

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 52 (1960)
Heft: 8-10

Artikel: Die klimatischen Verhältnisse der letzten 50 Jahre
Autor: Lugeon, Jean / Schüepp, M. / Uttinger, H:
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921753>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.01.2026

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

Die klimatischen Verhältnisse der letzten 50 Jahre

Prof. Dr. h. c. Jean Lugeon, Dr. M. Schüepp und H. Uttinger,
Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA), Zürich

DK 551.5

Einleitung

Für das Jubiläum der ersten 50 Jahre seines Bestehens bat der Schweizerische Wasserwirtschaftsverband die Meteorologische Zentralanstalt, ihm in einem gedrängten Bericht die großen Züge der klimatischen Veränderungen in der Schweiz für das halbe Jahrhundert von 1910 bis 1959 zu skizzieren. Da ein analoges Gesuch an das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft gerichtet wurde in bezug auf die allgemeinen Abflußverhältnisse, wurde zwischen den beiden Institutionen vorgängig die Unterteilung des Gesamtintervallus in Unterperioden besprochen. Es ist ja bekanntermaßen sowohl in der Klimatologie als auch in der Hydrologie ein halbes Jahrhundert zwar sehr kurz in bezug auf die langsam säkularen Schwankungen des Klimas, jedoch verhältnismäßig lang, wenn es gilt, die oft raschen Veränderungen innerhalb des Zeitraumes zu beschreiben, die für unsere Wasser- und Energiewirtschaft in höchstem Maße wichtig sind.

Die vorliegende Arbeit, welche infolge des beschränkten Raumes im Jubiläumsheft nur kurz sein kann, enthält nur die Änderungen eines kleinen Teiles all der Faktoren, die das Klima bestimmen. So mußten von Anfang an die immerhin wichtigen Elemente Sonnenscheindauer und Strahlung ausgeschieden werden, die mit der Bewölkung und den verschiedenen Verdunstungstypen zusammenhängen und indirekt dadurch auch mit den Winden, sowohl nach Richtung und Stärke, als auch mit der allgemeinen Zirkulation in Verbindung stehen. Wir mußten uns darauf beschränken, im ersten Teil durch Dr. M. Schüepp die Bilanz der Wärmeverhältnisse darzustellen, und nachfolgend in eingehender Weise die für die Wasserwirtschaft besonders wichtigen Niederschläge zu besprechen, die durch H. Uttinger bearbeitet wurden und im zweiten Teil des Artikels von ihm dargelegt sind. Uttinger hat die Niederschlagsverhältnisse der verschiedenen Regionen mit Hilfe moderner Korrelationsmethoden verglichen und steuert damit ein neues und sicher nützliches Element bei für das Studium der Zusammenhänge zwischen den verschiedenen großen Elektrizitätsnetzen unseres Landes, welche so eng mit den hydrographischen Regionen verknüpft sind.

Wenn genügend Zeit und Raum vorhanden gewesen wäre, hätte man ein Bild der Veränderungen der Gletscher auf Grund der sie bestimmenden Klimaschwankungen entwerfen können. Diese enormen Speicher potentieller Energie — welche letzten Endes sich sehr unregelmäßig entleeren, sogar von einem Jahr zum andern mit großen Schwankungen — sind ja von größter wirtschaftlicher Bedeutung. So wurde, als man das Projekt des Oberaarstaubekens machte, der MZA die Frage gestellt, ob die Zunge jenes Gletschers in diesem Jahrhundert so vorstoßen könnte, daß eine Gefahr für den Umsturz der Staumauer durch den vordringenden Gletscher bestehen könnte. Eine genaue Analyse der festen und flüssigen Niederschläge, der Temperatur und der vorherrschenden Winde an unseren Hochobservatorien sowie der Totalisatorenergebnisse scheint zu zeigen, daß keinerlei Gefahr in dieser Richtung besteht, trotz

der großen Meereshöhe des nunmehr vollendeten Speichers. Jene Arbeit zeigt jedoch dem Meteorologen, wie schwierig es ist, die Volumenänderung unserer Gletscher und ihre Umwandlung in Wasserenergie vorauszusagen.

Dieses eine Beispiel weist auf den bedeutenden Beitrag hin, welchen die Klimatologie zum Studium der Änderungen der festen Reserven in unseren Hochalpen liefern kann. Die Gletscher sind ja in gewissem Sinne Integratoren des Klimas mit variablen Zeitkonstanten, die zudem schwierig in den Einzelheiten festzulegen sind.

Jedermann weiß, daß der Rückgang der Gletscher im letzten halben Jahrhundert durch eine Veränderung der Wärmebilanz im System Sonne-Erde verursacht wurde, erkennbar in einer globalen Temperaturzunahme von 0,3 bis 0,4° C, welche einem Rückzug der Gletscherportale auf etwa 100 m größere Meereshöhe entspricht. Man hat jedoch während desselben halben Jahrhunderts große Unregelmäßigkeiten im Verlauf des Rückzugs feststellen können, so z. B. den kurzen Gletschervorstoß zwischen 1915 und 1920. Sind diese Schwankungen auf Änderungen der Solarkonstanten zurückzuführen? Es ist wohl zu früh, um diese Frage sicher bejahen zu können. Auf diesem Gebiet werden uns die künstlichen Satelliten früher oder später den Schlüssel für die Beurteilung der Ursachen der Klimaschwankungen durch genaue Messungen der an der Obergrenze der Erdatmosphäre einfallenden Strahlungen liefern. Und dadurch wird man zu einem besseren Verständnis dieser Klimaschwankungen selbst gelangen. Vielleicht wird diese Technik auch zur Lösung des Problems der langfristigen Wettervorhersage führen, zum großen Nutzen der Wasserwirtschaft, welche ja unser einziges natürliches Vermögen darstellt.

Die Temperaturverhältnisse

Als die ersten Klimatologien gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts erschienen, glaubte man, daß sich in unserer Zeit das Klima nicht wesentlich ändere, daß es genüge, die charakteristischen Werte für die einzelnen Wetterelemente aus einer längeren Periode zu ermitteln, um auch für die Zukunft sichere Angaben zu erhalten. Diese Auffassung war naheliegend, zeigten sich doch damals keine bedeutende Anzeichen für eine allmähliche Umgestaltung. Die Gletscher — sehr gute Klimaindikatoren, besonders für die langfristigen Temperaturänderungen — waren seit mehr als 250 Jahren annähernd konstant geblieben mit Hochständen um 1620, 1820 und 1850. So war anzunehmen, daß die Messungen der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts auch für die Zukunft Gültigkeit hätten. Wir wissen jetzt aus eigener Erfahrung, daß diese Annahme nur zum Teil richtig war, daß sich seither bedeutende Änderungen vollzogen haben, welche sich im anhaltenden Gletscherrückgang augenfällig zeigen.

Untersuchungen haben gezeigt, daß die Gletscherstände weniger durch die Dauer der Sonneneinstrahlung reguliert werden, wie man es auf den ersten Blick ver-

muten könnte, als durch die Temperatur, speziell die Sommertemperatur¹. Natürlich spielt auch die Menge der Niederschläge in der Firnregion eine wesentliche Rolle. Auf die Niederschlagsverhältnisse soll später eingegangen werden; zunächst wenden wir uns der Temperatur zu, welche seit 1864 im schweizerischen Netz allgemein gemessen wurde. Daneben konnte eine Beobachtungsreihe vom Großen St. Bernhard bis 1818 zurück und eine von Basel bis 1775 zurückverlängert werden. Wir können daher die Ergebnisse der letzten 50 Jahre 1910 bis 1959 mit den früheren Zeitepochen vergleichen, wobei folgende Bezeichnung verwendet werden soll:

1. Epoche 1761—1810
2. Epoche 1811—1860 (Gr. St. Bernhard 1818—1860)
3. Epoche 1861—1910 (Locarno 1864—1910)
4. Epoche 1910—1959

In Bild 1 sind die Jahresmittelwerte in den verschiedenen Perioden für das Gebirge (Gr. St. Bernhard 2475 m), für die Alpennordseite (Basel 317 m) und für die Alpensüdseite (Locarno-Monti 379 m) angegeben (vergleiche Stationskarte Bild 2b). Es zeigt sich dabei, daß nicht nur von Jahr zu Jahr, sondern auch noch in den 50jährigen Mittelwerten bedeutende Unterschiede zwischen den einzelnen Perioden vorhanden sind und daß zudem nicht die ganze Schweiz einheitliche Verhältnisse aufweist. So ist am Alpensüdfuß im Gegensatz zu den übrigen Regionen seit dem Beginn der Messungen im Jahr 1864 keine allgemeine Erwärmung festzustellen. Wohl zeigt sich in allen drei 5-Jahresmittel-Kurven in Bild 1 ein ungefähr gleichsinniger Verlauf in der letzten 50jährigen Periode, doch ist südlich der Alpen die ausgeprägte Wärmeperiode der 1940er Jahre wesentlich weniger kräftig als nördlich des Gebirges, und die Mittelwerte der Perioden 3 und 4 decken sich. Nördlich der Alpen ist dagegen, wie die Basler Kurve zeigt, eine ausgesprochene Erwärmung festzustellen, das Mittel der Periode 4 liegt um $0,5^\circ$ höher als dasjenige der Periode 3 und um $0,7^\circ$ bzw. $0,5^\circ$ höher als während der Perioden 2 und 1. Auch in den Alpen ist gegenüber Periode 3 ein Temperaturanstieg festzustellen, gegenüber 2 dagegen keine Erwärmung. Zu diesem Resultat ist allerdings zu bemerken, daß die ältesten Beobachtungen nochmals kritisch auf allfällige Instrumentenfehler überprüft werden müssen, bevor endgültige Angaben möglich sind. Es zeigt sich jedoch auch in den neueren, durch ein ausgedehntes Beobachtungsnetz gesicherten Ergebnissen, daß nicht nur die beiden Seiten des Alpenkamms, sondern auch die Höhen und Niederungen oft verschiedene Entwicklungen aufweisen. So stieg auf dem Säntis das Wintermittel im Vergleich der Perioden 1871—1900 und 1921—1950 nur um $0,1^\circ$, in Zürich aber um $1,1^\circ$. Im Sommer waren die Verhältnisse umgekehrt: $0,8^\circ$ Erwärmung auf dem Säntis, $0,1^\circ$ in Zürich. Diese Unterschiede sind mit Änderungen der allgemeinen Zirkulation verknüpft, mit einem Wechsel der vorherrschenden Luftströmung. Bekanntlich liegt unser Gebiet im Breitengürtel der Westwinde. In der Zone zwischen dem Azorenhoch und dem Islandtief werden oft feuchte, im Winter verhältnismäßig milde, im Sommer kühle Luftmassen nach Mitteleuropa verfrachtet. Je nach der Lage der beiden steuernden Luftdruckzentren ist dieser Zustrom stärker oder schwächer, was

in den Schwankungen der Temperatur- und Niederschlagskurven zum Ausdruck kommt. Wir betrachten zu diesem Zweck den Verlauf in den einzelnen Jahreszeiten (Bild 3). Es zeigt sich, daß im Winter bereits vor 1910, kurz nach der Jahrhundertwende, eine Erwärmung auf der Alpennordseite eingetreten war (blaue Winterkurve), während sich im Sommer die Erwärmung erst ab 1925 bemerkbar macht (rote Sommerkurve). Die Zeit von 1910 bis etwa 1925 war somit gekennzeichnet durch eine verhältnismäßig geringe Jahreschwankung der Temperatur, wie wir sie bei verstärktem Westwind finden. Dem entspricht auch eine relativ große Niederschlagsmenge (Bild 5). Ganz andere Verhältnisse finden wir zu Beginn der 1940er Jahre. Die ersten Kriegswinter waren ziemlich kalt in Mittel- und Osteuropa. Es war die Zeit der deutschen Rußlandfeldzüge. Im Innern des Kontinents war die Kälte besonders ausgeprägt, aber auch in Basel, weniger in Locarno, finden wir in der Zeit von 1940 bis 1942 in der Temperaturkurve eine bedeutende Senke (Bild 3). Gegenüber der strengen Februarkälte des Jahres 1956 (in Basel $-9,3^\circ$) treten allerdings die Monatswerte der Kriegswintermonate etwas zurück (Januar 1940 in Basel $-6,5^\circ$, Januar 1942 $-5,8^\circ$) [3]. Es ist dazu zu bemerken, daß in diesem Jahrhundert häufig große Kälteinbrüche in der zweiten Winterhälfte vorkamen, während sie früher oft schon am Jahresende auftraten. Den Rekord hält in Basel in den letzten 200 Jahren der Dezember 1879 mit $-10,1^\circ$. Wenn wir noch etwas weiter zurückgehen, vor den Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen, finden wir allerdings im Winter 1739/40 eine Kälte, welche seither glücklicherweise nie auch nur in annäherndem Maß aufgetreten ist. So heißt es z. B. in einer Klettgauer Chronik [4]: «Von 1739 bis 1740 war ein kalter grimmiger Winter, das bei Menschengeinden nie war erhört worden. Die Räben ließen so großen Schaden, die steudigen und die so man ohngekraut gelassen.» Doch kehren wir von diesem Abstecher in die ganz alte Zeit zurück in die letzten 50 Jahre. Die höchsten Sommermaxima finden wir nicht im 18. Jahrhundert, trotzdem es auch damals verhältnismäßig heiße Sommer gab. Das höchste Monatsmittel brachte in Basel bisher der Juli 1952 mit $21,7^\circ$, dicht gefolgt vom Juli 1859 mit $21,5^\circ$. Zu diesen Angaben ist hinzuzufügen, daß in anderen Gebieten, z. B. auf den Alpengipfeln, andere Rangfolgen auftraten, so finden wir z. B. auf dem Säntis den höchsten Wert im August 1944 mit $9,3^\circ$. Nach der vorübergehenden Normalisierung der Verhältnisse, in der Mitte der 50er Jahre, welche von uns «verwöhnten» Menschen bereits als ein rabenschwarzes und kühles Sommerklima taxiert wurden, ist 1959 ein neuer Anstieg eingetreten, so daß wir nicht sicher sind, ob mit den 1940er Jahren bereits der Höhepunkt der sommerlichen Wärmeperiode erreicht wurde oder ob der Anstieg auf lange Sicht hinaus weitergehen wird. Wir haben uns in der jetzigen badefreudigen Zeit nach einer Reihe von Jahren mit freundlicher Sommerwitterung an eine Wärme gewöhnt, welche vielleicht nicht auf die Dauer anhalten wird. In früheren Perioden gab es einzelne Sommer, welche kaum diesen Namen verdienten, besonders während der Zeit vor dem zweitletzten Gletschervorstoß des 19. Jahrhunderts. Besonders ungünstig war der Sommer 1816 mit einer Temperatur von $14,4^\circ$ in Basel, $3,1^\circ$ unter dem Mittel 1910—1959, $6,2^\circ$ unter dem Wert des Hitzesommers 1947! Damals

