

A. Aufsätze

Sedimente und Formen der glazialen Serie

Von RÜDIGER GERMAN, Tübingen

Mit 1 Tabelle

Zusammenfassung. Der Begriff der glazialen Serie, welcher seit seiner Bildung weitgehend nur geomorphologisch verstanden und weiterentwickelt wurde, wird kritisch überprüft. Die Grundlagen dazu lieferten eingehende Kartierungen glazigener und glazialer Sedimente im württembergischen Alpenvorland (Oberschwaben) und Übersichtsbegehungen im bayerischen Alpenvorland und im Schweizer Mittelland. Sedimentologisch müssen bei der glazialen Serie weitere Schichten ausgesondert werden, als dies bisher üblich war. An Stelle der bisher kartierten teilweise recht mächtigen Grundmoräne im Rückland des Maximalwalles, kommen weitgehend nur Schmelzwassersedimente vor.

Eine sedimentologische Bearbeitung der verschiedenen Schichten der glazialen Serie erlaubt es, für die einzelnen Schichten charakteristische Kennzeichen herauszustellen (Tab. 1). Mit Hilfe dieser geologisch-sedimentologischen Kriterien folgt: Die bisherige geomorphologische Ansprache der Formen in der bisherigen „Jungmoränenlandschaft“ und der bisherigen „Altmoränenlandschaft“ hält den Kriterien einer modernen und auf rezenten Beispielen begründeten Sedimentsprache nicht mehr stand.

An Stelle des bisher üblichen morphologischen Landschaftsbegriffs der „kuppigen Grundmoränenlandschaft“ ist jetzt derjenige der „kuppigen Schmelzwasserlandschaft“ zu setzen. Beim Abschmelzen erfolgte in der Nähe des häufig oszillierenden Eisrandes ein lebhafter Wechsel zwischen der schwemmkegelartigen Akkumulation von Schmelzwassersedimenten und deren Umlagerung durch kurze Zeit später eintretende Erosion.

Nachdem das Schmelzwasser als das entscheidende Agens für die Gestaltung des Raumes im Hinterland der jeweiligen Maximalmoräne einer Eiszeit erkannt ist, treffen die alteingeführten Begriffe „Jung“- und „Altmoränenlandschaft“ sinngemäß nicht mehr zu. Diese deuten ja auf die Genese der Landschaft durch das Eis. Es ist in diesem Fall wohl besser, von der „würmeiszeitlichen kuppigen Schmelzwasserlandschaft“ bzw. von der „jüngeren kuppigen Schmelzwasserlandschaft“ und der „rißeiszeitlichen kuppigen Schmelzwasserlandschaft“ bzw. der „alten (kuppigen) Schmelzwasserlandschaft“ bzw. der „alten (kuppigen) Schmelzwasserlandschaft“ zu sprechen. Als Abkürzungen für diese langen Worte wird vorgeschlagen „jüngere Eisrandlandschaft“ und „ältere Eisrandlandschaft“ zu verwenden.

Summary. The glacial series, analysed only morphologically up to now, is now being investigated again. This new investigation has been based on careful mapping of glacial and glacial sediments in the pre-alpine highland of Baden-Württemberg (Oberschwaben) on the one hand and on several excursions to the Bavarian part of the pre-alpine highland as well as to the Swiss midland on the other hand. From a sedimentological point of view more layers have to be examined for themselves than before. Examination of meltwater sediments will on a very large scale replace the description of the enormous ground moraine behind the outermost wall of formerly glacial areas.

A sedimentological investigation of the various layers of the glacial series will allow a closer examination of the characteristic features of those layers and will bring about more accurate results than a description which has so far been only morphological.

The new term „hilly ground moraine landscape“ will now have to replace the term „hilly ground moraine landscape“. In the process of shrinking a lively alteration between accumulated cone shaped meltwater sediments and the material, which had been resedimentated by erosion shortly after, took place near the frequently oscillating ice border.

After meltwater has been discovered as the decisive agent which formed the region behind the respective outermost walls, the traditional terms „Jungmoränenlandschaft“ and „Altmoränenlandschaft“ cannot be applied any longer, as they would indicate a genesis by ice. Therefore the following new terms should be chosen: „würmeiszeitliche kuppige Schmelzwasserlandschaft“ or „jüngere kuppige Schmelzwasserlandschaft“ and „rißeiszeitliche kuppige Schmelzwasserlandschaft“ or „ältere kuppige Schmelzwasserlandschaft“. The terms „jüngere Eisrandlandschaft“ and „ältere Eisrandlandschaft“ could be used as abbreviations.

1. Einleitung

Hervorgerufen durch meine Ausführungen (GERMAN 1970a) ist besonders von geomorphologischer Seite die Frage aufgeworfen worden: Ist die dort vorgenommene Ausdeutung glazialer und glazigener Sedimente in dem angeführten Maße notwendig? Können nicht doch gewisse Hügelformen zu den Moränen gerechnet werden, selbst wenn diese Hügel Schmelzwassersedimente enthalten? Das hier aufgeworfene Problem zeigt die recht alte Dualität quartärgeologischer Forschung zwischen Sedimenten und Formen (PENCK & BRÜCKNER 1909, 19, Petit).

Welche Kriterien sind für eine Zuordnung oder Deutung entscheidend, Sediment oder Form? Eine Antwort darauf muß zunächst die wissenschaftliche Grundlage, die bisher übliche Methode und die Fortschritte der Forschung bis zur Gegenwart berücksichtigen.

2. Der Ursprung des Begriffs Moräne

In diesem Zusammenhang ist zunächst an die Anfänge der ganzen Forschungsrichtung zu erinnern. Wie in GERMAN (1968) ausgeführt, können wir Moränen, den wohl am längsten bekannten Teil der glazialen Serie, unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten betrachten. Unter Moränen verstehen wir sowohl Formen als auch Sedimente. Diese doppelte Bedeutung quartärgeologischer Begriffe war auch PENCK & BRÜCKNER (1909) geläufig.

