BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ—HYDROLOGIE

NR. 18

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

CHRISTIAN JAGGI

HYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IN VERSCHIEDENEN TESSINERTÄLERN

Einfluss von Niederschlag und andern Faktoren auf
das Abflussgeschehen

Kommissionsverlag: Geographischer Verlag Kümmerly & Frey, Bern

Stämpfli + Cie AG, Bern 1970

Vorwort der Hydrologischen Kommission und der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die obgenannten Kommissionen freuen sich, die Dissertation des Herrn Dr. Chr. Jaggi: "Hydrologische Untersuchungen in verschiedenen Tessinertälern" als Nr. 18 in die Publikationsreihe "Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie" aufzunehmen. Beide Kommissionen beteiligten sich in angemessener Weise an den Druckkosten.

Der Verfasser hat auf Grund zahlreicher Berner Dissertationen und unveröffentlichten Arbeiten des Geographischen Institutes der Universität Bern die hydrologischen Verhältnisse in den Tälern Verzasca, Rovana, Bavona, Onsernone, Blenio, Lucomagno, Vedeggio, Magliasina und Muggio überarbeitet und zusammengestellt. Insbesondere unterzog er das hydrologische Geschehen in den einzelnen Jahreszeiten einer eingehenden Analyse, um Anhaltspunkte über die Grösse der Landesverdunstung und deren Abhängigkeiten von klimatischen und morphologischen Gegebenheiten aufzudecken. Eigene Begehungen, Messungen und Wassermarkierungen ergänzten die schon bestehenden Feldaufnahmen.

Die Kommissionen danken im besonderen auch Herrn Prof. Gygax für seine grossen Bemühungen um die Arbeit.

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

Zürich, den 16. Januar 1970

Für die Schweiz. Geotechnische Kommission

Der Präsident:

Prof. Dr. F. de Quervain

Für die Hydrologische Kommission der S. N. G.

Der Präsident:

Prof. G. Schnitter

Vorwort des Verfassers

Im Frühling 1964 kam ich durch Herrn Prof. Dr. F. Gygax in Kontakt mit dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, in dessen Auftrag ich eine Untersuchung über den Gletscherrückgang und verschiedene Abflussmessungen im Lötschental und Langetengebiet durchführte. Dabei war vorgesehen, dass ich allfällige Resultate später in meiner Dissertation verwenden könne. Da sich bei der Auswertung dieser Messungen jedoch zeigte, dass solche Untersuchungen in grossem Rahmen und über lange Zeit durchgeführt werden müssen, begab ich mich damals auf die Suche nach weiterem Grundlagenmaterial.

Hier möchte ich in erster Linie Herrn Prof. Gygax für seine tatkräftige Unterstützung beim Entstehen dieser Arbeit danken; besonderen Dank aber auch für all die interessanten und lehrreichen Vorlesungen, sowie für die wohldurchdachten Exkursionen. In verschiedenen Besprechungen mit ihm ergab sich dann, dass sich meine hier vorliegenden Untersuchungen nur auf die Tessinertäler konzentrierten.

In freundlicher Weise wurden mir von allen Seiten Messergebnisse zur Verfügung gestellt. Herr Prof. Gygax machte mir alle Werte, welche bis dahin in den Tälern des Tessins durch das Geographische Institut der Universität Bern ermittelt worden waren, zugänglich. Von den Maggia-Kraftwerken AG Locarno stammen alle Abflusswerte der Rovana-, Bavona- und Onsernonetäler. Ich möchte hier vor allem Herrn Dr. Liechti meinen besten Dank für seine Unterstützung aussprechen. Weitere Abflussmessungen verdanke ich der Verzasca SA Lugano, dem Dep. Cost. Economica delle Acque Bellinzona (Isone, Bioggio), dem OECL Lugano (Magliasina) und dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (Bavona bei Bignasco und Muggiotal). Ebenfalls Herrn Ambrosetti vom Osservatorio Ticinese möchte ich für seine Hilfe bestens danken. Das Erscheinen dieser Arbeit im Rahmen der "Beiträge zur Geologie der Schweiz - Hydrologie" bedingte einige Straffungen und Präzisierungen, zu welchen mir Herr Ing. P. Kasser wertvolle Ratschläge erteilte. (Zur Originalarbeit gehören 187 mehrfarbige Zeichnungen und Figuren, verschiedene Kartenausschnitte, Fotos sowie alle verwendeten Wertetabellen. Aus drucktechnischen Gründen wurden diese in der hier vorliegenden, leicht gekürzten Arbeit in 86 schwarz-weissen Figuren und 13 Tabellen zusammengefasst.) Einen ganz besondern Dank jedoch meiner Frau, welche mich bei diesen Untersuchungen nicht nur tatkräftig unterstützte, sondern auch die dreimalige Reinschrift, mit der mir in freundlicher Weise von den IBM gratis zur Verfügung gestellten Schreibmaschine, besorgte.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

ERSTER TEIL 1

1. Umfang und Ziel der Untersuchungen 1
2. Untersuchungsgebiete, Karte und Uebersichtstabelle 3
3. Bezeichnungen und Abkürzungen 5
4. Graphische Darstellungen und statistische Methoden 5

ZWEITER TEIL

1. Verzascatal 8
   - 1.1. Allgemeines 8
   - 1.2. Bisherige hydrologische Arbeiten 10
   - 1.3. Grösse und Lage der hydrologischen Teilgebiete 11
   - 1.4. Hydrologische Untersuchungen des Val Verzasca 11
     - 1.4.1. Die Beziehungen zw. Jahresniederschlag und -abfluss 11
       - 1.4.1.1. Gebietsniederschläge - Abfluss 11
       - 1.4.1.2. Niederschläge in Frasco - Abfluss 11
       - 1.4.1.3. Vergleich der Niederschläge: Tal - Frasco 12
       - 1.4.1.4. Die hydr. Jahre 1964/65 und 1965/66 12
       - 1.4.1.5. Uebergreifende hydrologische Jahre 12
     - 1.4.2. Sommerperioden 14
     - 1.4.3. Winterniederschläge und Abfluss bei Schneeschmelze 17
     - 1.4.4. Zusammenfassung 18
   - 1.5. Die Seitentäler: Vogornesso, Redorta, Osola und Lavertezzo 19
     - 1.5.1. Besonderheiten in der Auswertung dieser Täler 19
     - 1.5.2. Val Vogornesso 21
     - 1.5.3. Val Redorta 24
     - 1.5.4. Valle d'Osola 26
     - 1.5.5. Lavertezzo-Täler 30
   - 1.6. Spezielle Verdunstungsbeobachtungen 33
     - 1.6.1. Wasserfälle 33
     - 1.6.2. Schneeschmelze 35
   - 1.7. Zusammenstellung der wichtigsten Regressionsgeraden und Grenzen des Verzascatales und seiner Teilgebiete 36

2. Rovanatäler: Valle di Bosco und Valle di Campo 37
   - 2.1. Allgemeines und bisherige hydr. Arbeiten und Messungen 37
   - 2.2. Orometrische Werte der Rovanatäler 38
   - 2.3. Niederschläge 38
     - 2.3.1. Tägliche Messungen in Bosco-Gurin 38
     - 2.3.2. Tägliche Messungen in Mosogno und Kontrolle der benützten Stationen: Frasco, Bosco-Gurin, Mosogno 39

2.3.3. Monatliche Niederschlagsmessungen in Quadrella und Campo durch die Tessiner Forstdirektion 40
2.3.4. Totalisatoren 40
2.4. Abfluss 41
2.4.1. Verschiedene Abflussmessungen 41
2.4.2. Kontrolle der verschiedenen Abflussmessungen 41
2.5. Korrelation der Abflusswerte mit den Niederschlägen 42
2.5.1. Boscotal 42
2.5.2. Campotal 45
2.5.3. Bosco- und Campotal 46
2.6. Gebietsniederschläge 47
2.6.1. Gebietsniederschläge Boscotal 47
2.6.2. Gebietsniederschläge im Campotal oberhalb Piano 48
2.6.3. Campotal oberhalb Collinasca 49
2.6.4. Bosco- und Campotal 49
2.7. Zusammenstellung der Resultate 50
2.7.1. Boscotal 50
2.7.2. Regressionsgeraden nach Quadrella oder Bosco 50
2.7.3. Grenzen der übergreifenden hydr. Jahre 50
2.7.4. Zusammenstellung der wichtigsten Regressionsgeraden und Grenzen der Rovanatäler 52

3. Bavonatal und seine Seitentäler 52
3.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Arbeiten 52
3.2. Niederschläge und Abflussmengen 53
3.3. Untersuchungen der Teilgebiete 55
3.3.1. Basodino (Abflussstation Zöt) 55
3.3.2. Val Cavagnoli 63
3.3.3. Bavona oberhalb Robiei 63
3.3.4. Randinascia 64
3.3.5. Bavona oberhalb Campo 67
3.3.6. Bavona unterhalb Campo; Versuch einer Rekonstruktion der Abflüsse der Bavona bei Bignasco 68

4. Onsernone und Vergeletto 70
4.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Arbeiten 70
4.2. Vergleiche mit der Niederschlagsstation Mosogno 71
4.2.1. Abfluss in Russo 71
4.2.2. Teilgebiete 72
4.3. Zusammenstellung Onsernone und Vergeletto 73

5. Magliasina 74
5.1. Einleitung und Uebersicht 74
5.2. Neuere Messungen 75
5.3. Vergleiche mit N-Fescoggia 75
5.4. Gebietsniederschläge 76
5.5. Zusammenstellung Magliasina 77

6. Vedeggio 78
6.1. Isone (hydrologische Jahre) 78
6.2. Vedeggio bis Bioggio 78
6.3. Weitere Untersuchungen von Isone 80

7. Muggiotal 81
7.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Messungen 81
7.2. Vergleich der Niederschläge mit dem Abfluss 81

8. Gebiete ohne genaue Niederschlagsmessungen 84

9. Gebiete mit bedeutenden Fremdwasser Zu- oder Abflüssen 84

10. Zusammenstellung der Ergebnisse ähnlicher hydrologischer Forschungen in schweizerischen Einzugsgebieten 84

DRITTER TEIL 85

1. Zusammenfassung und allgemeine Ergebnisse 85

2. Zusammenstellung der speziellen Ergebnisse 86
2.1. Vergleich der Sommer- und Winterperioden 86
2.2. Vergleich der Regressionsgeraden 87
2.3. Der Einfluss des Waldes auf die mittlere Abflusshöhe 88
2.4. Geologische Verhältnisse 89
2.5. Die mittlere Höhe 90
2.6. Verluste besonderer Bachläufe 90

3. Schlussbemerkungen 91

TABELLEN
Verzeichnis der 13 Tabellen 93

FIGUREN
Verzeichnis der 86 Figuren 109

LITERATURVERZEICHNIS 165

E R S T E R T E I L

1. UMFANG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

In der vorliegenden Arbeit geht es darum, den Einfluss des Niederschlages und weiterer Faktoren (Bewaldung, mittlere Höhe, Geologie, Morphologie usw.) auf den Abfluss eines hydrologisch geschlossenen Gebietes näher zu untersuchen. Zu dem Zweck werden in den untersuchten Gebieten möglichst viele gemessene hydrologische Daten miteinander verglichen. Vor allem wird versucht, das Abflussgeschehen in ganzen Tälern (auch vergletscherten Gebieten) aus den, in einer Niederschlagsstation gemessenen Werten zu erklären.

Für die Grösse des Abflusses ist sicher in erster Linie die Niederschlagshöhe massgebend. Wieweit jedoch noch andere Faktoren mithineinspielen, ist für jedes Tal verschieden. Die Verdunstung, welche durch die Temperaturen, die Bodenbeschaffenheit und -bedeckung mitbestimmt wird, die geologischen Verhältnisse - unterirdische Wasserzu- und -abflüsse - und viele andere Faktoren wechseln von Tal zu Tal. Auch können sich die Verhältnisse im Laufe der Zeit ändern. Obwohl sich in jedem Jahr der Jahreszeitenwechsel ungefähr gleich vollzieht, ist der Verlauf der Niederschläge, der Sonneneinstrahlung und der Temperatur immer wieder anders.

Schon O. Lütschg, der "Altmeister der Hydrologie", hat in seinen 1945 erschienenen Beiträgen "Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges" (Lit.) die Probleme der Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss eingehend besprochen. Um im konkreten Einzelfall etwas über die wirkliche Grösse der verschiedenen Faktoren aussagen zu können, braucht es langjährige und zuverlässige Messungen. Durch die Initiative von F. Gygax, dem Leiter des Geographischen Institutes der Universität Bern, und der Unterstützung durch interessierte Unternehmungen, sind in den verschiedensten Tälern während vielen Jahren solche Messungen durchgeführt worden, welche immer wieder durch Doktoranden untersucht, verfeinert, ergänzt und ausgewertet wurden. Diese Dissertationen, welche im allgemeinen nur ein Talgebiet umfassen, sowie viele später ausgeführte Messungen standen mir für meine Untersuchungen zur Verfügung.

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, welche nicht namentlich erwähnt werden können, aber zum Zustandekommen und zur Auswertung dieser hydrologischen Messungen beitrugen. Das Ermitteln von Totalisator- und Abflusswerten im Hochgebirge erfordert neben grossem Idealismus auch sehr viel Zuverlässigkeit und Hingabe. Nicht alle Messergebnisse weisen die gleiche Genauigkeit auf. Im Laufe der Zeit wurden die Messmethoden verfeinert, so dass die Werte einer Station für verschiedene Messperioden und die Werte verschiedener Stationen für eine bestimmte Periode nicht ohne weiteres vergleichbar sind.

Bei den Abflüssen berücksichtigte ich nur die Resultate, welche über längere Zeit mit Hilfe von Limnigraphenaufzeichnungen und Flügelmessungen entstanden. Wenn auch in den am höchsten gelegenen Stationen die Abflussmessungen im Winter wegen Schnee und Eis nicht durchgeführt werden konnten, sind doch die Jahreswerte als gut gesichert zu betrachten. Die Abflussmengen im Sommer und während der grossen Herbstniederschläge sind in den fraglichen Gebieten so gross, dass kleine Unsicherheiten bei den Winterwerten die Resultate nicht wesentlich beeinflussen können. Die ausserordentlichen Abflussspitzen sind in den meisten hier untersuchten Gewässern quantitativ sehr schwierig zu erfassen, da während dieser Zeit keine Flügelmessungen durchgeführt werden können. Um die Abflüsse mit den Niederschlägen vergleichen zu können, war es notwendig, alle in m3/sec ermittelten Abflusswerte auf die Abflusshöhe des betreffenden Gebietes umzurechnen.

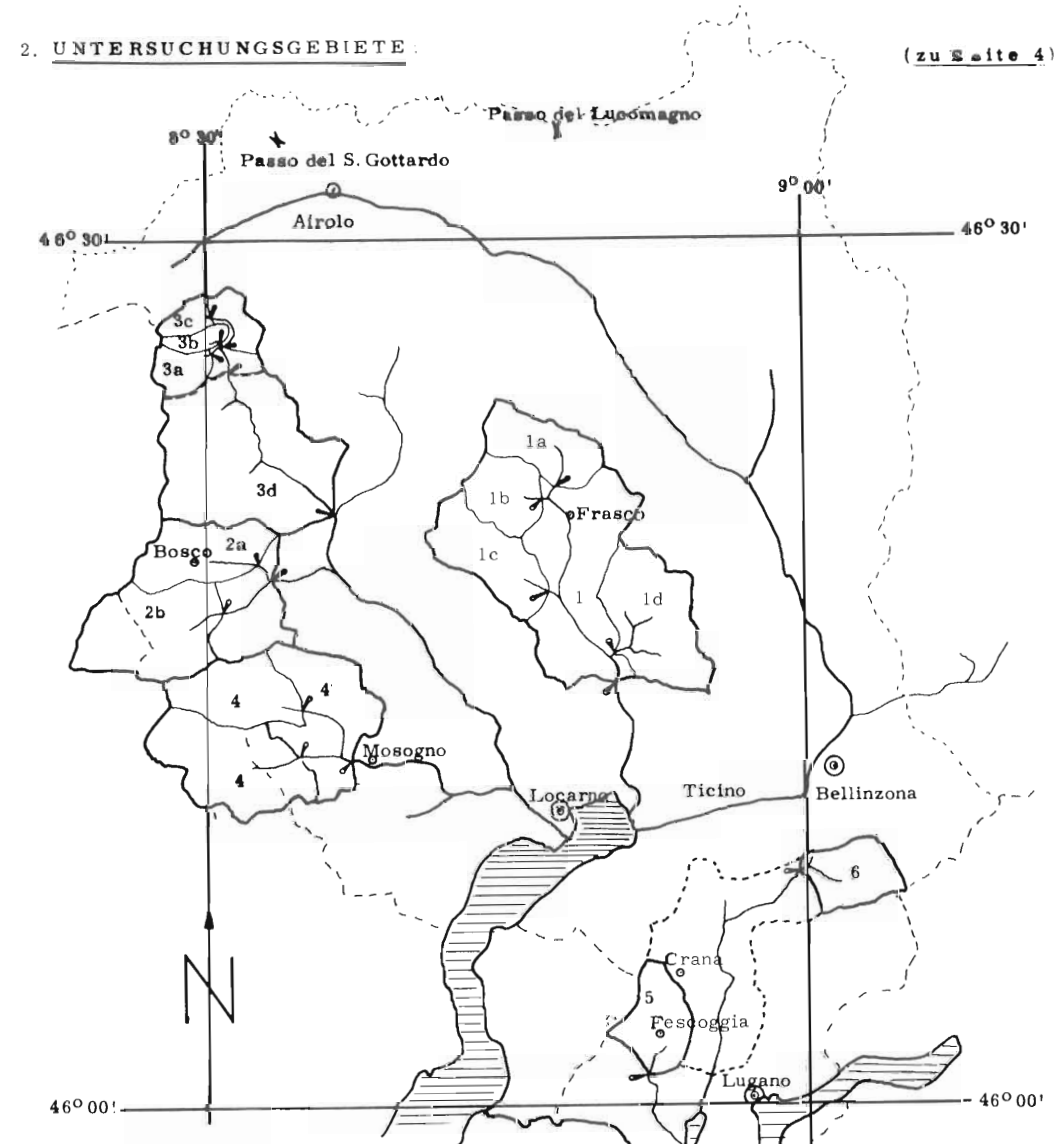
Die Niederschlagshöhen sind im allgemeinen weniger genau bestimmt als die Abflusshöhen. Um in einem Einzugsgebiet den genauen Gebietsniederschlag festzustellen, ist ein sehr engmaschiges Beobachtungsnetz notwendig, da sonst beim Zeichnen von Niederschlagskarten der freien Interpretation zu grosser Spielraum gelassen werden muss. Schon die Totalisatorwerte sind nicht als ganz zuverlässig zu betrachten. Besonders während des Winters können im Hochgebirge grosse Fehler entstehen. In allen von mir benutzten Dissertationen wird immer wieder auf diesen Umstand hingewiesen. Der durch Schneemessungen bestimmte Niederschlagswert weicht oft um mehr als 100 % von dem in der gleichen Zeit unmittelbar nebenan bestimmten Totalisatorwert ab. Abweichungen wurden sowohl in negativer wie in positiver Richtung festgestellt, so dass keine allgemein gültige Regel aufgestellt werden konnte. Zudem geben die Totalisatorwerte leider nur Auskünfte über die Jahressummen, während es für spezielle Untersuchungen unbedingt notwendig ist, auch kleinere Zeiteinheiten zu erfassen.

Die Niederschlagsverteilung kann in den einzelnen Gebieten von Jahr zu Jahr sehr verschieden sein. Bei der Verwendung von,für grössere Einzugsgebiete gezeichneten,Niederschlagskarten zur Bestimmung der mittleren Niederschlagshöhe von kleinen Teilgebieten ist grösste Vorsicht geboten. Die so erhaltenen Niederschlagswerte von Teilgebieten lassen sich in allen Fällen sehr gut mit den Werten des ganzen Gebietes korrelieren, während die Abflüsse der verschiedenen Teilgebiete doch zeigen, dass die Unterschiede bedeutender sind.

Ich habe darum in den meisten Fällen die Abflüsse mit den täglich gemessenen Niederschlagswerten einer bestimmten Station des Gebietes verglichen und erst am Schluss versucht, die Höhe der Gebietsniederschläge mit Hilfe von allen anderen gemessenen Werten zu ermitteln.

2. UNTERSUCHUNGSGEBIETE

(zu Seite 4)



— — —	Schweizergrenze		
-------	Grenze des Kt. Ticino		
⊙	Niederschlagsstation (tägl. Messungen)		
1	Verzascatal	1a	Vogornesso
		1b	Redorta
		1c	Osola
		1d	Lavertezzo
2	Rovanatäler	2a	Boscotal
		2b	Campotal
3	Bavonatal	3a	Basodino (Zöt)
		3b	Randinascia
		3c	Cavagnoli
		3d	Bavona unterh. Campo
4	Onsernone		
5	Magliasina		
6	Isone		
7	Muggiotal		
	Limnigraphenstation		

2. UNTERSUCHUNGSGEBIETE (siehe Karte auf Seite 3)

	Limnigraphenstation	Einzugsgebiet in km2	Mittlere Höhe in m ü.M.
1 Verzascatal	oberhalb Corippo	188,9	1680
	Vogornesso	25,70	1835
	Redorta	18,24	1833
	Osola	30,45	1705
	Lavertezzo	44,10	1703
2 Rovanatäler	oberhalb Collinasca	101,2	1860
	Boscotal	28,8	1965
	Campotal	48,2	1920
3 Bavonatal	oberhalb Bignasco	121,7	1950
	Basodino	9,40	2575
	Cavagnoli	5,02	2600
	Bavona bei Robiei	13,60	2485
	Randinascia	4,70	2320
	Bavona bis Campo	32,40	2420
	Bavona zwischen Campo und Bignasco	89,30	1780
4 Onsernone	oberhalb Russo	119,2	1585
	Onsernone oberhalb Comologno	48,4	1630
	Vergeletto oberhalb Vergeletto	28,2	1740
5 Magliasina		21,97	1055
6 Isone		19,65	1450
7 Muggiotal		47,40	940

3. BEZEICHNUNGEN UND ABKUERZUNGEN

N bedeutet, wenn nichts anderes angegeben ist, die Niederschlagshöhe in mm für ein Jahr. Diese wurde entweder durch Addieren der täglichen oder monatlichen Werte einer Station oder durch einen Jahrestotalisator gewonnen. In diesem Fall steht bei dem N der Name der Station (z. B. N-Frasco). Bei Niederschlagshöhen, welche durch die Auswertung von Niederschlagskarten entstanden sind, steht hinter dem N der Name des Tales (z. B. N-Verzascatal). Sie geben für das betreffende Jahr die mittlere Niederschlagshöhe des ganzen Gebietes an.

A bedeutet, wenn nichts anderes angegeben ist, die jährliche Abflusshöhe in mm für ein bestimmtes Einzugsgebiet. Die mittels Limnigraph ermittelte Abflussmasse wird dabei gleichmässig auf das Einzugsgebiet verteilt. Der dem A zugegebene Name bezeichnet die Abflussstation (z. B. A-Corippo).

Die "normalen" hydrologischen Jahre dauern vom 1. Oktober bis zum 30. September des folgenden Jahres. Für verschiedene Untersuchungen war die Einteilung in diese "normalen" hydrologischen Jahre wegen der grossen Herbstniederschläge nicht geeignet. Ich habe deshalb oft die Werte vom 1. August bis 31. Juli, vom 1. September bis 31. August und vom 1. November bis 31. Oktober ebenfalls berechnet und diese Jahreswerte, zusammen mit den "normalen" hydrologischen Jahren, übergreifende hydrologische Jahre genannt. In der abgekürzten Schreibweise bedeutet zum Beispiel "Aug. 66" das Jahr, welches vom 1. September 1965 bis zum 31. August 1966 dauerte.

4. GRAPHISCHE DARSTELLUNGEN UND STATISTISCHE METHODEN

Bei der Untersuchung der vorhandenen verschiedenen hydrologischen Werte sollte zunächst die Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen festgestellt werden. Die graphische Darstellung dieser Abhängigkeit wird normalerweise so ausgeführt, dass der Niederschlag (als unabhängige Variable) als Abszisse und die zugehörige Abflusshöhe (als vom Niederschlag abhängige Variable) als Ordinate aufgetragen wird. Der mehr oder weniger vorhandene Zusammenhang zwischen den zwei Variabeln wurde durch die Korrelationsrechnung bestimmt. Die Regressionsgeraden sind jeweils nur innerhalb der Grenzen der gemessenen Werte gezeichnet; damit dies auch aus den Formeln sofort ersichtlich wird, stehen unter den betreffenden Niederschlags- und Abflussbezeichnungen normalerweise drei Zahlen. Die erste stellt den kleinsten und die dritte den grössten gemessenen Wert dar, während die mittlere Zahl das Mittel aller berücksichtigten Werte angibt; nur zwei Zahlen deuten die Grenzen an, eine einzige vorhandene Zahl gibt das Mittel wieder.

Alle Werte sind in mm und, sofern nicht ausdrücklich eine Bemerkung vorhanden ist, für die Dauer eines Jahres angegeben. Sämtliche durch Korrelation ermittelten Beziehungen wurden durch Angabe des betreffenden Korrelationskoeffizienten vervollständigt.

In einigen geeigneten Untersuchungsgebieten wurde der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss während der Sommermonate oder während der Dauer der Schneedecke (Spätherbst bis Frühling bzw. Vorsommer) untersucht. Diese Werte sind mit grösseren Unsicherheiten behaftet als die Jahreswerte. Mit einiger Vorsicht liess sich daraus eine "Grenze der maximalen Abweichung" gegenüber den Beziehungen der Jahresmittel bestimmen, die ich direkt aus den verschiedenen graphischen Darstellungen erhielt. Ebenso konstruierte ich zu verschiedenen Darstellungen der übergreifenden hydrologischen Jahre eine "Umhüllende", innerhalb welcher sich fast alle gemessenen Wertepaare befinden. Nach statistischen Gesichtspunkten wäre es für die jährlichen Beziehungen möglich, die sogenannten "V e r t r a u e n s g r e n z e n" zu bestimmen; diese lassen jedoch auch gegen sehr kleine Niederschlags- und Abflusswerte immer grössere Differenzen zu, während sie in der Nähe der Mittelwerte dem Punkteschwarm am nächsten liegen. Dies stimmt mit den hydrologischen Tatsachen nicht überein, da bei wenig Niederschlag auch die Abflussschwankungen klein sein müssen. Aus diesem Grunde wurde auf die Errechnung dieser Vertrauensgrenzen verzichtet.

Umrechnungen

Der direkte Vergleich zwischen Niederschlag und Abfluss erfordert die immer wieder sehr zeitraubende Umrechnung der in m3/sec gemessenen Tagesmittel des Abflusses auf die Abflusshöhe des zugehörigen Einzugsgebietes. Die wichtigsten dieser Umrechnungen wurden mit der Rechenmaschine des Geographischen Institutes der Universität Bern ausgeführt, während ich mich bei den andern Untersuchungen mit der Genauigkeit der Rechenscheibe begnügte.

Für die Vergleiche des Abfluss- und Niederschlagsgeschehens während der Sommer- und Wintermonate mit den Jahreswerten, habe ich die Werte ebenfalls prozentual nach der Länge der verwendeten Perioden auf das Jahr umgerechnet. Dies geschah ausschliesslich mit der Rechenscheibe.

Um die Abhängigkeit der Abflüsse von den andern meteorologischen Faktoren zu bestimmen, wurde in einzelnen Fällen auch mit der mehrfachen linearen Korrelation gearbeitet. Zu diesem Zweck stand mir die Rechenanlage der Universität und Finanzdirektion Bern zur Verfügung. Es wurde nach dem von den Herren Dr. H. Riedwyl, E. Jacot des Combes und E. Koch geschaffenen Programm gearbeitet. Der Bull General Electric-Computer

benötigte für die verschiedenen Auswertungen der ungefähr 3500 gelochten Karten 6 Arbeitsstunden. Ein ausführliches Beispiel dieser Arbeitsweise befindet sich im zweiten Teil unter 3.3.1. Basodinogebiet.

In allen besprochenen Fällen sind die Werte der einfachen linearenKorrelationsrechnung,vom statistischen Gesichtspunkt aus,sehr gut gesichert; die Wahrscheinlichkeit, dass die Messungen nur zufällig in einer Beziehung zueinander stehen, liegt weit unter einem Promille. Ausnahmefälle sind besonders vermerkt.

Bei der mehrfachen linearen Korrelation sind die nach dem F-Test ermittelten Unsicherheiten (A. Linder "Statistische Methoden", Lit.) angegeben:

****	bedeutet	$\ll 1$ ‰
***	bedeutet	< 1 ‰
**	bedeutet	< 1 %
*	bedeutet	< 5 %

Das Zeichen $\simeq$ bedeutet, dass die angegebenen Beziehungen aus Mangel an sicheren Angaben nicht durch Regressionsrechnungen gefunden wurden; mit Hilfe besonderer Graphika konnten sie nach Berücksichtigung aller anderen Umstände abgeschätzt werden.

ZWEITER TEIL

1. VERZASCATAL

1.1. Allgemeines

Das Verzascatal macht auf den Besucher den Eindruck eines wilden und romantischen Tessiner Bergtales. Die hohen und steilen Flanken des Taltroges sind nur von spärlichem Wald bedeckt, durch welchen überall die anstehenden Felsen durchschimmern. Mit Ausnahme der etwas breiteren Talböden oberhalb Brione weist das Tal keine Alluvialebenen auf,und die Terrassen beschränken sich allgemein auf kleine Relikte.

Sicher wurden die tiefen Trogtäler mit den halbkreisförmigen Abschlüssen von Gletschern geformt, während die Flüsse sich seither nochmals einzutiefen und die Mündungsstufen der Hängetäler auszugleichen vermochten; wie zum Beispiel der Lavertezzobach und die Verzasca selber beim Ausgang in die Magadinoebene.

Die Gebiete mit Bergsturz- und Sackungsmassen, sowie die Schuttkegel der Wildbäche, sind im Vergleich zum ganzen Einzugsgebiet der Verzasca eher bescheiden und haben sicher keinen grossen Einfluss auf das Abflussgeschehen des ganzen Tales. Höchstens im Val Vogornesso und Valle d'Osola spielen sie eine Rolle im Wasserhaushalt des einzelnen Tales.

In höheren Zonen sind grössere Verflachungen anzutreffen (Pettanetto- und Bedrettoterrassen). Hier befinden sich - auf tektonischen Schwächezonen - mehrere Seelein. Diese Gebiete sind hydrologisch am wenigsten genau bestimmbar, da die Niederschläge in diesen Höhen sehr unsicher sind; dies beeinflusst vor allem die Genauigkeit der Untersuchungen der Teilgebiete.

Geologisch bildet das Verzascatal eine Einheit, da es mit wenigen Ausnahmen ganz innerhalb des einheitlichen Tessin-Komplexes liegt. Zu beachten sind besonders die vielen Störungslinien, welche oft sogar die Talrichtung kleinerer Nebentäler und immer wieder die Richtung der Flüsse auf kürzeren Strecken bestimmen. In ihren Klüften werden sich auch bei grösster Trockenheit immer noch gewisse Wasserreserven befinden, so dass die Verzasca nie ganz austrocknen kann.

Der enge Talausgang, welcher in den Jahren 1960 - 64 durch eine imposante Bogenmauer abgesperrt wurde, vermochte lange Zeit fremde Einflüsse aus diesem malerischen Tale fernzuhalten. Heute führt eine gut ausgebaute Autostrasse durchs Haupttal bis nach Sonogno (919 m ü. M.), auf welcher, besonders im Sommer,viele Touristen aus allen Ländern diesem imposanten Tal einen Besuch abstatten. Sämtliche Seitentäler besitzen bis jetzt keine oder nur im untersten Teil schmale Naturstrassen.

Von Locarno aus erreicht man nach Tenero und Gordola auf steil ansteigender Strasse bald die Höhe des Stausees, welchem man in einem Kehrtunnel und mehreren langen Hangtunneln ausweicht.

Weiter der linken Talseite folgend, gelangt man über Vogorno zur Abflussstation Corippo. Die Limnigraphenstation steht äusserst günstig an einer Stelle, wo die grünen Wasser der Verzasca sich tief in anstehende Felsen eingegraben haben. Ungefähr 50 m weiter talauswärts wird über einer Felsschwelle der Abfluss von einer Seilbahn aus mit Hilfe von Flügelmessungen bestimmt. An dieser Stelle können die Abflüsse sowohl bei Wassertiefstand,wie auch bei den im Tessin häufigen und sehr grossen Hochwassern, mit guter Genauigkeit und Zuverlässigkeit bestimmt werden, da das Messprofil sich nicht verändert.

In Lavertezzo, dem nächsten Dorf an der Strasse, wird der gemeinsame Abfluss aus den drei Tälern Agro, Piancascia und Carecchio über einer Felsschwelle bei der Strassenbrücke gemessen. Steigt man in diese drei Täler hinauf, was bis jetzt nur zu Fuss möglich ist, so fällt der schluchtartige Talausgang auf. Alle Flüsse schäumen tief unten im engen Bachbett, während die steinigen Fusswege meistens weit höher den,nur von spärlichem Wald bedeckten, felsigen Talflanken nach verlaufen. Weiter hinten öffnen sich die Täler und besitzen alle gut ausgebildete , halbkreisförmige Talabschlüsse. Die Seitenflanken werden gegen die Höhe zu immer flacher.

Die Autostrasse führt unmittelbar hinter Lavertezzo an der vielbesuchten und romantischen "Ponte dei Salti", einem kunstvollen Bogenbrücklein vorbei. Nach ungefähr zwei Kilometern wechselt sie auf die rechte Talseite über und erreicht dann,durch Bergsturzmassen führend,in einer scharfen Kurve die Höhe von Brione (757 m ü. M.).

Das Osolatal, welches bei Brione ins Haupttal mündet, ist ein tiefes Trogtal mit sehr steilen Talwänden. Hier finden sich auch grössere Bergsturz- und Wildbachschuttmassen. Im hintersten Teil konnte sich ein ausgedehnter Talboden bilden, auf welchem ein schöner Wald steht. Der Abfluss dieses Tales wird hinter Brione über einer Felsschwelle unter einer kleinen Brücke gemessen. Der zugehörige Limnigraph steht etwas weiter flussaufwärts.

Von Brione erstreckt sich eine Alluvialebene bis gegen Sonogno. Die Talsohle ist hier etwas breiter, wird jedoch hie und da durch grössere Schuttkegel unterbrochen. In Frasco werden durch eine Station der MZA seit 1956 die täglichen Niederschläge registriert, auf welche ich mich bei den genaueren Untersuchungen hauptsächlich stützte.

In Sonogno ist die ausgebaute Strasse zu Ende. Schmale Naturstrassen führen noch ungefähr zwei Kilometer in die beiden Quelltäler Val Redorta und Val Vogornesso hinein. Spätestens in 1000 m Höhe beginnen jedoch in beiden Tälern die Fusswege.

Das Val Redorta, ebenfalls ein prächtiges, glazial überformtes Tal, erreicht nicht ganz die Breite der Valle d'Osola. Zahlreiche Schutthalden zu beiden Seiten geben ihm eher den Eindruck eines V-Tales. Zudem verhindert der Ostgrat des pyramidenförmigen Monte Zucchero einen schönen, halbkreisförmigen Trogtalabschluss. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass am Fuss dieses Ostgrates, zwischen der Alpe Redorta und der Alpe Mugaglia auffallend grosse Niederschlagshöhen registriert wurden. Durch die grössern Alluvialmassen bedingt, ist es nicht möglich, den Abfluss dieses Tales über einer Felsschwelle zu messen.

Aehnlich sind die Verhältnisse im etwas grösseren Val Vogornesso. Dieses bildet zwar ein klassisches Trogtal mit prächtigem Abschluss; ist jedoch an beiden Flanken stark von Gehängeschutt überdeckt. Besonders bemerkenswert sind die vor allem im Val Vogornesso und Val Redorta vorherrschenden Hochflächen. Diese schon erwähnten Verflachungen, welche Lautensach, Gygax und Grütter in allen Teilgebieten nachgewiesen haben, nehmen in diesen zwei Tälern ihre grössten Ausmasse an.

1.2. Bisherige hydrologische Arbeiten

Das Verzascatal eignet sich in besonderer Weise zum Studium der Faktoren, welche sich auf den Abfluss auswirken. Dieser weist oberhalb der Abflussstation Corippo ein natürliches Regime auf und wurde seit 1929 durch Ing. Ghezzi und von 1955 an durch Prof. Gygax mit Hilfe von Flügelmessungen und eines Limnigraphen bei Corippo gemessen.

Seit 1962 stehen auch die Resultate von vier weiteren Abflussstationen der Teilgebiete; Val Vogornesso, Val Redorta, Valle d'Osola und Lavertezzotäler zur Verfügung (Verzasca SA, Lugano).

Ebenfalls besteht seit 1956 ein Totalisatorennetz, welches über die Verteilung der Niederschläge hinreichende Auskünfte gibt. Ferner werden die täglichen Niederschläge seit 1957 in Frasco durch eine Station der MZA gemessen.

Alle diese hydrologischen Daten (bis 1964) wurden von E. Grütter in seiner Dissertation (Lit.) dargestellt. In grosszügiger Weise stellte mir Herr Prof. Dr. F. Gygax auch die von E. Grütter erst nach dem Abschluss seiner Dissertation hergestellten Niederschlagskarten (bis 1966/67) mit den Totalisatorwerten zur Verfügung, ohne die eine genauere Untersuchung der Teilgebiete gar nicht möglich gewesen wäre.

1.3. Grösse und Lage der hydrologischen Teilgebiete

Tal	Einzugsgebiet in km2	Mittlere Höhe in m	Tiefster Punkt in m	Höchster Punkt in m
Verzasca	188,90	1680	500	2864
Vogornesso	25,70	1835	930	2864
Redorta	18,24	1833	950	2804
Osola	30,45 *	1705 *	750	2736
Lavertezzo	44,10	1703	530	2520
* nach Grütter	29,86	1685		

1.4. Hydrologische Untersuchungen des Val Verzasca

1.4.1. Die Beziehungen zwischen Jahresniederschlag und Jahresabfluss

1.4.1.1. Gebietsniederschläge - Abfluss

Grütter stehen in seiner Dissertation acht Jahreswerte der hydrologischen Jahre 1956/57 bis 1963/64 zur Verfügung. Er erhält folgende Beziehung:

A-Corippo = 0,99 N-Verzascatal - 365 mm k = 0,97

Inzwischen sind drei weitere Jahre dazugekommen. Für die elf Jahreswerte ergibt sich nun (Figur 1):

A-Corippo = 0,990 N-Verzascatal - 376 mm k = 0,971
(1352-1890-2803) (1717-2290-3165)

Es ist hier zu beachten, dass die Geraden nur für Abflusswerte zwischen 1350 mm und 2800 mm gültig sind. Zudem werden sie in hohem Masse durch die beiden Werte der Extremjahre 1961/62 und 1959/60 bestimmt. Lässt man einen von diesen weg, so resultieren andere Geraden. Ein besonders niederschlagsarmes oder -reiches Jahr vermag die ganze Darstellung in hohem Masse zu verändern.

1.4.1.2. Die Niederschläge in Frasco - Abfluss

Seit 1956 werden in Frasco die täglichen Niederschläge durch eine Station der MZA gemessen. Diese Niederschläge der hydrologischen Jahre lassen sich ebenfalls mit den Abflüssen korrelieren und ergeben folgende Beziehung: (Figur 2)

A-Corippo = 0,943 N-Frasco MZA + 34 mm k = 0,958
(1352-2890-2803) (1384-1970-2861)

Der Korrelationskoeffizient ist etwas kleiner als bei den Niederschlägen des ganzen Tales (nach den Niederschlagskarten von Grütter). Dieser Unterschied ist jedoch nur sehr klein (0,013). Zudem weisen die Geraden beinahe die gleiche Steigung auf.

1.4.1.3. Vergleich der Niederschläge: Tal - Frasco

Durch das umfangreiche Totalisatorennetz wurden die Gebietsniederschläge für die hydrologischen Jahre des ganzen Tales erfasst. Andererseits standen mir die täglichen Niederschlagsmessungen von Frasco zur Verfügung.

Ohne die zwei fraglichen Werte der hydrologischen Jahre 1964/65 und 1965/66, auf die später eingegangen wird, gilt mit guter Genauigkeit folgende einfache Beziehung (Figur 3):

N-Verzascatal $\simeq$ N-Frasco MZA + 320 mm

Die Fehler, welche entstehen, wenn man anstelle der gemessenen Werte die einfache, oben angeführte Beziehung annimmt, sind für die beiden Extremjahre sehr klein:

Trockenes Jahr 1961/62:	+ 39 mm = + 2,3 %
Sehr nasses Jahr 1959/60:	+ 16 mm = + 0.5 %

1.4.1.4. Die hydrologischen Jahre 1964/65 und 1965/66

Die Grenze des hydrologischen Jahres, der 1. Oktober, wirkt sich in diesen beiden Jahren sehr ungünstig aus, da im Jahre 1965 im feuchten September (N-Frasco = 854 mm!) die Niederschläge vor allem am Ende fielen, während die zugehörigen Abflüsse zum Teil erst anfangs Oktober registriert wurden. Nach Figur 4 beträgt der bis Ende September 1965 noch nicht zum Abfluss gekommene Niederschlag 150 bis 160 mm.

Da die Totalisatorwerte unmöglich in der Nacht vom 30. September auf den 1. Oktober abgelesen werden können, ergeben sich auch bei den Gebietsniederschlägen immer wieder grössere Unsicherheiten, wenn die Abstiche in einer Periode mit grösseren Niederschlägen ausgeführt werden sollten. Es ist darum notwendig nach einer Lösung zu suchen, um solche offensichtlichen Mängel zu beheben.

1.4.1.5. Uebergreifende hydrologische Jahre

In Figur 5 sind die monatlichen Niederschlagshöhen von Frasco und die Abflüsse von Corippo, sowie die Summen ihrer Differenzen aufgetragen. Die Niederschlagshöhen wurden prozentual etwas reduziert, so dass ihre Summe in den ungefähr elf Jahren gleich gross wie die Summe der Abflusshöhe ist. Unter Vernachlässigung der Verdunstung gestattet es diese Figur, sich

ein ungefähres Bild über den zeitlichen Ablauf von Rücklagen und Aufbrauch zu machen. Ich habe darin alle brauchbaren übergreifenden hydrologischen Jahreswerte bestimmt, welche mit dem 1. Juli, 1. August, 1. September, 1. Oktober oder 1. November beginnen und bei deren Anfang und Ende das hydrologische Geschehen einigermassen ausgeglichen war.

Ergebnisse mit erklärbaren Unstimmigkeiten wie 1. November 1959 (frühes Einschneien) und 1. Oktober 1965 (Niederschlag im September - Abfluss im Oktober) wurden weggelassen. Es blieben zum Schluss 51 brauchbare Jahreswerte von Niederschlägen in Frasco und Abflüssen in Corippo zur weiteren Auswertung.

Mit diesen Daten liess sich ein engerer Zusammenhang über eine grössere Variationsbreite finden; er lautet (Figur 6):

A-Corippo (925-1917-3230) = 1,0334 N-Frasco MZA (996-1987-3194) - 136,6 mm k = 0,985

Dieser Wert scheint sehr gut, hat jedoch von der statistischen Auswertung her gesehen einen Nachteil: die verschiedenen Messwerte sind sehr stark autokorreliert, da der nachfolgende Wert vom vorhergehenden abhängig ist, d.h. bis zu 5/6 oder 83 1/3 % aus diesem besteht. Dieser Mangel wird behoben, wenn die Korrelationsrechnungen für die Werte jeder einzelnen Grenze gesondert ausgeführt werden.

Zusammenstellung dieser Resultate:

Grenze	Zahl der Werte	Regressionsgerade	k
1. Juli	8	A-Corippo = 0,973 N-Frasco - 38 mm	0,986
1. Aug.	10	A-Corippo = 1,058 N-Frasco - 186 mm	0 989
1. Sept.	11	A-Corippo = 1,081 N-Frasco - 236 mm	0,984
1. Okt.	9 *	A-Corippo = 0,994 N-Frasco - 51 mm	0,979
1. Nov.	8	A-Corippo = 1,058 N-Frasco - 160 mm	0,993

* ohne 1963/64 und 1964/65

Diese verschiedenen Regressionsgeraden liegen so nahe beisammen, dass in Zukunft doch mit den übergreifenden Jahreswerten gearbeitet wurde.

Es ist zu beachten, dass ausgerechnet der Korrelationskoeffizient für die normalen hydrologischen Jahre (1. Oktober bis 30. September) den kleinsten Wert aufweist. Dies ist sicher auf die in dieser Klimazone häufigen, ausserordentlich grossen Herbstniederschläge zurückzuführen. Für das unvergletscherte Verzascatal wäre eine andere Grenze des hydrologischen Jahres geeigneter (z. B. 1. August oder 1. September).

1.4.2. Sommerperioden

Da mir die täglichen Werte der Niederschlagsmessungen von Frasco und der Abflüsse in Corippo zur Verfügung standen, lag es nahe, das Niederschlag - Abfluss - Geschehen für ganz bestimmte Perioden noch etwas näher zu untersuchen.

Nach dem Aufzeichnen der Daten für die Jahre 1960 - 66 (Beispiele sind die zwei Figuren 7 und 8), wählte ich daraus alle Perioden, bei welchen man annehmen konnte, dass der ganze Niederschlag in den letzten niederschlagsfreien Tagen zum Abfluss gekommen war. (Dabei wurde, wenn der durchschnittliche Abfluss am letzten Tag grösser als 5 m3/sec oder kleiner als 3 m3/sec war, der Abfluss dieser Periode etwas korrigiert, wie im Beispiel von Figur 4 teilweise gezeigt wird. Ich rechnete aus, wieviel - ohne neuen Niederschlag - noch abgeflossen wäre, bis der durchschnittliche Tagesabfluss auf 5m3/sec fiele. Betrug das letzte Tagesmittel weniger als 3 m3/sec, so rechnete ich nur bis zu dem Tag, dessen Abfluss erstmals diese Grenze unterschritt.

Werden die Perioden sehr klein gewählt (im Minimum vier Tage), so ergibt sich eine Konzentration der Punkte gegen Null, und die Regressionsgerade wird durch den Ursprung und das Mittel der Werte bestimmt: Im Verzascatal ist auch bei grösster Trockenheit immer ein kleiner Abfluss vorhanden:

A-Corippo = 0,925 N-Frasco MZA

Vergrössert man jedoch die Länge der Perioden, indem Perioden vor und nach unsicheren Grenzen addiert werden (bis zu vier Perioden), so erhöht sich die Zuverlässigkeit. Die Lage der Geraden beträgt bei einer mittleren Länge der 27 Perioden von 25 Tagen (Figur 9):

A-Corippo = 1,037 N-Frasco - 30,1 mm (in ca. 25 Tagen) $k = 0,964$
(40-500) (60-500)

Sinken die Niederschläge unter die in obenstehender Formel angegebenen Grenze von 60 mm, so wäre trotzdem ein kleiner Abfluss vorhanden (Quellen usw.). Die Sicherheit wird noch etwas grösser, wenn man die mittlere Temperatur, welche mir leider nur von Locarno zur Verfügung stand, ebenfalls berücksichtigt. Statistisch gesichert, mit Fehlerwahrscheinlichkeiten $\ll$ 1 ‰, sind folgende Zusammenhänge:

$$\text{A-Corippo} = 1{,}011 \cdot \text{N-Frasco} - 3882\,\frac{1}{T} - 298 \cdot \ln T + 1065 \text{ mm} \qquad k = 0{,}976 \; ***$$
(182) (205) (0,06) (2,9)

$$\text{A-Corippo} = 0{,}811 \cdot \text{N-Frasco} + 57{,}97 \cdot \ln \bar{A}\text{-letzter Tag} - 71\text{mm} \qquad 0{,}976 \; ***$$
(182) (205) (1,5)

$$\text{A-Corippo} = 1{,}053 \cdot \text{N-Frasco} - 4{,}37 \cdot T^2 - 852\sqrt{T} - 57080\,\frac{1}{T} - 18400 \cdot \ln T + 2600\text{mm} \qquad 0{,}983 \; ***$$
(182) (205) (362) (4,23) (0,06) (2,85)

(T=mittlere Temperatur der Periode in Locarno)

Die Prüfung dieser Sommerwerte auf Autokorrelation verlief negativ. Die betreffenden Koeffizienten heissen:

	Regressions-,	Korrelationskoeffizient	F-Test
für den Niederschlag:	+ 0,102	0,099	0,3 -
für den Abfluss:	+ 0,235	0,226	1,6 -

Es ist folglich gar nicht so, dass auf eine niederschlagsreiche Periode wieder eine niederschlagsreiche folgt und umgekehrt. Bei den Abflüssen ist dieser Zusammenhang etwas grösser, was sofort einleuchtet, da eine vorhergehende nasse Periode der nächsten noch etwas Abfluss spendet und nach einer längeren Trockenzeit alle Reserven so aufgebraucht sind, dass der erste Niederschlag vor allem wieder diese auffüllen muss.

Nach dem in der Dissertation von W. Schwab (Lit.) angegebenen Prüfverfahren: $-\frac{1}{N-1} \pm t_{1‰} \cdot \frac{N-2}{N-1}$
könnten die Regressionskoeffizienten im vorliegenden Fall zwischen den Werten + 0,597 und -0,659 liegen, ohne dass eine Autokorrelation vorliegt. Die kleinen Korrelationskoeffizienten bedeuten ausserdem, dass die Niederschläge nur zu $0{,}099^2 = 0{,}0098$ oder ungefähr 1 % und die Abflüsse nur zu $0{,}226^2 = 0{,}051$ oder ungefähr 5 % durch die einfache lineare Korrelation aus den Werten der vorhergehenden Periode erklärt werden können. Zudem liegt auch nach dem F-Test der Regressionsgeraden mit den kleinen Werten von 0,3 resp. 1,6 kein Anhaltspunkt vor, dass der Niederschlag oder Abfluss einer Periode massgebend von dem der vorhergehenden Periode abhängig wäre.

Berechnet man für jede einzelne dieser Sommerperioden den durchschnittlichen Niederschlag und Abfluss für einen Tag und trägt diesen graphisch auf, so fallen die Werte von November und Oktober meistens bei gleichem Niederschlag durch grösseren Abfluss auf: es wird in diesen Monaten weniger verdunsten.

Die übrigen Punkte liegen ziemlich genau auf einer Geraden, nur sind im Mittel im Hochsommer, bei gleichen Niederschlagshöhen, die Abflusshöhen nochmals kleiner! Umgerechnet auf durchschnittlich 25 Tage macht es etwa 4 mm aus (Figur 10).

A-Corippo = 0,924 N-Frasco MZA - 0,520 mm (pro Tag) k = 0,988
(7,36) (8,54)

Um einen weiteren Anhaltspunkt über den Unterschied von Niederschlag und Abfluss im Hochsommer zu erhalten, benützte ich die Werte dieser Perioden noch auf andere Weise.

Zuerst rechnete ich alle Werte auf 365 Tage um. Dies ergab wirklich vergleichbare Werte mit den schon erhaltenen Beziehungen der übergreifenden hydrologischen Jahre. Diese Werte trug ich in Figur 11 graphisch auf. Da die Punkte wegen der oft sehr kurzen Dauer der Perioden stark streuten, berechnete ich auch noch die Mittelwerte von immer zwei nacheinander folgenden Perioden. Um längeren und normalerweise mit weniger Fehlern behafteten Perioden das grössere Gewicht zu geben, vermerkte ich durch die Grösse der Punkte auf der graphischen Darstellung auch die Länge der Perioden.

Da die Punkte sehr stark streuen, folgen noch einige Hinweise auf die Witterung in den dargestellten Sommern. Sie können zum Teil recht beträchtliche Abweichungen verständlich machen, da es ein Unterschied ist, ob eine gewisse Niederschlagsmenge einer Periode auf einmal in einem Gewitter, während eines Dauerregens oder verteilt auf einige Güsse fällt.

Witterungshinweise über die Sommer 1960 bis 1967

1960 Ein Sommer mit ausserordentlich hohen Niederschlägen, vor allem gegen den Herbst zu.

1961 Wenig Niederschläge, sehr trockener September, gegen den Spätherbst etwas feuchter.

1962 Sehr wenig Niederschläge, noch weniger Abfluss; vor allem am 4. August sehr lokale Gewitter (viel Niederschlag nur in Frasco).

1963 Viel Niederschlag und Abfluss, besonders gegen den Herbst zu. 21.-25. Juli sehr lokale Gewitterniederschläge in Cevio, Fusio, Bosco Mosogno. Frasco jedoch trocken. Werte vom 23. Juli bis 2. August darum nicht berücksichtigt.

1964 Sehr wenig Niederschlag und Abfluss; Niederschlag im Juli in Frasco nicht genau gemessen. Ziemlich viele Niederschlagstage im August, sehr wenig im September, viele im Oktober (zum Teil nicht gemessen). Keine grossen Tageswerte, darum im Sommer und Herbst kleine Monatssummen.

1965 Trockener Sommeranfang nach relativ niederschlagsarmem Winter und Herbst. Bis 20. August trocken, dann sehr grosse Herbstniederschläge. Brauchbare Werte bis 2. November

1966 Viel Niederschlag im Juli, dafür schöner August. September in Frasco nicht zuverlässig gemessen. Oktober sehr viel Niederschlag

1967 Nasser Frühling. Nach schönem Sommer zum Teil schon im August bedeutende Niederschläge.

Es ergeben sich für die Sommer- und Herbstwertepaare ungefähr folgende Beziehungen und Grenzen (umgerechnet auf Jahreslängen):

A-Corippo(Sommer) $\geq$ 0,6 N-Frasco MZA
(für 500 bis 1260 mm "Jahresniederschlag")

$\geq$ 1,0 N-Frasco MZA - 500 mm
(für 1260 bis 4000 mm "Jahresniederschlag")

A-Corippo(Herbst) $\approx$ 0,96 N-Frasco MZA - 200 mm
(600-8000)

1.4.3. Winterniederschläge und Abfluss bei Schneeschmelze

Bei den Winterniederschlägen und ihrem Abfluss, welcher zum grössten Teil erst im Frühling während der Schneeschmelze erfolgt, ist der Zusammenhang schwieriger zu erforschen. Es lässt sich hier für jedes Jahr nur ein unabhängiger Mittelwert für den Niederschlag und Abfluss finden. Ob der Abfluss noch während des Spätherbstes, in einer Wärmeperiode des Winters, oder erst im Frühling erfolgt, blieb unberücksichtigt. (Alle Werte wurden, ebenfalls um sie mit andern Zusammenhängen vergleichbar zu machen, prozentual auf die Jahreslänge umgerechnet.)

Der Winter beginnt nicht im ganzen Tal zur gleichen Zeit, und auch die Schneeschmelze zieht sich in den höchsten und schattigsten Seitentälern noch weit in den Sommer hinein. Sicher verdunstet im Mai und Juni aus diesen Schneefeldern und den Abflüssen sehr viel.

Die dargestellten Werte sind als Mittelwerte aufzufassen. Wegen der unsichern Grenzen berechnete ich, wenn möglich, für einen Winter zwei Werte indem fragliche Herbst- oder Sommerwerte in einem Fall dazugezählt, im andern Fall weggelassen wurden. Trotz der verhältnismässig grossen Unsicherheit zeigen diese Werte doch, dass im Winter vom Niederschlag mehr abfliesst als im Sommer, denn es ist anzunehmen, dass das Verhältnis der Niederschläge von Frasco zu jenen des ganzen Einzugsgebietes im Winter und im Sommer nicht sehr verschieden ist. Nach Figur 12 gelten ungefähr folgende Grenzen:

A-Corippo (Winter) $\leqq$ 1,5 N-Frasco - 500 mm
(850-1200)

A-Corippo (Winter) $\leqq$ 1,0 N-Frasco + 100 mm
(1200-2100)

1.4.4. Zusammenfassung

Stellt man die erhaltenen Regressionsgeraden zusammen, so erhält man folgende Aussagen:

Alle Regressionsgeraden besitzen mehr oder weniger die gleiche Steigung. Sommer- und Herbstwerte liegen zum Teil sehr hoch, Winter- und Frühlingswerte tief.

Berechnet man zusätzlich, dass (wie früher gezeigt wurde) die Niederschläge im Tal pro Jahr um 320 mm höher sind als in Frasco, setzt diesen Betrag links an und zieht die 45° Gerade, so bedeutet ihr waagrechter Abstand zu der Regressionsgeraden die durchschnittlichen Verluste (zum grössten Teil Verdunstung) der betreffenden Periode: Sommer. Jahr, Winter und Frühling (Figur 13).

		Verluste	
		Nass-Perioden	Trocken-Perioden
Sommer	ca.	800 mm	550 mm
Jahr	ca.	300 mm	440 mm
Winter und Frühling	ca.	220 mm	360 mm

- Im Verzascatal fliesst während nasser Perioden im Winter und im Jahresmittel verhältnismässig mehr ab als in Trockenperioden. Regnet es in diesen Zeiten nur wenig, so scheint wegen der höheren Temperaturen mehr zu verdunsten. Auffällig ist diese Erscheinung im Winter 1964/65. In Wintern mit grossen Niederschlägen ist die Verdunstung ebenso gross wie in normalen Wintern. Einmal muss die Zeit,bis der letzte Schnee geschmolzen ist,bis weit in den Sommer mit wieder höherer Verdunstung verlängert werden, und dann ist auch die Verdunstung aus den offen daliegenden Schneefeldern beträchtlich.

- In den relativ kurzen Sommerperioden sind die Beziehungen anders. Umgerechnet auf die Dauer eines Monats bedeutet dies, dass in einem feuchten Sommermonat, wenn die Station Frasco mehr als 105 mm Niederschlag misst, bis zu 70 mm nicht zum Abfluss kommen. (Die Gebietsniederschlagshöhe beträgt in diesem Fall mehr als 132 mm.)

- Die in den Figuren 11 und 13 dargestellten Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss sind für den Herbst weniger gut gesichert. Doch dürfte die Verdunstung im Herbst kleiner sein als im Sommer.

1.5. Die Seitentäler: Val Vogornesso, Redorta, Osola und Lavertezzo

1.5.1. Besonderheiten in der Auswertung dieser Täler

Aehnlich wie für das ganze Verzascatal versuchte ich, die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss in seinen vier Teilgebieten zu bestimmen, wo mir für die letzten fünf Jahre Abflussmengen zur Verfügung standen.

Es ergeben sich hier jedoch grössere Unsicherheiten, wofür vor allem folgende Gründe verantwortlich sind:

- Die Zeit ist recht kurz; es stehen nur fünf Jahre zur Verfügung.
- Die Niederschlagswerte wurden höchstens an einer Stelle monatlich und an einer bis zwei weiteren Stellen jährlich gemessen. Dazu befinden sich alle Stationen mehr oder weniger im Talesgrund oder in Kessellagen.
- Ueber die Niederschläge in grösster Höhe und auf den relativ flachen Höhen (Pettanetto- und zum Teil Bedrettoterrassen) fehlen die genauen Angaben.
- Es ist fraglich, ob die Niederschlagswerte von Frasco für die Seitentäler repräsentativ sind.
- Die meteorologische Situation während der einzelnen Niederschlagsperioden spielt für die Seitentäler eine grosse Rolle.

  Bei mediterranen Niederschlägen, wenn die regenbringenden Luftmassen von Süden her in das Tal eindringen, liegen die Valle d'Osola und die Lavertezzotäler im Regenschatten des P.di Vogorno, P.Orgnana, Madonne di Giove und der angrenzenden Kette zwischen dem Maggiatal und der Valle d'Osola.

  Bei atlantischen Störungen gehen die Niederschläge eher über alles weg. Einzelne Wolken bleiben gerne noch an hohen Gipfeln, zum Beispiel den Umrandungen der Täler von Lavertezzo hängen, wo sie sich ganz ausregnen (1. September und 1. Oktober 1962/63).

  Zudem spielt auch die Temperatur der Luftmassen eine Rolle. An den Grenzen von zwei Luftmassen mit verschiedener Temperatur kann es zu ausserordentlich starken, oft lokal sehr begrenzten Gewittern kommen. Die starke Kammerung der Verzascatäler begünstigt diese lokalen Unterschiede sehr.
- Die Abflüsse sind kleiner und darum die Fehler grösser. Im Val Redorta zum Beispiel ist das Messprofil recht ungünstig, so dass hier grössere Unsicherheiten auftreten, während die Abflussstation in Lavertezzo sehr gut ist. (Hier sind jedoch die Niederschläge wieder unsicher.)

- Es fehlen die direkten Messungen in besonders trockenen oder nassen Jahren. Ein sehr trockenes Jahr konnte vom 1. August oder 1. September 1964 bis 1965 bei den Niederschlägen von Frasco und allen Abflüssen errechnet werden. Im niederschlagsreichen hydrologischen Jahr 1959/60 wurde leider der Abfluss aus diesen Teilgebieten noch nicht gemessen. Für die Zusammenhänge zwischen den Niederschlägen wurden diese Werte jedoch meistens auch benützt, um etwas grössere Sicherheit zu erhalten.

Vorgehen

Ich versuchte zuerst, ähnlich wie bei den Untersuchungen des ganzen Verzascatales, auch in den Teilgebieten einen Zusammenhang zwischen den Abflüssen und den täglich zuverlässig registrierten Niederschlägen in Frasco für ganz bestimmte Perioden herzustellen.

Es wurden für jedes Tal berechnet Niederschlags- und Abflusshöhen für:

- die übergreifenden hydrologischen Jahre,
- vom Einschneien bei Winteranfang bis zum Ende der Schneeschmelze,
- die Sommer- und Herbstniederschlagsperioden mit den dazugehörenden Abflüssen.

Damit diese Werte miteinander verglichen werden konnten,habe ich auch hier die Winter-, Sommer- und Herbstperioden auf die Länge eines ganzen Jahres umgerechnet.

Soweit als möglich wurde nun in diesen Tälern der Zusammenhang zwischen dem Gebietsniederschlag und dem Niederschlag in Frasco gesucht. Um etwas grössere Genauigkeit zu erhalten, wurden auch die grossen Niederschläge des hydrologischen Jahres 1959/60 benützt, obschon dieses Jahr nicht zur betrachtenden Periode (1962/63 bis 1966/67) gehört.

Zum Schluss wurden die zwei gefundenen Beziehungen vereinigt, so dass eine Abhängigkeit der Gebietsniederschläge mit den Abflüssen entstand. Besondere Umstände und Schwierigkeiten werden bei den einzelnen Tälern besprochen.

Die von mir aus den Niederschlagskarten von Grütter herausplanimetrierten Niederschlagswerte für die Seitentäler, lassen sich sehr gut mit den Werten der Niederschlagskarte des ganzen Tales korrelieren. Sie geben jedoch nur in wenigen Fällen zuverlässige Anhaltspunkte, dass in einem Jahr in einem bestimmten Nebental besonders viel oder besonders wenig Niederschlag gefallen wäre. Zudem wirkt sich auch hier die Grenze des hydrologischen Jahres zwischen September und Oktober 1965 sehr nachteilig aus, da es ausgerechnet in diesen Tagen sehr viel regnete und die Totalisatoren unmöglich in der Nacht zwischen 30. September und 1. Oktober abgelesen werden konnten. Schon dadurch, dass die Messungen zuerst in einem und

dann erst im anderen Tal durchgeführt wurden, ergeben sich durch Interpolation usw. recht grosse Unsicherheiten. Ich habe mich darum vor allem auf die Mittel der fünf Jahre gestützt.

Bei den Abflüssen aus den einzelnen Teilgebieten sind die Unterschiede zu den Messungen in Corippo viel grösser, was sicher auf die vollständige Unabhängigkeit dieser Messungen zurückzuführen ist. In einzelnen Fällen (Valle Redorta 1952/53) glaubte ich jedoch, daraus auch auf eine Unsicherheit in den Abflussmengen schliessen zu können.

Auf eine exakte statistische Auswertung wurde bei den Untersuchungen verzichtet, da die gemessenen Werte mit zu grossen Fehlern behaftet sind. Die Wertepaare wurden graphisch aufgezeichnet und so ausgewertet. Alle Resultate sind darum mit der nötigen Vorsicht zu betrachten. Es kann sich lediglich um Hinweise auf gewisse Besonderheiten handeln.

1.5.2. Val Vogornesso

Die Niederschläge werden im Val Vogornesso, dem hintersten Teil des Verzascatales an zwei Stellen gemessen. Der Totalisator Corte di Fondo steht 1540 m hoch, ist jedoch eine richtige Kesselstation, und die Monatswerte von Calione (1110 m) - einer Talstation - ergeben auch keinen Aufschluss über die Niederschläge auf den relativ flachen Hochterrassen. Die Niederschlagsstation Sonogno und vor allem die Basisstation Frasco sind nicht weit entfernt, so dass die Fehler nicht viel grösser werden, wenn ich mich besonders auf die hier gemessenen Werte stütze. Die wirklichen Gebietsniederschläge lassen sich jedoch nur mit grösseren Fehlern errechnen, wie dies in den höher gelegenen Regionen meistens der Fall ist.

Die meisten Gipfel rings um das Tal besitzen eine Höhe von 2500 bis 2700 m. Der höchste Punkt ist der P. Barone mit 2864 m, während der niedrigste im Pso di Piatto nur 2108 m beträgt.

Die Abflussstation liegt am Ausgang des Tales, hinter Sonogno, in ca. 920 m Höhe.