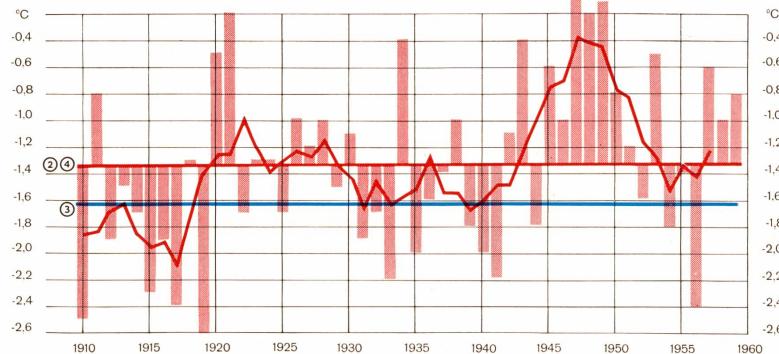
¹ Vergleiche Bibliographie [1] und [2].

Bild 1 Temperaturverlauf seit 1910 in den verschiedenen Klimaregionen der Schweiz. Während am Alpensüdfuß keine Temperaturerhöhung festzustellen ist, zeigt sich in den anderen Gebieten eine Erwärmung, welche ihren Höhepunkt in der zweiten Hälfte der 40er Jahre erreichte. Die über 5 Jahre ausgeglichene Mittelwertskurve zeigt diese Verhältnisse deutlich. Dabei ist zu beachten, daß die Spitzen der Kurven nicht mit extremen Einzeljahren zusammenfallen müssen; auf dem Großen St. Bernhard waren z. B. die Jahre 1920 und 1921 verhältnismäßig warm, während im ausgeglichenen Verlauf das Maximum erst auf das Jahr 1922 fällt. Im Vergleich zu den früheren 50jährigen Perioden der letzten 200 Jahre, welche für Basel aus alten Beobachtungsreihen bekannt sind (vgl. 3):

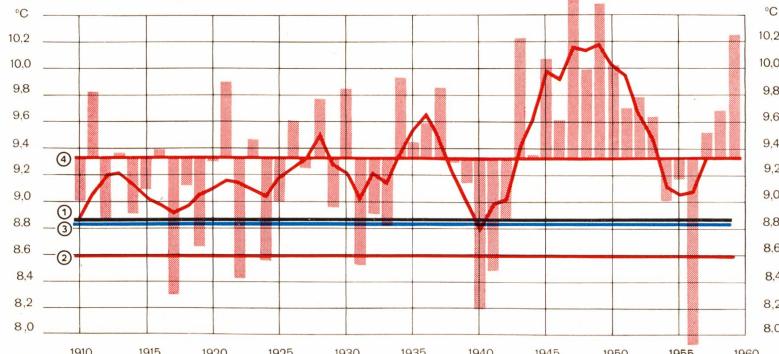
1. Periode (1) = 1761 — 1810
2. Periode (2) = 1811 — 1860
3. Periode (3) = 1861 — 1910
4. Periode (4) = 1910 — 1959

ist eine Erhöhung des allgemeinen Temperaturniveaus auf der Alpennordseite ersichtlich.

Alpen: Großer St. Bernhard



Alpennordseite: Basel-Binningen



Alpensüdseite: Locarno-Monti

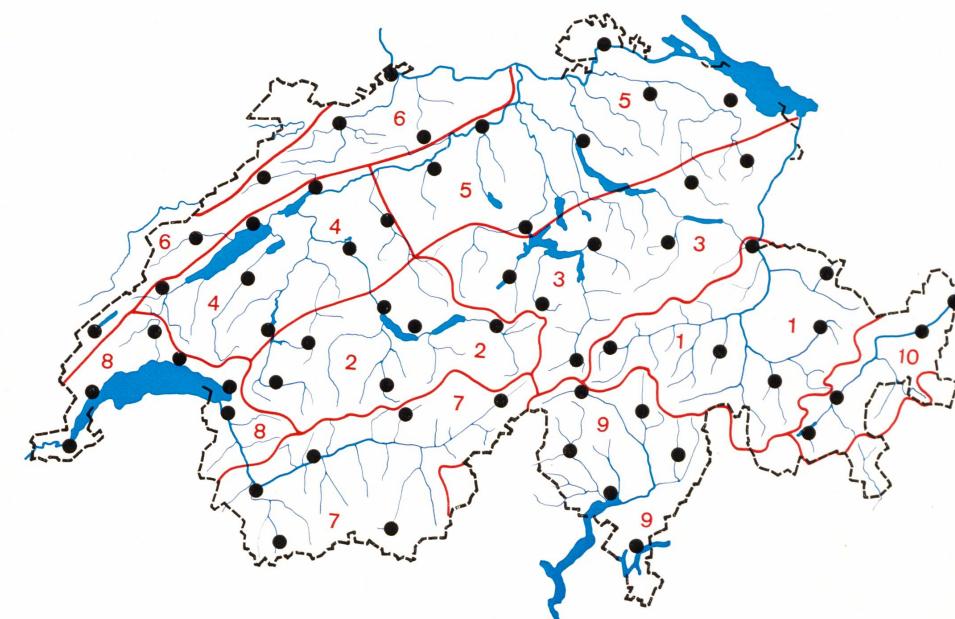
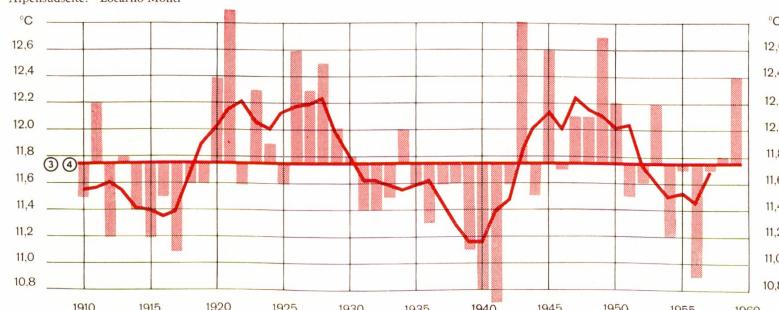


Bild 2 a Übersichtskarte zum Abschnitt über die Niederschlagsmengen, Sektoren und Teststationen.



Bild 2 b Lage der drei Meßstationen, deren Temperaturverlauf in den Bildern 1 und 3 dargestellt ist.

Basel (Photo: Balair, Basel)

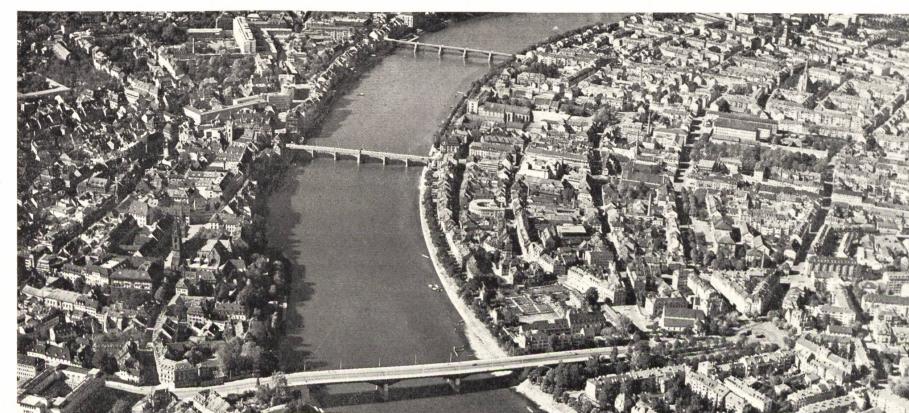
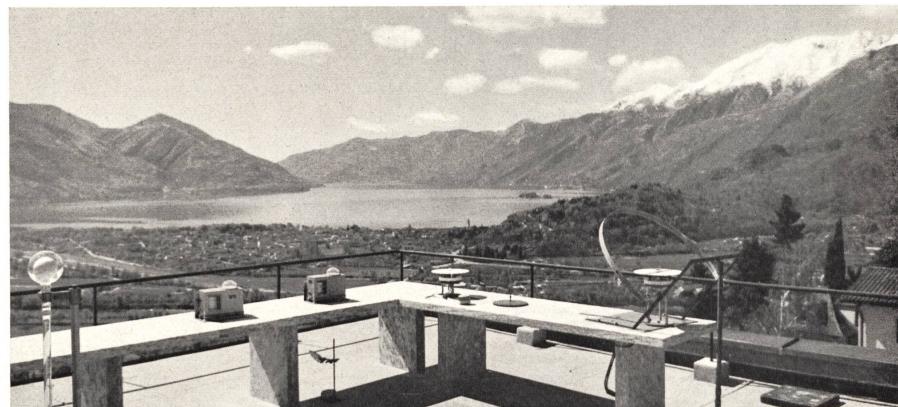
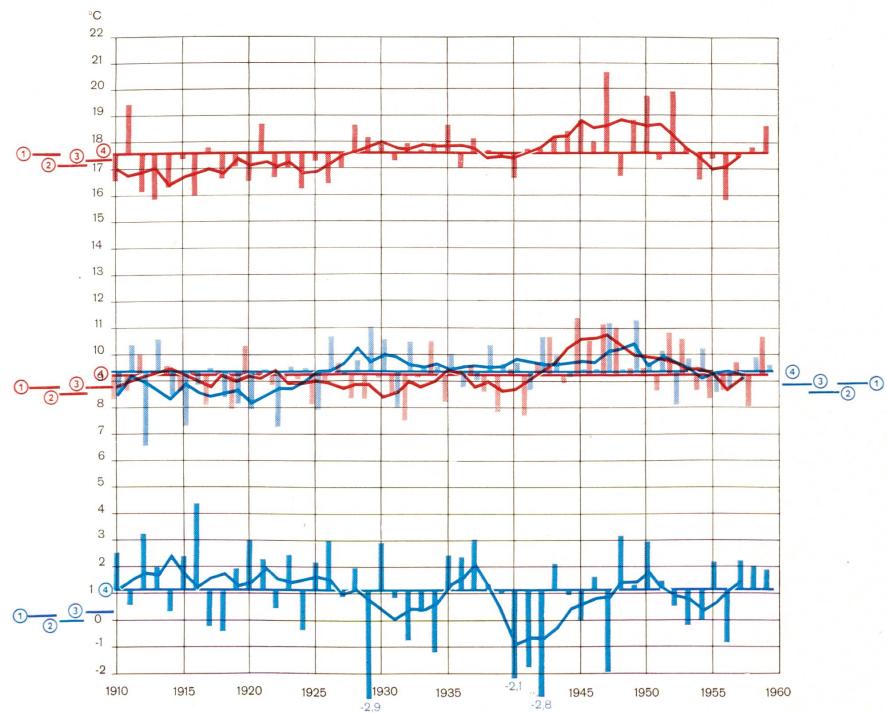


Bild 3 Jahreszeitlicher Verlauf der Temperatur seit 1910 auf der Alpenordseite und am Alpensüdflügel, welcher ein höheres allgemeines Temperaturniveau aufweist, wie der Vergleich der linken und rechten Hälfte der Figur zeigt. Im Laufe der 50jährigen Periode erfolgte ein Wechsel des durchschnittlichen Witterungsgeprägtes. Bis zur Mitte der 20er Jahre finden wir auf der Alpenordseite vorwiegend kühle Sommer und milde Winter, dann einen Übergang zu kälteren Wintern, jedoch höherer Temperatur in den übrigen drei Jahreszeiten. Die erste Periode hatte maritimen Charakter mit ihren ausgeglichenen Temperaturen, die zweite mit den häufigen Extremen wies mehr kontinentale Züge auf.