Im Zusammenhang mit der Darstellung der glazialen Serie heißt es S. 19 in Kleindruck, letzter Satz: „Da die fluvioglazialen und glazialen Ablagerungen jeweils bestimmte Oberflächenformen haben, so verwenden wir die Ausdrücke Komplex und Serie sowohl zur Benennung von Ablagerungen wie auch der zugehörigen Formen.“ Mit der Herausstellung dieser doppelten Bedeutung glazialer Begriffe befand sich jener Verfasser in voller Übereinstimmung mit der ursprünglichen Bedeutung z. B. des Wortes Moräne. Dieses stammt aus den Westalpen (Savoyer und Walliser Alpen). Dort versteht man darunter seit dem ausgehenden 18. Jahrhundert sowohl die Form eines Hügels (oder Geröllhaufens) als auch das Geröll, welches diese Hügel bildet. Damit hat das Wort Moräne schon ursprünglich nicht nur geomorphologische, sondern auch sedimentologische Bedeutung. Entsprechend hat sich auch FLINT (1957, 108) geäußert: „Drift can be classified in two different ways: in terms of sediments, specifically the arrangement of the pieces of rock of which it is composed, or in terms of its form or topographic expression.“

In diesem Sinne und um jahrzehntelange Schwierigkeiten in der Moränenbenennung zu beheben, habe ich daher vorgeschlagen: „Die Einteilung der Moränen kann sowohl nach dem Sediment, als auch nach der Morphologie erfolgen. Es sind daher je nach der örtlichen Ausbildung alle denkbaren Kombinationen zwischen beiden Einteilungen möglich.“ (GERMAN 1968, 710 [4]). Im einzelnen habe ich dort folgende Einteilung angeführt:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| a) Sedimentologische Klassifikation: | b) geomorphologische Klassifikation: |
| 1) Obermoräne | 1) Wallmoräne |
| 2) Grundmoräne | 2) Deckmoräne. |
| 3) Randmoräne | |

3. Abgrenzung und Kenzeichen der Sedimente

Diese Moränenbegriffe sind in ihrer Bedeutung, wie auch in ihrer Zusammensetzung klar zu unterscheiden. Um alle Zweideutigkeiten zu beheben, die eventuell doch noch dem Wort Moräne anhaften, erscheint es zweckmäßig, für (a) nur den Begriff „Moränensedimente“ und für (b) nur den Begriff „Moränenformen“ zu benutzen. Da die Ausdrücke bei (a) und bei (b) verschieden sind, muß bei den 3 bzw. 2 Unterbegriffen nicht unbedingt das Wort „-sediment“ bzw. „-form“ angehängt werden. Im Zweifelsfalle trägt es jedoch zweifellos zur präziseren Ausdrucksweise bei (z. B. Grundmoränensediment bzw. Wallmoränenform).

Schwierigkeiten in der Benennung können eventuell eher in Grenzfällen bei Übergängen von einer Sedimentart in eine andere auftreten, wie z. B. bei der Frage: Wann ist eine Stauchmoräne schon Moränensediment und nicht mehr das ursprüngliche Schmelzwasser-

sediment? D. h., reicht die Stauchung eines Schmelzwassersediments, bei welchem z. B. eine Verschiebung von 10 cm eingetreten ist (Faltung oder Aufschiebung), um bereits von einer Stauchmoräne zu sprechen? (Wie aus Tab. 1 ersichtlich, werden die Stauchmoränen zur Gruppe der Randmoränen gerechnet.) Oder: Gehört eine Kalksteinscholle, welche z. B. 10 cm aus ihrem Verband durch das Eis herausgehoben ist und von eiszeitlichen Locker-sedimenten, auch auf der Unterseite, umhüllt ist, bereits zum Moränensediment?

Verwenden wir die gleiche Genauigkeit, wie sie z. B. in der Tektonik oder in der Meeresgeologie bei irgendwelchen Veränderungen (Kleintektonik, Umlagerung) angewandt werden, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die beiden angeführten Beispiele keine ungestörte normale Lagerung zeigen und daß sie zu den Stauchmoränen bzw. zu den Moränensedimenten gerechnet werden müssen. Solche Fälle bilden jedoch die Ausnahme. Bei der Aufnahme quartärer Sedimente im württembergischen Allgäu (GERMAN 1970a) wurden trotz der großen bearbeiteten Fläche wenig Veränderungen der normalen Lagerung durch Stauchmoränen und Toteissackungen festgestellt. Es ist daher nicht zu fürchten, daß bald nur noch gestörte Lagerungsformen aufzufinden sein werden.

Immerhin müssen wir beachten: Selbst noch so geringe Schichtenverbiegungen sind doch Marken des bewegten Eises. Hier zeigt sich seine Wirkung eindeutig am gestörten Sedimentverband. Damit haben wir eine ganz klare und geologisch begründete Aussage gewonnen. Die ursprünglich z. B. als Schmelzwassersediment abgelagerten Schichten wurden durch seitlichen Druck, durch vorstoßendes Eis gestört. Die tektonischen Einengungsstrukturen lassen keine andere Deutung zu. Außerdem erlauben die differenzierten geologischen Methoden häufig eine recht genaue Deutung der Bildungsumstände. Mit der Schichtenlagerung (Struktur), der Zusammensetzung der Sedimente (bes. der Korngröße), ihrer Textur (Einregelung der Einzelbestandteile), der Beschaffenheit der Einzelkomponenten besitzen wir Kriterien, welche innerhalb der verschiedenen Glieder der glazialen Serie eine brauchbare Unterscheidung ermöglichen (Tab. 1). Diese reichhaltige Unterscheidung ist im Rahmen der Formen trotz allen Wohlwollens für die geomorphologische Methode einfach nicht möglich, sofern man sich nicht der in Tab. 1 genannten typisch geologischen Arbeitsweisen im Rahmen der Geomorphologie bedient.

