

Niederschlag-Abfluss-Erosion

Objektyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern**

Band (Jahr): **42 (1953-1954)**

PDF erstellt am: **19.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

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 Flusssichte es demonstriert. 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 Gesteinklüften 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 Kaltluft einbruch. Alle Regen waren mit starken Gewittern und einem intensiven Temperaturfall (6°) verbunden. Die anhaltenden Süd- bis Südwestwinde bei fallender Temperatur deuten auf einen Kaltluft einbruch 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 Kaltluft einbruch 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.

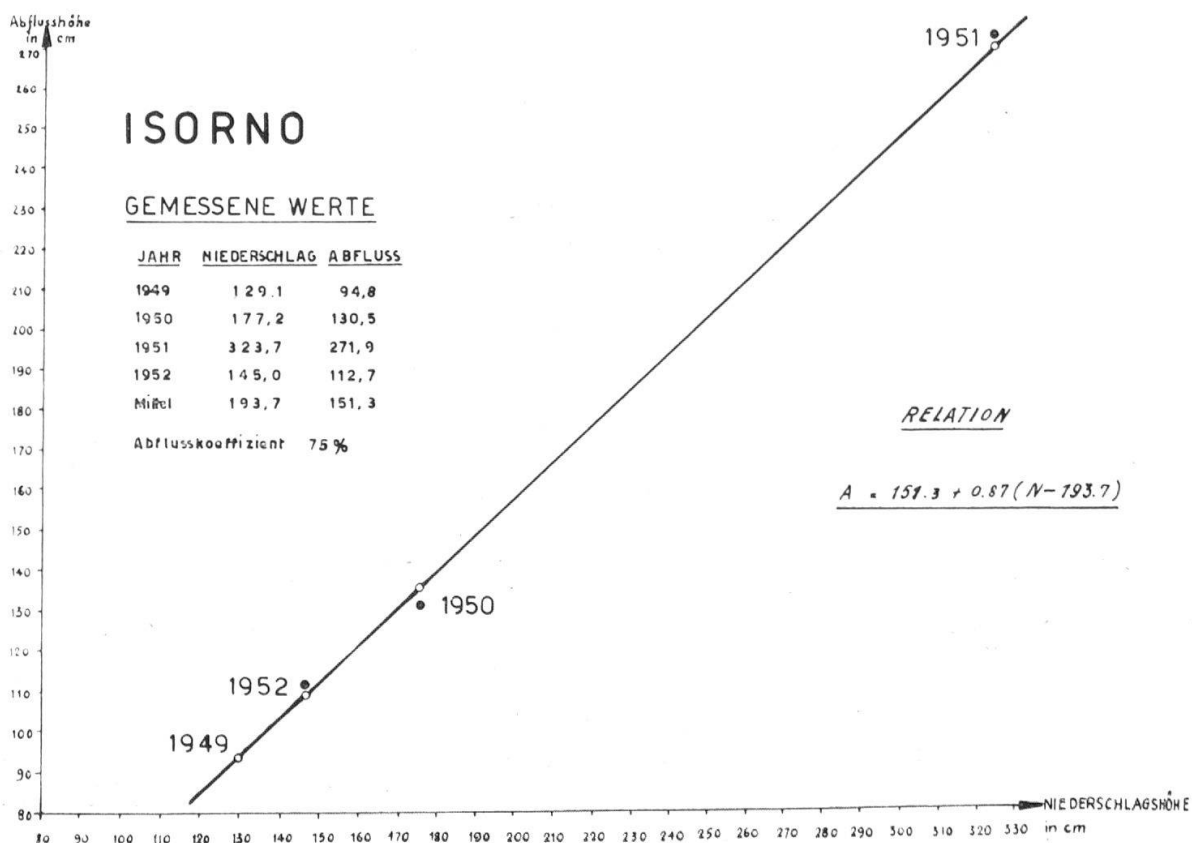
In den Resultaten divergieren die beiden Formeln relativ wenig. In beiden wird der Wert für die Verdunstung und die Rückbildung nicht einbezogen, weil vor allem die erstere wegen ihrer komplexen Natur höchstens empirisch erfasst werden kann.

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:

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

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.

