

Die Geologie von Vorarlberg – Beispiel einer internationalen Zusammenarbeit im Bereich der westlichen Ostalpen					Redaktion: Maria Heinrich
Jb. Geol. B.-A.	ISSN 0016-7800	Band 135	Heft 4	S. 809-824	Wien, Dezember 1992

Zur Morpho- und Chronostratigraphie des Oberen Würm in Vorarlberg

Von LEO W. S. DE GRAAFF*)

Mit 10 Abbildungen

Dr. RUDOLF OBERHAUSER
zum 65. Geburtstag gewidmet

*Vorarlberg
Würmeiszeit
Quartärstratigraphie
Talvergletscherung
Rheintalglatscher*

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 81-83, 110-113, 140-143, 169, 170

Inhalt

Zusammenfassung	809
Abstract	809
1. Einleitung	810
2. Der letzteiszeitliche Eisaufbau	810
3. Das Problem des Maximalstandes	812
4. Ablauf der Würmvergletscherung	812
5. Das Walgauer Vergletscherungsmodell	814
6. Talvergletscherung und Schneegrenzlagen	817
7. Pleistozäne Lokalstadien und Blockgletscher	818
8. Verbindungen mit Klimakurven	822
9. Schlußfolgerungen	822
Literatur	823

Zusammenfassung

Die von der AGRG in Vorarlberg und im angrenzenden Alpenvorland durchgeführte, flächendeckende geomorphologische Kartierung – größtenteils im Maßstab 1 : 10.000 – führte zur Entwicklung einer detaillierten Morphostratigraphie der letzteiszeitlichen Geländeformen und Quartärablagerungen. Talfüllungen und ein ¹⁴C-Datum (23.900±400 BP) bringen Information über die letzte Aufbauphase. Der Abbau ist von aufeinanderfolgenden (von Sedimenten markierten) Eisrandlagen des rückschmelzenden Rheingletschers belegt. Die Vorlandstadien konnten mit N-Vorarlberg verbunden werden und sind außerdem mit einigen ¹⁴C-Datierungen verknüpft. Um 15.500 BP war das Eisstromnetz im südlichen Walgau nicht mehr völlig geschlossen. Im unteren Rhein- und Illtal waren die Gletscher vor dem Ende der Ältesten Dryas (13.000 BP) verschwunden.

Die Interaktion zwischen glazialen und fluvialen Prozessen während der Auf- und Abbauphasen der pleistozänen Talvergletscherungen wird hervorgehoben. Der Prozeßgang wurde von der früh- und spätglazialen Ablagerung fluvialer Talfüllungen in verschiedenen Seitentälern des Rhein- und Illtals abgeleitet. Die vorhandenen Relikte ermöglichen nicht nur, den Mechanismus der Haupt-/Seitenttalvergletscherungen zu erklären, sondern es ist auch eine Talvergletscherungsfolge mit zugehörigen Schneegrenzlagen während des Eisaufbaus und Eisabbaues festzustellen. Neue stratigraphische Übersichtstabellen werden präsentiert. Schließlich wird auf die Konsequenzen für die chronostratigraphische Einstufung der fossilen Blockgletscher und Lokalmoränen hingewiesen. Die Schneegrenzdepressionswerte (SGD-Werte) waren in W-Vorarlberg bis kurz vor und nach dem letzten Hochglazial allgemein niedriger (höhere Schneegrenzlagen!), als vorher angenommen wurde.

Morpho- and Chronostratigraphy of the Upper Würm in Vorarlberg

Abstract

The 1 : 10.000 scale morphological mapping programme of the AGRG carried out in Vorarlberg and in the adjacent (sub)alpine foreland strongly contributed to develop a detailed morphostratigraphy of the last major period of valley glaciation. Valley fills and one ¹⁴C-dating (23.900±400) provide information on the last glacier advance. The recessional stages of the Rhine glacier in the area northeast of Lake Constance could be correlated with ice-marginal deposits in Vorarlberg. Moreover, they could be linked up with some existing ¹⁴C-datings. The glacier network of the southern Walgau disintegrated already at around 15.500 BP and all trunk glaciers in Vorarlberg disappeared before the end of the Oldest Dryas.

*) Anschrift des Verfassers: LEO W. S. DE GRAAFF, Alpine Geomorphology Research Group (AGRG), Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde (Fakulteit der Ruimtelijke Wetenschappen), Universiteit van Amsterdam, Nieuwe Prinsengracht 130, NL-1018 VZ Amsterdam.

The interaction of glacial and fluvial processes during successive stages of valley glaciation is emphasized. This is based on the study of the relicts of valley fills and of the ice-marginal terrace systems along the eastern slope of the Rhine valley and in the southern Walgau. These fills and terraces respectively were deposited during early- and late-glacial stages of valley glaciation. Their relicts not only allow to explain and model the mechanisms of valley glaciation, they also enable to reconstruct the relative moment tributary valleys became glaciated or deglaciated. Moreover, former positions of snowlines during early- and late-glacial stages of valley glaciation can be estimated. An overview is presented by stratigraphic tables. Consequences for establishing the possible age of fossil rock glaciers and local moraines are shortly discussed. The Pleistocene lowering of snowlines (and their fluctuations) during early- and late-glacial stages proved to be less than commonly assumed.

1. Einleitung

Die Entwicklung einer zuverlässigen regionalen Quartärstratigraphie in alpinen und subalpinen Gebieten umfaßt verschiedene Aspekte. Es geht unseres Erachtens erstens um eine Bestandsaufnahme (Kartierung) der vorhandenen Ablagerungen und Geländeformen. Genese und Interpretation sind am Anfang das Hauptproblem. Später folgen – in Verbindung mit absoluten Altersbestimmungen – die Rekonstruktion der Vergletscherungsgeschichte und der damaligen regionalen Schneegrenzlagen, die Einstufung von Lokalstadien und Blockgletschern und, wenn möglich, ein Vergleich mit Klimakurven aus anderen Gebieten.

Diese Publikation bietet für Vorarlberg eine Zusammenfassung des „state of the art“. Die Hauptzüge der Vorarlberger Quartärstratigraphie werden jetzt präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Die Aktivitäten der „Alpine Geomorphology Research Group“ (AGRG) konzentrierten sich auf Vorarlberg. Weiters finden an der schweizerischen Seite des Rheintals und im süddeutschen Alpenvorland Untersuchungen statt, und es wird von der AGRG an Untersuchungsprojekten in den Anden (Kolumbien) partizipiert. Seit 1982 umfaßt die Gesamtproduktion der Arbeitsgruppe über vierzig wissenschaftliche Publikationen, Diplomarbeiten, Exkursionsführer und Gutachten. Subventioniert von der Vorarlberger Landesregierung wurde für 1988 ein Geotopinventar für Vorarlberg hergestellt, und weiters wurden 1988 und 1992 (Druckgang bei der Vorarlberger Verlagsanstalt Dornbirn 1987 und 1991) geomorphologische Kartenreihen veröffentlicht (je zwölf Blätter, Format A2, Maßstab 1 : 10.000).

Die flächendeckende geomorphologische Kartierung (konform der AGRG-Legende, siehe DE GRAAFF, DE JONG, RUPKE & VERHOFSTAD, 1987) ist ein unentbehrliches Instrument im Untersuchungsprogramm. Als Aufnahmesystem ist sie zwingend: Landschaftsformen, Materialien, Prozeßgang und relatives Alter können nur flächendeckend und reproduzierbar in die Karten eingetragen werden, nachdem (räumlich und zeitlich) ein zusammenhängendes Bild des Objekts entwickelt worden ist. Ein gereiftes Kartenbild ist außerdem eine praktisch verwendbare Informationsbasis, die sich digitalisieren läßt (siehe z. B. STAKENBORG, 1986). Detailliert durchgeführte geomorphologische Kartierungen werden von der AGRG deshalb meistens als Grundlagen, auch für angewandte Arbeiten, benutzt. Der Maßstab der Kartierungen wechselte nach Ziel zwischen 1 : 10.000 (Standard für die Landesaufnahme) bis 1 : 2.000 oder größer für ingenieurgeologische Zwecke.

Die Quartärgeologie kommt auf den geomorphologischen Karten nur teilweise zum Ausdruck. Materialien werden rasterartig eingetragen, wenn sie direkt mit Geländeformen zusammenhängen (z. B. Schotterterrassen, Moränenwälle, Blockgletscher, etc.). Ein nicht an deutliche Geländeformen gebundenes oder beschränktes Materialvorkommen wird durch Einzelsymbole dargestellt

oder gar nicht eingetragen. Das ist oft für Erosions- und Rutschgebiete der Fall, weil in den AGRG-Karten immer der letzte aktive Prozeß dargestellt wird. Die fazielle Quartäreinteilung ermöglicht es jedoch, die geomorphologischen Aufnahmen in relativ kurzer Zeit in quartärgeologische Karten selben Maßstabs zu übersetzen (DE GRAAFF, GEERLING & SEIJMONSBERGEN, in Vorber.).

SIMONS (1985) analysierte die ältere Fachliteratur über Vorarlberg und präziserte nach genauen Geländebeobachtungen (in den sechziger und im Anfang der siebziger Jahre) die Morphogenese zahlreicher pleistozäner Eisrandlagen. Die späteren Arbeitsergebnisse der AGRG bestätigen seine wichtigsten Befunde. Erst seit die größeren Untersuchungen im süddeutschen Raum abgeschlossen waren (z. B. DE JONG, 1983; RAPPOL, 1983), konnten die wülmstratigraphischen Verbindungen zwischen dem Alpenvorland und Vorarlberg gezogen werden. Bald über dieses Thema und über die chronologische Einstufung der Eisrandlagen, Stausee usw. im nördlichen Vorarlberg (Vorderer Bregenzerwald) eine Übersichtspublikation erscheinen (DE GRAAFF, DE JONG, RUPKE, in Vorber.).

Die Vorarlberger Quartärstratigraphie spiegelt die Rheintal/Bodenseevergletscherung wider. Die Chronostratigraphie des Oberen Würm ist von ¹⁴C-Datierungen abhängig. Dendrochronologische Untersuchungen an der Universität von Stuttgart-Hohenheim haben neulich nachgewiesen, daß im Vergleich mit ¹⁴C-Daten für das absolute Alter der pleistozänen Ereignisse wahrscheinlich mit einer beträchtlichen Korrektur gerechnet werden muß (BECKER, KROMER & TRIMBORN, 1991). Der Übergang vom Pleistozän zum Holozän wird von dieser Arbeitsgruppe um etwa 1000 Jahre vorverlegt. Bis sich neue internationale Konsense über die absolute Datierungsproblematik entwickeln, benützt die AGRG die traditionelle ¹⁴C-Einteilung. Leider kann die Stratigraphie des Oberen Würm im Bodenseegebiet nur durch wenige ¹⁴C-Datierungen untermauert werden. Doch bestehen gerade in Vorarlberg gute Voraussetzungen zur Verbindung und Korrelierung der Eisrandlagen und Ablagerungen im Alpenvorland und im Alpeninneren.

2. Der letzteiszeitliche Eisaufbau

Laut KELLER & KRAYSS (1991) hatte der letzte Aufbau des Rheingletschers erst nach 25.000 BP (before present) richtig angefangen. Dieses Datum wurde nach einer Entscheidung der INQUA-Subkommission im Baumkirchenprofil (Inntal) als Zeitgrenze zwischen Mittleres Würm und Oberes Würm gestellt (CHALINE & JERZ, 1984). Konform mit dieser Entscheidung stehen nach weiteren Annahmen von KELLER & KRAYSS ungefähr 7000 Jahre für den Eisaufbau zur Verfügung, ehe das (auf 18.000 BP gestellte) Maximum erreicht wurde.