Es ist das eine Ziel dieser Arbeit, die Bedeutung geologischer Arbeitsweisen für die Bearbeitung quartärer Sedimente aufzuzeigen. Damit soll der geologischen Seite wegen verbreiteter Vorbehalte gezeigt werden, welche typisch geologische Methoden bei der Arbeit im Quartär angewandt werden können. Das andere Ziel liegt darin, der geomorphologischen Seite zu zeigen, welche große Bedeutung die sachgemäße Bearbeitung des Gesteins unter der Erdoberfläche besitzt und welche einzelnen gehende neue Ergebnisse dabei auftreten können. Allerdings bedarf es ohne Zweifel erheblich größerer Mühe und größeren Zeitaufwandes, den oft schlecht aufgeschlossenen Sedimentinhalt nach allen Regeln der geologischen Wissenschaft zu bearbeiten, als aus den meist gut überblickbaren Formen Schlüsse zu ziehen. Wenn das Ergebnis mit wesentlich größerer Sicherheit zu erzielen ist (und damit der erdgeschichtlichen Entstehung näher kommt), dann ist der Mehraufwand durch ausführliche Untersuchungen am Gestein zweifellos gerechtfertigt. Dies bedeutet: Die quartären Sedimente sind nach allen geeigneten geologischen Arbeitsmethoden zu untersuchen. Dabei erscheint es mir am wichtigsten und gleichzeitig meist auch am einfachsten, wenn zuerst einmal das Bildungsmedium, bzw. die bei der Entstehung wirksamen geologischen Kräfte (z. B. Schmelzwasser oder Eis) bestimmt werden. Gerade in diesem Punkt sind bisher die meisten Fehldeutungen vorgekommen. Nach meinen Erfahrungen reichen für Gebirgsvergleicherungen die oben angeführten Begriffe in der Sediment- und Formansprache aus, um das quartäre Inventar zu gliedern. Die geschilderte geologische Arbeitsweise wird im Grunde genommen auch schon von PENCK & BRÜCKNER (1909, 11) vertreten: „Hier muß Specialforschung einsetzen, welche die einzelnen Glacialablagerungen ganz ebenso als geologische Körper zu verfolgen und auszuscheiden hat, wie irgend eine geologische Specialaufnahme.“

Die örtlich stark wechselnden Ablagerungsverhältnisse scheinen bisher so verwirrend, daß es kaum möglich war, eine detaillierte Landschaftsgeschichte im Rückland des würmeiszeitlichen voralpinen Maximalwalles aufzustellen. Unter Berücksichtigung der örtlich sehr differenzierten Bildungsbedingungen am ehemaligen Eisrand (s. u.) ist dies jetzt eher

Tabelle 1: Allgemeine Methoden für die Bearbeitung der

Arbeits- gerät Sedi- mentschicht	Korngröße (Sortierung)	Schichtenaufbau (Lagerung)
		Sieb, Waage
Rand- und Obermoräne	sämtliche Korngrößen können vertreten sein, müssen es aber nicht. Vorherrschend Sand und Kies. Blockwerk tritt in jeder Größe auf. Sortierung meist schlecht.	Meist wirre, ungeschichtete und im Gegensatz zur Grundmoräne lockere Lagerung (Ausnahme Stauchmoräne). Beckenwärts (zentripetal) Übergang in Grundmoräne und basal Übergang in Vorstoßschotter bzw. Sandersediment, zentrifugal in Sandersediment. — Bei Stauchmoränen ist die primäre Schichtenlagerung gestört (Eingengungsstrukturen). Messen der Bewegungsrichtung aus Strukturen der Stauchmoräne.
Grundmoräne	Schluff (und tlw. auch Sand) vorherrschend, einzelne Geschiebe von Kies- und Blockgröße. Sortierung mäßig.	meist homogene, sehr kompakte Schicht mit unregelmäßig verteilten Geschieben. Häufig unscharfe Grenze gegen Vorstoßschotter, scharfe Grenze gegen das Hangende.
Sander-sediment (Übergangssediment)	Kies, Sand und Blockwerk in gleichmäßiger Vermengung, gute Sortierung.	Schwemmkegelförmige Schüttungen in Längs- und Querprofil (Linsenform) abgeschlossen. Zentrifugal Übergang in Schotterkörper, zentripetal tlw. in Vorstoßschotter bzw. Randmoränensediment.
Schotterkörper	Kies und Sand in gleichmäßiger Vermengung, sehr gute Sortierung.	Meist einheitlicher Schichtenaufbau durch die ganze Aufschlußwand. Meist keine reinen Sandschichten. Durchgehende Schichtung in Transportrichtung, quer dazu linsenförmige Lagerung (s. Sandersediment).
Vorstoßschotter	Kies, Blockwerk und Sand in gleichmäßiger Vermengung, tlw. durch sekundäre Nagelfluhbildung verfestigt, Sortierung daher nur ausnahmsweise feststellbar, meist ähnlich wie Sander.	Schwemmkegelförmige Schüttungen im Längs- und Querprofil abgeschlossen, durch Nagelfluhbildung jedoch oft schlecht erkennbar. Zentrifugal Übergang in Sandersediment, vertikal Grenze zur Grundmoräne durch Kalk- und Schluffinfiltration verwischt.
Schmelzwasserbildungen der Abschmelzzeit	Sand, Kies, selten Blockwerk in vielen Einzelschichten einheitlicher Korngröße. Die Einzelschichten sind meist gut sortiert. Die Vermengung der Komponenten in Verbindung mit gestörter Lagerung kann auf nachträgliches Ausschmelzen über ehemals unterlagerndem Toteis zurückgeführt werden.	In vielen Fällen Kames- und Eiskontakt-sedimente in 10—40 cm mächtigen vielen Einzelschichten mit jeweils verschiedener Korngröße, tlw. Schüttungen in Hohlformen mit Delta-, Überguß- und Sohlschichten. Deltaschichten meist in sandreiche bzw. kiesreiche Schichten gut unterscheidbar gegliedert, Übergußschichten meist homogen, Sohlschichten vielfach als Bänderton ausgebildet. Bei ebener Lage Ausbildung eines Schotterkörpers von einigen Metern Mächtigkeit. Gestörte Lagerung mit Ausdehnungsstrukturen oder starker Vermischung der Komponenten deutet auf ausgeschmolzenes Toteis bzw. auf Nachsacken der Sedimente am abschmelzenden Eisrand.

