiben ist, sondern ebenso, wie im Falle der Bündnerschiefer, einer tektonischen Häufung vor dem nördlichsten Stirnbogen der penninischen Decken.

Der Triasdolomit ist im Untersuchungsgebiet nur untergeordnet in der klassischen Ausbildung des weissen oder gelben, feinzuckerkörnigen Gesteins entwickelt, dagegen weitgehend in der Modifikation der Rauhacke (carniole, dolomia cariata, calcare cavernoso), dem Haupt- und Charaktergestein des Untersuchungsgebietes. Es sind dies weiss bis gelb bis rötliche, kavernöse Bildungen (Zellendolomit), nach BOSSARD (1936) entstanden durch Auslaugung des reichlich

vorhandenen Sulfates, der leichtlöslichen Komponente. Stellenweise reichern sich diese Sulfate zu eigentlichen Anhydrit-Gips-Lagern an (Casascia, Camperio).

Die Genesis dieses interessanten Gesteins stand oft im Mittelpunkt geologischer Diskussionen, die nicht selten gerade von der hier besprochenen Gebirgszone ausgingen. So hat W. VAN HOLST bereits 1913 die obige Ansicht (BOSSARD) geäußert, 1934 wieder H. M. HUBER.

C. E. BURCKHARDT dagegen fand 1942 in 3 Proben zelliger Rauhwacke des Basodinogebietes einen nur geringen Sulfatgehalt. CADISCH (1953) beschreibt vom selben Gebiet Rauhwacke, «die im frischen Anbruch eine gelbliche bis rötliche, dolomitische Grundmasse und weisse Komponenten eines wenig kohärenten Dolomitsandes enthielt, der durch Metamorphose entstanden sein dürfte». Das spricht für vorwiegend mechanische Entstehung der Zelligkeit. Obwohl in den meisten Fällen die Zellwandungen als aus Calcit, die Füllmasse aus Dolomit bestehend angegeben werden, kommt auch das Gegenteil vor.

Dass auch tektonische Beanspruchung und Verschleppung mitgespielt hat, zeigen die für die obere Dolomitgrenze typischen Dislokationsbreccien, mit Fetzen des darüberliegenden Quarzschiefers im dolomitischen Bindemittel.

Zahlreiche Befürworter fand die Erklärung BRÜCKNERS (1941): «Auf Grund umfangreichen Untersuchungsmaterials aus Alpen und Jura wird der Nachweis geführt, dass die Rauhwacken und Zellendolomite ein junges Verwitterungsprodukt sind, welches sich unter dem Einfluss des Grundwassers auf dem Wege über Dolomit-Gips-Gesteine und unter Wahrung der Struktur derselben aus Dolomit-Anhydrit-Gesteinen bildet, indem Calcit an die Stelle des Gipses tritt und der Dolomit weitgehend zersetzt wird. Die Calcitausscheidung kommt wegen starker Löslichkeitserniedrigung des Calciumcarbonats durch den Ueberschuss an Calciumsulfat in der im Gestein zirkulierenden Gips-Dolomit-Lösung zustande.»

Alle 15 von uns untersuchten Rauhwacke-Wässer führten z. T. erhebliche Sulfatanteile. Ihre permanente Härte, die zu wenig % Ausnahme die Sulfate ausmachen, betrug zwischen 0,25 und 67,5 °fH (= 2,5 resp. 650 mg SO₄''/l) (dazu S. 73).

5. Innerhalb des *penninischen Mesozoikums* interessieren im Gebiet v. a. die Muldensedimente vor den Deckenstirnen und darin die Bündnerschiefer, die in mächtigen Massen, vorwiegend als graue Kalkglimmerschiefer, Toira und Sosto aufbauen. Im Gegensatz zu den gotthardmassivischen gehören sie über die Lucomagno-Decke. Als lithologische Unterscheidungsmerkmale weisen sie hellere, graue und kalkreiche Fazies auf gegenüber den schwärzlichen, tonreichen, stärker metamorphisierten des Gotthardmassivs.
6. Die *prätriadischen kristallinen Gesteine der Lucomagno-Deckenstirn* haben vorwiegend Paracharakter. Sie erfuhren als Bauelemente dieser stirnnahen Decke (vergl. Profil Fig. 3) eine intensive Metamorphose, indem diese allgemein gegen die Stirnzone zunimmt. «Entsprechend der Metamorphose sind die Gesteine petrographisch ungemein mannigfaltig» (BOSSARD, 1936).

Eine allgemeine tektonische Zugehörigkeit der Gesteine der Tessinerdecken ist schematisch die folgende:

Deckenkerne:	granitische Eruptiva, «meist mit ausgeprägter gneisiger Textur» (Preiswerk, 1934 b)
Deckenhüllen:	vorwiegend Paragesteine
Deckenscheider:	mesozoische Sedimente mit hochmetamorpher Fazies

Die Stirnfront der Lucomagno-Decke sollte diesen schematischen Darlegungen gemäss zur Hauptsache Paragesteine führen. In Wirklichkeit treten verbreitet daneben auch Mischgesteine und durchwegs kleinere Orthogneiszüge auf.

Die letztgenannten sind Granitgneise vom Typus Lucomagno (BOSSARD, 1936), v. a. bei Gualdo Maggiore und Pso. Predelp und Augengneis an P. Sole und Pta. die Larescia. Die Mischgesteine, vorwiegend Granatzweiglimmergneise, werden als von eruptiven Massen durchtränktes ursprüngliches Paramaterial betrachtet.

Für die präkarbonische Paraschieferserie sind braune Biotitgneise und -schiefer und Zweiglimmergneise typisch. Lokal finden sich schöne Mineralien: Staurolith, Disthen, Turmalin, Hornblende etc. Amphibolithe kommen am Pso. di Beretta vor. Karbonlinsen mit graphitischen quarzreichen Schiefen treten auf s Brönich, s Campra und w Olivone.

D. MORPHOLOGIE

I. ZUR METHODIK DER MORPHOLOGISCHEN KARTIERUNG

Die Kartierung ist Kernstück einer morphologischen Feldarbeit, ein *Hauptziel* ist die Karte. Was in allen Begehungen, Beobachtungen, Messungen, Konstruktionen und Kompilationen etc. gewonnen wird, findet sich weitgehend vereinigt in graphischen Darstellungen wie Detailskizzen, Krokis, Schemata, Diagrammen, Stereogrammen, Profilen und eben v. a. in *Karten*. Die Karte ist ein zentrales Ziel, stellt schlechthin eine Zusammenfassung graphischer Art dar.

Was *Vereinheitlichungstendenzen* von Darstellungsart und Legende betrifft, kann erwähnt werden, dass von der Geomorphologischen Gesellschaft der Schweiz kürzlich eine Uebersichtskarte 1:200 000 für Jura und Mittelland in Angriff genommen worden ist. Dies als vorläufiger Schritt, geplant ist eine morphologische Uebersichtskarte der Schweiz.

Die Legende ist aber bloss eine Frage der Karte und die Karte bloss eine der morphologischen Feldarbeit. Das soll kurz dargestellt werden, vorab mit einigen Hinweisen auf frühere Autoren und Werke, welche in prinzipiellen Fragen zu unserer Darstellungsart als Vorbilder und Quellen beigetragen haben.

Die Morphologie ist zusammen mit der Geologie eine junge Wissenschaft. Die systematische morphologische Grundlagenforschung ist ein Kind unseres Jahrhunderts. Dazu gehört die detaillierte Einzelkartierung spezieller Morphologen.

Für das Tessin sind Pionierarbeiten die von LAUTENSACH (1912) und GYGAX (1934). In seiner Zürcher Antrittsvorlesung 1943 nahm BOESCH programmatisch Stellung zur «Frage der geomorphologischen Kartierung». Er definierte und schlug 3 Kartentypen nach geologischem Muster vor (unten). Im Juni 1944 wurde in Olten die «Arbeitsgemeinschaft zur geomorphologischen Erforschung der Schweizer Alpen» gegründet, in deren Anschluss ANNAHEIM seinen «Entwurf zur Legende zur Morphologischen Grundkarte der Schweizer Alpen» vorlegte. Die Basler Diss. von HELBLING 1950, Morphologie des Sernftals, zeigt diesen Vorschlag in eingehender Erprobung. MERIAN, Zürcher Diss. 1946, fusst auf BOESCH, hat indessen ein persönliches, originelles Gesicht. Alle die entsprechenden Kartierungen der erwähnten Arbeiten dürfen als vorbildlich herangezogen werden.

Die gesamte Feldarbeit sei gegliedert wie folgt:

1. Begehung und Beobachtung i. a.
2. Protokollführung in irgend einer Form (Begehungsnotizen, Feldbuch u. a.)
3. Messungen morphologischer oder morphohydrologischer Zustände und Prozesse
4. Graphische und photographische Aufnahmen i. a. und
5. Die eigentlichen Kartierungen.

Zu Punkt 1: Unsere *Begehungen* erfolgen zumeist unter dem induktiven Forschungsprinzip, wir schreiten fort von Einzelbeobachtungen zu allgemeinen Erkenntnissen. Erfordernis ist demnach die Kenntnis aller Einzelformen des Untersuchungsgebietes. Den Weg dazu wählt mit Vorteil jeder seinem Temperament und seiner Zeitmöglichkeit gemäss. Ein unsystematisches, erlebnismässiges Erobern des Gebietes ist m. E. zunächst, und was «deduktive Vorurteile» betrifft, vorzuziehen. Fortwährende, vorerst freie Notizen darüber, erweisen sich später als goldeswert.

Die systematische Begehung und Aufnahme erfordert indessen dann Programm. Bewährterweise schreitet man nach didaktischem Prinzip vom Einfachen zum Komplizierten, d. h. in den

meisten Fällen von Talwurzeln und Quellen aus zu Konfluenzstellen, also talauswärts. Dabei ging ich im Lukmanier — nicht schematisch und konsequent — folgendermassen vor:

1. Ueberblick und Orientierung von exponierten Punkten aus.
2. Einblick und Detaillierung der Beobachtungen im Begehen der einzelnen Räume, Formen und Formkomplexe.

Beim Kartieren wurde in der selben Weise gearbeitet, allerdings dann zurückgekehrt:

3. Wieder auf die exponierten Punkte zu abschliessender Verbindung und Synthese.

Die *Protokollierung* der Beobachtungsergebnisse — Punkt 2 — kann auf ganz verschiedene Art erfolgen. Ich habe u. a. gerne das Feldbuch der Geologen verwendet. Je detaillierter auf alle Fälle kleine und kleinste Beobachtungen notiert werden, desto präziser und stichhaltiger können beim spätem Heranziehen der Einzelteile zum Ganzen Zusammenhänge und allgemeine Vorkommnisse gefolgert werden. Die Auswertung bedient sich mit Vorteil immer wieder Tabellen, Zusammenstellungen, Gegenüberstellungen etc.

MERIAN (1940) hat nach einem ausführlichen Schema sog. «Oertlichkeiten» protokolliert, was einerseits die Arbeitsweise in exakter Richtung strafft, vereinheitlicht, vereinfacht, andererseits aber ungemein erschwerend ausweitet und schematisiert. Dieses gründliche Schema ist verdankenswert als Anhaltspunkt und Leitfaden, als stete Vorlage aber wirkt es einengend und bedingt eine weitgehend morphographische Aufnahme. Ihr gegenüber hat sicher die Methode, die bereits im Felde eine lokalgenetische Selektion, eine genetische Auswahl des Wesentlichen trifft, entschieden den Vorrang.

3. *Messungen*. Jede solche Arbeit sollte mit dem Vorsatz behaftet sein, in ein spezielles morphometrisches Problem tiefer einzudringen. Es wird dadurch unter der doch immer latent subjektiven Aussage der übrigen Arbeit ein objektiver Boden gelegt, zugleich ein Beitrag geleistet an eine exakte quantitative Erforschung und Deutung der Landschaft. Die Zahl der Themata ist Legion.

4. *Karten und Kartierung*. Die Vorfragen nach den topographischen Grundlagen und den einzuzeichnenden Phänomenen bedingen sich gegenseitig. So bedingt eine morphologische Detailkarte (morphologische Grundkarte nach BOESCH, 1945) einen grossen Masstab. Die Feldaufnahme erfolgt allgemein und bewährterweise in 1:10 000, ein kleinerer Masstab, z. B. 1:25 000, wird nur ausnahmsweise genügen. Schon im Titel der Karte ist das morphologische Prinzip betont gegenüber dem morphographischen. Es ist also die Karte der Lokalgenese, die einzelnen Formen werden bereits in entwicklungsgeschichtlicher Deutung eingetragen.

Die Gesamtgenese eines Tales oder Raums überhaupt wird zumeist in einer besondern, kleinern Karte dargestellt. Diese morphogenetische Karte [BOESCH (1945) ANNAHEIM (1945): «morphochronologische Karte»] gibt eine chronologische Entstehungsgeschichte der Formen als Gruppen. Für Formkomplexe aber genügt nun ein Masstab von 1:50 000 bis 1:100 000. Eine gewisse Parallelität mit der tektonischen Karte der Geologen ist vorhanden.

Eine 3. Kartengruppe ist diejenige der Spezialkarten. Der Masstab ist zwangsläufig je nach Gegenstand ganz verschieden. Als weiterer Kartentyp sei bloss erwähnungsweise angefügt die morphologische Uebersichtskarte in einem kleinern Masstab.

Was nun die Beschaffung der topographischen Kartengrundlage betrifft, sind wir heute in der günstigen Lage, von der Eidg. Landestopographie die neue Landeskarte der Schweiz zu erhalten, die, obgleich im Gelände und im Detail immer wieder Ungenauigkeiten zu finden sind, im Blick aufs Ganze, wissenschaftlich wie ästhetisch, ein säkulares Meisterwerk genannt werden muss. Von der L + T werden auf Wunsch spezielle Ausschnitte photographisch vergrössert auf 1:10 000 (Sepiakopien). 1:25 000 besteht als vergrösserte Landeskarte für alpine Gebiete in der Artilleriekarte und wird derart ausgeliefert.

Bevor nun mit diesen Blättern die Kartierung im Felde beginnt, wird eine *Legende*, fürs erste grob, vorerstellt. Sie wird während den Aufnahmen zwangsläufig und jeweils am Orte ergänzt werden müssen. Die Einzelformen werden üblicherweise mit Signaturen gekennzeichnet.

Die bekannten und allgemein gebräuchlichen sind zum Teil, wie es auch für diejenigen der vorliegenden Arbeit zutrifft, in Anlehnung an den Geologischen Atlas der Schweiz (Quartaer- und Molasselegende; SNG 1941) entstanden.

Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Geologie i. a. vom *Material* des Untergrundes, die Morphologie von den *Oberflächenformen* ausgeht, für ein und denselben Gegenstand also unterschiedliche Blickrichtung und demnach Bezeichnung besteht. So wird der geologische «Gehängeschutt» in der Morphologie zum («reziproken») «Schuttgehänge».

Ausser Signaturen werden auch *Farbtöne* zur Unterscheidung herangezogen, entweder zu der der Einzelformen (z. B. HELBLING, 1952) oder der zeitlichen Stufen (z. B. GYGAX, 1934; MERRIAN, 1946). Auch wurde vorgeschlagen, Deckpausen zu legen (BOESCH, 1945), z. B. eine solche der Morphogenese auf die morphologische Karte. Alle diese Einzelvorgehen und Beiträge sind einleuchtend und dazu angetan, die Methode der Darstellung zu verfeinern und verbessern.

Schliesslich bleibt zu erwähnen, dass in unserer morphologischen Karte mit Absicht keine Flächenform weiss gehalten wurde. Es soll ehrlicherweise weiss gelassen werden, was zu wenig ausgeprägt ist oder sich jeder logischen Deutung entzieht. Auch hie und da ein Fragezeichen dürfte am Platze sein, dürfte Wissenschaftlichkeit von Alleswisserei unterscheiden.

II. MORPHOMETRISCHE STUDIEN

Gegenüber der Morphometrie i. e. S., die sich mit Hypsographie, Volumen und ähnlichen Berechnungen befasst, zählen wir zur Morphometrie i. w. S. allgemein alle Untersuchungen, die auf *quantitativem Wege* der Genese und Entwicklung der Oberflächenformen beizukommen versuchen. U. a. hat JAECKLI 1957 in seiner originellen «Gegenwartsgeologie des Bündnerischen Rheingebiets» beispielgebend solche Studien beschrieben. Hier scheint uns eine Hauptrichtung fruchtbarer Morphologie der Zukunft zu liegen, nachdem Generationen in vorwiegend qualitativen Grundlagenuntersuchungen entsprechende Voraussetzungen und Möglichkeiten, was Kenntnis endogener und exogener Kräfte und eine dazugehörige Formenbeschreibung und vorläufige Systematik betrifft, geschaffen haben.

Wir gingen im Lukmaniergebiet in diesem weiteren morphometrischen Sinne einigen bestimmten Einzelphänomenen zahlenmässig nach. Indessen soll die Berichterstattung darüber jeweils in den entsprechenden Kapiteln erfolgen, während wir hier bloss in einer Aufzählung mit Seitenhinweisen die unter dieses Thema fallenden Arbeiten zusammenstellen:

Hypsographische Kurve, Volumen, mittlere Höhe (Vertikalgliederung des Untersuchungsgebiets)	S. 23
Tektonische und morphologische Linien;	
Flusslauf und Kluftsysteme;	
Struktur der Mündungsstufe	
(Abhängigkeit der Morphologie von Kluft- und Bruchtektonik)	S. 34
Längs- und Querprofile der Täler, Gefällsverhältnisse	S. 54
Flussdichte	S. 64
Quell	
-Abflussmengen,	
-Temperaturverhältnisse,	
-Chemismus	
(Quelltypen und -Einzugsgebiete, unterirdische Morphologie)	S. 65
Wasserhärte — verschiedener Gesteinsgebiete	
— Profil eines Flusses	
(Ausmass chemischer Verwitterung und Erosion)	S. 71

III. MORPHOLOGIE DER EINZELFORMEN

Eine geomorphologische Formensystematik wird immer problematisch sein: die Einzelformen der Landschaft sind bezüglich ihrer Entstehung fast ohne Ausnahme komplexer Natur, entstanden durch Zusammenwirken verschiedener endogener wie der Verwitterungs- und Erosionskräfte. Schwer fällt sowohl einerseits die Zuordnung zur Struktur- oder zur eigentlichen Erosions-Klasse, wie andererseits deren Unterteilung nach den verschiedenen Kräftegruppen.

So müsste genauigkeitshalber jeweils von vorwiegend strukturellen, fluviatilen, glazialen, korrosiv-chemischen Formen gesprochen werden. Gerade im Hochgebirge sind an den morphologischen Erscheinungen die Hauptwirkungs-faktoren Struktur, Wasser und Eis oft alle bis zu einem gewissen Grade beteiligt. Die nachfolgenden Ausführungen sind vorwiegend als Erläuterungen zu den morphologischen Karten zu betrachten.

1. DIE VERWITTERUNG

Mechanische und chemische Erosion gestalten und prägen die struktur-vorgezeichneten Formen aus, der Verwitterung kommt die Zwischenstellung einer *Phase der Gesteinsvor- und -aufbereitung* zu, denn die Verwitterungsrückstände sind zumeist ungleich erosionsanfälliger als die Ausgangsgesteine. MAULL spricht zwar der Verwitterung die Kraft der Formgebung ab, doch ist ihr Anteil an der Bildung von Grat- und Gipfformen, Blockmeeren, Verkarstungen etc. nicht zu übersehen.

Die *physikalische Verwitterung* ist in verschiedenen Formen wirksam, im Untersuchungsgebiet ist die *Frostspaltung*, die einerseits an Klüfte, andererseits an Temperaturschwankungen um 0° herum gebunden ist, die bedeutendste. Blockgipfel und -meere, Zackengrate gehen gutteils auf die Eisdehnung (Zunahme um 9% des Wasservolumens) zurück.

Atmosphärische Temperaturschwankungen führen auch über *Dehnungen innerhalb des Gesteins* zu dessen Zerrüttung (Sprengung, Vergrusung, Schuppen- und Schalenabfall). Ungleiche Ausdehnung entsteht als Folge der ungleich erwärmten Felstiefen, wie der verschiedenen Mineralien und ihrer Lagen. — Oberflächliche Vorgänge bewirken durch Abfall der feinen Phyllitschalen die typische Herauswitterung der Mineral-Knoten in den Bündnerschiefern.

Die chemische Verwitterung verursacht als erste, augenfällige und weitverbreitete Bildung eine dunklerfarbige *Verwitterungsrinde*, der eine Oxydation, die 2- in 3-wertiges Eisen umwandelt, zu Grunde liegt. Eine wichtige Folge für Gebiete mit tonreichen Gesteinen (Bündnerschiefer!) bringt die *Hydratation*, die Wasseraufnahme, mit sich: es bilden sich «wasserreiche Tonmineralien mit sehr geringer Kohäsion, welche sich seifig anfühlen und die Scherfestigkeit des Gesteinsverbandes bedeutend verringern und Differentialbewegungen leicht ermöglichen» (JAECKLI, 1957).

Lösungserscheinungen, die allerdings schon gutteils in den Rahmen der Erosion gehören und eingehend S. 71 erörtert werden, sind für das Lukmaniergebiet mit seinen kalkig-dolomitischen Karstgesteinen typisch. *Gips* wird unsern Analysen nach in den grössten Mengen gelöst (Lareccio-R. bis 650 mg SO₄''/l). Im kristallinen Quellgebiet weist der Brenno d. L. keinen Sulfatgehalt auf, vor dem Zusammenfluss mit dem Brenno di Camadra bei Olivone ca. 300 mg SO₄''/l (Brenno d. C. 60 mg).

Karbonate sind ebenfalls in beträchtlichen Mengen, v. a. in den Bündnerschiefer-Wässern, nachzuweisen (bis 100 mg CO₃''/l), während auch die Kristallin-Wässer zumeist noch 10—20 mg führen.

2. STRUKTURFORMEN

1936 stellte *Paul Niggli* in seinem regional-petrographischen Ueberblick über das Tessin entschieden fest, «es würde nicht schwer fallen, darzutun, dass auch geographisch-morphologische Problemstellungen aufs engste mit Tektonik und Petrographie verknüpft sind.» Verschiedene Autoren haben im Tessin und andernorts ähnliche Ansichten geäussert.

Für unser Untersuchungsgebiet vermögen wir in der Tat solche Verknüpfungen zahlreich und weithin ohne Zweifel, sowohl bei Gross- wie Kleinskulpturformen, nachzuweisen. Dies mag im Falle derartiger Heterogenität, wie sie in den «Tektonisch-geologischen Grundlagen» dargestellt wurden, derart prägnanter Verschiedenheit der Bauelemente leichter fallen als anderwärts. Doch dürfte ebenso stark zur Unkenntnis dieser Gegenstände ganz einfach Fehlen oder Nichtbeachtung entsprechender Untersuchungen beitragen.

Es kann sich in unserem Rahmen nicht mehr als um Anfänge in dieser Forschungsrichtung handeln. Arbeiten, die vermehrt die Talbildungsvorgänge in ihrer Abhängigkeit von Bruch- und Kluftektonik untersuchen, treten, wenn auch weit hinter andern, in jüngerer Zeit in be-

achtlicher Zahl und Zeugnisstärke auf (STINY, 1926, AMPFERER, 1925, BEHRENS, 1953, ECKARDT, 1957, PIPPAN, 1957, BAER, 1957). Diese Autoren werden an gegebener Stelle zur Sprache kommen.

Strukturformen möchten wir gesamthaft diese stark von den Untergrundverhältnissen abhängigen Erosionsformen bezeichnen, sie allgemein gegenüberstellen der andern Formenwelt, die etwa schon «reine Erosionsformen» genannt wurden und deren Verlauf keine oder geringe Abhängigkeit von Baueigenschaften und Material des Untergrundes erkennen lässt. Im übrigen ist eine ganz logische, allgemeine Komplexheit aller Formen bereits eingangs als sozusagen ausnahmslos vorausgesetzt worden.

Tektonische Formen

An den Anfang zu stellen ist eine deutliche morphologische Ausprägung der *grossen tektonischen Bauelemente*. Vom P. dell' Uomo taucht ostwärts gegen die Passtrasse der *Orthogneisrumpf des Gotthardmassivs* in überschliffenen Buckeln und Rippen axial unter die mesozoischen Sedimente ein. Augenfällig treten die Kristallinaufwölbungen Scai—Pigna und Selva Secca des aufgelösten Massivs in ebensolchen Formen in Erscheinung.

Die grosse s anschliessende Konkavform der *Piora-Lucomagno-Mulde* liegt in den arg durch die Orogenese mitgenommenen Sedimenten des Massivmantels und der angehäuften Deckenscheider der Penniden. Dieser heterogenen Uebergangszone kommt eine besondere, gewisse selbständige Stellung zu. Mit beispielhafter Prägnanz erhebt sich sodann als Südabgrenzung des Lukmaniertraums die Kette des «*Lukmaniermassivs*», repräsentierend die aufgeworfene penninische Deckenstirn (Abb. 3).

Durchwegs erkennen wir in der allgemeinen *E-W-Morphologie* das Streichen der tektonischen Einheiten (im penninischen Raum das der Deckenstirn, nicht der Decken als Ganzes).

Sowohl in den ostwärts absteigenden Gipfelhöhen (*Gipfelflurgefälle*) des Lukmaniermassivs wie im *Gefälle des Brenno d. L.* finden wir Uebereinstimmung mit dem Axialfallen des Gebirgskörpers. Ebenfalls liegt noch heute im Gebiet der tertiären tektonischen Deckenkulmination (Tessinkulmination) die orographisch-morphologische Kulmination des Lukmaniermassivs (P. Sole 2773,4 m).

Zur Entstehung der Gipfelflur, die sich wieder im Lukmaniermassiv schön zeigen lässt, können ebenfalls tektonische Gründe angeführt werden. (Die Gipfelflur wird bekanntlich auch als Niveau im Sinne der Erosions-Chronologie eingeordnet.) Demnach hätte nicht (allein) eine durch die exogene Abtragung bewirkte Nivellierung stattgefunden, sondern bereits vorher «eine gewisse, rein tektonische (endogen) besorgte Einstellung auf ein Massenniveau» bestanden (AMPFERER, 1925).

Im Untersuchungsgebiet tritt eine Gruppe von *Grosskonvexformen* besonderer Art auf, Berggipfel und -Stöcke, gebildet aus den allgemein \pm weichen (d. h. minder erosionswiderständigen) Muldensedimenten Piora—Lucomagno. Selbstverständlich ergibt sich aus der Relativität der Erosionsresistenz auch innerhalb eines weichen Gesteins ein gewisses Relief, doch handelt es sich in unserem Falle um die Bildung von Gipfeln der 3000er Höhe, die selbst benachbarte Kristallingipfel überragen (Abb. 3).

P. Corombe 2545 m, vollständig aus den sonst Konkavformen bildenden Triasdolomit und -Rauhwacken aufgebaut, ist ein geologisch-morphologisches Kuriosum der Schweizeralpen, gemahnend an die Dolomiten der Südalpen. Die romantische Wildheit seiner Stöcke, Türme, Zähne, Zacken, Zinnen, wie der dolomitischen Farbigkeit, ist zu wenig bekannt und gewürdigt.

Die Erosionsresistenz seiner steilgestellten Schichten dürfte tektonischer Herkunft sein, indem hier, im Gebiet der Hauptaxe der Tessinkulmination, die Quetschung und Aufpressung der Muldensedimente zwischen Massiv und brandender Deckenstirn am stärksten erfolgte. Dazu beigetragen haben die südexponierten Prémontoirs des Massivwiderlagers, im Untersuchungsgebiet besonders akzentuiert durch die besprochenen Granit-Gneis-Stöcke.

Auf ähnliche Druck-Verknetung, Pressung und Ineinanderverfältelung wird die ebenfalls sonderbar anmutende Widerstandsfähigkeit der Bündnerschiefer von Scopi 3199 m, Toira 2099 m, Sosto 2220,6 m und andern markanten Gipfeln der nähere Umgebung zurückgeführt (CADISCH). Es sind ebenfalls vor und in der Deckenbrandung aufgehäufte und -getürmte Sedimentmassen, die sonst zur Bildung von Konkavformen neigen.

Wenn wir innerhalb der tektonischen Grosskulpturformen übergehen zu den Konkavformen, kommt endlich auch das das Untersuchungsgebiet eigentlich ausmachende Tal des Brenno d. L. zur Sprache, das, wohl aus unterschiedlichen Stücken zusammengesetzt und mit wechselvoller Geschichte, immer indessen stark vom Bauegefüge des Gebirges geleitet wurde. Die *Valle del Lucomagno* (Längstalung unterhalb P. Segno, dazu die Valle Lareccio als ihre ehemalige Wurzel) ist als primär subsequentes Deckenstirnrandtal — vergleichbar dem Rheinwald «vor den Gneisstirnen der Tambo- und Surettadecke» (CADISCH, 1953) — zu bezeichnen, im einzelnen und heute wie erwähnt mannigfach modifiziert und kompliziert.

Der oberste *quertalige Abschnitt der V. d. Lucomagno* von P. Segno gegen die Passhöhe (ein relativ jüngeres Talstück, früher dem Rheine tributär) ist gutteils selektiverosiver Entstehung, hat aber ebenfalls tektonische Grundlinien: er folgt dem Ostrande des abtauchenden Gotthardkristallins und zwar augenscheinlich in den hier mit dem Abtauchen zu ihrer grössten Breitenausdehnung nordwärts überfluteten Triassedimenten der Bedretto-Piora-Lucomagno-Mulde. Diese Massen sind vorn als *tektonische* Häufung erkannt worden. Auch wurde dort die Frage einer tektonischen Störungslinie in der Talrichtung aufgeworfen (S. 26 u. a. o.).

Sie könnte sehr wohl zu ECKARDT's (1957) System D (115—130° E, erythräisch) gehören, das im Tavetscher Raum des Gotthardmassivs durch Zerrüttungszonen sich auszeichnet. In der Tat streicht in der n Fortsetzung der V. d. Lucomagno eine Bruchlinie der ECKARDT'schen Karte von Sta. Maria via P. Lai Blau.

Genau den Kontakt zwischen Gotthardkristallin und Triasdolomit markiert das *Tälchen s. A. d. Croce*, die postglaziale und heute noch in der Landeskarte als solche verzeichnete Quellwurzel des Brenno d. L.

Das subsequente Nebental des Brenno d. L. mündet bei Olivone ins *Brenno-Haupttal*, und im folgenden biegt die Talung mit dem Ostrand der Lukmanierdecke nach S um, wird demnach im Haupttal zum konsequenten Deckenrandtal. Es ist hier — ähnlich wie das Quertalstück der V. d. Lucomagno unterhalb der Passhöhe — mit Bezug auf das Axialfallen ein ausgesprochenes Isoklinaltal: Gneise und Schiefer der Westseite sinken konform zum Talhang unter den Talboden ein. Die Gesteine des Osthangs gehören höhern Deckeneinheiten an. Die Andersartigkeit tritt in einer starken Asymmetrie des Talquerprofils augenfällig in Erscheinung.

Strukturterrassen können wir bei uns zu den im folgenden in Kürze zu besprechenden Kleinskulpturformen zählen. (Ueber kluft- und bruchbedingte Klein- und Grossformen wird im anschliessenden Kapitel speziell gehandelt.) Die Strukturterrassen sind im Untersuchungsgebiet durchwegs kleiner als die Systemterrassen, wobei allerdings beizufügen ist, dass auch diese, soweit es den Längstalabschnitt der V. d. Lucomagno betrifft, stark mit der Struktur, d. h. mit dem axialen Absteigen der Baukörper, verknüpft sind.

Die reinen Strukturterrassen lassen sich von den Systemterrassen durch Schmalheit (leistenförmig), zumeist geringere Länge, aber allgemein grössere Einheitlichkeit unterscheiden. In der morphologischen Karte sind Strukturterrassen an drei Orten kartiert: im Gotthardkristallin (Axialgefälle 5—10°) am P. dell'Uomo, in den Bündnerschiefern des Oer d'Angiasco (20°) und im Penninikum bei Ridegra (5—10°).

Schichtköpfe, selbstverständlich nur teilweise tektonische Formen, sind als schrägstehende Felsbuckel schön auf Pigna und n davon zu beobachten. Das steil nordfallende Gotthardkristallin wird hier von den Terrassen diskordant geschnitten. Es wird noch zu sprechen sein von den nicht mit Schichtköpfen zu verwechselnden, wenn auch oft sehr ähnlich aussehenden *Rundhöckern* der Glaziallandschaft (im Rahmen der kluftbedingten Kleinformen des folgenden Kapitels).

In der prächtigen Nordflanke der Lukmaniermassiv-Kette mit ihrer reichen morphologischen Gliederung spiegelt sich die komplizierte Detailtektonik der Deckenstirnregion. Einmal ist hier ganz allgemein der (klufttektonische) Terminus «*Bergzerreissung*» von AMPFERER (1925) am Platze: der Hang ist durch Brüche (BOSSARD, 1936) und Klüfte zerlegt und zertrümmet. Eine gewisse Labilität ergeben die steil nach N einfallenden Isoklinalfalten, die die steile Prallhang-Tal-seite aufbauen.

Die morphologischen Aeusserungen dieser Tektonik sind zahlreich und mannigfach und sollen teilweise noch im nächsten Kapitel eingehender besprochen werden: instruktive *Bruchspalten* mit Klaffung in der Grössenordnung von 1 m zerreißen längsstreichend die Flanke (Ride-gra); *nackenartige Kerbtälchen* verlaufen in derselben Richtung; fast die ganze Flanke zeigt *Sackungserscheinungen*. Bei den erwähnten Spalten und Kerben mag es sich teilweise um kluft- oder bruchgebundene *Sackungsrisse* handeln; ebenfalls sind sicher die *Felsstürze* dieses Gebiets zu einem guten Teil im Gebirgsbau begründet.

Bruch- und Klufttektonik und ihre morphologische Wirksamkeit

Definition: «Primär stellen alle Flächen, entlang denen zu irgendeiner Zeit eine beliebige Bewegung, habe sie sich nun als Transversalverschiebung, Torsion oder blosses Auseinander-reissen oder eine Kombination dieser drei Arten manifestiert, Brüche dar ... auch die Klüftung gehört in gewissem Sinne dazu» (ECKARDT, 1957).

Die erste Frage unserer Darlegungen muss kurz nach der Entstehung der Klüfte gehen. ALBERT HEIM hat im «Mechanismus der Gebirgsbildung» dargestellt, dass Klüfte und Brüche nicht die Art der Tektonik in den grossen Erdtiefen sein kann, in der zur Zeit der Gebirgsbildung die heute oberflächennahen Gesteine sich befanden.

Indessen dürfen wir mit Sicherheit annehmen, auch in diesen grossen Tiefen hätten die orogenetischen Einwirkungen eine gewisse primäre Struktur, eine Ur-mikroklüftung, zur Folge gehabt; im Sinne FLÜCKIGERS (1934): «Druck auf ein erstarrendes und schon teilweise kristallisiertes Magma wird ebenfalls Klüftung erzeugen».

Mit Abkühlung und Erhärtung und dadurch, dass im Verlaufe des Niederschreitens der Ero-sion die Gesteine mit den primären feinen Kluftsystemen in relativ höhere Zonen der Erdkruste

Fig. 5

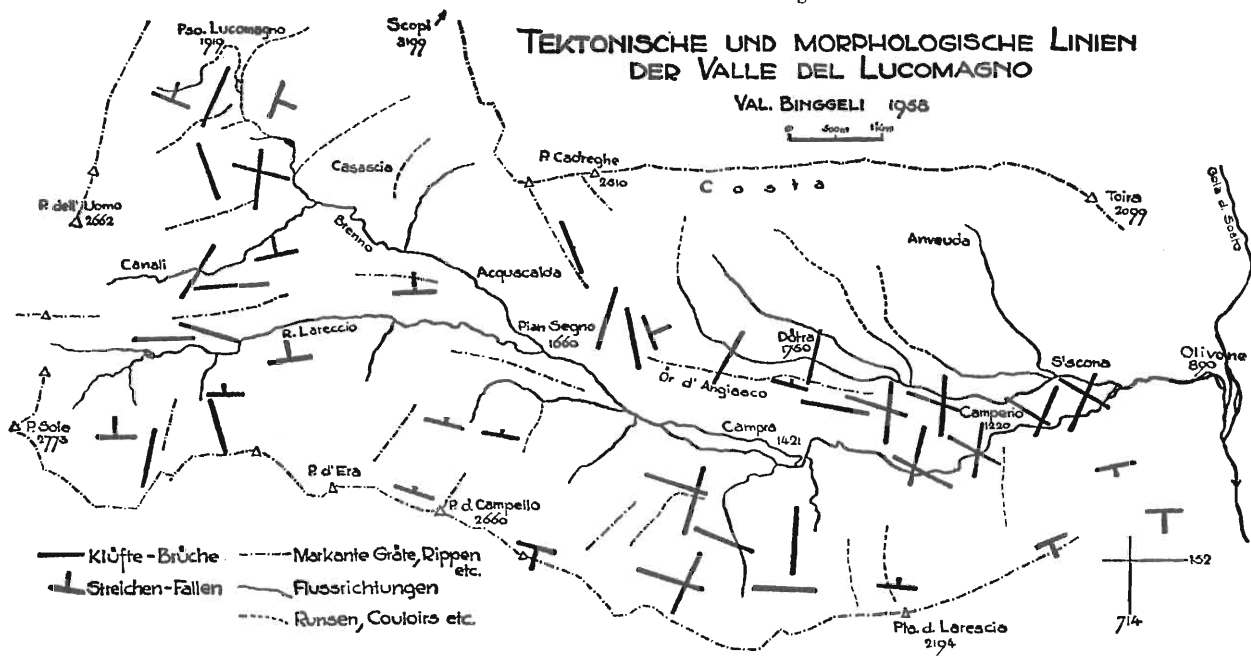


Abb. 4—6
 Camperio. Drei Stadien der Kluftentwicklung im Bündnerschiefer (senkrecht zueinander verlaufende Kluft-Bruch-Systeme L und Q, letzteres von oben nach unten)

Aufn. Verfasser



gelangten, wurden diese Strukturen verstärkt und erweitert und damit *morphologisch wirksamer* gemacht. Bewegungen bei Entlastungsdehnung infolge der Abtragung (Spannungsauslösung nach STINY), aktivierten die Strukturen lange Zeit bevor die Abtragung in die betreffenden Gesteinszonen vordrang. Dies dürfte auch für grosszeiträumigen Einfluss der Atmosphärien der Fall sein.

ECKARDT (1957) nimmt im benachbarten Tavetsch junge Bewegungen im Gefolge des Abschmelzens der eiszeitlichen Gletscher an, die wir «glaziale Entlastungshebungen» (isostatischer Ausgleich) bezeichnen könnten. Er datiert seine Verwerfungen als wohl interglazial (Mindel-Riss, Riss-Würm). Zweifellos treffen solche Ursachen gerade auch für Brüche und Klüfte unseres geologisch derart heterogenen Talraumes zu («glaziale Entlastungsbrüche»).

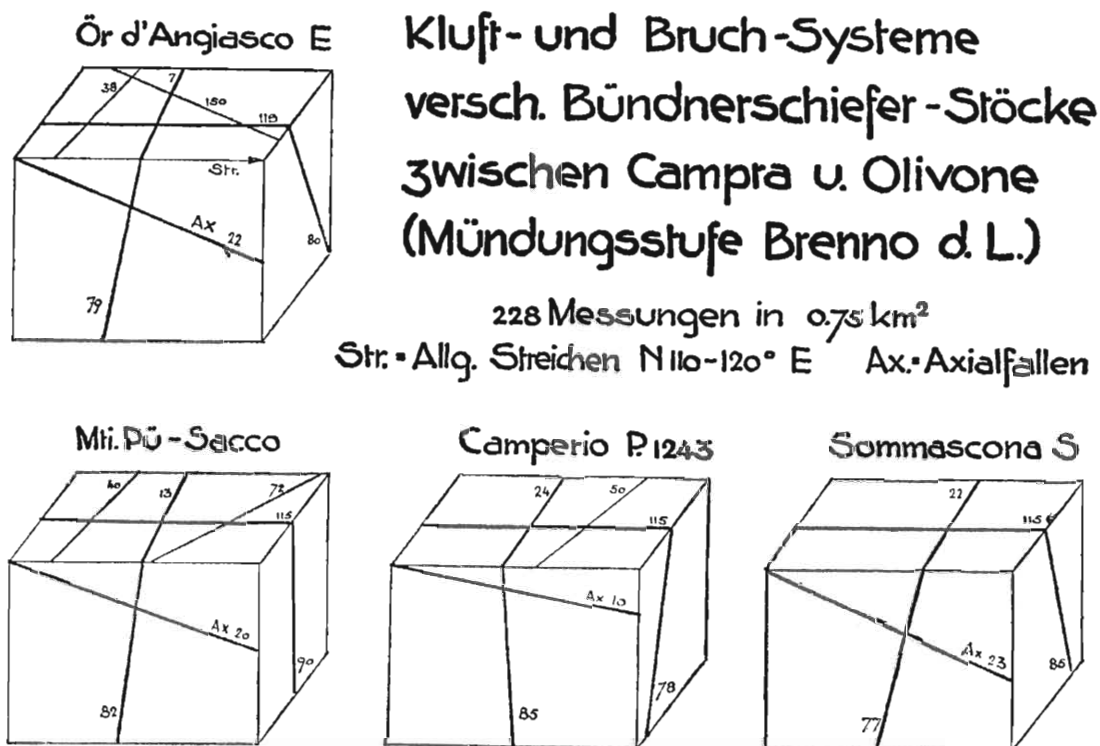
1926 gab AMPFERER eine eingehende Darstellung von pleistocänen Schollenverstellungen in den Ennstaler Alpen. Auf junge tektonische Bewegungen in den Alpen machte MONTANDON 1947 (zit. ECKARDT, 1957) aufmerksam, JAECKLI beschrieb 1951 jungquartäre Verwerfungen (Grenze Pleistocän-Holocän) am Südrande des Aarmassivs bei Rabius—Somvix und in der Geologischen Rundschau Bd. 43, 1955, berichteten 16 Autoren von nachgewiesenen rezenten Krustenbewegungen auf der ganzen Erde.

Junge Bewegungen haben demnach sowohl eine primäre Klüftung zu morphologischer Wirksamkeit aufbereitet, wie selbstverständlich neue Klüfte und Brüche geschaffen.

Zweite Frage ist nun die *Bedeutung* der morphologischen Wirksamkeit von Brüchen und Klüften, besonders gegenüber derjenigen der blossen Erosionsagenzien Wasser und Gletschereis, d. h. also gegenüber der «reinen Erosion», die unter Nichtbeachtung der Strukturverhältnisse fortschreitet.

Geschichtlich ist es so, dass vor dem jetzigen Jahrhundert der grossen Spezialisierung die Morphologie der Geologie untergeordnet war und vornehmlich rein endogen betrieben wurde. Nach vorerstem Ueberschwang einer Pionierzeit «exogener, reiner Morphologie» vor und nach der Jahrhundertwende, v. a. nach dem extremen strengen Glazialpatriziat von PENCK und BRÜCKNER (beide Zeiten gehören, zu Recht mit dem Glanz sehr verdankenswerter pionierenthusiastischer Grundlagenarbeit, der Geschichte an) nimmt die heutige Morphologen-Generation eine unvor-

Fig. 6



eingenommenere Stellung ein. Neueren Arbeiten nach zu schliessen scheint sie Bruch- und Klufttektonik vermehrt Bedeutung zuschreiben zu wollen.

ECKARDT (1957) hat in seiner schon mehrmals zitierten Diss. kürzlich überzeugend für manche Erscheinungen in der Talgeschichte des benachbarten Tavetsch Bruchtektonik verantwortlich gemacht.

In den Ostalpen (Reisseck-Gruppe, Drau) wies STINY (1926) nach, «dass das Streichen der Hauptklüfte (des Kerngneises) im Verlaufe vieler Felsbilder wiederkehrt». Und in Schweden hat BEHRENS (1953) «deutliche Beweise, dass die Klufttektonik massgeblich an der Prägung der Morphologie beteiligt ist» (Ausbildung von Küstenlinie und Küstenzone).

BAER (1957) kommt, wie frühere Autoren schon (z. B. DAVIS), und in seinem Falle nun auf Grund detaillierter statistischer Untersuchungen über Klüfte und Rundhöcker, zum Schlusse, dass Klüftung, v. a. steile, eine massgebliche Rolle bei der Bildung der Rundhöcker gespielt hat. Dies im Gegensatz zu FLÜCKIGER's (1934) Eiswellendynamik (Abb. 15).

Verschiedene Autoren haben auch gefunden, dass die Kare, jene klassische alte Glazialerosionsform, häufig an tektonischen Linien auftreten. («Die Kare des oberen Goms sind meist an alte Oberflächenreste gebunden. Sie häufen sich da, wo tektonisierte Gesteine, wie Mylonite, verschieferte Gneise und Granite diese Flächen schneiden» BOEGLI, 1941). Dies führt einmal mehr zurück zur Annahme einer prä-glazialerosiven Phase der Karbildung, zu einer fluviatilen Primäranlage der Kare als Einzugsstrichter von Flüssen. Denn diese vornehmlich pflegen als Wegrichtungen tektonische Linien zu befolgen.

Wenn wir nun zu unsern eigenen Studien übergehen und gleich die Folgerungen aus Beobachtungen, Messungen und ihren graphischen Darstellungen in Karte S. 36 und Fig. 6 f vorwegnehmen, so gehen diese dahin, dass sowohl glaziale wie vorwiegend fluviatile Formen *stark strukturgebunden* sind. Dies gilt für Grossformen, Täler, Gräben, Talkare, Passfurchen, Gipfel, Ketten, Gräte, wie für Kleinformen, Couloirs, Kerben, Scharten, Rippen, Sporne, Wülste, Rundhöcker etc.

Die Strukturen haben also vornehmlich einmal die *Richtung* der Morphologie bestimmt. Sie haben indessen nicht bloss die *Erosionswege vorgezeichnet*, sondern diese Zonen *vor- und aufbereitet* und den Angriff von Wasser und Gletschereis bedeutungsvoll *erleichtert*.

Wir halten uns im folgenden an die Kluft-Bruch-Definition vorne und werden nicht immer streng zwischen den beiden Strukturen scheiden, was ja ihrer Natur nach auch gar nicht immer leicht fällt. Der Klüftung wurde das Hauptaugenmerk zugewandt, sie wird unserer Auffassung nach in ihrer morphologischen Bedeutung unterschätzt.

Die Detail-Untersuchungen betreffen hauptsächlich den äussern Talteil von Campra bis Olivone und dürfen nicht mehr denn als Anfänge, wie sie in unserem Rahmen möglich waren, gewertet werden. Denn neben unsern Quantitätsermittlungen (Klüfte und Brüche dargestellt in Rosen oder Sternen) wäre eingehende Untersuchung der *Qualität* der Klüfte nötig. Das ergäbe eine spezielle Studie, besonders wäre einmal abzuklären die Abhängigkeit der morphologischen Qualität von der Steilheit der Klüftung. Wie Fig. 6 zeigt, ist bei uns sehr steil stehende Klüftung vorherrschend. Untergeordnete flachliegende Klüfte liessen wir bereits unter der Voraussetzung geringerer morphologischer Qualität ausser Betracht (Abb. 4–6).

Fig. 5 (Karte) und 6 orientieren fürs erste allgemein über die nachgewiesenen Strukturen und ihre Stellung. Das Streichen verläuft N 110–120° E, in seinem Sinne ebenfalls ein ausgeprägtes Kluftsystem, das der *Längsklüfte (L-System)*. Sie mögen eine Verwandtschaft haben mit den (jungen) Bruch-Systemen C (N 85–100° E) und (N 115–130° E) von ECKARDT (1957) im Tavetsch. (System D zeichnet sich dort durch Zerrüttungszonen aus!) Ein zweites Hauptsystem bilden *Querklüfte (Q-System, N 10–20° E)*, die ungefähr senkrecht stehen zu System L. Sekundäre Klüftungsrichtungen (*Scherklüfte*) verlaufen kreuzweise dazwischen: System S_1 N 40–50° E; System S_2 N 150° E.

Fig. 6 gibt über die verschiedenen Struktur-Systeme hinaus eine Bestätigung vermuteter *jüngerer Bewegungen und Verstellungen* im Untersuchungsgebiet. E. NIGGLI (zit. ECKARDT,

1957) hat das Gotthardmassiv mit der Bezeichnung «*Pakettektechnik*» charakterisiert, ECKARDT geht noch weiter und spricht ihm «fast Bruchschollentektonik» zu.

Dass wohl auch in unsrem Gebiete ähnliche Phänomene bei entsprechender Untersuchung nachzuweisen wären, zeigt sich in Fig. 6. Unser Augenmerk galt dem umstrittenen Talteil der Mündungsstufe ins Haupttal. Sie hat ganz das Gesicht, das FLÜCKIGER in seinen «Glazialen Felsformen» als allgemeine Erscheinung beschrieb: in Rundhöckern grössern Ausmasses, überschlifften Stöcken buckelt das Felsgelände stockwerkweise zur Tiefe. FLÜCKIGER's Deutung liegt wiederum in seiner Eiswellendynamik, für diesen Fall derjenigen im Konfluenzgebiet zweier Eisströme.

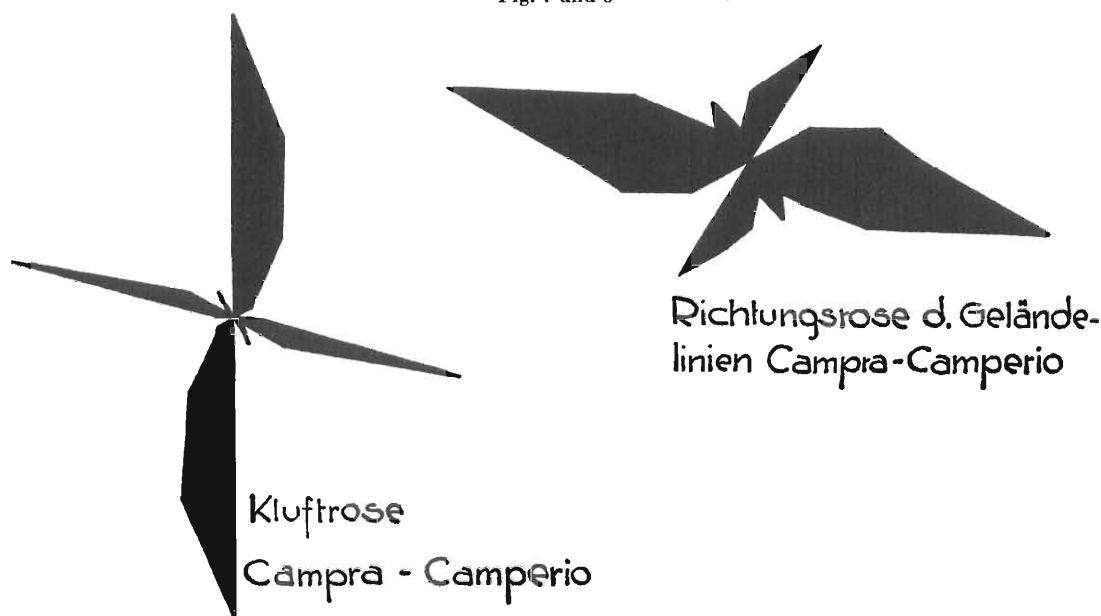
Wir vermuteten die Ursache eher im tektonischen Sektor und fanden in der Tat gewisse Anzeichen. Indirekt über Messungen wie sie den Graphika Fig. 6 zu Grunde liegen, glauben wir Verstellungen im Bündnerschieferstock Pt. 1243 e Camperio annehmen zu dürfen und zwar sowohl einmal in der Richtung des Streichens (Hebung des Axialfallens und verbunden damit Aufrichtung des Westfalles des Q-Systems!) wie quer dazu (relative Hebung im S). Aus unserem Einzelfall heraus wollen wir nicht weiter schliessen. Indessen wäre es angezeigt, auch andere Mündungsstufen auf ähnliche «*Wippschollen-Tektonik*» hin zu studieren.

Die Nachfolge von Stukturen und Geländelinien springt in Karte S. 36 als Hauptphänomen ins Auge. Von den *Großformen* liegen im Streichen (und in System L) das Längstalstück der V. d. Lucomagno, der Ri di Lareccio, das Lukmaniermassiv, die Costa-Kette; in System Q verlaufen die Kette P. Sole—P. dell'Uomo und wohl das Brenno-Haupttal.

Kleinformen sind besonders in den Richtungssternen Fig. 8, 10 in überwiegender Zahl verarbeitet. Beim Masstab der Fig. 5 war das Verzeichnen der unzähligen kleinen Kerben, Bachrinnen, Risse, Rippen, Kanten etc. nicht möglich, deren kluftektonische Anlage- und Geburtsursache nicht selten in ihrer Umgebung exemplenhaft nachzuweisen ist, sei es an Hand entsprechender Brüche und Klüftung oder noch in Bildung begriffener, embryonaler Schwesterformen. Dies trifft v. a. für die Formenwelt des Lukmaniermassivs und der Bündnerschiefer Croce Portera—Dötra—Sommascona zu.