Es ist eine offene Frage, ob Rheintal- und Inntalvergletscherung synchrone Verhältnisse zeigen. Obwohl KELLER

& KRAYSS betonen, daß weitere Untersuchungen im Inntal zur Beantwortung dieser Frage notwendig sind, wird jedoch von einem Analogieschluß zum Anfang des letzten Eisaufbaus (ab 25.000 BP) ausgegangen:

Vom Isohypsenbild und der angenommenen Stirnposition des Inngletschers („oberhalb von Baumkirchen“) und mit einem angenommenen AAR-Wert (Verhältnis zwischen Akkumulationsareal und Ablationsareal) von 0,67 wurde eine Schneegrenzdepression von 700 m berechnet, die ohne weiteres in das bündnerische Rheingebiet übertragen wird. KELLER & KRAYSS entscheiden dann (als Äquivalent für die angenommene Stirnposition des Inngletschers) „für eine Endlage im Raum der Konfluenz von Vorder- und Hinterrhein bei Domat-Ems.“

Einerseits wird auf Grund der Erfahrungen in Vorarlberg bezweifelt, ob es überhaupt erlaubt ist, geschätzte oder berechnete Schneegrenzlagen für solche Korrelations-sprünge zu verwenden. Andererseits ist jeder Versuch zur Entwicklung von Vergletscherungs- und Klimamodellen äußerst wichtig. Interessant sind vor allem die von KELLER & KRAYSS durchgeführten Berechnungen der möglichen Zuwachsraten etc. beim Aufbau des Rheingletschers. Über einen Zeitraum von 7000 Jahren wird mit mittleren Höhenzunahmen der Eisoberfläche (im Rheintal) von 9 cm pro Jahr gerechnet (20 cm pro Jahr im Anfang, fallend

bis zirka 5 cm, weil die mittleren Niederschlagsraten allmählich abnehmen). Ein Vorstoß von Domat-Ems bis Konstanz (125 km) erfolgt dann erstaunlich rasch und braucht vielleicht nur 1600 Jahre. Solche Aufbaugeschwindigkeiten scheinen uns durchaus realistisch, nur muß mit Stabilisierungsphasen und Gletscherschwankungen gerechnet werden (siehe unten). Die Zeitgliederung des Oberen Würm und die Nettobilanzkurve des Rhein-Linth-Gletschers, wie von KELLER & KRAYSS (1991) dargestellt, sind in Abb. 1 kombiniert abgebildet.

Dem neuen Fund eines nicht erodierten Mammutstoßzahnes in der Hochwacht Kiesgrube südöstlich von Bregenz verdanken wir die erste absolute Datierung einer frühhochglazialen Eisrandlage des Rheintalgletschers in Vorarlberg (23.900–400 BP UtC-1292: DE GRAAFF, 1992).

Das Material in dieser Grube wurde beim letzten großen Vorrücken primär vom Rheingletscher geliefert, aber nachher wieder fluvial (Entwässerung des Bregenzerwaldes!) in westliche Richtung verfrachtet und als Deltaschotter in einen Stausee abgelagert. Kurz danach wurde die Stelle vom Rheintalgletscher überfahren. Die Übergußschichten („topset beds“) des Hochwacht deltas wurden während des Hochglazials subglazial erodiert. Knapp zehntausend Jahre später wurden die darunterliegenden Vorgußschichten („foreset beds“) wieder freigelegt.

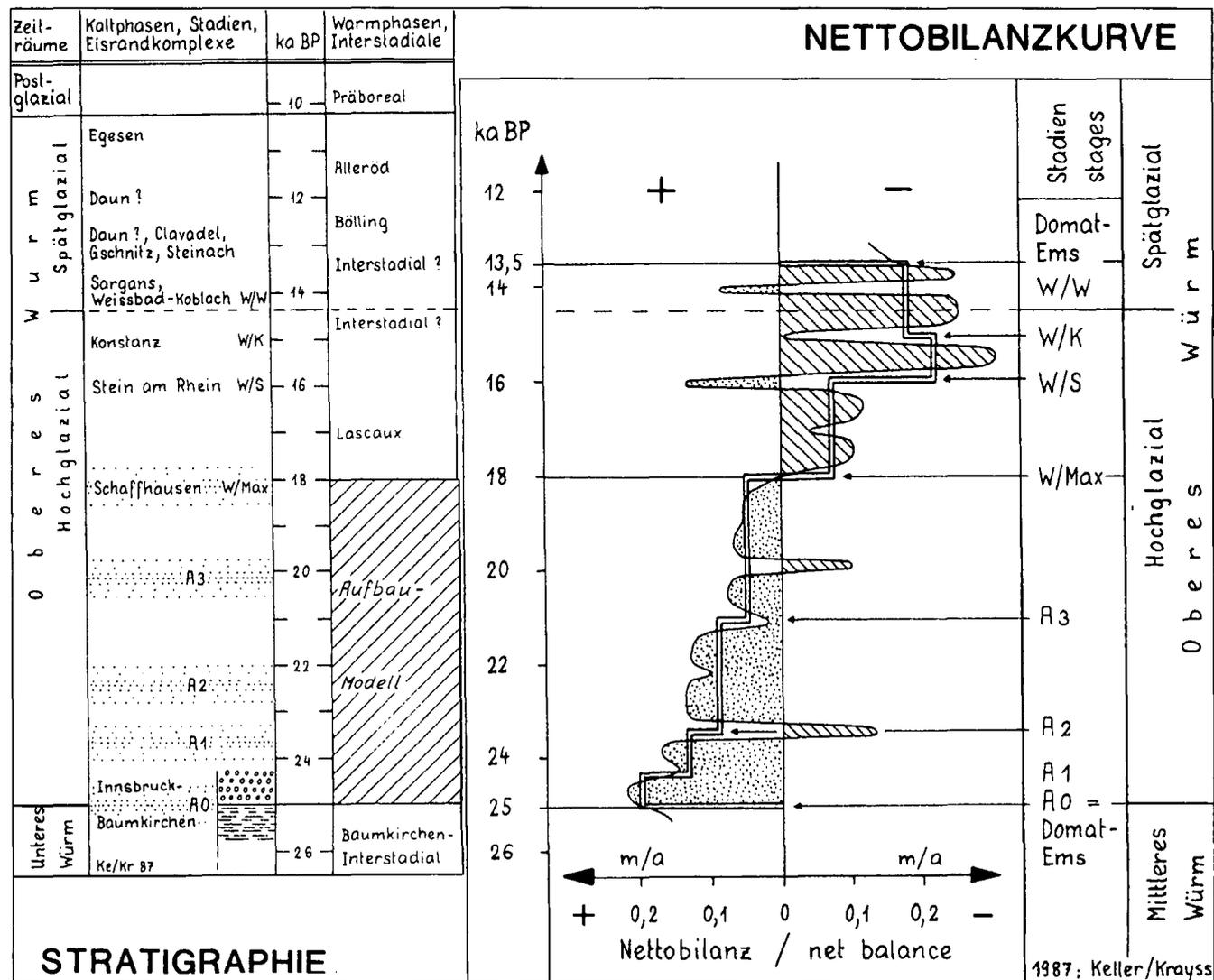


Abb. 1. Gliederung des Oberen Würm und Modell einer Nettobilanzkurve des Rhein-Linth-Gletschers (KELLER & KRAYSS, 1991).

Die Lage der Hochwachtablagerungen im unteren Bregenzerachtal weist also eine Stauseebildung und sogar eine Lokalschwankung des Rheingletschers nach. Die bis auf 620–630 m angestaute Entwässerung war in dieser Phase noch eisrandparallel über Bregenz zu verfolgen (Trochental Gebhardsberg). Beim weiteren Vorrücken des Gletschers stellte sich die Entwässerung auf die wenig höher liegende Talwasserscheide des Rotachtals ein. Eine ähnliche Situation führt späteiszeitlich zu der ausgedehnten Stauseebildung (650–660 m) des Konstanzer Stadiums, siehe DE GRAAFF (1992) und DE GRAAFF, DE JONG & RUPKE (in Vorber.).

Es ist anzunehmen, daß die Hochwacht-Datierung die zeitliche und räumliche Lage des stauenden Rheingletschers sehr genau markiert. Der Gletscher lag hier auf 620–630 m Höhe und dürfte in westlicher Richtung schon nicht mehr weit von Konstanz gestirnt haben. Dies geschah also um 1000–1500 Jahre früher, als von KELLER & KRAYSS angenommen wird (vergleiche Abb. 1 und 2). Dies bedeutet

- 1) Der Eisaufbau im Rheintal hatte bereits früher als 25.000 BP angefangen;
- 2) Der Aufbau vollzog sich rascher, als von KELLER & KRAYSS berechnet wurde;
- 3) Der Rheingletscher lag kurz vor 25.000 BP nicht in der Umgebung von Domat-Ems, sondern weiter nördlich.

Neue Aussagen können erst im Licht von neuen Argumenten folgen. Vielleicht muß mit einer Kombination von obengenannten Faktoren gerechnet werden. Die $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ -Temperaturkurven vom Grönlandeis (Camp Century Kurve von DANSGAARD, JOHNSON, CLAUSEN & LANGWAY, 1982; siehe 8.) zeigen vor dem letzten Hochglazial ein regelmäßiges und rasches Aufeinanderfolgen von Temperaturmaxima und -minima. Diese bewegen sich um wenig variierende Mittelwerte. Die Amplituden sind verhältnismäßig groß und könnten mehr oder weniger mit Gletscherschwankungen im Alpenraum korrespondieren. Diese Periode dauerte vielleicht bis um 22.000 BP an, bevor die letzte extreme Kältephase einsetzte.

3. Das Problem des Maximalstands

Die Vergletscherungsgeschichte in Vorarlberg wurde hauptsächlich durch drei Eisströme (Rheintal, Illtal und Bregenzerwald) bedingt. Seit KRASSER (1936) über den Bereich der Vorarlberger Gletscher berichtete, haben sich mehrere Autoren mit Teilaspekten der Vergletscherungsgeschichte in Vorarlberg und in dem angrenzenden Alpenvorland befaßt. Der Rheingletscher floß während des Hochglazials weit in das Alpenvorland hinaus. Wahrscheinlich kurz nach dem Maximalstand stabilisierte sich die Gletscherfront westlich des Bodensees in der Nähe von Schaffhausen („Stadium Schaffhausen“, Würm-Stand (1); siehe KELLER & KRAYSS, 1983). Dieser Gletscherstand zeigt sich im Bodenseeraum mit Wallformen und proglazial abgelagerten Sanden und Kiesen, die ursprünglich von PENCK & BRÜCKNER (1906) als „Äußere Jungendmoränen“ gedeutet wurden. Jetzt werden diese Ablagerungen und Geländeformen von der AGRG zusammenfassend als Komplex I beschrieben. HANTKE (1980), KELLER & KRAYSS (1980, 1983, 1987, 1988, 1991), DE JONG (1983), DE GRAAFF (1992), DE GRAAFF, DE JONG & RUPKE (in Vorber.) geben eine Gesamtübersicht der quartär-geologischen Verhältnisse im Bereich des Bodensees.

Es ist unsicher, wann und wo der eigentliche Maximalstand erreicht wurde und wie sich die Gletscherfront im

Vorland zwischen etwa 20.000 und 17.000 vor heute bewegt hatte. Die hocheiszeitlichen Gletscherlagen sind auch innerhalb Vorarlbergs schwierig zu rekonstruieren. KRASSER (1936, 1940) schätzte den Würmhochstand für Feldkirch auf Grund der Erratikafunde im Walgau auf Mindeststand 1700 m Höhe ein. Damit korrespondierende Eishöhen wurden von SMIT SIBINGA-LOCKKER (1965) im Bereich von Ebnit/Schuttannen erwähnt. Relativ frische glaziale Erosionsformen und Einzelerratika sind hier die auffallenden Zeugen.

HAAGSMA (1974) bestimmte Mindesthöhen für den Würmhochstand im nördlichen Walgau. Er gründete seine Aussagen auf das Vorkommen von glazial verfrachteten Schwermineralien aus der Silvretta: Amphibol- und Epidotkörner wurden in beträchtlicher Menge, fast bis zum Gipfel des Hohen Frassen (1979 m) und dem Hochgerachgrat entlang (bis auf 1850 m) gefunden. Wie HAAGSMA berichtete, könnten die lokalen Höhenunterschiede der Schwermineraliengrenzen einen Gletschergradienten von etwa 13 %–14 % anzeigen.

DE GRAAFF & RUPKE (1979) haben sich für den Bregenzerwald über das Problem des Würmmaximalstandes geäußert. Die Eisrandlage Lustenauer Hütte – Bödele – Pfänder ist von Moränenwällen markiert. Lokal sind sie die höchsten Wallformen, repräsentieren aber keinen Maximalstand. Die Eisoberfläche befand sich im Hochstand im Bereich der Hochälpele (östlich von Dornbirn) wahrscheinlich über der lokalen Schneegrenze und hatte deswegen kaum Spuren hinterlassen. Der Hochstand wird mindestens um 200 m höher als „Bödele“ eingeschätzt (siehe auch DE GRAAFF, 1986a; SEIJMONSBERGEN & VAN WESTEN, 1988 und VAN GELDER, DE GRAAFF & SCHURINK, 1990). DE GRAAFF, DE JONG und RUPKE (in Vorber.) bestätigen diese Auffassungen auf Grund von neuen Korrelierungen und Beobachtungen im Bereich des Hochhäderichs und am Kojen-Imbergkamm. Das Bödele-Stadium wird jetzt mit dem Hauptstand des Komplex II (Stadium „Stein am Rhein“) verbunden, wie in Abb. 2 gezeigt wird. Das Stadium I der Lokaleinteilung von DE GRAAFF (Bödele s. I.; DE GRAAFF, 1986a) wird jetzt (DE JONG, 1983) als Komplex II in den neueren Publikationen der AGRG gedeutet.