Schichten der glazialen Serie (vgl. GERMAN 1968, Fig. 3, S. 715)

Textur	Einzelkomponente	Mächtigkeit
Kompaß	Kompaß, Lupe.	Maßstab, Maßband
Keine Einregelung der Geschiebe, im Normalfall wirre Anordnung der Komponenten. Ausnahme: Stauchmoräne.	Kies und Blockwerk kantengerundet, Geschiebe wenig gekritzelt, kritzen oft nur wenige Millimeter lang und meist ohne bevorzugte Richtung infolge wiederholter Umlagerung durch Eisschub.	meist bis 15—20 m, in Ausnahmefällen über 100 m Höhe (z. B. Gardasee, Mono Lake).
horizontale Einregelung der Geschiebe.	Geschiebe zeigen oft mehrere Zentimeter lange Kritzen, sind gut gerundet. Die Geschiebeorientierung (Kompaß) zeigt ehemalige Strömungsrichtung des Eises.	meist einige wenige Meter, gelegentlich 10 m.
dachziegelartige Lagerung der Gerölle. Einregelungsrichtung örtlich stark wechselnd.	Gerölle gut gerundet und mit Punktierung versehen (Lupe). Kritzen nehmen mit zunehmender Entfernung vom Schmelzwassertor auf einige hundert Meter Entfernung sehr schnell ab.	Am Schmelzwassertor bis ca. 100 m, meist um 30—40 m.
dachziegelartige Lagerung, gute Einregelung in Abflussrichtung.	Gerölle gut gerundet, zeigen Punktierung.	meist um 20 m.
dachziegelartige Lagerung d. Gerölle. Die scheinbar wirre Lagerung wird durch sekundäre Zementation vorge-täuscht.	gerundetes Einzelkorn, tlw. von Kalkkruste umhüllt und mit anderen Komponenten zementartig verbunden. Viele Hohlräume zwischen den einzelnen Körnern.	ähnlich wie bei den Sander-sedimenten zwischen 0 und 40 m Rinnen.
dachziegelartige Lagerung d. Gerölle, Gerölleinregelung örtlich und zeitlich stark wechselnd. Bei Sedimenten der Eisrandschwemmkegel Komponenten fast immer ungerundet und ohne Kritzen.	Gerölle meist gut gerundet und punktiert, Kritzen selten noch erhalten. Einzelgerölle oft in Sand gebettet.	in Beckenlage bis über 60 m, jedoch gelegentlich durch zwischengeschaltete Grundmoränenschichten einzelner Oszillationen unterbrochen. In ebener Lage Schotterfelder von einigen Metern Mächtigkeit.

möglich geworden. Nach den bisherigen geologischen und geomorphologischen Aufnahmen im deutschen Alpenvorland, liegt an der Oberfläche des ehemals von Eis bedeckten Gebiets weitgehend Grundmoräne. Dies war eine Fehldeutung. Diese Fläche wird weitgehend von Schmelzwassersedimenten, den glazifluvialen Ablagerungen der Abschmelzzeit eingenommen. Die eben fertiggestellten Diplomarbeiten von HOLZMANN (1970), MADER (1970) und SCHIFTAH (1970) zeigen dies. Daß diese Ergebnisse keine Fehlinterpretation der Geländebefunde und auch keine methodischen Fehler der Sedimentansprache sind, zeigen sowohl Beobachtungen am Rande alpiner Gletscher (GERMAN 1962 und 1970) und am grönländischen Inlandeis (GERMAN 1971) als auch das theoretische Überdenken des Abschmelzvorganges einer Eisdecke.

4. Das Abschmelzen von Eismassen

Überlegen wir einmal: Was passiert, wenn eine größere Eismasse wie etwa eine Gletscherzunge, z. B. am Rheinvorlandgletscher oder Teile eines Inlandeises abschmelzen? Die große Eismasse wird in Wasser verwandelt. Dieses fließt jedoch nicht nur in einigen wenigen Schmelzwasserströmen weg. Der ganze Eisrand ist von vielen Schmelzwasserfäden durchzogen, die aus den Schmelzwassertoren heraustreten. Außerdem fließen zahllose Rinnen mit weiterem Schmelzwasser von der Eisoberfläche herab. Wenn wir bedenken, daß allein im Würmspätglazial die vorausgegangene Meeresspiegelabsenkung um ca. 80 m wieder rückgängig gemacht wurde, werden die Dimensionen der Schmelzwässer deutlich, welche von den Eisrändern abgeflossen sein müssen. Dabei ist zu bedenken, daß es sich dabei sowohl um den Teil des Eises, welcher aus dem Nährgebiet hergeschoben wurde, als auch um die Niederschläge, welche im Bereich des Eisrandes (und seines Vorlandes) neu gefallen sind, handelt. Die Wassermenge im damaligen Gewässernetz war somit ungleich größer als heute.

Diese Wassermassen gestalteten das unmittelbare Eisrandgebiet erheblich um. Die unter dem Eis ausgetaute Grundmoräne, die niedergetaute Obermoräne und oft auch die Randmoräne werden von Schmelzwasser durchspült und ausgespült. Das Feinmaterial, oft aber auch das Grobmaterial (GERMAN, 1971) werden umgelagert. Alles Lockersediment im Eisrandbereich wird von den Schmelzwässern ergriffen und umgearbeitet. Durch Flüsse, Seen, das Entstehen von Eisrandschwemmkegeln, Sandern usw. wird dieses Gebiet lebhaft umgestaltet. In den seltensten Fällen kann dabei die Grundmoräne unverändert erhalten bleiben (GERMAN 1970 b, 1971).

