

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Luzern
Band: 29 (1987)

Artikel: Die Alpen im Eiszeitalter
Autor: Hantke, René
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-523494>

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: 04.04.2026

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

Die Alpen im Eiszeitalter

RENÉ HANTKE

Zusammenfassung

Die Geschichte des Eiszeitalters der Alpen kann nur multidisziplinär nachgezeichnet werden. Talbildungen hängen von tektonischen Strukturen, Gestein und Klima ab. Dieses beeinflusst die Lage des Meeresspiegels, Land-Meer-Verteilung, Vegetationsdecke und Erosion.

6 pleistozäne Vereisungen sind bekannt: in den Alpen werden sie belegt durch von Moräne eingedeckte Schluchten, im Vorland durch die Lage der Schotterfluren, ihren Geröllinhalt sowie durch Floren und Faunen der Interglaziale.

In der Schweiz wurden die Deckenschotter nicht fluvial zerschnitten, sondern durch randliche Schmelzwässer von durch Täler vorgestossenen Gletschern geschüttet. Rekonstruktionen der Talgeschichte geben Hinweise auf tektonische Ereignisse und Eintiefung. Im Jura wurden Klusen als mit der Faltung eingetieft betrachtet; mit ihr treten aber stets Blattverschiebungen auf, so dass die Schmelzwässer vorgezeichnete Austritte vorfanden.

In den Maximalständen von Mindel- und Riss-Eiszeit reichte Eis über den Jura und über die Donau; in der Würm-Eiszeit blieben die Hauptgletscher selbständig. Charakteristisch, selbst für präquartäre Gletscher, sind Diffluenzen und Transfluenzen.

Das kaltzeitliche Leben war auf S-exponierte Felssimse beschränkt, wo die Sonneneinstrah-

lung für kurze Vermehrungszyklen ausreichte. Geographische Isolation erlaubte eine Merkmalsfixierung und damit die Entstehung neuer Arten.

Der Abtrag von losem Schutt erfolgt 100- bis 1000mal rascher als von festem Gestein, vorab bei fehlender Walddecke.

Karten sukzessiver Eisstände zeigen neben dem Abschmelzvorgang, dass dieser rasch und simultan erfolgt ist. Bei Vorstössen blieben Haupt- gegenüber Seitengletschern wegen ihren längeren Wegen zurück. Vorstösse werden durch eisgestaute Sedimente belegt.

In den Interglazialen waren die Täler von Seen erfüllt, Jura, Mittelland und Voralpen von dichten Wäldern bestockt. Die alpine Waldgrenze lag höher; der Abtrag war auf die Gipfelregion und auf tektonisch beanspruchte Gebiete beschränkt.

In den Zentralalpen stand das Eis in den grössten Eiszeiten bis über 2800 m, in der Würm-Eiszeit bis nahezu 2700 m.

Die höchste persistierende Moräne erreichte fast 200 m. Die subaquatischen Wälle im Vierwaldstättersee wurden bei Vorstössen geschüttet; im Spätwürm waren die abgedämmten Becken eiserfüllt. Der mehrfache rasche Klimawechsel begann nicht erst in der Plio/Pleistozän-Wende; ähnliche Wechsel haben sich schon früher ereignet, was präquartäre Schotter und Geschiebe belegen.

Alpine Quertäler sind kaum U-förmig. Kalke brechen steil ab; Mergel führen zu flachen Ge-

hängen: U-Formen werden durch Schutt vorge-täuscht, der sich an Wandfüßen ansammelt.

Bei Alpenpässen ist die Eintiefung recht bescheiden. Die niedrigsten, Reschen und Brenner, sind tektonisch vorgezeichnet, im Passbereich flach und von Inn-Eis überflossen. Dieses wurde jedoch von Etsch-Eis gestaut, was die Erosionswirkung einschränkte. Über dem Gardasee ist die erste Kaltzeit durch Konglomerate mit grossen Geschieben und hohe randliche Transfluenzen von Lokaleis belegt. Dann erfolgte ein erneutes Emporheben.

Eine widerspruchsärmere Deutung geologischer Fakten erlaubt damit, die Vorgeschichte der Eiszeiten bis in die Molassezeit zurückzufolgen und die Klimawechsel auch erdgeschichtlich zu fassen.

Résumé

Seuls des efforts multidisciplinaires permettront de retracer l'histoire du Quaternaire alpin. La formation des vallées dépend de la tectonique, des propriétés des roches et du climat. Ce dernier détermine le niveau de la mer, la répartition des terres, la végétation et l'érosion glacio-fluviale.

6 glaciations pléistocènes ont été reconnues; elles se caractérisent: dans les Alpes par des gorges remplies de moraines, dans l'avant-pays par la position des cailloutis sur le soubassement ainsi que par les flores et les faunes interglaciaires. En Suisse, les Cailloutis de couverture n'ont pas été entaillés par l'activité fluviale interglaciaire; ils furent déposés par des eaux de fonte marginales des glaciers s'écoulant dans des vallées préformées. La reconstitution de leur histoire fournit des indications sur les événements tectoniques et sur la vitesse du creusement. Dans le Jura et dans les Alpes helvétiques l'enfoncement des cluses, considéré comme simultané au plissement, est dû aux décrochements contemporains favorisant le passage des eaux. L'englacement du Mindel et du Riss déborda le Jura et dépassa le Danube; au Würm toutefois, les grands glaciers du versant N ne parvinrent plus à se réunir. Diffluences et transfluences caractérisent aussi les glaciers préquaternaires.

Seules des plantes peu exigeantes, possédant un cycle de reproduction court, réussirent à survivre dans des endroits favorables. L'isolement géographique permit la fixation des caractères et l'origine de nouvelles espèces. Durant les périodes de végétation rase, l'érosion du matériel

détritique est 100 à 1000 fois plus rapide que la dénudation des roches.

Les cartes de stades isochrones démontrent que la glace tardiwürmienne fondait assez vite. De plus, elles indiquent aussi des progressions, soulignant le décalage des glaciers principaux par rapport aux latéraux. Les avancées sont prouvées par des sédiments barrés par la glace.

Durant les interglaciaires, les vallées étaient remplies de lacs, des forêts denses couvraient le Jura, le Moyen-Pays et les Préalpes. La limite de la forêt alpine était plus élevée et l'érosion active uniquement autour des cimes et des régions tectonisées. Dans les Alpes centrales, pendant le Mindel et le Riss, la glace atteignit plus de 2800 m et presque 2700 m durant le Würm.

La moraine persistante la plus haute mesure presque 200 m. Les moraines subaquatiques du Lac des Quatre-Cantons furent accumulées par des glaciers en progression. Entre les deux stades de retrait la glace occupait les bassins.

Des changements de climat, démontrés par d'anciens cailloutis et la formation à blocs périgrins, s'installèrent déjà au Pliocène. Dans les Alpes helvétiques, les vallées transversales ne montrent guère la forme en U, sauf aux endroits où des débris se sont accumulés aux pieds des parois.

Sur des cols alpins, même les plus bas, le Reschen et le Brenner, l'enfoncement était très faible. Plats à leur sommet et d'origine tectonique, de la glace de l'Inn tâchait de transfluire, mais celle de l'Adige la bloqua et réduisit ainsi la force érosive.

Au-dessus du Lac de Garde, des conglomérats grossiers prouvent les premières glaciations. Ils sont dus à deux mécanismes: des transfluences marginales élevées et des soulèvements sudalpins. De nouvelles interprétations des faits géologiques donnent la possibilité de retracer l'histoire jusqu'à la période molassique et d'y reconnaître les principes du changement climatique.

Abstract

The Quaternary history of the Alps needs multidisciplinary investigations. Valley formation depends on tectonic structures, rock properties and climate. The latter is responsible for sea level, land-sea distribution, vegetation, timberline and also for erosion.

6 Quaternary glaciations are recognized: in the Alps by moraine-filled gorges in rock bars, in the

foreland by the position of the gravel sheets on bedrock, the pebble content and by flora and fauna of interglacial deposits. In Switzerland cover gravels were not dissected by interglacial fluvial action, but were deposited by marginal meltwater of glaciers advancing in already existing valleys. Reconstructions of valley history give indications of tectonic events and deepening rates.

In the Jura Mountains the deepening of cluses was believed to be simultaneous with folding, but with it also transform faults were formed, so that meltwaters found pre-existing gates.

In the Mindel and Riss maxima the glaciated area reached beyond the Jura Mountains and the Danube. During the Würm the main glaciers could not join any more. Characteristic, even for pre-Quaternary glacier activities, are diffluences and transfluences.

Life was restricted to S-exposed rock ledges where solar radiation was high enough for short life cycles. Geographic isolation allowed fixation of characters and the origin of species.

The denudation of loose mass proceeded 100 to 1000 times faster than that of solid rocks, mainly where wood cover was missing. Maps of synchronous ice stages show not only melting processes of Würm ice, but also indicate that the retreat was relatively fast and simultaneous. During advances the main glaciers show a delay relative to lateral ones which had shorter and steeper paths. Advances are recorded by ice dammed sediments, interpreted earlier as excavation remnants.

Einleitung

Gesamtschauen über den jüngsten Abschnitt der Erdgeschichte erlauben, gewonnene Erkenntnisse in ihren Dimensionen, Wechselwirkungen und ihrer Relativität zu überdenken und nach Gesetzmässigkeiten, nach Mechanismen, zu suchen. Zugleich regen sie an, weiter in die Vergangenheit vorzustossen, den Anfängen und Begleitumständen nachzugehen, die über 200 Millionen Jahre nach den Perm-Vereisungen des Südkontinentes wieder zu einer Vereisung geführt haben. Dabei gilt es, die Sonnen-Einstrahlung zurückzuverfolgen und im

During interglacials the valleys were filled by lakes. Jura Mountains, Lowland and Prealps were densely covered by woods. The Alpine timberline was higher so that denudation was confined to high and tectonically stressed areas.

In the Central Alps the ice reached an altitude over 2800 m in the Mindel and Riss and about 2700 m in the Würm glaciation. The maximum height of persisting moraines was nearly 200 m. Subaquatic moraines in Lake Lucerne were formed by advancing glaciers, and the basins were still occupied by tongues at two retreats.

Repeated rapid changes of climate occur yet earlier than the Pliocene/Pleistocene boundary, as proved by pre-Quaternary gravel sheets and boulders.

Transverse Alpine valleys are not typically U-shaped. The weathering slopes are steep in limestone and flatter in marl; the U-shape is simulated by debris on the wall foot.

