

Rüdiger MÄCKEL und Axel RÖHRIG, Freiburg i. Br.

Flußaktivität und Talentwicklung des Mittleren und Südlichen Schwarzwaldes und Oberrheintieflandes

1. Steuerungsfaktoren der Flußaktivität und Talentwicklung

Das fließende Wasser ist die bedeutendste formbildende Kraft auf der Erdoberfläche. Daher wird auch innerhalb der Geomorphologie ein besonderes Gewicht auf die fluvialen Prozesse gelegt und speziell auf Fließvorgänge, die an ein Gerinne oder ein Tal gebunden sind. Als Ergebnis der fluvialen Prozesse treten heute in der Landschaft unterschiedlich gestaltete Fluß- und Talsysteme auf. Größe und Form eines Tales sind von verschiedenen Faktoren abhängig, wie von der Gesteinsbeschaffenheit, von dem vererbten Relief, dem Klima (speziell dem Niederschlag und den davon abhängigen fluvialmorphologischen Parametern), von dem Gefälle, der Last und der Bodenbewachsung. Die Gesteinsbeschaffenheit des Untergrundes umfaßt sowohl die Gesteinsart (die petrographischen Eigenschaften bezüglich Verwitterung, Wasserdurchlässigkeit) als auch die Gesteinsstruktur (die tektonische Aufbereitung, Lagerungsverhältnisse).

Fernerkundungsdaten der LANDSAT-Serie mit hoher Auflösung oder herkömmliche Luftbildreihen zeigen deutlich die unterschiedliche Flußdichte und das charakteristische Entwässerungsmuster in Abhängigkeit vom Gesteinsuntergrund:

Im Grundgebirge (kristallinen Schwarzwald) fällt das dichte, dendritische Entwässerungsmuster auf, im Buntsandstein dagegen eine mittlere Flußdichte mit saisonal wasserführenden Oberläufen. Zu den gewässerarmen Gebieten gehören das obere Gäuland (Muschelkalk), die Albhochfläche (Weißjura) bzw. die Oberrheinebene (quartäre Schotter). Die Schwarzwaldflüsse folgen häufig tektonischen Störungslinien mit vorwiegend variskischer oder herzynischer Ausrichtung. Entsprechend treten entlang des Flußlaufes ellbogenförmige oder rechtwinklige Flußabbiegungen auf, wenn der Fluß an Schnittpunkten von Störungslinien in eine andere Richtung überwechselt (u. a. Kinzig, Elz, Neumagen). Die Flußdichte und das Entwässerungsmuster lassen sich ebenfalls gut auf Gewässernetzkarten oder auf orohydrographischen bzw. topographischen Karten erkennen (GERMAN 1963). Der Einfluß der Tektonik und Gesteinsbeschaffenheit auf die Flußbettanlage und erosive Flußarbeit zeigt sich bei Flußbegehungen an der Konzentration des Wassers und der Tieferschneidung entlang von Klüften (z. B. im Granit), in der bevorzugten Tieferlegung des intensiv verwitter-

ten Gesteinsmantels (z. B. im Gneis am Rande der Hauptverwerfung) oder in der Bindung von Gefällsstellen und Wasserfällen an resistente Gesteinsvorkommen (z. B. Quarzporphyr).

Der zweite Faktor betrifft das vererbte Relief, das LIEHL (1975, 8; 1980, 38) am Beispiel der danubischen Altlandschaft im Vergleich mit dem rhenanischen Steilrelief kartographisch herausgearbeitet hat. Beide Relieftypen kommen in unmittelbarer Nähe an der europäischen Hauptwasserscheide (Donau — Rhein) im Mittelschwarzwald vor. Die mäßig bis schwach geneigten Talschlüsse und muldenförmigen Täler, die allmählich in Sohlentäler übergehen, sind typische Formen des danubischen Relieftyps im Gegensatz zu den Kerbtälern im Oberlauf der Nebenflüsse des Rheins. Besonders deutlich wird dieser Gegensatz am Sommerauer Sattel nach Obersteinhalden zwischen dem Nußbachtal (Vordertal) und dem fast ebenen Quellgebiet der Sommerau. Vom Sommerauweg (888 m NN) fällt das danubische Tal zum Klosterweiher in Sankt Georgen um 50 m (16,7 ‰) ab, während das rhenanische Talsystem nach derselben Entfernung bereits in Nußbach um 190 m (63,3 ‰) tiefer liegt. Die schwach bis mäßig geneigten Talanfänge der Schiltach lassen vermuten, daß diese, nach Nordosten bzw. Osten verlaufend, zum danubischen Talsystem gehören könnten. Tatsächlich biegt die Schiltach jedoch östlich von Langenschiltach in einem auffallend rechten Winkel nach Norden ab, um später in einem tief eingeschnittenen Tal in die Kinzig zu münden. Es ist anzunehmen, daß die Schiltach noch vor der letzten Kaltzeit nach Osten in Richtung Donau floß. Während nach der Flußablenkung das Tal im Unter- und Mittellauf durch größere Reliefenergie und damit stärkere Fließgeschwindigkeit eingetieft wurde, blieb im Bereich des Oberlaufes das danubische Talrelief erhalten.