In den gotthardmassivischen Bündnerschiefern von Croce Portera und Oer d'Angiasco äussern sich die Strukturen einerseits in auffällig *geradlinigen Tälchen und Kerben* (klaffenden Bruchspalten), andererseits in *überschliffenen Felsrippen*. Solche treten auch häufig auf im sehr stark zerklüfteten und zerbrochenen Granitgneis der Selva Secca, wo, unterstützt durch Frostsprengung, ganze Blockfelder entstanden sind. Bruchkerben, ähnlich den beschriebenen, öffnen sich in der

Fig. 7 und 8



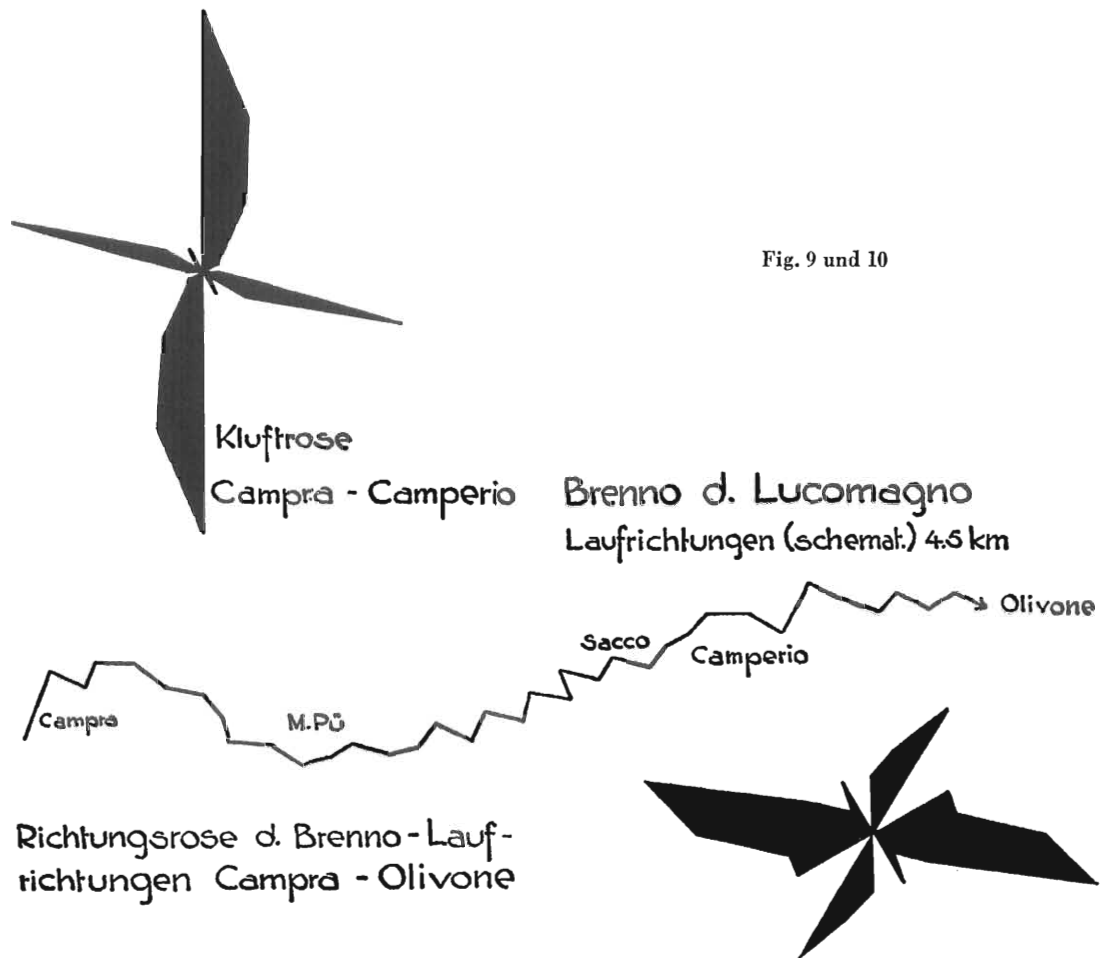


Fig. 9 und 10

Lukmaniermassiv-Flanke (Penninikum) w A. Ridegra, dort als eine Art von Nackentälchen, begrenzt von wulstförmigen Rippen. Bruchspalten von dm bis m-Weite sind in ihrem Gefolge sehr schön aufzuzeigen.

Ob es sich teilweise um echte *Kluftgassen* (Felsengassen) handelt, entstanden nach STINY (1926) durch Herausschaffen von erosionsanfälligeren, feiner von Klüften zerhackten Zonen in der Nachbarschaft von weniger geklüfteten, beständigeren, ist nicht leicht zu beantworten. In den meisten Fällen werden unsere Klufttrisse und Kerbtälchen in durch die Atmosphärien und Sackungen exogen erweiterten Kluftspalten angelegt worden sein. Allerdings glauben wir in den stark tektonisierten Gebieten des Lukmaniermassivs und der Selva Secca echte Kluftgassen-Entstehung ebenfalls annehmen zu dürfen.

Was Strukturen in den Schutt- und vegetationsreichen Dolomit- und Rauhwaacke-Massen des w Untersuchungsgebietes betrifft, so sind diese sowohl seltener und minder ausgeprägt wie minder gut aufgeschlossen. Zweifellos geben auch Dolinenreihen (Dolinen-Lineamente) die zumeist durch die Vegetationsdecke maskierte Struktur des Untergrundes wieder, Zusammenhänge, die unter «Karstphänomene» noch zu erörtern sind.

Fig. 7/8 stellt in zwei Sternen die Richtungen der Klüfte und diejenigen von Geländelinien, wie sie früher, besonders unter Kleinformen, angeführt wurden, dar. Eine Uebereinstimmung springt ins Auge: im Streichen WNW—ESE und im gleichsinnigen Kluftsystem L liegt die Mehrzahl der morphologischen Linien. Es ist v. a. einmal das Brennotal selbst, dann die Bachrinnen im Gebiet Dötra—Anveuda (zum mindesten immer Stücke davon), die Rinnen, Rillen, Rippen, Rundbuckel etc. des Oer d'Angiasco und des obern Teils der Mündungsstufe wie überhaupt die E—W-Morphologie im allgemeinen.

Selbstverständlich haben auch die ungefähr quer zu System L stehenden Häufungsspitzen der Sterne miteinander zu tun, wenngleich auch ihre Uebereinstimmung nicht derart frappant vorhanden ist. Dies ist zu einem Teil sogar in der Kartierung begründet, indem die aus verschiedenen kurzen Richtungstücken zusammengesetzten Linien mithin als Ganzes erfasst werden. Im Q-System verlaufen Tälchen und Rinnen, v. a. solche, die die gegeneinander abgesetzten Felsstöcke in der Mündungsstufe trennen, dazu Teilstücke des Brennolaufs, die eben noch zur Erörterung gelangen.

Was Fig. 10 wiedergibt, hat bereits SOELCH (1935), ohne es jedoch zu deuten, erkannt: dass nämlich der Brenno sich «mitunter geradezu im Zickzack hin und her wendet und dabei senkrechte Wände und sogar Ueberhänge erzeugt». Der Anstoss zu unserer Untersuchung ging allerdings nicht von ihm, sondern von GYGAX aus, der ähnliche Beobachtungen in der V. Verzasca gemacht hatte.

Die Richtungsrosen heben eine klufttektonische Deutung heraus. Der Brenno bedient sich ganz deutlich v. a. der beiden Hauptkluftrichtungen. Dominierend ist die des Streichens, d. h. des Systems L, während die Verhältnisse bei System Q komplizierter liegen, da sowohl seine Klüfte wie untergeordnet jene des Systems S₁ befolgt werden. (Kleine und kleinste Richtungsänderungen des Laufes stellen sich aber, wie oben erwähnt, mithin bei der Aufnahme in die grossen Linien und kommen dadurch nicht zur Geltung).

Das wechselhafte Ueberspringen des Brennolaufes in die beiden Hauptrichtungen ist nun aber nicht primär vom Flusse gewollt. Schon daraus, dass dieser dadurch deutlich einseitig nach N abgedrängt wird, ergeben sich Hinweise auf eine einseitig wirkende Kraft: es ist der ausgedehnte Bergsturz- und Sackungshang Pta. di Larescia—Gualdo Maggiore. Dessen Massen haben sowohl einmalige (Bergsturz) wie langdauernde (Nachsackungen dürften auch heute noch stattfinden) Flussverlegungen verursacht. Der ehemalige Brenno hatte seine Laufanlage als normale Fortsetzung des Laufstücks von P. Segno her unterhalb Campra ebenfalls subsequent im Streichen, in System L. Die Schuttmassen drängten ihn ab, er benutzte nun Züge des Systems Q (und S₁), nahm aber immer wieder, bis neuerdings dies verunmöglicht wurde, die alte Richtung der wirkungsvollsten L-Strukturen auf.

Erst *nach* unsern Feldaufnahmen und Erfahrungen über klufttektonisch-morphologische Zusammenhänge fanden wir in der Literatur Aussagen aus den Ostalpen, die derartige Uebereinstimmung mit denjenigen über unser Untersuchungsgebiet aufweisen, dass wir sie hier im Wortlaut folgen lassen:

«In der Reisseckgruppe (Drau) zeigt sich klar und deutlich, dass die Gesteinsklüfte eine hervorragende Rolle bei der Ausbildung der Hochgebirgsformen des Gebietes spielen und auch die Kleingestaltung des Geländes sehr stark beeinflussen... Die Gesteinsklüfte zeigten dem Tiefenschurfe und der Verwitterung die Bahnen vor, sie halfen mit bei der Zuschärfung der Grate, bei der Herausmeisselung der Felstürme, bei der Aufstellung der Felsenbretter und Mauerfluchten, sie erleichterten dem Eise die Arbeit bei der Ausrichtung der Rundbuckel, Felswülste usw. und bei der Ausräumung der Kare». (STINY, 1926).

Wir haben dazu nicht mehr beizufügen, als dass aus unsrem Gebiet und von den dort gewonnenen Erkenntnissen her diese Darlegungen nur aufs entschiedenste unterstrichen und fast Wort für Wort auf unsere Fälle angewandt werden können.

Geologische Formen, Selektiverosion

Auf Formen, deren Ursache in der *Materialverschiedenheit* des Untergrundes liegt, wurde bereits im vorangehenden verschiedentlich hingewiesen. Obwohl Selektiverosion sozusagen durchwegs an der Formgebung beteiligt ist und in geologisch heterogenen Gebieten eine Selbstverständlichkeit, können wir uns, gerade weil ihre Wirksamkeit nicht in Zweifel steht, kurz fassen.

Wir treten gar nicht ein auf die unzähligen durch geringste Verschiedenheit der Widerstandsfähigkeit der Gesteine verursachten Kleinformen, die in unserem Untersuchungsraum mit seiner mosaikartigen Gesteinsmannigfalt in legionärer Zahl vorhanden sind. Indessen beschrän-

ken wir uns auch nicht nur auf Grossformen, sondern allgemein auf solche, denen eine gewisse Exempelhaftigkeit zuzusprechen ist.

Auf die tektonisch-geologischen Entstehungsursachen der V. d. Lucomagno oberhalb P. Segno (Quertalabschnitt) haben wir bereits Seite 35 hingewiesen. Die Stelle war augenscheinlich prädestiniert für diesen ausserordentlich *tiefgesägten Quereinschnitt* in den Alpenkörper: die Geologische Spezialkarte der Tessiner Alpen (1934) zeigt sehr schön die Abhängigkeit von der tektonischen Kontaktzone wie die Parallelität von Passfurche und den hier zur grössten Querausdehnung entwickelten «weichen» Dolomiten, Rauhwacken und Gipsen der Lucomagno-Mulde.

Härtlinge, die Gegenstücke zur eben besprochenen Konkavrichtung der morphologischen Selektion, sind in gleicher Prägnanz ausgebildet. Klassisches Beispiel der Präparierung eines geologischen Körpers durch die exogene Dynamik ist die gotthardmassivische Gneis-Granit-Aufwölbung der Selva Secca, 1955.8 m. Als dunkle, tannenbestandene, breitgewölbte Kuppe erscheint sie von P. Segno aus im Tale sitzend.

Als weitere deutlich erkennbare Härte-Restberge erwähnen wir die Rippe Frodalera—Brönich und jene zwischen Campra und Camperio (in den massigen, zähen, hornfelsartigen Bündnerschiefer-Granatphylliten), dann v. a. nochmals die Seite 34 besprochenen Bündnerschiefergipfel (Scopi etc.) und die Dolomittürme des P. Corombe (Abb. 3).

Durch den Selva Secca-Härtling wird die schönste Härtestufe des Gebietes unterhalb Acquacalda bewirkt, die der junge Brenno in romantischer kolkreicher Schlucht und in Fällen durch-eilt. Aber auch jede andere der Stufen der V. d. Lucomagno — von 40 m bis 550 m Höhendifferenz — ist teilweise eine Resistenzsteile: Bei Pertusio steht (oberhalb von Gips!) Zellendolomit an, bei P. Segno und Camperio die zähe untere Stufe der Bündnerschiefer (Abb. 2).

Die Strukturterrassen von Seite 35 stellen an das axiale Abfallen der Schichten gebundene *Denudationsterrassen* dar. Kleinere Härteleisten derselben Entstehung aber können im Gebiet von Hang zu Hang nachgewiesen werden.

Als kleinere Selektivformen möchten wir schliesslich die Scharen von *Schichtköpfen* auf Hang und Terrasse der Scai hervorheben und als ähnliche Erscheinung die auffallend grossen *Rundhöcker* in den quarzreichen Gesteinen von P. Segno und Campra.

3. MECHANISCHE EROSION UND AKKUMULATION

Bewusst umgehen wir mit diesem Titel, aus bereits erwähntem Grund der komplexen Ursache grösserer Oberflächenformen, eine scharfe Scheidung in die Formgruppen von Wasser- und Eiswerk. Wir denken dabei an Bildungen wie Kare, Stufen, Riegel, Becken. Wenn wir im folgenden mit den vorwiegend fluviatilen Formen beginnen, wollen wir damit gleichsam unsere Stellung bezeugen, indem unserer Ansicht nach dem Wasser das Primat unter den Erosionsagenzien zuzuerkennen ist. Fliessendes Wasser ist schlechthin allorts an der Erdoberfläche und in verschiedenster Wirkung am Werke, sogar am Grunde des Gletschers; das fliessende Wasser hat ohne Zweifel grossteils auch jene Formen, die Tektonik und Geologie begründeten, ausgeschafft und ausgestaltet.

Gips—«Bad Lands» s Passhöhe Lucomagno¹

Die durch ihre Oberflächenformen und Farbigkeit augenfälligen Gips-Vorkommen (Trias) des Untersuchungsgebiets, v. a. diejenigen von Casascia s Passhöhe Lucomagno, sind aus der Literatur bekannt. Obschon ihre oberflächliche Ausdehnung nur gering, ist doch ihre typische fluviatile Ausgestaltung von besonderem morphologischem Interesse.

Die nur zu Gewitterzeiten oberflächlich abfliessenden Wasser schufen und schaffen in den weichen Massen eine Miniatur-Formenwelt, kleine Klamme und V-förmige Kerben, (die immer

¹ Begriff nach Typlokalitäten in den USA (Süd-Dakota), wo Teile der berühmten Erosionslandschaften zum «National Monument» ernannt wurden.

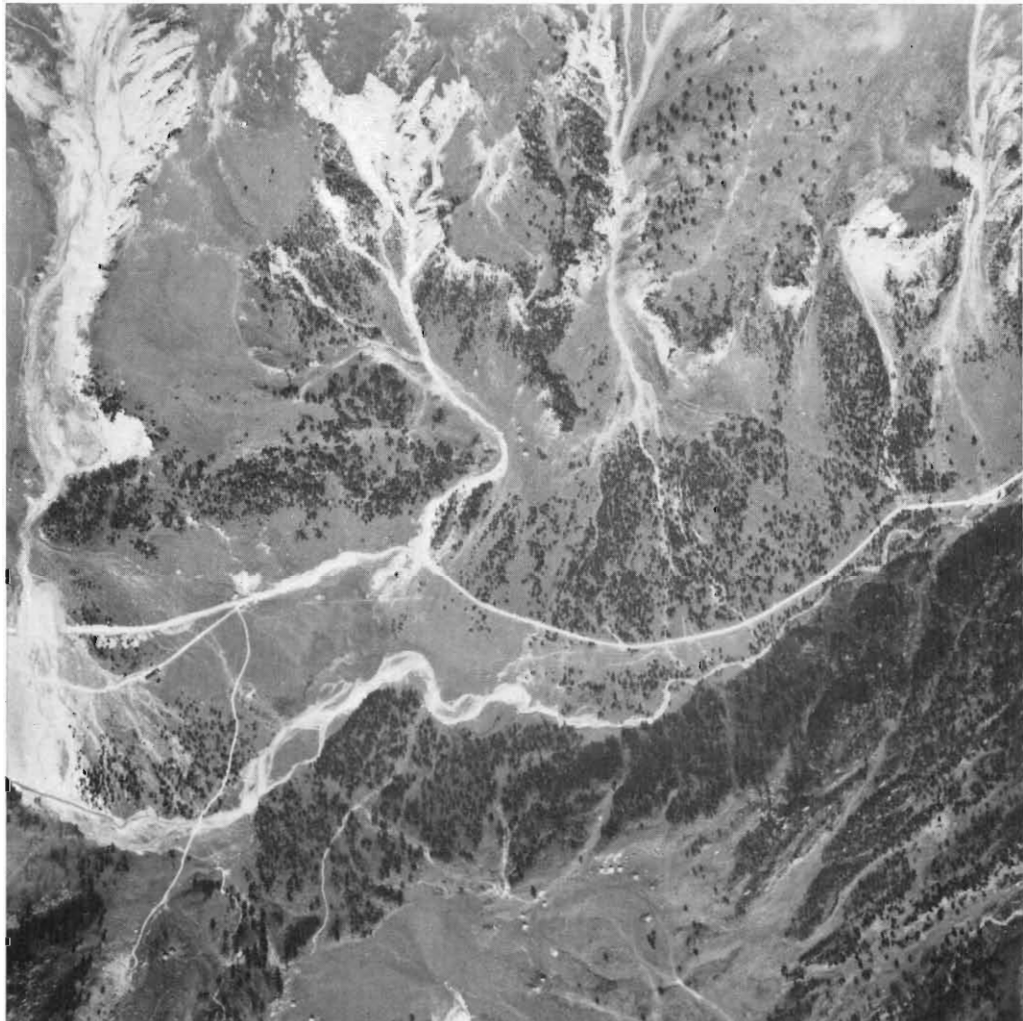
Abb. 7 Scopi, 3199 m,
mit Bündnerschiefer-
Schutthalden,
Karnischen und fluviatiler
Gestaltung der Rauhwa-
cke-Talflanke gegen
Casascia (vorn)

Aufn. Verfasser



Abb. 8 Die aufgerissene
Fluvial-Talflanke des oben-
stehenden Bildes vom
Flugzeug aus gesehen.
Wildbach-Komplexe
(Erosionskessel, Kanal und
Schuttfächer) Die Pass-
strasse auf den Schuttkegeln,
teilweise in einer Galerie
beim Vallone di Casascia
(links).

Flugaufn.
Eidg. Landestopographie



wieder durch Wandeinstürze und Muren verschüttet werden), Mäander, kolkartige Löcher, Stufen, Köpfe, Türme, Kämme, Zeugenberge.

Eine unentwegt unter den erschwerten Umständen sich entwickelnde Grasnarbe wird immer aufs neue in Einzelpolster, «Vegetations-Zeugenberge», aufgelöst. Am Ausgang in die Brenno-Schwemmebene fächert sich ein beispielhaftes, jungfräulich weisses Miniaturdelta auseinander.

Wildbach-Komplexe

Darunter verstehen wir die Dreiheit Erosionstrichter-Abzugskanal-Schuttkegel, wie solche im obern Lukmaniergebiet exemplarhaft ausgebildet sind. Die Vallone di Casaccia bezeichnet LAUTENSACH (1912) als markantestes Beispiel von Rufe und Schuttkegel im Tessin. Unterhalb Gana Negra ist dieser halbtrichterförmige Einschnitt 300 m tief in die Talflanke eingelassen (Abb. 7, 8). Darin sind schön die Rauhwaacke-Dolomit-Schichten und ihre Deformationen aufgeschlossen.

Die ganze e Steilseite der V. d. Lucomagno oberhalb Pian Segno, bestehend vorwiegend aus Rauhwaacken und Bündnerschiefern, zeigt sich in Karte S. 44 als ausgesprochene Fluvialflanke, aufgerissen von einer ganzen Reihe nebeneinanderverlaufender Wildbacheinschnitte. Trockene Schuttrunsen aller Grössen gehören zur Kleinzeiselierung des Hangs. Anzeichen chemischer Wasserarbeit sind ein paar Dolinen und Karstschlote auf den seltenen flachern Gehängeabschnitten. Schuttüberführungen der Strasse sind in den sommerlichen Gewitterzeiten an der Tagesordnung, wobei Rinnsale zu mächtigen, mithin strassensperrenden Wildströmen anwachsen.

Bacheinschnitte und Schluchtkerben

Selbstverständlich fliessen die Wasseradern des Gebietes fast durchwegs in selbstgeschaffenen Bettvertiefungen, die es, soweit sie nicht schluchtartigen Charakter annehmen, im einzelnen nicht zu besprechen gilt. Eine Besonderheit ist allerdings das fossile Brennobett oberhalb Pertusio, das als Wadi-Geröllzug nur noch zu Hochwasserzeiten oberflächlichen Durchfluss aufweist (vergl. unten).

Die Erosionsbeträge in den Rauhwaacke- und Bündnerschieferschluchten erreichen ansehnliche Grössen. Die Tiefe der Brennoschlucht unterhalb Campra misst 30—40 m, dazu ist beizufügen, dass möglicherweise der Fluss oder ein Teil davon postglazial zeitweise die n Rinne, durch die die Passtrasse führt, benutzte. Die drei Schluchtrinnen durch den Camprariegel — die dritte ist die südlichste — sind ungefähr um dieselben Beträge eingeschnitten.

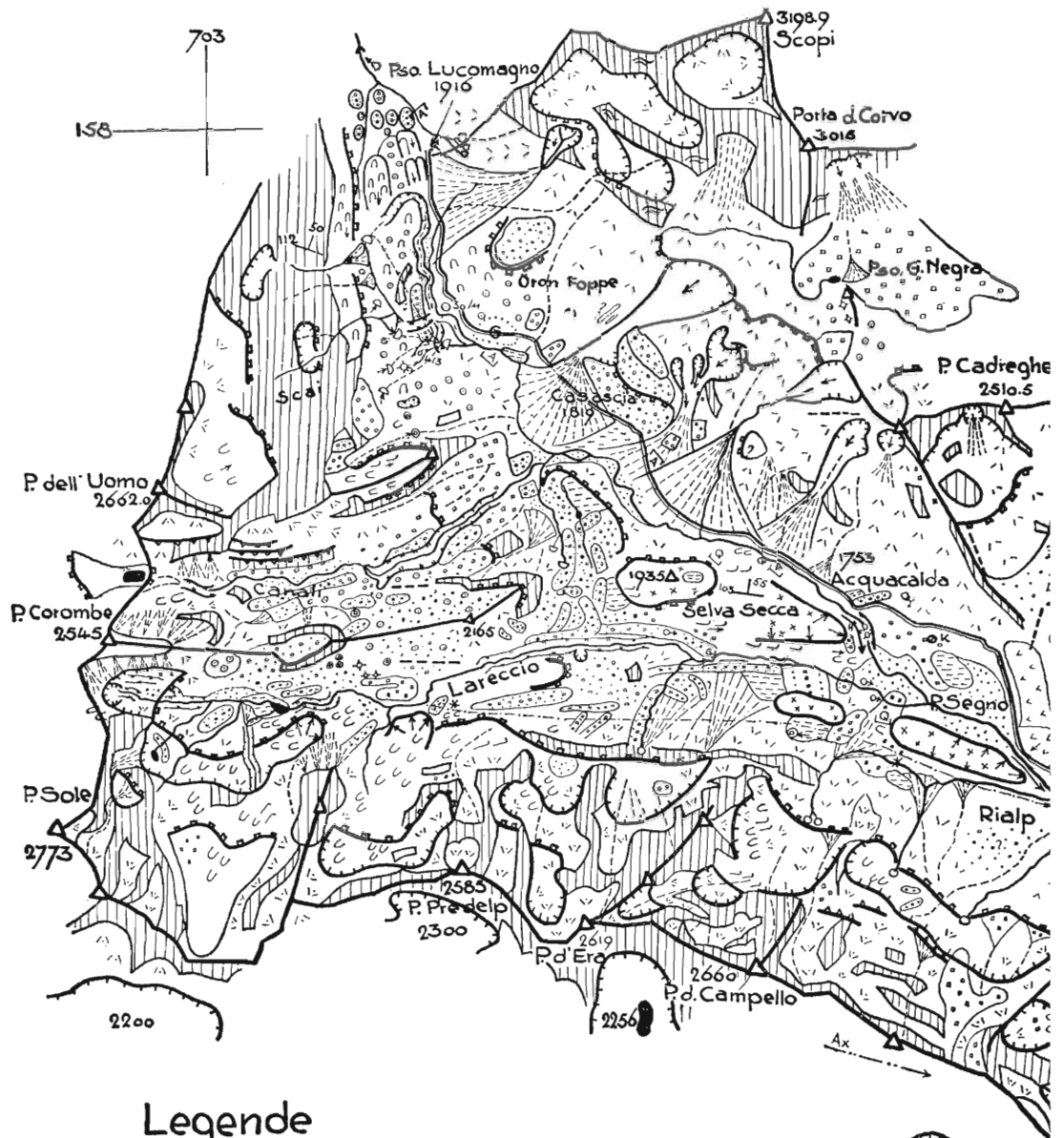
Im Flussabschnitt der Fig. 10 sind die drei Schluchtteile Campra, Sacco und Sommascona der komplexen Mündungsstufe enthalten. Alle übrigen Talstufen der V. d. Lucomagno sind ebenfalls zerschnitten, doch auf recht unterschiedliche Weise. Währenddem diejenigen in den Bündnerschiefern (es kämen noch zu den erwähnten: Dötra, Anveuda und Rialp) nur in den flussnächsten Gründen eng und steilwandig sind, oben aber einen geöffneten V-Querschnitt aufweisen, streben die Wände der Schluchten in den Rauhwaacken sozusagen senkrecht vom Grunde bis zur Oberkante, die zumeist mit dem Niveau des Würmbodens zusammenfällt.

Besonders die Pertusio-Schluchten gehören diesem Klammtyp an, die übrigens — vier an der Zahl — mit einer Ausnahme fossil sind. Sie waren nach der Eiszeit von verschiedenen Quellarmen des Brenno d. L. durchflossen, später verlegten sich die Wasser in unterirdische Karstabzüge. Durch die obere Pertusio-Schlucht (Gips) fliesst in Regenzeiten das Wasser des Scopi R., doch kann sie bloss als temporäraktiv bezeichnet werden (Abb. 9).

Lareccio R. und Canali R. bieten Beobachtungsmöglichkeiten über 2 klassische Flusskerben (oberhalb Stabbio Vecchio bzw. Alpe di Gana). Am Lareccio R. wird zudem die Differenz der Eintiefung in verschiedenen Gesteinen deutlich gemacht, indem die Kerbe im penninischen Kristallin n Pt. 2109 bloss etwa die halbe Höhe (25—30 m) der weiter talwärts liegenden Rauhwaacke-Schlucht erreicht (Abb. 13).

Am wenigsten fortgeschritten ist das Durchsägen des Selva Secca-Granitgneises s Acquacalda. Diese Talstufen-Schlucht entstand ebenfalls im Anschluss an die Eiszeit, indem eine Jungmoräne eine Flussverlegung verursachte (Abb. 10).

Erwähnungsweise seien hier angeführt einige *Mäanderbildungen*, die in den flachern Beckenauffüllungen von Piano dei Canali, Casaccia, Pian Segno und Campra anzutreffen sind.



Legende

- o Quelle
- ▲— Gratverlauf u. Gipfel
- ▨ Felswände
- Quarzausbeutung
- Strassenverbauung u. Schutt
- ok Kalkofen v. P. Segno

Tektonik, Geologie

- Ax— Axialgefälle
- 7°— Streichen u. Fallen in °
- Bruch- u. Kluftsysteme
- ▨ wichtiger Aufschluss
- * Mineralfundstelle
- ☉ Härtling

- sichtbare Schichtumbiegung
- Kante einer Denudationsverflachung

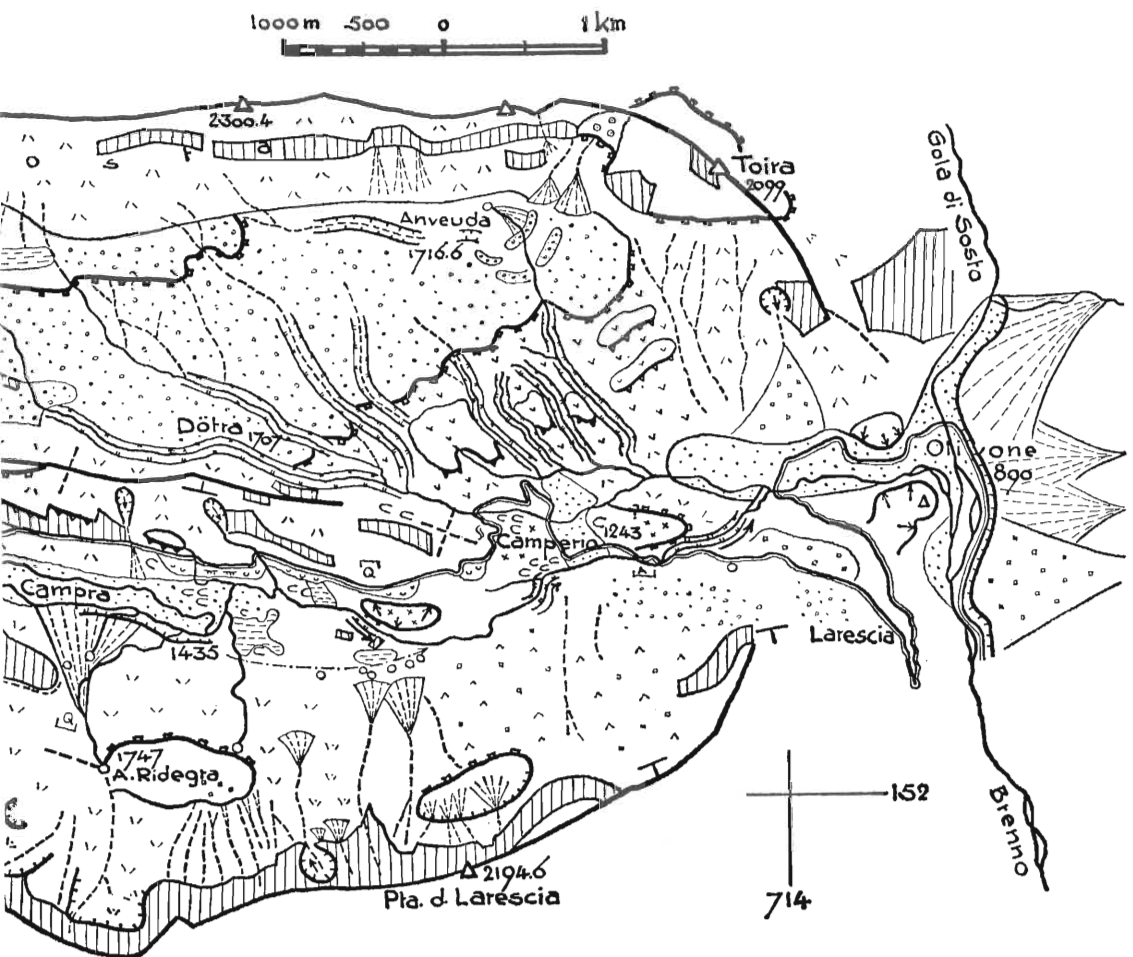
Mechanische Erosion

- ☉ Gips-Bad Lands
- ☉ s. Passhöhe Lucomagno
- ☉ Wildbach-Komplex (Trichter, Kanal u. Kegel)
- ☉ Riegel
- ☉ Bacheinschnitt i.a.
- ☉ Schlucht



- 93/4 Koll
- Stufe
- ehe
- Hoc
- Glet
- rich
- Rur
- Kanl
- Nis

MORPHOLOGISCHE KARTE DER VALLE LUCOMAGNO (LUKMANIER-BRENNO)
VON VAL. BINGGELI, 1959



Ø_m u. Tiefe)

Flusslauf
essbet (Wadi)
liffe (Fließ-
s Eisess)

ystemverflg.

Chemische Erosion

- ⊙ Dolinenfeld i.a.
- ⊙3/1 Doline (Meter Ø_m u. Tiefe)
- ⊙ Karstschlot
- ⊙ Doline mit Schluckloch
- ⊙ unterird. Flusslauf mit Wassereintritt u. Stromquelle
- ▽ Karsthöhle
- Akkumulation**
- ⊙ Alluvialböden i.a.
- ⊙ Sackung

- ⊙ Bergsturz mit Abriss- nische und Schüttgeb.
- ⊙ Blockschutt
- ⊙ Schuttgehänge, lose id. ± verfestigt, zumeist humos-veget.bed.
- ⊙ Schuttrinne + Sturzschuttkegel
- ⊙ Schwemmschuttkegel
- ⊙ Moränenbedeckung i.a.
- ⊙ Moräne (Wall, Zug)
- ⊙ Sumpf, Moor

Kolke, Strudellöcher

KISTLER (1954) hat diesen Phänomenen, die in und unter Stromschnellen und Wasserfällen, also in Versteilungen und ihren Schluchten auftreten, eine Sonderstudie gewidmet (V. Onsernone). Es sind typisch fluvialerosive Formen. Jeder noch so kleine Wassersprung schürft eine Kolkvertiefung aus. (Technische Probleme stellt die «künstliche» Auskolkung bei Kraftwerk-Ueberfällen!) Die (kleinern) Strudellöcher (Evorsionslöcher) sind zu vergleichen mit Gletschermühlen. Sie kommen elliptisch bis kreisförmig als glattpolierte Felsschüsseln auch auf bis senkrechten Wänden vor (Abb. 10, 11).

In jeder Schlucht des Untersuchungsgebietes sind solche Bildungen zu finden.

Kolke	$\phi = 1 - 10 \text{ m}$	$T = 1 - 6 \text{ m}$
Strudellöcher	$\phi = 0,5 - 1 \text{ m}$	$T = 0,2 - 0,6 \text{ m}$

Besondere Beobachtungsmöglichkeiten bieten die fossilen Schluchten oberhalb Pertusio, die vollständig begangen werden können. Da sie indessen bereits einige 1000 Jahre keinen Durchfluss mehr haben dürften (vergl. S. 63), sind die meisten Kolke ganz oder teilweise zugeschüttet. — Typische Evorsions-Beispiele weisen die Schluchten von Acquacalda und Rialp auf.

Flussterrassen

Als für die Morphochronologie wichtige Formen und Formkomplexe werden Terrassen v. a. noch im Kapitel der Talgeschichte zur Erörterung kommen. Um die Jahrhundertwende, in einer Zeit der Terrassen-Klassik, ordneten mithin Forscher (teilweise sogar ohne entsprechende Ueberprüfung im Gelände) schematisch alle flachern Gehängeabschnitte zu Systemen früherer Talböden. Gerade in unserem Gebiet lässt sich nun sinnfällig dartun, dass a) einerseits zahlreiche tektonische und schichtgebundene Denudationsterrassen vorliegen, (z. T. Fälle, wo man sehr wohl den Höhen- und Gefällsverhältnissen nach Erosionsterrassen eines Systems vermuten könnte), dass b) andererseits noch heute aktive Flussterrassen-Entwicklung gezeigt werden kann (Stabbio vecchio, Canali — A. d. Gana) (Abb. 13, 14).

Während die Terrassen des Längstal-Abschnittes stark mit dem axialen Ostfallen der Schichten verlaufen — Erwähnung verdienen die Toroi-Leisten und die grossen Bödenreste Dötra—Anveuda — schneiden diejenigen des Quertal-Abschnittes die steilstehenden Schichten diskordant als reine Erosionsterrassen (Scai, Passhöhe, Gana Negra, Scopi).

Deutlich sind von diesen in den anstehenden Fels skulpturierten die Akkumulations-Terrassen zu differenzieren, wie solche am Brenno d. L. bei Campra (mit feinsandig-tonigen Seeablagerungen) und auf der linken Talseite von Olivone (Wildbach-Delta-Schotter und Bergsturzschutt) auftreten.

Vergletscherung und glaziale Formen

Das Einzugsgebiet des Brenno d. L. ist heute ganz ohne vergletscherten Anteil, obwohl mit Ausnahme der höchsten Gipfelregion und der der Talgründe ein reicher Glazialformenschatz ihm den Charakter einer weitgehenden Glaziallandschaft verleiht. Zur Hocheiszeit ragten zweifelsohne bloss höchste Gipfel und Kämme als Nunataker aus den Eismassen (Abb. 16).

1922 beobachtete BOSSARD (1936) einen kleinen Gletscherrest am Nordhand des P. Sole. «der von der ehemaligen Vergletscherung des Gebietes übriggeblieben ist». Von der ehemaligen SW-Firnfläche Scopi—Corvo dürften allerdings heute noch Eisreste (Toteis) unter den Schuttmassen geschützt liegen. Mit frischen Glazialrelikten sind die folgenden als subrezente Gletschergebiete charakterisiert: P. dell'Uomo, Scopi, P. Sole, Bassa di Söu, Passo Predelp, P. d'Era, P. di Campello.

Rundhöcker, Schliffe, Schliffgrenzen

Es zeigt sich mehr und mehr, dass auch jene gerundeten Erhöhungen im anstehenden Fels mit angenähert elliptischem Grundriss («linsenförmige Gestalt» nach FLÜCKIGER, 1934), durch verschiedene Faktoren (Klüftung, Härtezonen, vergl. S. 38) bedingt sind, nicht bloss auf glazialer Schliff Tätigkeit beruhen (oder allein auf einer Wellendynamik des Eisflusses, was FLÜCKIGER postulierte).

Abb. 9 Eine der postglazialen, fossilen Schluchten oberhalb Pertusio.

Aufn. Verfasser

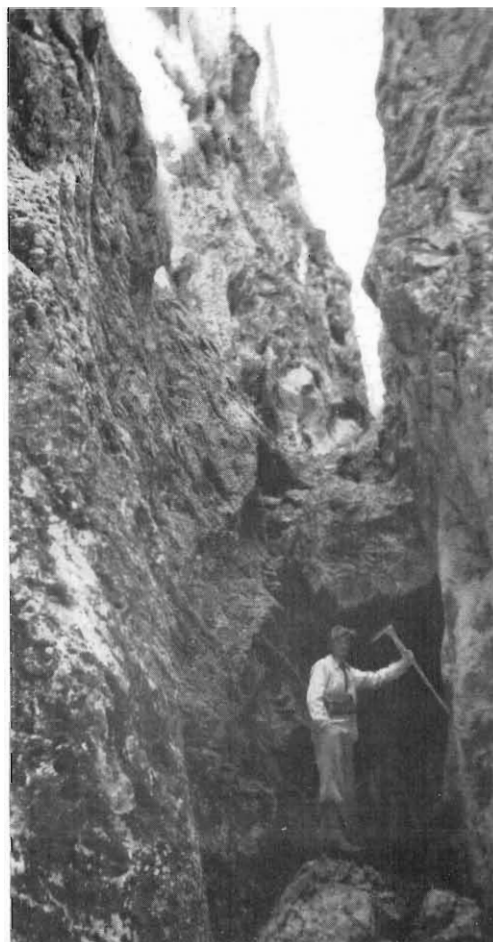


Abb. 10 Kolkbecken in der Brennoschlucht von Acquacalda

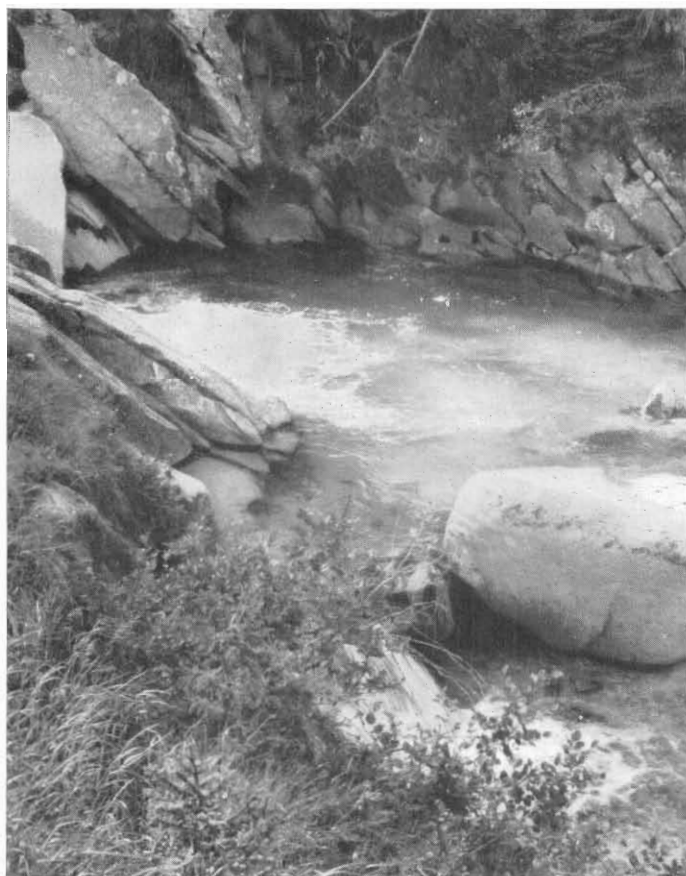


Abb. 11 Kleinere, ungefähr meterweite «Wassermühlen» (Strudellöcher) bei Campra



Rundbuckel als dennoch vortreffliche Vergletscherungshinweise existieren Legionen im Gebiet. Klassische Stelle ist die Passhöhe, mit prachtvollen «roches moutonnées» grossen Stils (Längsaxen bis ca. 100 m). Sie haben eine ausgeprägte längsaxiale Asymmetrie, eine geschrammte flach ansteigende Stoss- oder Luvseite, eine steile rauhe, mit ausgebrochenen Felstrümmern besonders am Fusse besetzte Leeseite. Indem diese gegen S blickt, wird ein N—S-Ueberfliessen des diluvialen Eises über den Pass unverkennbar (Abb. 15).

Rundhöcker treten meist «gesellig» auf. Die Zahl der grössern auf Passhöhe Lucomagno geht an ein Dutzend. Die *Rundhöckerflur* s davon gegen Pertusio umfasst Hunderte in verschiedenen Grössen. (Hier scheinen Anzahl, Form und Grösse der Einzelhöcker \pm unabhängig von den anstehenden Gesteinsarten Gneis, Granitgneis und Rauhwacke zu sein). In sehr grosser Zahl beleben sie ebenfalls die Nordkare des Lukmaniermassivs und die Riegelzone Campra—Camperio.

S. 42 wurde bereits Selektiverosion als Entstehungsursache der schönen Rundbuckellandschaften Pian Segno—Selva Secca und Campra—Camperio genannt. Resistente *quarzreiche Kerne* (dazu Aplitgänge bei P. Segno) sind beiderorts gut aufgeschlossen. Zwischen Campra und Camperio entwickelte sich eine charakteristische Rundhöcker-Rippenlandschaft, die wir in ihrer Grundlage der Tätigkeit *subglazialer Wässer* zuschreiben möchten (subglazi-fluviatil nach JAECKLI, 1957). Selektiverosiver Ursache sind auch die Rundhöcker auf Pigna, doch handelt es sich hier um *polierte Schichtköpfe*.

Schliffspuren, Schrammen folgen den angeführten Höckerflächen. Dagegen sind Schliffkehlen und die hocheiszeitliche Schliffgrenze in dem damals weithin Firnraum darstellenden Gebiet schwer zu bestimmen. Allfällige morphologische Indizien gerundet — rau wurden durch die intensive Verwitterung stark verwischt.

Für die Scopi-Westgrate (GR) gibt LAUTENSACH (1912) 2550 m an, während wir eher 2650 m annehmen. Vis-à-vis dürfte die Grenze am P. dell'Uomo um 2500 m liegen. Am P. d. Campello sind es nach LAUTENSACH 2300 m und für den Talausgang über der Mündungsstufe lautet unsere Bestimmung 1800 m. Nach diesen Zahlen hätte der Rissgletscher in unserem Gebiet eine Mächtigkeit zwischen 700 m (Passhöhe) und 550 m (Camperio) gehabt, Beträge, die uns trotz ihrer Höhe für das Gebiet vertretbar scheinen.

Tröge, Trogschultern, Trogplatten

Trogform, U-Querschnitte der Täler, zeigt das Untersuchungsgebiet wenige. Im Passhöheraum darf man von einer weitgespannten derartigen Form sprechen, das asymmetrische Talstück unterhalb Pian Segno zeigt mit der steilkurvigen Südseite die Hälfte davon. Es ist der typische Prallhang des umbiegenden Talgletschers, wo bis auf kärgliche unsichere Reste (Ridegra; unter Pta. d. Larescia) Schultern und Leisten fortgeräumt oder durch Unterschleifen dem postglazialen Untergang geweiht wurden.

Eine beispielhafte Form ist dagegen der fossile kleine Trog s Pt. 2109, eine ältere moränengeschlossene Lareccio-Rinne. Die s davon hinziehenden Toroi-Leisten weisen die einzigen ausgeprägten, wulstartig akzentuierten Trogschultern der Gegend auf. Das Trogtälchen schliesst im Hintergrund mit der ebenfalls sozusagen einzigen erkennbaren Trogplatte, indem eine solche unterhalb Pso. Sole bloss angedeutet ist.

Moränen

Es ist zu unterscheiden zwischen denjenigen der pleistozänen Talgletscher und der der verschiedenen Lokalgletscher. Die Bestimmung der ersteren, vollends wenn es ältere Bildungen, morphologisch verwischt und mit verschwemmtem Material, sind, gestaltet sich oft schwierig. Anhaltspunkte bleiben gute Aufschlüsse und Leitgesteine. Der Erosionsanriss der Vallone di Casascia hat eine s davon längs zum Tal ziehende ältere Moräne auf 1980 m angeschnitten. Sie scheint kürzere Zeit von einem späteren Gletschervorstoss überfahren worden zu sein. An ihrer Zusammensetzung beteiligen sich in der Mehrzahl Bündnerschiefergesteine, einzeln Granitporphyre (Typ Medelser Protogin). Die Mächtigkeit dieser dichten Ablagerungen beläuft sich auf 15—20 m. Auch sie gelten uns indessen nicht als eindeutig vorwürmisch.

Altmoränen-Material ist zweifellos, wenn auch nicht sicher nachweisbar, an der ausgedehnten Moränenfläche Croce Portera—Anveuda beteiligt.

Jungmoränen sind eher als Wälle oder Buckel (Wall-Teile) morphologisch erkenntlich. Darüber hinaus aber hat sich eine eindeutige Bestimmung, da kantenbestossene oder gekritzte Komponenten als Indizien äusserst selten sicherzustellen sind, wieder an Aufschlüssen und Charaktergesteinen zu orientieren. Besonders solch letztere sind im Gebiet fast durchwegs brauchbar vorhanden.

Ausser den oben genannten Moränenresten des im Rückzug begriffenen letzteiszeitlichen Talgletschers finden sich weitere s Pertusio und e A. d. Gana, beide mit typischen Komponenten, Cristallinagranitgneis und Medelser Porphy. Dasselbe trifft für diejenigen der weiten Terrassen Croce Portera—Anveuda zu, in deren Gebieten indessen die Oberflächenwellen nicht durchwegs durch Wallaufhäufung, sondern durch Bachrinnen in einer Moränendecke geschaffen wurden.

Die w Nebentäler Lareccio und Canali und die dazwischen liegenden Hochflächen weisen Moränen dieser Seitengletscher in grosser Zahl auf, oft sind es bloss *Schleierüberzüge*, worin sich mit hin sogar darunter liegende Dolinen abzeichnen. Die Wälle bei Stabbio Vecchio, A. Lareccio und A. d. Gana dürften gleichaltrig sein. Während diejenigen zwischen Stabbio Vecchio und Pian Segno einen *glazialen Komplex* darstellen (Zungenbecken mit Moorsumpf), kann man im Falle der verschiedenen Wälle und Sumpfbecken zwischen A. Lareccio und A. d. Gana fast von einer *glazialen Serie* sprechen. Die Moränenzüge sind hier z. T. schön symmetrisch geböschte Wälle mit Höhen zwischen 5 und 40 m. Eine Miniatur-Mittelmoräne durchzieht die hintere Piano dei Canali.

Frische Ablagerungen lokaler Gletscher subrezentem Charakters finden wir über 2400 m in den Karen des Scopi, P. dell'Uomo und des Lukmaniermassivs.

Kare

Entgegen der frühern Ansicht rein glazialer Entstehung der Kare (Botner in Skandinavien) vertreten wir dafür heute eine Theorie, wonach sie zumeist glazial ausgestaltete Quelltrichter älterer Flüsse darstellen. Auf die Strukturabhängigkeit dieser fluviatilen Voranlagen haben wir S. 38 hingewiesen. FELS (1929) fasste im Karwendelgebirge die grossen «Talkare» als altpäglaziale Talenden auf, die die eiszeitliche Firnerfüllung nicht sehr erheblich ausgeweitet habe. Nach ihm sind dagegen die kleinern Gehängensichen («Schneegrenzkare») rein glazialer Herkunft.

Der anschauliche Vergleich FLÜCKIGERS (1934), wonach reihenweise nebeneinander in den Bergkörper eingetiefte Kare, deren seitliche Trennungsmauern wie Rippen vom Hauptgrate ausgehen, *Lehnstühlen mit Armstützen* ähnlich sind (Abb. 14) trifft für die markanten Nordkare des Lukmaniermassivs zu. Wie bei allen grössern Karen des Untersuchungsgebietes ist ihr Auslaufen auf ein Terrassen-Niveau, hier auf das der Hauptverflachungen um 2000 m, deutlich. Auf die gegenseitige ursächliche Verknüpftheit haben wir noch zu sprechen zu kommen.

Bei den eben genannten Karen zeigt sich, dass die fluviatilen Trichter zur Zeit der Firnausfüllung doch erhebliche Veränderungen erfahren haben: Rückübertiefung der Karsohlen weist hin auf subglaziale Erosion, die steilen Rückwände gehen v. a. auf Randkluftverwitterung zurück. Sohle und flachere Gehängenteile sind in allen diesen Karen entweder bedeckt von Wandschutt oder durchsetzt von Rundhöckerscharen. Das Kar unter Pt. 2505 (P. Sohle) birgt einen kleinen aber charakteristischen, moränengestauten *Karsee*.

Die Mehrzahl der Kare des Lukmaniermassivs hält die Höhe der ausgeprägten Terrassenleisten um 2000 m. Während in dieser Kette eine zweite Häufung auf den Verflachungen in ca. 2400 m auftritt, finden wir am sw Scopi *nur* Kare auf und oberhalb dieses Stockwerks. Auch am P. dell'Uomo und P. Cadreghe ist dasselbe festzustellen, dagegen sind Kare am P. Sole stockwerkweise übereinander angeordnet auf 2250 m, 2400 m und über 2500 m. Alle Embryonalstadien der Karentwicklung sind im Lukmaniermassiv von P. Sole bis Pta. d. Larescia vorhanden und bei zwei kleinen Karen des Scai ist der Charakter von Quelltrichtern noch sehr gut erhalten. Es sind die heute noch aktiven Einzugsessel des Brenno d. L.

Wenn wir im folgenden einige Angaben über Grössenverhältnisse der Kare machen, so bezeichnen wir als Durchmesser ϕ den vorn über dem Riegel gemessenen Abstand der steilen anstehenden Seitenwände, als Radius r die Mittelsenkrechte auf ϕ bis zur Rückwand; T = Tiefe.

Scopi	ϕ = 300—1000 m
	r = 300— 500 m
	T = 150— 500 m
Lukmaniermassiv	ϕ = 150— 600 m
	r = 150— 500 m
	T = 50— 200 m

Kartreppen, bestehend aus 3 Stufen, entwickelten sich an Pizzo Campello und P. Predelp (Lukmaniermassiv), eine zweistufige, doppelseitige Kartrepppe nimmt sozusagen die ganze Scopi-Südwestseite ein.

Riegel, Becken, Stufen

Diese grössern Formen treten meist vergesellschaftet auf, sind zudem im einzelnen sehr oft kompliziert zusammengesetzt. Ueber den Anteil des tektonisch-geologischen Unterbaus an ihnen war bereits S. 42 die Rede. So können wir uns im folgenden jeweils mit einer Erwähnung dieser Faktoren als Hinweis auf jene Stellen begnügen.

Jeder Riegel schafft bei Gefälle an sich schon ein Becken, das indessen zumeist klein, auf die hinter jenem liegende Vertiefung beschränkt ist. So bildeten sich gerade in unserem gebirgigen Gebiete sehr zahlreiche Riegel, gebildet entweder durch Fels- oder durch Schuttmassen: Härtinge, Moränen, Schuttkegel, Bergstürze, Sackungen und Rutschungen. Moorbecken gehören als typische Folgen dazu.

Die V. d. Lucomagno ist ein ausgesprochen in Stufen und Becken gegliedertes Tal. Zu den tektonisch-geologischen Grundursachen gesellten sich innerhalb der Formentwicklung zumeist noch fluviale wie glaziale, mithin auch chemisch-korrosive Kräfte, was bei der Besprechung der Einzelformen zum Ausdruck kommen wird. Eine wissenschaftliche Diskussion setzte besonders über Art und Ausmass der Glazialerosion im Bereiche dieser Stellen ein.

Gewicht kommt dem auf Grund von Studien an rezenten Gletschern gewonnenen DE MARTONNE'schen Gesetz zu. Es besagt im Kerne, dass «die Orte maximaler Erosion sich oberhalb und unterhalb der Talengen und Stufen befinden». Für unser Tal heisst das, die präexistenten (endogen-fluvial geschaffenen) Riegel, Stufen und Becken seien durch den Gletscher noch verstärkt worden, was u. E. zutrifft. Denn noch heute, nach den Eiszeiten, besitzt das Tal seine ausgeprägte Kammer-Gliederung als Charaktermerkmal (Abb. 14).

