Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 70 (1977)

Heft: 1

Artikel: Neue Befunde zum Ablauf der pleistocaenen Landschafts- und Flussgeschichte im Gebiet Schaffhausen-Klettgau-Rafzerfeld

Autor: Hofmann, Franz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-164617

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: 14.07.2025

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

Eclogae geol. Helv.	Vol. 70/1	Seiten 105-126	5 Textfiguren und 1 Tabelle	Basel, März 1977

Neue Befunde zum Ablauf der pleistocaenen Landschafts- und Flussgeschichte im Gebiet Schaffhausen-Klettgau-Rafzerfeld[1])

Von FRANZ HOFMANN[2])

ABSTRACT

The Pleistocene history of the Rhine river in northeastern Switzerland is described, based on new geological mapping and on statistical investigation of pebbles in glacial gravel deposits.

During the Günz and Mindel periods, the Rhine flew from Schaffhausen directly to the west. In the early Riss age, the wide valley of the Klettgau west of Schaffhausen was eroded to its lowest level, then refilled with gravel up to 100 meters. A parallel valley was eroded during the same period further south (Thur system), joining the Rhine valley in the region of Waldshut. The Riss I glacier, moving into the Klettgau valley, forced the Rhine to a southward direction from Schaffhausen to the Thur system. A connecting valley was eroded and refilled with gravel again between the Riss I and the Riss II glaciations.

During the Riss II phase, the Rhine glacier of alpine origin met with the smaller glacier from the Black Forest in the Klettgau valley. The Riss II ice carried and left only very little material from its mountains of origin, obviously due to the fact that both Alps and Black Forest were almost completely covered with ice. The Riss II glacier from the Black Forest appears to have arrived in the Klettgau valley first, and the ice of the Rhine glacier was thrust over the Black Forest glacier over a considerable distance.

The development and decomposition of the Würm glacier in the Schaffhausen area is described in detail. The Rhine Falls near Neuhausen-Schaffhausen date back to the later Würm period. Many of the gravel deposits in the Rhine valley south of Schaffhausen hitherto considered as Würm deposits, actually were produced in the Riss I/Riss II interglacial period. Pebbles of volcanic rocks from the Hegau, present or absent in the gravels of the area of research, proved to be an excellent means to trace the path of the Pleistocene rivers participating in the development of the present net work of rivers and valleys.

ZUSAMMENFASSUNG

Schon zur Zeit der älteren Deckenschotter bestand mit grösster Wahrscheinlichkeit eine Klettgau-Rinne, die durch die alte Wasserscheide Südranden-Kalter Wangen-Küssaburg von einer südlichen Thur-Rinne getrennt verlief. Frührisszeitlich räumte eine äusserst kräftige Erosion die parallel verlaufenden Rinnen des Rhein-Klettgau-Talsystems und des Systems Thurtal-Rafz-Kaiserstuhl-Zurzach-Waldshut bis zu 170 m unter das Aufschotterungsniveau der jüngeren Deckenschotter aus, worauf diese Rinnen wieder mit bis zu 100 m Schotter (Klettgau) aufgefüllt wurden. In das weitgehend wieder aufgeschotterte Klettgautal stiess ein Riss I-Gletscher von Osten her vor und gestaltete den Oberklettgau

---

[1]) Nach einem Vortrag, gehalten am 29. März 1976, vor der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen.

[2]) Rosenbergstrasse 103, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall, Schweiz.

als Zungenbecken mit Eisrandschottern, während im Unterklettgau lössartige Schwemmlehme abgelagert wurden.

Der Riss I-Eisvorstoss im Oberklettgau gab auch Anlass zur Ablenkung des Rheins von Schaffhausen nach Süden ins Thurtal-System. Das Rafzerfeld war mit frührisszeitlichen Thur-Schottern vom Alter der Klettgau-Rinnenschotter aufgefüllt worden, in die der abgelenkte Rhein jedoch eine zweite Rinne erodierte, die im Riss I/Riss II-Interglazial mit Hegau-/Rhein-Schottern und Thur-Material wieder aufgefüllt worden sein muss. Inwiefern vor und während des Würm-Maximums im Rafzerfeld eine weitere Erosions- und Aufschotterungsphase stattfand, steht noch zur Diskussion. Der Nachweis von Hegau-Vulkaniten und ausseralpinen Jurakalken als Leitgerölle spielt für die Deutung der eiszeitlichen Transportwege im Hochrhein-Gebiet eine grosse Rolle.

Die Riss II-Vereisung war gekennzeichnet durch eine sehr geringe Zufuhr an Moränenmaterial. Es ist wahrscheinlich, dass der Schwarzwaldgletscher bis in die Ebene des Klettgaus vorstiess und nachher vom Rheingletscher überfahren wurde. Die Enge-Schotter bei Neuhausen und die Schotter an den Talflanken der westlichen Umrandung des Rafzerfeldes werden als Eisrandschotter des zerfallenden Riss II-Systems gedeutet. Sie bestehen offenbar vorwiegend aus umgelagertem Material der jüngeren Deckenschotter.

Die Vorgänge der Würm-Vereisung und die Entstehung des Rheinfalls werden beschrieben. Die «Rückzugsterrassen» der ausgehenden Würm-Eiszeit zwischen Schaffhausen und Rüdlingen wurden teilweise aus älteren Rinnenschottern herauserodiert, teilweise aus spätwürmzeitlichen Rückzugsschottern.

Einleitung

Die vorliegende Arbeit ergab sich aus der geologischen Kartierung von Blatt 1031 *Neunkirch* des «Geologischen Atlas der Schweiz 1:25000», die zu einer intensiven Auseinandersetzung mit sehr schwierigen Quartärproblemen führte. Zur Klärung der Chronologie der pleistocaenen Ablagerungen im Klettgau mussten auch jene ausserhalb des engeren Kartengebietes berücksichtigt werden. Nach und nach schälte sich die nachfolgend dargestellte Auffassung über die Landschafts- und Flussgeschichte im Klettgau und im östlich und südlich davon gelegenen Hochrhein- und Thur-Gebiet heraus. Die Aufeinanderfolge der wichtigsten flussgeschichtlichen Vorgänge war bereits von HÜBSCHER (1951) grundsätzlich richtig erkannt worden.

An wichtigen Stellen wurden geröllstatistische Untersuchungen durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass in manchen Fällen oft nur untergeordnet bis selten vorkommende Leitgerölle wichtiger sein können als Daten über die prozentuale Verteilung der verschiedenen Gerölltypen in einem Schotter. Gerade im Klettgau und Hochrhein-Gebiet ist oft die Anwesenheit oder das Fehlen von Malmkalk-Geröllen aus dem Randen und dem Hegau und von Hegau-Vulkaniten von entscheidender diagnostischer Bedeutung.

Pliocaen – Altpleistocaen

Die Jurafaltung fällt etwa ins mittlere Pliocaen. Ihr voraus ging zu Ende der Molassezeit eine Hebung des Alpenvorlandes um mehrere hundert Meter. Aus jener Zeit – noch vor der Jurafaltung – ist eine Ur-Aare-Donau dokumentiert (Schotter auf dem Eichberg N von Blumberg, MANZ 1934/35), die eine Kippung in der Längsachse des Molassebeckens anzeigt. Während der ganzen Zeit der Oberen Süsswassermolasse hatte ein Gefälle von E nach W bestanden; zu Ende der Molassezeit wurde es durch ein solches in umgekehrter Richtung abgelöst. In jene Zeit

fallen Ablagerungen hochgelegener Schotter aus Flyschmaterial auf dem Tannenberg NW von St. Gallen (HOFMANN 1957). Sie wurden von einer Ur-Ill abgelagert, die über das Bodensee-Gebiet hinweg zur Aare-Donau geflossen sein muss.

Die Jurafaltung schnitt den Aare-Zufluss zur Donau ab. Die Aare durchbrach damals bei Brugg syngenetisch das Ostende des sich auffaltenden Kettenjura und floss N davon entlang dem Schwarzwald-Südfuss über Basel zur Burgundischen Pforte und ins Mittelmeer (LINIGER 1966; Zeit der Sundgau-Schotter).

Das Einzugsgebiet der Donau beschränkte sich auf den sich heraushebenden Schwarzwald. Es ist sehr wahrscheinlich, dass damals, als auch das sanktgallisch-vorarlbergische Bodensee-Rheintal entstand, bereits ein Ur-Rhein über das Bodensee-Gebiet und den Klettgau via Waldshut der Aare zustrebte (Fig. 1) und dabei durch Verwerfungen geleitet wurde, die im Gefolge der Jurafaltung, der tektonischen Anlage des Bodensee-Rheintals (HEIERLI 1974) und der gleichzeitigen Faltungen in den Alpen und der subalpinen Molasse entstanden. Die Längsachse des Bodensees liegt fast in einem rechten Winkel zu jener des Rheintals südlich davon, eine Tatsache, die auf tektonische Anlage deutet und durch glaziale Erosion allein kaum befriedigend erklärbar wäre (vgl. dazu auch SCHREINER 1975).

Die Landschaftsentwicklung im Pleistocaen

Das Pleistocaen dauerte gegen 2 Millionen Jahre. Über einen erheblichen Abschnitt dieser Zeit ist fast nichts bekannt. Das Grundprinzip der heutigen Landschaft war aber damals schon weitgehend angelegt.

Die Zeit der älteren Deckenschotter

In der Gegend von Schaffhausen liegt älterer Deckenschotter auf dem Buechbüel, P. 567, W von Neuhausen am Rheinfall (Basis auf 550 m). Dieser Schotter deutet auf die Auffüllung einer Erosionsrinne hin, die vermutlich bereits durch den Klettgau verlief und deren Sohle im westlichen, badischen Klettgau (Oberlauchringen) bei 500 m Meereshöhe lag (Fig. 5). Gletschervorstösse bis ins Untersee-Gebiet sind für jene Zeit wahrscheinlich (SCHREINER 1970, 1975), ebenso ein Flußsystem über St. Gallen, das untere Thurtal und nördlich der Lägern in Richtung Waldshut (Fig. 1). Schon damals bestand offenbar die markante Wasserscheide zwischen Klettgau und heutigem Hochrhein (Südranden - Kalter Wangen - Wannenberg - Küssaburg): der Wannenberg erreicht 683 m Höhe, der Kalte Wangen 671 m, während die südlich davon gelegenen älteren Deckenschotter wesentlich tiefer liegen.

Die Geröllzusammensetzung der älteren Deckenschotter der Nordostschweiz und auch jener bei Neuhausen zeigen auffallende Armut an Kristallingeröllen (vgl. GEIGER 1969, HOFMANN 1957): alpine Karbonatgesteine machen oft 99% des Geröllbestandes aus, Jurakalke lokaler Herkunft sind auch in der Nähe des Tafeljuras selten, Hegau-Vulkanite fehlen im Schotter von Neuhausen völlig (vgl. Tabelle).