Diese Annahmen stehen einigermaßen in Widerspruch mit den Auffassungen der schweizerischen Autoren. HANTKE (1980, 1987), KELLER & KRAYSS (1987, 1991) und JORDI (1977, 1986) rechnen mit Würmmaximalständen bis zu 1500 m für SW-Vorarlberg (Standort Feldkirch). Hinweise für höhere ehemalige Gletscherlagen werden oft auf das Konto der Reiß-Vergletscherung geschoben.

4. Ablauf der Würmverglletscherung

Nach 17.500 BP besserte sich das Klima wesentlich, und es zog sich die Gletscherfront im Alpenvorland sprungweise zurück. Für eine Gesamtübersicht der Vorlandverglletscherung wird auf HANTKE (1980, 1984) und KELLER & KRAYSS (1987, 1988, 1991) hingewiesen. „Stein am Rhein“ wird von KELLER & KRAYSS als der letzte große Vorstoß des Rheingletschers im Alpenvorland beschrieben und vorläufig auf 16.000 BP gestellt. „Konstanz“ (um 15.000 BP) wird als nächstjüngere Hauptstabilisierungsphase betrachtet. Bald nach „Konstanz“ setzte ihres Erachtens ein rascher Zerfall des Rheingletschers ein.

Von der AGRG werden diese Rückschmelzstadien durchschnittlich etwas jünger angesetzt und sonst wird der „Rückzugscharakter“ dieser Stadien betont (siehe unten). Die Auffassungen über die Schlußvereisung im Al-

peninneren laufen jedoch weiter auseinander. KELLER & KRAYSS deuten „Koblach“ (am Kummaberg im Rheintal) nach „Konstanz“ als nächstfolgendes Stabilisierungsstadium (um 14.000 BP). „Koblach“ wird mit der Lokalvergletscherung „Weissbad“ im Säntisgebiet gleichgestellt (siehe auch KELLER, 1988; HANTKE, 1987 und Abb. 1). Nach unserem Wissen ist „Koblach“ als Eisrandstadium nicht

besonders wichtig und nur eines aus der Reihe von spätglazialen Abschmelzstadien wie sie am Osthang des Rheintals zwischen Feldkirch und Götzis entwickelt worden sind. Die Säntisvergletscherung („Weissbad“) scheint uns älter und könnte mit topographisch höher gelegenen Eisrandlagen des Rheintalgletschers in Verbindung gestanden haben.

Morphostratigraphie in NW-Vorarlberg					
EISABBAU IM BODENSEE-RHEINTAL, IM UNTEREN ILLTAL UND IM VORDEREN BREGENZERWALD IST UM 13.400 JAHRE VOR HEUTE VOLLZOGEN					
ZEIT BP	Letzte Würm-Kältephase	BODENSEE-RHEINTAL (Keller & Krayss '87-'91)	BODENSEE-RHEINTAL/ILLTAL (teils n. de Graaff, et al, 1989) mit Schätzung Eishöhe Feldkirch	VORD. BREGENZERWALD Hauptstadien und Seespiegelhöhen	
13.400	Spät-		(FELDKIRCH-DUMS) 540 m		
,500			FELDKIRCH-AGASELLA 560 m		
,600			KOBLACH-St. ARBOGAST 650 m		
,700			KLAUS-MATIONSWIESE 700 m		
,800			KLAUS-PLATTENWALD 750 m		
,900			BREGENZ-ÖLRAIN 800 m	WOLFURT (435 m)	
			RAINBERG-SULDIS 850 m		
14.000	glazial	- FELDKIRCH	- (ÜBERSAXEN) 1000 m	ANDELSBUCH (600 m) (=Komplex IV)	
,200		- KOBLACH	[¹⁴ C-Dat. Hinterhausen 14.100±115 BP; Hv-10653 (KONSTANZ; Gayh & Schreiner 1984 (= Komplex III De Jong 1983)]		
,400		(Spätglazial)	(GARTIS-ÜBERSAXEN) 1100 m (= Konstanz s.l.?)	LINGENAU (650 m) (=Komplex III s.l.)	
,600				HITTISAU (800 m)	
,800				SIBRATSGF. (900 m)	
15.000	zial	- KONSTANZ	[¹⁴ C-Dat. Karsee 15.090±80 BP; GrN-11836 (Spätphase Komplex II De Jong 1983 (= Spätphase Stein am Rhein)]		
,200			ROSSBODEN-VALSCHERINA 1350 m		
,400				ÄÜßERE GAMPALP 1400 m	BÖDELE (=St. am Rh?) (=De Jong Kompl. II)
,600		---?---			
,800	Hoch-	-----?-----			
16.000	glazial	- STEIN AM RHEIN			
,7000		- FEVERTHALEN	Würm-Maximum ? 1700 m?		
,8000		- SCHAFFHAUSEN	(Dansgaard et al, 1971; De Jong 1983)		
19.000	zial	Würm-Maximum ?	(letzter Hauptwürmvorstoß)		
,20.000					
,22.000		---?---	- (Ravensburg-Interstad. ?) (OBERSEE)		
,24.000	glazial		[¹⁴ C-Dat. HOCHWACHT 23.900±400 BP; UtC-1292 (Mammut-Stoßzahn 1000 m? Stausee (620 m)]		
,26.000					
L.W.S. de GRAAFF 1992					

Abb. 2. Übersicht der Morphostratigraphie des Oberen Würm nach KELLER & KRAYSS (1987–1991) und nach DE GRAAFF (1992).

Die von KELLER & KRAYSS gebrauchte chronologische Einstufung der Vorlandstadien ist systematisch von den untenstehenden Altersbestimmungen der rand- und proglazial entwickelten Schotterablagerungen abweichend:

- DE GRAAF (1992): Hochwacht bei Bregenz, UtC-1,292, 23,900±400 BP (Lokalschwankung der letzten Vorstoßphase)
- GEYH & SCHREINER (1984): Markelfingen, 18,530±1,045/925 (Vorstoßphase)
- DE JONG (1983): Karsee, 15,090±80 BP („Spätphase Stein am Rhein“)
- GEYH & SCHREINER (1984): Steißlingen, 14,800±120 BP („Stadium 7, Stein am Rhein“)
- GEYH & SCHREINER (1984): Hinterhausen, 4,100±115 BP („Stadium 9, Konstanz“).

Nur die Datierung des Würm-Maximums auf 14,610±90 BP (GEYH & SCHREINER, 1984: Engen) ist mit dieser Serie unvereinbar und wird als unzutreffend aufgefaßt (DE GRAAFF, DE JONG & RUPKE, in Vorber.). Mit Ausnahme von „Hochwacht“ waren diese Datierungen auch KELLER & KRAYSS bekannt. Sie entschieden jedoch „unter Abwägung verschiedener anderer Gesichtspunkte“ (KELLER & KRAYSS, 1988, S. 5) für eine Haupteinteilung der Hauptstadien wie in Abb. 1 präsentiert.

Wir kennen diese Gesichtspunkte nicht. Unseres Erachtens bringen vielmehr die obenerwähnten Datierungen gerade ein passendes Zeitmodell der Bodenseevergletscherung mit sich. Dieses Modell stimmt mit der von DE JONG (1983) bearbeiteten Gliederung (Komplex II und III) überein. Die späteren Untersuchungsergebnisse der AGRG schließen sich seinen Auffassungen an (DE GRAAFF, 1992; DE GRAAFF, DE JONG & RUPKE, in Vorber.).

DE JONG betonte, daß die morphostratigraphischen und sedimentologischen Verhältnisse der Eisrandablagerungen nordöstlich des Bodensees nur auf Stillstandsphasen im generellen Rückschmelzen des Rheingletschers hinweisen. Dann stabilisierte sich der Eisrand während relativ kurzer Zeitperioden. Abgesehen von lokalem Ausbrechen von Gletscherzungen konnte von DE JONG nirgendwo ein erneutes Vorstoßen des Rheingletschers festgestellt werden.

Abb. 1 (KELLER & KRAYSS, 1991) und Abb. 2 (DE GRAAFF, 1992) zeigen die bestehenden Auffassungsunterschiede im Vergleich. Die Zeitdauer der unterschiedlichen Hauptstadien ist unsicher. Allgemein wird angenommen, daß Rheintal und Illtal in der Umgebung von Feldkirch am Ende der Ältesten Dryas (um 13.000 BP) endgültig eisfrei waren. Ab dieser Zeit entwickelte sich die spät- und postglaziale Flora und Fauna, wie aus Untersuchungen mehrerer Torf- und Kalkgyttja-Ablagerungen bekannt geworden ist (JORDI, 1977, 1986; CHEDEL, 1986; DE GRAAFF, KUIJPER & SLOTBOOM, 1989).

5. Das Walgau-Vergletscherungsmodell

Neue Einsichten in die eiszeitlichen Verhältnisse haben sich vor allem aus den Interaktionen zwischen glazialen und fluviatilen Prozessen entwickelt. Nach der ersten systematischen Bearbeitung und den geomorphologischen Geländeaufnahmen unter Führung von A.L. SIMONS (siehe DE GRAAFF & RUPKE, 1979; SIMONS, 1985) war vom Ablauf der letzten Eiszeit in Vorarlberg bekannt, daß die meisten Seitengletscher im Ill- und Rheintal sehr rasch auf Klima-

besserungen reagierten und früher als die Hauptgletscher verschwunden waren. Wie SIMONS schon frühzeitig entdeckte (persönl. Inf. aus 1970), ist das Entstehen von schwemmfächerartigen Eisrandterrassen und von eisrandparallelen Trockentälern im unteren Ill- und Rheintal mit diesem Phänomen verbunden.

Aus späteren Untersuchungen wurde bekannt, daß die Hauptgletscher auch am Anfang einer Talvergletscherung anders als die Seitengletscher reagierten. Sie entwickelten sich nämlich früher als die meisten Seitengletscher. Aufbau- und Abbauperioden der Talvergletscherungen waren deshalb allgemein und wiederholt durch Interaktionen zwischen glazialen und fluviatilen Prozessen bedingt (DE GRAAFF, 1984, 1986c, 1989, 1992).

Drei Typen von Tälern sind in Vorarlberg zu unterscheiden: V-förmige, U-förmige und „mixed-type“ Täler. Die V-förmigen Täler sind fluviatil entstanden und vergletscherter im Oberen Pleistozän nicht selbstständig. Ihre Wassersecheiden liegen topographisch sehr niedrig und sie geraten während der Eiszeit einfach unter die Eisbedeckung der mächtigen Hauptgletscher. So sind nur wenige Täler über ihre ganze Länge glazial modelliert. Die meisten Täler gehören zu einer Zwischenkategorie. Sie zeigen eine charakteristische Zweiteilung: die unteren Talstrecken entwickelten sich fluviatil, oft schluchtartig mit steilen Längsgradienten. Die oberen Talstrecken sind glazial geprägt und mit relativ niedrigen Gradienten viel ausgeglichener.