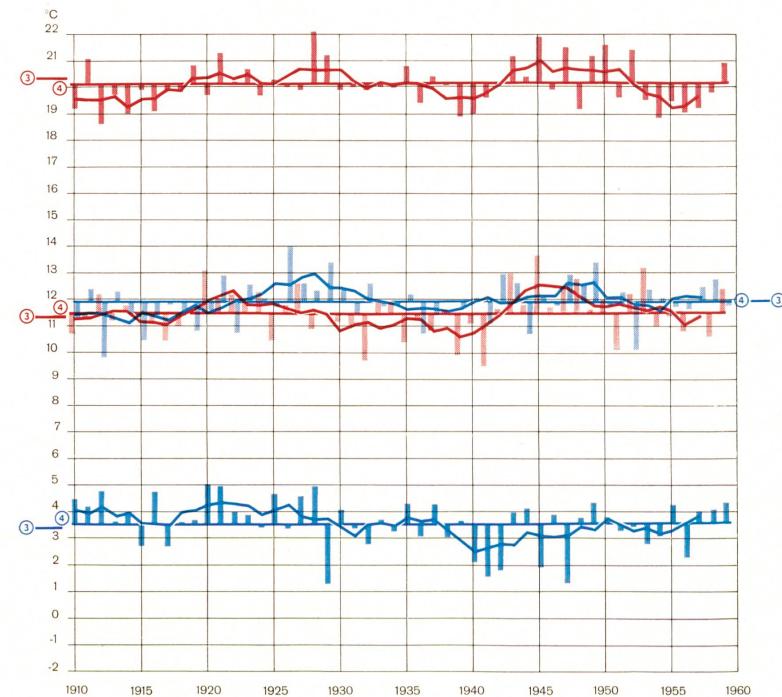


Osservatorio Ticinese Locarno-Monti

Basel-Binningen



Locarno-Monti



gab es Hungersnot, da in unserem Klima vieles nicht zur Reife kam und die heutigen Transportmittel für den Warenaustausch fehlten. Der 1816er Wein wird kaum geschätzt worden sein...

Werfen wir noch einen Blick auf Frühling und Herbst. Die Kurven zeigen uns, daß abwechselnd Frühling- und Herbstmonate höhere Temperaturen aufweisen, und daß in den letzten 50 Jahren auch in diesen Jahreszeiten eine allgemeine Erwärmung festzustellen ist. Der Höhepunkt der Wärmeperiode fällt auch hier wie im Sommer in die zweite Hälfte der 1940er Jahre. Im Herbst brachte das Jahr 1949 bisher die größte Wärme, im Frühjahr 1945. 1947 waren beide Jahreszeiten sehr warm. Am kühlsten war es im Herbst 1912 mit $6,6^\circ$ und im Frühjahr 1932 mit $7,5^\circ$.

Wenn wir erwähnt haben, daß Frühjahr und Herbst ungefähr dieselbe Temperatur aufweisen, so gilt diese Feststellung für die Niederungen der Alpennordseite (Basel im langjährigen Mittel 1864—1940 Frühjahr $8,8^\circ$, Herbst $9,0^\circ$). Andere Klimaregionen weisen davon abweichende Verhältnisse auf. So ist schon am Alpensüdfuß der Unterschied etwas größer. In Locarno-Monti erreicht er $0,5^\circ$. Trotzdem das Tessiner Observatorium etwas höher liegt als Basel (379 gegen 317 m) ist es dort wesentlich wärmer, der Durchschnitt der Temperatur von Frühjahr und Herbst beträgt $11,7^\circ$, also $2,8^\circ$ mehr als am Juranordfuß. Ein Teil dieser Differenz mag durch die sonnige Südhanglage von Monti bedingt sein, in der Hauptsache ist die Ursache in der schützenden Wirkung des Alpenkamms zu suchen. Das Gebirge hält am Südfuß die kalten nördlichen Windströmungen ab und verwandelt die kalte Bise der Alpennordseite in einen verhältnismäßig warmen Nordföhn.

Wesentlich ausgeprägter werden die Unterschiede zwischen Frühjahr und Herbst, wenn wir vom Flachland ins Gebirge hinaufsteigen, wo sich in der ersten Jahreshälfte der kühlende Einfluß des Schnees bemerkbar macht und wo zudem allgemein ein Nachhinken der Temperatur gegenüber den tieferen Regionen auftritt. Die Monate Januar und Februar, sowie Juli und August weisen dort fast genau dieselben langjährigen Mittelwerte auf (St. Bernhard $-8,4^\circ$ und $-8,3^\circ$ bzw. $6,5^\circ$ und $6,6^\circ$). Die jährlichen Temperaturextreme verschieben sich auf Jungfrauöhle in 3500 m um etwa einen halben Monat und wandern vom Januar bzw. Juli in die Zeit Februar bzw. August. Dementsprechend wird auch das Frühjahr kälter im Vergleich zum Herbst. Die Kurven des Großen St. Bernhard liegen bereits 3° auseinander ($-3,5^\circ$ und $-0,5^\circ$). Für die Wasserwirtschaft sind die mit der Schneerücklage verbundenen Verschiebungen zwischen Niederschlag und Abfluß ja ganz besonders wichtig; Änderungen in den Wärmeverhältnissen wirken sich aus auf den Zeitpunkt der Frühjahrschwämmer.

Bereits bei der Besprechung der großen Winterkälten wurde erwähnt, daß sich im Laufe der Jahrhunderte Verlagerungen innerhalb der Jahreszeiten ergeben. Wohl blieb durchgehend der Januar der kälteste Monat, aber der Dezember weist in neuerer Zeit gegenüber dem Februar stärkere Erwärmung auf, so daß sich das Schwergewicht des Winters mehr gegen das Frühjahr verschoben hat. In der Periode 1910—1959 hatten Dezember und Januar in Basel Mittelwerte, welche um $1,3^\circ$ und $1,1^\circ$ über denjenigen von 1861 bis 1910 liegen, während der Februar gleich geblieben ist.

In unserem Kommentar zu den Wärmeverhältnissen haben wir festgestellt, welche Änderungen in der durch Messungen belegten Zeit vor sich gegangen sind und nicht nach deren Ursachen gefragt. Sobald uns die Frage nach der zukünftigen Entwicklung gestellt wird und wir nicht nur Statistik treiben wollen, sondern nach dem Warum fragen, werden wir vor sehr schwierige Probleme gestellt. Erklärungen sind heute nur für einzelne Teilgebiete möglich. Zunächst können wir feststellen, daß die nördlich der Alpen beobachtete Erwärmung keine lokale Erscheinung ist, sondern weltweit auftritt. Der allgemeine «Trend» ist nicht nur in Europa sondern auch in Amerika festzustellen [5]. Das Gleiche bleibt der Temperatur seit dem letzten Jahrhundert, wie wir es im Tessin feststellen, ist als Ausnahme zu betrachten. Bereits in der Po-Ebene tritt wieder eine Neigung zur Temperaturerhöhung auf, in Mailand liegt das Mittel der Periode 1901—1950 um $0,5^\circ$ über demjenigen der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts. Der allgemeinen Temperaturzunahme, die im Mittel aller schweizerischen Stationen auftritt, geht, wie Bild 5 zeigt, eine geringe Erhöhung der Niederschläge parallel. Die Erwärmung in der kalten Jahreszeit läßt sich mit der Verschiebung des Winters gegen den Februar hin in Zusammenhang bringen. Nicht nur in den Alpen, auch im Polargebiet ist die Eisbedeckung in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen, und die Erwärmung hat sich dort sogar besonders kräftig ausgewirkt. In Spitzbergen stieg die Temperatur der Monate November—März von der Periode 1912—1920 zu 1931—1938 um volle $8,7^\circ$! [6]. Das Polareis braucht mehr Zeit, um im Spätherbst gegen Süden in die subpolaren Gebiete vorzudringen, und die darüber gebildete Kaltluft muß einen längeren Weg über das noch warme Meer zurücklegen bis sie zu uns gelangt. Die großen Kältevorstöße sind daher auf die Mithilfe des sibirischen Kaltluftreservoirs angewiesen, welches erst im Hochwinter genügende Mächtigkeit erlangt, um Vorstöße nach Westen in unsere Gebiete einzuleiten. Diese Überlegungen erklären wohl die Verschiebungen der Temperaturverhältnisse innerhalb des Jahres, geben uns aber keinen Hinweis auf die Ursache der Erwärmung selbst. Wir müssen gestehen, daß bis jetzt noch keine eindeutige Antwort auf diese Frage möglich ist, daß wir uns darauf beschränken müssen, die möglichen Ursachen zusammenzustellen, wie es z. B. in unserer Zeit durch M. Rouleau geschehen ist [7]. Prinzipiell sind zwei verschiedenartige Einflußgruppen zu unterscheiden: 1. terrestrische Einflüsse, z. B. Veränderungen in der Zusammensetzung der Erdatmosphäre; 2. extraterrestrische Einflüsse, z. B. Änderungen in der einfallenden Sonnenstrahlung. Die zweite Gruppe ist für uns besonders schwierig zu erfassen, da wir bisher noch keine dauernden Messungen der Sonnenstrahlungsintensität außerhalb unserer Atmosphäre besitzen und erst durch die kommende Raumschiffahrt genaue Meßresultate erhältlich sein werden. Daß Schwankungen vorhanden sind, mindestens in bestimmten Spektralbereichen, wird durch die wechselnde Zahl der Sonnenflecken und Protruberanzen nahegelegt; im Wetter finden wir aber die 11-jährige Periode der Sonnenaktivität nur schwach ausgeprägt, so daß der Zusammenhang nur locker ist und nur in speziellen Fällen für eine Prognose herangezogen werden kann [8]. Bei der ersten Gruppe, den Veränderungen in der Atmosphäre, stehen mehrere Ur-

sachen zur Diskussion. Da ist zunächst die Änderung des Staubgehaltes, früher hauptsächlich durch die kräftigen Vulkanausbrüche verursacht, heute auch im Zusammenhang mit der radioaktiven Zerfallproduktion aus dem Material der Atombomben zu betrachten. Letztere haben nach unseren bisherigen Erfahrungen keinen wesentlichen Einfluß auf das Wettergeschehen. Weder die Schwankungen um den Mittelwert noch die allgemeinen Durchschnitte haben sich bei den Niederschlägen seit der Periode der Atomversuche wesentlich verändert, und es sollte doch besonders bei jenem Wetterelement in der näheren und weiteren Umgebung der Versuche eine Änderung festzustellen sein [9]. Neben der mechanischen Verunreinigung der Atmosphäre ist auch eine chemische Änderung der Zusammensetzung denkbar, z. B. eine Vermehrung des CO₂-Gehaltes, was sich in einer vergrößerten Absorption der einfallenden Strahlung und demzufolge einer Erwärmung bemerkbar machen muß [10]. Eine Zunahme der CO₂-Produktion infolge der industriellen Entwicklung ist sehr wahrscheinlich, doch kann auf Grund der bisher vorliegenden Meßreihen noch keine endgültige Bilanz aufgestellt werden.

Neben den beiden Hauptelementen Temperatur und Niederschlag, welche in unserem Artikel behandelt werden, müssen die übrigen Faktoren zurücktreten, weil eine Bearbeitung infolge Unsicherheit der Beobachtungs- und Meßresultate zeitlich noch nicht möglich war. Nur eines dieser Elemente soll kurz erwähnt werden: der Wind, ist er doch maßgebend für die Art der zugeführten Luftmassen. Es zeigt sich, daß die allgemeine Luftdruckverteilung, welche eng mit der vorherrschenden Strömung gekoppelt ist, sich im Laufe der Zeiten wandelt, daß die Aktionszentren wie z. B. das Islandtief und das Azorenhoch, die wir aus den täglichen Wetterkarten kennen, nicht ständig in gleicher Lage und Stärke verharren, sondern im Laufe der Zeiten sich verändern, wodurch in unserem Gebiet die maßgebenden Westwinde verstärkt oder abgeschwächt werden. Auch die übrigen Strömungen, wie z. B. Bise und Föhn, schwanken ebenfalls in ihrem Auftreten. So hat z. B. der Föhn, welcher nach der Jahrhundertwende in den Frühjahrs- und Herbstmonaten ein häufiger Gast war, sich seither erheblich weniger oft eingestellt. In Linthal im Kanton Glarus wurde er im Zeitraum von 1907 bis

1918 nach dem bekannten, kürzlich verstorbenen Föhnforscher Dr. h. c. Streiff-Becker, durchschnittlich 33mal pro Jahr, von 1919—1958 jedoch nur noch 22mal festgestellt. So ist das Klima eines Ortes und einer Gegend nicht für alle Zeiten festgelegt, sondern in ständigem Wechsel begriffen. Die Pflanzen und wir Menschen folgen dieser Entwicklung, die Vegetation dehnt sich aus und wir bauen unsere Stauwehre unmittelbar unter die derzeitigen Gletscherenden in der Hoffnung, daß der einmal eingeschlagene Weg weitergehe und keine unmittelbare Klimaverschlechterung bevorstehe, wie sie unsere Vorfäder im 16. Jahrhundert vor dem größten geschichtlichen Gletscherhochstand ums Jahr 1620 erlebt haben.