Die älteren Deckenschotter werden nach herkömmlicher Auffassung der Günz-Eiszeit zugeschrieben. Diese Einstufung wird auch für die vorliegende Arbeit übernommen. Nach neueren Auffassungen über die Chronologie der eiszeitlichen

Bildungen im süddeutschen Alpenvorland wäre allerdings vorgünzzeitliches (donaueiszeitliches ?) Alter nicht völlig auszuschliessen (GEYER & GWINNER 1968).

Die Zeit der jüngeren Deckenschotter

In der Gegend von Schaffhausen und im Klettgau finden sich jüngere Deckenschotter auf dem Cholfirst, N von Schaffhausen, N von Neuhausen (Hohfluh) und im Gebiet zwischen Neunkirch, Wilchingen und Osterfingen, E von Schaffhausen auf dem Rauhenberg, E von Thayngen, auf dem Stammheimer- und Schienerberg.

In der Gegend von Neuhausen (Fig. 5) liegt die Basis der Schotter auf 490 m Höhe, bei Wilchingen auf etwa 450 m. Weiter westlich finden sich Äquivalente dieser Schotter WNW von Griessen. Die paläogeographische Situation war gleichartig wie zur Zeit der älteren Deckenschotter. Zwischen den beiden Ablagerungen liegt eine Zeit der Erosion N und S der Klettgau-Wasserscheide. Der jüngere Deckenschotter ist im Gebiet Schaffhausen-Klettgau etwas reicher an Kristallingeröllen als der ältere Deckenschotter. Jurakalke sind nicht häufig, Hegau-Vulkanite fehlen (vgl. Tabelle).

Erosion und Wiederauffüllung der Klettgau-Rinne

Nach der Ablagerung der jüngeren Deckenschotter folgte eine Zeit sehr starker Erosion beidseits der Klettgau-Wasserscheide und offensichtlich auch weiter im Osten, im Bodensee- und Thur-Gebiet. Die Klettgau-Rinne wurde (bezogen auf das Ostende des Klettgaus) von etwa 520 m Meereshöhe (Akkumulationsniveau der jüngeren Deckenschotter) auf 350 m Meereshöhe hinunter erodiert, also 170 m tief (Fig. 1, 2 und 5). Bei Koblenz dürfte die Basis der Rinne auf etwa 320 m liegen. Für diese starke und tiefe Erosion war zweifellos eine längere Zeit erforderlich, in der Grössenordnung von wenigstens etwa 100000 Jahren, für die Wiederaufschotterung auf 450 m Meereshöhe (Ost-Klettgau) wiederum eine ähnlich lange Zeitspanne. Der Felsgrund der Klettgau-Rinne ist durch ältere und neuere Bohrungen und durch geophysikalische Untersuchungen verhältnismässig gut bekannt (VON MOOS & NÄNNY 1970, GILLIAND 1970).

Es ist anzunehmen, dass die Erosion der Klettgau-Rinne frührisszeitlich stattfand. Ebenso ist es sehr wahrscheinlich, dass auch die Erosion der Randentäler, insbesondere auch des Lieblosentals (N von Beringen) und des Wangentals, gleichzeitig mit der Ausräumung der Klettgau-Rinne vor sich ging. Durch das Wangental wurden Schotter zur Auffüllung der Klettgau-Rinne beigesteuert (Plomberg S von Wilchingen, Weisweil).

Gleichzeitig mit der Klettgau-Rinne wurde aller Wahrscheinlichkeit nach auch die Thur-Rinne erodiert, die sich vom heutigen Thurtal über das Rafzerfeld und über Kaiserstuhl-Zurzach-Koblenz fortsetzte und in der Gegend von Waldshut mit der Klettgau-Rinne vereinigte (Fig. 1).

Die Wiederauffüllung der Klettgau- und der Thur-Rinne mit bis zu 100 m glazifluviatilem Schotter aus vorwiegend alpinem Material des Rhein- und Thur-Systems dürfte ein Vorrücken der alpinen Gletscher zur Voraussetzung gehabt haben. Die Rinnenschotter des Klettgaus sind in grossen Kiesgruben (E und SE von

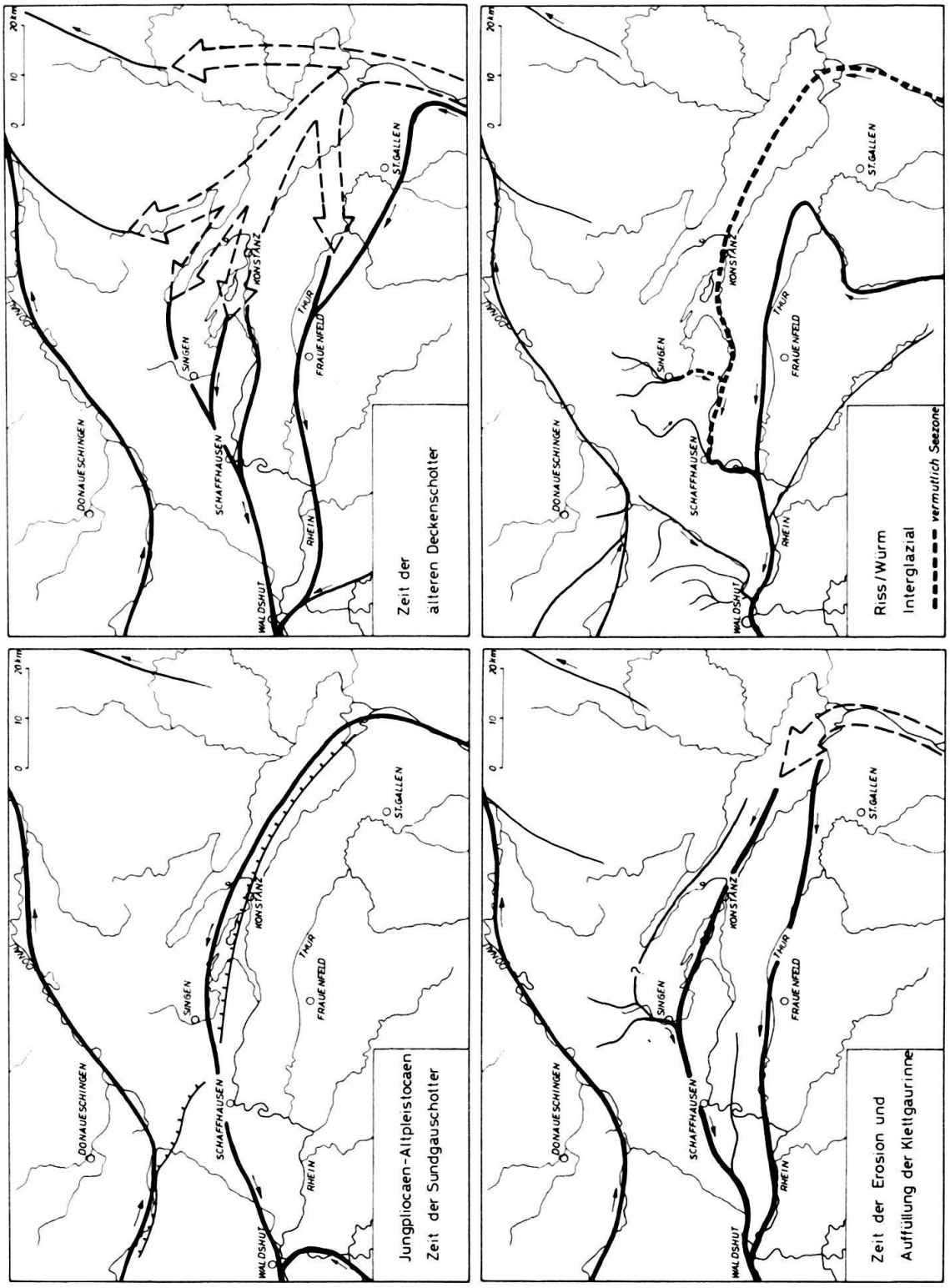


Fig. 1. Entwicklung der pleistocaenen Flussgeschichte im Bodensee- und Hochrhein-Gebiet. Gestrichelte Doppelpfeile = Eisvorstösse.

Beringen, S von Hallau, W der Station Wilchingen-Hallau, Trasadingen, Erzingen) und weiter westlich bis zu 30 m tief erschlossen.

Bemerkenswert ist die geröllmässige Zusammensetzung der Klettgau-Rinnenschotter, die sich deutlich von jener der Deckenschotter unterscheidet (vgl. Tabelle). Der Gehalt an alpinen Karbonatgesteinen, vor allem an Kalken, liegt um 90% oder tiefer, der Kristallin-Anteil (Granite, Porphyre, kristalline Schiefer, vor allem Amphibolithe) um 5%. Ophiolithe der Platta-Decke in mannigfacher Ausbildung sind deutlich vertreten, ebenso Jurakalke des Randengebietes, und niemals fehlen Hegau-Vulkanite als besonders typische Leitgesteine: stets sind Phonolithe zu finden, nicht selten Tuffe und mehr oder weniger kieselige tertiäre Sinterkalke aus dem Gebiet Hohentwiel-Mägdeberg. Basalte sind hingegen eher selten.

Ebenfalls aus dem Hegau stammen pisolithische Krustenkalke der Oberen Meeresmolasse (Albstein). In der Kiesgrube Enge im östlichsten Klettgau erreichen die Phonolith-Geschiebe 30 cm Durchmesser, in der Gegend von Oberlauchringen noch gegen 10 cm, doch sind sie hier schon ziemlich selten. Die Schotter, die via Wangental (Osterfingen-Weisweil) in die Klettgau-Rinne beigesteuert wurden, enthalten keine Hegau-Vulkanite.

Zur Zeit der Erosion und Wiederauffüllung der Klettgau-Rinne verlief das damalige Hauptstromsystem im Rheingebiet von Konstanz über den Zellersee und weiter - kanalisiert durch die Schienerberg-Verwerfung - durch den südlichen Hegau Richtung Schaffhausen-Klettgau. Im Hegau mündete von Engen her ein bedeutendes Zufuhrsystem - längs der Ostseite der Hegauphonolith-Reihe verlaufend - in der Gegend S von Singen ins Rhein-System (SCHREINER 1970), was das häufige Auftreten von Phonolithen erklärt. Im nordwestlichen Bodenseegebiet wurden damals bedeutende Mengen an Oberer Meeresmolasse und Oberer Süsswassermolasse erodiert. Dabei wurden aus Schichten der Napf-Schüttung der Oberen Meeresmolasse (Austernnagelfluhen) mit dem verschwemmten Material auch Goldflitter nach Westen transportiert. Man findet sie in bemerkenswerten Gehalten von bis zu 150 Flittern pro Tonne in den Klettgau-Rinnenschottern, vor allem im östlichen Teil (Beringen) und in verwandten Ablagerungen, die noch später durch den Hegau zugeführt wurden. Zusammen mit den Hegau-Vulkanit-Geröllen ist die Goldführung ein zuverlässiges Indiz für Transport durch das nordwestliche Bodenseegebiet. Reine Thur-Schotter führen nur äusserst geringe Mengen an Gold.