The deepening on Alpine passes is very slow. The lowest passes – Reschen and Brenner – are pre-formed tectonically and flat on the top area. The passing Inn-ice was dammed by S-Alpine Adige-ice, so that its erosion power was strongly reduced.

In the Lake Garda Alps, early glaciations are proved by conglomerates with boulders and high marginal transfluences of local ice. A final uplift of the S-Alpine area of 200 m followed.

A less contradictory interpretation of geological facts allows the history of glaciations to be traced back to Molasse time and the laws of climatic change to be recognized by geologic methods.

erdgeschichtlichen Repertoire Umschau zu halten nach Ablagerungen, Ausräumungen, Schichtlücken, die nicht ins «gängige Konzept» passen, so dass nicht Thesen zu Fakten zu erstarren drohen.

Die Erdgeschichte eines über 200 000 km² grossen Areals kann nur multidisziplinär in zahlreichen Talsystemen angegangen, und die Ergebnisse müssen miteinander in Beziehung gebracht werden. Wie in der Geschichte werden auch in der Erdgeschichte vorab Katastrophen festgehalten. Der «erdgeschichtliche Alltag», langsam wachsende Sedimentfolgen und sanftes Einschneiden der Flüsse, findet wohl seinen Niederschlag;

doch beeinträchtigt er das von Gestein, Strukturen und Klima bestimmte Geschehen erst in geologischen Zeiten. Auf Fakten sich gründende Bilder gilt es zu mehren und in zeitlicher Folge, zu einem «erdgeschichtlichen Film», aneinander zu reihen, um zu einem immer widerspruchärmeren Ablauf zu gelangen. Probleme geben vorab die älteren Abschnitte auf. Beim Klima sind kurz- und langfristige Veränderungen auseinanderzuhalten: mit Hilfe fossiler Floren und deren Vergleich mit heutigen, mit Messungen stabiler Isotopen an marinen Organismen, von sich veränderndem Meeresspiegel und sich wandelnder Land-See-Verteilung.

Findlinge als Zeugen der Eiszeit

Fremdgeschiebe aus entfernten Einzugsgebieten wurden schon vom Neolithiker gesammelt. Findlinge, Blöcke aus fremden Ursprungsgebieten, sind erst in der 2. Hälfte des 18. Jh. als Zeugen einer weit grösseren Ausdehnung der alpinen Gletscher erkannt worden. Nur wenige sind herkunftsspezifisch: Windgällen-, Roffna- und Luganeser Porphyre, Punteglias-, Albula- und Julier-Granit. Schon die Präzisierung der Einzugsgebiete von Glarner- und Ilanzer Verrucano, Radiolarite, Amphibolite, Diallag-Gabbros, Habkern-Granite und Grindelwald-Marmor erheischt bereits Aufwand. Ebenso markieren Findlinge den Fließbereich der Gletscher.

Weitere erdgeschichtliche Belege für Kalt- und Warmzeiten

Mit der Erkenntnis von Eiszeiten im frühen 19. Jh. wurde klar, ihre Zeugen – Moränen mit Findlingen, vorgelagerte Schotter, randliche Abflussrinnen, ehemalige Zungenbeken – liegen stets mit Hiäten auf älteren Ablagerungen, hiezuland meist auf Molasse; ihr Floren- und Fauneninhalt belegt warmzeitliches Klima. Ablagerungen des

Eiszeitalters stellen sich stets über vorgezeichnetem Relief ein, das vom Eis überprägt worden ist.

Wie viele Kalt- und Warmzeiten umfasste das Eiszeitalter?

Um 1850 haben HEER im Zürcher Oberland und MORLOT im Genfersee-Gebiet erkannt, dass unter Sedimenten der letzten Kaltzeit solche einer Warmzeit mit Schieferkohlen, dann nochmals Schotter und Moräne liegen. Damit war offenkundig, dass das Eiszeitalter nicht nur Kaltzeiten – Glaziale, sondern auch Warmzeiten – Interglaziale und kühlere Interstadiale – und mindestens zwei Kaltzeiten umfasst, dass also das Klima kräftig geschwankt haben muss. Da solche Abfolgen nur an bestimmten Stellen auftreten, sind sie früher als vor Ausräumung bewahrte Relikte betrachtet worden. Doch zeigte sich immer klarer, dass sie schon primär auf diese Areale beschränkt waren. Später wurden drei, lange Zeit vier, dann fünf, seit einigen Jahren sechs pleistozäne und einige pliozäne Eiszeiten unterschieden; es stellt sich daher auch die Frage nach ihrer Anzahl.

Im Felsriegel zwischen Innertkirchen und Meiringen belegen nunmehr sechs von Moräne eingedeckte Aare-Schluchten, welche die Aare nach jeder Eisüberfahrung längs Klüften neu eingetieft hat, eine minimale Zahl von Eiszeiten (Fig. 1). Zugleich zeigen diese, dass die Eintiefung sich vorab auf Schluchten beschränkte, dort rund 100 m betrug und der Abtrag auf dem Riegel sich sehr in Grenzen hielt.

Bis 1970 waren aus dem Schweizer Alpen-Vorland nur von der Basis des Tieferen Deckenschotter bei Rheinfelden Zeugen einer älteren Warmzeit mit Hemlocktanne als Tertiärrelikt bekannt. Bohrungen im Mittelland mit unterschiedlichen Vegetationsabfolgen erbrachten WELTEN (1982, 1987) die Existenz einer vorletzten Warmzeit. Zugleich wurde dadurch klar, dass nicht nur die Gletscher der vorletzten Kaltzeit die Talsohlen ausgeräumt haben, son-

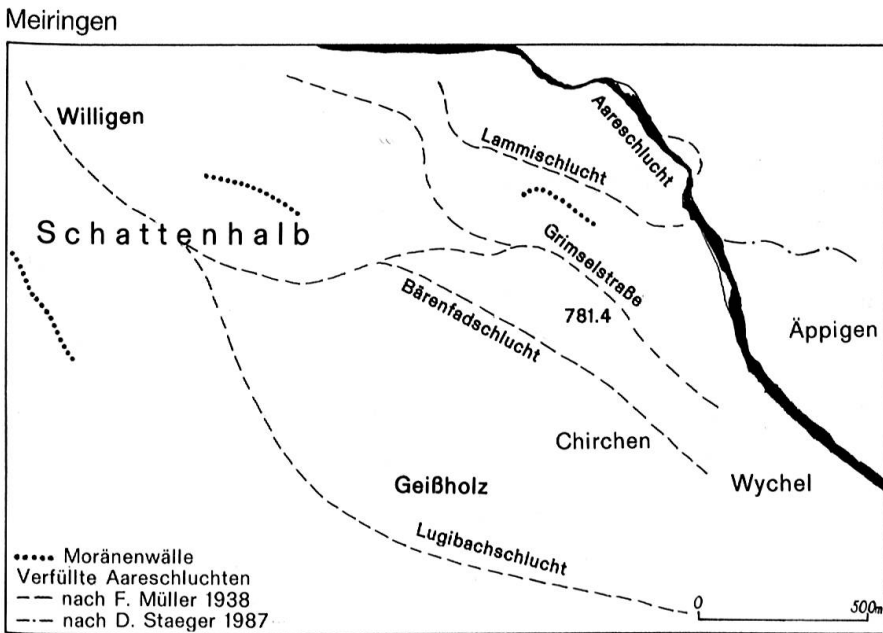
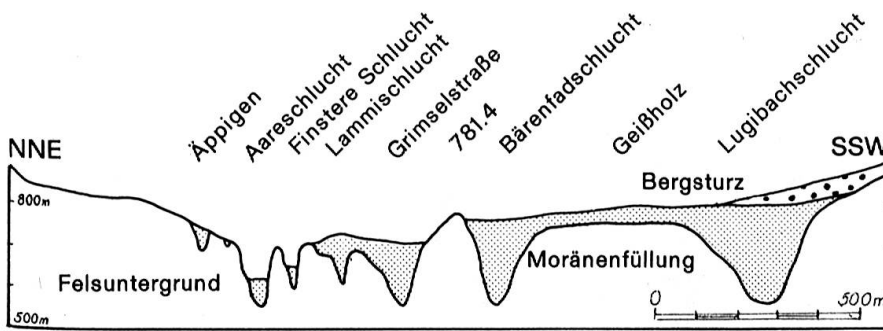


Fig 1: Die längs Klüften, im Felsriegel von Chirchen zwischen Innertkirchen und Meiringen von Schmelzwässern des Aare-Gletschers eingetieft Aare-Schluchten, die vom darüber gefahrenen Gletscher eingedeckt wurden. In der Kartenskizze liegen Innertkirchen rechts unten, Meiringen links oben ausserhalb des Ausschnittes.

dern oft schon solche einer noch älteren. Für noch ältere interglaziale Ablagerungen und Ausräumungen fehlen in der Schweiz einseitigen paläontologische Belege.

Ablagerungen älterer Kaltzeiten wurden hierzulande als von interglazialen Flüssen zerschnitten und von ihnen ausgeräumt betrachtet; diese Deutung ist – mindestens für die älteren, die Deckenschotter – zu korrigieren. Diese wurden zu verschiedenen Zeiten abgelagert; schon die Unterscheidung eines Höheren (oder Älteren), auf Molasse- und Tafeljura-Hochflächen liegenden und eines Tieferen (oder Jüngeren), auf Talflanken-Verflachungen ruhenden Schotter vereinfacht nicht durchweg zutreffend. Neben den beiden sind intermediäre und jüngere Schotter geschüttet worden; sie fügen sich nicht ins bisherige Schema ein und haben daher zu neuen Gliederungen geführt. So dann erfolgte die Deckenschotter-Schüttung