Eine besondere Rolle für die Flußentwicklung spielt vor allem der Niederschlag mit seinem Einfluß auf die fluvialmorphologischen Parameter Abflußmenge (m³/sec), Abflußhöhe (mm) und Durchschnittsgeschwindigkeit (m/sec). Die Karte der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen im Schwarzwald (TRENKLE u. v. RUDLOFF 1981, 79) weisen Werte zwischen 1800 und 2000 mm für den südlichen Hochschwarzwald auf und über 2000 mm (bis fast 2100 mm) für den Nördlichen Schwarzwald. Entsprechend liegen die mittleren jährlichen Abflußhöhen in den Hochlagen des Schwarzwaldes bei über 1000 mm (KELLER 1979). Auffallend ist die Asymmetrie der Niederschlagsmenge von Westen (vorwiegend rhenanisches Relief) mit stärkerem Niederschlagsanstieg zum Osten (vorwiegend danubisches Relief). Die mittleren jährlichen Abflußmengen und -höhen für ausgewählte Schwarzwaldflüsse spiegeln die Relief- und Niederschlagsverhältnisse wider (Tab. 1). Zum Vergleich werden zwei Schwarzwaldflüsse mit gleich großem Einzugsgebiet herangezogen, Der Josbach (Tab. 1, Nr. 2) und die Möhlin (Tab. 1, Nr. 8). Der Josbach ist ein typischer Gebirgsfluß im mittleren Schwarzwald, der in 1190 m NN (Weißtannenhöhe) entspringt und bei 830 m NN (Hölzlebruck/Neustadt-Titisee) in die Gutach mündet. Die Möhlin repräsentiert einen Fluß der Westabdachung, der in 1090 m NN entspringt und in der Oberrheinebene am Pegel Kirchhofen-Oberambringen, 244 m NN, erfaßt wird (Tab. 1). Der Gebirgsfluß im Jostal weist eine weitaus höhere Abflußmenge und -höhe auf als die Möhlin. Ein weiteres Vergleichspaar bilden die Brigach (Tab. 1, Nr. 24) auf der Ostseite des Schwarzwaldes mit relativ

Tab. 1: Mittlere jährliche Abflüsse und Abflußhöhen ausgewählter Schwarzwaldflüsse (nach Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch; aus NIP-PES 1990)

Nr. Fluß	Pegel	Einzugsgebiet (km ²)	Periode	MQ (m ³ /s)	A (mm)
1	Wutach	Oberlauchringen	1912/1987	9,20	470
2	Josbach	Hölzlebruck	1926/1979	1,38	925
3	Steina	Illmühle	1922/1979	0,81	518
4	Mettma	Buggenrieder Mühle	1932/1979	0,56	687
5	Hauensteiner Alb	St. Blasien	1942/1979	3,78	1220
6	Wehra	Wehr	1936/1979	2,65	1378
7	Wiese	Zell-Liebeck	1928/1987	7,92	1195
8	Möhlin	Kirchhofen-Oberambringen	1957/1979	0,51	370
9	Neumagen	Untermünstertal	1933/1978	1,71	815
10	Elz	Gutach	1941/1987	8,58	894
11	Dreisam	Ebnet	1941/1987	5,63	688
12	Brugga	Oberried	1934/1979	1,56	1234
13	Kinzig	St. Roman	1957/1987	7,19	783
14	Schiltach	Hinterlehengericht	1914/1979	2,17	646
15	Wolf	Oberwolfach	1930/1979	4,16	1033
16	Gutach	Gutach	1935/1979	4,06	889
17	Bühl	Bühl	1949/1979	0,77	729
18	Murg	Forbach	1924/1979	8,80	1207
19	Murg	Rotenfels	1917/1987	15,50	1043
20	Enz	Höfen	1930/1987	4,48	648
21	Nagold	Altensteig-Steg	1930/1987	2,61	612
22	Breg	Hammereisenbach-Kruppenhof	1927/1987	4,68	934
23	Urach	Urach	1957/1987	0,60	986
24	Brigach	Villingen	1959/1987	2,04	593

geringer Abflußhöhe im Gegensatz zur Hauensteiner Alb im Südschwarzwald (Tab. 1, Nr. 5).