Gletschervorstoss der Riss I-Vereisung in die Klettgau-Rinne

Von besonderer Bedeutung für den Nachweis der weiteren Vorgänge in der Klettgau-Rinne ist die erst 1974 eröffnete Kiesgrube Enge N der Hardau im östlichsten Klettgau. Sie zeigt das folgende generelle Profil (von oben nach unten):

- Tiefgründig verwitterte, entkalkte, lehmig-sandige braune Bodenzone ..... 1-3 m
- Normaler Klettgau-Schotter mit Hegau-Vulkaniten ..... 2-3 m
- Grobblockige Lage mit zahlreichen Geschieben von zuckerkörnigem Massenkalk aus der Gegend von Thayngen, mit Findlingen aus dem gleichen Gestein bis zu 1 m Durchmesser und von solchen ähnlicher Dimensionen aus kalkig zementiertem Deckenschotter; Phonolith-Geschiebe bis 30 cm Durchmesser, alpine Findlinge bis zu 1 m und mehr ..... 3-4 m
- Liegendes: normaler Rinnenschotter des Klettgaus mit Hegau-Vulkaniten.

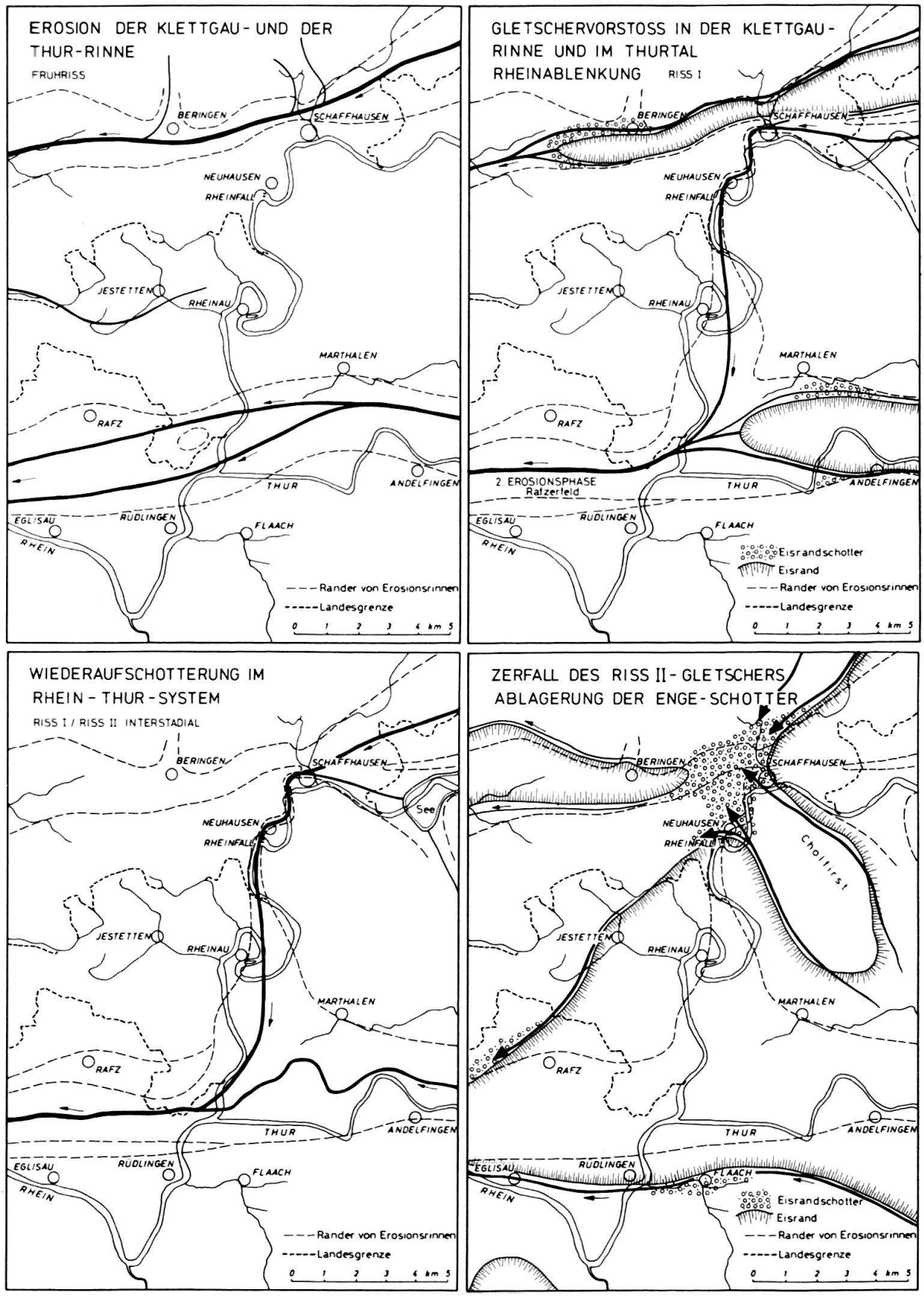


Fig. 2. Phasen der pleistocaenen Flussgeschichte im Gebiet Schaffhausen-Klettgau-Rafzerfeld von der Erosion der Klettgau-Rinne bis zum Zerfall des Riss II-Systems. Die Rinnenbegrenzungen sind gestrichelt angegeben; die Erosion der zweiten Rinne in den Thur-Schottern des Rafzerfeldes ist speziell gekennzeichnet.

Die gleiche, Geschiebe von Massenkalk führende Blocklage ist auch in den Kiesgruben SE von Beringen zu beobachten. Sie liegt in diesem Gebiet nicht horizontal, sondern steigt gegen Süden zur Talflanke an und wird dort von stark lehmigen, moränenartigen Bildungen überlagert. In der Blocklage von Beringen kam ein Massenkalk-Findling von rund 3 m^3 zum Vorschein, ebenso wurden grosse Findlinge aus alpinen Gesteinen bis zu 2 m^3 gefunden.

Diese an Findlingen reiche Blocklage zeugt von einem Gletschervorstoss in die Klettgau-Rinne von Osten her - zu einer Zeit, da die Rinne schon weitgehend mit Schottern aufgefüllt war. Der Vorstoss dürfte bis in die Gegend W von Guntmadingen gereicht haben.

Der Vorstoss der Gletscherzunge in den oberen Klettgau (Fig. 2) hatte zur Folge, dass vor allem W von Beringen und zwischen Löhningen und Neunkirch (Schmerlet) Eisrandschotter abgelagert wurden, die bei Beringen bis auf eine Höhe von 490 m reichen und stets Hegau-Vulkanite führen. Das abflusslose Becken des Oberklettgaus (Eichhof-Guntmadingen-Beringen-Enge) ist als Zungenbecken dieses Gletschervorstosses in die Klettgau-Rinne aufzufassen. Im Gegensatz zum Gebiet westlich dieses Zungenbeckens fehlen darin lössartige ältere Schwemmlehme. Am Rand der abflusslosen Ebene des Oberklettgaus treten hingegen siltige bis lehmige Bildungen auf, die als seitliche Schwemmlehme und Moränen des beschriebenen Gletschervorstosses zu deuten sind (E von Beringen und zwischen Guntmadingen und der Enge).

Im Rahmen der übrigen eiszeitlichen Vorgänge in der Nordostschweiz und im Sinne der üblichen Annahme einer Zweiphasigkeit der Riss-Eiszeit wäre der Eisvorstoss in der Klettgau-Rinne der Riss I-Vereisung zuzuschreiben.

Beim Abschmelzen des Eises wurde der Talboden im Oberklettgau noch etwas aufgeschottert, und auch die Erosionsterrassen im Südteil dieses Gebietes dürften zu dieser Zeit entstanden sein.

Im Unterklettgau, ausserhalb des Zungenbeckens des Oberklettgaus, wurden verbreitet teils sandige, teils tonige Schwemmlehme abgelagert, die früher als Löss gedeutet wurden. An ihrer Basis liegen oft Seetone, die auf einen zeitweiligen Rückstau aus der Gegend von Waldshut schliessen lassen - wohl als Folge des sehr stark reduzierten Gefälles. Auch FITZE (1973) kam zum Schluss, dass die Schwemmlehme des Klettgaus kaum echte Lössbildungen sind.

Die Ablenkung des Rheins von Schaffhausen zum Thur-System

Der Gletschervorstoss in der Klettgau-Rinne gab offenbar Anlass zur Ablenkung des Rheins von Schaffhausen nach Süden in die Thur-Rinne. Die Klettgau-Rinne war mit Eis gefüllt, und die Schmelzwässer erodierten - abgelenkt durch die bestehende alte Wasserscheide des Südranden - die Rinne, die von Schaffhausen von der östlichen Fortsetzung der Klettgau-Rinne abzweigt und über das Urwerf, Neuhausen und dann von Norden her ins heutige Rheinfall-Becken verläuft und von hier über Rheinau das Thur-System erreicht (Fig. 2 und 5; vgl. auch HÜBSCHER 1951). Im Gebiet Schaffhausen-Rheinfall ist diese Rinne schluchtartig in die Kalksteine des oberen Malm eingetieft, nach Süden erweitert sie sich in der leichter

erodierbaren Molasse. Im Gebiet des Rheinfall-Beckens wurde der Felsgrund dieser Rinne bei 338,5 m Meereshöhe noch nicht erreicht (Grundwasserfassung Neuhausen).

Gleichzeitig mit der Klettgau-Rinne war offenbar auch die Thur-Rinne erodiert und später wieder mit Schottern aufgefüllt worden, die aber vom Thur-System geliefert wurden und demzufolge weder Hegau-Vulkanite noch ausseralpine Malmkalke als Gerölle führen. Es ist anzunehmen, dass diese Schotter ehedem das ganze Rafzerfeld auffüllten.

In diese den Klettgau-Rinnenschottern entsprechende erste Schotterfüllung des Rafzerfeldes und des weiteren alten Thurtales in Richtung Zurzach-Waldshut muss der abgelenkte Rhein eine neue Rinne erodiert haben - als Fortsetzung der bereits erwähnten Rinne Schaffhausen - Urwerf - Rheinfall-Becken - Rheinau. Aufgrund der im Rheinfall-Gebiet zu beobachtenden Rinnentiefe muss die Erosion im Gebiet des Rafzerfeldes ebenfalls beträchtlich tief gereicht haben, vermutlich auf das Niveau des heutigen Felsuntergrundes hinunter.

