

Zeitschrift: Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern
Herausgeber: Geographische Gesellschaft Bern
Band: 42 (1953-1954)

Artikel: Hydrologische Untersuchungen im Gebiete der Valle Onsernone (Kanton Tessin) : mit besonderer Berücksichtigung des Kolkphänomens
Autor: Kistler, Emil-Henri
Kapitel: III: Niederschlag-Abfluss-Erosion
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-323661>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

III. Teil

Niederschlag - Abfluss - Erosion

A. Der Niederschlag

1. Kalenderjahr oder hydrologisches Jahr ?

Nach F. GYGAX 14) ist es vorteilhaft, für die technische Bearbeitung des Niederschlag-Abflussproblems des Hochgebirges anstelle des Kalenderjahres das mit dem 1. Oktober beginnende hydrologische Jahr zu wählen. Wenn im tiefsten Winter, innerhalb einer Periode der Aufspeicherung, mit einer neuen Bilanz begonnen werden muss, werden wir mit erheblichen Schwierigkeiten rechnen müssen, weil der folgende sommerliche Abfluss genetisch dem Winter zugehört. Je höher das Untersuchungsgebiet ist, desto besser und vorteilhafter lässt sich eine deutliche Trennung zwischen Sommer und Winter vollziehen. Da unser Forschungsgebiet, das Onsernone, Ende des Jahres in der Regel eine nur wenig mächtige Schneedecke erhält und Regenfälle zu dieser Jahreszeit wenig ergiebig sind, so haben die Rücklagen auf Ende des Kalenderjahres ihren minimalen Wert. Der mediterrane Klimatypus bringt in den Herbstmonaten starke Niederschläge. Deshalb ist das Kalenderjahr als Zeiteinheit für das gletscherfreie Einzugsgebiet geeigneter als das hydrologische Jahr.

2. Der Niederschlag

Die Südabdachung der Alpen ist durch ihre grosse Niederschlagsmenge bekannt. Nähert man sich von der Poebene her den Alpen, so steigen die Niederschläge stetig an: Mailand 104 cm, Como 130 cm, Lugano 170 cm, Locarno 186 cm, Mosogno 182 cm. Die allgemeine Regel, dass mit zunehmender Höhe auch die Niederschläge ansteigen, gilt für den Sopraceneri und insbesondere für das Untersuchungsgebiet nur bedingt.

Station	Höhe ü. M.	Jahres- Mittel	Maximum	Minimum
Locarno	239 m	2358 mm	2854 mm	1862 mm
Cevio	430 m	2295 mm	2913 mm	1678 mm
Camedo	610 m	2792 mm	3764 mm	1821 mm
Mosogno	790 m	2343 mm	3237 mm	1450 mm
Bosco-Gurin	1486 m	2323 mm	3002 mm	1644 mm

Die hohen Werte von Camedo sind durch die ausgesprochenen Steigungsregen bedingt. Im Uebrigen zeigt die Zusammenstellung eine deutliche Abnahme der Niederschlagshöhen mit wachsender topographischer Höhenlage. Die Abnahme der Niederschläge erfolgt im wesentlichen erst oberhalb 600 m Höhe. Von 610 bis 1486 m beträgt die Reduktion für je 100 m Höhenzunahme im Mittel 54 mm, ein Wert, der ungefähr die Hälfte desjenigen ausmacht, den GYGAX für den Sottoceneri angibt.

Die Verteilung der Niederschläge auf die einzelnen Jahre und Monate der Beobachtungsperiode 1949—1953

Die untenstehende Zusammenstellung gibt für die einzelnen Monate ein gutes Bild über den Verlauf der Niederschlagshöhen im Onsernone.

TABELLE 10

1949—1953	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Mittel
ONSERNONE	63	121	50	204	253	183	112	155	232	177	264	62	156.4
MAGLIASINA	89	66	65	217	280	215	270	132	198	203	119	69	160.3

Die mittlere Niederschlagsmenge für die fünfjährige Periode 1949—1953 beträgt 1876 mm oder 230,6 Mill. m³ pro Jahr. Der monatliche Gang weist drei Spitzen auf: Mai (253 mm), August/September (194 mm) und November (264 mm). Während die Frühjahrs- und Herbstspitzen für beide Gegenden zeitlich koinzidiert, divergiert diejenige für den Sommer derart, dass für das Onsernone das spätsommerliche Maximum auf zwei Monate zusammengedrängt, dafür die Herbstspitze auf einen einzigen zusammengefasst ist. Generell ergibt sich damit eine zeitliche Verschiebung des Herbstmaximums gegen die Alpen zu um einen Monat und die Tatsache, dass die Frühjahrs- und Sommerniederschläge in der Magliasina höher sind als im Onsernone.

TABELLE 11

Onsernone: Monatl. Niederschlagshöhen 1949—1953 in mm. Einzugsgebiet: 119 km²

Jahr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe	Mittel
1949	89	0	12	190	393	40	40	92	39	75	265	56	1291	107.6
1950	34	138	28	220	230	126	104	188	286	2	248	168	1772	147.7
1951	161	459	148	188	398	382	173	342	65	247	652	22	3237	269.7
1952	26	6	60	226	236	76	98	103	320	113	143	42	1450	120.8
1953	14	5	0	196	10	293	146	48	453	451	14	23	1654	137.8
Summe	314	608	248	1020	1267	917	561	774	1163	888	1322	311	9404	783.6
Mittel	63	121	50	204	253	183	112	155	232	177	264	62	1876	156.4

Die vorn erwähnten Spitzen in der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung mit einer auffälligen Herbstkulmination im November kommt auch in den Niederschlagskurven zum Ausdruck (Seite 88). Ihre eingehende Würdigung erfolgt im Kapitel «Abfluss». Die abnormal hohen Februarwerte für die Jahre 1950/51 lassen sich aus den reichen Schneefällen ableiten, die zu den bekannten Lawinenkatastrophen Anlass gegeben haben. Sonst bilden die Wintermonate Dezember-März eine zusammenhängende hydrologische «Depression». Das sekundäre Juliminimum und die erneute scharfe Niederschlagszunahme im August-September zeigt den bekannten mediterranen Niederschlagstypus noch besser als etwa die Werte für Lugano oder Bellinzona. Gegenüber der Alpen-Nordseite stellt der Sprung März-April von 50 mm auf 204 mm das Charakteristikum der insubrischen Niederschläge schlechthin dar. Sie werden teilweise allerdings durch die absoluten Maximalwerte im Spätherbst etwas degradiert, weil diese sonst im insubrischen Frühjahr auftreten. Ein Vergleich der Mittel der Jahre 1949—53 mit denjenigen der 40jährigen Epoche 1901—1940 ergibt die verblüffende Tatsache, dass trotz der oft ansehnlichen monatlichen Differenzen zwischen den beiden Perioden der Gesamtverlauf 1949—1953, d. h. die Bilanz, mit dem langen Zeitintervall beinahe parallel geht. Es findet demnach in langen Zeiträumen stets ein Ausgleich zwischen Trocken- und Nassperioden statt, wobei das Phänomen der «trockenen» Sommermonate anhand der Tabelle 12 vorläufig nicht negiert werden kann.

TABELLE 12

Niederschlagshöhe in Millimeter

Jahr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe	Mittel
1901— 1940	54	74	129	178	216	191	209	215	245	250	182	98	2041	170.0
1949— 1953	63	121	50	204	253	183	112	155	232	177	264	62	1876	156.4
Defizit			79			8	97	60	13	73		36	366	13.6

Die Sommer- und Herbstmonate der 40jährigen Periode scheinen viel feuchter gewesen zu sein, als die entsprechenden der kürzeren. Der typisch mediterrane Charakter unseres Gebietes kommt in der zweiten Beobachtungsperiode besser zur Geltung. Wäre die zweite Reihe zeitlich mit der ersten äquivalent, so müsste man eine deutliche Klimaveränderung postulieren und zwar in dem Sinne, dass eine Verlagerung der niederschlagsreichen Monate vom Sommer-Herbst auf den Winter und Vorsommer zu konstatieren ist, was für den Wasserhaushalt des Hochgebirges von entscheidender Bedeutung wäre. Eine Prognose allein auf Grund obiger Resultate wäre aber unter den geschilderten Umständen ein unverzeihlicher Leichtsin!

Niederschlagsdichte

Ihre Grösse ist der Quotient aus der Monatssumme der Niederschläge und der Zahl der monatlichen Niederschlagstage.

TABELLE 13

MOSOGNO	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Mittel
1947	2.0	11.4	21.5	5.7	14.4	18.9	21.7	17.5	37.4	9.7	12.3	14.7	15.6
1948	17.0	9.5	4.0	20.4	11.5	12.3	6.0	16.7	56.7	12.1	9.0	4.0	14.9
1949	22.2	0.0	2.4	21.1	19.6	6.7	8.0	10.2	4.8	9.4	26.5	14.0	12.0
1950	4.8	19.7	5.6	16.8	18.4	12.6	15.0	13.4	25.8	1.0	22.6	11.4	23.9
1951	16.1	32.8	14.8	21.0	26.5	29.4	15.7	22.8	8.1	19.0	54.3	5.3	22.1
1952	8.6	5.1	15.0	20.5	23.6	6.9	9.0	9.4	20.0	11.2	20.4	3.0	12.7
1953	4.6	5.0	0.0	17.8	2.5	20.9	13.2	8.0	37.8	30.0	7.0	4.6	12.6
Summe	69.3	83.5	53.3	123.3	116.5	107.7	88.6	98.0	190.6	92.4	152.1	57.0	
Mittel	9.9	11.9	7.6	17.6	16.7	15.4	12.7	14.0	27.2	13.2	21.7	8.1	16.3

Der jährliche Gang obiger Quotienten weist wie jener der Niederschlagshöhen dieselben drei Kulminationspunkte auf. Die Niederschläge des August sind grosso modo gleich gross wie diejenigen des September; da aber die Zahl der Niederschlagstage im August grösser ist als im September, muss sich unweigerlich ein geringerer Wert für die Niederschlagsdichte einstellen.