Wie selten beobachten wir heute im Vorland rezenter Gletscher und von Eisgebieten das Zutagetreten von Grundmoränensediment! Nachdem seit über 100 Jahren der Eisrand fast auf der ganzen Erde zurückgewichen ist, muß diese Beobachtung doch zu denken geben. Auf weiten Flächen werden dort nur Schmelzwassersedimente und Randmoränen (im obigen Sinne) beschrieben (GRIPP 1929, TODTMANN 1960 und GERMAN 1970 b und 1971). Ähnlich war es in der Abschmelzphase des Spätglazials. Es erhebt sich daher die Frage: Wo gibt es dann im Umkreis der Alpen überhaupt noch Grundmoränensediment? Wie in GERMAN (1970 a) angeführt, tritt sie z. B. im württembergischen Allgäu fast nur unter mächtiger, stellenweise bis zu 70 m mächtiger Bedeckung durch Schmelzwassersedimente des Würmspätglazials auf. Nur in den tief eingeschnittenen Tälern finden wir sie, häufig unmittelbar über der Molasse. Darüber spiegeln aber die vielen Meter, ja Dekameter mächtigen Sedimente das recht lebhaftes Geschehen am abschmelzenden Eisrand in dieser Beckenlage wider. Hier, ebenso wie an den rezenten, abschmelzenden Eiszungen, beobachten wir Grundmoränensediment oft nur unter mächtigen glazifluvialen Sedimenten begraben. Unter günstigeren Abflußverhältnissen als bei der Beckenlandschaft im Allgäu, also bei normalem Flußgefälle ins Vorland wie im Westen der Schussen am Bodensee, wird die glazifluviale Sedimentdecke geringer und die Grundmoräne tritt häufiger an der Ober-

fläche auf. Bedenken wir, daß beim pleistozänen Rheinvorlandgletscher auf fast jedem Kilometer Eisrand ein Schmelzwassertor liegt, dann wird die mögliche Umgestaltung des Vorlandes durch Schmelzwässer verständlich. Die Schmelzwässer dürften dann einen Wirkungsbereich ihres Schwemmfächers von einigen hundert Metern vom Schmelzwassertor aus nach beiden Seiten gehabt haben. Nachdem beim Maximalstand der Abstand der einzelnen Schmelzwassertore im Mittel 1 km beträgt, heißt das, daß sich die Schmelzwasser-tätigkeit am gesamten Eisrand entlang erstreckte. Damit bleibt aber kaum mehr Platz für Grundmoränensediment an der Erdoberfläche. Dieses hat sich daher meist auch auf den Höhen zwischen Schmelzwassertoren erhalten, wo es nicht zugeschüttet werden konnte.

Beim Abschmelzen der Eismassen waren diese Schmelzwassertore aber immer noch tätig, allerdings weiter im Beckeninnern. Der Abstand zwischen den einzelnen Toren wurde kleiner, da der gesamte Eisrand mit Annäherung an das Alpentor ständig schmaler wurde. Die maximale Randmoräne des würmeiszeitlichen Rheinvorlandgletschers ist ca. 180 km lang. Der Rheinvorlandgletscher war am Alpentor auf der Strecke St. Gallen-Bregenz noch etwa 80 km breit. Das bedeutet, daß der Eisrand in der Gegend des heutigen Bodensees etwa die halbe Länge wie während der Maximallage besaß. Damit kamen etwa 2 Schmelzwassertore auf 1 km Eisrand. Bedenken wir außerdem (vgl. PENCK & BRÜCKNER 1909, 16), daß im Spätglazial, also während der Abschmelzzeit des Eises noch mehr Wasser als im Hochglazial vom Eis weggeflossen sein mußte, dann hatte diese riesige Wassermenge doch zweifellos noch bedeutendere Wirkungen als im Hochglazial. Damit werden die großen Veränderungen an der Stirn der abschmelzenden pleistozänen Eiszungen voll und ganz verständlich. Berücksichtigen wir schließlich noch, daß der Eisrand zu dieser Zeit, besonders im württembergischen Allgäu in Beckenlage verharnte (Zungenbecken), und daß diese Becken durch das verminderte Flußgefälle zur Donau als ausgezeichnete Sedimentfallen wirkten, dann wird die abgelagerte beachtliche Sedimentmenge (GERMAN 1970 a) vollends verständlich. Hierbei sind nicht nur die längst bekannten und vom Geologischen Landesamt kartierten Stauseesedimente der Eisstauseen oder die spätglazialen Flußschotter entlang den Hauptabflußwegen gemeint (z. B. Argenschotter), sondern große Mengen von neu herausgearbeiteten Eisrand-sedimenten. Diese Eisrand-sedimente wurden bisher von allen Bearbeitern für Moräne gehalten (s. geol. Spezialkarten und geol.-morphol. Darstellungen). Es handelt sich dabei um örtliche Ablagerungen vor den vielen Schmelzwassertoren. Dabei haben sich zahllose Schwemmkegel gebildet. Die zeitlich wie örtlich lebhaft wechselnden Schmelzwasserflüsse sind durch ein Gebiet geflossen, welches in dieser Zeit niedertaute und aufgeschüttet wurde.

