Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 158 (1978)

Artikel: Die Rekonstruktion des Klima- und Witterungsverlaufes der letzten Jahrhunderte mit Hilfe verschiedener Datentypen

Autor: Pfister, Christian / Messerli, Bruno / Messerli, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90743

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: 12.07.2025

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

Die Rekonstruktion des Klima- und Witterungsverlaufes der letzten Jahrhunderte mit Hilfe verschiedener Datentypen

Christian Pfister, Bruno Messerli, Paul Messerli, Heinz Zumbühl

Zusammenfassung

Allgemein und anhand konkreter Beispiele wird gezeigt, wie Daten aus historischen Quellen für die Rekonstruktion des Klimaverlaufs der letzten Jahrhunderte verwendet werden können.
Einleitend wird eine Taxonomie zur Klassifikation der über 27 000 Records aufgestellt, die für den Zeitraum 1525–1825 gesammelt werden konnten. Probleme der Quellenkritik und die Umsetzung des Materials in thermische und hygrische Indices werden diskutiert.
Als Beispiele von dokumentarischen Datentypen werden die 210jährige Temperaturreihe von Basel, eine Säkularreihe der Schneedauer in Zürich, eine Hoch- und Niedrigwasserstatistik für das schweizerische Mittelland sowie die Zungenlängenänderungen der beiden Grindelwaldgletscher (1600–1978) vorgestellt.
In der Synthese wird die Klimaschwankung von 1812–17 mit derjenigen in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts verglichen und dabei die Aussagekraft der verwendeten Datentypen demonstriert.

Résumé

Une reconstruction des variations climatiques est tentée sur la base d'un matériel provenant de documents historiques pour les siècles les plus récents.
D'abord une classification est faite des quelques 27 000 unités d'information collectionnées pour la période 1525 à 1825. Ensuite les problèmes sont discutés se rapportant à la critique des sources et à la création d'indices thermiques et hygriques.
Pour illustrer les qualités de différents types de données quatre exemples sont présentés: la série thermométrique de Bâle (1755–1965), une série séculaire de la durée d'enneigement à Zurich, une statistique des crues et des eaux basses sur le Plateau et une courbe des fluctuations des deux glaciers de Grindelwald (1600–1978).
La synthèse comprend une analyse de la variation climatique de 1812–17 qui est comparée à celle qui s'est produite dans la deuxième moitié du 16e siècle. Pour terminer la valeur des différents types de données employées est mis en relief.

Einleitung und Problemstellung

Das Klima ist das wichtigste Element unserer Umwelt. Die Rekonstruktion des Klima- und Witterungsverlaufes der letzten Jahrhunderte als Schlüssel zum besseren Verständnis der Gegenwart und möglicherweise auch der Zukunft stellt uns vor zwei grosse fachliche und methodische Problemkreise.
Zum ersten genügen die relativ kurzen Messreihen der Instrumentenzeit kaum, um die Klimaveränderungen und Klimaschwankungen der letzten Jahrhunderte zu erkennen und zu verstehen. Wir brauchen eine Verlängerung durch dokumentarische Daten um 500–1000 Jahre, so dass wir vor dem Problem stehen, Messungen mit historischen Beobachtungen zu korrelieren.
Zum zweiten müssen wir versuchen, Felddaten für weiter zurückliegende Ereignisse klimatologisch zu kalibrieren und zu interpretieren. Damit stehen wir vor dem Problem, verschiedenste Datentypen, die kaum vergleichbar sind, miteinander in Beziehung setzen zu müssen. Da aber nur eine umfassende Benützung aller vorhandenen Datentypen zu einer brauchbaren Rekonstruktion des Klima- und Witterungsverlaufes führt, müssen wir lernen, diese methodischen Schwierigkeiten zu bewältigen.
Von diesen Fragestellungen her besprechen

wir in den Kapiteln 2 und 3 definitorische und grundsätzliche Probleme, beschreiben in Kapitel 4 einige Beispiele verschiedener Datentypen und versuchen anschliessend in Kapitel 5 eine Synthese aus zwei Zeitabschnitten maximaler Gletschervorstösse des «Little Ice Age».
Dabei handelt es sich um eine knappe und grundsätzliche Gesamtschau und Wertung verschiedenster Datentypen. Ausführlichere Darstellungen zu den einzelnen Kapiteln sind umfassenderen Publikationen vorbehalten (Pfister in Vorbereitung, Zumbühl 1980, vgl. ferner Messerli et al. 1976 und 1978).

Eine Taxonomie klimageschichtlicher Daten

Zeitliche Abgrenzung von modernen und klimageschichtlichen Daten

Als geeigneter Zeitpunkt zur Abgrenzung von modernen und klimageschichtlichen Daten bietet sich die Einführung der staatlichen Messnetze an. Vorher waren die meteorologischen Beobachtungen durch vereinzelte Wissenschafter und Liebhaber nach individuellen Kriterien und mit verschiedenen Instrumenten durchgeführt worden. Manche dieser frühen Beobachtungen sind nicht publiziert oder homogenisiert worden. Die Originalmanuskripte befinden sich meist im Besitze von Bibliotheken oder Archiven.
Seit der Gründung der Meteorologischen Zentralanstalt 1864 sind in der Schweiz Messinstrumente und -instruktionen vereinheitlicht worden. Seitdem werden die Daten von einer Zentrale gesammelt, geprüft, ausgewertet, publiziert und archiviert. Ausserdem umfasst das Messnetz alle Landesteile.
Während der Fachmeteorologe zu den modernen Daten leicht Zugang findet und ihnen Vertrauen schenken kann, kennt er die klimageschichtlichen Daten kaum und steht ihnen skeptisch gegenüber. Es gehört zu den wichtigsten Aufgaben des Klimahistorikers, sein Datenmaterial in einer verständlichen und vergleichbaren Form zu publizieren und dessen Wert für die Rekonstruktion der Klima- und Witterungsverhältnisse der früh- und vorinstrumentellen Periode überzeugend darzulegen.
Alle klimageschichtlichen Daten können nach zwei Gesichtspunkten klassifiziert werden: ihrem Fundort und ihrem Bezug zu Wetter und Klima.

Klassifikation der klimageschichtlichen Daten nach Fundort

Als dokumentarische Daten könnte man all jene schriftlichen und bildlichen Quellen bezeichnen, die irgendwelche Schlüsse auf Witterung und Klima vergangener Jahrhunderte erlauben und in Archiven, Bibliotheken und Museen aufbewahrt werden. Dokumentarische Daten stammen von Menschen, welche selbst Zeuge vergangener Klimaschwankungen und -veränderungen gewesen sind.
Der Begriff der Felddaten umfasst jene grosse Vielfalt von Spuren vergangener Klimate, die in verschiedenen Elementen der Natur gespeichert sind, wie z. B. in Moränen, Pollenprofilen, Baumringen. Auch die Isotopenverhältnisse gehören dazu.

Klassifikation der klimageschichtlichen Daten nach Bezug zu Wetter und Klima

Hier können wir direkte und indirekte Zeugen unterscheiden. Zur ersten Gruppe gehören unmittelbare Aussagen über Witterungsvorgänge oder einzelne Klimaelemente, also Beschreibungen des Wetters in Chroniken, alten Kalendern und Tagebüchern, ferner alle Messungen, die sich auf atmosphärische Vorgänge beziehen.
Bei den indirekten Zeugen, die häufig auch als Proxy-Daten bezeichnet werden, muss der Bezug zur Witterung vom Forscher hergestellt werden. Da die meisten Proxy-Daten der Gruppe der Felddaten entstammen, werden die beiden Begriffe in der Literatur oft synonym verwendet. Eine genauere Betrachtung zeigt jedoch, dass Proxy-Daten auch in historischen Dokumenten vorkommen. Beispielsweise gehören dazu Berichte von Gletscherschwankungen und von phänologischen Beobachtungen, Angaben über das Datum des Weinlesebeginns und den Zeitpunkt der Getreide-Zehntsteigerung (paraphänologische Beobachtungen), ferner Bemerkungen über die Qualität der Weine und Statistiken der Erträge von Rebgütern.

Durch die Kombination der beiden Klassifikationen erhalten wir die folgenden drei klimageschichtlichen Datentypen:

KLIMAGESCHICHTE

Die Bedeutung verschiedener Datentypen und ihre Synthese.

PROXY DATEN
INDIREKTE KLIMAZEUGEN

FELDDATEN

10	Radiodendrochronologie	T/N
40 - 2	Isotopenverhältnis in Eisbohrkernen $^{16}O/^{18}O$	T
10 - 40	Höhen- und Breitenlage der Waldgrenze	T/N
2	Moränen, Gletscherstände	T/N
	Pollenanalyse, fossile Böden	T/N

HISTOR. DOKUMENTE

16. Jh.	Abbildungen von Gletschern	T/N
15. Jh.	Phänologische Beobachtungen Paraphänolog. Daten (Weinlese)	T/N
15./16. Jh.	Zehnterträge von Wein und Getreide	T/N S

GROBINFORMATION ÜBER KLIMASCHWANKUNGEN

KALIBRIERUNG UND FEININTERPRETATION DER PROXY-DATEN

INTERPRETATION

KALIBRIERUNG

BEOBACHTUNGEN / MESSUNGEN
DIREKTE KLIMAZEUGEN

HISTOR. DATEN

T/N S	Chroniken, Annalen	10. Jh.
T/N S/W	Witterungstagebücher Schiffstagebücher	14. Jh.

INSTRUMENTELLE MESSDATEN

Temperatur, Luftdruck, Niederschlag, SONNENSCHEINDAUER — Ende 17. Jh.

STANDARDISIERTE NETZBEOBACHTUNGEN

Vereisung von Seen
Pegelstände
Entwicklung von Kulturpflanzen
Schneefall, -bedeckung — 18./19. Jh.

APPROXIMATIVE AUFLÖSUNGSGENAUIGKEIT DER KLIMAAUSSAGE:

- ≥ 100 Jahre
- 10 Jahre
- 1 Jahr
- 1 Monat
- 1 Tag
- < 1 Tag
- 10 - 100 Jahre

ERFASSTER ZEITRAUM:

100 50 10 Jahrtausende

12 14 16 18 Jh. älteste Aufzeichnungen/Messungen

Je länger der erfasste Zeitraum, desto kleiner die Auflösungsgenauigkeit.
Je grösser die Auflösungsgenauigkeit, desto kürzer der interpretierbare Zeitraum.