Am Brenno d. L. tritt verschiedenerorts die Dreiheit Riegel — Becken — Stufe auf. In verschiedenen Fällen sind Härtezonen vorhanden, die zudem durch Schuttriegel überhöht sind. Das Becken von Casaccia beendet der Gneisgranit-Stock der Selva Secca, dem sich gegen E eine Moräne anschliesst zum durchgehenden Talriegel. Eine Stufe führt 80 m hinunter ins Becken von Pian Segno (Abb. 2).

Dieses ist vorerst eine Konfluenz-Weitung, der hydrographische Hauptkampfraum des Gebietes, wie später dargestellt wird. Tektonische Beeinflussung ist ebenfalls anzunehmen. Schliesslich ist die erleichterte mechanische Ausräumung und die Auslaugung der den Beckenuntergrund bildenden dolomitisch-rauhwackischen Karstgesteine nicht zu vergessen. Wir haben im Falle dieser Formentwicklung also eine Kumulation der bedeutendsten Wirkungsfaktoren vor uns.

Eine Bündnerschiefer-Härtezone quert verengend den untern Ausgang des Segno-Beckens, eine Sackungsmasse vom Osthang verstärkt zudem den Felsriegel. Die darauf folgende Rialp-Stufe leitet als wiederum höchst komplex gebildete Anlage zum 200 m tiefer gelegenen Campra-Boden über. Die Stufe quert tektonische Störungslinien (Karte S. 36). Dann waren wiederum Konfluenz-Kräfte am Werke, auf die teilweise auch die Bildung des Campra-Beckens zurückgeht: von W mündet unterhalb Rialp die ehemalige Lareccio-Talung (Frodalera).

Die junge Auffüllung im schmalen, länglichen Becken von Campra (unter e Schuttfuss Triaszone) erfolgte teilweise in einem See, was auch bei Pian Segno der Fall war. Die s des Bündner-

schiefer-Riegels von Pü verlaufende ältere Talrinne wurde durch Sackungen von der unterschliffenen und unterspülten Südflanke her (Gips!) verriegelt und der Brenno gestaut.

Mit dem Resistenz- und Schuttriegel w Mti. Pü setzt die Mündungsstufe ein, deren zwei Teile gesamthaft eine Höhendifferenz von 550 m ergeben. Wir haben vorn wieder sowohl Tektonik wie Geologie einen Anteil der Ursachen zugeschrieben. Die Stufe ist als Ganzes ebenso deutlich ca. 1 km rückwärts gewandert wie auf 2,5 km gestreckt worden. Ihr vielgestaltiger Aufbau hat für uns in manchen Teilen noch keine oder bloss unbefriedigende Deutung erfahren.

Die die beiden Steilen-Abschnitte trennende Camperio-Verflachung, die wiederum in Dolomit-Gips-Gesteinen liegt, wurde vorn als bruchgezeichnete Eintiefung mit hinter Bergsturzstau erfolgter Akkumulation erklärt.

Und nochmals bildet die erosionsanfällige Trias den Untergrund des gegenüber seinem Gebirgsrahmen mehr als 1000 m übertieften Olivone-Kessels. (Eine Sondierbohrung der Blenio Kraftwerke AG. auf dem Marzano-Schuttfächer erreichte die anstehende Trias in 40 m Tiefe.) Einer eingehenden Untersuchung des Brenno-Haupttales wird einmal die Aufgabe gestellt sein, für die Bildung dieses charakteristischen Kessels die Anteile von Tektonik, Selektiverosion, Konfluenzwirkung, Haupttalübertiefung etc. aufzuweisen.

Erstaunlicherweise geht aus unsern Ausführungen über die Stufen der V. d. Lucomagno *keine als solche einer Erosionsphase* hervor, ausser bis zu einem gewissen Grade die Mündungsstufe. Dass Phasenstufen mit andern verschmolzen wären, ist, besonders bei Rialp, möglich.

Zum Schlusse bleiben erwähnungsweise anzufügen einige Riegelstellen von besonderer Ausgeprägtheit. Moränenriegel beobachten wir ne P. Sole (Karssee-Becken), als Talschluss des Trogtales s Pt. 2109 (Lareccio), talsperrend bei Stabbio Vecchio und Acquacalda. Der Schuttkegel des Vallone di Casascia bildet einen flachen weiten Riegel in der obern Passfurche, der indessen früher zu Hochwasserzeiten den Passverkehr völlig sperrte.

Bergsturzümmer sperren zwischen Frodalera und Brönich diese ehemalige Lareccio-Rinne. Schuttmassen, die kleinere Riegel darstellen, existieren selbstverständlich im Gebiet eine ganze Anzahl weiterer.

Bergstürze, Sackungen, Rutschungen

Der grösste Felssturz des Gebietes war derjenige von Pta. di Larescia gegen Camperio, topographisch gekennzeichnet durch den grossen, schon den mittelalterlichen Passfahrern wohl bekannten Wald Gualdo Maggiore. Das Abrissgebiet befindet sich wenig unterhalb des Grates. Die Schüttung reicht bis vor Olivone, die Sturzmassen gehen über eine Höhendifferenz von 1000 m. Nach BOSSARD (1936) «mag intensive Zerrüttung des Gesteins die tiefere Ursache sein». Auslösend gewirkt haben die auf dieser Prallhang-Talseite starke glaziale Unterschleifung, wie Auslaugung des schlechten Dolomit-Gips-Fusses (STAUB und LEUPOLD, 1944). Der Absturz dürfte wie auch alle nachfolgend beschriebenen nach dem Rückzug der pleistozänen Gletscher stattgefunden haben.

Eine Masse Bündnerschiefer löste sich von der Südseite der Porta del Corvo (Scopi) unweit entnet der Wasserscheide gegen die V. d. Campo, wo ihr Schüttgebiet weit talwärts reicht. Blöcke bis zu 1300 m³ Inhalt setzten jedoch auch über die nahe flache Wasserscheide auf Lukmanierboden. Die zwei Gruppen mit hausgrossen Blöcken n des Vallone-Schuttkegels an der Lukmanierstrasse dürften daher stammen, möglicherweise erst auf spätere sekundäre Auslösung durch den rückschreitenden Erosionskessel der Vallone d. C. an ihren heutigen Standort gelangt sein.

Kleinere Felssturzmassen sind in der Morphologischen Karte bei Brönich—Pian Segno und n des Pso. Predelp am Lareccio R. verzeichnet, sodann eine ältere Blockschüttung unterhalb Sommascona, worauf im Winter 1956/57 neuerdings ein kleiner Sturz niederging. Das Blockgebiet unterhalb Acquacalda gegen Pian Segno ist unsern Beobachtungen nach aus *Einzelsturzböcken* vom P. Cadreghe her zusammengesetzt.

An Sackungen und Rutschungen ist die untere V. d. Lucomagno reich. Die ganze steile Südseite vom Gualdo Maggiore bis Rialp ist aus erwähnten Folgen tektonischer Zerrüttung, glazialer Unterschleifung und Auslaugung des Gips-Fusses bis unter die Gipfelregion versackt und verrutscht.

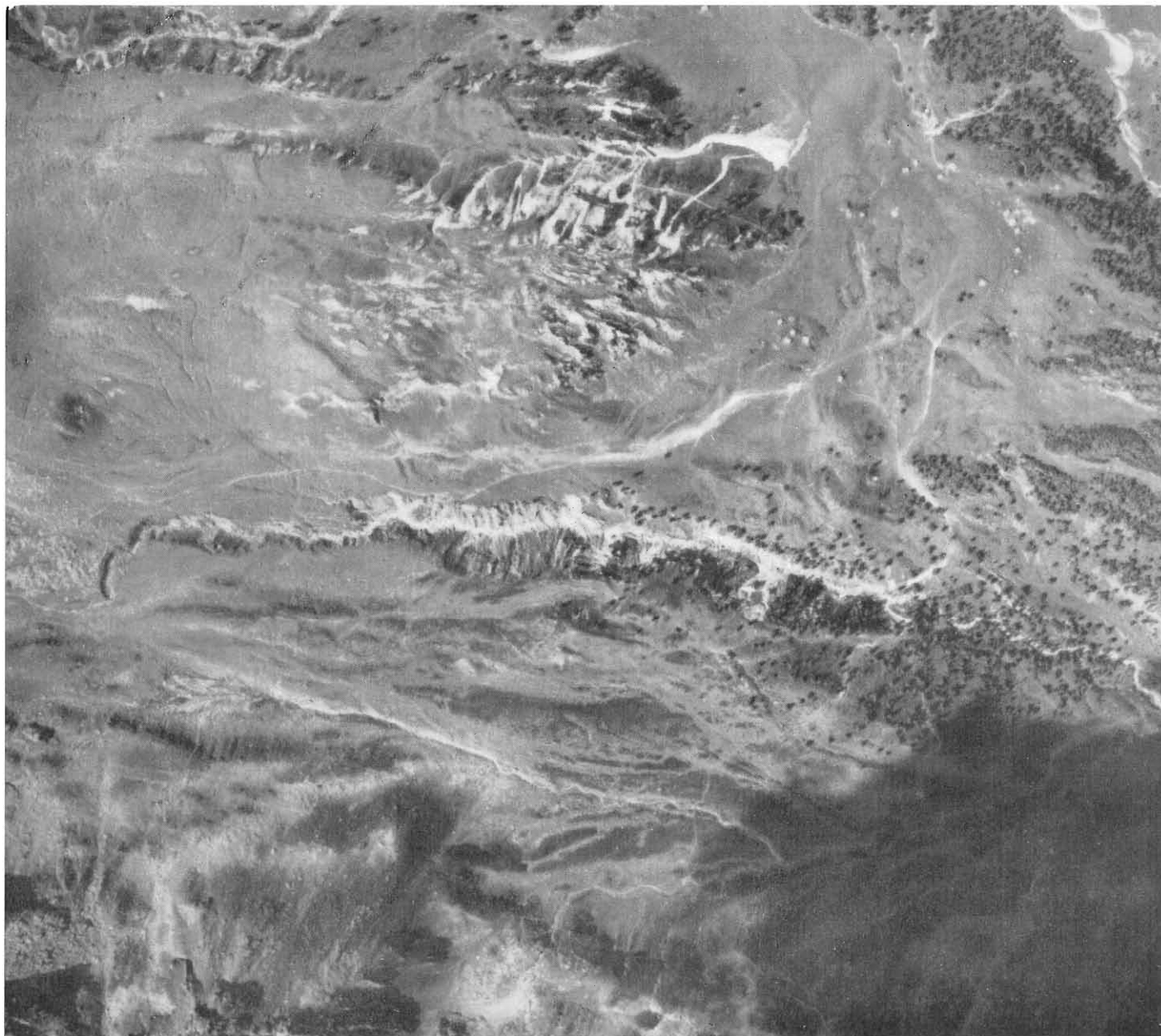
Abb. 12 Dolinenreihe
zwischen Canali und Lareccio

Aufn. E. Kempter



Abb. 13 Zwischen den beispielhaften Erosionskerben der Bäche von Canali und Lareccio liegt ein dichtes Dolinenfeld
(«Cockpit-Landschaft») mit deutlichem Lineament

Flugaufn. Eidg. Landestopographie



Besonders zwischen Ridegra und Rialp sind unzweideutig darauf hinweisende Nackentälchen, Wülste, Risse zu beobachten. Auch für die ausgedehnte Sackung und Rutschung Dötra—Anveuda machen STAUB und LEUPOLD (1944) ein Gipsfundament, das zudem als Schmiermittel unter den Schiefern fungierte, verantwortlich. Die genannten Autoren datieren die Hauptbewegung auf Grund von unter- und überlagernden Talmoränen als interglazial.

Als riegelbildend — oder zum mindesten den Resistenzriegel verstärkend — haben wir den vordern Teil des Sackungshangs Croce Portera gegen Pian Segno genannt. Unter dem vom P. Cadreghe südostwärts streichenden Bruchgrat sind die obern Hangabschnitte in typische Nackentälchen und meterweit klaffende Zerrspalten bis zu 10 m Tiefe aufgelöst.

Schuttkegel und Schuttgehänge

Die Morphologische Karte zeigt in Fülle sowohl nasse wie trockene Schuttkegel (Schwemm-, bzw. Sturz-Schuttkegel). Verschiedene der ausgeprägtesten Schwemmschuttfächer quert die Lukmanierstrasse zwischen Acquacalda und Passhöhe, sie gehören den besprochenen Wildbächen der fluviatil gestalteten Ostflanke der obern V. d. Lucomagno zu. Derjenige der heute noch äusserst aktiven Vallone di Casascia wurde 1938 am Deltahals auf eine Strecke von 100 m untertunnelt, damit nicht nach jedem Hochgewitter an diesem neuralgischen Punkte für die Aufrechterhaltung des Passverkehrs gesorgt werden muss (Abb. 7, 8).

Indem die Schuttkegel von Casascia und Pozzetta den Brenno an die Gegen-Talseite drängten, verursachten sie indirekt die Abtragung der dortigen Talterrassen, wovon noch der schöne Rest von Campo Solario zeugt (Abb. 14).

Was Mächtigkeitsverhältnisse eines Schuttkegels betrifft, können wir angeben, dass eine Sondierbohrung der Blenio Kraftwerke AG. auf dem Marzano-Schuttkegel (Olivone) das anstehende Gestein in 40 m Tiefe anfuhr.

Durch *Schuttrunsen* und *Sturzschuttkegel* sind charakterisiert die Flanken des Dolomitberges P. Corombe und die Steilseite der Lukmaniermassivkette gegen Campra, um bloss zwei Stellen als besondere Beispiele anzuführen.

Lose Trümmer-Schuttgehänge sind v. a. am Scopi (Gana Negra, Bündnerschiefer!) und am P. d. Campello (Gana Rossa, penninisches Kristallin!) entwickelt, während die tiefern oder ältern Hangteile zumeist von Vegetation bedeckt sind. — Der Böschungswinkel der 300 m hohen Schutthalde Gana Negra am Scopi, für Bündnerschiefergesteine etwas steil, beträgt 30°.

4. CHEMISCHE EROSION

Karstphänomene, wie man die durch Lösung kalkiger Gesteine entstandenen Formen nennt, treten verschiedenerorts im Untersuchungsgebiet auf. S der Passhöhe und zwischen Lareccio und Canali aber, wo die triadischen Dolomite und Rauhwacken der Piora-Lucomagno-Mulde am breitesten entwickelt sind, kann man fast von Korrosionslandschaften sprechen. Nach GRUND handelt es sich im Lukmanier um einen *Halbkarst*, indem die Landschaft auch Züge mechanischer Erosion, besonders einer frühern Zeit, trägt.

Einen besondern Teil des Lukmanier-Karstes nahmen wir im Plan (folg. Seite) detailliert auf (mittels Polygonzügen etc.). Es sind v. a. Dolinen und Karstquellen, die wir eingehender untersuchten. Was letztere, unterirdische Kommunikationen und chemische Erosionsbeträge betrifft, sei auf die entsprechenden morpho-hydrologischen Kapitel hinten verwiesen (Abb. 17—19).

Karren, Höhlen, Ponore, Karstquellen

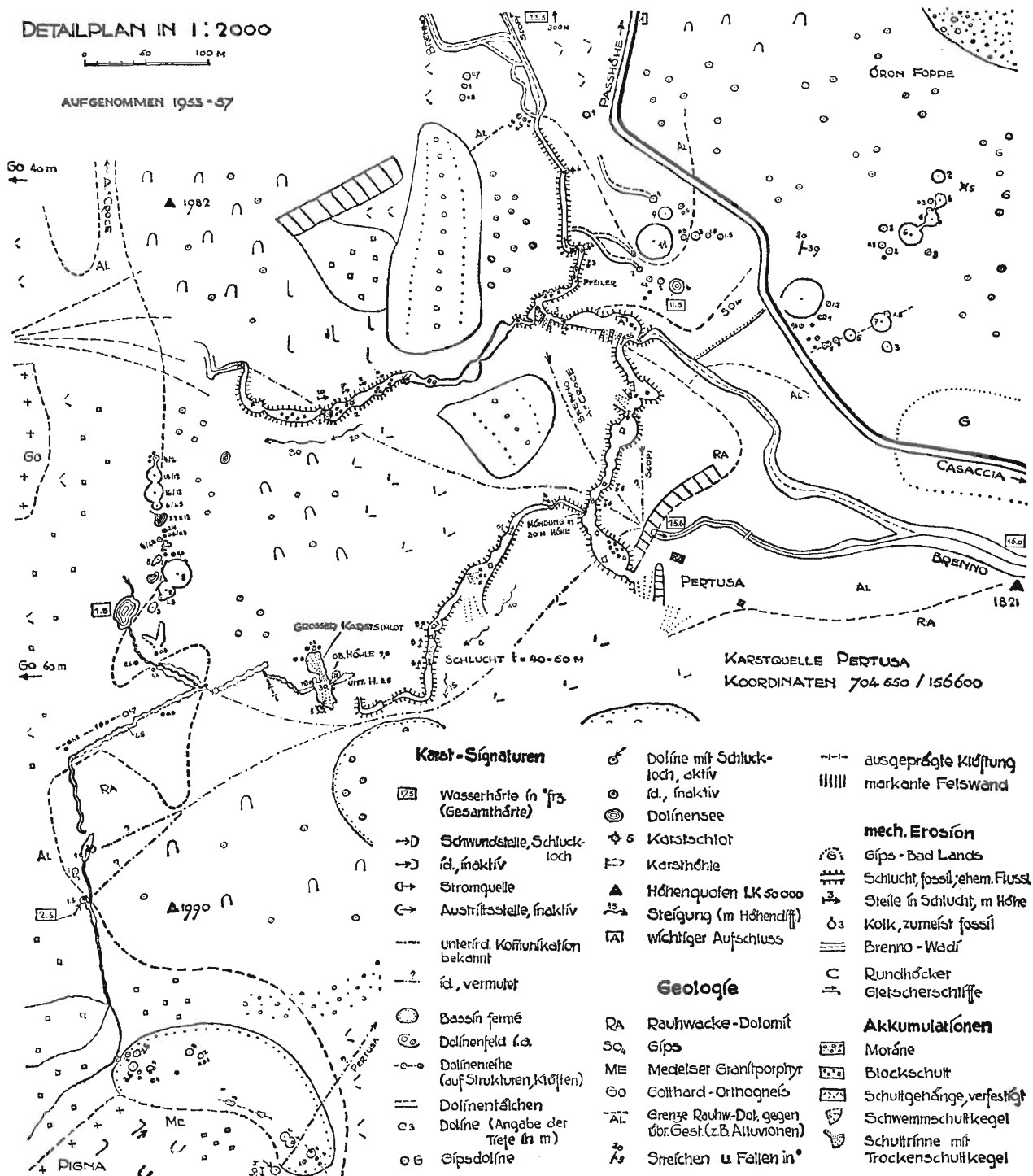
Karren (Schratten) als typische Erosionsformen in Karstgesteinen — sie beruhen allerdings sowohl auf Korrosions- wie mechanischen Abspülungs-Vorgängen — fehlen in diesem grossteils aus Rauhwacke gebildeten «bedeckten Karst» (Humus, Vegetation) bis auf embryonale Vorkommen im Dolomit von Lareccio und P. Corombe. Ebenfalls offene Karsthöhlen sind selten, bekannt sind uns bloss kleinere, ausgehend vom grossen Karstschlot w Pertusio (Karte S. 52). Wasser-Färbversuche indessen gaben Hinweise auf ausgedehnte unterirdische Hohlräume.

ZUR HYDROGEOLOGIE DER KARSTPHÄNOMENE AM LUKMANIERPASS

DETAILPLAN IN 1:2000

0 40 100 M

AUFGENOMMEN 1953-57



Die grosse Karstquelle Pertusio (Name!) können wir als Sammelresurgenz bezeichnen, denn hier erscheinen die Wässer verschiedener Schlucklöcher (Ponore) des Tälchens s. A. d. Croce wieder. Die Quellengruppe bei A. Lareccio erweist sich, obgleich in einem Gehängeschuttfuss gelegen, als ebenfalls karstisches Phänomen. Für sie kommen nun aber keine Wasserschwinden als Speisung in Frage. In ihrem «Hinterland» bis zum P. Corombe zum mindesten sind nur fossile Schlucklöcher vorhanden (Abb. 17—19).

Die bedeutendste Flusswinde ist jene der Brenno-Quellbäche bei A. d. Croce, von der aus ebenfalls Verbindung zur Pertusio-Quelle besteht. Ausserhalb der beiden eigentlichen Lukmanier-Karstlandschaften liegt ein Ponor in dem schmalen Dolomitzug von Frodalera.

Dolinen

Ueber diese Formen soll später speziell berichtet werden. Sie stellen die Charakterform unseres Dolomit-Rauhwaacke-Karstes dar, treten oft in ganzen «Cockpit»-Feldern auf. Es wurden verschiedene Untersuchungen über Dichte, Ausmasse, Auftreten auf Strukturlinien, Formenschatz und Bildungsumstände angestellt (Abb. 12, 13).

5. ANTHROPOGENE FORMEN

Mit Ausnahme der Beckenlandschaften mit den grossen *Maiensüss-* und *Alpsiedelungen* stellt das Gebiet über der Mündungsstufe von Olivone eine alpine Naturlandschaft dar, die nur als *Passlandschaft* entlang der Strasse von einem Streifen Kulturlandschaft durchzogen ist. Ausser den beiden genannten und proportional der Entfernung von ihnen sind anthropogene Formen selten und in der ursprünglichen Natur wenig stark hervortretend.

Die eine Hauptgruppe von Formen der menschlichen Hand erhielt der Lukmanier als Passübergang, wie erwähnt. Die Trasseeführung der Straße erforderte *Aussprengungen* in Felswänden, wodurch eigentliche anthropogene *Schutthalden* entstanden (v. a. bei Campra). Die selbe Strecke weist zahlreiche mächtige *Maueraufbauten* auf.

An Randaufbauten, die teilweise noch auf römische Baumeister zurückgehen dürften, ist ebenfalls der *alte Saumpfad* Camperio—Pü—Campra—Segno zu erkennen, der im Gegensatz zur heutigen Strasse sich eng an den Brenno und teilweise links davon hält. Gegen die Verschüttungsgefahren durch den Vallone-Wildbach bei Casascia war ein 100 m langer *Strassentunnel* nötig (1938). *Kiesgruben* und *Steinbrüche* liefern Material zum Strassenunterhalt, die letztern ebenfalls zum Hausbau.

Die Alpwirtschaft bedingt eine zweite Formgruppe, worunter die Siedelungen selbst und die sie umgebende «Dunglandschaft», dazu die *Terrassenkulturen* und *Ackerflurschachbrette* von Dötra, Anveuda und Camperio die bedeutendsten sind. — Zum Steinbruch gehörte beim alten Hausbau der *Kalkbrennofen*, worin Kalk und Dolomit verarbeitet wurde; ein halb verfallener Ofen befindet sich bei Pian Segno, während auch in Camperio einer bestanden haben soll.

Zum Schluss bleiben uns noch einige einzelne anthropogene Formen zu erwähnen, die zahlreichen *Quarzbrüche*, die *ATEL-Hochspannungsleitung* und zu deren Schutz erstellte *Lawinverbauungen* an der Gana Rossa.

Die nahe Zukunft wird zudem an der Lukmanierroute verschiedene, z. T. das Bild sehr stark beeinflussende Bauten der Blenio Kraftwerke bringen. Nach einem Bericht, den ich der Blenio KW AG verdanke, ist vorgesehen:

- «1. Fassung des Brenno und des Ri di Lareccio bei Acquacalda (20,9 km²) und Ueberleitung ins Speicherbecken Luzzone, Nutzung in den Werken Luzzone, Olivone, Biasca;
2. Fassung des Restgebietes des Lukmanierbrenno (19 km²) bei Sommascona und Nutzung im Kraftwerk Biasca;
3. Zu einem späteren, noch nicht festgesetzten Zeitpunkt ist ferner die Erstellung eines Speicherbeckens bei Campra (Restgebiet Lukmanierbrenno 14,5 km²) mit Nutzung in den Werken Sommascona (und Biasca) vorgesehen.»

IV. MORPHOGENESE

1. MATERIALDISKUSSION

Wie erwähnt fehlten bis heute über die V. d. Lucomagno morphologisch-morphogenetische Detailarbeiten, wenn auch nicht Hinweise auf das «eigenartig gebaute, asymmetrische» Tal (FRÜH, 1930, III.) Die morphogenetische Karte S. 56, Fig. 11 und 12 vermitteln einen Einblick in die *Schwierigkeiten der Rekonstruktion* alter Tal- und Abflussverhältnisse in diesem tektonisch-geologisch ausserordentlich heterogenen Gebiete. Der nachfolgende Kommentar zu den erwähnten graphischen Darstellungen kann kurz gehalten werden, indem in diesen bereits die Hupterscheinungen und -Entwicklungsphasen deutlich hervortreten. Auch sind wir in den Besprechungen vorne bereits verschiedentlich auf die geschichtlichen Gänge eingetreten.

Eine spätere morphogenetische Synthese, erfassend einen grösseren Raum der Zentralalpen, wird die Eingliederung der in unserem kleinen Teilgebiete gemachten Beobachtungen und Resultate in die grossen Zusammenhänge vorzunehmen haben.

Die *Strukturgebundenheit*, die als Charakteristikum der heutigen Morphologie dargestellt wurde, darf ohne Zweifel ebenfalls als für die ältere Entwicklung geltend betrachtet werden. Dagegen sind die klassischen Hauptanhaltspunkte der Morphogenese, die Verflachungssysteme als Reste alter Talböden, in Lage und Verlauf weithin unklar und unsicher. Dies ist einmal auf die erwähnte geologische Heterogenität zurückzuführen, zum andern darauf, dass wir uns hier im geschehenreichen Kampfraum um die alpine und kontinentale Hauptwasserscheide befinden. Die verschiedenen Fragezeichen in den graphischen Darstellungen sind über spezielle Ungewissheiten hinaus allgemein Ausdruck dessen, dass hier verschiedene Probleme einer befriedigenden Lösung weiterhin harren.

2. DIE VERFLACHUNGSSYSTEME

Ueberblick

Aus allen Teilen der Alpen sind Talterrassen und -Stufen im Rahmen der *Erosionsphasen-Theorie* beschrieben worden. Für unsern zentralalpinen Sektor seien hinweishalber u. a. die folgenden Gebiete und Bearbeiter aufgeführt. Nordtessin: LAUTENSACH, GYGAX, ANNAHEIM, CANALE, WITSCHI, REIST, HIRSBRUNNER, SEIFFERT; Südtessin: ANNAHEIM, GYGAX; Wallis: MACHATSCHEK, STAUB, HESS, BOEGLI; Berner Oberland: NUSSBAUM, BECK; Reussgebiet: STAUB, MACHATSCHEK; Graubünden: MACHATSCHEK, CADISCH, VOSSELER. In manchen dieser Talgebiete lassen sich die ineinandergeschachtelten Reliktsysteme mehrerer älterer Talböden — Folgen epirogenetischer Bewegungen,¹ damit verbundener Tieferlegung der Erosionsbasen und entsprechender Eintiefungsphasen — deutlich nachweisen. Während Fig. 12 für die V. d. Lucomagno noch einigermaßen das bekannte Bild alter Talböden-Systeme zeigt, geben die Querprofile Fig. 11 eine Ahnung von diesem asymmetrischen, dem Schema widerstrebenden Tal. In Wirklichkeit, wo die wenigen besonderen Stellen der Schnitte in die Vielfalt des Formganzen zurücktreten, sind die Zusammenhänge noch bedeutend unklarer zu erkennen.

Die Formen der phasenmässigen Entwicklung ergaben im Zusammentreffen mit den zahlreichen in Tektonik und Lithologie begründeten ein äusserst mannigfaltiges und kompliziertes morphologisches Baubild.

Ein eigentliches *Schachtelrelief* besteht nicht oder bloss gewisserorts und bloss andeutungsweise. Eigentliche Terrassenleisten sind selten. Wohl bestehen Verflachungen, die auf Grund von Höhenlage, morphologischen Indizien und Stellung innerhalb der verschiedenen Niveaux als zusammengehörend in Verbindung gebracht werden können. Doch handelt es sich bei

¹ AMPFERER postulierte für die Ruckhaftigkeit der Gebirgshebungen eine Entstehungsursache, die zu vergleichen ist mit dem «Wirkungsquantum» der Atomphysik: «Die Vorgänge der Belastung und Entlastung der Erdoberfläche vermögen nicht sofort einen entgegengesetzten Massenausgleichsstrom im Erdinnern zu erregen, sondern es ist dazu die Erreichung einer ziemlich hohen Spannung nötig. Ist diese Spannung einmal überschritten, so geht die Entladung der Ausgleichsströmung dann verhältnismässig rasch vonstatten.»

Die Gipfelflur

Fig. 12 zeigt deutlich, dass sich auch die Gipfel des Lucomagno-Massivs von P. Sole 2773,4 bis Pta. di Larescia 2194,6 und der Costa-Kette vis-à-vis in eine bestimmte Höhenzone einstellen (*Gipfelflur-Niveau*). Wir haben indessen S. 34 darauf hingewiesen, dass das sukzessive Absteigen der Gipfelhöhen hier auch mit dem gleichsinnigen Axialgefälle in ursächlichen Zusammenhang gebracht werden muss (tektonische Gipfelflur; dieser Begriff ist nicht mit dem der tektonischen Primäroberfläche zu parallelisieren wie derjenige AMPFERER's, vergl. S. 34, seine Aussage geht einzig nach tektonischer *Bedingtheit*. Es hat im Falle der Gipfelflur wie dem der tiefern Systeme des Längstalabschnittes ein gleichgerichtetes Zusammenwirken endogener und exogener niveaubildender Kräfte stattgefunden, sodass sich tektonisch und erosiv bedingte Verflachungen überlagern.

Ca. 300 m unter der Gipfelflur, aber noch der Gipfelregion zugehörend, folgt (im Längstabschnitt) das nächst tiefere *Niveau der Hochkare und Hochsättel*. Hier tritt erstmals die Kardinalerscheinung der Talbodenreste d. V. Lucomagno auf, die *Rückläufigkeit* der Verflachungssysteme im Quertalabschnitt gegen die Passhöhe zu.

Aus der Bezeichnung des besprochenen Niveaus geht hervor, dass es vor allem durch Karböden und flachsohlige Einsattelungen in den begrenzenden Kämmen angedeutet wird. Nur unter Pizzo dell'Uomo gehen die Kare in terrassenartige Flachstücke über, während es sich auf der Gegenseite zwischen P. Cadreghe und Pso. di Gana Negra um die das Taltorso des V. d. Campo schliessenden Hochflächen handelt.

QUERPROFILE **DURCH DIE V. D. LUCOMAGNO**

1:20 000
 1:50 000

3000 -
 2500 -
 2000 -

Scopi (S Grat)
 Pt. 2587 (P dell' Uomo)
 Scai
 Oron

Bocchetta d'Elia
 2500 -
 2000 -

Pt. 2463 (Gana Negra)
 Selva
 Bieghno

Pso. del Beretta
 2000 -
 1500 -

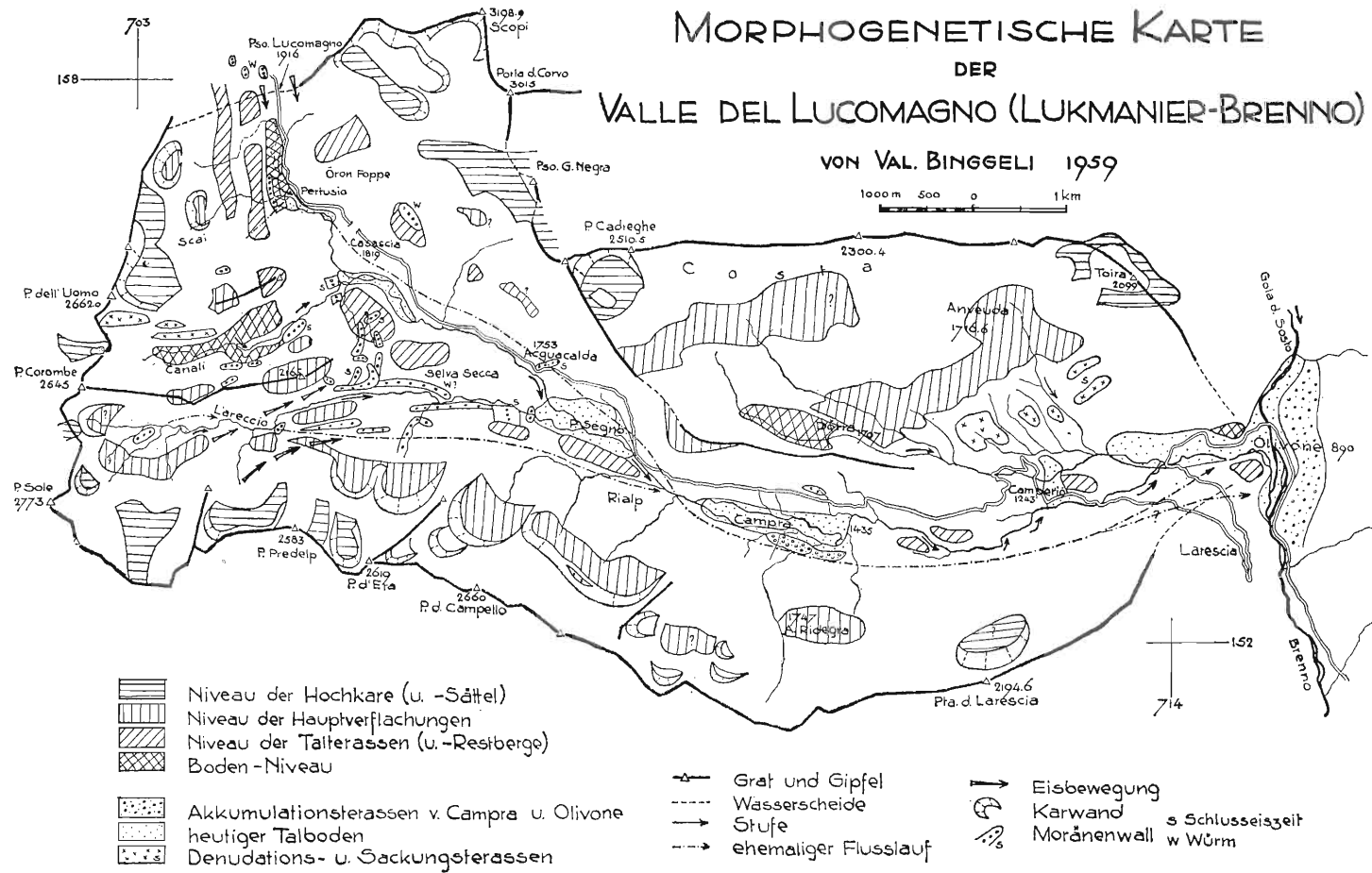
Ridegna
 Dötra
 Campra

2000 -
 1500 -

Anveuda
 Pt. 2099.9
 Oncedo
 Or
 Bieghno

Pra. d. Larescia
 2000 -
 1500 -

Pso. Cornicio
 Camperio



Reste des Hochkar-Talbodensystems:

Reste des Hochkar-Talbodensystems:

Ostkar P. Sole 2400 m
Bassa di Süu 2380 m
Pso. di Predelp 2400 m
Kar e P. Predelp 2340 m
Kar Btta. d'Era 2320 m

Pso. Sole 2376 m
Pso. Corombe 2350 m

P. Cadreghe Südkar 2200 m
Pso. Cornicio-Toira 1900 m

P. dell'Uomo-Scai 2400—2480 m
Ovi dell'Uomo 2260 m

P. Cadreghe Nordseite 2400—2500 m
Pso. Gana Negra 2350 m
Scopi Westkare 2300 m

Pta. di Larescia Nordkar 1800 m (?)

Das Niveau der Hauptverflachungen

Wir haben die im Längstalabschnitt wiederum mit einem Zwischenraum von 300 m tiefer auftretenden Flachstücke zum Niveau der Hauptverflachungen verbunden, obgleich gegen die Passhöhe zu die entsprechenden Reste bloss in wenig sicheren Karen (Brenno-Quellmulden) und Gehängeknicken zu vermuten sind, die zudem bloss 200 m unter dem dortigen Hochkar-Niveau liegen. Die Rückläufigkeit gegen die Passhöhe scheint noch immer vorhanden zu sein. In diesem Talstück wie auch an der Lukmaniermassiv-Flanke (Gletscher-Prallhang!) haben glaziales Unterschliefen und in dessen Folge auftretende Verstürze die Terrassenleisten dieses Systems sozusagen vollständig vernichtet (Abb. 14).

Nach Zahl und Ausdehnung der übrigen Verflachungen dürfte es sich dennoch um jene handeln, die BOESCH (Vorderrhein) zur «Zone der Verflachungen» schlechthin zusammenschliesst. Nach CADISCHs Bezeichnung «2100er System» (Davos), mit dem das beschriebene wohl parallelisiert werden darf, wäre bei uns von einem 2000er System zu sprechen (über Pian Segno). Es ist in der V. d. Lucomagno das besterhaltene System, was, in unsrem Falle nur teilweise, darauf zurückgeführt werden kann, dass das höhere Niveau sich in der Zone intensivster Verwitterung, das tiefere im Hauptübertiefungsgebiet des Tals befindet.

Als Zeugen dieses Niveaus, wie sie die nachfolgende Liste aufführt, sind wiederum Kare zu nennen, die unter P. d'Era auf die einzige gut erhaltene Trogschulter des Gebietes auslaufen, im weitem die Rauhwacke-Hochflächen zwischen Canali und Lareccio und schliesslich die moränenüberzogenen Flächen Croce Portera—Dötra—Anveuda.

Reste des Hauptverflachungs-Niveaus

Pigna (obere Flächen) 2140 m
Brenno-Kare (Scai) 2170 m
Scengio 2200 m

Flächen Canali—Lareccio 2100—2200 m
Pso. Sole (Kar?) 2280 m
Seeboden Pt. 2679 2220 m
vorderer Lareccio 2040 m

Toroi Kare 2020 m und 2080 m
Gana Rossa 1970 m
Rialp 1900—1960 m
A. Ridegra 1700 m (abgerutscht?)

Pian Com 1970 m
Croce Portera 1880 m
Dötra 1740 m
Anveuda 1600 m

Das Niveau der Talterrassen und der Zeugenberge

Das Niveau der Talterrassen und der Zeugenberge ist bereits durch seine Bezeichnung charakterisiert. Es liegt im längstaligen untern Talabschnitt 200 m, im Oberlauf 150 m unter dem der Hauptverflachungen, d. h. nur mehr 30—40 m über dem heutigen Talboden (Abb. 14).

Schöne Terrassen sind jene von Campo Solario und des Scai, die als typische Erosionsterrassen diskordant die steilstehenden Gotthardgneise schneiden. Des weitern, und besonders unterhalb Selva Secca, sind es durch Flussverlegungen im Tale entstandene Restberge, die dieses Niveau bezeugen (am Schluss der folgenden Aufstellung).

Reste des Talterrassen-Niveaus

Passhöhe Rundbuckel 1940—1960 m
Scaiterrasse 1960—2000 m
nw Pertusio 1990 m
Oeron Foppe 2000 m
Pigna (untere Flächen) 2050 m
s Vallone d. C. 1950 m
Solario-Terrasse 1850—1920 m
oberhalb Pozzetta 1940 m

Selva Secca 1955 m
Frodalera-Riegel 1800 m
M. Pü 1440 m
Camperio Pt. 1243
Olivone Pt. 950

Das Boden-Niveau

Einige wenige tiefliegende Bödenreste können an Hand der sie zerschneidenden Schluchten und der auflagernden Jungmoränen als bloss unbedeutend abgetiefte Böden der Würmgletscher bestimmt werden. Unterhalb der Passhöhe gegen Pertusio ist dieser Boden sehr wohl feststellbar, er wird durch die Stufe von Pertusio beendet, die nicht — besonders heute nicht mehr, wo der oberirdische Abfluss beinahe Null ist — eine aufwärtswandernde Stufe der nachwürmglazialen Phase darstellt, sondern v. a. unterhalb eines hydrographischen Zentrums, wie es hier zur was-serreichen Rückzugszeit der letzten Eiszeitgletscher bestand, durch Fluvialkonfluenzwirkung entstand.

Als postglaziale wandernde Phasenstufen sind dagegen deutlich und schön zu erkennen diejenigen am Ri di Lareccio (Pt. 2109) und unterhalb Canali, wo beiderorts typische junge Flusskerben in den ältern Boden eingelassen sind. Relikte dieses Niveaus vermuten wir ferner bei Dötra und n Lavorceno.

Die Lokal-Niveaux der Akkumulationsterrassen von Campra und Olivone

Diese tiefsten Niveaux stehen 5—10 m über dem heutigen Talboden. Die Terrasse am Südrand des Camprabeckens enthält äusserst feinsandige Ablagerungen aus einem nacheiszeitlichen, wohl moränengestauten Camprasee.

Die Terrasse auf der Ostseite des Brenno bei Olivone ist zusammengesetzt aus Wildbach- und Bergsturzschutt. Auch hier fand die Sedimentation zeitweise in einem See statt. Dieser bildete sich hinter der Barriere des Bergsturzes von Pinaderio, wohinter eine Aufschotterung bis zur Sostoschlucht zurück erfolgte. Bergsturz und See dürften historisch sein; BOLLA (1931) nimmt an, ein Rest dieses natürlichen Stausees («Lago Grande») sei der «Lago di Scona» gewesen, der in einem Dokument für 1219 bezeugt ist (Lacu de Sconna). In den Feldern unterhalb Scona erinnert noch ein Flurname daran, «i riv da butasc».

Die nicht Systemen angehörenden Strukturterrassen (Denudationsterrassen) wurden vorn besprochen. Ebenfalls nicht in Niveaux einordnen lassen sich die Verebnungen im Sackungsgebiet unterhalb Dötra—Anveuda, die indessen möglicherweise *verrutschte* System-Terrassen darstellen.

Abb. 14
 Becken von Casaccia mit
 Brenno und Passtrasse.
 Im Mittelgrund die vom
 Brenno angefressene
 typische Terrasse von
 Campo Solario
 (Talrassenniveau).
 Hinten Lucomagno-Massiv
 mit Kar-«Lehustühlen»

Aufn.
 Eidg. Landestopographie



Abb. 15
 Die grossen Rundhöcker
 auf der Passhöhe, mit deut-
 lichen Luv- und Leeseiten
 (Ueberfliessen des Eises
 über die Passhöhe nach
 Süden)

Aufn. Verfasser



Abb. 16
 Blick über die Glazial-
 landschaft der Pigna zur
 Adula-Gruppe
 mit Rheinwaldhorn

Aufn. Verfasser



Gefällsverhältnisse

Was die Rekonstruktion der Gefällsverhältnisse der alten Talböden betrifft, so erlauben uns die Niveaureste unseres Gebietes bloss die allgemeine Aussage, dass recht grosse Werte, von 50—60 ‰ vorhanden gewesen sein dürften. Dies gilt ebenfalls für das Abfallen der Gipfelflur im Lukmaniermassiv. Nur das Hachkar-Niveau zeigt stellenweise bloss 30—40 ‰.

Im Längstalabschnitt könnte eine relativ grosse Steilheit mit der Einwirkung des Axialgefälles erklärt werden; indessen zeigten sich ähnliche Verhältnisse auch bei den rückläufigen Terrassen des Quertalabschnitts.

Das mittlere Gefälle des heutigen Talbodens beträgt im Mittel 70 ‰, dasjenige des Längstalabschnitts aber sogar annähernd 100 ‰, sehr hohe Werte, die vor allem auf die starke Gestuftheit und die Wurzellage des Tales zurückzuführen sind.

3. DATIERUNGSFRAGEN

Die Schwierigkeiten der Altersbestimmung der verschiedenen Bödensysteme sind in unserem Gebiete kumuliert: die sichere stratigraphische Methode (Verknüpfung mit Sedimenten des Alpenvorlandes) kann in dem zentralalpinen Tal nicht direkt angewandt werden, doch auch ein Anschluss über die zum Vorland führenden Täler ist aus dem Hängetal heraus erschwert, ist überhaupt unmöglich so lange, als diese Täler nicht in gleicher Weise eingehend untersucht sind.

Unsere nachfolgenden Altersdatierungen, die als vorläufige aufgefasst sein sollen und die weitgehend auf Parallelisation mit verwandten Gebieten beruhen, gehen aus vom Niveau der Hauptverflachungen, das als stärkste Zäsur der Stockwerkmorphologie heraustritt. Es dürfte sich um die Grenze zwischen tertiärer und eiszeitlicher Uebertiefung handeln. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die darauf hinauslaufenden Kare dies fast gleichsohlig tun, eine Parallele zur Beobachtung GYGAX's in der Verzasca (reifes fluviatiles Talsystem bei Eintritt der Eiszeit).

Nach dieser Darstellung repräsentiert das Hauptverflachungs-Niveau die *präglaziale* Oberfläche und entspricht dem Bedretto-Niveau LAUTENSACH's (1912) (Burgfluh-Niveau von BECK, präglazial-pliocän; spätaltpliocän nach ANNAHEIM).

Beizufügen ist, dass Terrassenflächen des Hauptverflachungs-Niveaus, diejenigen von Dötra—Anveuda, auch schon als dem Pettanetto-System zugehörig betrachtet wurden (in FRÜH, 1930, III), was unserer Ansicht nach nicht ausgeschlossen, aber doch der tiefen Stellung im Talraum nach nicht wahrscheinlich ist. Auch ANNAHEIM (1946) sucht den Bedretto-Boden tiefer, über Olivone vermutet er ihn in 1500 m ü. M. Unser Hauptverflachungs-Niveau läuft dort etwas unter 1600 m aus. Bei dem relativ grossen Einzugsgebiet des Brenno d. L. dürfte ein pliozäner Boden sich nicht in derart tiefer Lage erhalten haben. JAECKLI (1957) hält auf Grund seiner quantitativen Abtragungsstudien im Bündnerischen Rheingebiet dafür, die Formen der Westalpen würden allgemein als zu alt angenommen.

Fahren wir mit der Parallelisation fort, so entspricht das Hochkar-Niveau dem Pettanetto-Niveau LAUTENSACH's (Simmenfluh-Niveau von BECK) und ist ihm *pliozänes* Alter zuzuschreiben (LAUTENSACH, GYGAX u. a.) (FELS: Alt-Miozän, MACHATSCHEK: Mittel-Jungmiozän, BECK: Miozän). In den Nachbargebieten ist das Pettanetto-Niveau ebenfalls in den hochgelegenen Quellgebieten in 2400 m anzutreffen. Die Höhenlage stimmt auch überein, wenn ANNAHEIM zum Pettanetto-System den Kammrücken P. Molare—Sasso Vetro zählt (Leventina).

Das Niveau der Talterrassen wäre schemagemäss dem Sobrio-Niveau LAUTENSACH's an die Seite zu stellen, steht jedoch diesem gegenüber in der V. d. Lucomagno etwas tief. Dem Sobrio-Niveau schrieben LAUTENSACH, GYGAX u. a. vor-riss-interglaziales Alter zu, ANNAHEIM seinem entsprechenden Pura-Niveau des Sottoceneri präglaziales, ebenfalls BECK seinem Kirchet-Niveau.

Zweifellos befindet sich das Talterrassen-Niveau innerhalb des glazialen Uebertiefungsraums, hat also allgemein eiszeitliches Alter. Die Uebertiefung vom präglazialen Niveau bis zum besprochenen ist aber bedeutend grösser anzusetzen als jene bis zum heutigen Talboden hinunter, sodass die Bildung der Talterrassen in und nach dem grossen Interglazial (Mindel-Riss) erfolgt sein dürfte. Es dürfte sich um die Sohle des *Risstrogas* handeln.

Sicher einen Gletscherboden stellt das unterste Felsterrassen-Niveau, das Boden-Niveau dar, nämlich den an erosionsgeschützten Stellen erhaltenen, von jungen Schluchten zerschnittenen letzteiszeitlichen Boden (Würm); ist also dem Intragna-Niveau CANALE's gleichzustellen.

Dass die Akkumulations-Terrassen von Campra und Olivone *postglaziale* Lokalbildungen darstellen, wurde vorne bereits dargelegt.

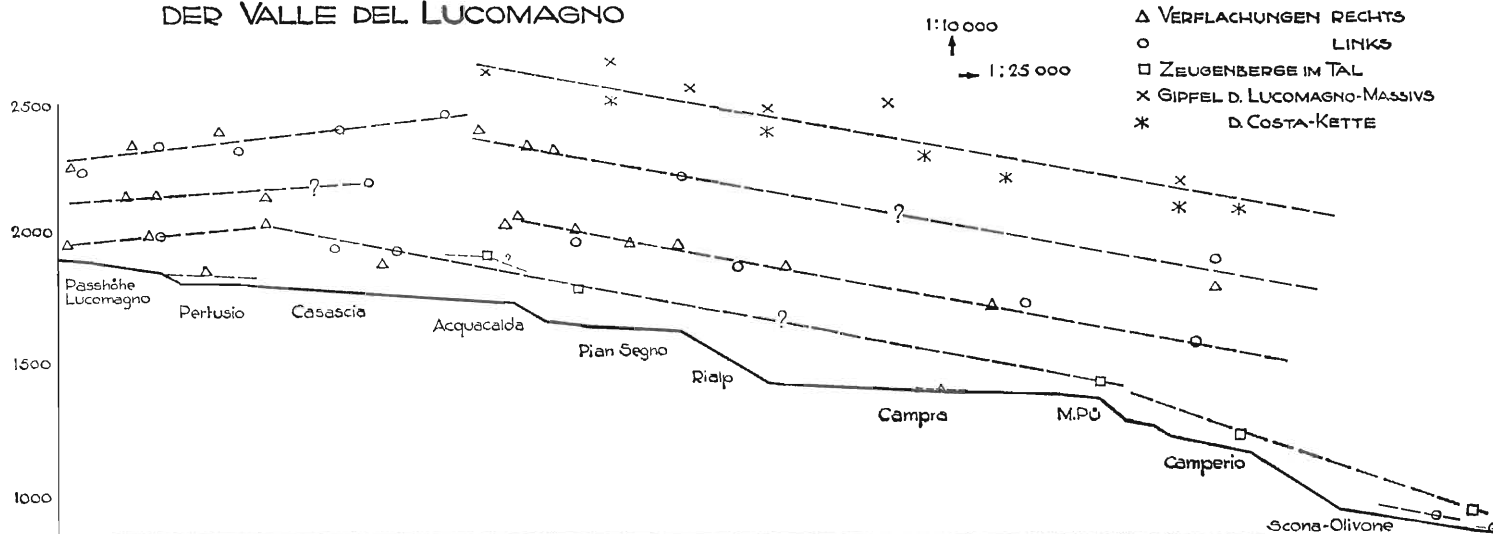
4. GESCHICHTE DER HYDROGRAPHISCHEN UND MORPHOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE

Das Tertiaer

Ohne Zweifel wies bereits das tektonische oder *Primärrelief* der Alpen ein Talsystem auf, auf, dessen Anlage und Entwicklung durch die endogenen Vorgänge und ihre Resultate gegeben war. Die intensive Hochwölbung der Westalpen hatte eine kräftige Erosion zur Folge, die zu fast völliger Abtragung der dortigen höhern Deckeneinheiten führte. Dies trifft besonders gerade für den Raum unserer Untersuchungen zu. Er ist in seinem weitem Rahmen durch zwei Kardinalphänomene des alpinen Gebäudes charakterisiert, die s Lage der tektonischen Firstlinie (auf der Höhe der tessinischen Riviera) und die axiale Kulmination der Decken (Tessin-Kulmination, vergleiche S. 24).

Fig. 12

LANGSPROFIL UND VERFLACHUNGSSYSTEME DER VALLE DEL LUCOMAGNO



Die Tessin-Kulmination, die e Hauptkulmination der Schweizeralpen, verläuft nach STAUB (1924) von Joriopass—Biasca her über den Lukmanier zur Oberalp (Tschamut). In dem zweiseitig geneigten Gebiete der Kulminationsumgebung entwickelten sich sowohl konsequente wie subsequente Talrinnen. Von den gewaltigen *Molasse-Schuttfächern* des Mittellandes aus wird als Ursache auf grosse konsequente *Urflüsse aus den Alpen* geschlossen.

Nach STAUB (1934) ergoss sich eine oligozäne Ur-Linth nordwärts «aus einer Knickfurche der alpinen Decken im Raume über dem heutigen Bleniotal, aus dem Winkel zwischen lepontinischem und rätischem Streichen». Es bestanden vermutlich ein e Adula-Greina-Quellarm und ein w von Campo Tencia via Lukmanier—Medels.

Die Flüsse w der Axialkulmination wandten sich einer *Ur-Reuss* (Basodino/Cristallina—Gottard) zu, so derjenige aus dem Pioragebiet, wozu ev. noch w Randteile des Lukmaniers gehörten.

Die erwähnte *oligozäne Lukmanier—Medels—Linth* dürfte in unserem Gebiete auf ähnliche Weise durch Tektonik und Geologie bedingt gewesen sein, wie wir es für den heu-

tigen Quertalabschnitt der V. d. Lucomagno S. 35 dargestellt haben. Die Spuren dieser ältesten Talung sind längst verschwunden, doch geben unsere Niveau-Rekonstruktionen für ein entsprechendes späteres tertiäres Tal ähnliche Verhältnisse wieder, wie unten ausgeführt wird.