Es erscheint mir notwendig, diese Zone im unmittelbaren Vorland des Eises, in welcher in Seen und Flüssen, häufig noch unter gewissem Eiseinfluß akkumuliert, erodiert und umgelagert wird, besonders auszuscheiden. Von den Bildungen des Maximalstandes mit dem Sander unterscheiden sich diejenigen der Abschmelzzeit durch einen unfertigen Zustand, weil das Eis laufend abgeschmolzen ist, während es nach bisherigen Unterlagen am Maximalwall der Würmeiszeit zumindest einige hundert Jahre gelegen haben dürfte (GERMAN et al. 1965). Als Name für dieses großflächige Gebiet der Ausschmelzerscheinungen und lebhafter Sedimentumlagerung und als Ersatz für die unzutreffende „Moränenlandschaft“ erscheint der Ausdruck „Eisrandlandschaft“ geeignet. Namen wie „Ausschmelzbereich“ oder „Umlagerungszone“ bringen nur einen Teilaspekt des reichhaltigen Geschehens zum Ausdruck. Außerdem zeigt der Begriff „Eisrandlandschaft“ enge Verwandtschaft mit den in diesem Gebiet häufig auftretenden „Eiskontakt-“ bzw. „Eisrandsedimenten“ an.

Die starke Sediment-Umlagerung in der Eisrandlandschaft wird noch durch eine weitere Beobachtung unterstrichen. Im Bodenseebecken flossen viele Schmelzwasserzuflüsse in einem schmalen Streifen zwischen Eisrand und den davor aufgeschütteten Sedimenten. Viele Erosionskanten an diesen glazifluvialen Eisrandschüttungen beweisen, daß bald nach der Ak-

kumulation auch schon wieder die Zerstörung dieser unmittelbar zuvor aufgeschütteten Gebilde begann. Das Schmelzwasser suchte sich nach erfolgter Akkumulation sofort neue Wege und erodierte. Unter Berücksichtigung dieser Ereignisse muß man sich fragen: Wie soll sich in Beckenlage bei so viel Schmelzwassertätigkeit und Umlagerung der Sedimente noch eine Grundmoräne an der Landoberfläche erhalten haben? Diese muß ja mächtig zugeschüttet sein.

5. Die glaziale Serie in verschiedenen Vereisungsgebieten

Den dargestellten Ergebnissen liegen in erster Linie Übersichtskartierungen auf etwa 20 Meßtischblättern in Oberschwaben zugrunde. Im Raum zwischen dem Bodensee von Lindau bis Friedrichshafen und der Linie Wilhelmsdorf-Rot a. d. Rot wurden Schmelzwassersedimente aus der Abschmelzzeit der Riß- und Würmeiszeit in großer Verbreitung gefunden. Zusammen mit den großen Becken und den darin enthaltenen Sedimenten (GERMAN et. al 1967 a und b) bilden sie genetisch eine Einheit, die glaziale Serie.

Die in Oberschwaben aufgefundenen Verhältnisse sind aber keine Ausnahme. Sie kommen im ganzen nördlichen Alpenvorland vor, soweit es einmal von Eis bedeckt gewesen ist. Bei Übersichtsbegehungen habe ich sie im bisherigen „Jung-“ wie „Altmoränengebiet“, also in der jüngeren und älteren Eisrandlandschaft beobachtet. Allerdings treten die Schmelzwasserbildungen der Abschmelzzeit in den übrigen Landschaften nicht so stark in Erscheinung wie in der Beckenlandschaft des württembergischen Allgäu. Bei einfacheren Abflußverhältnissen, wie im Bodenseegebiet z. B. westlich der Schussen, ist die Überlagerung mit Schmelzwassersedimenten nicht so groß wie im Allgäu. Abflußverhältnisse in gegelerten Talzügen sorgen, wie z. B. auch in Bayern oder in der Schweiz dafür, daß dort stellenweise die mächtigen Vorstoßschotter nur von geringmächtigen Moränensedimenten überlagert wurden.

Den relativ geringen Anteil der Moränensedimente an den Beckenfüllungen haben in Oberschwaben schon die ausgewerteten Bohrkern der wissenschaftlichen Kern-Bohrungen Ur-Federsee 1 und 2 bzw. Wurzacher Becken 1 gezeigt (GERMAN et al. 1965, 1967 a und 1968). Aufgrund der Übersichtskartierungen wird der Anteil der Moränensedimente, wie angeführt, auch in der Nähe der Erdoberfläche gegenüber den bisherigen Anschauungen, stark vermindert. Damit erhalten die Berechnungen der Volumina quartärer Sedimente (GERMAN et al. 1967 b) eine neue Perspektive. Die dort ermittelte durchschnittliche Mächtigkeit quartärer Sedimente im Gebiet der Würmeiszeit von ca. 50 m (ohne die extremen Becken des Ur-Federsees und des Wurzacher Beckens) wird durch die Befunde der Übersichtskartierung in diesem Raum bestätigt. In allen angeführten Fällen sind erstaunlich wenig Moränensedimente sowohl in Bohrprofilen wie an der Erdoberfläche vertreten. Damit erkennen wir:

Quartäre Sedimente bestehen selbst in ehemals vereisten Gebieten zum weitaus überwiegenden Teil aus Schmelzwassersedimenten. Früher wurde der größte Teil der Schmelzwasserablagerungen in den extramarginalen Schotterfeldern außerhalb der Maximalmoräne der jeweiligen Eiszeit gesehen. Diese Schotterfelder sind meist aber nur ca. 20 m mächtig. Innerhalb der maximalen Randmoränenwälle lagern aber noch weitere, umfangreichere Schmelzwassersedimente, die *i n t r a m a r g i n a l e n* Schmelzwassersedimente. Infolge der geringen Fläche des extramarginalen Vorlandes stellen die intramarginalen Schmelzwassersedimente beim Rheinvorlandgletscher sogar den Hauptteil. Dieses Vorrherrschen der Flußarbeit ist auf das Abschmelzen der riesigen Eismassen zurückzuführen und ist daher ganz normal. Die Wirkung der *E i s* arbeit ist dagegen nur indirekt aus den Sedimenten (Umlagerung), direkt jedoch am Eisschuf, dem geringmächtigen Grundmoränensediment und teilweise an der Beckenbildung zu erkennen. Darüber wird an anderer Stelle berichtet.