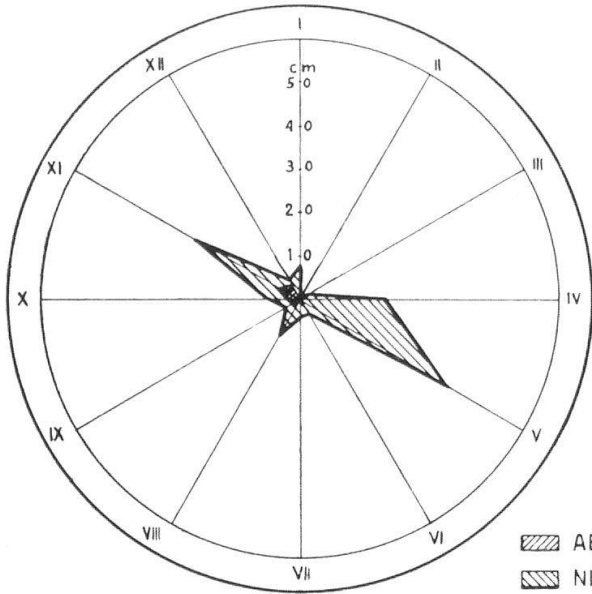
TABELLE 23

ONSERNONE

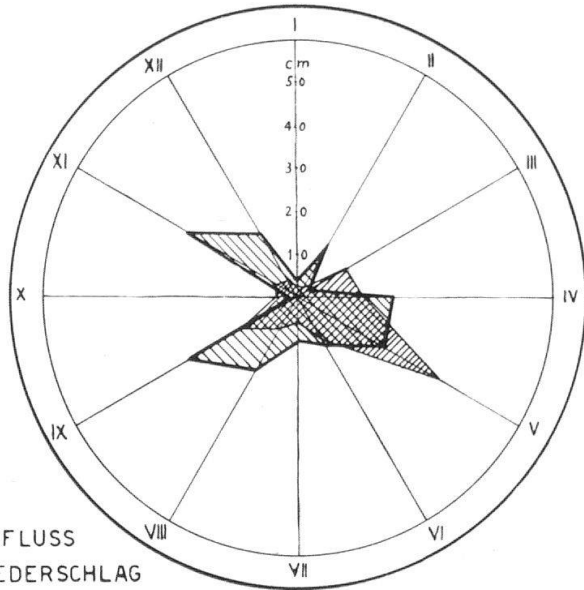
| Jahr | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Summe | Mittel |
|---------------|------------|------------|------------|------------|-----------|---------------|-------------|-----------|-------------|--------------|------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| 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