Die Wasserführung der Flüsse schwankt innerhalb des Jahresganges und im längerfristigen Beobachtungszeitraum stark zwischen Höchsthochwasser und niedrigem Wasserstand (Tab. 2). Extreme Verhältnisse treten auf der Westseite auf, wo die Flüsse im Herbst häufig mit dem Erreichen der quartären Schotterflur des Oberrheintieflandes völlig austrocknen (u. a. Oktober 1985 die Möhlin

Tab. 2: Abflußverhältnisse ausgewählter Flüsse des Südschwarzwaldes (zusammengestellt aus REGIONALVERBAND SÜDLICHER OBERRHEIN 1988)

	Josbach Pegel Hölzlebruck, 1926—1979			Möhlin Pegel Oberambring, 1957—1979		
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
NQ	0,11	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01
MNQ	0,38	0,32	0,26	0,12	0,06	0,06
MQ	1,78	0,99	1,38	0,61	0,4	0,51
MHQ	14,29	8,70	15,46	4,78	8,35	8,67
HQ	33,00	25,35	33,00	18,50	29,39	29,39

	Dreisam Pegel Ebnet, 1947—1983			Elz Pegel Gutach, 1946—1983		
	Winter	Sommer	Jahr	Winter	Sommer	Jahr
NQ	0,02	0,00	0,00	0,73	0,58	0,58
MNQ	1,20	0,62	0,48	2,36	1,55	1,33
MQ	7,22	4,07	5,64	11,36	6,41	8,86
MHQ	57,86	39,68	62,88	98,87	67,46	106,00
HQ	125,00	90,82	125,00	235,00	174,00	235,00

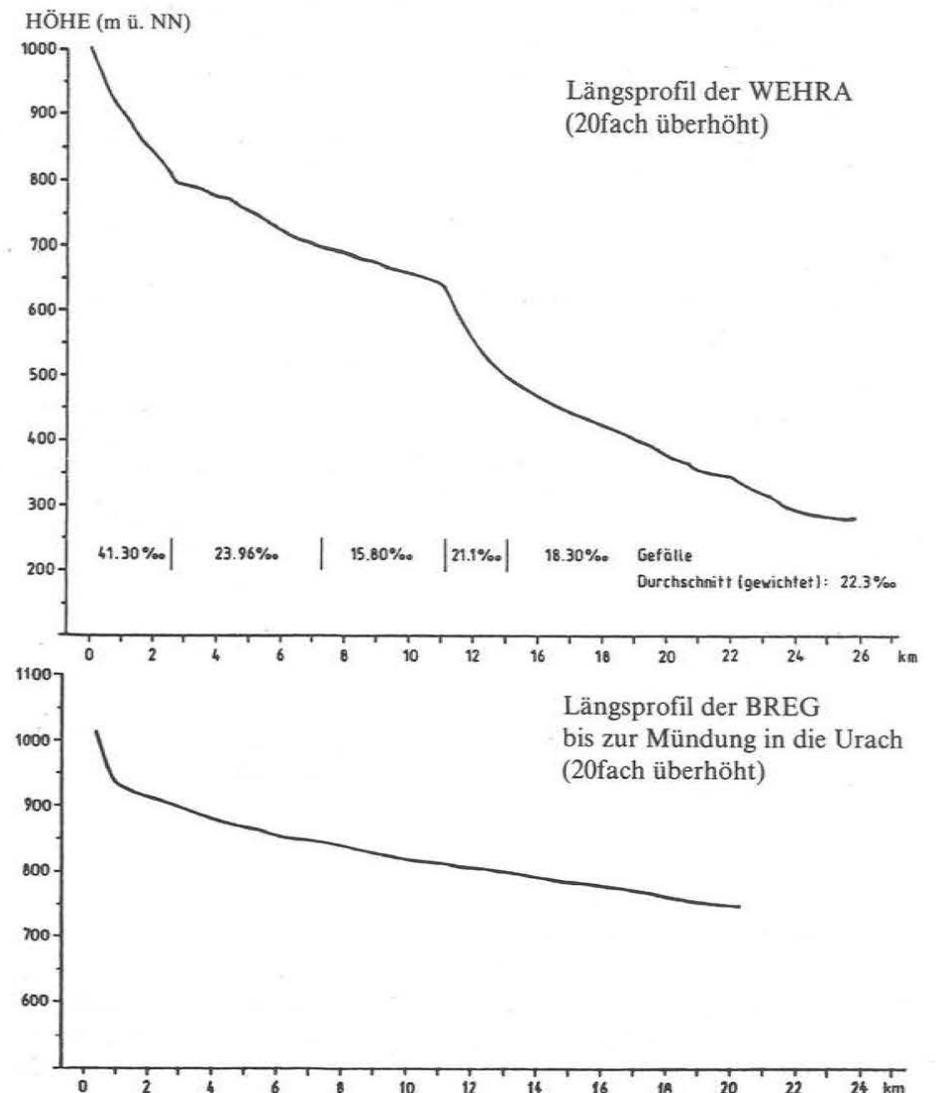
	Neumagen Pegel Untermünstertal, 1933—1978		
	Winter	Sommer	Jahr
NQ	0,11	0,03	0,03
MNQ	0,47	0,29	0,27
MQ	2,11	1,33	1,71
MHQ	13,68	15,48	17,41
HQ	38,00	37,20	38,00