Sehr lehrreich ist die Zusammenstellung der Niederschlagsdifferenzen von Monat zu Monat. Die mittlere Differenz zwischen den Werten von Lugano ist doppelt so hoch gegenüber denen von Zürich. Die Mittel des Onsernone aber sind um den achtfachen Betrag höher als diejenigen von Lugano.

In diesen Zahlen offenbart sich die Individualität des Onsernone ausgezeichnet!

Die monatliche Verteilung der Niederschläge (Vergleichstabelle).

TABELLE 14

	I	D	II	D	III	D	IV	D	V	D	VI	D	VII
Zürich	54	1	55	20	75	17	92	18	110	25	135	0	135
Lugano	67	12	55	46	101	58	159	20	179	6	185	26	159
Onsernone	63	58	121	71	50	154	204	49	253	70	183	71	112

	D	VIII	D	IX	D	X	D	XI	D	XII	D	Summe der D	Mittel der D
Zürich	10	125	20	105	17	88	20	68	10	78	24	182	15.2
Lugano	23	182	12	194	15	209	71	138	66	72	5	360	30.0
Onsernone	43	155	77	232	55	177	87	264	202	62	1	2824	235.3

D = Differenz

Die Ozeanität

Sie ist das Verhältnis der Niederschlagsmenge zur Meereshöhe und gilt als charakteristische Grösse einer Mess-Station. Sie wird mit Hilfe des Ausdruckes

$$\text{Tangens } w = \frac{\text{Jahressumme der Niederschläge in mm}}{\text{Meereshöhe in m}} \quad \text{bestimmt.}$$

Die Extreme für die Schweiz betragen nach GAMS:

Grächen: 18° (kontinental)
 Brissago: 84° (ozeanisch)

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Ozeanitätswerte für die Station Mosogno und die Nachbarstationen Camedo, Locarno und Bosco-Gurin, auf Grund des Jahresmittels 1949/53:

Station	Ozeanitätswert	
Mosogno	68° 0'	1951
Brissago	83° 8'	Extremwert für Mosogno
Camedo	75° 4'	
Locarno	82° 48'	
Bosco-Gurin	52° 26'	

Die durch die Steigerungsregen erhöhten Niederschlagsmengen von Camedo wirken sich in der Ozeanitätszahl ebenfalls aus, obschon die Station wesentlich höher liegt als Locarno. Im Uebrigen widerspiegeln die obigen Werte den Klimacharakter vortrefflich: Brissago und Locarno sind stark ozeanisch akzentuiert, das Onsernone mit Mosogno immer noch reichlich, während Bosco-Gurin seinen kontinentalen Charakter nicht verleugnen kann. Hier macht sich auch die unmittelbarere Nachbarschaft zum Hochgebirge und die Lage im Regenschatten deutlich bemerkbar.

B. Der Abfluss

1. Quellen

Schuttquellen sind im verfestigten Gehängeschutt recht zahlreich vorhanden. Gleichmässiger und ergiebiger Erträge liefern die ebenso häufig vorkommenden Kluftquellen, weil die Gneise infolge ihrer intensiven Klüftung und tektonischen Zerrüttung stark wasserdurchlässig sind. Die Wasserversorgungen der meisten Dörfer sind an solche Kluftquellen angeschlossen. Sehr trockene Jahre lassen aber auch den Ertrag dieser Quellen zurückgehen, so dass, wie im Sommer 1950, die Dorfleitungen während der Nacht abgestellt wurden, ja sogar noch zu gewissen Tagesstunden.

Das mittlere und obere Onsernone ist wegen seines zerklüfteten Untergrundes quellenreich. Die Quellen sind stark lokalisiert, wie die Flussschichten es demonstrieren. Sie halten sich hinsichtlich ihres Ertrages in bescheidenem Rahmen und reagieren auf äussere Zustandsänderungen ziemlich schnell. Zusammengefasst liefern sie doch genügend Wasser zur Speisung eines Flusses. Da der Isorno wie auch der Ribo seit Menschengedenken noch nie ausgetrocknet gewesen sind, müssen in den Gesteinsklüften beträchtliche Wassermengen aufgespeichert sein.

2. Der Isorno

Südlich von Russo, hart am Nordwiderlager des Ponte Vecchio, steht in 620 m Höhe die Limnigraphenstation. Sie wurde im Jahre 1949, im Hinblick auf die

beginnenden Bauarbeiten des Maggia-Kraftwerkes, voll automatisiert. Die Kontrollstreifen müssen wöchentlich ausgewechselt werden. Zur direkten Abflussmessung ist noch eine Messbrücke erstellt worden.

Die jährlichen Abflusswerte

TABELLE 15

E = 119 km²

ISORNO	1949	1950	1951	1952	1953	Mittel
Abfluss in Millionen m ³	121.9	155.3	323.5*	134.1	194.1	185.8
Abflusshöhe in m	0.921	1.305	2.719	1.127	1.423	1.574
Abflussspende l/sec und km ²	33.8	41.9	87.4	36.9	45.2	52.8

* bedingt durch die ausserordentlich hohen Niederschläge!

Der Mittelwert von 185,8 Millionen m³ stellt die beträchtliche Wassermasse dar, die der Isorno der Maggia, resp. dem Langensee jährlich zuführt. Die Schwankungen zwischen nassen und trockenen Jahren sind nicht so gross, wie die obigen Zahlen es vermuten lassen, weil das Jahr 1951 mit ausserordentlichen Niederschlägen gesegnet war und dieselben nur einen Ausnahmewert darstellen. Der Schwankungskoeffizient zwischen 1949 und 1951 beträgt 2,6.

Wir wollen im Folgenden kurz auf die ausserordentlichen Niederschläge des Jahres 1951 eingehen, die den Abfluss entscheidend gestaltet haben (siehe auch M. Z.-Bulletin).

Am 10., 11. und 12. Februar sind im Tessin bedeutende Föhnregen zu verzeichnen. Der Betrag von 40 mm ist am 10. nur auf wenigen Stationen überschritten worden, so in Cevio, Mosogno, Locarno und Mezzana. Ausgiebige Niederschläge brachte aber der 11. Februar. An diesem Tage liegt das Maximum über dem Centovallgebiet: Camedo 165 mm, Mosogno 158 mm, Brissago 152 mm, Locarno 122 mm. Am 12. Februar verstärken sich die Föhn-niederschläge abends neuerdings, wogegen die Alpennordseite teilweise überhaupt keinen Niederschlag erhalten hatte.

Am 7. August sind im Tessin ganz ungewöhnlich grosse Niederschlagsmengen gefallen. Das Kerngebiet entfällt auf das Einzugsgebiet der Maggia, wo meist 100 bis 120 mm gemessen wurden (in Camedo 179!). Am 8. August liegt das Gebiet mit mehr als 40 mm Niederschlag ausschliesslich im Südosten einer Linie, die von Camedo über Faido nach Ragaz verläuft. Das Kerngebiet erhält

200 mm und mehr Niederschläge auf folgenden Stationen: Brissago 210 mm, Locarno 236 mm, Crana Torricella 207 mm, Biasca 204 mm, dagegen Mosogno nur 15 mm. Diese Wassermassen haben eine Katastrophe grossen Ausmasses zur Folge gehabt.

Das Wandern des Hauptniederschlagsgebietes weist auf einen Zusammenhang mit einer Front hin und zwar an einen kompliziert verlaufenden Kaltluftereinbruch. Alle Regen waren mit starken Gewittern und einem intensiven Temperaturfall (6°) verbunden. Die anhaltenden Süd- bis Südwestwinde bei fallender Temperatur deuten auf einen Kaltluftereinbruch aus Süden hin. Dem Tief, welches vom 8. zum 9. August aus der Bretagne ziemlich schnell gegen Nordwestdeutschland vorsties, folgte ein starker Druckanstieg und bewirkte in der Höhe eine Westdrehung des Windes als Folge eines Nord-Süd gerichteten Gradienten.

Zum dritten Mal hatte die Alpensüdseite vom 6. zum 21. November Niederschläge mit verheerenden Folgen aufzuweisen³²⁾ (Ueberschwemmung der Poebene!). Es lassen sich dabei drei Perioden von ununterbrochener Dauer unterscheiden: 6. bis 9. morgens, 9. abends bis 12. morgens und 18. mitternachts bis 21. nachmittags.

Die erste Periode lässt sich durch eine tiefe Föhn-depression mit Randstörungen erklären, deren Hauptminimum über dem Atlantik lag. Die Niederschläge betrug überall im Tessin mehr als 70 mm. In der zweiten Periode lag das Kerngebiet über dem Einzugsgebiet der Maggia, das Maximum über Camedo. Die allgemeine Wetterlage war noch ungefähr dieselbe wie in der vorangegangenen Periode. Der dritte Dauerregen fiel in der Südwestecke des Kantons: Camedo 146,5 mm, Mosogno 97 mm, Brissago 132,4 mm, Lugano 100 mm. Die allgemeine Wetterlage in dieser dritten Periode war wiederum durch eine Föhn-lage gekennzeichnet. Ihr Ende wurde durch einen Kaltluftereinbruch auf der Alpennordseite herbeigeführt.