Auch eine dem heutigen Längstalabschnitt ursächlich zu vergleichende tektonische Abflussrinne, ein subsequentes Deckenstirnrandtal im Axialgefälle mit Zufluss zur Blenio-Linth, dürfte bereits sehr früh bestanden haben. Wenn nicht gerade an die oligozäne, so doch an eine sehr alte derartige Talung (Miozän?) mag die auffällig gleichmässig in Richtung Bleniotal absteigende Gipfelflur von Lucomagno-Massiv und Costa-Kette erinnern.

Im Miozän verloren infolge der Massiv-Heraushebung Ur-Reuss und Ur-Linth ihre tessinischen Quellläufe, im W an die Ur-Aare, im E an den Ur-Rhein. So entwässerte jetzt die Piora via Airolo—Bedretto—Nufenen in die N—S-Haupttalung der Ur-Aare, die sich zog von der V. Formazza über Griespass—Grimsel—Haslital—Brünig zum Napf-Delta. Das Lukmaniergebiet war über wohl 3 Rinnen dem *Oberhalbstein-Urrhein* tributär: die alte Quertalung Lucomagno—Medels und die beiden längsverlaufenden des Deckenstirntals via Olivone und der V. di Campo. Die letzten beiden sandten ihre Wasser als Zuflüsse des Blenio-Brennos via Luzzzone—V. Lugnez.

Bis zur Pliozänzeit dürfte die *kontinentale Wasserscheide* infolge des Einbruchs der Flüsse von der steilen insubrischen Gebirgsabdachung her bereits bis ungefähr auf die Höhe des Lucomagno-Massivs nordverlegt worden sein.

Den Verflachungs-Relikten nach — bei uns v. a. denjenigen des Hochkar-Systems — stellten die alten Täler *breite, flache Mulden* dar, in die als Folge verstärkter Erosion (Gebirgshebungen, Eiszeiten und Zwischeneiszeiten) in verschiedenen Phasen immer schmälere Rinnen eingeschachtelt wurden. Auch pliozän dürfte die Lukmanier—Medels-Rinne teilweise noch quer durch das Lukmaniergebiet bestanden haben. Wir führten bereits aus, dass es sich möglicherweise bei den Pass-Sätteln von Bassa di Söu und Pso. di Predelp um Teile von ehemaligen Quellwurzeln handelt.

Zu Ende der Tertiärzeit zog sich die *Rhein—Tessin-Wasserscheide* unseres Raums, rekonstruiert auf Grund der Niveau-Verläufe, über die Selva Secca, wobei ev. se dieser, von Costa—Pian Com her, noch ein Seitental zu diesem reduzierten Lucomagno—Medels bestanden hatte, worauf eine sonderbare rückläufige Terrassenleiste unterhalb der Costa-Flanke hindeutet.

Der präglaziale Brenno d. L., der sein Einzugsgebiet auf Kosten des Lucomagno-Medels-Rheins beträchtlich ausgedehnt hatte, setzte sich zusammen aus einem im Streichen liegenden Lauf-Paar, das der Oer d'Angiasco und seine ehemalige w Fortsetzung trennte. Die s Rinne verlief über den Ri di Lareccio und ostwärts in der heutigen Talrichtung. Das Taltorso Croce Portera—Dötra setzte sich als n Rinne westwärts fort gegen Piano dei Canali und Pso. Corombe. Beide Täler waren angelegt in vor der Deckenstirn längsstreichenden Dolomitzügen, worauf im Falle der weitgehend vegetationsmarkierten heutigen Talung Croce P. — Dötra Dolinen hinweisen (v. a. e Croce P.). Diese Täler hatten bereits ein leicht kastenförmiges Querprofil.

Die Eiszeit (Pleistozän)

In der Eiszeit wurde in unserem Gebiet weitgehend die heutige Hydrographie geschaffen. Dies gilt gutteils auch für die Formenwelt; indessen vermochte doch die fluviatile Nacheiszeit in die Glaziallandschaft einige bedeutende Kerben einzuhausen, zum Teil in neu angelegten Laufstücken der Flüsse.

Ein Hauptpunkt der eiszeitlichen hydrographischen und Tal-Entwicklung war der weitergehende Angriff des Brenno d. L. auf den Lukmanier—Medels-Rhein: die Wasserscheide, es handelt sich immer um die alpine und kontinentale Hauptwasserscheide, wurde ungefähr in den ersten zwei Dritteln der Eiszeit bis zur Pigna nach N verschoben (vergl. Fig. 12). Indem der Brenno d. L. die obersten Quellgebiete des Lukmanier-Rheins anzapfte, beschnitt er gleichzeitig das präglaziale Paralleltal Canali—Croce-Portera—Dötra.

Die lokale Nordverlegung der Wasserscheide beruhte nicht bloss auf rückschreitender Erosion während der fluviatilen Interglaziale; auch die pleistozänen Talgletscher wirkten, wir kommen damit zu einem weiteren Hauptpunkt innerhalb der eiszeitlichen Entwicklung der V. d. Lucomagno, intensiv in dem selben Sinne:

Ueber die Lukmanier-Passgegend floss nämlich südwärts-aufwärts ein mächtiger Gletscherarm, v. a. aus dem gegenüberliegenden Karlings-Massiv P. Rondadura—P. Lai Blau. Das *Ueberfließen des Eises* aus dem heutigen Medelsergebiet nach S kann an Hand verschiedener Erscheinungen nachgewiesen werden. Es weist darauf hin die südgeöffnete hohe Gebirgsanlage von P. Rondadura und P. Lai Blau, wie die weitgeschwungene U-Form des Talquerprofils in der Passgegend, sowie eindeutig die dortigen, mit ihren Leeseiten nach S zeigenden Rundhöcker (vergleiche S. 47). Im weitem geben n Herkunft an die erratischen Granitporphyre vom Typ «Medelser Protogin» s der Passhöhe. Indessen darf nicht von den Blöcken bei Pian Segno ausgegangen werden, wie es LAUTENSACH (1912) tut, denn diese stammen zweifellos (zum mindesten teilweise) aus verschiedenen anstehenden Vorkommen auf der Südseite der Passhöhe (Pigna, Scai, Selva Secca) (Abb. 15).

LAUTENSACH bezeichnet den Lukmanier als Transfluenzpass und lokalisiert die Eisscheide im Val Medels bei Pardatsch (Mündung der V. Cristallina). Trotz den angeführten erratischen Indizien halten wir das Becken von Sta. Maria als typisches glaziales Konfluenz- und Diffluenzgebiet. Hier trafen sich einerseits, d. h. von W, der Termine- und Cadlimogletscher und die Karlgletscher aus der V. Rondadura, andererseits von E die Gletscher aus dem Scopi-Vallatscha-Massiv. Die mächtige Eismasse sandte einen Gletscherarm über den Lucomagno nach S, der ungleich grösser gewesen sein muss als der ins V. Medels abfliessende eigentliche Talgletscher. Demnach stellt der Anstieg von St. Maria nach der Passhöhe eine Diffluenzstufe, der Lukmanier einen *Diffluenzpass* dar. Ueber den Pso. di Gana Negra dürfte zeitweise, v. a. zur Hocheiszeit, ein sekundärer Arm des nun seinerseits noch diffluierenden Lukmaniergletscherarms geflossen sein. —

Eine Diffluenz des Lareccio-Seitengletschers fand oberhalb Pt. 2109 statt. Der eigentliche Larecciogletscher benützte das heute fossile Trogtälchen s Pt. 2109, ein kleinerer Arm — nach den Moränen zu schliessen — zog sich nne gegen Lareccio und Campo Solario. In Karte S. 56 ist das pleistozäne Tal des Ri di Lareccio, das südlicher als das heutige, entlang dem penninischen Kontakt, verlief, s Pt. 2109 durch das genannte Trogtal und über Frodalera—Brönich verzeichnet (fossile Talstücke).

Der heutige Ri di Lareccio verläuft epigenetisch, und zwar wurde der untere Talteil hinter Frodalera eher verlassen, wir nehmen an, nach der Hocheiszeit. Das Trogtälchen s Pt. 2109 hat sicher zur Würmeiszeit noch gespielt, es handelt sich also beim obern Teil der heutigen Lareccio-Rinne um eine postglaziale Epigenese (vergl. S. 56).

Eine postglaziale Epigenese liegt ebenfalls vor in der Acquacalda-Schlucht des Brenno d. L. Der glaziale Brenno hatte sein Bett ungefähr in der Mitte des Tals, das dann durch eine Jungmoräne verriegelt wurde.

Relikte der älteren Eiszeiten sind in unsrem Gebiete aus verständlichen Gründen nicht sicher nachweisbar (vergl. S. 46 f). Heute noch zeigt die Landschaft weitgehend allgemein das glaziale Gesicht, das ihr die Eiszeit aufgeprägt hat.

In den Moränen, die nur der letzten Eiszeit mit Sicherheit zugewiesen werden können, fanden sich Hinweise auf eine *Schlusseiszeit*. Die Haupttal-Moräne von Acquacalda gehört ihrer Ausdehnung (Kleinheit) nach weit eher zu einem Vorstoss der lokalen Lukmaniergletscher und stellt nicht ein Rückzugsstadium des über den Pass überfliessenden Würm-Eisstromes dar. Sie ist kleiner als jene von Stabbio Vecchio, was nur durch einen schlusseiszeitlichen Lokal-Vorstoss erklärt werden kann, bei dem kein Medelser Eis mehr über die Passhöhe gelangte.

Sicherer Nachweis wäre das Fehlen von Bündner Erratum in der Moräne von Acquacalda, was indessen in dieser Tiefe schwer fällt. Dagegen stimmen die Lagen der ihrem Habitus nach sich entsprechenden Moränen von Acquacalda, Stabbio Vecchio und Lareccio sehr wohl als zu einer lokalen, kürzern Vergletscherung gehörig überein.

Die Nacheiszeit (Holozän)

Die postglazialen Formen sind als solche bereits unter den Einzelformen vorne erörtert worden. Als holozäne Hauptvorgänge seien nochmals hervorgehoben 1. eine im Gefolge der pleistozänen Uebertiefung stehende «kolossale *Schuttbildung* (im Tessin) wie nirgends sonst in den Alpen» (LAUTENSACH): Wildbäche, Bergstürze, Sackungen, Rutschungen, Schuttgehänge und

Schuttkegel, Akkumulationsterrassen, 2. die *fluviatile Zerschneidung* von Talflanken und Böden, oft in epigenetischen Talstücken, und 3. die Bildung der *Korrosionslandschaften*.

Die hydrographischen Veränderungen im Gebiete sind nicht mehr weitgreifend, jedoch recht zahlreich. Dabei ist zu betonen, dass die Anlagen wohl postglazial, indessen mehrheitlich direkt durch den letzteiszeitlichen Gletscherrückgang bedingt sind.

Postglazial ist die Stufe von Pertusio, ein altholozänes hydrographisches Zentrum, wie die von W her mündenden fossilen Schluchten bezeugen. Die Datierung geht davon aus, dass sich nirgends Spuren älterer Glazialrelikte fanden, dagegen eine junge Moräne von dem einen Schluchtbach zerschnitten wurde (Karte S. 52). Präwürm oder noch vor der Schlusseiszeit floss der heute noch als Quellarm des Brenno d. L. in der LK 50 000 verzeichnete Bach durch die Senke n A. d. Croce nordwärts zum Medelser Rhein.

Die Stauung in der Passgend anlässlich des letzten Eisrückzuges hatte sowohl die Zerschneidung des Rauhwacke-Rückens w Pertusio zur Folge, wie die s Ablenkung des Brenno d. L., womit die Wasserscheide an die heutige Stelle zurückverlegt war. Die verschiedenen Pertusio-Schluchten wie das Brenno-Laufstück unterhalb A. d. Croce (Wadi, Karte S. 52) sind heute fossil, bloss noch zu Hochwasserzeiten frequentiert: der normale Abfluss erfolgt unterirdisch durch Karstabzüge.

Weitere durch junge Moränenriegel veranlasste Flussverlegungen liegen vor unterhalb Acquacalda, am Ri di Lareccio n Pt. 2109 und unterhalb Campra (?).

Die postglaziale Uebertiefung erreicht in den Rauhwacke-Schluchten Beiträge bis zu 50 m. Setzen wir in dem hochgelegenen, lang vergletscherten Gebiet zur Bildung 8000 Jahre ein, so resultiert ein jährlicher Abtrag von 6—7 mm, der mit den Bündnerzahlen JAECKLI's (1957) übereinstimmt (kalkig-dolomitische Gesteine bis 8 mm/Jahr).

Nehmen wir einen ähnlichen Erosionswert für die Pertusio-Schluchten (ca. 30 m) an, so ergibt sich für diese ein Alter von 4—5000 Jahren, was heisst, dass sie bereits um etwa die selbe Zeitspanne keinen normalen Durchfluss mehr aufweisen (Alter der unterirdischen Karstabflüsse).

In den kristallinen Schiefern der obern Lareccio-Schlucht (ca. 30 m) beträgt der Abtrag (wieder 8000 Jahre) 3—4 mm/Jahr, in der granitischen Schlucht von Acquacalda (ca. 15 m) bei grösserer Abflussmenge ca. 2 mm/Jahr.

E. HYDROLOGIE

I. HYDROGRAPHIE, HYDROGEOLOGIE

1. FLÜSSE UND SEEN

Im Lukmaniertal mit seiner Grosszahl an lithologischen und tektonischen Kontakten ist deren Befolgung durch die Flüsse in verschiedenen Fällen zu beobachten. Teilweise liegen in der Folge von Epigenesen heute die Verhältnisse zwar anders; was aber beispielsweise die beiden fossilen Tälchen s. A. d. Croce und s. Pt. 2109 (Lareccio) betrifft, sind sie eindeutig an geologische Kontakte gebunden. Bei Betrachtung von Karte S. 27 lassen sich die Beispiele vermehren. Gegenteilige Fälle bestehen selbstredend auch, eine Regel kann nicht aufgestellt werden. Indessen kann in unserem Gebiet von einer gewissen Kontakt-Befolgung gesprochen werden.

Was die *Fluss-Dichte* des Untersuchungsgebietes betrifft, ist sie, verglichen mit andern Tessiner Werten, die als mittelgross zu bezeichnen sind, *klein*. V. a. ist dies im w Teil mit seinen permeablen Triasgesteinen der Fall; die dortigen Verhältnisse sind fast denen des Jura-gebirges an die Seite zu stellen, wo äusserst kleine Zahlen ermittelt werden. Vergleichshalber wird der untenstehenden Aufstellung eine solche und als Beispiel einer grossen Dichte eine des Napfgebietes beigelegt.

Fluss-Dichten

Lucomagno bis Campra	0,8 km/km ²
Lucomagno bis Pian Segno	0,7
Leventina	1,2
Onsernone und Vergeletto	2,3
Franches Montagnes (Jura)	0,2—0,3
Hornbach (Grüne, Napf)	5

Seen, Sümpfe, Moore. Ueber die Bildung der kleinen, für Bild und Wasserhaushalt des Gebietes unbedeutenden Seen, ist bereits S. 49 f. gesprochen worden. Ein grösserer, das Landschaftsbild bestimmender See wird allerdings in nächster Zeit von Menschenhand erzeugt werden: der «neue» Campra-See, ein Ausgleichs-Becken der Blenio-Kraftwerke, aufgestaut hinter einer kleinen Mauer, die den natürlichen Felsriegel am Beckenausgang erweitert (Nutzvolumen 9,6 Mio m³, Staukote 1430.0 m).

Wie angedeutet bestand schon einmal, postwürm, ein Campra-See (S. 58). Zweifellos hat zu Zeiten auch im Becken von Pian Segno, hinter dem Sackungsriegel von der Ostseite des Beckenausganges, ein See gelegen. Eine ganze Reihe ehemaliger kleiner Seebecken bezeugen Sümpfe und Moore; durch Moränen gestaut bei Lareccio, Stabbio Vecchio, Acquacalda, auf Moränenböden bei Campo Solario, in der Selva Secca, bei Pian Com und verschiedenerorts unterhalb Campra, durch Schuttkegel gestaut beim Vallone di Casascia, bei Pozetta, Frodalera, Campra (Ridegra-Bach) (Karte S. 44).

Die grösste heutige Seefläche des Gebietes ist die des Lago Marta mit 140×70 m (ca. 1 ha). Dieses flache Pass-Seelein (Pso. Corumbe, Gebietsgrenze) dürfte in einer ausgelaugten Rauhwacke-Mulde liegen.

Ein typischer kleiner Karsee, moränengestaut, befindet sich am ne Fuss des P. Sole. Gerade darunter dehnte sich noch vor nicht allzu langer Zeit eine recht ansehnliche Seefläche aus, wie der sumpfige, sehr flache Beckenboden beweist; heute jedoch macht die Wasserfläche bloss noch ca. 50 a aus.

Ein Miniatur-See wurde durch den Bergsturz von Gana Negra e des Pso. di Gana Negra aufgestaut. Zahlreiche Wasseransammlungen von geringer Oberfläche und Tiefe bildeten sich ferner in der Glaziallandschaft der Pigna.

Schliesslich sei hingewiesen auf die wohl kleinsten, doch sehr anmutigen und interessanten Dolinen-Seen, v. a. w Pertusio (Karte S. 52). Es ist hier zu beobachten, dass die Seespiegel in nächster Nachbarschaft ungleich hoch stehen, die Becken kommunizieren nicht miteinander.

2. QUELLEN

Typen, geologisch-morphologische Lage, Wasserherkunft

Die grosse Karstquelle (Stromquelle) Pertusio liegt am Fusse einer kleinen Talstufe, in deren Umgebung Triasgips ansteht. Der relativ geringen Sulfathärte nach aber stammt ihr Wasser mehrheitlich aus dem w Kristallgebiet des Scai. Da es sich, was die Wasserherkunft betrifft, um eigentliche unterirdische Rinnsale handelt, wird darauf später eingetreten (Abb. 18).

Fig. 13

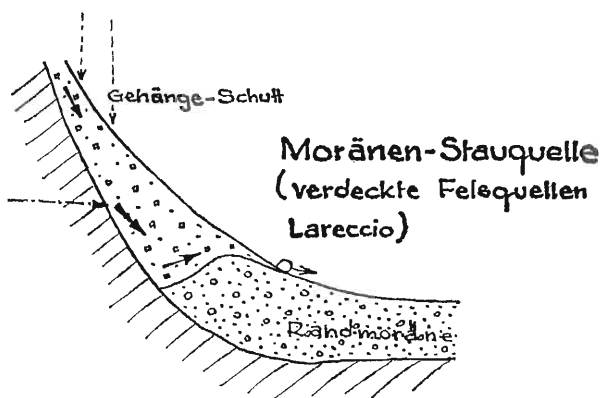
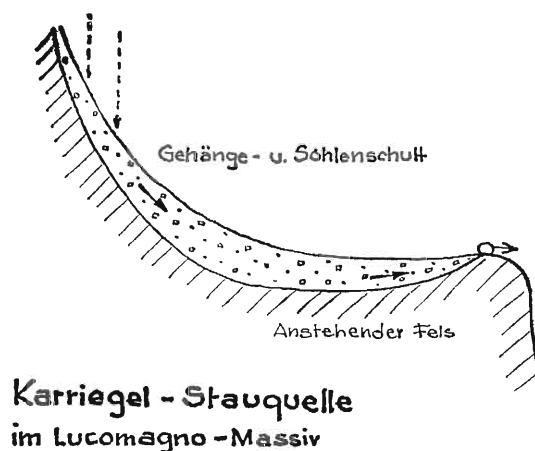


Fig. 14



Die in Gehängeschutt n A. Lareccio austretenden 17 kleinen Quellen konnten wir auf Grund der sehr konstanten Temperaturen als *verdeckte Felsquellen* nachweisen. Sehr wahrscheinlich sind es *Stauquellen*, deren Wasser unweit hinter den Oberflächenquellen als Karstgerinne aus der Rauhwacke tritt und von dem abdichtenden Glazialmaterial der Solario-Terrasse (Randmoräne?) zum Austritt gezwungen wird (Fig. 13). In der Tat fällt in der selben Richtung wie die glaziale Terrassenbedeckung mit 11° SE—NW der Quellhorizont ein. Ihr Wasser stammt aus den Dolinenfeldern zwischen Canali und Lareccio, wo zahlreiche, zumeist indessen \pm fossile Schlundlöcher auf unterirdische (Karst-) Abflüsse hinweisen.

Unter den Felsquellen sei schliesslich aufgeführt die *Kluftquelle* aus dem aufgelassenen Militär-Stollen von M. Pü, die, stark eisenhaltig, aus Bündnerschiefern austritt.

Was die Kategorie der *Schuttquellen* betrifft, ist als erstes die Reihe der am Fuße zweier ausgedehnter Hang-Schuttkegel erscheinender Quellen bei M. Pü zu erwähnen. Ihr Einzugsgebiet sind die bis wenig unter den Grat hinauf die ganze Lucomagnomassiv-Flanke bedeckenden Hangschuttmassen. Der Quellertrag dürfte angesichts dieses (gutteils bewaldeten) «Hinterlandes» bloss geringen Schwankungen unterworfen sein. Gegenwärtig wird im Zusammenhang mit den Blenio-Kraftwerken die Möglichkeit der Fassung dieser Quellen zur Trinkwasser-Versorgung von Olivone geprüft.

Eine interessante Quell-Serie (Karte S. 44), wo kein gemeinsamer Quellhorizont, aber doch ähnliche geologisch-morphologische Verhältnisse vorliegen, zieht sich mit den Terrassen absteigend von 2000—1640 m längs durch die Flanke des Lucomagnomassivs. Die ca. 10 Wässer er-

scheinen am Fusse des über dem Hauptverflachungs-Niveau liegenden Gehängeschutt, möglicherweise als morphologische Stauquellen (Fig. 14), indem sie am Rande der rückübertieften Hangverflachung über dem aufgewölbten Felsuntergrund (Trogshulter) zu Tage treten. Gewisserorts mag auch Glazialschutt als Wasserstauer dienen.

Temperaturverhältnisse

Zusammen mit Abflussmessungen und Chemismus vermögen gerade Temperaturen und Temperaturschwankungen der Wässer Angaben zu machen über Quellenart, Einzugsgebiet, Tiefe, Qualität. Wie erwähnt konnten die Quellen von Lareccio in der Weise als verdeckte Felsquellen erkannt werden, die zweifellos gegenseitig in gewisser Verbindung stehen ($T = 2,6 - 3,3^{\circ} \text{C}$).

Es ist eine leichte Temperaturabnahme mit dem Einfallen des Quellhorizonts SE—NW zu konstatieren, die wir auf die Länge des Schutt-Durchflusses zurückführen. Die Wasser mit höheren Temperaturen treten näher der anstehenden Rohwacke in den Gehängeschutt aus, worin sich die Temperaturschwankungen relativ rasch fortpflanzen (der Messung ging eine mehrtätige Kälteperiode voraus).

Die auf Felsdurchfluss deutenden *geringen Temperaturschwankungen* seien durch die folgenden Zahlen veranschaulicht, wobei vergleichshalber die entsprechenden Werte der Luft und des benachbarten Canali-Baches hinzugesetzt wurden.

QUELLAUSTRITT II (A. LARECCIO)

	$^{\circ}\text{C}$ Wasser	$^{\circ}\text{C}$ Atm.	$^{\circ}\text{C}$ R. Canali
3. 10. 56	2,2	10,8	6,3
31. 12. 56	1,6	— 4	ca. 0 (fast zugefroren)
Schwankung	0,6	(14,8)	(6,3)
17. 7. 57	2,8	13,5	8,9
Schwankung	1,2	(17,5)	(8,9)

Die niedrigen Amplituden der Temperaturschwankungen sind indessen Hinweis darauf, dass es sich nicht um eigentliche Karst-Resurgenzen handelt, wie sie in den vorliegenden Karbonat-Gesteinen zu erwarten sind (ähnlicher Fall wie bei Pertusio). Sicher sind es teilweise karstische Phänomene, jedoch gespeisen von verschiedenen kleinen Gerinnseln mit langen unterirdischen Laufwegen.

BEISPIEL EINER TÄGLICHEN TEMPERATURSCHWANKUNG

PERTUSIO, LUCOMAGNO

2. 10. 56	0700	3,9° C	Luft 5°	Scopibach 2,8°
	1500	4,1	13,5	11,8
		0,2	8,5	9,0

JAHRESZEITLICHE TEMPERATURSCHWANKUNGEN

	Pertusio	Luft	Brenno Acquacalda
1. 4. 10. 1956	4,0° C	12,0° C	6,0° C
2. 31. 12. 1956	3,5	— 4,5	2,7
3. 17. 7. 1957	4,3	13,5	8,4
Schwankung 1./2.	0,5	16,5	3,7
2./3.	0,8	17,5	5,7

Die grosse *Karst-Stromquelle Pertusio* s Passhöhe erweist ebenfalls mit geringen Temperatur-Amplituden, dass sie nicht als einfache Resurgenzquelle einer der verschiedenen in ihrer nähern und weitem Umgebung verschwindenden Bäche funktioniert. Wohl wird sie, wie später zu erörtern ist, von dort her gespiesen, doch sind a) die Zuflüsse zahlreich und zumeist klein und b) ihre Laufwege nicht direkt, sondern durch Verzweigungen und Hohlräume kompliziert und sehr stark verlängert, wie wiederum die hinten erörterten Färbversuche bezeugen. Die *Pertusio* kann als Quelle vom Typ der *Source vaclusienne* gelten.

Messungen aus verschiedenen Jahren (1944: EAWW, 1955: Blenio Kraftwerke AG, 1956—58: Verfasser) stellen der *Pertusio*-Quelle ein gutes Qualitätszeugnis aus, indem die grösste gemessene Temperaturdifferenz $1,9^{\circ}\text{C}$ beträgt, erstaunlich gering für eine Karstquelle: Es müssen sehr lange, temperatúrausgleichende Durchflusswege vorliegen.

gemessenes Minimum	31. 12. 1956	$3,5^{\circ}\text{C}$
gemessenes Maximum	17. 7. 1958	$5,4^{\circ}\text{C}$
Juli-Temperaturen	(1944, 1955, 1956—58)	zwischen $4,3$ und $5,4^{\circ}$ Mittel $4,7^{\circ}$
Oktober-Temperaturen		zwischen $3,9$ und $4,5$ Mittel $4,0$

Die Jahres-Höchsttemperaturen werden gemäss der lückenhaften Messreihe Juli/August erreicht, die tiefsten Januar/Februar.

Obwohl in den Quell-Temperaturkurven nach Exposition und Meereshöhe von JAECKLI und KLEIBER (1943) keine Karst- oder auch nur Schicht- und Kluftquellen aus Kalk oder Dolomit berücksichtigt sind, ergibt der Vergleich mit unsern paar Werten doch eine gewisse Uebereinstimmung, wobei alle Lukmanierwerte etwas tief stehen.

Quelle	m ü. M.	Exposition	$^{\circ}\text{C}$ Sommer	$^{\circ}\text{C}$ Winter	$^{\circ}\text{C}$ Mittel	JAECKLI/ KLEIBER
Pertusio	1825	E	4,5	3,5	4,0	4,6
Lareccio	1880	E	2,6	1,6	2,1	4,4
Stollen Pü	1400	N	4,9			5,2
Schuttq. Pü (IV a)	1400	N	4,5			5,2

Abfluss-Mengen

Genaue Zahlen sind einzig von *Pertusio* bekannt, in der Tat die ergiebigste und interessanteste Quelle des Gebietes. Im Jahre 1944 nahm das EAWW im Zusammenhang mit seinen Färb-Nachweisen unterirdischer Wasserläufe einige Flügelmessungen vor, und seit dem 3. 9. 1955 unterhalten die Blenio KW AG eine Limnigraphen-Station 100 m unterhalb des Quellaustritts (Abb. 21).

Was die letztgenannten Abflussresultate betrifft, verweisen wir auf das betreffende Kapitel unter «Wasserhaushalt». Hier seien vorläufig bloss einige Zahlen mitgeteilt, da für die übrigen Quellen die Abflüsse ebenfalls bloss grössenordnungsweise angegeben werden können.

<i>Quelle Pertusio</i> (1957—58)	
mittlere Abflussmenge	140,5 l/s
Maximalabfluss (Spitze)	1310
Minimalabfluss	12

Beachtenswert ist der nun wirklich für das karsthydrologische Quellregime typische hohe Schwankungsquotient von 1:109.

Zwischen 1953 und 58 beobachteten wir die Abflussmengen der Karstquellen Lareccio. Die 17 Austritte ergeben (auf Grund einfacher Schwimmer-Messung) gesamthaft ca. 5 l/s, wovon ca. die Hälfte vor dem Zusammenfluss im Schutt versickert.

In der Grössenordnung einiger weniger Sekundenliter befindet sich ebenfalls der Abfluss der einzelnen Quellen von Pü (Schuttquellen, Fels-Stollenquelle) (wo gegenwärtig die Fassung zu Trinkwasserzwecken für Olivone geprüft wird) und ebenfalls die Abflüsse der zahlreichen erwähnten Quellen am Hang der Lukmaniermassivkette.

Zum Schluss seien ein paar Abflusszahlen der grössern Quelle 200 m nw der Passhöhe, also unmittelbar ausserhalb des Untersuchungsgebietes, angeführt (EAWW, 1945). Sie steht unter der Passhöhe und Wasserscheide hindurch mit dem Untersuchungsgebiet in Verbindung.

30. 9. 1944	(Salzlösungsmessung)	14 l/s
11. 10. 1944	"	15
13. 10. 1944	(Flügelmessung)	18
19. 12. 1944	"	9

Chemismus

Die Wasserhärten (Gesamt- und Karbonathärte) in Tabelle S. 76 geben uns interessante Aufschlüsse über Einzugsgebiet, Herkunft und Durchflusslängen einiger Quellwässer.

Eingehendere Analysen existieren bloss von der Pertusioquelle (Tab. S. 69). Danach und nach verschiedenen eigenen Messungen (Tab. S. 76) ist sie nicht, wie es etwa schon getan wurde, als «Sulfatwasser» zu bezeichnen. Der Sulfatgehalt von 103 mg $\text{SO}_4^{''}/\text{l}$ ist, besonders in unserem Gebiet, eher gering. Er übertrifft dennoch um ca. das Doppelte den Gehalt an Karbonaten, was für die Mehrzahl der Lukmanier-Wässer charakteristisch ist.

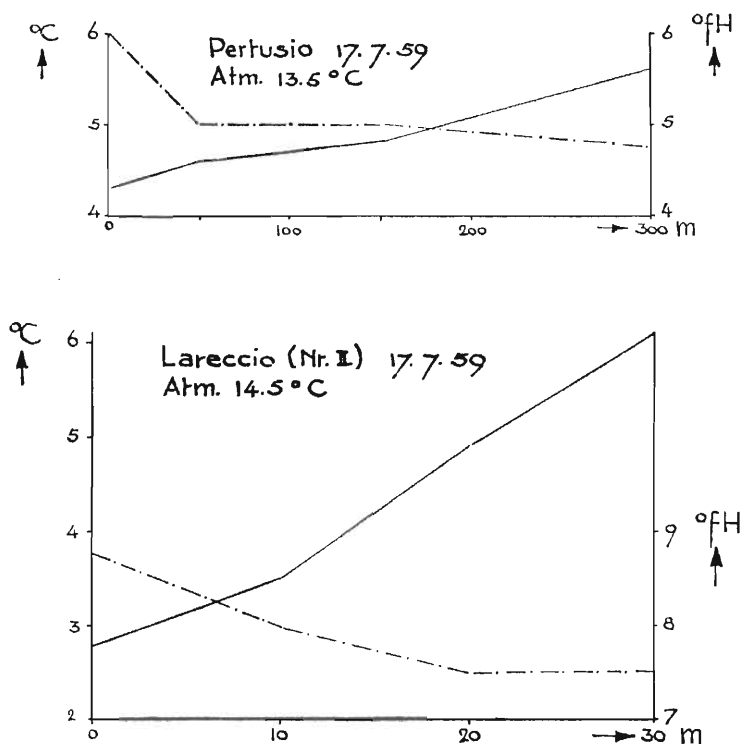


Fig. 15 und 16. Temperatur und Karbonathärte vor Quellaustritt (Längsprofile)

Die relativ niedrigen Härten der Pertusio-Quelle erweisen, dass die in der Nähe des Quellaustritts anstehenden Gipse die Wasserwege nicht auf langen Strecken berühren. Man ist nun geneigt, die geringe Härte für die Durchflussgeschwindigkeit der Karst-Stromquelle als schlecht hin typisch zu erachten, was indessen durch die Färb-Versuche fast gegenteilig beantwortet wird: die Durchflussgeschwindigkeiten sind teilweise recht klein! Die Durchflusswege aus dem w Gebiet, dem Scai-Hang mit weichen Kristallinwassern, sind dagegen relativ kurz, und von hier aus wird zur Hauptsache die Pertusio gespeisen.

Ähnlich kompliziert liegt in gewissem Sinne der Fall der Quell-Serie Lareccio. In ihrem Hinterland scheinen Sulfatgesteine, d. h. Gipse, fast ganz zu fehlen. Die Karbonathärte dage-

gen ist für ein Dolomit-Rauhwanke-Wasser, im Vergleich zu andern des Gebietes, relativ gross: Die unterirdischen Zulaufwege dürften, neben anzunehmendem kleinern Porenvolumen der Gesteine, über grössere Strecken gehen.

Dies ist dann besonders in den am Rande des Segno-Beckens und der Selva Secca austretenden sehr harten Wässern der Fall: ihr Hinterland erstreckt sich wahrscheinlich über die morphologische Wasserscheide des Gebietes hinaus gegen W, Richtung Piora (Fremdwasser!).

Aufschlussreich ist der Chemismus der nahe des Ridegra-Baches in dessen Delta (Campra) liegenden ergiebigen Schuttquelle (mehrere 100 Minutenliter). Ihre Gesamthärte von $2,5^{\circ}$ fH ist mit derjenigen des nahen Ridegra-Baches nicht in Einklang zu bringen ($22,5^{\circ}$ fH), wohl aber ist sie mit dem ähnlich liegenden Rialpbach ($2,25^{\circ}$ fH) zu vergleichen. Ein Zusammenhang zwischen Deltaquelle und Ridegra-Bach, der auf der Hand zu liegen scheint, besteht nicht, ihr Wasser muss aus dem w Gebiet von Oer Langosa stammen (z. T. Orthogneise).

Wasseranalysen

Brenno d. L. bei Pertusio (Brenno-Stromquelle)

I und II ausgeführt im Auftrage des Verfassers durch das Labor der Städt. Wasserwerke Bern. III ausgeführt durch das Labor der Blenio KW AG, (LIECHTI). Rhein (Vergleich) nach JAECKLI (1957).

	Pertusio I	Pertusio II	Pertusio III	Rhein Landquart
Datum der Probeentnahme	27. 9. 1957	17. 7. 1957	1. 10. 1955	11. 9. 1955
Abflussmenge m ³ /s	0,081	0,160	0,075	198
Wasser-Temperatur ° C	4,2	4,3	4,2	
pH			7,5	7,98
Gesamthärte °frz. H.	14,9	15,65	16,75	11,75
Karbonathärte °fH	5,9	5,5	6,0	9,4
Perman. Härte (berechnet)	9,0	10,15	10,75	2,35
Kalziumhärte °fH	10,2	10,05	11,5	8,9
Magnesiumhärte (berechnet)	4,5	5,6	5,25	2,85
Sulfate (approx. mg SO ₄ ''/l	85	95	103	20
Nitrate mg NO ₃ ''/l	0 — Spur	0 — Spur		0,8 N/l
Chloride mg Cl/l	2	3,2		0,6
Eisen mg Fe/l				0,05
El. Leitfähigkeit 10 ⁻⁶ Ω ⁻¹ cm ⁻¹			297	

3. UNTERIRDISCHE KOMMUNIKATIONEN (WASSERWEGE)

Im Herbst 1944 führte das EAWW in den durchlässigen Gesteinen (Dolomit, Rauhwanke, Gips) des Passhöhegebietes *Fluoreszein-Färbungen* verschiedener Gewässer durch, deren Resultate mit Erlaubnis des Amtes nachfolgend besprochen werden (Bericht 1945).

Ein *erster Färb-Versuch* (28. 9. 1944) betraf die unmittelbar ausserhalb des Untersuchungsgebietes n der Passhöhe liegende Gegend: bei Bach a, der 350 m nw Passhöhe versickert,

wurden 250 g Fluoreszein eingebracht. Nach ca. 4 Stunden war Quelle A s Sta. Maria stark gefärbt (1:1 Mio). Anderntags brachte eine Wiederholung des Versuchs in der selben Weise die Durchlaufzeit von ca. 2 Stunden.

Daten: Bach a — Quelle A

Entfernung	350 m
Höhendifferenz	50 m
Durchlaufzeit	> 2 h
Durchlaufgeschwindigkeit	3 m/Min.

Die Durchlaufgeschwindigkeit entspricht genau der für Karstwasser bekannten:

Karstwasser	$v = 3$ m/Min.
Grundwasser	0,006
Flusswasser	6—60

Färbversuch 2 hatte Angaben über das s anschliessende Rauhwacke-Gebiet zu liefern. Am 30. 9. 1944 erfolgte bei Bach b (Brenno-Quelllauf, Versickerung hinter A. d. Croce) die Einspritzung von 500 g Fluoreszein. Da bei der interessierenden Quelle B, der grossen Karstquelle Pertusio, keine Färbung konstatiert werden konnte, wurde am 5. 10. 1944 nochmals eine Injektion (250 g) vorgenommen. Bis zum 10. 10. 1944 wurde unter verschiedenen Malen neuerdings Fluoreszein bei b eingeführt (total Versuch 2: 3300 g Fluoreszein!).

Die Färbung von Quellwasser A war deutlich. Am 12. 10. 1944 war sie es ebenfalls bei Pertusio. Zufolge der verschiedenen Einspritzungen ist dieser Versuch leider nicht einwandfrei, die Färbungen «überlappen» sich. Sicher ist, dass sowohl Verbindung von Bach b zu Quelle A wie zu B (Pertusio) besteht. Anzunehmen aber ist ebenfalls die Verbindung von Bach a unter der Wasserscheide durch zu Quelle B (Fremdwasser!), worauf die geringe Färbung von B unter dem 6. 10. 1944 hinweisen dürfte (Färbung a: 28. und 29. 9. 1944, b: 30. 9. 1944).

Daten: b (A. d. Croce) — B (Pertusio)

Distanz	950 m
Höhendifferenz	100 m
Durchlaufzeit	(2—) ca. 4 Tage
Durchlaufgeschwindigkeit	ca. 0,15 m/Min.

Der raschere Durchlauf (10.—12. 10. 1944) dürfte auf das vorangehende Hochwasser, die damit verbundene Füllung der unterirdischen Hohlräume und dadurch ermöglichten direkteren Durchfluss zurückzuführen sein.

Daten: b (A. d. Croce) — Quelle A

Distanz	1000 m
Höhendifferenz	60 m
Durchlaufzeit	1 Tag
Durchlaufgeschwindigkeit	0,7 m/Min.

Daten: Bach a — B (Pertusio)

Distanz	1600 m
Höhendifferenz	90 m
Durchlaufzeit	6 Tage
Durchlaufgeschwindigkeit	0,18 m/Min.

Die Durchlaufgeschwindigkeiten, v. a. jene nach Pertusio, sind nun erheblich kleiner, was wir auf Retention durch grosse unterirdische Hohlräume in den Rauhwacke-Gips-Gesteinen zurückführen.

Bei *Färbversuch 3* wurde der Abfluss zweier karstischer Bachschwinden im Tälchen s A. d. Croce untersucht (19. 10. und 21. 10. 1944, je 1000 g Floreszein). Wie erwartet erfolgte von beiden Stellen her starke Färbung des Quellwassers von Pertusio (Schwinde oberhalb südlicher Querschluft (3):1:1/10 Mio, Schwinde oberhalb nördlicher Querschluft (1) 1:1 Mio). Es liegen, was die unterirdischen Wasserwege betrifft, ähnliche Verhältnisse vor (Abb. 17):

Abb. 17
Schluckdoline (Ponor)
bei Pigna



Abb. 18
Die grosse Karst-Strom-
quelle Pertusio,
der eigentliche Ursprung
des Brenno.
Milchkessel aus der nahen
Sennerei

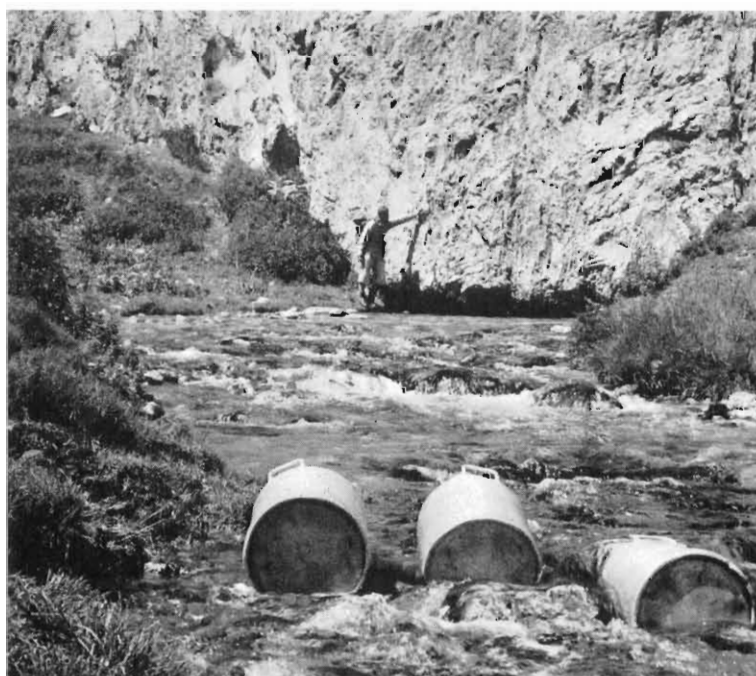
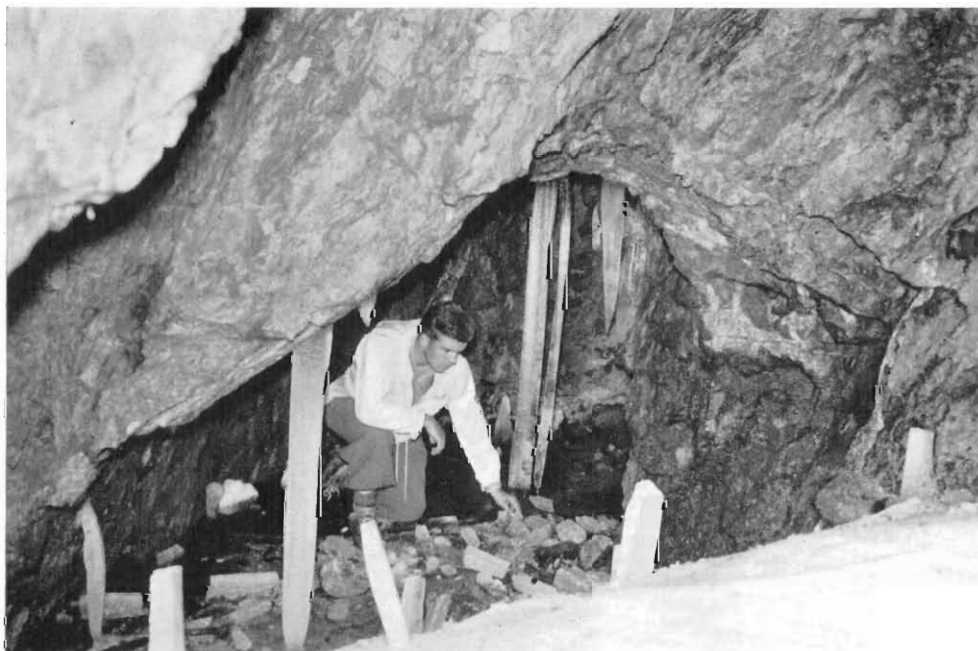


Abb. 19
Blitzlichtaufnahme
einer Karsthöhle bei Pigna,
mit Eis-Stalagmiten und
meterdickem Schneeklotz
im offenen Karstschacht
(Ende Juli 1959)

Aufnahmen Verfasser



Daten: Schwinde 3 — Pertusio

Distanz	400 m
Höhendifferenz	140 m
Durchlaufzeit	< 15 h
Durchlaufgeschwindigkeit	0,6 m/Min.

Daten: Schwinde 1 — Pertusio

Distanz	400 m
Höhendifferenz	140 m
Durchlaufzeit	< 18 h
Durchlaufgeschwindigkeit	0,5 m/Min.

Ausser diesen durch Färbung nachgewiesenen unterirdischen Wasserwegen bestehen zweifellos weitere, wo ein derartiger Nachweis nicht ohne weiteres durchgeführt werden kann, sei es wegen Fehlen grösserer oberirdischer Wasserschwinden oder sehr langer Laufwege und entsprechender Beobachtungszeiten.

Im Falle der in der N-S-Klüftung den Oer d'Angiasco querenden Wasser aus den Glazialschutt-Terrassen von Pian Com—Dötra handelt es sich eher um das erste. Deutlich dagegen sind die Austritte dieser Wasser an und über der Lukmanierstrasse auf der Südseite des Oer d. A. über Campra (dazu S. 118).

Unterirdische karstische Verbindungen in der Rauhawacke dürften bestehen, trotzdem keine direkten Nachweise vorliegen, zwischen den Hochflächen des V. d. Campo nw P. Cadreghe und den Wildbächen der Ostflanke der V. d. Lucomagno (z. B. Pozetta-Bach), sowie von den hintern, hochgelegenen Talteilen der Piora ins Canali- und Lareccio-Gebiet (dazu S. 117).

4. HÄRTE-STUDIEN

Unsere feldmässige Analysen-Methode

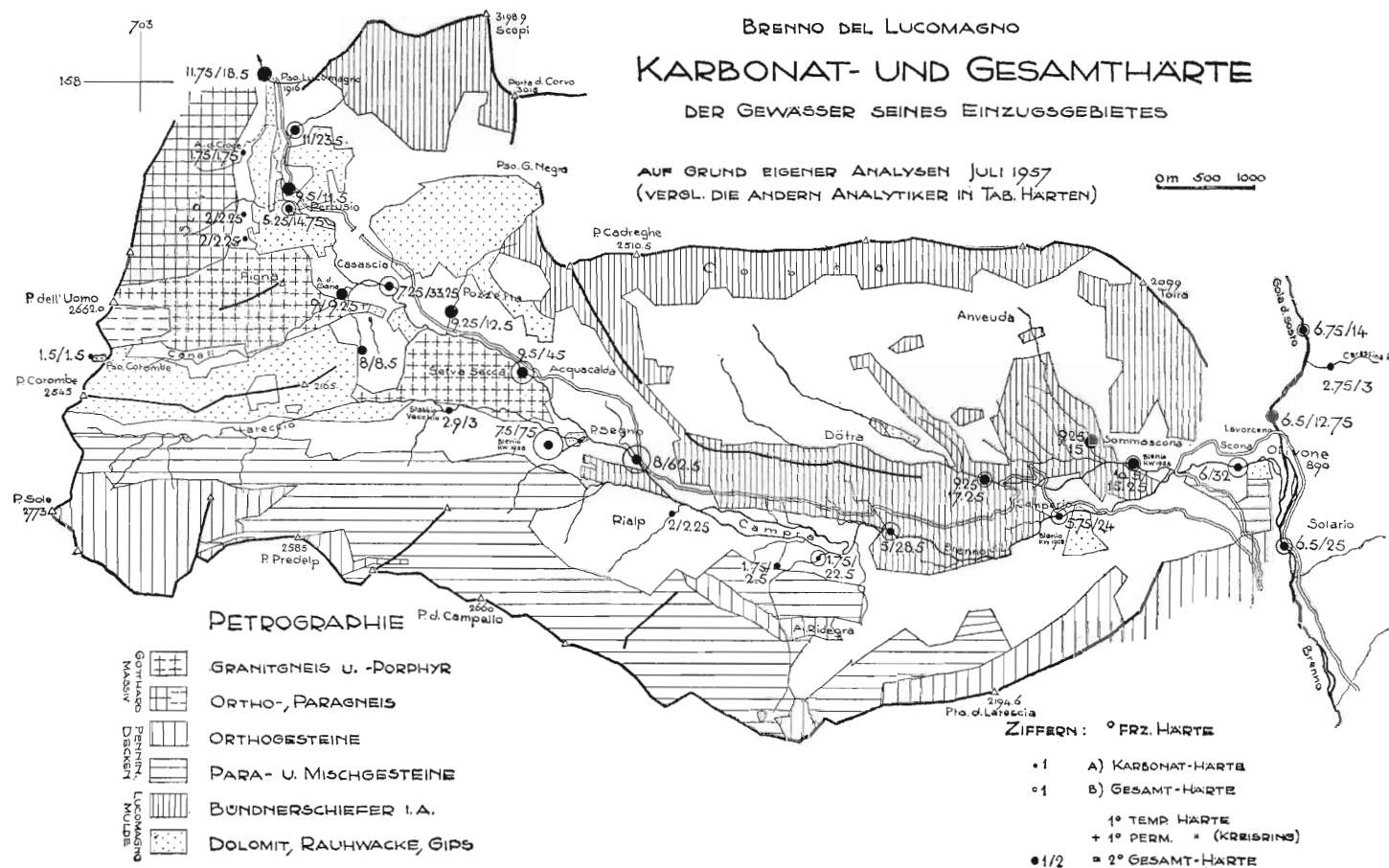
Zu feldmässigem Gebrauch stellten wir 1956, technisch beraten durch das Labor der Städt. Wasserwerke Bern, ein Titrations-Instrumentarium zur Bestimmung der Wasserhärten zusammen (Abb. 22). Als Neuerung gegenüber den gebräuchlichen Methoden ist eine in Deutschland entwickelte *Kunststoff-Titrationsflasche* (Polyäthylen) anzuführen, die damals in unserem Lande erstmals zur Anwendung gelangt sein dürfte. Bloss die geeichte Bürette besteht noch aus Glas. Durch einfachen Handdruck auf den elastischen Kunststoff-Behälter, das Reservoir der Titrations-Flüssigkeit, wird diese in die Bürette gepumpt, wobei ein Saugheber die Einstellung auf Marke 0 (cm^3) besorgt.

Bestimmt wurden sowohl die temporäre (Karbonat-) wie die permanente Härte (v. a. Sulfate). Die Ermittlung der Karbonat-Härte erfolgte auf die gebräuchliche Weise (Methylorange-Indikator, n/10 HCl als Titrations-Flüssigkeit, Farbumschlag gelb—orange). Die Gesamthärte bestimmten wir nach HAASE (1954) und SCHWARZENBACH (o. J.), wobei mit Komplexon-III-Lösung titriert wurde. Als Indikator verwendeten wir im Feld versuchsweise einen *Trockenindikator* (Eriochromschwarz T in NaCl-Verreibung $1/100$; Farbumschlag rotviolett—rein blau). In beiden Fällen ist die Menge der bis zum Farbumschlag benötigten Titrations-Flüssigkeit ein Mass für die Härte ($1 \text{ cm}^3 = 5^\circ \text{ fH}$).

Instrumentarium und Vorgehen haben sich im Felde gut bewährt (Handlichkeit, Unzerbrechlichkeit, geringes Gewicht, gut erkennbare Farb-Umschlagspunkte). Werden beide Härten ermittelt, ist der Rationalität halber die Verfügbarkeit zweier Polyäthylen-Flaschen von Vorteil.

Ziele und Möglichkeiten

Systematische Härte-Erhebungen vermögen über hydrochemische Probleme hinaus, wie sie nachfolgend erörtert werden, äusserst zweckdienliche indirekte Angaben zu liefern. Sie helfen bei der Beurteilung und *Charakterisierung von Quellen*, geben Auskunft über die Wasserherkunft, das Einzugsgebiet, lassen Schlüsse zu auf dessen Lithologie etc. Die Härte vermittelt gewisse Auskünfte über *unterirdische Kommunikationen*, gerade in Karstgebieten, wie wir derartige positive Resultate von OERTLI (1952) aus dem Innerkraiser Typkarst kennen und wie bereits im Zusammenhang mit der Pertusio-Quelle angeführt wurde.



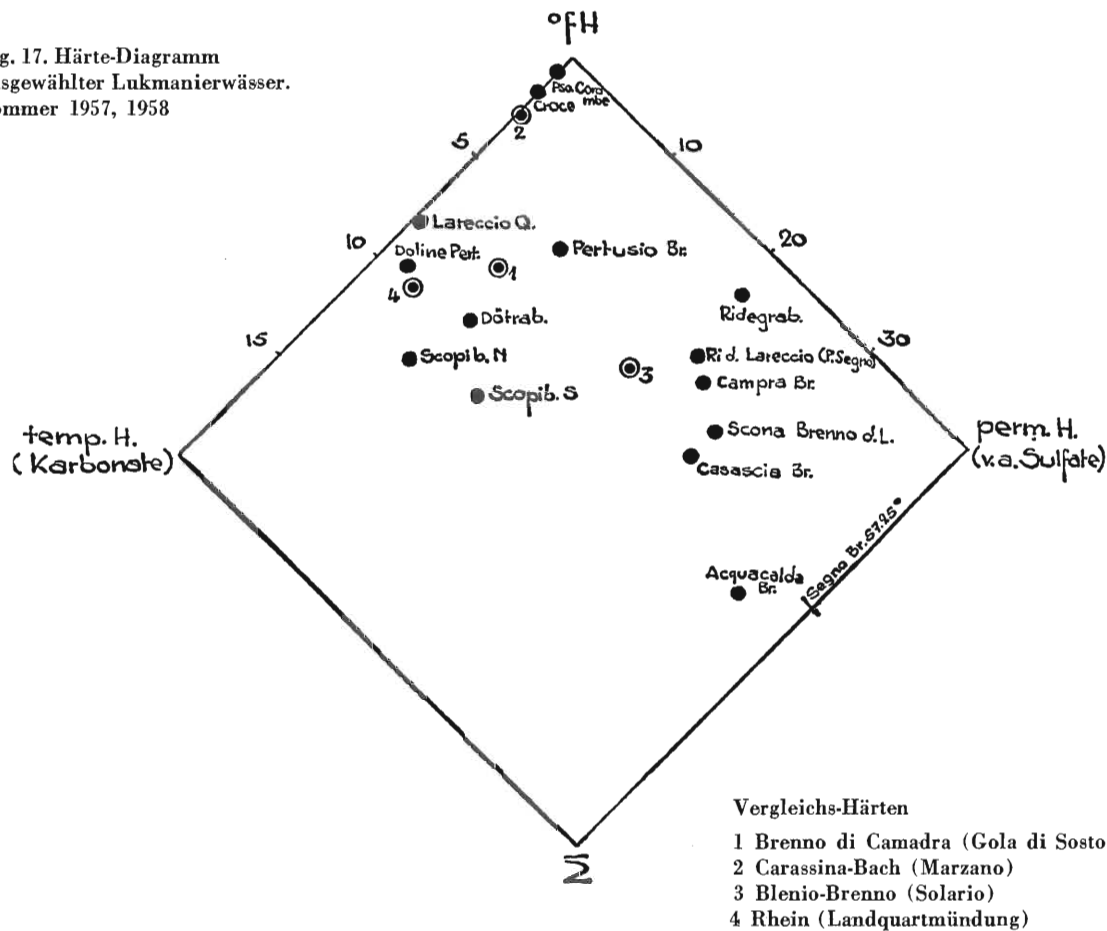
Hierher gehören Hinweise auf *Fremdwasser-Zuflüsse*, wie sie später zur Sprache kommen werden. Schliesslich ist die Gesamthärte ein Mass für die *chemische Gebirgsabtragung*.