BETEILIGTE ELEMENTE:

N NIEDERSCHLAG
S SCHNEE
T TEMPERATUR
W WIND

PROBLEME DER VERSCHIEDENEN DATENTYPEN

Felddaten (indirekte Klimazeugen)	Hist. Dokumente + Daten (dir. + indir. Klimazeugen)	instrumentelle Messdaten (direkte Klimazeugen)
· relativ geringe zeitliche Auflösung · Reaktion auf mehrere Witterungselemente (z.B. Temperatur und Niederschlag) · unpräzise Datierung (verschieden je nach Methode)	· Beobachtungslücken · nur letzte 5 - 8 Jahrhunderte aussagekräftig · Subjektivität der Beobachtungen	· nur letzte 2 - 3 Jahrhunderte erfasst · geringe Stationsdichte (vor Mitte 19. Jh.) · Inhomogenität der Messreihen

ERST DURCH EINE ZUSAMMENSCHAU (SYNTHESE) UND GEGENSEITIGE KONTROLLE VIELER DATENTYPEN WIRD ES MOEGLICH, EIN WIRKLICHKEITSGETREUES, WEIT ZURUECKREICHENDES UND DETAILLIERTES BILD DES VERGANGENEN KLIMAS ZU ENTWERFEN.

DIE KENNTNIS DES KLIMAVERLAUFS IN DER VERGANGENHEIT HILFT UNS, ZUSAMMENHAENGE IM HINBLICK AUF EINE KLIMAPROGNOSE ZU ERKENNEN, UND DEN EINFLUSS MENSCHLICHER AKTIVITAETEN AUF DAS KLIMA REALISTISCHER ZU BEURTEILEN.

© Geographisches Institut Universität Bern

Abb. 1. Die Bedeutung verschiedener Datentypen zur Rekonstruktion des Klima- und Witterungsverlaufes.

Tab. 1. Eine Taxonomie klimageschichtlicher Daten

nach Fundort nach Bezug zu Wetter und Klima	Felddaten	Dokumentarische Daten
direkte Daten		Chroniken Witterungs-tagebücher Messungen
indirekte Daten (Proxy-Daten)	Pollen Moränen Isotopen ($0^{18}/0^{16}$) Baumringe etc.	phänologische Beobachtungen paraphänologische Beobachtungen Weinerträge und -qualitäten Bild- und Schrift-quellen etc.

Methodische Probleme bei der Auswahl, Verarbeitung und Auswertung dokumentarischer Daten

Grundsätzliches zur Verwendung dokumentarischer Daten

Die erste wissenschaftlich motivierte Zusammenstellung historischer Witterungsbeobachtungen verdanken wir dem Zürcher Johann Jakob Scheuchzer. Umfangreichere Kompilationen dieser Art sind im späten 19. Jahrhundert entstanden (Brügger 1882/88, Amberg 1890/97). Beobachtungsmaterial aus ganz Europa haben Hennig (1904), Easton (1928) und Weikinn (1958/63) zusammengetragen.
Die meisten dieser Autoren waren darauf bedacht, ihre Quellentexte möglichst unverändert wiederzugeben, sie «für sich sprechen zu lassen». Lückenhaftes und inhomogenes Material kann am besten über einen numerischen Index in eine interpretierbare Form gebracht werden. Brooks (1926), Easton (1928) und später Lamb (1965) haben saisonale Indices für Winterstrenge und Sommerfeuchtigkeit entwickelt. Die Dichte und Vielfalt des schweizerischen Materials ermöglicht Bestimmung der Witterung für Monatswerte (Pfister 1980).
Die Interpretation und Verwendung dokumentarischer Daten ist nicht unproblematisch. Drei Grundsätze gilt es zu berücksichtigen, wenn man nicht Gefahr laufen will, zu Fehlschlüssen zu kommen.

Notwendigkeit der Quellenkritik
Viele der in alten Dokumenten erwähnten Witterungsereignisse sind vom Chronisten stillschweigend aus anderen Quellen übernommen worden. Damit können sich mancherlei Fehler einschleichen. Deshalb sind nur diejenigen Witterungsereignisse als gesichert zu betrachten, von welchen wir annehmen können, dass sie vom Verfasser des Dokumentes selber beobachtet worden sind.

Datierung
In den katholischen Orten wurde von 1584 an der gregorianische Kalender verwendet, während der alte julianische Kalender in den reformierten Orten weiterhin bis zum Jahresanfang 1701 in Geltung blieb. Allerdings gibt es zahlreiche Ausnahmen von dieser Regel. So führten beispielsweise evangelisch Glarus und Appenzell Ausserrhoden den neuen Kalender erst 1798 ein, in Graubünden erfolgte die Einführung gemeindeweise gestaffelt im 18. und frühen 19. Jahrhundert. Datierungsfehler fallen namentlich bei den phänologischen Beobachtungen stark ins Gewicht. Bei der unterschiedlichen Charakterisierung desselben Monats durch reformierte und katholische Beobachter sind sie ebenfalls zu berücksichtigen.

Entwicklung objektiver Gewichtungskriterien für die Beurteilung der einzelnen Monate
Wenn wir einen ungewichteten Index konstruieren wollen, können wir einfach die Angaben des Beobachters übernehmen, gleichgültig, ob dieser für einen Monat nur «Regen» meldet, oder ob wir aus einem Witterungstagebuch wissen, dass an 28 von 31 Tagen Niederschläge gefallen sind. Wenn dagegen ein gewichteter Index konstruiert werden soll, müssen objektive Kriterien für die Gewichtung gefunden werden. Wir dürfen keinesfalls die vom Beobachter verwendeten Akzentuierungen wie «bitter kalt» oder «grausam heiss» unbesehen zum Massstab für die Gewichtung nehmen. In den meisten historischen Quellen finden sich auch Beobachtungen von «objektiven» thermischen Indikatoren, deren Aussagekraft in den durch Messungen belegten letzten zwei Jahrhunderten geeicht werden kann.
Dazu gehören namentlich: Schneefall und Dauer der Schneebedeckung (Flohn 1949, Pfister 1978 a), Sommerschneefälle im Ge-

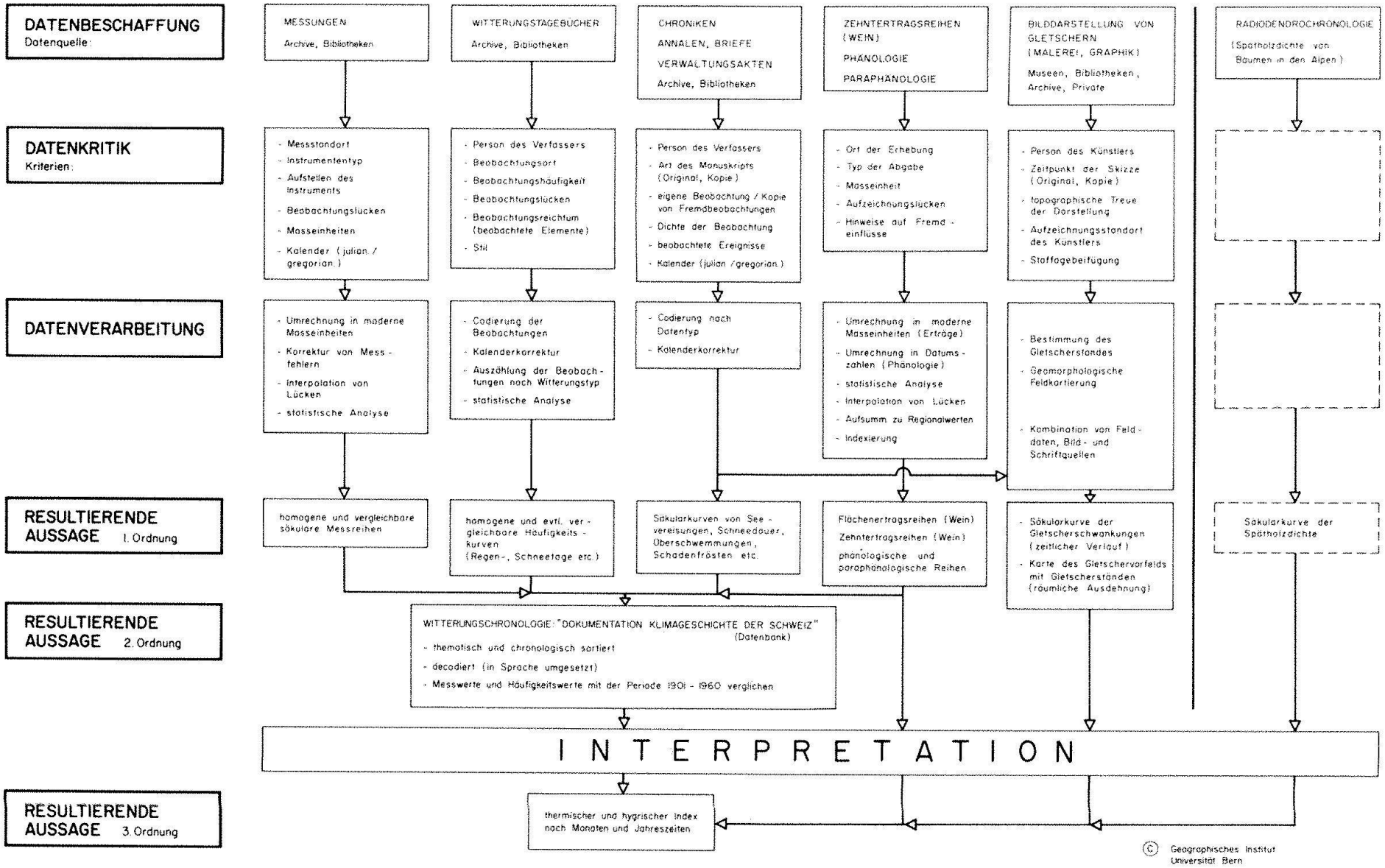


Abb. 2. Die Verarbeitung dokumentarischer Datentypen, eine Übersicht.

birge, Blüte-, Reife- und Erntezeit von Kulturpflanzen, Vereisung von Seen, Wasserstände von Flüssen und Seen, Qualität der Weine.
Wenn die Beobachter ihre «subjektiven» Akzente richtig gesetzt haben, dann sollten diese mit solchen «objektiven» Erscheinungen übereinstimmen.
Wenn beispielsweise ein Beobachter meldet, die Reben hätten Ende Mai zu blühen begonnen und beigefügt, dieser Monat sei heiss und trocken gewesen, dann stimmt dies mit dem Ergebnis der Analyse von modernem phänologischem Datenmaterial überein (Pfister in Vorbereitung). Gleicherweise deutet eine ununterbrochene Schneebedeckung im tieferen Mittelland (400–500 m) während des Monats März auf stark unterdurchschnittliche Temperaturen hin, und wir können den Monat als «sehr kalt» einstufen, selbst wenn keine entsprechende Bemerkung des Beobachters vorliegt.
Die Aussagekraft dieser Indices hängt natürlich stark von Qualität und Dichte des verwendeten Beobachtungsmaterials ab. Die schweizerischen Archive haben sich diesbezüglich als überaus reichhaltig erwiesen. Zwischen 1550 und 1650 ist die Zahl der Monate ohne Beobachtungen sehr gering, von da an ist das Dossier praktisch lückenlos. Bei einer solchen Fülle von Daten wird die Klimageschichte zu einem faszinierenden Puzzle, einem Vergleichen und Bewerten von vielfältigen, räumlich oft weit auseinanderliegenden Datenquellen und Beobachtungen, die sich in ihrer Aussage und zeitlichen Abfolge im Jahresverlauf ergänzen. Um den Witterungsverlauf eines Jahres zu beschreiben, müssen beispielsweise Beobachtungen über die Vereisung des Neuenburgersees, der Schneedauer im Klosterhof von St. Gallen, der Kirschblüten im Bündner Rheintal bis hin zur Roggenernte in Winterthur, der Rotfärbung der Burgundertrauben in den Rebbergen von Hallau, der Weinqualität am Zürichsee und der Dauer der Herbstweide auf den Klostergütern von Einsiedeln herangezogen werden.