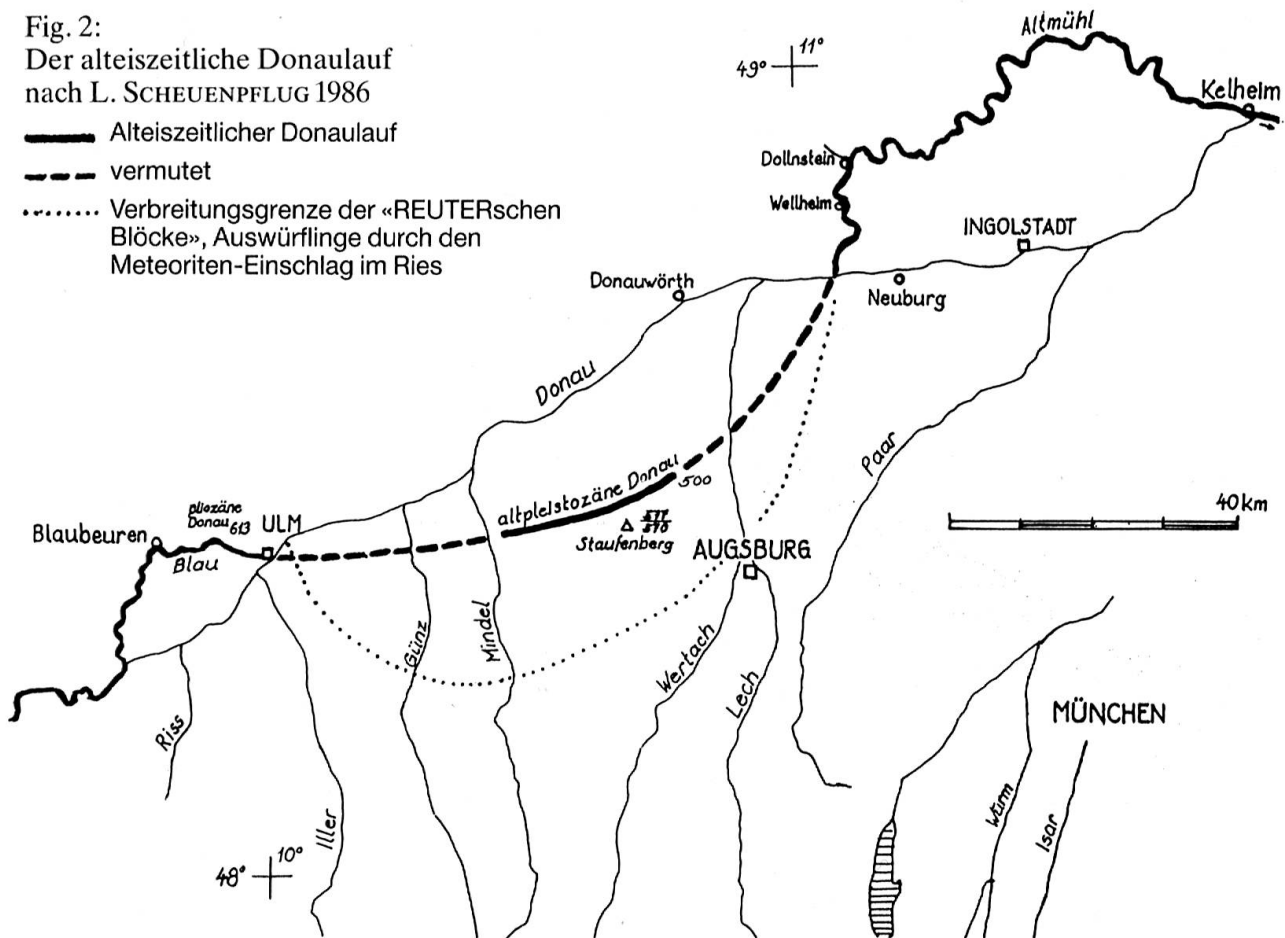
nicht nur frontal, sondern auch randlich, von Schmelzwässern von bereits in Tälern fließenden Gletschern.

Rekonstruktionsversuche der Talgeschichte

Aufgrund von Geröll- und Schwermineral-Inhalt lassen sich Aufschüttung, Talweg und Herkunft verknüpfen; sie geben Ansätze zu einer Talgeschichte. Eindrücklich ist dies beim altpleistozänen Donaulauf mit Schwarzwald-, alpinen und Alb-Geschieben. Zwischen den in die Jurakalke von Blaubeuren und dem Wellheimer Trockental – Altmühltal eingetieften Abschnitten biegt er als altpleistozäner Schotterkörper weit gegen S aus (Fig. 2).

Wo Gewässerläufe beim Zurückblättern in der Erdgeschichte sich mit früheren oder

Fig. 2:
Der alteiszeitliche Donaulauf
nach L. SCHEUENPFLUG 1986



späteren nicht mehr vereinbaren lassen, muss ein die Flussgeschichte beeinflussendes Ereignis stattgefunden haben. Die Umkehr der N-alpinen Entwässerung aus einer älteren E-W-Richtung in der jüngeren Molassezeit in eine W-E-Richtung, zur Donau, unterblieb; sie erfolgte erneut gegen W, durch Sundgau – Ajoie – Burgundische Pforte über Doubs – Saône – Rhône zum Mittelmeer, was Sundgau-Schotter belegen. Sie enthalten alpine Geschiebe – Walliser Kristallin, Verrucano, Radiolarite, Kieselkalke, Taveyannaz-Sandsteine – und, vor den Jura-Ketten, bis 50 Prozent aufgearbeitete Vogesen-Gerölle – rote Porphyre, feinkörnige Granite, paläozoische Silte, Buntsandsteine, Quarzite. Karbonatgesteine fehlen; sie waren in der Zwischenzeit aufgelöst worden. Die Schüttung konnte erst geschehen, nachdem die Hoahrhein-Talung längs

Störungen im jüngsten Pliozän niedergebrosen war. Damit wurde die Entwässerung des Mittellandes aus dem untersten Aare-Tal durch die Wutach – Aitrach-Talung aufgelassen und durchs Hoahrheintal umgelenkt. Im Sundgau beträgt die Eintiefung von Ill und Largue als Schmelzwasser vom verfirnten Glaserberg und vom Largwald seit der Schüttung der Sundgau-Schotter knapp 100 bis 30 m. Die Abflussadern waren tektonisch vorgezeichnet. Die Eintiefung in die oligozäne Molasse dürfte sich um 0,05, in Kaltzeiten um 0,5 und in Warmzeiten um 0,005 mm/Jahr bewegt haben. Damit sind die Raten vergleichbar mit jenen in Schwaben, wo PENCK vor 90 und EBERL vor 60 Jahren ihre Gliederung des Eiszeitalters aufgestellt und sich dabei auf das Eintiefen der Schmelzwasser in kaum verfestigte miozäne Molassesande und -mergel gestützt haben.

Durch erneute tektonische Bewegungen in der Oberrheinischen Tiefebene sowie Jura und Vogesen erfolgt die Entwässerung seither zur Nordsee. Damit hat das Schweizer Talsystem ungefähr seine heutige Gestalt erreicht.

Die Geschehen im ausgehenden Tertiär und beginnenden Quartär

Im Jura sollen sich Flüsse antezedent, also bereits bestehend und mit dem Aufstau der Falten sukzessive eingetieft und Klusen gebildet haben. Die Überprüfung der Durchbrüche hat jedoch gezeigt, dass mit dem Aufstau der Falten stets auch starre Deformationen, Brüche und Blattverschiebungen einhergingen. Wasser und – in Kaltzeiten Eis und Schmelzwässer – fanden vorgezeichnete Tore vor.

Als Peneplaine gedeutete Verflachungen hängen mit Gewölbe-Aufbrüchen zusammen. Über ihnen bildeten sich in Kaltzeiten, vorab auf N-Abdachungen, Firne. «Pliozäne Verwitterungslehme» mit Vogesen-Geröllen sind als Jura-Moräne mit Schüttungserbe der Vogesen-Schüttungen zu deuten. Jura- und eingedrungenes alpines Eis reichten zur Mindel- und Riss-Eiszeit bis an den Rand des Delsberger Beckens und der Ajoie, zur Würm-Eiszeit bis in die Täler von Tabeillon und Sorne bzw. zur Quelle der Birs.

In den *Alpen* hatten weit grössere Schneeeakkumulationen in Aufbauphasen der Kaltzeiten zu immer zusammenhängenderen Firnflächen geführt. Mit ihrer Zunahme wuchs auch die Rückstrahlung, die Albedo, damit sank die Strahlungsaufnahme, besonders als immer grössere Bereiche ins Mittelland austretender Gletscher in die Firnregion rückten und die Niederschläge dort vorwiegend als Schnee fielen. In den Tälern stellten sich oft Temperatur-Inversionen ein, über dem Mittelland Hochnebeldecken, über dem Eis Dunstschleier. Dadurch wurde das vorrückende Eis weitgehend vor sommerlichem Abschmelzen bewahrt und konnte – dank stetigen Nachschubes – unter

sommersüber feuchtkühlem Klima weiter vorstossen. In den ältesten Ständen reichten Helvetisches und Rhein-Eis bis Koblenz, in der Kaltzeit des Tieferen Deckenschotters bis Laufenburg, in der grössten, der Riss-Eiszeit, bis gegen Möhlin, 20 km E von Basel. In der Würm-Eiszeit vermochten sich Aare/Rhone-, Reuss- und Linth/Rhein-Gletscher in den äussersten Ständen nicht mehr zu vereinigen; ehemalige Zungenbecken wurden daher mit Schottern gefüllt.

Das Leben während der Eiszeiten

Neben vom Gletscherwind zu Permafrost-Böden erstarrten Vorfeldern bildeten vom Eis abgedämmte Kaltluft-Seen vegetationsfeindliche Tieftemperatur-Bereiche. Doch sind Vergleiche eiszeitlicher Landschaften mit arktischen Nunatakk-Gebieten nur bedingt richtig. Der Temperatur-Gang erfolgte stets unter 47° n. Br., bei sommerlichen Sonnenständen um 66° und stieg an S-Hängen kräftig an. Diese boten mit ihren Felsimsen bei sommersüber reicher Strahlung und feuchtigkeitsspendenden Firnkappen anspruchlosen alpin-nivalen Pflanzen und Kleintieren Zufluchtsstätten. Von den Reliktstandorten im Jura, in den N- und S-alpinen Randketten vermochten sie sich in klimatisch günstigeren Zeiten wieder auszubreiten. Selbst in den Zentralalpen fanden sich steile eisgeschützte Plätze, die widerstandfähigen Formen mit kurzem Lebenszyklus ein Überleben ermöglichten. Geographische Isolation förderte die Merkmalfixierung und damit die Art-Bildung.

Die Feingliederung der Zeitskala

Um Ergebnisse einzelner Fluss- und – in Kaltzeiten – Gletschersysteme miteinander vergleichen zu können, ist die Zeitskala fein zu unterteilen; nur so wird eine exakte Korrelation möglich. Für die jüngste Zeit bieten historische Daten und datierte Wiedergaben, für prähistorische Zeiten Jahrring-

Analysen die exakteste Methode. In See-Sedimenten gestatten einmalige Ergebnisse – Einleiten der Kander in den Thuner See (1714), der Linth in den Walensee (1811) – die Bestimmung der Sedimentationsraten und eine Extrapolation in ältere Abschnitte. In zunehmend weniger entwaldeten Zeiten lag diese tiefer; umgekehrt stieg sie mit ausfallender Bewaldung kräftig an. Moderne ^{14}C -Datierungsmethoden erlauben mit immer kleineren Mengen Resultate zu gewinnen, und U/Th-Daten ermöglichen immer weiter in die Vergangenheit vorzustoßen.