6. Revision der glazialen Serie

Nach der Einordnung der Eisrandsedimente zum Schmelzwasserbereich erhebt sich die Frage: Warum wurden diese Eisrandsedimente bisher als Moräne gedeutet? Eine der verschiedenen Ursachen ist wohl die Darstellung der glazialen Serie bei PENCK & BRÜCKNER (1909, 16, Fig. 1). Die eingezeichneten eiszeitlichen Sedimente im Zungenbecken sind die gleichen wie im Moränengürtel (jetzt besser Randmoränenwall). Nachdem in der glazialen Serie in PENCK & BRÜCKNER (1909) nur zwei verschiedene eiszeitliche Sedimente außer dem festen Untergrund zeichnerisch unterschieden wurden (sie sind in der Abbildung nicht ausdrücklich benannt), nämlich Schotterkörper und Moräne, kann es sich nur um die letzte handeln. Diese Vorstellung geht auch aus dem Text (PENCK & BRÜCKNER 1909, 406) hervor: „Das Grund- und Oberflächenmaterial der abgeschmolzenen Zunge bleibt als eine Decke über dem eisfrei gewordenen Gletscherboden liegen...“ Aus dem nunmehr vorliegenden Beobachtungsmaterial folgt damit zwingend, daß die glaziale Serie sedimentologisch neu und differenzierter gegliedert werden muß. Dies ist aufgrund des Forschungsstandes des Jahres 1964 in GERMAN (1968) erfolgt. Seither sind durch die Übersichtskartierung noch weitere Einzelheiten hinzugekommen. Gegenüber der glazialen Serie in GERMAN (1968) müssen die Beckensedimente im Rückland der Randmoräne für manche Gebiete noch erheblich mächtiger eingezeichnet werden (bis ca. 70 m).

Diese Bedeckung mit Schmelzwassersedimenten war PENCK & BRÜCKNER (1909, 15) durchaus geläufig, denn es heißt dort, in teilweisem Gegensatz zu dem oben angeführten Zitat aus PENCK & BRÜCKNER (1909, 406): „Breitete der vorschreitende Gletscher seine Moränen über seine Schotter, so erfolgt beim rückwärtsgehenden die Schotterablagerung auf den Moränen.“ Ebenso ist der grundsätzliche Unterschied zwischen Moränen- und Schmelzwassersedimenten bekannt, da es bei PENCK & BRÜCKNER (1909, 13) heißt: „Die Ablagerungen der Grund- und Endmoränen ist dort möglich, wo die entstehenden Schmelzwässer nicht kräftig genug sind, um den herbeigeführten Schutt wegzunehmen.“ Neben dem großen Wurf der heute noch gültigen Gliederung des Eiszeitalters rund um die Alpen und der Herausstellung der gleichfalls noch heute aktuellen Serie mag die nicht ganz zutreffende Darstellung der „Moränenlandschaft“ von geringerer Bedeutung erscheinen. Die früher intensiv gepflegte und offenbar auch heute noch notwendige Vorherrschaft der geologisch-sedimentologischen Arbeitsweise gegenüber der geomorphologischen für die Bearbeitung eiszeitlicher Ablagerungen geht aus PENCK & BRÜCKNER 1909, 15) einwandfrei hervor: „Das Lagerungsverhältnis von Schottern und Moränen, nicht aber bestimmte Formen und Formationskomplexe geben uns Aufschluß über vorwärtsschreitende oder sich zurückziehende Gletscher.“

Es ist unklar, warum PENCK im Gebiet der „Moränenlandschaft“ die Tätigkeit der Schmelzwässer nicht namengebend zum Ausdruck brachte. Schreibt er doch (PENCK & BRÜCKNER 1909, 13): „Aller jener Schutt, welcher von Gletschern auf ihrer Oberfläche, in ihrem Innern oder an ihrer Sohle als Ober-, Innen- oder Untermoräne herbeigeschleppt worden ist, und welcher dort liegen geblieben ist, wo das verfrachtende Eis abschmolz, bildet die Gesamtheit der *Glacialformation*.“ Weiter wird dann auf der gleichen Seite der Unterschied zwischen Moränen und Schmelzwasserbildungen herausgestellt: „Diese vom Wasser verschleppten Massen gehören nicht zur *Glacialformation*; nur diejenigen, welche in unmittelbarer Nähe der letzteren und in Verknüpfung mit derselben abgelagert werden, lassen ihren Ursprung aus den Moränen erkennen, sie werden als *fluvioglaziale* Gebilde bezeichnet.“ Auch hier sehen wir die klare Sedimentansprache. Lediglich der Ursprung (!), die Herkunft der Schmelzwassersedimente von der Moräne läßt sich erkennen. Weder im Material noch in der Form liegt aber in den meisten der zahllosen Kuppen im Rückland der Maximalmoränen eine Moräne vor.

Ergebnisse: Die Grundlage moderner Quartärforschung in ehemals vom Eis bedeckten Gebieten ist, wie neue Arbeiten gezeigt haben, eine Sedimentkartierung. Die Ansprache der Sedimente ist nach den Grundsätzen der jeweils vorherrschenden geologischen Faktoren vorzunehmen. Aufgrund dieser Voraussetzungen können die Ablagerungen der glazialen Serie bei Gebirgsvergletscherung differenzierter dargestellt werden als dies bisher üblich war.

Schon bisher lagen Arbeiten zur Weiterentwicklung des Begriffs der glazialen Serie vor. TROLL (1926) führt die Zerschneidung des Stirnbereichs durch Trompetentäler ein. SCHAEFER (1950) berichtigt die Schichtenfolge, welche bei PENCK & BRÜCKNER (1909, Abb. 1) falsch dargestellt ist. MOSER (1958) bringt aufgrund seiner geomorphologischen Kartierung ein neues Modell. Dieses faßt den geomorphologischen Fortschritt zusammen, zeigt aber in der Sedimentausdeutung Mängel (Moränendecke vor der Wallmoräne und Grundmoränendecke an der Oberfläche im Zungenbecken). Diese Arbeiten, wie auch die geomorphologischen Untersuchungen von BUGMANN (1958), LEEMANN (1958) und EICHLER (1970) beschäftigten sich nicht mit den „Moränenlandschaften“, sondern mit dem traditionellen Bereich glazifluvialer Erscheinungen. Für das nordeuropäische Vereisungsgebiet gelten etwas andere Verhältnisse.