Die Datenbank «Dokumentation Klimageschichte der Schweiz 1525–1825»

Der Einsatz des Computers, von Anfang an eingeplant, rechtfertigte sich von der Datenmenge her: Aus den drei Jahrhunderten von 1525–1825 wurden mehr als 27000 Records («Angaben») zusammengetragen und in der Datenbank gespeichert. Bis zum Beginn der regelmässigen Temperaturmessungen (1755) wurden alle gesicherten Berichte zeitgenössischer Beobachter erfasst, in den letzten sieben Jahrzehnten nur noch die Ergebnisse von Messungen, täglichen Beobachtungen und sorgfältigen Schnee- und Pflanzenbeobachtungen.
Die Beobachtungen stammen aus 230 Quellen; davon sind 110 handschriftlich und weitgehend unbekannt. Sie liegen in Bibliotheken und Archiven von Basel, Bern, Chur, Einsiedeln, Fribourg, St. Gallen, Genève, Lausanne, Luzern, Neuenburg, Schaffhausen, Solothurn, Winterthur und Zürich. Die zahlreichen Häufigkeitsangaben (Regen-, Schnee-, Gewitter-, Nebel-, Sonnentage) basieren auf der Auswertung von mehr als 70000 täglichen Witterungsbeobachtungen mit und ohne Instrumente aus allen Teilen des schweizerischen Mittellandes und Voralpengebiets. Niederschlagsmessungen der Jahre 1708–12, 1717–31, 1740–46, 1750–54 und ab 1760 sind einbezogen worden, ferner die Basler Temperaturreihe ab 1755. Für die Einschätzung der Temperaturverhältnisse vor diesem Zeitpunkt haben sich die fast 3000 Pflanzenbeobachtungen und die mehr als 3000 Schneebeobachtungen als besonders wertvoll erwiesen.
Die deskriptiven Beobachtungen wurden über einen mehr als 400 Positionen umfassenden Zahlencode in numerische Form umgesetzt, chronologisch und thematisch sortiert, teilweise interpretiert, in lesbare Form umgesetzt und mit den nötigen Attributen (Beobachtername, Beobachtungsort, Höhenlage, Quellenverweis) versehen. Das Ergebnis ist die Witterungschronologie «Dokumentation Klimageschichte der Schweiz», welche über den Ablauf der Witterung und deren Auswirkungen auf Bio-, Hydro- und Anthroposphäre in einem zeitlichen Raster von Dekaden (Zehntageabschnitten) bis Jahreszeiten informiert.
Bei besonders aufschlussreichen Berichten, die sich durch den Zahlencode nicht vollständig umsetzen lassen, wie jenem über den verheerenden Wirbelsturm im Januar 1739, ist die Wiedergabe der Originaltexte in Form von Anmerkungen vorgesehen.

Durch die Speicherung der Beobachtungen auf modernen Datenträgern eröffnet sich die Möglichkeit, das schweizerische Material in eine künftige europäische oder gar nordhemisphärische klimageschichtliche Datenbank einzubeziehen. Diese würde eine Kartierung der typischen Wetterlagen in vergangenen Jahrhunderten und damit wesentliche Aussagen über Ursache und Verlauf von Klimaschwankungen und -änderungen erlauben. Ansätze dazu finden sich bei Lamb (1977).

Beispiele verschiedener Datentypen und ihre Bedeutung

Die 210jährige Temperaturreihe von Basel im Vergleich mit den Säkularschwankungen der beiden Grindelwaldgletscher

Die Temperaturreihe von Basel gehört zu den wenigen mitteleuropäischen Klimareihen, die auf einer lückenlosen instrumentellen Beobachtungsperiode von mehr als 200 Jahren beruhen. Sie ermöglicht deshalb eine Korrelation mit den historischen Gletschervorstössen im schweizerischen Nordalpenraum und gestattet unter Umständen Aussagen über die thermischen Voraussetzungen dieser Ereignisse.
Eine detaillierte Untersuchung ausgewählter Stationen des schweizerischen klimatologischen Netzes für den Zeitraum 1901–70 (Messerli P. 1979) hat gezeigt, dass zwischen Höhen- und Tieflandstationen nur für die Sommer- und Frühlingstemperaturen eine hohe Korrelation besteht. Der Temperaturverlauf in Basel kann deshalb für Hochlagen in den übrigen Jahreszeiten nur bedingt als repräsentativ betrachtet werden.
Die 210jährige Basler-Reihe setzt sich aus sechs verschiedenen Beobachtungsperioden zusammen (1755–1804, 1800–1825, 1802–1832, 1826–1874, 1874–1941, 1929–1965). Die schrittweise Reduktion auf die Periode 1929–65 unter Ausschaltung des Stadteinflusses erfolgte in einer äusserst sorgfältigen Bearbeitung durch Bider, Schuepp und von Rudloff (1958). Die publizierten Werte repräsentieren somit die klimatisch bedingten Säkularvariationen der Monatsmitteltemperatur.
Mit der Gletscherkurve von Zumbühl (Abb. 6) wird das dynamische Verhalten der beiden Grindelwaldgletscher über die letzten 400 Jahre ausserordentlich detailliert dokumentiert. Damit ergibt sich die einzigartige Möglichkeit abzuklären, wie sich der Übergang vom «Little Ice Age», mit einem gewaltigen Rückzug der Alpengletscher zwischen 1860 und 1880, im Temperaturverlauf abzeichnet.
In den Schwankungen der beiden Grindelwaldgletscher im Zeitraum 1750–1970 lässt sich unschwer ein langfristiges Verhalten (Hochstand während des «Little Ice Age» mit generellem Rückzug in der zweiten Hälf-

Tab. 2. Mittelwertsdifferenzen und Trendverhalten zwischen den Perioden 1755–1859 und 1860–1965 (langfristiges Verhalten)

Periode	Jahreszeit	Mittelwertsdifferenz (1860–1965)-(1755–1859) °C	Standardabweichung °C	Regressionskoeffizient	F-Wert des Reg. Koeffizienten	t-Wert der Mittelwertsdifferenz	Signifikanz $F_{0.95} = 3.95$ $t_{0.95} = 1.65$ Trend	Mittelwert
1755–1859			1.14	– 0.006.	3.16		–	
	Frühling	0.3				2.30		+
1860–1965			0.96	0.008	7.59		+	
1755–1859			0.91	– 0.004.	1.85		–	
	Sommer	0.1				0.66		–
1860–1965			0.94	0.005	3.05		–	
1755–1859			1.01	– 0.002.	0.41		–	
	Herbst	0.4				2.90		+
1860–1965			1.03	0.011	12.31		+	
1755–1859			1.73	– 0.001	0.06		–	
	Winter	0.6				2.62		+
1860–1965			1.82	0.007	1.38		–	

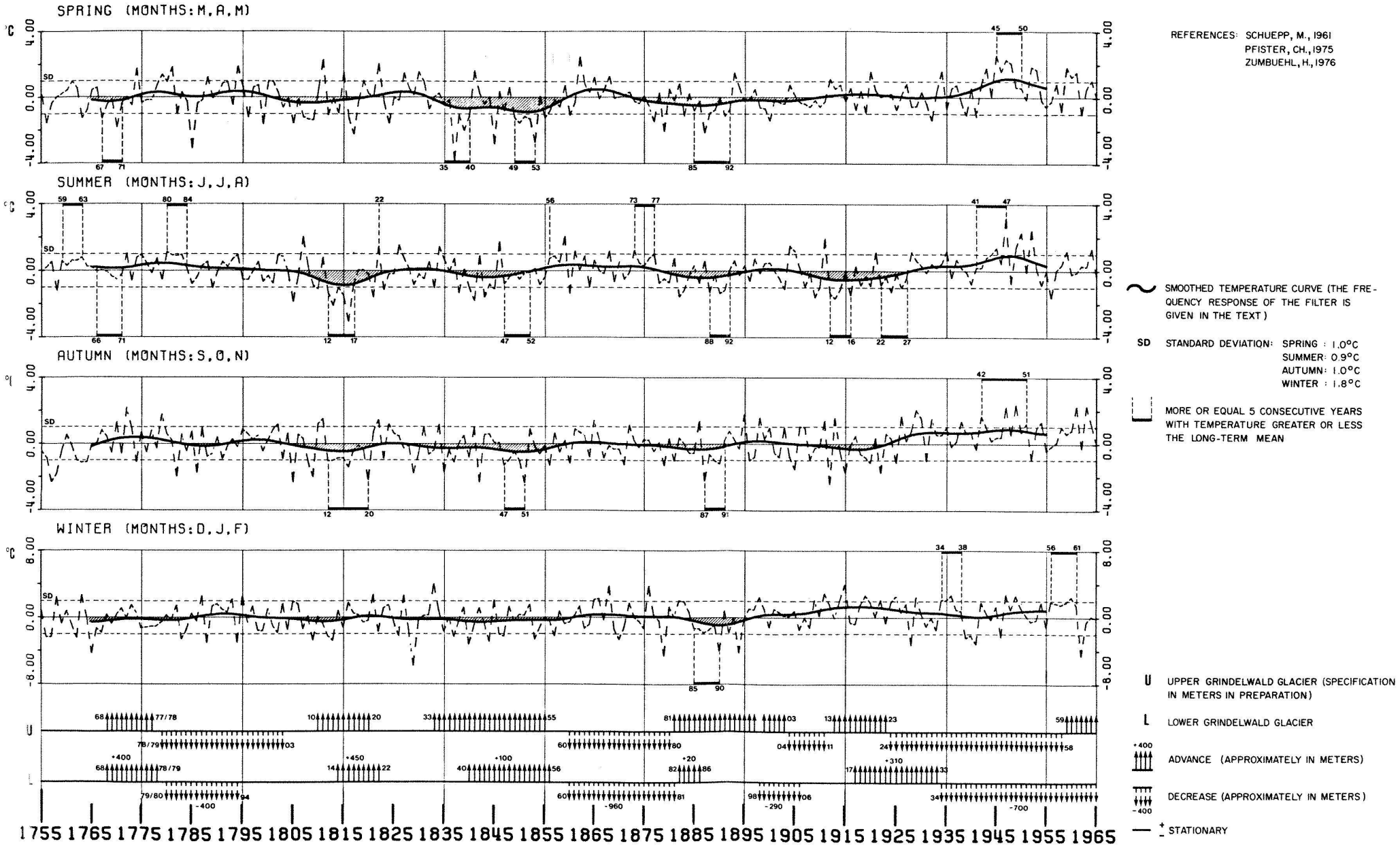
te des Zeitabschnittes) von einem kurzfristigen Verhalten in Form von Oszillationen (Vorstoss- und Rückschmelzphasen) unterscheiden. Daraus können die folgenden Fragen über das Temperaturverhalten abgeleitet werden:

1. Unterscheidet sich die Temperatur des «Little Ice Age» signifikant von der Mitteltemperatur nach dem grossen Gletscherrückzug in der Mitte des beobachteten Zeitraumes?
2. Zeichnet sich der allgemeine Gletscherzerfall nach 1850 in einem Temperaturanstieg ab?
3. Sind die kurzfristigen Oszillationen im Temperaturverlauf erkennbar?

Tab. 2 und Abb. 3 zeigen die Ergebnisse der statistischen und graphischen Analyse zur Überprüfung dieser Fragen.
Aus dem Vergleich des saisonalen Temperaturverlaufes, dokumentiert durch die homogenisierte 210jährige Basler Temperaturreihe mit den detailliert aufgearbeiteten Zungenlängenänderungen der beiden Grindelwaldgletscher ergeben sich folgende Resultate:
1. Die extreme Tallage der Gletscher während des «Little Ice Age» korreliert mit einer signifikant tieferen Mitteltemperatur im Frühling und Winter.
2. Der markante Gletscherzerfall nach 1850 wird im Frühling und Herbst von einem positiven Temperaturtrend begleitet.
3. Die saisonalen Temperaturschwankungen (insbesondere im Sommer, Herbst und Frühling) korrelieren recht deutlich mit den Gletscheroszillationen und geben Hinweise auf die Bedeutung persistenter, gleichsinniger Temperaturabweichungen weniger Jahre zur Einleitung von Vorstössen oder Rückschmelzphasen, weitgehend unabhängig vom allgemeinen Trendverhalten der Gletscher.
Diese Feststellungen werden durch die laufenden Arbeiten von Pfister (in Vorbereitung) über den Zeitraum 1525–1825 weitgehend bestätigt und durch Angaben über das Niederschlagsregime als weiteren wesentlichen Steuerungsfaktor ergänzt. Damit gelangt Pfister zu einer allgemeinen Charakterisierung «gletscherfreundlicher» bzw. «gletscherfeindlicher» Klimaperioden.
Zur Frage der klimatischen Signifikanz der Gletscherschwankungen während des «Little Ice Age» und seither lässt sich aufgrund dieser Untersuchung zusammenfassend feststellen, dass kleine Gletscher auf relativ geringe und kurzfristige, aber gleichsinnige Temperaturabweichungen äusserst sensibel reagieren können und die Gefahr einer Überschätzung der klimatischen Voraussetzungen auch der säkularen Gletscherschwankungen besteht.

Die Auswertung von täglichen Beobachtungen am Beispiel der Säkularkurve der Schneedauer in Zürich

Uttinger (1962) hat ermittelt, dass sich rund zwei Drittel der Varianz in der Dauer der Schneebedeckung durch die Lufttemperatur und die relative Schneehäufigkeit (darunter versteht man den Anteil der Tage mit Schneefall an den Niederschlagstagen) erklären lassen. Entsprechend lassen sich bei Kenntnis der Schneedauer und der relativen Schneehäufigkeit Schätzwerte für die Temperatur errechnen. Aufgrund von sorgfältigen Beobachtungen, wie sie in manchen Witterungstagebüchern vorliegen, können Dauer der Schneebedeckung und Schneehäufigkeit für mehrere Dezennien des ausgehenden 17. und des 18. Jahrhunderts relativ zuverlässig ermittelt werden (Pfister 1975, 1977).
Die Säkularkurve der Schneedauer in Zürich (Abb. 4) lässt deutlich drei verschiedene Niveaus erkennen: Zwischen 1684 und der Wende zum 18. Jahrhundert fluktuiert die Schneedauer um einen Wert von 70 Tagen, was einer Wintertemperatur entspricht, die um 1,5° unter dem Mittel der Periode 1901–60 gelegen haben dürfte. Dann sinkt die Schneedauer innerhalb von sehr kurzer Zeit auf ein tiefes Niveau ab, welches ungefähr demjenigen der 1920er Jahre entspricht. Daraufhin nimmt sie wieder auf ein mittleres Niveau zu, das bis um 1910 beibehalten wird. Der kontinuierliche Abfall bis zu den für die beiden letzten Jahrzehnte charakteristischen schneearmen Wintern mit 30–40 Schneedeckentagen erklärt sich teilweise aus der Zunahme der Wintertemperaturen als Folge einer natürlichen Klimaveränderung, z.T. aus der anthropogenen Erwärmung in der sich rasch ausdehnenden Großstadt Zürich.



MESSERLI, P., ZUMBUEHL, H.J.,
in Arctic and Alpine Research
Vol. 10, Nr. 2, 1978

Abb. Die Abweichungen der Frühlings-, Sommer-, Herbst- und Wintertemperaturen von ihrem langjährigen Mittel (1755–1965) im Vergleich zur Dynamik der beiden Grindelwald-Gletscher (kurzfristiges Verhalten).

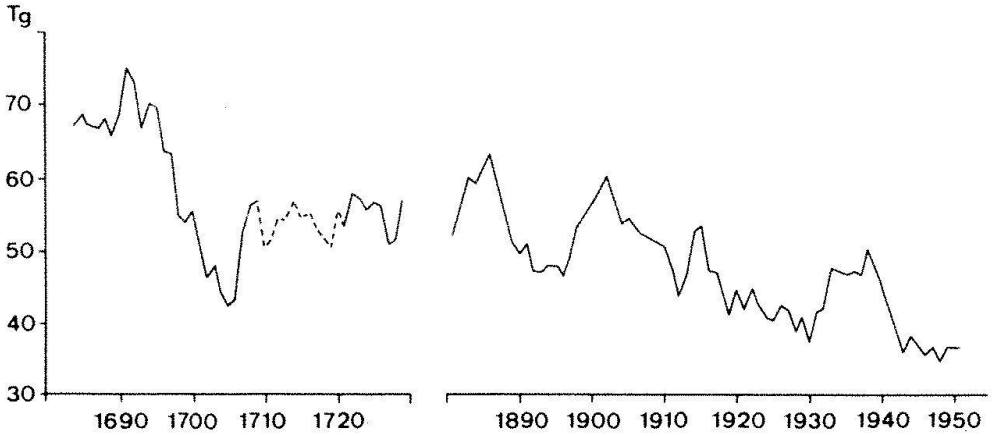


Abb. 4. Die Dauer der Schneedecke in Zürich 1684–1738, 1881–1960 (aus Pfister 1977).

Die Auswertung von Chroniken und Annalen am Beispiel der Hochwasserstatistik für den Zeitraum 1525–1825

Überschwemmungen fallen einem Beobachter deutlich in die Augen und sind durch ihre Zerstörung von Kulturen und Gebäuden für das Gemeinwesen erinnerungswürdig. Aus diesen Gründen werden sie in Chroniken und Annalen relativ häufig erwähnt. Extrem niedrige Wasserstände, weit weniger spektakulär, aber ebenfalls mit einschneidenden wirtschaftlichen Konsequenzen (Stillegung der Mühlen und der Schiffahrt), sind seltener überliefert worden.

Die Klassierung von Überschwemmungen kann nach zwei Kriterien, nach Stärke und Verbreitung, objektiviert werden. Anhand der gemeldeten Schäden (an Kulturland, Häusern, Brücken) kann die Stärke abgeschätzt werden. Günstiger sind Hochwassermarken, die einen quantitativen Vergleich mehrerer Ereignisse ermöglichen, sofern nicht wasserbauliche Massnahmen die Abflussverhältnisse des betreffenden Flusses verändert haben.

Pegel sind seit dem frühen 18. Jahrhundert (Zürich, Genf) aufgestellt worden, während monatliche Abflussmengen vom frühen 19. Jahrhundert (Basel) an vorliegen.

Die Verbreitung ergibt sich aus der räumlichen Verteilung der Meldungen. Um die Statistik der Hoch- und Niedrigwasser nicht durch zufällig überlieferte Lokalereignisse zu verzerren, sind nur Überschwemmungsmeldungen von grösseren Flüssen berücksichtigt worden.

Die graphische Aufzeichnung (Abb. 5) führt zum Schluss, dass an den meisten extremen Hochwassern der letzten Jahrhunderte (1566, 1609, 1640, 1689, 1716, 1770, 1817) das Abschmelzen grosser Schneemassen im Gebirge massgeblich, oft sogar ausschliesslich schuld war. In Perioden mit kühlen, nassen Sommern und schneereichen Wintern und Frühjahren (1560–95, 1685–95, 1764–71, 1812–25) treten solche Ereignisse gehäuft auf.

Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher von 1600 bis 1978

Bei den Grindelwaldgletschern handelt es sich um zwei N bis NW exponierte teilweise steil abfallende Talgletscher in den Berner Alpen (Unterer Gletscher 1973: Länge 9,0 km, Fläche 21,7 km²; Oberer Gletscher 1973: Länge 5,5 km, Fläche 10,7 km².) Im Gegensatz zu dem nur eine Eiszunge umfassenden Oberen Gletscher besteht der Untere Gletscher in den höheren Partien aus zwei Hauptteilen, dem Fieschergletscher (SW-Teil) und dem Ischmeer (SE-Teil).

Die Rekonstruktion der Geschichte der beiden Gletscher erfolgte mit Hilfe von Felddaten (Moränen, Pollenprofilen, pedologischen Analysen, C-14-Daten etc.), sowie vor allem mit einer grossen Zahl von historischen Bild- und Schriftquellen (vom Unteren Gletscher sind beispielsweise bis jetzt mehr als 300 Bilddarstellungen aus der Zeit vor 1900 bekannt).

Um wichtige Felddaten, z. B. die Moränen, möglichst genau zu erfassen, wurde 1974 ein Orthophotoplan (Maßstab 1:2000, 2 m-Isohypsen) des Vorfeldes des Unteren Gletschers angefertigt. Die Kartierung der zumeist mit dichter Vegetation überdeckten Moränen erfolgte mit dem Messtisch (vgl.

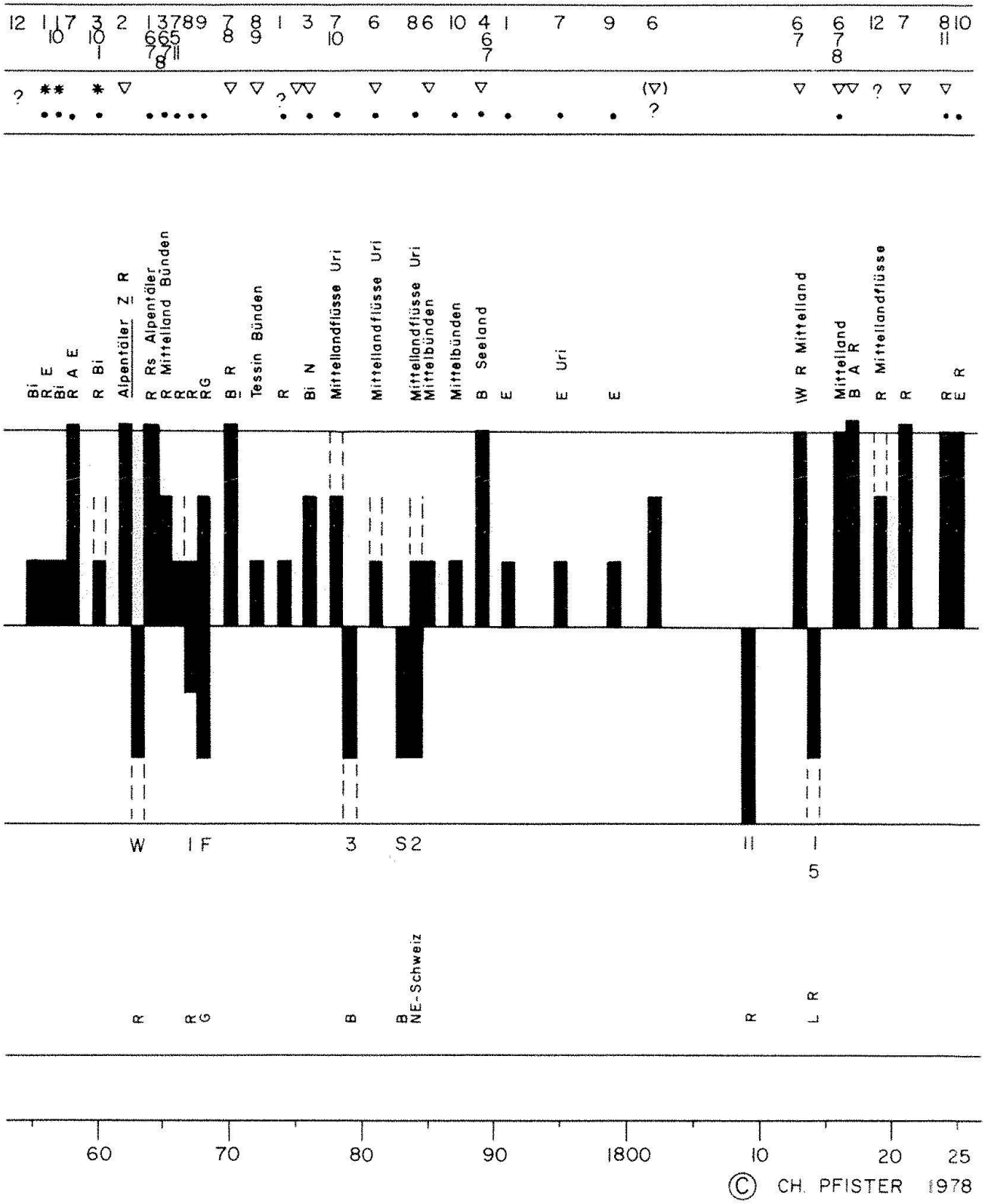


Abb. 5. Hoch- und Niedrigwasser im Schweizerischen Mittelland und Voralpengebiet 1525–1825 (Ausschnitt 1753–1825).

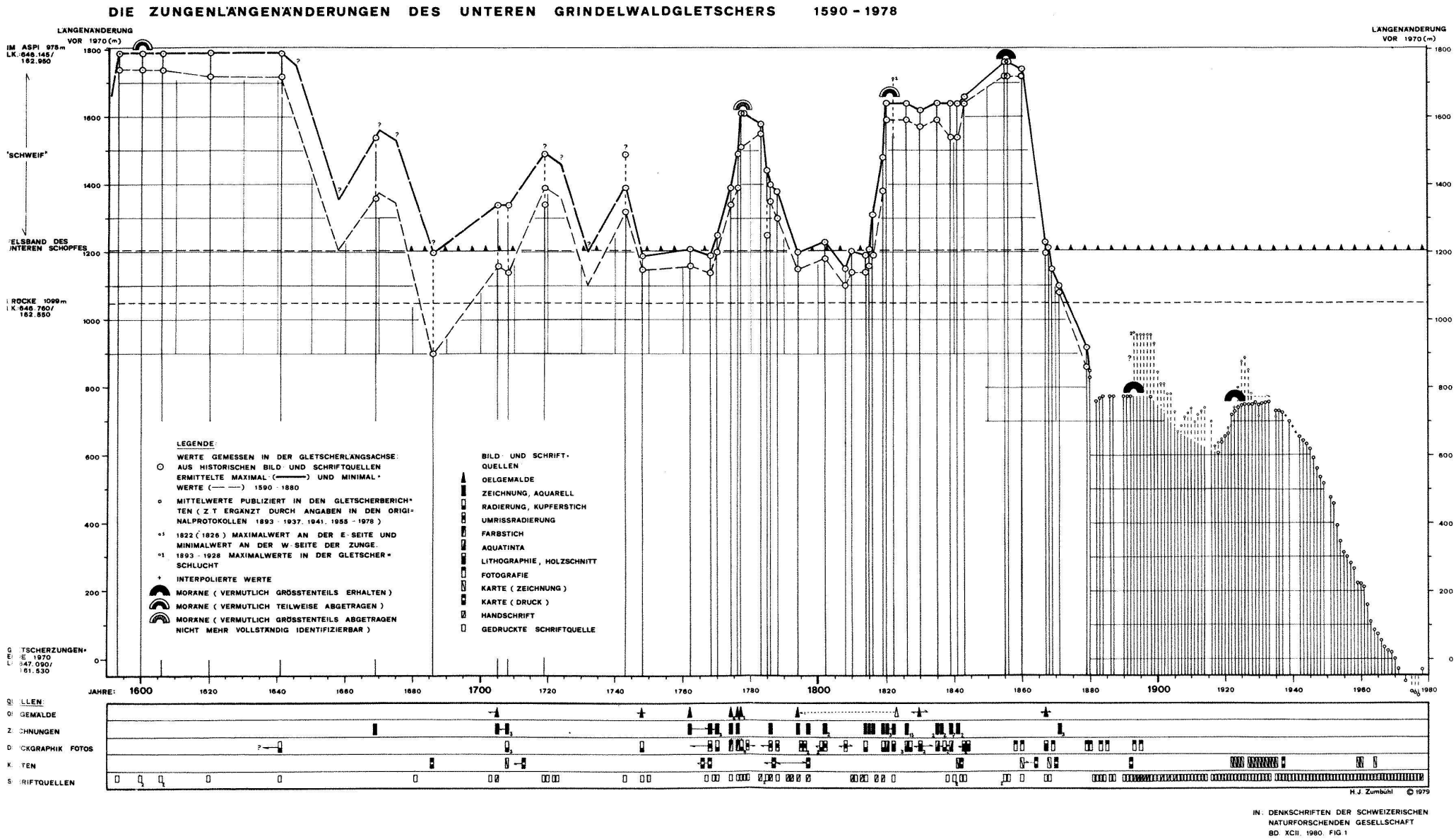


Abb. 6. Die Zungenlängenänderungen des Unteren Grindelwald-Gletschers 1590–1970. Aus Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. XI, 1975, H. 1.

Zumbühl und Zurbuchen in Messerli et al. 1975, Planbeilage). Vor allem dank den historischen Bild- und Schriftquellen war es möglich, verschiedene Gletscherstände auf dem Plan einzutragen. Die Abgrenzung der Eisrandlagen erfolgte mit maximalen und minimalen Linien, wobei die Werte auf dem Unteren und Oberen Schopf zuverlässiger sind als im Bereich des Talbodens (bei Ausbildung des Schweifes). Die entsprechenden Felddaten des Vorfeldes des Oberen Gletschers (Plan mit Maßstab 1:5000, 5 m-Isohypsen) stammen von den 1919 durchgeführten Vermessungsarbeiten von E. Schnitter (vgl. Lütschg-Lötscher 1944, Taf. 7, abgebildet in Zumbühl 1980).

Die historischen Bild- und Schriftquellen kommen aus Bibliotheken, Museen und Privatsammlungen zumeist der Schweiz, teilweise aber auch aus dem Ausland (Deutschland, England, Norwegen, Österreich und Polen). Das Aufsuchen und Analysieren der Quellen gestaltete sich zeitlich sehr aufwendig, wurde aber oft durch glückliche Zufälle gefördert. Die qualitative Skala der Gletscheransichten (Ölgemälde, Zeichnungen, Graphische Blätter etc.) reicht von der grossen Landschaftsmalerei (z. B. C. Wolf 1735–1783, J.A. Koch 1768–1839, J.M.W. Turner 1775–1851) bis zum bescheidenen Souvenirbildchen und umfasst seit etwa 1860 auch Photographien und topographische Karten.