Die Vegetationsentwicklung

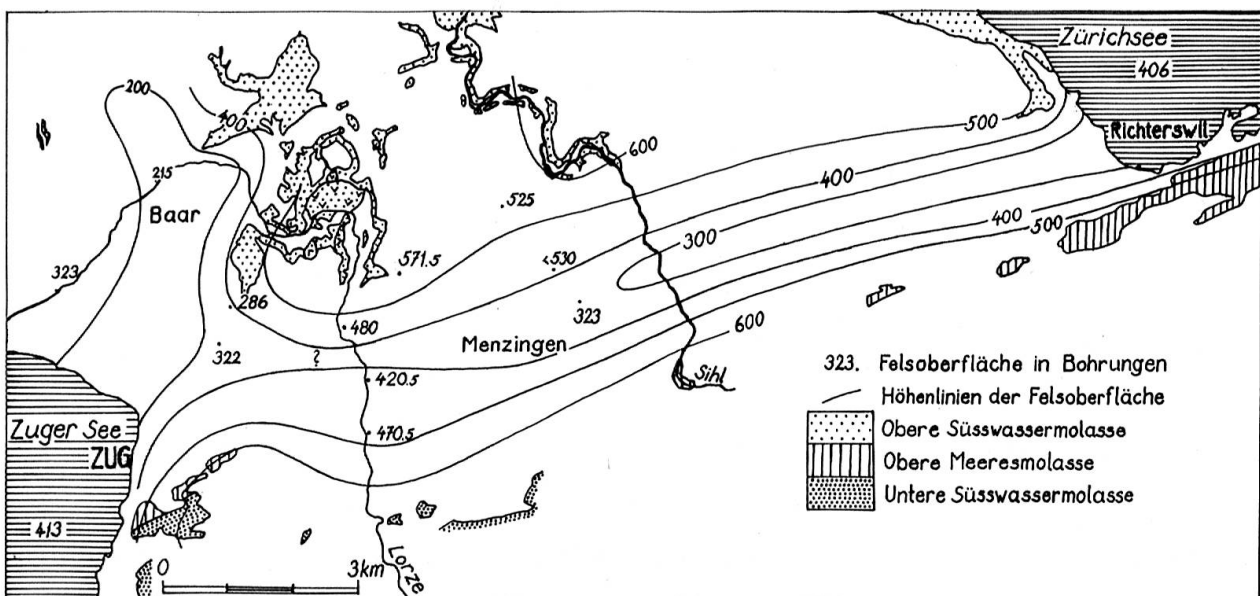
Pollen-Analysen in Mooren ermöglichten die Waldgeschichte der Nacheiszeit nachzuzeichnen. In N-Deutschland wurde die Methode früh auf prähistorische Sedimente ausgedehnt. Neben progressiver Verarmung an alten Formen zeigen sich in der Entwicklung Unterschiede N und S der Alpen sowie in atlantischen zu kontinentalen Bereichen. Doch haben sich nicht nur an heutigen Arten reichere Gesellschaften eingestellt; auch die Rückwanderung von den Refugien ging verschieden vor sich.

Talfüllungen im Alpen-Vorland

Da Verfüllungen breiter Täler nur selten auftreten, kommt solchen eine grosse Persistenz zu. Eine mit eiszeitlichen Sedimenten eingedeckte Rinne verbindet den oberen Zürichsee mit dem Zuger See. Bohrungen erbrachten nach L. WYSSLING (1987) den Fels in Tiefen von 364 m um Menzingen und 147 m um Zug. Die frühere Rinne erbrachte jedoch keine tiefliegende Seesedimente, so dass eine allfällige Verbindung der beiden Seen wohl präindeltzeitlich erfolgt sein muss (Fig. 3).

Talbildung in Lockergesteinen

In intakten Gesteinsabfolgen geht der Abtrag recht langsam vor sich; zerscherte und versackte Massen zerfallen dagegen weit rascher, vorab beim Fehlen schützender Walddecken. Doch dauerte die Talbildung in solchen Gebieten, etwa in jenen, die den Sackungsporn der Schattdorfer Berge SE von Altdorf begrenzen (Fig. 4), nicht nur im Spätwürm und Holozän an, sondern begann aufgrund der austretenden Schuttfächer schon in der Würm-Eiszeit und gar noch früheren Vorstoss- und Abschmelzphasen.



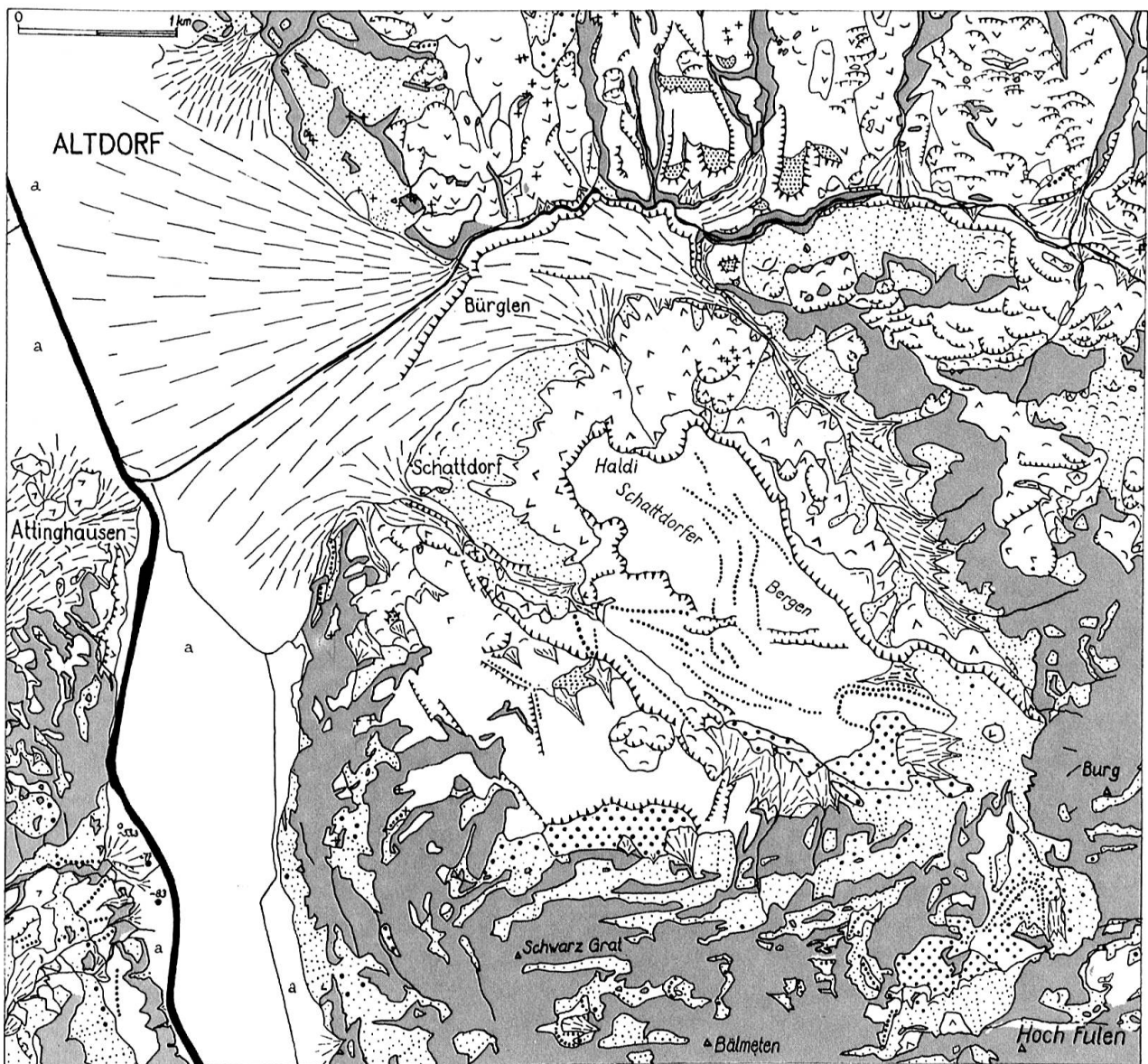


Fig. 4: Die Sackungsmasse der Schattdorfer Berge und der Bachschutfächer aus Rieder- und Schächental, nach W. BRÜCKNER et al. 1987.

Veröffentlicht mit Erlaubnis der Geologischen Landesaufnahme vom 15.6.87.