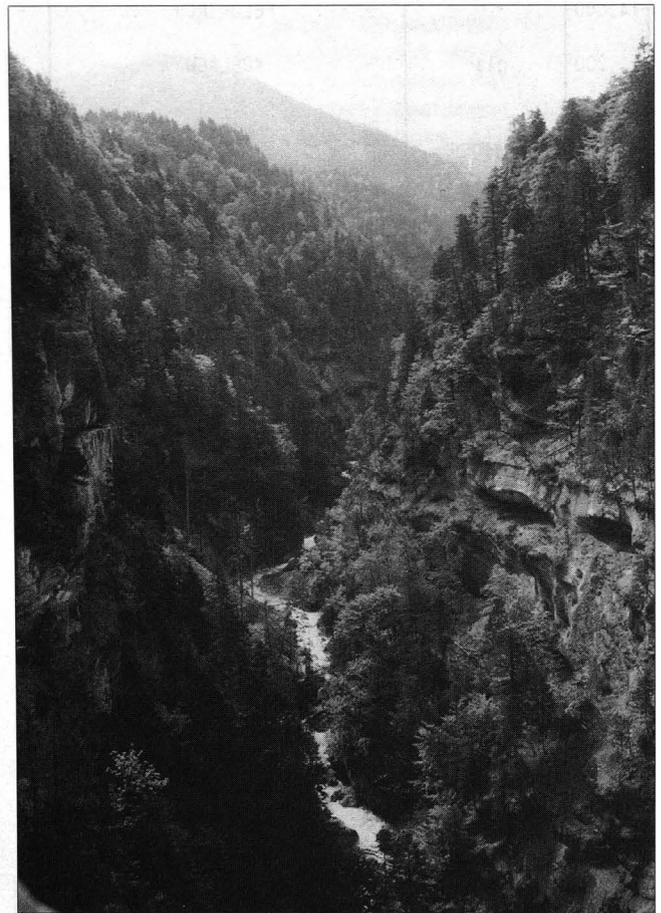


Abb. 3. Die mit Aufbausotter gefüllte untere Talstrecke von Gamperdona, von der Buderhöhe flüßaufwärts gesehen. Rechts sind die jüngsten konglomerierten Deltasotter (Oberes Würm) und links älteres Konglomerat (Riß?) erhalten. Weitwinkelaufnahme (24 mm).

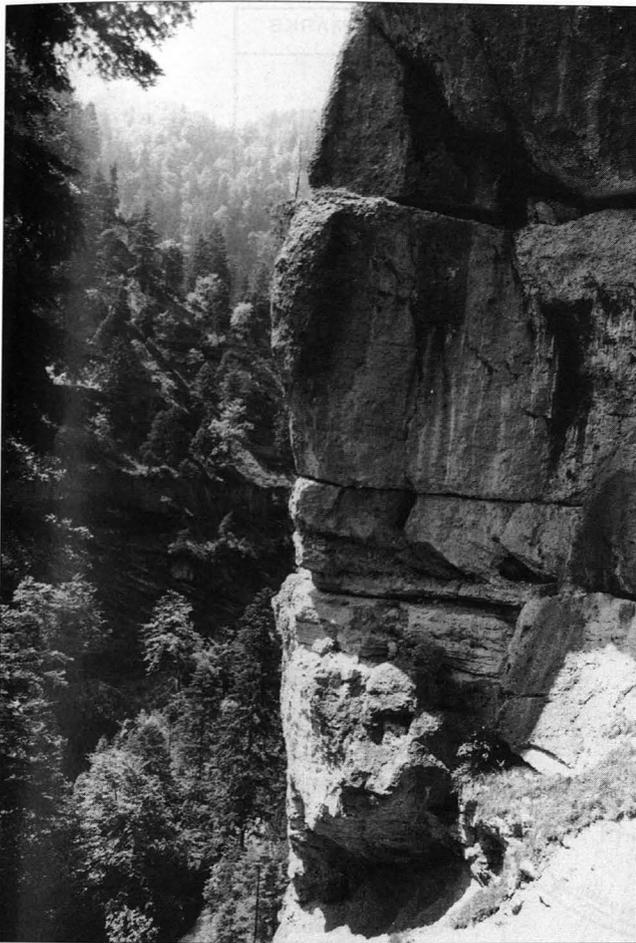


Abb. 4.
Blick vom Standpunkt der Abb. 3 in umgekehrter (NW-)Richtung. Im Vordergrund mächtige Bänke von stark verkitteten älteren Aufbausedimenten. Deltäische Einschaltungen sind hier weniger häufig als bachaufwärts in den jüngeren Deltaschottern. Hier sind die Vorgußschichten gut zu sehen.

Die V-förmigen Talstrecken füllten sich während der pleistozänen Eisaufbauphasen mit Sedimenten und wurden während des nachfolgenden Hochstands von den lokalen Gletschern überfahren. Sie wurden subglazial eher konserviert als erodiert. Die prähochglazialen Quartärsedimente bestehen überwiegend aus fluviatilen und fluvio-

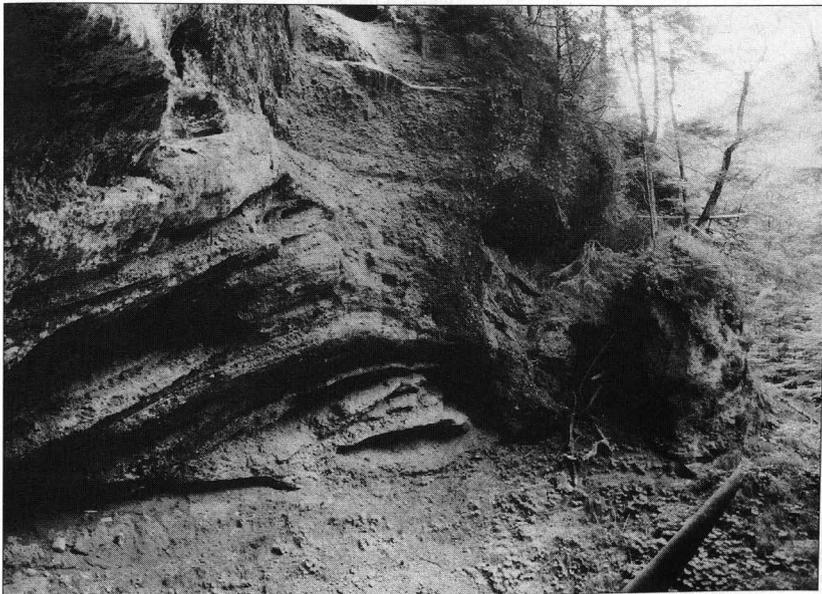


Abb. 5.
Toteissackung in Delta „foresets“ der vorletzten Talfüllung. Links unter diesen Vorgußschichten befinden sich sandige Seetone mit kristallinen „dropstones“ des stauenden Illgletschers.

deltäischen Talfüllungen („Verbauungsschotter“). Auch sind lakustrische und glaziale Sedimente der Haupttalgletscher vorhanden. Relikte sind fast überall in V-förmigen Talstrecken in Vorarlberg anzutreffen. Sie sind besonders in den Seitentälern des südlichen Walgaus (Gamperdona-, Samina-, Galina- und Gampbachtal) gut erhalten (Abb. 3 und 4). Die Talfüllungen weisen hier ein ununterbrochenes Aufbauen des Illgletschers über Höhenunterschiede von vielen Hunderten von Metern nach. Dies geschah ohne die Spur einer gleichzeitigen Entwicklung lokaler Seitengletscher (DE GRAAFF, 1989; SEIJMONSBERGEN, 1992).

Das Aufbauen des Illgletschers über beträchtliche Höhenunterschiede läßt sich nicht mit kurzfristigen spätglazialen Klima- und Schneegrenzwankungen erklären. Das von KRAYSS & KELLER (1991) entwickelte Aufbaumodell rechnet für die letzte Rheintalvergletscherung (siehe unter 8.) mit mittleren Aufbaugeschwindigkeiten der Eisoberfläche von 9 cm pro Jahr. Selbst wenn von doppelten Werten ausgegangen wird, dauerte die (jüngste) Auffüllung der unteren Talstrecken im Walgau ein Jahrtausend oder länger.

Gamperdona- und Gampbachtal wurden intensiv von der AGRG bearbeitet. Die jüngste Schotterfüllung (vermutlich Oberes Würm) läßt sich auch ins Gampbachtal taleinwärts verfolgen. Sie überlagert im Gamperdona die Relikte von älteren Talfüllungen (Mittleres Würm, Unteres Würm, Riß?; Abb. 4) und reicht von unter 700 m bis weit über 1200 m Höhe. Diese Talfüllungen bestehen hauptsächlich aus fluviatil verfrachtetem, schlecht bis mäßig gerundetem und mäßig sortiertem Material, das meist als Deltaablagerung sedimentiert wurde. Das mehrfache Aufeinanderfolgen von Deltakörpern verrät einen sprungweisen Aufbau und ebensolches Eindringen des Illgletschers (Abb. 3). Die Stauseen reichten beim Aufbau des Illgletschers topographisch immer höher und schoben sich immer weiter taleinwärts. In Gamperdona fehlt überhaupt unter 1000 m jeder Hinweis auf glaziale Erosion (Gletscherschiffe usw.).

Syngenetisch abgelagerte Sedimente der lokalen Gletscher wurden nirgendwo in den Talfüllungen (weder an der Basis noch eingelagert) angetroffen. KELLER (1988) teilt diese Meinung übrigens nicht, Beschreibung und Interpretation der Quartärablagerungen laufen hier stark auseinander. Die detaillierten Aufnahmen von SEIJMONSBERGEN bestätigen jedoch die Beobachtungen von SIMONS und von DE GRAAFF.

An vielen Stellen der Seitentäler sind die sedimentologischen Beweise für ein Stauen und (nicht erosives!) Eindringen des Illgletschers vorhanden. Es handelt sich einerseits um glazigene und glaziofluviatile Sedimente, andererseits auch um „dropstones“, Toteissackungen und sonstige „Eiskontakterscheinungen“ des Illgletschers (Abb. 5).

Die Aufbausedimente sind im Gamperdona so reichlich erhalten, weil sie schon vor der Schlußvereisung verkittet waren.

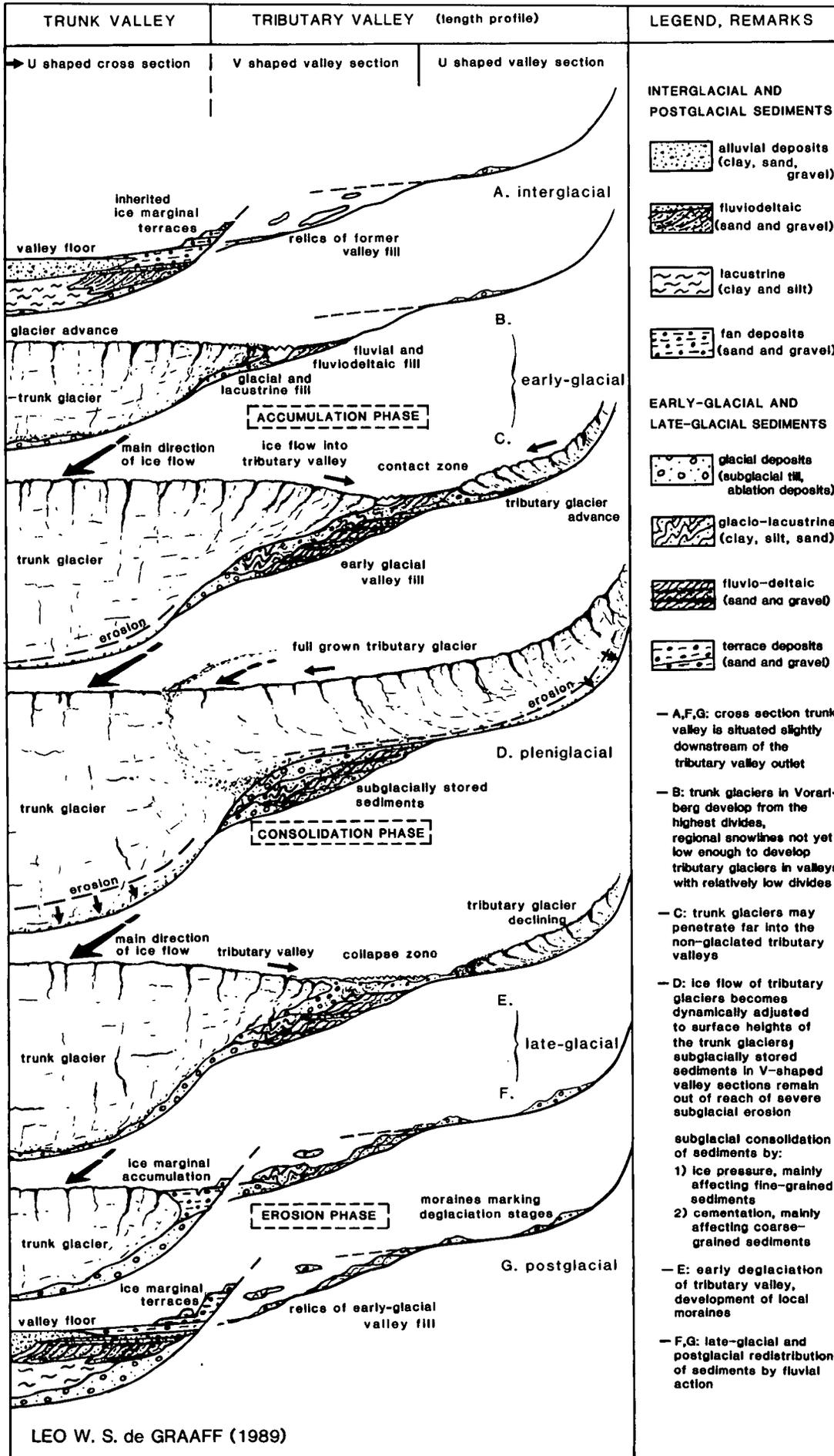


Abb. 6.
Das Walgau-Vergletscherungsmodell.
Die unteren Seitentalstrecken werden von dem sich entwickelnden Hauptgletscher gestaut und füllen sich während frühglazialer Aufbauperioden mit Sedimenten.