Nach dem Abschmelzen der Riss I-Gletscherzunge in der Klettgau-Rinne verblieb der Rhein im abgelenkten Lauf und floss von Neuhausen nach Süden. Die neu erodierte Rinne zum Thurtal und ihre Fortsetzung in der älteren Schotterfüllung im Rafzerfeld wurde später wieder aufgeschottert: nördlich der Einmündung in das Thur-System mit Schottern, die via Hegau zugeführt wurden, im Rafzerfeld mit einem Gemisch aus solchen Hegau-/Rhein-Schottern und aus Thur-Schottern. In der Gegend von Schaffhausen dürfte die Urwerf-Rheinfall-Rheinau-Rinne damals bis auf mindestens 440 m Meereshöhe wieder aufgefüllt worden sein (Rundbuck SW von Neuhausen), im Rafzerfeld vermutlich auf gegen 400 m (vgl. auch Fig. 5).

Das Rafzerfeld enthält somit keineswegs eine einheitliche Schotterfüllung (vgl. auch HANTKE 1959, 1963; HUBER 1956; LEEMANN 1958). Ältere Thur-Schotter seiner ersten Füllung scheinen in den Kiesgruben Rütenen, Schwanental und Geren N von P. 419,8 vorhanden zu sein. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie keine ausseralpinen Jurakalke aus dem Randen- und Hegau-Gebiet und keine Hegau-Vulkanite und auch nur selten Ophiolithe der Platta-Decke führen. In diese älteren, randlich erhaltenen reinen Thur-Schotter ist im Rafzerfeld eine zweite, mit Hegau-/Rhein-Material wieder aufgefüllte Rinne eingetieft, die als Gerölle immer Hegau-Vulkanite, insbesondere Phonolithe, Malmkalke aus der Gegend von Schaffhausen und eine bunte Palette von Ophiolithen führt. In diesen Hegau-/Rhein-Schottern, die vermutlich erheblich mit Thur-Material vermischt sind, liegen die grossen Kiesgruben S und SE von Wil und SE von Hüntwangen (mit Phonolith-Geröllen bis 10 cm Durchmesser, die sowohl in den höchsten wie auch in den tiefsten aufgeschlossenen Schotterlagen zu finden, aber nicht sehr häufig sind).

Ob diese Hegau-/Rhein-Material enthaltende Schotterrinne im Rafzerfeld ausschliesslich aus der Zeit nach der Rheinablenkung (Riss I/Riss II-Interstadial) stammt, ist nicht leicht zu beurteilen. Eine weitere Erosions-, Umlagerungs- und Wiederaufschotterungs-Phase wäre für die Zeit des Würm-Maximums denkbar.

Es ist nicht weiter erstaunlich, dass Hegau-Phonolithe auch in den Schottern von Weiach (Kiesgrube Haniel) und von Mellikon im aargauischen Hochrhein-Gebiet zu finden sind, wo solche Geschiebe bis zu 20 cm Durchmesser gefunden werden können.

Auch die Schotter zwischen Neuhausen und der Thur-Mündung enthalten übrigens stets die Leitgerölle des Hegau-Rheins (Kiesgruben SE von Dachsen, Rinauerfeld, E von Balm, SE von Nack, Jungfrauenholz und Spitzrüti N von Steinenkreuz auf dem Gebiet der Gemeinde Buchberg SH).

Der Ablauf der eiszeitlichen Vorgänge im Untersuchungsgebiet deutet darauf hin, dass die Ausräumung der Schaffhausen-Urwerf-Rheinfall-Rheinau-Rinne und ihrer Fortsetzung durch das Rafzerfeld im Anschluss an den Riss I-Gletschervorstoss in die Klettgau-Rinne stattfand. Zur gleichen Zeit, als die östliche Fortsetzung der Klettgau-Rinne auch im Hegau- und Bodensee-Gebiet durch Eis blockiert war, wurde wahrscheinlich auch das Talsystem Untersee-Diessenhofen-Schaffhausen erodiert, ebenso das Quertal Hegau-Ramsen-Rhein. Nach dem Abschmelzen des Riss I-Eises verlief aber der Haupt-Rheinlauf wieder vom Bodensee über den Hegau nach Schaffhausen, was die Zusammensetzung der Gerölle in der Rheinfall-Rinne belegt.

Die Riss II-Vergletscherung im Klettgau

Die Riss II-Phase ist gekennzeichnet durch eine bedeutende Vergletscherung des Schwarzwaldes und durch einen Vorstoss des Rheingletschers bis in den Klettgau und über die Siblingerhöhe nach Schleitheim. Die weitgehende, massive Vereisung der Alpen hatte offensichtlich zur Folge, dass der alpine Riss-Gletscher nur wenig Geschiebe ins Alpenvorland führte. Ablagerungen der Riss II-Vereisung im Klettgau und seiner weiteren Umgebung sind deshalb ausgesprochen dürftig.

Moränen der Riss II-Vergletscherung

Auf der Südabdachung des Klettgauerberges (Südranden), insbesondere NW von Jestetten, sind auf den bisher erschienenen Karten Riss-Moränen eingetragen. Es handelt sich aber nur um anstehende Molasse, die durch das Eis aufgearbeitet und mit einzelnen alpinen Geschieben verknetet wurde. Im südlichen Teil des Gebietes auftretende Zonen mit reicherer alpiner Geröllstreuung sind vermutlich Reste spätrisszeitlicher Schotter.

Im Gebiet Baltersweil-Berwangen-Dettighofen-Bühl kommen echte Riss-Moränen in geringer Mächtigkeit vor. Aufschlüsse sind selten. Die Kiesgrube NW von Buchenloh zeigt keine Moräne, sondern Schotter.

Im eigentlichen Klettgau selbst kommen nur geringmächtige Ablagerungen vor, die als Riss-Moränen anzusprechen sind: es handelt sich eher um «Moränenschleier». Längs der linken Seite des Wutachgebiets vorhandene Vorkommen dieser Art bestehen zum Teil ausschliesslich aus Material aus dem Schwarzwald und dem mittleren Wutachtal. Die Vorkommen sind tiefgründig verwittert und ausgelaugt. Dünne Moränenreste mit alpinen Komponenten finden sich auf dem Übergang Hallau-Wunderklingen N des Mörderrain, auf dem Lugmer NW von Gächlingen, im Glegg SE von Stühlingen und in der Gegend E von Schleitheim.

Erratische Blöcke der Riss II-Vereisung

Grosse alpine Findlinge der Riss II-Vereisung sind im Gebiet des Kantons Schaffhausen sehr selten. Im Klettgau konnten bei der Kartierung von Blatt 1031

Neunkirch nur noch sechs Findlinge alpiner Herkunft und zwei lokaler Provenienz festgestellt werden, die der Riss II-Vereisung zuzuschreiben sind (einige wenige von SCHALCH 1916 und 1921 erwähnte Blöcke sind verschwunden; vgl. HOFMANN, im Druck).

Zerstreute kleine Geschiebe des Schwarzwald- und des Rheingletschers im Klettgau

Im Klettgau findet man in Form von Lesesteinen auf den Äckern weit verbreitet kleine Geschiebe alpiner, schwarzwäldischer und lokaler Herkunft.

Alpine Geschiebe treten bis in die Gegend von Schleitheim auf. Sie bekunden einen Vorstoss des Riss II-Rheingletschers über die Siblingerhöhe hinaus in jene Gegend. Man findet sie auch auf den Höhen N von Gächlingen, Hallau und Trasadingen.

Aus dem *Schwarzwald* stammen Geschiebe aus Kristallin und besonders aus Buntsandstein, *lokaler Herkunft* sind solche aus Malm- und aus Liaskalken, insbesondere aus leicht erkennbarem Arietenkalk.

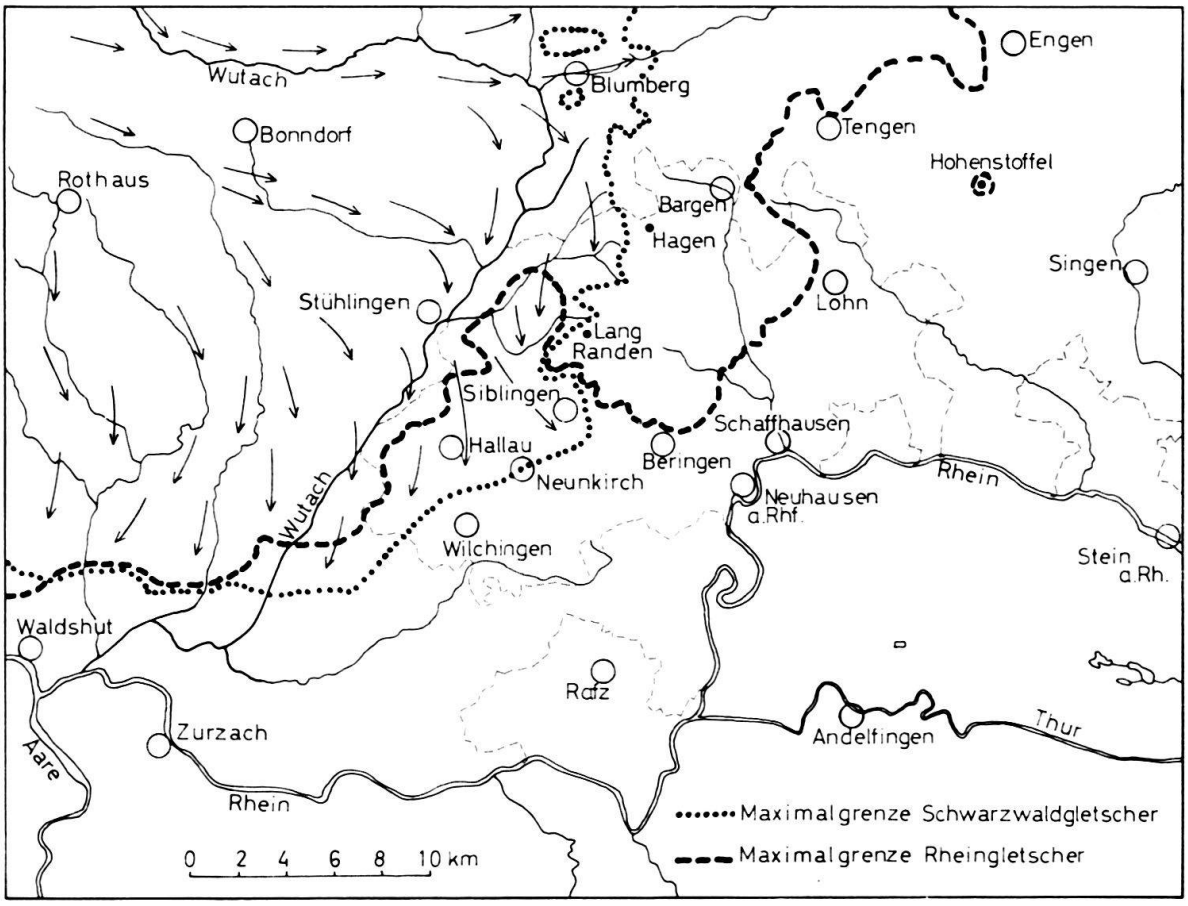


Fig. 3. Darstellung der maximalen Ausdehnung des Schwarzwald- und des Rheingletschers im Gebiet Hegau-Randen-Klettgau-Wutachtal während der Riss II-Vereisung. Die Pfeile im Bereich des Schwarzwaldgletschers geben die Eisfliessrichtungen an (vorwiegend nach PFANNENSTIEL & RAHM 1963, ergänzt).