Die Niederschlagsmengen

Die Aufgabe, über die Niederschlagsmengen der Schweiz in den letzten 50 Jahren zu berichten, stellt den Bearbeiter vor mancherlei Fragen. Es ist zunächst aus dem umfangreichen Beobachtungsmaterial die für den Zweck der Darstellung bestmögliche Auswahl zu treffen. Hier schon prallen Absicht und Realität gelegentlich unliebsam aufeinander. Sicher läge es im Interesse der Energieproduzenten, möglichst viele Niederschlagswerte aus der alpinen Hochregion zu erhalten. Eine Darstellung über 50 Jahre hin erfordert jedoch homogene Beobachtungsreihen. Leider erfüllt keine unserer Bergstationen im hier zu betrachtenden Zeitraum 1910—1959 diese Bedingung.

Eine Übersicht über die geographische Verteilung der Niederschlagsmengen in der Schweiz, basierend auf der Periode 1901—1940, ist vor 11 Jahren im Verlag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes erschienen [11]. Es dürfte sich erübrigen, im Rahmen dieser Ausführungen nochmals näher darauf einzugehen. Lediglich der Vollständigkeit halber stellen wir hier von 15 Stationen die mittleren Monats- und Jahressummen für die Periode 1910—1959 zusammen (Tabelle 1). Diese Mittelwerte unterscheiden sich von den oben erwähnten im allgemeinen wenig. Eine leichte Senkung ergibt sich bei den Jahreswerten. Die Monatssummen sind, von Ausnahmen abgesehen, etwas kleiner geworden im März, April, Mai, Juli, Oktober und Dezember und haben im Januar, Februar und November um weniges zugenom-

Mittlere Monats- und Jahressummen des Niederschlages 1910—1959 in mm

Tabelle 1

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Davos	76	63	55	56	77	120	137	125	86	68	66	70	999
Sargans	99	85	83	95	103	138	155	148	111	97	93	90	1297
Beatenberg	110	94	97	117	133	178	178	159	126	105	104	101	1502
Engelberg	110	95	101	123	136	183	184	171	132	120	109	102	1566
Bern	58	51	64	75	100	119	117	113	95	75	72	64	1003
Zürich	70	60	65	81	99	125	128	118	94	75	70	71	1056
Mt. Soleil	121	99	98	108	127	145	133	140	125	113	128	120	1457
Basel	49	40	50	59	79	93	86	92	76	61	59	50	794
Sion	57	49	38	39	39	50	50	65	48	47	57	64	603
Lausanne	75	62	74	72	92	108	103	115	108	92	93	82	1076
Genève	58	52	64	63	71	85	72	98	93	80	84	71	891
Comprovasco	53	57	86	106	130	127	137	152	142	134	115	78	1317
Lugano	62	65	118	164	209	182	177	192	154	173	138	92	1726
Bever	45	40	49	56	72	90	101	110	79	78	69	55	844
Martina	49	39	36	42	55	73	92	93	63	50	52	48	692

men. Die charakteristischen Grundzüge des jährlichen Ganges sind jedoch in allen Landesteilen dieselben geblieben.

Unsere weiteren Ausführungen befassen sich nur noch mit den jährlichen Niederschlagsmengen, wobei das Hauptgewicht auf ihre Schwankungen im Verlaufe der zu betrachtenden 50 Jahre gelegt wird. Es wäre bestimmt interessant gewesen, diese Untersuchungen auf die einzelnen Monate oder wenigstens Jahreszeiten auszudehnen, doch erlaubt der gegenwärtige Stand der Vorarbeiten dies noch nicht.

Um den Zusammenhang mit dem nachfolgenden Artikel, der sich mit den Abflußmengen befaßt, nach Möglichkeit zu gewährleisten, bringen wir nicht die Niederschläge an einzelnen Beobachtungsstationen zur Darstellung, sondern versuchen, zu vertretbaren Angaben über die Durchschnittsmengen für die vier bedeutendsten Flußgebiete der Schweiz zu gelangen. Als Grundlage dienen uns die jährlichen Niederschlagsmengen von 61 ausgewählten Beobachtungsstationen sowie die mit [11] veröffentlichte Niederschlagskarte der Schweiz. Mit Hilfe der ersteren entwickeln wir ein Indexsystem, in welchem die Mittelwerte 1910—1959 als Basis dienen, d. h. gleich 100 % gesetzt werden. Eine spezielle Auswertung der Niederschlagskarte erlaubt uns dann eine Schätzung der wirklichen Niederschlagshöhen und damit auch der anfallenden Wassermengen.

Wie aus der Übersichtskarte (Bild 2) ersichtlich ist, haben wir das Land in zehn Sektoren aufgeteilt, von denen sechs dem Rhein- und zwei dem Rhonegebiet angehören. Tessin- und Inngebiet bilden je einen Sektor. Für jeden Sektor haben wir sechs bis sieben, für das Inngebiet vier Teststationen ausgesucht. Für die Wahl waren in erster Linie geographische Gesichtspunkte maßgebend, daneben war jedoch die Qualität der Beobachtungsreihen zu beachten. Die benutzten Stationen sind in der Übersichtskarte eingetragen. Wir geben hier eine Übersicht unserer Disposition. (Die Gebietsbezeichnungen sind als Stichworte zu betrachten, sie wollen nicht als strenge politische oder geographische Begriffe gewertet sein):

Sektoren	Beobachtungsstationen		
A. Rheingebiet			
1. Graubünden	Sedrun	Davos-Platz	
	Safien-Platz	St. Antönien	
	Savognin	Sargans	
	Meiringen	Thun	
	Beatenberg	Château d'Oex	
	Kandersteg	Jaun	
2. Nordalpen — West	Andermatt	Klöntal	
	Engelberg	Ebnat	
	Sarnen	Appenzell	
	Schwyz		
	Marsens	Biel	
	Payerne	Bern	
	Valeyres s. R.	Burgdorf	
	Neuchâtel		
3. Nordalpen — Ost	Luzern	Schaffhausen	
	St. Urban	Frauenfeld	
	Aarau	Amriswil	
	Zürich		
4. Mittelland — West	Le Sentier	Delémont	
	Couvet	Langenbruck	
	Mt. Soleil	Basel	
5. Mittelland — Ost			
6. Jura			
B. Rhonegebiet			
7. Wallis (bis St-Maurice)	Reckingen	Sion	
	Zermatt	Bourg-St-Pierre	
	Kippel	Martigny	
	Chessel	Cossonay	
8. Genfersee (mit Einzugsgebiet der Rhone unterhalb St-Maurice und Kanton Genf)	Montreux	Nyon	
	Lausanne	Genève	

C. Tessingebeit

9. Tessin (ohne Diveria, jedoch mit Breggia und kleineren Restgebieten des Sottoceneri)	Airolo	Cevio
	Comprovaseo	Locarno

D. Inngebiet

10. Engadin	Braggio	Lugano
	Sils-Maria	Schuls

Wir haben nun für jeden einzelnen Sektor und für jedes Jahr von 1901 bis 1959 den Durchschnitt aus den Niederschlagsmengen seiner Teststationen, gerundet auf ganze cm, ermittelt. Wir wollen diese Durchschnitte mit R_t bezeichnen. Daraus errechneten wir Mittelwerte für die Perioden 1901—1940 (R_{t40}) und 1910—1959 (R_{t50}). R_{t50} setzen wir gleich 100 % und berechneten auf dieser Basis Prozentzahlen für alle R_t . Wir erhielten so für jedes Jahr eine Indexzahl I, die aussagt, wieviele Prozente des Mittels aus 1910—1959 seine durchschnittliche Niederschlagshöhe gewesen sein dürfte. Wir wählen diese vorsichtige Formulierung, weil wir dabei die nicht bewiesene Voraussetzung machen, daß die durch die Teststationen gezeigten Schwankungen von Jahr zu Jahr auf den ganzen Sektor übertragen werden dürfen. Grobe Fehler werden uns bei diesem Vorgehen zwar kaum unterlaufen, doch müssen vor allem in den gebirgigen Sektoren gewisse Unsicherheiten in Kauf genommen werden.

Zu einer Übersicht über die Größenordnung der durchschnittlichen Niederschlagshöhen in den Sektoren gelangen wir mit Hilfe der bereits erwähnten Niederschlagskarte 1:500 000. Wir haben auf diese ein rechtwinkliges Quadratcentimeternetz gelegt und für jeden Schnittpunkt die ihm zukommende mittlere Niederschlagsmenge entnommen. Aus den so erhaltenen Werten für alle «Meßpunkte» eines Sektors haben wir den Durchschnitt gezogen und diesen als die durchschnittliche Niederschlagshöhe des betreffenden Sektors, bezogen auf die Periode 1901—1940, aufgefaßt (R_{m40}). Die Umrechnung auf 1910—1959 (R_{m50}) ergibt sich offensichtlich aus

$$R_{m50} = R_{m40} \frac{R_{t50}}{R_{t40}}$$

Die durchschnittlichen Niederschlagshöhen für die einzelnen Jahre (R_m), wie sie beispielsweise für die vier Flußgebiete in Bild 6 in Form übergreifender fünfjähriger Mittel dargestellt sind, erhält man nach

$$R_m = R_{m50} I = R_t \frac{R_{m40}}{R_{t40}}$$

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, wie aus den erwähnten Unterlagen ein Überblick über die mittleren durchschnittlichen Gebietsniederschlagsmengen gewonnen werden kann. Multipliziert man R_{m50} mit der Fläche des Sektors, so erhält man die Wassermenge, die im Mittel während eines Jahres auf denselben niederfällt. Die Flächeninhalte der Flußgebiete und eines Teiles der Sektoren konnten wir der Publikation [12] entnehmen. Für die Sektoren 2 bis 6 erhielten wir daraus nur den Totalbetrag, den wir durch Planimetrieren einer Übersichtskarte auf die einzelnen Sektoren aufteilten. In die Tabelle haben wir auch noch die sonst hier nicht behandelten Restgebiete aufgenommen. Ihre R_{m40} wurden in üblicher Weise aus der Niederschlagskarte bestimmt, die R_{m50} nach den Differenzen $R_{m40} - R_{m50}$ der anstoßenden Sektoren interpoliert.

Für die ganze Schweiz kommen wir so auf eine mittlere jährliche Niederschlags-Wassermenge von rund 60

Mittlere durchschnittliche Niederschlagshöhen und Wassermengen in der Schweiz

aufgeteilt nach Sektoren und Flußgebieten
(* interpolierte Werte)

Tabelle 2

Sektor bzw. Flußgebiet	Teststationen		Niederschlagshöhe		Fläche km²	Wassermenge 1910–1959	
	R _{t40}	R _{t50}	R _{m40}	R _{m50}		Sektor	Flußgebiet
	cm					10 ⁹ m ³	
1	116.7	116.2	151.0	150.4	4 496	6.8	
2	131.7	131.8	171.6	171.8	4 340	7.4	
3	155.3	153.9	184.1	182.3	5 633	10.3	
4	104.9	102.8	108.4	106.2	3 610	3.8	
5	104.6	103.0	111.7	110.0	6 630	7.3	
6	121.0	118.9	124.9	122.7	3 260	4.0	
Rhein			142.8	141.6	27 969		39,6
7	82.3	83.1	161.6	163.3	4 732	7.7	
8	104.1	103.6	132.5	131.8	2 228	2.9	
Rhone			151.6	152.3	6 960		10,6
Tessin (9)	168.4	165.0	202.3	198.2	3 250		6,4
Inn (10)	82.4	81.5	128.0	126.0	1 814		2,3
Doubs-Allaine	—	—	126.6	124.5*	572	0.7	
Diveria	—	—	169.5	169.0*	173	0.3	
Adda	—	—	175.8	173.0*	429	0.75	
Etsch	—	—	110.0	109.0*	132	0.15	
Restgebiete					1 306		1,9
Schweiz				147.2	41 299		60,8

Milliarden m³ oder 60 km³, die man sich als einen Quader von 5 km × 4 km × 3 km oder als eine Kugel von 4,86 km Durchmesser vorstellen kann. Eine zylindrische Wassersäule zum Mond hätte den respektablen Durchmesser von 14 m, und ein Rohr zur Sonne müßte noch immer 71 cm Durchmesser haben, um die ganze Wassermasse aufnehmen zu können!