Die Verkittung vollzog sich unmittelbar während oder kurz nach der Ablagerung, spätestens in subglazialer Lage während des Hochglazials. Die verkitteten Sedimente wurden während interglazialer oder -stadialer Perioden stark erodiert, bevor sich eine neue Talfüllung entwickelte (DE GRAAFF, 1989). Die senkrechten Hänge (Abb. 3) und senkrechten Kontakte zwischen jüngeren und älteren Schottern weisen dies nach und deuten auch auf eine Wiederholung des Prozeßgangs in nachfolgenden Vergletscherungsperioden hin. Für einige wichtige sedimentologische Profilaufnahmen und Beschreibungen wird auf die Dissertation von SEIJMONSBERGEN (1992) hingewiesen.

Brekzien und Konglomerate entwickeln sich im Walgau rasch. Die Gips- und Anhydritschichten des Raibler Niveaus (Oberostalpin) liefern in vielen ostalpinen Tälern kalzium- und sulphatreiches Grund- und Quellwasser. Bei Vermischung mit karbonathaltigem Wasser führt dies sehr rasch zur Karbonatübersättigung und deshalb zu Karbonatverkittungen (CAMMERAAT, DE GRAAFF, KWADIJK & RUPKE, 1988).

DE GRAAFF (1984, 1986c, 1989) entwickelte das in Abb. 6 präsentierte Vergletscherungsmodell zur Erklärung der Talfüllungen und der weiteren morphologischen und sedimentologischen Verhältnisse der Haupt- und Seitentäler. Drei Hauptphasen sind in der Seitentalvergletscherung von W-Vorarlberg zu unterscheiden:

1. eine Aufbau- oder Akkumulationsphase,
2. eine Konsolidierungsphase und
3. eine Abbau- oder Erosionsphase.

Eine Aufbauphase („accumulation phase“) dauerte meist bis in das Hochglazial an, bis sich – unter dem weiteren Absinken der regionalen Schneegrenze – endlich auch die letzten Seitentalgletscher entwickelten. Erst dann entstand ein geschlossenes Eisstromnetz, wobei die Seitentalgletscher an das Niveau der Hauptgletscher angepaßt waren. Die Seitentalgletscher flossen während der hochglazialen Perioden über die „plombierten“ unteren Talstrecken. Die feinkörnigen Aufbausedimente wurden durch den Eisdruck stark verdichtet („consolidation phase“ [DE GRAAFF, 1989; siehe auch VAN GELDER, DE GRAAFF & SCHURINK, 1989]).

Die fluviatil geprägten Talstrecken bleiben in subglazialer Lage sehr gut erhalten. Sie existieren bereits vor der letzten und vorletzten Eiszeit: die postglaziale Tiefenerosion ist mit 0–50 m relativ gering (BIK, 1960; HAAGSMA, 1974; JORDI, 1979; DE GRAAFF, 1989). Die Annahme einer beträchtlichen subglazialen Tiefenerosion von Schmelzwasser, wie von TRICART (1960) für eine ähnliche Situation („Gorge du Guil“) in den französischen Alpen getroffen wurde, ist für die Guilschlucht und für die Täler in Vorarlberg sedimentologisch und geomorphologisch nicht zu untermauern.

Beim Abschmelzen der Haupttalgletscher waren gerade die Seitentäler mit ihren hochreichenden Talfüllungen bald wieder eisfrei und entwickelten erneut eine normale Entwässerung („erosion

phase“ [DE GRAAFF, 1989]). Die Seitenbäche schnitten sich während des Abschmelzens der Hauptgletscher rasch in die subglazial erhaltenen Ablagerungen ein. Die ausgespülten Sedimente wurden teils als randglaziale Schwemmfächer im Haupttal abgelagert, teils dem Hauptgletscher entlang fluviatil verfrachtet. Viel Material wurde dabei vom Hauptgletscher aufgenommen und weiter glazial transportiert. Gut erhaltene (vertikale) Serien von spätglazialen Schwemmfächerterrassen befinden sich stromabwärts der Seitentalausgänge z. B. des Gamperdona-, Galina-, Samina- und Brandnertals (siehe Abb. 7).

Auch im Rheintal gibt es schöne Beispiele dieser Terrassenentwicklung (Laternsertal, Mühltobeltal, etc.). Die höchstliegenden Terrassen befinden sich immer unter der Höhe der („hangenden“) glazial geprägten Talstrecken des materialliefernden Seitentals.

6. Talvergletscherung und Schneegrenzlagen

Wie unter 5. beschrieben wurde, resultieren viele Geländeformen und Ablagerungen in Vorarlberg aus einer Interaktion zwischen fluvialiten und glazialen Prozessen während der kühleren Perioden des Pleistozäns. Solche Interaktionen wiederholten sich ständig und herrschten während der früh- und spätglazialen Phasen einer Talvergletscherung vor. Die aufeinanderfolgenden früh- und spätglazialen Ereignisse konnten an vielen Stellen in Vorarlberg von den Quartärablagerungen und von der Herkunft der Erratiker abgeleitet werden. Hier sind Schlüsse vorhanden, um die Schneegrenzlagen in den Seitentälern und um die Vergletscherungsfolge dieser Täler zu bestimmen. So wurden lokal mächtige Moränenanhäufungen des vorstoßenden Illgletschers im Gamperdona angetroffen. Erratiker, die größtenteils aus dem Gauertal stammen, werden bis in die Talmitte (Garfretschentobel) hinein bis auf 1170 m Höhe angetroffen! Vorne im Tal (Nenzingerbergweg) reichen diese Ablagerungen bis über 1350 m Höhe. Beim Aufbau lieferten Rellstal, Gauertal und Gampadeststal (und später auch das Brandnertal) Eis zum Illtal, als der Gamperdonagletscher noch nicht entwickelt war.

In Vorarlberg sind die Moränen der Haupttalgletscher in allen Seitentälern mit verhältnismäßig niedrigen Wasserscheiden reichlich vorhanden, im Gampbach- und Galinatal maximal bis auf 1500 m Höhe. Vielleicht senkten sich



Abb. 7. Die spätglazialen Schwemmfächerterrassen des Alvierbachs (Bürserberg, Brandnertal) zeigen die fluviatile Zufuhr von Sediment am Eisrand des abschmelzenden Illgletschers.

Schneegrenzen in der Aufbauphase nur langsam oder relativ wenig. Sie lagen jedenfalls kurz vor und nach dem letzten Hochstand verhältnismäßig hoch. Erst als die Haupttäler bis zu beträchtlichen Höhen mit Gletschereis gefüllt waren, vergletscherten im Walgau auch die letzten Seitentäler. Die Talvergletscherungsfolge in Vorarlberg ist vor allem von den Höhenlagen und Expositionen der Nährgebiete (Kare und Wasserscheiden) abhängig. Vielleicht ist mit einer negativen Rückkopplung zu rechnen, wobei die Schneegrenzen der vergletscherten Täler relativ tiefer als die der nichtvergletscherten Täler lagen. Das erklärt aber nicht, daß (abgesehen von möglichen Lokalschwankungen) solche Täler ihre Gletscher auch wieder in umgekehrter Reihenfolge verloren hatten.

Es zeigt sich in Vorarlberg: Gletscher, die sich spät entwickelten, waren nachher wieder rasch verschwunden. Ein geschlossenes Eisstromnetz war in Vorarlberg mit bestimmten Mindesthöhen der (hochglazialen) Eisoberfläche im Rhein- und Illtal verknüpft. Diese Mindesthöhen waren in der Aufbau- und Abbauphase ähnlich und sie können sedimentologisch und morphologisch für jedes Seitental in Vorarlberg ziemlich genau festgestellt werden. Die erhaltenen Moränenwälle und Moränenbedeckung des Illgletschers am Roßboden (Galinaltal, bis 1450 m Höhe) sind zum Beispiel ein Beweis dafür, daß der Galinagletscher hier beim Abbau den Kontakt mit dem Illgletscher endgültig verloren hatte. Der Höhenlage entspricht vermutlich „Stein am Rhein“. Es sei betont, daß hier sedimentologisch und geomorphologisch keine Beweise für den von KELLER (1988) angenommenen Wiedervorstoß des Galinagletschers während des Koblach-Stadiums gefunden worden sind (siehe auch SIMONS, 1985 und SEIJMONSBERGEN, 1992).

Wir stellen im südlichen Walgau für das Stadium „Stein am Rhein“ schätzungsweise maximale Schneegrenzdepressionswerte zwischen 900 und 1000 m und für „onstanz“ zwischen 750 und 800 m fest. KELLER & KRAYSS (1983–1991) und JORDI (1987) erwähnen für „Konstanz“ aufgrund einer angenommenen AAR (Akkumulationsareal : Gesamtareal) von 0,67 SGD-Werte bis über 1100 m. Diese Werte sind für den südlichen Walgau ungeeignet, sonst wären die Täler während „Stein am Rhein“ und auch während „Konstanz“ noch völlig vergletschert gewesen.

7. Pleistozäne Lokalstadien und Blockgletscher

Fossile Blockgletscher und Lokalstadien sind an sich wichtig als Klimaindikatoren. Sie können uns viel neue Information über die Schlußvereisung bringen, aber erst wenn die Probleme rund um ihre Genese und stratigraphische Einstufung gelöst worden sind. In der Literatur werden die Lokalmoränen gewöhnlich mit spätglazialen (Wieder-)Vorstößen der Lokalgletscher verbunden. Sie werden nach rekonstruierten SGD-Werten eingeteilt und auf dieser Basis relativ datiert. Für eine Übersicht wird auf MAYSS (1981, 1982, 1987) hingewiesen. Die ehemaligen SGD-Werte für solche fossilen Eisrandlagen werden allgemein im Vergleich mit der Gletscherlage von 1850 festgestellt.

Die Untersuchungen von Blockgletschern und Lokalmoränen in Vorarlberg stehen noch am Anfang, aber sie führten bereits zu interessanten Erkenntnissen. Zunächst sind diese Geländeformen nicht immer einfach voneinander zu unterscheiden, und es gibt Übergangsformen. Eindeutige Kriterien zur Unterscheidung der verschiedenen Gestalten von glazialen und periglazialen Anhäufungen von Locker-

material fehlen überhaupt. So wurden einige von KELLER (1988) als Moränenrücken gedeutete Wallformen später von SEIJMONSBERGEN (1992) als Blockgletscher kartiert. Nur DE JONG & KWADIJK (1988) haben sich bis jetzt zielgerichtet mit Blockgletscherbildungen in Vorarlberg befaßt. Diese Autoren unterscheiden zwei Blockgletschergenerationen, die vorläufig mit dem Älteren Dryas („Daun“?), bzw. mit dem Jüngeren Dryas („Egesen“) verbunden wurden. Sie erwähnen außerdem eine aus der Literatur abgeleitete Einstufung, die von ihnen nicht übernommen wird: die älteste Generation wird danach gegen das Ende der Ältesten Dryas, die jüngere in die Ältere Dryas gestellt. Ein Inventar dieser Formen wird von der AGRG vorbereitet und kann erstellt werden, wenn die Kartierungen im Walgau und im Rätikon ergänzt sind.