Vergleiche zwischen N-Frasco MZA und A-Vogornessotal

In Figur 14 sind die gemessenen Niederschläge in Frasco MZA den mit Hilfe von Limnigraphen bestimmten Abflüssen für die hydrologischen Jahre 1962/63 bis 1966/67 gegenübergestellt. Wie aus den zwei Werten der Jahre 1964/65 und 1965/66 auch hier sofort zu erkennen ist, wirkt sich die Grenze des 1. Oktobers 1965 hier besonders ungünstig aus. Berechnet man die Mittelwerte und gleicht diese zwei Jahre etwas aus, so ergibt sich ungefähr folgende Beziehung:

N-Frasco MZA $\simeq$ A-Vogornessotal + 30 mm
(1400-1970-2450) (-1940-)

Uebergreifende hydrologische Jahre mit Beginn: 1. August, 1. September, 1. Oktober und 1. November

Die 14 Werte liegen ungefähr auf einer Geraden (Figur 15), deren Richtung vor allem durch die zwei niedrigsten Werte (1. August und 1. September 1964/65) bestimmt werden. Sie ist in folgender Gleichung dargestellt:

A-Vogornessotal (-1998-) $\simeq$ 1,15·N-Frasco MZA (-1977-) - 275 mm

Wie sich im weiteren Verlauf der Untersuchungen jedoch gezeigt hat, gibt diese Gerade nicht den richtigen Zusammenhang zwischen den zwei Grössen wieder; ohne diese zwei kleinen Wertepaare ist die Niederschlagshöhe in Frasco und der Abfluss aus dem Vogornesso ungefähr gleich gross. Die Werte der hydrologischen Jahre streuen sehr stark. Es kann so auch gelten:

A-Vogornessotal $\simeq$ N-Frasco MZA + 30 mm

Sommerniederschlag und -abfluss auf das Jahr umgerechnet

Um einige Punkte zu erhalten, welche die Beziehung im Sommer darstellen, rechnete ich auch hier die Werte der Sommerperioden auf die Länge des Jahres um. Einige Werte, wo noch die Schneeschmelze oder der Winteranfang hinein spielten, wurden weggelassen (Figur 16). So verblieben nur noch sehr wenig Werte, welche keine sichere Angabe der unteren Grenze für die Abflüsse ermöglichen; vor allem, da die Niederschläge in Frasco bei Gewitterperioden nicht repräsentativ für die Gebietsniederschläge sind. Die angegebene Grenze ist darum mit grosser Unsicherheit behaftet. Sie lautet:

A-Vogornessotal(Sommer) $\geqq$ 0,6·N-Frasco MZA (N< 2000 mm)

A-Vogornessotal(Sommer) $\geqq$ 1,0·N-Frasco MZA - 800 mm (N > 2000 mm)

Winter

Da der Winter in diesem hintersten und hochgelegenen Tal am längsten dauert und auch wieder sehr früh beginnt, mussten die Perioden sehr lang gewählt werden, damit wirklich die ersten Rücklagen im Spätherbst und die letzten Schmelzwasserabflüsse erfasst werden konnten. Zudem gab es zum gewünschten Zeitpunkt meistens keine eindeutige Grenze. (Beginn von grösseren Niederschlägen nach einer längeren Trockenzeit, in welcher der Abfluss stark zurückgegangen war.) Um das Ende der Schneeschmelze sicher einzuschliessen, wurden noch einige Tage mitberücksichtigt, welche nicht unbedingt zu der betrachteten Periode gehört hätten.

Diese Winterwerte zeigen für gleiche Niederschlagshöhen in Frasco etwas grössere Abflüsse als die Jahreswerte. Die Regressionsgerade für die Winterwerte lautet (Figur 17):

A-Vogornessotal (Winter) ≃ 1,1 N-Frasco MZA
(900-2600) (900-2350)

Vergleiche mit den Gebietsniederschlägen

In Figur 18 sind die aus den Niederschlagskarten von Grütter herausplanimetrierten Niederschlagswerte gegen die Abflüsse aufgetragen. Addiert man wegen der Unsicherheit im September/Oktober 1965 zu dem Niederschlag des hydrologischen Jahres 1964/65 200 mm und zieht den gleichen Betrag vom hydrologischen Jahr 1965/66 ab, liegen die Punkte und ihr Mittel ungefähr auf folgender Geraden:

N-Vogornessotal ≃ N-Frasco MZA + 270 mm
(-2240-) (1384-1973-2472)

Der ebenfalls noch bestimmte Wert des niederschlagsreichen Jahres 1959/60 liegt ungefähr in der obern Fortsetzung dieser Geraden.

Vergleicht man die Gebietsniederschläge direkt mit den Abflüssen, so muss nach den bisherigen Beziehungen folgende Gerade resultieren:

A-Vogornessotal ≃ N-Vogornessotal - 300 mm
(-1940-) (-2240-)

Dies ist auch ungefähr der Fall, wenn man bedenkt, dass die Niederschlags- und Abflusswerte des Jahres 1964/65 zu klein und die von 1965/66 zu gross sind und darum in den vorhergehenden Figuren je um ungefähr 200 bis 250 mm vergrössert oder verkleinert wurden. (In den Figuren wurde immer der gemessene Wert eingezeichnet und die mir nötig scheinende Korrektur mit einer gestrichelten Linie dargestellt.)

Zusammenstellung der verschiedenen Regressionsgeraden (Figur 19)

Wenn auch die Jahreswerte nicht ganz eindeutig sind und nur in einem Bereich angegeben werden können, ist doch deutlich, dass im Sommer bei gleichem Niederschlag viel weniger abfliesst als im Jahresmittel.

Die Winterwerte streuen nicht stark. Einmal ist dies wegen der nahen Grenze, wo die Abfluss- gleich der Niederschlagshöhe würde, gar nicht möglich. Weiter müssen diese Werte aus langen Perioden gewonnen werden. Zudem verdunstet während der Schneeschmelze im Vorsommer verhältnismässig viel.

Die Herbstwerte zeigen erstaunlich viel Abfluss. Da es sich aber meist um Gewitter mit sehr unterschiedlichen örtlichen Niederschlagsmengen handelt, konnten sie nicht bearbeitet werden.

1.5.3. Val Redorta

Niederschläge

Im Val Redorta stehen die zwei Niederschlagstotalisatoren Redorta 1730 m ü.M.) und Mugaglia (1630 m ü.M.). Unterhalb Püscen Negro (1140 m ü.M.) und am Talausgang in Sonogno (920 m ü.M.) wurden auch die monatlichen Werte registriert. Zudem ist das Val Redorta der Basisstation Frasco am nächsten gelegen, so dass in diesem Tal die Niederschläge relativ gut bestimmbar sind. Die höheren Regionen sind zwar hier auch nicht erfasst (Gipfelumrandung zwischen 2500 und 2700 m), so dass sich auch hier Unsicherheiten ergeben.

Abflüsse

Leider ist es im Val Redorta nicht möglich, die Abflüsse über eine Felsschwelle zu messen. Der Limnigraph steht am Talausgang, südlich von Froda hinter Sonogno. Bei Hochwasser sind gewisse Bachbettveränderungen denkbar. Es ist also möglich, dass sich hier eine weitere kleine Fehlerquelle feststellen lässt.

Im Vergleich zu den Abflüssen des ganzen Verzascatales bei Corippo fällt das hydrologische Jahr 1962/63 durch einen ausserordentlich kleinen Wert auf, während die Werte der anderen Jahre eine gute Abhängigkeit zeigen. Die Messresultate des Limnigraphen scheinen im ersten Jahr noch ungenau zu sein. Im Vergleich der Niederschlagshöhen mit den Abflüssen der übergreifenden hydrologischen Jahre (Figur 20) bestätigt sich die Vermutung, dass zu den Abflusswerten des Jahres 1962/63 ca. 200 mm zu addieren sind. Das Jahr 1963/64 zeigt etwas mehr, die Jahre 1965/66 und 1966/67 etwas weniger Abfluss als die Gerade:

A-Redortatal $\simeq$ 0,85 N-Frasco MZA + 450 mm
(1400-2600) (1100-2400)

Aus den fünf Jahreswerten der hydrologischen Jahre allein, lässt sich nicht viel aussagen. Vergrössert man den Abfluss des Jahres 1962/63 um ca. 200 mm und beachtet den Umstand, dass im Herbst 1965 bei Beginn des neuen hydrologischen Jahres noch Reserven vorhanden waren, so gelten die bei den übergreifenden Jahren gefundenen Beziehungen auch für diese Werte.

Sommer

Da alle Perioden vor dem 1. August noch sehr grosse Abflusswerte besitzen, welche wahrscheinlich von der Schneeschmelze herrühren, bleiben für diese Untersuchungen nur noch wenige Werte, welche nur mit einer Stichprobe von kleinem Umfang verglichen werden kann. Viele Wertepaare zeigen relativ geringe Abflusswerte für gleiche Niederschlagshöhen in Frasco, doch variert der Abflusskoeffizient für diese Sommerwerte sehr stark. Die Grenze ist nach Figur 21 ungefähr so anzugeben:

A-Redortatal (Sommer) $\geqq$ 0,7 N-Frasco MZA (N-Frasco $<$ 2000 mm)

A-Redortatal (Sommer) $\geqq$ 1,1 N-Frasco MZA - 800 mm (N-Frasco$>$2000 mm)

Winter

Die Werte für den Winter haben eine grössere Streuung als die des Sommers.

Im Winter 1962/63 fiel wahrscheinlich im Tal weniger, im darauffolgenden Winter mehr Niederschlag. Zudem begann der Winter in diesen obersten Tälern 1963 schon mit den grossen Niederschlägen im Oktober. Die Zeit der Schneeschmelze zieht sich weit in den Sommer hinein, so dass bei den hohen Temperaturen und der intensiven Sonnenstrahlung sehr viel verdunsten kann. Die Winterwerte haben bei gleichem Niederschlag in allen Fällen mehr Abfluss, als die übergreifenden hydrologischen Jahre; da diese jedoch sehr stark streuen und keine eindeutige Gerade bilden, fallen die Winterwerte der Jahre 1962/63, 1965/66 und 1966/67 noch in den Bereich der Jahreswerte.

Die übrigen zwei Werte liegen ungefähr auf folgender Geraden, welche ich zugleich als Grenze der Winterwerte annehme (Figur 22):

A-Redortatal(Winter) $\leq$ 0,95 N-Frasco MZA + 450 mm
(1300-2500) (900-2200)

Gebietsniederschläge

Die aus den Niederschlagskarten von Grütter herausplanimetrierten Werte für das Val Redorta betragen im Mittel für die fünf hydrologischen Jahre 2390 mm, das sind 417 mm mehr als in Frasco gemessen wurde. Die Werte für die hydrologischen Jahre 1964/65 und 1965/66 sind hier, wie auch an anderer Stelle bereits vermerkt, mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Mit Hilfe des Extremwerte 1966/67 lässt sich folgender Zusammenhang zwischen den Gebietsniederschlägen und den Niederschlägen in Frasco aufstellen:

N-Redortatal ≃ N-Frasco MZA + 417 mm
(2050-2390-2888) (-1973-)

Das Wertepaar des ausserordentlich niederschlagsreichen Jahres liegt ungefähr auf der Fortsetzung dieser Geraden und gibt dieser Beziehung doch etwas mehr Sicherheit.

Gebietsniederschlag - Abfluss

Gestützt auf die Beziehungen zwischen dem Niederschlag in Frasco und dem Abfluss resp. dem Gebietsniederschlag des Redortatales dürfte die folgende Regressionsgerade gelten:

A-Redortatal ≃ 0,85 N-Redortatal + 96 mm
(1400-2600) (2000-2900)

Zusammenfassung Redorta (Figur 23)

Wegen verschiedener Umstände sind die Angaben über Niederschlag und Abfluss im Val Redorta mit grösseren und kleineren Unsicherheiten behaftet. Sicher ist jedoch, dass in den langen Perioden mit Schneerücklagen, wegen der grossen Verdunstungswerte während der Schneeschmelze bei gleich grossem Niederschlag, der Abfluss nur wenig kleiner ist als für die ganzen Jahre gerechnet. Einzelne Sommerwerte zeigen sehr hohe Verluste, welche nicht nur auf Rücklagen (Eindringen des Wassers in tiefere Bodenschichten), sondern vor allem der Verdunstung zugeschrieben werden müssen. Besonders hohe Niederschlagsperioden haben aber doch wieder mehr Abfluss, als zum Beispiel im Vogornesso, wo auch von solchen Zeiten sehr viel zurückbleibt.

1.5.4. Valle d'Osola

Niederschläge

Auf der Alpe Osola steht in 1420 m Höhe ein Jahrestotalisator; zudem werden bei Aghei und in Brione die monatlichen Niederschläge registriert. Auch hier stehen leider keine Resultate für grössere Meereshöhen zur Verfügung (Talumrandung zwischen 2200 bis 2500 m Höhe), so dass bei den Niederschlägen grössere Fehler auftreten können. Der Gebietsniederschlag für das Osolatal und der Niederschlag in Frasco zeigen mit einigen kleinen Abweichungen eine gute Uebereinstimmung.

Die Jahressummen:	hydr. Jahre	Aghei monatliche	Frasco MZA ↔ tägliche Ablesungen
	1962/63	2200 mm	2006 mm
	1963/64	1969 mm	1925 mm
	1964/65	2060 mm	2077 mm
	1965/66	1660 mm	1384 mm
	1966/67	2600 mm	2472 mm

Diese Niederschlagswerte lassen vermuten, dass in den hydrologischen Jahren 1963/64 und 1964/65 im Valle d'Osola etwas weniger Niederschlag gefallen ist als im übrigen Verzascatal.

Abfluss

Der Abfluss aus dem Osolatal wird durch Flügelmessungen über einer Felsschwelle unter dem Brücklein am Eingang des Tales gemessen. Aus technischen Gründen liess sich der dazugehörige Limnigraph nicht in unmittelbarer Nähe der Messstation aufstellen. Er steht darum etwas talaufwärts hinter einem Felsblock, wo gewisse Veränderungen im Flussbett bei Hochwasser und darum kleinere Unsicherheiten in den Abflussresultaten denkbar sind.

Im Vergleich zum Abfluss aus dem ganzen Verzascatal für die übergreifenden hydrologischen Jahre fällt auf, dass in den Jahren 1963/64 und 1964/65 relativ wenig und in den Jahren 1965/66 und 1966/67 relativ viel Abfluss gemessen wurde, während das erste Jahr (1962/63) ungefähr in der Mitte liegt (Figur 24). Auch die monatlichen Niederschläge in Aghei und diejenigen im ganzen Osolatal waren für die beiden Jahre im Vergleich zu den Nachbartälern kleiner als in der übrigen Zeit.

Die übergreifenden hydrologischen Jahre geben keine eindeutige Beziehung zwischen dem Niederschlag in Frasco und dem Abfluss aus dem Osolatal (Figur 25). Erst wenn die Niederschlagswerte von Frasco des Jahres 1963/64 um 150 mm und die des Jahres 1964/65 um 200 mm reduziert werden (Begründung siehe Abschnitte "Niederschläge" und "Abfluss") ergibt sich die Beziehung (Figur 26):

$$\underset{(900\text{-}2700)}{A\text{-Osolatal}} \simeq 1{,}15 \underset{(900\text{-}2500)}{N\text{-Frasco MZA}} - 130 \text{ mm}$$

Winter

Die Winterwerte zeigen die Sonderstellung des ausserordentlich trockenen Winters 1964/65 sehr deutlich. Je nach Wahl der Termine für das Einschneien und das Ende der Schneeschmelze resultieren etwas verschiedene Wertepaare für Niederschlag und Abfluss. Diese liegen jedoch sehr nahe beisammen. Wegen der zu hohen Niederschlagswerte in Frasco 1963/64 und 1964/65 müssen die Werte für diese beiden Jahre etwas verkleinert werden. Rechnet man zu dem Winter 1965/66 auch noch die ausserordentlich niederschlagsreiche Zeit um den 1. Oktober 1965 dazu, dann erhöht sich der Abfluss mehr als der Niederschlag. Der betreffende Wert ist in Figur 27 in Klammern angegeben: für die untenstehende Beziehung im Winter ist er jedoch nicht benützt worden. Die Grenze der Winterwerte heisst:

$$\text{A-Osolatal (Winter)} \leq 1{,}45 \text{ N-Frasco MZA} - 275 \text{ mm} \quad (N < 1500)$$

$$\text{A-Osolatal (Winter)} \leq 1{,}0 \text{ N-Frasco MZA} + 400 \text{ mm} \quad (N > 1500)$$

Die etwas korrigierten Werte des Winters 1964/65, welche ungefähr bei N-Frasco (reduziert) = 700-800 mm; A-Osola = 800 - 850 mm liegen, liefern einen Anhaltspunkt für das Geschehen in einem ausserordentlich trokkenen Winter.

Sommer

Wegen den verschiedenen Unsicherheiten, vor allem bei der Messung des Niederschlags streuen die Werte aus den Sommerperioden sehr stark. Durch Bildung von Mittelwerten und Streichen von offensichtlich falschen Angaben kann man jedoch auch hier zu einem Resultat kommen. Es scheint, dass folgende Geraden die Grenze nach dem Maximum der Sommerverluste, umgerechnet auf das Jahr, bestimmen (Figur 28):

$$\text{A-Osolatal (Sommer)} \geq 0{,}5 \text{ N-Frasco MZA} \quad (800\text{-}2000)$$

$$\text{A-Osolatal (Sommer)} \geq 1.05 \text{ N-Frasco MZA} - 1100 \text{ mm} \quad (2000\text{-}7000)$$

Es könnte aber auch heissen:

$$\text{A-Osolatal (Sommer)} \geq 0.6 \text{ N-Frasco MZA} \quad (800\text{-}2000)$$

$$\text{A-Osolatal (Sommer)} \geq 1{,}0 \text{ N-Frasco MZA} - 800 \text{ mm} \quad (N > 2000)$$

Bei diesen Werten sind jedoch nicht alle Jahre gleich stark berücksichtigt. Das Jahr 1966 fällt durch grosse Abflusswerte aus dieser Darstellung, ebenso der Anfang des Sommers 1963. Die Werte des Herbstes 1965 sind zu gross und geben höchstens Hinweise auf die Lage von Maximalwerten.

Gebietsniederschläge

Die Niederschläge der Valle d'Osola betragen nach den Niederschlagskarten von Grütter in den fünf Jahren durchschnittlich 2412 mm. Mit den etwas reduzierten Werten der Jahre 1963/64 und 1964/65 von Frasco verglichen, ergibt sich ungefähr folgende Beziehung (Figur 29):

N-Osolatal $\simeq$ N-Frasco MZA + 500 mm
(2000-3300) (1500-2800)

Gebietsniederschlag - Abfluss

Nach den vorhergehenden Beziehungen muss zwischen dem Gebietsniederschlag und dem Abfluss der Valle d'Osola folgender Zusammenhang bestehen:

A-Osolatal $\simeq$ 1,15 N-Frasco MZA - 705 mm
(1500-2700) (2000-2800)

Die gemessenen Abflüsse und die Werte der Niederschlagskarten bestätigen diese Beziehung, wenn man die früher besprochenen und begründeten Korrekturen an den Werten der Jahre 1964/65 und 1965/66 mitberücksichtigt.

Zusammenfassung (Figur 30)

Recht deutlich tritt in der Valle d'Osola das besondere Abflussgeschehen während des Winters bis zur Schneeschmelze hervor. Die Abflusshöhe ist bei gleich grossen Niederschlägen bis 300 mm grösser als in den Nachbartälern (auf die Jahreslänge umgerechnet). Auch die niedrigen Abflusswerte des Hochsommers sind für dieses Tal gut gesichert, obwohl die Grenzwerte, wegen zwei Jahren mit verhältnismässig wenig Niederschlag, im Vergleich zur Basisstation Frasco, nicht ganz eindeutig sind.

Besonders erwähnt muss werden, dass die Werte des trockenen Winters 1964/65 ungefähr in Richtung der Jahreswerte liegen, dass also damals verhältnismässig grössere Verluste auftraten (ca. + 300 mm), als in den übrigen, niederschlagsreichen Wintern.

1.5.5. Lavertezzo-Täler

Unmittelbar oberhalb der Strassenbrücke in Lavertezzo wird seit 1952 der gemeinsame Abfluss aus den drei Tälern Agra, Piancascia und Carecchio gemessen. Die Limnigraphenstation steht hinter einer Felsschwelle. Die Flügelmessungen werden über der Schwelle vorgenommen. Die Abflüsse sind hier sehr genau bestimmt, während bei den Niederschlagshöhen grössere Unsicherheiten herrscht.

In jedem der drei Täler steht ein Jahrestotalisator:

Fumegne	1494 m ü. M.
Piancascia	1110 m ü. M.
Valle	995 m ü. M.

Diese drei Stationen stehen im Talgrund und ergeben keine Aufschlüsse über die Niederschlagswerte in höheren Regionen. (Zusammenfluss der Täler: 600 - 700 m; Talumrandungen 2300 bis 2500 m ü. M.)

Die monatlichen Werte von Forno (890 m) ergeben schon etwas mehr Aufschluss. So sind sicher die grossen Abflusswerte des Jahres 1962/63 (bis 1. September und bis 1. Oktober) auch auf grössere Niederschläge in diesen Gebieten im Vergleich zu Frasco MZA zurückzuführen!. Die monatlichen Werte reichen jedoch nicht aus für genauere Untersuchungen, da keine eindeutigen Perioden rekonstruierbar sind. Sie können lediglich Hinweise geben.

Der Vergleich der Abflusshöhen aus den Lavertezzotälern mit denen aus dem ganzen Verzascatal in den übergreifenden hydrologischen Jahren 1962/63 bis 1966/67 zeigt, dass im Jahre 1962/63 sehr viel und im Jahr 1964 verhältnismässig wenig aus den Lavertezzotälern abgeflossen ist (Tabellen). Die zwei Extremwerte des Jahres 1962/63 (bis 1. September und bis 1. Oktober) wurden darum bei nachfolgenden Vergleichen weggelassen, da sie, wie auch die erhöhten Niederschläge in Forno, auf eine Periode mit ganz andern hydrologischen Verhältnissen hinweisen. Dies bestätigt der Vergleich der jährlichen Niederschlagshöhen zwischen Forno und Frasco. (Die Unsicherheit des Jahre 1964/65 rührt von den schon erwähnten grossen Niederschlägen in Frasco Ende September 1965 her.)

Uebergreifende hydrologische Jahre

Beim Vergleich der Abflusswerte aus den Lavertezzotälern in den übergreifenden hydrologischen Jahren mit den Niederschlägen der Station Frasco liegen die Wertepaare nahe der Regressionsgeraden (Figur 31). Die zwei Werte vom 1. September und 1. Oktober 1962 bis 1963 wurden gestrichen, da nach der Niederschlagsstation Forno in diesen zwei Monaten dort unverhältnismässig viel Niederschlag gemessen wurde. Ein Vergleich der Abflusshöhen mit jenen von Corippo bestätigen diese Vermutung.

Die Werte des Jahres 1962/63 fallen durch grosse, die des Jahres 1963/64 durch kleine Werte auf. Zudem scheinen die Lavertezzotäler von den grossen Niederschlägen im September/Oktober 1965 fast nicht betroffen worden zu sein.

A-Lavertezzo-Täler $\simeq$ 1,05 N-Frasco MZA - 150 mm
(900-2400) (1000-2450)

(Die Richtung der Geraden wird vor allem durch die drei kleinsten Werte 1. Juli, 1. August und 1. September 1964/65 bestimmt)

Die Abflusshöhen der normalen hydrologischen Jahre liegen nur zwischen 1500 und 2400 mm/Jahr; zur Bestimmung der Lage von Extremwerten liefern sie deshalb keinen wesentlichen Anteil.

Winter

Bei den fünf Werten für den Winter (vom Einschneien bis nach der Schneeschmelze) ergibt sich ebenfalls eine gute lineare Abhängigkeit zwischen Niederschlag in Frasco MZA und dem Abfluss aus den Lavertezzo-Tälern. Die Niederschläge der Jahre 1962/63 und 1965/66 waren in den Lavertezzo-Tälern etwas grösser als in Frasco (kleine Reduktion auch bei den Winterwerten).

Umgerechnet auf die Jahreslänge sind die Abflüsse im Winter grösser als in den ganzen hydrologischen Jahren (für gleiche Niederschläge in Frasco). Wie Figur 34 zeigt, ist dieser Unterschied bei bedeutenden Niederschlägen in Frasco grösser als bei kleinen. Nach Figur 32 gilt als untere Grenze:

A-Lavertezzo-Täler (Winter) $\leq$ 1,30 N-Frasco MZA - 300 mm
(950-2050) (1000-1900)

Sommer

Der Zusammenhang zwischen der Abflusshöhe und dem Niederschlag ist im Sommer wegen der Unsicherheit in der Bestimmung des mittleren Gebietsniederschlags weniger straff als im Jahr. Es zeigen jedoch die Umrechnungen von Sommerperioden auf die Jahreslänge, dass im Sommer bei gleichem Niederschlag weniger abfliesst als im Winter. Die Ausnahmen: August, September, Oktober 1963 sind wieder auf die Periode mit den grösseren Niederschlägen in diesem bestimmten Teil des Verzascatales zu erklären. In den übrigen Perioden zeigt sich, dass die Wasserverluste im Hochsommer grösser sind als im Herbst. Die Werte der Sommerperioden nähern sich, umgerechnet auf die Jahreslänge, folgenderGrenze (Figur 33):

A-Lavertezzo-Täler (Sommer) $\geq$ N-Frasco MZA - 1000 mm/Jahr
(2000-7000)

A-Lavertezzo-Täler (Sommer) $\geq$ 0,5 N-Frasco MZA
(800 < N < 2000)

Auch bei grösster Trockenheit wird der Fluss durch einige gute Quellen gespeist und trocknet nie ganz aus. Zudem ist die Oberfläche so trocken, dass gar nicht mehr viel Wasser verdunsten kann.

Gebietsniederschläge

Die aus den Niederschlagskarten von Grütter herausplanimetrierten Werte ergeben für die fünf hydrologischen Jahre im Durchschnitt 325 mm mehr Niederschlag als in Frasco (mit der üblichen Unsicherheit in den Jahren 1964/65 und 1965/66). Dazu zeigt das Jahr 1962/63 auch in dieser Darstellung ca. 150 mm mehr Gebietsniederschlag als man nach den Werten von Frasco errechnen würde. Dies rechtfertigt die bei den Abflüssen aufgetretenen hohen Werte für dieses Jahr. Es gilt also:

N-Lavertezzo-Täler $\simeq$ N-Frasco MZA + 325 mm

Der zusätzlich bestimmte Wert des Jahres 1959/60 mit sehr viel Niederschlag wurde aus der Niederschlagskarte nur 50 mm höher planimetriert als nach dieser Beziehung errechnet würde. In den Jahren 1963 und 1966 regnete es - im Verhältnis zu Frasco - etwas mehr.

Gebietsniederschlag - Abfluss

Die bisherigen Beziehungen ergeben folgenden Zusammenhang:

A-Lavertezzo-Täler $\simeq$ 1.05 N-Lavertezzo-Täler - 491 mm
(1500 - 2400) (1900-2800)

Dieser Zusammenhang stimmt gut mit den gemessenen Werten überein.

Zusammenfassung (Figur 34)

Die Unterschiede der verschiedenen Jahreszeiten zeigen sich in den Lavertezzo-Tälern am deutlichsten.

In den Jahresperioden verdunstet durchschnittlich bei nassen und trockenen Jahren gleich viel (400 mm/Jahr). Die Winterwerte können wegen der relativ frühen Schneeschmelze dieser sehr der Sonne ausgesetzten Täler besser erfasst werden als in den übrigen Teilgebieten. Sie zeigen in niederschlagsreichen Wintern sehr wenig Verluste (ca. 100 mm/Jahr), während in trockenen und relativ warmen Wintern die Verdunstung bedeutend grösser ist (bis 300 mm/Jahr).

Die Werte des Hochsommers zeigen in Trockenperioden deutlich weniger Verdunstung als während ausgesprochenen Gewitterzeiten, doch sind diese Werte, da die Gewitter örtlich begrenzt auftreten können, etwas unsicherer.

1.6. Spezielle Verdunstungsbeobachtungen

1.6.1. Wasserfälle

Um einen Anhaltspunkt über die Verluste bei Wasserfällen zu erhalten, bestimmte ich die Wassermenge ober- und unterhalb geeigneter Wasserfälle im Val Verzasca.

Eine erste Schwierigkeit liegt darin, einen Wasserfall zu finden, bei dem sowohl oben wie unten mit guter Genauigkeit Messungen ausgeführt werden können und keine Zuflüsse zwischen den Messstellen erfolgen. Bei den meisten Fällen bilden sich unten grosse Becken, und die Abflüsse erfolgen durch lockere Schottermassen. Diese Schwierigkeiten mit Sicherheit auszuschalten, überstiegen meine Mittel, so dass ich mich auch nach grösserem Aufwand mit ungefähren Schätzungen zufrieden geben musste. Trotzdem glaube ich, im Verzascatal zwei Wasserfälle gefunden zu haben, wo diese Fehler auf ein Minimum reduziert sind. Zur Ausführung dieser Untersuchungen stand mir ein Mikroflügel des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft zur Verfügung, mit welchem ich schon vorher Messungen in ihrem Auftrag im Langetengebiet durchgeführt hatte.

Interessant sind zudem die mit einem feuchten und trockenen Thermometer des Osservatio Ticinese Locarno-Monti durchgeführten Feuchtigkeitsmessungen.

Um genaue Resultate zu erhalten, wäre es notwendig, die Messungen gleichzeitig oben und unten durchzuführen. Dazu fehlten mir jedoch sowohl die Geräte wie die zweite Messequipe. Mit meinen bescheidenen Mitteln konnte ich unter anderem folgende Messungen durchführen:

- Der grösste Fall befindet sich ca. 1 km westlich von Sonogno, am Eingang zum Val Redorta auf der rechten Talseite gegenüber Froda (Schattseite). Seine Wasser werden von der nahen Limnigraphenstation eben noch erfasst.

Von diesem Wasserfall konnten folgende Messungen durchgeführt werden:

Datum	Zeit	Menge l/sec.	Temperatur °C. Luft	Wasser	Rel. F.	Ort
13.7.67	08.40		19,0		70 %	Froda, Strasse
	08.50		14,2		100 %	Fall unten
	11.10-12.05	260.5	19,7		72 %	Messstelle unten
	12.45		22,0		60 %	seitlich
	14.10-15.10	295,5	21,5		60 %	Messstelle oben
	15.25		20,4		71 %	seitlich
	15.35		18,8		82 %	Messstelle unten
	15.45		20,4		71 %	Froda, Strasse

35,0 l/sec. Unterschied = Verlust

Datum	Zeit	Menge l/sec.	Temperatur °C Luft	Wasser	Rel.F.	Ort
18.7.67	10.35		25,8		34 %	Froda, Strasse
	10.55		20,8	13,6	51 %	Messstelle unten
	11.00		15,8	13,5	79 %	Fall unten
	12.00-13.15	185,2	23,0	14,3	45 %	Messstelle unten
	13.40		27,0		22 %	seitlich
	15.00-15.50	253,0	25,5	14,7	31 %	Messstelle oben
		67,8 l/sec. Unterschied = Verlust				
	15.00-15.50	253,0	25,5	14,7	31 %	Messstelle oben
	16.15		24,2		48 %	seitlich
	16.30-16.50	220,5	21,4	15,4	63 %	Messstelle unten
	17.00		23,4		55 %	Froda, Strasse
		32,5 l/sec. Unterschied = Verlust				

- Gegenüber Aquino befindet sich, ungefähr 1 km nordwestlich Lavertezzo, leider ebenfalls auf der Schattseite des Tales, ein kleinerer Fall.

Die Messungen ergaben hier:

Datum	Zeit	Menge l/sec.	Temperatur °C Luft	Wasser	Rel.F.	Ort
12.7.67	16.00-16.35	27	24,0		55 %	Messstelle unten
	17.00		23,0		60 %	seitlich (Wald)
	17.25-17.45	30	21,3		65 %	Messstelle oben
	18.15		21,7		63 %	seitlich (Wald)
	18.25		20,2		75 %	Messstelle unten
		3 l/sec. Unterschied = Verlust				
17.7.67	12.25-12.40	24	27,0	19,5	50 %	Messstelle unten
	13.10		25,4		55 %	seitlich (Wald)
	13.40-14.30	24	25,0	18,8	59 %	Messstelle oben
	14.55-15.10	23	26,0	18,5	55 %	Kontrollmessung
	15.40		23,6		69 %	seitlich (Wald)
	16.00	24	25,7	19,4	57 %	Messstelle unten
		kein messbarer Verlust				(Pegel unverändert)

Der Fall von Aquino kann relativ leicht gemessen werden. Immer wieder fällt das Wasser in grössere Becken, welche nur einen Abfluss haben. Nachteilig wirken sich jedoch die geringe Wassermenge und die vom Wald umgebenen Schattenlagen aus. Bei kleineren Abflüssen sind die Fehlergrenzen viel grösser, und durch die geschützte Lage kann weder Wind noch Sonne zu grösseren Verlusten beitragen.

- Da sich die beiden günstigen Wasserfälle auf der Schattseite der Täler befinden, versuchte ich auch noch an der Sonnseite des Val Vogornesso, westlich Cabione einen Bach mit einigen aufeinanderfolgenden Fällen an drei verschiedenen Stellen zu messen. Die Messungen unten konnten nicht am Fall, sondern erst unterhalb eines grösseren Schneefeldes durchgeführt werden. Die Schmelzwasser aus diesem Schneefeld konnten leider nicht bestimmt werden.

Datum	Zeit	Menge 1/sec	Temperatur °C. Luft	Wasser	Rel. F.	Ort
14.7.67	09.05		19,4		66 %	Messstelle unten
	09.30		19,0		67 %	seitlich
	10.00		16,2		75 %	Messstelle oben
	13.00-13.25	68,5	22,0	16,4	55 %	Messstelle oben
	13.55		23,0		52 %	seitlich
	15.10-15.40	65,7	23,0	17,0	51 %	Messstelle Mitte
	16.40-17.20	59,8	23,0	16,4	53 %	Messstelle unten (unterhalb Schneefeld)

oberer Teil ca. 2,8 1/sec. Unterschied = Verlust
unterer Teil: Verlust nicht bestimmbar

Wie alle diese Messungen zeigen, sind die Verluste bei den Wasserfällen an warmen Sommertagen recht bedeutend. Auch wenn die Messungen nicht gleichzeitig durchgeführt werden konnten, so ist doch nach diesen Untersuchungen sicher, dass in stark bewegten Wasserläufen und in Wasserfällen recht viel verdunsten kann.

1.6.2. Schneeschmelze

Verschiedene Beobachtungen im Gelände zeigen, dass die Verdunstung zur Zeit der Schneeschmelze sehr bedeutend sein muss.

- Immer wieder werden gegen den Sommer zu im Gebirge grössere Schneefelder beobachtet, welche an der Sonne liegen und ohne nennenswerten Abfluss langsam kleiner werden.

- Im Frühling 1968 konnte auf der asphaltierten Strasse bei Sonogno (919 m) beobachtet werden, wie Schneereste langsam schmolzen und das Schmelzwasser nur eine doppelt bis viermal so grosse Fläche benetzen konnte, während es direkt verdunstete. Dies ist natürlich ein Idealfall für die Verdunstung: Maximale Temperatur, Teerbelag, keine Einsickerungsmöglichkeiten.

- Sind irgendwelche Hindernisse im Wege, welche die direkte Strahlung abhalten, so bleibt am Schatten der Schnee fast unverändert, während nahe daneben durch die direkte Strahlung der Schmelzprozess sehr stark ist.

Die im Schatten von Zäunen übrigbleibenden Schneereste deuten darauf hin, dass der Schmelzprozess in höheren Lagen vor allem durch Sonnenstrahlung verursacht wird.

1.7. Zusammenstellung der wichtigsten Regressionsgeraden und Grenzen für das Verzascatal und seine Teilgebiete (Figur 35)

Die grossen Unterschiede der Sommergrenzen sind leider nicht gut gesichert, da hinreichend genaue Niederschlagsangaben in den betreffenden Tälern fehlen. Diese Grenzen konnten nur auf dem Umweg über die Niederschlagsstation Frasco der MZA gefunden werden. Trotzdem ist es bezeichnend, dass die zwei Täler Lavertezzo und Osola bei gleich grossen Niederschlägen im Sommer weniger Abfluss besitzen als die höher gelegenen Teilgebiete; dies trifft auch in ausgesprochenen Trockenperioden zu. Das Verzascatal als ganzes besitzt in diesen Sommerperioden nochmals grösseren Abfluss als die verschiedenen Quelltäler. Wie weit dafür die kleine mittlere Höhe, die Bewaldung oder andere Faktoren verantwortlich sind, wird in Kapitel 2 des dritten Teiles diskutiert.

Für die übergreifenden Jahreswerte weisen die Lavertezzotäler und das Valle d'Osola beinahe die gleiche Abhängigkeit auf, wie das ganze Verzascatal. In trockenen Jahren scheint prozentual zum Niederschlag mehr zu verdunsten als in niederschlagsreichen Jahren. Dieser Umstand könnte auf die grossen Herbstniederschläge zurückzuführen sein, welche ohne grosse Verdunstungsverluste sehr rasch zum Abfluss kommen.

Die Regressionsgeraden für die zwei höher gelegenen Teilgebiete weichen deutlich von dieser Beziehung ab. In diesen Tälern sind die Verluste in nassen wie in trockenen Jahren ungefähr gleich gross.

Die Winterwerte sind für das ganze Verzascatal besser gesichert als für die Teilgebiete. In diesen nähern sie sich oft sehr stark der Grenze, bei welcher der ganze Niederschlag abfliessen sollte. Es scheint besonders in kleineren Teilgebieten in dieser Zeit ausserordentlich wenig zu verdunsten. Die wirklich warmen Tage, an welchen im Winter in dieser Höhe viel verdunsten kann, sind selten. Möglicherweise sind auch die Gebietsniederschläge in der Höhe grösser als auf Grund der wenigen, unsicheren Totalisatorwerte angenommen wird.

2. ROVANA - TAELER

2.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Arbeiten und Messungen

Die zwei Täler der Rovana, das Bosco- und das Campotal, drängten sich geradezu auf, als es darum ging, Untersuchungen über die Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss anzustellen, da hier schon seit langer Zeit Messungen durchgeführt wurden. Allerdings stellten sich dann Hindernisse in den Weg, welche die Resultate nicht so eindeutig erscheinen lassen.

G. Hirsbrunner hat in seiner 1958 erschienenen Dissertation (Lit.) viele hydrologische Fragen dieser Täler eingehend untersucht. Die Lage und Gliederung seiner Untersuchungsgebiete werden dort ausführlich beschrieben, so dass ich mich hier auf eine kurze Zusammenfassung der hydrologisch wichtigsten Tatsachen beschränke.

Die Rovanatäler, das Campo- und das Boscotal, gehören zu den westlichen Nebentälern der Maggiafurche.

Das Boscotal, ein ausgesprochenes Hochtal, besitzt keine Seitentäler und mündet bei Collinasca mit einer 200-m-Stufe ins Campotal. Bosco-Gurin, das deutschsprechende Walserdorf im Tessin, liegt umgeben von Tannenwäldern, über welchen sich grosse Alpen ausdehnen, mitten im besonders zur Winterszeit schattigen Bergkessel.

Das Campotal bietet einen viel offeneren Anblick. Dies mag vor allem daher rühren, dass die Strasse nicht der engen Schlucht der Rovana folgt, sondern ca. 300 m höher, wo auch die einzelnen Dörfer Cerentino, Niva, Piano, Campo und Cimalmotto liegen, ins Tal hineinführt. Mit einem Bild belegt Hirsbrunner die isolinale Talanlage; die rechten Talhänge sind viel steiler als die linken. (Eine ähnliche Situation ergibt sich auch im Boscotal). Drei grössere Nebenflüsse der Rovana konnten diese steilere südliche Talseite etwas unterteilen. Es sind dies die Täler von Sfille, Arnau und Corte di Cevio. Auf der linken Talseite sind die gewaltigen Terrassenflächen von Campo und Cimalmotto bemerkenswert, welche sich in ständiger Bewegung talwärts befinden. Bei Piano, Niva und Cerentino kartierte Hirsbrunner grosse Sackungsmassen auf seiner morphologischen Karte. Im oberen Teil des Campotales befinden sich grössere Tannenwälder, während gegen den Ausgang zu mehr der typische Tessinerwald an steinigen Hängen mit wenig Erde vorherrscht.

Hydrologisch bilden beide Täler abgeschlossene Gebiete, während politisch der oberste Teil des Campotales, die Alpe Cravairola, zu Italien gehört.

2.2. Orometrische Werte der Rovanatäler

Die Abflussstationen standen leider nicht immer an den genau gleichen Stellen. Hirsbrunner gibt folgende Werte an:

	Einzugsgebiet in km2	Mittlere Höhe in m	Abflussstation
Boscotal	28,3	1939	Corino
Campotal	68,9	1877	Collinasca
Zusammen	97,2	1895	

Nach den neuen Limnigraphenstationen sind nun folgende Werte gültig:

	Einzugsgebiet in km2	Mittlere Höhe in m	Abflussstation
- Boscotal	28,8	1969	Corino
- Campotal	48,2	1920	Piano
Rovanatäler	101,2	1860	Collinasca

Regenmessstellen (Totalisatoren)		Messhöhe in m ü. M.
1 Wolfstafel		2330
2 Grossalp		1900
3 Pian Croscio		1940
4 Bosco-Gurin MZA (tägliche Messungen)		1510
5 Quadrella	Tessiner Forstdirektion	1810
6 Campo		1380
7 Cravairola		1850
8 Lago		2160
9 Corte di Cevio		1300

2.3. Niederschläge

2.3.1. Tägliche Messungen in Bosco-Gurin

Im Walser-Dorf Bosco-Gurin (1510 m ü. M.) ist seit 1931 eine meteorologische Station eingerichtet. Es werden hier unter anderem drei Mal täglich die Lufttemperatur, die relative Feuchtigkeit, die Bewölkung, sowie die Nebelbildung beobachtet, während Niederschlagshöhe, Wind, Schneefall und Gewitter einmal pro Tag notiert werden. Allerdings wurde die Station im Jahre 1944 wegen Todesfall des Beobachters nicht bedient und dann versetzt, so dass sich die Werte vor diesem Jahr nicht streng mit denen nachher vergleichen lassen.

Der tägliche Niederschlagssammler steht im Garten der Familie Sartori, mitten im Dörflein; die andern Instrumente befinden sich in der nordwestlichen Ecke des nächsten Hauses, oberhalb der Post. Im Winter wird der Niederschlagssammler wegen den hohen Schneemassen,unter Umständen, etwas näher gegen das Haus zu,auf die Gartenmauer gestellt.

Obwohl sich sicher auch hier gewisse Fehler nicht ganz vermeiden lassen, habe ich mich doch vor allem auf diese gemessenen Werte gestützt.

2.3.2. Tägliche Messungen in Mosogno und Kontrolle der benützten Station Frasco, Bosco-Gurin und Mosogno

Die täglichen Niederschläge werden ebenfalls in Cevio (418 m ü.M.) gemessen. Da jedoch in den hochgelegenen Rovanatälern sehr häufig ganz andere Wetter- und Niederschlagsverhältnisse herrschen, als unten im Haupttal der Maggia, habe ich die hier gemessenen Niederschläge nicht verwendet. Die Niederschläge fallen in dieser Gegend sehr lokal.

Eine weitere Niederschlagsstation mit täglich vorliegenden Ablesungswerten ist Mosogno, die einzige Niederschlagsstation in den südlich der Rovanatäler liegenden Valli di Vergeletto und Onsernone. Da die Abflüsse dort ebenfalls gemessen wurden, versuchte ich zuerst, auch einen Zusammenhang mit diesen Niederschlägen herzustellen. Wie schon Kistler (Lit.) in seiner Dissertation darstellt, weisen jedoch die Station Mosogno und die noch weiter südlich im Centovalli gelegene Station Camedo zum Teil so hohe Werte auf, dass ein zuverlässiger Vergleich mit den Niederschlägen der Rovanatäler wenig Sinn gehabt hätte.

Die verschiedenen Tages-, Monats- und Jahressummen der Niederschläge können, wegen der oft lokal sehr begrenzten grossen Gewitter, für die einzelnen Niederschlagsstationen sehr stark von einem allgemeinen Mittel abweichen.

Die Kontrolle der drei Niederschlagsstationen Frasco, Bosco-Gurin und Mosogno über 11 (Figur 36) resp. 31 Jahre (Figur 37) nach dem allgemeinen Mittel der Niederschlagsstationen des Nordtessins lieferte wenigstens für Frasco und Bosco-Gurin ausgezeichnete Resultate, während es für Mosogno eher den Anschein macht, es sei dort in den letzten paar Jahren zu wenig, oder früher zu viel Niederschlag registriert worden.

Massgebend für diesen Abschnitt sind jedoch nur die Messungen von Frasco und Bosco. Die von der Station Mosogno registrierten Niederschlagsmengen werden nur in den Onsernonetälern (Seiten 70-74) verwendet.

2.3.3. Monatliche Niederschlagsmessungen in Quadrella und Campo durch die Tessiner Forstdirektion

Die Werte dieser Messungen wurden mir in freundlicher Weise von verschiedenen Seiten zur Verfügung gestellt. Leider widersprechen sich hier die Ergebnisse oft. So erhielt ich bis drei verschiedene Werte vom selben Niederschlagsmesser durch folgende Quellen:

- Dissertation Hirsbrunner
- Annalen MZA
- Osservaterio Ticinese Locarno-Monti
- Institutsinterne Angaben über die Totalisatorenwerte

2.3.4. Totalisatoren

In den Jahren 1948 bis 1951 wurde in den Rovanatälern ein dichtes Netz von Jahres- und Monatstotalisatoren aufgebaut. Die Resultate dieser Messungen (bis 1957) werden in der Dissertation von Hirsbrunner eingehend besprochen und ausgewertet. Leider wurden die gemessenen Niederschlagswerte nicht direkt ausgewertet, sondern zuerst (nach einer etwas fraglichen Methode) einander angepasst und ausgemittelt. Auf alle Fälle stimmt der Uebergang zu den nachfolgenden Jahren bis zu 130 mm (170 mm) nicht, wie die Kontrolle der berechneten mit den gemessenen Werten von 1955/56, 1956/57 und 1957/58 zeigt.

Da alle Totalisatoren im Oktober 1965 nicht beschickt wurden, musste auch hier nach einer Lösung gesucht werden. Ich habe darum die Niederschlagsmengen nach ihren prozentualen Anteilen der Niederschlagsstation Bosco-Gurin für das Bosco-Tal und den Werten von Campo und Quadrella für das Campo-Tal verteilt.

Es hat sich gezeigt, dass die Messergebnisse, welche mit Hilfe von Totalisatoren ermittelt werden, oft sehr grosse Fehler aufweisen. In jeder, der von mir benutzten Dissertation wurde immer wieder auf diesen Mangel hingewiesen. Durch Schneemessungen usw. können diese Ungenauigkeiten zwar etwas vermindert, jedoch nie ganz ausgemerzt werden. Ich bin deshalb gleich wie im Verzascatal vorgegangen. In allen Vergleichen mit dem Abfluss werden zuerst die nächstliegende oder zuverlässigste Station mit täglicher Niederschlagsaufzeichnung benutzt und erst nachher, in grössern Zeiträumen, von dieser Station auf die Gebietsniederschläge geschlossen. Erst bei diesem Schritt spielen dann die Totalisatorenwerte eine Rolle und mit Fehlern behaftete Einzelmessungen wirken sich so weniger aus.

2.4. Abfluss

2.4.1. Verschiedene Abflussmessungen

Die Abflüsse aus den Rovanatälern wurden im Laufe der Zeit auf recht verschiedene Art gemessen. Bis 1960 gilt das, was Hirsbrunner auf Seite 47 seiner Dissertation folgendermassen beschreibt:

> "Leider sind die Wasserstände nur durch täglich ein bis zwei Pegelablesungen festgehalten worden. Limnigraphenaufzeichnungen stehen keine zur Verfügung. Die täglichen Ablesungen wurden durch Vergleiche mit den Limnigraphenstreifen der Maggia bei Bignasco ergänzt. Die Einzugsgebiete der beiden Stationen umfassen:
>
> | | |
> |---|---|
> | Collinasca (Campotal) | 68,9 km2 |
> | Corino (Boscotal) | 28,3 km2 |
> | Zusammen also | 97,2 km2 ..." |

Seit dem Jahre 1960 sind durch die Maggia-Kraftwerke AG drei Limnigraphenstationen in Betrieb, welche ein viel zuverlässigeres Bild des Abflussgeschehens vermitteln. Leider wurden dabei die Einzugsgebiete etwas verändert, doch sind die Veränderungen nicht sehr gross. Die mittleren Tages-Monats- und Jahresabflussmengen folgender Stationen wurden mir von der Maggia-Kraftwerke AG in verdankenswerter Weise zur Verfügung gestellt:

Corino (Boscotal)	ab 7.4.1960	28,8 km2
Collinasca (Campo-+Boscotal)	ab 8.4.1960	101,2 km2
Piano (Campotal)	ab 23.11.1960	48,2 km2

Vom 10.4. bis 16.9.1960 war noch ein Limnigraph in Niva installiert, welcher jedoch nach dem Hochwasser im September unbrauchbar war und dann nach Piano versetzt wurde.

2.4.2. Kontrolle der verschiedenen Abflussmessungen

Zur Kontrolle der auf verschiedene Art gemessenen Abflusswerte trug ich die Jahresabflusshöhen der hydrologischen Jahre graphisch gegen die Abflusshöhen der gleichen Jahre aus dem Verzascatal auf (Figur 38): Bei dieser Darstellung fällt sofort auf, dass die vor 1960 gemessenen Abflusswerte sicher zu gross und darum unbrauchbar sind. Eine Darstellung der Niederschläge in Bosco gegen die Abflusswerte (Figur 39) zeigt ein ganz ähnliches Bild und bestätigt die Vermutung, dass vor 1960 vor allem die Hochwasser beobachtet und den niedrigen Werten (Nacht usw.) zu wenig Wert beigemessen wurde. Da jedoch die Niederschläge im Verzasca- und in den Rovanatälern nicht gleich hoch sind, blieb mir nichts anderes übrig, als alle vor 1960 gemessenen Abflussmengen bei meinen detaillierteren Untersuchungen ganz wegzulassen.

Berechnet man den Korrelationskoeffizient zwischen den verschiedenen Werten der Abflüsse von 1950 bis 1967 und den Niederschlägen in Bosco-MZA, so bestätigt ihr kleiner Wert von 0,883 den schon aus der graphischen Darstellung gewonnenen Eindruck, dass die Werte vor 1960 für diese Vergleiche unbrauchbar sind.

2.5. Korrelation der Abflusswerte mit den Niederschlägen

2.5.1. Boscotal

Hirsbrunner erhält für die hydrologischen Jahre 1948/49 bis 1956/57 die folgende Beziehung:

A-Corino = 0,983 N-Boscotal - 211,6 mm/Jahr k = 0,957

Nimmt man nur die 8 Jahre 1950/51 bis 1957/58, wo auch die Totalisatoren Wolfstafel, Grossalp und Pian Croscio gemessen wurden, so erhält man nach seinen Niederschlagswerten:

A-Corino (1415-1912-2851) = 0,887 N-Boscotal (1707-2100-3197) - 49 mm k = 0,977

Die Korrelation mit der Niederschlagsstation Bosco-Gurin allein liefert für die gleichen acht hydrologischen Jahre:

A-Corino (1415-1912-2851) = 1,111 N-Bosco MZA (1460-1965-2620) - 271 mm k = 0,906

Für die Niederschlagswerte allein gilt nach den gleichen Angaben:

N-Boscotal (-2100-) = 1,432 N-Bosco MZA (-1965-) - 712 mm

oder

N-Boscotal = 1,276 N-Bosco MZA - 408 mm

} k = 0,943

N-Boscotal = 0,388 N-Bosco MZA + 0,551 N-Tot. Wolfstafel (1500-2035-3600) + 217 mm

k = 0,999

N-Boscotal (-2100-) = 0,760 N-Tot. Wolfstafel (-2035-) + 553 mm

oder

N-Boscotal = 0,744 N-Tot. Wolfstafel + 585 mm

} k = 0,989

Zusammenstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen den Abflüssen und den Niederschlägen (Niederschlagskarte von Hirsbrunner, N-Bosco MZA und den drei Totalisatoren: (1) Wolfstafel, (2) Grossalp und (3) Pian Croscio):

	A-Corino	N-Bosco	Totalisatoren: 1	2	3
N-Bosco MZA	0,906				
Tot. Wolfstafel	0,957	0,896			
Tot. Grossalp	0,853	0,835	0,947		
Tot. Pian Croscio	0,969	0,876	0,970	0,900	
N-Karte Boscotal	0,977	0,943	0,989	0,920	0,974

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den einzelnen Niederschlagsstationen und dem Abfluss sind nicht sehr gut. Nur die Koeffizienten zur Niederschlagskarte und dem Totalisator Wolfstafel sind durchwegs etwas höher. Da gerade diese zwei Resultate in den letzten Jahren nicht mehr in genügender Genauigkeit zur Verfügung stehen und die mit dem Limnigraphen gemessenen Abflüsse auch ganz andere Werte ergeben, lässt sich leider mit diesen Daten nicht viel anfangen.

Abflüsse seit 1960

Betrachtet man die graphische Darstellung der Abflüsse gegen die Niederschläge in Bosco MZA (Figur 39), so fällt auf, dass in den Jahren 1959/60, 1962/63, 1964/65 viel Niederschlag (Bosco MZA), aber relativ wenig Abfluss gemessen wurde, während in den unmittelbar darauf folgenden Jahren 1960/61, 1963/64 und 1964/65 die Verhältnisse genau umgekehrt waren. Aehnlich wie im Verzascatal wurde nun auch hier der monatliche Gang von Niederschlag, Abfluss und ihrer Differenz während dieser Jahre dargestellt (Figur 40).

Wie zu erwarten war, zeigte sich, dass die Schneeschmelze bis in den Juli dauert und am 1. November, mit wenigen Ausnahmen, der Winter in den höchsten Regionen begonnen hat.

Der Beginn des hydrologischen Jahres mit dem 1. Oktober ist ungünstig, weil um die Zeit oft gewaltige Niederschläge fallen, welche nicht sofort zum Abfluss kommen (September/Oktober 1965). Der 1. August oder 1. September wäre günstiger!

Nach sorgfältiger Prüfung von Niederschlag und Abfluss im Verlaufe der Jahre, konnten 26 zum Teil übergreifende hydrologische Jahre bestimmt werden, in welchen man nach der Darstellung annehmen kann, dass der gefallene Niederschlag zum grössten Teil während des gleichen Jahres abgeflossen ist. Es gilt für diese Werte folgende Abhängigkeit (Figur 41):

A-Corino (774-1469-2154) = 0,893 N-Bosco MZA (1078-1904-2657) - 231 mm $k = 0,970$

Die 26 Wertepaare liegen innerhalb der Grenzen:

A-Corino > 0,8 N-Bosco MZA - 180 mm
(1100-2100)
A-Corino > 1,1 N-Bosco MZA - 810 mm
(2100-2650)
A-Corino < 1,0 N-Bosco MZA - 300 mm
(1100-2000)
A-Corino < 0,8 N-Bosco MZA + 100 mm
(2000-2550)

Es wurde noch versucht, die Abflüsse dieser Jahresperioden mit den gemessenen Niederschlagswerten der Totalisatoren in Beziehung zu bringen. Die Schwierigkeiten und Fehler bei der Interpolation zu früh, zu spät oder überhaupt nicht abgelesener Werte (siehe Abschnitt 2.3.4.) waren jedoch gross. Für diese Jahresperioden ergaben sich folgende Korrelationskoeffizienten:

	N-Bosco MZA	Totalisatoren		
		Wolfstafel	Grossalp	Pian Croscio
Tot. Wolfstafel	0,643			
Tot. Grossalp	0,935	0,812		
Tot. Pian Croscio	0,957	0,772	0,945	
Abfluss Corino	0,971	0,526	0,851	0,915

Dabei ist noch zu bemerken, dass die Totalisatoren im Jahr einmal abgelesen und diese Jahreswerte nach der Station Bosco prozentual auf die betreffenden Jahresperioden umgerechnet wurden. Sie wurden also schon vorher der Station Bosco etwas angeglichen.

Statistisch gesichert (nach dem F-Test der Regressionskoeffizienten mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit kleiner als 1 ‰) sind noch folgende Beziehungen:

A-Corino = 1,449 N-Bosco MZA - 0,703 Tot.Grossalp + 81 mm } k = 0,992
(-1469-) (-1904-) (-1950-)
oder:
A-Corino = 1,793 N-Bosco MZA - 1,183 Tot.Grossalp + 336 mm

Bei diesen Gleichungen ist zu beachten, dass der Regressionskoeffizient des Tot.Grossalp negativ ist. Dies scheint auf den ersten Blick gar nicht den hydrologischen Tatsachen zu entsprechen; bei mehr Niederschlag in Grossalp muss doch auch etwas mehr abfliessen aus dem ganzen Tal. Es scheint nun aber in diesem Fall so zu sein, dass die Niederschlagsstation Bosco MZA, welche mit dem Abfluss und dem Tot.Grossalp relativ hohe Korrelationskoeffizienten hat (0,971 resp. 0,935), wie Frasco die Niederschläge in trockenen Jahren eher zu klein und in nassen zu gross misst; der Tot. Grossalp jedoch, dessen Korrelationskoeffizient vor allem mit dem Abfluss recht klein ist (0,851), aber einen gewissen Ausgleich schafft, wenn die Werte der Station Bosco extrem liegen.

Sommerregime

Die Zeit zwischen dem Schmelzen der letzten Schneereste und dem erneuten Einschneien ist kurz. Auch kleine Schmelzwasserabflüsse im Juli oder der erste Schnee im Oktober können bei einem so kleinen und hoch gelegenen Einzugsgebiet relativ grossen Einfluss haben. Es stehen darum nur wenige sichere Perioden zur Verfügung, um das hydrologische Geschehen des Sommers zu untersuchen.

Wie im Verzascatal resultiert jedoch eine ähnliche Grenze, welche zeigt, dass vor allem bei grossen Niederschlagsmengen im Sommer weniger abfliesst als im Jahresmittel (Figur 42):

$$A\text{-Corino}_{(Sommer)} \geq 0{,}575\ N\text{-Bosco MZA} \quad (900\text{-}3100)$$

$$A\text{-Corino}_{(Sommer)} \geq N\text{-Bosco MZA} - 1400\ mm \quad (3100\text{-}5000)$$

Winter

Aus den Winterwerten konnten leider keine Anhaltspunkte herausgearbeitet werden.

- Dies hängt einmal damit zusammen, dass die Grenzen vom Winteranfang und dem Ende der Schneeschmelze nicht im ganzen Tal die gleichen sind. (Unten an der Sonnseite ist schon der Sommer da, wenn in den höchsten Runsen der Schattseite der Lawinenschnee schmilzt).

- Zudem ist die Lufttemperatur im Juni und Juli so hoch, dass sehr viel Schmelzwasser gar nicht abfliesst, sondern direkt verdunstet.

- Weiter sind die Winterperioden so lang (wenn man auch noch die unsichern Werte dazurechnet), dass sie bis zu drei Viertel eines Jahres ausmachen und schon darum den Werten des ganzen Jahres sehr nahe kommen.

2.5.2. Campotal

Bei den Untersuchungen im Campotal zeigt es sich, dass die Verhältnisse ungefähr gleich sind, wie im Boscotal, wenn man nur die hydrologischen Jahre in Betracht zieht. Es stehen aber bei den Niederschlägen nur die monatlichen Mengen von Quadrella und Campo zur Verfügung, wobei sich die Werte von Quadrella besser mit den Abflüssen korrelieren lassen, als diejenigen von Campo.

Leider wurde der Limnigraph Piano erst im November 1960 in Betrieb genommen, so dass die hohen Werte der übergreifenden hydrologischen Jahre 1960/61 hier nicht gemessen wurden und darum die Beziehungen bei hohen Niederschlags- und Abflusswerten fraglich bleiben.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Abfluss in Piano und den verschiedenen Niederschlagsstationen des Campotales betragen für die 23 übergreifenden hydrologischen Jahre (Totalisatorenwerte nach Quadrella prozentual umgerechnet) der Periode 1961 bis 1966:

	A-Piano	Monatstotalisatoren Quadrella	Campo	Jahrestotalisator Cravairola
Quadrella	0,981			
Campo	0,952	0,938		
Tot. Cravairola	0,946	0,906	0,958	
Tot. Lago	0,729	0,663	0,836	0,903

Die Regressionsgerade aus diesen Werten ist (Figur 43):

A-Piano = 0,986 N-Quadrella - 436 mm $\quad \underline{k = 0,981}$
(715-1391-1802) (1120-1853-2200)

Statistisch gesichert (Fehlerwahrscheinlichkeit < 1 ‰) ist noch folgender Zusammenhang:

(A-Piano = 0,705 N-Quadrella + 0,263 N-Cravairola - 430 mm)
(-1391-) (-1853-) (-1957-)
$\underline{k = 0,990}$

Die Werte der übergreifenden hydrologischen Jahre liegen innerhalb der Grenzen:

A-Piano $\geq$ 0,95 N-Quadrella - 450 mm
(1300-2200)
A-Piano $\leq$ 1,00 N-Quadrella - 370 mm
(1100-2200)

Zusätzlich stellte ich die Abweichungen (Residuen) der errechneten von den gemessenen Abflusshöhen in Figur 44 dar.

2.5.3. Bosco- und Campotal

Der gemeinsame Abfluss aus dem Bosco- und Campotal wird bei Collinasca bestimmt. Für die Jahre 1960 bis 1966 berechnete ich für diese Station ebenfalls alle übergreifenden Jahreswerte. (Das Jahr 1966/67 ergab so viel zu kleine Abflusswerte, dass ich sie nicht in die Rechnung miteinbeziehen konnte, es fehlen für dieses Jahr auch noch die täglichen Niederschlagswerte, die eventuell einen Anhaltspunkt geben könnten.)

Regressionsgerade zwischen dem Abfluss in Collinasca und den gemessenen Niederschlagshöhen in Quadrella (Figur 45):

A-Collinasca = 0,993 N-Quadrella - 245 mm k = 0,976
(767-1666-2280) (1120-1924-2630)

Die Grenzen, innerhalb welchen die 25 Werte der benützten übergreifenden hydrologischen Jahre liegen, sind:

A-Collinasca $\geqq$ 1,06 N-Quadrella - 510 mm
(1100-2600)
A-Collinasca $\leqq$ 1,35 N-Quadrella - 750 mm
(1100-1850)
A-Collinasca $\leqq$ 0,70 N-Quadrella + 450 mm
(1850-2600)

Die Abweichungen der errechneten Werte von den gemessenen Abflusshöhen wurden auch hier besonders dargestellt (Figur 46). Sie liegen im Mittel bei 3,4 %.

2.6. Gebietsniederschläge

2.6.1. Gebietsniederschläge Boscotal

Nach den Niederschlagskarten von Hirsbrunner habe ich zwischen den Gebietsniederschlägen im Boscotal in den von Hirsbrunner untersuchten Jahren und seinen Werten mit guter Genauigkeit folgenden Zusammenhang erhalten (Figur 47):

N-Boscotal = 0,215 (2 N-Bosco MZA + N-Tot. Wolfstafel + N-Tot. Grossalp + N-Tot. Pian Croscio)
(1500-2900)

Da sich jedoch die Werte der Totalisatoren der letzten Jahre nicht an die von Hirsbrunner verwendeten anschliessen lassen (Fehlbeträge bis zu 130 resp. 170 mm), wobei die gemessenen Werte immer kleiner sind, stützte ich mich doch vor allem auf die nur in Bosco MZA gemessenen Niederschlagshöhen.

Berücksichtigt man auch die Totalisatorwerte nach der obenstehenden Formel, so erhält man folgende Gebietsniederschläge für die letzten Jahre:

Hydr. Jahre	N-Boscotal (Tot.)	zum Vergleich (s. nächste Seite) 108 % - Bosco MZA	A-Corino
1959/60	2826 mm	2693 mm	1935 mm
1960/61	2016 mm	2225 mm	1781 mm
1961/62	1611 mm	1646 mm	1126 mm
1962/63	2340 mm	2320 mm	1582 mm
1963/64	1805 mm	1952 mm	1495 mm
1964/65	2085 mm	2032 mm	1209 mm
1965/66	1324 mm	1418 mm	1132 mm
1966/67	1875 mm	2230 mm	1412 mm

Diese Werte streuen jedoch sehr stark und lassen sich mit den Abflüssen nur sehr schlecht korrelieren. Da ich aber die wirklich gemessenen Totalisatorwerte nicht anpassen wollte, blieb mir nichts anderes übrig, als sie vorerst wegzulassen und erst nachher, im Vergleich mit der Station Bosco-MZA, wieder zu verwenden.

Vergleich mit Bosco-MZA

Im Jahre 1950/51 wurden in Bosco MZA zu wenig Niederschläge gemessen (in den Annalen durch * angedeutet). In den übrigen Jahren liegen die Niederschläge des Gebietes ungefähr um 8 % höher als diejenigen der Station Bosco-MZA, also gilt hier:

N-Boscotal $\simeq$ 1,08 N-Bosco MZA

Diese Beziehung folgt aus den Niederschlagskarten von Hirsbrunner. Ich habe sie insofern überprüft, als ich zusätzlich die Niederschlagskarten seit 1955 zeichnete. Die Fehlerquellen der letzten Jahre sind jedoch gross. Es zeigte sich, dass die Gebietsniederschläge der letzten Jahre im Mittel nicht viel höher sind als die Werte von Bosco MZA. (Im Mittel der 12 letzten Jahre liegen die Totalisatorwerte um 2 % unter dem Mittel von Bosco MZA, während nach Hirsbrunner in den 8 Jahren 1950/51 bis 1957/58 das Mittel der Totalisatoren um 4,5 % über dem Mittelwert von Bosco MZA liegt.)

Man darf also annehmen, dass die in Bosco MZA gemessenen Werte ziemlich genau den Gebietsniederschlägen des ganzen Boscotales entsprechen.