Prozentual verteilen sich die auf die Schweiz in einem Durchschnittsjahr niederfallenden Wassermengen auf ihre Stromgebiete wie folgt:

Rhein	Rhone ¹	Po ²	Donau ³	Etsch ⁴
65,1	18,6	12,3	3,8	0,2 %

¹ inkl. Doubs und Allaine; ² Tessin, Diveria, Adda;
³ Inn; ⁴ Rombach

Mittelwerte allein beschreiben die Niederschlagsverhältnisse einer Gegend noch nicht genügend. Ein fast ebenso wichtiges Charakteristikum ist ihre Veränderlichkeit. Die meistgebrauchte statistische Maßzahl hierfür ist die mittlere Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert, kurz «Streuung» genannt. Wir werden darauf später in einem andern Zusammenhang zurückkommen. Vorerst möchten wir die Schwankungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr einmal bildlich vorführen. In Bild 4a–d haben wir zu diesem Zweck für jedes der vier bedeutenderen Flußgebiete die jährlichen Indexwerte

$$I = 100 \frac{R_t}{R_{t50}}$$

der letzten 50 Jahre in der bekannten Säulendarstellung aneinander gereiht. Die Basishöhe (100 %) ist als gestrichelte Wagrechte durchgezogen. Beim Rhein- und beim Rhonegebiet fällt auf, daß die Säulen schief abgeschnitten sind. Die Höhe des linken Randes entspricht jeweils dem alpinen Teil des Gebietes; das betrifft beim Rhein die Kombination der Sektoren 1–3, bei der Rhone den Sektor 7. Der rechte Rand gilt für die dem Mittelland und Jura angehörenden Gebietsteile: Sektoren 4–6 bzw. 8. Dem für das jeweilige ganze Gebiet maßgebenden Index entspricht nun aber nicht einfach

die Höhe der Säulenmitte. Seine Abszisse ist bei beiden Flußgebieten nach links verschoben; beim Rhein teilt sie die Säulenbreite im Verhältnis 2 : 3, bei der Rhone im Verhältnis 2 : 5.

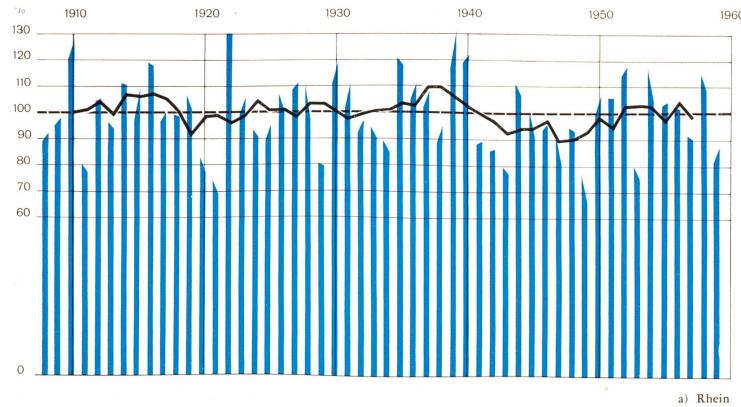
Wie für die Temperatur haben wir auch von den Niederschlagsindices I fünfjährige übergreifende Mittel gebildet, diese jeweils dem mittleren Jahr zugeordnet und auf den Figuren in Bild 4 markiert. Die Verbindung der Punkte ergab die durch den oberen Teil jeder Figur verlaufenden Kurvenzüge.

Alle vier Kurven erwecken mehr oder weniger den Eindruck — am wenigsten beim Rhonegebiet, am meisten im Tessin — daß, wenn auch unterbrochen durch wellenartige Schwankungen, eine Tendenz zur Abnahme der Niederschläge herauszulesen sei. Denselben Eindruck gewinnt man aus Bild 6, in welchem die Kurven der fünfjährigen Mittel aller vier Flußgebiete zusammen mit einer solchen für die ganze Schweiz vereinigt sind; nur sind hier nicht die Indices I, sondern die Gebietsniederschlagshöhen R_m selbst aufgetragen. Geht man dann aber zu Bild 5 über, das in gleicher Darstellungsart wie in Bild 4 die Indexwerte für die ganze Schweiz zurück bis 1864⁵ zeigt, so erkennt man, daß das breite Minimum der Vierzigerjahre, das den erwähnten Eindruck aufkommen läßt, nicht ungewöhnlich ist und ebenso wie die andern Ausschläge der Kurve sich als Episode erweisen dürfte.

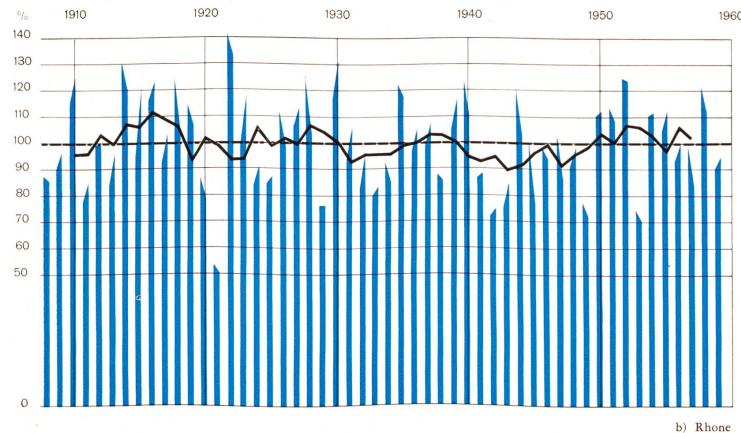
Aus Bild 6 ersieht man weiter, daß abgesehen von kleinen Störungen die wellenähnlichen Schwankungen in allen Flußgebieten gleichzeitig und auch gleichsinnig auftreten. Sie unterscheiden sich im wesentlichen durch ihre Amplituden, die vor allem im Tessin recht groß sind. Daß die Kurve des Rheingebietes mit jener für die ganze Schweiz nahezu parallel verläuft, verwundert kaum, wenn man sich erinnert, daß 65 % des gesamten Niederschlagswassers auf das Rheingebiet fallen.

(Forts. S. 191, Faltblatt)

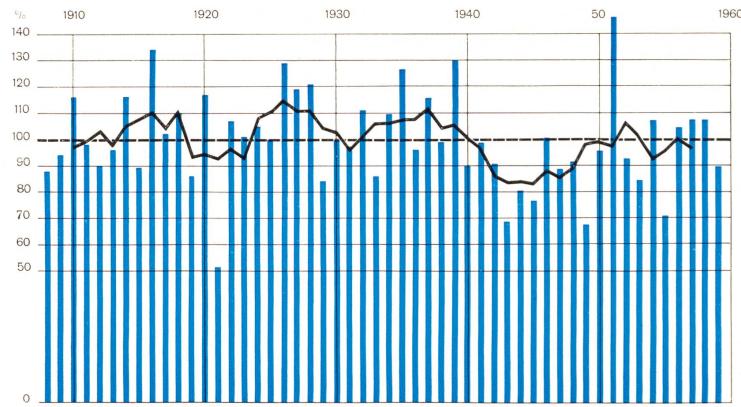
⁵ Den Indices vor 1901 liegt eine andere Stationskombination zugrunde. Ein bis zur Gegenwart durchgeführter Vergleich beider Verfahren ließ keine systematischen Differenzen zutage treten.



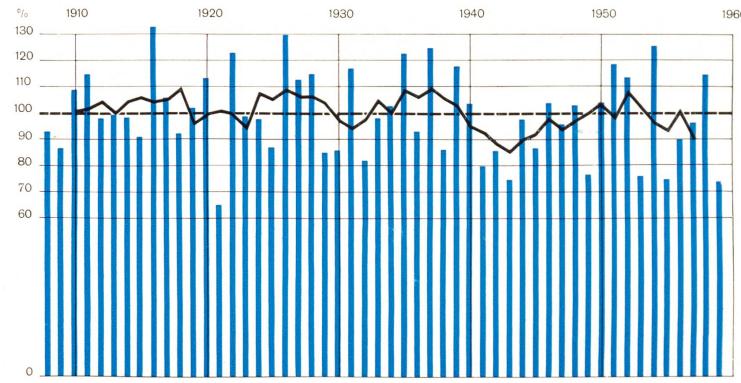
a) Rhein



b) Rhone



c) Tessin



d) Inn

Bild 4 Die jährlichen durchschnittlichen Niederschlags höhen in Prozenten ihres Mittelwertes aus 1910—1959 (I) nach Flussgebieten: a) Rhein, b) Rhone, c) Tessin, d) Inn
Kurven: übergreifende 5jährige Mittel derselben, jeweils dem mittleren der 5 Jahre zugeordnet.

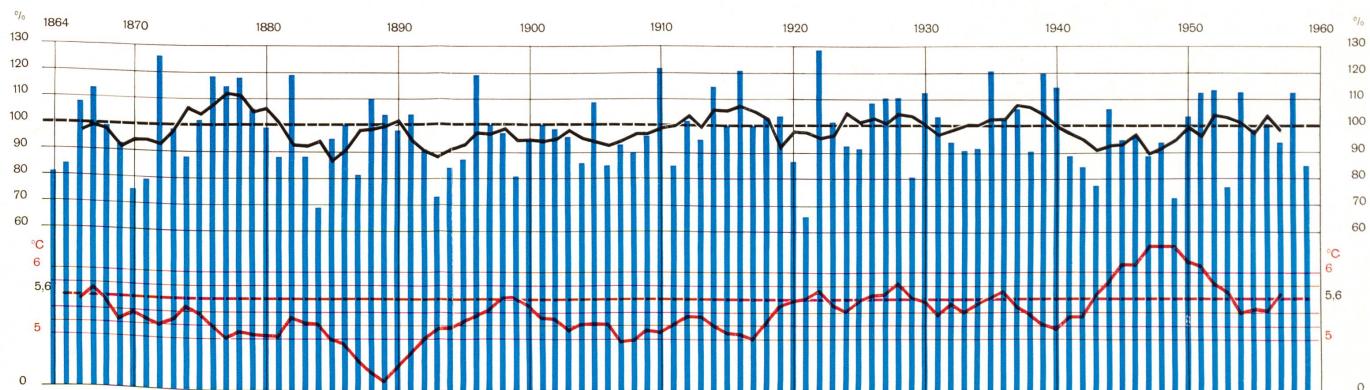


Bild 5 Die jährlichen durchschnittlichen Niederschlags höhen der Schweiz seit 1864 in Prozenten des Mittelwertes aus 1910—1959. Übergreifende 5jährige Mittel derselben (schwarze Kurve) sowie der Lufttemperatur im Durchschnitt von 12 Stationen nach [13] (rote Kurve).

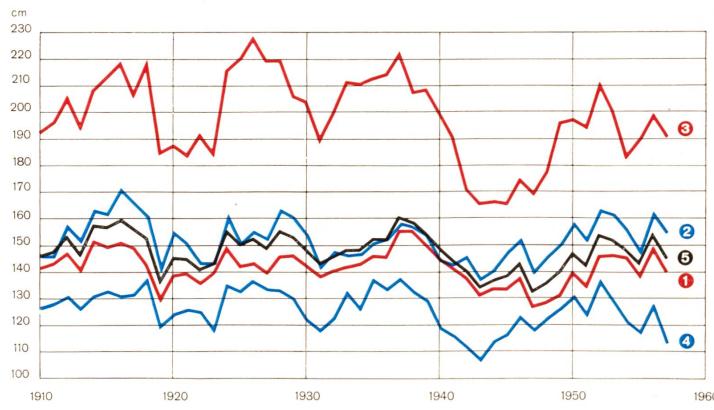


Bild 6 Ubergreifende 5jährige Mittel der durchschnittlichen Niederschlagshöhen in cm (R_m) für die ganze Schweiz und ihre vier Hauptflusßgebiete
1 Rhein 2 Rhone 3 Tessin 4 Inn 5 Schweiz

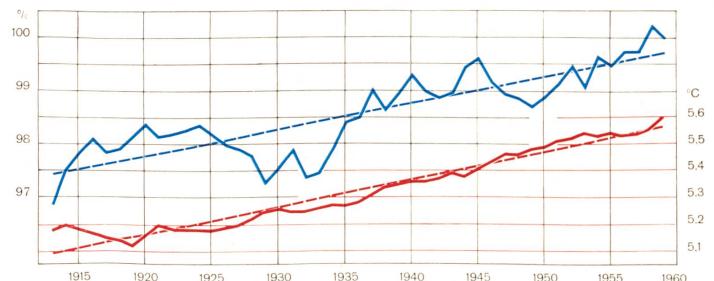


Bild 7 Ubergreifende 50jährige Mittel der durchschnittlichen Niederschlagshöhen in Prozenten des Mittels aus 1910—1959 (oben) und der Lufttemperatur (unten). Ganze Schweiz 1864—1913 bis 1910—1959. Die Bezeichnung unten bezeichnet das jeweilige Endjahr der gleitenden Periode.