Arietenkalk-Geschiebe und begleitende, aus Liastonen entstandene Gehängelehme bedecken einen grossen Teil des Südosthanges des Wilchinger- und Hallauerberges. Lias-Geschiebe, insbesondere aus Arietenkalk, kommen ausserdem zusammen mit Geschieben schwarzwäldischer Herkunft und mit Malmkalken des Randen auch in der Klettgau-Ebene bis nach Siblingen, Neunkirch und Unterneuhaus vor. Malmkalk-Geschiebe und alpine Komponenten findet man auch im Unterklettgau W und SW von Wilchingen und SE von Erzingen.

Arietenkalk- und seltener andere Liaskalk-Geschiebe sind auch am Südhang des Chapf N von Erzingen, auf den Höhen W von Erzingen und W und SW von Rechberg (SW von Erzingen) weit verbreitet anzutreffen.

Man könnte versucht sein, das Auftreten der verschiedenen beschriebenen Geschiebe durch Umlagerung, insbesondere Verschwemmung und Solifluktion, zu erklären. Gerade im Gebiet von Erzingen und Rechberg scheidet aber eine solche Möglichkeit völlig aus, weil die nächstgelegenen anstehenden Arietenkalke erst jenseits von Hügelkuppen auftreten.

Es ist deshalb erheblich wahrscheinlicher, dass die beschriebenen Geschiebe von den Gletschern der Riss II-Vereisung verschleppt wurden. Darauf deuten auch die jeweilige Verbreitung der verschiedenen Geschiebearten und auch die Häufigkeit des Auftretens von Schwarzwald-Geschieben bis knapp an den Südrand der Klettgau-Ebene und auf den Hügelkuppen ESE und WSW von Neunkirch und S von Hallau hin.

Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass auch auf dem aus Malmkalk-Trümmern bestehenden grossen Schuttkegel von Siblingen, der bis nach Neunkirch reicht, verbreitet schwarzwäldische und alpine Geschiebe und solche aus Arietenkalk vorkommen. An Gesteinstrümmern aus dem Schwarzwald treten vor allem solche aus Buntsandstein, seltener aus Kristallin (darunter auch Ultrabasite) im Gebiet SW, NW und S von Siblingen auf (Tenterenberg, Stein, Neuwiesen, Chirchacker, Uf Höhi, Widen). Auf dem Galgenberg SE von Siblingen trifft man auf grössere Geschiebe aus Malmkalk und auf Arietenkalk und alpine Gerölle.

Verschwemmung wäre auch in diesem Fall nicht sehr leicht vorstellbar. Es ist deshalb wahrscheinlicher, dass der grosse Malmkalk-Schuttfächer von Siblingen vom Riss II-Eis überfahren wurde und somit nicht notwendigerweise spätquartären oder gar holocaenen Alters ist.

Zum Problem zerstreuter kleiner Geschiebe sei auch auf die Arbeiten von Pfannenstiel 1958, Paul 1965, 1966 und Pfannenstiel & Rahm 1963, 1966 verwiesen. Ähnliche Erscheinungen treten auch auf dem Gebiet der Atlasblätter 1047 Basel und 1066 Rodersdorf auf.

Es ist anzunehmen, dass der Schwarzwaldgletscher der Riss II-Vereisung zuerst in die Klettgau-Ebene vorstiess und anschliessend vom Eis des Rheingletschers überfahren wurde. Längs des Randen lag die Eishöhe bei Beggingen auf rund 700 m, zwischen Schlossranden und Lang Randen auf etwa gleichem Niveau oder etwas höher, am südlichen Siblinger Randen auf etwa 650 m. Es ist möglich, dass die zahlreichen abgesackten Malmkalk-Schollen am südwestlichen Randen durch Eisdruck verursacht wurden.

Die mutmassliche Ausdehnung des Schwarzwald- und des Rheingletscher-Eises zur Zeit des Maximums der Riss II-Vergletscherung ist in Figur 3 dargestellt.

Tabelle: *Ergebnisse geröllstatistischer Untersuchungen an pleistocaenen Schottern im Hochrhein-Gebiet und Klettgau.*

Komponenten / Schotterart und Lokalität	älterer Deckenschotter: Buechbüel, Neuhauserwald	jüngere Deckenschotter		Klettgau-Rinnenschotter						Thur-Rinnenschotter		Hegau-Rhein-Rinnenschotter			Enge-Schotter		
		Hohfluh, Neuhausen	Spitz, Wilchingen	Enge (unter Blocklage)	Enge (über Blocklage)	SE Beringen (Tiefe 30 m)	NW Hungerbuck, W Neunkirch	S Hallau	S Trasadingen	Neuhölzli, SW Marthalen	Rafzerfeld, Schwanental	Altenburg	S Dachsen	Rafzerfeld, SSE Wil	Hardfluh, Neuhauserwald	Lusbüel	Engewald, Reservoir P. 536
Alpine Karbonatgesteine	99	94	95	85	83	83	88	91	89	91	89	87	86	91	96	90	91
Verrukano, Buntsandstein	+	1	1	1	2	1	1	+	+	1	1	+	1	1	2	2	+
Radiolarit	+	2	+	1	+	+	1	1	+	2	+	+	1	+	+	1	1
Hornstein (Silex)	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+	–	–	–	1	–	–	–
Ölquarzit	–	–	+	+	–	+	+	1	+	–	–	1	1	1	–	+	–
Sandstein-Quarzit	–	+	+	+	1	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Gangquarz	–	+	+	3	2	4	3	2	3	1	1	3	4	3	–	3	+
Tavayannaz-Sandstein	–	–	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–	+	–	+	+	–
Granit, Syenit, Diorit usw.	–	–	+	+	+	1	+	+	+	+	1	+	1	+	1	+	1
Gneis, Glimmerschiefer	+	2	3	7	6	5	3	3	5	1	+	6	5	4	+	2	4
Amphibolith	+	1	+	1	3	3	2	1	–	3	4	2	+	1	+	1	2
Ophiolithe	+	+	–	1	+	+	+	+	+	ss	ss	+	+	1	+	+	–
Ophikalzit	–	–	+	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+	–
Malmkalke Randen-Hegau	–	+	1	3	11	18	1	1	+	–	–	2	10	+	4	2	–
Albstein-Krustenkalk	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Phonolith	–	–	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–
Basalt (Melilithit)	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Vulkanische Tuffe	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ausseralpine Gesteine (Malmkalk, Albstein, Hegau-Vulkanite) in % sämtlicher ausgezählter Gerölle, übrige Komponenten in % der Gerölle ohne ausseralpine Gesteine.

+ = zu weniger als 1% vorhanden; *ss* = sehr selten.

Der Zerfall der Riss II-Vereisung und die Ablagerung der Enge-Schotter

Das Abschmelzen des Eises der Riss II-Vergletscherung im Klettgau und auch südlich davon muss sich darin geäussert haben, dass zuerst die nur mit wenig Eis bedeckten Erhebungen eisfrei wurden, während in den Tälern und Mulden das Eis länger liegenblieb, so auch als Toteismasse im Klettgau.

Eine nicht einfach zu deutende Ablagerung bilden die *Enge-Schotter* zwischen der Breite-Terrasse (Schaffhausen) und dem Oberklettgau, den sie nach Osten in markanter Weise abschliessen.

Die Klettgau-Rinne zieht - durch Bohrungen 1974 bestätigt - unter den Enge-Schottern durch. Die plausibelste Art der Erklärung ergibt sich, wenn man diese Schotter als Ergebnis des Zerfalls des Riss II-Eises interpretiert. Wahrscheinlich bestehen sie aus lokal verschwemmtem älterem Material, vor allem aus jüngerem Deckenschotter, mit denen sie geröllmässig sehr gut übereinstimmen (vgl. Tabelle). Von den Klettgau-Rinnenschottern unterscheiden sie sich durch das Fehlen von Hegau-Vulkaniten, und auch Malmkalke der Umgebung sind sehr selten. Sie führen einen hohen Gehalt an alpinen Karbonatgesteinen, aber einen niedrigen Kristallin-Anteil. Beim Abschmelzen des Riss-Gletschers wurde der Cholfirst mit seinen jüngeren Deckenschottern rasch eisfrei, und die Schmelzwässer verschwemmten Material des jüngeren Deckenschotters beidseits des Cholfirst nach Norden. Die Enge-Schotter liegen NW des Cholfirst in dessen Druckschatten, bezogen auf den vorrückenden Riss-Gletscher, und der Eisstand dürfte in diesem Druckschatten besonders niedrig gewesen sein und Anlass zur Anschwemmung von Schotter gegeben haben (Fig. 2 und 5).

Mit den Enge-Schottern vergleichbare Geröllmassen kommen in der Gegend der westlichen Umrandung des Rafzerfeldes, im Hochrhein-Gebiet zwischen Hüntwangen und Mellikon verbreitet vor (Wasterkingen, Stetten, Rümikon, Fisibach, Weiach). Sie sind ähnlich zusammengesetzt und dürften auch auf gleichartige Weise entstanden sein (vgl. Fig. 2).

Besonders guten Einblick gewährt die Kiesgrube Wasterkingen. Die über 20 m hoch aufgeschlossene Schottermasse zeigt eine deutliche Zweiteilung: eine etwas weniger mächtige, untere Partie ist deutlich verbraunt und zeigt offenbar Einflüsse einer längerfristigen Auslaugungsverwitterung. Sie wird mit scharfer Grenze von wesentlich frischerem, teilweise stark kalkig zementiertem Schotter überlagert. An dessen Basis liegen häufig plattige, bis 50 cm grosse Geschiebe eines Kalkarenits, dessen nähere Untersuchung ergab, dass es sich um Sandstein der Juranagelfluh aus der Oberen Süsswassermolasse handelt. Solche Gesteine stehen wenig nördlich von Wasterkingen am Gnüll an und wurden früher als Bausteine gewonnen. Es scheint, dass diese Gesteine durch Schmelzwässer in die Schotter von Wasterkingen gelangten. Sie treten nur an der Basis der oberen Schotterlage auf. Im weiteren führen die Schotter von Wasterkingen keine Hegau-Vulkanite, auch Malmkalke des Tafeljuras konnten bisher nicht beobachtet werden. Kristallingerölle sind nicht häufig.