Technisch kommt den Härte-Analysen beim Bau hydroelektrischer Werke Bedeutung zu (was gerade im Untersuchungsgebiet der Fall ist), indem von gewissen Sulfat-Konzentrationen an eine *Betongefährdung* zu gewärtigen ist.

Karbonat- und Gesamthärte der Lukmanierwässer

Im Sommer und Herbst 1957 wurden an 33 Stellen (3 unmittelbar benachbart ausserhalb des Untersuchungsgebietes) Wasser durch den Verfasser auf beide Härten hin analysiert. Zwei eingehendere Analysen (Tab. S. 69) liessen wir ausführen durch das Labor der Städt. Wasserwerke Bern. Schliesslich liegen einige Untersuchungen der Blenio KW AG von 1955 und 1958 vor. Alle Härtezahlen sind in Tab. S. 76 f enthalten, die Grundlage der verschiedenen graphischen Darstellungen dieses Kapitels ist und wozu wir im folgenden Erläuterungen zu geben haben.

Fig. 17. Härte-Diagramm
ausgewählter Lukmanierwässer.
Sommer 1957, 1958



In Diagramm Fig. 17 sind zur Gegenüberstellung typische Werte eingetragen, wobei die zu Vergleichen herangezogenen Punkte von Camadra-Brenno und Rhein deutlich eine Randlage einnehmen. Der Lukmanier zeichnet sich als ein gewisses Sondergebiet ab, wie auch Fig. 18 wiedergibt: die Besetzung der Sulfat-Seite ist ungleich stärker. Die Gewässer des Untersuchungsgebietes können allgemein als *karbonatweich*, zahlreiche indessen als äusserst *sulfathart* bezeichnet werden.

Zu beachten ist, daß in Fig. 18 der verschiedenen Masstäbe wegen die 50 % Kurve (Karbonathärte in % der Gesamthärte) sehr flach verläuft. Allgemein treten die Karbonate, die sonst

den quantitativ bedeutendsten Teil im Wasser gelöster Mineralsubstanz darstellen, gegenüber den Sulfaten, die im allgemeinen den wichtigsten Anteil an Nichtkarbonaten ausmachen (98—99%), stark zurück.

Deutlich wird in Fig. 18, dass die weichen Wasser prozentual karbonatreich sind, dass dagegen die harten Wasser 50—90% Sulfate enthalten. Mit zunehmender Gesamthärte erfolgt eine gewisse Abnahme der Karbonathärte.

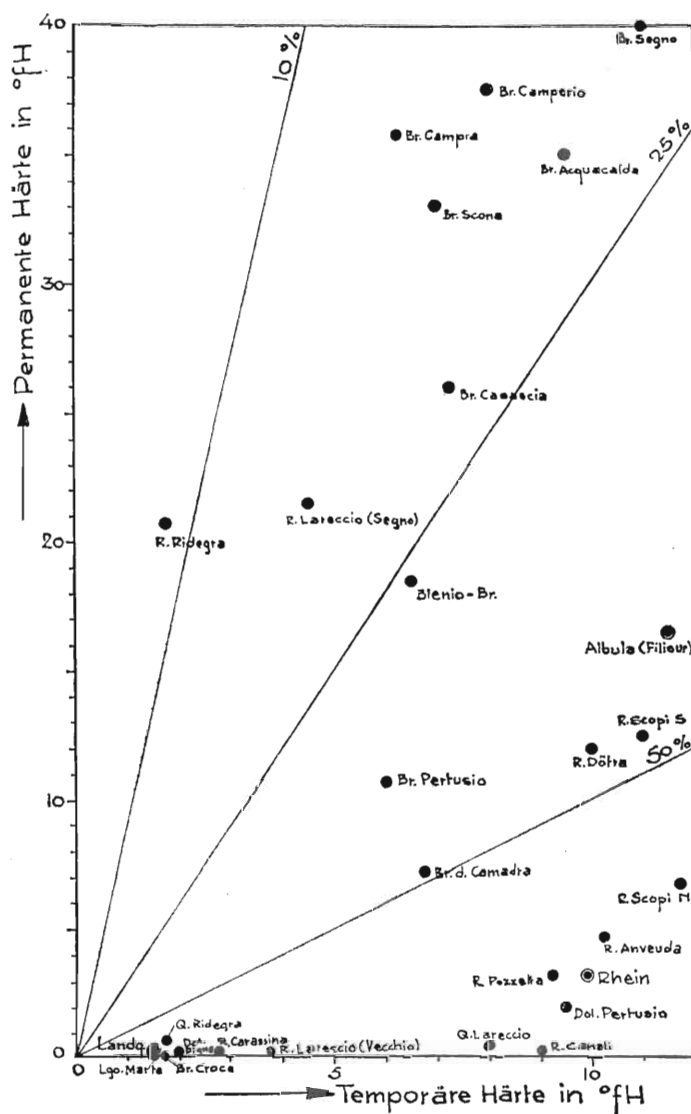


Fig. 18. Verhältnis von temporärer (Karbonat)Härte zu permanenter Härte (v. a. Sulfate). Werte Sommer 1955—58.

⊙ Vergleiche aus dem Bündner Rheingebiet (Jückli, 1957)

Die Abhängigkeit der Härte von der petrochemischen Zusammensetzung der Flussgebiete wurde in Karte S. 72 und Fig. 19 darzustellen versucht. Es fällt auf, dass auch die Gewässer in reinen Kristallingebieten noch eine gewisse Härte haben, wobei es sich fast ausschliesslich um solche der Karbonate handelt. («Die chemische Verwitterung der Silikate, besonders der basischen Plagioklase und der dunklen Gemengteile, muss doch so intensiv sein, dass die dabei an das fließende Wasser abgegebenen Ca^{++} - und Mg^{++} -Ionen rund 30—50% des Ionengehaltes von Gewässern aus Kalkgebieten erreichen» (JAECKLI, 1957). Für den Lukmanier lauten die Zahlen: 15—25% (vergl. die Mittelwerte am Fusse von Fig. 19).

In den Bündnerschiefern haben wir die höchsten Karbonatwerte des Gebietes, allerdings sind auch diese Gewässer noch zu den weichen zu rechnen. Der Sulfatanteil erreicht hier aber bereits fast die selbe Höhe. Sehr hohe Sulfathärten zeigen die Gewässer aus den Karbonat- und Sul-

fatgesteinen der mittleren Trias, wobei wie erwähnt mit zunehmender Sulfathärte ein absolutes Zurückgehen der Karbonate in Erscheinung tritt. Verglichen mit den nachfolgenden aus JAECKLI (1957) berechneten Karbonat-Mittelwerten sind die unsrigen durchwegs etwas kleiner (vergl. unten).

Bündnerisches Rheingebiet: (nur Karbonathärte bestimmt)

		Mittel
Kristallin	2 — 7 °fH	3,3 °fH
Kalk und Dolomit	8,5—16,5	11,4
Bündnerschiefer und Flysch	9,5—16,5	13

Fig. 19. Diagramm der Härte-Mittel verschiedener Flüsse in Abhängigkeit von der Petrographie ihrer Einzugsgebiete (1955—1958)

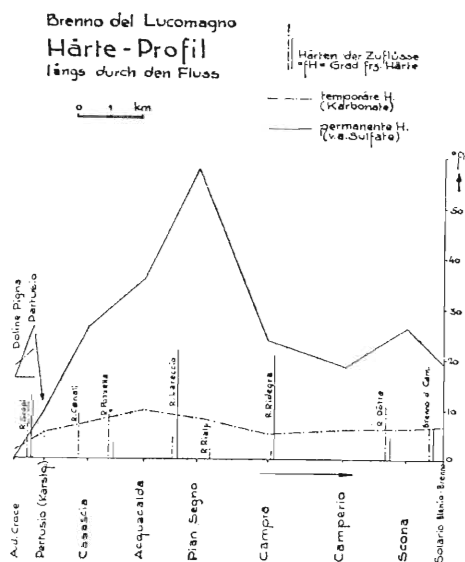
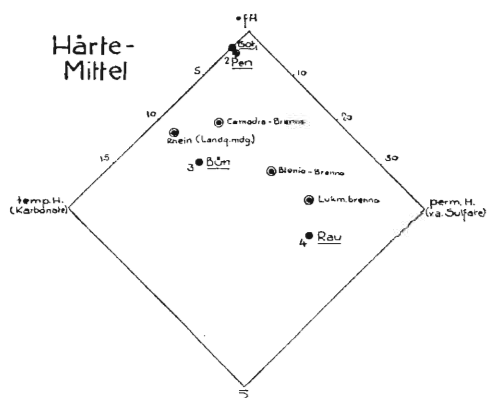


Fig. 20

	Karbonat-H.	Gesamt-H.
1 Gotth.massiv. Kristallin (Granit, Orthogneis)	1.8	1.9
2 Pennin. Kristallin (Ortho-, Paragestein)	1.9	2.4
3 Mulden-Sedimente (v. a. Bündnerschiefer, überall auch Rauhwacke!)	11.1	20.5
4 Mulden-Sedimente (Karbonat- und Sulfatgestein: Dolomit, Rauhwacke, Gips)	7.9	38.1
Brenno d. Lucomagno (Scona)	6.0	32.0
Brenno d. Camadra (Gola d. Sosto)	6.75	14.0
Brenno Val Blenio, Haupttalfluss (Solario)	6.5	25.0
Rhein (unterhalb Landquartmündung)	9.9	13.15

Die in Fig. 19 eingetragenen Fluss-Härten ermöglichen umgekehrt eine überblicksmässige petrochemische Charakterisierung der Einzugsgebiete. Abseits von den Brenno-Härten liegt wieder der Rhein. Doch befindet sich ebenfalls zwischen Kristallin und Bündnerschiefer der Wert des Brenno di Camadra. Blenio-Brenno und v. a. der Brenno d. L. haben ausgeprägtes Rauhwacke-Bündnerschiefer-Regime mit schwachem Kristallin-Einfluss.

Fig. 20 gibt die Entwicklung der Härten des Brenno d. L. längs des Flusses von der Quelle bis zum Zusammenfluss mit dem Brenno d. C. wieder. Die Analysen wurden an möglichst sukzes-

WASSERANALYSEN: KARBONAT- UND GESAMTHÄRTE OBERER BRENNO (TICINO) (GENAUE LOKALITÄTEN DER PROBE-ENTNAHME SIEHE KARTE S. 72)
ANGABEN IN ° FRANZ. HÄRTE. WENN KEINE ENTSPR. BEMERKUNG, HANDELT ES SICH UM EIGENE BESTIMMUNGEN

Stellen der Probeentnahme	Datum	Zeit	° C Luft	° C Wasser	Karbonat ° fH	Gesamt- härte	perman. Härte	Sulfate		Bemerkungen
								mg SO ₄ "/l	° fH	
Brenno A. d. Croce	13. 7. 57	0900	17,0	8,6	1,75	1,75	0			* approximative Werte
Brenno Pertusio (Karstquelle)	1. 10. 55			4,2	6,0	16,75	10,75	103 *		Blenio Kraftwerke AG.
	13. 7. 57	1015	15,3	4,6	5,25	14,75	9,5			
	17. 7. 57	1540	13,5	4,3	6,0	17,75	11,75			
			13,5	4,6	5,0	15,75	10,75			50 m nach Quellenaustritt
			13,5	4,8	5,0	15,5	10,5			150 m " "
			13,5	5,6	4,75	15,5	10,75			300 m " "
	17. 7. 57	1540	13,5	4,3	5,5	15,65	10,15	95	9,9	Labor Wasserversorgung
	27. 9. 57	1715	10,5	4,2	6,0	15,0	9,0			der Stadt Bern
300 m unterh. Quelle	27. 9. 57	1700	10,5	4,3	6,0	15,0	9,0			
Brenno Pertusio	27. 9. 57	1715	10,5	4,2	5,9	14,9	9,0	85	8,9	Labor Wasserversorgung
Brenno Casascia	13. 7. 57	1050	17,0	8,9	7,25	33,25	26,0			der Stadt Bern
Brenno Acquacalda	13. 7. 57	0630	14,1	6,2	9,5	45,0	35,5			
		0900	15,1	7,0	9,4	46,5	37,0			
	17. 7. 57	1810	11,5	8,4	9,5	44,75	35,25			
	27. 9. 57	0655	8,5	3,9	9,5	46,5	37,0			
Brenno P. Segno	1. 10. 55				11,0	52,5	41,5	450 *		Blenio Kraftwerke AG.
	13. 7. 57	1315	20,7	11,4	8,0	65,25	57,25			
	27. 9. 57	1515	16,5	9,2	7,5	71,0	63,5			
	19. 6. 58			6,0	7,75	34,75	27,0	259 *		Blenio Kraftwerke AG.
	22. 7. 58			7,2	8,75	38,5	29,65	285 *		Blenio Kraftwerke AG.
Brenno Campra	13. 7. 57	1415	20,6	11,9	5,0	28,5	23,5			
	30. 9. 57	0815	10,2	5,4	6,25	42,0	35,75			
Brenno Camperio	1. 10. 55				8,0	45,5	37,5	360 *		Blenio Kraftwerke AG.
	19. 6. 58			7,3	5,0	21,25	16,25	156 *		Blenio Kraftwerke AG.
	22. 7. 58			8,4	5,75	24,0	18,25	175 *		Blenio Kraftwerke AG.
Brenno Scona	13. 7. 57	1535	21,2	11,2	6,0	32,0	26,0			
	30. 9. 57	0900	14,0	7,0	7,0	40,75	33,75			
Brenno di Camadra Lavorceno	13. 7. 57	1715	21,8	7,8	6,5	12,75	6,25			
Carassina R., Marzano	13. 7. 57	1700	21,8	9,1	2,75	3,0	0,25			
Brenno di Camadra Sostoschlucht	13. 7. 57	1710	21,8	7,5	6,75	14,0	7,25			
Brenno Solario, Pt. 865,4	13. 7. 57	1600	21,8	12,6	6,5	25,0	18,5			
Schluckdoline Pigna	13. 7. 57	0940	14,1	6,8	2,0	2,25	0,25			
100 m w Pt. 1990	28. 9. 57	1835	10,0	2,5	2,0	3,0	1,0			
	27. 9. 57	1835	10,0	2,5	2,0	2,5	0,5			Labor Wasserversorgung der Stadt Bern

FORTSETZUNG VON VORDERSEITE

Stellen der Probeentnahme	Datum	Zeit	° C Atm.	° C H ₂ O	Karbonat ° fH	Gesamt- härte	perman. Härte	Sulfate		Bemerkungen
								mg SO ₄ "/l	° fH	
Dolinensee Pigna 300 m nw Pt. 1990	13. 7. 57	0930	15,4	13,6	1,75	2,0	0,25			
Scopi R. 250 m n Passhöhe	13. 7. 57	0750	9,6	6,7	11,75	18,5	6,75			
Scopi R. II, 500 m s Passhöhe	13. 7. 57	0735	13,0	7,7	11,0	23,5	12,5			
Doline 200 m n Pertusio	18. 7. 57	1130	12,6	13,0	9,5	11,5	2,0			
Lago Marta, Pso. Corumbe	16. 7. 57	1430	10,0	10,0	1,5	1,5	0			
Karstquellen A. Lareccio (Nr. II)	13. 7. 57	1125	18,4	2,6	8,0	8,5	0,5			
	17. 7. 57	1330	14,5	2,8	8,75	9,0	0,25			
				3,5	8,0	8,5	0,5			
				4,9	7,5	8,5	1,0			
				6,1	7,5	8,5	1,0			
Seelein S ₁ (bei oben)				4,9	7,75	9,25	1,5			
Seelein S ₂ »				5,6	8,25	10,5	2,25			
Karstq. A. Lareccio (II)	28. 9. 57	1240	17,0	2,8	7,5	8,0	0,5			
Canali R., A. d. Gana	13. 7. 57	1110	15,5	8,9	9,0	9,25	0,25			
	28. 9. 57	1200	17,0	6,3	8,25	9,0	0,75			
Pozetta R., Passtrasse	13. 7. 57	0655	9,6	6,8	9,25	12,5	3,25			
Lareccio R., Stabbio Vecchio	13. 7. 57	1200	18,8	9,2	2,9	3,0	0,1			
	28. 9. 57	1410	13,0	7,2	3,75	4,0	0,25			
Lareccio R., P. Segno	1. 10. 55				7,5	75,0	67,5	650 *		
	19. 6. 58			4,2	3,25	15,75	12,5	120 *		
	22. 7. 58			7,1	4,5	26,0	21,5	206 *		
Rialp R. 400 m nre Rialp	13. 7. 57	1330	20,8	6,5	2,0	2,25	0,25			
Quelle Schuttkegel Ridegra/ Campra										
500 m w Pt. 1435.9	13. 7. 57	1350	22,5	8,4	1,75	2,5	0,75			
Ridegra R. Campra										
100 m w Pt. 1435.9	13. 7. 57	1400	22,5	7,8	1,75	22,5	20,75			
Dötra R. Pijera	1. 10. 55				11,5	25,25	13,75	132 *		
	13. 7. 57	1440	22,6	12,9	9,25	17,25	8,0			
	30. 9. 57	0830	14,0	7,2	10,0	22,0	12,0			
Anveuda R. Sommascona	13. 7. 57	1505	23,5	10,6	10,25	15,0	4,75			
Sommascona R. (Dötra R + Anveuda R.)	19. 6. 58			10,3	10,5	15,25	4,75	46 *		

nach Quellenaustritt
von 10 zu 10 mBlenio Kraftwerke AG.
Blenio Kraftwerke AG.
Blenio Kraftwerke AG.

Blenio Kraftwerke AG.

Blenio Kraftwerke AG.

siv aufeinanderfolgenden Stellen vorgenommen, die masstabgetreu auf der Abzisse abgetragen sind. Die Beeinflussung der Härte des Hauptflusses durch die in Säulenform dargestellte der Zuflüsse ist wohl bemerkbar, doch nicht ausschlaggebend. Die beiden Gesamthärte-Spitzen können jedoch auch nicht auf alleiniger Korrosion des Brenno selbst beruhen: es sind die kleinen, sehr harten, oft durch Fels oder Schutt direkt in den Brenno gelangenden Quellwasser, die die starke Anreicherung bewirkten (Acquacalda, Pian Segno, Campra, Camperio).

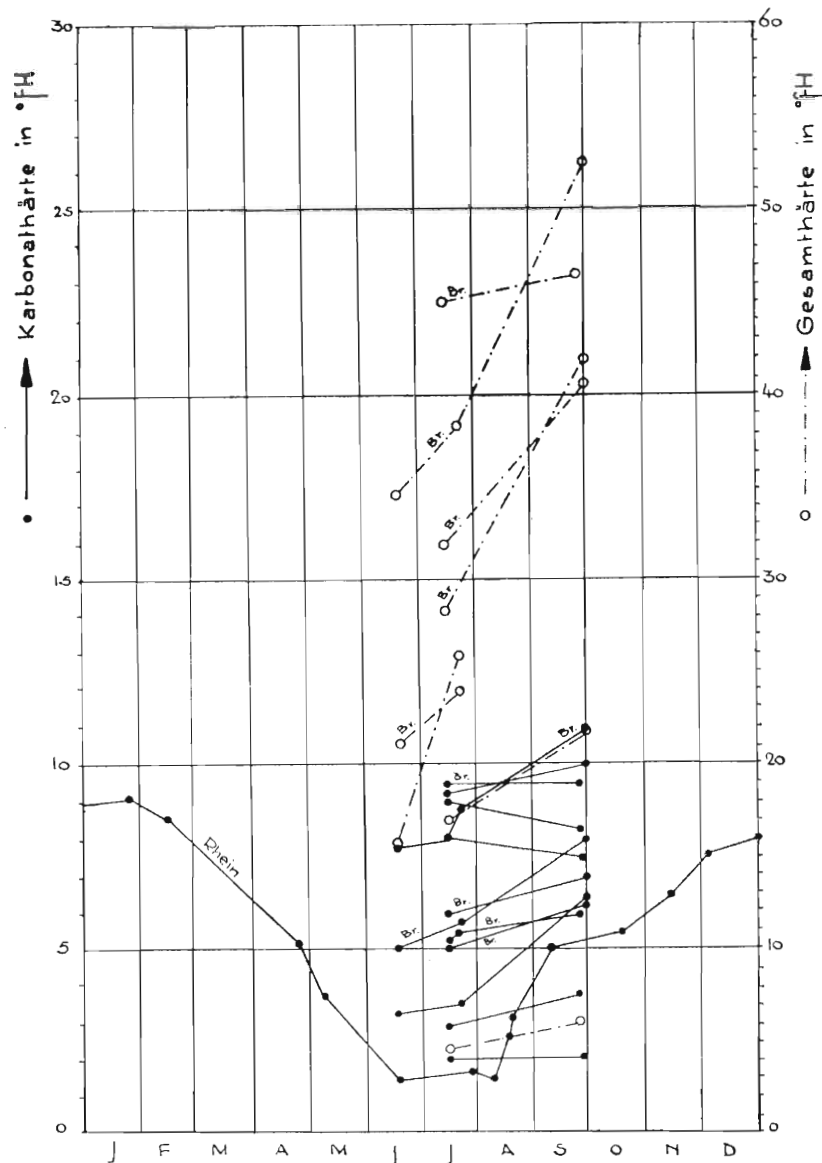


Fig. 21. Karbonat- und Gesamthärte der Lukmanier-Gewässer in Funktion der Jahreszeit. Br = Brenno d. L. (Kurve des Rheins, unterhalb Landquart, nach Jäckli [1957]).

Unter den wenigen Angaben, die wir über jahreszeitliche Härte-Schwankungen zu machen im Stande sind (Fig. 21), ist bloss hervorzuheben, dass allgemein die Zunahme Sommer—Herbst (Verdünnung) minder stark ist, als diejenige der Rheinkurve JAECKLI's und dass die Zunahme bei den Sulfathärten eine bedeutend grössere ist.

*

Die Kurven Fig. 15, 16 lassen zwischen Temperatur und Karbonatgehalt zweier Quellwässer eine gewisse umgekehrte Proportionalität erkennen, doch teilweise und in grösserer Entfernung

vor Quellaustritt recht ungleichmässig, sodass wir für die Karbonat-Abnahme vorwiegend Durchlüftung und Druckbefreiung als Ursache in Betracht ziehen. OERTLI (1952) konstatierte längs des Pivka-Flusses im Karst Jugoslawiens (7 km) eine Karbonatverminderung von bloss 0,2—0,4° fH pro km.

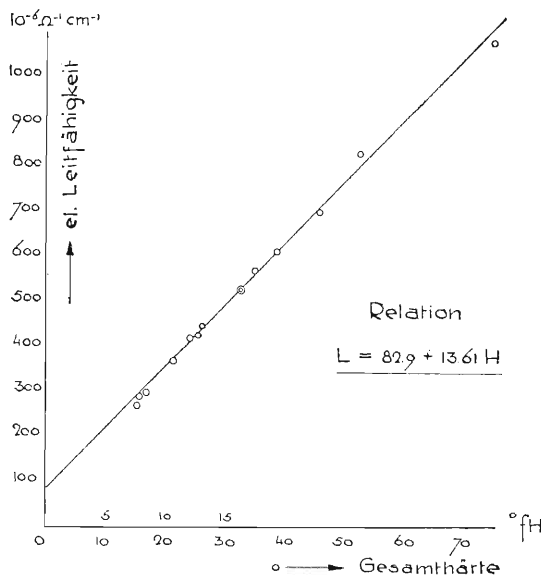


Fig. 22. Die el. Leitfähigkeit in Funktion der Gesamthärte. Korrelation $k = 0.997$. Nach Analysen der Blenio KW AG. Sommer/Herbst 1955, 1958.

Wie Fig. 22 zeigt, können wir in den Lukmanier-Wässern die el. Leitfähigkeit sehr angenähert als Mass für die Gesamthärte verwenden, indem zwischen den beiden (bei der Gesamthärte handelt es sich bekanntlich neben Karbonaten hauptsächlich um Sulfate) eine fast vollständige lineare Proportionalität besteht. Korrelationsfaktor $k = 0.997$. (Dies ist gar nicht der Fall in Bezug auf die temporäre Härte.)

*

Praktisches Interesse wird Kenntnissen der Härte von der Bautechnik entgegengebracht: in der Literatur steht die Konzentrationslimite der Betongefährdung («Gipstreiben») durch Sulfatwasser bei 200 mg SO_4''/l . (Die Maggia KW AG setzen nach mündlicher Mitteilung von Dr. LIECHTI eine untere provisorische Grenze bei 100 mg, die EMPA angesichts moderner Betonqualität die Zulässigkeit auf 300 mg SO_4''/l .) Im Falle Lukmanier, wo im Brenno bei Segno bis ca. 610, Campra bis 340 und Camperio bis 360 mg SO_4''/l ermittelt wurden, ist bei Betonbauten Spezialzement ohne Zweifel erforderlich.

5. BETRÄGE CHEMISCHER EROSION

Die zahlreichen im Lukmaniergebiet in den Jahren 1955—58 ermittelten Härtewerte ermöglichen im Verein mit den Abflusszahlen unserer 3 Limnigraphenstationen (1954—1958) die quantitative Erfassung der chemischen Erosion des Gebietes, wie sie die nachfolgende Tabelle zeigt.

Die dortigen Härteangaben sind soweit möglich Mittel von *Herbst-Werten* (Ende September/Anfang Oktober), da diese gemäss der Rhein-Kurve JAECKLI's (1957) (Fig. 21) ungefähr das jahreszeitliche Mittel darstellen. Bei den Abflüssen handelt es sich um Jahresmittel, allerdings teilweise verschiedener Perioden (in Klammer hinter Abflusswert). Hieraus sind die mehr aussagenden Abfluss-Höhen berechnet.

Bei der Ermittlung des gelösten Gesteins-Volumens wurde in Anbetracht der überwiegend vorkommenden kalkig-dolomitischen Gesteine das relativ hohe *spezifische Gewicht* von 2,8 eingesetzt. (Die Resultate dürften somit von dieser Stelle aus sicher nicht zu hoch ausgefallen sein.)

Im Lukmaniergebiet ergaben sich durch die 3 Limnigraphenstationen Pertusio, Segno und Campra 3 hydrographische Räume, wovon je die kleinern in den grössern enthalten sind. In der

Tat ist der chemische Abtrag in diesen recht verschieden gross. Die *Zahlen von Pertusio* sind indessen mit Vorbehalt aufzunehmen, da die dortigen oberirdischen Abflüsse bloss etwa der Hälfte der effektiven entsprechen dürften (Karstabzüge).

Der Gesteinsabtrag an *Karbonaten* der verglichenen, sehr verschieden grossen Einzugsgebiete des Brenno d. L. (bis Campra), des Brenno d. C. (Campo Blenio) und des Rheins (Ragaz) stimmen ziemlich genau überein: *in 25 Jahren wird auf chemischem Wege 1 mm Gesteinshöhe erodiert.*

Die gesamte gelöste und abtransportierte Mineralsubstanz (gleichgesetzt der Gesamthärte) dagegen ist im Lukmanier pro Flächeneinheit bedeutend grösser als in den beiden andern Gebieten. Es sind hier v. a. die leicht löslichen *Gipsgesteine*, von denen in 3—5 Jahren 1 mm (Rhein ca. 80 Jahre!) chemisch weggeschafft werden. Hinzu tritt gerade in diesen Gesteinsgebieten die ebenfalls sehr grosse mechanische Erosionsanfälligkeit.

Eine durch die *chemische Gesamt-Erosion* bewirkte (theoretisch gleichmässig verteilte) *Gebirgserniedrigung von 1 mm erfolgt im Lukmanier in 3—4 Jahren*, währenddessen im Gebiet des *Brenno d. C. in 11 Jahren*, in dem des *Rheins in 19 Jahren*. Der Abtrag durch chemische Lösung macht im Lukmanier ca. die Hälfte der vom Rhein (aus Schlamm- und Deltavermessungen) bekannten mechanischen Erosion aus (Rhein: mechanische Erosion 0,53 mm/Jahr, chemische Erosion 0,052 mm/Jahr = $\frac{1}{10}$ der mechanischen Erosion).

Beträge chemischer Erosion

	Brenno del Lucomagno			Brenno d. Camadra Campo Bl.	Rhein ¹ Ragaz
	Pertusio	Segno	Campra		
Einzugsgebiet km ²	4,91	24	34,9	84	4 307
Abflussmasse Mio m ³ /Jahr	4,4 (56—57)	40,7 (54—58)	68,7 (54—58)	150,3 (46—55)	4 739,8 (31—52)
Abflusshöhe mm	896	1697	1968	1789	1 100
Karbonate mg/l	60	92,5	62,5	71	102
Sulfate mg/l	91	505	343	87,5	30
Gesamt-Härte mg/l	151	597,5	405,5	158,5	132
Karbonate Abtrag t/Jahr	264	3765	4 294	10 670	449 100
Abtrag in mm Gesteinshöhe	0,02	0,056	0,04	0,04	0,04
Sulfate Abtrag t/Jahr	401	20 697	22 574	12 807	134 600
mm Gesteinshöhe	0,03	0,3	0,22	0,05	0,012
Total gelöstes Abtrag t/Jahr	665	24 462	26 868	23 477	583 700
mm Gesteinshöhe	0,05	0,36	0,26	0,09	0,052 (Delta Bod.- See 0,53)
gesamter chemischer Gebirgsabtrag in 1 Mio Jahren in m	50	360	260	90	50

¹ Rhein: berechnet nach *Jaeckli* (1957).

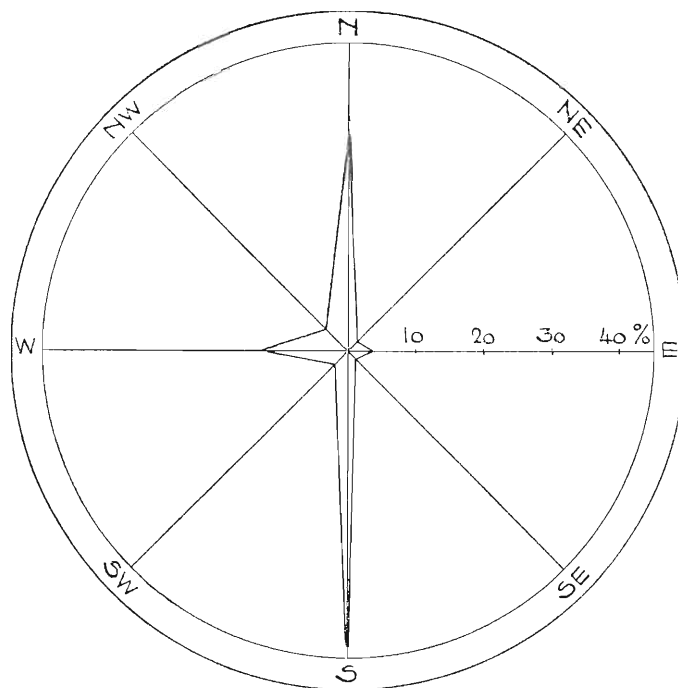
II. DIE KLIMATISCHEN GRUNDZÜGE

1. DAS BEOBACHTUNGSMATERIAL

Ein eingehendes Klima-Diagramm enthält die auf möglichst langer Beobachtungsperiode basierenden Jahresverläufe von Temperatur, relativer Feuchtigkeit und Niederschlag, sowie die Windrichtungen. In unsrem hydrologischen Untersuchungsgebiet fehlen entsprechende Messungen, doch steht das Beobachtungsmaterial der benachbarten Meteorologischen Stationen Campo Blenio, Comprovasco (MZA) und der Niederschlagsstation Olivone (MZA) zur Verfügung. In Fig. 23 bis 25 sind Resultate der erstgenannten unmittelbar benachbarten Station verarbeitet, die noch unpubliziert waren (zusammengestellt von WITSCHI, 1957).

Zumeist handelt es sich um auf Gebietsverhältnisse reduzierte Werte, wobei die Reduktionen für Pian Segno (Totalisator), unweit unter Acquacalda, vorgenommen wurden, das sowohl für das Untersuchungsgebiet charakteristisch ist, wie im Vergleich zur Bezugstation eine ähnliche Lage hat.

Fig. 25. Windrose. Campo Blenio. Windrichtungen 1947/48—1951/52



Die Reduktion der Temperaturen von Campo Blenio 1215 m auf unsere Gebietsverhältnisse (Pian Segno 1680 m) erfolgte gemäss den MAURER'schen Monats-Temperaturgradienten in SCHUEPP (1950), wobei wir die Mittel der Werte für Süd- und Nordseite der Alpen einsetzten.

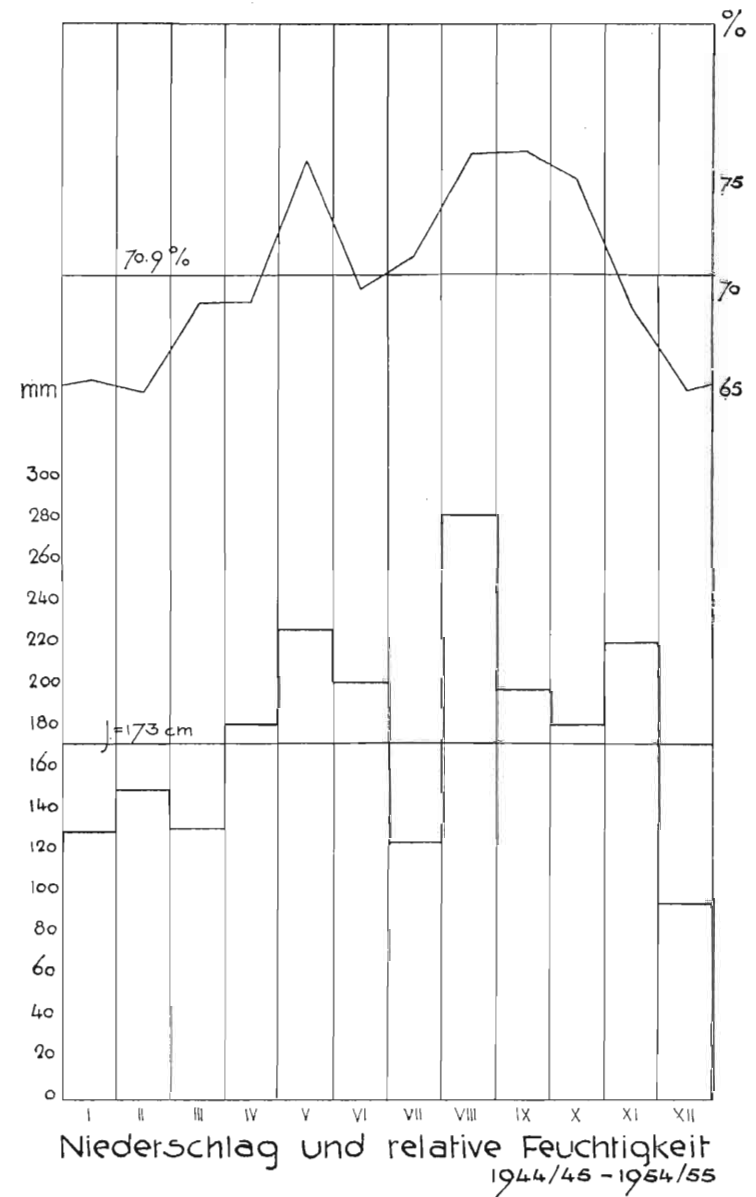
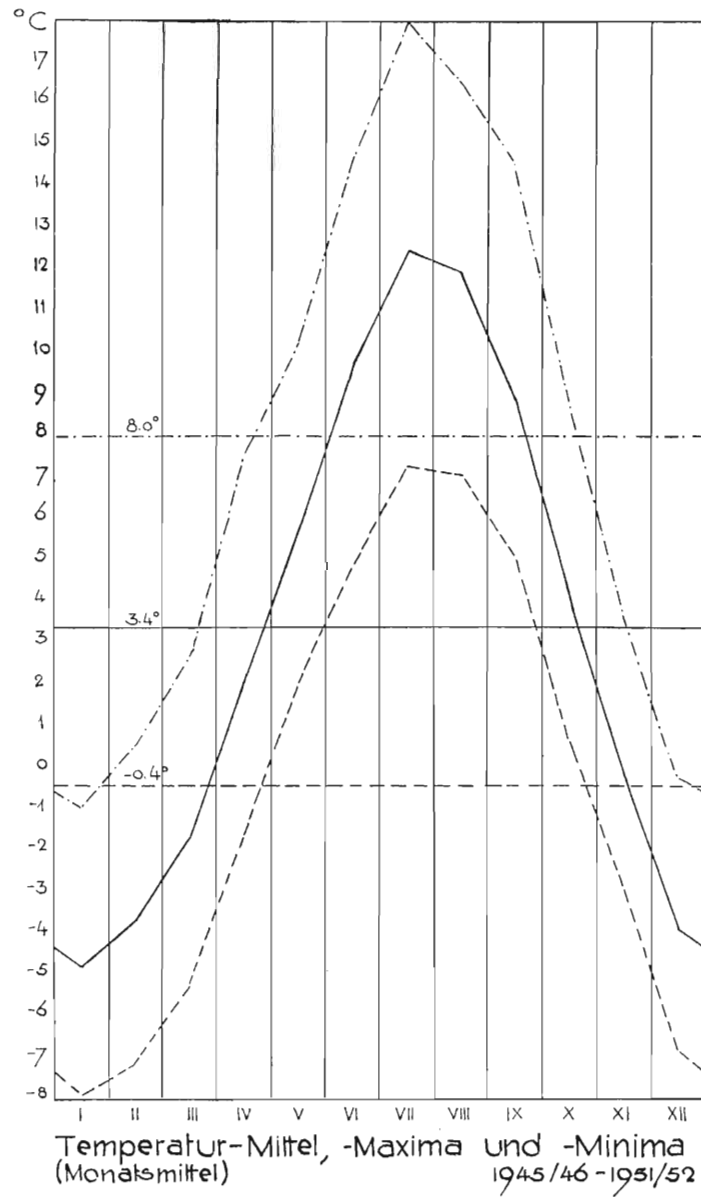
Die Extrapolation der Niederschlagshöhen geschah auf der Grundlage der eigenen Totalisator-Ergebnisse 1953/54—1957/58, die sehr kleine der relativen Luftfeuchtigkeit mittels Monats-Gradienten nach SCHUEPP (1950) und BURGER (1955): 0,2—0,25% pro 100 m Höhendifferenz.

2. ATLANTISCH-KONTINENTALER UND INSUBRISCH-MEDITERRANER TYPUS

Die graphischen Darstellungen Fig. 23 und 24 bezeugen, dass das von der alpinen Hauptwasser-scheide nach S abfallende Lukmanier-Tal wie landschaftlich so auch klimatisch als Uebergangs-zone zwischen nord- und südalpinem Regime mit stark insubrischem Einschlag zu bezeichnen ist.

Das n Nachbartal Val Medels gehört zur nordalpinen (atlantisch/kontinentalen) Klimaprovinz, allerdings bereits mit südlichem Einfluss. Auf der Südseite des Lukmanierpasses beherrscht talwärts Richtung Olivone mehr und mehr das mediterran beeinflusste südalpin-insubrische Regime das Geschehen.

Fig. 23 und 24. Klima-Diagramme von Pian Segno (Lukmanier) (extrapolierte Werte der Met. Station Campo Blenio)



Platta 1373 m

Sommer-Maximum der Niederschläge,
relativ niedrige Niederschlagsdichte von 9,2 mm (pro Jahr),
Niederschlagstage ca. 140,
trübe Tage 128,
heitere Tage 81,
Ozeanität 43° 12'

Olivone 800 m

Herbst-Maximum der Niederschläge,
Niederschlags-Dichte (pro Jahr) 14,4 mm,
Niederschlagstage 102,
trübe Tage ca. 90,
heitere Tage ca. 110,
Ozeanität 58° 40'

Den südalpinen Typus charakterisieren allgemein relativ hohe *Temperaturen* (Fig. 23), Niederschlagsreichtum und die konzentrierte Form der Niederschläge (kurze intensive Güsse). Die Alpensüdseite befindet sich in einer begünstigten «Spalierlage», hat Südexposition und durch den Alpenwall den Schutz vor bisigen Nordwinden. Diese entwickeln sich häufig zu *Nordföhn*. In ähnlicher Weise wie bei den unten erörterten Niederschlägen findet im Falle der warmen Mittelmeerwinde vor dem Alpengebirge ein *Temperatur-Stau* statt.

Die häufigsten Winde (Windrose Fig. 25) sind die warmen und entsprechend feuchtigkeitsreichen Südwinde aus dem Mittelmeerraum: Der steile Geländeanstieg auf der Alpensüdseite (Luv) bewirkt starke Staulagen, entsprechend intensive Kondensation und die Stärke der typischen *Stau-Niederschläge*. Nach BILLWILLER (1909) und GYGAX (1948) findet ein *Vorstau* statt, der bis in die lombardische Ebene wirksam ist, wie die ebenfalls hohen Südtessiner Niederschläge erweisen.

3. DOPPELTES REGIME DER ALPINEN KAMMZONE

MAURER (1909) führte allgemein den Niederschlagsreichtum des Tessins auf ein *doppeltes Regime*, auf sowohl nord- wie südalpine Einflüsse zurück. UTTINGER (1945) lässt ein solches bloss für Kammzone und oberste Täler gelten. Die hohen Werte am Scopi-Massiv, angeführt in allen älteren und neuern Klimabeschreibungen der Alpen, sind zweifellos dadurch bedingt, dass sowohl Nord- wie Süd-Staulagen auftreten. Häufige Bewölkung der höhern Gipfelpartien sind entsprechende Anzeichen.

Aus Fig. 23 lesen wir heraus, dass, was die Temperaturen betrifft, von einer «Spalierlage» in unsrem Untersuchungsgebiet nicht mehr gesprochen werden kann. Die Mitteltemperaturen liegen recht tief, nur unbedeutend über entsprechenden des nahen Nordhanges der südlichen Hauptkette der Alpen.

Die Niederschläge dagegen repräsentieren deutlich das doppelte Regime (Fig. 24): nord-alpin ist das Sommermaximum, (Olivone, Herbstmaximum, Fig. 38), doch weisen die Spitzen im Mai und November (Herbstmaximum des Tessins allgemein sonst im Oktober) unmissverständlich auf die mediterranen Regen hin.

III. KLIMA UND VEGETATION

Dem alpinen Klima des Lukmaniergebietes mit sowohl nördlichen wie südlichen Einflüssen entspricht zwangsläufig eine Flora mit sowohl alpinen wie insubrischen Zügen. «Merkwürdig berührt es uns, wenn in der Nähe der südlichen Kastanie auf den Flussalluvionen des Brenno (Olivone) herabgeschwemmte Alpenpflanzen, wie Iva und Edelweiss, zu finden sind» (FLUETSCH, 1948).

Auch der weisse Maulbeerbaum und die Feige werden in der Umgebung von Olivone noch angetroffen.

Schon unweit nördlich und südlich der Passhöhe zeigt sich die Verschiedenartigkeit der Naturen, und in dieser nord-südlichen Berührung liegt ein besonderer Reiz der Passlandschaft.

Im Val Medels fangen den Blick ein ausgedehnte Fichtenwäldungen (*Picea excelsa*). Bis weit gratwärts klettert die Grünerle (*Alnus viridis*). Auf der «Sonnseite», in der V. d. Lucomagno, bilden die trockenheitsliebenden, südlich anmutenden Föhren (*Pinus montana*), Arven (*Pinus cembra*) und Lärchen (*Larix decidua*) von Pertusio bis Acquacalda lichtdurchglühete Haine. Die Arvenbestände gehören zu den schönsten der Schweiz (Abb. 2, 3).

Und doch stellen sie bloss Reste einer verschwundenen Baumpracht dar, die in frühen Zeiten dem Uebergang die Bezeichnung *Lucus magnus*, grosser Hain, eingetragen haben dürfte. Ebenfalls Erinnerungen an einen alten «grossen Wald» (Flurname «Gualdo Maggiore»), durch den

damalige Passweg steil sich emporwand, sollen die einzelnen Edelkastanien (*Castanea sativa*) unter Pta. di Larescia darstellen.

Selbstredend befinden wir uns in den höhern Zonen des Untersuchungsgebietes in der Kampfzone der Alpenpflanzen, wie augenfällig die Krüppelformen, Einsiedler und Leichen der obersten Nadelhölzer dartun. Unter ihnen hervor wagen sich die Pionierkräuter Hunderte von Metern weiter empor. In höchster Einsamkeit erfreuen typische Schneetälchen-Floren: Soldanellen, Polsterpflanzen, *Ranunculus glacialis*.

Als zweite Besonderheit des Lukmaniers gesellt sich zur Berührung nördlicher und südlicher Typen in Verdoppelung des passlandschaftlichen Reizes der *Reichtum* an Pflanzen. Die Passkulation befindet sich des gewaltigen Einschnittes wegen, den die Erosion hier in den Alpenwall legte, noch tief in der Alpweidenregion. Den Passfahrer erstaunt deshalb zumeist nicht bloss das Fehlen des Passhöhe-Hospizes, sondern ebenso die Farbenfülle der Weiden und Blumenmatten dieses Hochgebirgsübergangs. In der Tat ist es ja der tiefstgelegene transalpine Pass zwischen der Schweiz und Italien, indem die Maloja bloss die Verbindung mit dem Engadin herstellt.

Was die Bedeutung der Vegetationsdecke für den *Wasserhaushalt* betrifft, kann bloss in dem relativ geringen Flächenanteil des Campra-Beckens von einer grössern Aufnahmekapazität des Bodens für Sickerwasser gesprochen werden. Die festgetretenen Weideböden weisen zumeist nur geringe Mächtigkeit auf, sodass hier die Einsickerung als klein zu bezeichnen ist. Dasselbe gilt in den höheren Gebieten ebenfalls für die Waldweide-Böden.

IV. DER WASSERHAUSHALT

1. DER NIEDERSCHLAG

Beobachtungsnetz und Messmethodik

Abb. 1 gibt Auskunft über die Lage der vorhandenen Beobachtungsstationen:

9 Hochgebirgs-Totalisatoren (Jahres-Totalisatoren) (Abb. 20)

1 kl. Monatstotalisator.

Benachbarte Bezugs- und Vergleichsstationen:

Meteorologische Station Campo Blenio

» » Comprovasco MZA

» » Platta, Medels MZA

Niederschlags-Station Olivone MZA

Man darf wohl sagen, dass dieses systematisch und sorgfältig kontrollierte Beobachtungsnetz in einem Gebiet von 34,9 km² verlässliche Werte zu liefern im Stande ist. Die nachfolgend besprochenen Niederschlagsverhältnisse der V. d. Lucomagno basieren demnach auf Totalisatoren-Resultaten, d. h. auf Jahressummen. Für die jahreszeitliche Verteilung wurden die Werte der angeführten Bezugsstationen mittels der Totalisatoren-Resultate auf Gebietsverhältnisse reduziert.

Der gebräuchliche Niederschlagssammler (Totalisator, Modell MZA, MAURER/BILLWILLER) wurde für Berggebiete entwickelt, wo eine dauernde Kontrolle nicht möglich ist (Winter!). Deren Niederschlagsverhältnisse können auf diese Weise wenigstens totalmässig erfasst werden, was in wirtschaftlicher Hinsicht zumeist genügt.

Den Hochgebirgs-Verhältnissen ist der Niederschlagssammler insofern angepasst, als die Auffang-Oeffnung ca. 3 m über Boden zu liegen kommt (Einschneien), zudem in den Rezipient Gefrierschutz (CaCl₂-Lösung) und Verdunstungsschutz (Vaselinöl) eingefüllt werden. Die Beschickung erfolgt zumeist im Sommer, während zu Ende des hydrologischen Jahres bloss eine Messung des Wasserstandes vorgenommen wird (Abstich mit Meterstab).

Das Messgefäss vermag 4,4 m Niederschlag aufzunehmen, indem die Proportion von Auffangfläche (200 cm²) zur Querschnittsfläche des Reservoirs 1:10 beträgt. Um die Eintritts-Oeffnung wird mittels eines konischen Windschutzringes eine künstliche Windstille geschaffen.

Der Platzierung der Apparate ist selbstredend volle Aufmerksamkeit zu schenken. Es ist zum einen ein weitmöglichster Schutz vor den Berggefahren (Steinschlag, Schneedruck, Lawine, Blitzschlag) zu suchen. Zum andern ist Hauptkriterium die lokalklimatische Situation, indem für ein gewisses Gebiet ein Mittelwert gewünscht wird.



Abb. 20 Piano dei Canali. Niederschlags-Totalisator. Gewichtsmässige Bestimmung des Schnee-Wasserwertes zur allfälligen Korrektur der Totalisator-Werte (Windverwehung!)
Aufn. Verfasser



Abb. 21 Pertusio. Abflussstation (Limnigraph) mit Ueberfall der Blenio KW AG. Hinten, am Fusse der Rauhwackewand, Austritt des Brenno d. L. (Karstquelle)
Aufn. Verfasser



Abb. 22 Feldmässiges Labor zur Ermittlung der Wasserhärte (Titationsmethode für Karbonat- und Gesamthärte)
Aufn. Verfasser

Technische Mängel, Fehlerquellen

Eine allgemeine Frage ist die der Zuständigkeit der Totalisatoren-Resultate überhaupt, worauf wir indessen bloss hinweisen, da darüber bereits eingehend diskutiert worden ist, so in LUETSCHG (1926), TOLLNER (1952), REIST (1958). Die Brauchbarkeit der Niederschlags-Totalisatoren wurde etwa schon schlechthin in Frage gestellt, indem in der Tat ihre Werte in Spezialfällen annehmbare Fehlergrenzen überschreiten. Allgemein aber liefern sie zweifellos Angaben, die bei entsprechender Erfahrung und Behandlung (z. B. Schneekorrektur, siehe unten) für das schwer zu erfassende Niederschlagsgeschehen des Hochgebirges gute Anhaltspunkte darstellen.

Kein geringerer als O. LUETSCHG hat 1945 betont: «Die Schwierigkeit ihrer Messung (der Niederschlagsgrösse) darf als überwunden betrachtet werden.»

Dennoch sind Fehlereinflüsse nicht zu vermeiden: Ansetzen von Rauheis und Schnee an der Auffangöffnung, Einschneien, Gefrieren des Inhaltes (Gefrierpunktserniedrigung) bis ca. -30° C), Gerinnen des Vaselineöls («Stockpunkt» nach BOHNER bei ca. -28° C), Bildung von Schneekuchen über Oel und entsprechende Verdunstung.

Zweifellos den grössten Fehlerfaktor stellt die Windverwehung dar. In der erhöhten Lage der Auffangfläche ist ausserdem die Windstärke grösser als in Bodennähe. Auch bei den geschützten Apparaten ist dieser wertverfälschende Einfluss teilweise sehr stark, so bei dem auf einem Ausläufer des Scopimassivs stehenden Totalisator Gana Negra, der Tal- und Bergwinden allzusehr ausgesetzt ist. Seine Resultate sind als etwas zu tief zu betrachten.

Im Grossegglockner-Gebiet, wo TOLLNER (1952) eingehende Untersuchungen über die Messgenauigkeit der Totalisatoren anstellte, ergab der ungeschützte Apparat im siebenjährigen Mittel 63 % (Juli) und 60 % (August) des mit Windschutz versehenen. Bei der Gipfelstation des Hochkönigs lautete das Resultat im vierjährigen Mittel sogar 29 %!

An dem durch starke Winde gekennzeichneten Mount Washington, USA (PAGLINCA, 1934) erhielten die ungeschützten Apparate folgende Niederschläge in % derjenigen der geschützten:

Wind	Regen	Schnee
0—4 km/h	97 %	96 %
100	74 %	33 %

Mit Ausnahme des 1956 verschwundenen (?) Monatstotalisators Campra standen im Untersuchungsgebiet nur geschützte Apparate.

LUETSCHG (1945) hält auf Grund seiner jahrzehntelangen Erfahrung dafür, die Ergebnisse der Totalisatoren dürften «eher etwas zu gross als zu klein» ausfallen. Kontrollstudien von REIST (1960) im Bavonatal sagen das Gegenteil aus. Mehrere in einer Profillinie einem grossen Totalisator zugesellten Monatssammler ergaben im Mittel 16 % Mehreinnahme. Auch MERCANTON (1953) berichtet vom Versuchsfeld Le Sentier (Vallée de Joux), dass in den Jahren 1942—51 der Pluviometer Hellmann 6,2 % mehr Niederschlag erhielt als der Totalisator MZA.