Wie der Vergleich mit den Niederschlagsstationen der südlich angrenzenden Täler zeigt, lassen sich die mittleren Niederschlagshöhen in diesem Gebiet nur sehr bedingt mit der Höhe korrelieren.

Es ist denkbar, dass die früher vermuteten und angegebenen grösseren Gebietsniederschläge vor allem darauf zurückzuführen sind, dass die Totalisatorwerte damals eher nach oben als nach unten korrigiert wurden, wie das die Beispiele der Jahre 1955/56 und 1956/57 deutlich zum Ausdruck bringen, wo neben der Dissertation Hirsbrunner auch die gemessenen Werte noch zur Verfügung stehen. Besonders der Totalisator Wolfstafel weist in den letzten Jahren oft ausserordentlich wenig Niederschlag auf. Da jedoch für die Abflüsse vor der Aufstellung der verschiedenen Limnigraphen sicher zu hohe Werte angenommen wurden, hatten sich diese beiden Fehler zum Teil aufgehoben.

2.6.2. Gebietsniederschläge im Campotal oberhalb Piano

Nach den Niederschlagskarten von Hirsbrunner habe ich die Niederschlagshöhen des Gebietes oberhalb Piano selber ausplanimetriert und dabei mit den Totalisatorwerten folgenden Zusammenhang erhalten (Figur 48):

N-Campotal Piano ≃ 0,255 N-(Quadrella + Campo + Cravairola + Lago)

2.6.3. Campotal oberhalb Collinasca

Nach den Werten, welche Hirsbrunner aus seinen Niederschlagskarten erhielt, gilt ungefähr (Figur 49):

N-Campotal (Collinasca) ≃ 0,2023 N(Quadrella+Campo+Cravairola+Lago+Corte)

Wieweit diese Gebietsniederschläge auch auf die letzten Jahre zutreffen, wenn man die Werte einsetzt, welche nach 1958 durch die verschiedenen Totalisatoren gemessen wurden, ist sehr schwierig zu sagen, da auch diese Werte früher etwas angeglichen (erhöht) wurden.

2.6.4. Bosco- und Campotal

Vergleicht man alle Gebietsniederschläge mit den im Totalisator Quadrella gemessenen Werten, ergeben sich recht zuverlässige Resultate, welche den grossen Vorteil haben, dass sich die Niederschlagswerte bis heute kontinuierlich fortsetzen lassen, da die gemessenen Werte noch zur Verfügung stehen und während der ganzen Beobachtungszeit auf die gleiche Art gemessen wurden.

Die Station Quadrella liegt auf 1810 m Höhe (also fast in der mittleren Höhe des ganzen Einzugsgebietes) und zudem ungefähr im Zentrum der Rovanatäler. Sie scheint mir darum die Station zu sein, welche signifikant für die Gebietsniederschläge sein könnte.

Nach dem Vergleich mit allen Totalisatorwerten der letzten Jahre und allen mir bekannten Bestimmungen der Gebietsniederschläge für die Jahre 1947/48 bis 1967/68 gilt:

N-Quadrella ≃ Gebietsniederschlag Campotal

Die ausserordentlich hohen Werte von Corte di Cevio dürfen wahrscheinlich nicht auf die Umgebung übertragen werden. Es ist gar nicht sicher, dass die rechte Talseite des untern Campotales wirklich so viel Niederschläge erhält, wie aus den zwei Totalisatorwerten zu vermuten ist. Andererseits fällt auf, dass aus diesem untersten Teil, welcher allgemein sehr steil ist und wenig Bodentiefe und richtige Bewaldung aufweist, bei gleichem Niederschlag mehr abfliesst, als aus den höher gelegenen Teilgebieten. Aus diesem Grund könnte man auch annehmen:

N-Quadrella ≃ Gebietsniederschlag Rovanatäler

2.7. Zusammenstellung der Resultate

2.7.1. Boscotal (Figur 50)

Die Zusammenstellung der verschiedenen Regressionsgeraden zeigt für das Boscotal, dass im Sommer während grösserer Trockenzeiten nicht mehr verdunsten kann, als in ebenfalls sehr trockenen ganzen Jahren. In Sommerperioden mit viel Niederschlag bleibt der Abfluss prozentual noch mehr hinter dem Niederschlag.

Wegen der langen Dauer des Winters und der grossen Verdunstung im Frühling und Vorsommer, zeigen die Winterwerte keine Abweichung von den Beziehungen des Jahreswerte.

Wie hoch bei den Beziehungen der übergreifenden Jahre die Verluste im Mittel sind, hängt davon ab, welche Beziehung man für die Gebietsniederschläge annimmt.

Nimmt man an, dass die Gebietsniederschläge ungefähr gleich hoch sind, wie die in Bosco MZA gemessenen Werte, so verdunstet in trockenen Jahren etwas weniger (400 mm), in feuchten etwas mehr (480 mm). Nimmt man für die Gebietsniederschläge nach den Karten von Hirsbrunner grössere Werte an, so werden die Unterschiede bedeutender (480 resp. 680 mm).

2.7.2. Regressionsgeraden nach Quadrella oder Bosco MZA (Figur 51)

Die Beziehungen der Abflüsse zu den Gebietsniederschlägen sind (nach den Niederschlagskarten von Hirsbrunner) für die verschiedenen Teilgebiete, verglichen mit Hilfe der Niederschlagsstationen Quadrella oder Bosco MZA, die folgenden:

A-Corino	= 0,948	N-Bosco MZA - 337 mm
(750-2150)		N-Bosco MZA = 1,000 N-Boscotal
A-Corino	= 0,948	N-Boscotal - 337 mm
A-Piano	= 1,024	N-Quadrella - 507 mm
(700-1800)		N-Quadrella = 0,964 N-Campotal
A-Piano	= 0,969	N-Campotal - 507 mm
A-Collinasca	= 1,042	N-Quadrella - 339 mm
(750-2300)		N-Quadrella = 0,958 N-Rovanatäler
A-Collinasca	= 0,998	N-Rovanatäler - 339 mm

2.7.3. Grenzen der übergreifenden hydrologischen Jahre

Die Grenzen, innerhalb welcher die verschiedenen Punkte der übergreifenden hydrologischen Jahre liegen, werden in den drei Gebieten durch die folgenden Ungleichungen angegeben:

A-Corino	$\geq$	0,8 N-Boscotal - 180 mm
	$\geq$	1,1 N-Boscotal - 810 mm
	$\leq$	1,0 N-Boscotal - 300 mm
	$\leq$	0.8 N-Boscotal + 100 mm
A-Piano	$\geq$	0,95 N-Campotal - 450 mm
	$\leq$	1,00 N-Campotal - 370 mm
A-Collinasca	$\geq$	1,06 N-Rovanatäler - 510 mm
	$\leq$	1,35 N-Rovanatäler - 750 mm
	$\leq$	0,70 N-Rovanatäler + 450 mm

Berücksichtigt man zusätzlich, dass in den Niederschlagskarten von Hirsbrunner alle Totalisatorwerte durchschnittlich ungefähr 6 % zu hoch angegeben sind (Abschnitte 2.3.4. und 2.6.1.) und dass im Boscotal verglichen mit dem Mittel von Quadrella, doch etwa 2 % mehr Gebietsniederschläge fallen als in Bosco MZA, so ergeben sich nachfolgende Ungleichungen:

A-Corino	$\geq$	0,784 N-Boscotal - 180 mm
	$\geq$	1,08 N-Boscotal - 810 mm
	$\leq$	0,98 N-Boscotal - 300 mm
	$\leq$	0,784 N-Boscotal + 100 mm
A-Piano	$\geq$	0,95 N-Campotal - 450 mm
	$\leq$	1,00 N-Campotal - 370 mm
A-Collinasca	$\geq$	1,08 N-Rovanatäler - 510 mm
	$\leq$	1,38 N-Rovanatäler - 750 mm
	$\leq$	0,714 N-Rovanatäler + 450 mm

Die Wertepaare der höher gelegenen Teilgebiete - Bosco- und Campotal - liegen ungefähr in den gleichen Grenzen. Nur bei grosser Trockenheit gehen die Abflüsse aus dem Campotal etwas mehr zurück. Bei gleich grossem Niederschlag fliesst jedoch in Collinasca, wo die Abflüsse aus den zwei Teilgebieten und dem zusätzlichen,tiefer gelegenen Zwischeneinzugsgebiet gemeinsam gemessen werden, bedeutend mehr ab. Dies gilt vor allem für niederschlagsreiche Jahre. Zur Erklärung dieser Tatsache könnte man zwei Umstände aufführen:

- Einmal werden die Niederschläge im Zwischeneinzugsgebiet vielleicht unterschätzt. Alle Niederschlagskarten weisen im Gebiet von Collinasca die kleinsten Mengen auf, während es beim Eindringen von mediterranen Störungen in die Rovanatäler an dieser Stelle zu grossen Steigungs- und Stauniederschlägen kommen kann. (Die oft ausserordentlich grossen Mengen des Totalisators Corte di Cevio weisen auf diesen Umstand hin.)

- Dann sind im tiefer gelegenen Einzugsgebiet zwischen den Limnigraphenstationen Corino, Piano und Collinasca keine grossen Bergsturz- oder

sonstige Lockermassen vorhanden, in welchen auch grössere Niederschläge gespeichert werden können. Im Zwischeneinzugsgebiet werden die Niederschläge viel rascher zum Abfluss kommen. Darum ist auch die Möglichkeit der Verdunstung allgemein geringer.

2.7.4. Zusammenstellung der wichtigsten Regressionsgeraden und Grenzen der Rovanatäler (Figur 52)

In der gleichen Art wie im Verzascatal (siehe Figur 35) wurden auch von den Rovanatälern die wichtigsten Grenzen und Regressionsgeraden zusammengestellt.

3. BAVONATAL UND SEINE SEITENTAELER

3.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Arbeiten

Das Einzugsgebiet der Bavona liegt unmittelbar nördlich der Rovanatäler. Nach Westen bildet seine Wasserscheide zugleich die Schweizergrenze, während im Norden das Bedrettotal, im Osten der oberste Teil des Maggiatales (das Val Lavizzara) und sein Seitental (das Val Peccia) das Gebiet begrenzen.

Der Hauptfluss, die Bavona, entspringt ganz im Norden am Cavagnoligletscher und fliesst, immer etwas auf der östlichen Seite des Einzugsgebietes nach Süden und Südosten, bis er bei Bignasco in die Maggia mündet. Alle bedeutenden Seitentäler münden von rechts in die Bavona.

In seiner Dissertation untersuchte M. Reist (Lit.) die Morphologie und Hydrologie dieses Gebietes. Es sind jedoch nach dem Abschluss seiner Arbeit noch viele weitere Abflussmessungen an den kleineren Quell- und Nebenflüssen durch die Maggia-Kraftwerke-AG, Locarno, gemacht worden. Diese Messwerte, welche mir in grosszügiger Weise überlassen wurden, ermöglichen nun noch einige weitere Folgerungen

Schon Reist unterscheidet zwei ganz verschieden geartete Landschaften: Im Norden das hochgebirgsartige, relativ flache und zum Teil vergletscherte Quellgebiet (Basodino und Cavagnoli) und im Südosten den tiefen Taltrog des Haupttales. Fährt man auf der gut ausgebauten Strasse von Bignasco aus in dieses U-Tal hinein, so kann man höchstens in Foroglio oder San Carlo, wo die Wasser der beiden grössten Seitentäler zum Teil in gewaltigen Wasserfällen ins Haupttal herunterstürzen, vermuten, dass weiter oben ein ganz anderer Landschaftstypus vorherrscht. Erst wenn man aus dem Tal hinaufgestiegen ist, erkennt man, wie verschieden diese Gebiete in Wirklichkeit sind.

3.2. Niederschläge und Abflussmengen

Leider sind die Messungen in diesem wohl interessantesten Untersuchungsgebiet unvollständig. Bei den Niederschlägen fehlen tägliche und monatliche Werte. Die Jahreswerte sind ziemlich unsicher, da die 18 Totalisatoren, nach welchen Reist seine Niederschlagskarten zeichnete, bis auf zwei schon im Jahre 1958 abgebrochen wurden. Es konnte jedoch durch Vergleich mit den drei umliegenden Niederschlagsstationen der MZA, Bosco-Gurin, Cevio und Fusio, die Fehlergrenze ungefähr abgeschätzt und mit Hilfe des einzigen noch heute unverändert bestehenden Totalisators Randinascia im höheren Einzugsgebiet ein weiterer Anhaltspunkt gewonnen werden.

Die von Reist gezeichneten Niederschlagskarten wurden so weit als möglich verwendet, doch ergeben sich, vor allem in den Teilgebieten, grosse Unsicherheiten. Einmal wurden die Abflüsse nicht in den gleichen Jahren gemessen; dann sind die Niederschlagskarten in erster Linie (wie schon im Verzascatal erwähnt) dem Gesamtgebiet angepasst, während in den kleineren Seitentälern doch grosse lokale Unterschiede auftreten können.

Etwas anders ist die Situation bei den Abflüssen. Hier wurden durch die Maggia-Kraftwerke-AG an verschiedenen Stellen während Jahren der Abfluss mit grosser Genauigkeit bestimmt. Bald darauf begannen jedoch in immer höher gelegenen Tälern die Bauarbeiten zu den Stauseen und Stollen. Heute werden alle grösseren Gewässer zur Energieerzeugung benutzt. Die Jahre, in welchen zuverlässige Messwerte zur Verfügung stehen, sind darum in höher und tiefer gelegenen Stationen nicht die gleichen. Dies bedingt immer wieder Umrechnungen und vermindert so die Genauigkeit der Resultate.

Reist schreibt dazu auf Seite 44 seiner Dissertation:

> "... die tatsächliche Abflussmenge der Bavona kann seit 1953 weder gemessen noch rekonstruiert werden, was vom wissenschaftlichen Standpunkt aus sehr zu bedauern ist ...
>
> ..Durch diese künstlichen Eingriffe sind uns in der Auswertung der Resultate Grenzen gesetzt. Vor allem wirkt sich die Wasserfassung in Cavergno nachteilig aus, weil dadurch sämtliche Vergleichsmöglichkeiten in bezug auf Niederschlags- und Abflusshöhen seit 1953 fehlen. Die hydrologische Bilanz bleibt daher auf die Jahre 1947 bis 1953 beschränkt, und der Vergleich zwischen dem Abfluss der Quell- und Nebenflüsse und demjenigen des Hauptflusses in Bignasco fällt überhaupt dahin ... "

Ich möchte jedoch trotzdem, nach den Untersuchungen der einzelnen Teilgebiete, versuchen, mit Hilfe von Vergleichen mit dem Verzascatal,auch vom ganzen Bavonatal noch etwas auszusagen.

Die Werte folgender Abflussstationen wurden mir in diesem Gebiet von der Maggia-Kraftwerke-AG zur Verfügung gestellt: Basodino, Cavagnoli, Bavona Robiei, Randinascia, Bavona in Campo und San Carlo.

Abflussvergleiche (Figuren 53 und 54)

Die Verschiedenartigkeit der höher gelegenen Einzugsgebiete kommt aus den Werten der monatlichen Abflusshöhen vom Juli 1952 bis Januar 1954 gut zur Geltung. Dies ist leider die einzige Periode, in welcher die Werte der

- Bavona in Bignasco,
- Bavona in San Carlo,
- Bavona in Campo,
- Riale di Randinascia (unvergletschert),
- Riale di Gh. Basodino (vergletschert) und
- Bavona in Robiei (etwas vergletschert)

direkt verglichen werden können. Vorher wurden die höher gelegenen Teilgebiete der Bavona nicht gemessen und später fehlen die Werte des Gesamtgebietes.

Bei starken Frühlings- oder Herbstniederschlägen steigen die Abflüsse aus den unvergletscherten Gebieten am meisten an, während die Abflüsse aus etwas höher gelegenen und stark vergletscherten Teilgebieten viel weniger hohe Werte erreichen. Vor allem die Messungen in Zöt zeigen, dass der Abfluss im Frühling 1952 aus dem Basodinogebiet viel später begann (Mai), jedoch seinen Höhepunkt auch im Juli erreichte und den ganzen Sommer hindurch sehr hoch blieb, während aus dem unvergletscherten Nachbargebiet Randinascia schon im Mai und Juni am meisten abfloss und die Wasserführung im Juli und August sehr stark zurückging.

Für die höher gelegenen Teilgebiete rechnete ich die mittleren Abflusshöhen der einzelnen Monate für die Zeit der elf hydrologischen Jahre 1952/53 bis 1962/63 aus. In diesen elfjährigen Mittelwerten spielt der einzelne Niederschlag eines Monats nicht mehr eine so grosse Rolle. Besonderheiten eines Jahres - zum Beispiel die grossen Herbstniederschläge im Jahre 1953 - sind schon ziemlich ausgeglichen. Das Resultat jedoch ist sehr ähnlich:

- Aus vergletscherten Gebieten beginnt der Abfluss spät, erreicht im Juni (manchmal erst im Juli) seinen Höhepunkt und bleibt den ganzen Sommer durch relativ hoch.

- Unvergletscherte Gebiete besitzen im Winter mehr Abfluss als vergletscherte; die Schneeschmelze beginnt je nach Höhenlage früher (März bis Juni). Der Abfluss sinkt dann aber ausserordentlich rasch auf die normalen Sommer- und Herbstwerte zurück, welche sehr stark von den Niederschlägen abhängen.

Die in Prozenten des Jahresabflusses umgerechneten Werte, sind bemerkenswert (Figur 53).

- Alle früher gemachten Feststellungen gelten auch für diese Darstellung.
- Die sommerlichen Abflusshöhen des Basodinogebietes erreichen durch diese Darstellungsart im Verhältnis zu den andern Gebieten etwas grössere Werte.
- Die Werte des Sommers (Juli, August, September) rangieren in der Reihenfolge der Vergletscherung (grösste Vergletscherung = grösster Abfluss), während die Winterwerte (November bis April) die umgekehrte Reihenfolge zeigen.

Im Nachbargebiet (Bavona oberhalb Robiei) wurde während acht Jahren der Abfluss aus dem stark vergletscherten Gebiet des Cavagnoligletschers ebenfalls gemessen. Aus den Messungen des Gesamtgebietes weniger die Werte des Cavagnoli lassen sich die Werte für das praktisch unvergletscherte Restgebiet errechnen. Dieses enthält einige grössere Seen, welche Reist sehr eingehend untersucht hat: Lago Bianco, Lago Nero und Lago Sfundau, der nur einen unterirdischen Abfluss aufweist.

In Figur 54 sind die mittleren monatlichen Abflusshöhen der vier höchstgelegenen Teilgebiete für die acht hydrologischen Jahre 1955/56 bis 1962/63 dargestellt. Sie bestätigen die bei den elfjährigen Mitteln erhaltenen Resultate.

3.3. Untersuchung der Teilgebiete

3.3.1. Basodino (Abflussstation Zöt)

An der Grenze des Basodino-Gebietes steht bis heute der Totalisator Randinascia. In den Jahren 1953/54 bis 1957/58 war zudem noch ein Totalisator in der ausserodentlichen Höhe von 2655 m aufgestellt, welcher immer sehr hohe Niederschlagswerte registrierte (265 bis 499 cm pro Jahr). Vor allem durch diese Werte bedingt, sind die mittleren Niederschlagshöhen nach den Niederschlagskarten von Reist für dieses Einzugsgebiet ausserordentlich hoch. Da die Jahre, in welchen die Niederschläge und Abflüsse gemessen wurden, nicht zusammenfallen, und ich ausserdem wenigstens die monatlichen Niederschläge brauchte, sah ich mich doch noch nach einer andern Niederschlagsstation um. Durch viele Vergleiche zeigte es sich, dass die schon in den Rovanatälern benutzte Station Bosco-Gurin MZA am besten geeignet war, mit den Niederschlägen in diesen höchsten Gebieten verglichen zu werden. Einmal liegt sie am höchsten (Bosco 1510 m, Cevio 418 m, Fusio 1280 m). Dann gibt Cevio nur die Verhältnisse im Taltrog der Maggia an, während Fusio sehr kleine Mittelwerte aufweist, welche nicht mit den grossen Werten dieser höchsten Tessinererhebungen verglichen werden können.

Die Vergleiche wurden vorerst mit der Station Bosco durchgeführt und erst nachher mit den Gebietsniederschlägen, für welche die Totalisatorwerte und frühere Niederschlagskarten wichtige Hinweise geben, verglichen.

Zum Glück sind die Abflusswerte aus diesem besondern Gebiet während einiger Jahre zuverlässig gemessen worden. Von 1955 bis 1964 stand in Zöt wenigstens in den Monaten April/Mai bis November eine Limnigraphenstation. In den Wintermonaten sind die Bäche in dieser Höhe eingefroren und zugeschneit, so dass kein Abfluss festgestellt werden kann. Sicher sind jedoch die Winterwerte so klein, dass sie gegenüber den grossen Werten des Sommers überhaupt nicht ins Gewicht fallen.

Vergleiche mit den Niederschlägen in Bosco MZA

Die Korrelation der Niederschläge mit dem Abfluss ist sehr schlecht, da in kalten, niederschlagsreichen Jahren oft Schnee bis zum Herbst liegen bleibt, und auch der Gletscher nicht ausapert, während in warmen Jahren nicht nur die Schneevorräte ganz schmelzen, sondern auch der Gletscher kräftig abgeschmolzen wird. Da in dieser Höhe vor allem die Strahlung an diesem Prozess beteiligt ist (dünnere Luft), ist es sehr schwierig, die Höhe der Verdunstung abzuschätzen. Die für diese Zwecke brauchbarsten Werte liefert die Station Bosco-Gurin, wo neben dem Niederschlag auch dreimal täglich die Temperatur abgelesen wird (07.30, 13.30, 21.00 Uhr). Nicht die mittlere Tagestemperatur spielt in diesem Zusammenhang die wichtigste Rolle, sondern die höchste Tagestemperatur, welche jedoch nicht registriert wird. Gute Dienste leisten die Monatsmittel der Temperaturen von 13.30 Uhr.

In Bosco-Gurin fielen in den zehn hydrologischen Jahren 1952/53 bis 1961/62 im Durchschnitt 1871,5 mm Niederschlag. Im gleichen Zeitraum flossen aus dem Basodino-Gebiet bei Zöt durchschnittlich im Jahr 18,665 Mil. m3 ab, das macht, über die Fläche von 9,4 km2 verteilt, eine Abflusshöhe von 1985,6 mm, also ungefähr 106 % der Niederschlagshöhe von Bosco.

Um eine Darstellung des Ganges zwischen Rücklagen und deren Aufbrauch zu erhalten, erstellte ich, wie im Verzasca- und Boscotal mit diesen Werten eine Darstellung der angepassten Niederschlagswerte minus die gemessenen Abflüsse. In der Figur 55 ist die gleiche Darstellung ebenfalls noch für das benachbarte, unvergletscherte Gebiet Randinascia aufgezeichnet. Diese Gegenüberstellung wird später nochmals zur Sprache kommen.

Wie aus den Figuren 54 und 55 zu ersehen ist, steigen die monatlichen Abflusswerte aus dem vergletscherten Basodinogebiet im Mai und Juni weniger an, als im unvergletscherten Nachbargebiet Randinascia; dafür liegen die Werte der Monate Juli, August und September viel höher.

Da durch die grossen Firn- und Gletscherflächen, welche fast die Hälfte des Einzugsgebietes ausmachen, auch bei grösster Trockenheit Wasserreserven vorhanden sind, hängt der Gang der Abflusshöhen nicht vom Niederschlag, sondern vor allem von der Strahlung (Temperatur) und den Schnee- oder Eisrücklagen ab. Welche Werte hier verwendet werden müssen, ist jedoch sehr fraglich. Strahlungs-, Sonnenscheindauer- oder auch Temperaturmessungen werden im Gebiet nirgends durchgeführt. Nach vielen vergeblichen Versuchen und Ueberlegungen, sehe ich folgenden Gedankengang als geeignet an, um wenigstens näherungsweise zu einem Resultat zu kommen. Von den gemessenen Abflusshöhen in Zöt, werden die mit 1,06 multiplizierten Niederschläge von Bosco MZA subtrahiert. Werden diese Werte gegen die um 13.30 Uhr gemessenen Temperaturen in Bosco MZA aufgetragen, so ergibt sich eindeutig die Beziehung, dass bei höhern mittlern Monatstemperaturen auch der Abflussüberschuss grösser ist (Figur 56). Da es sich jedoch sowohl bei den Niederschlägen, als auch bei den Temperaturen und den Abflusshöhen nur um Monatsmittel oder - summen handelt, sind die Abweichungen ziemlich gross.

(Reduz. N—Abfl.)Basodino (Mai-Sept. in mm) $\simeq$ 65 · Temp. um 13.30 in Bosco (Temp. in Celsiusgrad) — 812,5 mm

Durch eine einfache Korrektur kann die Streuung etwas vermindert werden. Betrachtet man die Werte jedes Monats gesondert, so fällt auf, dass die Abflüsse zu Anfang des Sommers bei gleicher Temperatur grösser sind, als gegen den Herbst zu. Dies ist damit zu erklären, dass im Vorsommer der Schnee leichter schmilzt und abfliesst als im Hoch- und Spätsommer das Eis des Gletschers. Zudem bedeckt die vergletscherte Fläche, aus welcher die Abflüsse des Hoch- und Spätsommers gespiesen werden, nur ungefähr die Hälfte des Einzugsgebietes. Es sind bei den monatlichen Abflusshöhen für diesen Vergleich folgende Korrekturen anzubringen:

Mai	- 60 mm
Juni	- 110 mm
Juli	- 0 mm
August	+ 70 mm
September	+ 70 mm

Diese Zusammenstellung der Punkte zeigt nun einen engeren Zusammenhang (Figur 57). Die Punkte, die ausserordentlich hohe Niederschläge oder Abflüsse in die Rechnung bringen, streuen noch stark. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Monatsgrenzen, wie im Verzascatal ausführlich besprochen, hydrologisch oft recht ungünstig sein können. Der Berücksichtigung anderer hydrologisch besser geeigneter Perioden stand der Umstand im Wege, dass von den Temperaturen von Bosco nur die Monatsmittel veröffentlicht werden. Zudem ist die Entfernung zum Basodinogebiet doch etwas gross, um solch weitgehende Vergliche zu erlauben. Ich bin jedoch überzeugt, dass diese Monatsmittel die Verhältnisse recht zutreffend charakterisieren, da sich die Fehler der verschiedenen Grenzen gegenseitig im Mittel aufheben.

Bedeutungsvoller scheint mir die Tatsache zu sein, dass die Gebietsniederschläge im Basodino nur aus den Niederschlagswerten der Station Bosco hergeleitet wurden. Die Abweichungen, welche zwischen den gerechneten und den gemessenen Werten entstehen können, zeigt die Figur 58, wo einerseits der gemessene Abfluss und Niederschlag und andererseits die nach der Temperatur berechneten Differenzen zwischen Abfluss und Niederschlag verwendet wurden, um den Verlauf der Vorräte in den verschiedenen Jahren darzustellen. Obwohl das Niederschlags- und Abflussgeschehen von Jahr zu Jahr sehr verschieden ist, ergeben die so berechneten Werte keine grossen Abweichungen von den gemessenen Daten.

Regressions- und Korrelationsberechnungen

Da mir für die Regressions- und Korrelationsrechnungen die Rechenanlage der Universität und Finanzdirektion Bern zur Verfügung stand, versuchte ich die in Zöt ermittelten Abflusswerte mit allen in Bosco gemessenen Daten in Beziehung zu bringen. Ich benutzte hiezu aus den Annalen der MZA folgende Daten für die 132 Monate:

Lufttemperatur 07.30, 13.30, 21.30 Uhr
Minimum und Maximum des Monats,

Relative Feuchtigkeit 07.30, 13.30, 21.30 Uhr,
Minimum des Monats,

Bewölkung 07.30, 13.30, 21.30 Uhr

Niederschlagssumme des Monats und grösster Tagesniederschlag,

Anzahl der Tage mit mehr als 1 mm Niederschlag, Schnee, Gewitter und helle Tage im Monat.

Es folgen nun einige Resultate, welche ich mit Hilfe des Computers erhalten habe:

Die Abflussschwankungen in Zöt sind vor allem von den Temperaturschwankungen abhängig. Im ganzen Jahr ist der Korrelationskoeffizient des Abflusses mit der Temperatur um 07.30 ganz wenig grösser als jener mit den übrigen Temperaturen. Der Unterschied ist jedoch unbedeutend (0,828 gegenüber 0,854). Da es in Bosco nur im Sommer zu Gewittern kommt, bildet die Anzahl der Gewittertage im Monat eine weitere Verbesserung: ihr Korrelationskoeffizient allein mit dem Abfluss beträgt 0,787.

Als weitere, jedoch schon etwas fragliche Verbesserung, kommt der Niederschlag in die Rechnung. Sein direkter Korrelationskoeffizient beträgt nur 0,310. Die Schwankungen der Abflussmengen können folglich nur zu etwa 10 % durch die Schwankungen der Niederschlagsmengen erklärt werden, während sie zu ungefähr 73 % nur aus den Temperaturen oder zu 82 %

aus Temperatur, Gewitter und Niederschlägen zusammen erklärt werden können. (18 % bleiben, wenn man nur die Monatsmittel berücksichtigt, unerklärbar.)

	k	F
Abfluss Zöt = 28,2 T-07.30 + 58 mm (165 mm)	0,854	****
= 19,6 T-07.30 + 44,5 Gewittertage + 44 mm	0,898	****
= 18,8 T-07.30 + 44,2 Gewittertage + 0,19 N + 17 mm (3,8) (1,05) (159,4)	0,904	**

Bei der Frage, wie die Schwankungen der Unterschiede zwischen Abfluss und Niederschlag durch die Werte von Bosco erklärt werden können, liess ich die zum Teil recht fraglichen Werte des Sommers 1963 weg (ungewöhnliches Hochwasser im Juni!). Die Unabhängige mit dem grössten Korrelationskoeffizient ist hier die maximale Temperatur des Monats. Die übrigen Temperaturen weisen nur wenig kleinere Korrelationskoeffizienten auf (0,731 bis 0,741). Als weitere Verbesserung kommen der Reihe nach die maximale Niederschlagsmenge (k = - 0,210), die Gewittertage (k = 0,692) und die Anzahl der Tage mit mehr als 1 mm Niederschlag (k = 0,124) in die Rechnung. Der gesamte Korrelationskoeffizient bleibt recht klein (0,867). Nur zu 75 % können die verschiedenen grossen Unterschiede von Abfluss minus Niederschlag aus der Variabilität dieser vorgenannten Werte erklärt werden.

Eine andere Berechnung, in welcher nur die maximalen Niederschläge, die Anzahl Gewittertage und die relative Feuchtigkeit (k = 0,080) verwendet wurden, ergibt sogar nur 66 %.

	k	F
A-N = + 20,4 T-Max. -276 mm	0,748	****
= + 21,9 T-Max. - 1,87 N-Max. -207 mm	0,818	****
= + 15,6 T-Max. - 1,87 N-Max. + 40 Gewittertage -159 mm (13,7 Grad) (47,7mm) (0,96 Tage)	0,856	****
= + 15,1 T-Max. - 1,50 N-Max. + 47,5 Gewittertage - 7,8 N-Tage - 99 mm (10,0Tage)	0,867	**
A-Zöt = 1,0 N+ 14,1 T-Max.+40,2 Gewittertage - 229 mm	0,789	****
1,0 N+15,0 T-Max.+29,6 Gewittertage -566rel. F.+153 mm	0.812	**

Die sommerlichen Abflussschwankungen (Mai-September) aus dem Basodinogebiet, können zu 57 % aus den Schwankungen der Temperatur 07.30 Uhr, nur zu 19 % aus den Schwankungen der Niederschläge, aber zu 78 % aus den Schwankungen dieser beiden zusammen bestimmt werden. Der Einfluss der relativen Feuchtigkeit ist nicht ganz gesichert, geht jedoch in der Richtung, dass in trockenen Monaten, wo die relative Feuchtigkeit kleiner ist, der Abfluss grösser wird.

		k	F
A-Zöt	= 56,5 Temp. - 216 mm	0,752	****
So	= 57,7 Temp. + 0,69 N - 349 mm	0,881	****
	= 58,1 Temp. + 0,81 N - 3,8 Rel.F.13.30 - 147 mm	0,891	*
(364,9)	(10,3) (174,5) (60,0)		

Bei der Variabilität der Unterschiede zwischen Niederschlag und Abfluss im Sommer, berechnete auch der Computer für die Temperatur um 13.30 Uhr den grössten Korrelationskoeffizienten (0,860 oder 74 %). Die Unterschiede mit den andern Temperaturen sind zwar nicht gross (k = 0,728 bis 0,853). Als zweite unabhängige Variable, kam die Anzahl der hellen Tage in die Rechnung. Dies ist zwar nicht ganz gesichert. Bei zwei Monaten mit gleichem Temperaturmittel und gleicher Niederschlagsmenge, weist der Monat mit mehr hellen Tagen einen kleineren Abfluss auf. Dies könnte ein Hinweis auf die Verdunstung sein.

		k	F
N-A	= 55,5 Temp. - 652 mm	0,860	****
So	= 56,7 Temp. - 10,5 helle Tage - 630 mm	0,874	*
	= 56,3 Temp. - 12,2 helle Tage - 3,2 rel.F. - 389 mm	0,886	*
(190,4)	(15,2) (3,9) (70,6)		

Gebietsniederschläge im Basodinogebiet

Der Totalisator Randinascia gibt wenigstens einen Anhaltspunkt über die Gebietsniederschläge in dieser Höhe. Er steht am nördlichen Rande des Einzugsgebietes gegen Randinascia und wurde seit 1948/49 jedes Jahr bedient. Für alle gemessenen Jahre beträgt sein Niederschlagswert im Mittel 640 mm oder 34 % mehr als die Werte der Station Bosco MZA, während für die elf Jahre 1952 53 bis 1962/63 die Werte im Mittel um 630 mm oder 33 % höher liegen (Figur 59).

Die nach den Niederschlagskarten von Reist bestimmten Gebietsniederschläge sind wegen der schon erwähnten ausserordentlich hohen Werte des nur wenige Jahre in Betrieb stehenden Totalisators Basodino sehr gross. Im Vergleich zu Bosco MZA sind sie im Mittel ungefähr 67 % höher. (Figur 60).

Gletscherrückgang

Vom allgemeinen Gletscherrückgang in den letzten Jahrzehnten blieb auch der Basodinogletscher nicht verschont. In der Dissertation von Reist befindet sich eine Zusammenstellung der von der "Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft" gemessenen Schwankungen von 1893 bis 1956. Es folgt hier nur eine Darstellung der Resultate der letzten Jahre.

Schwankungen der Zunge des Basodinogletschers nach "Variations des Glaciers des Alpes Suisse":

1944/45	- 1 m
1945/46	- 19 m
1946/47	- 116 m
1947/48	+ 2 m
1948/49	- 78 m
1949/50	+ 24 m
1950-56	- 69 m
1956/57	- 18 m
1957/58	- 7,5 m
1958/59	- 33 m
1959/60	- 12 m
1960/61	- 8 6 m
1961/62	- 7 m
1962/63	- 10 5 m
1963/64	- 0 m
1964-66	- 3 3 m
1966/67	+ 16 m
1967/68	+ 5,1 m
1968/69	+ 2 m

Besonders stark schmolz der Basodinogletscher also ausgerechnet während der Jahre 1952 bis 1963 zurück, in welchen ebenfalls die Abflüsse gemessen wurden. Flächen- und sogar volumenmässig ist der Rückgang sehr schwer zu erfassen. Sicher ist jedoch, dass in den Beobachtungsjahren eine bedeutende Menge Eis geschmolzen und abgeflossen oder verdunstet ist. Nach den Aufnahmen der Landestopographie stehen zwei neuere Luftbildserien zur Verfügung, welche jedoch auf verschiedenen Massstäben ausgewertet wurden. Die Aufnahmen vom 10. Oktober 1949 wurden im Massstab 1 : 10'000 und die neueren Luftaufnahmen vom 19. September 1961 im Massstab 1 : 25'000 kartiert, wobei noch am 19.9.1961 bis zu 2 m Schnee lagen und darum die Höhen und Grenzen der Gletscher nicht genau bestimmbar waren. Trotzdem ist im Vergleich für die 12 Jahre ein Zurückweichen der Gletscherfront bis zu 100 m feststellbar. Zudem löst sich die früher eher geschlossene Front immer mehr in verschiedene Zipfel auf.

Die zwei Profile aus dem Basodinogebiet (Figur 61) geben Aufschluss über die Böschungsverhältnisse. Das erste Profil stellt den relativ steilen, nordöstlich gerichteten breiten Hang dar, auf dessen oberer Hälfte der Basodinogletscher liegt, während unten nach einer Steilstufe alle Abflüsse im Becken von Zöt zusammenfliessen, wo sich heute der Stausee befindet und an dessen Ausfluss früher der Limnigraph stand. Die besondere Lage und Exposition des Basodinogletschers wird bei dem Problem der Verdunstung und den Gebietsniederschlägen nochmals zur Sprache kommen. Das zweite Profil, welches genau W - E verläuft, zeigt die Böschungsverhältnisse des Val Fiorina, dessen Abfluss über eine Distanz von ca. 850 m

unterirdisch erfolgt. In 2240 m Höhe verschwindet der besonders zur Schneeschmelze recht ansehnliche Bach in einer Kluftzone (Marmorband) und kommt erst aus einer Felsspalte oberhalb des Beckens von Zöt in einem mächtigen Wasserfall wieder zum Vorschein. Da die Kluftzone, in welcher der Bach verschwindet, eindeutig in Richtung ENE (Grenze gegen Randinascia) hinüberstreicht, das Wasser jedoch in genau östlicher Richtung wieder zum Vorscheint kommt, schien es mir möglich, dass die Verhältnisse während des unterirdischen Laufes nicht ganz so einfach sind; dass grössere Speicherungen oder komplizierte Kluftsysteme vorhanden sein könnten, welche einen Teil des Wassers doch nach Randinascia ableiten oder wenigstens eine gewisse Zeit aufspeichern könnten. Um dies abzuklären, färbte ich am 20. Juli 1967 um 14.30 Uhr an der Versickerungsstelle den Bach mit Fluoreszein. Nach genau 24 Minuten und 40 Sekunden kam die Felsenquelle plötzlich deutlich grün. 3 Minuten 40 Sekunden später hatte das grüne Wasser den eben erstmals langsam sich füllenden Stausee von Zöt erreicht. Um 15.03 Uhr änderte sich die Farbe des Wassers an der Felsenquelle sehr plötzlich wieder von grün auf weiss und 4 Minuten 45 Sekunden später hatte das nun wieder weiss schäumende Wasser sämtliche grünen Farbreste in den See geschwemmt.

Figur 62 zeigt die Situation im Detail, während Figur 63 ein Weg-Zeit-Diagramm des ersten und letzten gefärbten Wassers darstellt. Bedenkt man weiter, dass über den Wasserfall und den letzten sehr steilen Hang das Wasser sicher schneller fliesst als durch die flachere unterirdische Strecke, so lässt sich folgendes aussagen: Im Verlauf der unterirdischen Strecke können keine grossen Seen oder sonstigen Speicherräume vorhanden sein, sonst hätte der Anfang der Farbe die Strecke nicht in dieser Zeit durchflossen. Besonders das eindeutige Ende des gefärbten Wassers und die Zeiten bestätigen die Vermutung, dass es sich um einen eher gradlinigen, unterirdischen Wasserlauf handelt. Die Möglichkeit, dass grosse Wassermengen ins Nachbargebiet abfliessen, ist darum zu verneinen, besonders, da in Randinascia nirgends grössere Quellen beobachtet werden konnten.

Nach der Diplomarbeit von Hafizi (Lit.) finden im Gebiet des Basodino und Zöt auch heute noch orogene Vorgänge statt. Im Becken von Zöt wurden Steine entlang bestimmter "Bruchlinien" beobachtet und vor allem ca. 850 m ENE des Lago Matörgen glaubt er in einem kleinen See deutlich verschiedene, noch heute spielende Bruchlinien erkannt zu haben. Er kommt nach seinen Untersuchungen zum Schluss, dass das Gebiet des Steilabfalles gegen das Bavonatal zu noch heute in Hebung begriffen ist, während das höhergelegene flachere Basodinogebiet langsam absinkt.

3.3.2. Val Cavagnoli

Die Abflüsse aus dem Val Cavagnoli wurden leider nur in den Jahren 1955/56 bis 1963 während der Sommer- und Herbstmonate gemessen. 1964 begannen die Arbeiten am Staudamm,und die Messungen sind von der Zeit an nur noch sehr lückenhaft vorhanden.

Auch in den vorhergehenden Jahren konnte - wegen der gewaltigen Schneemengen in diesem, am nördlichsten und höchsten gelegenen Teilgebiet der Bavona - die Limnigraphenstation oft erst während der Schneeschmelze in Betrieb gesetzt werden (April bis Juni). Die fehlenden Werte wurden dann nach den Vergleichsstationen Zöt und Bavona-Robiei ermittelt.

Da dieses Gebiet zu ungefähr 50 % vergletschert ist, vergleicht man die so ermittelten Abflüsse am besten mit jenen von Zöt (Monatsmittel: →Figur 54). Die Korrelation zwischen den Abflüssen aus diesen zwei etwa gleich stark vergletscherten Gebieten ist recht eng: Im Mittel beträgt die Abflusshöhe aus dem Basodino nur 75 % derjenigen aus dem Cavagnoli. Die Regressionsgerade liegt bei:

A-Basodino (1985) $\simeq$ 0,6 A-Cavagnoli (2642) - 400 mm

Zur Bestimmung der Niederschläge war von 1947/48 bis 1959/60 ein Totalisator in Betrieb, der 1965 in der Nähe der neuen Staumauer wieder aufgestellt wurde. Die Niederschlagswerte dieses Totalisators scheinen mit den gleichzeitig gemessenen Abflussmengen in keinem Zusammenhang zu stehen (wie im Basodinogebiet). Mit zunehmender Niederschlagshöhe steigt der Abfluss zwar meistens etwas an, aber in besonders niederschlagsreichen Jahren bleibt er wieder eher klein. Es sammeln sich in diesen Jahren sicher grosse Rücklagen an, während in Jahren mit wenig Niederschlägen die Reserven stark vermindert werden.

Die Gebietsniederschläge sind nach den Niederschlagskarten von Reist ungefähr gleich gross wie die Werte des Totalisators Cavagnoli. Allerdings musste sich Reist auch nur auf diesen einen Wert stützen. so dass die Gebietsniederschläge dieses Teilgebietes doch ziemlich unbestimmt sind. Im Vergleich zu Bosco MZA sind die Werte des Totalisators Cavagnoli im Durchschnitt ungefähr 70 % grösser; diese höheren Werte dürften auch im Mittel die Höhe der Gebietsniederschläge repräsentieren, obgleich sie in den einzelnen Jahren sehr wenig Uebereinstimmung mit jenen von Bosco MZA zeigen (Figur 64).

3.3.3. Bavona oberhalb Robiei

In unmittelbarer Nähe der SAC-Hütte Basodino wurde der Abfluss der Bavona gemessen. Dieses Einzugsgebiet - es umfasst das Cavagnoli und die anschliessenden Gebiete, in welchen die drei grossen Seen Lago Sfundau,

Lago Nero und Lago Bianco liegen - wurde durch einen Limnigraphen in den Jahren 1950/51 bis heute gemessen. In den ersten drei Jahren sind die Resultate nur lückenhaft vorhanden, während das Abflussgeschehen seit 1964 durch die Bauarbeiten und die dadurch entstehenden Wasserumleitungen so verändert wurde, dass das natürliche Geschehen nicht mehr rekonstruierbar ist.

Von den vier Totalisatoren, welche in diesem Gebiet zwischen 1945 resp. 1947 bis 1958 in Betrieb waren, sind die Werte der drei Totalisatoren Lago Nero, Lago Bianco und Cavagnoli ihrer topographischen Lage angemessen, während die Werte des sehr hoch gelegenen Totalisators Sfundau (in 2520 m am Passo Cristallina gelegen) ausserordentlich niedrig sind. Das Zeichnen von Niederschlagskarten wird aus diesem Grunde sehr schwierig. Je nachdem, welches Gewicht diesen einzelnen Stationen zugemessen wird, können die ermittelten Höhen der Gebietsniederschläge verschieden sein.

Da ein Teil des Abflusses schon im Val Cavagnoli untersucht wurde, die Niederschlagswerte mit einem Fragezeichen zu versehen und auch die Abflussverhältnisse aus dem Lago Sfundau nicht ganz eindeutig sind, habe ich dieses Teilgebiet wegen den Unsicherheiten nicht weiter bearbeitet und die Abflüsse der Bavona erst weiter unten in Campo einer genaueren Prüfung unterzogen. Die Abflusswerte der drei Gebiete Cavagnoli Bavona oberhalb Robiei und des Zwischeneinzugsgebietes wurden schon früher (Figur 54) dargestellt.

Die verschiedenen monatlichen Schwankungen der Abflusshöhe der Bavona bei Robiei lassen sich nur zu 75 bis 80 % aus den meteorologischen Beobachtungen des gleichen Monats in Bosco MZA erklären. Es ist die Temperatur, welche den grössten Korrelationskoeffizienten aufweist. Gewittertage, Bewölkung, relative Feuchtigkeit und der maximale Tagesniederschlag kommen in dieser Reihenfolge in die Rechnung. Sie sind statistisch zwar noch gesichert, können den gesamten Korrelationskoeffizienten aber nur noch wenig vergrössern. (0,836 bis 0,891).

3.3.4. Randinascia

Das Einzugsgebiet des Limnigraphen Randinascia umfasst vor allem den weiten Kessel von Robiei, in welchem heute ein Stausee liegt. Es reicht jedoch in einem relativ schmalen Band in Richtung Westen, zwischen Basodino- und Cavagnoligebiet, dem Riale di Randinascia nach hinauf bis zu der Landesgrenze (höchster Punkt: Pzo. Fiorina, 2925 m). Auch in diesem höchsten Gebieten befinden sich - wohl wegen der grossen Insolation an den hauptsächlich nach Süden gerichteten Talhängen - keine Gletscher. Der einzige natürliche See, der Lago Matörgn, wird das hydrologische Geschehen nicht entscheidend beeinflussen können, obschon in der Schwächezone, in welcher er liegt, noch ein grösseres Höhlensystem und ein weiterer kleinerer See beobachtet wurden.

Die Niederschläge sind in diesem höher gelegenen Teil durch den schon erwähnten Totalisator Randinascia auf der Grenze gegen das Val Fiorina (Basodinogebiet) gemessen, während im Becken von Robiei erst seit 1964/65 durch die Maggia-Kraftwerke-AG ein Totalisator bedient wird. (Die vergleichbaren Totalisatorenwerte der letzten Jahre liegen in Robiei 200 bis 300 mm tiefer als in Randinascia.)

Die Niederschläge des Totalisators Randinascia lassen sich recht gut mit der Jahresabflusshöhe korrelieren (Figur 65). Auch die Abhängigkeit mit Bosco ist recht eng (Figur 66), ein Zeichen, dass es in diesem Gebiet keine grossen Vorräte gibt. Das trockene Extremjahr 1957 liegt gut auf der Geraden. Die kleinen Abweichungen lassen sich dadurch erklären, dass der Totalisator nicht den Niederschlag eines ganzen Gebietes wiedergeben kann. 1960 erhielten die höheren Regionen wahrscheinlich noch mehr Niederschlag als der Kessel von Robiei; zudem kam es in diesem niederschlagsreichen Jahr doch zu gewissen Speicherungen.

Da die Abflüsse zwischen Basodino und Randinascia keine gleichlaufenden Tendenzen zeigen (Figuren 53 und 54), kann man nicht nur auf Grund des weiter vorne beschriebenen Färbversuchs annehmen, dass keine bedeutenden Abflussmengen aus dem Basodinogebiet herüberdringen.

Um die Darstellung des Wasserhaushaltes dieses Gebietes während einiger Jahre darzustellen, benützte ich die schon im Verzasca- und Rovanatal angewandte Methode. Ich passte in diesem Fall die Niederschläge von Bosco den von 1952/53 bis 1962/63 gemessenen Totalisatorenwerten für jedes einzelne Jahr an. Dabei wurden die Totalisatorenwerte um 5 % vermindert, so dass ihr Mittel während der gemessenen Jahre gleich hoch war, wie der mittlere Abfluss. Der monatliche Verlauf der so angepassten Niederschlagswerte minus die gemessenen Abflüsse von Randinascia, stellte ich in der gleichen Darstellung wie die des vergletscherten Nachbargebietes dar (Figur 55).

Diese Darstellungsweise zeigt den Unterschied zwischen diesen beiden Nachbargebieten, dem vergletscherten Basodino und dem unvergletscherten Randinascia deutlich.

Die Vorräte erreichen in Randinascia ihren höchsten Wert normalerweise Ende April, während Ende Juli bis anfangs Oktober die Werte sehr klein sind. Im Basodino erreichen die Vorräte erst anfangs Oktober den kleinsten Wert. Hier ist es unbedingt gerechtfertigt für Jahresübersichten nur das normale hydrologische Jahr, welches am 1. Oktober beginnt, zu verwenden, während es im Gebiet von Randinascia möglich wäre, der oft grossen Herbstniederschläge wegen auch den 1. September oder sogar den 1. August zu verwenden.

Ein schönes Beispiel, dass in vergletscherten Gebieten das Niederschlags- und Abflussgeschehen über mehrere Jahre ohne Unterbruch berücksichtigt werden muss, sind die Jahre 1960 bis 1962. Beim Einschneien im Herbst 1960 und vor allem im Herbst 1961 war nicht der ganze Niederschlag des Vorwinters abgeflossen, als die neuen Niederschläge des nächsten Winters die Vorräte erneut ansteigen liessen.

Die monatlichen Abflüsse von Randinascia habe ich zur Abklärung verschiedener Zusammenhänge ebenfalls noch mit allen in Bosco-Gurin gemessenen Daten auf die verschiedensten Arten korreliert. Da diese von den noch vom Winter her vorhandenen Reserven abhängig sind, welche in dieser Rechnung nicht berücksichtigt werden können, bleiben die Korrelationskoeffizienten klein (0,679 bis 0,781). Die Werte des Vormonates auch noch berücksichtigt, ergeben kein besseres Resultat (k = 0,677 bis 0,786). Sortiert man jedoch die Abflüsse nach Monaten aus und kombiniert sie mit den in Bosco im gleichen und im vorhergehenden Monat registrierten Niederschlag, Temperaturen und Gewittertagen, so ergeben sich etwas bessere Resultate. Für die Monate mit bedeutenderen Abflüssen (April bis Oktober) ergeben sich folgende Zusammenhänge:

Die Abflussschwankungen im April können zu 81 % aus den Schwankungen der Temperaturmittel um 13.30 Uhr in Bosco MZA mit Hilfe der linearen Regression erklärt werden (Schmelzwasser). Wenn in Bosco Tage mit Gewittern beobachtet wurden, stieg auch der mittlere Abfluss des Monats etwas an, diese Tatsache ist jedoch statistisch nicht ganz gesichert (k = 0,897 bis 0,922).

Im Mai scheint der Abfluss von der Temperatur am Abend abhängig zu sein, während hohe Mittagstemperaturen oder Temperaturmaxima den Abfluss vermindern. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Temperaturen von einander abhängig sind. Die Schwankungen von Mittags- und Maximaltemperatur sind zu gross und kommen so nur als Ausgleich zu den Abendtemperaturen, welche ungefähr das Tagesmittel darstellen, in die Rechnung (k = 0,781 bis 0,966). Eine zusätzliche Abhängigkeit von den noch vorhandenen Vorräten bei Monatsanfang ist statistisch nicht gesichert. Wenn hingegen noch die Niederschläge und die Temperatur des Vormonates mitgerechnet werden, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass alle diese Werte nur in einer zufälligen Beziehung zueinander stehen wieder unter 1 ‰ (k = 0,994).

Die allgemein grossen Schmelzwasserabflüsse im Juni sind sehr schwer zu bestimmen Alle möglichen Rechnungen zeigten kein anderes Resultat, als dass bei hohen Temperaturen im Mai schon viel abgeflossen ist und darum die Abflüsse im Juni relativ klein bleiben, während bei tiefen Maitemperaturen im Mai wenig abfliesst und dafür die Juniabflüsse ausserordentlich gross werden. Errechnete Vorratswerte bei Monatsende, Niederschläge, alle Temperaturen des Juni usw. geben keine weiteren gesicherten Anhaltspunkte (k = 0,742).

Die Abflüsse im Juli werden nur noch zum Teil aus Schmelzwasser bestehen. Die Temperaturen haben darum wenig Einfluss. Hingegen sind die Vorräte zu Anfang des Monats und die Niederschläge wichtig. Interessant ist besonders, dass die Abhängigkeit eines einzelnen Faktors statistisch nur mit 95 prozentiger Wahrscheinlichkeit gesichert ist. Erst bei der Kombination von Vorräten und Niederschlag steigt sie über 999 ‰. (k = 0,629 bis 0,926)

Die verschieden grossen Abflusswerte im August sind zu 84 % aus den Augustniederschlägen oder sogar zu 90 % aus den Niederschlägen im Juli und August in Bosco MZA zu erklären. (k = 0,917 bis 0,950).

Der Abfluss im September lässt sich zu 83 % aus den Niederschlägen in Bosco MZA mittels einfacher linearer Korrelation erklären (k = 0,910). Bei vielen Gewittertagen wird eher mehr, bei warmem Vormonat (Vorräte aufgebraucht) eher weniger Abfluss gemessen. Diese Beziehung ist zwar statistisch nur zu 95 % gesichert (k = 0,964).

Die Abflüsse im Oktober hängen von verschiedenen Umständen ab, das wichtigste sind die Niederschläge; dass jedoch nicht alle Niederschläge noch im Oktober zum Abfluss kommen, sieht man schon daran, dass im Mittel in Bosco MZA mehr Niederschlag gemessen wird, als die mittlere Abflusshöhe aus dem niederschlagsreicheren Randinascia beträgt. Die Einflüsse aller übrigen Faktoren sind nur zu 95 % gesichert. Die mittleren oder maximalen Temperaturen des Oktober scheinen keinen grossen Einfluss zu haben. Mit den täglichen Werten liesse sich in diesem Fall wahrscheinlich eher etwas anfangen, da aus ihnen der genaue Winteranfang und damit der Rückgang des Abflusses auch bei grossen Niederschlägen bestimmt werden könnte (k = 0,758 bis 0,964).

3.3.5. Bavona oberhalb Campo

Das Einzugsgebiet der Bavona in Campo umfasst die vorgehend besprochenen Teilgebiete: Basodino, Randinascia und Cavagnoli. Es besitzt eine Fläche von 32,4 km2, eine mittlere Höhe von 2420 m und ist zu 218 ‰ vergletschert. Da bei allen höher gelegenen Abflussstationen im Winter ausserordentliche Schwierigkeiten auftreten, habe ich diese durch das ganze Jahr zuverlässig bestimmten Abflusswerte noch etwas genauer untersucht. Der Limnigraph steht bei dem Brücklein bei Campo (1390 m) am grossen Aufstieg von San Carlo nach Robiei und der SAC-Hütte Basodino. Auch während den ersten Bauarbeiten in höher gelegenen Teilgebieten, als dort die Limnigraphen teilweise ausser Betrieb gesetzt oder kleinere Umleitungen des Wassers zu den verschiedenen Baustellen nötig wurden, funktionierte diese Station normal, so dass hier zuverlässige Werte vom Januar 1953 bis April 1966 vorhanden sind.

Die Einflüsse der verschiedenen Faktoren auf den Abfluss wurden bei den besondern Teilgebieten besprochen. Alle diese Besonderheiten wirken sich auch auf den Abfluss in Campo aus.

Die verschiedenen monatlichen Abflusshöhen in Campo lassen sich nur zu 75 bis 80 % aus allen Beobachtungen des gleichen Monats in Bosco MZA erklären. Es ist die Temperatur, welche den grössten Korrelationskoeffizienten aufweist. Die Anzahl Gewittertage pro Monat und der Niederschlag können den totalen Korrelationskoeffizienten nur noch wenig vergrössern (k = 0,825 bis 0,877). Der Abfluss in Campo besteht fast ausschliesslich aus den Abflüssen der drei Teilgebiete, Bavona oberhalb Robiei, Randinascia und Basodino.

Da die verschiedenen Faktoren, welche sich auf den Abfluss in den Sommermonaten auswirken in den zwei gegensätzlichen Teilgebieten Basodino und Randinascia eingehend untersucht wurden, verzichtete ich auf eine weitere detailliertere Untersuchung.

3.3 6. Bavona unterhalb Campo
Versuch einer Rekonstruktion der Abflüsse der Bavona bei Bignasco

Die Korrelation zwischen der Verzasca in Corippo und der Bavona in Bignasco ergibt für die hydrologischen Jahre 1929/30 bis 1952/53 nur einen Korrelationskoeffizienten von 0,915. Die zwei Regressionsgeraden sind (Figur 67):

A-Bavona = 0,67 A-Verzasca + 423 mm
(1121-1691-2533) (906-1893-3230) k = 0,915

A-Verzasca = 1,25 A-Bavona - 217 mm

Nach diesen Gleichungen können die Abflüsse der Bavona für die Jahre nach 1953 wenigstens ungefähr berechnet werden.

Der Grund für die verschiedenen Abweichungen der Wertepaare von der Regressionsgeraden und damit auch des kleinen Korrelationskoeffizienten, ist sicher im ganz besonderen hydrologischen Verhalten der am höchsten gelegenen und zum Teil vergletscherten Gebieten des Bavonatales zu suchen.

Vergleicht man das Verzascatal nur mit dem Bavona-Einzugsgebiet unterhalb des Limnigraphen Campo, so ist die Uebereinstimmung sicher grösser. Unterhalb Campo beträgt die mittlere Höhe des Restgebietes der Bavona nur noch 1772 m und die Vergletscherung ist ganz unbedeutend.

Noch etwas besser wäre die Uebereinstimmung, wenn man auch noch das Val Antabbia von diesem Restgebiet abzählen könnte. Da jedoch von diesem Tal nur in den Jahren 1953 bis 1957 Abflusswerte vorliegen, welche sich zum Teil widersprechen, musste ich auf diese Art der Auswertung verzichten.

Zur Rekonstruktion der Abflüsse in Bignasco habe ich darum zuerst die wahrscheinlichsten Abflusswerte bis 1965 nach der Regressionsgeraden von 1929 bis 1953 ermittelt. Von diesen errechneten Werten wurden darauf die in Campo gemessenen Abflussmengen des höher gelegenen Gebietes abgerechnet. Die verbleibenden Abflusshöhen des Einzugsgebietes unterhalb Campo wurden nun nochmals mit den Abflusshöhen des Verzascatales korreliert. Die Regressionsgerade lautet (Figur 68):

A-Bavona unterhalb Campo = 0 74 A-Verzasca + 127 mm
(1120-1514-2265) (1350-1874-2800)

Nach dieser Regressionsgeraden wurden nun die Abflusshöhen unterhalb Campo ermittelt und mit den gemessenen Werten in Campo zusammen ergeben sie die wahrscheinlichsten Abflusswerte der letzten Jahre.

In Figur 69 sind die Gebietsniederschläge nach Reist gegen die von 1948/49 bis 1952/53 in Bignasco gemessenen und von 1953/54 bis 1957/58 aus den in Campo gemessenen und für das Restgebiet aus Vergleichen mit dem Val Verzasca bestimmten Abflusshöhen aufgetragen.

Die eingezeichnete Regressionsgerade ist die nachstehende, von Reist angegebene Beziehung:

A-Bavona = 0 673 N-Bavona + 111 mm
(1121-1619-1387) (1540-2240-3145)

Zusammenstellung der Abflusswerte aller Teilgebiete (Tabelle XIII)

Für diese Zusammenstellung wurden die gemessenen Werte der zehn hydrologischen Jahre 1953/54 bis 1962/63 benutzt. In Teilgebieten, wo nicht während der ganzen Zeit gemessen wurde, habe ich die fehlenden Werte nach den ähnlichsten Nachbargebieten und den Beziehungen der übrigen Jahre bestimmt (). Ebenso wurde für das hydrologische Jahr 1962/63 von Basodino und Cavagnoli nach den Beziehungen der übrigen Jahre zwei Abflusswerte bestimmt (), da die gemessenen Werte in diesem Jahr plötzlich eine ganz andere Abhängigkeit aufweisen. Die Mittelwerte aus den verschiedenen Gebieten sind sehr unterschiedlich. Aus dem unvergletscherten Randinascia floss sehr viel ab, während das vergletscherte Nachbargebiet Basodino (trotz Gletscherrückgang) sehr wenig und das andere, ebenfalls verletscherte Nachbargebiet Cavagnoli etwas mehr Abfluss hatte.

4. ONSERNONE UND VERGELETTO

4.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Arbeiten

Für die Jahre 1949 bis 1953 untersuchte E. Kistler in seiner Dissertation (Lit.) auch die hydrologischen Verhältnisse in diesen Tälern. Es standen ihm damals die Niederschlagsstation Mosogno mit täglichen Ablesungen und ein Limnigraph, aufgestellt nach dem Zusammenfluss von Ribo und Isorno südlich Russo, zur Verfügung.

Zwei Jahre später bearbeitete A. Canale (Lit.) den gleichen Raum vom geomorphologischen Standpunkt aus.

Der landschaftliche Charakter des Onsernone- und Vergelettotales macht auf den Besucher einen grossen Eindruck. Dies ist vor allem der Anlage der engen und äusserst kurvenreichen Strasse zuzuschreiben, welche sich der steilen linken Talseite nach, durchschnittlich ungefähr 300 m über dem Isorno, ins Tal hineinwindet.

Am westlichen Ende der Pedemonte, nördlich von Intragna, befindet sich der enge Eingang zum Onsernone. Die Strasse steigt schon von Cavigliano aus an und weicht so der engen Mündungsschlucht nach oben aus. Bei Auressio, dem ersten Ort, biegt das Tal von der NNW verlaufenden Eingangsschlucht in die allgemeine E-W Richtung der Centovalli-Talzüge ein. Die taleinwärts folgenden Dörfer Loco, Berzona, Mosogno, Russo, Crana, Vacaglia, Comologno und Spruga kleben auf kleinen Terrassen an der sonnigen linken Talseite, während sich der Fluss tief unten durch die von Kistler an einigen Stellen eingehend untersuchten Kolke drängt.

Die steilen Talflanken weisen zufolge der erwähnten E-W Talrichtung eine ausgeprägte Sonn- und Schattseite auf. Während an den Sonnseiten zumeist verhältnismässig lichter Wald beobachtet wird, ist die schattige rechte Talseite, besonders oberhalb Mosogno-Russo, mit einem schönen Nadelwald bedeckt. Vor allem im oberen Talteil, der sich ganz auf italienischem Gebiet befindet, dehnen sich Nadelwäder bis auf die Höhe von 1550 m aus; die Waldgrenze liegt bei ca. 1700 m. Darüber sind noch vereinzelte Lärchen anzutreffen.

Die Talanlage des Vergeletto ist ähnlich wie die des Onsernone. Die allgemeine Talrichtung verläuft von Westen nach Osten, während der Talausgang in einer engen Schlucht gegen Süden umbiegt. (Erklärung siehe Canale, Lit.) Der Talboden ist jedoch etwas breiter. Die ungegliederte mit Nadelwald bestandene rechte Talseite wirkt wie eine senkrechte Wand, während die Sonnseite durch einige Seitenbäche, besonders im östlichen Talteil, gegliedert wird.

Die bereits früher erwähnte Niederschlagsstation Mosogno, die einzige im Raume der beiden Täler Onsernone und Vergeletto, steht unmittelbar westlich des Postbüros Mosogno, oberhalb der Strasse. Ihre Jahresmittel sind ausserordentlich hoch. Da in Camedo, im südlich angrenzenden Centovalli, die Mittel noch etwas höher liegen, darf angenommen werden, dass diese hohen Werte nicht durch die Lage der Station bedingt sind, sondern durch ausserordentlich grosse Stauregen in diesen Tälern verursacht werden. Die Extremwerte von Tagesniederschlägen fallen oft auf Zeiten, in welchen es in Bosco und andern umliegenden Stationen nur wenig regnet; dabei sind die Starkregen meistens grösser und intensiver. Einerseits stossen hier die mediterranen Störungen erstmals auf hohe Berge, andererseits können die atlantischen Störungen relativ leicht in dieses Tal eindringen. In allgemein niederschlagsreichen Jahren fällt darum in Mosogno sehr viel Niederschlag, während in allgemein trockenen Jahren oft weniger Niederschlag als im höher gelegenen Bosco-Gurin MZA gemessen wird.

Die durchschnittlichen Gebietsniederschläge des Onsernone und Vergeletto sind sicher sehr gross. Da die Gewitter oft sehr lokal fallen, kann auf Grund der Niederschlagsmessungen einer einzelnen Station über die Gebietsniederschläge der Umgebung, besonders der zwei höher gelegenen Teilgebiete, nichts Genaues ausgesagt werden. Es dürfte jedoch zweifellos besser sein, die Gebietsniederschläge auch in den höher gelegenen Teilgebieten durch die Station Mosogno abzuschätzen, als durch eine Station im nördlichen Nachbartal der Rovana.

4.2. Vergleiche mit der Niederschlagsstation Mosogno

4.2.1. Abfluss in Russo (Figur 70)

Wie im Verzascatal wurden auch hier die übergreifenden Jahressummen von Niederschlag- und Abflusshöhe berechnet. Die Abflüsse in Russo lassen sich gut mit den Niederschlägen in Mosogno korrelieren.