Die monatliche Abflussverteilung

Vergleiche	Seite	76:	Monatliche Abflusshöhen
	Seite	76:	Monatliche Abflusspenden
	Seite	77:	Abflussmengen in Millionen m ³

Die Monate Dezember bis März weisen minimale Abflussbeträge auf (absolutes Minimum im Januar). Der Abfluss steigt, wie die Niederschläge, im April um das Dreifache des März-betrages an und erreicht im Mai seinen Höchstwert mit 156 Liter Abflusspende oder 399 mm. Die folgenden Monate zeigen eine

³²⁾ siehe Literaturverzeichnis

TABELLE 16

ISORNO

Monatliche Abflusshöhen 1949 bis 1953 in Millimeter

Einzugsgebiet: 119 km²

Jahr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe	Mittel
1949**								22	17	25	57	40	948*	32.2
1950	30	31	78	158	389	169	60	87	149	54	57	43	1305	108.7
1951	39	76	84	249	519	616	209	207	89	126	456	49	2719	226.5
1952	23	18	33	196	288	145	44	37	130	116	52	45	1127	93.9
1953	22	20	39	159	112	186	161	35	181	375	106	27	1423	118.6
Summe	114	145	234	762	1308	1116	474	366	549	671	671	164	7522	547.7
Mittel														
1950—53	28	39	59	190	327	279	118	91	137	168	168	41		139.4

* Extrapolierter Wert

TABELLE 17

Mittlere monatliche Abflusspenden der Jahre 1949 bis 1953 in l/sec km²Einzugsgebiet: 119 km²

Jahr	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Mittel
1949**								8.09	6.41	8.85	22.1	15.1	12.1
1950	11.6	12.0	29.9	60.9	151.0	65.1	23.4	33.3	57.3	21.0	22.0	16.5	41.9
1951	15.0	28.3	32.3	96.0	200.0	237.0	80.7	79.7	34.4	48.6	175.0	19.2	87.4
1952	8.9	7.1	13.0	75.7	119.0	56.0	17.2	14.4	50.2	44.8	18.9	15.1	36.9
1953	8.3	8.2	15.4	71.4	42.0	72.3	60.7	12.7	71.9	137.0	28.6	11.5	45.2
Mittel													
1950—53	10.9	14.1	22.6	75.9	128.0	108.0	45.4	35.0	53.4	62.8	61.3	15.5	52.8

** Die Angaben des Jahres 1949 fallen wegen ihrer Unvollständigkeit ausser Betracht

$$\text{Abflusshöhe } A_h = A \text{ (Mill. m}^3) \cdot \frac{1}{E}$$

Monatliche	1949								2.574	1.977	2.776	6.797	4.774
Abfluss-	1950	3.588	3.692	9.230	18.772	46.280	20.072	7.176	10.270	17.680	6.474	6.786	5.096
mengen in	1951	4.628	9.074	9.984	29.640	61.880	73.320	24.960	24.648	10.634	15.030	54.340	5.928
Mill. m ³	1952	2.756	2.184	4.030	23.400	36.920	17.316	5.304	4.446	15.522	13.880	5.850	4.680
	1953	2.624	2.346	4.661	22.031	13.384	22.317	19.338	4.114	22.187	42.250	8.813	3.669
	Summe	13.596	17.296	27.905	93.843	158.464	133.025	56.778	43.478	66.023	77.634	75.789	19.373
	Mittel	3.399	4.324	6.976	23.460	39.616	33.256	14.194	10.870	16.505	19.408	18.947	4.843
Absolut	1949								0.050	0.050	0.047	0.058	0.114
kleinste	1950	0.073	0.064	0.128	0.269	0.924	0.216	0.139	0.148	0.165	0.097	0.089	0.097
Abflussmenge	1951	0.102	0.113	0.162	0.227	0.976	1.244	0.424	0.295	0.177	0.119	0.336	0.127
jedes Monats	1952	0.072	0.057	0.087	0.162	0.523	0.250	0.088	0.097	0.133	0.172	0.139	0.105
je Tag in	1953	0.080	0.058	0.113	0.263	0.195	0.108	0.173	0.085	0.062	0.203	0.132	0.070
Mill. m ³	Summe	0.327	0.292	0.490	0.921	2.618	1.818	0.824	0.625	0.537	0.591	0.696	0.399
	Mittel	0.082	0.073	0.122	0.230	0.654	0.454	0.206	0.156	0.144	0.148	0.174	0.099
pro Jahr 0.211	Mittel	0.082	0.073	0.122	0.230	0.654	0.454	0.206	0.156	0.144	0.148	0.174	0.099
Absolut	1949								0.226	0.114	0.643	0.924	0.282
grösste	1950	0.172	0.241	0.537	1.339	5.645	1.425	0.816	1.175	3.456	1.002	0.501	0.317
Abflussmenge	1951	0.346	1.087	0.844	2.116	9.590	9.676	1.347	4.803	1.779	3.248	8.095	0.311
jedes Monats	1952	0.134	0.103	0.239	3.784	3.274	1.321	0.334	0.399	1.641	1.140	0.257	0.382
je Tag in	1953	0.105	0.160	0.255	3.284	0.691	3.145	1.731	0.025	4.250	6.117	0.907	0.173
Mill. m ³	Summe	0.757	1.591	1.875	10.523	19.200	15.567	4.328	6.402	11.126	11.507	9.760	1.183
	Mittel	0.190	0.398	0.470	2.630	4.800	3.892	1.082	1.600	2.782	2.877	2.440	0.296
pro Jahr 1.954	Mittel	0.190	0.398	0.470	2.630	4.800	3.892	1.082	1.600	2.782	2.877	2.440	0.296
Maximale	1949								3.820 ¹	1.450	16.900	17.200	4.100
Abflussmenge	1950	2.000	2.800	6.220	18.600	138.000 ¹	28.600	41.400	45.800	135.000	19.100	8.950	4.450
(Spitze)	1951	4.750	16.700	12.300	32.000	190.000 ¹	250.000	28.800	300.000 ²	135.000	45.000	140.000	4.450
jedes Monats	1952	1.560	1.220	3.300	52.000	68.000 ¹	37.000	12.000	9.700	37.000	20.500	4.050	5.500
in m ³ /sec	1953	1.160	2.150	3.350	52.500	10.600	55.000	35.000	6.500	95.000	115.000	11.700	2.150

Die Summen- und Mittelwertangaben enthalten nur die Daten von 1950—53

¹ schneereicher Winter! ² ausgesprochene Spätsommer- und Herbstgüsse

stetige Abnahme bis in den September hinein. Ein relatives Minimum zeigt sich im Oktober. Hierauf nimmt aber die Wasserführung wegen der Herbstniederschläge nochmals merklich zu und erreicht im November ein zweites Maximum, welches allerdings kleiner ist als jenes vom Mai. Im Januar wird das Minimum wieder erreicht.

Die extremen Monatsmittel eines jeden Jahres seien in der folgenden Tabelle nochmals zusammenfassend wiedergegeben:

TABELLE 19

Abflusshöhen	Maximum	Minimum
1950	Mai 389 mm	Januar 30 mm
1951	Juni 616 mm	Januar 39 mm
1952	Mai 288 mm	Februar 18 mm
1953	Oktober 375 mm	Februar 20 mm
Mittel	417 mm	27 mm

Schwankungskoeffizient: 15,4 (Malcantone 11,4).

Im Vergleich zu den Werten, die GYGAX für den Malcantone errechnet hat, weist das Onsernone eine grössere Schwankung auf, was ohne weiteres erklärlich ist, wenn man die orographischen Verhältnisse berücksichtigt. Die stärkere Amplitude wird sich auch dann einstellen, wenn längere Zeitperioden verwendet werden können, als bisher.

Im Mittel erhalten wir für die grösste tägliche Abflussmenge in der Beobachtungsperiode 1,954 Millionen m³ und für die kleinste 0,211 Millionen m³ (siehe Tabelle 18). Die Schwankung dieser Mittelwerte ist eine geringere, als sie GYGAX im Malcantone angetroffen hat, was auf eine gleichmässigeren Wasserführung des Isorno zurückzuführen ist.

TABELLE 20

Jahr	Absolutes Minimum			Absolutes Maximum			Schwankung
	Tag	Monat	Betrag ¹	Tag	Monat	Betrag ¹	
1949	24	Oktober	0.047*	20	November*	0.924	19.6
1950	9	Februar	0.064	18	Mai	5.645	88.2
1951	18	Januar	0.102	23	Juni	9.676	94.8
1952	15	Februar	0.057	24	April	3.784	66.4
1953	7	Februar	0.058	19	Oktober	6.117	105.5
Summe			0.328			26.146	
Mittel			0.066			5.229	79.3

* Werte der zweiten Jahreshälfte sind nur bedingt brauchbar

¹ in Mill. m³ pro Tag

Die Interpretation der absoluten Minima und Maxima dürfte in dem Sinne von grosser Tragweite sein, als damit die prinzipiellen Möglichkeiten der Wasserführung eines Flusses erörtert werden. Für den Isorno lautet das Resultat dahin, dass er unter Umständen pro Tag bis 9,5 Millionen m³ in den Langensee abführen kann. Der Tagesabfluss kann aber auch nur 47 000 m³ betragen.

Aus dem Verlaufe der prozentualen Verteilung des Abflusses ist ersichtlich, dass zu Ende der ersten Jahreshälfte im Mittel 61,20% des jährlichen Abflusses den Limnigraphen passiert haben, dass also der Abfluss nicht ganz gleichmässig auf beide Kalenderhälften verteilt ist. Die Sommermonate April bis September beanspruchen 73,00%, die Wintermonate 27,00% des jährlichen Wasserabflusses. Im Vergleich mit dem Malcantone ergibt sich die für die Wintermonate mächtigere Schneedecke, die sich auf den Sommerabfluss akzentuierend auswirkt.

3. Niederschlag-Abfluss

In Bezug auf die Koïnzidenz der Abfluss- und Niederschlagsspitzen kristallisieren sich zwei Fälle heraus:

- a) Die Niederschlagsspitze steht zeitlich 1—2 Tage vor dem entsprechenden Niederschlags-Maximum, d. h. der Abfluss hinkt dem Niederschlag nach. Diese Erscheinung ist die vorherrschende und normale. Da der Boden nicht völlig undurchlässig und im Einzugsgebiet eine ausgedehnte Waldbedeckung vorhanden ist, die die Niederschläge akkumuliert, kommt der Abfluss erst allmählich in Gang. Die Ursache liegt kaum im Standort der Mess-Station begründet, da die Distanzen zwischen Station und Einzugsgebiet zu klein sind.
- b) Der Niederschlag hinkt dem Abfluss nach. Die Niederschläge sind örtlich begrenzt und im Einzugsgebiet kleiner als bei der Mess-Station. Dies ist der Ausnahmefall.

In den Wintermonaten, besonders im Dezember und Januar, entspricht häufig einer relativ grossen Niederschlagsmenge ein ganz minimaler Abfluss. Dies zeigt Schneefall an. Er ist in den Abflussmengen nicht mehr wirksam; diese können im gleichen Zeitpunkt sogar weiter abnehmen. Tritt dieses Phänomen aber in einer andern Jahreszeit auf, so liegt der Grund in der Niederschlagsfreiheit des Einzugsgebietes bei gleichzeitigen Niederschlägen in der Station. Umgekehrt entspricht einem grossen Abfluss bei gleichzeitig minimalem Niederschlag eine Niederschlags-Freiheit der Mess-Station oder Schneeschmelze. Die Niederschlagsspitzen Ende Februar 1950 bedeuten Schnee und Regen, vornehmlich aber Schnee, denn der Anstieg der Abflussmenge ist im Verhältnis zu den Niederschlag-Spitzen ganz unbedeutend.