Die Lokalmoränen in Vorarlberg sind nicht alle als Vorstoßstadien zu erklären. Zunächst bestehen bei einer frühzeitigen Trennung von Haupt- und Seitengletscher mehrere Möglichkeiten für ihre stratigraphische und chronologische Einstufung. Weil das Eisstromnetz im südlichen Walgau vermutlich seit „Stein am Rhein“ nicht mehr geschlossen war, ist es durchaus möglich, daß sich danach die ersten Lokalmoränen als Rückschmelzstadien entwickelten (siehe 6.). Die Hauptfrage ist dann, ob diese möglicherweise ältesten Lokalstadien später von neuen Gletschervorstößen zerstört worden sind oder nicht. Es gibt auch hier je nach Lage verschiedene Möglichkeiten. Das Beispiel der auf 1400–1450 m Höhe am Roßboden im Galinaltal bewahrt gebliebenen Illmoränen ist für dieses Problem bezeichnend.

„Roßboden“ ist auch für das Problem der Blockgletscher interessant. Hier hatte sich aus einer den Illmoränen gegenüber liegenden, NNW-exponierten Schutthalde ein Blockgletscher entwickelt. Bezüglich einer Übersicht wird auf die geomorphologische Karte und Dissertation von SEIJMONSBERGEN (1992) hingewiesen. Der Blockgletscher befindet sich auf 1400–1450 m Höhe und ist vermutlich älter als die von DE JONG und KWADIJK beschriebene Reihe. Wahrscheinlich ist deshalb mit mehr als zwei Perioden für die Entwicklung von Blockgletschern in Vorarlberg zu rechnen.

Auffallend sind die in der Literatur bestehenden gravierenden Unsicherheiten der zeitlichen Einordnung der Lokalstadien, siehe Abb. 8. Lokalstadien werden fast ausnahmslos als „Vorstoßstadien“ interpretiert und von JORDI (1986) und von KELLER & KRAYSS (1987, 1988, 1991) als gleich alt oder jünger als die letzten Stadien des Rheintalgletschers betrachtet. Wir sind für „Weissbad“ und die nachfolgenden Lokalstadien nicht davon überzeugt. Die frühe Trennung zwischen Haupt- und Seitengletscher bietet in Vorarlberg im Prinzip auch andere Möglichkeiten, wie in den Abb. 9 und 10 zum Ausdruck gebracht wird. Diese Tabellen geben nur eine vorläufige Übersicht, endgültige Aussagen über das relative Alter der Lokalstadien werden noch nicht gemacht. Die Tabellen sprechen für sich, doch sind die folgenden Bemerkungen wichtig:

Im Vergleich mit KELLER & KRAYSS wird für die späteiszeitlichen Hauptstadien in Vorarlberg allgemein von höheren Eisrandlagen ausgegangen, wenn auch die Unterschiede bei den jüngsten Stadien nicht sehr groß sind. Wir nehmen das Stadium W-10 dieser Autoren als Beispiel. Stand 10 entspricht einer Hauptphase des Konstanzer Stadiums und wird mit der Stauseebildung der 650–660 m Terrassen (Lingenau usw.) im Vorderen Bregenzerwald verbunden. Für Schwarzach, nördlich von Dornbirn, wird der Eisrand des Rheingletschers in dieser Phase auf

750 m dargestellt. Zwar ist „Konstanz“ mit einer Reihe von Eisrandstadien in Vorarlberg vertreten, doch wird diese Lage von unserer Seite eher als Spät- oder Nachphase von „Konstanz“ betrachtet. Östlich von Alberschwende gibt es deutliche Hinweise auf eine aktive Transfluenz des Rhein-

talgletschers über die Talwasserscheide von Alberschwende (720 m), als sich im Bregenzerwald die Delta-terrassen von Lingenau s. l. (650-660 m) bildeten (DE GRAAF, DE JONG & RUPKE, in Vorber.). Diese Transfluenz wird von KELLER & KRAYSS (1987) etwas früher angenom-

LEO DE GRAAFF 1992

ALPINE GEOMORPHOLOGY RESEARCH GROUP

Z E I T		GLETSCHERGESCHICHTE (Literatur)							
		ALLGEMEIN; nach MAISCH 1982, 1987				RHEINTAL-BODENSEE; Rheintalgl. und Lokalstadien			
		Zürcher Schule		Innsbr. Schule		JORDI 1986		KELLER & KRAYSS '87-'91	
B P	POLLENZONE CHRONOZONE	Gliederung	SGD BZN 1950 Meter	Gliederung	SGD BZN 1950 Meter	Gliederung	SGD BZN 1950 Meter	Gliederung	Eishöhen Feldkirch m ÜM
10,000	PRÄBODREAL (IV)					gleich			
11,000	JÜNGERE DRYAS (III)	EGESEN-Kromer -Bockten -Maximum	60-90 100-150 170-240	-Kromer ? EGESEN -Maximum?	70-95 180-240			EGESEN	
11,500	ALLERØD (II)					wie			
12,000	Ä. DR. (Ic)			- II - DAUN ? - I	250-325	Zürcher		DAUN ?	
13,000	BÖLLING (Ib)					Schule			
14,000	ÄLTESTE DRYAS (Ia)	DAUN ? -III -II -I CLAVADEL ? GSCHNITZ ?	250-350 380-470 600-700	GSCHNITZ ? -STEINACH ?	600-700 800-900 /"heute"	DAUN ? CLAVADEL ? GSCHNITZ ? CHUR STEINACH ? SARGANS s.l. ? (= BÜHL ?) FELDKIRCH s.l. ? KONSTANZ ? (=Übersaxen/ Gurtis Niv.?)	250-350 380-470 600-700 700-800 900- -1100 >1100 >1100	DAUN ? CLAVADEL GSCHNITZ STEINACH -SARGANS FELDKIRCH WEISSBAD KOBLACH	500-600
15,000		STEINACH ? CHUR ?	700-800	BÜHL ?	900-1000 /"heute"	STEIN AM RHEIN ?		KONSTANZ	1000
16,000		SARGANS ?						STEIN AM RHEIN	1200 ?
17,000		BÜHL ?							
18,000								SCHAFFHAUSEN (= WURM-MAXIMUM)	1480

Vakgroep Fysische Geografie en Bodemkunde, Nieuwe Prinsengracht 130 - 1018 VZ Amsterdam - Univ. van Amsterdam

Abb. 8. Literaturübersicht der Gletschergeschichte nach bestehenden Auffassungen.

men und ihrem Stand W-9 zugerechnet. Wir setzen die Haupteisrandlage W-10 des Konstanzer Stadiums für Schwarzach vorläufig um 70 m höher (auf 820 m) und für Feldkirch um 100 m höher (auf 1100 m) an.

Auffallend ist übrigens, daß sich das Konstanzer Stadium im Rheintal manifestiert. Die Eisrandlagen „Übersaxen“ (1000 m; JORDI, 1986; KELLER, 1988) und Gartis-Übersaxen (1100 m; DE GRAAFF, 1992) sind beide nicht

LEO DE GRAAFF 1992

ALPINE GEOMORPHOLOGY RESEARCH GROUP

MORPHOSTRATIGRAPHIE SW - VORARLBERG						
RHEINTAL UND WALGAU						
ZEIT	HAUPT-ABSCHMELZSTADIEN		ABBAU DER WALGAU - SEITENTALGLETSCHER			
	Vorläufige spät-eiszeitliche Gliederung	Eisrandlage m ÜM	Eishöhe Feldkirch m ÜM	Abfolge des Eisabbaus und Eindringen des Illgletschers in der Seitentäler 1 bis 5	SGD BZN 1850 Meter	Lokalmoränen und Blockgletscher
IV 10.000-	MOORGEBIET GASSERPLATZ Moorbasis : 14C: 9,500 ± 200			1 GAMPAL 2 GALINA(TAL) 3 SAMINA(TAL) 4 GAMPERDONA(TAL) 5 BRANDNERTAL	100 ?	
III 11.000-	Pollenzonierung Seekreide GASSERPLATZ (Feldkirch-Göfis) (De GRAAFF et al, 1989)			6 GROßWALSERTAL 7 KLOSTERTAL	200 ?	I (EGESEN)
II 11.800 Ic 12.000-	fein laminiertes Seekreide mit Abwechslung von humusreichen Bänder				300 ?	I (DAUN ?) Phase 3 der Blockgletscher- entwicklung ?
Ib 13.000-	[ILL- UND RHEINTAL GLETSCHERFREI] Seekreide mit Übergängen zur Tongyttja; blauer Seeton				450 ?	
Ia	?				650 ?	Phase 2 ?
GLA- 14.000-	FELDKIRCH s.l. KLAUS-PLATTENWALD BUCHBRUNEN (BREGENZ-ÖLR) RAINBERG-SULDIS (ÜBERSAXEN)	500-600 600-650 800-830 1000	500-600 750 820-840 900 1030	(früh- bzw. spätglaziales) Eindringen des ILL- GLET- SCHERS	600 ? 650 ? 700 ?	und Phase 1 ? der Block- gletscher- entwicklung ?
ZIAL) 15.000-	(GARTIS-ÜBERSAXEN) (= Konstanz ?)	1100	1100		750 ?	Zeitperiode mit möglicher Ausbildung von Lokalmoränen (und Block- gletscher)
15.000-	GULMALP-GRÖLLERKOPF	1200-1220	1250		850 ?	
15.000-	ROSSBODEN-VALSCHERINA	1400-1420	1350		900 ?	höchstliegenden Moränenwällen des Illgletschers im Galinatal
15.000-	ÄÜßERE GAMPALP (= Stein am Rhein ?)	1450	1400		1000 ?	
(HOCH- 16.000- GLA- 17.000- ZIAL) 18.000-			1700 ?	LETZTE EISZUFUHR DER SEITENTAL- GLETSCHER ZUM ILLTAL Würm-Maximum ?	1300 ?	

Vakgroep Fysische Geografie en Bodenkunde, Nieuwe Prinsengracht 130 - 1018 VZ Amsterdam

Univ. van Amsterdam

Abb. 9. Die Morphostratigraphie nach dem letzten Hochstand in Vorarlberg. Das Abbrechen der Eiszufuhr zum Hauptgletscher aus verschiedenen Seitentälern läuft vielleicht parallel mit der ersten Entwicklung von Lokalmoränen.

überzeugend. Die nächstdeutlichen Stadien nordöstlich von Feldkirch sind „Rainberg-Suldis“ (vergleichbare Gletscherlage Feldkirch maximal um 900 m: für „Konstanz“ viel zu niedrig) und „Gulmalp-Kröllerkopf“ (Gletscherlage

Feldkirch um 1250 m: für „Konstanz“ viel zu hoch), siehe Abb. 9.

Die höchstliegenden glazigenen Ablagerungen und fluviatilen Talfüllungen im südlichen Walgau zeigen das erste

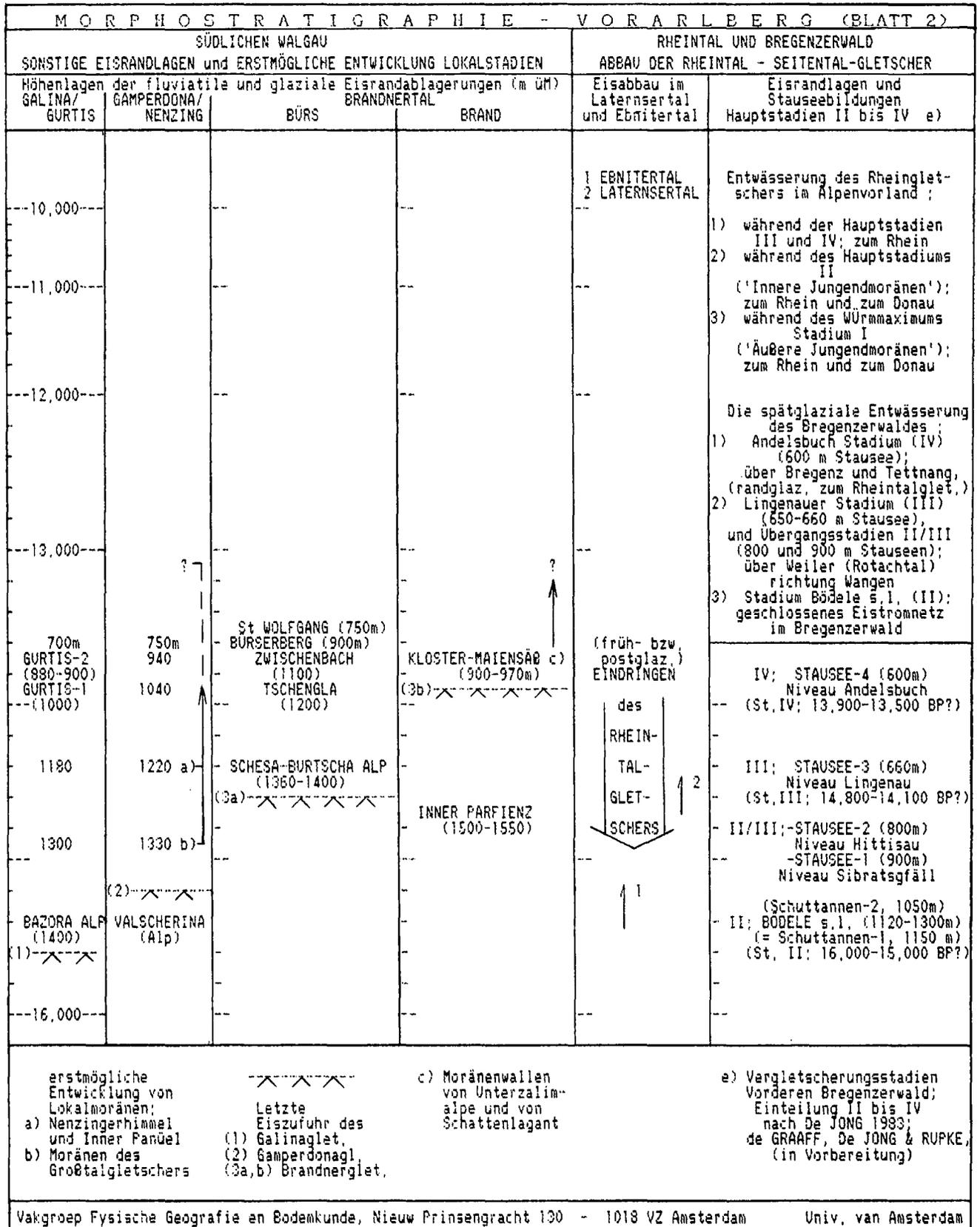


Abb. 10. Weitere Detaillierungen im Walgau und ein Vergleich mit dem Vorderen Bregenzerwald.