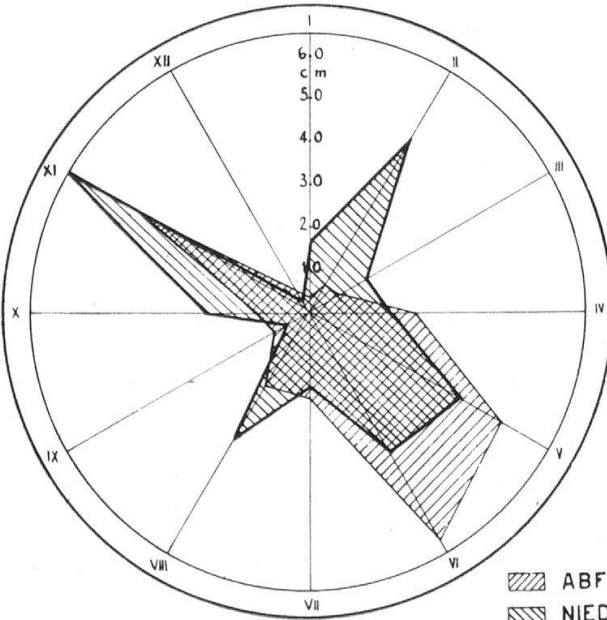


1950

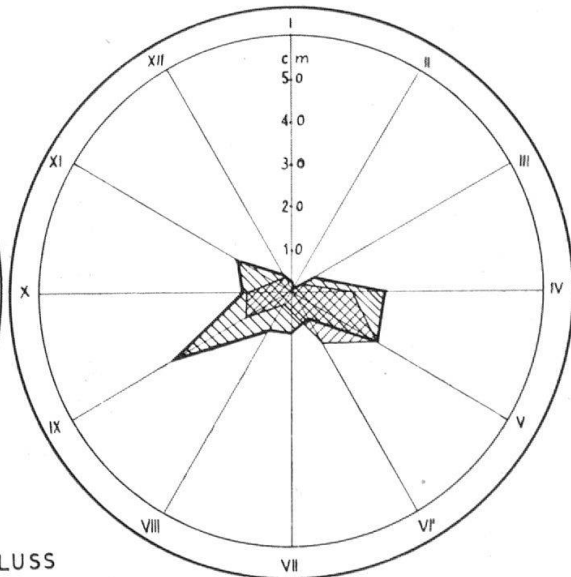


 ABFLUSS
 NIEDERSCHLAG

1951



1952



 ABFLUSS
 NIEDERSCHLAG

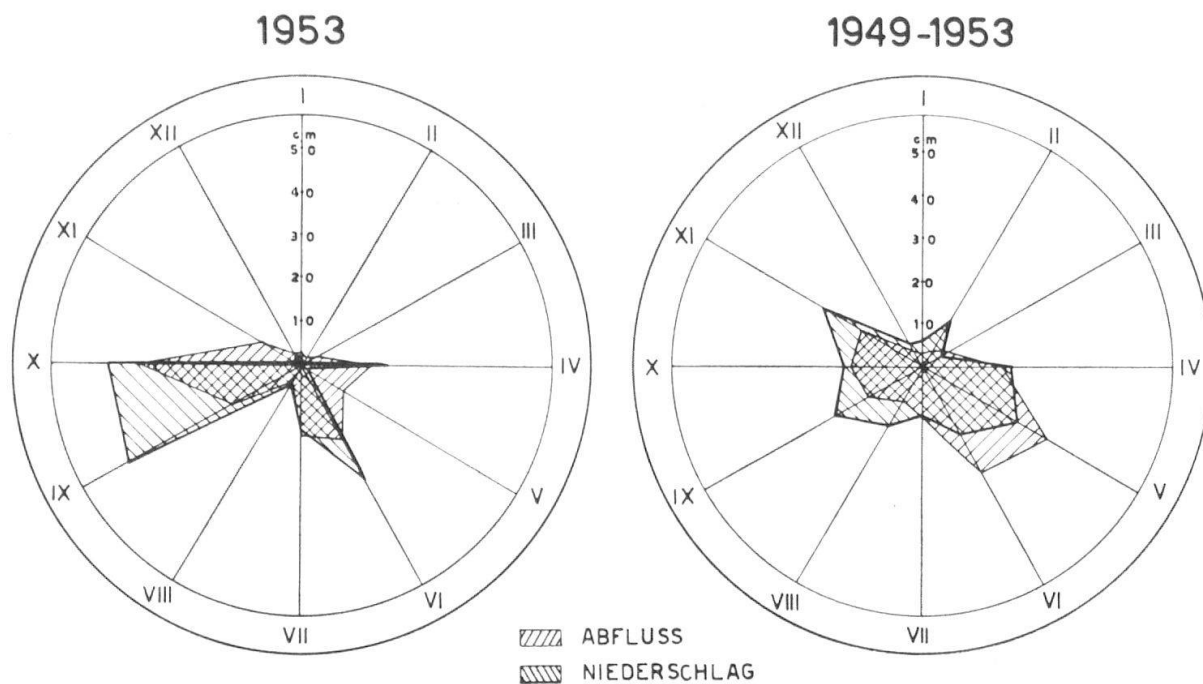


TABELLE 24

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:

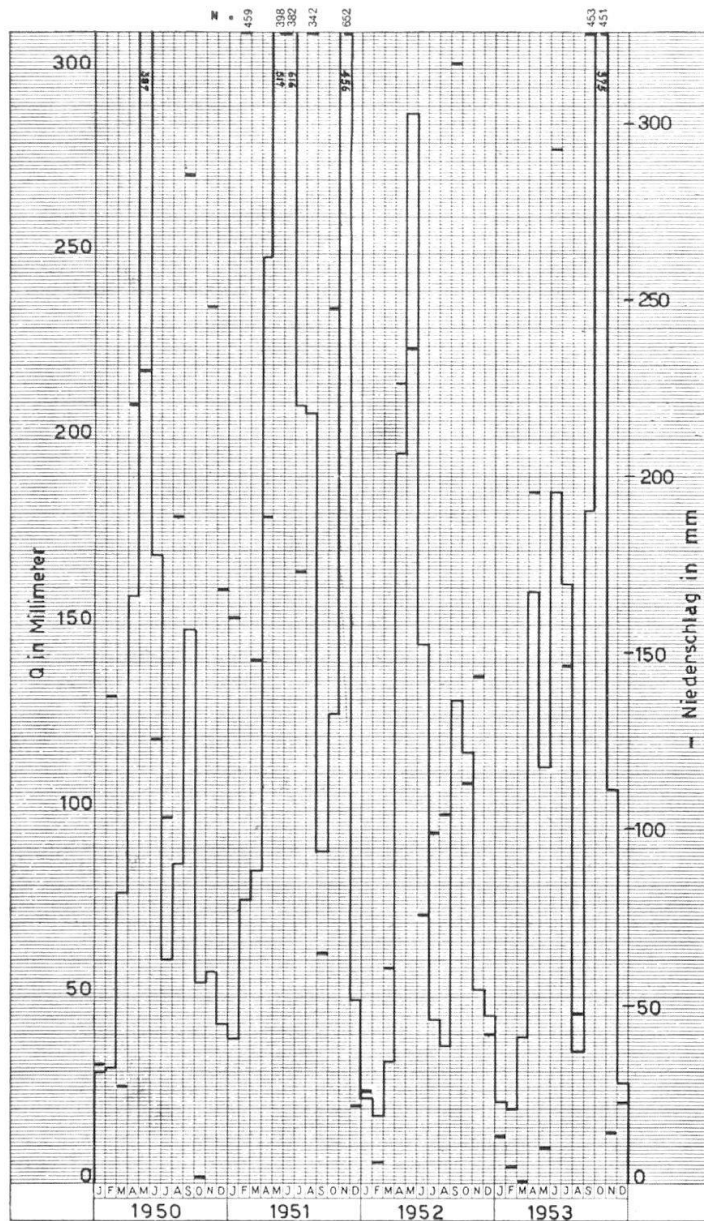
- a) Landregen: Trotz relativ grosser Niederschlagshöhen, halten sich die Abflussspitzen in bescheidenem Rahmen. 50 mm Niederschlag entspricht nur einer Abflussspitze von 10—12 m³/sec.
- b) Stärkere Niederschläge haben innerhalb oder am Schluss von Regenperioden Abflussspitzen, die fast durchwegs grösser 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