Eine Zusammenfassung der Geschichte der beiden Grindelwaldgletscher ergibt stark vereinfacht die folgenden Resultate (vgl. Unterer Gletscher: Abb. 6, Oberer Gletscher: Abb. 3):

1. Beide Eisströme waren während der Hochphase des «Little Ice Age» (1570 bis 1860/70) langfristig in bezug auf Fläche und Länge (tiefe Tallage) bedeutend ausgedehnter als heute. Auch wenn der Untere Gletscher stark abgeschmolzen war, so endete während dieser Zeit die Eisstirn auf den Schopffelsterrassen, zirka 1200 m vor dem Zungenende von 1976 (Eisrandlagen z. B. 1748/49, 1762, 1794, 1813/14, 1868/69). Der Obere Gletscher bedeckte in dieser Zeit (1602–1869) ununterbrochen mehr oder weniger grosse Partien des Gletschersandes, d. h. des Gletschervorfeldes im Talboden.

2. Während des langandauernden Hochstandes von 1570 bis 1860/70 kam es zu mindestens fünf, wenn wir die Zeitspanne bis 1978 ausdehen, zu mindestens acht, relativ kurzfristigen Hauptvorstössen. Der Untere Gletscher stiess jeweils – ausgehend von den Schopffelsen – in den Talboden vor und bildete den Schweif (Vorstossbetrag zirka 400–600 m). Die Vorstösse des Oberen Gletschers, topographisch weniger genau erfassbar als beim Unteren Gletscher, führten jeweils zu einer markanten Zunahme der Eismächtigkeit innerhalb des muschelartig geformten Gletschersandes (Vorstossbetrag zirka 400–500 m). Deutlicher unterscheidbar sind diese Vorstösse besonders an der W- bis N-Seite des Vorfeldes.

Beim Unteren Gletscher konnten die folgenden Vorstösse rekonstruiert werden, wobei die entsprechenden Daten für den Oberen Gletscher in Klammern angegeben sind: Um 1600 (1593 bis 1602?) erreichte der Gletscher wahrscheinlich zum ersten Mal in historischer Zeit einen langandauernden Stand von maximaler Ausdehnung. Weder topographisch noch zeitlich eindeutig abgrenzbar ist ein nur gerade 1669 erfasster Vorstoss des Unteren Gletschers.

Ein weiterer Vorstoss begann um 1705 (vor 1703) und erreichte seine Kulmination um 1719/20 (um 1720).

Nicht gesichert ist ein Vorstoss vor/um 1743.

Reich dokumentiert ist der Vorstoss von 1768 bis 1778/79 (1777/78), wobei der Talboden erst nach 1793 wieder eisfrei wurde; d. h. erst in diesem Jahr endete die Eiszunge auf dem nun wieder sichtbaren Schopffelsen.

Der langandauernde Eishochstand im 19. Jahrhundert begann um 1814 (zwischen 1803 und 1810) und erreichte eine erste Kulmination um 1820/22 (1820). Bei diesem Vorstoss wurde mehr Talboden von Eis überdeckt als beim letzten Vorstoss im 18. Jahrhundert. (Das gleiche gilt für den Oberen Gletscher.)

Vermutlich zum zweiten Mal in historischer Zeit wurde 1855/56 (1854/55) ein Maximalstand beobachtet. Der Gletscher erreichte dabei nicht überall die Moränen von 1602. Dieser Vorstoss setzte 1840 (bereits 1832) ein.

3. Seit den Maximalständen von 1856/57 (1855/56) schmolzen die beiden Grindelwaldgletscher langfristig stark zurück. Dieser Prozess wurde zweimal von Vorstössen unterbrochen, zuerst durch den Vorstoss zwischen 1882 und 1898 (1881 bis 1897/1903)

und in stärkerem Ausmass durch den Vorstoss nach 1917 mit einer späten Kulmination um 1933 (1911/13 bis 1923). Diese Schwankungen vollzogen sich aber in einem weit innerhalb der Moränen des «Little Ice Age» liegenden Bereich. Trotzdem war der Vorstoss des Oberen Gletschers zwischen 1911/13 und 1923 sehr eindrücklich.
Wahrenddem der in seinen Dimensionen stark reduzierte Untere Gletscher in der tiefen schmalen Gletscherschlucht erstmals seit 44 Jahren 1977/78 wieder eine positive Reaktion am Zungenende zeigte (Vorstoss 8 um zirka +75 m, briefliche Mitteilung von M. Aellen VAW ETH Zürich), stösst der Obere Gletscher bereits seit 1959 vor (bis 1978 um zirka +574 m, allerdings in den letzten drei Jahren verlangsamt und in der Stossrichtung unterschiedlich).
In der gesamten Zeitspanne von 1600 bis 1978 verläuft die Geschichte der beiden Gletscher parallel (vgl. Abb. 3), wobei die Vorstösse des Oberen Gletschers meist vor denjenigen des Unteren Gletschers einsetzen. Zurückzuführen ist diese unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeit unter anderem auf die verschieden grossen Einzugsgebiete der beiden Gletscher.
Die Resultate der Schwankungen der Grindelwaldgletscher ergeben trotz der Einschränkung, dass nur die Zungenlängenänderungen erfasst worden sind, und trotz der Komplexität der Zusammenhänge zwischen Klima und Gletscher interessante Hinweise für die Klimageschichte.

Beispiele einer Daten-Synthese: Die Klimaverschlechterung im letzten Drittel des 16. Jahrhunderts und die Klimaschwankungen von 1812–1817 (zwei Phasen von maximalen Gletschervorstössen während des «Little Ice Age»)

Eine Klimaverschlechterung (long term climatic fluctuation) im letzten Drittel des 16. Jahrhunderts leitet die Hochphase des «Little Ice Age» ein; um 1602 haben zahlreiche Alpengletscher säkulare historische Maximalstände erreicht. Diese Klimaverschlechterung liegt vor dem Beginn der Instrumentenmessung, weshalb sie bisher nur durch die Gletschervorstösse dokumentiert werden konnte (Le Roy Ladurie 1971, Messerli et al. 1976).

Die raschen und weitreichenden Vorstösse der Alpengletscher um 1820 sind das Resultat einer kurzfristigen Klimaschwankung (short term climatic fluctuation), welche die Jahre 1812–1817 umfasst. Im Unterschied zur Klimaverschlechterung des 16. Jahrhunderts ist diese durch Mess- und Beobachtungsdaten aus dem Alpenraum ausreichend belegt und kann über weite Teile Europas bis nach Nordamerika verfolgt werden (Rudloff 1967, Post 1977, Messerli et al. 1976).
Wenn wir diese beiden klimatisch und wirtschaftlich bedeutsamen Ereignisse miteinander vergleichen, so soll damit zweierlei beabsichtigt werden: Erstens sollen die verschiedenen Typen von Proxy-Daten, welche uns als Belege für die Klimaverschlechterung des 16. Jahrhunderts zur Verfügung stehen, am Beispiel der Klimaschwankungen von 1812–1817 mit Messdaten und ausführlichen Beobachtungen geeicht und damit in ihrer Aussagekraft als Klimaindikatoren bewertet werden. In einem zweiten Schritt sollen die historischen Beobachtungen und die Proxy-Daten, mit welchen die Klimaverschlechterung des 16. Jahrhunderts belegt werden kann, aufeinander abgestimmt und so unsere Kenntnisse des chronologischen Ablaufes der Klimaverschlechterung im 16. Jahrhundert verfeinert und deren Intensität abgeschätzt werden.

Verwendete Datentypen

Indices
In Anlehnung an die von Lamb (1965) verwendete Methode wurde die Witterung der einzelnen Monate durch einen Vergleich der Aussagen von zeitgenössischen Beobachtern mit denjenigen von Proxy-Daten bewertet.
Für die Berechnung der ungewichteten thermischen und hygrischen Indices wurden die eindeutig als «warm» oder «kalt» bzw. als «nass» oder «trocken» charakterisierbaren Monate ausgewählt. Der ungewichtete thermale Index bringt die Differenz der «warmen» und der «kalten», der ungewichtete Niederschlagsindex sinngemäss die Differenz der «nassen» und der «trockenen» Monate innerhalb eines Dezenniums (Zehnjahresabschnitt) zum Ausdruck. Durch Summierung von Monatswerten können Saisonwerte gewonnen werden. Für die Berechnung von gewichteten Indices werden die Monate nach

einer von −3 bis +3 reichenden Skala bewertet, wobei die äussersten Positionen denjenigen Monaten vorbehalten sind, die nach heutigen Gesichtspunkten als extrem bezeichnet werden. Die einzelnen Monatswerte werden dabei zu Saisonwerten summiert und für jedes einzelne Jahr berechnet; dies im Unterschied zu den ungewichteten Indices, die nur für die Dezennien angegeben werden.

Weinlesedaten
Die bis ins 15. Jahrhundert zurückreichenden Angaben über den Zeitpunkt des Weinlesebeginns erlauben Rückschlüsse auf die Temperaturen der Monate April–September (Garnier 1955 und Le Roy Ladurie 1971, 1978). Eine Regressionsanalyse historischer und rezenter Reihen hat aber übereinstimmend ergeben, dass für das Weinlesedatum vor allem die Temperatur der Frühjahrs- und Frühsommermonate ins Gewicht fällt, während die August- und Septembertemperaturen praktisch ohne Bedeutung sind (Pfister in Vorbereitung). Folglich müssen wir diesen Datentyp als Frühsommerindikator betrachten.

Spätholzdichte
Anhand von mehreren Studien aus der subalpinen Stufe im ganzen Alpenraum hat es sich gezeigt, dass die maximalen Dichten und die Spätholzbreiten in den Jahrringen aller Nadelhölzer die Sommertemperaturen (Juli–September) speichern (Schweingruber 1978).