Kurz hintereinander liegende N-Spitzen bewirken einen einmaligen, konstanten Anstieg der Q-Kurve.

Ein Koïnzidieren beider Kurven deutet auf Landregen oder weitgespannte Gewitter hin, wobei der Boden mit Wasser gesättigt ist. Somit folgt der Abfluss dem Niederschlag auf dem Fusse. Ganz kleine Niederschläge haben keinen Einfluss auf die Abflussmengen, sofern der Boden nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist.

Niedere N-Werte für den Monat Mai bei gleichzeitig hochstehendem Q bedeutet Schneeschmelze. Für den Mai 1950 registrieren wir allerdings ein N-Maximum. Dies bedeutet in diesem speziellen Fall Regen mit Schneeschmelze, denn der Regen allein könnte niemals ein solch grosses Q hervorrufen.

In den Wintermonaten kann auch einmal der Fall eintreten, dass kleinsten N-Mengen grosse Q entsprechen! Entweder haben wir dann plötzliches Tauwetter, oder aber es regnet auf hart gefrorenen Boden, sodass die geringsten N-Mengen sofort abfliessen. Da die Station Mosogno für Vergleichszwecke ungünstig gelegen ist, wäre eine zweite Station in Spruga oder Vergeletto (Grosso) wünschenswert.

Bekanntlich besteht ein Verhältnis zwischen Abfluss und Niederschlag, welches in folgender Gleichung zum Ausdruck kommt:

$$A = c (N - c)$$

Diese Formel entspricht einer Geraden, wobei die Niederschlagshöhe als Abszisse und die zugehörige Abflussmenge als Ordinate aufgetragen ist. Für Mittel-Europa fand KELLER für das durchschnittliche Verhältnis von Niederschlag und Abfluss die Beziehung:

$$A = 0,942 (N - 430)$$

Aus ihr resultiert, dass, wenn $N \geq 430$, $A = 0$ sein muss, also Abflusslosigkeit herrscht.

Ein wichtiges Ergebnis der vierjährigen Niederschlags-Abflussmessungen finden wir in der graphischen Darstellung auf der folgenden Seite: der Abfluss als Funktion des Niederschlages. Die erhaltene Relation stellt eine Gerade unter dem Winkel von 41° dar und lautet:

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

Da die Gerade weniger als 45° geneigt ist, entspricht einer Vergrösserung des Niederschlages eine proportional zu kleine Abflusszunahme, d. h. grössere

Niederschlagsbeträge ergeben ein weiteres Anwachsen der Rücklagen. Es dominieren offenbar die Zerklüftung des Terrains einerseits und die ausgedehnte und dichte Vegetationsdecke (Wälder!) andererseits. Die Verdunstung wird im Onsernone keine so grosse Rolle spielen, wie z. B. im Magliasina, wo der «überschüssige» Abflussbetrag (nach GYGAX) zum Teil auf Kosten der Verdunstung erfolgt.

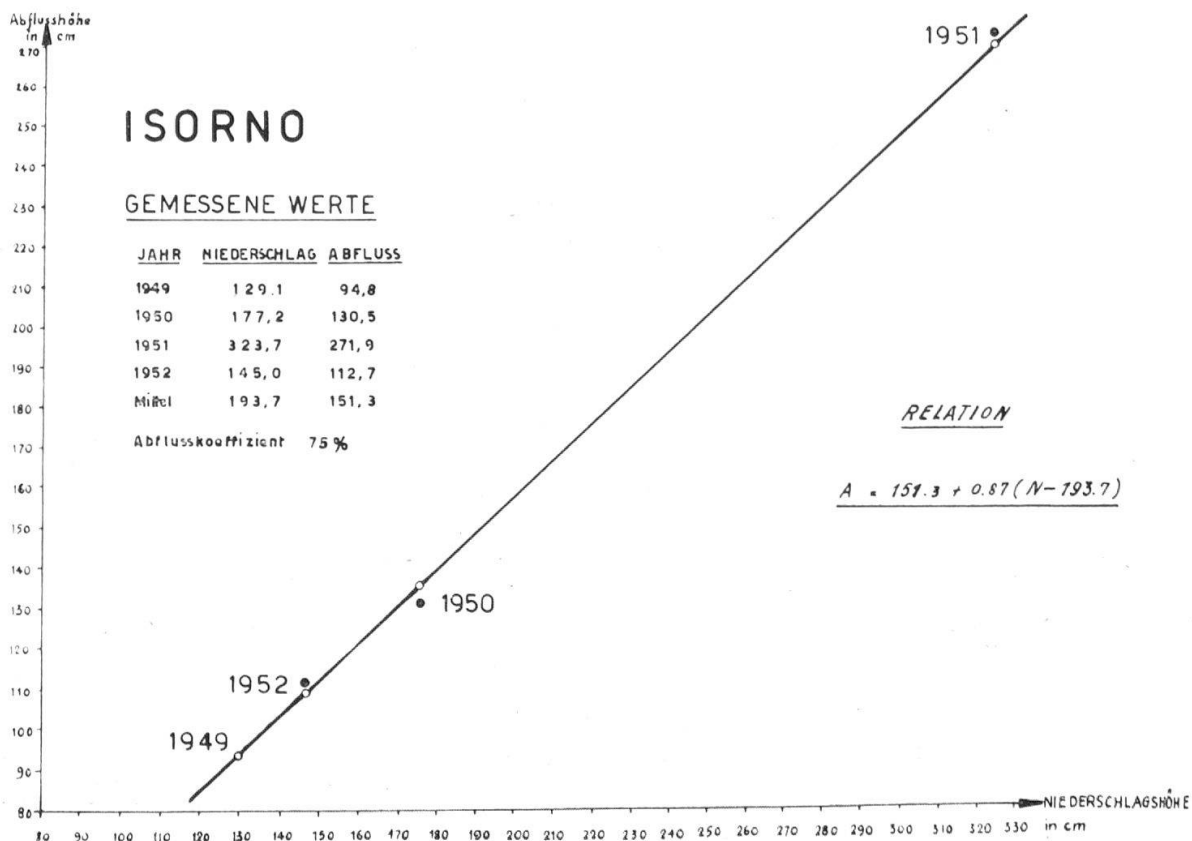
In den Resultaten divergieren die beiden Formeln relativ wenig. In beiden wird der Wert für die Verdunstung und die Rückbildung nicht einbezogen, weil vor allem die erstere wegen ihrer komplexen Natur höchstens empirisch erfasst werden kann.

TABELLE 21

Abflusshöhen in Meter

Jahr	Keller	Autor	Limnigraph
1949	0.811	0.951	0.948*
1950	1.274	1.349	1.305
1951	2.644	2.644	2.719
1952	0.960	1.089	1.127
1953	1.153	1.421	1.423

* Extrapolierter Wert nach Abflusskurve 1950—1953



Die Differenzunterschiede der vierjährigen Periode in Bezug auf die Limni-graphenwerte betragen nach KELLER — 0.410, nach der zweiten Formel — 0.068. Eine dritte, von verschiedenen Faktoren abhängige Formulierung entwickelt POSSENTI:

$$Q = 700 \cdot \frac{h}{l} \cdot (a + \frac{b}{3})$$

In dieser Formel bedeuten:

- Q = Hochwassermenge in m³/sec
- h = grösste Niederschlagshöhe in 24 Stunden in m
- l = Länge des Flusslaufes in km
- a = Fläche des Niederschlagsgebietes im Gebirge
- b = Fläche des Niederschlagsgebietes in der Ebene

Die Berechnung der Hochwassermenge nach dieser Formel schliesst die grösste Niederschlagshöhe und die Fläche der berechneten Gebiete ein, während die auf Seite 81 gegebene Darstellung diese Faktoren unberücksichtigt lässt. Die Verwendungsmöglichkeit der obigen Formulierung setzt eine grosse Messdichte voraus und eine Aufteilung in das Niederschlagsgebiet im Gebirge und dasjenige in der Ebene. Da aber nur die Werte einer einzigen Station zur Verfügung stehen (im Uebrigen fällt wegen des Gebirgscharakters des Flusses das Niederschlagsgebiet in der Ebene ausser Betracht), muss für unser Gebiet die Anwendung dieser Formel wegfallen. KUERSTEINER, dessen Formel nicht veröffentlicht ist, gibt für den spezifischen Abfluss die Grösse:

$$q = \frac{12}{E^{1/3}}$$

an, und auf unser Gebiet angewendet ergäbe sich ein Wert von der Grössenordnung 2,8 m³/sec und km², der für niederschlagsreiche Jahre (1951) überraschend gut koinzidiert, aber in normalen oder trockenen Jahren vollständig unbrauchbar ist.

Der abfliessende Anteil der Niederschläge wird Abflusskoeffizient genannt. Seine Grösse hängt weitgehend von Vegetation und Klima ab. Auch die Bodengestaltung wird diesen Faktor beeinflussen. Er beträgt für das Einzugsgebiet des Isorno im Mittel 76,4%, ein typisches Merkmal für einen Gebirgsfluss mit stürmischem Abfluss und geringer Verdunstung. Für den Tessinfluss gibt BROCKMANN (Vegetation der Schweiz) einen Wert von 70,7% an, während GYGAX für die Magliasina einen solchen von 72,2% errechnete.

TABELLE 22

Schwankung: $\pm 11,3\%$

Jahr	N_h	Abflusskoeffizient	
		1. 1.—31. 12.	reduziert
1949	1291	72.9%	70.1%
1950	1772	74.2%	72.4%
1951	3237	83.9%	81.1%
1952	1450	77.7%	75.6%
1953	1654	86.0%	82.9%
<u>Summe</u>	<u>9404</u>	<u>394.7%</u>	<u>382.1%</u>
Mittel	1881	78.9%	76.4%

Die drei Tafeln auf Seite 85/86 enthalten graphisch die monatlichen Beträge des Niederschlages und Abflusses in Kreisdarstellung. Für die einzelnen Jahre ist das Uebergreifen der Abflussfläche im Frühjahr und Frühsommer über die Niederschlagsfläche hinaus augenfällig. Diese Erscheinung hängt weitgehend mit der Schneeschmelze und leichten Föhnregen zusammen. Dieselbe Erscheinung lässt sich vom Gesamtbild der Jahre 1949—1953 aussagen. Da im Frühling jedes Jahres der Abfluss die Niederschläge überdeckt, muss dies notwendigerweise ebenfalls für die Gesamtdarstellung der Fall sein.