Angesichts der nachfolgend erörterten Schneeuntersuchungen (und der Abflusszahlen S. 108) neigen wir ebenfalls dazu, den Totalisatoren etwas zu kleine Werte zuzuschreiben.

Schneehöhen und Wasserwerte

In den Winter- und Frühjahrsmonaten 1954—57 nahmen wir im Lukmaniergebiet verschiedene Schneemessungen vor (Höhen, Profile, Wasserwert, Zuwachs in bestimmter Zeit), Erhebungen, die LUETSCHG (1945) als dringlich forderte. Sie vermochten indessen der relativ tiefen, dazu südexponierten Lage des Gebietes wegen (winterliche Schmelzperioden) ihren Hauptzweck, die Erfassung des Schnee-Niederschlags und gleichzeitige Prüfung und Korrektur der Totalisatoren-Werte, nicht durchwegs zu erfüllen.

1954 wurde ein geeignetes Instrumentarium zur gewichtsmässigen Wasserwertsbestimmung zusammengestellt, in der Absicht, die zeitraubende und umständliche Schmelzmethode zu umgehen. (Eine sorgfältige Vergleichsmessung (A. d. Croce, 11. 4. 54) ergab beim Schmelz-Wasserwert einen Minderbetrag von bloss 0,28 % des Gewichts-Wasserwerts, eine Grösse, die selbstredend innerhalb der feldmässigen Fehlergrenze liegt.) Im ausgehobenen Schneeschacht wurde eine Wand nach

«faziell» verschiedenen Schichten (Schneeart, Trockenheit, Korngrösse, Bindung) vermessen und im Profil verzeichnet.

Anschliessend wurden von oben nach unten dezimeterweise die Schichten mit einem auf 1 dm³ (1 Lt.) geeichten Blech-Kubus aus galvanisiertem Eisenblech abgestochen. Hierfür wurde zuerst eine Blechplatte 10 cm unter Schnee-Oberkante horizontal in die Schneewand eingeschoben, worauf bis auf diese Unterlage der auf einer Seite offene Abstecher-Kubus vertikal einen Schneewürfel ausschnitt (Abb. 20). Durch die Platte und durch Löcher auf der Rückwand des Abstechers wird Kompression und Ausweichen des Schnees auf ein Minimum beschränkt.

Der Abstecher-Kubus, gefüllt mit 1 dm³ oder einem bestimmten Bruchteil eines dm³ Schnee, wurde sodann gewogen. Die Differenz zwischen Inhalt und Gefäss ist gleich dem gesuchten Wasserwert. Die Wägung erfolgte mittels einer zusammenlegbaren Stangen- oder Hebelwaage der Eichstätte Bern, die wir für unsere Zwecke auf den Messbereich 0—1600 g umeichen liessen. Messgenauigkeit 1 g. Mittels Gegengewicht wird die Waage tariert.

Ueber Schneehöhen und Anteil des Schnees (Wasserwert) am Jahresniederschlag geben die nachfolgenden Zahlen Auskunft. Sie sind im allgemeinen eher als etwas zu klein zu betrachten (winterliche Schmelzzeiten).

Ort	m ü. M.	Jahr	Jahres-N.	Jan.—April Wasserwert Schnee	Schnee- anteil	mittlere Schneehöhe (April)
Canali	2100	53/54	261 cm	84,5 cm	32 %	191 cm
		55/56	235	728	31 %	> 278
		56/57	169	(43,0)	25 %	137
Tot. Lucomagno	1940	53/54	193	44,3	23 %	55
		55/56	145	38,2	26 %	135
Casascia	1810	55/56	191	35,5	19 %	120
A. d. Croce	1930	53/54	193	43,8	23 %	55

Schnee-Niederschlagstage sind für das Gebiet ca. 70 anzunehmen (Platta, Medels 61), in der Hälfte der Niederschlagstage fällt demnach der Niederschlag in Form von Schnee.

Die prozentualen Wasserwerte schwanken zwischen 27,7 und 40,6 % (Wasserwert des Schnees in Raum- oder Höhen %), das Mittel aus 12 vollständigen und sorgfältig gemessenen Profilen beläuft sich auf 34,4 %. Dabei beträgt der Wasserwert der jüngern hochwinterlichen Schneedecke (Januar) < 30 %, der der komprimierten Frühjahrsdecke > 35 %.

Sehr ungleich mächtige doch gleichaltrige Schneedecken weisen bloss einen geringen Wasserwerts-Unterschied auf. Auf eine Mächtigkeitsdifferenz von 1 m ergibt sich bloss ein Unterschied von 2,8 % (37,2, resp. 34,4 %). In Fig. 26 wird klar, auf welche Weise die Wasserwertskurve, als getreues Abbild des entsprechenden Schneeprofiles, verläuft (Unstetigkeiten an Schichtgrenzen).

6 Wasserwertskurven aus dem Bavona- und Lukmaniergebiet zeigen Verläufe für ebenfalls sehr verschiedene Mächtigkeiten. Eine mittlere Zunahme des Wasserwerts des Altschnees (ca ab 40 cm in den Bsp.) erfolgt ungefähr von 35 % auf 40 % (2 m).

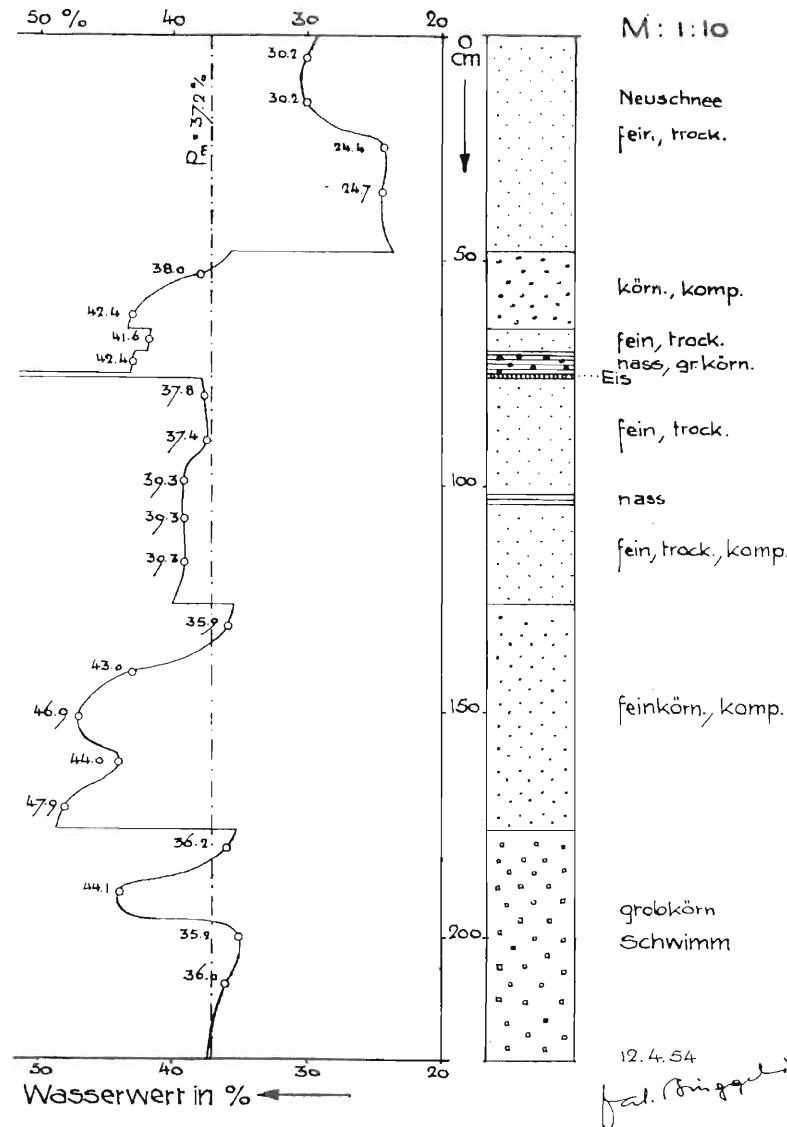
Eine Hauptaufgabe der Schneestudien ging dahin, die in der Umgebung der Niederschlags-sammler gefallenen Schneemassen zu erfassen, mit den Tot.Werten zu vergleichen und diese allenfalls entsprechend zu korrigieren, wenn sich, wie man vermutete, die zur Schneezeit verstärkten Windeinflüsse in Verfälschungen der Tot. Resultate einstellten.

Zum Zwecke der Wasserwertsbestimmung wurde jeweils im frühen Winter (Ende Dezember) die Schneeoberfläche zu Füßen des Totalisators mit einem Farbstoff fixiert (ultramarinblaue Mineralfarberde). Im folgenden frühen Frühjahr (April) erfolgte in einem Profil die Bestimmung der Wasserwerte bis auf das gekennzeichnete Niveau hinunter.

Aehnliche Versuche sind bekannt aus dem Grossglocknergebiet (TOLLNER, 1952) und dem Bavonatal (REIST, 1960). Im ersten Gebiet wurde in der Schneemasse 56 % mehr Niederschlag ermittelt als im Totalisator, im zweiten (Mittel aus 10 Messungen) 60 %.

Für das Lukmaniergebiet ergaben sich nicht derart gleichgerichtete Resultate. In den meisten Fällen stimmten Wasserwert des Schnees und Totalisatorwert ungefähr überein, in einigen ergaben sich indessen Minderbeträge in der Schneedecke bis zu 55 % (hier zweifellos Einfluss von Schmelzzeiten).

Fig. 26. Canali, Lucomagno 2100 m. Schneeprofil und Wasserwertskurve. Mittl. Schneehöhe 191 cm, Schneehöhe im Profil 227 cm, Wasserwert 84,5 cm = 37,2%



Andrerseits bestätigte sich besonders in der windreichen Passzone (Tot. Lucomagno) die Ansicht von der Werterniedrigung durch Windverwehung des Schnees. 1955/56 betrug der dortige Fehlbetrag im Totalisator für die Monate I—III = 71 %. Es ergab sich hier eine Korrektur des Tot. Wertes um 16 cm oder 11 % der Jahressumme.

Lawinen

Lawinen sind in der V. d. Lucomagno ausgesprochen typisch für die steile Nordflanke des Lucomagno-Massivs. Darauf hin weisen eindrücklich breite Waldschneisen, Stamm für Stamm nacktgeschunden, wie unter A. Ridegra.

Eine bauerliche Lawinen-Schutzmassnahme sind Lawinenkeile (Alphütte Campra, Kapelle Acquacalda), während die Hochspannungsleitung der ATEL verschiedenerorts durch moderne Verbauungen geschützt wird.

Im Lawinen-Winter 1950/51 riss eine Lawine das alte Hospiz von Acquacalda in die Brenno-Schlucht — verschont blieb die unmittelbar daneben stehende anmutige Kapelle (mit Keil).

Periode und mittlere Jahressummen des Niederschlags

Vorteilhafterweise enthält unsere fünfjährige Beobachtungsperiode 1953/54—1957/58 sowohl trockene (54/55, 56/57) wie sehr nasse Jahre (53/54, 57/58), sodass die Resultate in der Tat als für das Gebiet charakteristische Mittelwerte betrachtet werden dürfen (Tab. unten).

Die maximale Jahresschwankung der Niederschläge innerhalb der 5jährigen Periode (zwischen den 2 unmittelbar aufeinanderfolgenden, sehr ungleichen Jahren 1953/54 und 1954/55) lässt sich zu dem relativ grossen Quotienten von 1.5 errechnen.

Die mittlere Niederschlagsmasse für Gebiet und Periode beträgt 71,2 Mio m³, die entsprechende Niederschlagshöhe 204 cm, ein für das «doppelte Regime» der Kammzone typischer hoher Wert (Ermittlung aus den N Karten, entweder planimetrisch oder mit der Netzmethode).

LUCOMAGNO 34,9 km²

JAHRESWERTE DES NIEDERSCHLAGS

	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	Mittel
N Masse Mio m ³	87,8	57,4	72	59	80,8	71,2
N Höhe cm	248	164	205,5	169	231	204
Abs. Maximum	382	241	293	270	338	305
Abs. Minimum	178	115	163	127	168	150
Schwankungs-Koeffizient	2,1	2,1	1,8	2,1	2,0	2,0

Bei den Schwankungskoeffizienten fällt die grosse Einheitlichkeit auf; in trockenen wie in nassen Jahren scheinen die Differenzen annähernd konstant zu bleiben. Erstaunlich ist ihre Höhe: die niederschlagsreichste Station empfängt durchschnittlich das *Doppelte* der niederschlagsärmsten (Magliasina 1,55; GYGAX, 1948). Diese Differenzen sind v. a. ein Spiegel der grossen *Höhen*-Differenzen des Gebietes.

Die regionale Verteilung der Niederschläge

Die alte Regel $N = f(\text{Höhe ü. M.})$ gilt im Untersuchungsgebiet, wie ja allgemein im Detail und v. a. im Gebirge, nur sehr bedingt (Fig. 27). Die Lokalklimate werden v. a. durch die lokale Windexposition bestimmt. In Tab. S. 89 ist die Un-Regelmässigkeit in der Relation Meereshöhe/Niederschlag deutlich. In den Perioden-Mittelwerten stehen von den 10 Stationen deren 4 mit ihren Jahres-Niederschlägen unter tieferliegende zurück, 1956/57 sind es nicht weniger als 5.

LUETSCHG (1945) warnte mit Recht davor, Niederschlag/Meereshöhen-Kurven, wie sie Fig. 27 zeigt, auf andere Gebiete zu übertragen und zu verallgemeinern, besteht doch sogar innerhalb ein und desselben Gebietes, wie unser Exempel belegt, eine recht breite Streuung (Korrelationsfaktor $k = 0,91$).

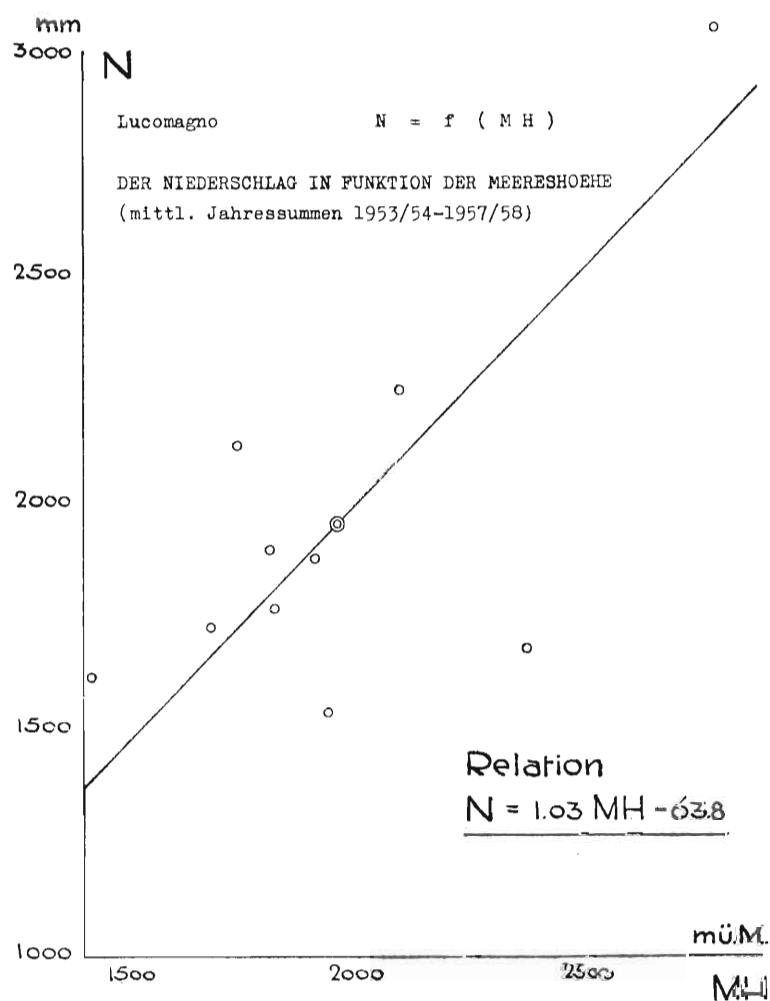
Nach der Relation resultiert ein *Niederschlags-Gradient* für die V. d. Lucomagno von 103 mm (± 103 mm Niederschlag pro 100 m Höhendifferenz). Ganz «abwegig» in Bezug auf die Regressionsgerade liegen die Punkte der Stationen Lucomagno Pso. und Gana Negra. Bei der erstgenannten ist zweifellos der penetrante Passwind im Spiele, der einmal die Resultate verfälscht (Verwehung), zum andern erfolgt ein stark verminderter Stau (mit entsprechender Kondensation des Wasserdampfgehaltes), im Gegensatz zu den Luftmassen vor den flankierenden Massiven. Der Verwehungs-Fehler konnte mittels Korrektur-Messungen (Schnee-Wasserwerte, S. 87) grossteils behoben werden.

Die *Niederschlags-Insel* aber besteht wirklich. Zu der obenstehenden Begründung sei beigelegt ein Zitat LUETSCHGs (1945), der im Zusammenhang mit seinem äusserst eingehend und

LUCOMAGNO 34,9 km² JAHRESSUMMEN DES NIEDERSCHLAGS DER EINZELNEN TOTALISATOREN

Station	m ü. M.	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	Mittel Periode
Campora	1415	178	115	185	150	180	162
P. Segno	1680	210	145	173	144	193	173
Ridegra	1740	249	181	228	167	239	213
Casascia	1810	235	154	191	147	222	190
Croce Port.	1820	222	149	179	165	168	177
Lareccio	1910	222	157	183	146	231	188
Lucomagno Pso.	1940	193	125	145	127	178	154
Canali	2100	261	191	235	169	268	225
Gana Negra	2380	209	129	163	150	187	168
Scopi	2800	382	241	293	270	338	305
Mittel Gebiet	1907	248	164	205,5	169	231	204

Fig. 27



modern untersuchten Gebiet Baye de Montreux (3,84 km², 39 Niederschlags-Sammler) ausführte: «Die oft zutage tretenden, manchmal recht erheblichen und überraschenden Unterschiede benachbarter Stationen tragen durchaus nichts Unnatürliches an sich. Sie werden oft, meist mit Unrecht, der Konstruktion des Niederschlagsmessers zugeschrieben. In der Regel sind es aber örtliche Verhältnisse, die hierfür verantwortlich gemacht werden müssen.»

Wie weit es sich bei Gana Negra dennoch hauptsächlich um Windfehler des den Scopi-Aufwinden ausgesetzten Totalisators handelt, bleibe vorläufig eine offene Frage. Ein Gürtel minimalen Niederschlags, wie er in den Niederschlags-Karten dort auftritt, lässt sich nicht ohne weiteres glaubhaft begründen.

Mit den vorstehenden Bemerkungen haben wir auch schon auf die Haupterscheinungen in den Niederschlags-Karten hingewiesen. Diese Karten stellen die eigentlichen Hauptergebnisse unserer Niederschlags-Untersuchungen dar.

Die höchstgelegene Station Scopi hat in der Tat auch den weitaus grössten Mittelwert zu verzeichnen. Ebenfalls erhält grosse Niederschlags-Mengen das Lucomagno-Massiv vis-à-vis. Es be-

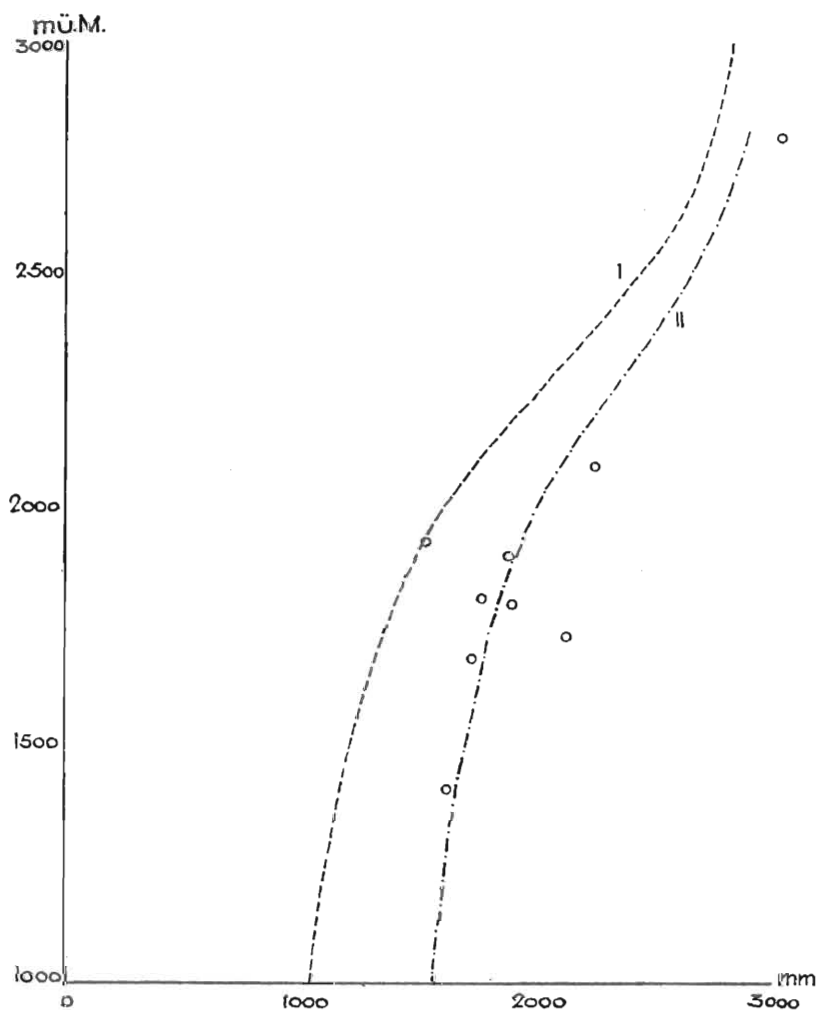
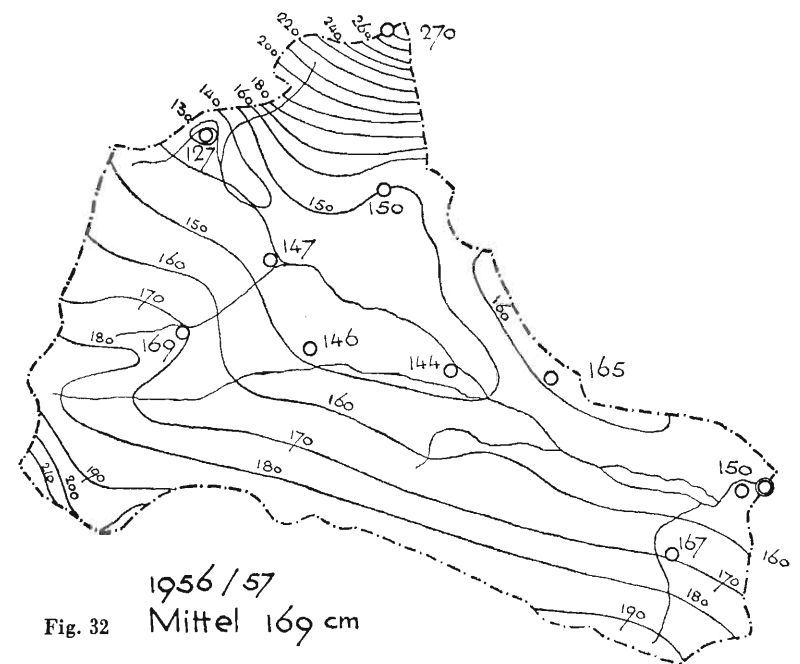
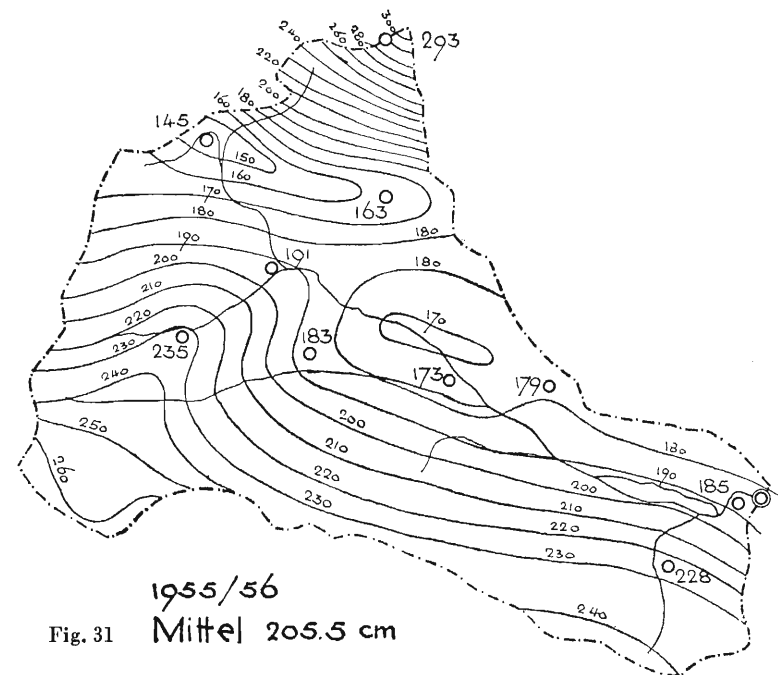
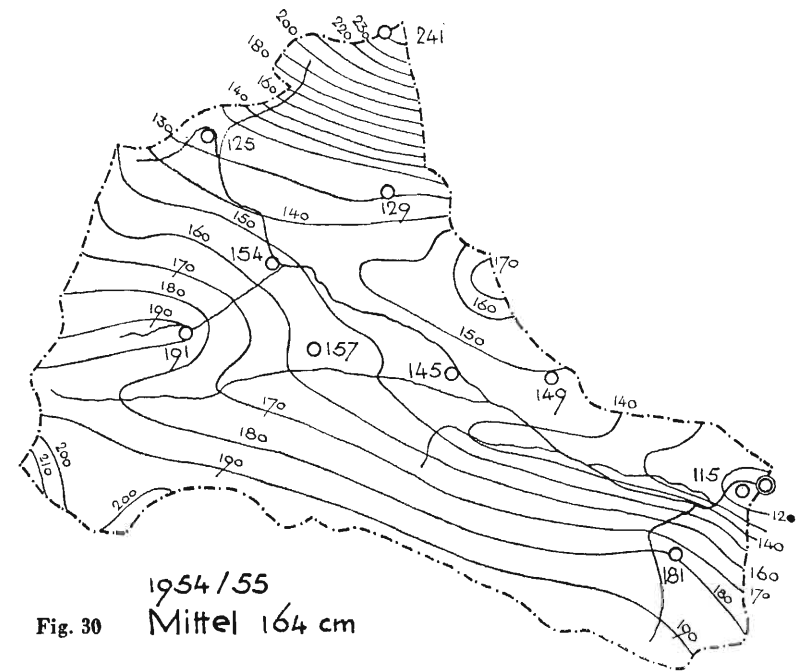
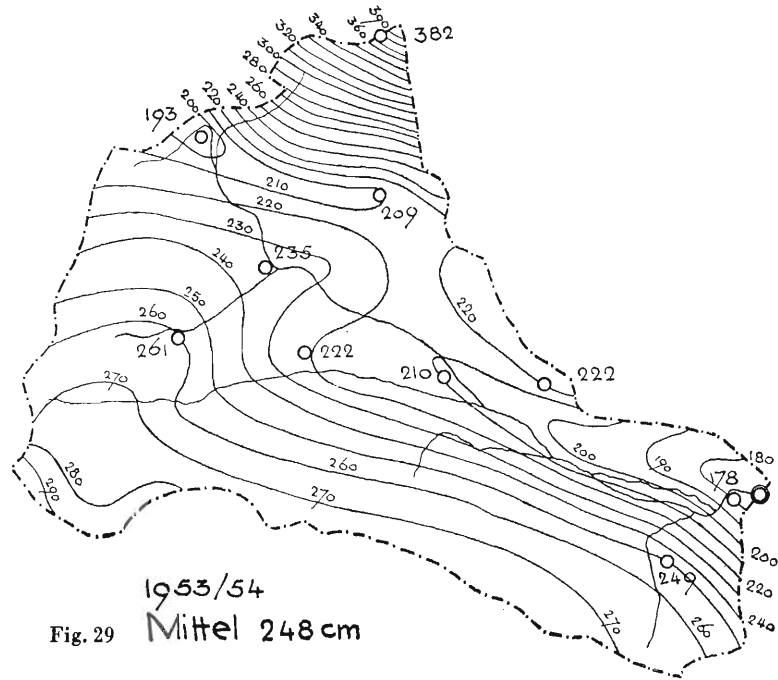
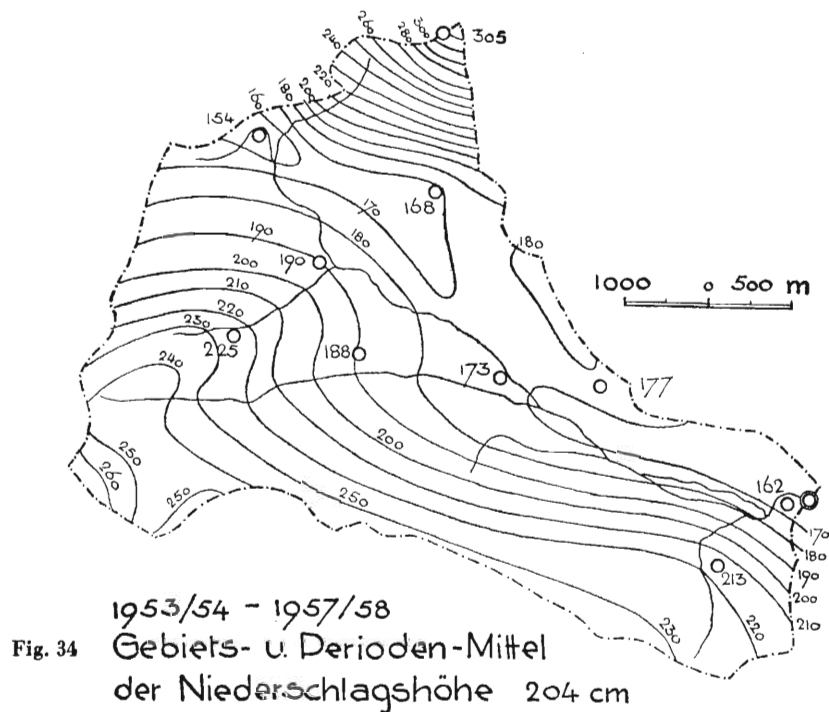
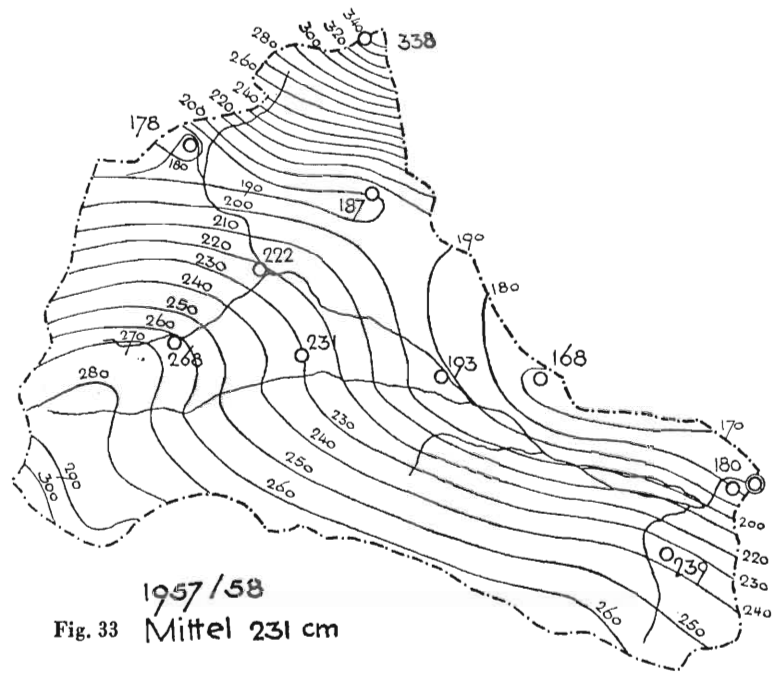


Fig. 28. Der Niederschlag in Funktion der Meereshöhe. Niederschlags-Höhen-Kurven aus der Literatur. I nach Tollner (1952) für das Grossglocknergebiet. II nach Witschi (1957) für das Greinagebiet. Punkte: Lucomagno, mittl. Jahressummen 1953/54—1957/58



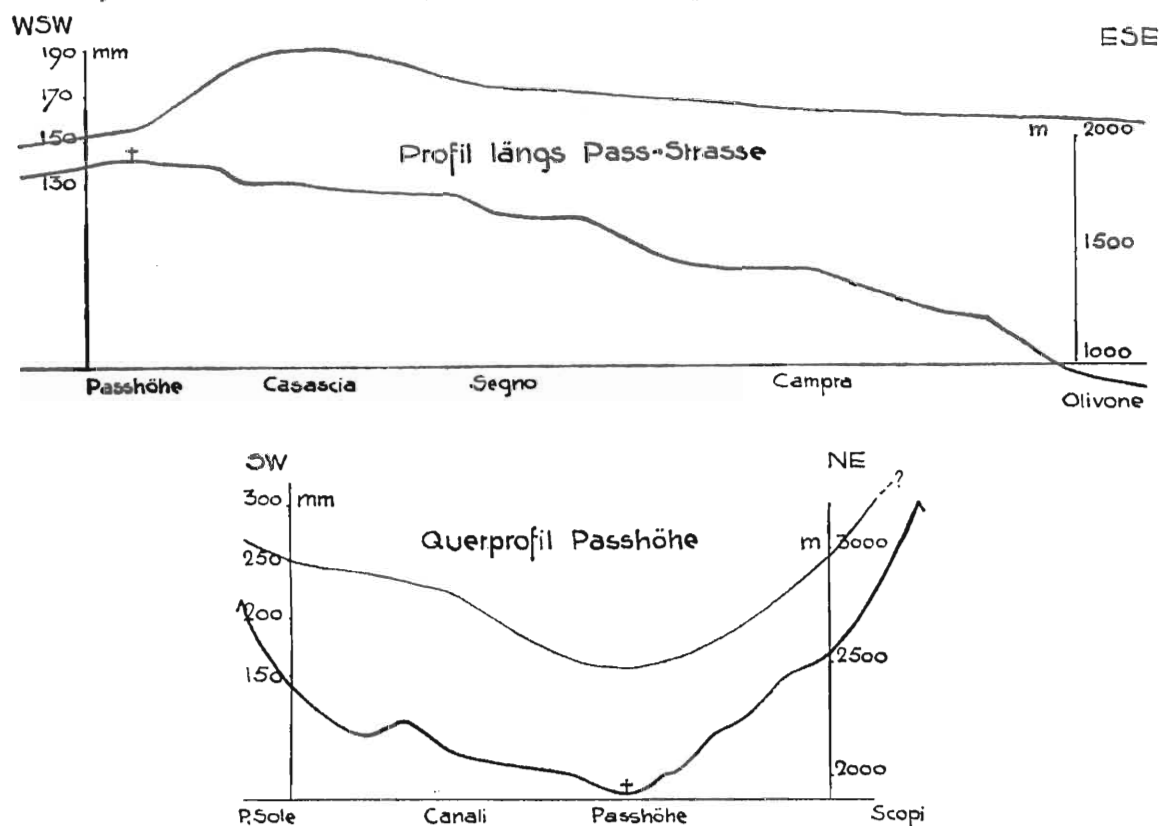


stättigt sich zudem, was GYGAX (1948) für das Malcantone feststellte, dass nämlich in den nas-
sen Jahren eine Akzentuierung der Unterschiede zwischen den einzelnen Orten sich einstellt.
Die aus den übrigen heraustretende Niederschlagskarte des trockenen Jahres 1954/55 zeigt dies
mit ihren grossen Isohyeten-Abständen deutlich.

Die *Niederschlags-Profile* (Fig. 35) veranschaulichen nochmals die Niederschlagsdepression
im Passhöhegebiet. Längs der Lukmanierstrasse von Olivone an aufwärts ist erst eine leichte suk-
zessive Niederschlags-Zunahme vorhanden, während oberhalb Acquacalda die Kurve versteilt

aufsteigt zum Maximum bei Casascia. Dieses dürfte v. a. dadurch bedingt sein, dass in dieser Gegend der Stau vor dem Scopimassiv am stärksten wirksam ist.

Fig. 35 und 36. Niederschlagsprofile



Die Ozeanität

Als charakteristisches Klimadatum eines Ortes gilt sein *Ozeanitätsgrad* (GAMS), der zum Vergleich der Niederschläge von Orten verschiedener Meereshöhe angewandt wird. Er gibt das Verhältnis von Jahresniederschlag zu Meereshöhe an und wird ausgedrückt durch

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Jahressumme Niederschlag (mm)}}{\text{Meereshöhe (m)}}$$

Je kleiner der Ozeanitätswinkel, desto kontinentaler das Klima und umgekehrt. Die Gradzahlen für das Lukmaniergebiet, dazu für einige Vergleichsorte, lauten wie folgt:

LUCOMAGNO. JAHRESMITTEL 1953/54—1957/58 (5 JAHRE). OZEANITÄTSGRADE

Campra	48° 52'	Lareccio	44° 34'
Segno	45° 50'	Lucomagno Pso	38° 40'
Ridegra	50° 40'	Canali	47°
Casascia	46° 23'	Gana Negra	37° 14'
Croce P.	44° 09'	Scopi	47° 29'

Mittel Lucomagno 46° 57'

Brissago	84°	Olivone	58° 40'
Locarno Muralto	82° 48'	Platta	43° 24'
Biasca	79° 47'	Disentis	ca. 41°
Comprovasco	68° 12'		

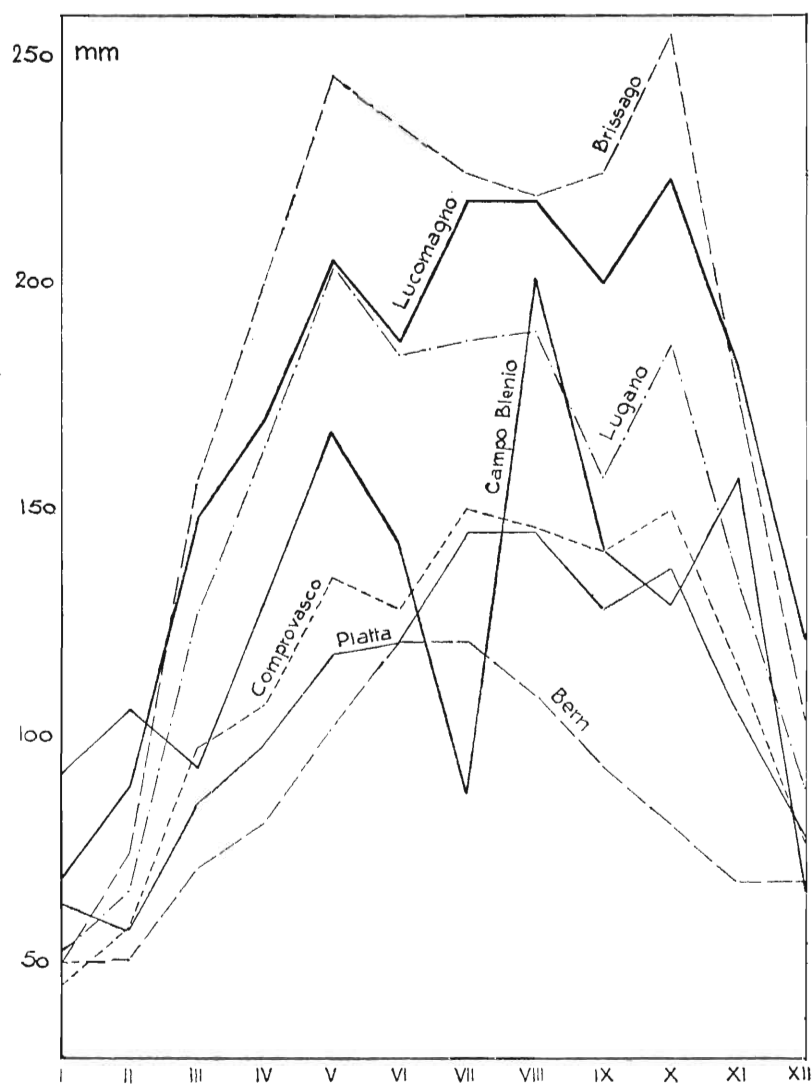
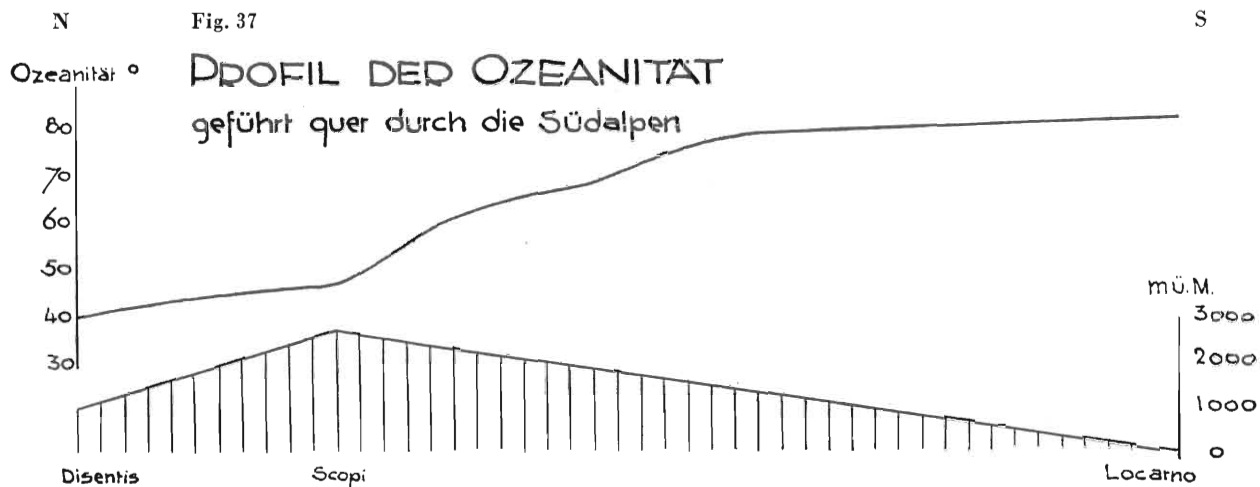


Fig. 38. Monatliche Verteilung der Niederschläge (Monatssummen), mit Vergleichsstationen. Mittel 1901—40. Lucomagno = auf mittlere Gebietssumme extrapolierte Werte Olivone

Ein Vergleich mit den Zahlen GYGAX' (1948) aus dem Malcantone zeigt, dass dieses südtes-sinische Gebiet um ganze 10° höhere Werte aufweist als der Lukmanier (Mittel Magliasina $58^{\circ} 58,5'$). Die «Kontinentalität» des Lukmaniers rührt allerdings v. a. von den grossen Höhen her. Vom Hochgebirge aus können Ozeanitäten nicht ohne weiteres mit solchen des voralpinen oder Flachlandes verglichen werden.

Die grösste Ozeanität finden wir in der Nordflanke des Lucomagnomassivs mit dem einzigen Gradwert > 50 , dann folgt der Scopi mit $47,5^{\circ}$. Das *Ozeanitäts-Querprofil* Fig. 37 erhellt, in welchem Masse sich vom Lago Maggiore aus der Südtau in grossen Ozeanitätsgraden widerspiegelt. Ein solcher scheint — allerdings in starker Abnahme vom Eintritt in die Gebirgstäler an (z. B. Biasca) — bis in die Kammzone zu existieren, indem noch von Olivone bis Lukmanier Passhöhe eine Abnahme von 10° erfolgt. Kontinuierlich setzt sich diese fort in das schon relativ kontinentale Vorderrheintal (ca. 40°).

Die zeitliche Verteilung der Niederschläge

Was die Verteilung auf die 5 Jahre unserer Beobachtungsperiode betrifft, wurde darüber bereits S. 88 gehandelt. Die monatliche Verteilung dagegen zeigen Tab. unt. und Fig. 38, wo nebst den Bezugs-Stationen einige weitere typische Stationen der Alpensüd- wie der Alpennordseite aufgeführt sind.

Die Kurve Olivone—Lucomagno darf mit ihren 3 Spitzen gemäss unseren Ausführungen S. 83 als *typisch insubrisch* bezeichnet werden: Herbst-Maximum, Nebenmaxima Sommer und Frühjahr. Dabei weist die Höhe der Sommer-Spitze bereits auf den alpin-kontinentalen Einfluss hin (doppeltes Regime), während in der 5jährigen Periode diese Spitze sogar dominiert (Fig. 24). Die Vergleichskurven des Tessins zeigen, in verschiedenen Höhenlagen, ähnliche Verläufe, mit Ausnahme von Campo Blenio, wo der kontinentale Charakter ebenfalls schon stark bemerkbar ist. Das dortige November-Maximum (nicht Oktober!) ist eine Parallele der Station Bernhardin, die von UTTINGER (1945) als Einzelercheinung bezeichnet wird. Als typisch nord-alpiner Jahresverlauf ist beigelegt jener von Bern.

Aus Fig. 38 erhellen die hohen Monatssummen, die der Lukmanier im Mittel zu verzeichnen hat. In den 5 Monaten Juni—Oktober erhält das Gebiet die selbe Menge Niederschlag wie Bern im ganzen Jahr.

LUKMANIER (REDUZ. WERTE OLIVONE UND VERGLEICH-STATIONEN)
MONATSSUMMEN DER NIEDERSCHLÄGE IN mm

MITTEL 1901—1940

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
Lukmanier	70	90	149	171	206	188	219	219	201	224	182	122	1467
Comprovasco	46	59	98	108	136	129	151	147	142	151	116	77	1360
Platta (Medels)	64	58	86	99	119	122	146	146	129	138	106	78	1291
Brissago	51	75	157	201	246	195	225	220	225	256	175	103	2089
Lugano	53	67	128	165	205	185	188	190	158	187	135	88	1749
Campo Blenio	93	107	94	130	168	144	89	202	142	130	158	68	1526
Bern	51	52	72	82	103	122	122	110	94	82	69	69	1028

Gegenüber diesen langjährigen Mittelwerten gibt Tab. unten Auskunft über die Extrema der gleichen Periode (1901—1940). In mehreren Monaten fiel einmal in 40 Jahren kein oder äusserst wenig Niederschlag. Die beiden Minimal-Monate Januar und Februar verzeichneten je 2 Mal keinen Niederschlag. Der Monat der Herbstspitze, Oktober, erhielt im Jahre 1921 6 mm! In ähnlicher Weise, mit umgekehrtem Vorzeichen, lassen sich die Maximalwerte diskutieren. Die teilweise gewaltigen Unterschiede spiegeln anschaulich die Schwankungskoeffizienten.

OLIVONE NIEDERSCHLÄGE
KLEINSTE UND GRÖSSTE MONATS- UND JAHRES-SUMMEN (MIT EINTRITTSJAHR)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Min.	0 11/23	0 23/29	8 35/38	27 11	3 19	8 25	12 11	36 06/26	0 12	26 21	26 01	0 21	876 21
Max.	241 19	323 25	282 16	274 28	304 32	346 16	385 36	349 34	333 18	413 28	476 26	313 10	2017 16
Schwank. Koeff.	∞	∞	35,3	10,1	101,3	43,3	32,1	9,7	∞	68,8	18,3	∞	2,3

Die *Schwankungs-Amplituden* der Monatsniederschläge der 40jährigen Periode (größte Abweichung der Monatsmittel vom Jahresmittel) nehmen, wie die folgende Aufstellung zeigt, von S nach N über die Alpen mit der Abnahme der Ozeanitäten ebenfalls leicht ab:

Magliasina	11,2 %	Lucomagno	7,5
Brissago	9,8	Platta (Medels)	6,9
Comprovasco	7,7	Bern	6,9

Einzelniederschläge

Wir haben im Lukmaniergebiet keine systematischen Beobachtungen und Messungen zur Verfügung, die eine detaillierte Charakteristik des Niederschlagsgeschehens im Einzelnen erlauben. Es bestehen indessen die unveröffentlichten Zusammenstellungen WITSCHIs (1958) der Zahlen unserer unmittelbar benachbarten Meteorologischen Station Campo Blenio, die wir, v. a. zu graphischer Auswertung, heranzogen.

Diese Werte, deren Periode 1944—55 sich mit der unsrigen überschneidet, dürfen ohne Zweifel auch als typisch für die Verhältnisse des Lukmaniers gelten, vermögen eindrücklich ein Bild des Niederschlagsgeschehens im Detail auch für unser Gebiet zu geben.

Häufigkeit und Dichte

$$N \text{ Häufigkeit} = \text{Anzahl Tage} \geq 1 \text{ mm } N$$

$$N \text{ Dichte} = \frac{\text{Monatssumme } N}{N \text{ Tage}}$$

Die Zahl der Tage mit ≥ 1 mm Niederschlag dürfte wie in Campo Blenio auch im Lukmanier mit 142 bereits vollständig alpin, erheblich über insubrischen Werten, stehen (vergl. S. 83). Ein dominierendes Maximum hat der Mai (Frühjahrs-Maximum allgemein charakteristisch für Kammzone) Sekundär-Spitzen weisen Februar (wohl Einzelercheinung) und Juli auf (allgemeines Sommer-Maximum, Gewitter!). Ein Herbst-Maximum besteht, wie auch andernorts, nicht, obwohl im übrigen eine klare Parallelität gegenüber den Monatsniederschlägen vorhanden ist.

Deutlich wird aus den beiden gegenläufigen Kurven Fig. 39, dass

- a) die grossen Niederschlags-Höhen im Mai auf *viele N Tage* zurückzuführen sind (Häufigkeit), dagegen

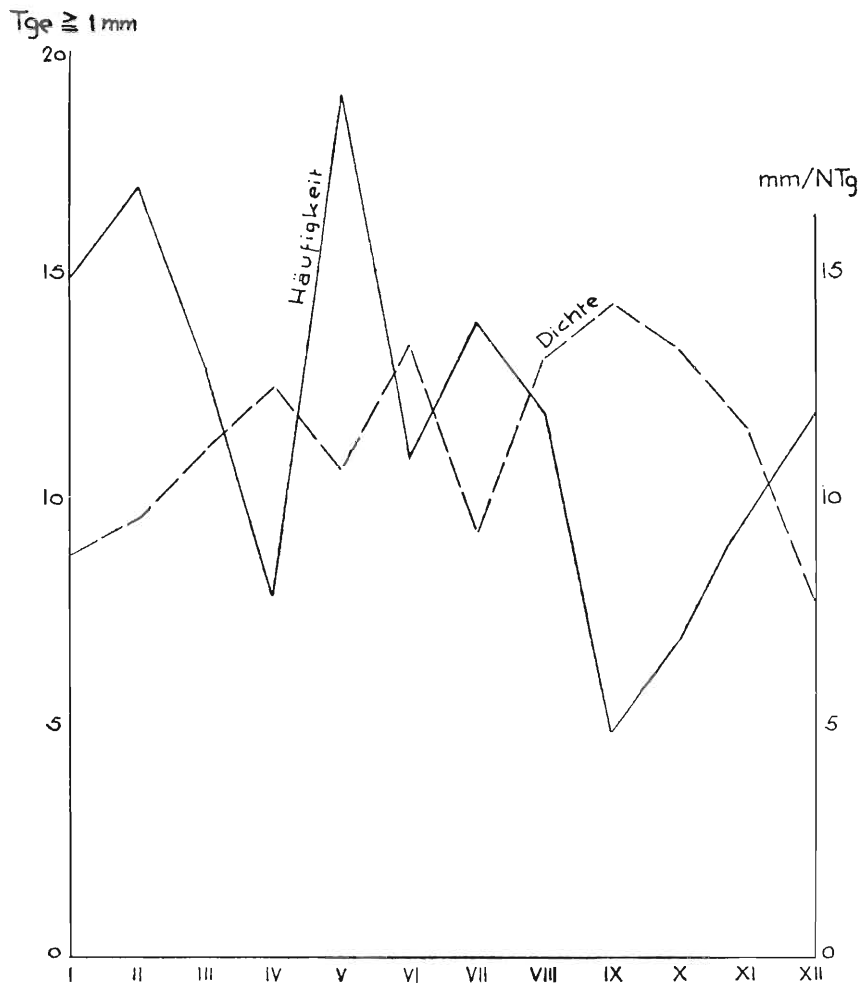


Fig. 39. Mittlere monatliche Niederschlags-Häufigkeiten und -Dichten von Campo Blenio 1944/45—1954/55

b) die Herbst-Maximalniederschläge auf *grosse tägliche Mengen* (grosse Dichte).

*

Ertrag. Die graphische Darstellung Fig. 40 bringt die starke Scharung um die kleineren Beträge von 1—5 mm (ca. 30%) zum Ausdruck. Die Niederschlagshöhen der Einzelregen ≤ 20 mm machen 78,7% aus. An grössern Erträgen, 50—100 und > 100 mm sind noch je rund 1—2% zu verzeichnen.

*

Dauer. In den beiden Spitzen der Kurve Fig. 41 spiegeln sich gewissermassen die beiden Seiten des «doppelten Regimes» der Kammzone der Alpen. Deutlich liegt das Hauptgewicht der Niederschlagsdauer mit 51,8% zwischen 30' und 6 h: das sind die Kurzregen der insubrischen Zone. Das 2. Maximum deutet auf die länger dauernden typisch alpin-nördlichen Niederschläge hin, wovon diejenigen > 12 h weitere 32,5% einnehmen.