Für die Jahre 1960/61 bis 1966/67 erhielt ich von den 29 verwendeten Werten:

A-Russo (555-1487-2402) = 0,948 N-Mosogno MZA (782-1801-2923) - 221 mm k = 0,985

Aus der Dissertation von Kistler berechnete ich ebenfalls die Werte der übergreifenden Jahre und erhielt nach den 26 Werten:

A-Russo (962-1566-2719) = 0,820 N-Mosogno MZA (1335-1977-3346) - 56 mm k = 0,989

Kistler selber verwendet wegen der grossen Herbstniederschläge nur die drei Werte der Kalenderjahre 1950 bis 1952 und erhält:

A-Russo = 151,3 + 0,87 (N-193,7)

Dies ergibt auf meine Darstellungsart umgerechnet:

A-Russo = 0,87 N-Mosogno MZA - 172 mm
(1127-1513-2719) (1443-1937-3237)

Berechnet man die Regressionsgeraden aller vorhandenen 55 Werte, so erhält man die Beziehung mit der grössten Wahrscheinlichkeit, auch wenn der Korrelationskoeffizient etwas kleiner ist. Die längere Beobachtungsdauer und die Unabhängigkeit der Messungen geben doch dieser Beziehung das grössere Gewicht.

A-Russo = 0,860 N-Mosogno MZA - 97 mm k = 0,982
(555-1524-2719) (782-1884-3386)

4.2.2. Teilgebiete (Figuren 71 und 72)

Die Korrelationen zwischen den Abflusshöhen aus den einzelnen Teilgebieten des Vergeletto und des Onsernone bis Comologno und den Niederschlagshöhen von Mosogno erwiesen sich als schwierig. Die Abflüsse des hydrologischen Jahres 1963/64 passen nicht in die übrigen Zusammenhänge. In Vergeletto wurde damals ein viel grösserer Abfluss gemessen als in Comologno. Aus den Daten der Monatswerte lassen sich die Differenzen auf die Monate September und November 1963 mit den grossen Gewitterniederschlägen festlegen.

Tagesniederschläge in Mosogno: 1. September 1963: 121,1 mm
2. Oktober 1963: 109,4 mm
5. November 1963: 104,6 mm

Da solche Gewitterniederschläge sehr lokal fallen können, habe ich in den zwei Teilgebieten alle Werte des Jahres 1963/64 weggelassen. Die 24 verwendeten Werte ergeben:

A-Comologno = 0,949 N-Mosogno - 236 mm k = 0,982
(512-1427-2392) (782-1752-2923)

A-Vergeletto = 0,882 N-Mosogno + 148 mm k = 0,986
(817-1693-2558)

A-Russo = 0,934 N-Mosogno - 214 mm k = 0,988
(555-1421-2402)

Verwendet man auch die fünf Werte des hydrologischen Jahres 1963/64, so ist zwar der Korrelationskoeffizient etwas kleiner, dafür sind auch einzelne Ausnahmewerte berücksichtigt. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass in einer andern niederschlagsreichen Periode die Niederschläge nochmals anders in den verschiedenen Tälern verteilt fallen könnten. Für alle Werte gilt:

A-Comologno = 0,899 N-Mosogno - 181 mm k = 0,966
(512-1436-2392) (782-1801-2923)

A-Vergeletto = 0,931 N-Mosogno + 109 mm k = 0,963
(817-1785-2558) (782-1801-2923)

Winterperioden: Ganzes Gebiet bis Russo

Die Werte der Winterperioden zeigen (umgerechnet auf Jahreslänge) einen etwas grösseren Abfluss, als man nach der Regressionsgeraden für die Jahreswerte erwarten würde (mit Ausnahme des niederschlagsarmen Winters 1964/65). Der Winter 1964/65 streut in den verschiedenen kleinen Tälern sehr stark (wegen den ungleichen Niederschlägen im Herbst 1963).

Sonst ist auch ein wenig die Tendenz wie im Verzascatal vorhanden, dass in niederschlagsreichen Winterperioden relativ mehr und in niederschlagsarmen Winterperioden weniger abfliesst als normal.

Winter: Vergeletto (oberstes Teilgebiet)

Wenn man die Niederschläge und Abflüsse der Winter- und Schneeschmelzzeit dieses höchsten Tales prozentual auf die Jahreslänge umrechnet, so zeigt sich, ähnlich wie in den Rovanatälern, im Mittel kein grosser Unterschied zu den Beziehungen zwischen den Jahreswerten. Einzig im niederschlagsreichen Winter 1960/61 war der Abfluss grösser als zu erwarten war, während er im trockenen Winter 1964/65 kleiner war.

Der Wert des Winters 1963/64 wurde, wegen der schon erwähnten Unsicherheit der Niederschläge nicht berücksichtigt.

Winter: Onsernone bis Comologno (zweites Teilgebiet)

Auch hier ergeben die Werte der Winter, umgerechnet auf die Jahreslängen keine wesentlich neuen Beziehungen. In den Wintern 1960/61, 1962/63 und 1965/66 wurde wohl verhältnismässig viel Niederschlag gemessen. Dafür fallen die zwei Werte 1964/65 mit sehr wenig und das schon besprochene Jahr 1963/64 (lokale Gewitter im Vorwinter) mit verhältnismässig wenig Niederschlag auf.

4.3. Zusammenstellung (Figur 73)

Da im Onsernone und Vergeletto bis jetzt nur an einer Stelle, welche sich zudem nicht im Einzugsgebiet der Limnigraphenstation befindet, die Niederschläge registriert werden, ist es sehr schwierig, etwas über die Höhe der Gebietsniederschläge auszusagen. Kistler nimmt für seine Berechnungen stillschweigend an, dass sie gleich den in Mosogno gemessenen Niederschlagshöhen sind.

Der Vergleich mit den andern Untersuchungsgebieten kann diese Ueberlegung für die zwei grösseren Einzugsgebiete oberhalb der Stationen Russo und Comologno ungefähr bestätigen. Für das kleinere und höher gelegene Vergeletto hingegen müssen ungefähr 300 mm mehr Niederschlag angenommen werden.

Da es ungewiss ist, wie sich der Niederschlag in Extremjahren auf höher und tiefer gelegene Gebiete verteilt, kann auch über die Richtung der Regressionsgeraden zwischen dem Gebietsniederschlag und dem Abfluss nichts Bestimmtes ausgesagt werden. Nimmt man an, dass die Verhältnisse in dieser Hinsicht ähnlich sind wie im Verzascatal, so gelten auch hier die im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Regressionskoeffizienten.

5. MAGLIASINA

5.1. Einleitung und Uebersicht

Die hydrologischen Verhältnisse sind in den südlichen Tessinertälern sicher anders als im Nordtessin. Das Tal der Magliasina liegt im Sottoceneri, ungefähr acht Kilometer nordwestlich von Lugano. Dank bereits vorhandener, sehr gründlicher Untersuchungen, eignet sich dieses Tal besonders gut, um diese Unterschiede etwas näher zu bestimmen.

Die hydrologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Magliasina wurden in den Jahren 1939 bis 1944 durch F. Gygax (Lit.), unter dessen Leitung auch diese Arbeit entstand, sehr eingehend untersucht. Meine Zusammenstellungen und Untersuchungen stützen sich vor allem auf die in seiner Arbeit publizierten Angaben sowie auf einige Messungen, welche in den letzten Jahren ebenfalls durch F. Gygax ausgeführt wurden.

Im Gegensatz zu den Untersuchungsgebieten des Sopraceneri, macht dieses Tal, wegen seiner asymmetrischen Talumrandung, auf den Besucher nicht den Eindruck eines Gebirgstales. Seine rechte Talflanke und sein höchster Punkt, der Monte Gradiccioli, erreichen zwar beachtliche Höhen (1936 m), aber die linke Wasserscheide besitzt zwischen Arosio und Cademario/Aranno (d. h. fast auf der halben Tallänge) nur eine Höhe zwischen 808 m und 974 m. Nach F. Gygax haben durch diese östliche Lücke die S-, SE- und E-Winde freien Zugang, während die hohe westliche Wasserscheide die Wetter- und Klimascheide ist, an welcher es bei mediterranen Störungen zu grossen Stauniederschlägen kommen kann. Auch die regenbringenden SW-Winde können über Miglieglia im Süden fast ungehindert in dieses Tal eindringen, während bei Niederschlägen aus Richtung N und W das Magliasina im Regenschatten liegt.

Die Dörfer des Tales liegen auf Terrassen in nur 700 m bis 860 m Höhe.

Der stark zerrüttete Gneis des Untergrundes wird durch mächtige glaziale und fluvioglaziale Ablagerungen überdeckt, welche die Landschaftsformen des Malcantone bestimmen und auch grossen Einfluss auf die hydrologischen Verhältnisse haben. Dies wird neben der Bewaldung der hauptsächlichste Unterschied zu den Tälern des Sopraceneri sein.

5.2. Neuere Messungen

Die Niederschläge wurden durch F. Gygax mit Hilfe der drei Totalisatoren an den früheren Standorten Sedi, Trepezzi und Mageno in den hydrologischen Jahren 1959/60 bis 1966/67 erneut gemessen. Ausserdem befindet sich nun in Fescoggia eine Niederschlagsstation der MZA, wo tägliche Werte zur Verfügung stehen.

Die Abflüsse werden seit dem Jahre 1963 wieder an der genau gleichen Stelle durch einen Limnigraphen registriert, wie in den Jahren 1939 bis 1944.

Wie aus den Vergleichen der Totalisatorwerte mit den Abflusshöhen der Kalenderjahre 1939 bis 1943 und der hydrologischen Jahre 1964/65 und 1965/66 zu erkennen ist, sind die Abflüsse der Jahre 1964/65 und 1965/66 zu klein (Figur 74). Einige Lücken und vor allem ein sehr unzuverlässiger Beobachter können dafür verantwortlich gemacht werden. Ausserdem werden die Flügelmessungen, nach welchen die durch den Limnigraphen aufgezeichneten Wasserstände in Abflussmengen umgerechnet werden, nicht mehr beim Limnigraphen selbst, sondern ungefähr 600 m bachaufwärts bei der Brücke des Fussweges zwischen Aranno und Breno gemessen. (Die gewaltigen Hochwasser der Magliasina reissen die Messbrücke beim Limnigraphen immer wieder weg.) Das Einzugsgebiet vermindert sich darum für die letzten Jahre um 2,37 km2 auf 19,6 km2. Alle neuen Abflusswerte sind in der vorliegenden Arbeit auf die alte Fläche umgerechnet worden und darum um 12,1 % zu vergrössern.

5.3. Vergleiche mit N-Fescoggia MZA (Figur 75)

Die Beziehungen der übergreifenden hydrologischen Jahre 1963/64 und 1966/67 zwischen den in Fescoggia gemessenen Niederschlagshöhen und dem Abfluss sind etwas unklar. Die zu kleinen Abflusswerte in den ersten Jahren kommen deutlich zum Ausdruck. Für die genauer gemessenen letzten Jahre gilt ungefähr:

A-Magliasina (66/67) $\simeq$ 0,75 N-Fescoggia - 250 mm
(1050-1700) (1750-2700)

während für die früheren Jahre eher diese Beziehung gültig ist:

A-Magliasina (63-65) $\simeq$ 0,60 N-Fescoggia - 200 mm
(600-1300) (1300-2500)

Auf das heutige Einzugsgebiet reduziert und nach den bestehenden Niederschlagskarten gilt für die Jahre 1939 bis 1943:

A-Magliasina red. ≃ 1,16 N-Fescoggia - 950 mm

Wie in den andern Tälern habe ich auch hier aus den täglich gemessenen Niederschlags- und Abflusswerten hydrologisch geeignete Perioden ausgerechnet. Die erhaltenen Werte sind in Figur 76 graphisch dargestellt. Es kommt hier deutlich zum Ausdruck, wie in Sommerperioden von gleich grossen Niederschlägen viel weniger abfliesst als im Frühling, Herbst und Winter. Aus den hydrologisch geeigneten Perioden, welche sich im Magliasina fast über das ganze Jahr erstrecken, wurden übergreifende Jahreswerte zusammengestellt, welche die üblichen Unsicherheiten an ihren Grenzen nicht mehr enthalten sollten, da bei ihrem Anfang und Ende keine grossen Reserven vorhanden waren. Bei den Werten dieser "Jahresperioden", welche wegen der erwähnten Umstände meistens nur ungefähr ein Jahr lang sind, kommen die zu kleinen Abflusswerte der Jahre 1963/64 bis 1965/66 deutlich zur Geltung.

5.4. Gebietsniederschläge

Nach in den Jahren 1939 bis 1944 gemessenen Werten aus der Arbeit von F. Gygax wurden die damals bestimmten Gebietsniederschläge und Abflüsse zum Vergleich ebenfalls für übergreifende hydrologische Jahre umgerechnet und in Figur 77 graphisch dargestellt. Es fiel dabei auf, dass nur sehr wenige Monatsanfänge in niederschlagsreichen Wintern wegen grösserer Vorräte nicht benutzt werden konnten. Alle andern Werte liegen sehr eng um die Beziehung der Normaljahre, welche nach Gygax heisst:

A-Magliasina = 1472,7 + 1,17(N-1923,6)

oder nach meiner Darstellungsweise:

A-Magliasina = 1,17 N-Magliasina - 657 mm
(847-1472-2478) (1407-1924-2772)

Die Abweichungen der übergreifenden hydrologischen Jahre betragen in der Regel nicht mehr als ± 90 mm.

Zum Vergleich mit den in den letzten Jahren durchgeführten Messungen ist es notwendig, auch die Niederschlagsverteilung zu beachten. In dem Gebiet, aus welchem heute der Abfluss wegen der weiter oben durchgeführten Flügelmessungen nicht mehr bestimmt wird, regnete es nach den Niederschlagskarten von 1939 bis 1944 ungefähr gleich viel wie im Mittel des ganzen Gebietes. Die Niederschlagsmengen nehmen höchstens gegen den Monte Lema zu etwas ab. Es ist darum eine Vermehrung der in den letzten Jahren gemessenen Abflusswerte um ca. 12 % nötig, um wenigstens den Umstand des heute kleineren Einzugsgebietes auszugleichen, während die mittlere Gebietsnieder-

schlagshöhe nicht wesentlich geändert haben wird. Für die letzten zwei Jahre wird nun die Abhängigkeit zwischen dem Niederschlag in Fescoggia und dem umgerechneten Abfluss aus dem ganzen Magliasina:

A-Magliasina (berechnet) ≃ 0,84 N-Fescoggia - 250 mm
(1200-1900) (1780-2700)

In Figur 78 wird diese Beziehung den aus den Niederschlagskarten von 1939 bis 1944 ermittelten Werten von Fescoggia und den damals gemessenen Abflüssen gegenübergestellt. Es scheint hier so zu sein, dass auch in den letzten Jahren die Hochwasserspitzen zu klein eingesetzt wurden, während bei normalerem oder niedrigem Abfluss die Werte eine bessere Genauigkeit aufweisen.

Vergleich mit den gemessenen Totalisatorenwerten

Da für die letzten Jahre auch wieder die Werte der drei Totalisatoren zur Verfügung stehen, welche auch 1939 bis 1944 abgelesen wurden, ist es möglich, über diese Werte zu einem weiteren Anhaltspunkt zu gelangen.

In Figur 74 sind die Mittel dieser drei Totalisatoren gegen die gemessenen Abflüsse aufgetragen. Dabei sind früher die Normaljahre, jetzt aber die hydrologischen Jahre gemessen worden.

Um diese Werte miteinander vergleichen zu können, wurden die Abflüsse aus dem kleinen Einzugsgebiet um 12 % vergrössert. Durch diese Korrektur weisen die Mittelwerte aus den hydrologischen Jahren 1965/66 und 1966/67 ungefähr auf die gleichen Abhängigkeiten, wie die Werte der Normaljahre 1939 bis 1943.

5.5. Zusammenstellung Magliasina (Figur 79)

Der Versuch, auch beim Magliasina eine ähnliche Zusammenstellung der verschiedenen Regressionsgeraden und Grenzen vorzunehmen, erweist sich wegen der besprochenen Unsicherheiten als schwierig.

Als Grundlage dienen die Werte von 1939 bis 1944. Die aus den monatlichen Werten errechneten übergreifenden Jahreswerte liegen innerhalb enger Grenzen. Für die Winterwerte konnten aus den Monaten Dezember bis April 1939 bis 1944 ebenfalls fünf Wertepaare gewonnen werden. Zusammen mit den auf die gleiche Fläche umgerechneten Werten der drei letzten Jahre ergeben sie einen guten Anhaltspunkt für die Beziehungen während der kalten Jahreszeit.

Die Grenze der Sommerwerte ist fraglich, da hier nur die Werte der letzten Jahre benützt werden können. Diese sind vor allem bei grossen Abflussmengen sehr unsicher.

6. VEDEGGIO

6.1. Isone (hydrologische Jahre)

Im Tal von Isone, dem Quellgebiet des Vedeggio, werden die Niederschläge seit dem Jahre 1960 durch E. Gäumann beobachtet. Die vier Totalisatorwerte und die am Anfang durch einen etwas unzuverlässigen Beobachter registrierten monatlichen Werte von Isone, ergeben ein gutes Bild über die Niederschlagshöhen in diesem Gebiet. Alle gemessenen Werte, aber auch die von ihm hergestellten Niederschlagskarten, wurden mir von E. Gäumann in sehr freundlicher Weise zur Verfügung gestellt. Auf eine noch detailliertere Untersuchung soll hier verzichtet werden, weil Gäumann die Daten voraussichtlich später in seiner eigenen Dissertation verwenden möchte.

Die Abflussstation steht östlich des Dorfes. Die Flügelmessungen führte F. Gygax durch, und die Auswertungen erfolgten im Geographischen Institut der Universität Bern. Eine persönliche Besichtigung der Station ergab, dass sich ihr Standort oberhalb eines kleinen rechtseitigen Baches befindet und darum das Einzugsgebiet nach meinen Planimetrierungen 19,65 km2 beträgt.

In den hydrologischen Jahren, für welche Niederschlagskarten und Abflussmessungen vorliegen, errechnete ich folgende Regressionsgerade (Figur 80):

A-Isone = 0,582 N-Isonetal + 492 mm $\qquad$ k = 0,923

(N-Isone = 1,718 A-Isone - 846 mm) N geschätzt aus gemessenem A

Aus diesen Beziehungen kommt sehr deutlich zum Ausdruck, dass das Tal in nassen Jahren relativ wenig Abfluss hat, während in trockenen Jahren der Abfluss verhältnismässig gross bleibt. Es müssen voraussichtlich grössere Wassermengen als Reserve zurückbehalten werden können. Es fehlen bis jetzt ausgesprochene Extremjahre, so dass leider vorläufig diese Beziehung noch unsicher ist. Zudem liegt das Wertepaar vom 1. August 1963 bis 20. Juli 1964 nicht in der Nähe der Regressionsgeraden, obwohl sich diese Werte ebenfalls auf direkte Totalisatorenablesungen und Limnigraphenwerte stützen (siehe Niederschlagskarten und übergreifende hydrologische Jahre).

6.2. Vedeggio bis Bioggio

Der Abfluss des Vedeggio wird ferner in der Nähe seiner Mündung in den Luganersee, bei Bioggio, gemessen. W. Schwab (Lit.) hat diese Abflussmessungen in seiner Arbeit über die Grundwasserschwankungen in der Vedeggioebene verwendet.

Die Niederschläge werden in diesem grossen untern Einzugsgebiet nur an einer Stelle gemessen. Die Station Crana-Torricella MZA wird zwar täglich abgelesen, doch befindet sie sich in einer ausgesprochenen Kessellage. Die hier registrierten Werte können nicht allein massgebend für die Gebietsniederschläge zwischen dem Monte Ceneri, Isone und dem Luganersee sein. Um die Verschiedenheiten der Stationen etwas zu untersuchen, errechnete ich die Korrelationskoeffizienten zwischen den Monatswerten aller Niederschlagsstationen der MZA des Sottoceneris, von Bellinzona und den etwas fraglichen Werten von Isone (November 1960 bis Dezember 1965). Nimmt man alle in Isone gemessenen Werte mit in die Rechnung, so ergibt sich für die 62 Monatssummen zwischen November 1960 und Dezember 1965 folgende gesicherte Beziehung zur Annäherung des Niederschlags in Isone:

	k	F
N-Isone = 1,089 N-Bellinzona + 11 mm	0,942	****
(138,4) (116,9)		
= 0,874 N-Bellinzona + 0,283 N-Mezzana + 2 mm	0,948	**

Streicht man die unsichern Werte von Isone, so bleiben 36 Monatssummen, für welche sich folgende Beziehung ergibt:

	k	F
N-Isone = 0,841 N-Crana + 5 mm	0,967	****
= 1,114 N-Bellinzona + 17 mm	0,970	****
= 0,615 N-Bellinzona + 0,397 N-Crana + 7,6 mm	0,980	***
(162,4) (130,7) (187,6)		

Nach diesen errechneten Beziehungen ist der Einfluss der Station Bellinzona erstaunlich gross. Damit der Vergleich mit dem Abfluss sich nicht nur auf eine etwas ungünstig gelegene Niederschlagsstation stützt, habe ich für die Niederschlagswerte die Summe von Crana und Bellinzona berechnet. Da die Niederschlagshöhen in Crana durchschnittlich grösser sind, erhält diese Station etwas mehr Gewicht, während die Wettereinflüsse von Norden her über den Ceneri doch auch berücksichtigt werden. Die ausserordentlich grossen Niederschläge im Herbst 1965 wurden entweder in Crana und Bellinzona zu klein, oder der Abfluss in Bioggio zu gross gemessen. Wahrscheinlich ist jedoch ebenfalls, dass von diesen Niederschlagsmengen, welche doch erst im Spätherbst fielen, weniger verdunstete und darum diese Zahlen stimmen können. Ohne diese fraglichen Werte liegen die Werte der übergreifenden hydrologischen Jahre gut zwischen den Grenzen:

A-Bioggio $\geq$ 0,375 N (Crana + Bellinzona) - 325 mm
(500-1600) $\leq$ 0,400 N (Crana + Bellinzona) - 200 mm

Für die Zeiten, wo die grossen Niederschläge des Herbstes 1965 mitgerechnet wurden, ist der Abfluss bis zu 250 mm grösser. Im Jahr 1962/63 wurde der Niederschlag etwas zu hoch gemessen (siehe Isone), es können aber auch grössere Mengen verdunstet sein. Indem diese Werte etwas weniger berücksichtigt werden, gilt:

A-Bioggio $\simeq$ 0,4 N (Crana + Bellinzona) - 300 mm

6.3. Weitere Untersuchungen von Isone

Die in Isone mit dem Monatstotalisator gemessenen Werte besitzen mit Crana und Bellinzona hohe Korrelationskoeffizienten (0,967 resp. 0,970). Der Vergleich mit den Abflüssen zeigt jedoch, dass in kleinen extrem gelegenen Gebieten die Niederschläge nicht aus benachbarten tiefer gelegenen Stationen ermittelt werden können. In der Höhe kann der Witterungsverlauf eines Jahres ganz anders sein als im Tal. Je kleiner und höher ein Gebiet ist, desto grösser die Abweichungen. Stauniederschläge am Camoghè (2228 m) werden natürlich weder durch die Stationen Bellinzona noch Crana, ja oft auch nicht durch Isone erfasst. Ein Anhaltspunkt kann aus dem Vergleich der normalen hydrologischen Jahre von N-Crana und N-Bellinzona mit den von Gäumann berechneten Gebietsniederschlägen gewonnen werden (Figur 81). Im Mittel liegen die Gebietsniederschläge 18,8 % über dem Mittelwert von Crana und Bellinzona. Das Jahr 1961/62 hat nach der Lage der übrigen Werte etwas zu wenig, 1965/66 etwas zu viel Gebietsniederschläge. Der Wert des 1. August 1963 bis 20. Juli 1964 (aus Figur 82 ermittelt) passt jedoch ebenfalls gut in die hier gefundene Beziehung:

Gebietsniederschlag Isone $\simeq$ 0,59 N (Crana + Bellinzona) + 20 mm
(1700-2700) (3000-4500)

Totalisatorenwerte

Die Beziehung zwischen den Werten der Totalisatoren und den aus den Niederschlagskarten von Gäumann ermittelten Gebietsniederschlägen, zeigt Figur 82. Sie lautet:

N-Isonetal $\simeq$ 0,258·(Summe der vier Totalisatoren)
(1510-2670)

Da die Totalisatoren normalerweise im Juli oder August ebenfalls abgelesen wurden, kann man aus diesen Daten die Niederschläge von hydrologischen Jahren berechnen, welche ungefähr von anfangs August bis Ende Juli dauern. Das niederschlagsreiche hydrologische Jahr vom 1. August 1963 bis 20. Juli 1964, von welchem Totalisatorwerte zur Verfügung stehen, hat nach den Niederschlagskarten ungefähr 2700 mm Gebietsniederschlag. Dieser Wert stimmt nach Figur 81 auch nach den in Crana und Bellinzona gemessenen Niederschlagshöhen. Dagegen bedeutet dieser hohe Gebietsniederschlag, verglichen mit den Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss in den normalen hydrologischen Jahren (Figur 80), dass in der Zeit viel mehr abfloss als im hydrologischen Jahr 1962/63 mit ungefähr gleich hohen Niederschlagswerten. Nach den vorhandenen monatlichen Niederschlags- und Abflussmessungen und ihrer Zusammenstellung zu übergreifenden hydrologischen Jahren, muss der Unterschied

im Abfluss der zwei hydrologischen Jahre (August - Juli 1964/ November - Oktober 1963) in der Verschiedenheit der Winter begründet sein. Da der Limnigraph im Januar und Februar meistens einfriert, können die Abflüsse in dieser Zeit nur geschätzt werden; sie weisen deshalb grosse Unsicherheiten auf.

7. MUGGIOTAL

7.1. Allgemeines und bisherige hydrologische Messungen

Das von der Breggia durchflossene Muggiotal ist das südlichste Schweizertal. Es liegt unmittelbar nördlich von Chiasso und östlich von Mendrisio. Der Monte Generoso (1701 m) ist der höchste Punkt des Einzugsgebietes. Das italienische Hoheitsgebiet reicht über die natürliche Wasserscheide oft bis tief ins Muggiotal hinein. H. Renfer, welcher im Herbst 1963 seine Dissertation über Morphologie und Glaziologie des Muggiotales abschloss (Lit.), baute im Sommer 1963 ein umfangreiches Totalisatorennetz in diesem Tal auf. Dadurch stehen heute die Niederschlagswerte der drei hydrologischen Jahre 1964/65 bis 1966/67 zur Verfügung. Das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft interessierte sich ebenfalls für dieses Gebiet und baute eine ausgezeichnete Limnigraphenstation, welche seit dem Dezember 1965 in Betrieb ist. So wurden in den letzten zwei Jahren auch die Abflüsse mit grosser Zuverlässigkeit bestimmt. Nach Renfer handelt es sich um ein petrographisch und lithologisch einheitliches Talgebiet. Die Hänge sind sehr steil und werden meist nur durch eine dünne Erd- und Verwitterungsschicht überdeckt. Die darunterliegenden Kalke zeigen jedoch eine starke Zerrütung (Schichtung und Plattung). Einige Hänge sind bewaldet. Die Kastanienbäume auf der westlichen Talseite finden in dem zerklüfteten Untergrund auch bei grosser Steilheit guten Halt. Im höchsten Teil des Muggiotales befinden sich auch einige Tannenwälder.

7.2. Vergleich der Niederschläge mit dem Abfluss

Für diese Vergleiche stehen leider bei den Niederschlägen nur die drei Werte dieser bereits erwähnten hydrologischen Jahre zur Verfügung. Ausserdem sind jedoch letztes Jahr ebenfalls die monatlichen Niederschläge in Morbio Superiore registriert worden. Als weitere Ergänzung kann noch angeführt werden, dass die in Mezzana MZA gemessenen Niederschläge nur ganz wenig höher sind,und die monatlichen Werte beinahe die gleichen Schwankungen aufweisen wie die in Morbio Superiore gemessenen. Die Abflüsse sind bis jetzt nur während der zwei Kalenderjahre 1966 und 1967 gemessen worden. Streng genommen sind also nur während des hydrologischen Jahres 1966/67 alle Messungen gleichzeitig durchgeführt worden. Alle andern Wertepaare mussten berechnet werden.

Figur 83 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Morbio Superiore und dem Abfluss. Wie schon erwähnt ist der Wert des hydrologischen Jahres 1966/67 der einzige, welcher auf direkten Messungen beruht. Bei den Werten der Kalenderjahre 1966 und 1967 mussten die Niederschläge in den fehlenden Monaten nach Mezzana MZA etwas ergänzt werden, während für das hydrologische Jahr 1965/66 ebenfalls der Abfluss vom Oktober bis Dezember 1965 vorsichtig geschätzt werden musste.

Die abweichenden hydrologischen Verhältnisse in den zwei Kalenderjahren sind wie folgt aus den gemessenen Monatswerten zu erklären: Die grossen Niederschläge im November 1966 (244 mm) kamen nicht zum Abfluss; es waren folglich zum Jahresanfang noch gewisse Reserven vorhanden. Der Herbst 1966 war verhältnismässig warm, so dass die ungefähr gleich grossen Niederschläge im November noch zum grössten Teil abfliessen konnten.

Die Wertepaare der Sommer- und Herbstmonate sind prozentual auf 365 Tage umgerechnet worden, um sie mit den Jahreswerten vergleichen zu können. Wie in allen andern bis dahin untersuchten Tälern, zeigen auch diese Sommerwerte, dass die hydrologischen Verhältnisse im Sommer ganz anders sind als im Mittel der ganzen Jahre. Im Juli, August und September wird bei bestimmten Niederschlagsmengen viel weniger Abfluss gemessen. Die Herbst- und Frühlingswerte liegen ungefähr auf der Regressionsgeraden der ganzen Jahre.

Die Winterwerte, 1. November 1966 bis 1. Mai oder 1. Juni 1967, dagegen zeigen deutlich, dass in diesen Monaten bei gleich grossen Niederschlägen mehr abfliesst als im Jahresmittel oder sogar im Sommer.

Dieser Umstand kann auf die im Sommer grössere Verdunstung hinweisen. Es ist jedoch auch möglich, dass im Winter der gefrorene Boden das Wasser weniger einsickern und darum schneller und ohne grössere Verluste abfliessen lässt, während es im Sommer länger zurückbehalten wird und deshalb, bei höherer Temperatur, auch länger der Verdunstung ausgesetzt ist.

Nach den Totalisatorenwerten der drei letzten hydrologischen Jahre sind die Gebietsniederschläge nicht viel höher als die in Morbio Superiore gemessenen Werte. Zwar wurden am Monte Generoso jährlich 20 bis 50 cm mehr Niederschlagshöhe gemessen; die beiden andern hochgelegenen Totalisatoren Dosso Bello und Cavazzo haben jedoch zum Teil noch etwas kleinere Werte als in Morbio Superiore. Die hinten im Tal gelegenen Stationen Scudellate, Bonello und Crotta erreichen beinahe die gleiche jährliche Niederschlagshöhe wie die Bergstation Monte Generoso. Da vorläufig keine Niederschlagskarten zur Verfügung stehen und die vorhandenen Messwerte auch noch nicht ausreichen, um mit einiger Sicherheit solche zu zeichnen, habe ich mich bei der Bestimmung des Gebietsniederschlages auf die Mittel der Totalisatorenwerte gestützt. Dabei wurde nicht allen Totalisatoren das gleiche Gewicht gegeben. Nach provisorisch gezeichneten Niederschlagskarten stimmen die Werte jedoch gut mit den errechneten überein.

Die Abhängigkeit des Abflusses vom Gebietsniederschlag zeigt Figur 84. Der einzige Wert, welcher auf reinen Messungen beruht, ist wieder nur der des hydrologischen Jahres 1966/67, da im Herbst 1965 der Limnigraph noch nicht in Betrieb war. Der Fehler für das hydrologische Jahr 1965/66 kann jedoch nicht sehr gross sein, da im Herbst 1965 nach dem 1. Oktober nicht mehr viel Niederschlag fiel und darum auch der berechnete Abfluss in diesen drei Monaten im Vergleich zum ganzen Jahr nur wenig ausmacht. Die Werte der Kalenderjahre mussten bei den Gebietsniederschlägen nach Morbio Superiore errechnet werden,und zudem waren bei Jahreswechsel (1. Januar 1967) noch ziemlich Reserven vorhanden. Die Sommerwerte zeigen auch hier wieder, wie wenig in nassen und trockenen Sommermonaten aus diesem Tal abfliesst. (Die Gebietsniederschläge wurden mit Hilfe der in den hydrologischen Jahren gefundenen Beziehungen aus den Werten von Morbio Superiore und Mezzana MZA bestimmt.) Den Winter durch scheinen die Unterschiede zwischen Niederschlag und Abfluss (= Verdunstung usw.) viel weniger gross zu sein. Da bis dahin keine Extremjahre zur Verfügung stehen, ist es sehr schwierig zu entscheiden, welche Richtung die Regressionsgerade zwischen Niederschlag und Abfluss in diesem Tal aufweist. Nach den bis jetzt vorhandenen Resultaten wird die Beziehung zwischen den zwei Extremen liegen:

A-Breggia = 0,41 N-Muggiotal
A-Breggia = 0,80 N-Muggiotal - 700 mm

Die erste Gleichung beruht nur auf dem Wert des hydrologischen Jahres 1966/67, während die zweite auch den Wert 1965/66 berücksichtigt. Da jedoch die Sommer- und Winterwerte ausserordentlich grosse Abweichungen von den Jahresmitteln zeigen,ist die Korrelation für ganze Jahre - wie in den meisten Tälern des Sotto Ceneris - etwas fraglich. Die übergreifenden hydrologischen Jahre liefern leider in diesem Fall auch keinen weitern Aufschluss, da bis jetzt alle gemessenen Abflusshöhen sehr eng beisammen (zwischen 723 und 758 mm) liegen.

Im Vergleich zu den andern bearbeiteten Tälern, ist im Muggiotal der Abfluss sehr klein. Während der Unterschied zwischen mittlerer Niederschlags- und mittlerer Abflusshöhe in den übrigen Tälern nur 250 bis 500 mm beträgt, scheint er im Muggiotal ungefähr 1000 mm gross zu sein. Diese grosse Differenz kann nicht nur aus Ungenauigkeiten bei den Messwerten stammen. Das Tal wird sehr gleichmässig beregnet, wie die geringen Unterschiede der verschiedenen Totalisatoren zeigen. Die ausgezeichnete Limnigraphenstation garantiert gute Abflussresultate. Man muss also annehmen, dass die Verluste in diesem Tal wirklich sehr gross sind. Wieweit sie der Verdunstung und wieweit dem unterirdischen Abfluss in andere, tiefer gelegene Gebiete (Luganersee, Comersee) zugeschrieben werden können, ist fraglich. Man hat es hier mit einem ausgesprochenen Karstgebiet zu tun.

8. GEBIETE OHNE GENAUE NIEDERSCHLAGSMESSUNGEN

Aus den restlichen Einzugsgebieten, wo heute noch Abflussmessungen durch das Geographische Institut der Universität Bern durchgeführt werden, konnten leider keine Resultate im Sinne dieser Arbeit gewonnen werden, da die Niederschläge in den Gebieten nicht gemessen wurden und die am nächsten gelegenen Niederschlagsstationen der MZA (Airolo, St. Gotthard und Lavorgo) bei Vergleichen so grosse Abweichungen aufweisen, dass auf eine weitere Auswertung verzichtet werden musste.

9. GEBIETE MIT BEDEUTENDEN FREMDWASSER ZU - ODER ABFLUESSEN

Die zwei Gebiete im Bleniotal, die Valle del Lucomagno und das Obere Bleniotal, mussten leider bei diesen Untersuchungen gestrichen werden, weil dort die unterirdischen Zu- und Abflüsse wie V. Binggeli (Lit.) in seiner Arbeit gezeigt hat, so bedeutend sind, dass zum Beispiel im Lukmaniergebiet die Abflusshöhe in gewissen Jahren grösser als die Niederschlagshöhe wird. Da sich diese Zuflüsse von Jahr zu Jahr ändern und ihre Grösse nur ungefähr abgeschätzt werden kann, konnte ich auch die sehr genau gemessenen Niederschlags- und Abflusswerte nicht im Sinne dieser Untersuchungen bearbeiten. Der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Abfluss lässt sich leider nicht herausarbeiten, wenn keine genauen Grössen für diese unterirdischen Zuflüsse bekannt sind.

10. ZUSAMMENSTELLUNG DER ERGEBNISSE AEHNLICHER HYDROLOGISCHER FORSCHUNGEN IN SCHWEIZERISCHEN EINZUGSGEBIETEN

Es seien hier zum Vergleich noch die Ergebnisse ähnlicher hydrologischer Forschungen in andern schweizerischen Einzugsgebieten angeführt. In folgenden Gebieten wurdensowohl der Gebietsniederschlag mit Hilfe von Totalisatoren und Niederschlagskarten, als auch die Abflüsse genau ermittelt:

Gebiet	Einzugsgebiet km2	Mittlere Höhe m ü.M.	Beobachtungszeit Jahre	Autor
Inner Wäggital	43,54	1360	1925/26 - 1938/39	Lütschg
Salanfegebiet	18,43	2329	1929/30 - 1941/42	Lütschg
Davosergebiet	9,47	1930	1920-22 1931-34	Lütschg
Oberes Saastal	65,25	2850	1922/23 - 1941/42	Lütschg
Sperbelgraben	0,558	1060	1915/16 - 1951/52	Burger
Rappelgraben	0,592	1135	1915/16 - 1951/52	Burger
Valle di Melera	1,054	1430	1934/35 - 1953/54	Burger

D R I T T E R T E I L

1. ZUSAMMENFASSUNG UND ALLGEMEINE ERGEBNISSE

Der Abfluss in einem Tal hängt von den verschiedensten Faktoren ab. Der wichtigste ist der Niederschlag, bei welchem jedoch zu unterscheiden ist, in welcher Form (Schnee, Hagel, Dauerregen, Gewitter usw.) und in welcher Jahreszeit (Temperatur) er fällt. Verdunstung, Rückhaltevermögen (Reserven und deren Aufbrauch), Geologie und viele weitere Umstände spielen im Wasserhaushalt eines Tales eine entscheidende Rolle. In der vorliegenden Arbeit werden die unterschiedlichen Abflussmengen, welche in verschiedenen Tälern des Tessins über längere oder kürzere Zeitabschnitte gemessen wurden, untersucht, um aus den ebenfalls gemessenen Niederschlagshöhen und weiteren Faktoren, Rückschlüsse auf die in den betreffenden Tälern wichtigsten hydrologischen Abweichungen vom Normalverhalten ziehen zu können.

Ueber längere Zeiträume spielen sicher die Reserven und deren Aufbrauch nur in vergletscherten Gebieten eine Rolle. Die langjährigen Mittelwerte können also sowohl beim Niederschlag wie beim Abfluss in den meisten Tälern direkt miteinander verglichen werden. Da jedoch die Messungen oft erst seit wenigen Jahren durchgeführt werden, muss man auch im Vergleich der Mittelwerte gewisse andere Besonderheiten der einzelnen Täler beachten, was ein eingehendes Studium derselben notwendig macht.
Schon einzelne E x t r e m j a h r e können einen zuverlässigen Eindruck geben, wie der Abfluss in dem bestimmten Tal auf einen besonders grossen oder kleinen jährlichen Niederschlag reagiert. Da nun im Tessin die grossen Herbstniederschläge oft den Hauptteil der jährlichen Niederschläge ausmachen, wirkt sich die Grenze der normalen hydrologischen Jahre sehr ungünstig aus (Beispiel: Herbst 1965). Schon verschiedentlich wurde eine Ausweg aus dieser Situation so versucht, dass die Werte des Kalenderjahres verwendet wurden (Gygax: Magliasina und Kistler: Onsernone). Für höher gelegene Gebiete ist diese Lösung jedoch darum unmöglich, weil bei Jahreswechsel meistens sehr grosse und nicht genau bestimmbare Reserven in Form von Schnee vorhanden sind. Ich versuchte so zum Ziel zu gelangen, dass der Beginn der hydrologischen Jahre auf verschiedene andere günstige Monatsanfänge im Sommer und Herbst festgesetzt wurde. So erhielt ich zusätzliche Jahreswerte, welche je nach den Grenzen vom 1. August bis 31. Juli, vom 1. September bis 31. August usw. dauerten. Von diesen andern Werten wurde die Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluss ebenfalls ermittelt (für jede Grenze gesondert). Das Mittel aus allen so errechneten Regressionsgeraden scheint mir die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss am besten darzustellen (vergleiche Seite 12 und Figur 6). Die so erhaltenen Beziehungen reichen nun sowohl beim Abfluss wie beim Niederschlag von sehr kleinen bis zu sehr grossen Werten, während die Streuung bei den normalen hydrologischen Jahren oft viel kleiner ist. Es ist durch diese Berechnungen von anormalen hydrologischen Jahren möglich, noch einige zusätzliche Extrempunkte zu erhalten, welche einen grossen Einfluss auf die Richtung der Regressionsgeraden haben.

In allen besprochenen Fällen konnte bei den Jahreswerten innerhalb der gemessenen Grenzen eine gute lineare Abhängigkeit festgestellt werden.

Die Gebietsniederschläge wurden durch Niederschlagskarten ermittelt. Diese beruhen auf den für das hydrologische Jahr abgelesenen Totalisatorenwerten. Die Umrechnungen auf anormale hydrologische Jahre oder andere Perioden geschah auf Grund der verschiedenen, in den Publikationen der MZA veröffentlichten, täglich abgelesenen Niederschlagsstationen in den betreffenden Einzugsgebieten (Frasco, Bosco-Gurin, Mosogno, Fescoggia usw.)

Um einen weiteren Einblick in das hydrologische Geschehen der verschiedenen Täler zu erhalten, berechnet ich auch noch die Werte einzelner Sommerperioden, von welchen man annehmen kann, dass der zu Anfang gefallene Niederschlag bis zum Ende der Periode zum grössten Teil zum Abfluss gekommen ist.

Ebenso wurden für den Winter, vom Beginn des Einschneiens bis zum Ende der Schneeschmelze, Abfluss und Niederschlag einander gegenübergestellt.

Damit die Jahreswerte mit den Winter- und Sommerwerten verglichen werden können, war es notwendig, diese prozentual nach ihrer Länge auf 365 Tage umzurechnen.

Nach diesen Umrechnungen ist es in allen untersuchten Gebieten so, dass bei gleich grossen Niederschlägen im Sommer viel weniger abfliesst als im Jahresmittel, während die gesamte Abflusshöhe vom Zeitpunkt des Einschneiens bis nach der Schneeschmelze eher überdurchschnittlich ist. Bei diesen Winterperioden konnten leider keine Punkte für grosse Niederschlags- und Abflusswerte berechnet werden, da die Winter im Tessin meistens sehr trocken sind.

2. ZUSAMMENSTELLUNG DER SPEZIELLEN ERGEBNISSE

2.1. Vergleich der Sommer- und Winterperioden: Figur 85

Die Zusammenstellung aller Grenzen der Sommer- und Winterwerte geben vor allem Anhaltspunkte über das Retentionsvermögen und die höhere Verdunstung im Sommer. Dieser Vergleich konnte nur angestellt werden, wo zuverlässige tägliche Niederschlagsmessungen zur Verfügung standen.

Die geringe Abweichung der Sommer- und Wintergrenzen von den Regressionsgeraden der Jahresmittel im Verzascatal zeigt, dass dort auch im Sommer die Verluste klein sind. Die grössere Abweichung der Teilgebiete beruht hauptsächlich auf lokalen Niederschlägen, welche nur im Haupttal über der Niederschlagsstation fielen, jedoch die Seitentäler nicht erreichten oder umgekehrt sich vor allem in den Teilgebieten auswirkten.

Im Bosco- und vor allem im Magliasinatal sind die Unterschiede zwischen Niederschlags- und Abflusshöhe grösser als im Verzascatal. Dies dürfte einmal auf das grössere Wasserrückhaltevermögen des Bodens bei einzelnen Niederschlägen, dann aber auch auf die grössere Verdunstung zurückzuführen sein.

In den Bavona-, Onsernone-, Isone- und Muggiotälern konnten diese Vergleiche nicht angestellt werden, da sich entweder keine Niederschlagsstation mit täglicher Ablesung im betreffenden Einzugsgebiet befindet, oder die Totalisatorwerte fehlen. Die drei eingehend untersuchten Täler Verzasca, Rovana (Bosco) und Magliasina stellen jedoch hydrologisch eine gute Auswahl aus den verschiedenen Tessinertälern dar.

Bemerkenswert sind die Resultate der Winterwerte. Während im Verzasca, Magliasina und Onsernone wegen der tieferen Temperatur bei gleichem Niederschlag im Winter mehr abfliesst als im Jahresmittel, konnte dies im höher gelegenen Boscotal nicht nachgewiesen werden. Allerdings muss im Boscotal die Zeit vom Einschneien bis zum Abfluss des letzten Schmelzwassers sehr gross gewählt werden.

In den Teilgebieten des Bavonatales hängen die monatlichen Abflusshöhen zu Anfang des Sommers von der Temperatur und den Reserven des vorangegangenen Winters ab. In stark vergletscherten Gebieten (Basodino, Cavagnoli) sind die Abflüsse während des ganzen Sommers hauptsächlich von der Temperatur und nur wenig von den Sommerniederschlägen abhängig, da diese auch im Sommer oft als Schnee fallen und nicht sofort zum Abfluss kommen. In hochgelegenen, unvergletscherten Gebieten (Randinascia) spielen die Niederschläge vor allem im Hochsommer und Herbst die wichtigste Rolle. Während im April, Mai und Juni die Temperatur noch die Hauptrolle spielt, sind es im Juli die noch vorhandenen Vorräte und im August, September und Oktober die Niederschläge, welche den Abfluss hauptsächlich bestimmen.

2.2. Vergleich der Regressionsgeraden: (Figur 86)

Diese Zusammenstellung zeigt, dass die verschiedenen Regressionsgeraden relativ eng beisammen liegen. Die Geraden geben ja nur die Beziehung an, um welche die gemessenen Werte mehr oder weniger stark streuen. Zeichnete man auch noch die Grenzen ein, so würden sie sich grösstenteils überschneiden.

Im gesamten Verzascatal (Figur 13, 19, 23, 30, 34 und 35) sind die Verluste in niederschlagsreichen Jahren kleiner als in trockenen, weil grosse Niederschläge sofort zum Abfluss kommen. In den zwei höher gelegenen Teilgebieten Vogornesso und Redorta ist diese Tendenz wie in allen untersuchten Gebieten mit grösserer mittlerer Höhe umgekehrt.

Die verschiedenen Regressionsgeraden in den Rovanatälern (Figur 50 und 52), im Magliasina (Figur 79) und Isone (Figur 80) weisen mit denen des Verzascatales eine weitgehende Aehnlichkeit auf.

Das Bavonatal (Figur 69) nimmt in dieser Zusammenstellung eine Sonderstellung ein, da die Abflüsse trotz des grossen Rückganges des Basodino - und Cavagnoligletschers im Vergleich zu den gemessenen Totalisatorwerten und den Niederschlagskarten sehr klein sind. Einzig aus dem kleinen, unvergletscherten Gebiet von Randinascia wurden grössere mittlere Abflusshöhen gemessen, während aus dem benachbarten Gebiet des Basodinogletschers sogar ausserordentlich kleine Abflusswerte bestimmt wurden. (Vielleicht ist hier doch noch eine unterirdische Entwässerung vorhanden).

In den Onsernonetälern und dem Vedeggiotal (Figur 73) können leider die Gebietsniederschläge nur mit Hilfe einer einzigen Station geschätzt werden. Trotzdem sind sie vergleichbar mit den übrigen Darstellungen. Diese Täler weisen hydrologisch eine grosse Aehnlichkeit mit dem Verzascatal auf.

Das Muggiotal (Figur 84) weist ausserordentlich grosse Verluste auf, wobei angenommen werden kann, dass diese nicht nur durch die Verdunstung, sondern wenigstens zum Teil auch durch unterirdische Abflüsse aus diesem Kalkgebiet erklärt werden können.

Interessant sind die Vergleiche mit andern Untersuchungsgebieten aus der Literatur. Während Lütschg in seinen Untersuchungsgebieten nur verhältnismässig kleine Verluste (250 bis 350 mm pro Jahr) bestimmte, sind diese bei Burger sowohl auf der Alpennordseite (Sperbel- und Rappengraben) wie im Valle di Melera viel grösser (700 bis 900 mm pro Jahr). Zu diesen Ergebnissen ist jedoch zu bemerken, dass die Grösse der Gebiete und die Art der Niederschlags- und Abflussmessungen bei diesen beiden Autoren nicht ganz gleich sind. Lütschg arbeitete mit grössern Gebieten, Jahresniederschlagstotalisatoren, Niederschlagskarten und Abflusswerten, welche mit Hilfe von Limnigraphenregistrierungen und Flügelmessungen bestimmt wurden; Burger jedoch mit sehr kleinen Gebieten, dem Mittel der verschiedenen Regenmessstationen und einem Dreiecksüberfall von Thompson. Wie weit die grossen Verluste bei Burger durch unterirdische Abflüsse erklärt werden könnten, ist fraglich; vor allem im Meleratal scheint diese Erklärung wegen der geologisch sehr komplizierten Verhältnisse nicht ausgeschlossen.

2.3. Der Einfluss des Waldes auf die mittlere Abflusshöhe

Im Verzascatal befinden sich keine Wälder, denen eine massgebende Retention von Wasser zuzutrauen wäre. Was an den steilen Talflanken klebt, sind mehr Sträucher und Gehölz, welche nie einen tiefer gehenden Waldboden zu schaffen vermögen und wo die Felsen immer wieder durchschimmern. In andern Tälern mag der Einfluss des Waldes etwas bedeutender sein, jedoch im Verzascatal spielt dieser Faktor im hydrologischen Geschehen keine wesentliche Rolle.

In den Rovanatälern ist es erstaunlich, dass die einmal höher gelegenen und zum Teil gut bewaldeten Teilgebiete kleinere Abflusshöhen besitzen als das ganze Einzugsgebiet bis Collinasca. Dafür kann jedoch nicht der Wald verantwortlich gemacht werden, da auch der untere Teil gut bewaldet ist. Allerdings ist die Bewaldung unterhalb Piano und Corino derjenigen des Verzascatales sehr ähnlich, während weiter oben richtige Fichtenwälder anzutreffen sind.

Die höheren Teilgebiete des Bavonatales sind nicht bewaldet und fallen daher für diese Untersuchung ausser Betracht.

In allen übrigen Gebieten konnte ebenfalls kein eindeutiger Einfluss des Waldes auf die mittlere Abflusshöhe festgestellt werden, da sich in jedem Tal wieder andere Faktoren so stark auswirken, dass dem kleinen Einfluss der Bewaldung keine massgebende Bedeutung zukommt. Wenn Burger im Napfgebiet am Sperbel - und Rappengraben zeigen konnte, dass der mittlere Abfluss aus bewaldeten Gebieten kleiner ist als aus unbewaldeten, so darf dieses Ergebnis nicht auf die Alpensüdseite mit ihrer ganz andern Art der Bewaldung übertragen werden.

2.4. Geologische Verhältnisse

Die unterschiedlichen Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss sind sowohl bei den Sommer-, wie auch bei den Jahreswerten hauptsächlich auf die Geologie und Morphologie zurückzuführen.

Je nachdem, wieviel Niederschlag der Boden eines Tales während den intensiven Niederschlägen der Alpensüdseite speichern kann, sind auch die Möglichkeiten der Verluste durch Verdunstung grösser oder kleiner. Im Verzascatal fliesst aller Niederschlag (mit Ausnahme des Schnees der höchsten Teilgebiete) sehr schnell ab. Hier kann auch bei grosser Trockenheit und Wärme nur noch wenig verdunsten. In andern Tälern, welche die Niederschläge etwas besser zurückzuhalten vermögen, sind diese Verdunstungsverluste grösser (Teilgebiete Rovana, Sottoceneri).

Die geologischen Verhältnisse spielen im Wasserhaushalt der verschiedenen Täler noch in anderer Hinsicht eine sehr wichtige Rolle. Zwei Gebiete mussten darum bei diesen Untersuchungen ganz fallen gelassen werden, die Valle del Lucomagno (V. Binggeli, Diss. 1959) und die Oberen Bleniotäler (R. Witschi Diss. 1957). Wie in diesen Dissertationen dargelegt wird, finden in den betreffenden Gebieten bedeutende unterirdische Zu- und Abflüsse statt. Aehnliche Verhältnisse vermute ich auch im Muggiotal und im Valle di Melera. Wieweit auch in den Teilgebieten des Bavonatales (Randinascia, Basodino usw) solche unterirdische Zu- und Abflüsse berücksichtigt werden müssten, ist sehr schwer abzuschätzen. In einer Besprechung erklärte mir jedoch Herr Dr. Liechti von der Maggia-Kraftwerke AG, dass beim Bau der Stollen zwischen den fraglichen Einzugsgebieten nirgends grössere Wassereinbrüche erfolgten und darum diese Möglichkeit praktisch ausgeschlossen werden könne.

2.5. Die mittlere Höhe

Eine Zunahme des mittleren Abflusses mit der mittleren Höhe des Einzugsgebietes gilt für die untersuchten Gebiete nur bedingt. Dies in erster Linie wohl darum, weil auch die Niederschläge nicht streng mit der Höhe zunehmen, sondern lokal sehr unterschiedlich je nach Lage des Tales und Art des Niederschlages fallen.

Im Verzascatal zeigt sich andeutungsweise, dass die Verluste durch Verdunstung in Gebieten mit grösserer mittlerer Höhe kleiner sind, während in den Rovanatälern das Gegenteil der Fall ist. In den viel höher gelegenen Teilgebieten des Bavonatales ist beides anzutreffen, während im vergletscherten Basodino die Verluste ausserordentlich gross sein müssen, sind sie im unvergletscherten und etwas tiefer gelegenen Nachbargebiet Randinascia nur sehr klein.

Im Sottoceneri besitzen die tiefer gelegenen Täler in trockenen und die höher gelegenen in nassen Jahren grössere Verluste.

2.6. Verluste besonderer Bachläufe

Es konnte mit Messungen nachgewiesen werden, dass die Art des Wasserlaufes ebenfalls eine Auswirkung auf die Abflusshöhe besitzt. Bei grösseren Wasserfällen geht in der wärmeren Jahreszeit ein bedeutender Teil des Wassers verloren. Aber auch nur in stark sprudelnden Wasserläufen wird die ganze Umgebung benetzt, und die Luft kann so grössere Mengen von Wasser aufnehmen.

Im Basodinogebiet, wo die Schmelzwasser des Gletschers in vielen Bächlein während langer Strecken über die Felsen ablaufen, sind sicher die Verluste bedeutend.

Das Grundwasser muss ebenfalls ständig neu gespeist werden. Im Tessin sind zwar viele Wasserläufe - ausser bei Hochwasser - durch kleine Glimmerplättchen sehr gut abgedichtet, so dass auf diese Weise praktisch nichts verloren geht. In andern Gebieten darf dieser Faktor jedoch nicht ausser acht gelassen werden.

3. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Für die Täler des Tessins darf gesagt werden, dass Geologie und Morphologie einen entscheidenden Einfluss auf den Abfluss haben, sei es durch die Anlage und Steilheit der Täler, durch grössere oder kleinere Speicherungsmöglichkeiten von Wasser oder sogar durch gewisse unterirdische Verluste oder Zuflüsse entlang von Störungslinien, vor allem in Triaszonen und in Kalkgebieten. Von grosser Bedeutung ist es weiter, ob die Niederschläge in der warmen oder kalten Jahreszeit erfolgen, da die Verluste im Sommer bedeutend grösser sind.

Die Art der Wasserläufe (Wasserfälle, Abfluss von vielen kleinen Rinnsalen über eine Felsfläche) kann ebenfalls zu grösseren Verlusten durch Verdunstung führen.

Alle anderen Faktoren spielen eher eine untergeordnete Rolle. Die Vegetation hilft sicher auch mit, Wasser zu verdunsten, jedoch kann ihr im Tessin nicht die gleich grosse Bedeutung wie auf der Alpennordseite zugeschrieben werden.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, wie stark sich die hydrologischen Verhältnisse von Tal zu Tal, ja sogar von Teilgebiet zu Teilgebiet eines Tales ändern können. Ohne grundlegende hydrologische Untersuchungen, wobei sowohl die Gebietsniederschläge als auch die Abflüsse während mehreren Jahren bestimmt werden müssen, kann durch Analogieschlüsse von Nachbargebieten her nicht viel ausgesagt werden, da sich nicht zwei Täler finden lassen, welche sich nur in einem, den Wasserhaushalt beeinflussenden Faktor unterscheiden. Die verschiedenen Faktoren beeinflussen sich auch gegenseitig. Die zur Verfügung stehenden Messresultate sind auf ungleiche Art entstanden und ihre Zahl ist für eine exakte statistische Auswertung zu klein, darum ist eine rein mathematische Erfassung dieser Probleme kaum möglich. Wenn in der hier vorliegenden Arbeit trotzdem versucht wird, die Grösse einiger solcher hydrologischer Faktoren in bestimmten Tälern zu bestimmen, so geschah dies nur mit grosser Vorsicht und den genauen Hinweisen auf die jeweiligen Schwierigkeiten.