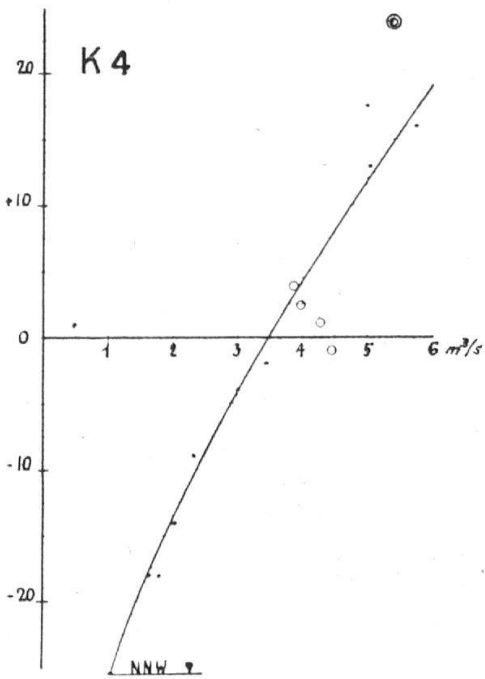
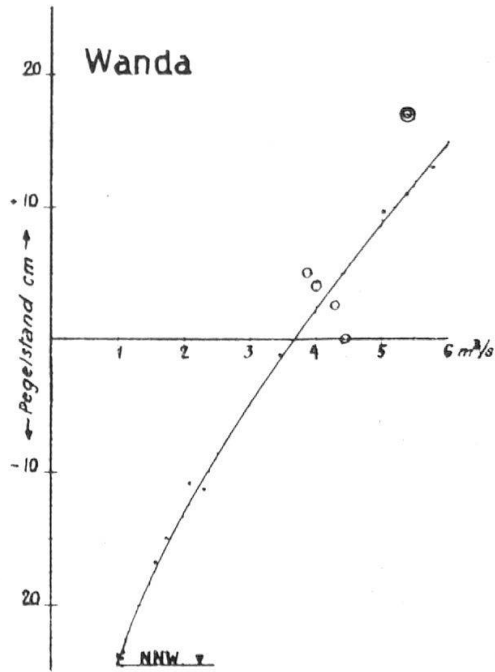
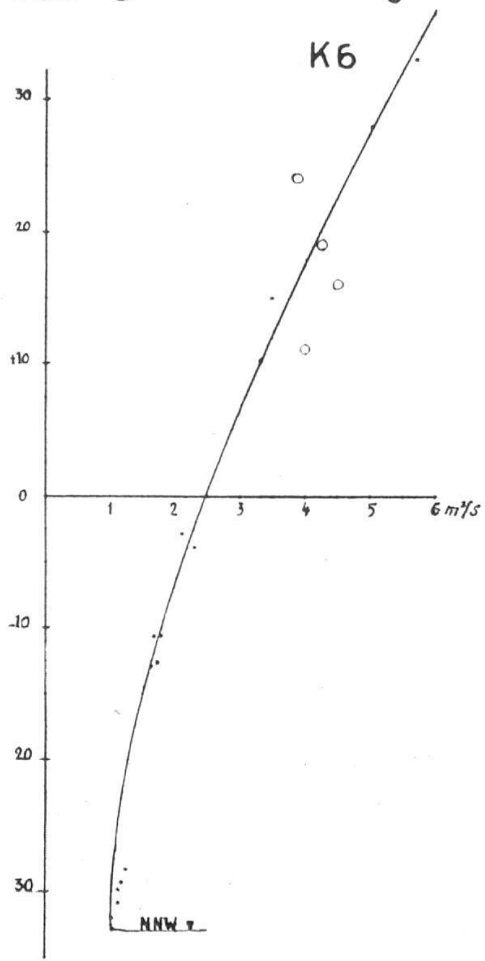
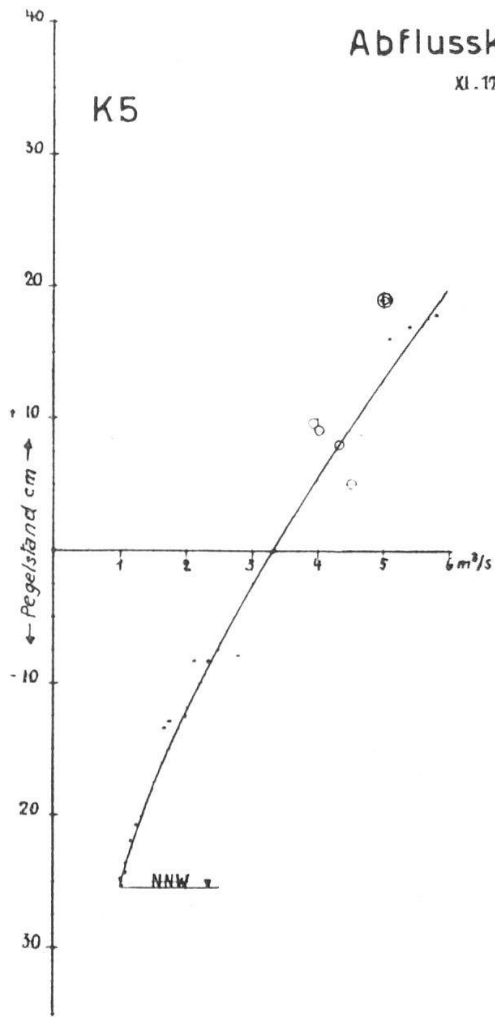
(ausgezogene Linien = Abfluss, Querbalken = Niederschlag)



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 Zerkünderung 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, drängen 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.