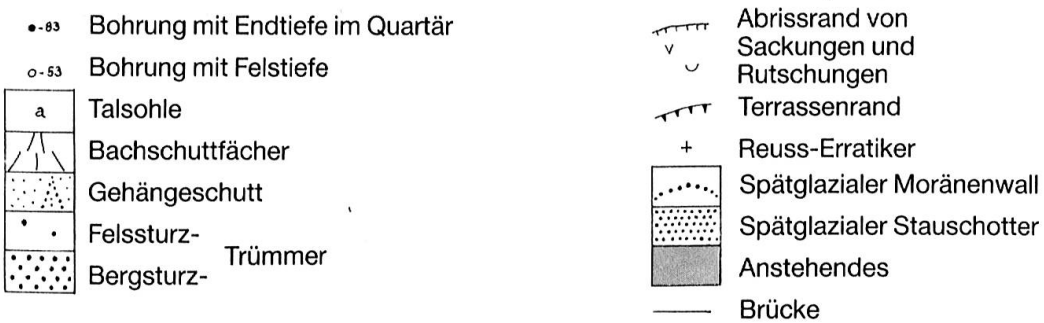
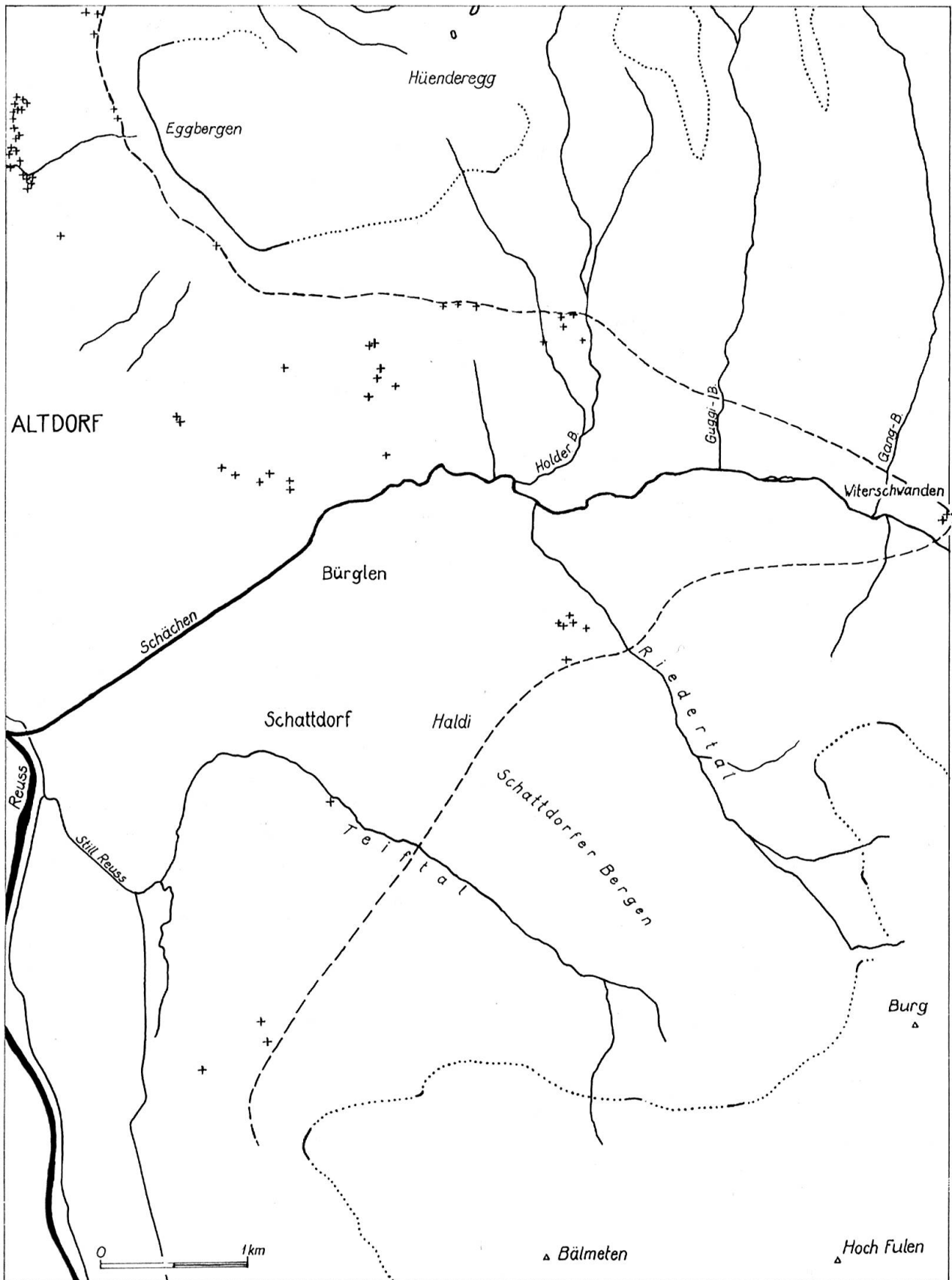


Fig. 3: Die von quartären Sedimenten erfüllte Rinne zwischen oberem Zürichsee und Zuger See, nach L. WYSSLING 1987.



+ Kristalline Reuss-Erratiker
O Rundhöcker

--- Grenze zwischen Reuss-Eis und zugeflossenem Eis
..... Maximale würmzeitliche Eishöhe

Damit fällt das Niederbrechen der von Würm-Moränen gekrönten Sackung der Bälmeten-Hochfulen-Kette sicher ins Präwürm.

Diffluenzen und Transfluenzen, Kennzeichen für Gletschertäler

Im Gegensatz zu Flusssystemen treten bei Gletschertälern zuweilen Diffluenzen auf. Neben praktisch niveaugleichen Talgebungen – Sargans, Brunnen, den Böden der südlichen Luganer Seearme, wo sich Rhein-, Reuss- bzw. Tessin/Adda-Gletscher aufgespalten haben – existierten Transfluenzen mit unterschiedlicher Höhe: aus dem Zürichsee-Tal ins Glatt- und Kämpttal (um 150 m), von Schwyz gegen Biberbrugg (um 500 m) und zum Aegerisee (um 350 m), von Luzern über die flachen Sättel ins luzernisch-aargauische Mittelland (um 100 m), von Meiringen über den Brünig nach Obwalden (um 600 m), vom Genfersee ins Westschweizer Mittelland (400–600 m), vom Comer- zum Luganersee (480 m) und von der Magadino-Talsole über den Ceneri ins Luganese (um 500 m). Sie brachten Geschiebe und Findlinge von einem Einzugsgebiet in ein benachbartes und belegen damit ein Überfließen von Eis. Da sich solche Transfluenzen schon eh und je analog ereigneten, kommt ihnen für den Nachweis präquartärer Kaltzeiten grosse Bedeutung zu.

Karten synchroner Abschmelzstände als Ausdruck des Eisabbaues

Schotterfluren, Moränen, Abflussrinnen, Erratiker, Diffluenzen und Transfluenzen, reliktsche Pflanzen und Tierarten gestatten – neben den grössten und der letzten Kaltzeit – für die einzelnen Abschmelzphasen

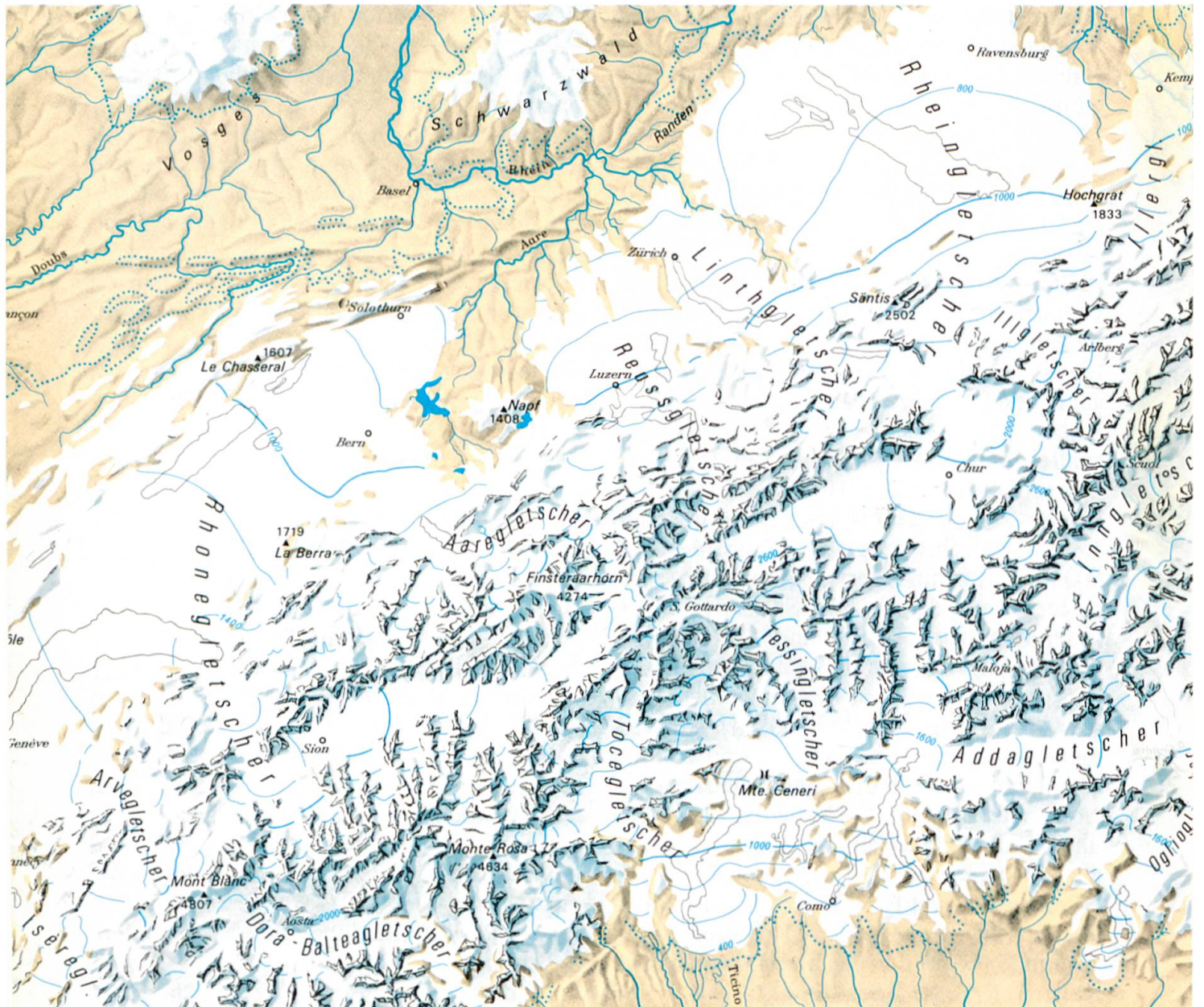
Karten zu entwerfen (Fig. 6 a u. b). Diese sollen versuchen, die Landschaft jener Zeiten und den Abschmelzvorgang nachzuzeichnen. Dabei zeigt sich, dass die Spätwürm-Stände N- und S-alpin – durch Pollenprofile mit ¹⁴C-Daten abgestützt – sich gut miteinander korrelieren lassen. Sie geben den Eisabbau und die unter generell sich besserndem Klima erfolgten Wiedervorstösse wieder. Da sich diese über die ganzen Alpen in ähnlicher Weise verfolgen lassen, sind sie relativ rasch und gleichzeitig erfolgt. Wetter- und lokalklima-bedingte Schwankungen einzelner Regionen haben sich ausgeglichen.

Der Eisaufbau

Umgekehrt zeichnet sich beim *Eisaufbau* eine Verzögerung der Haupttal- gegenüber den Seitengletschern ab. Diese vermochten – infolge des steileren Gefälles – rascher vorzurücken: der Wägital-Gletscher bis in die Linthebene, der Sihl-Gletscher bis über Samstageren. Erst beim späteren Vorstoss konnten die Haupttalgletscher – dank laufender Zuschüsse – «aufholen», sich stärker entfalten und die Seitengletscher mehr und mehr zurückdrängen. Diese mündeten immer weiter taleinwärts und erreichten die Hauptgletscher nur über talwärtige Geländekanten.