TABELLEN

Verzascatal

I Niederschlags- und Abflusshöhen der hydr. Jahre 1956/57 - 1966/67
II Monatliche Abflusshöhen bei Corippo 1929 - 1967
III Winterabfluss- und Niederschlagswerte 1960 - 1967
IV Abflusshöhen der Teilgebiete 1962/63 - 1966/67

Rovanatäler

V Monatliche Niederschlagshöhen in Quadrella 1953 - 1967
VI Monatliche Niederschlagshöhen in Campo 1953 - 1967
VII Totalisatorenwerte im Boscotal 1955/56 - 1966/67
VIII Totalisatorenwerte im Campotal 1955/56 - 1966/67
IX Abflusshöhen der hydrologischen Jahre 1948/49 - 1966/67

Onsernone

X Niederschlags-und Abflusshöhen der hydr. Jahre 1960/61 - 1966/67

Magliasina

XI Niederschlags-, Abfluss- und Totalisatorenwerte 1959/60 - 1966/67

Vedeggio

XII Niederschlags-, Abfluss- und Totalisatorenwerte 1960/61 - 1966/67

Bavona

XIII Gemessene (oder rekonstruierte) Abflusshöhen des Haupttales und aller Teileinzugsgebiete 1952/53 - 1962/63 resp. 1964/65

Tabelle I

Verzascatal: Niederschlags- und Abflusshöhen

Hydrologische Jahre 1956/57 bis 1966/67

Jahr	N-Frasco in mm	Niederschlagskarten Grütter, in mm	A-Corippo in mm
1956/57	1736	1900	1543
1957/58	2070	2510	1921
1958/59	1555	2040 *)	1540
1959/60	2861	3165	2803
1960/61	2143	2498	2221
1961/62	1436	1717	1352
1962/63	2006	2403	1995
1963/64	1925	2152	1947
1964/65	2077	2138	1719
1965/66	1384	1907	1440
1966/67	2472	2760	2311

*) nach Niederschlagskarte: 2160

Tabelle II

Verzascatal Monatliche Abflusshöhen bei Corippo 1929 - 1967 (gerundet)
in mm

Jahr	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	M	A	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Hydrolog. Jahr
1929/30	251	76	76	44	25	73	186	340	509	362	180	247	2370
1930/31	117	150	81	26	20	63	121	387	281	234	276	166	1913
1931/32	93	134	46	24	16	18	66	369	389	314	121	410	1999
1932/33	238	55	80	26	27	41	110	196	355	150	38	171	1485
1933/34	166	165	53	30	32	73	306	484	225	129	430	93	2185
1934/35	69	148	94	32	30	59	113	295	392	114	339	119	1804
1935/36	608	329	75	72	48	113	225	456	413	628	124	139	3230
1936/37	41	40	45	22	26	88	194	540	300	132	73	380	1882
1937/38	321	141	55	27	22	42	143	144	265	195	84	151	1490
1938/39	135	66	80	75	56	46	295	366	587	476	359	90	2631
1939/40	293	105	40	20	17	35	154	246	328	404	62	116	1819
1940/41	220	112	40	30	29	75	233	392	552	261	124	44	2113
1941/42	77	99	32	15	10	37	84	241	312	115	196	388	1606
1942/43	367	210	50	27	26	48	156	235	74	54	43	418	1710
1943/44	189	55	44	23	16	21	136	190	142	391	98	357	1663
1944/45	423	98	39	20	27	61	116	315	105	37	331	111	1684
1945/46	213	139	38	24	37	91	195	481	525	135	270	299	2447
1946/47	40	34	19	12	11	102	230	275	150	203	103	122	1301
1947/48	60	55	40	42	46	101	191	347	281	114	302	221	1800
1948/49	91	56	26	27	20	24	97	309	143	40	34	38	906
1949/50	63	84	52	34	33	72	127	413	226	78	108	228	1517
1950/51	65	62	45	42	80	95	175	576	627	230	268	112	2377
1951/52	130	484	61	33	22	37	221	342	228	77	72	369	2076
1952/53	204	59	48	24	20	38	184	113	221	216	53	242	1422
1953/54	342	88	40	21	17	45	135	208	347	153	405	166	1966
1954/55	49	42	113	51	39	71	282	174	439	83	40	54	1437
1955/56	115	58	28	21	12	46	159	336	202	355	474	240	2045
1956/57	58	34	20	21	24	94	97	189	618	121	228	39	1544
1957/58	52	206	64	33	66	41	105	522	232	166	320	114	1921
1958/59	347	65	53	33	41	119	199	261	203	84	96	41	1540
1959/60	146	120	92	45	41	86	213	542	398	322	390	408	2800
1960/61	573	169	72	34	46	102	273	225	408	174	107	38	2221
1961/62	225	116	72	42	21	25	178	258	208	57	97	93	1352
1962/63	28	106	26	20	13	47	204	328	409	162	274	386	1992
1963/64	170	421	54	33	28	55	274	326	388	79	68	49	1947
1964/65	110	55	44	24	19	41	70	186	178	125	209	658	1719
1965/66	237	40	21	10	28	42	182	337	214	193	90	46	1441
1966/67	427	145	36	18	27	141	147	529	245	153	174	272	2315

Tabelle III

Verzascatal: Winterwerte von Niederschlag und Abfluss

Zeit	Tage	N-Frasco in mm	A-Corippo in mm	umgerechnet auf 365 Tage	
				N-Frasco in mm	A-Corippo in mm
19.10.60-10.7.61	265	1570	1609	2160	2213
4.11.60-10.7.61	249	1189	1262	1744	1850
26.10.61-20.7.62	268	986	1083	1343	1475
9.11.61-20.7.62	254	835	921	1200	1323
27.10.62-11.7.63	258	1216	1207	1721	1710
4.11.62-11.7.63	249	1203	1200	1760	1758
31.10.63- 8.7.64	252	1542	1538	2235	2230
31.10.63-18.7.64	262	1551	1562	2162	2180
23.10.64- 6.7.65	257	597	552	848	785
2.11.64- 6.7.65	247	582	530	861	784
16.10.65-15.7.66	268	981	982	1335	1336
3.11.65-15.7.66	250	981	1018	1433	1487
24.10.66-31.7.67	280	1589	1567	2070	2040
2.11.66-31.7.67	271	1433	1438	1930	1935

Tabelle IV

Verzascatal: Abflusshöhen der Teilgebiete

Hydrologische Jahre 1962/63 bis 1966/67

Jahr	A-Lavertezzo in mm	A-Brione in mm	A-Redorta in mm	A-Vogornesso in mm
1962/63	2296	2183	1969	2065
1963/64	1781	1974	2183	1994
1964/65	1713	1790	2065	1644
1965/66	1548	1774	1801	1685
1966/67	2425	1708	2422	2283

Monatliche Niederschlagshöhen Quadrella (1810 m) Tessiner Forstdirektion

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	hydr. Jahr
1953	---	210	---	260	50	310	130	120	490	390	20	60	2040	
1954	70	90	160	160	170	290	140	500	40	50	80	530	2280	2090
1955	220	90	70	0	130	260	140	100	70	200	30	70	1380	1740
1956	40	60	360	340	140	130	320	220	290	50	40	20	2010	2200
1957	110	230	120	70	200	470	40	130	60	40	280	350	2100	1540
1958	70	100	100	190	280	140	180	230	60	300	150	310	2110	2020
1959	30	90	180	220	80	90	90	170	20	110	---	560	1640	1730
1960	110	320	140	30	200	270	210	150	500	580	160	270	2940	1600
1961	30	170	20	200	220	120	160	80	50	240	290	60	1690	2060
1962	90	70	80	240	140	90	90	60	0	90	440	120	1510	1500
1963	40	50	--	420	160	210	200	190	220	150	430	30	2100	2140
1964	110	30	160	290	140	80	230	100	30	120	150	30	1470	1780
1965	70	30	100	0	140	210	140	360	540	160	80	80	1910	1890
1966	20	0	370	210	80	130	160	130	10	430	540	70	2150	1430
1967	50	130	180	90	280	200	130	140	208	13	203	47	1671	2448

Tabelle V

Tabelle VI

Monatliche Niederschlagshöhen Campo Vallemaggia (1380 m) Tessiner Forstdirektion

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	hydrolog. Jahr
1953	20	30	---	170	50	280	150	80	370	480	10	50	
1954	60	60	150	150	160	220	170	410	60	40	110	390	1980
1955	210	80	30	0	110	250	120	70	40	190	0	70	1450
1956	30	60	240	300	160	130	290	260	270	40	50	10	2000
1957	60	240	110	50	160	480	50	120	40	50	270	220	1410
1958	60	90	90	160	260	150	120	300	30	300	160	190	1800
1959	20	20	160	220	80	110	70	130	50	120	230	240	1510
1960	130	300	80	20	210	220	180	190	430	580	150	280	2350
1961	30	160	10	200	130	170	150	30	40	280	310	50	1930
1962	40	60	70	220	130	100	100	30	0	60	400	110	1390
1963	50	40	170	250	180	130	190	210	210	140	430	20	2000
1964	100	40	160	280	90	50	210	70	20	130	90	50	1610
1965	60	40	60	0	130	100	150	370	460	50	90	30	1640
1966	10	210	10	170	90	120	160	90	30	430	300	50	1090
1967	30	90	120	90	380	190	90	110	332	9	229	11	2212

Tabelle VII

Totalisatorwerte im Boscotal

Hydrologische Jahre 1955/56 bis 1966/67

Jahr	Wolfstaffel mm	Grossalp mm	Pian Croscio mm	Vergleich Bosco MZA mm
1955/56	1900	2125	1980	2019
1956/57	1370	1610	1480	1480
1957/58	1880	2250	1850	2042
1958/59	1440	1730	1650	1659
1959/60	2317	2990	2783	2491
1960/61	1592	1881	1730	2060
1961/62	1397	1577	1434	1522
1962/63	2359	2242	1932	2146
1963/64	1188	1808	1743	1806
1964/65 ohne Aug. +Sept.	988	1090	883	944
1965/66 ab Aug. 1965	1927	2367	2011	2248
1966/67	2471	2241		2062

Tabelle VIII

Totalisatorwerte im Campotal

Hydrologische Jahre 1955/56 bis 1966/67

Jahr	Cravairola mm	Lago mm	Corte di Cevio mm	Vergleich	
				Quadrella mm	Campo mm
1955/56	2285	2400	2314	2202	2000
1956/57	1790	1740	1670	1540	1410
1957/58	1900	2000	2520	2020	1800
1958/59	2110	2360	1800	1730	1510
1959/60	3302	4039	3528	2600	2350
1960/61	1905	2291	2337	2060	1930
1961/62	1615	2247	1734	1500	1390
1962/63	2470	3082	2545	2140	2000
1963/64	1992	2470	2437	1780	1610
1964/65 ohne Aug, Sept.	962	1300	1184	1090	810
1965/66 mit Aug, Sept.	2292	2481	2669	2230	1920
1966/67	2294	2585	2608	2448	2212

Tabelle IX

Rovanatäler : Abflusshöhen aller gemessenen hydrologischen Jahre

Jahr	A-Corino Boscotal	A-Piano Campotal	A-Collinasca	
			Campotal	Bosco-+Campotal
	Pegel 28, 3 km2		Pegel 68, 9 km2	Pegel 97, 2 km2
1948/49	967, 3		978, 0	973, 3
1949/50	1461, 2		1303, 1	1345, 6
1950/51	2850, 7		2927, 0	2903, 3
1951/52	1695, 2		2022, 1	1926, 7
1952/53	1414, 6		1472, 2	1453, 3
1953/54	2274, 6		2224, 0	2233, 9
1954/55	1585, 0		1632, 8	1617, 4
1955/56	1928, 7		2000, 3	1977, 0
1956/57	1594, 1		1713, 5	1678, 0
1957/58	1947, 9		1836, 0	1869, 1
1958/59	1698, 1		1575, 6	1610, 3
	Limnigraph 28, 8 km2	Limnigraph 48, 2 km2		Limnigraph 101, 2 km2
1959/60	(1935)			(2175)
1960/61	1781	(1858)		1838
1961/62	1126	1023		1242
1962/63	1582	1701		1788
1963/64	1510	1378		1592
1964/65	1209	1160		1491
1965/66	1132	1187		1279
1966/67	1412	1800		1630

Tabelle X

Onsernone: Niederschlags- und Abflusshöhen

Hydrologische Jahre 1960/61 bis 1966/67

Jahr	N-Mosogno in mm	A-Russo in mm	A-Comologno in mm	A-Vergeletto in mm
1960/61	2163	1914	1916	2125
1961/62	1432	1064	1066	1400
1962/63	2028	1723	1713	1950
1963/64	1756	1572	1311	1982
1964/65	1769	1287	1172	1585
1965/66	1237	1103	1203	1373
1966/67	2203	1682	1720	2044

Tabelle XI

Magliasina: Niederschlags- und Abflusshöhen

Hydrologische Jahre 1959/60 bis 1966/67

Jahr	N-Fescoggia	A-Magliasina		Totalisatoren		
				Sedi	Trepezzi	Magino
1959/60				3320	3260	2790
1960/61				2390	2290	2010
1961/62				1520	1470	1410
1962/63				2400	2470	2030
1963/64				2265	2165	1965
1964/65	2010	846	947	1970	1990	1715
1965/66	1981	1184	1326	2070	2130	1800
1966/67	2183	1452	1628	2190	2150	1890

Tabelle XII

Vedeggio: Niederschlags- und Abflusshöhen

Hydrologische Jahre 1960/61 bis 1966/67

Jahr	A-Isone in mm	A-Bioggio in mm	N-Isone N-Karten Gäumann in mm	Totalisatoren			
				Caneggio in mm	Senestro in mm	Pianscuro in mm	Serdena in mm
1960/61				2530	1980	2147	
1961/62	1295	758	1507	1573	1373	1524	1560
1962/63	1644	1316	2671	2817	2313	2600	2677
(1963/64 Sommer	2351	1510	(2700)	2754	2453	2677	2567)
1963/64	1780	1271	2119	2187	2007	2023	2118
1964/65	1900	1029	2170	2267	1820	2057	2103
1965/66	1668	1300	2070	1906	1833	1940	2170
1966/67	1710	1238	(2440)	2610	2081	2233	2397

Tabelle XIII

Abflüsse Einzugsgebiet Bavona

Jahr	Campo	Antabbia	Rand. Robiei	Bav. Robiei	Cavagnoli	Basodino	Bav. - Campo	Bignasco
1952/53			2258,7	2410,8		2119,2		
1953/54	2265,1	1618,1	2733,0	2616,5	(2850,0)	2098,9	(1580)	(1762)
1954/55	1854,5	1147,1	2014,9	2148,0	(2400,0)	1744,3	(1190)	(1368)
1955/56	2131,2	1257,0	2863,1	2612,0	2609,8	2089,3	(1640)	(1770)
1956/57	1809,5	1144,7	1862,8	1934,8	2247,2	1723,9	(1270)	(1415)
1957/58	2371,1		2476,2	2444,4	2974,6	2164,1	(1550)	(1768)
1958/59	1927,5		2062,8	2171,8	2684,5	1990,3	(1270)	(1444)
1959/60	2398,4		2933,9	2819,9	2807,4	2082,9	(2200)	(2255)
1960/61	2223,8		2581,6	2420,3	2624,9	1973,8	(1770)	(1892)
1961/62	1885,6		2235,3	2202,1	2549,0	1869,6	(1130)	(1332)
					(2450,0)	(2050,0)		
1962/63	2254,6		2486,4	2168,3	2235,2	2286,0	(1600)	(1775)
1963/64	2287,7						(1570)	(1762)
1964/65	2205,6						(1400)	(1615)
Mittel 1953/54 - 1962/63	2112,1	(1350)	2425,0	2353,8	2619,7	1978,7	(1520)	(1678)

FIGUREN

Verzascatal

		Seite
1.	Abhängigkeit des Abflusses in Corippo von den Gebietsniederschlägen im Verzascatal	113
2.	Abhängigkeit des Abflusses in Corippo von den in der Niederschlagsstation Frasco gemessenen Niederschlägen	113
3.	Abhängigkeit der Gebietsniederschläge im Verzascatal von den in der Niederschlagsstation Frasco gemessenen Werten	114
4.	Tägl. Niederschlags- und Abflusshöhen vom 25.9. bis 15.10.1965	114
5.	Rücklagen und deren Aufbrauch im Verzascatal, 1956 bis 1967	115
6.	Abhängigkeit der Abflusshöhen in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, übergr. hydr. Jahre	116
7.	Tägliche Niederschlags- und Abflusswerte 1960	117
8.	Tägliche Niederschlags- und Abflusswerte 1965	118
9.	Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden/Summen	119
10.	Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden/Mittel pro Tag	120
11.	Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Grenzen d. Sommer- u. Herbstwerte	121
12.	Abhängigkeit der Winterabflusshöhen von den in Frasco gemessenen Niederschlägen	122
13.	Zusammenstellung aller Grenzen und Regressionsgeraden	122
14.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, hydr. Jahre 1962/63-66/67	123
15.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, übergr. hydr. Jahre	123
16.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerwerte	124
17.	Auf Jahreslänge umgerechnete Winterniederschlags- und Winterabflusshöhen	124
18.	Vergleich zwischen den in Frasco gemessenen Niederschlägen und den Werten der Niederschlagskarte Grütter	125
19.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den Gebietsniederschlägen	125
20.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Jahreswerte	126
21.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden	126
22.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Winterperioden	127
23.	Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den Niederschlägen	127
24.	Vergleich der Abflüsse aus dem Osolatal mit denen aus dem ganzen Verzascatal	128

25. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen 128
26. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, mit angeglichenen Werten 129
27. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Winterperioden 129
28. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden 130
29. Vergleich zwischen den in Frasco gemessenen Niederschlägen und den aus den Niederschlagskarten herausplanimetrierten Werten für das Osolatal 130
30. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den Niederschlägen 131
31. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzotälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen 131
32. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzotälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Winterperioden 132
33. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzotälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden 132
34. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzotälern von den Niederschlägen 133
35. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Verzascatal und seinen Seitentälern von den Niederschlägen, Zusammenstellung 133

Rovanatäler

36. Kontrolle der Niederschlagsstationen Frasco, Bosco, Mosogno 134
37. Kontrolle der Niederschlagsstationen Bosco, Mosogno/31 Jahre 135
38. Vergleiche der Abflüsse aus dem Boscotal mit denjenigen aus dem Verzascatal 136
39. Alle gemessenen Abflüsse aus dem Boscotal im Vergleich zu den Niederschlägen in Bosco, Jahressummen 137
40. Monatlicher Gang von Niederschlag, Abfluss und ihrer Differenz (= Rücklagen und deren Aufbrauch) 138
41. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal von den in Bosco-Gurin gemessenen Niederschlägen, Jahressummen 139
42. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal von den in Bosco-Gurin gemessenen Niederschlägen, Sommerperioden 139
43. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Campotal von den in Quadrella gemessenen Niederschlägen 140
44. Residuen zu Figur 43 140
45. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Rovanatälern von den in Quadrella gemessenen Niederschlägen 141
46. Residuen zu Figur 45 141
47. Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit dem Mittel der Totalisatorwerte, Boscotal 142

48. Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit der Summe der Totalisatorwerte, Campotal bis Piano 142
49. Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit dem Mittel der Totalisatorwerte, Campotal oberhalb Collinasca 143
50. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal v. d. Niederschlägen 143
51. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Rovanatälern von den in Quadrella oder Bosco gemessenen Niederschlägen 144
52. Abhängigkeit der Abflüsse aus den Rovanatälern von den Niederschlägen 144

Bavonatal und seine Seitentäler

53. Mittlere monatliche Abflusshöhen in % der Jahresabflusshöhen 145
54. Mittlere monatliche Abflusshöhen 1955/56 bis 1962/63 145
55. Rücklagen und deren Aufbrauch im Basodino- und Randinasciageb. 146
56. Abhängigkeit der monatlichen Schmelzwasserabflüsse in Zöt von der Temperatur 147
57. Abhängigkeit der korrigierten monatlichen Schmelzwasserabflüsse in Zöt von der Temperatur 148
58. Rücklagen und deren Aufbrauch im Basodinogebiet, Gegenüberstellung der gemessenen und gerechneten Werte 149
59. Vergleich der Niederschlagswerte, Tot. Randinascia - Bosco 150
60. Vergleich der aus den Niederschlagskarten von Reist ermittelten Gebietsniederschlägen mit den in Bosco gemessenen Werten 150
61. Böschungsverhältnisse im Basodinogebiet 151
62. Der unterirdische Bachverlauf im Basodinogebiet 151
63. Weg-Zeit-Diagramm des gefärbten Wassers 151
64. Vergleich der Niederschlagswerte, Tot. Cavagnoli - Bosco 152
65. Abhängigkeit der Abflüsse von den im Totalisator Randinascia gemessenen Niederschlägen 152
66. Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Randinasciagebiet von den in Bosco gemessenen Niederschlägen 153
67. Korrelation der Jahresabflusshöhen der Verzasca in Corippo und der Bavona in Bignasco 153
68. Vergleich der errechneten Abflusshöhen des Bavonagebietes zw. Campo und Bignasco mit den gemessenen Abflusshöhen des Verz. 154
69. Abhängigkeit der Abflusshöhe des Bavonatales von den Gebietsniederschlägen 154

Onsernone und Vergeletto

70. Abhängigkeit der Abflusshöhe des Onsernonetales von den in Mosogno gemessenen Niederschlägen 155
71. Abhängigkeit der Abflusshöhen des oberen Onsernonetales von den in Mosogno gemessenen Niederschlägen 155
72. Abhängigkeit der Abflusshöhen aus dem Vergelettotal von den in Mosogno gemessenen Niederschlägen 156
73. Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen. 156

Magliasina

74. Abhängigkeit der Abflusshöhe des Magliasina von dem Mittel der Niederschlagstotalisatorwerte 157
75. Abhängigkeit der Abflusshöhe des Magliasina von den Niederschlägen in Fescoggia 157
76. Abhängigkeit der Sommerabflüsse von den Niederschlägen 158
77. Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen 158
78. Abhängigkeit der Abflusshöhen des Magliasina von den in Fescoggia gemessenen Niederschlägen, Vergleich d. Regr. 159
79. Abhängigkeit der Abflusshöhen des Magliasina von den Niederschlägen 159

Vedeggio

80. Abhängigkeit der Abflusshöhen von den Gebietsniederschlägen im Isonetal 160
81. Vergleich der Gebietsniederschläge nach Gäumann mit den in Crana und Bellinzona gemessenen Jahresniederschlagssummen 160
82. Vergleich der Gebietsniederschläge mit der Summe der vier Totalisatorwerte 161

Muggiotal

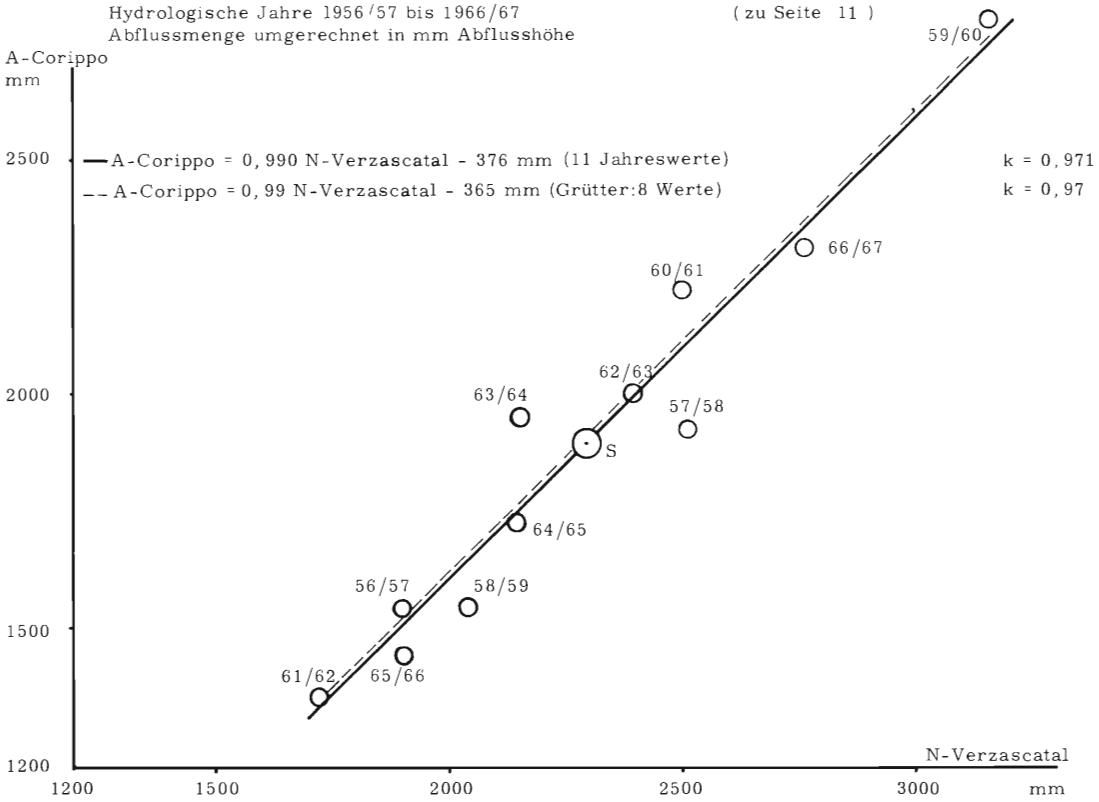
83. Abhängigkeit der Abflüsse des Muggiotales von den in Morbio Superiore gemessenen Niederschlägen 161
84. Abhängigkeit der Abflüsse des Muggiotales von den Niederschlägen 162

Zusammenstellungen

85. Zusammenstellung der wichtigsten Grenzen 162
86. Zusammenstellung aller Regressionsgeraden 163

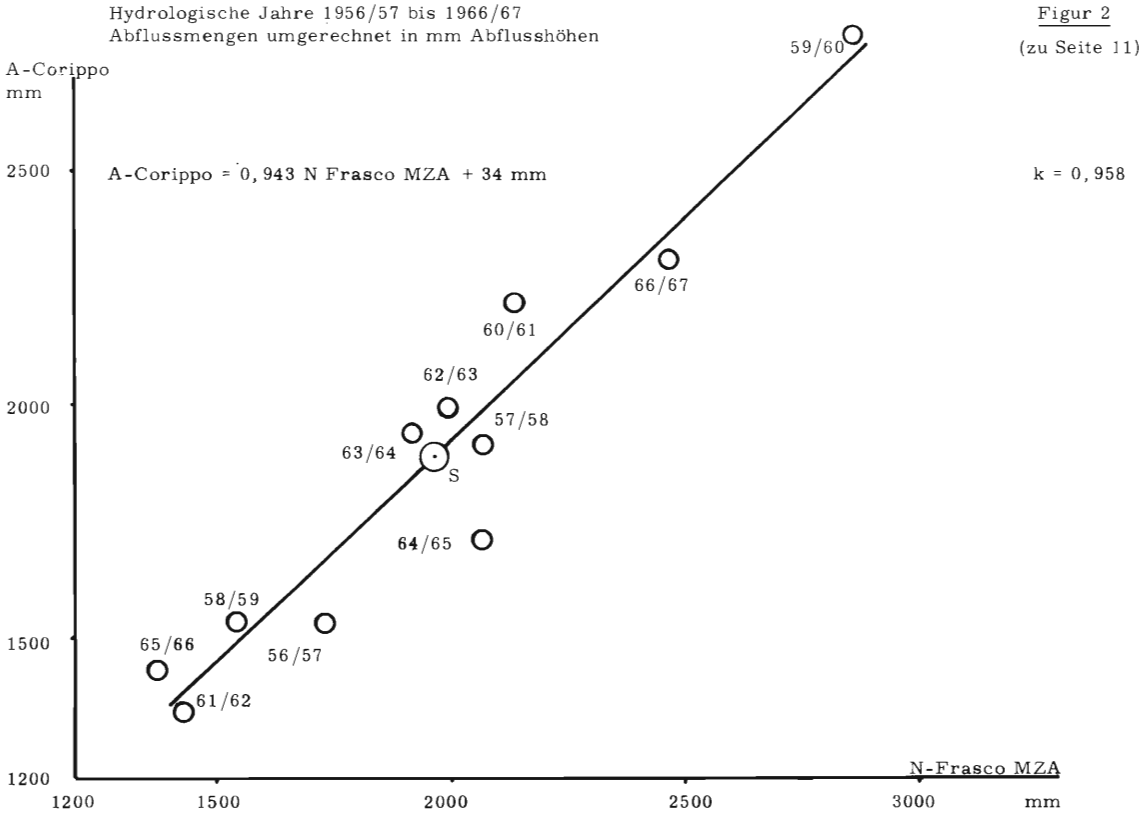
Abhängigkeit des Abflusses in Corippo von den Gebietsniederschlägen im Verzascatal — Figur 1

Hydrologische Jahre 1956/57 bis 1966/67 (zu Seite 11)
Abflussmenge umgerechnet in mm Abflusshöhe



Abhängigkeit des Abflusses in Corippo von den in der Niederschlagsstation Frasco gemessenen Niederschlägen

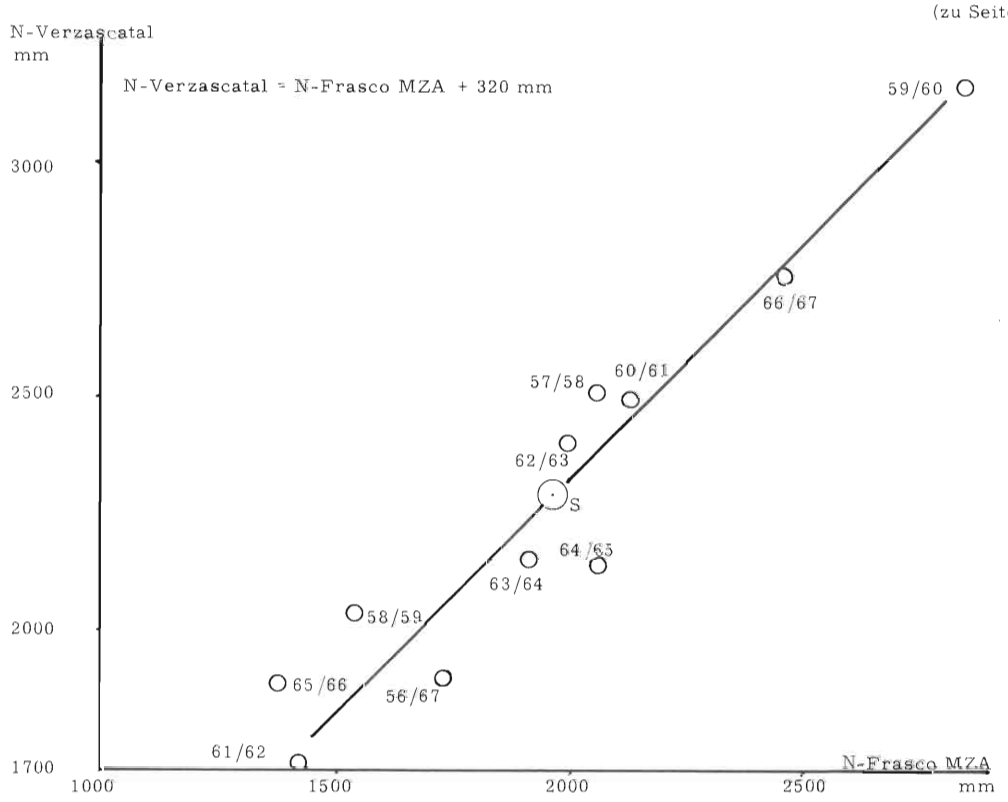
Hydrologische Jahre 1956/57 bis 1966/67 — Figur 2
Abflussmengen umgerechnet in mm Abflusshöhen — (zu Seite 11)



Abhängigkeit der Gebietsniederschläge im Verzascatal von den in der Niederschlagsstation Frasco gemessenen Werten. Hydrologische Jahre 1956/57 bis 1966/67. Jahressummen

Figur 3

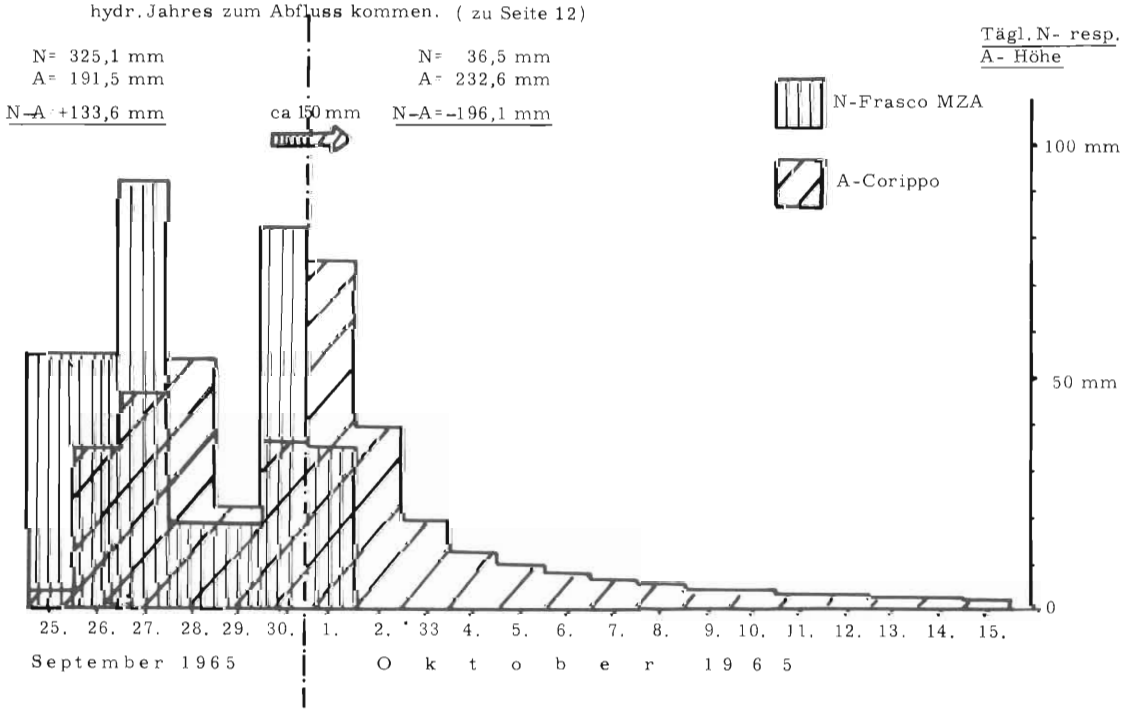
(zu Seite 12)



Tägliche Niederschlags- und Abflusshöhen vom 25. Sept. bis am 15. Oktober 1965

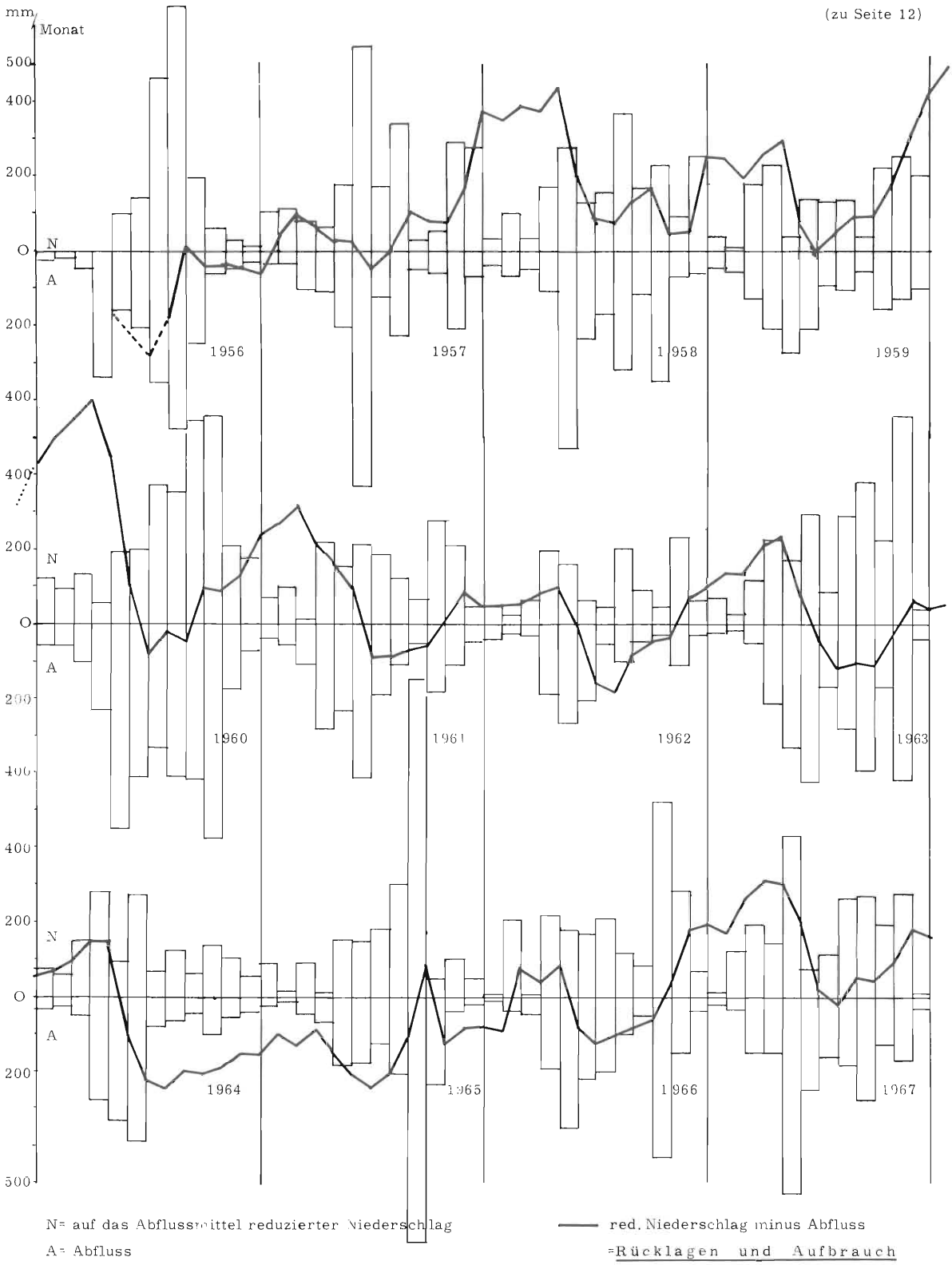
Figur 4

Grosse Niederschläge am Ende des hydr. Jahres 1964/65, welche erst am Anfang des nächsten hydr. Jahres zum Abfluss kommen. (zu Seite 12)



Rücklagen und deren Aufbrauch im Verzascatal 1956 bis 1967 Figur 5

(zu Seite 12)



N= auf das Abflussmittel reduzierter Niederschlag

A= Abfluss

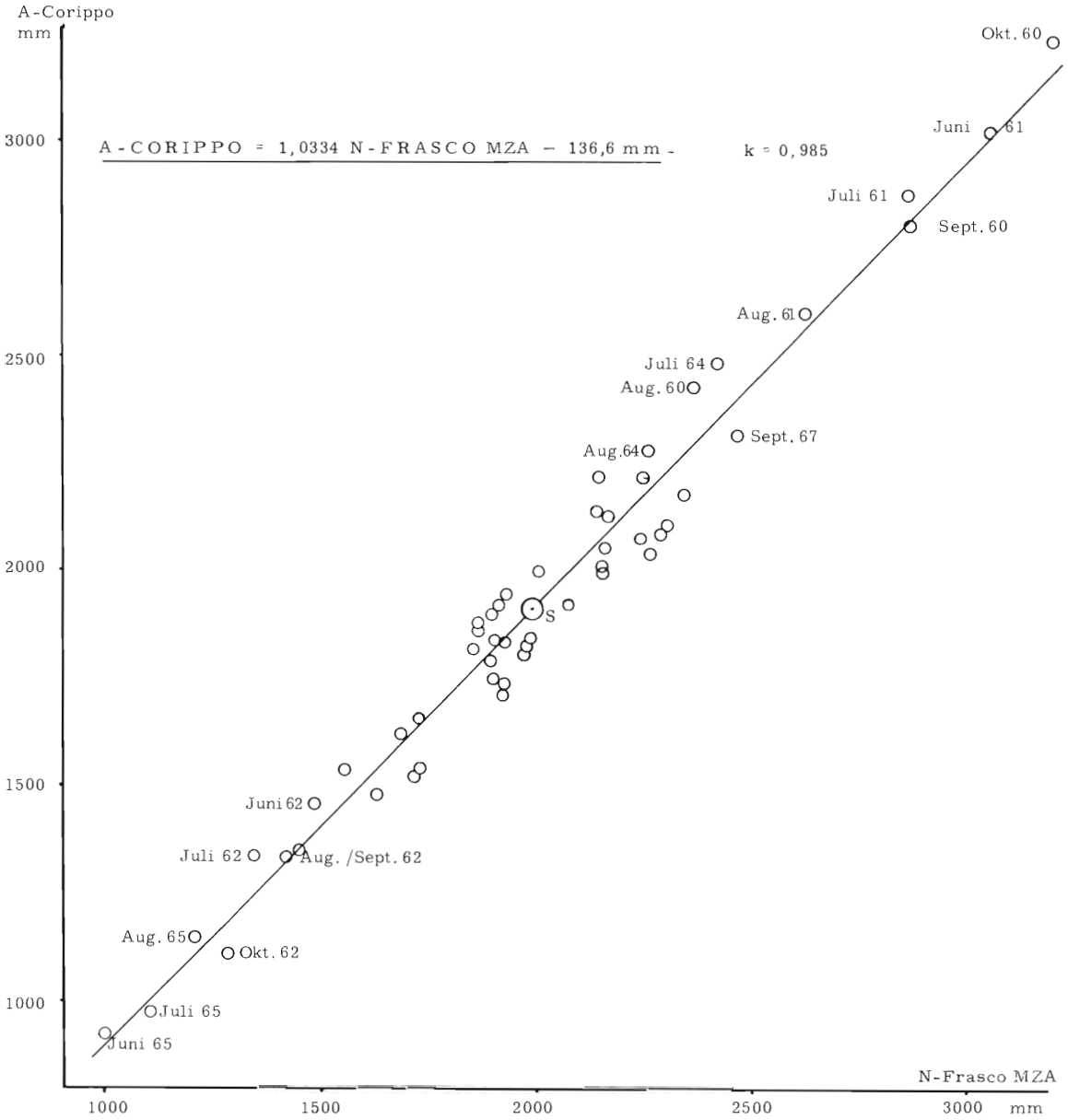
—— red. Niederschlag minus Abfluss

=Rücklagen und Aufbrauch

Erklärungen im Textteil auf den Seiten 12 und 13.

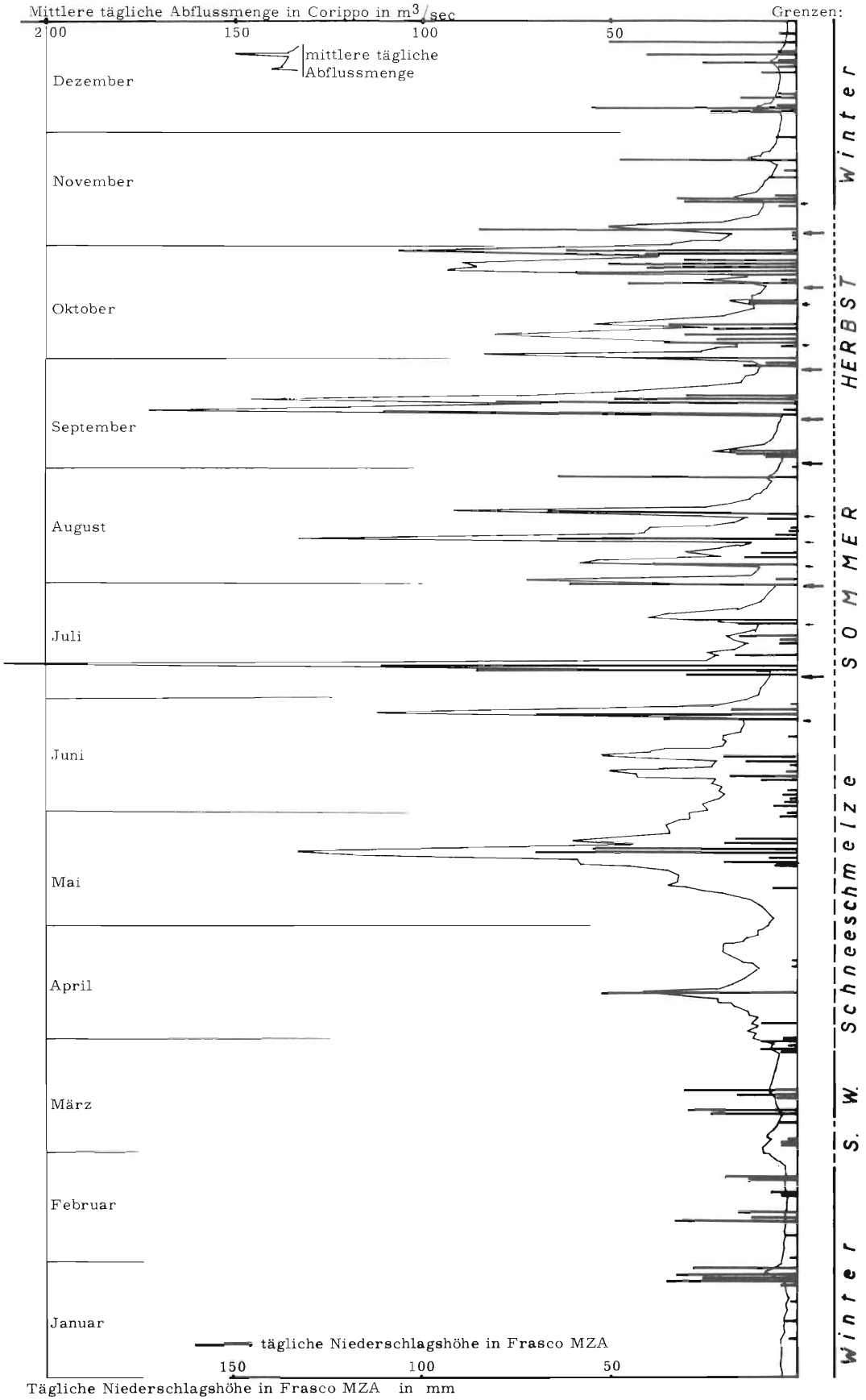
Abhängigkeit der Abflusshöhen in Corippo von den in Frasco MZA gemessenen Niederschlägen Figur 6

Summen von 12 aufeinanderfolgenden Monatswerten. (zu Seite 13)
Die Daten bezeichnen den letzten Monat des "übergreifenden hydrologischen Jahres".



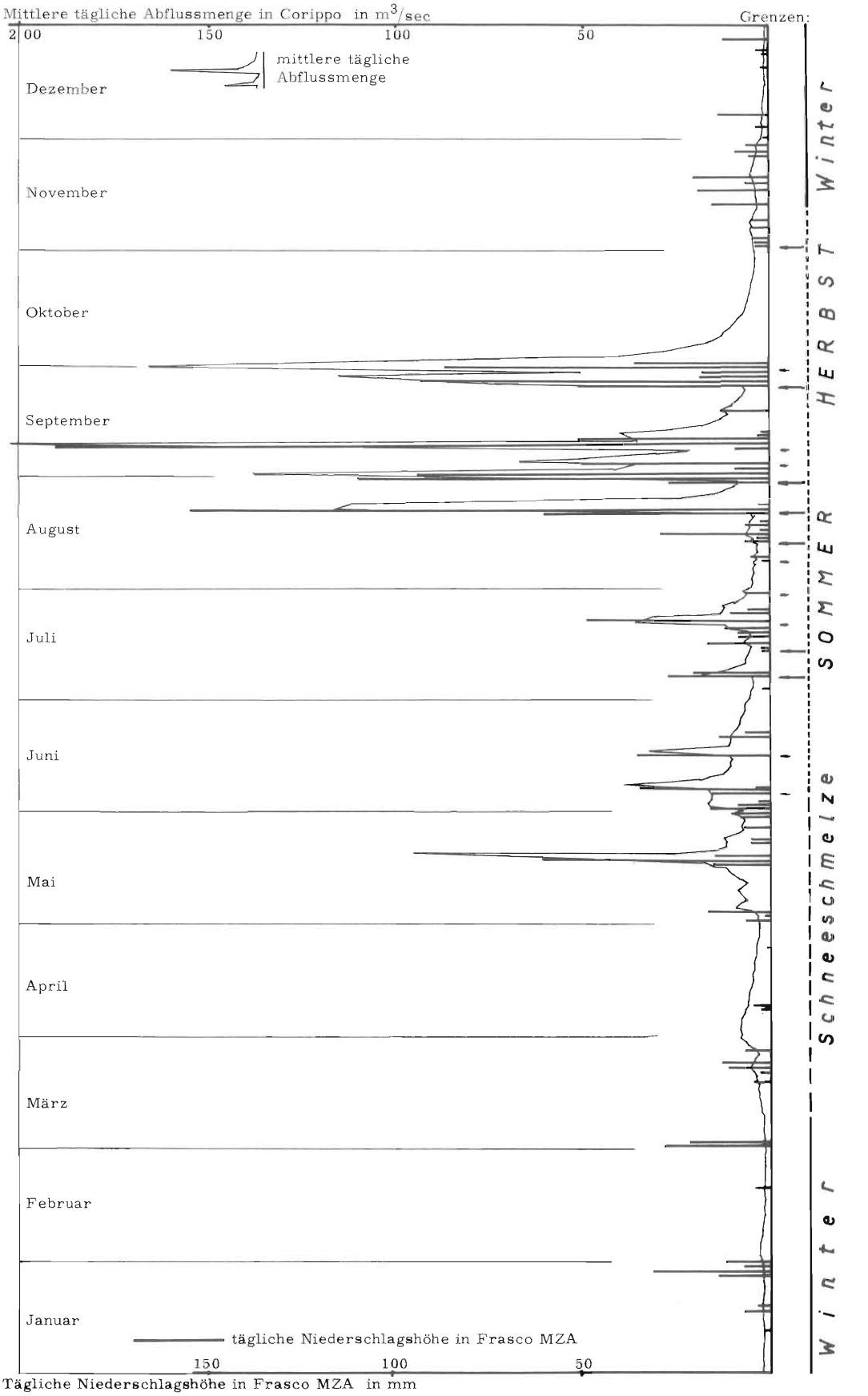
Tägliche Niederschlags- und Abflusswerte 1960 im Verzascatal

Figur 7 (zu Seite 14)



Tägliche Niederschlags- und Abflusswerte 1965 im Verzaszatal

Figur 8(zu Seite 14)

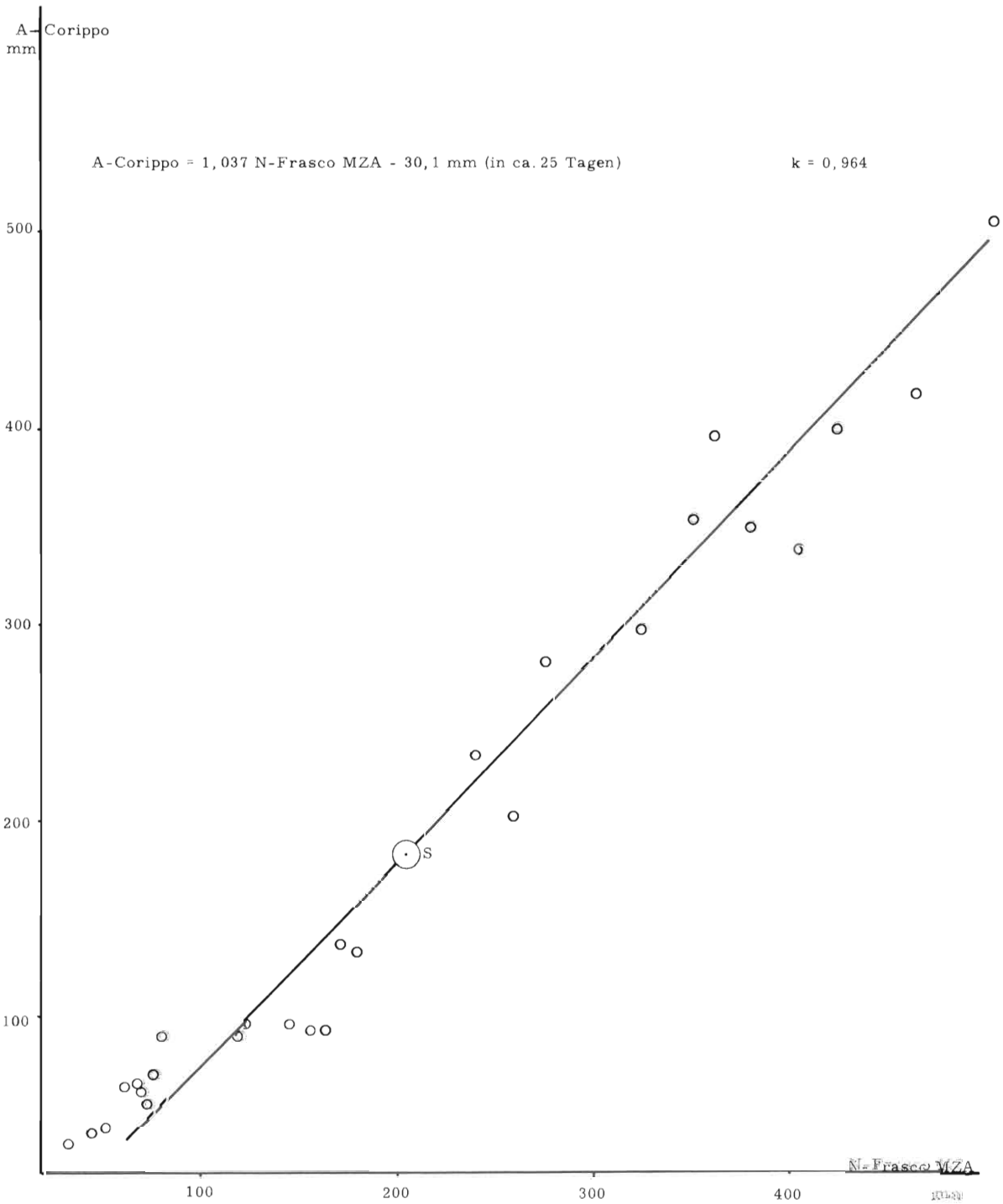


Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Figur 9

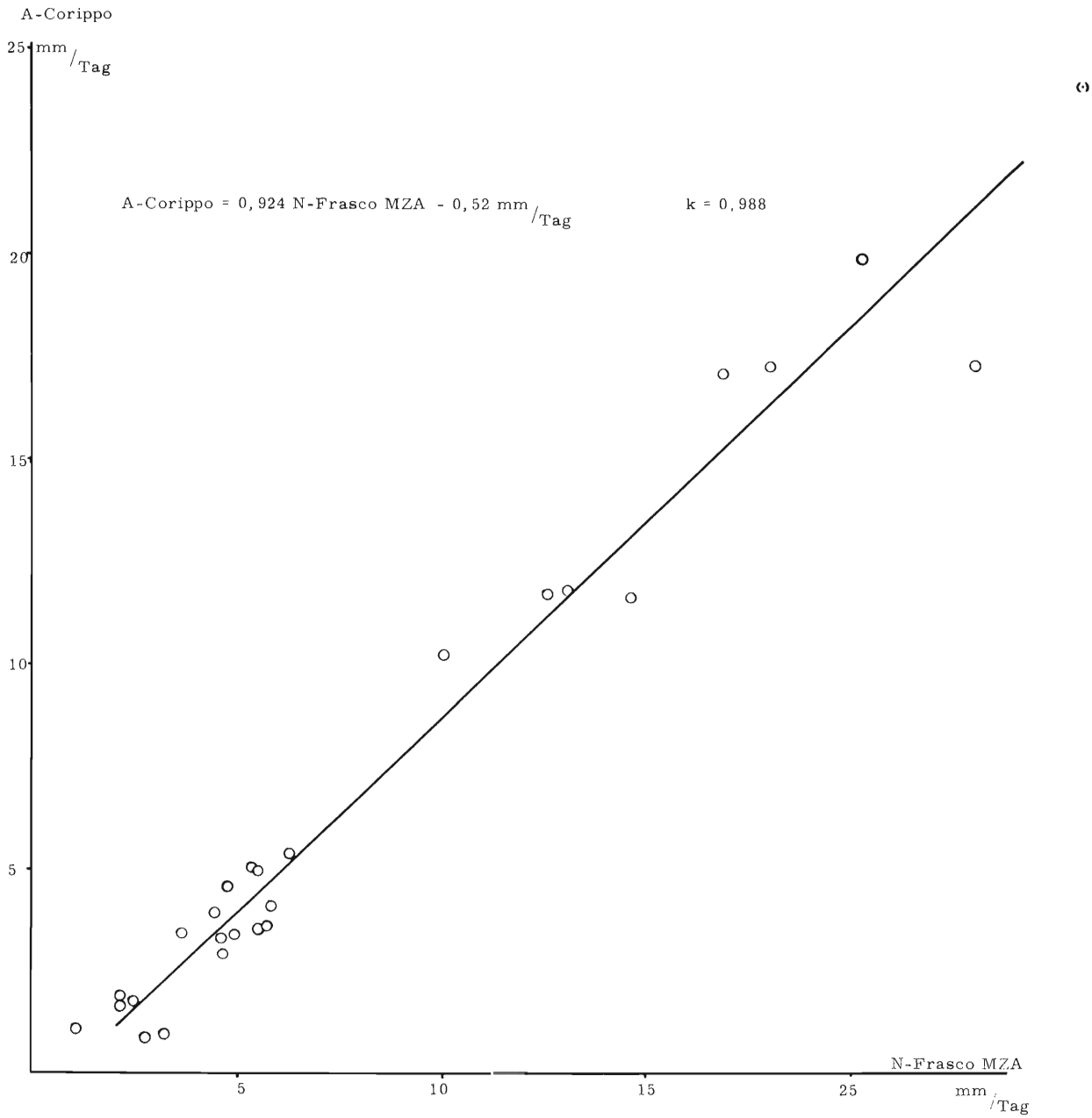
Niederschlags- und Abflussummen der Sommerperioden (ca. 25 Tage).

(zu Seite 14)



Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen — Figur 10

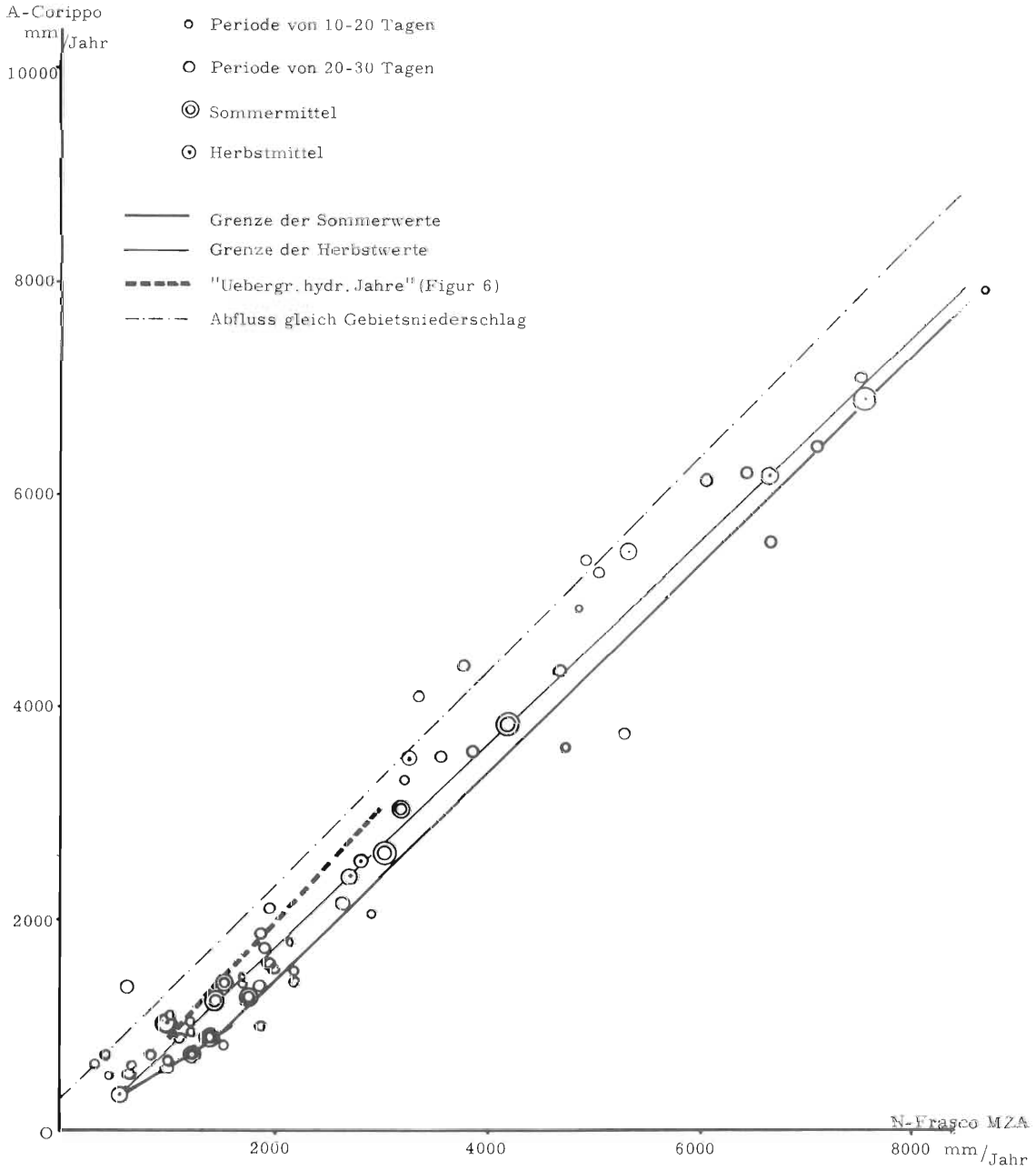
Mittlere tägliche Niederschlags- und Abflusshöhe in den Sommerperioden — (zu Seite 16)



Abhängigkeit der Abflüsse in Corippo von den in Frasco gemessenen Niederschlägen Figur 11

Auf Jahreslänge umgerechnete Niederschlags- und Abflusshöhen der Sommer-und Herbstperioden 1960-1967

(zu Seite 16)

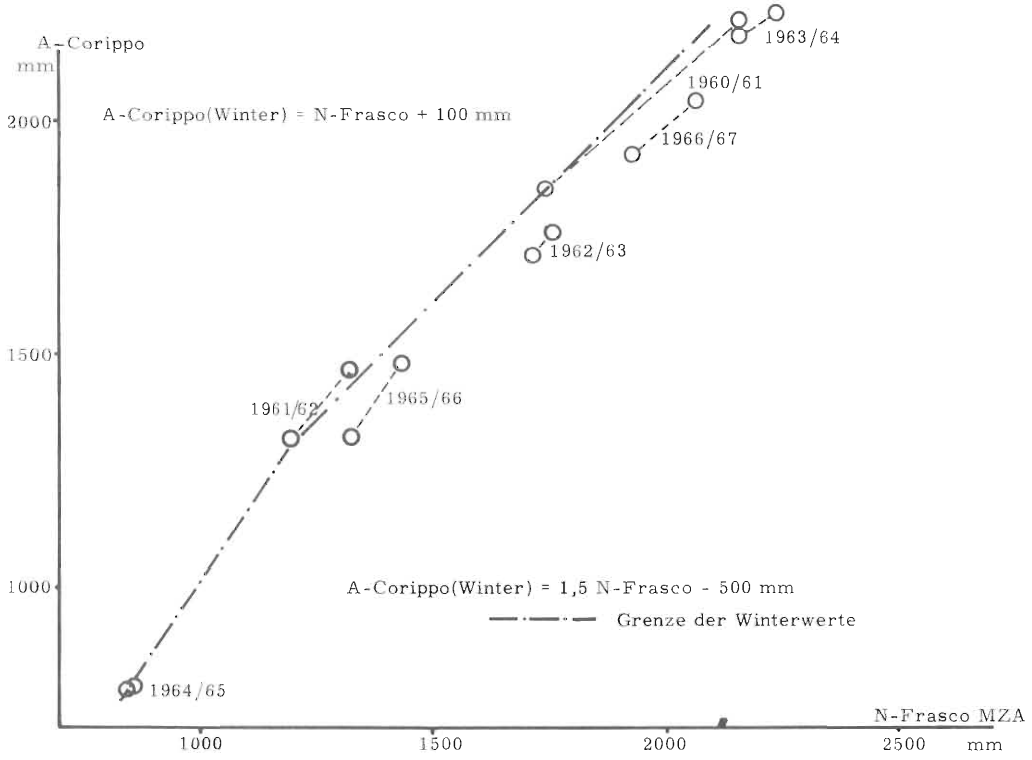


Abhängigkeit der Winterabflusshöhen von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Figur 12

(zu Seite 17)

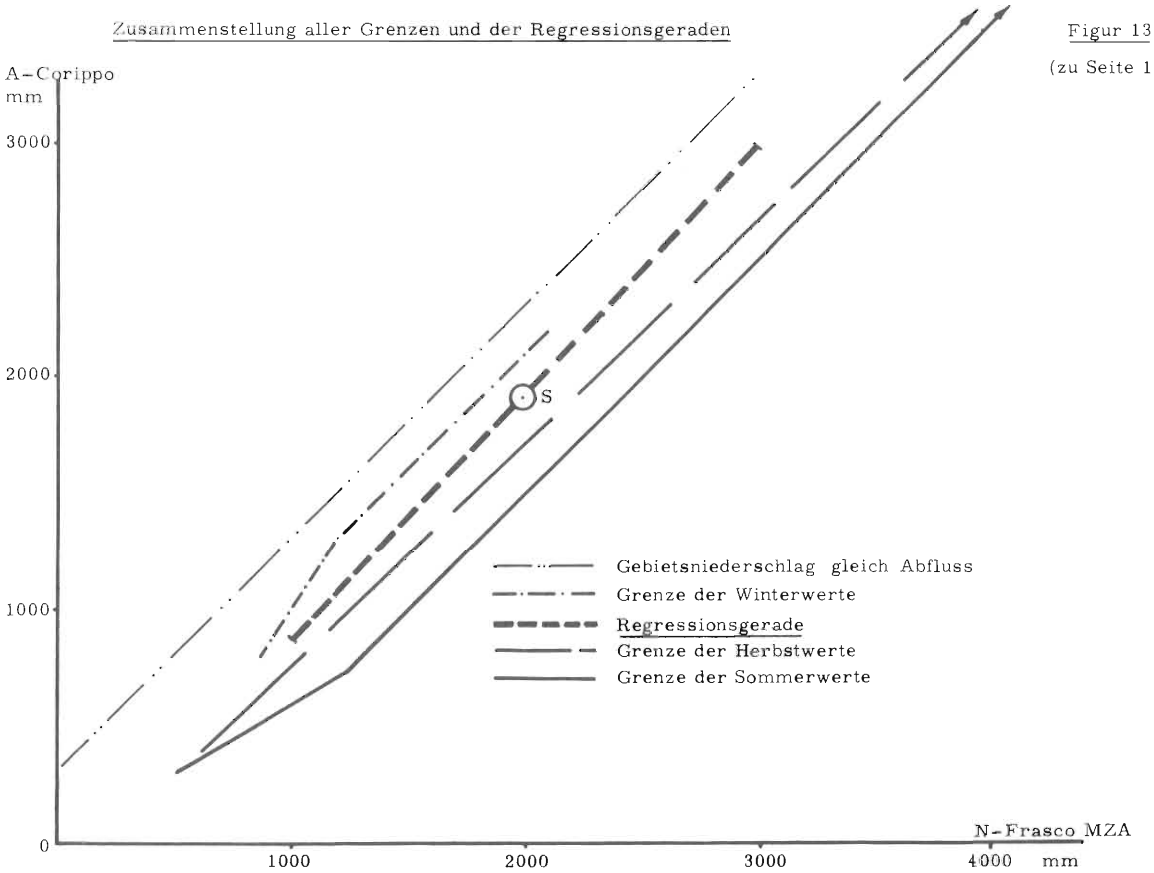
Niederschlags- und Abflusshöhen auf Jahreslängen umgerechnet



Zusammenstellung aller Grenzen und der Regressionsgeraden

Figur 13

(zu Seite 18)

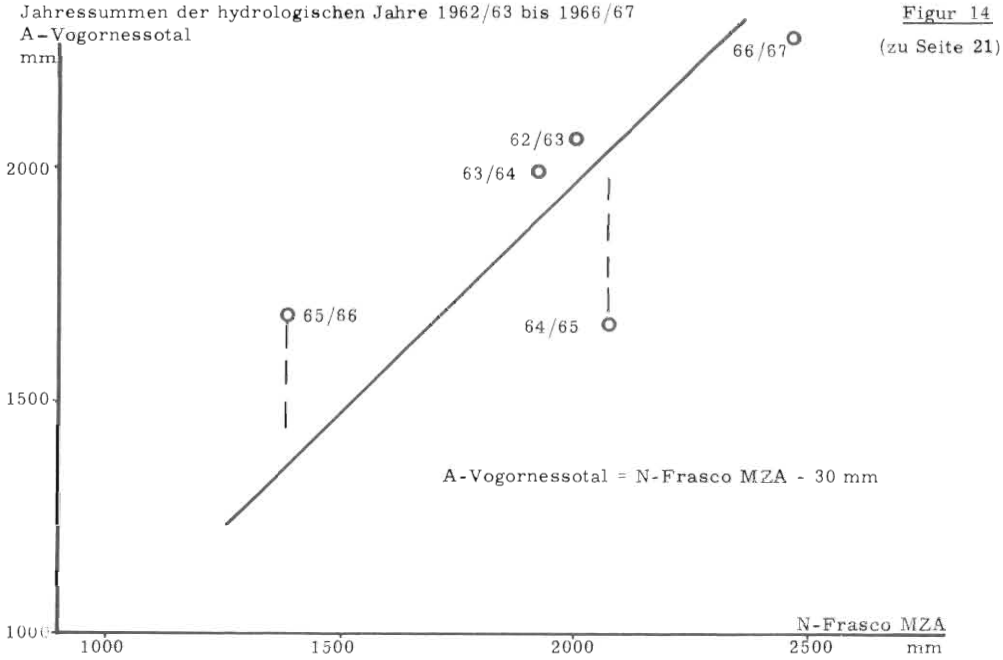


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Jahressummen der hydrologischen Jahre 1962/63 bis 1966/67

Figur 14

(zu Seite 21)

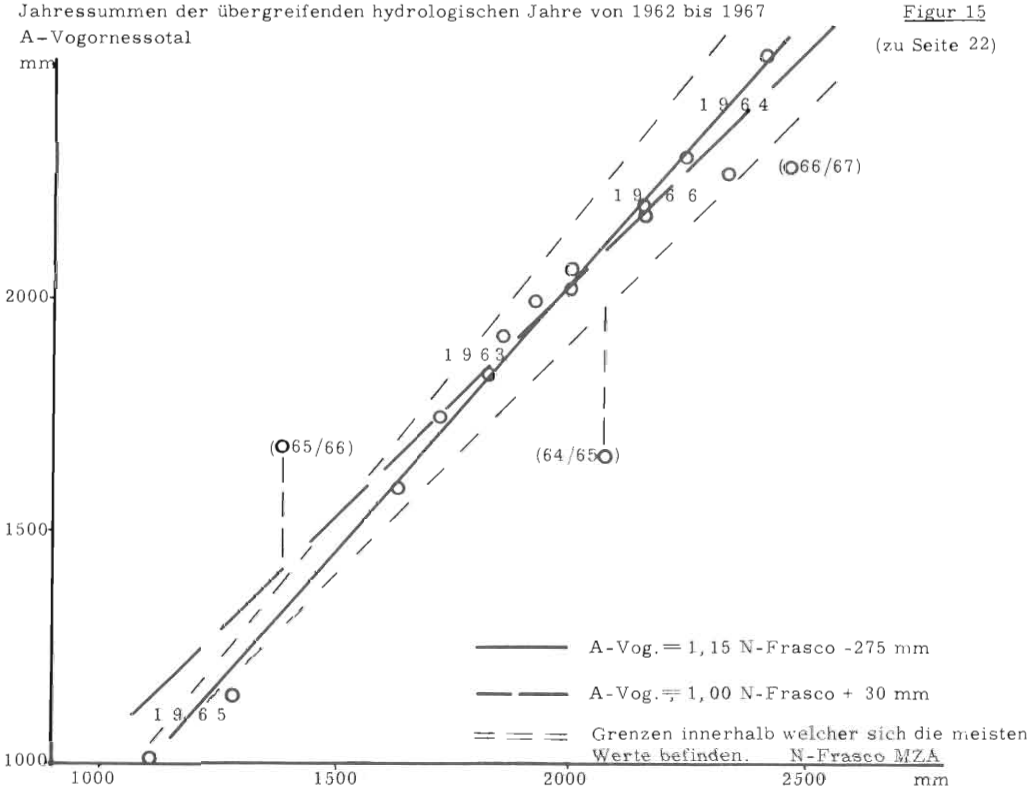


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Jahressummen der übergreifenden hydrologischen Jahre von 1962 bis 1967

Figur 15

(zu Seite 22)

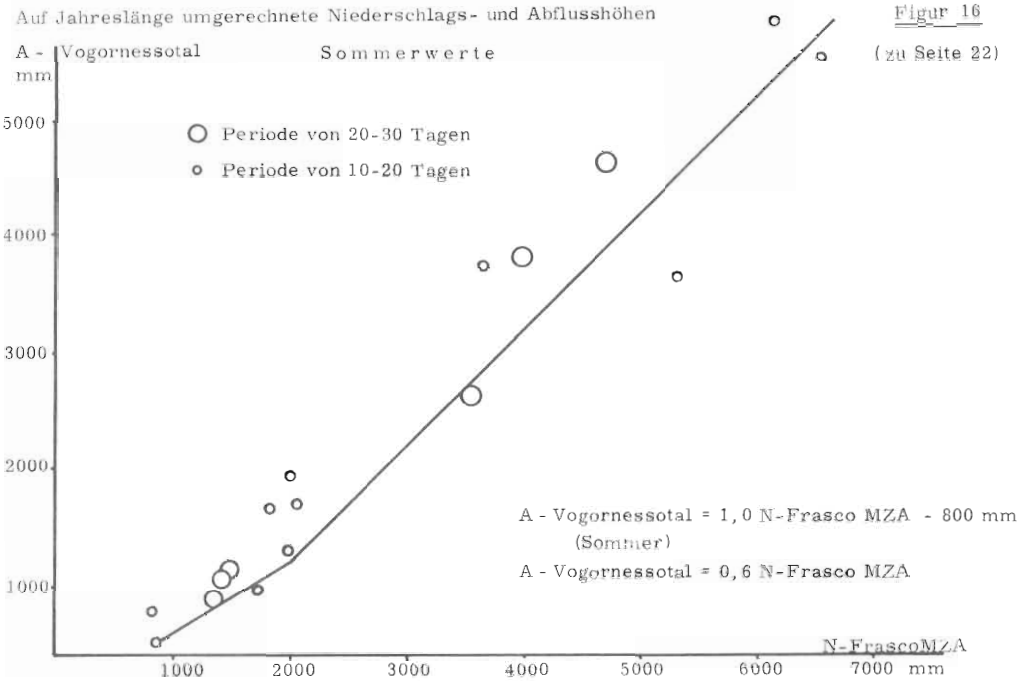


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Auf Jahreslänge umgerechnete Niederschlags- und Abflusshöhen

Figur 16

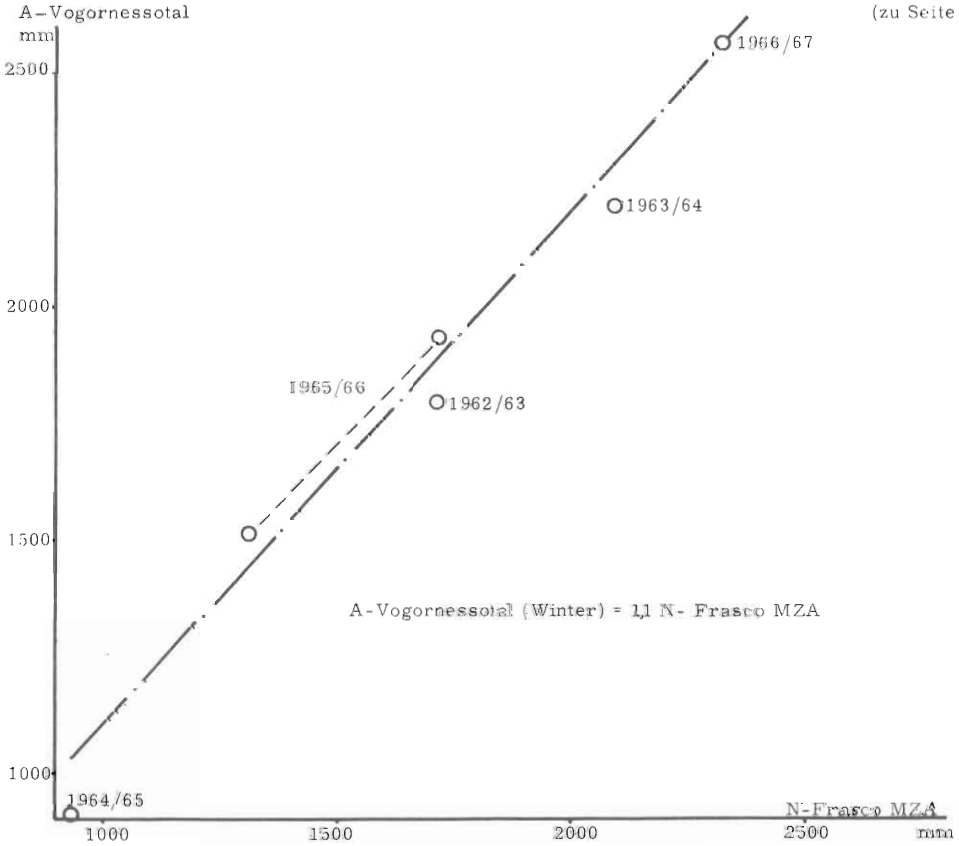
(zu Seite 22)



Auf Jahreslänge umgerechnete Winterniederschlags- und Winterabflusshöhen

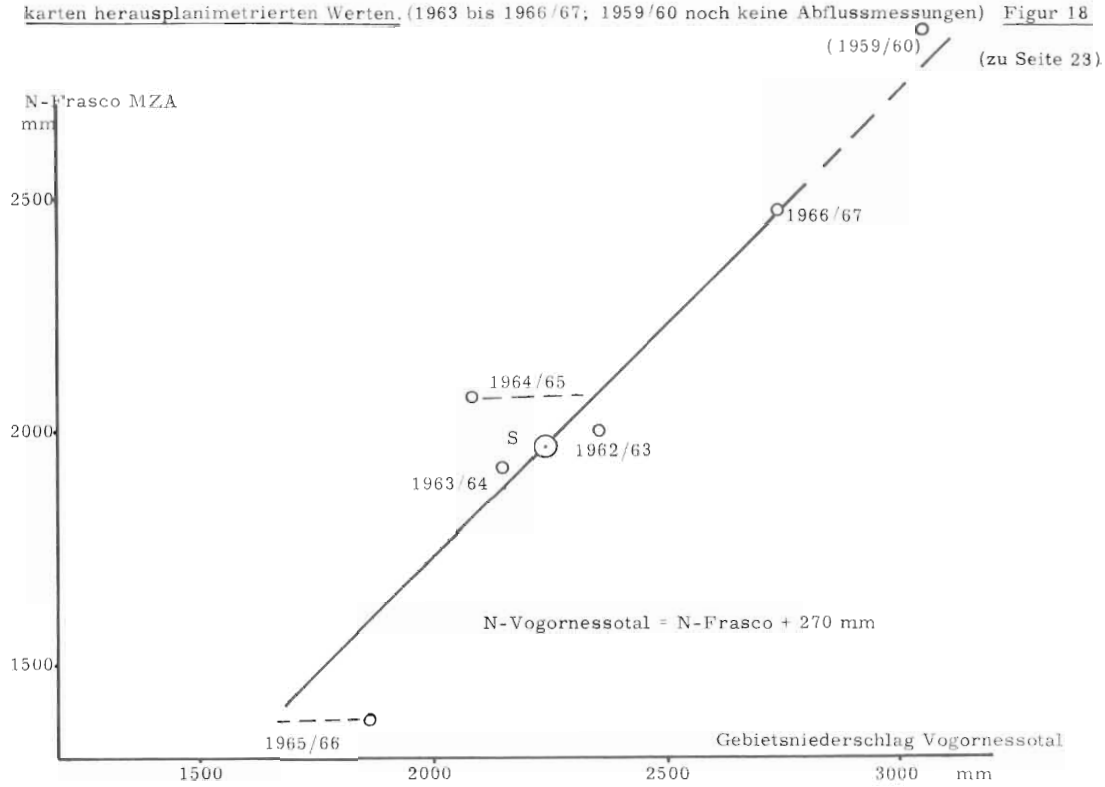
Figur 17

(zu Seite 23)



Vergleich zwischen den in Frasco MZA gemessenen Niederschlägen und den aus den Niederschlagskarten herausplanimetrierten Werten. (1963 bis 1966/67; 1959/60 noch keine Abflussmessungen) Figur 18

(zu Seite 23)

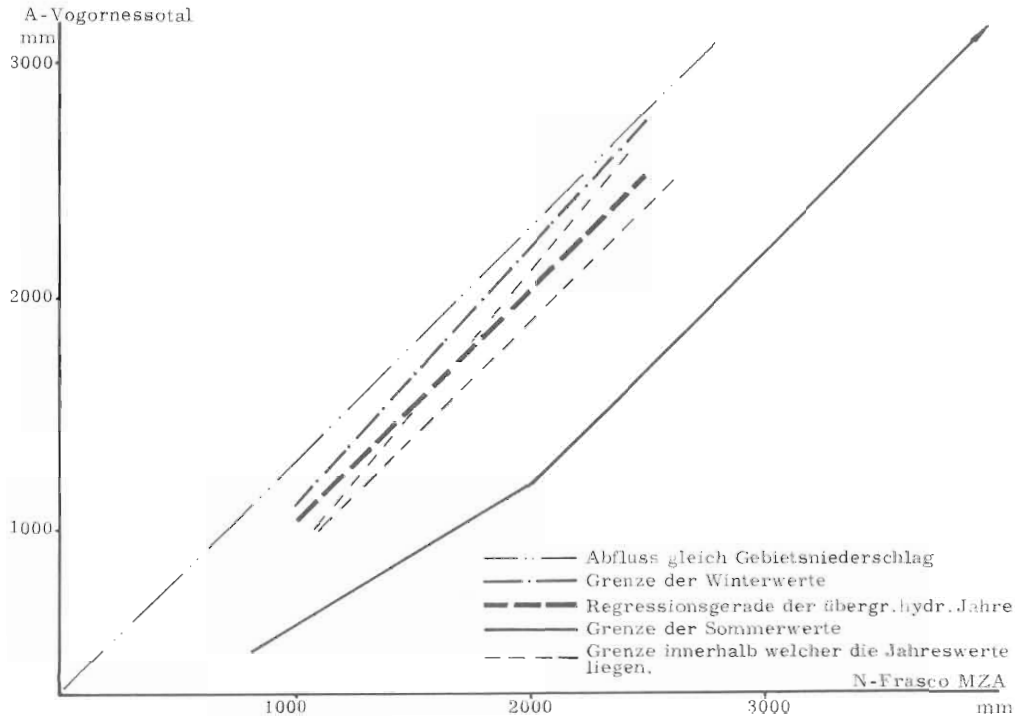


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Vogornessotal von den Niederschlägen

Figur 19

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen.