Ausfallen von Seitentalgletschern auf 1400–1450 m Höhe. Die zugehörigen Eisrandlagen des Illgletschers im Galinatal (SEIJMONSBERGEN, 1992) sind „Stein am Rhein s. I.“ gleichzustellen. Abgeleitet von den Vergletscherungskarten von KELLER & KRAYS sollten sie noch älter sein. Abb. 9 zeigt den Zerfall des Eisstromnetzes, seit die Eisoberfläche des Illgletschers bis unterhalb 1400 m (Standort Feldkirch) abgeschmolzen war. Die SGD-Werte bewegen sich lokal um die vorläufig in Abb. 9 geschätzten Mittelwerte.

Die Eiszufuhr zum Haupttal aus Gampbachtal, Galinatal, Saminatal und Gamperdona war wahrscheinlich vor 15.000 BP beendet (Abb. 9). Der Eisrand des Rhein- und Illgletschers (Standort Feldkirch) befand sich damals knapp unter 1300 m Höhe. Hinweise auf umfangreiche jüngere Vorstöße des Walgaugletschers haben wir nicht. Morphologisch und sedimentologisch sind nur kleinere Schwankungen möglich. Sehr interessant sind in dieser Hinsicht die glazigenen Ablagerungen des Großtalgletschers in Gamperdona, von KELLER (1988) als „Gschnitz-Vorstöß“ beschrieben. Es handelt sich um eine fast 100 m mächtige, schwemmfächerartige Materialanhäufung vor der Mündung des Großtals, halben Weges im Gamperdonatal, dem Garfretschwald gegenüber. An der Basis befindet sich lokal eine stark verdichtete Grundmoräne des Illgletschers (!). Diese ist von deformierten Seetonablagerungen überdeckt. Darauf liegen die moränenartigen Ablagerungen des Großtalgletschers. Am oberen Rande (Südwestseite) sind vom Wasser transportierte und verkittete Sedimente aufgeschlossen. Diese bestehen aus grobklastischen und kaum gerundeten Hauptdolomitschottern. Sie wurden vielleicht noch im Kontakt mit dem Gamperdonagletscher (deformierte Schichtung) delataisch abgelagert. An der Oberfläche der Großtalflächen befinden sich wieder niedrige Seitenmoränen (Wälle) des Großtalgletschers. Eine bestimmte Dynamik des Großtalgletschers ist anzunehmen, die ganze Anhäufung von lakustrischen Sedimenten und Lokalmoränen ist hier aber nicht einfach als Wiedervorstöß erklärbar. Jedenfalls muß gleichzeitig mit Wasserstau und glazialer Abdämmung des Gamperdonatals gerechnet werden. Für weitere Beschreibungen siehe SEIJMONSBERGEN (1992).

Abgesehen von eisfreien Kämmen und Flecken dauerte die völlige Vergletscherung im Vorderen Bregenzerwald etwas länger als im Walgau (Abb. 10). Das ganze Gebiet war noch bis 15.000 BP von Gletschereis überdeckt. Die Erklärung ist vielleicht in den Niederschlagsunterschieden und in der massigen Eiszufuhr des Rheintalgletschers zu suchen. Die ersten größeren Stauseebildungen entwickelten sich im Bolgenach- und Subersachtal auf 900 m Höhe. Wir befinden uns damit zeitlich und räumlich in einem Übergangsstadium (II/III) zwischen „Stein am Rhein“ und „Konstanz“.

8. Verbindungen mit Klimakurven

DE GRAAF, DE JONG & RUPKE (in Vorber.) werden ausführlicher über die möglichen Verbindungen der Rheintal-Bodenseevergletscherung mit (Paläo-)Klimakurven berichten (siehe auch DE JONG, 1983). Die grönländischen und schweizerischen $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ (Temperatur-)Kurven von DANSGAARD, JOHNSON, CLAUSEN & LANGWAY (1982) und von SIEGENTHALER, EICHER, ÖSCHER & DANSGAARD (1984) könnten dazu geeignet sein. Die grönländischen Kurven sind von Eisproben, die Schweizer Kurven von Seekreideablagerungen gewonnen worden. Bestimmte Seekreideprofile

(z. B. „Gerzensee“) zeigen einen gewissen Zusammenhang mit der „Dye 3“ Grönlandkurve. Von SIEGENTHALER et al. wird dies aus einer gleichartigen Auswirkung auf Grönland und Europa durch die sich ändernde Meeresströmung im Nordatlantik erklärt. Für N-Amerika gibt es diesen Zusammenhang nicht.

Das Problem der Sauerstoffisotopenkurven ist ihre Verbindung mit absoluten Datierungen. Völlig sicher sind die Resultate jetzt noch nicht, aber die Pollenzonierung der Seekreideablagerungen ermöglicht bessere Verbindungen für das jüngere Spätglazial. Vielleicht läßt sich die Rheintalvergletscherung schließlich mit der „Camp Century“ Kurve von DANSGAARD verbinden.

9. Schlußfolgerungen

Den geomorphologischen Kartierungen im Maßstab 1 : 10.000 der Alpine Geomorphology Research Group, Universität von Amsterdam, verdanken wir eine fast flächendeckende Übersicht über die Vorarlberger Quartärgeologie. Die sehr erweiterten Kenntnisse über Rückschmelzstadien des Rheingletschers im Bodenseeraum haben dazu beigetragen, die Hauptzüge der Talvergletscherung in Vorarlberg chronostratigraphisch mit dem Alpenvorland zu verbinden.

Viele Seitentäler des Ill- und Rheintals vergletscherten erst, als sich der Rhein- und Illgletscher hoch aufgebaut hatten. Es kann nicht bezweifelt werden, daß die lokalen Schneegrenzen kurz vor und nach dem letzten Hochstand höher als bisher angenommen waren. Ein geschlossenes Eisstromnetz entwickelte sich im südlichen Walgau erst, als Ill- und Rheintal bis über 1400 m (Standort Feldkirch) von Gletschereis erfüllt waren. Das Vorkommen von Lokalmoränen und zahlreichen Blockgletschern im Walgau ist vermutlich mit einer frühzeitigen Trennung von Haupt- und Seitentalgletschern verknüpft. Es wird deshalb in Frage gestellt, ob die chronologische Einstufung von Lokalstadien nur auf Basis von gleichen SGD-Werten erlaubt ist und ob diese Werte auf benachbarte Talsysteme übertragbar sind. Lokalstadien könnten in Vorarlberg zum Teil älter als die letzten Stadien des Rhein-/Illtalgletschers sein.

Die Beziehungen zwischen Klimaänderungen (mit wechselnden Temperatur- und Niederschlagsverteilungen), Schneegrenzlagen, Vergletscherungsgrad und Entwicklung der Haupt- und Seitentalgletscher sollten in Vorarlberg unbedingt weiter analysiert werden. Das Rheintal/Bodenseegebiet bietet die besten Voraussetzungen für weitere Untersuchungen der Nord-Südverbindungen zwischen Alpen und Alpenvorland. Die Entwicklung einer genauen Quartärstratigraphie des Oberen Würms kommt jetzt in eine neue Phase.

Nachwort und Dank

Diese Publikation ist Dr. RUDOLF OBERHAUSER aus Anlaß seiner Pensionierung und seines Abschiedes von der GBA in Wien gewidmet. Sein leidenschaftliches Interesse für die Geologie und für unsere Arbeit in Vorarlberg war für mich immer ein Beispiel und ein Ansporn, die bestehenden Probleme anzugehen. Ich wünsche Kollegen OBERHAUSER auch im Ruhestand noch zahlreiche schöne Erlebnisse, zu Hause und im Gelände.

Gerne möchte ich mich bei der Geologischen Bundesanstalt für die Einladung und die gebotene Gelegenheit zur Präsentation meines Kurzreferates über die Vorarlberger Quartärgeologie beim offiziellen Abschied von Dr. OBERHAUSER in Wien am 5. Dezember 1991 bedanken. Die schriftliche Bearbeitung dieses Vortrags liegt jetzt vor.

Meine Kollegen MAT DE JONG, JAN RUPKE, JAAP VAN DER MEER, HARRY SEIJMONSBERGEN und HANS VAN NOORD haben wie immer mit ihren Bemerkungen und Diskussionen zur Verbesserung beigetragen. Hoffentlich wird es MARIA HEINRICH und WALTER KRIEG gelingen, dieses Manuskript richtig der deutschen Sprache anzupassen. Auch dafür meinen aufrichtigen Dank.