Riss-Würm-Interglazial

Nach dem völligen Abschmelzen des Riss II-Eises im Hochrhein-Gebiet floss der Rhein weiterhin von Schaffhausen über Rheinau nach Süden zum Thurtal und

vereint mit der Thur dem Südrand des Rafzerfeldes entlang über Eglisau nach Westen (Fig. 1 und 4). Der Rhein dürfte damals bereits durch das Untersee-Gebiet nach Diessenhofen und Schaffhausen geflossen sein. Während jener Zeit wurde das spätere Rheintal zwischen Schaffhausen und Neuhausen bereits vorerodiert bis auf mindestens 400 m Meereshöhe, denn bis auf dieses Niveau hinunter wurden dort Würm-Moränen abgelagert, auch wenn anzunehmen ist, dass diese später etwas nachrutschten.

Die Würm-Eiszeit

Der Maximalstand der Würm-Vergletscherung

Zwischen dem Irchel und Schaffhausen ist der Maximalstand der Würm-Vergletscherung durch Wallmoränen von Rüdlingen über Nack, Solgen, Lottstetten, Jestetten und über den Aazheimerhof nach Neuhausen gut dokumentiert, dann erst wieder vom Gebiet NE des Kantonsspitals Schaffhausen und nicht sehr deutlich bis nach Thayngen, wo die längs des Eisrandes verlaufenden, eindrucksvollen, vielleicht schon risszeitlich angelegten Schmelzwasserrinnen des Churz- und des Langlochs eine erste Zerfallsphase des Würm-Gletschers dokumentieren.

Im Gebiet Neuhausen-Schaffhausen, vor allem auf der Breite, auf der Ostseite des Walls der Enge-Schotter, sind die Spuren der Würm-Vereisung sehr dürftig und unsicher. Dies ist nicht weiter erstaunlich, denn dieses Gebiet lag - wie schon zur Zeit der Riss-Vereisung - im Eisdruckschatten des Cholfirst, der zweifellos einen erheblichen Einfluss auf die Eisbewegungen des Rheingletschers hatte. Es ist sehr wahrscheinlich, dass das Gebiet der Breite mindestens in seinem westlichen Teil wenig oder gar nicht vereist war. Der Cholfirst selbst war während der Würm-Eiszeit nicht vom Eis bedeckt.

Zur Zeit des Maximalstandes der Würm-Eiszeit (Fig. 4 und 5) dürfte Entwässerung durch das Wangental in Richtung auf den südwestlichen Klettgau stattgefunden haben (Jestetten-Osterfingen-Weisweil). Dabei wurde eine wenig tiefe Rinne über Weisweil, Griessen, Geisslingen erodiert, die bis in den westlichen Klettgau zu verfolgen ist. Beim Abschmelzen des Eises wurde in dieser Rinne vor allem Schwemmlehm abgelagert, aber nur geringe Mengen an Schottern (vermutliche Reste im Wangental).

Eine bedeutende Entwässerung durch die Klus der Enge in Richtung Oberklettgau ist für die Würmzeit wenig wahrscheinlich, insbesondere angesichts der Tatsache, dass der Oberklettgau (Beringen) heute eine abflusslose Depression ist.

Am Ostrand des Rafzerfeldes deuten steilgestellte, vermutlich durch Eisdruck aufgeschürfte und gepresste Molassesande, teilweise mit glazialem Geröllmaterial verknetet, in einem bemerkenswerten Aufschluss an der Strasse Rüdlingen-Rafz bei Koord. 684.990/271.020/385 auf eine tiefe Lage eines Talbodens in der Gegend von Rüdlingen, auf dem der Gletscher vorstiess.

Die Abschmelzphasen der Würm-Vereisung und die Entstehung des Rheinfalls

Das Abschmelzen des Eises hinter die Linie der Endmoränen des Maximalstandes gab sofort Anlass zur Wiederentwicklung eines zusammenhängenden Rhein-Systems. Die Schmelzwässer flossen zunächst dem Eisrand entlang von Thayngen

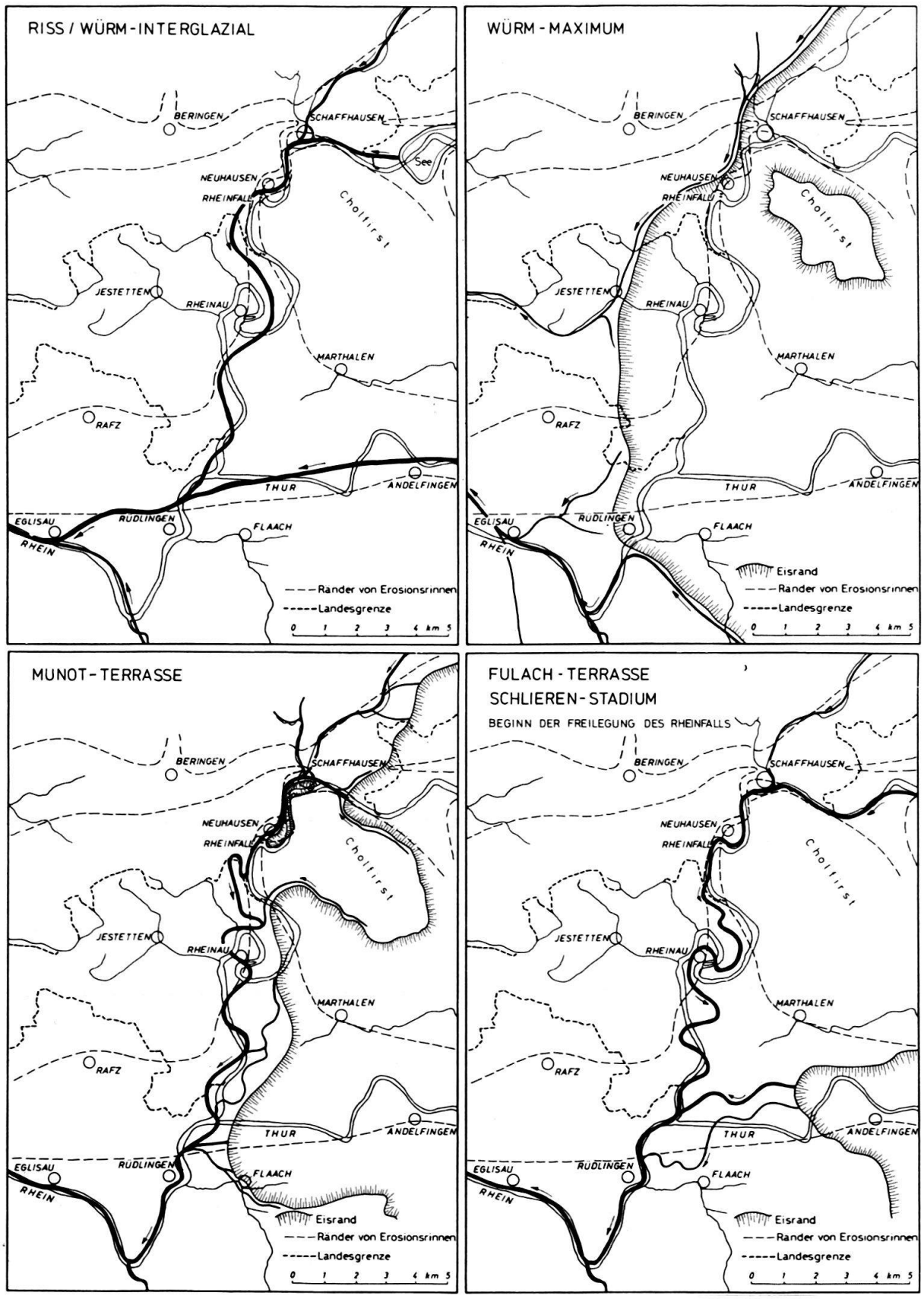


Fig. 4. Phasen der pleistocaenen Flussgeschichte im Gebiet Schaffhausen-Klettgau-Rafzerfeld vom Ende der Riss-Zeit bis zum Stadium der Fulach-Terrasse der ausgehenden Würm-Eiszeit.

über Schaffhausen, Neuhausen und Rheinau nach Rüdlingen und bereits durch den Durchbruch von Rüdlingen zur Tössegg. Der Durchbruch Rüdlingen-Tössegg hatte spätestens zur Zeit des Maximalstandes der Würm-Vereisung stattgefunden (ELLENBERG 1972). Bemerkenswert ist, dass die darin auf etwa 400 m Meereshöhe auflagernde Schotterterrasse des Murkethofs N der Tössegg (Gemeinde Buchberg SH) Malmkalk-Gerölle aus der Gegend von Schaffhausen führt.

Die Breite-Terrasse in Schaffhausen wurde nicht zur Zeit des beginnenden Abschmelzens des Würm-Gletschers aufgeschottert, sondern repräsentiert einen Rest des Talbodens der Klettgau-Rinne östlich des Walls der Enge-Schotter. Dafür spricht auch die Tatsache, dass im Sommer 1976 bei Kanalisationsarbeiten im Gebiet Steigkirche-Zeughaus in einer Tiefe von 3 bis 4 m in den Schottern die Findlinge führende Blocklage (Riss I) angetroffen wurde, die auch im Oberklettgau zu beobachten ist.

Die Abschmelzphasen der Würm-Vergletscherung führten im Gebiet Schaffhausen-Neuhausen-Rheinau-Rüdlingen zu einer ausgeprägten Terrassierung.

Terrassen aus wenig mächtigen Rückzugsschottern der Würm-Vereisung kommen in der Gegend von Neuhausen, Altenburg und Dachsen vor. Zur Zeit ihrer Entstehung muss im Rheintal zwischen Schaffhausen und dem Rheinfall-Gebiet noch Eis gelegen haben.