Für die einzelnen Jahre gilt die im vorhergehenden Abschnitt festgestellte Eintracht allerdings nicht immer. Sie ist wohl noch da zwischen Rhein- und Rhonegebiet, doch geht vor allem das Tessin oft eigene Wege. Ein sprechendes Beispiel hiefür bieten die Jahre um 1921. Dieses selbst war einheitlich trocken. Nördlich der Alpen war auch das Jahr 1920 niederschlagsarm, im Tessin gehörte es aber zu den nassen Jahren. Demgegenüber blieb 1922 dort in bescheidenem Rahmen übernormal, während dieses Jahr auf der Alpennordseite einen Rekord an Niederschlag brachte. Erwähnen wir als Gegenstück noch 1951 als Tessiner Spitzenzahl, dem nur

leichte Überschüsse im Rhein- und Rhonegebiet gegenüberstehen. Das Inngebiet nimmt bei solchen Gegensätzlichkeiten zwischen Nord und Süd in der Regel eine Zwischenstellung ein.

Kehren wir nochmals zu Bild 5 zurück. Wir haben uns gefragt, wie sich das Mittel der Niederschläge in der Schweiz aus 1910—1959 zu jedem andern Mittelwert verhält, den man innerhalb des Zeitraumes 1864 bis 1959 aus 50 beliebigen aufeinanderfolgenden Jahren berechnen kann. Wir haben zu diesem Zweck die übergreifenden 50jährigen Mittelwerte von 1864—1913 bis 1910—1959, stets ein Jahr auswechselnd, berechnet und in Bild 7 (obere Kurve) eingezeichnet. Man beobachtet eine zwar durch zahlreiche Schwankungen gestörte, jedoch eindeutige Zunahme, die im Durchschnitt der Steigung der durchgezogenen gestrichelten Geraden gleichkommt. Eine gleichartige Berechnung haben wir für die Lufttemperatur ausgeführt unter Benutzung der gleichen Jahreswerte, die als Grundlage für die Temperaturkurve in Bild 5 dienten [13]. Das Ergebnis ist die untere Kurve in Bild 7, durch die wir ebenfalls die mittlere Steigungsgerade gezogen haben. Daß beide Geraden fast parallel sind, liegt am Abbildungsmaßstab. Sie zeigen uns, daß einer mittleren Zunahme der Jahres temperatur um $0,47^\circ$ in 46 Jahren eine Steigerung der Niederschläge um 2,25 % gegenübersteht. Diese Übereinstimmung ist physikalisch erklärbar: Das Ansteigen der Lufttemperatur ist nicht allein auf die Schweiz beschränkt, sondern eine auf der ganzen Nordhalbkugel der Erde beobachtete Erscheinung. Sie steigert auch die Verdunstung und bewirkt damit eine Intensivierung des Wasser Kreislaufes, von dem die Niederschlagsmengen eine Erscheinungsform sind.

Dieser Gleichlauf von Temperatur und Niederschlag tritt aber nur beim Vergleich langer Zeiträume, wie etwa hier von 50 Jahren, zutage. Schon bei nur 25jährigen Mittelwerten, die wir für uns ebenfalls durchgerechnet haben, stellen sich zeitweilig entgegengesetzte Tendenzen ein. Bei den übergreifenden fünfjährigen Mitteln, die man in Bild 5 verfolgen kann, oder gar beim Vergleich der einzelnen Jahre herrscht Gegenläufigkeit vor.

Eine befriedigende Erklärung für diesen Gegensatz können wir nicht finden. Gleichläufigkeit von Temperatur und Niederschlag (kalt-trocken, warm-naß) ist die Regel im Winter, Gegenläufigkeit (kalt-naß, warm-trocken) typisch für den Sommer. Vielleicht gelingt es später, wenn der säkulare Gang der beiden Elemente auch für die Jahreszeiten bekannt ist, den Zugang zu diesem Problem zu öffnen.

Den Abschluß unserer Betrachtung über die Niederschläge mögen noch einige Untersuchungen mathematisch-statistischer Art bilden, aus denen vielleicht einige praktische Schlüssefolgerungen hervorgehen werden. Wir werden uns bemühen, mit möglichst wenig Fachausdrücken und Formeln auszukommen; die unvermeidlichen wollen wir zunächst kurz umschreiben und die hiefür üblichen Symbole vorstellen. Auf die nicht immer einfachen theoretischen Begründungen müssen wir verzichten und den interessierten Leser auf die Fachliteratur verweisen [14, 15, 16]. Bei den drei angeführten Werken handelt es sich um eine gut verständliche Einführung, ein handliches Nachschlagebuch, alle in deutscher Sprache.

Das bekannte *arithmetische Mittel* einer Reihe von n beobachteten Werten $x_1 x_2 x_3 \dots x_n$ bezeichnen wir mit \bar{x} , in der Formelsprache ausgedrückt

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum x$$

Ein Maß dafür, wie stark die einzelnen Beobachtungen von ihrem arithmetischen Mittel abweichen, ist die *mittlere quadratische Abweichung* oder *Streuung* (σ), die durch

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2]$$

oder kürzer geschrieben

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x - \bar{x})^2}$$

definiert ist.

Sind einer Reihe von Beobachtungswerten beidseitig ihres Mittelwertes keine engen Grenzen gesetzt (was für Jahresniederschlagsmengen angenommen werden darf) und verteilen sie sich mehr oder weniger symmetrisch um diesen Mittelwert nach den Regeln des Zufalls, so spricht man von einer *Normalverteilung*. Man kann nun in einer Normalverteilung bestimmte Grenzen festlegen. Wir können beispielweise fragen, wie weit man vom Mittelwert beidseitig abrücken darf, bis man einen Meßbereich abgrenzt, innerhalb welchem 50 % aller Beobachtungswerte liegen. Diese sogenannten *wahrscheinliche Abweichung* bezeichnen wir mit ω und es ist

$$\omega = 0,67449 \sigma$$

Der erwähnte Bereich geht also von $-\omega$ über \bar{x} zu $+\omega$, hat somit eine Breite von 2ω . Wir schließen nun auf beiden Seiten noch je einen weiteren Bereich von 2ω Breite an, der bis -3ω bzw. $+3\omega$ reicht; die Beobachtungen verteilen sich dann theoretisch wie folgt:

-3ω	$-\omega$	$+\omega$	$+3\omega$
2,15	22,85	50	22,85

Da wir stets 50 Jahre betrachten, müßten sich diese, wenn Normalverteilung vorliegt, auf die obigen Klassen wie folgt verteilen:

1,1	11,4	25,0	11,4	1,1
-----	------	------	------	-----

wobei Abweichungen von ± 3 Fällen in den drei mittleren oder ± 1 Fall in den beiden äußersten Klassen als irrelevant anzusehen sind. Wir werden dem normalen Sprachgebrauch keine Gewalt antun, wenn wir die in die obigen Klassen fallenden Jahre als

sehr trocken trocken normal naß sehr naß
bezeichnen. Nehmen wir als Beispiel das Mittelland (Sektoren 4 + 5). \bar{x} ist, wie in allen Gebieten, defini tionsgemäß 100 %, $\sigma = 15,75$, $\omega = 10,62$, $3\omega = 31,86$ %.

Wir bekommen so

sehr trocken	trocken	normal	naß	sehr naß
I \leqq 68	69—89	90—110	111—131	\geqq 132 %

Jahre

Das ist ein sehr schönes Beispiel einer Normalverteilung, weiteren mit zum Teil stärkeren Abweichungen von der Theorie werden wir im Zusammenhang mit der *Korrelationsrechnung* (Tabelle 3) begegnen, der wir uns jetzt zuwenden wollen.

Diese ist ein Prüfverfahren, das uns zu entscheiden erlaubt, ob zwischen zwei Beobachtungsreihen irgendwelche Beziehungen bestehen. Es beruht auf einem der Erfahrungssätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung, der folgendes aussagt: Bilden wir von zwei Zahlenreihen

*Korrelationstafeln. Vergleich beobachteter Verteilungen von 50 Niederschlagsjahren
mit theoretischen Verteilungen bei gegebenen Korrelationskoeffizienten*

Tabelle 3

Theoretische Verteilungen

 $r = 0$

Beobachtete Verteilungen

Tessin

		— 3 ω	— ω	ω	3 ω	↔x
3 ω	0.0	0.3	0.5	0.3	0.0	1.1
	0.3	2.6	5.7	2.6	0.3	11.5
	0.5	5.7	12.5	5.7	0.5	24.9
	0.3	2.6	5.7	2.6	0.3	11.5
	0.0	0.3	0.5	0.3	0.0	1.1
		1.1	11.5	24.9	11.5	1.1
		50.1				

 $r = 0.46$

		s. ns.	tr.	nml.	ns.	s. ns.	
Nordalpen	—	—	1	—	—	—	1
	—	2	5	5	—	—	12
	—	3	16	4	1	—	24
	1	4	7	1	—	—	13
	—	—	—	—	—	—	—
		1	9	29	10	1	50

 $r = 0.5$ $r = 0.51$

		—	0.0	0.3	0.6	0.2	
3 ω	0.0	0.9	5.3	4.6	0.6	11.4	
	0.3	5.3	13.8	5.3	0.3	25.0	
	0.6	4.6	5.3	0.9	0.0	11.4	
	0.2	0.6	0.3	0.0	—	1.1	
	1.1	11.4	25.0	11.4	1.1	50.0	
		1.1	11.4	25.0	11.4	1.1	50

Tessin

		s. ns.	tr.	nml.	ns.	s. ns.	
Wallis	—	—	1	—	—	—	1
	—	2	5	5	—	—	12
	—	2	16	4	1	—	23
	—	5	7	1	—	—	13
	1	—	—	—	—	—	1
		1	9	29	10	1	50

 $r = 0.85$ $r = 0.86$

		—	—	0.0	0.5	0.6	
3 ω	—	0.0	3.5	7.4	0.5	11.4	
	0.0	3.5	18.0	3.5	0.0	25.0	
	0.5	7.4	3.5	0.0	—	11.4	
	0.6	0.5	0.0	—	—	1.1	
	1.1	11.4	25.0	11.4	1.1	50.0	
		1.1	11.4	25.0	11.4	1.1	50

		s. ns.	tr.	nml.	ns.	s. ns.	
Nordalpen	—	—	—	—	—	1	1
	—	—	2	10	—	—	12
	—	5	17	2	—	—	24
	1	8	4	—	—	—	13
	—	—	—	—	—	—	—
		1	13	23	12	1	50

In den theoretischen Tafeln bedeutet 0,0, daß der theoretische Wert mindestens 0,01 beträgt. In der Tafel für $r = 0$ konnten die Abrundungsfehler nicht genügend ausgeglichen werden, weshalb in den Kolonnen- und Zeilensummen Fehler von $\pm 0,1$ auftreten.

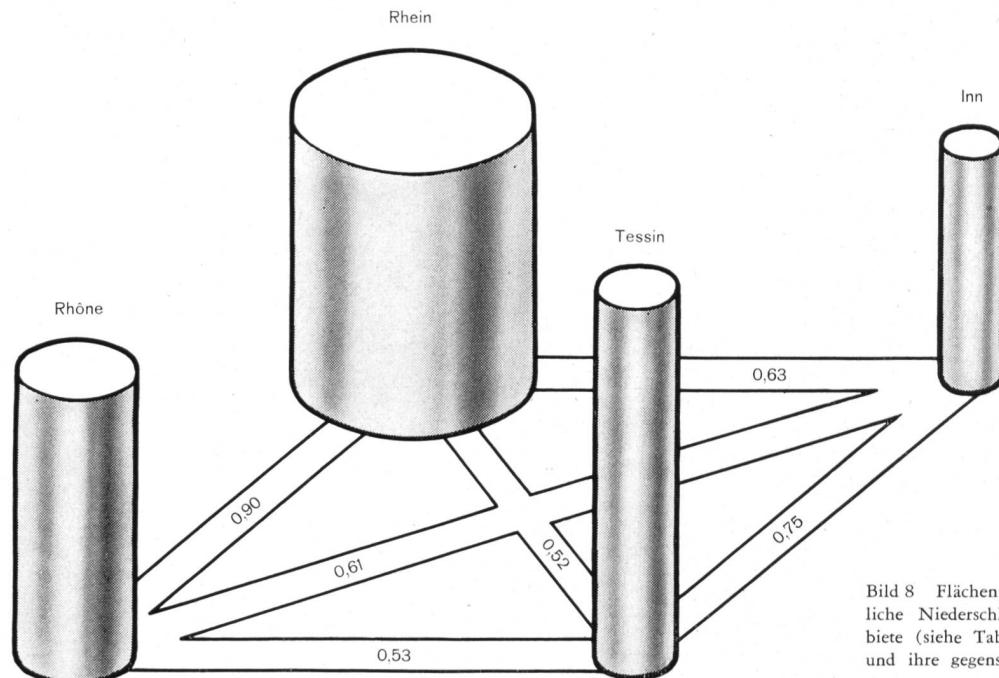


Bild 8 Flächeninhalte und mittlere durchschnittliche Niederschlagshöhen der vier Hauptflussegebiete (siehe Tabelle 2 kursiv gedruckte Zahlen) und ihre gegenseitigen Korrelationen.