(zu Seite 23)

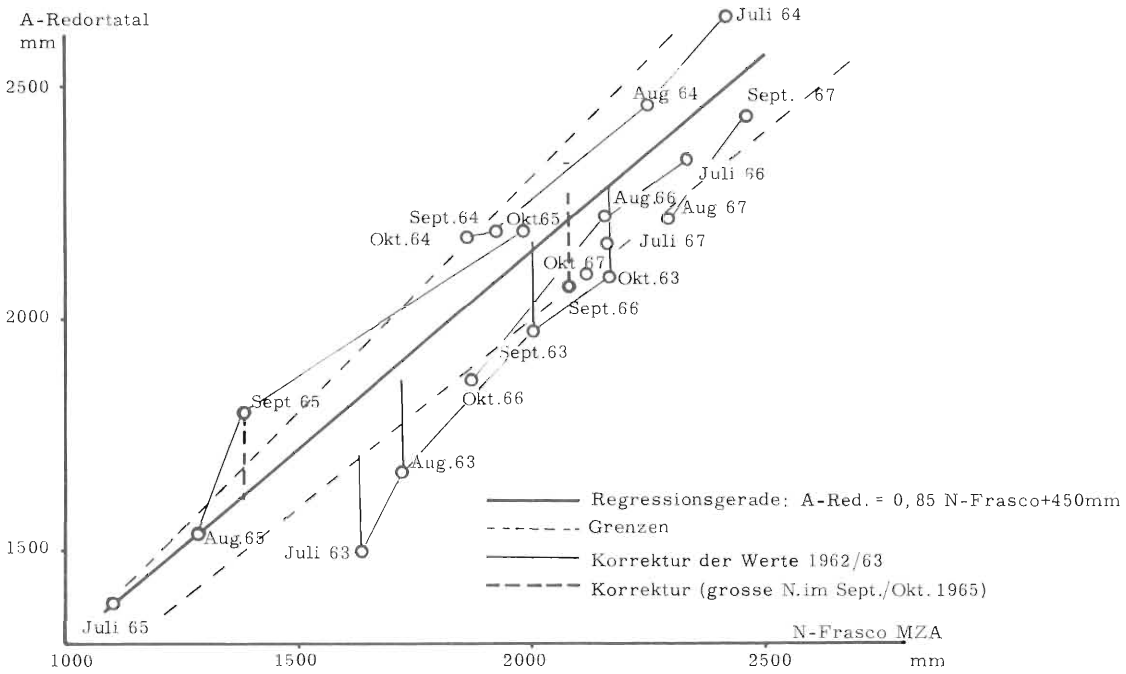


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Jahressummen der übergreifenden hydrologischen Jahre 1962/63 bis 1966/67

Figur 20

(zu Seite 24)

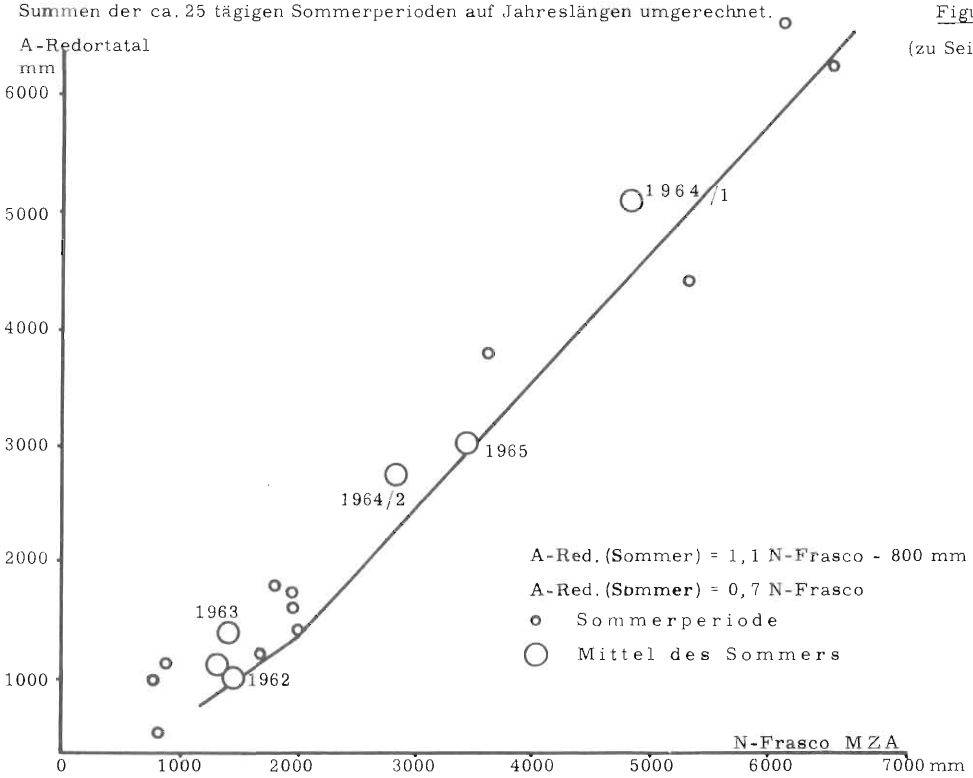


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Summen der ca. 25 tägigen Sommerperioden auf Jahreslängen umgerechnet.

Figur 21

(zu Seite 25)

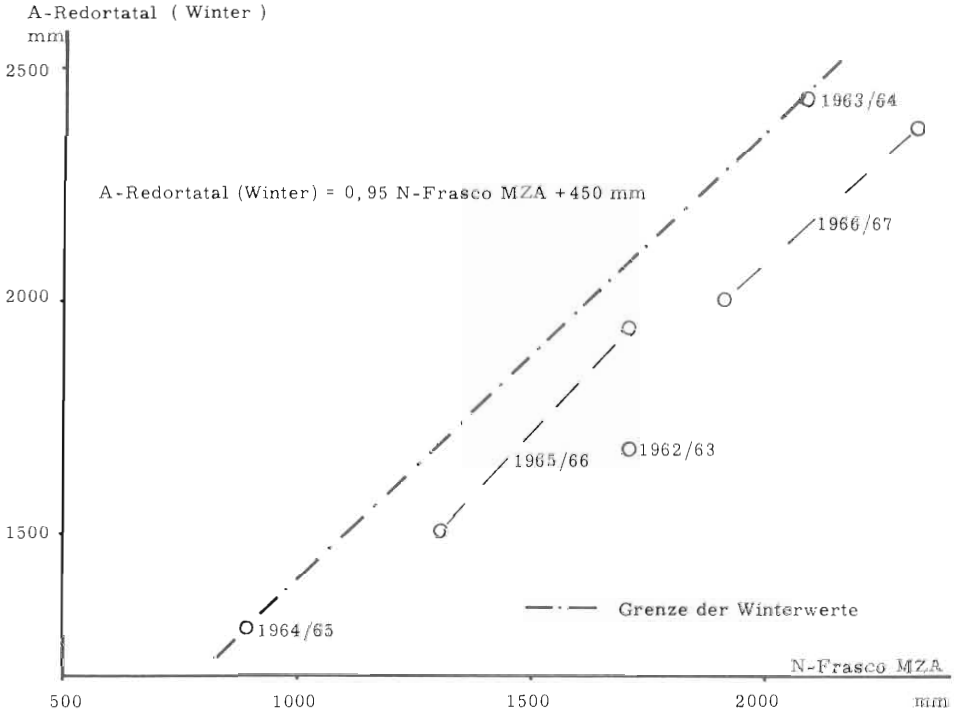


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Auf Jahreslänge umgerechnete Winterniederschlags- und Winterabflusshöhen

Figur 22

(zu Seite 25)

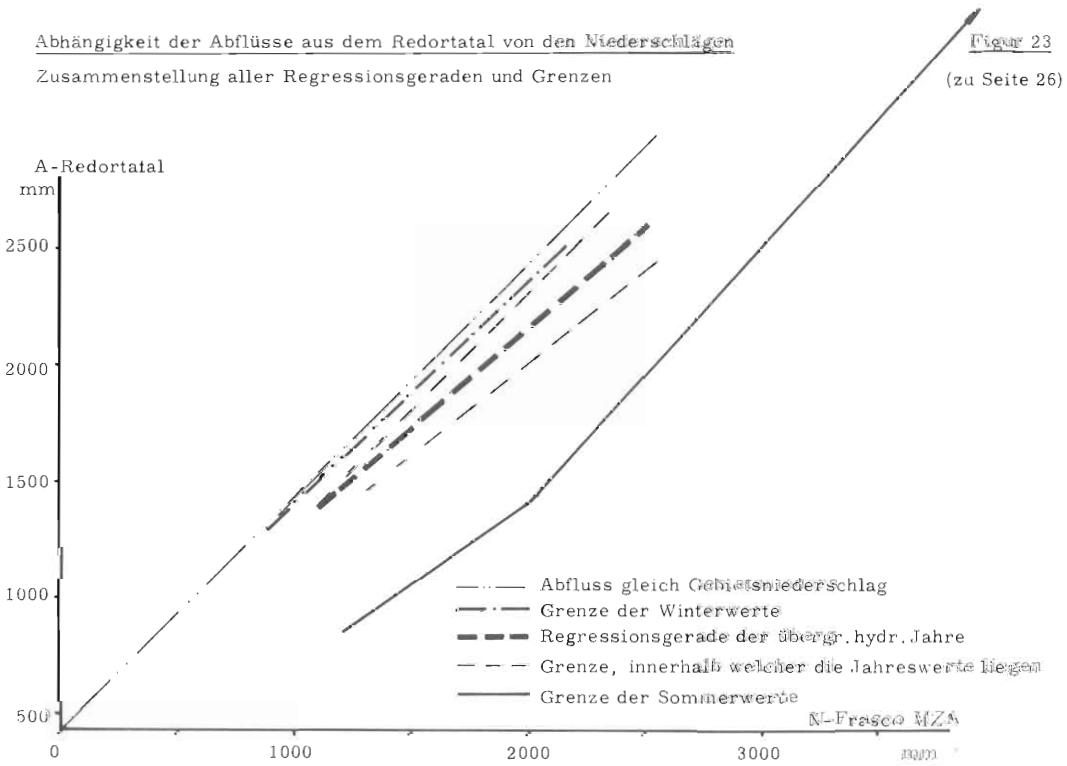


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Redortatal von den Niederschlägen

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

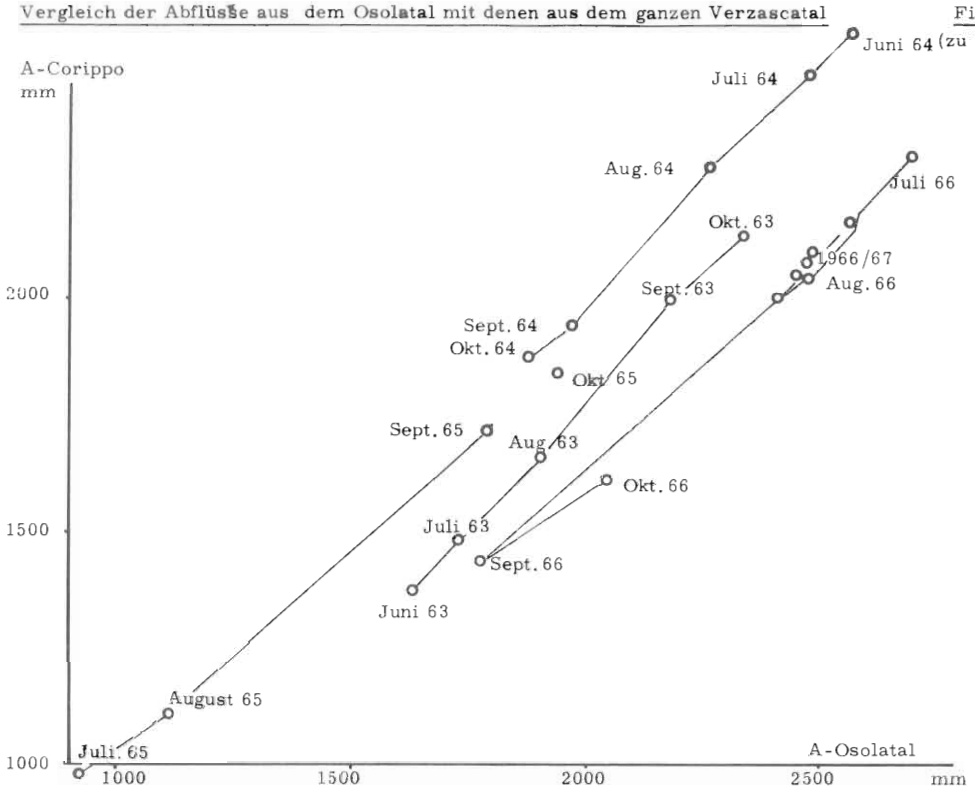
Figur 23

(zu Seite 26)



Vergleich der Abflüsse aus dem Osolatal mit denen aus dem ganzen Verzascatal

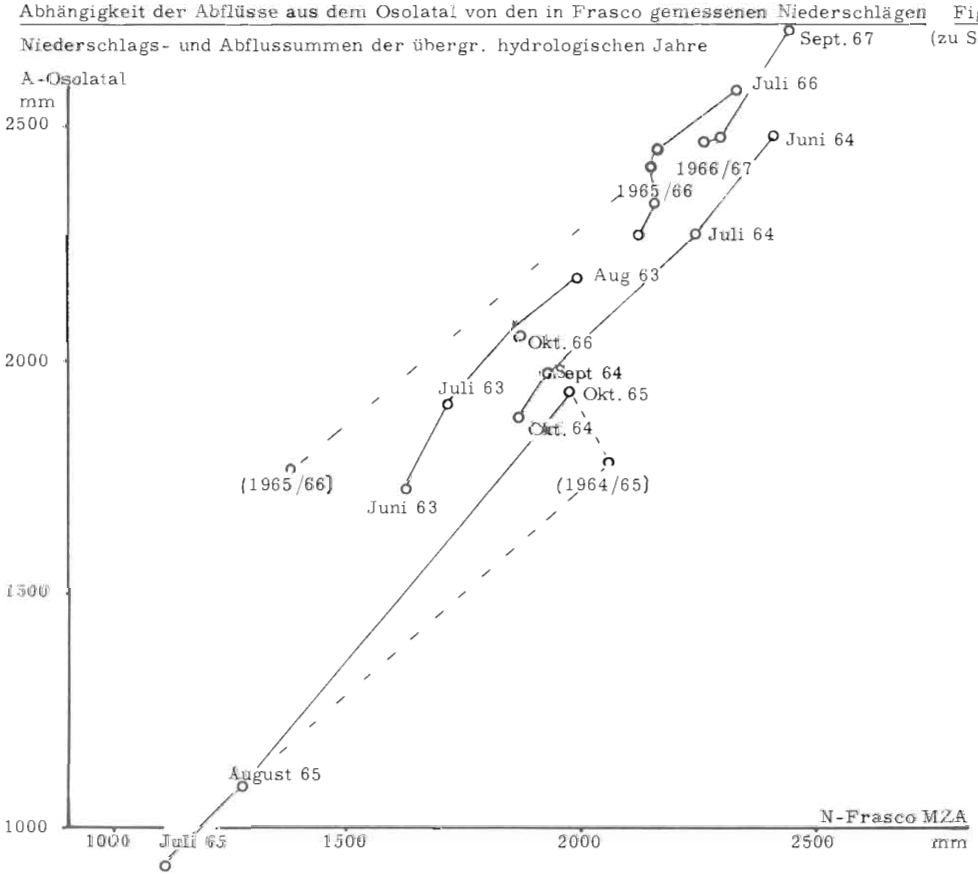
Figur 24 (zu Seite 27)



Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

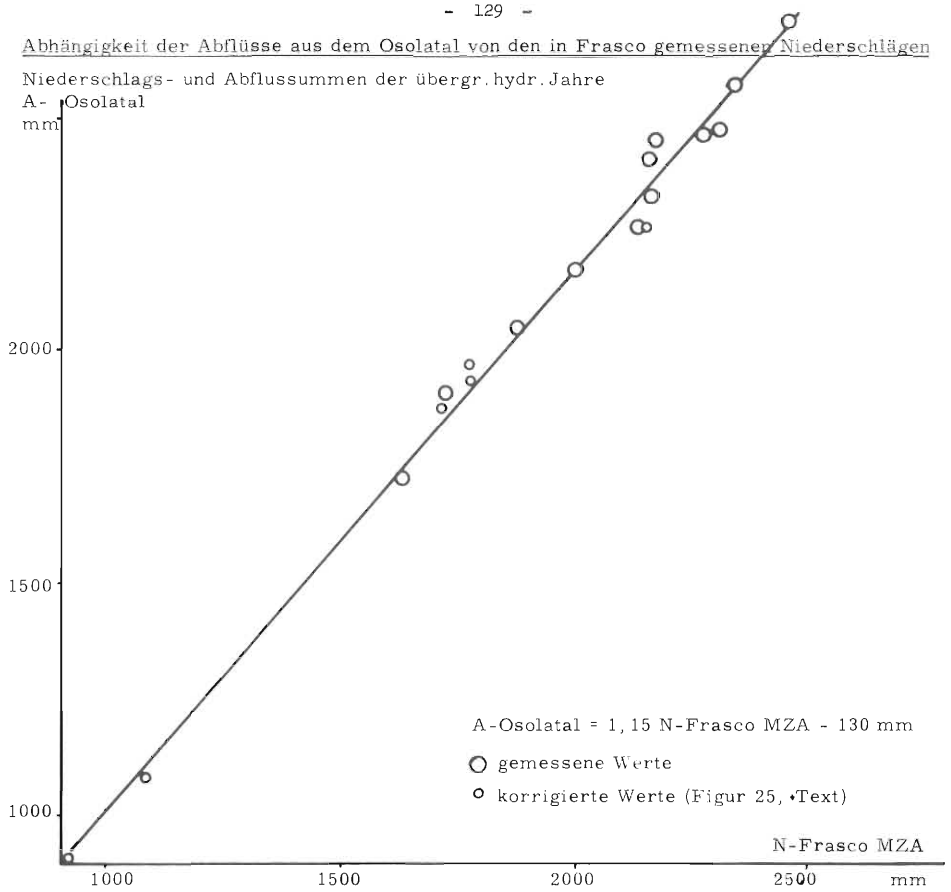
Figur 25 (zu Seite 27)

Niederschlags- und Abflussummen der übergr. hydrologischen Jahre



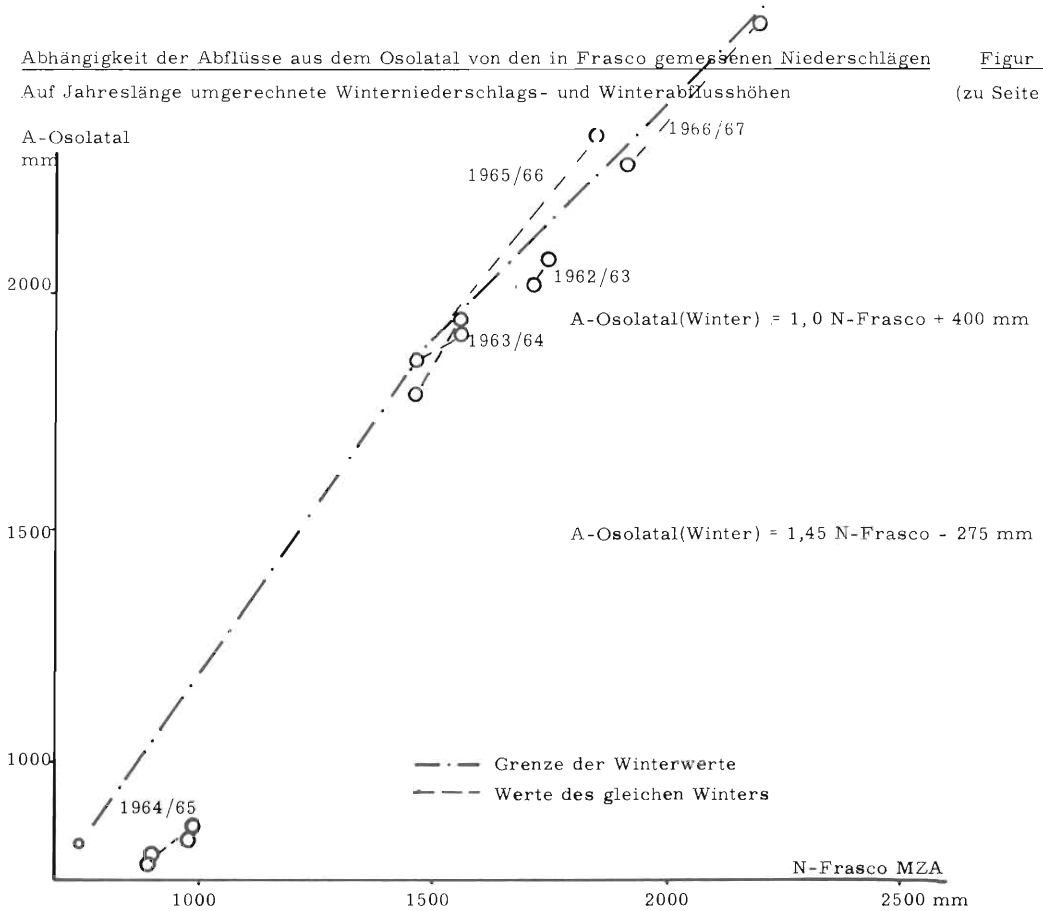
Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen — Figur 26

Niederschlags- und Abflussummen der übergr. hydr. Jahre — (zu Seite 27)



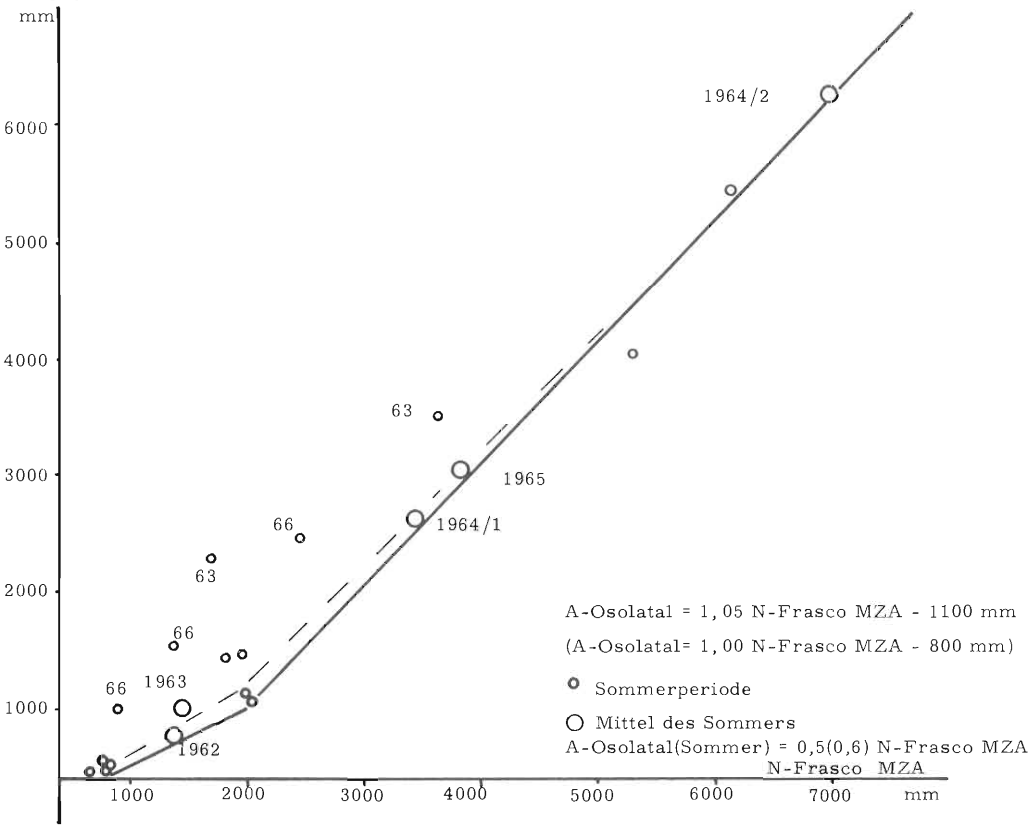
Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen — Figur 27

Auf Jahreslänge umgerechnete Winterniederschlags- und Winterabflusshöhen — (zu Seite 28)

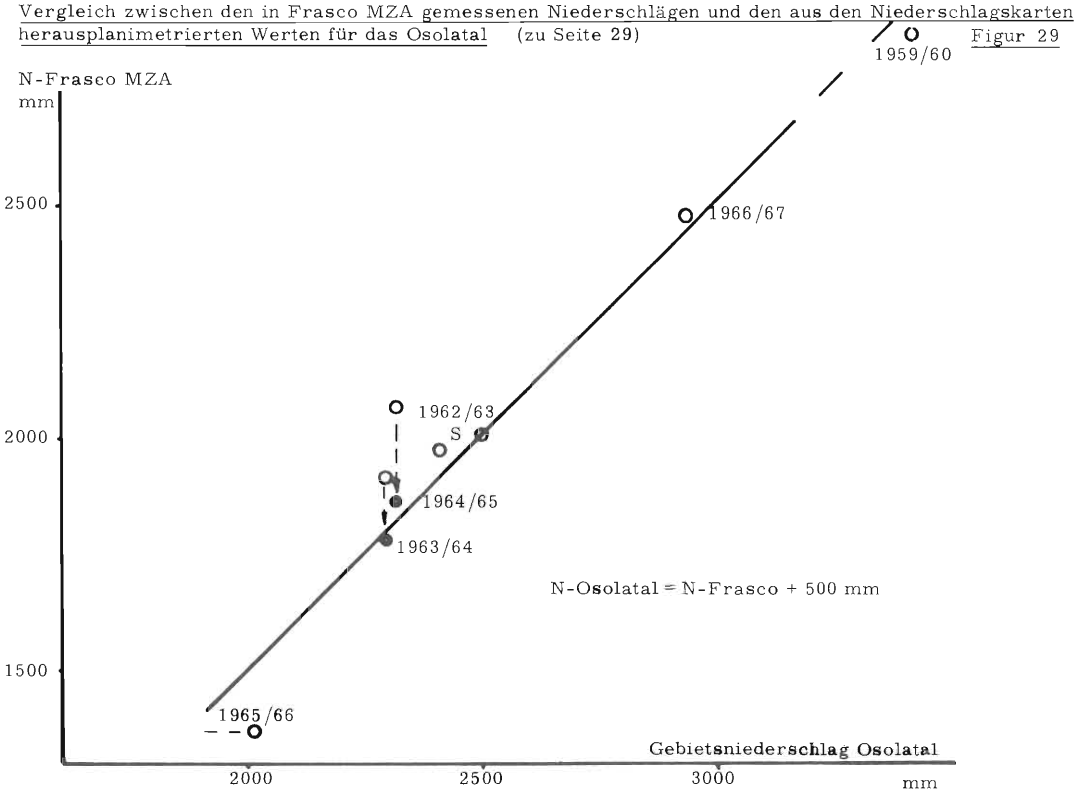


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den in Frasco gemessenen Niederschlägen Figur 28

Summen der ca. 25tägigen Sommerperioden auf Jahreslängen umgerechnet. (zu Seite 28)

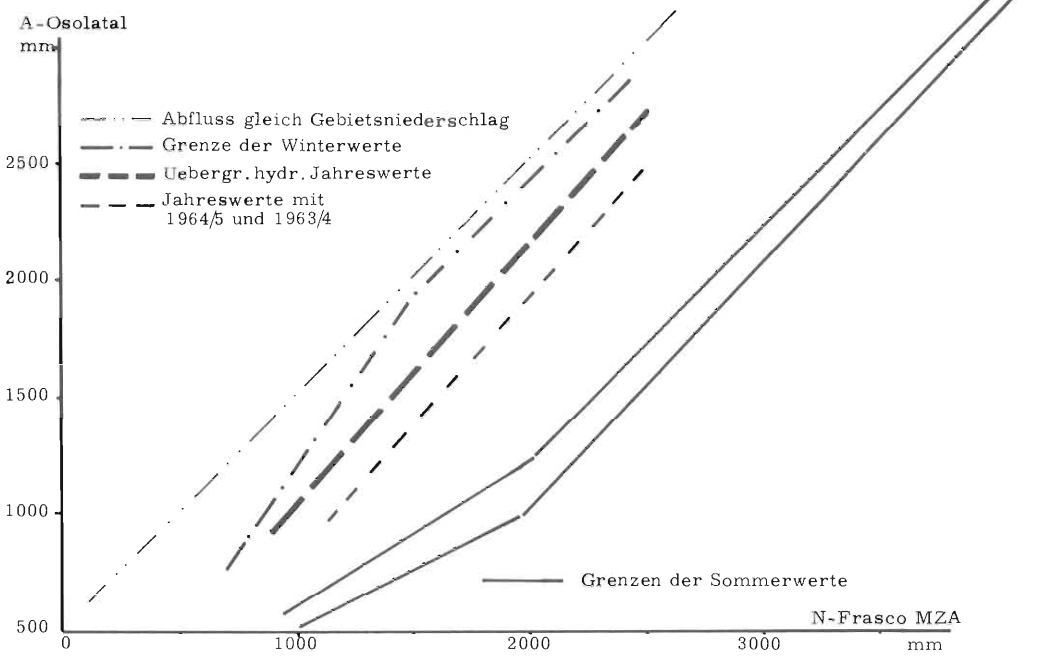


Vergleich zwischen den in Frasco MZA gemessenen Niederschlägen und den aus den Niederschlagskarten herausplanimetrierten Werten für das Osolatal (zu Seite 29) Figur 29



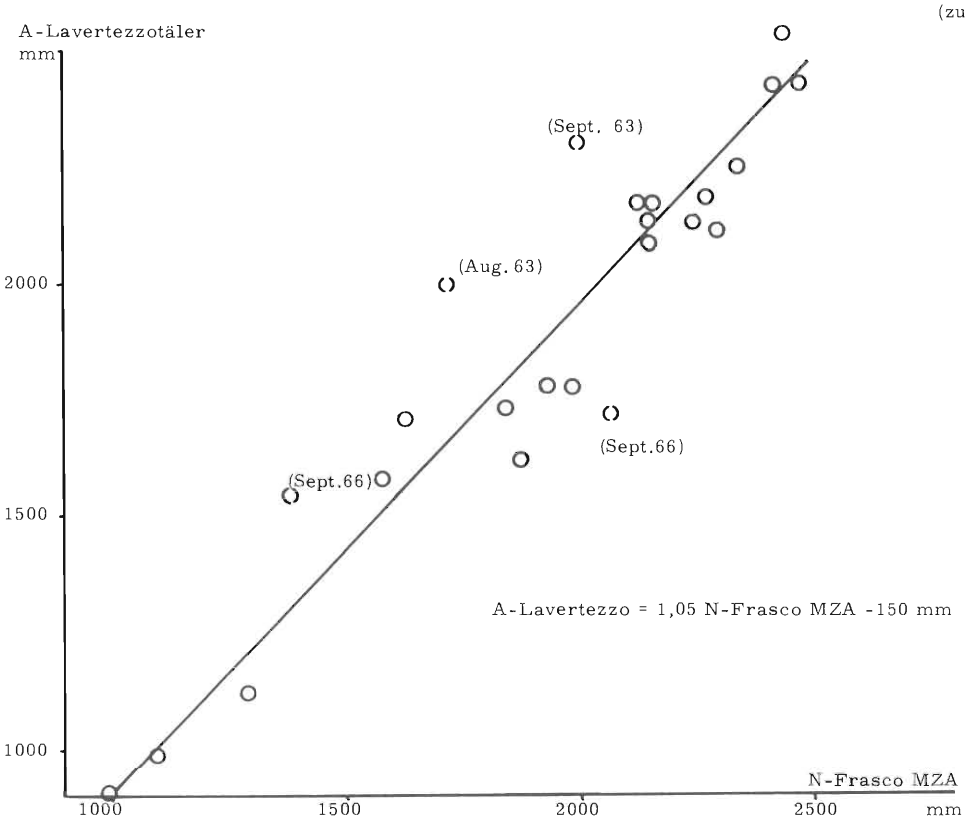
Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Osolatal von den Niederschlägen
Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen (zu Seite 29)

Figur 30



Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzotälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen.
Jahressummen der übergreifenden hydrologischen Jahre 1962/63 bis 1966/67

Figur 31
(zu Seite 30)

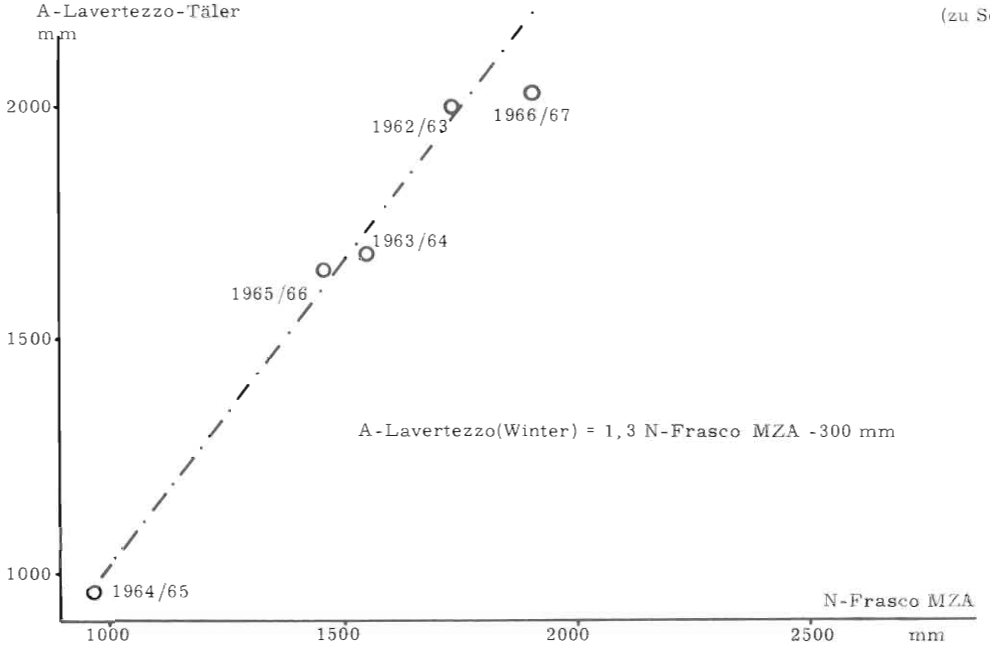


Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzo-Tälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Auf Jahreslänge umgerechnete Winterniederschlags- und Winterabflusshöhen

Figur 32

(zu Seite 31)

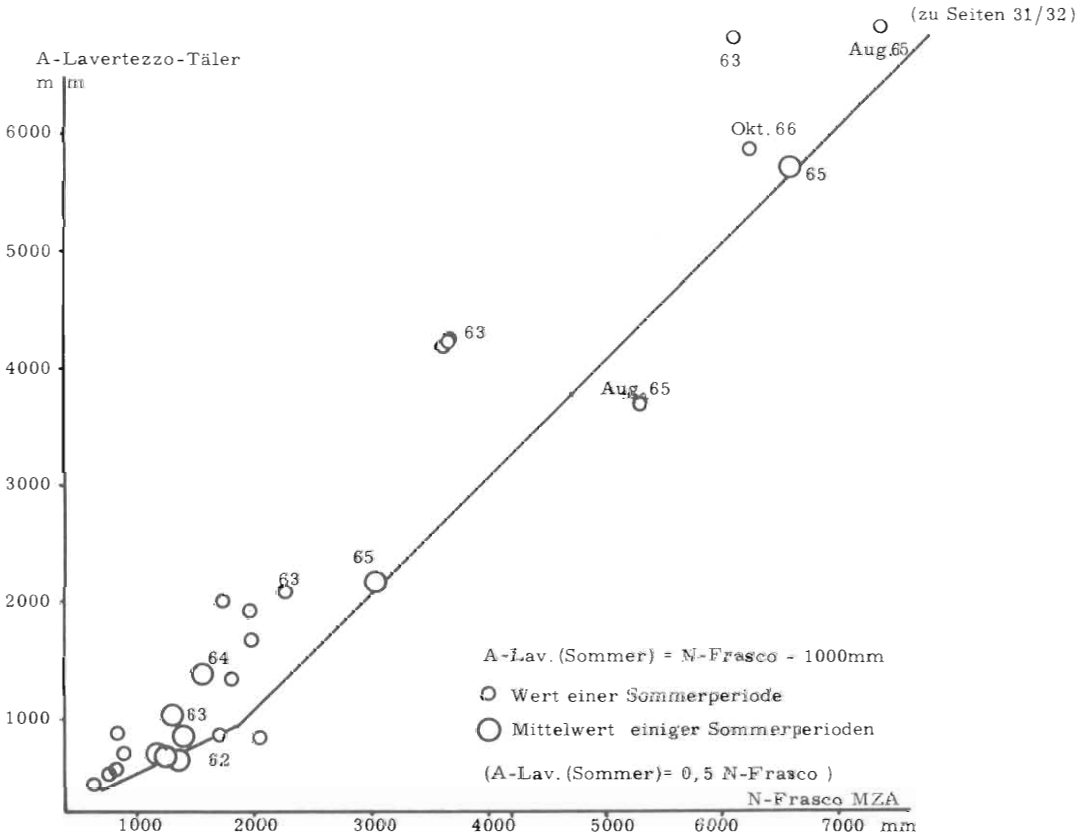


Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzo-Tälern von den in Frasco gemessenen Niederschlägen

Summen der ca. 25tägigen Sommerperioden auf Jahreslängen umgerechnet

Figur 33

(zu Seiten 31/32)

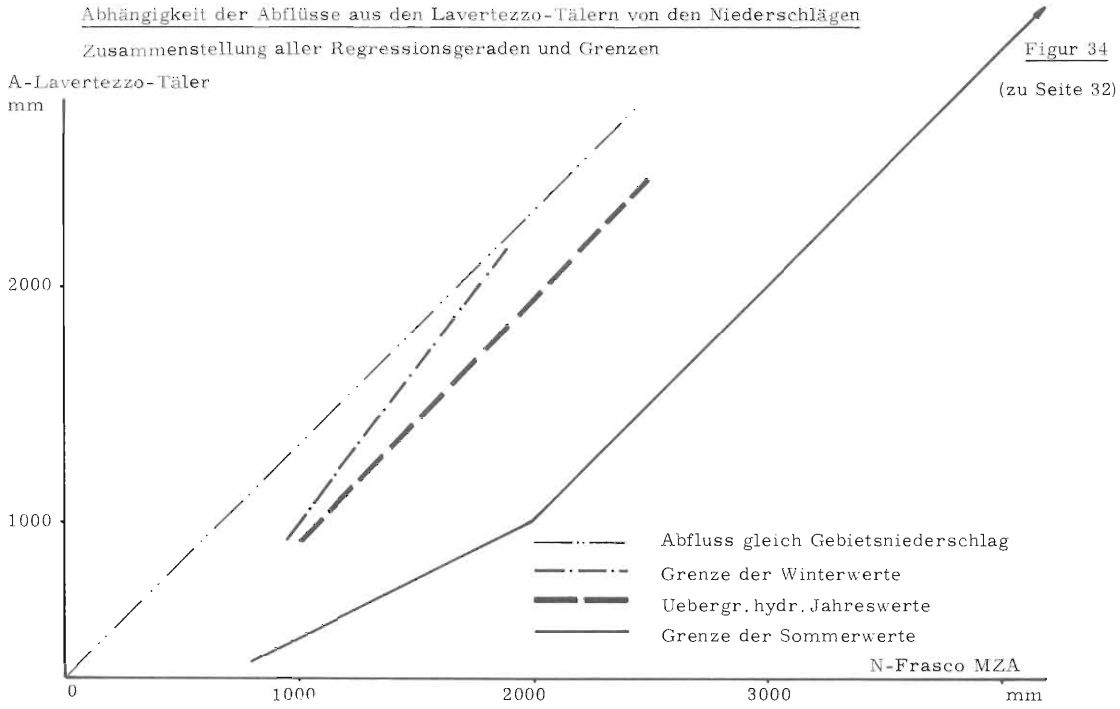


Abhängigkeit der Abflüsse aus den Lavertezzo-Tälern von den Niederschlägen

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

Figur 34

(zu Seite 32)

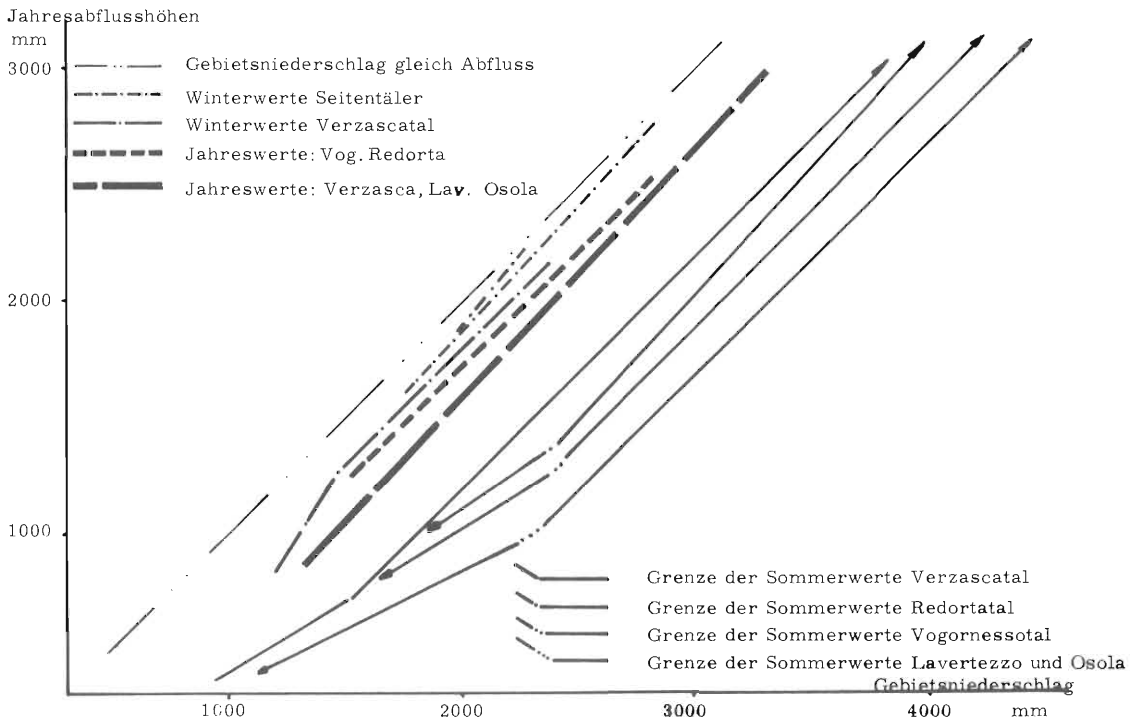


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Verzascatal und seinen Seitentälern von den Niederschlägen

Figur 35

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

(zu Seite 36)



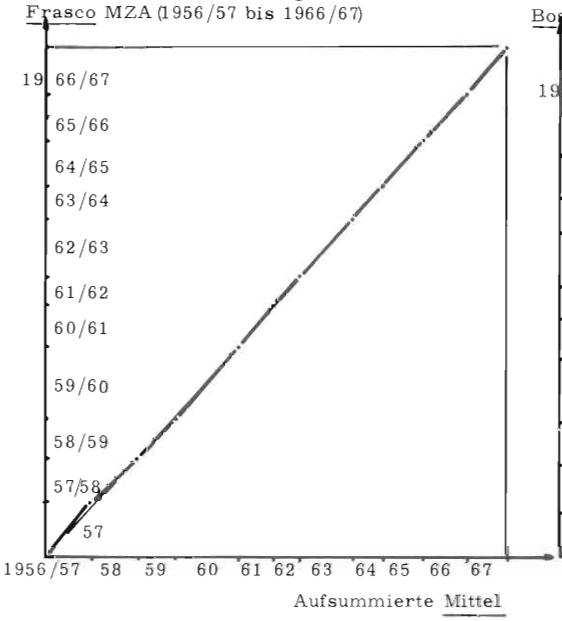
Kontrolle der Niederschlagsstationen Frasco, Bosco-Gurin und Mosogno

Vergleich mit den übrigen Niederschlagsstationen des Nordtessins

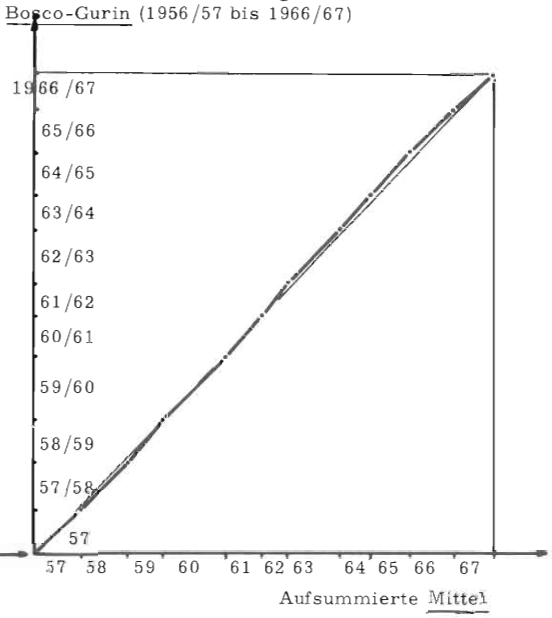
Figur 36

(zu Seite 39)

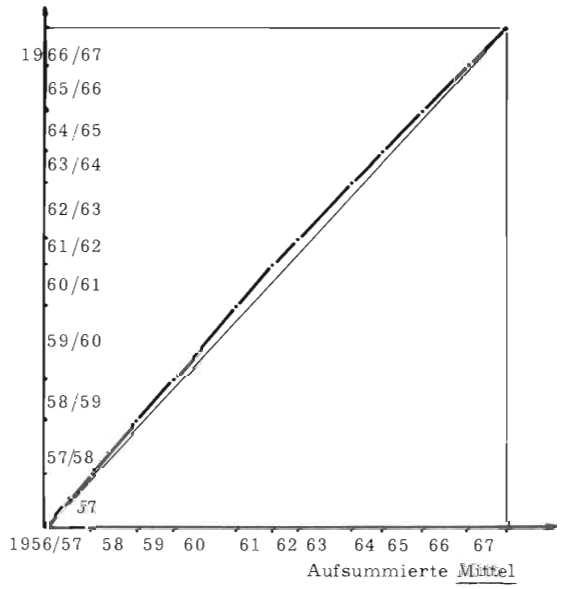
Aufsummierte Niederschläge von Frasco MZA (1956/57 bis 1966/67)



Aufsummierte Niederschläge von Bosco-Gurin (1956/57 bis 1966/67)



Aufsummierte Niederschläge von Mosogno (1956/57 bis 1966/67)

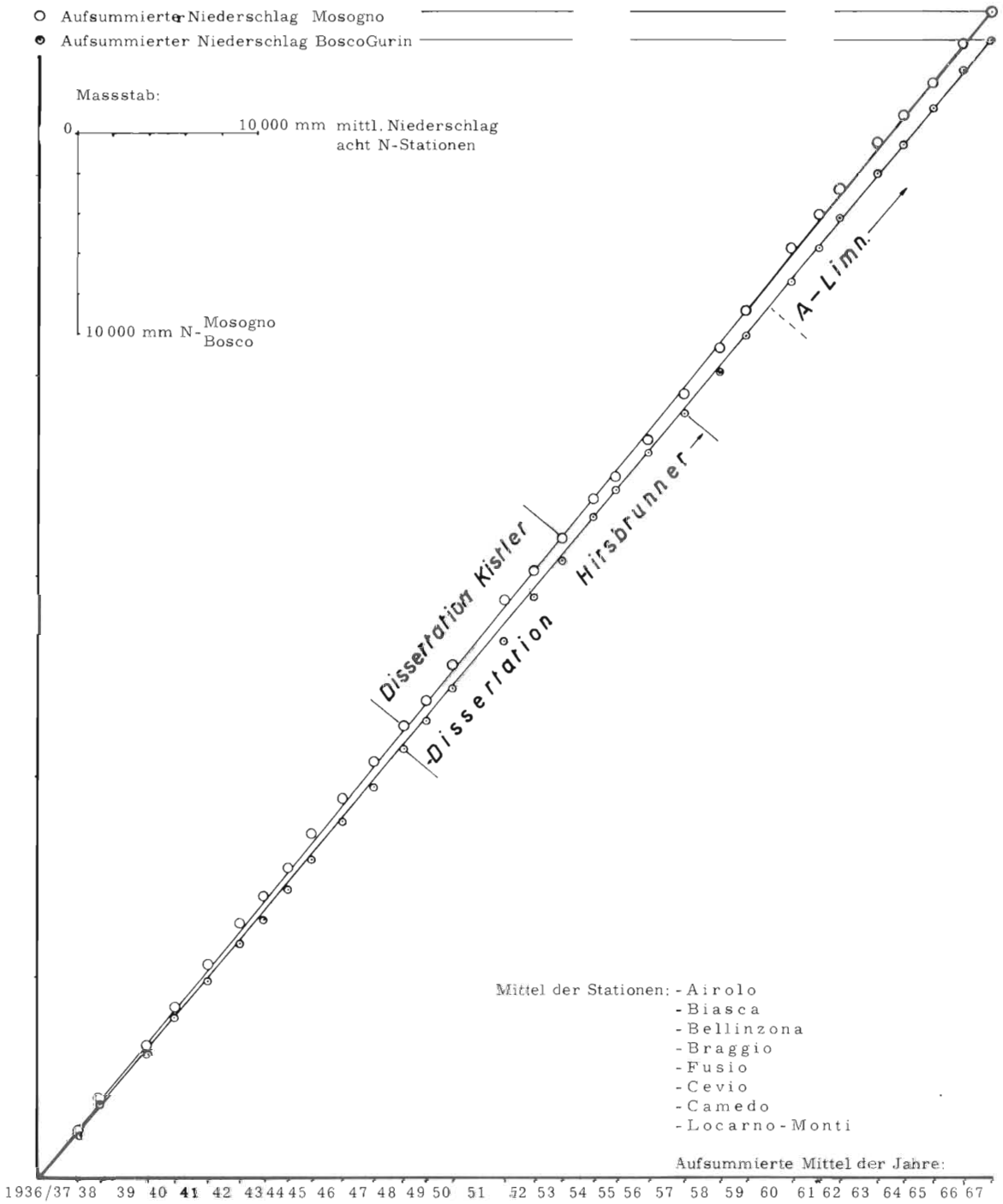


Die Mittel folgender Stationen wurden zur Kontrolle der drei Niederschlagsstationen für die hydrologischen Jahre 1956/57 bis 1966/67 aufsummiert:

- Airolo
- Biasca
- Bellinzona
- Frasco
- Fusio
- Cevio
- Bosco-Gurin
- Mosogno
- Camedo
- Locarno-Monti

Kontrolle der Niederschlagsstationen Bosco-Gurin und Mosogno 1936/37 bis 1966/67 Figur 37

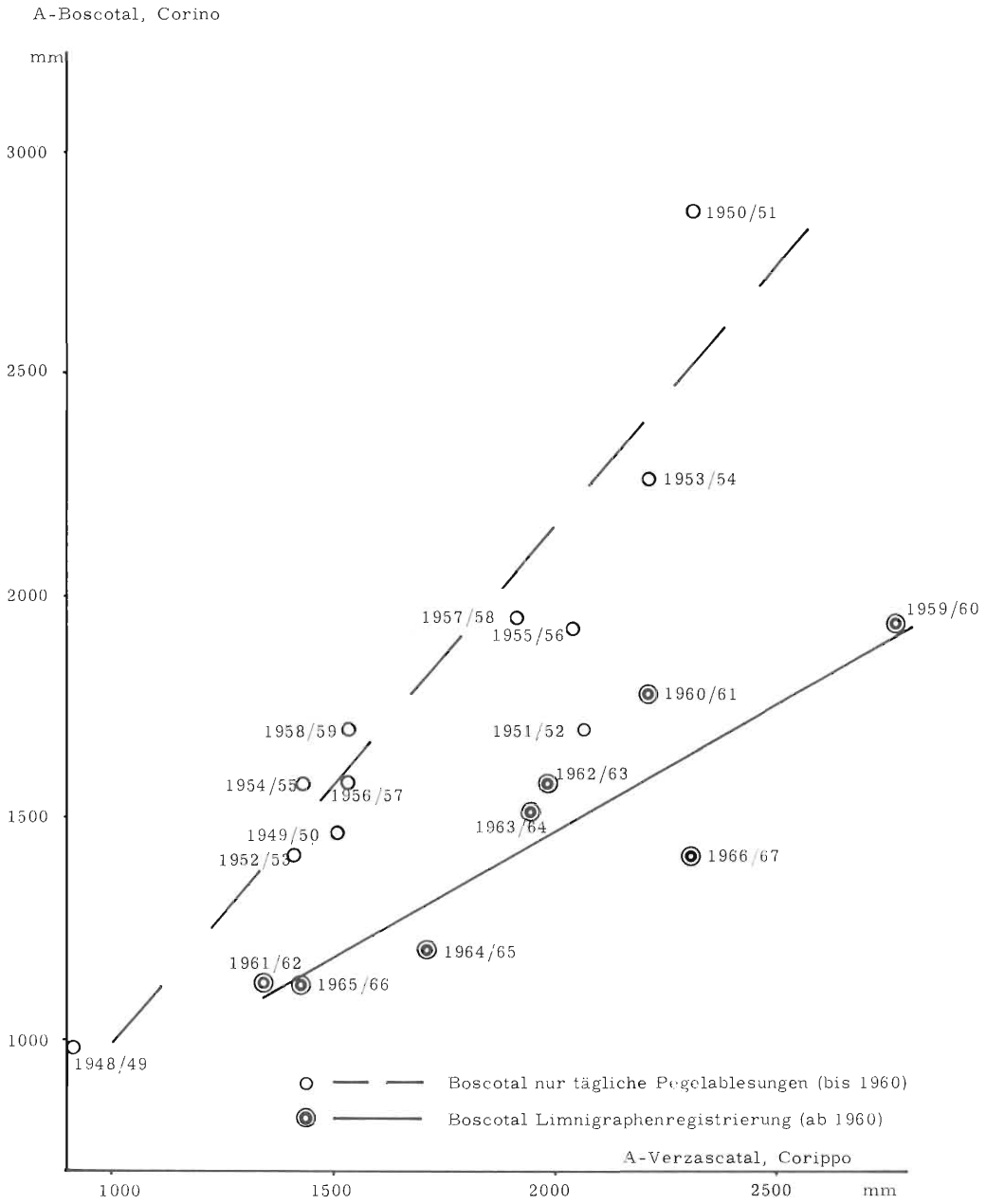
Vergleich mit den übrigen Niederschlagsstationen des Nordtessins (zu Seite 39)



Vergleich der Abflüsse aus dem Boscotal mit denjenigen aus dem Verzascatal — Figur 38

Jahressummen

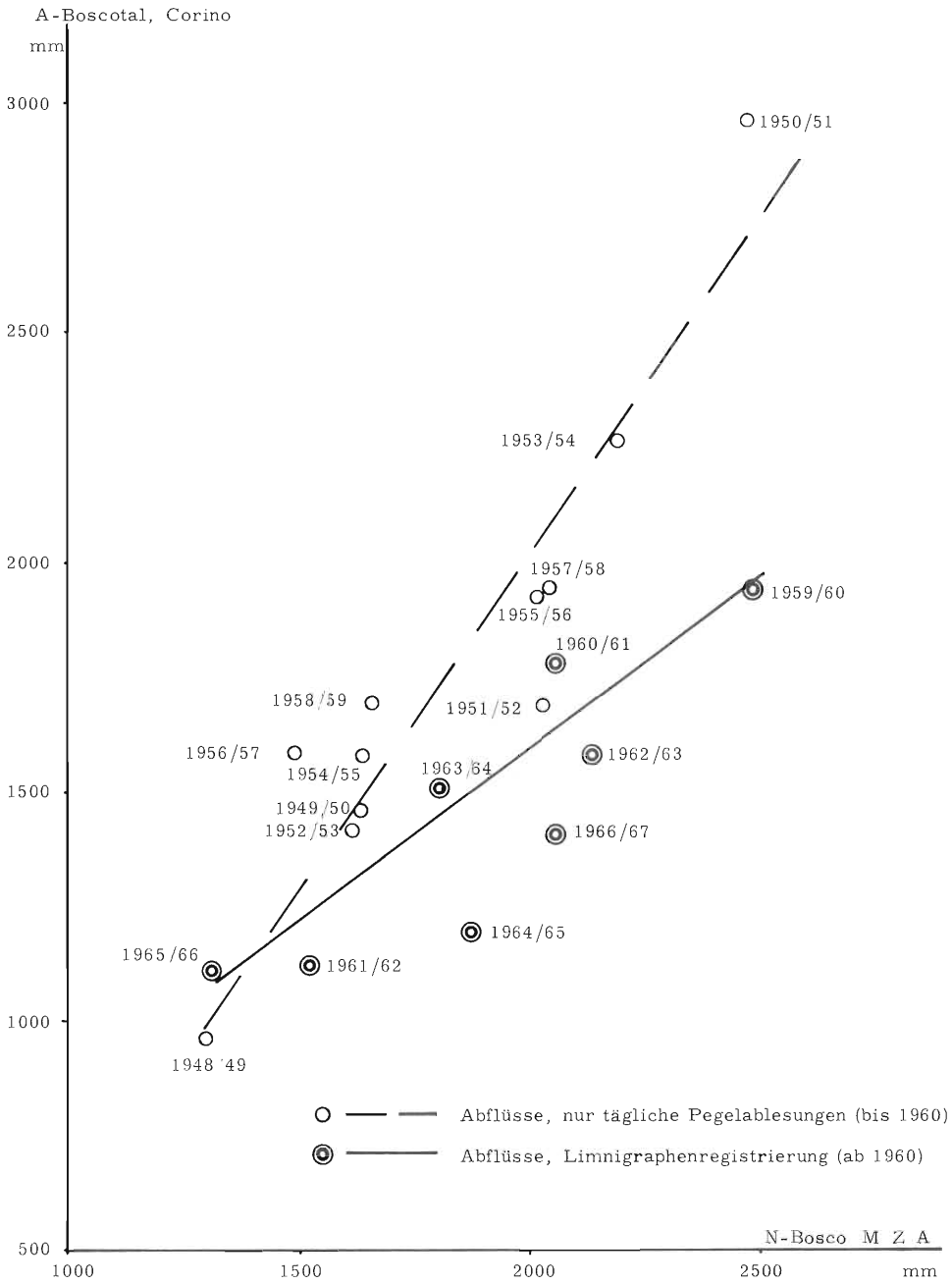
(zu Seite 41)