Die Tatsache, daß weite Gebiete, die im Quartär vom Eis bedeckt waren, von Schmelzwasser geprägt sind, hat zur Folge, daß wir alle diese Gebiete unter dem Faktor Schmelzwasserarbeit überprüfen müssen. Das bedeutet viel Kartierarbeit unter neuen Gesichtspunkten. Eine bloße Untersuchung der Oberflächenform führt demgegenüber häufig zu Fehlschlüssen. Nur die ständige Einbeziehung des Sediments führt in Eisrandgebieten zum Erfolg.

Aufgrund der genannten Kriterien müssen, wie in der Zusammenfassung angegeben, bisher übliche Landschaftsbegriffe durch neue ersetzt werden.

7. Schrifttum

- BUGMANN, E.: Eiszeitformen im nordöstlichen Aargau. — Mitt. Aarg. naturf. Ges., **25**, 1—94, Aarau 1958.
- EICHLER, H.: Das präwürmzeitliche Pleistozän zwischen Riß und oberer Rottum. — Heidelb. geogr. Arb., **30**, 128 S., Heidelberg 1970.
- FLINT, R. F.: Glacial and Pleistocene Geology. — 553 p. New York (J. Wiley & Sons), 1957.
- GERMAN, R.: Zur Geologie des Lechvorlandgletschers. — Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., **44**, 61—83, Stuttgart 1962.
- : Moraines. — In: FAIRBRIDGE, R. W.: Encyclopedia of Geomorphology, 710—717. New York. (Reinhold Book Corporation), 1968.
- : Zur Unterscheidung von Grundmoräne und Schmelzwasser-Sedimenten am Beispiel des württembergischen Allgäus. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1970**, 69—76, Stuttgart 1970 (1970a).
- : Rand und Vorland von Bernina-Gletschern und ihre Bedeutung für Oberschwaben. — Jh. Ges. Naturk. Württ., **125**, 76—87, Stuttgart 1970 (1970b).
- : Die wichtigsten Sedimente am Rande des Eises. Ein aktuogeologischer Bericht von der Stirn des Kiagtut sermia bei Narssarssuaq (Südgrönland). — N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **138**, 1—14, Stuttgart 1971.
- GERMAN, R., DEHM, R., ERNST, W., FILZER, P., KÄSS, W., MÜLLER, G. & WITT, W.: Ergebnisse der wissenschaftlichen Kern-Bohrung Ur-Federsee 1. — Oberrhein. geol. Abh., **14**, 97—139. Karlsruhe 1965.
- GERMAN, R., BORNEFF, J., BRUNNACKER, K., DEHM, R., FILZER, P., KÄSS, W., KUNTE, H., MÜLLER, G. & WITT, W.: Ergebnisse der wissenschaftlichen Kern-Bohrung Ur-Federsee 2. — Oberrhein. geol. Abh., **16**, 45—110. Karlsruhe 1967 (1967a).
- GERMAN, R., LOHR, P., WITTMANN, D. & BROSE, P.: Die Höhenlage der Schichtengrenze Tertiär-Quartär im mittleren Oberschwaben. — Eiszeitalter u. Gegenwart, **18**, 104—109. Öhringen 1967 (1967b).
- GERMAN, R., FILZER, P., DEHM, R., FREUDE, H., JUNG, W. & WITT, W.: Ergebnisse der wissenschaftlichen Kern-Bohrung Wurzachener Becken 1 (DFG). — Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., **123**, 33—68, Stuttgart 1968.

- GRIPP, K.: Glaciologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. — Abh. naturwiss. Ver. Hamburg, **22**, 145—249, Hamburg 1929.
- HOLZMANN, H.: Geologische Kartierung im Wurzacher und Arnacher Becken. — 93 + 7 S., Diplomarbeit Tübingen 1970.
- LEEMANN, A.: Revision der Würmterrassen im Rheintal zwischen Diessenhofen und Koblenz. — Geogr. Helvet., **13**, 89—173. Bern 1958.
- MADER, M.: Das Quartär zwischen Adelegg und Hochgelände. — 126 S., Diplomarbeit Tübingen 1970.
- MOSER, S.: Studien zur Geomorphologie des zentralen Aargaus. — Mitt. Geogr.-ethnol. Ges. Basel, **10**, 1—98. Basel 1958.
- PENCK, A. & BRÜCKNER, E.: Die Alpen im Eiszeitalter. — 3. Bd., Leipzig (Tauchnitz) 1909.
- SCHAEFER, I.: Die diluviale Erosion und Akkumulation. — Forsch. z. dt. Landesk., 49, 154 S., Landshut 1950.
- SCHIFTAN, S.: Quartärgeologische Untersuchungen auf Blatt Kißlegg Nr. 8225 (Württembergisches Allgäu). 67 S., Diplomarbeit München 1970.
- TODTMANN, E. M.: Gletscherforschung auf Island (Vatnajökull). — Abh. Gebiet Auslandskunde Univ. Hamburg, **65**, Reihe C, Bd. 19, 95 S., Hamburg 1960.
- TROLL, K.: Die jungglazialen Schotterfluren im Umkreis der deutschen Alpen. — Forsch. dt. Landesk., **24**, H. 4. Stuttgart 1926.

Manusk. eingeg. 28. 10. 1970.

Anschrift des Verf.: Prof. Dr. Rüdiger German, Geol.-Paläont. Inst. Univ., 74 Tübingen, Sigwartstraße 10 und Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Südwürttemberg-Hohenzollern, 74 Tübingen, Nauklerstraße 58.