$x_1 \ x_2 \ x_3 \dots x_n$ und $y_1 \ y_2 \ y_3 \dots y_n$, deren Einzelwerte ganz zufällig gewählt sind (z. B. durch Auswürfeln, Kartenziehen oder dergleichen), die Produkte $x_1y_1 \ x_2y_2 \ x_3y_3 \dots x_ny_n$, so ist der Durchschnitt aus diesen Produkten gleich dem Produkt der Durchschnitte aus allen x und allen y , also

$$\frac{1}{n} \sum xy = \bar{x}\bar{y} \text{ oder } \frac{1}{n} \sum xy - \bar{x}\bar{y} = 0$$

Besteht hingegen zwischen den einzelnen Werten der Reihen x und y eine feste lineare Beziehung von der Form

$$y = a + bx,$$

worin a und b beliebige Konstanten sind, so wird

$$\frac{1}{n} \sum xy - \bar{x}\bar{y} = \sigma_x \sigma_y$$

Der Quotient

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum xy - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}$$

wird also im ersten der geschilderten Fälle (x und y unabhängig) gleich 0, im zweiten (linearer funktioneller Zusammenhang zwischen x und y) gleich 1. Nun kann aber zwischen zwei Beobachtungsreihen auch ein weniger strammer Zusammenhang bestehen; in diesen Fällen nimmt der Quotient r je nach dem Grad der Verbundenheit einen größeren oder kleineren Wert zwischen 0 und 1 an. Er wird als *Korrelationskoeffizient* (Kk.) bezeichnet⁶. Wir können umgekehrt für zwei Beobachtungsreihen nach der letzten Formel den Kk. berechnen und aus seiner Größe auf eine mehr oder weniger starke Verbundenheit der Reihen schließen. Nähert er sich dem Wert 0 — bei $n = 50$ ist dies anzunehmen, wenn der Kk. 0,3 unterschreitet —, so kann man die beiden Rei-

hen als voneinander unabhängig ansehen. Auch Kk. um 0,5 zeugen noch keineswegs von naher Verwandtschaft (Bild 10, Diagramme rechts). Einen Kk. um 0,7 würde man etwa erhalten, wenn man sich die y -Werte aus zwei sich ebenbürtigen Komponenten zusammengesetzt denkt, von denen die eine unabhängig und die andere eine Funktion von x wäre. Kk. zwischen 0,8 und 0,9 beschreiben die bekannte Regel von der Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe in Gebirgsgegenden mit einheitlichem Regime, während die Temperaturabnahme mit der Höhe durch $r = 0,97$ als eine der stärksten Korrelationen, die in der Klimatologie vorkommen, gekennzeichnet ist. Dieser Streifzug möge dartun, daß es bei der Beurteilung von Zusammenhängen nicht so sehr auf den genauen Wert der Kk., sondern mehr auf ihre Größenordnung ankommt.

Es würde zu weit führen, hier alle von uns berechneten Kk. zwischen den Sektoren und deren Kombinationen aufzuführen. Sie bewegen sich zwischen 0,38 (Tessin-Nordalpen-West) und 0,95 (Jura-Mittelland). Wir beschränken uns im übrigen auf zwei Beispiele. In Bild 8 haben wir die durchschnittlichen Wassermengen der vier Flussegebiete in Form von Zylindern in Parallelprojektion so aufgezeichnet, daß die Grundflächen der Zylinder den Gebietsflächen und die Höhen den mittleren durchschnittlichen Niederschlagshöhen proportional sind. In die die Zylinder verbindenden Straßen sind die Kk. zwischen den Niederschlagsmengen der Gebiete eingetragen. Diese zeigen eindrücklich, daß das Niederschlagsregime des Rhônegebietes stark mit dem des Rheingebietes verwandt ist und nicht etwa eine Mittelstellung zwischen Nord- und Südseite der Alpen einnimmt. Seine Verbundenheit mit dem Tessingegebiet ist nicht größer als diejenige zwischen Rhein und Tessin. Das Inngebiet hingegen nimmt eine solche Zwischenstellung ein, wobei die Verwandtschaft mit dem Tessingegebiet etwas größer ist als mit den Gebieten der Alpen-nordseite.

⁶ Der Kk. kann auch negativ sein. Da wir diesem Fall hier nicht begegnen werden, gehen wir nicht näher darauf ein.

Für die Wasser- und Elektrizitätswirtschaft dürften diese Feststellungen von praktischer Bedeutung sein. Je kleiner der Kk. zwischen zwei Gebieten ist, desto eher besteht die Möglichkeit, daß gelegentlich Niederschlagsarmut in einem Gebiet von normalen oder gar hohen Niederschlägen im andern begleitet ist. Durch die Zusammenarbeit von Werken in solchen nichtverwandten Gebieten könnten somit — wenigstens zeitweise — Mangeljahre ausgeglichen werden. Da wir hier nur Jahresniederschläge behandeln, dürfen solche Überlegungen namentlich für die Gebiete interessant sein, in denen Speicherwerke errichtet werden können, also für die eigentlichen Gebirgsgegenden. Wir haben daher die alpinen Sektoren herausgegriffen, wobei wir 2 + 3 zu einem Gebiet vereinigten, und für diese die gegenseitigen Beziehungen untersucht. Das Ergebnis zeigt Bild 9. Die Sektoren sind durch fünf Kreise an den Ecken eines regelmäßigen Fünfecks markiert. In diese sind die mittleren Wassermengen in 10^9 m^3 und darunter die Streuungen in Prozenten eingetragen. In den kleinen Kreisen auf den Verbindungslienien stehen die jeweiligen Kk.

Aus diesen geht neuerdings die Sonderstellung des Tessiner Niederschlagsregimes hervor. Es überrascht, daß selbst zwischen dem Wallis und dem Bündner Rheingebiet, die geographisch völlig voneinander getrennt sind, eine engere Korrelation besteht als zwischen dem letzteren und dem Tessingebiet, die doch eine längere gemeinsame Grenze haben. Aufschlußreich ist auch ein Vergleich zwischen Nordalpen, Bündner Rheingebiet und Engadin. Nordalpen und Engadin sind mit dem Bündner Rheingebiet gleich und ziemlich stark korreliert ($r = 0,84$ bzw. $0,83$), während sie unter sich nur schwach ($r = 0,57$) verbunden sind. Daraus müssen wir schließen, daß für den rheinischen Teil Graubündens ein Niederschlags-

regime anzunehmen ist, das sowohl von der Alpenordneseite als auch von den Ostalpen her beeinflußt wird. Rein formal zeigt uns dieses Beispiel, daß man aus den Kk. zweier Reihen zu einer dritten keinen Schluß auf den Kk. zwischen den beiden ersten Reihen selbst ziehen kann.

Zwischen welchen Gebieten können wir nun nach Bild 9 eine Ausgleichsmöglichkeit wie oben erwähnt erwarten? Die niedrigsten Kk. haben wir zwischen Nordalpen und Tessin und zwischen Wallis und Tessin. Es folgen mit wenig höheren Kk. Nordalpen-Engadin und Wallis-Engadin. Da aber das Engadin einen durchschnittlichen Wasseranfall hat, der weit hinter dem der beiden andern Gebiete zurücksteht, bleiben die Kompressionsmöglichkeiten hier gering. In dieser Beziehung ließe sich zwischen Tessin und Graubünden (Rheingebiet) trotz höherem Kk. ein günstigeres Resultat vermuten.

Endgültigen Aufschluß kann man von den Kk. nicht erwarten. Sie sollen uns nur Hinweise auf mögliche Zusammenhänge geben und uns veranlassen, an den richtigen Orten nach solchen zu suchen. Wir wollen uns daher das Trio Nordalpen-Wallis-Tessin noch etwas näher ansehen und uns mit diesem Beispiel vor Augen führen lassen, welche Realitäten hinter höheren und niedrigeren Kk. stehen. Wir greifen dafür auf ein Anschauungsmittel, das der Statistiker als *Korrelationsdiagramm* bezeichnet. Bild 10 ist aus drei solchen Diagrammen zusammengesetzt, deren Aufbau wir anhand des rechten oberen erklären wollen.

Grundlage ist ein rechtwinkliges Koordinatensystem mit den Niederschlagsindizes des Tessins als Abszissen und denen der Nordalpen als Ordinaten. Die Werte sind am oberen bzw. rechten Rand angeschrieben. Jedes einzelne Jahr ist nach seinen I-Werten in den beiden Gebieten im Diagramm durch einen Punkt markiert. Aus allen 50 Jahren zusammen entsteht damit eine Art Punktwolke, die wir irgendwie ordnen müssen. Man kann das auf verschiedene Weise tun. Wir wählen das bereits vorgestellte System der wahrscheinlichen Abweichungen (ω -System) und ziehen durch das Diagramm die Ordinaten und Abszissen, die den Abweichungen von $\pm\omega$ und $\pm 3\omega$ vom Mittelwert (100 %) entsprechen, als gestrichelte Linien. Dadurch wird das ganze Diagramm in 25 Felder aufgeteilt, und jedes dieser Felder charakterisiert die Niederschlagsjahre der in ihm liegenden Punkte nach beiden Gebieten. Die in das Mittelfeld fallenden Jahre waren beidseitig normal, darüber folgen die Jahre, die im Tessin ebenfalls normal, auf der Alpenordneseite jedoch naß waren. Schräg links über dem Mittelfeld finden wir zwei Jahre, die im Tessin als trocken und in den Nordalpen als naß anzusprechen sind usw. Jahre, die in beiden Gebieten gleichartig ausfielen, liegen in den Feldern längs der Diagonale, die man sich von links unten nach rechts oben durch die Schnittpunkte der gleichnamigen Abszissen und Ordinaten des ω -Systems gelegt denken kann. Je weiter die Punkte von der Diagonale entfernt liegen, desto unterschiedlicher ist der Jahrescharakter in den zu vergleichenden Gebieten. Zwei zu dieser gedachten Linie parallele Diagonalen, die gerade das Mittelfeld einschließen, haben wir gezeichnet. Punkte, die außerhalb dieser Parallelen liegen, weisen auf Jahre hin, in denen der Unterschied im Niederschlagscharakter zwischen Tessin und Nordalpen als wesentlich betrachtet werden kann.

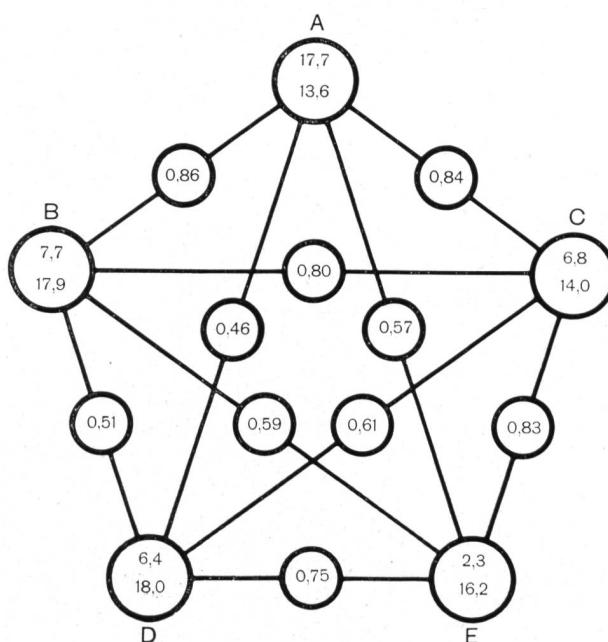


Bild 9 Mittlere Niederschlags-Wassermengen der alpinen Sektoren in 10^9 m^3 und ihre Streuung in Prozenten (große Kreise). Korrelationskoeffizienten zwischen den Sektoren (kleine Kreise).
A Nordalpen B Wallis C Graubünden (Rheingebiet) D Tessin
E Engadin