Fluktuationen der Weinerträge
Die moderne Forschung hat nachgewiesen, dass die kurzfristigen jährlichen Schwankungen der Weinerträge wesentlich durch die Temperatur der Hochsommermonate Juli und August bestimmt werden, während die langfristige Entwicklung der Erträge von Pflege und Düngung der Reben abhängt (Primault 1969). Die Untersuchung von historischen Ertragsreihen aus mehreren Rebbaugebieten der Schweiz (Genfersee, Neuenburgersee, Bielersee, Aargau, Zürichsee) hat ergeben, dass die jährlichen Ertragsschwankungen (Abweichungen vom langfristigen Trend) in den einzelnen Regionen erstaunlich gut zusammenpassen und in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der modernen Weinforschung signifikante Korrelationen zwischen der überregionalen Gesamtkurve und der Temperatur der Monate Juni, Juli und August nachgewiesen werden können (Pfister 1981).

Die Klimaschwankung von 1812–1817

Die Klimaschwankung äusserte sich im Mittelland durch eine sechsjährige ununterbrochene Abfolge kühler und feuchter Sommer, im Alpenraum durch eine deutliche Zunahme weit herabreichender Schneefälle und einer zeitweilig stärkeren Senkung der temporären Schneegrenze (Messerli et al. 1976). Die Klimaschwankung wird durch alle Proxy-Daten deutlich und chronologisch richtig abgebildet: Dem starken Rückgang der Sommertemperaturen und der Zunahme der sommerlichen Niederschlagshäufigkeit entspricht ein kräftiger Rückgang der Spätholzdichte und der Weinerträge, sowie eine deutliche Verspätung der Weinlese. Die Reaktion des Unteren Grindelwaldgletschers auf diese fünfjährige ununterbrochene Abfolge kühlfeuchter Sommer erfolgte mit einer zeitlichen Verzögerung von drei bis fünf Jahren, wobei zu berücksichtigen ist, dass der Vorstoss aus einer vorgeschobenen Position, dem Unteren Schopf, erfolgte.

Die Klimaverschlechterung des 16. Jahrhunderts

Langfristige Veränderungen (trends):
Alle Datentypen signalisieren eine um 1560 einsetzende und zeitlich über das Jahr 1600 hinausreichende grundlegende Veränderung der sommerlichen Witterungsverhältnisse, die mit dem historischen Datenmaterial eindrücklich belegt werden kann. Vergleichen wir die anhand von Chroniken, Annalen, Witterungstagebüchern oder historischen Proxy-Daten als «warm» oder «kalt» eingestuften Sommermonate (Juni, Juli, August) während der beiden Perioden 1525–69 und 1570–1600, ergibt sich das folgende Bild:

1525–1569		1570–1600	
warm	kalt	warm	kalt
48	21	26	44

Kurzfristige Klimaschwankungen

Eine genauere Betrachtung der verschiedenen Kurven (Abb. 7) zeigt deutlich, dass sich die Klimaverschlechterung in drei sich an Dauer und Intensität steigernden Abfolgen von kalten und feuchten Sommern manifestiert: 1560–64, 1569–79, 1585–1597. Zwischen diese kalt-feuchten Perioden schieben sich wärmere und trockenere Phasen ein.

Auch innerhalb der Kaltphasen selbst werden, im Unterschied zu 1812–1817, vereinzelte warme und trockene oder normale Monate und Sommer signalisiert, was mit ein Grund sein mag, dass die Fluktuationen der verschiedenen Proxy-Daten weniger gut synchronisiert sind. Nach 1560 ist die Verzögerung des Weinlesebeginns kaum noch erfassbar, während der starke Rückgang der Weinerträge und der Spätholzdichte erst nach 1580 erfolgt. Dies spricht dafür, dass sich zwischen 1580 und 1600 vor allem die Hoch- und Spätsommermonate abkühlten, stärker jedenfalls als die Frühjahre und Frühsommer. 1586 ist ein grösserer Vorstoss der Grindelwaldgletscher in die Talebene dokumentiert, was gut in unsere Chronologie der «Warm- und Kaltphasen» passt, wenn wir eine Verzögerung bei der Reaktion der Gletscher berücksichtigen. Analog können wir die Vorstösse und Katastrophen in der Mitte der neunziger Jahre zeitlich den sehr kalten und nassen Sommern in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre zuordnen, von denen einer, 1588, nach dem Zeugnis Renward Cysats in Luzern (Cysat 1969) einen seither in den drei Monaten Juni, Juli und August nie wieder erreichten Rekord von 77 (!) sommerlichen Niederschlagstagen (83%) aufstellte.

Vergleich der beiden Klimaschwankungen

Wenn wir die Klimaschwankungen des späten 16. und des frühen 19. Jahrhunderts vom Moränenapparat der beiden Grindelwaldgletscher her beurteilen, ergeben sich relativ gute Übereinstimmungen. Der Unterschied besteht einzig darin, dass die Moränenwälle aus der Zeit um 1600 noch um einige Meter vor denjenigen von 1822 oder 1855 liegen.

Fragen wir aber nach der Natur der klimatischen Prozesse, welche hinter diesen Geländeformen stehen, sind bezüglich Dauer und Intensität grössere Differenzen unverkennbar:

Abb. 7. Synthese von Mess- und Beobachtungsdaten zur Beurteilung der Klimaverschlechterung im letzten Drittel des 16. Jahrhunderts (links) und der Klimaschwankung von 1812–1817 (rechts).

Temperaturmessungen: Fünfjährig gleitendes Mittel der Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) in Basel (Abweichungen vom Mittel 1901–60). Quelle: Bider, Schuepp, Rudloff, v. 1958.

Niederschlagshäufigkeit: Fünfjährig gleitendes Mittel der sommerlichen Niederschlagshäufigkeit (anhand von Witterungstagebüchern ausgezählte Tage mit beobachtetem Niederschlag) in Basel (1800–03) und Bern (1804–25). Abweichungen vom Mittel 1901–60 (Niederschlagstage mit ≥ 0.3 mm). Quelle: Riggenbach 1891 (Basel), Pfister 1978c (Bern) ergänzt.

1. *Nicht Gewichteter Sommer-Temperaturindex:* Anzahl der «warmen» minus Anzahl der «kalten» Sommermonate (J, J, A) auf der Basis historischer Beobachtungen (Dezennienwerte). Quelle: Pfister, 1980 b.

Nicht-gewichteter Sommer-Niederschlagsindex: Anzahl der «nassen» minus Anzahl der «trockenen» Sommermonate (Juni, Juli, August) auf der Basis historischer Beobachtungen (Dezennienwerte). Quelle: Pfister, 1980 b.

2. *Gewichteter Sommer-Temperaturindex:* Fünfjährig gleitendes Mittel von aus historischen Beobachtungen und Proxy-Daten gewonnenen Indexwerten des Temperaturcharakters in den Sommermonaten (J, J, A). Quelle: Pfister Datenbank Climhist, in Vorbereitung.

Gewichteter Sommer-Niederschlagsindex: Fünfjährig gleitendes Mittel der anhand von historischen Beobachtungen gewonnenen Indexwerte des Niederschlagsgeschehens in den Sommermonaten (J, J, A). Quelle: Pfister, Datenbank Climhist, in Vorbereitung.

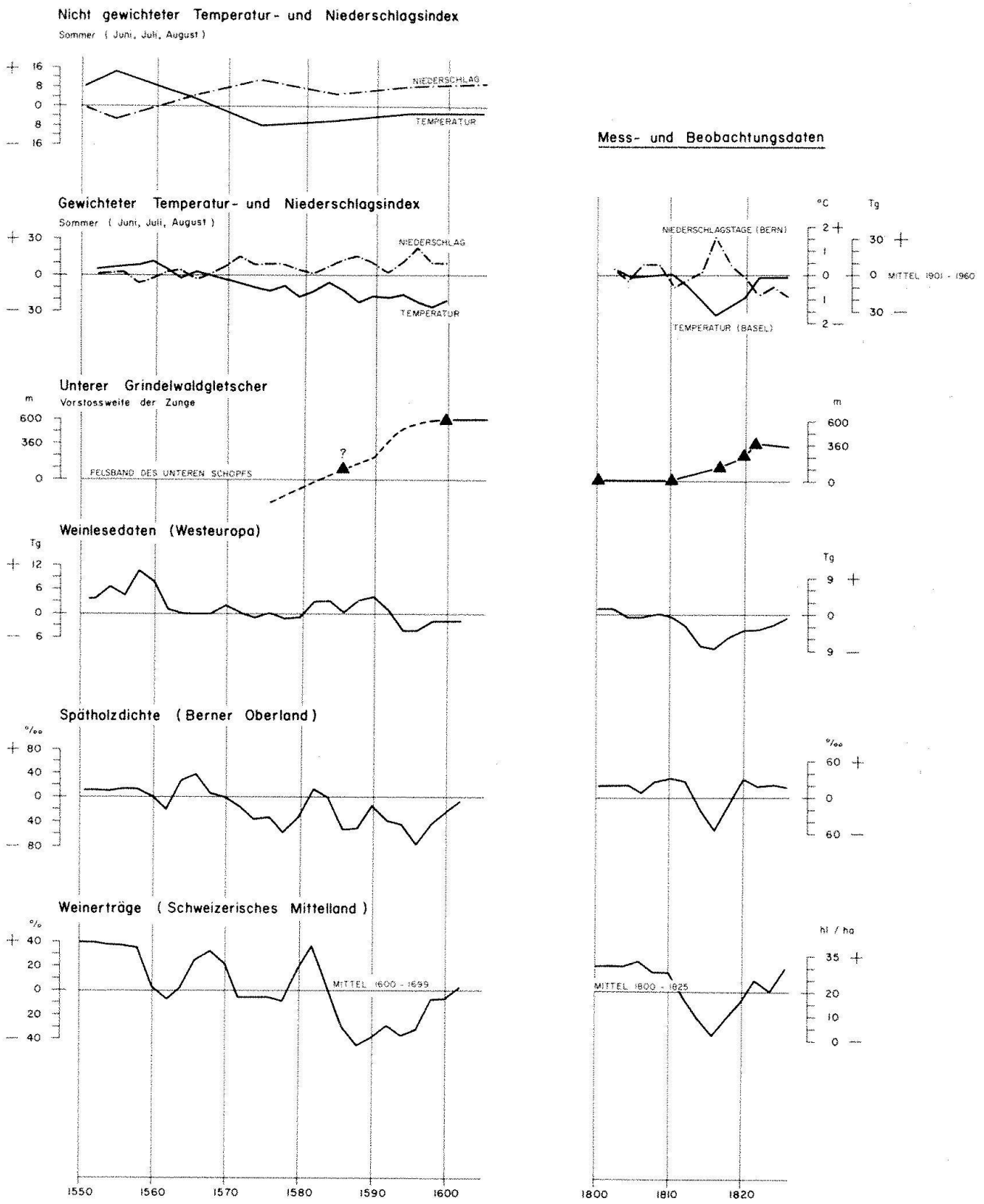
3. *Unterer Grindelwaldgletscher:* (Quelle: Zumbühl 1976, in Messerli et al. 1976).