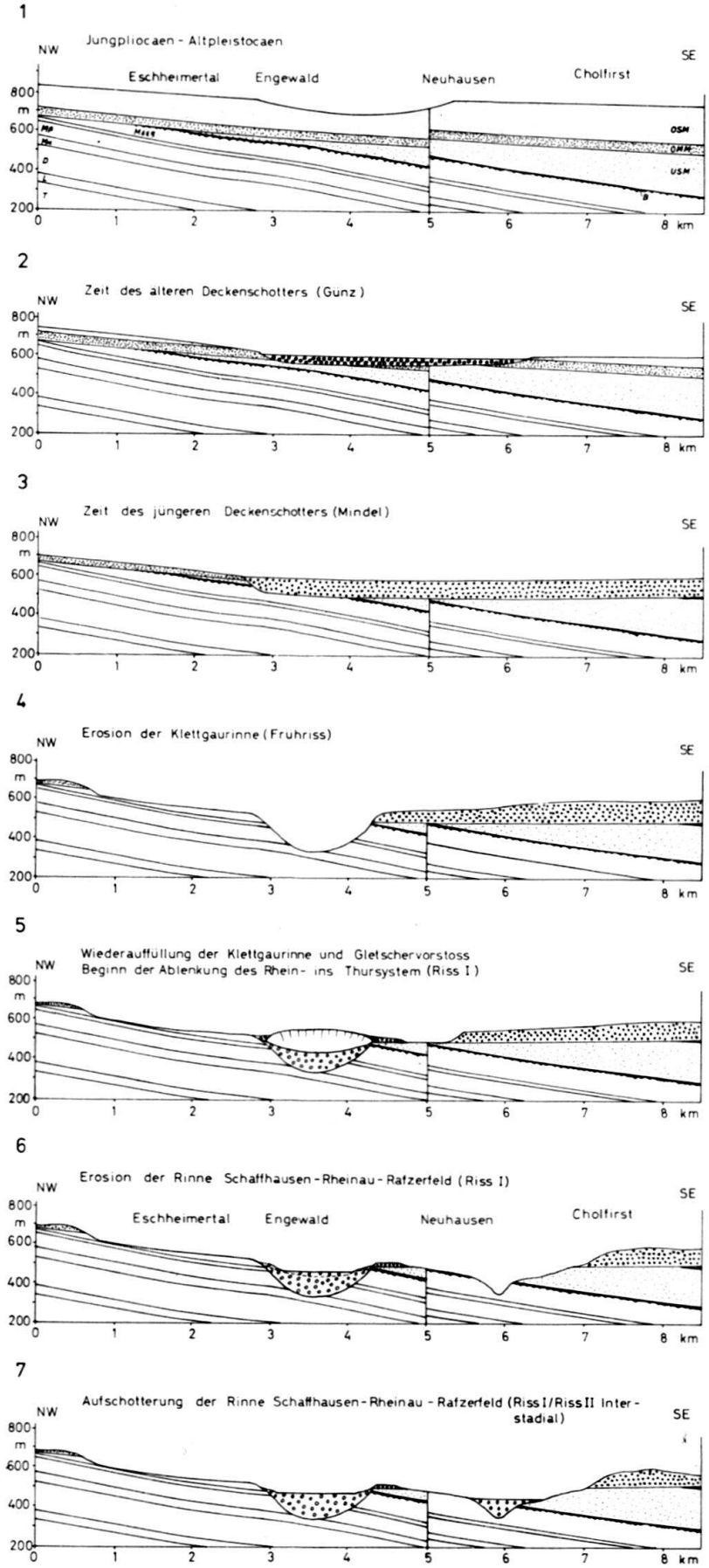
Ein grosser Teil der Terrassen im Rheintal südlich des Rheinfalls wurde hingegen aus risszeitlichen Schottern herauserodiert, die in der Interglazialzeit Riss I/Riss II abgelagert worden waren (siehe auch die Karte von SCHREINER 1970). Den fortschreitenden Erosionsphasen entsprechen die folgenden, teils aus würmzeitlichen Rückzugsschottern, teils aus älteren Riss-Schottern herausgearbeiteten morphologischen Terrassen:

— Breite-Terrasse,
— Stokarberg-Terrasse,
— Munot-Terrasse,
— Altenburg-Fulach-Terrasse (± Schlieren-Stadium),
— Nohl-Terrasse,
— Rheinau-Terrasse,
— Spät- bis postglaziale Schotterflächen im Gebiet Thurmündung-Rüdlingen-Flaach mit zahlreichen Erosions-Terrassenrändern.

Oberhalb Schaffhausen entwickelte sich der Rhein rasch zu seinem heutigen Lauf, nachdem dieser durch das Eis freigegeben worden war, und der Zufluss durch das Fulachtal von Thayngen her klang rasch ab (Fig. 4 und 5).

Nach dem Abschmelzen des Toteises im Rheintal zwischen Schaffhausen und Neuhausen wurde dieses bereits vorwürmzeitlich angelegte Tal vom Rhein rasch nach Süden ausgeweitet (Prallhang in den Schichten der Unteren Süsswassermolasse an der Buchhalde zwischen Flurlingen und dem Rheinfall). Die Verwerfung, die vom Eschheimertal her nach Flurlingen verläuft, dürfte wesentlichen Anteil an der Gestaltung des Rheintals oberhalb des Rheinfalls gehabt haben.

Zur Zeit der Fulach-Altenburg-Terrasse, die etwa dem Schlieren-Stadium im Limmattal entspricht, erreichte das Erosionsniveau des Rheins die Höhe der Malm-Obergrenze östlich des heutigen Rheinfalls. Von Osten her traf der Rhein damit


1
Jungpliocaen - Altpleistocaen
NW
SE
Eschheimertal
Engewald
Neuhausen
Cholfirst
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
2
Zeit des älteren Deckenschotters (Günz)
NW
SE
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
3
Zeit des jüngeren Deckenschotters (Mindel)
NW
SE
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
4
Erosion der Klettgaurinne (Frühriss)
NW
SE
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
5
Wiederauffüllung der Klettgaurinne und Gletschervorstoss
Beginn der Ablenkung des Rhein- ins Thursystem (Riss I)
NW
SE
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
6
Erosion der Rinne Schaffhausen-Rheinau-Rafzerfeld (Riss I)
NW
SE
Eschheimertal
Engewald
Neuhausen
Cholfirst
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km
7
Aufschotterung der Rinne Schaffhausen-Rheinau-Rafzerfeld (Riss I/Riss II Interstadial)
NW
SE
800
m
600
400
200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 km

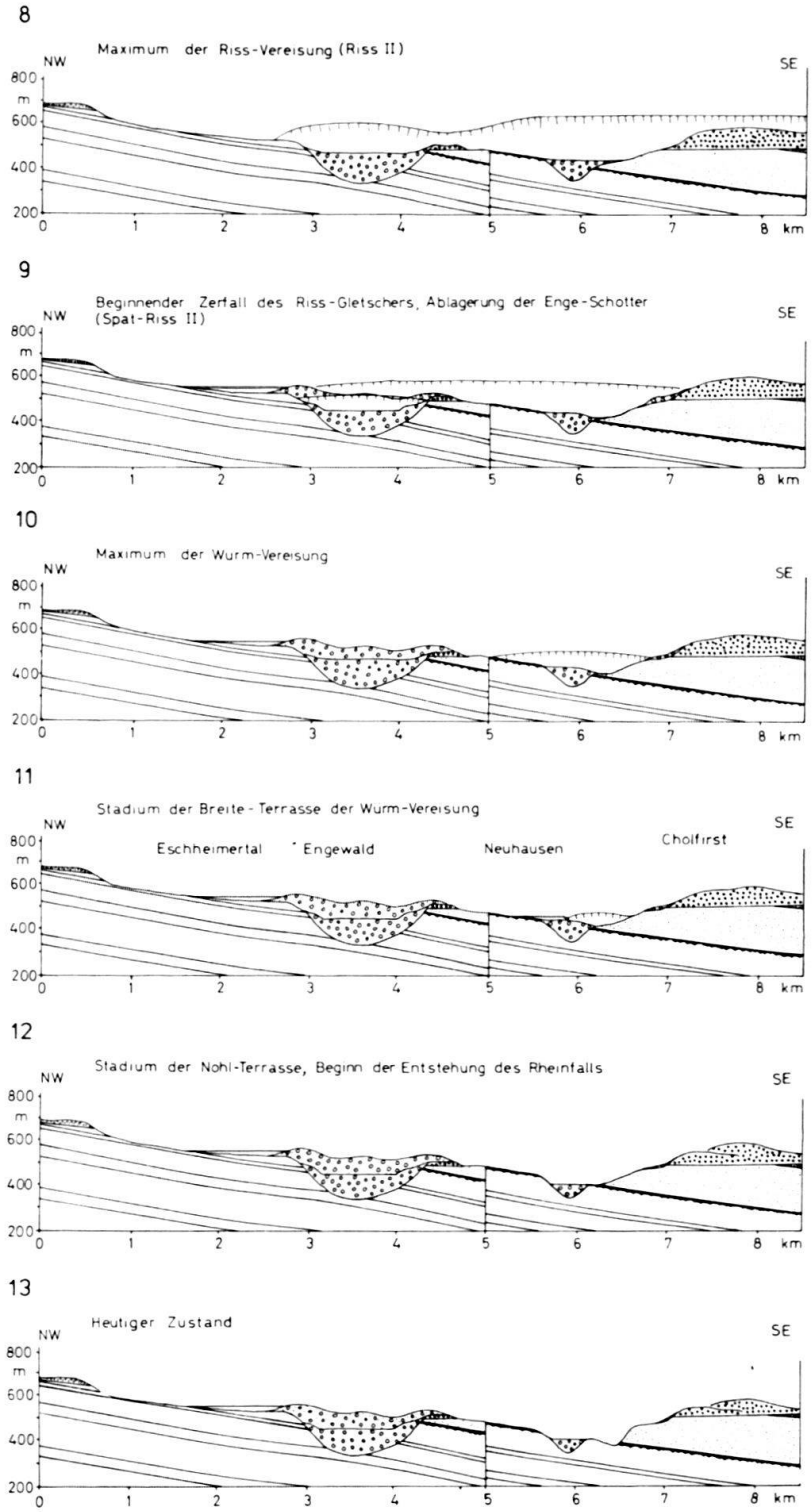


Fig. 5. Abfolge der wichtigsten Phasen der pleistocaenen Landschaftsgeschichte, dargestellt im Querprofil Randen-Eschheimertal-Engewald-Neuhausen am Rheinfall-Cholfirst.

Schichtbezeichnungen (siehe Profil 1): *OSM* = Obere Süsswassermolasse, *OMM* = Obere Meeresmolasse, *USM* = Untere Süsswassermolasse, *B* = Bohnerzformation, *M* = Malm, *D* = Dogger, *L* = Lias, *T* = Trias.

gleichzeitig auf die von risszeitlichen Schottern erfüllte Rinne, die von Schaffhausen über das Urwerf und Flurlingen und unter Neuhausen hindurch zum nördlichen Rheinfall-Becken verläuft.