Während Abschmelzstaffeln sich durch Moränenwälle zu erkennen geben, sind Vorrückstände durch randliche Stausedimente belegt. Diese wurden als zusammenhängend und durch spätere Vorstösse ausgeräumt gedeutet. Doch zeigt sich, dass sie nur an bestimmten Stellen vom Eisrand aus geschüttet und nicht durch ausgeräumte Felsriegel, sondern durch Eis gestaut worden sind. Liegen darüber abdämmende Seelehme, konnten sich Verlandungsabfolgen mit

Fig. 5: Die am weitesten ins untere Schächental eingedrungenen Kristallin-Erratiker ergeben den Grenzbereich zwischen Reuss- und zugeflossenem Schächen-Eis, nach W. BRÜCKNER et al. 1987 und R. HANTKE.



Letzte Eiszeit

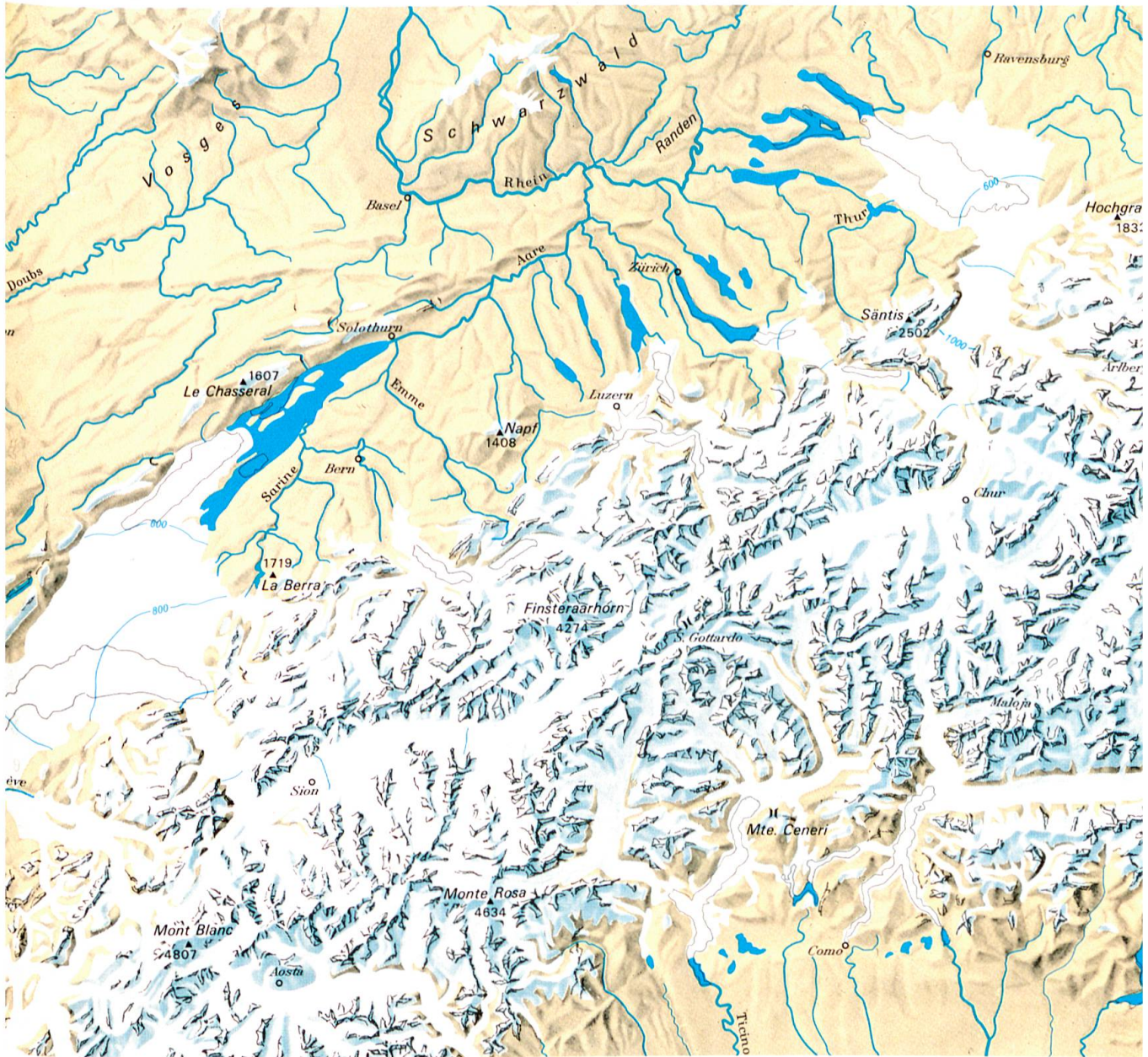
1 : 2 000 000
5 mm $\hat{=}$ 10 km

Maximalstand der Gletscher in der Würmeiszeit
 in diesem Stadium fern- oder eisbedeckte Gebiete
 stets eisfreie Gebiete

Maximalstand des Gletschers in der Risszeit
 ausgewählte Höhenkurven der Gletscheroberfläche, Äquidistanz 200 m

Fig. 6a: Maximalstand.

Fig. 6a und 6b: Die Schweiz zur letzten Eiszeit: Maximalstand. – Die Schweiz im frühesten Spätglazial: Stand von Rapperswil–Hurden = Konstanz im Rheinsystem. – Von R. HANTKE und E. SPIESS. Aus: Schweizer Weltatlas 1981.



Letzte Eiszeit

1 : 2 000 000
5 mm $\hat{=}$ 10 km

- Abschmelzstadium der Gletscher in der Würmeiszeit
- firn- oder eisbedeckte Gebiete
- eisfreie Gebiete

im Vorstoss: Linthebene, Berner Seeland, Genfersee, Luganese
im Rückzug: Konstanz, Hurden, Neuenburg, Genfer Becken, Melide

Fig. 6b: frühestes Spätglazial.

zu Schieferkohle gepressten Torfen bilden. So schrumpfen als ausgedehnt postulierte Schotter-Schüttungen schon primär auf kleine Sedimentmengen zusammen.

Fels- und Bergsturz-Trümmer wurden nur zum Teil von vorstossendem Eis ausgeräumt; bei intensiver Gesteinszerscherung wurden oft schon früher niedergebrochene Trümmer vom Eis überfahren und von jüngerem Abschmelz-Sturzgut überschüttet.

Der Nachweis trennender Warmzeiten

In den Warmzeiten waren ausgekolkte Talbecken von Seen erfüllt; flachere Bereiche verlandeten und verwandelten sich in Moore. Beim nächsten Eisvorstoss wurden sie teils wieder ausgeräumt, so dass Warmzeiten oft nur relikthisch belegt sind. Jura, Mittelland und Voralpen waren bis auf Steilabfälle, Seen und Moore dicht bewaldet. Auch in den Alpen lag die Waldgrenze aufgrund paläobotanisch belegter Temperaturen und ausgeschmolzener Firnbecken um einige hundert Meter höher. Dadurch war der mechanische und chemische Abtrag reduziert und auf höhere und tektonisch vorgezeichnete Areale beschränkt.

Die Höhe des Eispanzers

Aufgrund höchstgelegener Moränenwälle ergibt sich, dass Rhone- und Aare-Gletscher im Grimsel-Gebiet noch im letzten Spätwürm, vor 10 000 Jahren, bis auf 2200 m gereicht haben. Im Würm-Maximum stand das Eis in diesem Vereisungszentrum bis

gegen 2700 m, im Riss-Maximum gar über 2800 m, so dass – wie im Oberengadin, auf dem Arlberg, in den Münstertaler Alpen – nur die höchsten Gipfel emporragten, wobei das Eis nach drei Seiten abfloss (Fig. 7). Hochgelegene Mittelmoränen im alpinen Raum bekunden Mindest-Eishöhen (Fig. 8).

Die höchsten Moränenwälle

Die mit 220 m Höhe höchste Schweizer Moräne, die Chammhalden auf der Schwäg-alp an der NW-Flanke des Säntis, ist als Mittelmoräne zwischen Urnäsch- und Sitter-Eis über alle Kaltzeiten geschüttet worden (Fig. 9). Die über 100 m hohen Stirnmoränen im Vierwaldstätter See bekunden kaum nur Abschmelzstaffeln eines bei Brunnen sich aufspaltenden Reuss-Gletschers; sein Zuger Lappen hat bei Ibach noch den Muota-Gletscher aufgenommen (Fig. 10 a, b). Wohl wurden die beiden nach dem Vitznau/Goldau-Stadium selbständig, was frontale Wallreste am Fuss des Urmiberges, Schotter und Moränen bei Ibach und eine Stirnmoräne des Muota-Gletschers W der Stossbahn-Talstation belegen (Fig. 10 c). Bei den unterseeischen Wällen liegt das Erbe älterer Vorstösse vor (Fig. 10 a). Engelberger- und Reuss-Gletscher stiessen im Mittelwürm bis in den Ur-Vierwaldstätter See vor, trafen E von Gersau aufeinander und schütteten diese Moräne. Die bei Vitznau und N von Stansstad stirnenden Engelberger Zungen vereinigten sich mit dem durch Alpnacher See und Drachenried vorgefahrenen Aare-Eis und kalbten im nordwestlichen See (Fig. 10 c).

Fig. 7: Das Firngebiet zwischen Adda-, Spöl- und Etsch-Gletscher. Im Bereich des Vereisungszentrums der Münstertaler Alpen zwischen Berninapass und Ortler stand das Eis auf über 2500 m. – Fels- und Eisdarstellung: Prof. E. SPIESS, Direktor des Kartographischen Institutes der ETH, Zürich-Hönggerberg. Aus: Eiszeitalter 3: Fig. 172 – Ott-Verlag, Thun.





Fig. 8: Die Mittelmoräne von Obermatten auf 1870 m SE von Thusis zwischen den würmzeitlichen Maximalständen des Hinterrhein- und des Albula-Gletschers (links). W des Kirchleins ein Taspinit-Findling vom Piz Curvèr. – Aus: Eiszeitalter 2: Fig. 106 – Ott-Verlag, Thun.

In den Frühphasen wurden die tektonisch angelegten Becken der Alpenrandseen weiter ausgeräumt. Auch die Seedämme von Rapperswil – Hurden und Melide sind kaum nur das Werk spätwürmzeitlicher Wiedervorstöße; sie sind Ablagerungen längeren und mehrmaligen Vorrückens. Dies belegen bei Hurden im Sediment eingeschlossene *Pinus*-Pollen und die Fülle an aufgearbeiteten Pollen der Zürichsee-Bohrung (C. SIDLER 1987).