Die Differenz Niederschlag minus Abfluss ist für die Monate Mai und Juni stets negativ, d. h. der Abfluss ist grösser als die Niederschläge. Dieses Verhalten ist bedingt

1. durch die Schneeschmelze im Frühjahr;
2. durch am Ende des Monats erfolgte Niederschläge, die erst im nächsten Monat wirksam werden.

Aus diesen Gründen darf man den Monatswerten kein allzu grosses Gewicht geben. Es bleibt als Jahresdifferenz die Summe von 363 mm, die nun, cum grano salis, die Gebietsverdunstung darstellt.

Wünschenswert wäre ohne Zweifel die Aufstellung einer vollständigen Wasserbilanz, die nicht nur die Werte für Niederschlag und Abfluss enthält, sondern auch über die Grösse der aufgespeicherten Wasservorräte und über den Betrag der Landesverdunstung Aufschluss gibt. Da aber zur Bestimmung der beiden letztgenannten Grössen nur mittelbare, indirekte Verfahren zur Anwendung kommen, setzt dies ein reiches Beobachtungs- und Messmaterial voraus. Da einerseits dieses Material aus schon genannten Gründen fehlt, andererseits aber der Rahmen der vorliegenden Studie dabei weit überschritten würde, muss die Errichtung einer vollständigen hydrologischen Bilanz unterbleiben. So möge denn die folgende, einfache Bilanz genügen.

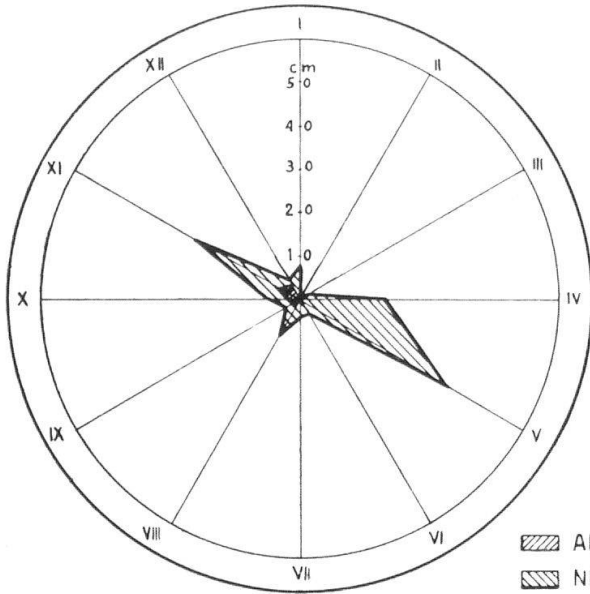
TABELLE 23

ONSERNONE

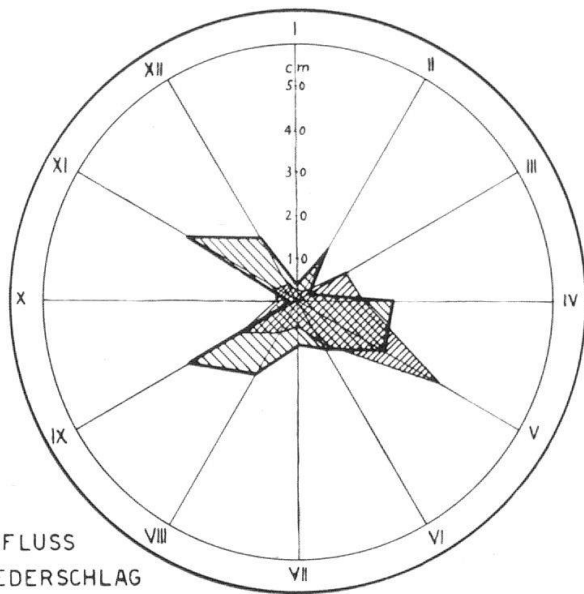
Jahr		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Summe	Mittel
1950	N	34	138	28	220	230	126	104	188	286	2	248	168	1772	147.7
	A	30	31	78	158	389	169	60	87	149	54	57	43	1305	108.7
	N-A	4	107	-50	62	-159	-43	44	101	137	-52	191	125	467	38.9
1951	N	161	459	148	188	398	382	173	342	65	247	652	22	3237	269.7
	A	39	76	84	249	519	616	209	207	89	126	456	49	2719	226.5
	N-A	122	383	64	-61	-121	-234	-36	135	-24	121	196	-27	518	43.2
1952	N	26	6	60	226	236	76	98	104	320	113	143	42	1450	120.8
	A	23	18	33	196	288	145	44	37	130	116	52	45	1127	93.9
	N-A	3	-12	27	30	-52	-69	54	67	190	-3	91	-3	323	26.9
1953	N	14	5	0	196	10	293	146	48	453	451	14	23	1654	137.8
	A	22	20	39	159	112	186	161	35	181	375	106	27	1423	118.6
	N-A	-8	-15	-39	37	-102	107	-15	13	272	76	-92	-4	231	19.2
Summe	N-A	121	363	2	68	-434	-339	63	386	597	192	594	107	1720	143.3
Mittel	N-A	30	90	0.5	17	-108.5	-85	16	96.5	149.2	48	148.5	26.7	430	35.4