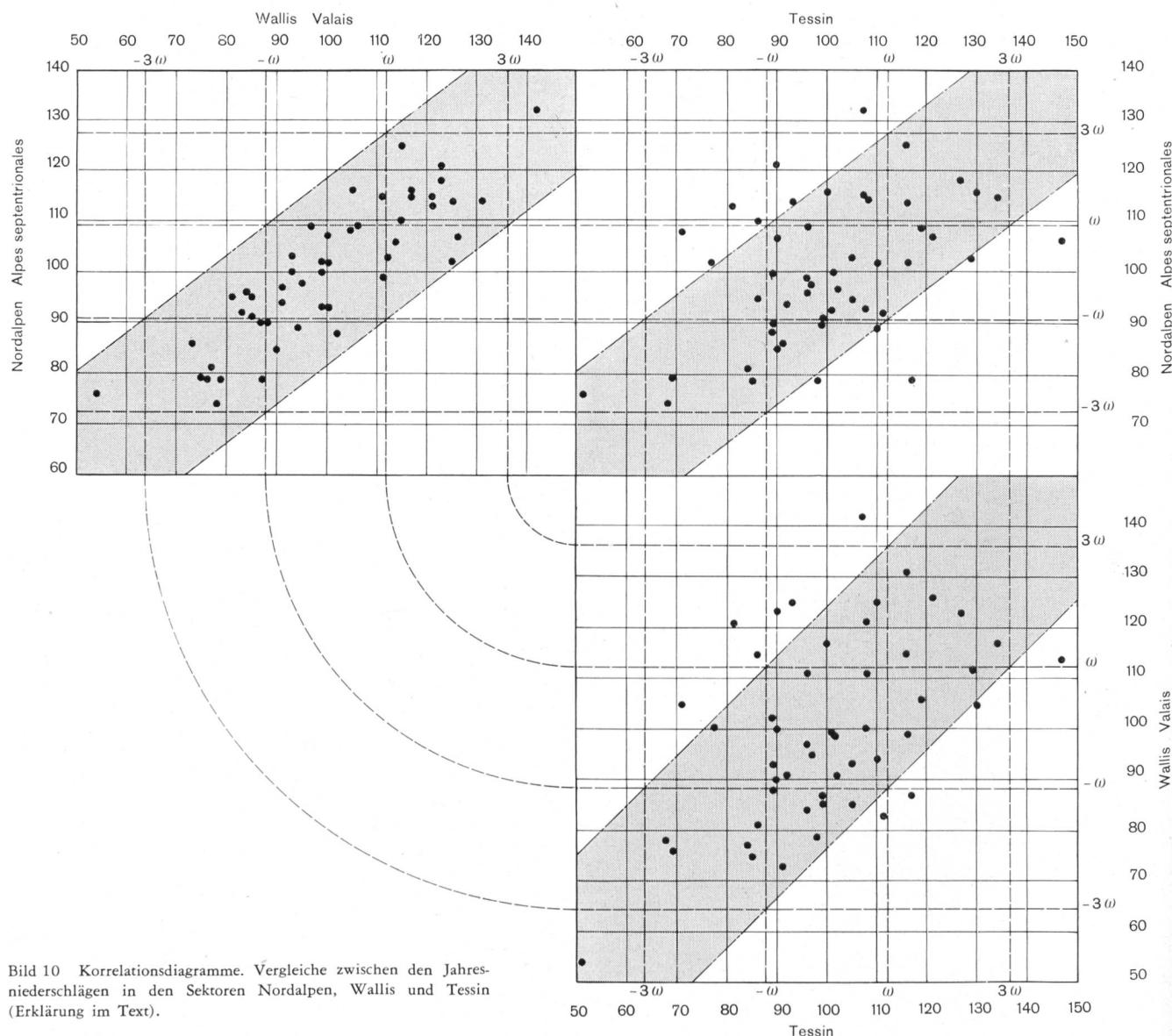


Bild 10 Korrelationsdiagramme. Vergleiche zwischen den Jahresniederschlägen in den Sektoren Nordalpen, Wallis und Tessin (Erklärung im Text).

Die beiden andern Diagramme (unten Tessin-Wallis, links Wallis-Nordalpen) sind genau gleich aufgebaut. Die Anordnung ist so, daß man die drei Teile als Grund-, Auf- und Seitenriß einer dreidimensionalen Punktwolke auffassen kann, in der jeder Punkt nach den Indices der drei Gebiete im Raum festgelegt ist. Dies nur nebenbei.

Vergleichen wir die drei Diagramme untereinander, so fällt sofort auf, daß im Bild links die Punkte viel näher zusammengerückt sind als in den beiden rechten. Die Konzentration erfolgt ausschließlich quer zu den Diagonalen. Kein Punkt im Diagramm Wallis-Nordalpen liegt außerhalb der diagonalen Parallelen, während wir bei Tessin-Nordalpen 12 und bei Tessin-Wallis 10 solche Punkte zählen.

Die Zahl der Jahre, die in die einzelnen Felder der Diagramme fallen, haben wir in den *Korrelationstafeln* der Tabelle 3 zusammengefaßt. Ihre Kolonnen- und Zeilensummen zeigen die Aufteilung der Jahre in den einzelnen Gebieten nach ω -Klassen, auf die wir bereits früher hingewiesen haben.

Neben den Tafeln für die beobachteten Verteilungen haben wir noch solche mit den theoretischen Verteilungen für die Kk. 0, 0,5 und 0,85 aufgeführt; mit den beiden letzteren können wir unsere beobachteten Verteilungen ohne weiteres vergleichen, da die Abweichungen ihrer Kk. von den gerundeten Werten ohne weiteres vernachlässigt werden dürfen. Selbstverständlich kann man nicht erwarten, daß beobachtete und theoretische Verteilungen genau übereinstimmen, die Angleichungen von Tessin-Nordalpen und Tessin-Wallis an die theoretische Tafel für $r = 0,5$ und von Wallis-Nordalpen an die Tafel für $r = 0,85$ sind doch recht weitgehend. Nehmen wir etwa die Summen auf den mittleren Diagonalen von links unten nach rechts oben, die wir angenähert als die Zahl der in den verglichenen Gebieten gleichartigen Jahre ansehen dürfen, so finden wir

	Tessin-Nordalpen	Tessin-Wallis	Wallis-Nordalpen
beobachtet	25	27	36
theoretisch	23,4	23,4	34,0

Bibliographie

- [1] R. Billwiller: Temperatur und Niederschlag im schweizerischen Alpengebiet während des letzten Gletscherhochstandes und einige Rückschlüsse auf die eiszeitlichen Verhältnisse. Annalen MZA 1930, Anhang Nr. 6, 7 Seiten.
- [2] W. Kuhn: Zusammenhang zwischen Firnzuwachs, Sommer-temperatur und Niederschlag nach Messungen auf dem Clariden- und Silvrettageletscher. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft; Davos 1950, S. 145—146, ferner: Statistische Ergebnisse von Firnzuwachsmessungen. Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Lugano 1953, S. 71—73.
- [3] M. Bider, M. Schüepp und H. von Rudloff: Die Reduktion der 200jährigen Basler Temperaturreihe, Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Band 9, S. 360—412.
- [4] H. Huber-Rupli: Eine Klettgauer Chronik. Schaffhauser Nachrichten, August 1957.
- [5] Donald G. Baker: Temperature Trends in Minnesota. Bulletin of the American Met. Soc. Vol. 41, Nr. 1, Jan. 1960, p 18—27.
- [6] R. Scherhag: Die Erwärmung des Polargebietes. Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie 1939, Heft II, S. 57—67.
- [7] M. Roulleau: Variations récentes du climat. La Météorologie, Janv./Mars 1958, p. 1—14.
- [8] F. Baur: Physikalisch-statistische Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsvorhersagen, Bd. 1, S. 97—139.
- [9] J. Häfelin: Atombombe, Wetter, künstlicher Regen. Schweiz. Hochschulzeitung 1953, Nr. 5, S. 256—262.
- [10] H. Flohn: Bemerkungen zum Problem der globalen Klimaschwankungen. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Band 9, 1959, S. 1—13.
- [11] H. Uttinger: Die Niederschlagsmengen in der Schweiz 1901 bis 1940. Mit Niederschlagskarte 1:500 000. SA. aus «Führer durch die schweizerische Wasser- und Elektrizitätswirtschaft», III. Ausgabe, Zürich 1949.
- [12] Eidg. Abteilung für Wasserwirtschaft (Ltg. Dr. L. W. Collet): Die Wasserkräfte der Schweiz, I. Teil: Die Wasserverhältnisse, A. Die Flächeninhalte der Einzugsgebiete. Bern 1916.
- [13] M. Schüepp: Der Temperaturverlauf in der Schweiz seit dem Beginn der meteorologischen Beobachtungen. Annalen MZA 1957, Anhang Nr. 11, 11 Seiten.
- [14] E. Czuber: Die statistischen Forschungsmethoden, dritte Auflage, herausgegeben von F. Burkhardt. Wien 1938.
- [15] H. L. Rietz: Handbuch der mathematischen Statistik. Deutsche Ausgabe von F. Baur. Leipzig und Berlin 1930.
- [16] R. v. Mises: Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung in der Statistik und theoretischen Physik. Leipzig und Wien 1931 (Nachdruck New York 1945).

Die Abflußverhältnisse in der Schweiz während der Jahre 1910 bis 1959

Dipl. ing. Emil Walser,

Chef der Unterabteilung Landeshydrographie im Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern¹

DK 551.48

Ansätze, die Abflußmengen der fließenden Gewässer zu messen, reichen in der Schweiz bis ins 18. Jahrhundert zurück. Wie in Nr. 6, 1959, dieser Zeitschrift mitgeteilt werden konnte, sind im Jahre 1821 die Abflußmengen des Rheins bei Basel für die 12 vorausgegangenen Jahre bestimmt worden und zwar auf Grund von Flußprofilaufnahmen und Schwimmermessungen aus den Jahren 1793 und 1819. Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts setzten dann zunächst sporadische, später systematische Messungen an einem anfänglich noch weitmaschigen Netz von Stationen, das indessen schon das ganze Land umfaßte, ein. So kommt es, daß die Schweiz neben Österreich wohl eines der Länder mit längster Tradition auf hydrometrischem Gebiete ist.

Wenn uns nun die Aufgabe gestellt ist, die Abflußverhältnisse der letzten 50 Jahre zu schildern, so können wir dies auf Grund eines verhältnismäßig reichhaltigen und im ganzen zuverlässigen Materials tun. Von den 166 Abflußmeßstationen, die im Jahre 1959 gepflegt wurden, weisen deren 31 Beobachtungsreihen auf, die bis ins Jahr 1910 oder noch weiter zurückreichen; an 19 weiteren Stationen wurde mit den Abflußmessungen in der Zeit von 1911 bis 1920 begonnen. In die betrachteten 50 Jahre fallen außerdem Beobachtungen an 175 nur vorübergehend gepflegten Stationen, welche eine Dauer von einigen Monaten bis zu mehreren Jahrzehnten aufweisen. Die auf kurze Zeit beschränkten Erhebungen dienten meist speziellen Zwecken und wurden deshalb, nachdem ihre unmittelbare Bestimmung erfüllt war, wieder eingestellt. Die Genauigkeit der Erhebungen hat im Laufe der Zeit zugenommen, wie ja auch die Auffassungen, Anforderungen und Möglichkeiten sich

mit der Entwicklung der Technik gewandelt haben. Die älteren Angaben weisen naturgemäß, besonders was die kurzfristigen Vorgänge betrifft, nicht dieselbe Präzision auf wie die neueren. Im ganzen aber bietet das vorliegende Material eine reiche Fülle von detaillierten Angaben und man muß, um nicht vor lauter Einzelheiten am Wesentlichen vorbeizugehen, sich überlegen, von welchen Gesichtspunkten aus dasselbe zu beleuchten und zu betrachten ist.

Die Rolle des Wassers als lebensnotwendiges Element ist bekannt; sie wird durch die Inangriffnahme großzügiger Bewässerungsanlagen in ariden Zonen der Erde, aber auch durch die angespannte wasserwirtschaftliche Situation in industrialisierten Gegenden Mitteleuropas, in stark zunehmendem Maße ins Bewußtsein gerufen. Aber noch in anderer Weise wirkt das Wasser auf die Erde in «belebendem» Sinn. Die Reichhaltigkeit seines Auftretens ist in den verschiedenen Gegenden sehr unterschiedlich; die zeitliche Verteilung des Wasserdargebots ist an den meisten Stellen sehr ungleichmäßig. Es wäre reizvoll, den Auswirkungen dieser Umstände auf das wirtschaftliche Leben nachzugehen und dieselben in globalem Ausmaß zu schildern. Es würde sich dann herausstellen, welch großer Teil der menschlichen Tätigkeit durch die genannten Umstände und durch die Notwendigkeit, deren Folgen mittels technischer Leistungen und wirtschaftlichen Warenaustauschs auszugleichen, bedingt ist. Für uns ist im vorliegenden Rahmen die Feststellung wichtig, daß die örtlichen und zeitlichen Variationen ein wesentliches Charakteristikum der Abflußverhältnisse darstellen.

Das Anschwellen der Gewässer nach starken Niederschlägen rief wohl immer bei den Anwohnern die nachhaltigsten Eindrücke hervor. Die regelmäßig dem Gang der Jahreszeiten folgenden Wechsel zwischen imposanter, bettfüllender Flut und spärlichem Niederwasser trugen

¹ An der Bearbeitung dieses Aufsatzes wirkte mit großer Initiative mit: Alfred Weber, früher techn. Sekretär der Landeshydrographie. Die graphische Gestaltung der Abbildungen übernahm Anton Mathis, Techniker in Bern.