*Hatte der wiederholte quartäre
Klima-Wechsel tertiäre Vorläufer?*

Dass ein Klimawandel wie der des Eiszeitalters nicht erst und so unvermittelt an der Pliozän/Pleistozän-Wende eingesetzt hat, geht schon daraus hervor, dass seine zeitli-

che Festsetzung lange diskutiert wurde und nur durch Kongress-Beschluss festgelegt werden konnte. Zudem müssten sich damals enorme Veränderungen der Erdbahn-Elemente ereignet haben; diese sind nun aber als gesicherte Faktoren für den langfristigen Klimagang erkannt worden. Zwischen der jüngsten Molasse und sicher pleistozänen Ablagerungen finden sich – neben markanten Schichtlücken – jedoch auch Bildungen, die meist nur kurz gestreift werden, da sie nicht ins Schema passen:

– Die «Wanderblock-Formation», eine wirr gelagerte Serie mit bis über 1 m grossen Geschiebe von verkieseltem Buntsandstein, die dem Tafeljura aufliegt, wurde einem Fluss-Transport vom S-Schwarzwald zugeschrieben. Ihre entkalkte, rotbraune tonige Matrix ist nicht fluvial verfrachtet worden, auch die wirre Anordnung der Geschiebe spricht nicht für Fluss-Ablagerung. Zudem



Fig. 9: Chammhalden am Nordfuss des Säntis, eine über 200 m hohe über alle Eiszeiten hinweg höher geschüttete Mittelmoräne zwischen Urnäsch- und Sitter-Gletscher. – Aus: *Eiszeitalter 2*: Fig. 43 – Ott-Verlag, Thun.

fehlen diesem postulierten Fluss Einzugsgebiet und Transportkraft. Matrix und Geschiebe sind weit eher als durchgewitterte Moräne zu deuten.

– Die *Vogesen-Schotter* im westlichen Delsberger Becken, ebenfalls wirr gelagert, kaum eingeregelt, mit bis 20 cm grossen Porphy- und Grauwacken-Geschieben aus den über 60 km entfernten S-Vogesen, vor dem Hochstau der äussersten Jura-Ketten verfrachtet, passen nicht ins Bild fluvialer Schüttungen.

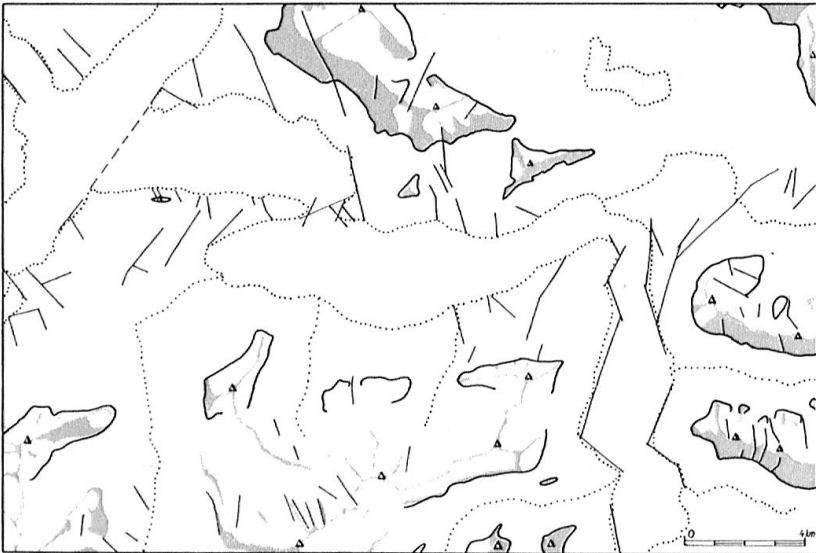
– Die mittelmiozäne *Jura-Nagelfluh*, zwischen Basel und Ulm dem Tafeljura aufliegende Konglomerat-Abfolgen mit bis 70 cm grossen Geschieben auf dem Bözberg-Plateau, meist ohne Sortierung und Einreglung, kann kaum als rein fluvial vom S-Rand des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb geschüttet, gedeutet werden. Da sich dazwischen Heliciden-Mergel und Mergel

mit wärmeliebenden Pflanzen einschalten und die Abfolge der Oberen Meeresmolasse aufliegt, wurde sie ohne Bedenken als warmzeitlich in die Obere Süsswassermolasse eingestuft. Dass die fossilführenden Feinsedimente warmzeitliches Klima belegen, ist unbestritten; doch gilt dies auch für die faziell völlig verschiedenen fossilfreien Konglomerate? Wird da nicht – wie bei den ebenfalls teils wirr, «torrentiell», geschütteten alpinen Nagelfluhen – ohne jeden Beleg gleiches Paläoklima vorausgesetzt? Bei wirren Schüttungen ist eher an kühl- bis kaltzeitliche Murgang-Verfrachtung zu denken. In Warmzeiten hätten sich nie solche Flusssysteme ausbilden können: der Schwarzwald war zu 95%, die Alpen waren zu über 70% bewaldet. Dadurch war die Verdunstung erhöht und der Abfluss weit ausgeglichener. Ist da nicht – wie im Eiszeitalter – an kurzfristige Klima-Wechsel zu denken?

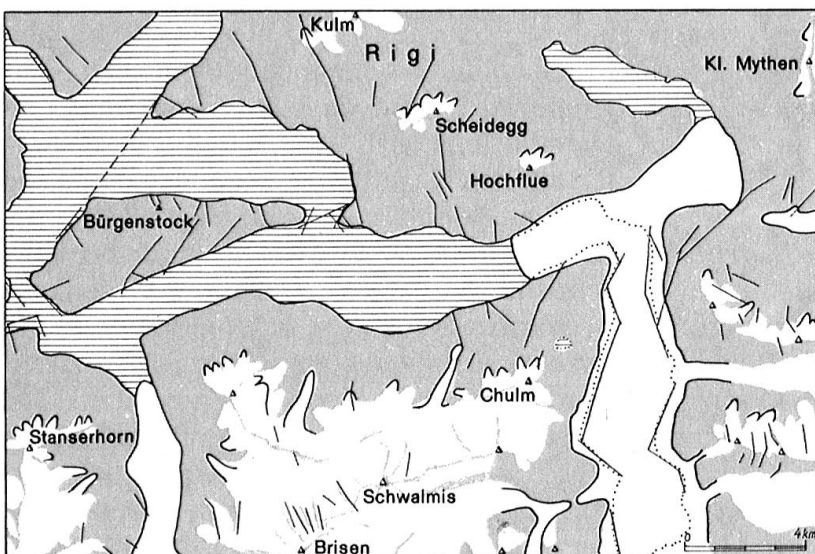


Fig. 10:

a) Während des Vorstosses rückten Reuss- und Engelberger Gletscher zunächst einerseits bis Goldau und Vitznau, andererseits bis Gersau vor, wo die beiden aufeinander stiessen.

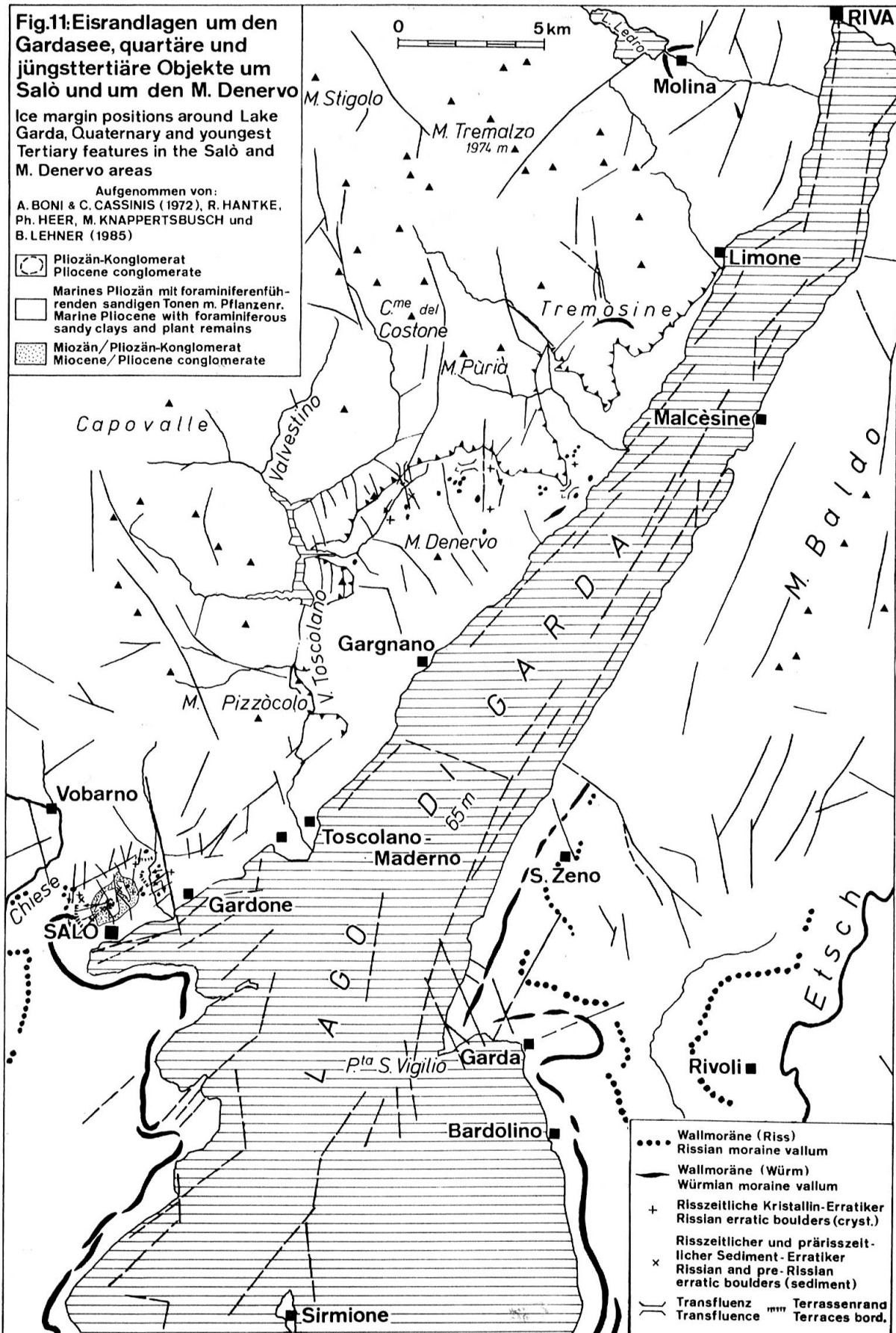


b) Die hochwürmzeitlichen Eisstände der Talgletscher mit ihren Zuschüssen ermöglichten nur an steilen Südhängen ein Überdauern einer anspruchslosen Reliktflora und -fauna.



c) Die Abschmelzstadien von Goldau/Vitznau entsprechen nahezu dem in Fig. a dargestellten Zustand.