N = Niederschlag / A = Abfluss / Angaben in mm

1949

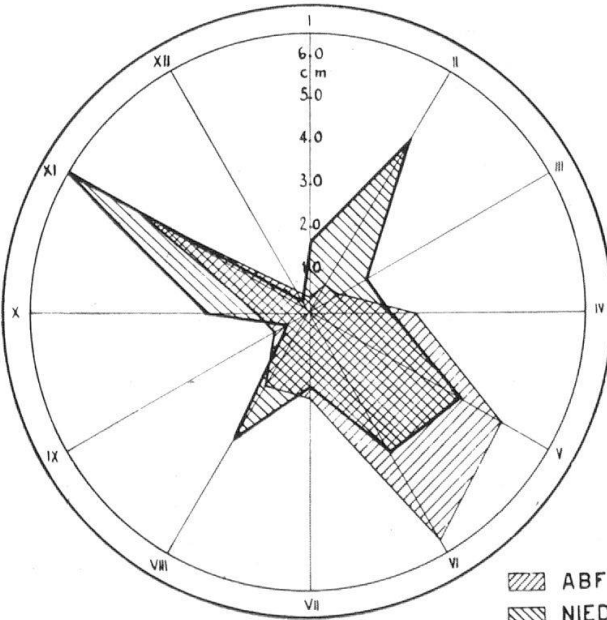


1950

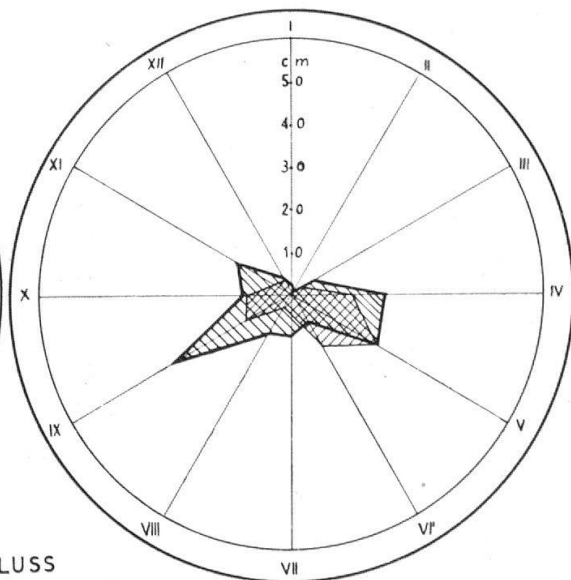


ABFLUSS
NIEDERSCHLAG

1951



1952



ABFLUSS
NIEDERSCHLAG

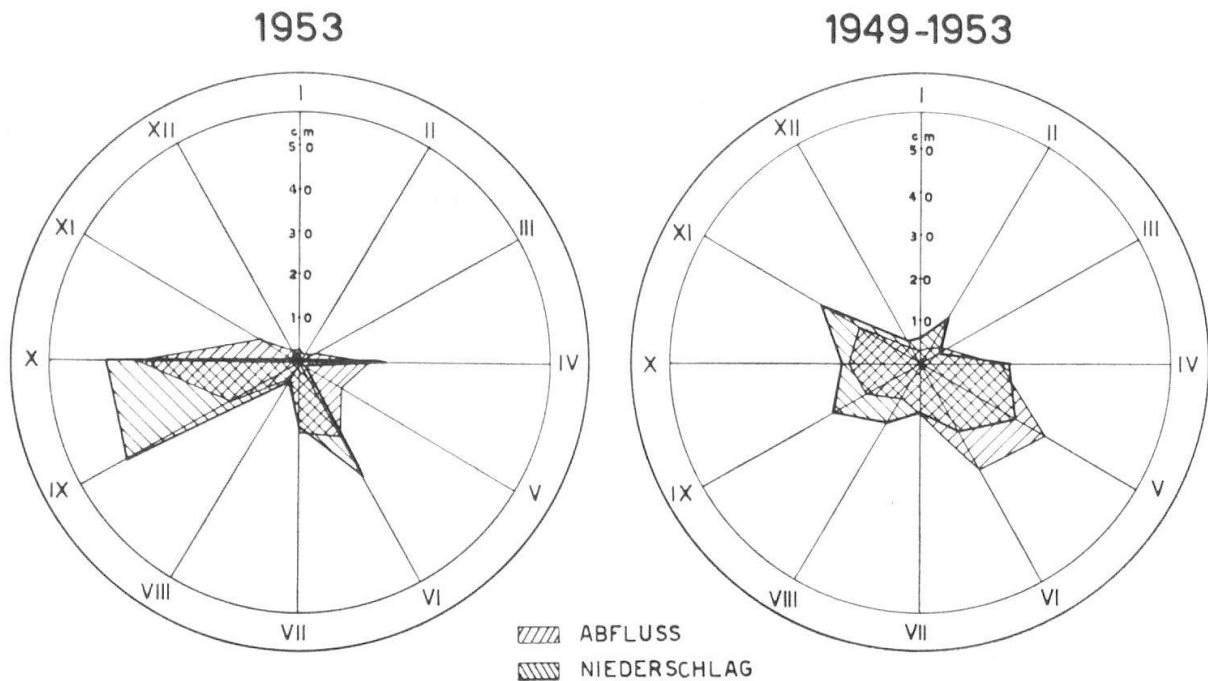


TABELLE 24

Jahreswerte: Niederschlag-Abfluss

Einzugsgebiet: 119 km²

ONSERNONE			1949	1950	1951	1952	1953	Summe	Mittel
Niederschlags- masse	N_m	Mill. m ³	153.6	210.8	385.2	172.5	196.8	1118.9	223.8
Mittlere Niederschlags- höhe	N_h	m	1.291	1.772	3.237	1.450	1.654	8.202	1.640
Abflussmasse	A_m	Mill. m ³	121.9	155.3	323.5	134.1	194.1	928.9	185.8
Abflusshöhe	A_h	m	0.948	1.305	2.719	1.127	1.423	7.522	1.504
Abfluss- verhältnis	$\frac{A_m}{N_m}$		0.793	0.736	0.829	0.777	0.987	4.122	0.824
$U = N_h - A_h$		m	0.266	0.467	0.518	0.323	0.231	1.805	0.361

4. Abflusskurven (siehe Tafel Seite 88)

Um die Wassermengen eines Gewässers einigermaßen beurteilen zu können, ist die Erstellung einer Abflusskurve absolut notwendig. Gleichzeitig können auch Gang und Nebenerscheinungen u. U. miteinander koinzidiert werden. Die Abflusskurven für das Einzugsgebiet stellen die Monatsmittel vom Januar 1950 bis Dezember 1953 dar. Dadurch kommen die Spitzen nicht zur Geltung, was aber für eine generelle Betrachtung bedeutungslos ist.

Das auffallendste Merkmal der Kurven sind die beiden Höchstwerte. Diese Zweigipfligkeit ist für den mediterranen Typus eines Flusses bezeichnend. Doch in unserem Falle koinzidieren die Spitzen nicht mit den entsprechenden Jahreszeiten. Die höchste Spitze fällt nicht auf den Herbst, wie dies sonst für das mediterrane Klima typisch ist, sondern auf das Frühjahr. Diese Besonderheit ist durch die Schneeschmelze bedingt. Das gleiche Phänomen weist auch der Po auf. Vorerst kann generell festgestellt werden, dass Niederschläge von gleicher Höhe sehr verschiedene Abflussspitzen erzeugen können. Diese Erscheinung liegt in der Charakteristik der Niederschläge und der sie begleitenden Zeitumstände begründet. Besonders in den Winter- und Frühjahrsmonaten zeigen die Niederschlags- und Abflusskurven deutlich, dass die Schneeschmelze nur in Verbindung mit warmen Niederschlägen hohe Abflussspitzen zur Folge hat (13. Februar, 14. März, 2., 8. und 30. April 1952). Im Wesentlichen lassen sich folgende Abflussspitzen verursachende Niederschläge festhalten:

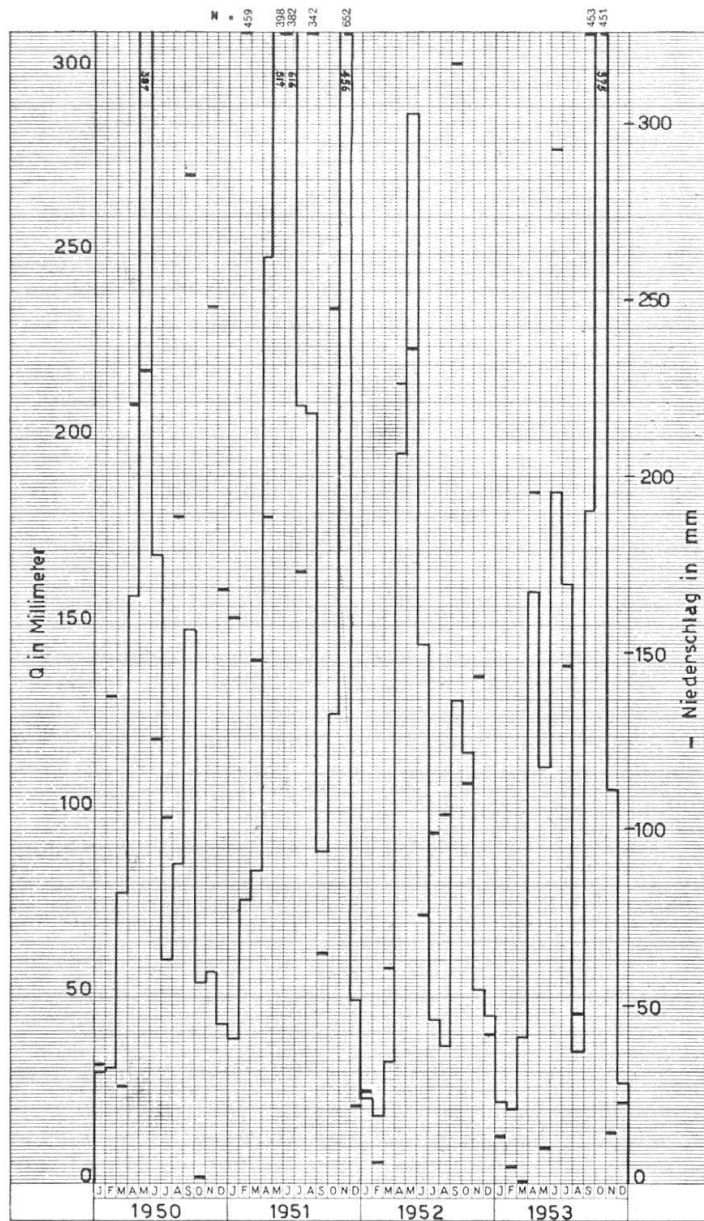
- a) Landregen: Trotz relativ grosser Niederschlagshöhen, halten sich die Abflussspitzen in bescheidenem Rahmen. 50 mm Niederschlag entspricht nur einer Abflussspitze von 10—12 m³/sec.
- b) Stärkere Niederschläge haben innerhalb oder am Schluss von Regenperioden Abflussspitzen, die fast durchwegs grösser sind als jene der Landregen für dieselben Regenmengen. 70 mm Niederschlag ergeben Abflussspitzen zwischen 21 und 43 m³/sec.
- c) Charakteristisch auftretende Sturzregen (Güsse) innerhalb oder am Schluss von Niederschlagsperioden weisen stets die höchsten Abflussspitzen auf. Die Intensität und die schon vorhandene Bodensättigung sind dabei ausschlaggebend (23. Juni 1951 mit 112 m³/sec).
- d) Isoliert auftretende Güsse erhalten absolut und relativ das Primat. Für Niederschlagshöhen über 65 mm sind die Abflussspitzen der Güsse höher als für gleichwertige Niederschläge innerhalb von Regenperioden (8. Juni 1951 und 23. April 1952).

Winterliche Niederschläge haben naturgemäss kleine bis kleinste Abflussspitzen.

Vergleichen wir die Jahre 1949 (Herbst) und 1950 miteinander, so fallen einem die geringen Abflussmassen des ersteren auf. Selbst der September weist ein ungeheures Defizit auf, welches auch durch die beiden kleineren