*

Intensität ($= \frac{\text{mm N}}{\text{Min.}}$). Die Kurve Fig. 42 zeigt eine sehr einseitige Verteilung der Niederschlagsintensität: 95,2% machen jene $< 0,2$ aus, während auf die Intensitäten $> 0,3$ mm/Min. bloss noch je rund 1% fallen.

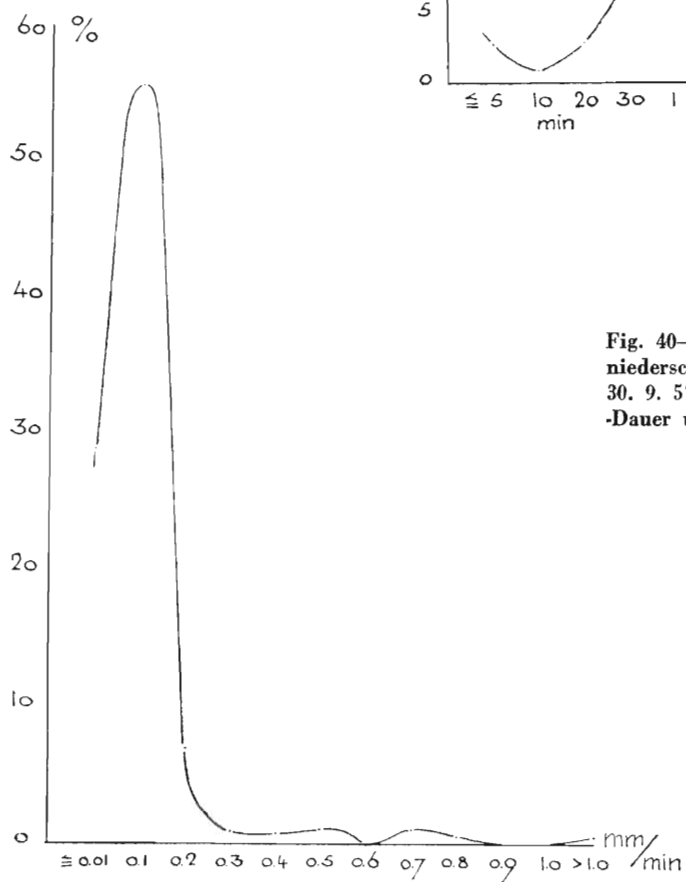
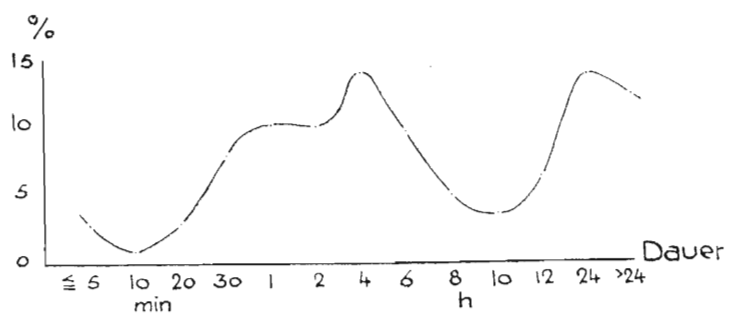
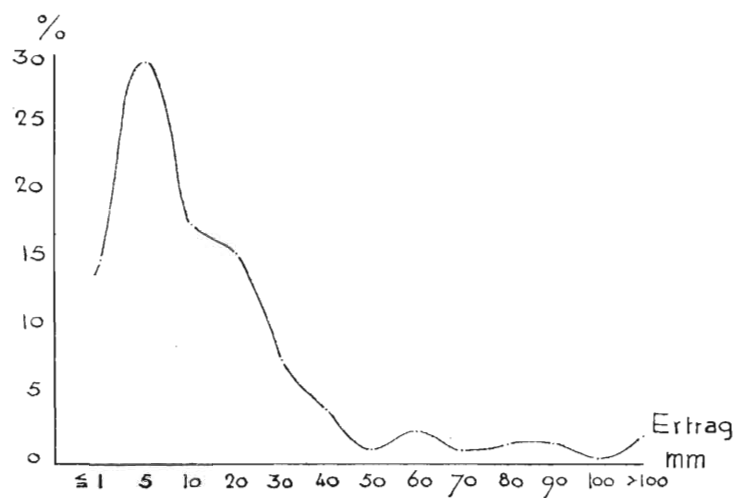


Fig. 40—42. Prozentuale Verteilung von 350 Einzelniederschlägen in Campo Blenio von 1. 10. 48 — 30. 9. 57. Kurven über Niederschlags-Höhe (Ertrag), -Dauer und -Intensität (mm/min)

Intensität und Dauer der in Campo Blenio aufgezeichneten 350 einzelnen Niederschläge sind nochmals zusammengestellt in Diagramm unten, eine graphische Darstellung wie sie uns bloss noch vom Magliasina-Gebiet bekannt ist (GYGAX, 1948), die übrigens die erste derartige Aufstellung überhaupt gewesen sein dürfte.

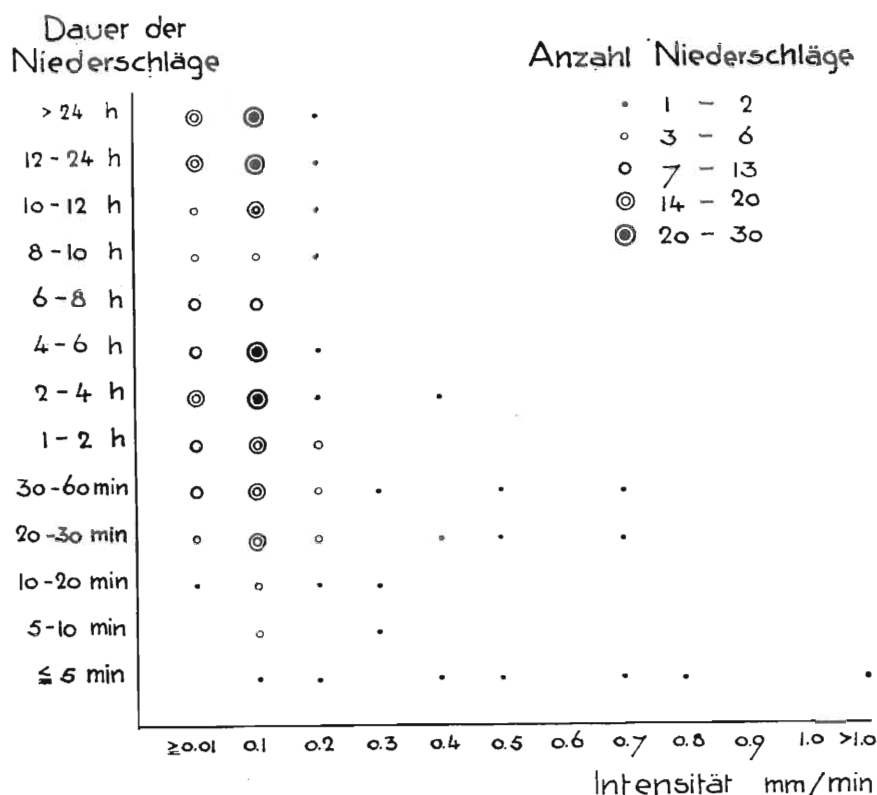


Fig. 43. Häufigkeit der Niederschläge in Funktion ihrer Dauer und Intensität. 350 Einzelniederschläge in Campo Blenio in der Zeit vom 1. 10. 1948—30. 9. 1957 (9 Jahre)

2 Häufigkeitsschwerpunkte treten daraus hervor, jene Niederschläge mit Dauer 20 Min. — 6 h und einer Intensität $< 0,1$ mm/Min., sodann jene von der selben Intensität aber Dauer > 10 h.

2. DER ABFLUSS

Die Messungen

Am Brenno d. L. stehen auf ca. 10 km 3 Abfluss-Mess-Stationen, ausgerüstet mit normalen *Limnigraphen* (Schreibpegeln). Derjenige von Pertusio (mit Ueberfall, Abb. 21) wurde erstellt durch die Blenio KW AG, die uns in freundlicher Weise ihre Resultate zur Verfügung stellte, die beiden andern Limnigraphen gehören dem Staat Tessin (Uff. cant. di economia delle acque).

Die Wartung dieser beiden Apparate Campra und Segno unterstand dem Geogr. Institut der Universität Bern, die Flügelmessungen besorgte dessen Direktor Prof Dr. F. Gygax, die Auswertung der Messungen teilweise ebenfalls das Institut, teilweise Herr Ing. C. Ghezzi.

Die Bestimmung der Abfluss-Grösse darf auf Grund der genannten Aufzeichnungen als gut gewertet werden (eine Ausnahme bilden die schwer zu erfassenden Hochwasser-Abflussmengen). Nach LUETSCHG (1945) mag unter günstigen Verhältnissen, wie sie in unserm Falle vorliegen, die Fehlertoleranz 1—2% betragen. Obwohl die Station Campra in einem epigenetischen Flusslaufstück steht, wird der Abfluss sozusagen vollständig erfasst; die ehemalige s Rinne wird durch Glazial- und Sturzschnitt abgedichtet.

Das hydrologische Jahr: 1. Oktober — 30. September

Zweifelloos ist im Wasserhaushalt unseres hochalpinen Gebietes die Ausrichtung nach dem hydrolog. Jahre von Vorteil, liegt doch das Ende des bürgerlichen Kalenderjahres bereits recht weit in der Zeit winterlicher Aufspeicherung. Dagegen bildet der Beginn des hydrolog. Jahres, v. a. für die Wasserwirtschaft (Füllung der Speicherbecken), eine deutliche *Zäsur im Wasserhaushalt des Hochgebirges*, es ist die ungefähre Grenze zwischen Winter-Speicherung und sommerlicher Aufzehrung.

Das hydrolog. Jahr stellt die bilanzmässige Einheit des Hochgebirgs-Wasserhaushaltes dar: die Niederschläge gehören zu den Abflüssen ein und des selben Jahres (und nicht, wie im Kalenderjahr, teilweise zu den nächstjährigen).

Was im speziellen den Lucomagno betrifft, war in der Tat in jedem Jahr zu Ende September der letztwinterliche Altschnee auch in den höhern Zonen sozusagen vollständig geschmolzen, zu-meist aber setzte schon bald im Oktober der Schneefall des folgenden Winters ein.

LUCOMAGNO 34,9 km² ABFLUSS-STATION CAMPRA JAHRESWERTE DES ABFLUSSES

	53/54	54/55	55/56	56/57	57/58	Summe	Mittel
A Masse Mio m ³ . .	81,6	64,6	66,7	61,5	72,8	347,2	69,4
A Höhe cm	233	184	191	176	208	992	198
A Spende l/s/km ² . .	73,7	58,1	60,2	55,7	65,7	313,4	62,7
Schwankungskoeffizient = 1,3							

Die Jahres-Werte

Der Brenno d. L. als der kleinere der beiden Brenno-Quellarme führte nach Tab. oben im Jahre eine Wassermasse von im Mittel 69,4 Mio m³ aus dem Lukmaniergebiet ins Blenio-Haupttal hinaus (Brenno d. Cam. 150 Mio m³). Auf die Fläche bezogen jedoch steht der A des Lukmanier-Brenno über jenem: mittl. A Höhe = 198 cm. In der nachfolgenden Aufstellung wird sein aussergewöhnlich *hoher spezifischer Abfluss* (A Spende) demjenigen einiger anderer Flüsse vergleichshalber gegenübergestellt. Gegenüber dem am ehesten zu Vergleichszwecken passenden des Greina—Brenno ist hervorzuheben, dass dessen Wert noch mit Hilfe von Gletscherwassern zustande kommt (Gletscher-Rückzug!) währenddessen der Lukmanier gänzlich unvergletschert ist.

MITTLERE ABFLUSS-SPENDEN

Brenno d. Lucom. (Campra)	62,7 l/s/km ²	(53/54—57/58)
Brenno d. Cam. (Campo Blenio)	55,6	(1947 —52)
Brenno (Loderio)	41,7	(1913 —51)
Ticino (Bredretto)	85,5	(1947 —52)
Moesa (Lumino)	42,1	„
Ticino (Bellinzona)	43,5	„
Maggia (Bignasco)	48,3	„
Tresa (Ponte Tresa)	39,1	„
Vorderrhein (Ilanz)	41,8	„
Reuß (Andermatt)	50,4	„
Rhone (Brig)	50,8	(1922 —51)

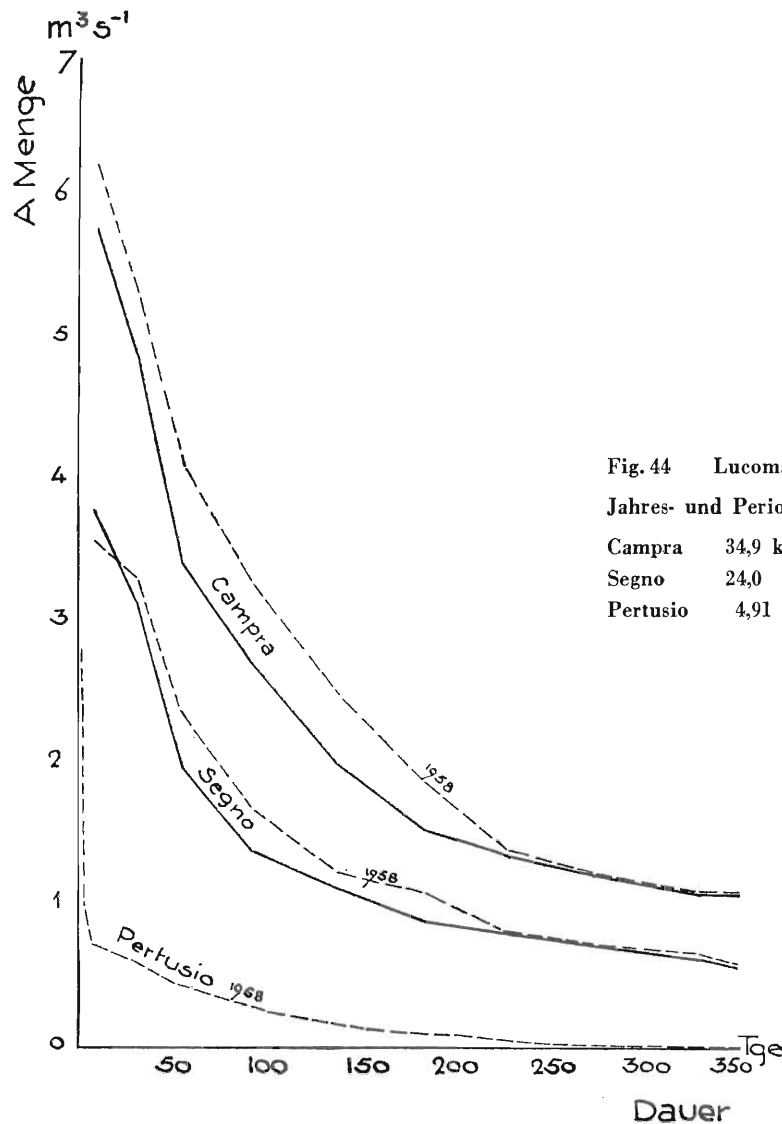
Die *Schwankungs-Amplitude* des Abflusses ist mit 1,3 relativ klein, d. h., der Unterschied zwischen abflussreichstem und -ärmstem Jahr niedrig (Magliasina = 2,9) (GYGAX, 1948).

Die Regel, wonach die Amplitude der jährlichen Schwankung der Abflusshöhen umgekehrt proportional der mittleren Höhe und der Vergletscherung des Einzugsgebietes sei (LUETSCHG, REIST), erweist sich im Lukmanier als nur teilweise richtig: wohl ist das Gebiet hoch gelegen, dagegen ist es völlig unvergletschert. Dennoch ist die Abfluss-Amplitude sehr klein. Auf die Gründe (andere Reservoirs als die von Schnee und Gletscher), wird S. 105 f eingetreten.

Dauerkurven

Jahres- und Perioden-Dauerkurven werden von hydroelektrischen Unternehmen in der Form von Fig. 44 erstellt. Sie orientieren über die *Qualität der Wasserführung* innerhalb eines bestimmten Zeitabschnittes. Besonders solche längerer Perioden geben wichtigen Aufschluss darüber, inwieweit im Jahresverlauf die Sicherheit einer dauernd genügenden Abflussmenge gewährt sei.

Die Kurven von Campra und Segno Fig. 44 haben ähnlichen Verlauf, hohe bis niedrige Wasserstände sind ungefähr gleichmässig vertreten, wogegen bei Pertusio die Mittelwerte überwiegen. Hier ist auch die Amplitude kleiner. Auf einen wirtschaftlich äusserst günstigen Charakter des Brenno d. L. deuten die von einer *relativ hohen Niederwasser-Menge* nur mehr sehr flach absteigenden Kurven von Segno und v. a. von Campra.



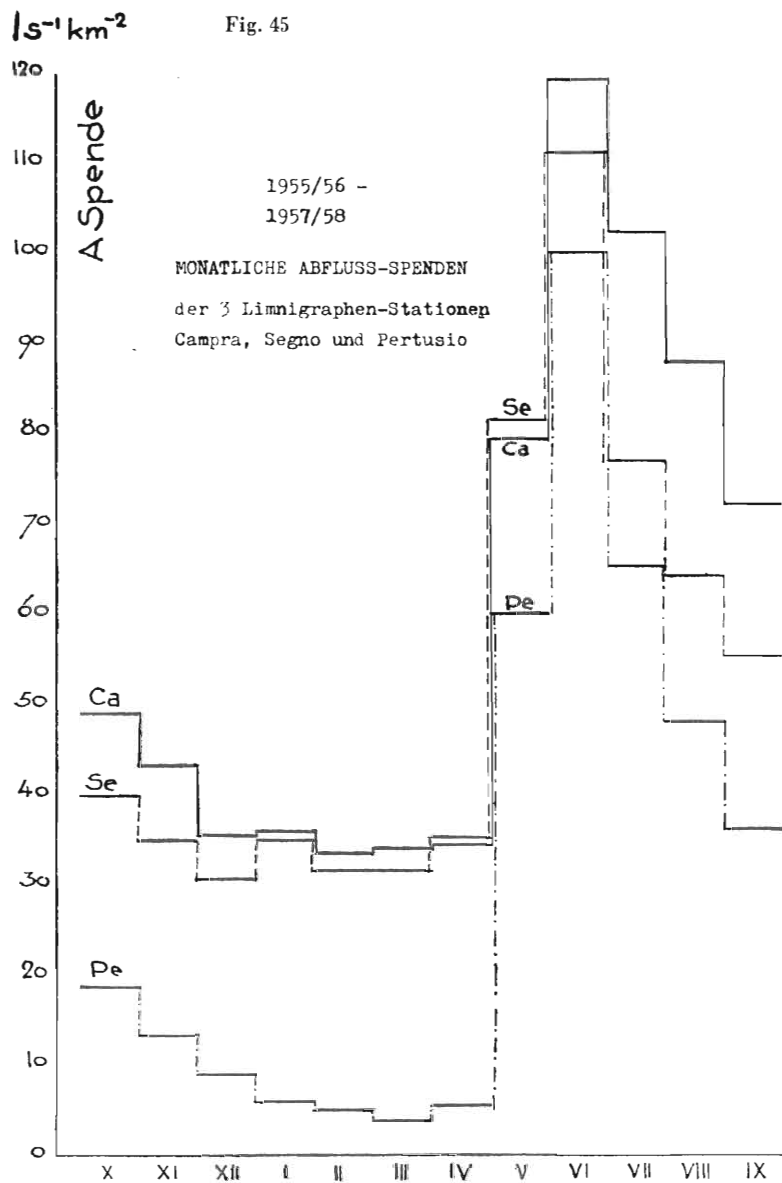
Der Jahreslauf des Abflusses (Monatswerte)

Nach Tab. unten und Fig. 45 (die überdies einen Vergleich der drei Stationen gestattet) muss der Abfluss des Brenno d. L. mit seinem alleinstehenden Juni-Maximum als von ausgesprochenem *Schneetypus* («type nivale pur» nach PARDE, 1920) bezeichnet werden. Das «Régime du versant méridional des Alpes suisses», wie allgemein das alpensüdseitige Regime nach PARDE bezeichnet wird, zeigt sich in unserem Falle als recht kontinental (zu Fig. 45, Tab. S. 105 ob.).

LUCOMAGNO

PROZENTUALE VERTEILUNG VON NIEDERSCHLAG UND ABFLUSS

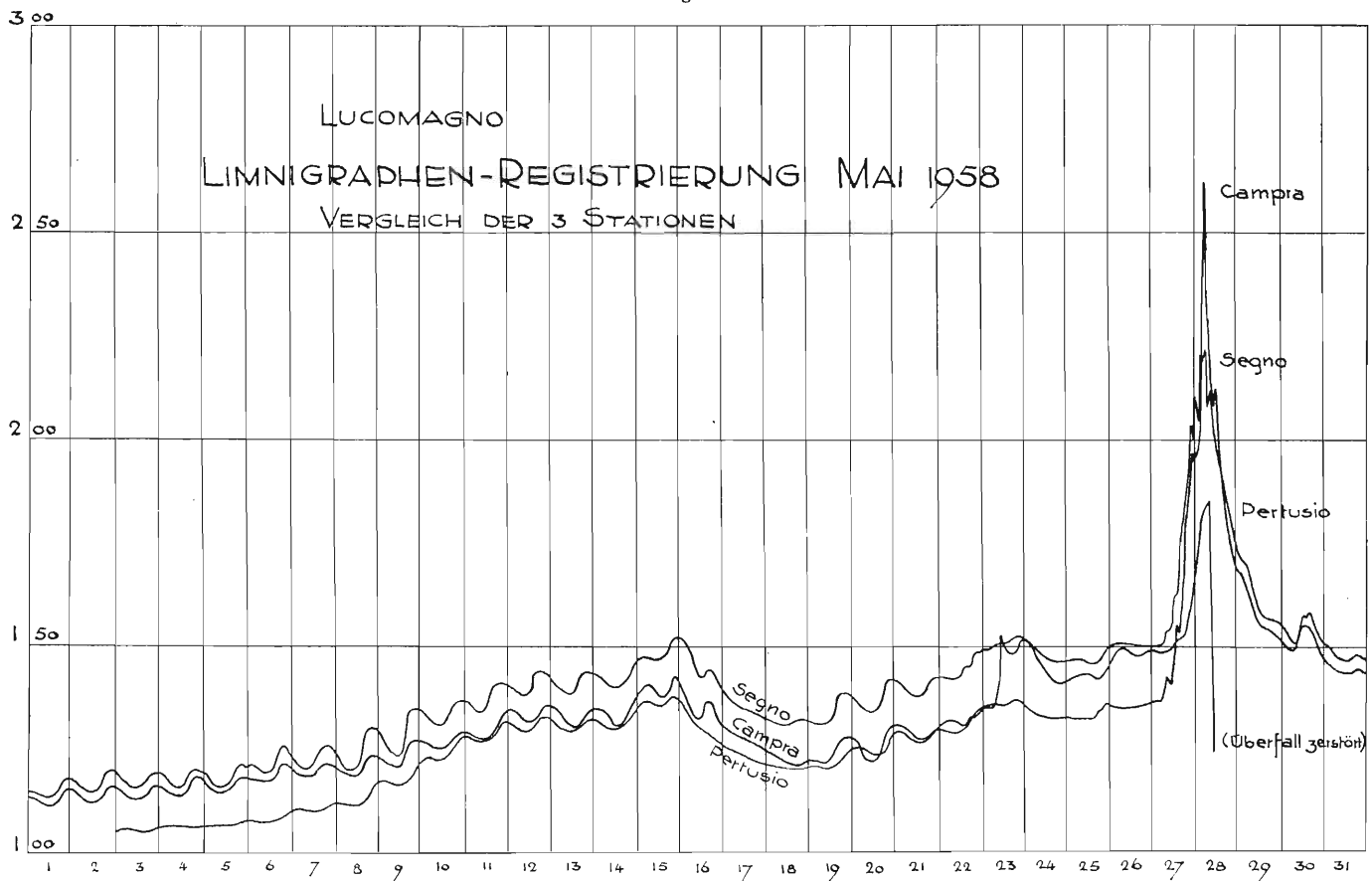
1953/54—57/58	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ
N	8,3	5,0	6,9	4,3	6,1	5,9	6,8	8,9	14,7	9,6	16,4	7,1	100
A	7,7	6,3	5,0	4,8	4,5	4,5	4,8	10,1	17,5	13,5	12,2	9,1	100



Ein durch die Niederschläge bewirkter insubrischer Einschlag wird überdeckt von den Wassermassen der *Schneesmelze*, und zwar v. a. dadurch, dass die insubrischen Frühjahrsregen in unserer Beobachtungsperiode (entgegen der 40jährigen, siehe S. 94) vom Mai auf den Juni verschoben erscheinen (Tab. S. 111). Indessen vermögen auch die südalpinen Oktober-Niederschläge, allerdings nur ein Sekundär-Maximum, den Abfluss nicht zu beeinflussen. In die Schneeschmelzzeit fallen ebenfalls die ausgiebigen Sommer-Niederschläge (Jahres-Hauptmaximum im August!). Das Verhältnis von Sommer- zu Winter-Abflussmenge beträgt ca. 2:1, wobei 33% Winter-Abfluss für das hochgelegene Gebiet beachtlich sind.

Nach Vorstehendem beginnt also die Abnahme zur typischen winterlichen Minimalwasserführung im Lukmanier nicht, wie üblicherweise im Tessin, im November, sondern direkt beim singulären Maximum des Juni. Das Jahres-Minimum wird Ende Februar, Anfangs März, nicht selten aber erst Mitte April erreicht.

Fig. 46



Die Minimal-Abflüsse bleiben sehr lange Zeit, vom Dezember bis und mit April, ungefähr konstant auf *recht hohen Niederwasserwerten* von etwas über $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Im Mai folgt ein rascher Anstieg der Kurve zur Schneeschmelze-Spitze, während der Abstieg etwas langsamer, doch auch relativ steil und v. a. stetig vor sich geht, da der Schneevorrat bald einmal erschöpft ist und keine Gletscher als Wasserspender an dessen Stelle treten.

Das Abfluss-Regime zur Zeit der Schneeschmelze ist charakterisiert durch starke Tagesschwankungen (*tägliche Periode*, zumeist von Anfang Mai bis Juli, selten bis August) wie sie Fig. 46 veranschaulicht, wo die 3 Abfluss-Stationen des Gebietes anhand einer Monats-Registrierung der Linnigraphen verglichen werden können.

Wie in andern unvergletscherten Gebieten treten in niederschlagsarmen Jahren *Sommer-Minimalabflüsse* auf (Juli—August—September), da kein Ausgleich durch Gletscherschmelzwasser geschaffen werden kann.

BRENNO DEL LUCOMAGNO 34,9 km²

ABFLUSS-STATION CAMPRA

MONATLICHE ABFLUSS-MENGEN IN MIO m³

1953/54 — 1957/58

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ	M
1953/54	8,813	6,765	4,553	3,672	3,223	3,171	3,421	6,186	12,038	9,279	13,366	7,154	81,641	6,803
1954/55	4,769	3,485	3,275	3,085	2,730	3,162	3,603	6,938	15,189	9,297	4,925	4,095	64,553	5,379
1955/56	4,044	3,473	3,268	3,187	2,831	2,973	2,923	7,180	8,294	11,007	8,597	8,968	66,745	5,562
1956/57	5,841	4,121	3,404	3,646	2,860	3,430	3,326	4,277	11,863	7,759	6,402	4,571	61,500	5,125
1957/58	3,914	4,164	3,378	3,266	2,920	3,171	3,050	10,852	12,277	10,022	9,668	6,091	72,773	6,064
Summe	27,381	22,008	17,878	16,856	14,564	15,907	16,323	35,433	59,661	47,364	42,958	30,879	347,212	28,934
Mittel	5,476	4,402	3,576	3,371	2,913	3,181	3,265	7,087	11,932	9,473	8,592	6,176	69,442	5,787

VERGLEICH: MONATLICHE ABFLUSS-SPENDEN DER 3 LIMNIGRAPHEN-STATIONEN
 PERTUSIO (4.9 km²) SEGNO (24.0 km²) CAMPRA (34.9 km²) REDUZIERT AUF DIE PERIODE VON PERTUSIO: 1955/56—57/58 (3 JAHRE)

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	M
Pertusio . .	18,7	13,5	9,0	6,0	5,1	3,9	5,5	60,1	100,0	65,2	47,9	35,9	33,8
Segno . . .	40,1	34,9	30,7	32,5	31,5	31,5	32,8	81,9	111,0	76,9	64,3	55,2	51,9
Campra . .	49,0	43,2	35,6	35,9	33,5	34,0	34,2	79,4	119,1	102,3	87,7	72,1	60,5

BRENNO DEL LUCOMAGNO 34.9 km² ABFLUSS-STATION CAMPRA
 MITTLERE MONATLICHE ABFLUSS-SPENDEN 1 s⁻¹km⁻² 1953/54—1957/58

Jahr	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	M
53/54	93,9	74,6	48,6	39,1	38,0	33,7	37,7	66,0	132,8	99,0	142,5	79,0	73,7
54/55	50,8	35,2	34,8	32,8	32,3	33,7	39,7	74,0	167,0	99,1	52,5	45,1	58,1
55/56	43,1	38,3	34,9	34,0	32,3	31,7	32,3	76,6	91,4	117,0	91,7	98,8	60,2
56/57	62,2	45,4	36,3	38,9	33,7	36,6	36,6	45,7	131,0	82,8	68,3	50,3	55,7
57/58	41,7	46,0	35,7	34,8	34,6	33,7	33,7	116,0	135,0	107,0	103,0	67,1	65,7
M	58,3	47,9	38,1	35,9	34,2	33,9	36,0	75,7	131,4	101,0	91,6	68,1	62,7

Die Schwankungen

Die Schwankungsquotienten des Abflusses des Brenno d. L. sind nicht die hohen eines typisch tessinisch-alpinen «Torrente». Sie sind beispielsweise bedeutend geringer als diejenigen der Magliasina im Sottoceneri (GYGAX, 1948), die wir in Klammer den untenstehenden Koeffizienten beifügen. V. a. sind die Jahreswerte sehr gleichmässig.

In Tab. unten sind nochmals zusammengestellt die extremen Monatsmittel für jedes Jahr. Tab. S. 106 führt in entsprechender Weise die Tagesmengen auf. Schliesslich sehen von Stufe zu Stufe die *Schwankungs-Koeffizienten* wie folgt aus: Tab. II, S. 106.

LUCOMAGNO ABFLUSS EXTREME MONATS-MITTEL EINES JEDEN JAHRES (A HÖHE IN mm)

A Höhe	Maximum		Minimum		Schwankungs-koeffizient
	Monat	mm	Monat	mm	
1953/54	August	382	März	91	4,2
1954/55	Juni	434	Januar	88	4,9
1955/56	Juli	314	Februar	81	3,9
1956/57	Juni	339	Februar	82	4,1
1957/58	Juni	353	Februar	83	4,3
Mittel		364		85	4,3
extremer Schwankungs-Koeffizient = 5,4					

LUCOMAGNO ABFLUSS EXTREME TAGES-MITTEL EINES JEDEN JAHRES (A MENGE IN MIO m³)

Jahr	absolutes Maximum			absolutes Minimum			Schwankungs- koeffizient
	Monat	Tag	Betrag	Monat	Tag	Betrag	
1953/54	August	15.	18,82	III, IV, XII	div.	1,18	15,9
1954/55	Juni	8.	12,3	Februar	div.	1,12	11,0
1955/56	September	3.	6,74	April	21.—23.	1,05	6,4
1956/57	Juni	24.	12,4	Februar	19.	1,10	11,3
1957/58	Mai	28.	18,9	April	19.	1,06	17,8
Mittel			13,83			1,10	12,5
extremer Schwankungs-Koeffizient = 18,0							

CAMPRA/LUCOMAGNO
SCHWANKUNGS-KOEFFIZIENTEN DES ABFLUSSES

1953/54—1957/58

Jahre	1,3	(2,9)
Monate a) Mittel innerh. Jahre	4,3	(11,4)
b) Extreme	5,4	
Tage a) Mittel innerh. Mon.	12,5	(57,0)
b) Extreme	18,0	(113) (Brenno d. Cam. 77)
Abs. Extreme	57,9	
abs. größter Abfluß (Spitze)	60,8 m ³ s ⁻¹	(15.8. 54)
abs. kleinster Abfluß (Tagesmittel)	1,05	(21.—23. 4. 56)

3. NIEDERSCHLAG — ABFLUSS — BEZIEHUNGEN

Jahressummen und Periode

Die Diskussion der Diagramme Fig. 47 und 48 hat vor allem zur Deutung des *Sonderregimes* des Lukmanier-Brenno beizutragen. Sie fällt nicht leicht. Zweifellos bleiben offene Fragen, die erst auf Grund einer bedeutend längern Beobachtungsperiode in Angriff genommen werden können.

Fig. 47 und 48 zeigen, dass allgemein eine gute Parallelität (lineare Abhängigkeit) zwischen Niederschlag und Abfluss vorhanden ist (Korrelationsfaktor $k = 0,93$). Was indessen sonderbar erscheint, sind die Verläufe von N minus A und der Abflusskoeffizienten (die letztern werden im folgenden Abschnitt erörtert): für 2 Jahre wird $N - A < 0$, d. h. negativ; *in diesen ganzen Einzeljahren ist der Abfluss grösser als der Niederschlag!* Dies ist einerseits auf die Karst-Hydrologie des Gebietes, andererseits auf Wasserzufluss aus Fremdgebieten zurückzuführen, wozu die Details später dargelegt werden sollen. Auch im Perioden-Mittel bleibt $N - A$ bloss sehr wenig über 0.

Was die lineare Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss in Fig. 48 betrifft, so ist auch hier der Mangel eines grössern Streubereiches der Punkte fühlbar, sodass die Weiterführung der Regressionsgeraden bis $N = 0$ problematisch wird. Eine längere Beobachtungsperiode dürfte

Fig. 47. Lucomagno. 1953/54—1957/58. Niederschlag, Abfluss und Niederschlag — Abfluss. Jahreswerte und Periodenmittel

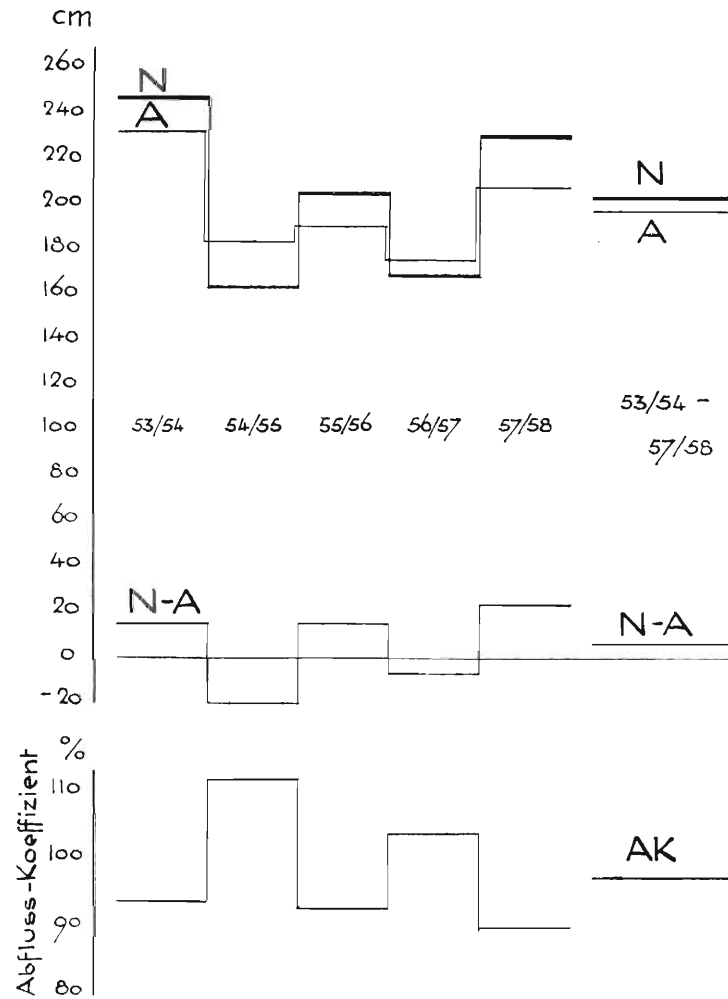
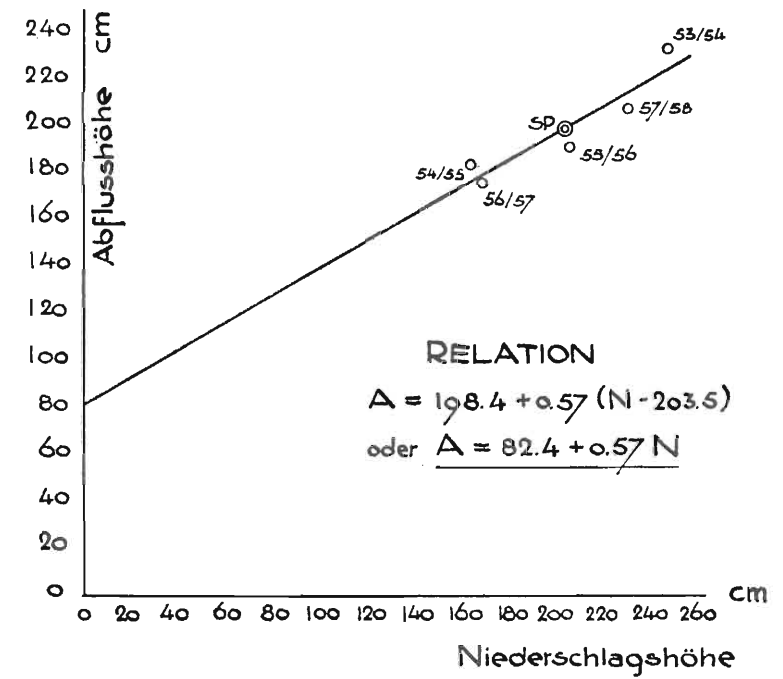


Fig. 48. Lucomagno. 1953/54—1957/58. Der Abfluss in Funktion des Niederschlags



einmal gewisse *Korrekturen* erbringen (in der Richtung, wie sie auf Grund der Fremdwasser-Zuschüsse Bilanz-Diagramm Fig. 59 zeigt).

Dass jedoch die Gerade Fig. 48 erheblich über dem Ursprung die Ordinate schneidet, ist zweifellos richtig. Es heisst dies (umgekehrt als beispielsweise im Bavona- und Magliasinagebiet, REIST, 1960 resp. GYGAX, 1948), dass auch *bei fehlendem Niederschlag weiterhin ein relativ grosser Abfluss* vorhanden sei. Die Gerade aber dürfte ziemlich zu flach (im Vergleich zur 45°-Winkelhalbierenden) verlaufen (vergl. ebenfalls Fig. 59, Bilanz-Diagramm).

Der Abfluss-Koeffizient

Der zumeist in % angegebene Anteil des Niederschlags, der aus einem Gebiet abfließt (= A Koeff.), ist allgemein im Alpengebiet > 70%. Für hochgelegene Gebiete können noch beträchtlich grössere Werte resultieren, was v. a. zurückzuführen ist auf

1. Relativ tiefe Temperatur (und entsprechende Verdunstung)
2. geringe Speichermöglichkeit in Schottern und Böden
3. rascher Abfluss infolge grosser Reliefenergie
4. geringere Vegetations-Verdunstung

LUCOMAGNO 34.9 km² ABFLUSS-STATION CAMPRA

ABFLUSS-KOEFFIZIENTEN

Jahr	N cm	A cm	A Koeffizient %
1953/54	248	233	93,9
1954/55	164	184	112,2
1955/56	206	191	92,9
1956/57	169	176	104,1
1957/58	231	208	90,0
1953/54—57/58	203,6	198,4	97,3

Tab. oben und Fig. 49 zeigen nun aber Verhältnisse, wie sie m. W. *noch nie aus einem Alpengebiet beschrieben wurden*: einerseits nähert sich der A Koeffizient im Mittel 100%, zum andern übersteigt er sogar in 2 Jahren diese Grenze. Vergleichen wir mit andern Gebieten, so wird die Sonderstellung des Lukmaniers augenscheinlich.

Lukmanier-Brenno	97,3 %
Camadra-Brenno	87,3
Bavona (nach REIST, 1960, zu klein)	72,3
Tessin (nach BROCKMANN, 1927)	70,7

Im 5jährigen Mittel wäre demnach $V = N - A = 2,7\%$! was selbstredend nicht zutrifft. Es gibt zwei Möglichkeiten der Erklärung (nachdem der Abfluss zweifellos richtig erfasst wird): entweder

1. haben wir in der Messung der Niederschläge Fehlbeträge, oder
2. haben wir beim Abfluss irgendwelche Mehreinnahmen.

Zu 1.: Nach den grossen Erfahrungen LUETSCHGs (1944 a) und den kurzen des Verfassers darf in gewissen Fehlergrenzen die gemessene Niederschlagsgrösse als zutreffend, von LUETSCHG als etwas zu gross, von uns als eher etwas zu klein, betrachtet werden.

Zu 2: Wir haben in der Tat mit *Zuschuss zum Abfluss* zu rechnen. Das Sonderverhalten des Abfluss-Geschehens im Lucomagno ist in seinem Bau begründet. Als geschlossenes Gebiet müsste, ähnlich dem der Greina, ein Koeffizient von 80—90% resultieren.

Die Erhöhung des A Koeffizienten wird bewirkt durch Zuflüsse aus Fremdgebieten. Deshalb resultiert ein zu grosser (unrichtiger) A Koeffizient, obschon der effektive A richtig erfasst wird (worauf wir im nächsten Kapitel noch eintreten).

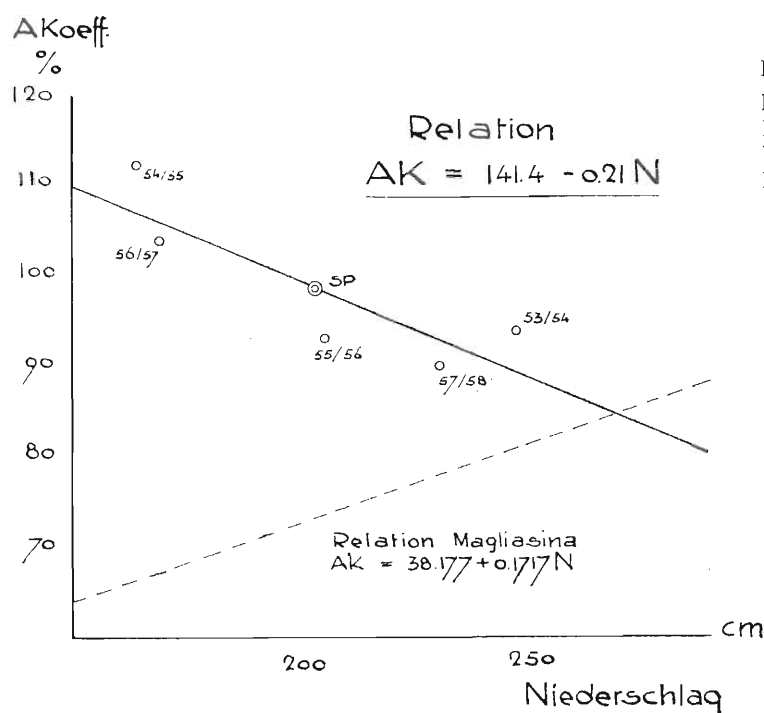


Fig. 49. Lucomagno. 1953/54—1957/58.

Der Abfluss-Koeffizient als
Funktion des Niederschlags.
Vergleichsgerade (gestrichelt):
Magliasina nach Gyax (1948)

Die wichtigste und erstaunlichste Beobachtung aber kommt besonders gut in Fig. 49 zum Ausdruck: *mit zunehmendem Niederschlag nimmt der A Koeffizient ab!* Dies steht völlig im Gegensatz zu andern, geschlossenen Gebieten, wo in feuchten Jahren, der natürlicherweise geringern Verdunstung wegen, der A Koeffizient entsprechend gross ausfällt.

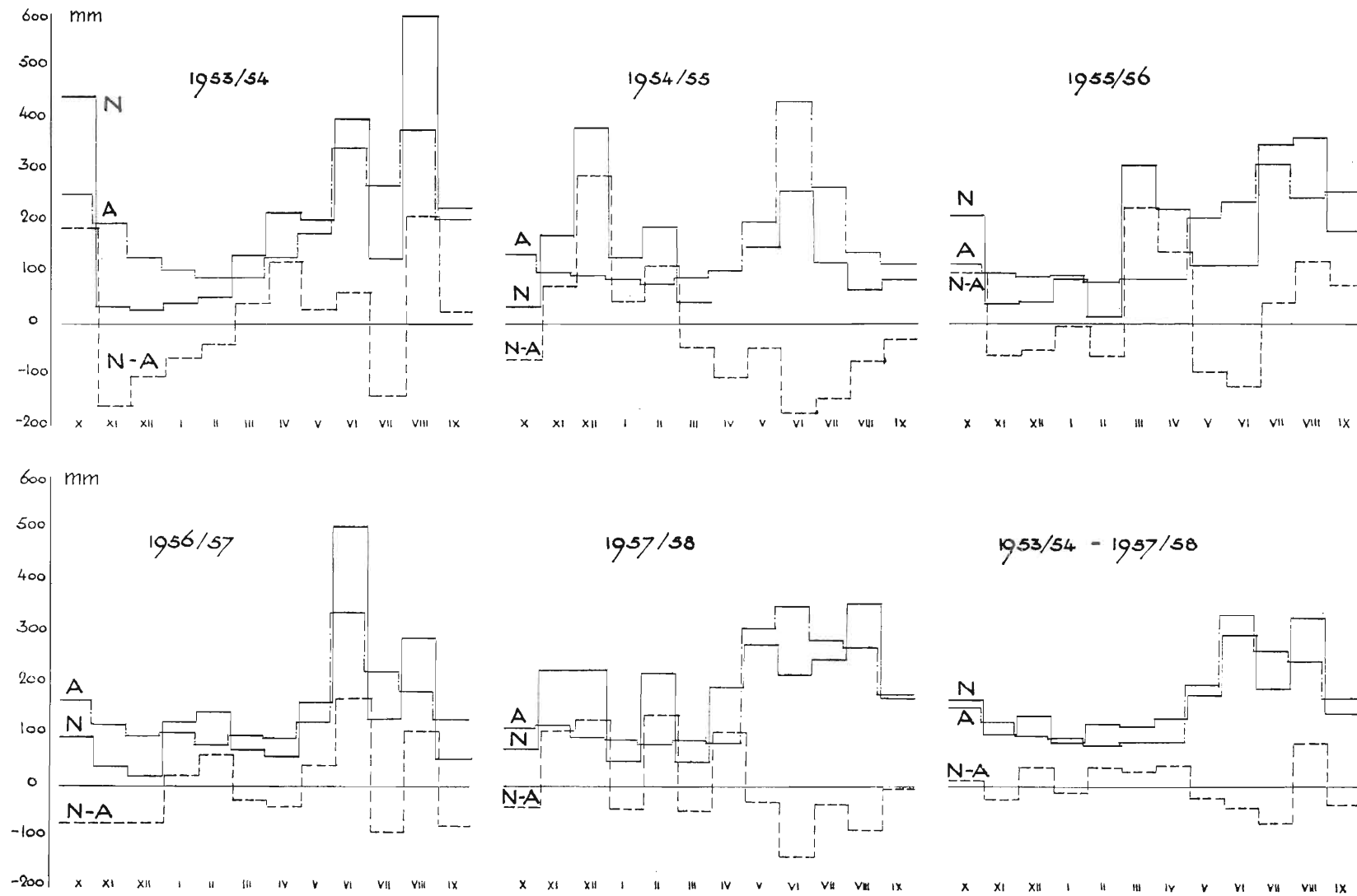
Zu begründen ist das Sonderverhalten damit, dass im Gebiet ein «hydrogeologischer Schwamm» wirksam ist: das Alternieren von nassen und trockenen Jahren hat zur Folge, dass jeweils in einem niederschlagsreichen Jahre die unterirdischen Reservoirs (Karsthohlräume, Schotter, siehe S. 118) aufgefüllt werden konnten, während in dem nachfolgenden trockenen Jahre diese Vorräte zum Abfluss beisteuerten, der «Schwamm» seinen Inhalt abgab. Auf diese Weise fällt der Abfluss in trockenen Jahren relativ zum Niederschlag hoch aus.

Die monatlichen Beziehungen

Dass der Abfluss (Fig. 50) stets ungemein *nahe an den Niederschlag hinaufreicht*, ihn oft *übersteigt*, kam bereits zur Sprache und wird auch später noch zur Diskussion stehen. Anschaulich geben in den Jahresverläufen die Differenzen N—A Aufschluss über monatliche Aktiven (N Ueberschüsse) und Passiven (A Ueberschüsse) innerhalb einer Jahres-Bilanz des Wasserhaushaltes:

Von Februar bis April und v. a. im August (Gewitter) überwiegt der Niederschlag, umgekehrt der Abfluss in den Frühlings- und Sommermonaten Mai—Juli (Schmelzabfluss der winterlichen Schneeaufspeicherung). Ausser durch die Schneeschmelze kann ein Ueberwiegen des Abflusses durch die Messtermine bedingt sein, indem Niederschlag des einen Monatsendes erst im nachfolgenden Monat zum Abfluss gelangt.

Fig. 50. Lucomagno. 1953/54—1957/58. Monatswerte von Niederschlag, Abfluss und (Niederschlag — Abfluss)



Hiezu tritt nun in unserm Gebiet eine 3. Möglichkeit, die des genannten «Schwammes» (er wirkt also sowohl von Jahr zu Jahr wie in den einzelnen Monaten): die Karst-Hohlräume (und Glazialschotter ausserhalb des Gebietes! wie noch zu zeigen ist), werden durch den Juni-Schmelzwasserreichtum aufgefüllt — und bewirken den relativ hohen Juli-August-Abfluss. Denn für diese Monate sind Schneewasser bereits als gering anzusetzen, sind doch schon ab Anfang Juli zumeist nur noch kleine hochgelegene Schneevorräte vorhanden.

LUCOMAGNO 1953/54—1957/58.
HÖHE in mm

NIEDERSCHLAG, ABFLUSS UND (NIEDERSCHLAG — ABFLUSS)
N A N — A

Jahr		X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ cm	M cm
53/54	N	438	32	27	41	51	132	217	203	402	126	593	227	248	21
	A	252	193	130	105	92	91	98	177	344	265	382	204	233	19
	N—A	186	—161	—103	—64	—41	41	119	26	58	—139	211	23	15	1,3
54/55	N	33	174	383	131	190	44	0	152	262	119	65	87	164	14
	A	136	100	94	88	78	90	103	198	434	266	141	117	184	15
	N—A	—103	74	289	43	112	—46	—103	—46	—172	—147	—76	—30	—20	—2
55/56	N	215	39	43	88	13	311	223	112	115	353	366	181	206	17
	A	116	99	93	91	81	85	84	205	237	314	246	256	191	16
	N—A	99	—60	—50	—3	—68	226	139	—93	—122	39	120	—75	15	1
56/57	N	92	42	20	124	142	72	57	162	508	131	289	54	169	14
	A	167	118	97	104	82	98	95	122	339	222	183	131	176	15
	N—A	—75	—76	—77	20	60	—26	—38	40	169	—91	106	—77	—7	—1
57/58	N	72	226	227	50	222	45	195	281	217	251	358	172	231	19
	A	112	119	97	93	83	91	87	310	353	286	276	174	208	17
	N—A	—40	107	130	—43	139	—46	108	—29	—136	—35	82	—2	23	2
Σ	N	850	513	700	434	618	604	692	910	1504	980	1671	721	1019	85
	A	783	629	511	481	416	455	467	1012	1707	1353	1228	882	992	83
	N—A	67	—116	189	—47	202	149	225	—102	—203	—373	443	—161	27	2
M	N	170	103	140	87	124	121	138	182	301	196	334	144	204	17
	A	157	126	102	96	83	91	93	202	341	271	246	176	198	16,5
	N—A	13	—23	38	—9	41	30	45	—20	—40	—75	88	—32	6	0,5

Die Relation Winter-Niederschlag / Sommer-Abfluss

Diese Relation ist vornehmlich von technisch-wirtschaftlichem Interesse, indem man, gestützt auf die Niederschläge Oktober—März für den Abfluss April—Juli, der in den Akkumulationsbecken der Kraftwerke aufgefangen wird, eine Prognose stellen möchte.

Wie Fig. 51 dartut, besteht eine recht enge Abhängigkeit zwischen A_{4-7} und N_{10-3} (Korrelation = 0,91), zudem ist augenfällig die Aehnlichkeit mit dem Verlauf der Regression N—A der Jahre, Fig. 48.

Infolge Fehlens von Gletscher-Schmelzwässern als Sommerzuschüsse zum Abfluss erreicht wohl die Konstante der Gleichung

$$A_{4-7} = 483,8 + 0,57 N_{10-3}$$

nicht den wirtschaftlich vorteilhaften hohen Wert vergletschter Gebiete, fällt aber gerade in Anbetracht des Fehlens von Gletschern doch relativ hoch aus: bei $N_w = 0$ beträgt die Abfluss-

höhe des Sommers ca. 500 mm. Von hier steigt mit dem N_w der A_s kontinuierlich aber flach, unter etwas mehr denn 30° , an und bei 1000 mm Winter-Niederschlag erreicht der Sommerabfluss einen Wert von ca. ebenfalls 1000 mm.