Alle gemessenen Abflüsse aus dem Boscotal im Vergleich zu den Niederschlägen in Bosco-Gurin

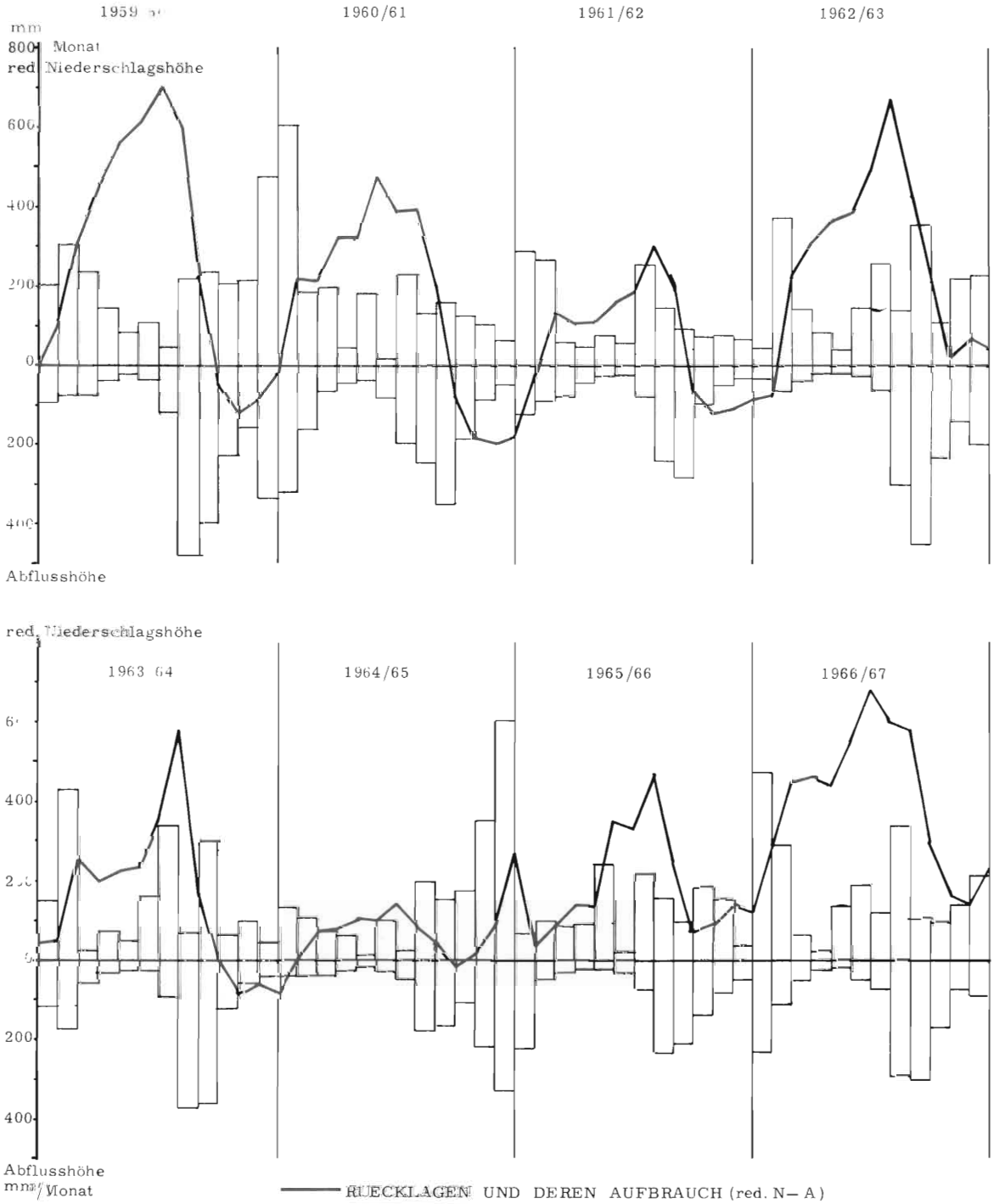
Jahressummen

(zu Seite 41) Figur 39



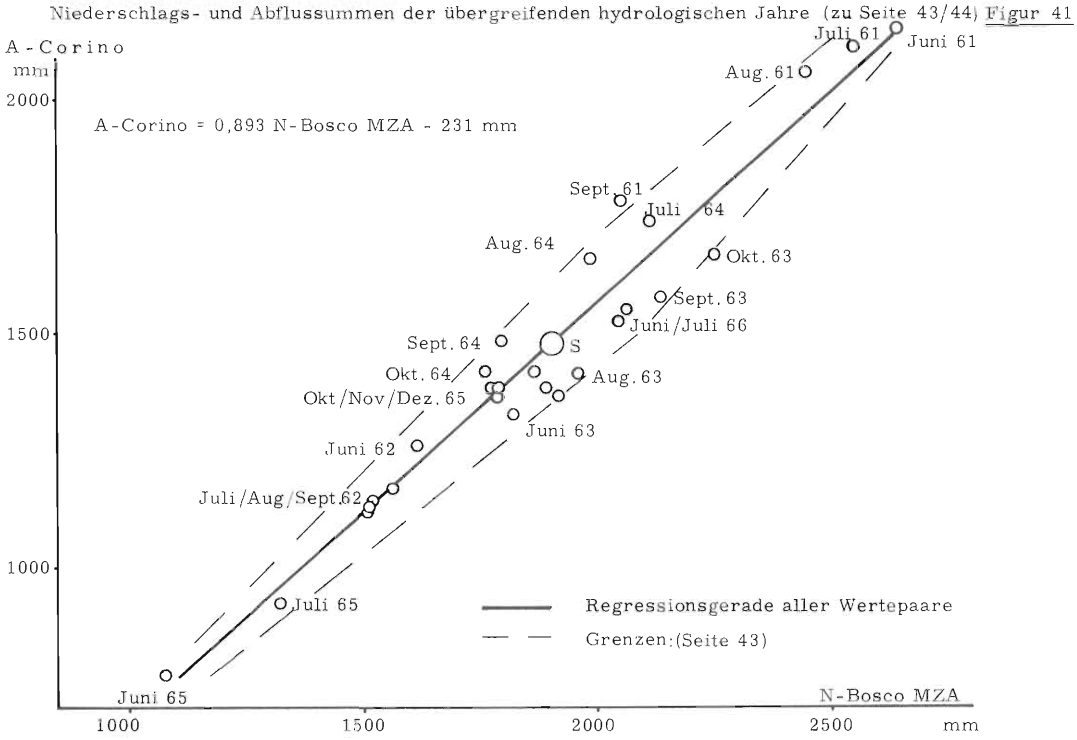
Monatlicher Gang von Niederschlag, Abfluss und ihrer Differenz (Rücklagen und deren Aufbrauch) Figur 40

Boscotal: Auf das Abflussmittel reduzierte Niederschläge von Bosco MZA (zu Seite 43)
Abflusshöhen von Corino



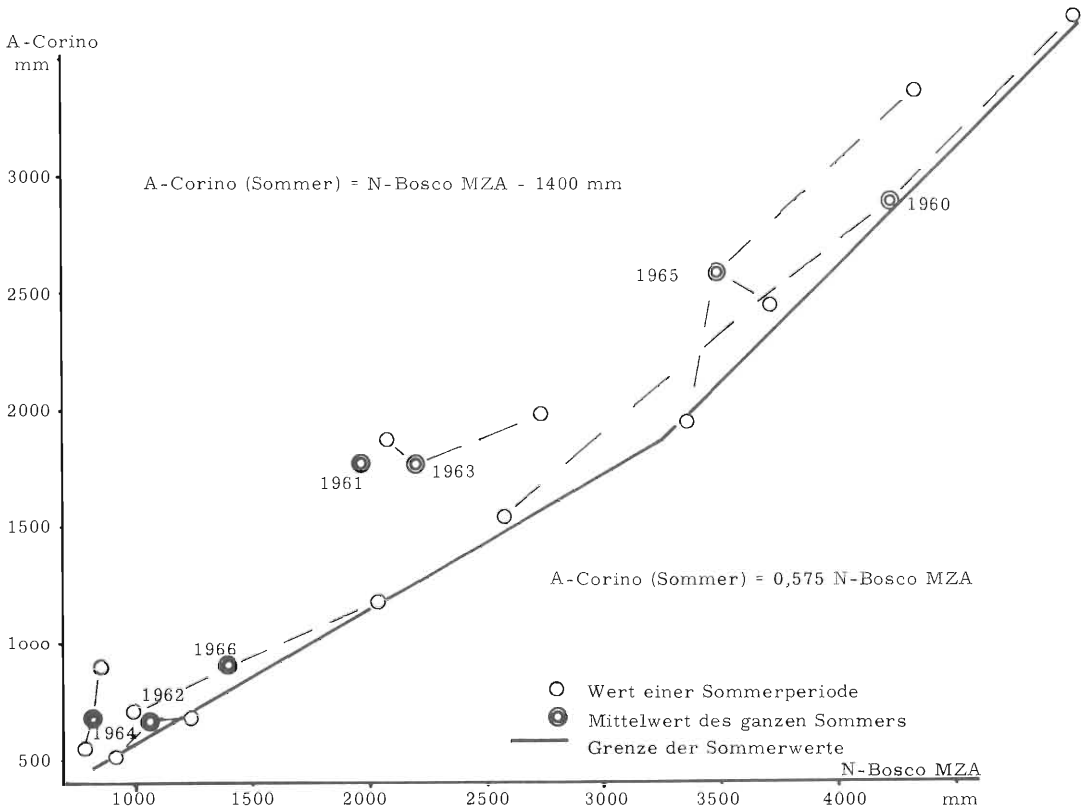
Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal von den in Bosco-Gurin MZA gemessenen Niederschlägen

Niederschlags- und Abflussummen der übergreifenden hydrologischen Jahre (zu Seite 43/44) Figur 41



Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal von den in Bosco-Gurin gemessenen Niederschlägen

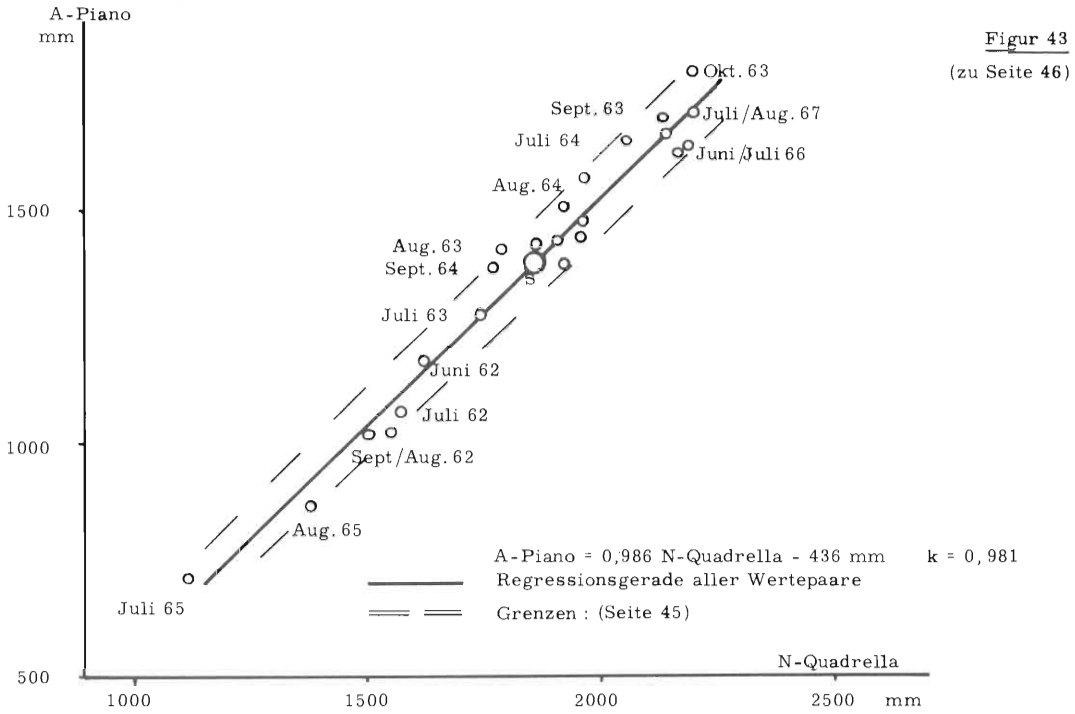
Werte der ca. 25tägigen Sommerperioden auf Jahreslänge umgerechnet (zu Seite 45) Figur 42



Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Campotal von den in Quadrella gemessenen Niederschlägen

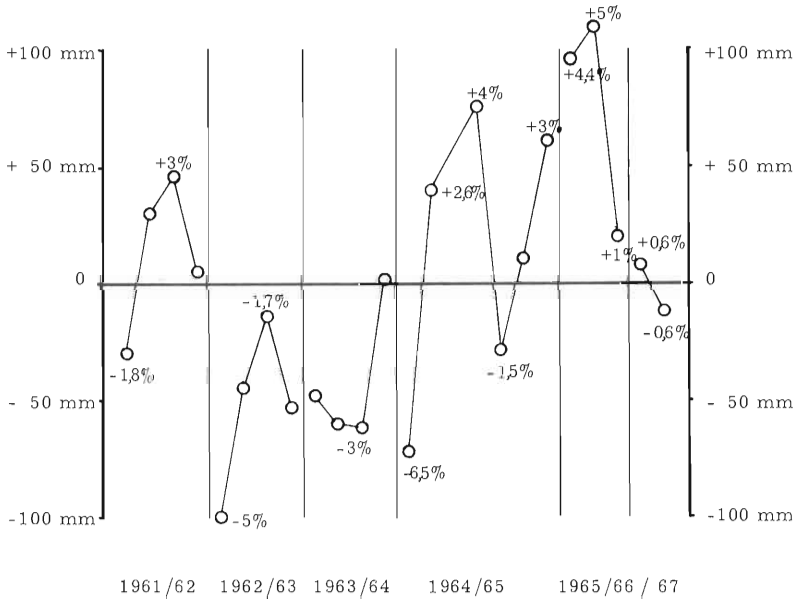
Niederschlags- und Abflussummen der übergreifenden hydrologischen Jahre (1961/62 bis 1966/67)

Figur 43
(zu Seite 46)



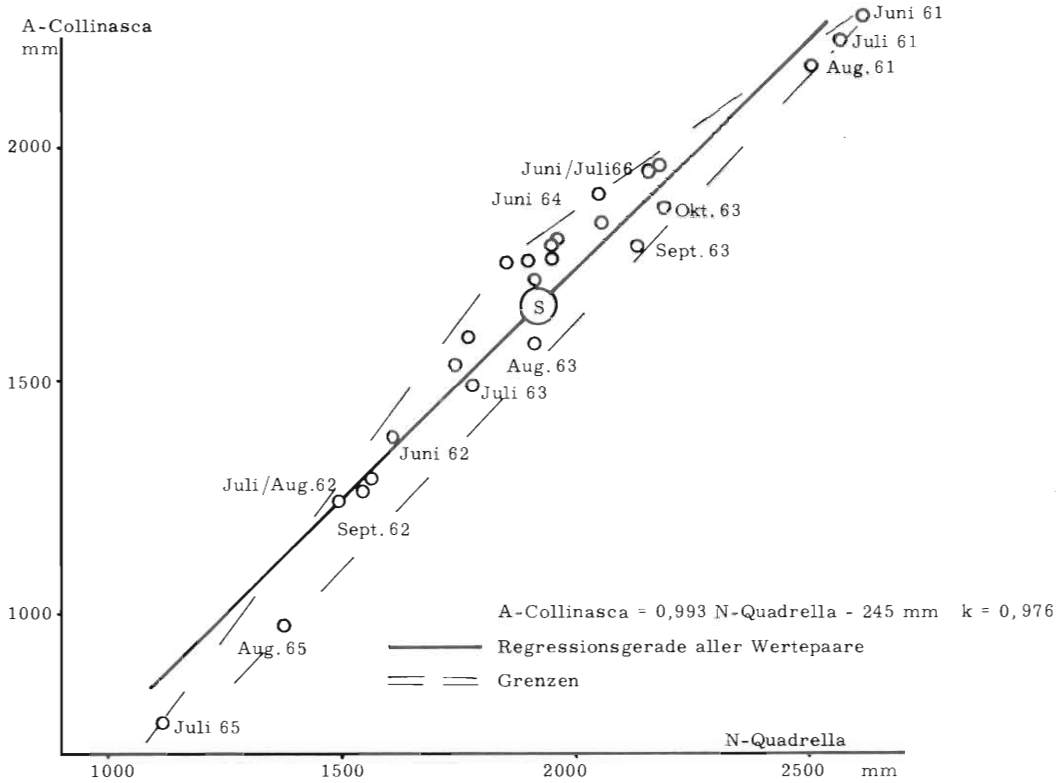
Residuen (=Abweichungen) der Abflusswerte von der Regressionsgeraden in Figur 43

Figur 44
(zu Seite 46)



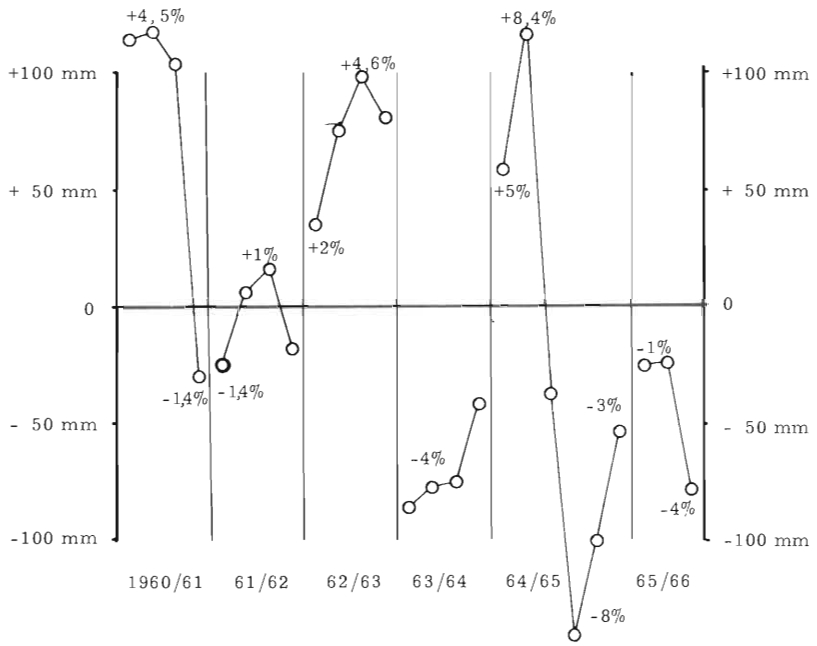
Abhängigkeit der Abflüsse aus den Rovanatälern von den in Quadrella gemessenen Niederschlägen

Niederschlags- und Abflussummen der übergr. hydr. Jahre (1960/61 bis 1965/66) zu Seite 47 Figur 45



Residuen (= Abweichungen) der Abflusswerte von der Regressionsgeraden in Figur 45 Figur 46

(zu Seite 47)

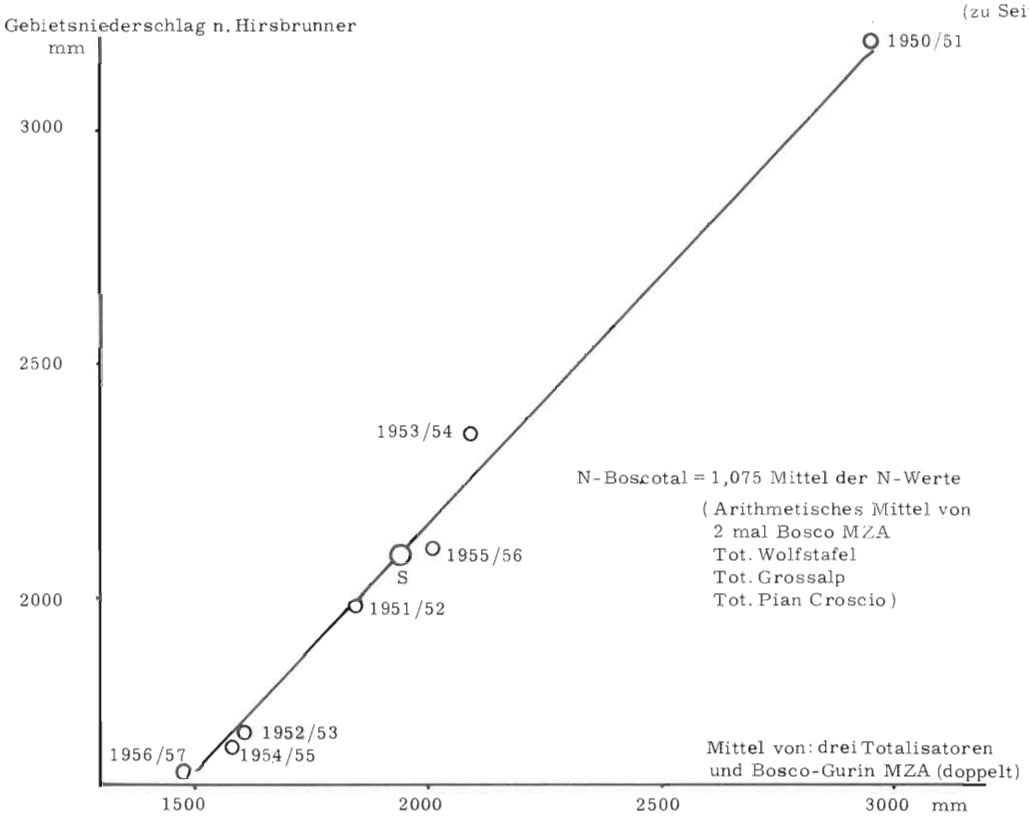


Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit dem Mittel der Totalisatorenwerte

Jahressummen BOSCOTAL

Figur 47

(zu Seite 47)



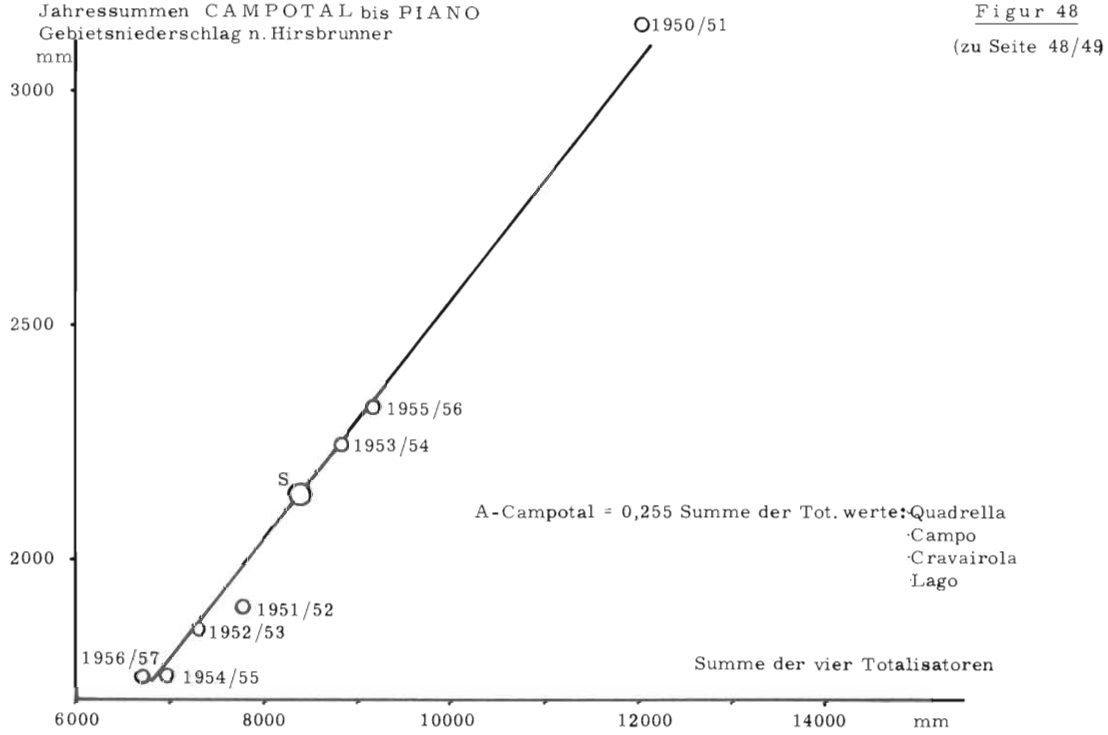
Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit der Summe der Totalisatorenwerte

Jahressummen CAMPOTAL bis PIANO

Gebietsniederschlag n. Hirsbrunner

Figur 48

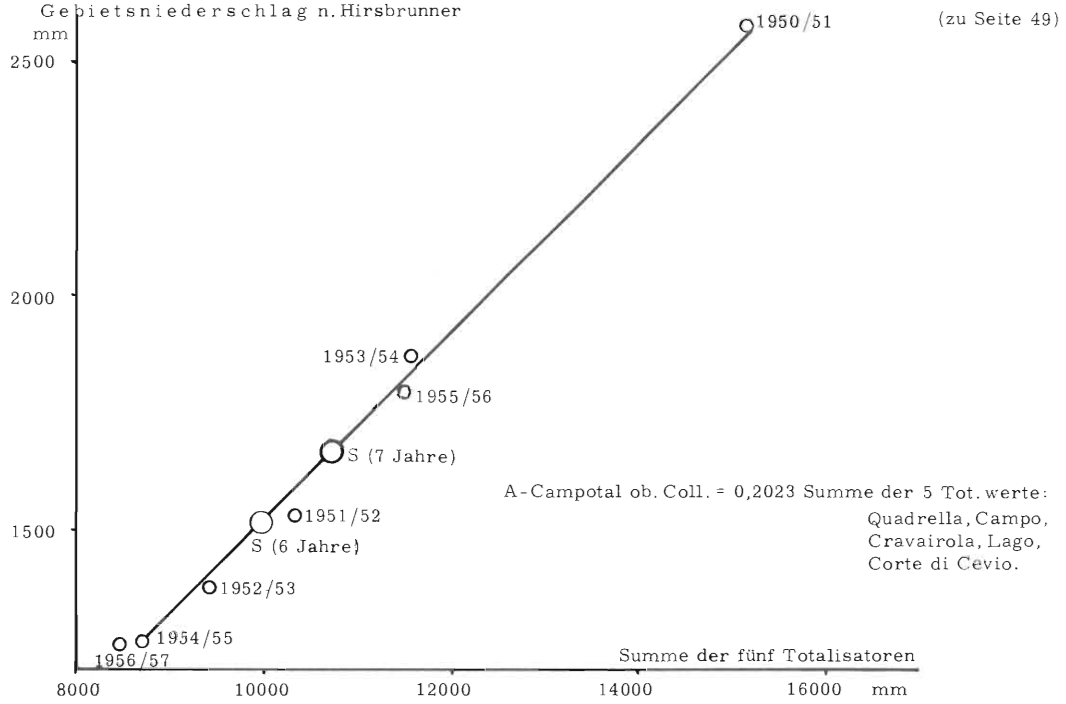
(zu Seite 48/49)



Vergleich der Gebietsniederschläge nach Hirsbrunner mit dem Mittel der Totalisatorenwerte

Figur 49

(zu Seite 49)

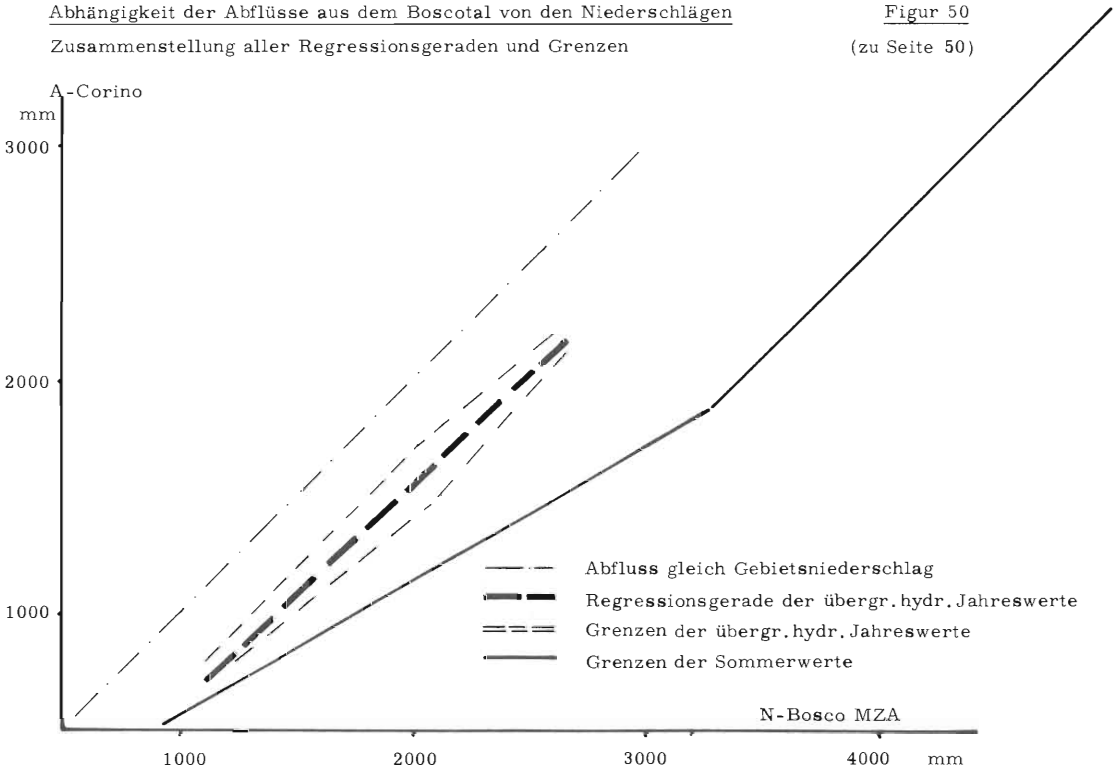


Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Boscotal von den Niederschlägen

Figur 50

(zu Seite 50)

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

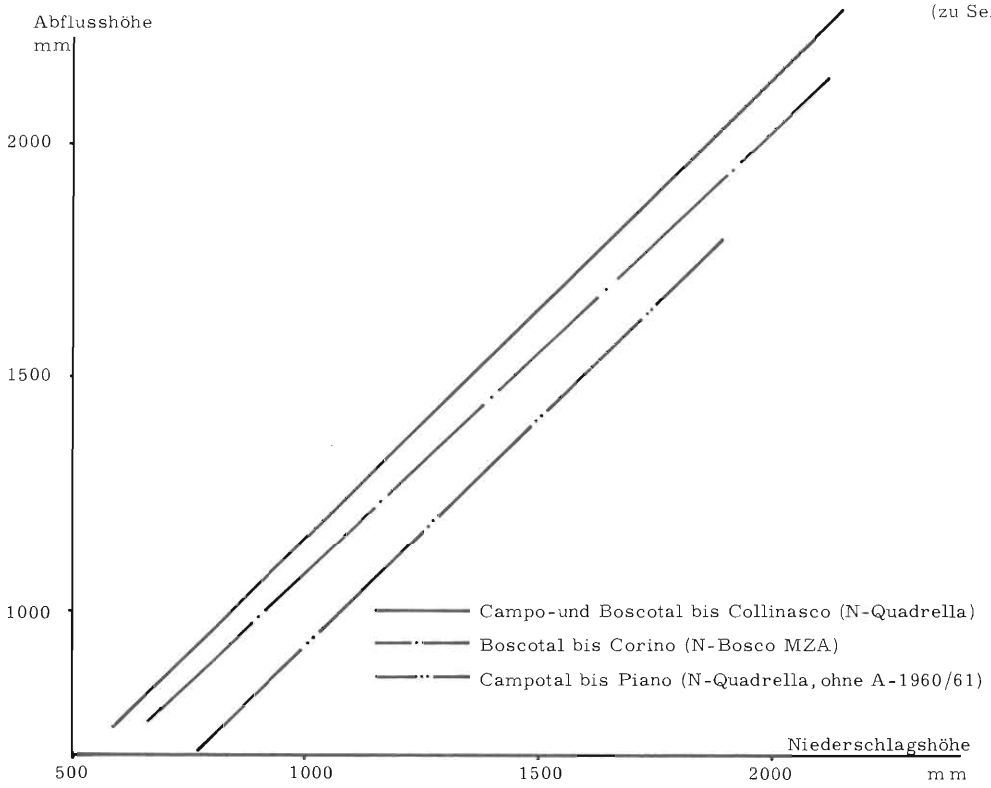


Abhängigkeit der Abflüsse aus der Rovanatälern von den in Quadrella oder Bosco gemessenen Niederschlägen

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden der Jahreswerte

Figur 51

(zu Seite 50)

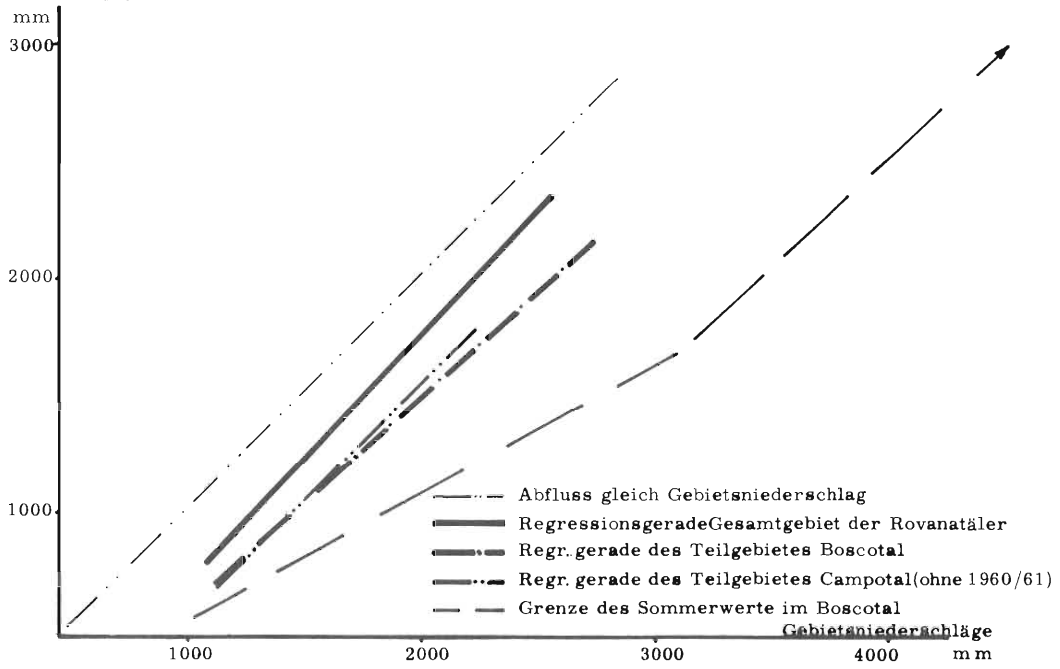


Abhängigkeit der Abflüsse aus den Rovanatälern von den Niederschlägen

Figur 52

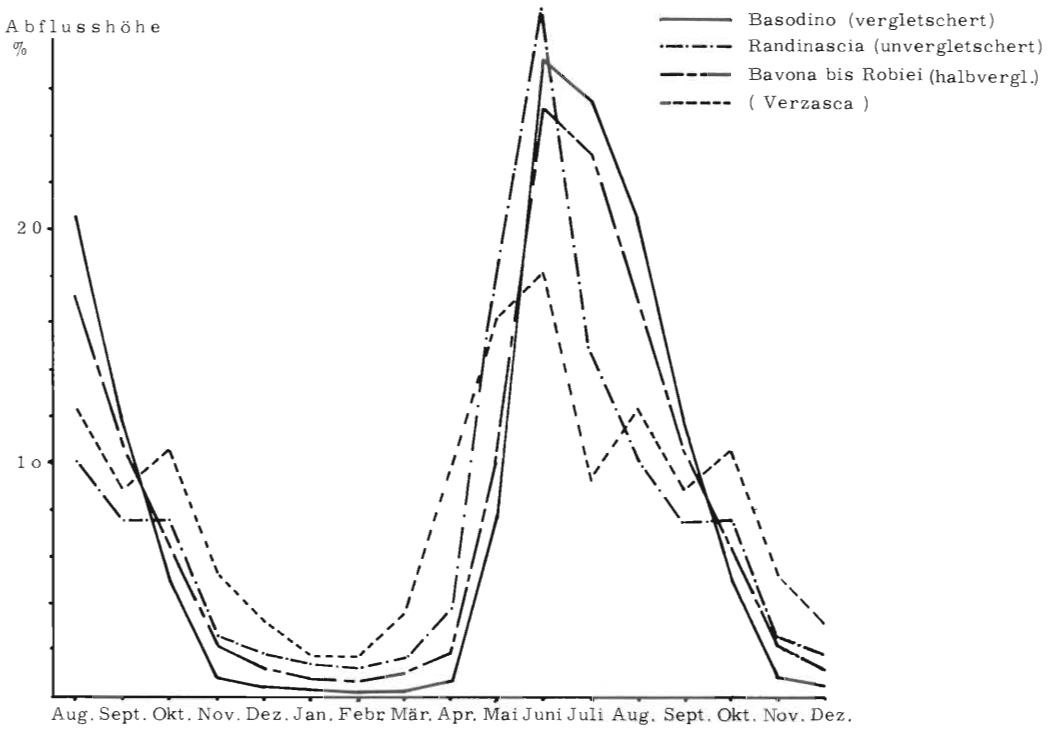
Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

(Seite 52)



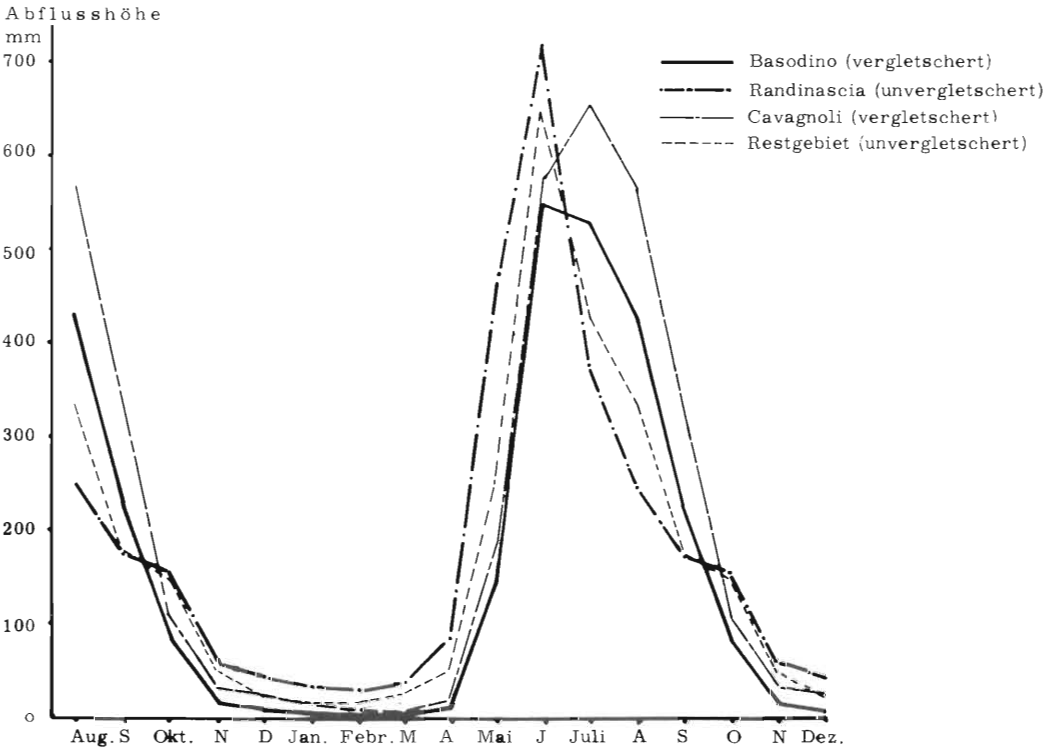
Mittlere monatliche Abflusshöhen in % der Jahresabflusshöhen(1952/53 bis 1962/63) Figur 53

(zu Seite 54)



Mittlere monatliche Abflusshöhen in den Jahren 1955/56 bis 1962/63 Figur 54

(zu Seite 54)

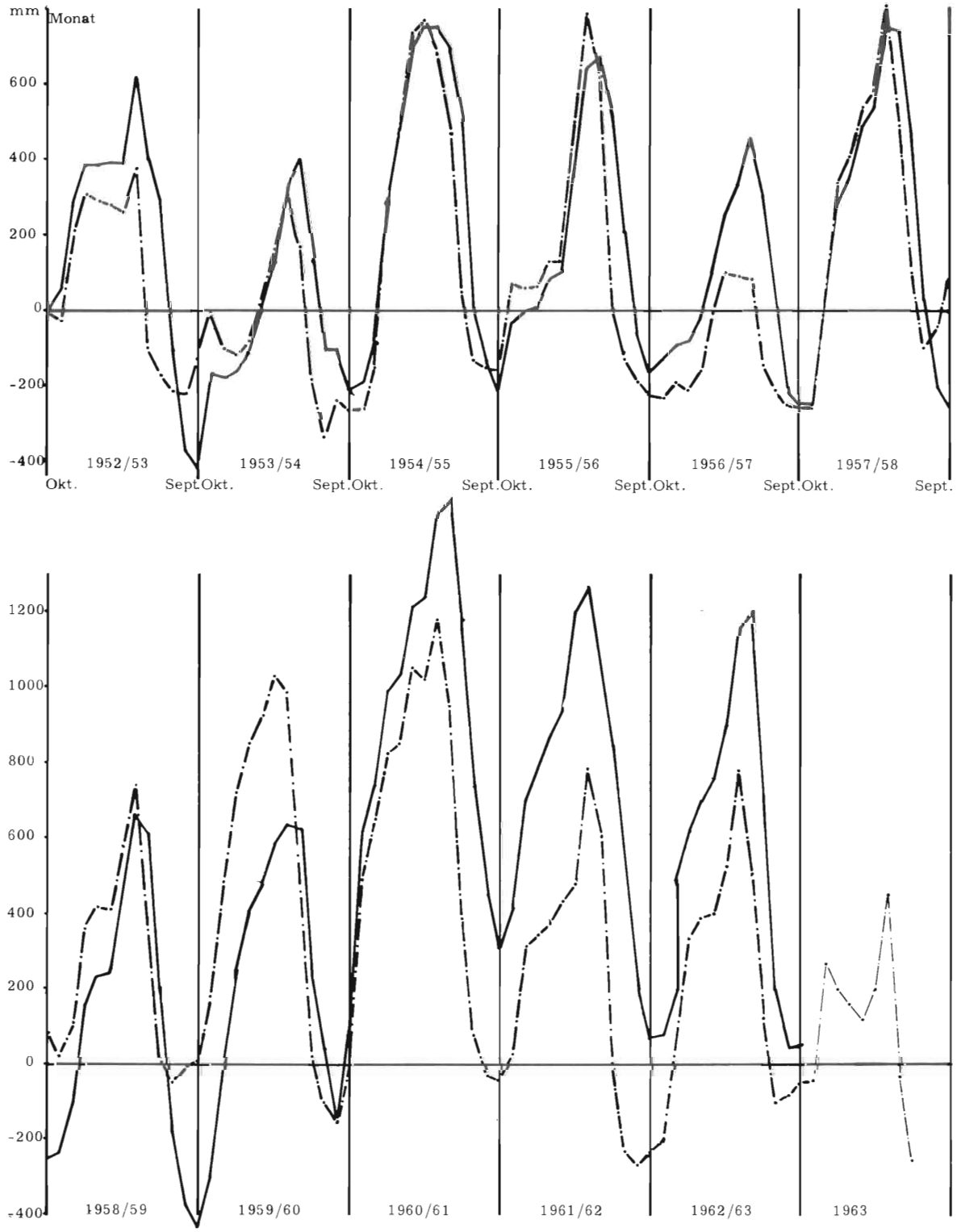


Rücklagen und deren Aufbrauch im Basodino- und Randinasciagebiet (1952 bis 1963) Figur 55

(zu Seite 56)

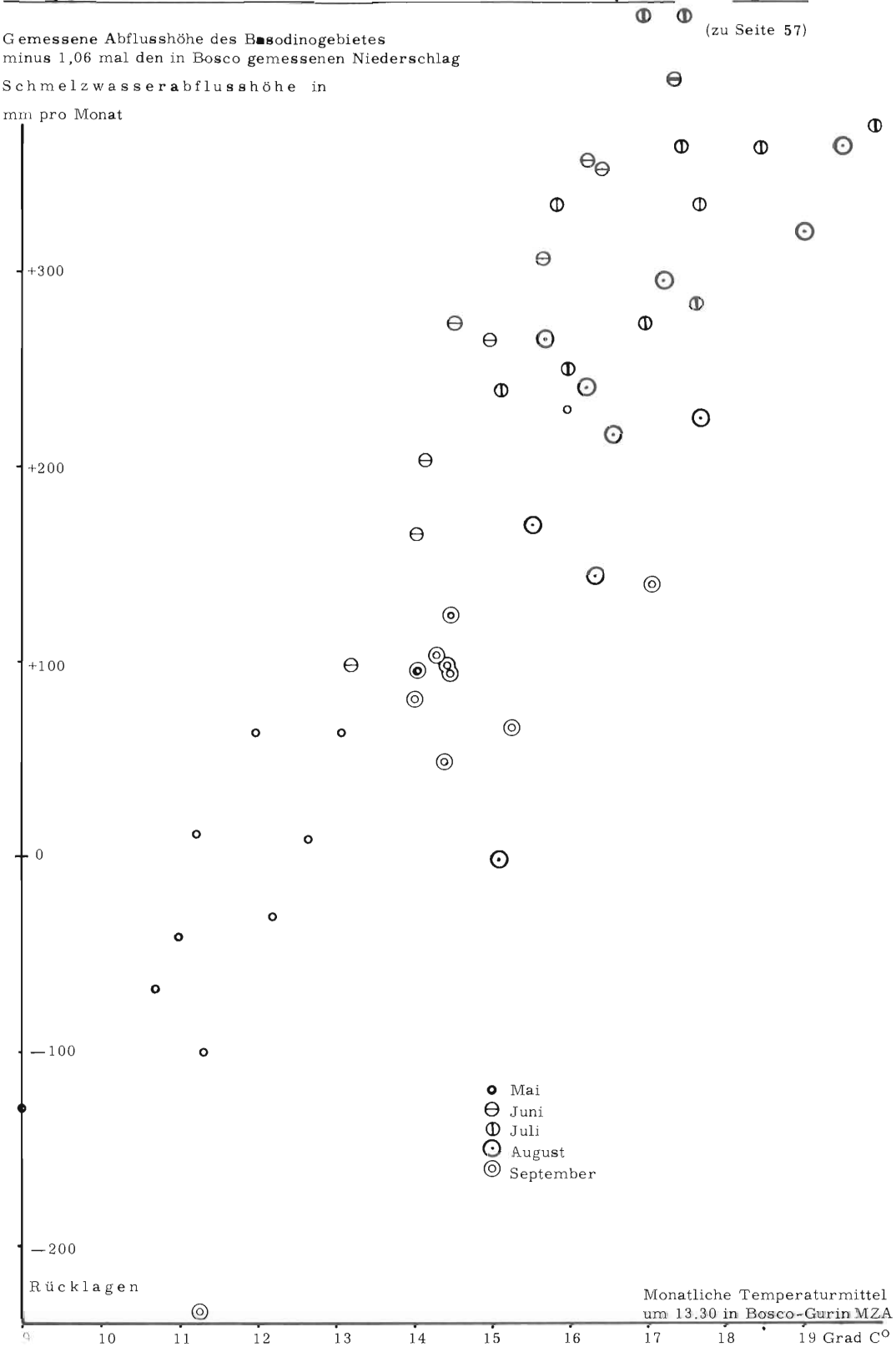
Basodinogebiet, vergletschert (auf das Abflussmittel red. Niederschläge minus gemessene Abflüsse)

Randinascia, unvergletschert (auf das Abflussmittel red. Niederschläge minus gemessene Abflüsse)



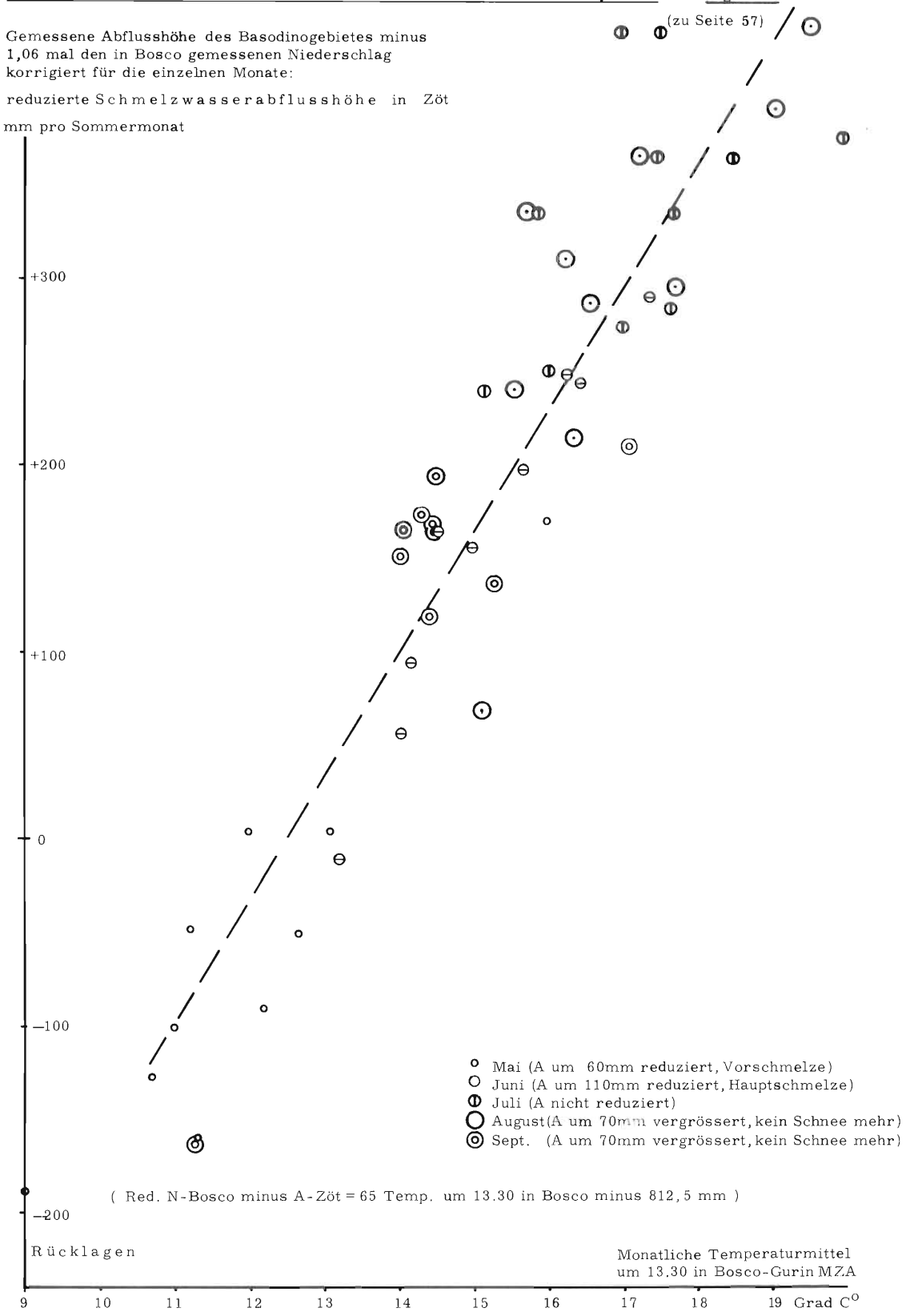
Abhängigkeit der monatlichen Schmelzwasserabflüsse in Zöt von der Temperatur Figur 56

(zu Seite 57)



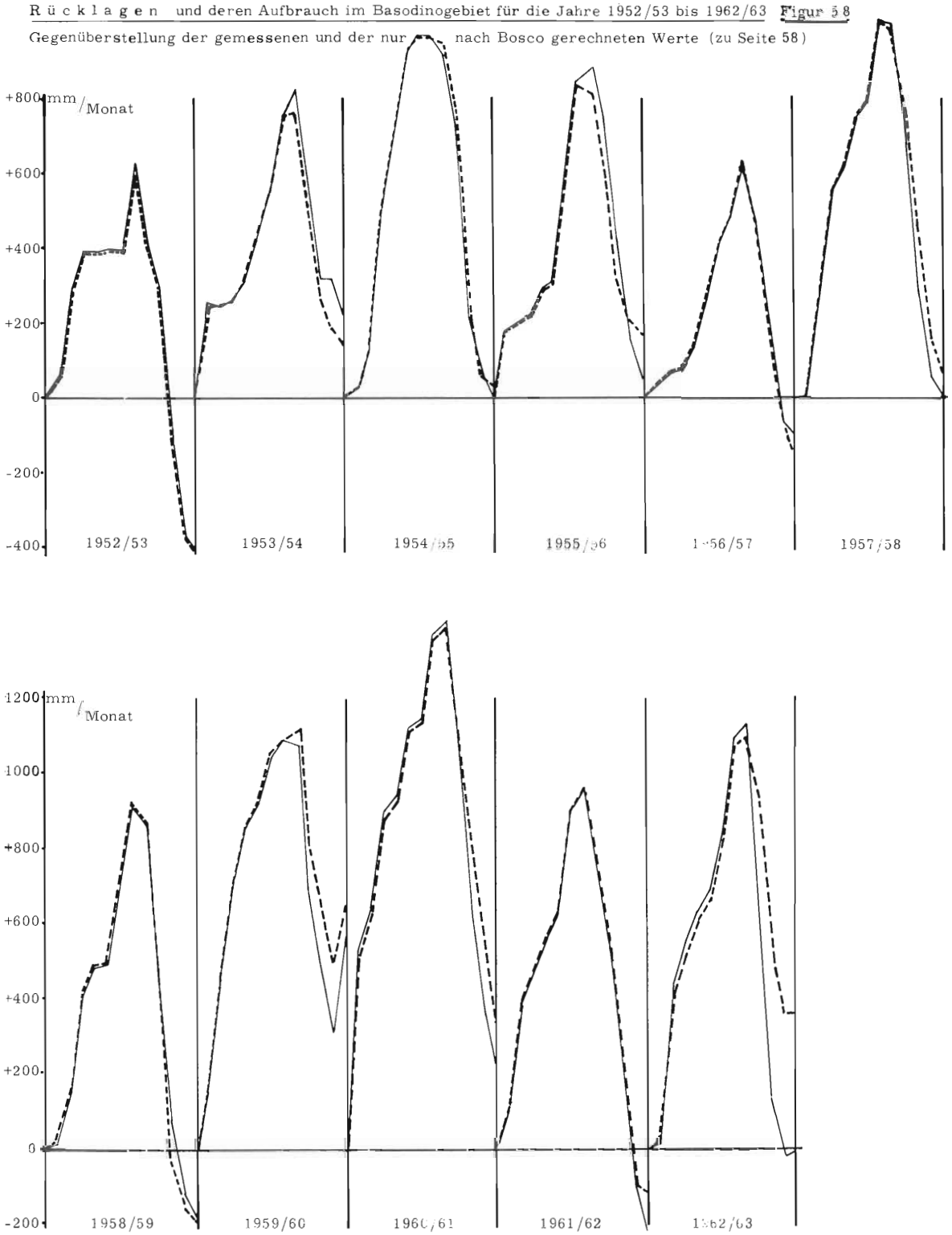
Abhängigkeit der korr. monatl. Schmelzwasserabflüsse in Zöt von der Temperatur Figur 57

(zu Seite 57)



R ü c k l a g e n und deren Aufbrauch im Basodinogebiet für die Jahre 1952/53 bis 1962/63 Figur 58

Gegenüberstellung der gemessenen und der nur nach Bosco gerechneten Werte (zu Seite 58)

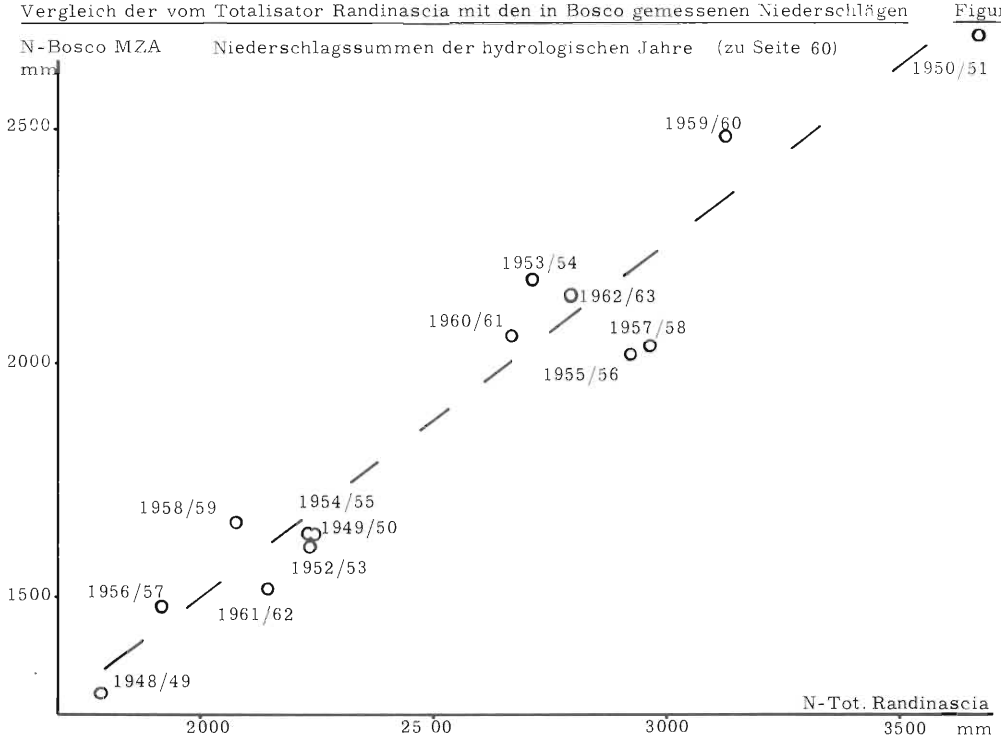


——— Gang der jährlichen Rücklagen und deren Aufbrauch bei gemessenen Abflusshöhen (wie Figur 55).