Abfluss-Niederschlag 1950—53

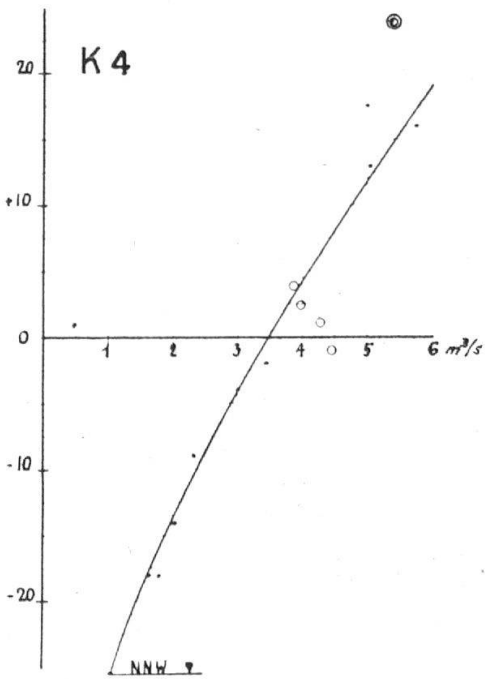
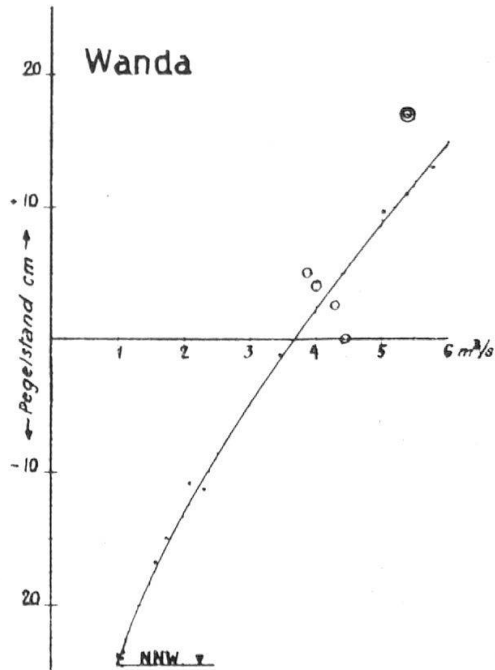
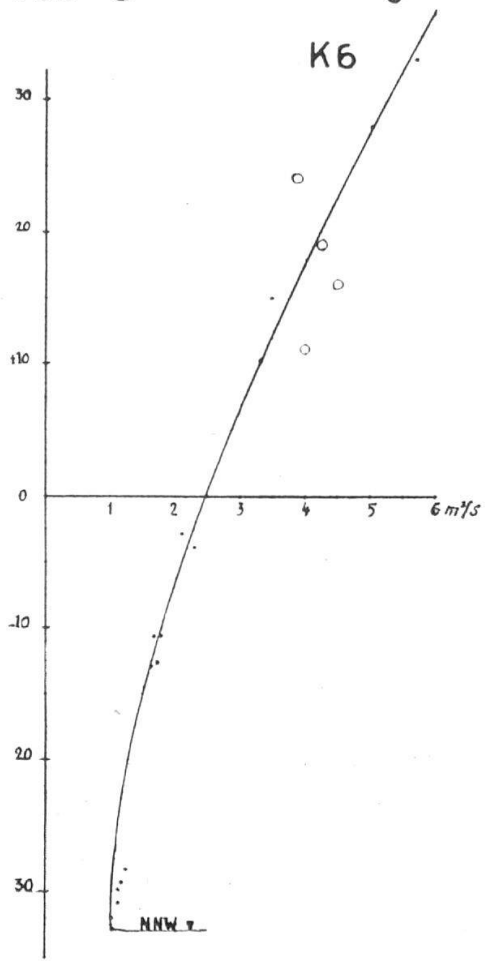
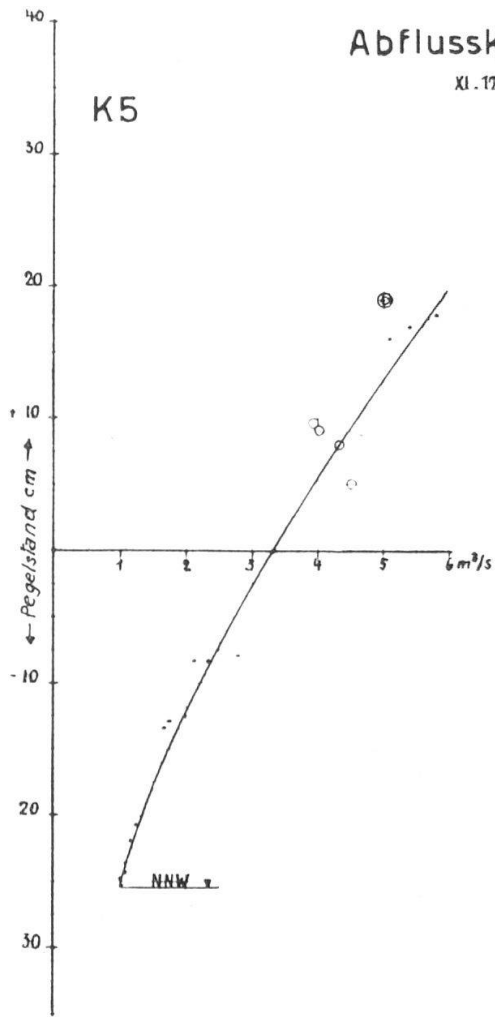
(ausgezogene Linien = Abfluss, Querbalken = Niederschlag)



Spitzen Ende Oktober und Ende November nicht wettgemacht wird. Die sehr trockene Witterung von 1949 tritt hier nun recht anschaulich in Erscheinung. Einen einigermaßen normalen Verlauf weist die Kurve erst für das Jahr 1950 auf. Von Anfang April steigt die Abflussmenge mit Intervallen ständig bis zur Spitze Mitte Mai, um dann gegen den Sommer zu abzufallen. Dieses Absinken ist auch bei den kleinen Intermediärspitzen deutlich in zwei Phasen aufgelöst: Zuerst kommt ein jäher Sturz, dem ein sanfteres Ausklingen folgt. Diese Erscheinung hängt möglicherweise mit der Retention zusammen, indirekt mit der Klüftung des Gesteins, auf welche schon an früherer Stelle dieser Studie hingewiesen worden ist.

Abflusskurven Q

XI. 1750



ek

5. Pegelstand — Abfluss

Der Zusammenhang zwischen Pegelstand und Abfluss ist durch die Konsumptionskurve für die Kolke 4, 5, 6 und «Wanda» dargestellt (siehe Seite 89). Aus technischen Gründen sind die Pegelstände reduziert und die Abszisse so gewählt worden, dass sowohl ein positiver wie negativer Ast resultiert. Die Uebereinstimmung im Kurvenverlauf aller Kolke ist gut ersichtlich. Einzig die ausserordentlich starke Verengung des Ausflussquerschnittes bei Kolk 6 macht sich in einer grösseren Steilheit der Kurve und in einer Verschiebung der Abflusswerte nach unten, die einem Pegelstand = 0 entspräche, bemerkbar. Die Streuung der Punkte im Niederwasserast ist sehr klein. Beim positiven Ast der Kurve tritt sie aber merklicher hervor. Wir können zwei typische Divergenzzonen unterscheiden:

1. Bei Abflussmengen von 4—4,5 m³/sec sind die abgelesenen Pegelstände in der Regel zu klein gegenüber dem tatsächlichen Abfluss.
2. Der höchste Pegelstand bei zirka 5,4 m³/sec sollte nach der Kurve einer grösseren Abflussmenge entsprechen (Doppelring).

Diese Unstimmigkeiten beruhen möglicherweise auf zwei verschiedenen Ursachen: Entweder liegen Messungenauigkeiten beim Ablesen der Pegelstände vor, oder aber die Fehlerquelle liegt beim Limnigraphen selber. Da die Abweichungen bei allen Kolken qualitativ gleich sind, müssen Ablesefehler so gut wie ausgeschlossen sein. Daher müssen wir das Uebel beim Automaten suchen. Wir dürfen nicht vergessen, dass im November schon mit einer temporären Vereisung des Flusses zu rechnen ist. Es ist sehr wohl möglich, dass die Löcher im Schwimmerkasten zeitweise mit Eis oder anderswie verstopft waren. Der extremste Fall wäre natürlich eine völlige Blockierung des Schwimmers, wenn das über ihm lastende Wasser nicht abfliessen kann.

Eine Nachprüfung der Kurven im Sommer 1950 ergab erfreulicherweise die Bestätigung der letztgenannten Hypothese.

6. Erosion und Pflanzenbedeckung

Ueber den Einfluss der Erosion auf die Bodengestaltung, insbesondere auf den Tallauf eines Gebirgsflusses, ist bereits eingehend berichtet worden. Dabei ist es auch m. E. von einiger Wichtigkeit, über die Vorgänge im Einzugsgebiet wenigstens überschlagsmässig orientiert zu sein.

Das Ausmass der Erosionstätigkeit ist im Einzugsgebiet direkt von der Intensität und der Art der Niederschläge abhängig. Dabei spielen die Platzregen eine entscheidende Rolle. Ihre Dauer übersteigt selten 1 Stunde, und das überregnete Gebiet ist in der Regel klein, die Grenze des Niederschlages somit

scharf ausgeprägt. Diese Feststellung haben wir während vielen Gewittern und an verschiedenen Orten machen können. Die kritische Regendauer, die für die Hochwasserbildung und damit auch für die vermehrte Erosion massgebend ist, ist der Zeitpunkt, wo das Retentionsvermögen der Vegetation und des Bodens erschöpft ist. Letzteres hängt von den allgemeinen pedologischen Zuständen ab, die vor dem Gewitter geherrscht haben. Die Retention in einem bewaldeten Quellgebiet beträgt nach ENGLER:

Verdunstung auf Bodenoberfläche	5%
Verdunstung auf Pflanzen	15%
Abfluss	60%
Einsickerung	20%
	= 100% Niederschlag

Die Werte für den Abfluss und die Einsickerung dürfen für das Untersuchungsgebiet ohne weiteres um 15—20% erhöht werden, weil die an verschiedenen Orten stark zurückgedrängte Waldgrenze akzentuierend auf den Abfluss einwirkt. In der Beurteilung der Erosionsarbeit ist es angebracht, nicht einfach die jährliche Niederschlagshöhe als einzig massgebendes Kriterium anzuführen. Stark voneinander abweichende Niederschlagshöhen geben einen ersten Anhaltspunkt. Wichtig für die endgültige Auswirkung ist weiter zu wissen, wieviel vom Niederschlag der Regen oder Schnee ausmacht und in welcher Zeiteinheit Maximalmengen zum Abfluss kommen, denn dieselbe jährliche Regenmenge wirkt intensiver, wenn sie in der Zusammendrängung auf die Regenzeit des Herbstes oder der Schneeschmelze im Frühjahr durch das Tal rauscht und der vorangegangene Sommer eventuell trocken war. Ebenso entscheidend ist die Frage, ob die Wasserläufe perennierend oder nur zeitweise fließen, d. h. ob den Untersuchungen über die Flussdichte über das wissenschaftliche Interesse hinaus auch eine wesentliche praktische Bedeutung beigemessen werden kann. Diese Frage ist vom hydrologischen Standpunkt aus sicher zu bejahen, wenn auch GRAVELIUS in seinem Werk auf diese Verwertbarkeit einen etwas zu starken Nachdruck legt.

Bedeutung des Waldes im Quellgebiet eines Flusses

Es bestehen unzweifelhafte Zusammenhänge zwischen dem Wasserablauf und Schuttransport einerseits und der Pflanzendecke, insbesondere dem geschlossenen Wald, andererseits. Es mag aber befremden, dass in der reichhaltigen Literatur über diese Fragen die Meinungen extrem auseinander gehen. Einzelne Forscher betonen die bekannten Folgen der Waldverwüstung am Schulbeispiel des Mittelmeerraumes, andere weisen darauf hin, dass auch die stärkst bewaldeten Landschaften von Hochwasserkatastrophen nicht verschont wurden.