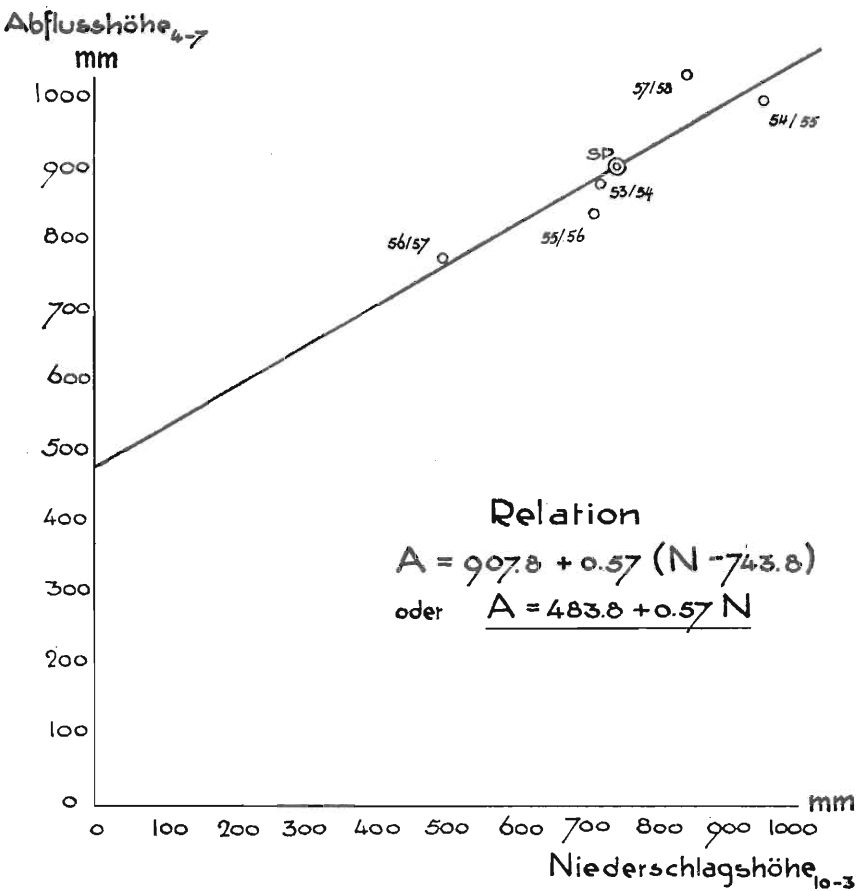


Fig. 51. Lucomagno. 1953/54—1957/58. Der Sommer-Abfluss in Funktion des Winter-Niederschlags. $A_{4.7} = f(N_{10.3})$

Starkregen und Hochwasser-Abflüsse

sind in grosser Zahl und Intensität für die insubrische Alpensüdseite typisch. Dass isolierte Güsse und Hochwasserspitzen miteinander in ursächlicher Beziehung stehen, ist als fraglos nachgewiesen worden. Nicht zu solchen A Spitzen zu zählen sind diejenigen der Tagesperiode zur Zeit der Schneeschmelze. Isolierte, durch Einzelgüsse hervorgerufene A Spitzen ($A > 4 \text{ m}^3/\text{s}$) entstanden in den Jahren 1954—58 durchschnittlich = 12/Jahr.

LUCOMAGNO ABFLUSS-STATION CAMPRA
 PROZENTUALE VERTEILUNG DER HOCHWASSERWELLEN 1953—57

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
%	0	0	2,6	4,2	6,8	23,7	18,6	20,3	11,9	10,2	1,7	0	100

Tab. oben und Fig. 52 erweisen nun aber gerade, dass im Schneeschmelze-Monat Juni die Zahl der Spitzen das Jahres-Maximum erreicht: die Grosszahl der A Spitzen entsteht hier durch Ueberlagerung und Doppelwirkung, indem Güsse in den Schnee niedergehen und sich mit dessen

Schmelzwassern kumulieren. Das August-Sekundärmaximum Fig. 52 ist das für den Gewittermonat typische.

Da im Gebiet kein Ombrograph vorhanden war, können wir über die die A Spitzen verursachenden Güsse nur in wenigen Fällen, die wir an Ort und Stelle zufällig erfassten, Auskunft geben. Es ging daher auch nicht an, von der Genauigkeit des Zeichnens und Planimetrierens von speziellen Niederschlags-Karten auszugehen. Unsere Niederschlagszahlen müssen als gutbegründete Annäherungswerte betrachtet werden. Verwiesen sei auf die vorbildliche, äusserst detaillierte Darstellung dieser Gegenstände in GYGAX (1948).

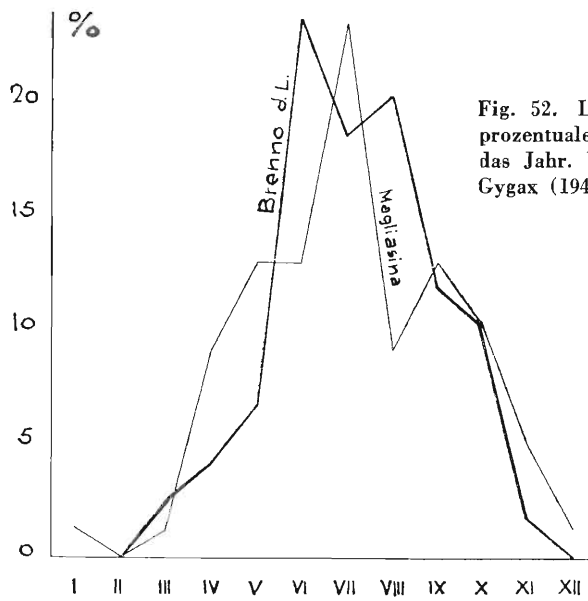


Fig. 52. Lucomagno. 1953—57 (5 Jahre) Mittlere prozentuale Verteilung der Hochwasser-Spitzen über das Jahr. Vergleichskurve Magliasina 1939—44 nach Gygax (1948)

Das Hochwasser vom 18. Juli 1953. Der verursachende intensive Niederschlag dauerte ca. 5 h (Beginn ca. 18 h) und brachte u. a. folgende Erträge:

Lucomagno Pso.	80 mm
Campra	70 mm

Von der grossen N Masse flossen indessen bloss 2,3% als *Hochwasserwelle* ab (A Koeffizient), weitaus der grösste Teil scheint in Böden und v. a. den Dolomit-Gips-Kavernen zurückgehalten worden zu sein (Karst-Retention). Vom A Zuwachs waren nach 6 h bereits 77% bei Campra aus dem Gebiet weggeflossen; nach 2½ Tagen war der Abfluss der Brenno d. L. wieder normal.

Zahlreich waren in morphologischer und «anthropogeographischer» Hinsicht die *Folgen dieses Unwetters*: schmal und tief eingefressene Cannons in den Gips-Bad Lands von Pertusio, darunter Bildung eines prachtvollen jungfräulich weissen Gips-Deltas; Schutt-Ueberführung der Pass-Strasse durch Scengio-Rinnsal (ca. 25 t, Blöcke bis 1/10 t), Versandung der Privat-Turbine des Albergo Acquacalda, Verwüstungen im Siedlungsgebiet des Camprabodens.

Das Hochwasser vom 19. Juli 1957. Die gemessenen N Höhen des verursachenden isolierten Gusses lauten:

Pian Segno	94 mm	
Croce Portera	90 mm	(Dauer ca. 10 h)

Es resultierte ein A Zuwachs (*Hochwasserwelle*) von 6,3% des N; davon waren nach 6 h 53% abgeflossen, nach 24 h = 79%; 3½ Tage nach Ende des Kurzniederschlages war der Abfluss wieder normal. Die Geschwindigkeit der Hochwasserwelle betrug 4—5 km/h ($Q = 7,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

Wieder zeigen sich die Sondereigenschaften des karstigen Lukmaniergebiets, indem gegenüber undurchlässigen Gebieten

a) ein tieferer *A Koeffizient* resultiert:

Lucomagno	2,3; 6,3 %
Magliasina	4,2—11,3
Bavona	28—42

und b) eine *Verzögerung des Abflusses* zu beobachten ist:

Lucomagno	
nach 6 h = 53—77%	nach 24 h = 79% abgeflossen
normal nach 2½—3½ Tagen	

Magliasina	
nach 6 h = 64—87%	nach 24 h = 88—97%
normal nach 2—3 Tagen	

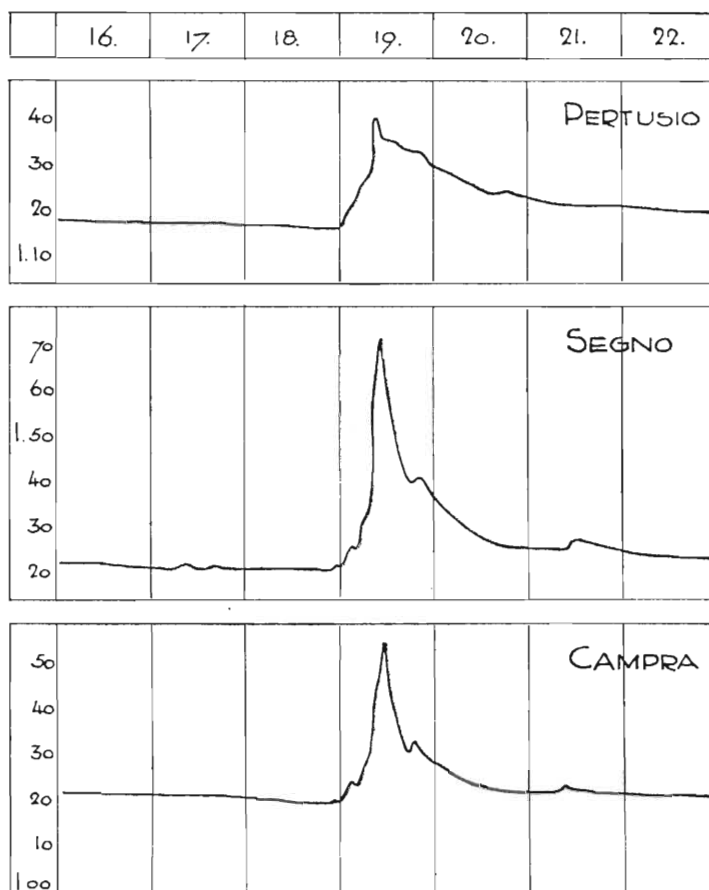


Fig. 53. Limnigraphen-Registrierungen Juli 1957

Ueber die *Geschwindigkeit der Hochwasserwellen* können ebenfalls nur runde Angaben gemacht werden, da die 3 Limnigraphen zu geringe Entfernungen in Bezug auf ihre Registrier-Genauigkeit aufweisen (vergl. die Phasenverschiebung der 3 Spitzen in Fig. 53). Die grössten Geschwindigkeiten liegen bei 20 km/h ($Q = 20\text{--}40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), die kleinste gemessene (oben) 4—5 km/h. Im Mittel ($Q = 10\text{--}20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) bewegt sich die Geschwindigkeit der Wellen um 10 km/h.

Maggia	$Q = 145\text{--}170 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	$v = 16\text{--}17 \text{ km/h}$
Bavona	45	9—10

4. DIE FREMDWASSER-FRAGE

Gestellt und auch beantwortet wurde sie 1946 durch GYGAX, nachdem bereits vorher Vermutungen ausgesprochen worden waren (GHEZZI, 1925; KAECH, 1946). Unsere Aufgabe war eine Erweiterung, Detaillierung und ev. Korrektur der vorliegenden Antwort von den heutigen Untersuchungen und Abfluss-Zahlen aus.

Die *Durchlässigkeit* des zur Diskussion stehenden Raumes wurde nicht immer gleichermassen beurteilt. So bezeichnete LUETSCHG (1926) gerade die V. Piora als «undurchlässig»: «Das Gebiet bildet eine orographische und hydrographische Einheit». GYGAX (1946) hat dieses Postulat revidiert.

RODER (1914) nimmt die, weil v. a. karbonathaltig, ebenfalls in Frage kommenden Bündnerschiefer des Tongehaltes wegen als «ziemlich undurchlässig» an. Immerhin dürften untergeordnet Karstabzüge zweifellos vorhanden sein, und zum andern ist eine Durchlässigkeit von der starken Klüftigkeit aus zu erwarten.

Fig. 54 gibt ein Bild der Gebiete, aus denen teilweise der Abfluss ins Lukmaniertal erfolgt. Der als *Sammelader* prädestinierte tiefe Einschnitt, worin ohne Zweifel unterirdische Wasser-

Fig. 54

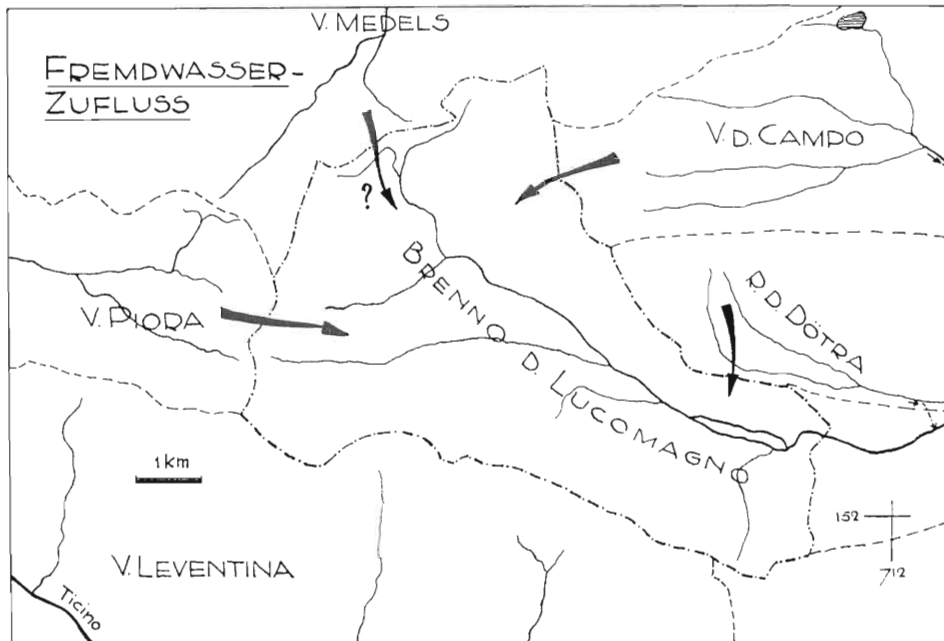
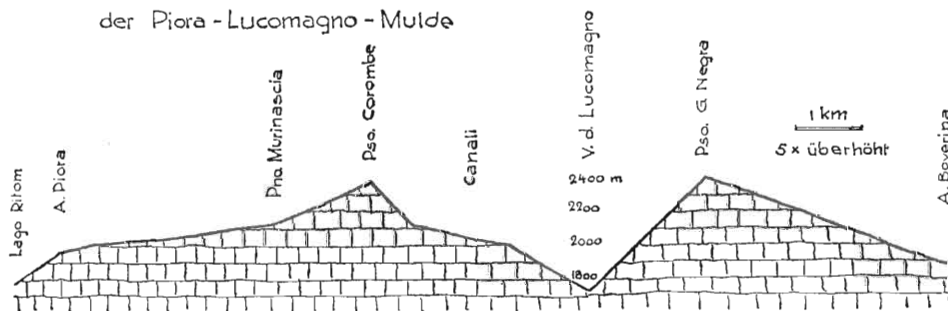


Fig. 55

Schematisiertes Längsprofil durch den Dolomit

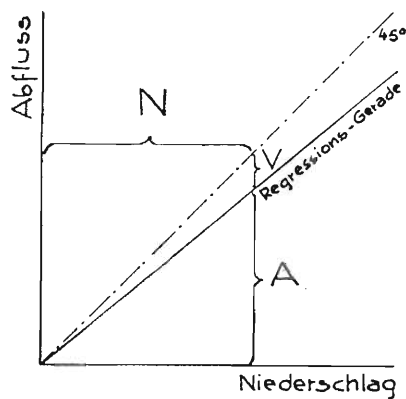
der Piora - Lucomagno - Mulde



wege angeschnitten sind, wird eindrücklich in Fig. 55. Die ihrerseits *defizitären Teilgebiete* Piora und Campo liegen im Streichen der Karbonat-Sulfat-Gesteinsserie der im Lukmaniergebiet sich breit entwickelnden Sediment-Mulde Bedretto—Piora—Lucomagno auf der Südseite des Gotthardmassivs (Dolomit, Rauhwacke, Gips; vergl. Fig. 4).

Aus einem Gebiet erfolgt der Zutritt von Fremdwasser durch Bündnerschiefer: durch jene des Oer d'Angiasco. Es sind hier indessen nicht Karstwege, sondern solche auf den ausgeprägten Nord-Süd-Klüften (Quer-Klüfte, Q-System, vergl. S. 36f).

Betrachten wir die *Höhen- und Flächenverhältnisse*, so erkennen wir allgemein die *Zuschuss-Räume* als relativ zum Lukmaniertal höher gelegene flachere Talstücke. In Fig. 55 zeigen sich ausgedehnte Teile von Val Piora (22,6km²) und Val Campo über 2100 m. (Von diesem kommen als Defizit-Gebiet nach GYGAX (1946) die obersten ca. 10 km² in Frage.) Der Einschnitt des Lukmaniertals geht aber zwischen Pian Segno und Casaccia bis auf 1700/1800 m hin-



SCHEMAT. BILANZ-DIAGRAMME DES
WASSERHAUSHALTS

Fig. 56

Normalfall
(geschlossenes Gebiet)

$$N = A + V$$

für Jahresreihen

A = eff. Abfluss
A₀ = Gebiets A, ohne
F oder VL

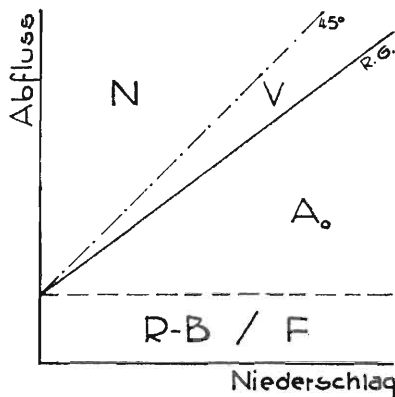


Fig. 57

Zufluss (F)

$$N = V + (A - F)$$

für Jahresreihen (ohne [B - R])

$$N = A + V + (R - B - F)$$

für Einzeljahre

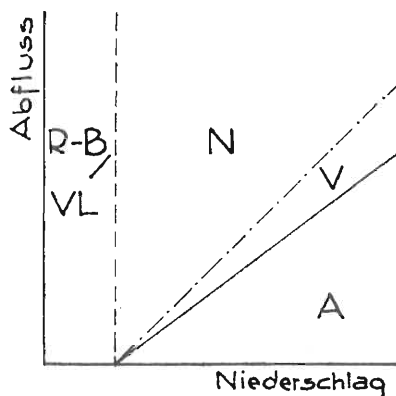


Fig. 58

Verluste (VL)

$$N = V + (A + VL)$$

für Jahresreihen (ohne [B - R])

$$N = A + V + (R - B + VL)$$

für Einzeljahre

unter. Die obersten Medels-Teile liegen um 1900 m, wobei bloss 1—2 km² als Zufluss-Gebiet in Betracht fallen. Ausgeprägt ist die überhöhte Lage der Moränen-Flächen von Pian Com—Dötra: 1800—2100 m gegenüber 1400—1500 m des Campra-Bodens. Der Fremdwasser liefernde Anteil beträgt 4—5 km².

Als interessante und aufschlussreiche *indirekte* Anhaltspunkte für unterirdische Wasserwege erwiesen sich die zahlreichen systematisch im ganzen Gebiet unternommenen Ermittlungen der Wasserhärte (Tab. S. 76, Karte S. 72). Ausserordentlich hohen Sulfatgehalt zeigen Brenno d. L. und Ri di Lareccio zwischen Acquacalda und Pian Segno, wo diese bis zum 7fachen desjenigen der Karstquelle Pertusio führten. Dafür verantwortlich sind die aus dem kluftreichen Kristallinstock der Selva Secca und dem Westrande des Segno-Beckens austretenden Quellen, deren unterirdische Verbindungen sich im Dolomit weit westwärts, bis jenseits der morphologischen Wasserscheide, ins Piora-Gebiet, erstrecken dürften.

Die ähnlich zu deutenden grössten Karbonathärten im Dolomit lieferten Wasser der selben Talseite (R. d. Canali, Quellen Lareccio). Auf der Talseite vis-à-vis weist die ebenfalls sehr hohe Karbonathärte des Pozetta-Baches auf lange Durchlaufwege hin, die nur aus den obern Talgebieten des V. Campo kommen können.

Direkt und eindeutig würden selbstredend unterirdische Wasserwege zu Nachbargebieten mittels *Färbung* abgeklärt. Leider versagte ein solcher Versuch gerade in dem strittigen Falle des Zutrittes von Medels-Wasser unter der Passhöhe durch (vergl. S. 69 f), indem sich verschiedene Fluoreszeinfärbungen überlappten. Obwohl wir stark zur Vermutung neigen, bei Pertusio oder in ihrer tiefern Umgebung trete Wasser aus dem obersten Medelser-Gebiet aus, haben wir in den folgenden Berechnungen solches nicht eingesetzt. Denn auch das Umgekehrte ist der Fall: nach den genannten Färbungen des EAWW steht ein gewisser kleinerer Abfluß von Lukmanierwasser ins Medels sicher, den wir in Unkenntnis des Ausmasses ebenfalls vernachlässigten.

Ungefähre quantitative Angaben über Fremdwasser vermittelt die *hydrologische Bilanz* (Fig. 59). Wird im vieljährigen Mittel von $V = N - A$ die Verdunstung ausgesprochen zu klein, zeigt dies Zuschüsse zum Abfluss an und umgekehrt (Fig. 56 f).

In der historischen Folge der Anhaltspunkte, die im Lukmanier für Wasser-Einnahmen aus Fremdgebieten sprechen, stehen voran die zwischen 1905 und 1922 erhobenen *Minimalabfluss-Zahlen*, die GHEZZI (1925) publizierte, wobei er die im Vergleich zu andern Gebieten ausserordentliche Höhe derjenigen des Brenno d. L. hervorhob, die als wirtschaftlich vorteilhaftes Charakteristikum gerne akzeptiert wurde.

MINIMAL-ABFLUSSMENGEN 1 s⁻¹ km⁻²

Brenno d. Lucomagno	35 km ²	21,7 ls ⁻¹ km ⁻²
Brenno d. Camadra	84	10—11
Brenno (vor Mündung)	397	7,4
Ticino (Bedrettotol)	33	15
Ticino (ob. Leventina)	158/224	13—16
Lago Ritom (vor Stau)	23,2	11,4
Ticino (Bellinzona)	1515	8,3
Maggia (Bignasco)	194	4,0
Vorderrhein (Disentis)	158	4,3
Medelserrhein (Disentis)	128	4,6
Reuß (Andermatt)	192	7,5
Rhone (Brig)	831	6,2

GYGAX gab 1946 die Deutung, indem er den grossen spezifischen Abfluss des Lukmanier-Brennos mit demjenigen der Gebiete V. Piora und V. Campo, die im Gegensatz dazu Abfluss-Defizite aufzuweisen scheinen, in Beziehung brachte, sowie quantitativ über deren Zuflüsse ins Lukmaniertal die folgenden Angaben machte.:

Zufluß	V. Piora	0,286 m ³ s ⁻¹	ca. 9 Mio m ³ /Jahr
	V. Campo	0,130	4

Wir vermögen nun direkt den Nachweis *eines weiteren Zuflusses* zu erbringen: recht ansehnliche Rinnale treten aus den geklüfteten Bündnerschiefern der Südflanke des Oer d'Angiasco, deren Einzugsgebiet die ennet dem Oer, also ausserhalb des Gebietes liegenden ausgedehnten Glazialschotter von Pian Com—Dötra darstellen. Selbstredend handelt es sich hier um gute Reservoir, wie auch die geringe Schwankung der genannten Bäche dartut.

Von den 4 Hauptaustritten befinden sich die zwei obern unmittelbar über und unter der Lukmanierstrasse, die beiden untern, grössern, einige 100 m darüber (Karte S. 44). Ihr Ertrag beläuft sich nach unsern Beobachtungen gesamthaft auf 0,043 m³s⁻¹.

Die neue Berechnung der Zuflüsse hat nun vorerst denjenigen des Ri di Dötra in Abzug zu bringen (1,2 l s⁻¹km⁻²; A Menge von Dötra bezogen auf Fläche des Lukmaniers, 35 km²). Die mittlere A Spende wird berechnet aus der Summe der A Mengen pro Gesamtgebietsfläche (68,1 km²). Die Differenzen aus Mittel minus effektivem spezifischem Abfluss geben nun die Grösse des Abflusses ins Fremdgebiet an.

Mittel (Spende)	52,7 l/s/km ²	(68,1 km ²)
V. Campo, V. Piora	43,4	(10 resp. 23,2 km ²)
Lucomagno	61,5	(34,9 km ²)

BETRÄGE DES FREMDWASSER-ZUFLUSSES

Gebiet	A Menge m ³ s ⁻¹	A Spende ls ⁻¹ km ⁻²	A Höhe mm/Jahr	A Masse Mio m ³ /Jahr
1. Pian Com—Dötra	— 0,043	— 10	— 40	— 1,4
2. V. Campo	— 0,090	— 9,3	— 80	— 2,8
3. V. Piora	— 0,210	— 9,3	— 190	— 6,6
4. V. Lucomagno	+ 0,343	+ 10	+ 310	+ 10,8
Brenno d. L. (Mittel)	2,190	62,7	1984	69,4

Im *Minimum* dürfte der Zufluss total noch 0,1—0,15 m³s⁻¹ betragen, wenn man eine ungefähre Berechnung auf Grund der Minimal-Abflüsse anstellt. Ergo *Schwankung* der Zuflüsse ca. 1:3.

Der Zuschuss aus den 3 benachbarten Fremdgebieten macht nach Tab. oben im Lukmaniertal fast $\frac{1}{6}$ des normalen Gebiets-Abflusses (als hydrographisch geschlossenes Gebiet) aus. Dies stellt eine *wasserwirtschaftlich ausserordentlich vorteilhafte Sondereigenschaft* dar, bedenkt man ebenfalls die «Schwamm»-Retentionseffekte in Karst- und Schotter-Reservoir, sowie die dadurch bedingten *geringen Verdunstungs-Werte*.

5. DIE HYDROLOGISCHE BILANZ

Nach O. LUETSCHG, dem Pionier und Altmeister der Hochgebirgshydrologie, sind es vorherrschend die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss, die den Wasserhaushalt eines Gebietes charakterisieren. Indessen ist die «Aufstellung der Wasserbilanz eines Flussgebietes mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Die Lösung dieser Aufgabe, das Begreifen und Erfassen dieses Hauptproblems der Hydrologie, verlangt seine Trennung in eine ganze Reihe von Einzelaufgaben. Sie erfordert als Forschungsziel die Erkenntnis des *Gesamtcharakters* jedes einzelnen Flussgebietes in all seinen Zusammenhängen» (LUETSCHG, 1944).

Für unser Untersuchungsgebiet glauben wir nach Möglichkeit mit den vorausgehenden orographischen, tektonisch-geologischen, morphologisch-morphogenetischen, botanischen, hydrographischen und hydrochemischen Darlegungen die Grundlagen zu einem *gesamtheitlichen Erfassen* gelegt zu haben.

Nichtsdestoweniger haben gerade diese auf die Details der Eigenarten eingehenden Studien die kumulierten Schwierigkeiten bei der Aufstellung der Wasserbilanz ahnen lassen.

Die normalen *Bilanz-Gleichungen* lauten nach FISCHER und LUETSCHG bekanntlich:

$$N = A + V \quad \text{oder aufgelöst nach der zumeist gesuchten Größe } V$$

$$V = N - A \quad (\text{für längere Jahresreihen})$$

$$N = A + V + (R - B) \quad \text{oder}$$

$$V = N - A + (B - R) \quad (\text{für Einzeljahre})$$

wobei N = Niederschlag
A = Abfluß (des selben Zeitabschnittes)
V = Verdunstung
R = Rücklagen (aus diesem N)
B = Aufbrauch (früherer R)

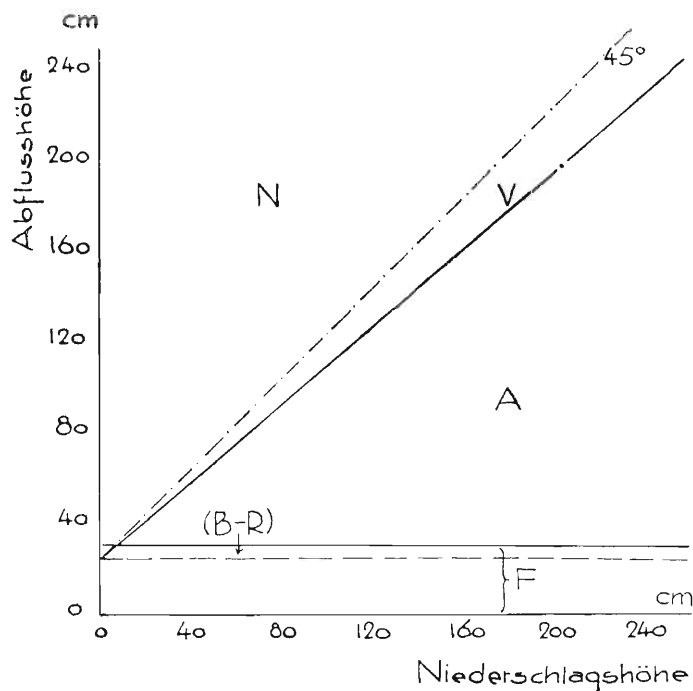


Fig. 59. Lucomagno. 34.9 km²
1953/54–1957/58
Hydrolog. Bilanz-Diagramm
 $V = N - A + (B - R + F)$

Diese beiden Gleichungen sind nun aus den im Vorangehenden dargelegten Gründen auf das Lukmaniergebiet nicht direkt anwendbar, sie müssen erweitert werden um das Glied

F = Fremdwasser-Zuschuss

$$N = (A - F) + V$$

$$V = N - A + F \quad (\text{für Jahresreihen})$$

$$N = A + V + (R - B) - F$$

$$V = N - A + (B - R) + F \quad (\text{für Einzeljahre})$$

Davon sind Niederschlag und Abfluss innerhalb annehmbarer Fehlergrenzen gut bestimmt, ebenfalls darf der Wert von F als angenähert gesicherte Zahl gelten. Die Bestimmung der Glieder B

und R dagegen bietet der weitgehend unbekannten Karst-Reservoir wegen erhebliche Schwierigkeiten. So werden jeweils auch bloss die Differenzen ($R - B$) resp. ($B - R$) eingesetzt.

($R - B$) setzt sich zusammen aus

1. Schneelagerungs-	} Vorräten
2. Gletscher-	
3. Einsickerungs-	

Für unsere Berechnung fallen ausser Betracht Punkt 2 und, unter Ausrichtung nach dem hydrologischen Jahr, ebenfalls Punkt 1. Desto stärker aber spielt eine Rolle die Einsickerung, die des permeablen Felsuntergrundes wegen grossräumig und in Retentionen sich auswirkt. Auf Grund der Abflussüberschüsse Fig. 47 dürfen die R Vorräte auf 300—400 mm = 10—14 Mio m³/Jahr veranschlagt werden, was ca. $\frac{1}{6}$ der mittleren Jahresabflussmenge entspricht.

Im Alternieren von trockenen und nassen Jahren (Fig. 47) und im gegengleichen der A Verhältnisse (A Koeff.) erkennen wir Retentionswirkungen («Schwamm»!): Die Abfluss-Ueberschüsse der trockenen Jahre werden ermöglicht durch die Rücklagen in nassen Vorjahren. (Während F ungefähr V entspricht.) Auf Grund dieser Verhältnisse lässt sich aus den Werten von Tab. S. 111 und Fig. 47 das Doppelglied ($B - R$) annähernd festlegen. Die Grösse von F wurde bereits S. 118 diskutiert.

Aus der Gleichung für die Mess-Periode 1953/54—57/58, $N - A = U$ (U = Unterschied), erhellt, dass U ($< 3\%$) nicht gleich der *Verdunstung* sein kann. (Tab. S. 111). Wohl ist die Verdunstung als klein anzunehmen, bedenken wir

1. die Höhenlage des Gebietes und
2. die unterirdischen Abflüsse (geringe Flusssichte!).

Die sehr wohl zu Vergleichen passende Verdunstungshöhe des benachbarten *Greina-Gebietes* (WITSCHI, 1957) betrug im 9jährigen Mittel 1946/47—1954/55 (aus $N - A$) = 270 mm = 13% des N.

Die Beziehungen zwischen Verdunstung und mittlerer Höhe (Kurven von LUETSCHG, 1946), ergeben für unsere Höhenlage: $V < 290$ mm.

Zur Bestimmung der Verdunstung aus den Werten der (relativ kurzen) 5jährigen Periode des Lukmaniers durfte indessen ($B - R$) nicht als ausgeglichen (Vorrats-Einnahme = — Ausgabe, Summe = 0) gesetzt werden, da die Rücklagen bildenden niederschlagsreichen Jahre im Verhältnis 3:2 überwiegen.

DIE MITTLERE JAHRESVERDUNSTUNG AM ALPEN-SÜDHANG

Gebiet	Fläche km ²	Mess- periode	mittl. Höhe	mittl. Niederschlag cm	mittl. Verdunstung in % des N
Lucomagno	34,9	53/54—57/58	1907	204	15
Greina	84	46/47—54/55	2000	200	13
Rovana	97,2	48/49—56/57	1895	206	12,5
Magliasina	22	40—44	1955	175	28

Bilanz-Diagramm Fig. 59 deutet mit dem starken Unterschied gegenüber der Regression Fig. 48 auf die Richtung hin, in der nach Auftreten von kleinern Werten (breitere Streuung) die Korrektur der heutigen Regressionsgeraden gehen wird. Es stellt graphisch die für den Wasserhaushalt des Gebietes *bedeutendsten Resultate* der Gleichung dar:

$$\begin{aligned} V &= N - A + (B - R + F) \\ &= 2038 - 1984 + (-60 + 310) \text{ mm} \\ \underline{V} &= 304 \text{ mm} = 15\% \text{ des } N \end{aligned}$$

Die nebenstehende Tabelle enthält zu Vergleichen einige Mittelwerte der Jahresverdunstung, wie sie für alpine Verhältnisse typisch sind: für Höhen um 2000 m resultieren 100—150 mm oder 10—15% des Niederschlags. Die Zunahme mit dem Abstieg (Meereshöhe), der südalpinen Spalierlage und vermehrter Vegetation zeigt der Wert aus dem Malcantone. Charakteristisch für den alpinen Wasserhaushalt, im besondern für das «doppelte Regime» der Kammzone des Gebirges, sind die hohen Niederschlagssummen einerseits, die niedrigen der Verdunstung andererseits, günstige Verhältnisse vor allem im Blick auf die Nutzung der Wasserkräfte durch den Menschen.

Indessen, die Gunst dieser Naturgabe bringt zwiefache Verantwortung — die Gewässer und Talandschaften des «grössten und schönsten Hochgebirges Europas»¹ verpflichten: wie zur Forschung, so auch zur Wahrung von Schönheit und Eigenart.

¹ Herm. Walser, Die Schweiz. Bern 1908.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- ABT. FÜR LANDESHYDROGRAPHIE (1903 f), Die Wasserverhältnisse der Schweiz. 1. Teil, Tessin—Adda.
- AMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, EIDG. (1945), Hydrograph. Erhebungen auf dem Lukmanier, Färbversuche Sept./Okt. 1944. Rapport vom 15. 2. 45 (unpubliziert) Bern
- (1953 f), Hydrograph. Jahrbuch der Schweiz
- AMPFERER O. (1925), Ueber einige Beziehungen zwischen Tektonik und Morphologie. Zschr. f. Geomorph. I, Leipzig
- (1926), Ueber grössere, junge Formänderungen in den nördl. Kalkalpen. Zschr. f. Geomorph. I, Leipzig
- ANNAHEIM H. (1946), Studien zur Geomorphogenese der Südalpen zwischen St. Gotthard und Alpenrand. Geogr. Helv. 2, Bern
- (1953), Ueber Wege und Methoden der geomorpholog. Erforschung des Tessins. Boll. d. Soc. Tic. d. Sc. Nat.
- (1956), Zur Frage der geomorpholog. Kartierung. Pet. Geogr. Mitt.
- ANNUARIO STATISTICO DEL CANTONE TICINO (1954), Uff. cant. di statistica, Bellinzona
- BADER H., HAEFELI R., BUCHER E., NEHER J., ECKEL O., THAMS CHR., NIGGLI P., (1939), Der Schnee und seine Metamorphose. Beitr. z. Geol. d. Schw., Geotechn. Ser., Hydrologie, Nr. 3, Bern
- BAER O. (1957), Gesteinsklüfte und Rundhöcker. Geogr. Helv. XII, 1, Bern
- BAYRISCHE LANDESSTELLE FÜR GEWÄSSER-KUNDE (1950), Beiträge zur Gewässerkunde. Festschr., München
- BECK P. (1921), Grundzüge der Talbildung im Berner Oberland. Ecl. Geol. Helv. XVI, 2, Lausanne
- (1934), Ueber das schweizerische und europäische Pliozän und Pleistozän. Ecl. Geol. Helv. 26
- BEHRENS S. (1953), Morphogenetische und tektonische Studien der Nordwest-Schönischen Urgebirgsrücken. Lund Studies in Geography. Ser. A. Phys. Geogr. 5
- BINGGELI VAL. (1953), Bericht über die Exkursion des Geogr. Inst. der Univ. Bern nach dem Tessin und Norditalien vom Juni 1953. Verv. Bern
- (1954), Ticino Svizzero. Leben u. Umw. 10/11, Aarau
- (1959), Hydrolog.-morphologische Eindrücke aus Anatolien. Geogr. Helv. XIV, 2, Bern
- (1961 a), Landschaftsformen eines Alpentals. «Alpen», SAC, I
- (1961 b), Karsthydrologische Wasserhärte — Studien im Lukmaniergebiet. Geogr. Helv. I
- (1961 c), id. in Mitt. SNG, Aarau
- BIROT P. (1955), Les Méthodes de la Morphologie. Paris
- BOEGLI A. (1941), Morpholog. Untersuchungen im Goms. Diss. Freiburg i. Ue.
- (1951), Probleme der Karrenbildung. Geogr. Helv. VI, 3, Bern
- BOESCH H. (1945), Morpholog. Karten. Schw. Geogr. 3/4, Bern
- BOLLA G. (1931), La Storia di Olivone. Bellinzona
- BOSSARD L. (1936), Das Gebiet der pennin. Decken zwischen Ticino und Brenno. Beitr. z. Geol. K. d. Schw. NF 71
- BRÜCKNER W. (1941), Ueber die Entstehung der Rauhacken und Zellendolomite. Ecl. Geol. Helv. 34, 1
- BURGER H. (1955), Der Wasserhaushalt im V. d. Melera. Mitt. Schw. Zentr.anst. f. d. forstl. Vers. wesen, Zürich
- CADISCH J. (1925), Zur Talgeschichte von Davos. Erw. Jahresber. Natf. Ges. Graub. LXIV, Chur
- (1942), Die Entstehung der Alpen im Lichte der neuern Forschung. Verh. Natf. Ges. Basel, 54
- (1945), Geolog. Bericht über die Stufen Lucomagno — V. d. Campo und V. d. Campo — Olivone (erstattet an EAWW, 18. 6. 45, unpubliziert), Bern
- (1953), Geologie der Schweizer Alpen. Basel (II. Aufl.)
- COLLET L. W., MELLET R. und GHEZZI C. (1918), II Lago Ritom. Mitt. Eidg. Landeshydrographie, Nr. 13
- DAVIS W. M. (1900), Glacial erosion in the valley of the Ticino. Appalachia 9
- (1924), Die erklärende Beschreibung der Landformen. Berlin
- ECKARDT P. M. (1957), Zur Talgeschichte des Tavetsch, seine Bruchsysteme und jungquartären Verwerfungen. Diss. Zürich
- ENGLER E. (1919), Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. Zürich
- FELS E. (1929), Das Problem der Karbildung in den Ostalpen. Peterm. Mitt. Erg.heft 202
- FISCHER K. (1925 a), Die Grundgleichungen des Wasserhaushaltes eines Flußgebietes. Zentralblatt der Bauverw.
- (1925 b), Niederschlag, Abfluß und Verdunstung des Weser-Quellgebietes. Jb. f. Gew.kde. Nord-deutschl. Bes. Mitt. 4, Berlin
- (1936), Ziele und Wege der Untersuchungen über den Wasserhaushalt der Flußgebiete. Mitt. Reichsverb. d. Deutsch. Wasserwirtsch.
- FLÜCKIGER O. (1934), Glaziale Felsformen. Peterm. Mitt. Erg.heft 218, Gotha
- FRÜH J. (1930), Geographie der Schweiz I, III. St. Gallen
- GAMS H. (1923), Die Waldklimare der Schweizer Alpen. Verh. Natf. Ges. Basel, Bd. 35
- GEOLOGISCHE GENERALKARTE DER SCHWEIZ, BLATT 7: TICINO (1957)
- GEOTECHNISCHE KARTE DER SCHWEIZ, BLATT 4: BELLINZONA — ST. MORITZ (1938)
- GEOLOGISCHE SPEZIALKARTE Nr. 116: GEOLOG. KARTE DER TESSINER-ALPEN ZWISCHEN MAGGIA- UND BLENIO-TAL (1934)
- GERBER A. (1920), Die Entwicklung der geograph. Darstellung des Landes Tessin. Heidelberg
- GERBER ED. K. (1951), Zum Problem der alpinen Talterrassen. Viert.j.schr. Natf. Ges. Zürich, XCVI
- (1956), Das Längsprofil der Alpentäler. Geogr. Helv. XI, 3, Bern
- (1959), Form und Bildung alpiner Talböden. Geogr. Helv. XIV, 3, Bern
- GHEZZI C. (1918), siehe COLLET
- (1925), La portata dei corsi d'acqua del bacino del Ticino. Boll. d. Soc. Ticinese d. Sc. Nat.
- und GYGAX F. (1953), Die hydrolog. Verhältnisse am Alpensüdhang. Wasser- u. Energ.wirtsch., Sonderheft Ticino, XLV, 4/5/6, Zürich

- GRAVELIUS H. (1914), Flußkunde. Berlin u. Leipzig
- GRUND A. (1910), Das Karstphänomen. Geol. Char. bilder, Berlin
- GUTERSOHN H. (1936), Ablation und Abfluß. Viert.j.schr. Natf. Ges. Zürich, LXXXI
- (1958 f), Geographie der Schweiz. Bern
- GYGAX F. (1934), Beitrag zur Morphologie der V. Verzasca. Schw. Geogr. 11/12
- (1940), Ueber die diluviale Schneegrenze am Mte. Tamaro. Verh. SNG, Locarno
- (o. J.), Die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß in den östlichen Vereinigten Staaten v. Nordamerika. (unpubliziert). Langenthal
- (1946 a), Topograph. und hydrograph. Grenzen im Gebiete des Lucomagno. Verh. SNG, Aarau
- (1946 b), Ueber die Größe der Verdunstung im Südtessin. Verh. SNG, Aarau
- und HÜGI TH. (1946 c), Geolog. Bericht zu Utilizzazione idroelettrica del fiume Brenno, Progetto 1946, unpubl., Bern
- (1948), Niederschlag und Abfluß im Einzugsgebiet der Magliasina. Beitr. z. Geol. d. Schw., Geot. Ser., Hydrologie, Bd. III, Bellinzona
- und GHEZZI C. (1953 a), siehe dort
- (1953 b), Die hydrolog. Verhältnisse auf der Südabdachung der Alpen. Geogr. Helv. 4, Bern
- HAASE L. W. (1954), Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Weinheim
- HANN J. v., KNOCH K. (Herausgeber) (1932), Handbuch der Klimatologie. 4. Aufl., Stuttgart
- HANN J. v., SUERING R. (Herausgeber) (1939), Lehrbuch der Meteorologie. 5. Aufl., Leipzig
- HEIM ALB. (1919—22), Geologie der Schweiz. Leipzig
- (1878), Ueber Terrassen und Talstufen in den Alpen. Verh. SNG, Bern
- HELBLING E. (1952), Morphologie des Sernftals. Geogr. Helv. VII, 2, Bern
- HESS H. (1904), Die Gletscher. Braunschweig
- HESS O. (1931), Normalkurve und Erosionsterminante. Viert.j.schr. Natf. Ges. Zürich, LXXXI
- (1935), Die Oberflächenformen des Trienttales (Wallis). Diss. Zürich
- HIRSBRUNNER GERH. (1953), Morpholog. Beobachtungen im Bergsturzgebiet v. Campo Vallemaggia. Geogr. Helv. VIII, 4, Bern
- (1959), Morphologie und Hydrologie der Rovana-täler. Diss. Bern
- HOECK H. und THAMS CHR. (1951), Zum Problem der Niederschlagsmessung. Geofisica, XIX, 3—4, Milano
- HUBER W. (1948), Petrographisch-mineralogische Untersuchungen im südöstlichen Aarmassiv. Schw. Min. Petr. Mitt. 28
- HÜGI TH. (1946), siehe GYGAX
- JEGERLEHNER J. (1902), Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz. Gerl. Beitr. zu Geophys. V, 3
- JAECKLI H. und KLEIBER K. (1943), Temperaturstudien an Gebirgsquellen. Ecl. Geol. Helv. Vol. 36, 1
- JAECKLI H. (1952), Geologische Voraussetzungen für das Wandern von Gefällsstufen. Geogr. Helv. VII, 4, Bern
- (1957), Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebiets. Beitr. z. Geol. d. Schw., Geot. Ser. 36, Bern
- KEILHACK K. (1907), Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde. Berlin
- KINZL H. (1932), Nacheiszeitliche Gletschervorstöße. Zschr. f. Gletsch.kde., XX, Berlin
- KISTLER E. (1954), Hydrolog. Untersuchungen im Gebiet der V. Onsernone. Diss. Bern
- KLEBELSBERG R. v. (1938), Die Stadien der Gletscher in den Alpen. INQUA, Wien
- (1948), Handbuch der Gletscherkunde. Wien
- KOEPPEN W. (1917), Die Klimate der Erde. Berlin
- KÜNDIG E. (1935), Morphologie, Tektonik und Petrographie. Schw. Geogr., XIII
- LAUTENSACH H. (1912), Die Uebertiefung des Tessingebietes. Pencks Geogr. Abh., Stuttgart (mit reichen Angaben über die *ältere morpholog. Lit.*)
- LEHMANN H. (1960), (Herausgeber) Internationale Beiträge zur Karstmorphologie. Zschr. f. Geom., Suppl. Bd. 2, Berlin
- LEHMANN O. (1931), Ueber die Karstdolinen. Mitt. Geogr.-Ethnogr. Ges. Zürich, XXXI
- LEUPOLD W. (1955), Geolog. Gutachten zum Projekt der Blenio-Kraftwerke. Zürich (unpubl.)
- und STAUB R. (1944), siehe STAUB
- LUETSCHG O. (1945), Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluß im Lichte der geolog. Forschung. Ecl. Geol. Helv. Vol. 38, Basel
- (1944 a), Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges. Beitr. z. Geol. d. Schw., Geot. Ser., Hydrologie, 4, I. Bd., 1. Teil, 1. Abt., Allgemeines
- (1944 b), Zur Hydrologie der Landschaft Davos. In oben, II. Bd., III. Teil
- MACHATSCHEK F. und STAUB W. (1927), Morpholog. Untersuchungen im Wallis. Ecl. Geol. Helv. XX
- (1928), Talstudien in der Innerschweiz und in Graubünden. Mitt. Geogr.-Ethnogr. Ges. Zürich 27/28
- (1954), Geomorphologie. (6. Aufl.) Leipzig
- MARTONNE E. de (1911), L'érosion glaciaire et la formation des vallées alpines. Ann. d. Géogr. 19/20
- (1925), Traité de Géographie physique. Paris
- MAULL O. (1938), Geomorphologie. Enzyklopädie der Erdkunde, Wien
- MAURER J., BILLWILLER R. und HESS C. (1909), Das Klima der Schweiz. Frauenfeld
- MERCANTON P. L. (1953), Recherches de techniques pluviométrique. Ann. MZA, Zürich
- MERIAN R. (1946), Eine neue geomorpholog. Untersuchungs- und Darstellungsmethode am Beispiel des obern Engelberger Tales. Diss. Zürich
- MORTENSEN H. (1943), 60 Jahre moderne geogr. Morphologie. Jb. d. Akad. d. Wiss., Göttingen
- NEUENSCHWANDER G. (1944), Morphometrische Begriffe. Diss. Zürich
- NERZ R. (1955), Ideengeschichte der Quartärforschung. Korr. Bl. Geogr.-Ethnogr. Ges. Basel, V, 2
- NIGGLI P. (1934 a), Das Gotthardmassiv. Geol. Führ. d. Schw. Fasc. II, Allg. Einf., Basel
- und WINTERHALTER R. U. (1934 b), Das Lukmaniergebiet. Exk. Nr. 63, Geol. Führ. d. Schw., Fasc. XI, Basel
- PREISWERK H., GRÜTTER O., BOSSARD L., KÜNDIG E. (1936), Geolog. Beschreibung der Tessiner Alpen zwischen Maggia- und Bleniotal. Beitr. z. Geol. K. d. Schw., NF 71, Bern
- NIGGLI E. und CADISCH J. (1953), Geologie der Schweizer Alpen. II. Aufl., Basel
- NUSSBAUM F. (1910), Die Täler der Schweizer Alpen. Wiss. Mitt. d. Schw. Alp. Mus., Bern
- (1916), Talbildung in den Alpen. Jb. SAC, Bern
- (1945), Zur Frage der präglazialen Talböden im Berner Oberland. Schw. Geogr., 2, Bern
- OERTLI H. (1952), Karstphänomene und Karstgebiete. Diplarb. Univ. Bern (unpubl.)
- PARDE M. (1920), Le régime des cours d'eaux suisse. Rev. Géogr. Alp., Tome VIII
- PENCK A. und BRÜCKNER E. (1909), Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig
- PIPPAN THERESE (1957), Anteil von Glazialerosion und Tektonik an der Beckenbildung am Beispiel des Salzachtales. Zschr. f. Geomorph., I

- PREISWERK H. u. a. (1934 a) siehe NIGGLI
— und REINHARD M. (1934 b), Geolog. Uebersicht
über das Tessin. Geol. Führer d. Schw., Fasc. III,
Allg. Einf., Basel
- PRINZ E. (1923), Handbuch der Hydrologie. Berlin
PTT (o. J.), Schweizerische Alpenposten, Lukmanier.
Eidg. Postverw., Bern
- (1948), id. oben, Generaldir. PTT, Bern
- REIST M. (1953), Schwierigkeiten der Niederschlags-
messung. Ber. Jahresvers. SNG in Geogr. Helv.,
VIII, 4, Bern
- (1960), Morphologie und Hydrologie des Bavona-
tales. Diss. Bern
- RODER E. (1914), Niederschlag und Abfluß im bünd-
nerischen Rheingebiet. Mitt. Schw. Landeshydrogr.,
Bern
- ROTH R. (1923), Ueber die Beziehungen zwischen
Niederschlag und Abfluss im Reussgebiet. Diss.
Basel
- RÜTIMEYER L. (1869), Ueber Tal- und Seebildung.
Basel
- SCHAAD E. (1926), Quellenstudien. Monatsbull. f.
Gas- und Wasserfachm., Basel
- SCHWARZENBACH G. (o. J.), Titrationen mit Hilfe
von Komplexon. Siegfr. AG, Zofingen
- SCHUEPP M. (1950), Wolken, Wind und Wetter. Bü-
chergilde Zürich
- SEIFFERT R. (1960), Zur Geomorphologie des Ca-
lancatales. Basler Beitr. z. Geogr. u. Ethn.
- SOELCH J. (1935), Fluß- und Eiswerk in den Alpen
zwischen Oetzal und St. Gotthard. Pet. Mitt. Erg.
heft 219/220
- STAUB R. (1924), Der Bau der Alpen. Beitr. z.
Geol. K. d. Schw. NF 52, Bern
- (1934), Grundzüge und Probleme alpiner Morpho-
logie. Denkschr. SNG, LXIX, Zürich
- (1838), Zur Frage einer Schlußvereisung im Ber-
ninagebiet. Ecl. Geol. Helv., Vol. 31, 1, Basel
- und LEUPOLD W. (1944), Allg. Gutachten über
die geolog. Grundlagen einer Ausnützung der Was-
serkraft des Bleniotales. Geol. Inst. ETH (unpubl.),
Zürich
- STINY J. (1926), Einiges über Gesteinsklüfte und Ge-
ländeformen in der Reisseckgruppe (Kärnten).
Zschr. f. Geom. I, Leipzig
- STAUB W. (1945), Alte Talböden im Mittelwallis und
im Reußtal. Schw. Geogr., 2
- TOLLNER H. (1952), Wetter und Klima im Gebiete
des Großglockners. Mitt. Natw. Ver. Kärnten,
14. Sonderh., Klagenfurt
- UTTINGER H. (1945), Die Niederschlagsverhältnisse
der Südschweiz, (1901—40). Ann. MZA
- (1949), Die Niederschlagsmengen in der Schweiz
(1901—40). Zürich
- VETTERLI W. A. (1944), Frühe Freunde des Tessins.
Zürich
- VOSSELER P. (1945), Zur Morphologie des Enga-
dins. Schw. Geogr., 2
- WAGNER G. (1950), Einführung in die Erd- und
Landschaftskunde. Oehringen
- WITSCHI R. (1957), Morphologie und Hydrologie der
Oberen Bleniotäler. Diss. Bern
- WUNDT W. (1953), Gewässerkunde. Berlin-Götting-
en-Heidelberg
- ZINGG TH. (1954), Niederschlagsmessung im Hoch-
gebirge. Wetter und Leben, VI