4. *Weinlesedaten:* Fünfjährig gleitendes Mittel von 102 Serien aus Nord- und Nordostfrankreich, dem Rheinland und der Westschweiz. Abweichungen vom Mittel 1484–1879. Quelle: Le Roy Ladurie 1978.

5. *Spätholzdichte:* Fünfjährig gleitendes Mittel von Hölzern aus Lauenen BE und Saanen BE. Abweichungen vom Mittel 1600–1975, freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. F.H. Schweingruber, EAFV, Birmensdorf ZH.

6. *Weinerträge:* 1550–1600: Fünfjährig gleitendes Mittel der Erträge von Halb- und Drittelsreben aus dem Raume Genfersee, Neuenburgersee, Bielersee, Aargau, Zürichsee. Mittel der Abweichungen vom Trend, ausgedrückt in Prozent der Reihenmittel für 1600–99.

1800–20: Fünfjährig gleitendes Mittel von gemittelten Flächenerträgen von Rebgütern in Wollishofen, Horgen, Enge, Höngg, Erlenbach ZH, Tschugg BE, Oberhofen BE. Quelle: Pfister, 1980 a.



© CH. PFISTER
GEOGRAPHISCHES INSTITUT
UNIVERSITÄT BERN

Bei der Klimaschwankung des 16. Jahrhunderts handelt es sich um einen sich über mehr als vier Jahrzehnte hinziehenden Übergang von einem eher warm-trockenen zu einem überwiegend kühl-feuchten Sommertyp, der sich über mehr als vier Jahrzehnte hinzog, also um einen mittel- bis langfristigen Vorgang. Neben den Sommern betraf die Abkühlung ausserdem die Winter- und Frühjahrsmonate (Pfister in Vorbereitung). Dieser mittelfristigen, mehrere Jahreszeiten erfassenden Tendenz zur Abkühlung entsprach ein Anwachsen der alpinen Eisströme auf den historischen Maximalstand um 1602. Die zeitliche Verzögerung bei der Reaktion der Gletscherzungen und den Vorstossbetrag können wir nicht bestimmen, solange wir deren Lage beim Einsetzen der Klimaverschlechterung um 1560 nicht kennen. Wir dürfen jedoch postulieren, dass die Gletscher in jenem Zeitpunkt hinter die Ausgangspositionen zurückgeschmolzen waren, die sie in den folgenden drei Jahrhunderten jeweils zwischen zwei Vorstössen einnahmen (Abb. 6). Eine erste quantitative Grobauswertung der Datenbank Climhist deutet jedenfalls zusammen mit der Analyse der Basler Temperaturreihe darauf hin, dass Verhältnisse, die mit denjenigen in der Mitte des 16. Jahrhunderts vergleichbar sind, erst im Zuge der Erwärmung am Ende des «Little Ice Age» nach 1850 wieder aufgetreten sind, namentlich in der Zeit zwischen 1930 und 1950.

Vom Betrag der sommerlichen Temperaturdepression, von der Häufigkeit der Sommerschneefälle und von den Vorstossbeträgen der Alpengletscher her betrachtet, ist die Klimaschwankung von 1812–17 eine der intensivsten, wenn nicht die intensivste «short time fluctuation» seit der Mitte des 16. Jahrhunderts. Wir wissen, dass grosse Vulkanausbrüche an ihrer Entstehung beteiligt waren (Lamb 1977). Angesichts der weit vorgeschobenen Ausgangsposition vieler Gletscher beim Beginn dieser Schwankung wird verständlich, weshalb eine fünfjährige klimageschichtliche Episode in den Gletschervorfeldern nahezu dieselben Spuren hinterlassen hat wie ein Vorgang in der Grössenordnung von mehreren Dezennien. Es zeigt sich deutlich, dass die klimageschichtliche Interpretation eines Moränenbefundes, was die Dauer und die Intensität der beteiligten klimatischen Prozesse anbetrifft, offenbar einen recht grossen Spielraum offen lässt. Zur Abstützung und Einengung dieses Spielraumes können dokumentarische Daten einen wesentlichen Beitrag liefern.

Literatur

Amberg, B. 1890–97: Beiträge zur Chronik der Witterung und verwandter Naturerscheinungen mit besonderer Rücksicht auf das Gebiet der Reuss und der angrenzenden Gebiete der Aare und des Rheines. 3 Bde. Beil. zu den Jahresber. über die Höhere Lehranst. Luzern.

Bider, M., Schüepp, M., Rudloff, v., H. 1958: Die Reduktion der 200jährigen Basler Temperaturreihe. Archiv f. Meteorologie, Geophysik und Bioklim. Serie B, 9, 360–412.

Brooks, C.E.P. 1926: Climate throgh the Ages. London.

Brügger, C. 1882–88: Beiträge zur Natur-Chronik der Schweiz, insbesondere der Rhätischen Alpen. 6 Bde. Chur.

Cysat, R. 1969: Chronica und denkwürdige Sachen. Collectanea pro Chronica Lucernensi et Helvetiae, bearbeitet v. J. Schmid, Bd. 1, Luzern.

Easton, C. 1928: Les hivers dans l'Europe occidentale. Leyden.

Flohn, H. 1949: Klima und Witterungsablauf in Zürich im 16. Jahrhundert. Vrtschr. d. Naturf. Ges. Zürich 94, 28–41.

Garnier, M. 1955: Contribution de la phénologie à l'étude des variations climatiques. La météorologie, Bd. XL, 4, 291–300.

Hennig, R. 1904: Katalog bemerkenswerter Witterungsereignisse von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1800. Abh. d. Kgl. Preuss. Meteorol. Inst., Bd. II, 4, Berlin.

Lamb, H. 1965: The early medieval warm epoch and its sequel. Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., Bd. I, 13–17.

Lamb, H. 1977: Climate: Present, Past and Future. Bd. II. Climatic History and the Future. Methuen, London.

Le Roy Ladurie, E., 1971: Times of Feast Times of Famine. A History of Climate since the Year 1000.

Le Roy Ladurie, E. 1978: Une synthèse provisoire: les vendanges du XVe au XIXe siècle. Annales E.S.C., H. 4, 763–771.

Lütschg-Lötscher, O. 1944: Beobachtungen über das Verhalten des vorstossenden Obern Grindelwaldgletschers im Berner Oberland. In: Beitr. z. Geol. d. Schweiz – Geotechn. Serie – Hydrologie. 4. Lfg.: Zum Wasserhaushalt des Schweizer Hochgebirges, Bd. 1, T. 1, K. 5, 75–101, Zürich.

Messerli, B., Zumbühl, H., Ammann, K., Kienholz, H., Oeschger, H., Pfister, C., Zurbuchen, M. 1976: Die Schwankungen des Unteren Grindelwaldgletschers seit dem Mittelalter. Ein interdisziplinärer Beitrag zur Klimageschichte. Z. f. Gletscherkunde, H. 1, Bd. XI, 1975, Innsbruck, 3–110.

Messerli, B., Messerli, P., Pfister, C., Zumbühl, H. 1978: Fluctuations of Climate and Glaciers in the Bernese Oberland, Switzerland and their Geoecological Significance. Arctic and Alpine Research X/2, 247–260.

Messerli, P. 1979: Beitrag zur statistischen Analyse klimatologischer Zeitreihen. Geographica Bernensia G 10, Universität Bern.

Pfister, C. 1975: Agrarkonjunktur und Witterungsverlauf im westlichen Schweizer Mittelland. Geographica Bernensia G 2, Universität Bern, 1-229.

Pfister, C. 1977: Zum Klima des Raumes Zürich im späten 17. und frühen 18.Jahrhundert. Vrtschr. Naturforsch. Ges. Zürich, Bd. CXXII/4, 447-471.

Pfister, C. 1978 a: Fluctuations in the duration of snowcover in Switzerland since the late seventeenth century. Proc. of the Nordic Symposium on Climatic Changes and related problems, Copenhagen 24.-28. April 1978, 1-6.

Pfister, C. 1978 b: Die älteste Niederschlagsreihe Mitteleuropas: Zürich 1708-1754. Meteorol. Rdsch., Bd. XXXI 56-62.

Pfister, C. 1979: Getreide-Erntebeginn und Frühsommertemperaturen im schweizerischen Mittelland seit dem frühen 17.Jahrhundert. Geographica Helvetica, Bd. XXXIV, H. 1, 23-35.

Pfister, Ch. 1980: The Little Ice Age: Thermal and Wetness Indices for Central Europe. Journal of Interdisciplinary History, Bd X, 4, 665-696.

Pfister, Ch. 1981: Die Fluktuationen der Weinmosterträge im schweizerischen Weinland vom 16. bis ins frühe 19.Jahrhundert; klimatische Ursachen und sozioökonomische Bedeutung. Schweiz. Zeitschrift für Geschichte. H. 4. Im Druck.

Post, J. 1977: The Last Great Subsistence Crisis in the Western World. Hopkins, Baltimore.

Riggenbach, A. 1891: Die Niederschlags-Verhältnisse von Basel. Denkschriften SNG, Bd. 32, H. 2, Zürich.

Rudloff, H. 1967: Die Schwankungen und Pendelungen des Klimas in Europa seit dem Beginn der regelmässigen Instrumenten-Beobachtungen (1670). Vieweg Braunschweig.

Schweingruber, F. 1978: The X-Ray Technique as Applied to Dendroclimatology. Tree Ring Bulletin, Bd 38, 61-91.

Uttinger, H. 1962: Die Dauer der Schneedecke in Zürich. Archiv f. Meteorol., Geophysik u. Bioklimatol., Serie B, Bd. XIII, 404-421.

Weikinn, C. 1958-63: Quellentexte zur Witterungsgeschichte Europas von der Zeitenwende bis zum Jahre 1850. 4 Bde. Akademie-Verlag, Berlin.

Zumbühl, H. 1980: Die Schwankungen des Grindelwald-Gletschers in den historischen Bild- und Schriftenquellen des 12.-19.Jahrhunderts. Ein Beitrag zur Gletschergeschichte und Erforschung des Alpenraumes. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 92.

Anschrift der Autoren:

Dr. Christian Pfister
Prof. Dr. Bruno Messerli
Dr. Paul Messerli
Dr. Heinz Zumbühl
Geographisches Institut der Universität Bern
Hallerstr. 12
CH-3012 Bern