Dabei vergessen die letzteren genaue Angaben über die Wirkung und die Dauer solcher Verheerungen Auskunft zu geben. Als Beispiel erwähnen wir die enormen Abflüsse des Isorno anlässlich des Hochwassers vom 8. August 1951, die lange nicht jene Folgen aufwiesen, wie sie in der Ebene zu verzeichnen waren. Bis auf zwei Murgänge in der Valle di Vergeletto waren die Abflussverhältnisse kontrollierbar. Im oberen Onsernone sah es nicht schlimmer aus. Allerdings dürfen wir die wichtige Tatsache nicht vergessen, dass der Fluss in einer Schlucht weitab der menschlichen Siedelungen fliesst und höchstens die Seitenbäche gelegentlich sich unangenehm bemerkbar machen können. Es ist klar, dass nach jedem Regenfall aus dem dichtesten Bergwald die Bäche trübe herauskommen; die Abspülung ist dort, wenn auch wesentlich gemildert, keineswegs stillgelegt. Damit ist aber eine etwaige Unwirksamkeit der Waldbedeckung nicht präjudiziert! Ueber das Mass der Wasserretention im Wald und der Milderung der Hochwasserfluten können aber niemals theoretische Erwägungen, sondern nur jahrzehntelange Untersuchungen eine gewisse Sicherheit verschaffen. Wir müssen uns also mit dem spärlichen Beobachtungsmaterial, das uns zur Verfügung steht, begnügen und können niemals endgültige Resultate liefern. Folgende Argumente sind von entscheidender Bedeutung: Der Einfluss des Waldes auf die totale Abflussmenge und Gestaltung der Hochwasserwelle, auf die Menge und Reinheit des Quellwassers und schliesslich der Einfluss auf die Oberflächenzernagung und die Geschiebeführung. Dieses Problem erneuert sich immer dann, wenn sie für das Einzugsgebiet eines Stausees zur Diskussion steht. Im geschlossenen sommerlichen Laubwald vermag erfahrungsgemäss die Retention zeitlich einen nicht unerheblichen Ausgleich zu schaffen. Sicher ist auch, dass im Gesamtwasserhaushalt des Einzugsgebietes der Laubwald ein merklicher Wasserverbraucher ist, noch mehr als der Nadelwald, dessen berechnete Oberfläche naturgemäss stets kleiner ist: So viele Blattflächen, so viele kleine Verdunstungsflächen. Nach intensiven Gewittern konnte einwandfrei festgestellt werden, dass die Braunfärbung des Wassers umso früher einsetzte, je grösser der Anteil der Nadelhölzer ist. Die Zeitspanne betrug im Extremfall bei Vergeletto für:

Nadelwald (Fichten, Tannen, Lärchen)	32 min
Laubwald (Busch- und Hochwald)	47 min

Durch den Wald selbst, sein Unterholz, die Grasnarbe und das Laubbett tritt eine fühlbare Verzögerung im Ablauf ein: die Hochwasserwelle wird weniger steil, dafür allerdings mehr in die Länge gezogen. Steile Hochwasserwellen lassen stets entweder auf einen bereits gesättigten oder wenig bewaldeten Boden schliessen. Nach BURGER ist ein lockerer Waldboden 50 Mal und der Boden einer Fettwiese noch 14 Mal so durchlässig, als der typische, festgetretene Boden einer stark bestossenen Weide. Daraus resultiert auch ein schnellerer Abfluss. Es darf behauptet werden, dass die Maxima gefährlicher Wasserstände bei Gewittern, Landregen und Tauwettern fast ausnahmslos in einem

gut bewaldeten Einzugsgebiet um 30—50% kleiner sind als im mangelhaft bewaldeten. Die Einsickerungszeit für eine Wasserschicht von 100 mm Niederschlag ist in lockerem Waldboden im Mittel 30 bis 50 Mal geringer als auf stark bestossenem Weideboden (BURGER), der durch den Weidegang der Tiere so fest geworden ist, dass das Wasser zur Hauptsache ebenflächig abläuft. Das Zusammenspiel aus den für den Abflussquotienten und den Erosionsvorgang massgebenden Faktoren ist derart heterogen und verwickelt, dass es einer unzulänglichen Schematisierung gleichkäme, wollte man Wasserabfluss und Erosion allein aus dem prozentualen Anteil der Waldfläche im Einzugsgebiet ableiten. Je nach der Struktur des Waldes selbst, der Kapazität des Waldbodens und der Durchlässigkeit des Felsgrundes kann ein gleichgrosser Bewaldungsanteil die wohltätige Retention in ganz verschiedenem Ausmasse besorgen. Da der Untergrund unseres Untersuchungsgebietes zu 18% anstehendes Gestein ist, d. h. nackter Fels, so ist dort der Abfluss zu allen Zeiten immer grösser als in bewaldeten oder wenig abgeweideten Arealen. Die systematische Bestockung der Talhintergründe des Einzugsgebietes bedingt eine wirksame Verzögerung des Geschiebetransportes, wenn eine Bepflanzung wegen der geringen Moränenbedeckung und der unsinnigen Raubwirtschaft früherer Zeiten heute überhaupt noch möglich ist. Vielversprechende Versuche sind in der Nähe der Alpe Cattogno und nördlich Piano delle Cascine gemacht worden. Genaueres Material kann bis heute darüber nicht vorgelegt werden.

Um die Retentionsmöglichkeiten eines bewaldeten Gebietes zu illustrieren, mögen folgende zwei Beispiele dienen: Am 30. November 1933 zerstörte ein Waldbrand in Kalifornien eine Fläche von rund 15 km². Resultat: Steigerung des Wasserabflusses um das zehnfache, des Geschiebetransportes um das 18-fache! Aehnliche Bilder ergeben auch unsinnige Holznutzungen an der Waldgrenze. Das zweite Beispiel aus dem Napfgebiet soll uns die Kausalität zwischen Waldbedeckung und Abfluss zeigen. Es handelt sich um zwei sogenannte Gräben. Der eine, der Sperbelgraben, ist mit Wald völlig ausgekleidet. Der Rappengraben ist zu ²/₃ waldfrei. Für die Periode 1915/16 bis 1926/27 ergibt sich, dass im offenen Rappengraben der Abfluss 9% höher war als im bewaldeten Sperbelgraben, bei ungefähr gleichwertiger Niederschlagshöhe.

7. Die Herkunft des Geschiebes

SCHINDLER bezeichnete seinerzeit das Geschiebe als ein Fluch der Flussläufe und die Erosion als lokale Zerstörung der normalen topographischen Oberfläche des Geländes, wobei er aber die Normalität nicht näher definiert. Wir wollen versuchen, die Herkunft des Geschiebes kurz zu lokalisieren und stützen uns dabei auf Beobachtungen, die vornehmlich in der Valle di Vergeletto gemacht worden sind.

Im obersten Teil des Einzugsgebietes, d. h. in jenen Partien, die vom weiden Vieh nur sporadisch betreten werden, herrscht relativ wenig Bodenbewegung und Zerküftung grossen Ausmasses. Der grösste Teil des Geschiebes stammt aus der Zone der eigentlichen Alpweiden und dem Bereich zwischen der ehemaligen und rezenten Waldgrenze. Die mechanische Verwitterung ist der hauptsächlichste Schuttlieferant (Spaltenfrost, Desquamation). Aber auch die chemische Verwitterung ist nicht unwirksam; in Verbindung mit der chemischen Erosion vermag sie vor allem den spärlichen Kalk und Calcit aus dem Gestein zu lösen. Eine chemische Untersuchung des Wassers lieferte folgendes Ergebnis (Entnahmeort: Piano delle Cascine):

Karbonathärte	0,73 Deutsche Grade
pH-Konzentration	6,70
Agressives CO ₂	5,70 gr./Liter

Die pH-Konzentration und der hohe Gehalt an aggressiver Kohlensäure illustrieren das leichte Kalkauflösungsvermögen und damit auch die hohe Zementgefährlichkeit des Wassers, was beim Bau von Wasserwerken in Rechnung zu stellen ist.

Nordexponierte Einzugsstrichter scheinen geringere Schuttmassen zu erzeugen als die süd- und ostexponierten. Perinnierende Murgänge (ital. frana) sind im ganzen Einzugsgebiet nicht festzustellen. Einzig das Hochwasser vom 8. August 1951 hatte murartige Niedergänge zur Folge, einen bei Piei, den andern bei Carvadigo. Der Schuttbrei stammte aber nicht aus den obersten Gratpartien der entsprechenden Einzugsstrichter, sondern aus den abgeholzten Schutthalden der talbodennahen Hänge. Rutschungen bewaldeter Partien konnten nirgends mit Sicherheit erkannt werden, da der geologische Bau des Untergrundes mergelartige Zwischenlagen nicht zulässt. Die Wurzeln der Bäume reichen in der dünnen Humusdecke meist bis auf die kristalline Unterlage, dringen in Ritzen und Klüfte des Gesteins ein und verhindern damit ein Abrutschen des Erdreichs und mit ihm der Pflanzendecke. Abgeholzte Flächen neigen wegen der geringen Moränenbedeckung eher zur Abgleitung, wobei aber Farn-, Ginster- und Alpenrosendickichte einen konservierenden Einfluss ausüben. Der Gewinn, der mit der Beseitigung dieser Gebüsch angeblich gemacht wird, ist mehr als nur zweifelhaft!

Die Erosion der Gebirgsflüsse kann nach den bisherigen Beobachtungen dahin präzisiert werden, dass sie stets dort am stärksten wirkt, wo das Wasser geschiebearm ist, wie unmittelbar unterhalb gut beraster oder bewaldeter Hänge, sowie im Bereiche übermässig bestossener Weidegebiete.

Kann die Heilung der Erosionswunden von der Natur selbst vollzogen oder zum mindesten erwartet werden? Von einer absoluten Heilung, im Sinne

einer Wiederherstellung einstiger Normalfülle des Bergabhanges, kann nicht die Rede sein, sondern nur von einer relativen, d. h. von einer gesunden Vernarbung. Dieser Prozess muss z. T. anthropogen in die Wege geleitet werden. Jede Art von graben- oder muldenartiger Konkavität (Sammelprinzip) muss nach SCHINDLER systematisch vernichtet werden im Sinne einer Dezentralisation der gegebenen Masse in ihre Bestandteile. «Diese kann nur mit Hilfe von Busch, Wald, Gras und pyramidalen Schuttkegeln geschehen und nicht mit künstlichen Talsperren, da sie wasserundurchlässig sind.» Diese Vorschläge sind nur bedingt- und in Ausnahmefällen anwendbar; mit polemischen Ausfällen gegen den Talsperrenbau ist aber das Rufenproblem einer Lösung um keinen Schritt nähergebracht.