Mit dem Erreichen der Obergrenze der in die Malmkalke eingetieften alten Rinne wurde der Rhein vom Rheinfall-Gebiet her in deren leicht erodierbare Schotterfüllung kanalisiert. Die Erosion schritt nun sehr schnell voran, und aus den mehr oder weniger zufälligen Gegebenheiten heraus entstand der Rheinfall: der Rhein fällt von Osten her über den widerstandsfähigen Massenkalk-Rand einer älteren Erosionsrinne in ein früheres, rechtwinklig zur Fallrichtung gelegenes, ehedem mit leicht erodierbaren Schottern gefülltes Tal, das rasch freigelegt und vom Rheinfall an vom Rhein wieder benützt wurde (vgl. HEIM 1931).

Aufgrund des Ablaufs der spätwürmzeitlichen Talgeschichte dürfte der Rheinfall in der Zeitspanne vor etwa – 17000 bis – 12000 Jahren entstanden sein.

Das Gefälle des Rheins nahm nach der Freilegung der Rheinfall-Rinne rasch ab, und der Fluss mäandrierte vor der Staustufe des Molasse-Canyons von Rüdlingen–Tössegg in mannigfacher Weise, wie dies die gewundenen Erosions-Terrassenränder der ehemaligen Rheinläufe im Gebiet E der Linie Rheinau–Ellikon sehr deutlich belegen. Auch die Thur wurde zu komplizierten Schleifen veranlasst (Gebiet N von Flaach).

Einem sehr geringen Gefälle standen zweifellos grosse Schmelzwassermengen gegenüber, die das Gebiet vor dem Durchbruch von Rüdlingen gestalteten.

Verdankungen

Der Verfasser dankt den Herren Dr. A. von Moos, Dr. P. Nänny, Dr. C. Schindler und dem Kantonalen Wasserbauinspektorat Schaffhausen, insbesondere Herrn J. Büchli, für wichtige Informationen über Bohrungen im behandelten Gebiet. Herrn Dr. C. Schindler ist der Verfasser für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für die Gelegenheit zur Diskussion einiger schwieriger Quartärprobleme zu Dank verpflichtet.

LITERATURVERZEICHNIS

ELLENBERG, L. (1972): *Zur Morphogenese der Rhein- und Tössregion im nordwestlichen Kanton Zürich.* - Juris-Druck, Zürich.

FISCHER, H., HAUBER, L., & WITTMANN, O. (1971): *Erläuterungen zu Blatt 1047 Basel des geologischen Atlas der Schweiz 1:25000.* - Schweiz. geol. Komm.

FITZE, P. (1973): *Erste Ergebnisse neuerer Untersuchungen des Klettgauer Lösses.* - Geographica helv. *28/2*, 96–102.

GEIGER, E. (1969): *Der Geröllbestand des Rheingletschergebietes im Raum nördlich von Bodensee und Rhein.* - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. *11*, 127–172.

GEYER, O. F. & GWINNER, M.P. (1968): *Einführung in die Geologie von Baden-Württemberg.* - Schweizerbart, Stuttgart.

GILLIAND, P.-A. (1970): *Etude géoélectrique du Klettgau (Suisse), Canton de Schaffhouse.* - Matér. Géol. Suisse, Géophys. *12.*

HANTKE, R. (1959): *Zur Altersfrage der Mittelterrassenschotter. Die riss/würm-interglazialen Bildungen im Linth/Rhein-System und ihre Äquivalente im Aare/Rhone-System.* - Vjschr. natf. Ges. Zürich *104/4*, 1–47.

— (1963): *Chronologische Probleme im schweizerischen Quartär.* - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] *45*, 45–60.

— (1970): *Aufbau und Zerfall des würmeiszeitlichen Eisstromnetzes in der zentralen und östlichen Schweiz.* - Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. *60*, 5–33.

HEIERLI, H. (1974): *Geologisches vom Bodensee-Rheintal.* - Schr. Ver. Gesch. Bodensee *92*, 275-287.

HEIM, A. (1931): *Geologie des Rheinfalls.* - Mitt. natf. Ges. Schaffhausen *10*, 1-70.

HOFMANN, F. (1957): *Pliozäne Schotter und Sande auf dem Tannenberg NW St. Gallen.* - Eclogae geol. Helv. *50/2*, 477-482.

— (1974): *Mineralien des Kantons Schaffhausen.* - Njbl. natf. Ges. Schaffhausen *26*.

— (im Druck): *Erläuterungen zu Blatt 1031 Neunkirch des geologischen Atlas der Schweiz 1:25000.* - Schweiz. geol. Komm.

HOFMANN, F., & HANTKE, R. (1964): *Erläuterungen zu Blatt 1032 Diessenhofen des geologischen Atlas der Schweiz 1:25000.* - Schweiz. geol. Komm.

HUBER, R. (1956): *Ablagerungen aus der Würmeiszeit im Rheintal zwischen Bodensee und Aare.* - Vjschr. natf. Ges. Zürich *101/1*, 1-92.

HÜBSCHER, J. (1951): *Über Quellen, Grundwasserläufe und Wasserversorgungen im Kanton Schaffhausen.* - Njbl. natf. Ges. Schaffhausen *3*.

JÄCKLI, H. (1962): *Die Vergletscherung der Schweiz im Würmmaximum.* - Eclogae geol. Helv. *55/2*, 285-294.

LEEMANN, A. (1958): *Revision der Würmterrassen im Rheintal zwischen Diessenhofen und Koblenz.* - Geographica helv. *13/2*, 89-173.

LINIGER, H. (1966): *Das plio-altpleistozäne Flussnetz der Nordschweiz.* - Regio basil. *7/2*, 158-177.

MANZ, O. (1934/35): *Die Ur-Aare als Oberlauf und Gestalterin der pliozänen Oberen Donau.* - Hohenzoll. Jh. *1* u. *2*, 113-116 u. 187-227.

MEISTER, J. (1894): *Das Schaffhauser Diluvium.* - Verh. schweiz. natf. Ges. *1894*, 9-33.

— (1898): *Neuere Beobachtungen aus den glazialen und postglazialen Bildungen um Schaffhausen.* - Beil. Jber. Gymn. Schaffhausen *1897/98*.

— (1907): *Die städtische Sammlung Erratischer Blöcke im Fäsenstaub (Schaffhausen).* - Paul Schoch, Schaffhausen.

— (1927): *Die Wasserversorgungen im Kanton Schaffhausen.* - Beil. Jber. Kantonsschule Schaffhausen *1926/27*.

MERKLEIN, F. (1869): *Beitrag zur Kenntnis der Erdoberfläche um Schaffhausen.* - A. Gelzer, Schaffhausen.

MOOS, A. VON, & NÄNNY, P. (1970): *Grundwasseruntersuchungen im Klettgau, Kanton Schaffhausen.* - Eclogae geol. Helv. *63/2*, 467-481.

PAUL, W. (1965): *Zur Frage der Rissvereisung der Ost- und Südostabdachung des Schwarzwaldes.* - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. *7*, 423-440.

— (1966): *Zur Frage der Rissvereisung der Ost- und Südostabdachung des Schwarzwaldes (II).* - Mitt. bad. Landesver. Natkd. Naturschutz [N.F.] *9/2*, 309-324.

PFANNENSTIEL, M. (1958): *Die Vergletscherung des südlichen Schwarzwaldes während der Risseiszeit.* - Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. *48/2*, 231-272.

PFANNENSTIEL, M., & RAHM, G. (1963): *Die Vergletscherung des Wutachtales während der Risseiszeit.* - Ber. natf. Ges. Freiburg i. Br. *53*, 5-61.

— (1966): *Nochmals zur Vergletscherung des Wutachtals während der Risseiszeit.* - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. *8*, 63-85.

SCHALCH, F. (1908): *Erläuterungen zu Blatt 133 Blumberg der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1:25000.* - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

— (1912): *Erläuterungen zu Blatt 144 Stühlingen der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1:25000.* - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

— (1916): *Erläuterungen zu Blatt 145 Wiechs-Schaffhausen der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1:25000.* - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

— (1921): *Erläuterungen zu Blatt 158 Jestetten-Schaffhausen der Geologischen Spezialkarte von Baden 1:25000.* - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

— (1922): *Erläuterungen zu Blatt 157 Griessen der Geologischen Spezialkarte von Baden 1:25000.* - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

SCHINDLER, C. (1968): *Zur Quartärgeologie zwischen dem unteren Zürichsee und Baden.* - Eclogae geol. Helv. *61/2*, 395-433.

SCHREINER, A. (1970): *Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1:50000.* - Geol. Landesamt Bad.-Württemb.

— (1975): *Zur Frage der tektonischen oder glazigen-fluviatilen Entstehung des Bodensees.* - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] *57*, 61-75.

WAGNER, G. (1962): *Zur Geschichte des Bodensees.* - Jb. Ver. Schutz Alpenpfl. u. -tiere *27*, 1-19.

WEHRLI, L. (1894): *Über den Kalktuff von Flurlingen bei Schaffhausen.* - Vjschr. natf. Ges. Zürich *39*/3-4.

Geologische Karten

ERB, L. (1931): *Blatt 146 Hilzingen.* Geol. Spez.-Karte von Baden, 1:25000. - Bad. geol. Landesamt u. schweiz. geol. Komm.

FISCHER, H. (1965): *Blatt 1066 Rodersdorf (SE-Teil).* Geol. Atlas der Schweiz, 1:25000. - Schweiz. geol. Komm.

HANTKE, R. (1967): *Geologische Karte des Kantons Zürich, 1:50000.* - Vjschr. natf. Ges. Zürich *112*/2.

HEIM, A., & HÜBSCHER, J. (1931): *Geologische Karte des Rheinfalls, 1:10000.* - Mitt. natf. Ges. Schaffhausen *10.*

HOFMANN, F. (in Vorb.): *Blatt 1031 Neunkirch.* Geol. Atlas der Schweiz, 1:25000. - Schweiz. geol. Komm.

HÜBSCHER, J. (1957): *Blatt 1032 Diessenhofen.* Geol. Atlas der Schweiz, 1:25000. - Schweiz. geol. Komm.

SCHALCH, F. (1909): *Blatt 144 Stühlingen.* Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1:25000. - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

— (1916): *Blatt 145 Wiechs-Schaffhausen.* Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1:25000. - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

SCHALCH, F., & GÖHRINGER, K. (1921): *Blatt 158 Jestetten-Schaffhausen.* Geol. Spez.-Karte von Baden, 1:25000. - Bad. geol. Landesanst. u. schweiz. geol. Komm.

SCHREINER, A. (1970): *Geologische Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung, 1:50000.* - Geol. Landesamt Bad.-Württemb.

WITTMANN, O., HAUBER, L., FISCHER, H., RIESER, A., & STAEHELIN, P. (1970): *Blatt 1047 Basel.* Geol. Atlas der Schweiz, 1:25000. - Schweiz. geol. Komm.