– – – – – Gang der jahrlichen Rücklagen und deren Aufbrauch, rekonstruiert und berechnet mit Hilfe der Temperatur und der Niederschläge in Bosco-Gurin (nach Figur 57)

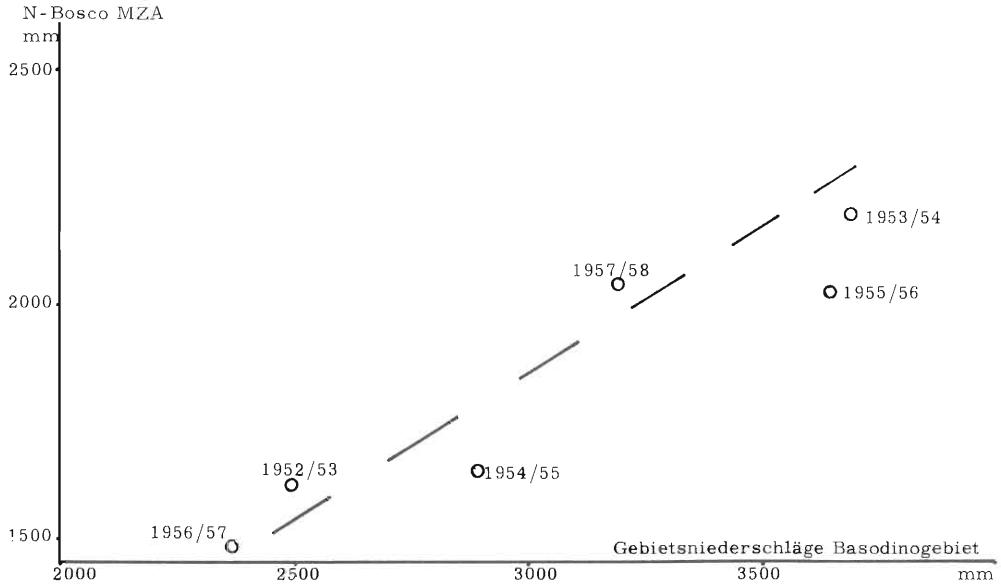
Vergleich der vom Totalisator Randinascia mit den in Bosco gemessenen Niederschlägen Figur 59

Niederschlagssummen der hydrologischen Jahre (zu Seite 60)



Vergleich der aus den Niederschlagskarten von Reist ermittelten Gebietsniederschlägen mit den in Bosco gemessenen Werten. Niederschlagssummen der hydrologischen Jahre Figur 60

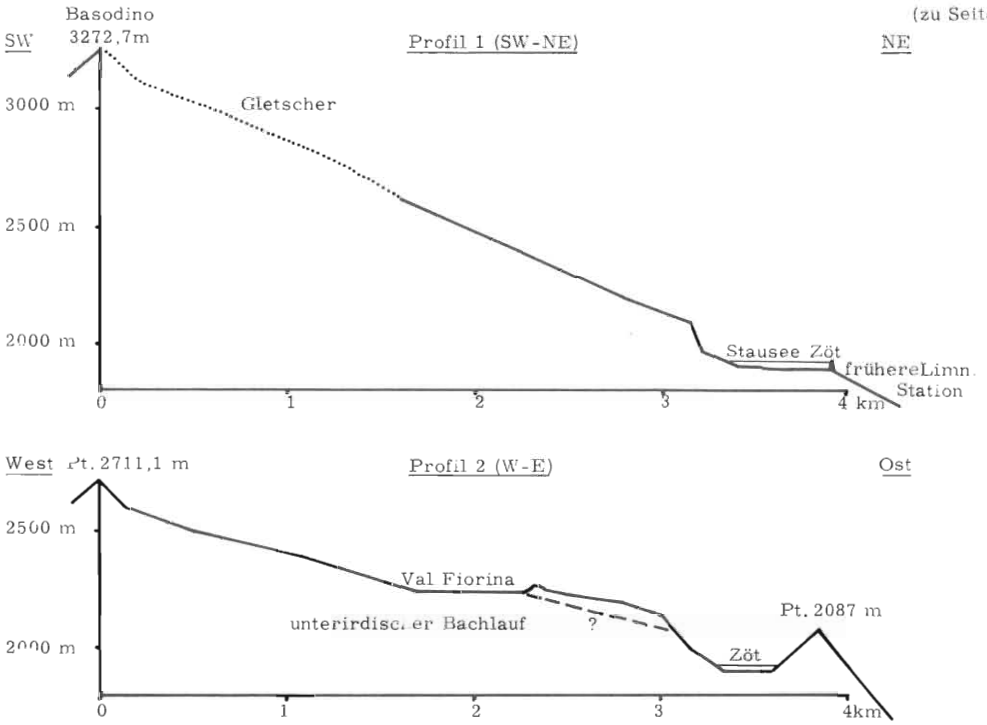
(zu Seite 60)



Böschungsverhältnisse im Basodinogebiet

Figur 61

(zu Seite 61)

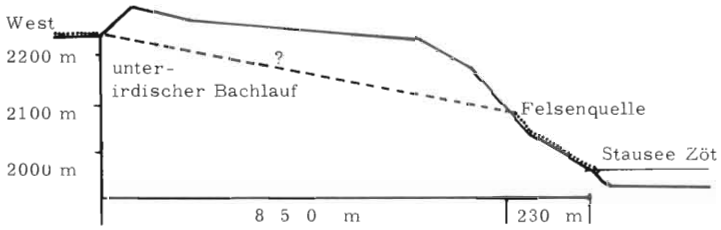


Der unterirdische Bachlauf im Basodinogebiet

Figur 62

Detail aus Figur 61

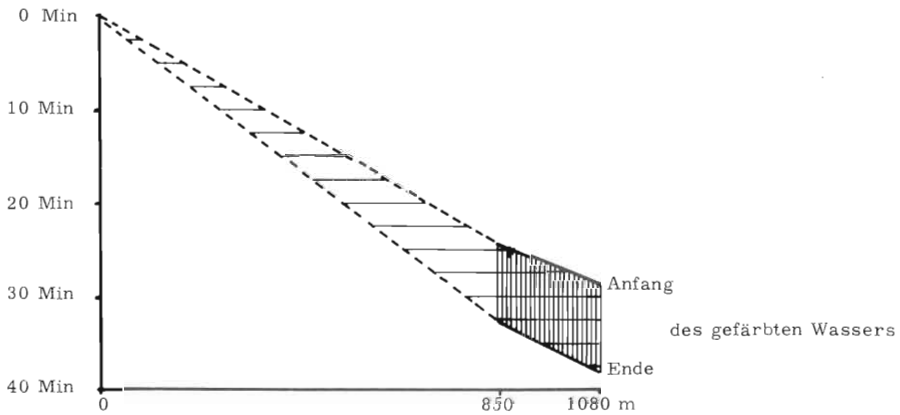
(zu Seite 62)



Weg-Zeit-Diagramm des gefärbten Wassers:

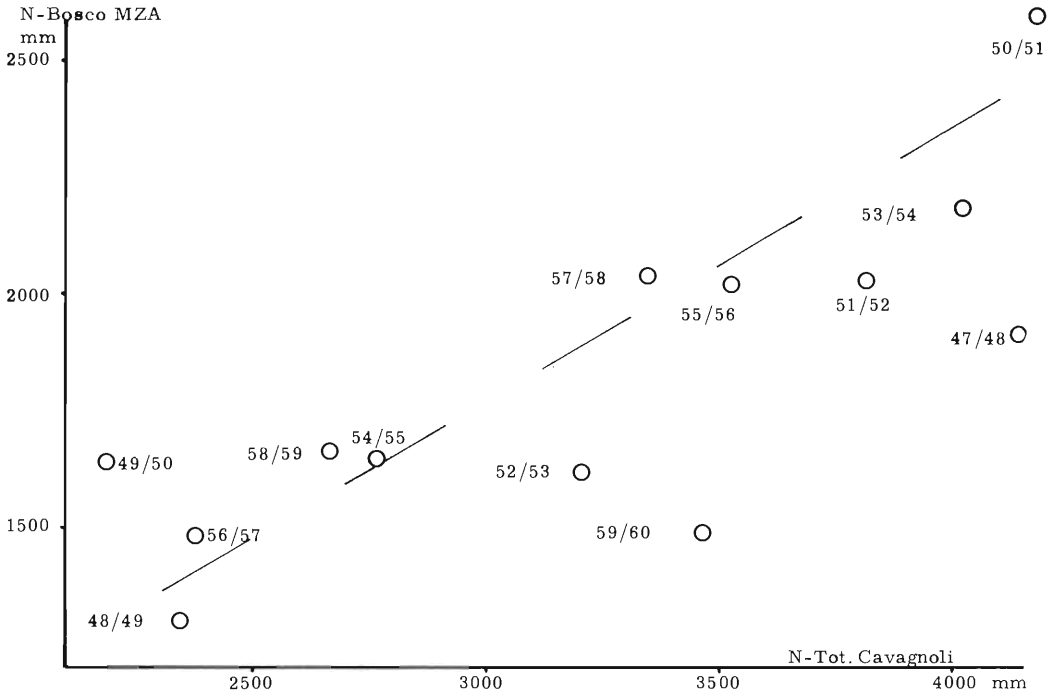
Figur 63

(zu Seite 62)



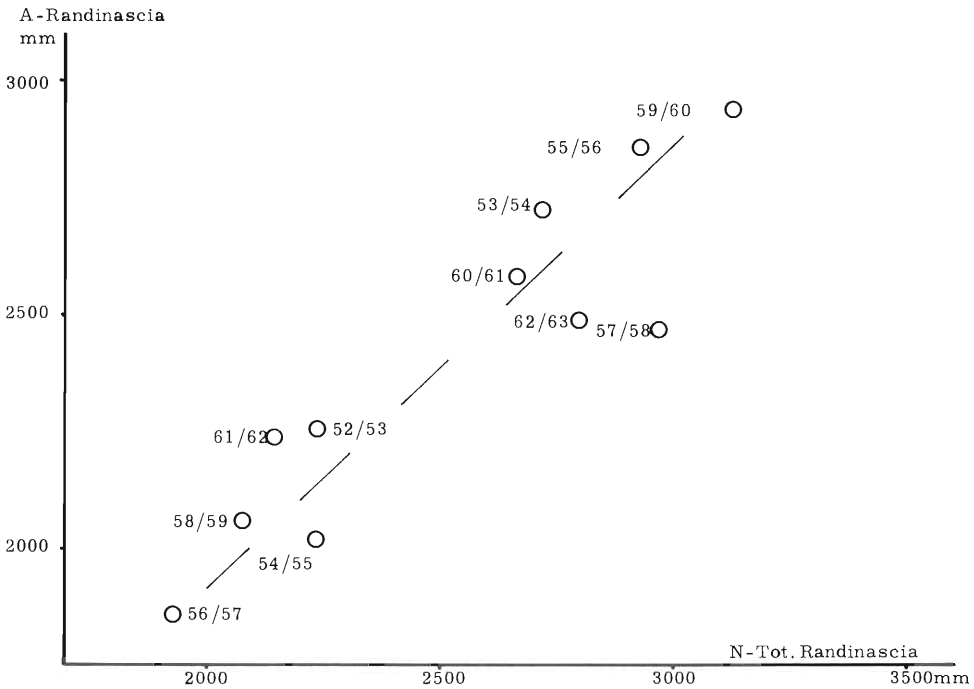
Vergleich der vom Totalisator Cavagnoli mit den in Bosco gemessenen Niederschlägen Figur 64

Niederschlagssummen der hydrologischen Jahre 1947/48 bis 1959/60 (zu Seite 63)



Abhängigkeit der Abflüsse von den im Totalisator Randinascia gemessenen Niederschlägen Figur65

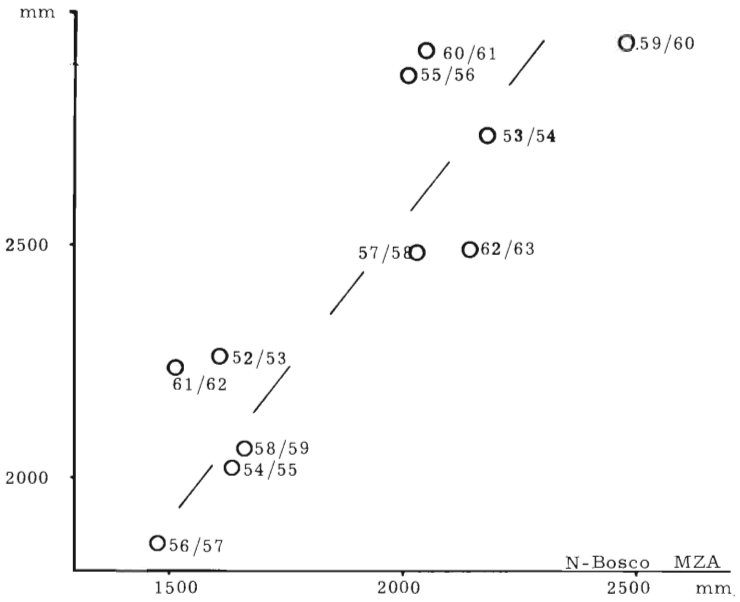
Niederschlags- und Abflusshöhen der hydrologischen Jahre 1952/53 bis 1962/63 (zu Seite 65)



Abhängigkeit der Abflüsse aus dem Randinasciagebiet von den in Bosco gemessenen Niederschlägen

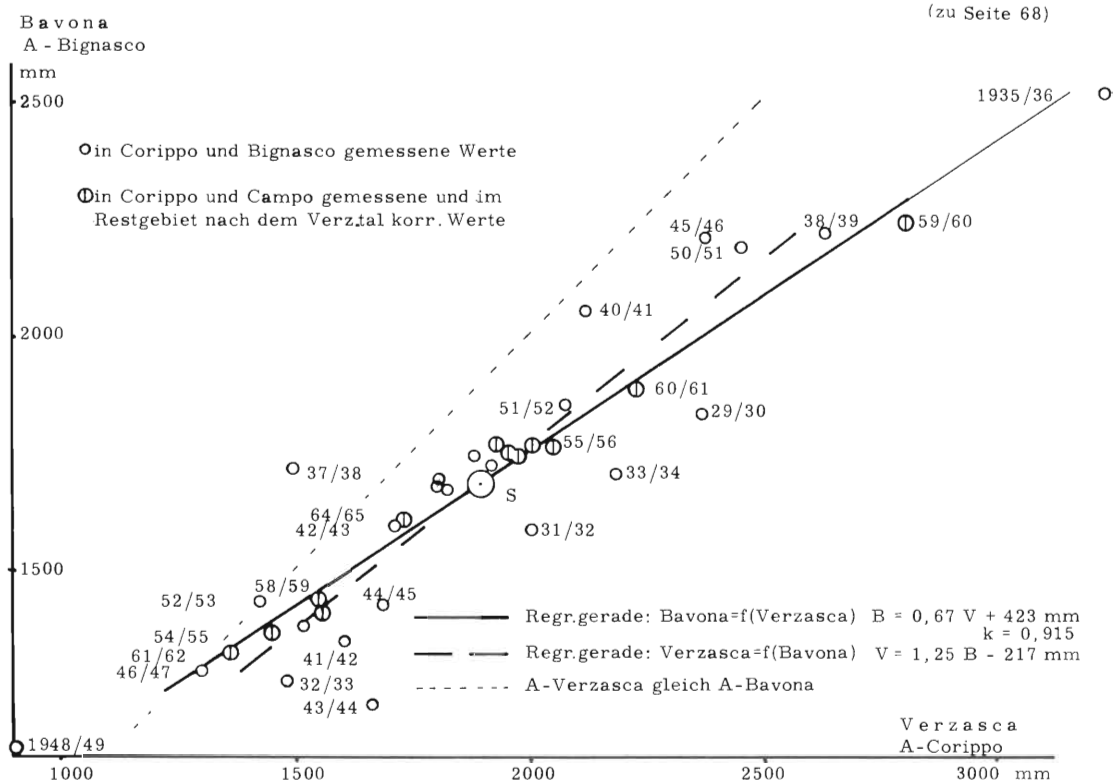
Niederschlags- und Abflussummen der hydrologischen Jahre 1952/53 bis 1962/63 Figur 66
A-Randinascia

(zu Seite 65)



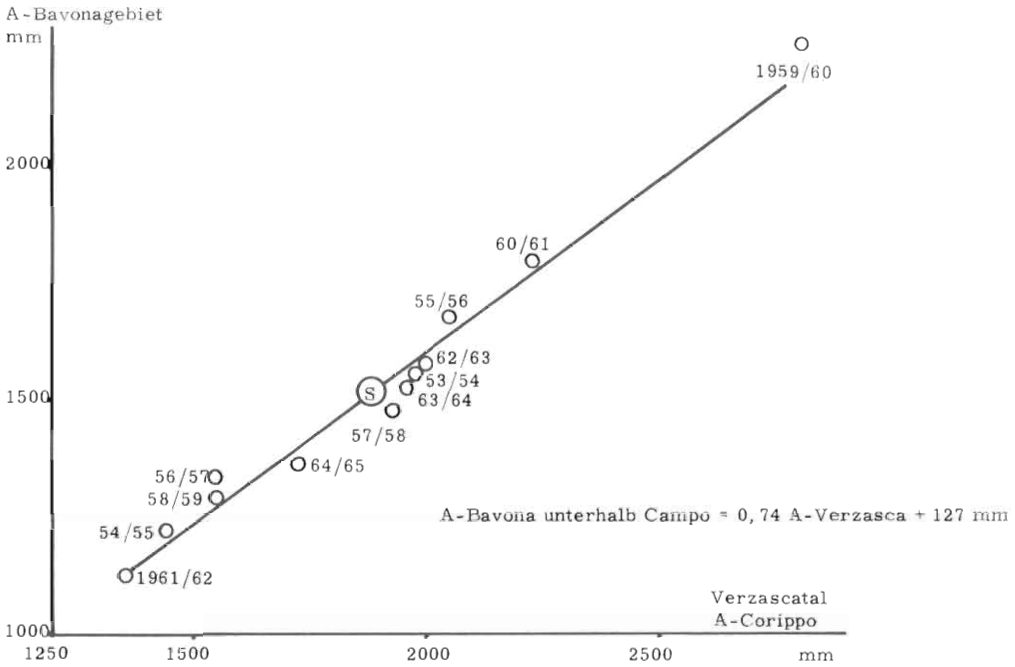
Korrelation der Jahresabflusshöhen der Verzasca in Corippo und der Bavona in Bignasco Figur 67

(zu Seite 68)



Vergleich der errechneten Abflusshöhen desBavonagebietes zwischen Campo und Bignasco mit den gemessenen Abflusshöhen des Verzascatales. Figur 68

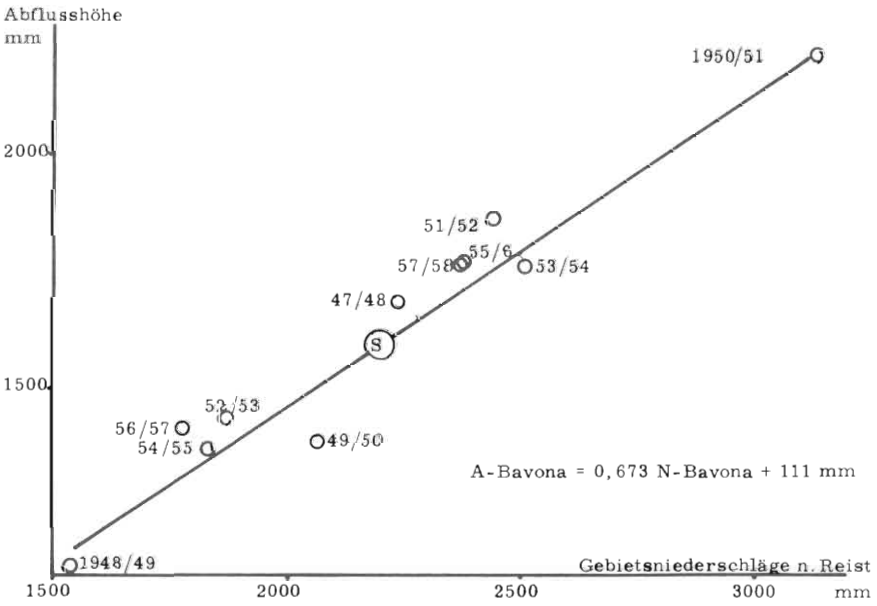
(zu Seite 69)



Abhängigkeit der Abflusshöhe des Bavonatales von den Gebietsniederschlägen Figur 69

(zu Seite 69)

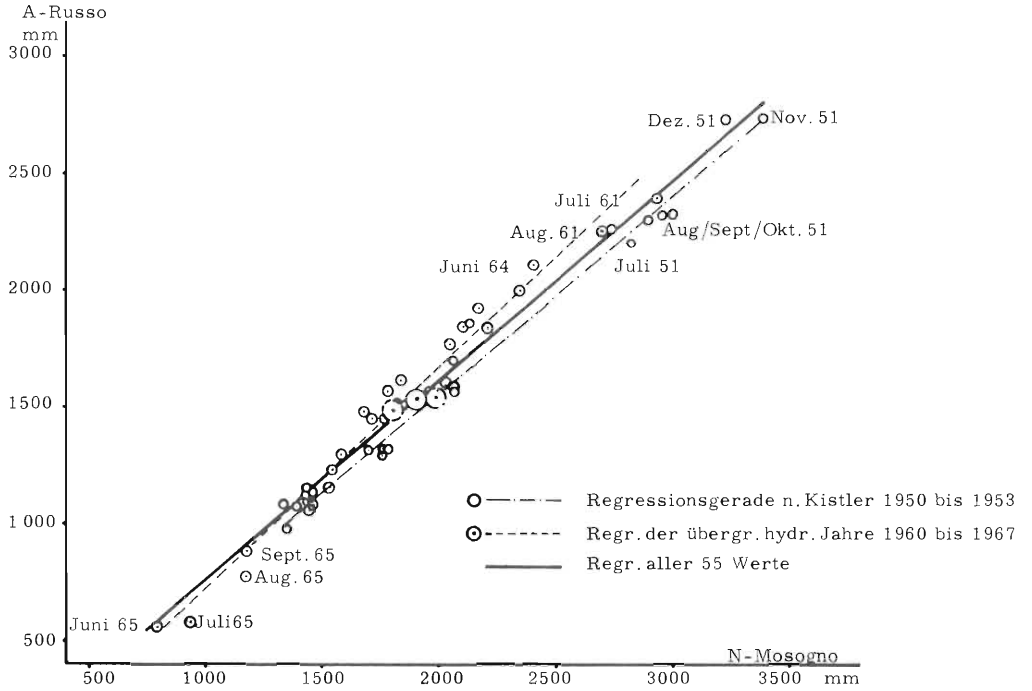
Abflusshöhen: 1948/49 bis 1952/53 gemessen in Bignasco
1953/54 bis 1957/58 gemessen in Campo + Rest korr. nach Verzascatal



Abhängigkeit der Abflusshöhe des Onsernonetales von den in Mosogno gemessenen Niederschlägen

Niederschlags- und Abflusshöhen der übergreifenden hydr. Jahre1950-1953 und 1960-1967 Figur 70
Zusammenstellung der Regressionsgeraden

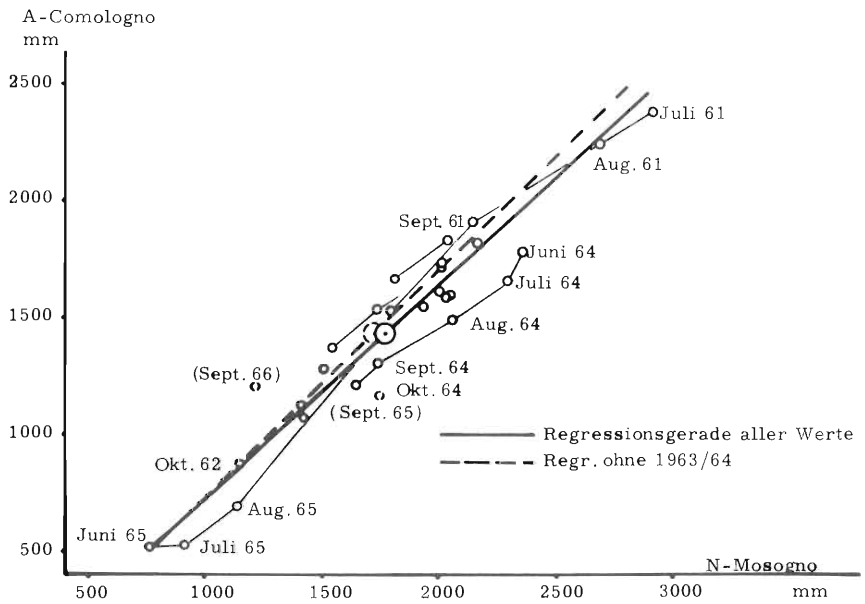
(zu Seite 71)



Abhängigkeit der Abflusshöhen des ob. Onsernonetales von den Niederschlägen in Mosogno Figur 71

Niederschlags- und Abflusshöhen der übergr, hydrologischen Jahre 1960 bis 1967

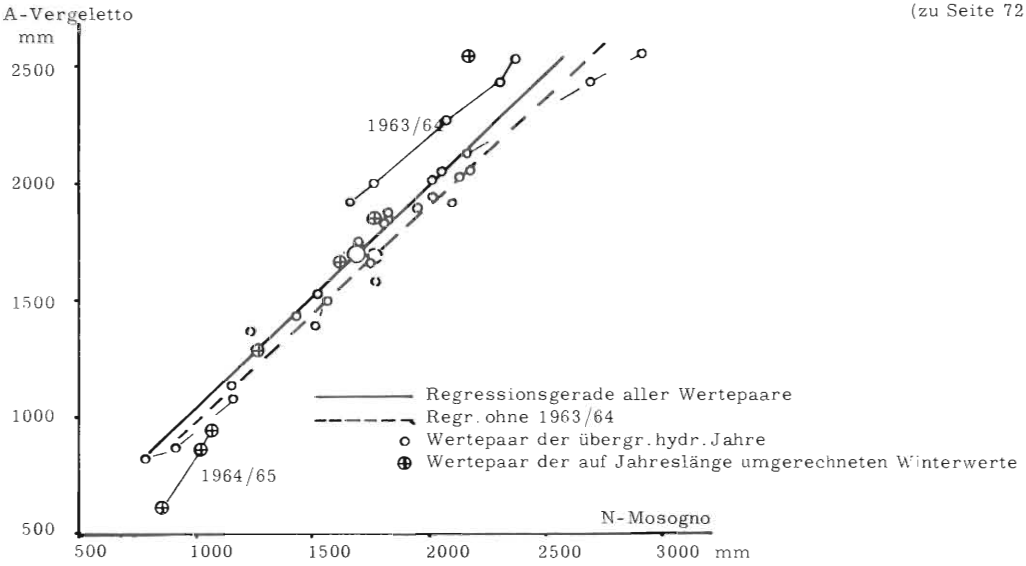
(zu Seite 72)



Abhängigkeit der Abflusshöhen aus dem Vergelettotal von den in Mosogno gemessenen Niederschlägen

Niederschlags- und Abflusshöhen der übergreifenden hydrologischen Jahre 1960/61 - 1966/67 Figur 72

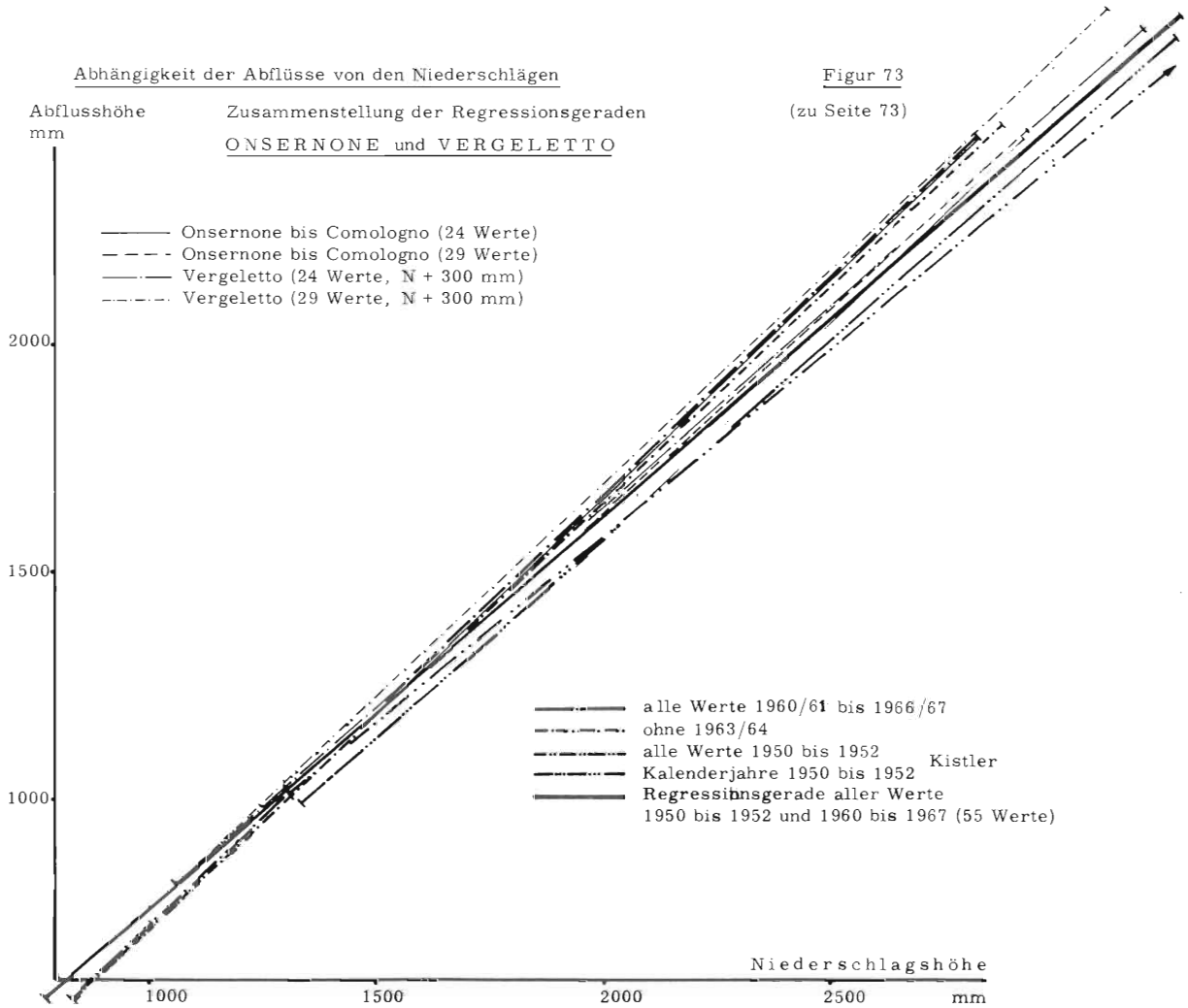
(zu Seite 72)



Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen

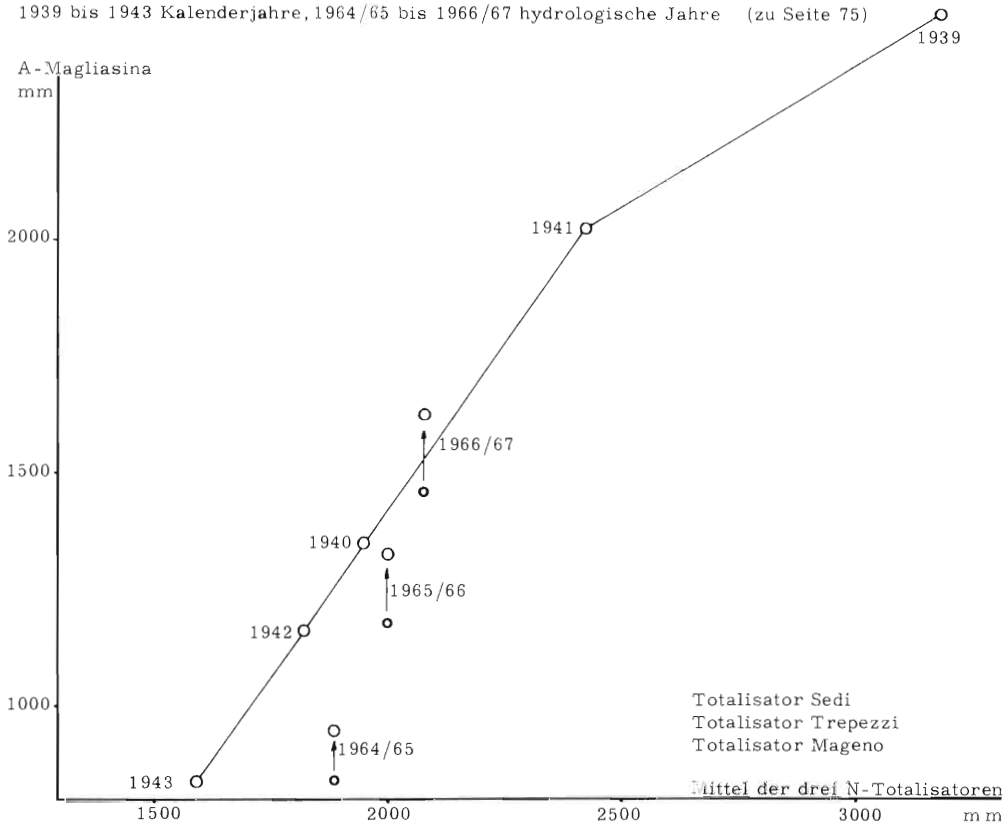
Figur 73

(zu Seite 73)



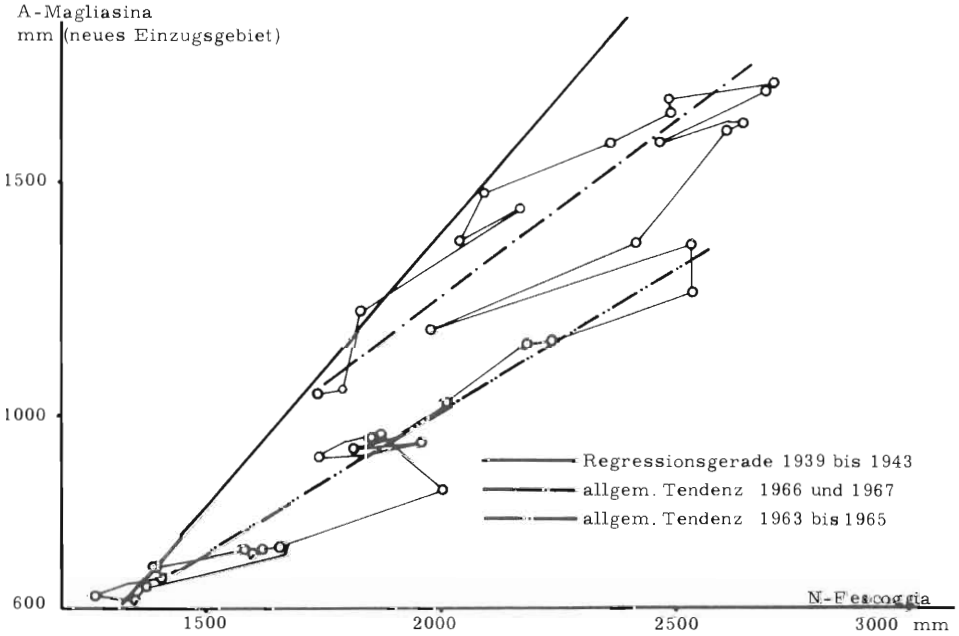
Abhängigkeit der Abflusshöhe des Magliasina von dem Mittel der N-Totalisatorenwerte Figur 74

1939 bis 1943 Kalenderjahre, 1964/65 bis 1966/67 hydrologische Jahre (zu Seite 75)



Abhängigkeit der Abflusshöhe des Magliasina von den Niederschlägen in Fescoggia Figur 75

Niederschlags- und Abflusshöhen der übergreifenden hydrologischen Jahre 1964 bis 1967 (zu Seite 75)

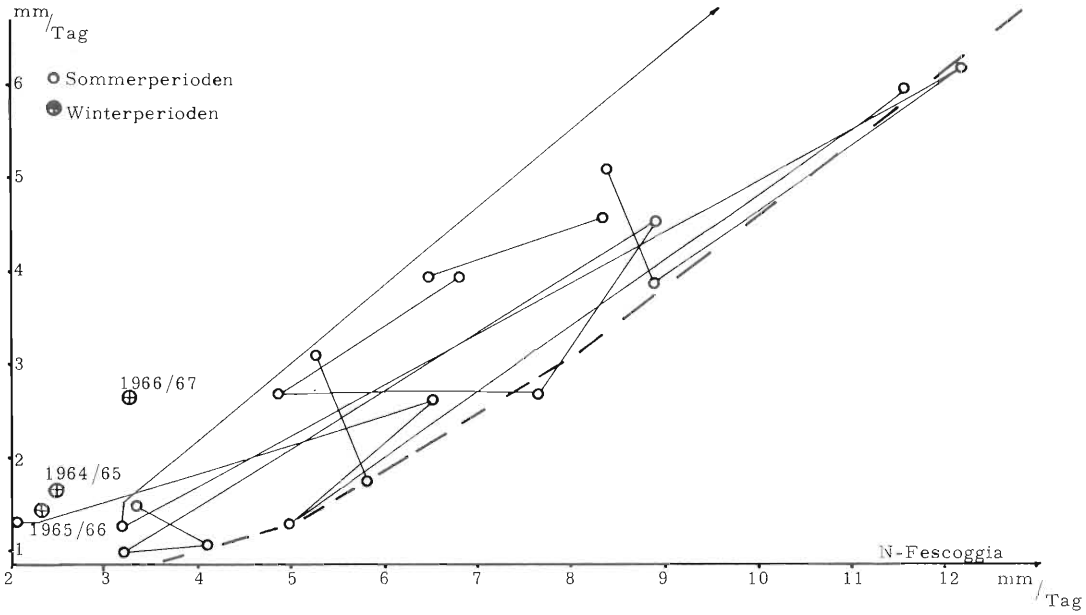


Abhängigkeit der Sommerabflüsse von den Niederschlägen

Figur 76

Durchschnittliche tägliche Niederschlags- und Abflusshöhe

(zu Seite 76)

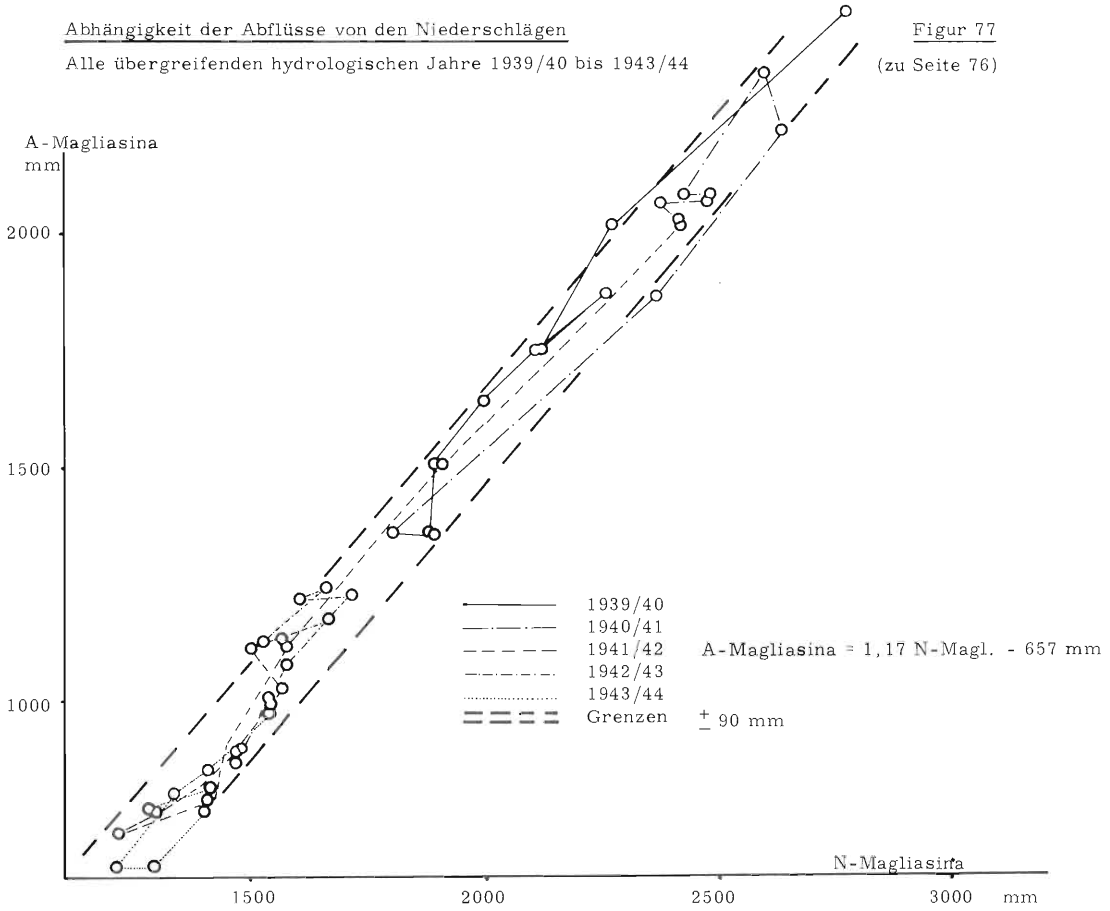


Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen

Figur 77

Alle übergreifenden hydrologischen Jahre 1939/40 bis 1943/44

(zu Seite 76)

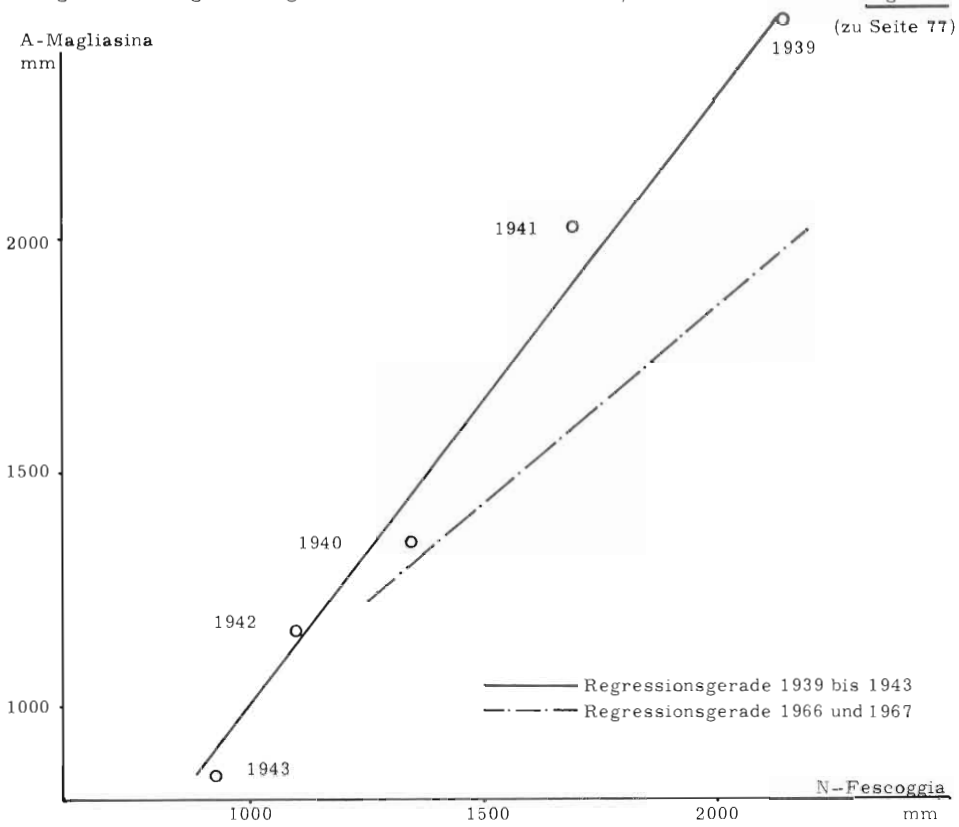


Abhängigkeit der Abflusshöhen des Magliasina von den in Fescoggia gemessenen Niederschlägen

Vergleich der Regressionsgeraden von 1939-1943 und 1966/67

Figur 78

(zu Seite 77)

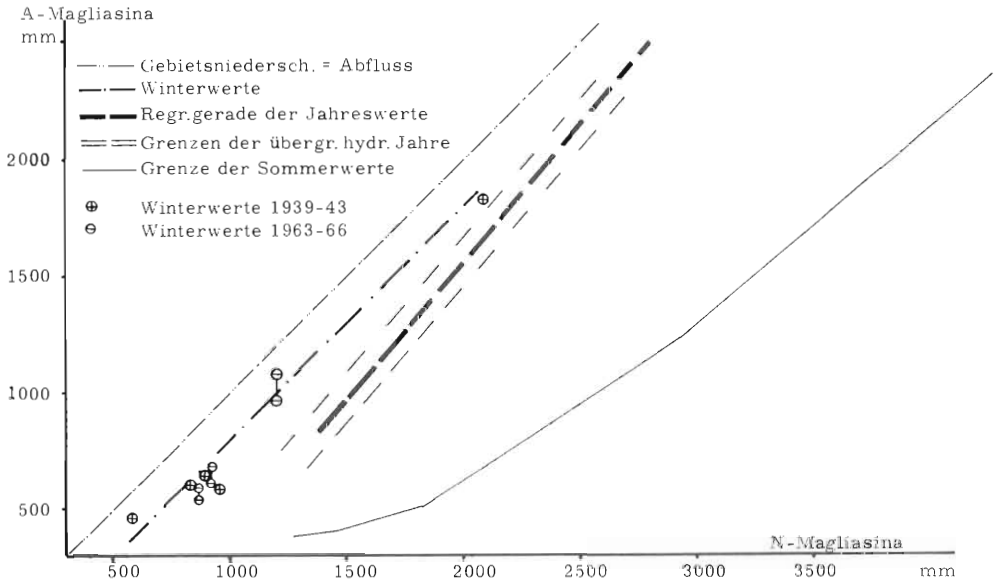


Abhängigkeit der Abflusshöhen des Magliasina von den Niederschlägen

Figur 79

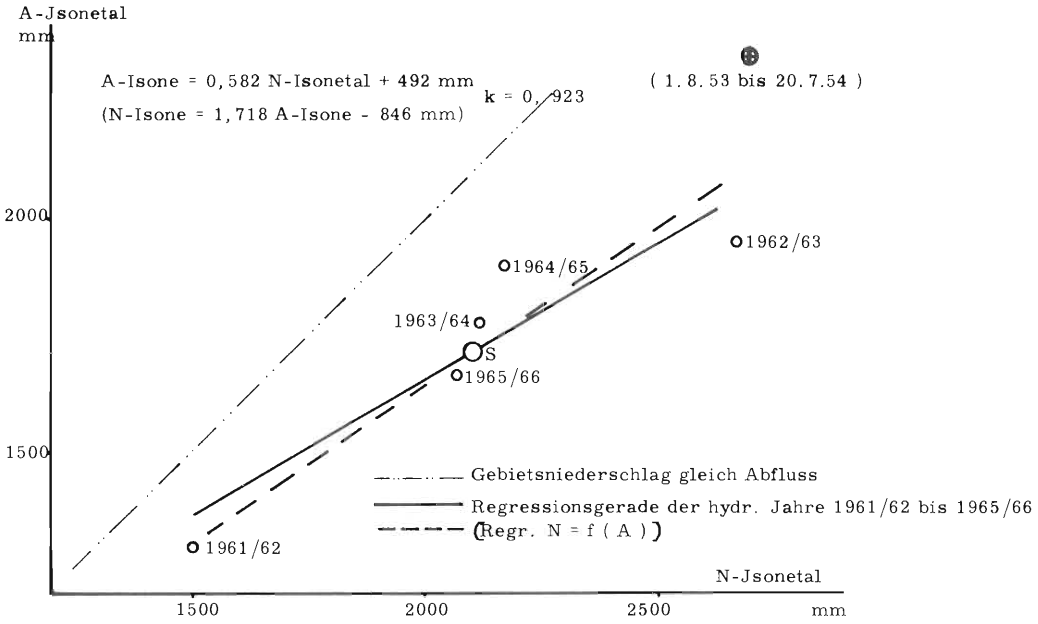
Zusammenstellung aller Regressionsgeraden und Grenzen

(zu Seite 77)



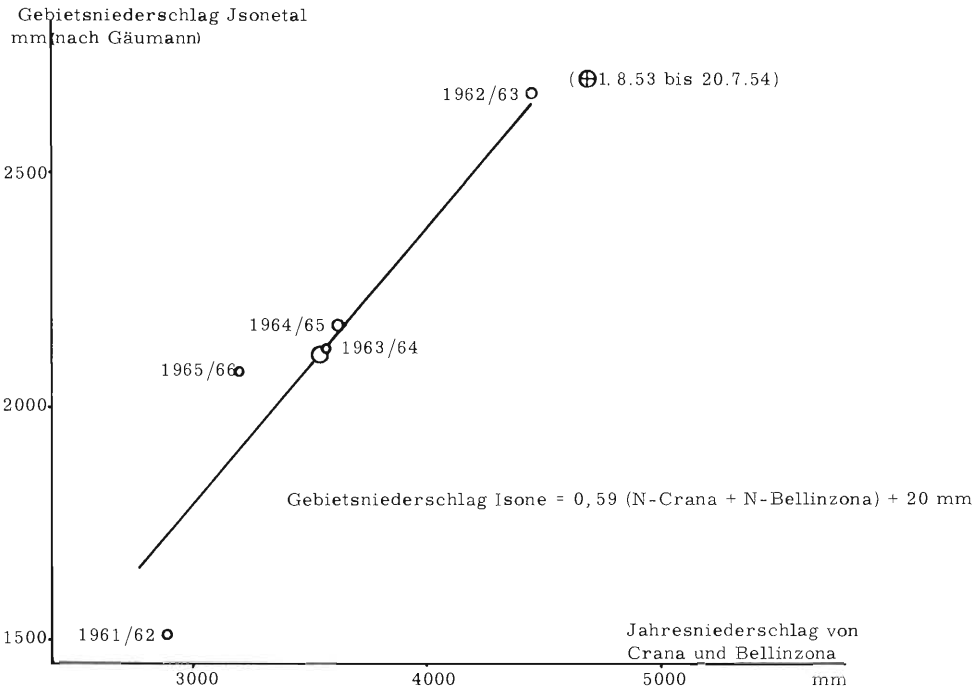
Abhängigkeit der Abflusshöhen von den Gebietsniederschlägen im Isonetal — Figur 80

Niederschlags- und Abflussummen der hydrologischen Jahre 1960/61 bis 1965/66 (zu Seite 78)



Vergleich des Gebietsniederschlages n. Gäumann mit den in Crana und Bellinzona gemessenen Jahressummen der hydr. Jahre 1960/61 bis 1965/66 — Figur 81

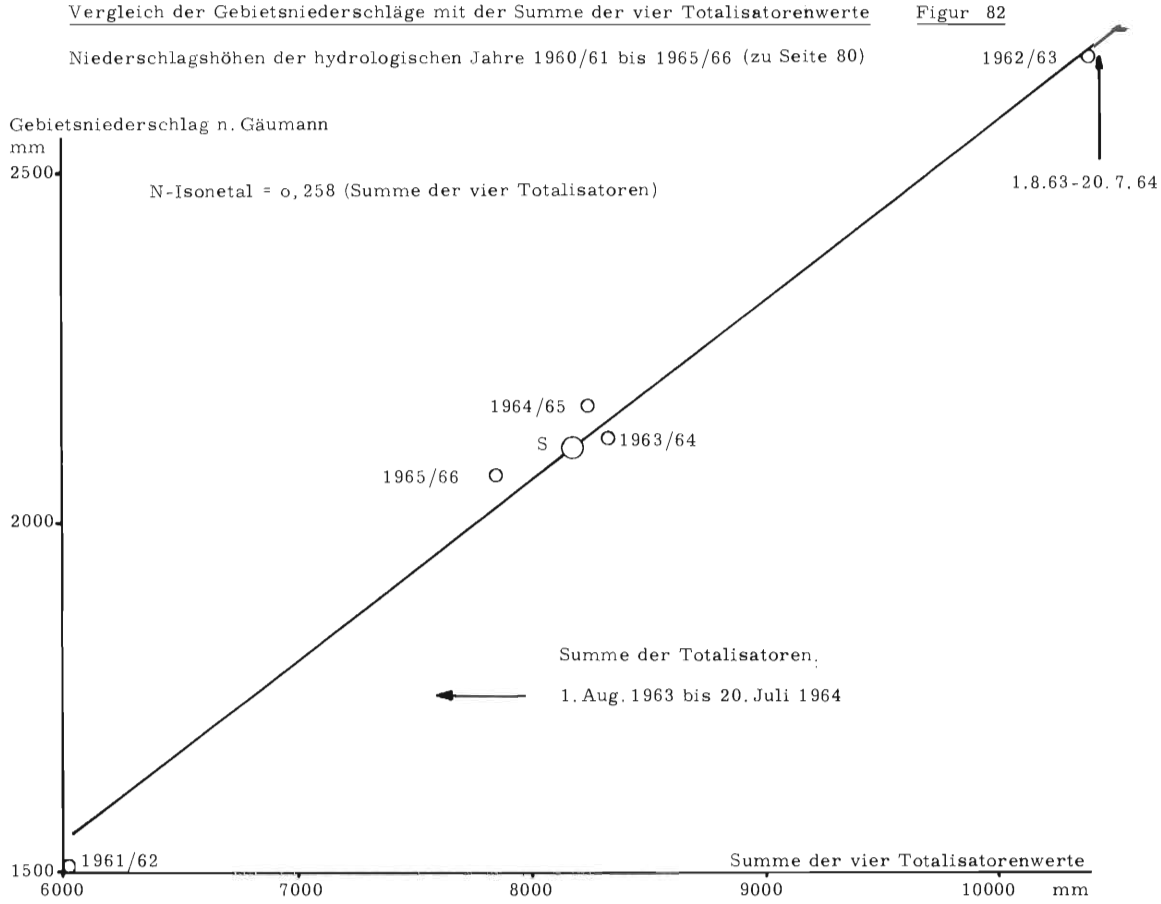
(zu Seite 80)



Vergleich der Gebietsniederschläge mit der Summe der vier Totalisatorenwerte

Figur 82

Niederschlagshöhen der hydrologischen Jahre 1960/61 bis 1965/66 (zu Seite 80)

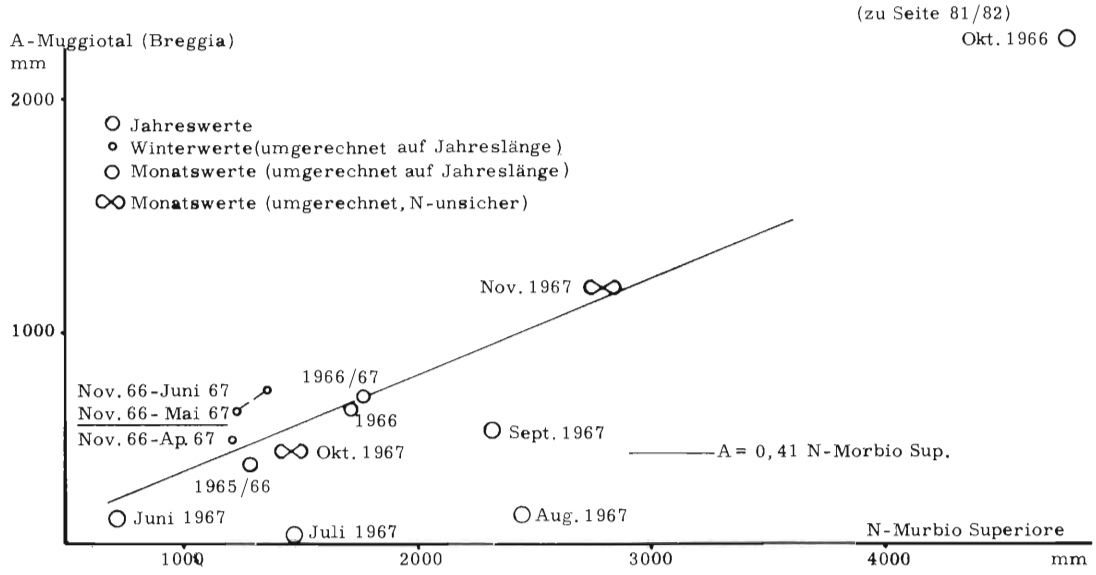


Abhängigkeit der Abflüsse des Muggiotales von den in Morbio Superiore gemessenen Niederschlägen

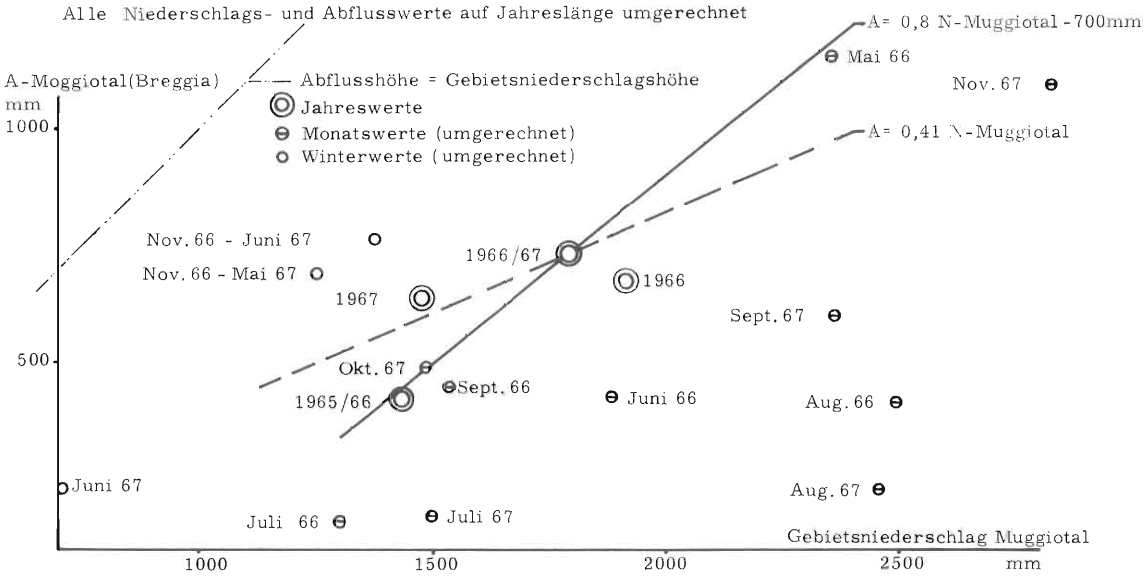
Zusammenstellung aller Wertepaare

Figur 83

(zu Seite 81/82)

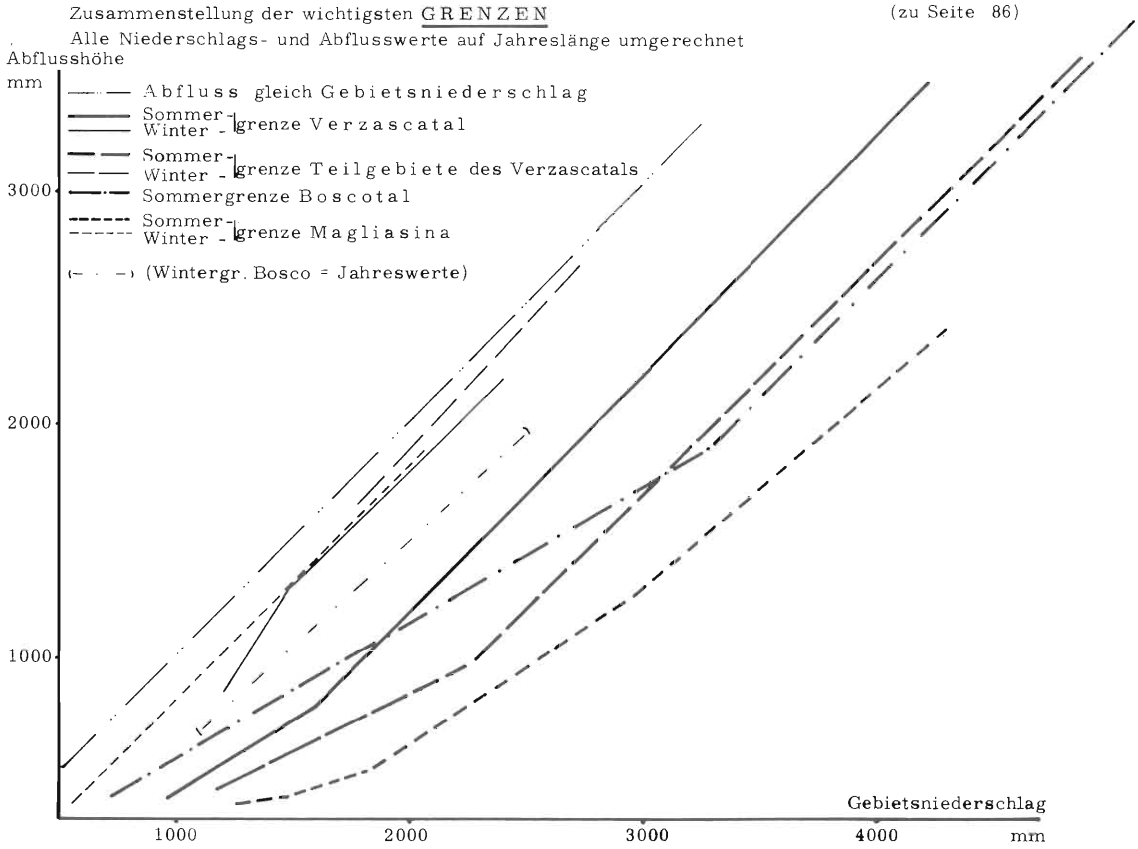


Abhängigkeit der Abflüsse des Muggiotales von den Niederschlägen (zu Seite 83) Figur 84



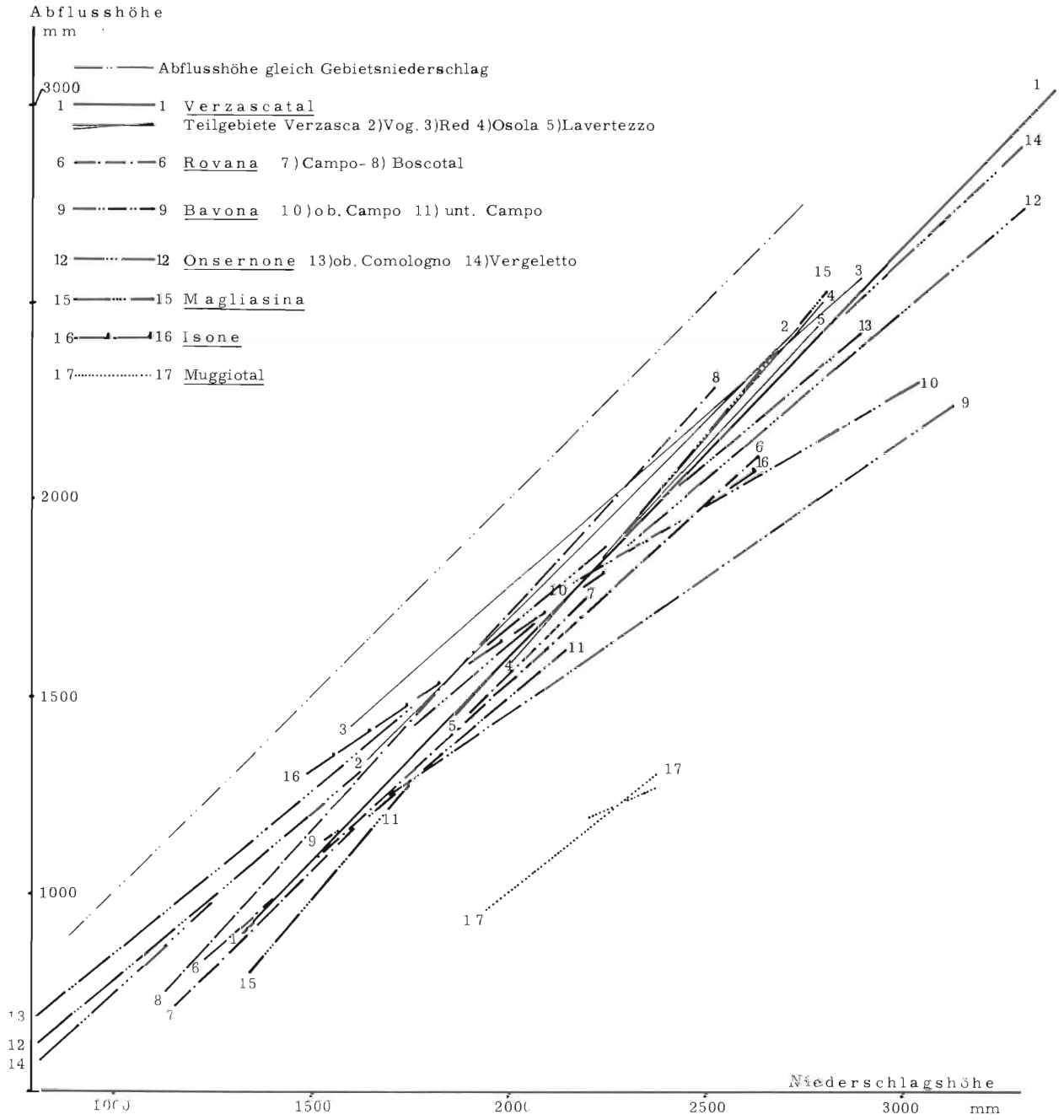
Abhängigkeit der Abflüsse von den Niederschlägen Figur 85

Zusammenstellung der wichtigsten GRENZEN (zu Seite 86)



ABHAENGIGKEIT DER ABFLUESSE VON DEN NIEDERSCHLAEGEN FIGUR 86

Zusammenstellung aller Regressionsgeraden Jahressummen (zu Seite 87)



LITERATURVERZEICHNIS

AMBROSETTI F.: Die Niederschlagsstunden von Locarno-Monti, Veröffentlichungen der MZA, Zürich 1965

AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT, EIDG.: Hydrographische Jahrbücher

- Persönliche Mitteilung über die Bestimmung der natürlichen mittleren Jahresabflusswassermengen eines Gewässers (unveröffentlicht)

BINGGELI V.: Zur Morphologie und Hydrologie der Valle del Lucomagno, Diss. Bern 1959

BRÄM F.: Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete, der Höhenstufengebiete, der Felshänge, Wälder, Gletscher und Seen; Veröffentlichung der Abt. f. Landeshydrographie, Tessingebiet, Bern 1913

BURGER H.: Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer, Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen

- II Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1915/16 bis 1926/27, XVIII- Band, 2. Heft, Zürich 1934

- III Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1927/28 bis 1941/42, XXIII. Band, 1. Heft, Zürich 1943

- V Der Wasserhaushalt im Sperbel- und Rappengraben von 1942/43 bis 1951/52, XXXI. Band, 1. Heft, Zürich 1954

- IV Der Wasserhaushalt im Valle di Melera von 1934/35 bis 1943/44, XXIV. Band, 1. Heft, Zürich 1945

- VI Der Wasserhaushalt in der Valle di Melera in den Jahren 1944/45 bis 1953/54, XXXI. Band, 2. Heft, Zürich 1955

CANALE A.: Geomorphologie der Valle Onsernone, Diss. Bern 1956

DIETZ W.: Beitrag zur Hydrologie der Landschaft Davos, Diss. Zürich 1938

ENGLER A.: Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer, Mitteilungen der Schweiz. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen, XII. Band, Zürich 1919

FISCHER K.: Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im Weser- und Allergebiet, Jahrbuch für Gewässerkunde, Norddeutschlands, Berlin 1932

FISCHER L.: Flusskunde der Thur und Glatt, Diss. Bern 1915

GRÜTTER E.: Beiträge zur Morphologie und Hydrologie des Val Verzasca, Diss. Bern 1967

GYGAX F.: Beitrag zur Morphologie der Valle Verzasca, Diss. Bern 1934

-Niederschlag und Abfluss im Einzugsgebiet der Magliasina; Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, III. Band, Nr. 16, 1948

GYGAX F. und GHEZZI C. Die hydrologischen Verhältnisse am Alpensüdhang, Wasser- und Energiewirtschaft, Sonderheft Ticino, Zürich 1953

HAFISI A'S. Das Kristallin der Lebendun-Decke im Basodino Gebiet, Dipl. Arbeit ETH Zürich 1967

HIRSBRUNNER G. Beiträge zur Morphologie und Hydrologie der Rovana-Täler, Diss. Bern 1958

HOECK E.: Der Einfluss der Strahlung und der Temperatur auf den Schmelzprozess der Schneedecke, Beitr. z. Geologie d. Schweiz - Hydrologie, ETH Zürich, 1952

KASSER - FOREL - MERCANTON - RENAUD: Gletscher der Schweizer Alpen, Berichte der Gletscherkommission der S. N. G., Jahrbücher SAC und Zeitschrift "Die Alpen", bis 1967

KISTLER E.-H.: Hydrologische Untersuchungen im Gebiete der Valle Onsernone, Diss. Bern 1954

KELLER H.: Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa, Jahrbuch f. Gewässerk. Norddeutschlands, Bes. Mitt. 4, Berlin 1906

KREPS H. Ueber das Abflussvermögen der Gewässer im Raum der Nordalpen, 1951

-Mittlere Jahresabflusshöhen in der Steiermark, 1954

LINDER A.: Statistische Methoden für Naturwissenschafter, Basel 1964

LÜTSCHG O.: Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Beiträge zur Geologie der Schweiz - Geotechnische Serie - Hydrologie

-I. Band 1. Teil Allgemeines, Die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Abfluss im allgemeinen, Zürich 1939/45

-II. Band 3. Teil Zur Hydrologie der Landschaft Davos, Zürich 1944

- Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes, Zürich 1926

- Zur Wasserwirtschaft des Kraftwerkes Wäggital, 1930

METEOROLOGISCHE ZENTRALANSTALT, Annalen bis 1966

- Ergebnisse der täglichen Niederschlagsmessungen bis 1966

- Wetterberichte, verschiedene

RIEDWYL H. - JACOT E. - KOCH E.: Programm für den Bull General Electric Computer: Regression und Korrelation, 1967

REIST M.: Beiträge zur Morphologie und Hydrologie des Bavonatales, Diss. Bern 1958

RENFER H.: Beitrag zur Morphologie und Glaziologie des Muggiotales und angrenzender Gebiete, Diss. Bern 1963/64

ROTH R.: Ueber die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss im Reussgebiet, Diss. Basel 1923

SCHUEPP M.: Wolken, Wind und Wetter, Büchergilde Gutenberg, Zürich

-Beihefte zu den Annalen der MZA: Lufttemperatur 1960; Sonnenscheindauer 1961; Bewölkung und Nebel 1962

SCHWAB W.: Untersuchungen über die Grundwasserstände der Vedeggioebene, Diss. Bern 1968

UTTINGER H.: Die Niederschlagsmengen der Schweiz, Niederschlagskarte der Schweiz 1 : 500 000, Zürich 1949

-Die Niederschlagsverhältnisse der Südschweiz, Annalen der MZA

-Die Höhenabhängigkeit der Niederschlagsmengen in den Alpen, 1951

-Niederschlag, Beihefte zu den Annalen der MZA, 1964 und 1965 Mittlere Niederschlagsmengen für die Perioden 1901-1940 und 1931-1960

WITSCHI R.: Morphologie und Hydrologie der Oberen Blenio-Täler, Diss. Bern 1957

WUNDT W.: Beziehungen zwischen den Mittelwerten von Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Lufttemperatur, Deutsche Wasserwirtschaft, 1937, Hefte 5 und 6

- Die Verdunstung von den Landflächen der Erde im Zusammenhang mit der Temperatur und dem Niederschlag, Zeitschrift für angewandte Meteorologie, 56. Jahrgang 1939