In einer nächsten Schwankung ist der Reuss-Gletscher bis Gersau und der Engelberger Gletscher hinter Stans zurückgeschmolzen. Der Bürgenstock bildet eine Insel im wieder sich bildenden Vierwaldstätter See.



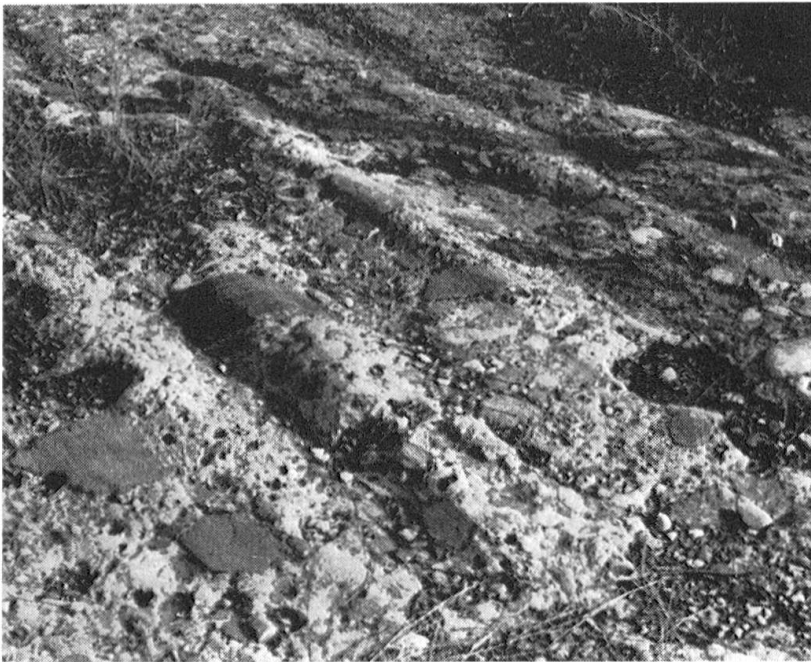


Fig. 12: Die verfestigten glazifluvialen Schotter von Cremignane WSW von Iseo (Prov. di Brescia) mit vom darüber gefahrenen Oglio-Gletscher ausgeschliffenen Rillen. – Aus: G. NANGERONI (1973): Sui monti e sulle rive del Lago d'Iseo und Eiszeitalter 3: Fig. 158 – Ott-Verlag, Thun.

Die alpinen Quertäler

In der Ostschweiz zeichnen sich vom Bodensee durchs Rheintal über die Lenzerheide zum Septimer und im Berner Oberland von Meiringen zur Grimsel und – als Relikt – über den Griespass ins Ossola-Tal bedeutende Quertäler ab. Zwischen den Reuss- und Tessin-Quellästen hat sich als späte Aufwölbung der Tessiner Decken der Gotthard ausgebildet. Der Durchbruch durch Aar-Massiv und Helvetische Decken öffnete dem alpinen Eis und seinen Schmelzwässern den Weg ins Mittelland; doch die vorgezeichneten Kerben zeigen nicht die für Gletschertäler «typische» U-Form. Selbst U-förmig erscheinende Alpentäler – Linth-, Lauterbrunnen- und Rhone-Quertal – brechen in den Kalken steil ab; die Mergel wittern zurück. Nur der niedergebroschene Schutt täuscht am Gehängefuss ein U-Tal vor.

Wurden die Alpenpässe im Eiszeitalter kräftig erniedrigt?

Die beiden niedrigsten und als «Oberer» und «Unterer Weg» geschichtlich bedeutendsten Ostalpen-Übergänge, Reschen

(1510 m) und Brenner (1370 m), folgen alten, schon bei der Platznahme der Decken entstandenen Furchen: der Reschen einer Störung in der Ötztal-Decke, der Brenner dem E-Rand der oberostalpinen Decken. Beide Passbereiche sind flach und weder fluvial noch glazial nennenswert eingetieft werden. Über beide floss etwas Inn-Eis ins Etsch-System. Im oberen Vintschgau wurde es jedoch durch Eis aus dem Langtauferer Tal, dem Münstertal und vom Ortler, im oberen Eisacktal durch solches der Tribulaun-Gruppe gestaut. Es kam so wohl zu glazialer Überprägung, aber kaum zu nennenswerter Tiefenerosion. In beginnenden und ausklingenden Kaltzeiten wirkte der Frost längs talparallelen Klüften und führte zu einer Ausweitung. In Warmzeiten waren die Pässe 300–500 m höher hinauf bewaldet; als alpine Windgassen vollzog sich durch sie stets der N-S-Austausch der Luftmassen.

Das jungtektonische Geschehen am Südalpen-Rand

In den Südalpen wurde das marine Pliozän bei bescheidenstem Abtrag schräg- bis steilgestellt. Im jüngeren Pliozän wurde der

Meeresstrand im südwestlichen Gardasee-Gebiet um über 250 m gehoben. Bei um 100 m tieferem Meeresspiegel stiessen die südalpinen Gletscher mächtig vor, füllten die Becken der insubrischen Seen und schütteten auf Kuppen bei Salò wirr gelagerte Konglomerate mit bis $\frac{1}{2}$ m³ grossen kalkalpinen Geschieben. Im ältesten Pleistozän wurde die Abfolge um weitere 200 m gehoben und an Querbrüchen verstellt. Dies fügt sich gut zu seeaufwärts um 120–150 m über mittelpleistozänen Ständen gelegenen Überprägungen und randlichen Transfluenzen. Über sie floss von Garda-Eis gestautes Lokaleis; erst weiter SW, oberhalb Salò, wurde es beckeneinwärts gedrängt. Transfluenzen mit kalkalpinen Geschieben sind auch verantwortlich für das Fehlen von Adamello-Tonaliten in den grobblockigen Konglomeraten; während solche in mittelpleistozänen Eisrandlagen häufig auftreten (Fig. 11). Verfestigte Schotter wurden auch in den Süd-

alpen vom darübergefahrenen Eis überschliffen.

Ausblick

Ergeben sich bei der Durchsicht geologischer Fakten problematischer Deutung nicht Möglichkeiten, den Ursachen der quartären Eiszeiten durch widerspruchsrähere Interpretationen nachzugehen und ihre Vorgeschichte bis in die Molassezeit zurückzuverfolgen? Sind frühere, jungtertiäre Eiszeiten in den Alpen als solche nicht erkannt worden, weil ihre Ausdehnung von den quartären überfahren worden ist, das Paläoklima fossilbelegter Warmzeiten von höheren Temperaturen ausging und Kaltzeiten neben Grobschüttungen stets auch durch Schichtlücken belegt werden? Oder weil das Schweizer Lehrbuch präquartäre Eiszeiten nicht kannte und es sie daher auch nicht geben konnte?

LITERATURVERZEICHNIS

- BRÜCKNER, W. † & ZBINDEN, P. (1987): *Blatt 1192 Schächental* – Geol. Atlas Schweiz 1:25 000 – Schweiz. geol. Komm. u. Landeshydrolog. u. -geol.
- EBERHARD, M. (1987): *Entwicklung von Sedimentation, Flora, Fauna, Klima und Relief von Mittelmiozän bis Quartär zwischen Arlberg (Voralberg/Tirol) und Adelegg (Südbayern)*. – Diss. ETH Zürich.
- HANTKE, R. (1978, 1980, 1983): *Eiszeitalter 1–3 – Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete*. – Thun (Ott).
- Histoire du relief et des cours d'eau entre le Rhin et le Danube (Canton de Schaffhouse et régions limitrophes badoises)*. – Bull. Ass. franç. étude Quatern. – 1985/2–3: 141–149.
- (1986): *Die Schweizer Jura-Nagelfluh – mehrere Schüttungen in kühl- bis kaltzeitlichen Klima-Einbrüchen im Mittelmiozän?* – Mitt. aarg. natf. Ges. 31: 53–73 – Aarau.
- (1987a): *Zur Gliederungsgeschichte des Eiszeitalters*. – (1987b): *Zur jungtertiären Geschichte des Alpen-Rheintales*. – Mitt. österr. geol. Ges.: im Druck. / Wien – 1.
- IMHOF E./SPIESS, E. (1981): *Schweizer Weltatlas* – Lehrmittelverlag Kts. Zürich.
- MÜLLER, F. (1938): *Geologie der Engelhörner, der Aareschlucht und der Kalkkeile bei Innertkirchen (Berner Oberland)*. – Beitr. geol. Karte Schweiz NF 74 – Schweiz. geol. Komm.

- PENCK, A., & BRÜCKNER, E. (1901–09): *Die Alpen im Eiszeitalter*. – Leipzig (Tauchnitz).
- SCHEUENPFLUG, L. (1986): *Die altpleistozäne Donau in Bayrisch-Schwaben – Gesteinskunde löst ungeklärte Fragen*. – Aufschluss 37: 213–224 – Heidelberg.
- SIDLER, C. (1987): *Palynologie du Pléistocène supérieure compris entre Zoug, Zurich et Baden AG*. – Thèse EPF Zurich.
- WELTEN, M. (1982): *Pollenanalytische Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördlichen Alpenvorlandes der Schweiz*. – Beitr. geol. Karte Schweiz NF 156 – Schweiz. geol. Komm.
- (1987): *Neue pollenanalytische Ergebnisse über das jüngere Quartär der nordalpinen Schweiz*. – Beitr. geol. Karte Schweiz NF / im Druck.
- WYSSLING, L. (1987): *Warmzeitliche und eiszeitliche Talfüllungen der Felsrinne Richterswil ZH–Zug*. – In Vorber.

Für die Überlassung noch nicht veröffentlichter Daten bin ich den Herren Drs. D. STÄGER und L. & G. WYSSLING zu Dank verpflichtet. Ebenso sei Herrn Prof. E. SPIESS für seine Hilfe bei der Herstellung von Figuren, Mlle. C. SIDLER und den Herren Drs. A. EGLI, J.-P. BECKMANN und E. KOBLER für die Durchsicht von Text, Résumé und Summary und dem Bundesamt für Landestopographie für die Lieferung des Reliefs für die Figuren bestens gedankt.

Prof. Dr. René Hantke
Geolog. Institut der ETH
Sonneggstrasse 5
8092 Zürich