Literatur

- BECKER, B., KRONER, B. & TRIMBORN, P. (1991): A stable-isotope trace-ring timescale of the Late Glacial/Holocene boundary. – *Nature*, **353**, 647–649.
- BIK, M.J.J. (1960): Zur Geologie und Glazialgeologie des Frödisbach- und Mühlentobeltals in Vorarlberg (Österreich). – Diss. Univ. Amsterdam, 175 S.
- CHALINE, J. & JERZ, H. (1984): Arbeitsergebnisse der Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie. Stratotypen des Würm-Glazials (Bericht der SEQS 5). – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **35**, 185–192.
- CHEDEL, M. (1986): Pollenanalytische und moorkundliche Untersuchungen am Flachmoor Mariagrün bei Feldkirch/Vorarlberg (A). – Dipl.-Arb. Geogr. Inst. Univ. Zürich.
- DANSGAARD, W., JOHNSON, S.J., CLAUSEN, H.B. & LANGWAY, C.C.Jr. (1982): Climatic record revealed by the Camp Century ice core. – In: TUREKIAN, K.K. (Ed.): *The Late Cenozoic Glacial Ages*; Yale University Press, New Haven and London, 37–56.
- DONGUS, H. (1980): Überlegungen zu spätglazialen Schneegrenzhöhenlagen in den Karen der allgäuer Molasseschichtrippen. – Arb. aus dem Geogr. Inst. Univ. des Saarlandes, Bd. **29**, Saarbrücken.
- EICHER, U. (1979): Die $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ - und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Isotopenverhältnisse in spätglazialen Süßwasserkarbonaten und ihr Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pollenanalyse. – Diss. Univ. Bern, 205 S.
- EICHER, U. (1987): Die spätglazialen sowie die frühpostglazialen Klimaverhältnisse im Bereiche der Alpen: Sauerstoffisotopenkurven kalkhaltiger Sedimente. – *Geogr. Helv.*, **2**, 99–104.
- FURRER, G. (1987): Zur Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte der Schweiz seit der Späteiszeit. – *Geogr. Helv.*, **2**, 61–62.
- GELDER, G. VAN, DE GRAAFF, L.W.S. & SCHURINK, E. (1990): Subglacial consolidation of fine-grained stratified sediments: a neglected tool in reconstructing ice-thickness in pleistocene valley glaciers. – *Arctic and Alpine Research* Vol. **22**, No. 4, 329–340.
- GEYH & SCHREINER (1984): ^{14}C -Datierungen an Knochen- und Stoßzahnfragmenten aus würmzeitlichen Ablagerungen im westlichen Rheingletschergebiet (Baden-Württemberg). – *Eiszeitalter und Gegenwart*, Band **34**, 155–161.
- GRAAFF, L.W.S. DE (1986a): Zur Deglaziationsgeschichte der Walgau-Ausgänge im Bereich Feldkirch, Göfis, Satteins. – *Exkursionsführer Vorarlberg*, Österr. Geol. Ges., 43–46, 128–129.
- GRAAFF, L.W.S. DE (1986b): Zur Deglaziationsgeschichte des Bregenzerwaldes, mit spezieller Berücksichtigung des Gebietes Andelsbuch-Egg. – *Exkursionsführer Vorarlberg*, Öst. Geol. Ges., 74–80.
- GRAAFF, L.W.S. DE (1986c): Neue Einsichten in die Talvergletscherung in Vorarlberg. – Kurzreferat zur Tagung „Ostalpen-Westende“ der Österr. Geol. Ges., Dornbirn.
- GRAAFF, L.W.S. DE (1989): Pleistocene Deposits in Vorarlberg. – Unpubl. Referat. Summary. – In SEUFFERT, O. (Ed.): *Abstracts of papers and posters*, Second Intern. Conf. on Geomorph., Frankfurt/Main (Geoöko-Verlag), 64.
- GRAAFF, L.W.S. DE (1992): Zur Altersbestimmung eines Mammut-Stoßzahns (Kiesgrube Hochwacht) und ihre Bedeutung für die morphostratigraphische Einstufung der Quartärablagerungen zwischen Bregenz und Langen. – *Schriften des Vorarlberger Landesmuseums*, Bregenz (im Druck).
- GRAAFF, L.W.S. DE & RUPKE, J. (1979): De glaciale en fluviale ontwikkeling van het Bregenzerwald (Vorarlberg, Oostenrijk) aan het einde van de laatste ijstijd. – *Geografisch Tijdschrift, Nieuws reeks* **13**, 260–278.
- GRAAFF, L.W.S. DE, DE JONG, M.G.G., RUPKE, J. & VERHOFSTAD, J. (1987): A Geomorphological Mapping System at scale 1 : 10.000 for mountainous areas. – *Z. Geomorph. N.F.*, **31/2**, 229–242.
- GRAAFF, L.W.S. DE, KRIEG, W., DE JONG, M.G.G., RUPKE, J., SEIJMONSBERGEN, A.C., SLOTBOOM, R.T. & VAN WESTEN, C.J. (1989): Vorarlberg, Developments in Alpine Geomorphology. – In: SEUFFERT, O. (Ed.): *Excursionguide Fieldtrips C 14a,b*, Second Intern. Conf. on Geomorph., Frankfurt/Main (Geoöko-Verlag), 70 S.
- GRAAFF, L.W.S. DE, KUIJPER, W.J. & SLOTBOOM, R.T. (1989): Schlußvereisung und spätglaziale Entwicklung des Mooregebiets Gasserplatz (Feldkirch-Göfis, Vorarlberg). – *Jb. Geol. B.-A.*, **132/2**, 397–413, Wien.
- GRAAFF, L.W.S. DE, DE JONG, M.G.G. & RUPKE, J. (in Vorber.): Der Eisabbau im Vorderen Bregenzerwald und in Nachbargebieten (Vorarlberg, Österreich) nach dem letzteiszeitlichen Eishochstand.
- HAAGSMA, K. (1974): Geomorfologische en glaciaalgeologische onderzoeken in de Wallgau (Vorarlberg, Oostenrijk). – Dissertation, Univ. Leiden, 165 S.
- HANTKE, R. (1978): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Band I. – Thun (Otto-Verlag), 468 S.
- HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Band II. – Thun (Otto-Verlag), 703 S.
- HANTKE, R. (1987): Zur Tal- und Reliefgeschichte des Churfürsten-Alvier-Gebiets (Kanton St. Gallen). – *Geogr. Helv.*, **2**, 159–168.
- HEISSEL, W., OBERHAUSER, R. & SCHMIDEGG, O. (1967): Geologische Karte des Walgaus 1 : 25.000. – *Geol. B.-A.*, Wien.
- JONG, M.G.G. DE (1983): Quaternary deposits and landforms of W. Allgäu (Germany) and the deglaciation after the last major ice advance. – *Dissert. Publ. Fys. Geogr. & Bodemk. Lb.*, Univ. Amsterdam, Nr. **36**, 186 S.
- JORDI, U. (1977): Geomorphologische Untersuchungen im unteren Saminatal, im äußeren Walgau und in der Umgebung von Feldkirch. – Dipl.-Arb. Geogr. Inst. Univ. Bern.
- JORDI, U. (1986): Glazialmorphologische und gletschergeologische Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch (Ostschweiz/Vorarlberg). – Thesis, Geograph. Bernensia G. 27, Geogr. Inst. Univ. Bern.
- KELLER, O. (1988): Ältere spätwürmzeitliche Gletschervorstöße und Zerfall des Eisstromnetzes in den nördlichen Rhein-Alpen (Weißbad-Stadium/Bühl-Stadium). – *Schriftenreihe Physische Geographie*, Volume **27**, Univ. Zürich, Band A: Textband, 241 S., Band B: Figuren und Abbildungen, 291 S.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1980): Die letzte Vorlandvereisung in der Nordostschweiz und im Bodensee-Raum (Stadialer Komplex Würm-Stein am Rhein). – *Eclogae geol. Helv.*, **73/3**, 823–833.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1983): Die Bodensee-Vorlandvereisung während des Würm-Hochglazials. – *Schriftenverein für Gesch. des Bodensees*, **101**, 113–129.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1987): Die hochwürmzeitlichen Rückzugsphasen des Rhein-Vorlandgletschers und der erste alpine Eisrandkomplex im Spätglazial. – *Geographica Helvetica*, **2**, 169–178.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1988): Eisrandkomplexe im nördlichen Bodenseeraum (Tattng-Fürmoos). – *Führer f.d. Quartärexkursion der Universitäten Stuttgart-Hohenheim und Zürich-Irchel*, mit Beilagen, 22 S.
- KELLER, O. & KRAYSS, E. (1991): Der Eisaufbau des Rhein-Linth-Gletschers im Oberen Würm: ein Modell. – In: BURKHARD FRENZEL, (Hrsg.): *Klimageschichtliche Probleme der letzten 130.000 Jahre*, Akademie der Wissensch. u.d. Lit., Mainz, Stuttgart – New York (Gustav Fischer) 421–433.
- KRASSER, L. (1936): Der Anteil zentralalpiner Gletscher an der Vereisung des Bregenzerwaldes. – *Zeitschr. f. Gletscherk.*, **24**, 99–121.

- KRASSER, L. (1940): Die diluviale Ausgestaltung des alpinen Oberrheintales. – Jahresber. u. Mitt. Oberrhein. geol. Vereines N.F., **39**, 79–87.
- KRAYSS, E. (1985): Zur Gliederung des Eisaufbaus der hochwürmzeitlichen Bodensee-Vorlandvergletscherung. – Phys. Geogr., **16**, Zürich, 23–30.
- KRAYSS, E. & KELLER, O. (1983): Die Bodensee-Vorlandvereisung während des Würm-Hochglazials. – Schriften Verein für Gesch. des Bodensees, **101**, Zürich, 113–129.
- KRIEG, W. & VERHOFSTAD, J. (Eds.) (1986): Gestein und Form, Landschaften in Vorarlberg. – Dornbirn (Hecht-Verlag) 209 S.
- MAISCH, M. (1981): Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser und Albulatal (Kt. Graubünden, Schweiz). – Diss. Univ. Zürich, Phys. geogr., **3**, 217 S.
- MAISCH, M. (1982): Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials. – Geographica Helvetica, **2**, 93–104.
- MAISCH, M. (1987a): Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials: Analyse und Interpretation von Schneegrenzdaten. – Geogr. Helv., **23**, 63–91.
- MAISCH, M. (1987b): Die Gletscher um 1850 und heute im Bündnerland und in den angrenzenden Gebieten: Untersuchungen zur Höhenlage, Veränderung und räumlichen Struktur von Schneegrenzen. – Geogr. Helv., **2**, 127–145.
- MANGERUD, J., ANDERSEN, S.T., BERGLUND, B. & DONNER, J.J. (1974): Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. – Boreas, **3**, 109–128.
- MÜLLER, F. (1979): Die Vergletscherung des Kt. Thurgau während der wichtigsten Phasen der letzten Eiszeit. – Mitt. Thurg. Nat. f. Ges., **43**, 47–73.
- OBERHAUSER, R. (1979): Helvetikum, Südliche Flyschzone und Quartär am Rheintalrand und im westlichen Walgau. – Mit Beiträgen von R. HANTKE, Zürich und E. VONBANK, Bregenz, Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. 61, 57–70.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. – 3 Bände, Tauchnitz Leipzig, 1199 S.
- RAPPOL, M. (1983): Glacigenic properties of till. Studies in glacial sedimentology from the Allgäu Alps and the Netherlands. – Diss. Univ. Amsterdam, 225 S.
- RESCH, W., LOACKER, H. & HANTKE, R. (1979): Molasse und Quartär im Vorderen Bregenzerwald mit Besuch der Kraftwerksbauten (Exk. C am 19. April 1979). – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., N.F., **61**, 19–36.
- SEIJMONSBERGEN, A.C. (1992): Geomorphological evolution of an alpine area and its application to geotechnical and natural hazard appraisal in the NW-Rätikon mountains and S-Walgau (including geomorphological map series at 1 : 10.000 scale). – Diss. Univ. Amsterdam (in Vorber.).
- SEIJMONSBERGEN, A.C. & VAN WESTEN, C.J. (1987): Geomorphological, Geotechnical and Natural Hazard Maps of the Hintere Bregenzerwald Area (Vorarlberg, Austria). – Dipl.-Arb., Univ. Amsterdam, Part 1, Text: 176 pp., Part 2, Annexures: 132 pp.
- SEIJMONSBERGEN, A.C. & VAN WESTEN, C.J. (1988): Geomorphologische, geotechnische und Naturgefahrenkarten des Hintere Bregenzerwaldes (Vorarlberg, Austria). – RUPKE, J. & KRIEG, W. (eds.) Zwölf Blätter 1 : 10.000 und Erläuterungsheft (82 pp.), Univ. Amsterdam und Vorarlberger Naturschau, Dornbirn.
- SIEGENTHALER, U., EICHER, U., ÖSCHGER, H. & DANSGAARD, W. (1984): Stable oxygen and carbon isotope analyses. – In: BURLUND, B.E. (ed.): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology, Chichester (Wiley & Sons).
- SIMONS, A.L. (1985): Geomorphologische und glazialgeologische Untersuchungen in Vorarlberg, Österreich. – Schriften des Vorarlberger Landesmuseums, Reihe A, Band 1, Bregenz, 257 S.
- SMIT SIBINGA-LOKKER, C. (1965): Beiträge zur Geomorphologie und Glazialgeologie des Einzugsgebietes der Dornbirner Ache (Vorarlberg, Österreich). – Diss. Univ. Leiden, Publ. v.h. Fys. Geogr. Laboratorium, Univ. Amsterdam, No. 7.
- STAKENBORG, J.H.T. (1986): Digitizing alpine morphology. A digital terrain model based on a geomorphologic map for computer assisted applied mapping. – ITC-Journal 1986/4, 299–306.
- TRICART, J. (1960): A subglacial gorge: La Gorge du Guil (Hautes-Alpes). – J. of Glaciology, **3**, 646–651.
- WELTEN, M. (1978): Das jüngere Quartär im nördlichen Alpenvorland der Schweiz auf Grund pollenanalytischer Untersuchungen. – In: FRENZEL, B. (ed.): Führer der Exkursionstagung des IGCP-Projektes 73/1/24 „Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere“ (1976), Bonn – Bad Godesberg, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 53–75.
- WELTEN, M. (1982a): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen. – Bern – Wallis, Denkschr. Schw. Naturf. Ges., **95**, 1–104.
- WELTEN, M. (1982): Stand der palynologischen Quartärforschung am Schweizerischen Nordalpenrand. – Geogr. Helv. (**2**), 75–83.