NQ: Niederster innerhalb des jeweils angegebenen Zeitraumes gemessener Abfluß (m³/s)
 MNQ: Mittlerer Niedrigwasserabfluß (m³/s)
 MQ: Mittlerer Abfluß (m³/s)
 MHQ: Mittlerer Hochwasserabfluß (m³/s)
 HQ: Höchster innerhalb des jeweils angegebenen Zeitraumes gemessener Abfluß (m³/s)

ab Offnadingen, der Neumagen ab Biengen oder September 1990 die Dreisam ab Umkirch). Die Gründe dafür sind neben dem geringen Niederschlag auch die hohe Versickerungsrate in der Oberrheinebene (NIPPES 1990, 56) und die nutzungsbezogene Wasserentnahme. Auf der anderen Seite traten im Beobachtungszeitraum Höchsthochwasser auf, unter anderem im Juli 1987 nach sommerlichen Starkregen, ein Jahrhundertereignis an der Elz und ihren Nebenflüssen (RÖHRIG 1991).

Im Zusammenhang mit dem vererbten Relief steht der Faktor Gefälle. Dazu gehören die Neigung des Stromes im Längsprofil und die entsprechenden Quer-

Abb. 1: Längsprofile der Schwarzwaldflüsse Wehra und Breg (aus NIPPES 1990)



profile typischer Flußabschnitte. Interessant ist die Abweichung vom „Normalprofil“, das heißt einem ausgeglichenen Längsprofil mit steilem Oberlauf, weniger geneigtem Mittel- und relativ flachem Unterlauf. Die Flüsse der danubisch geprägten Ostabdachung wie die Breg (Abb. 1) zeigen ein stetig abnehmendes Gefälle. Jung eingeschnittene Flüsse im rhenanischen Einzugsgebiet zeigen strukturbedingte Gefällsknicke, wie die Wehra am Übergang vom kristallinen Südschwarzwald zum Dinkelberg (Muschelkalk).

Eine weitere entscheidende Voraussetzung für die fluvialmorphologische Leistung ist die Menge der Last und die Größe des Materials. In steil- bis mäßig geneigten Oberläufen ist die Zufuhr von Grobmaterial recht groß, da im Prallhang periglaziale Schuttdecken angeschnitten werden oder Hangrutschungen für neues Material sorgen. In den flachgeneigten Quellmulden ist das verwitterte Festgestein angeschnitten.

Schließlich ist die Bodenbewachung als weiterer Faktor zu berücksichtigen. Auffallend wirkt er dort, wo Fließgewässer durch Ufervegetation eingengt werden oder gar zuwachsen. Großen Anteil daran haben in den letzten Jahren unzuldsame und herdenbildende Neophyten wie das Indische Springkraut (*Impatiens glandulifera*) oder der Spitzblättrige Knöterich (*Polygonum cuspidatum*), aber auch umgestürzte Bäume nach Sturmkatastrophen. Ohne Pflegearbeiten an Ufern würden viele Flußabschnitte versumpfen.

Die genannten Faktoren der Flußentwicklung und die Vielfalt der daraus resultierenden Prozesse stehen in einem wechselseitigen Wirkungsgefüge. Verstärkt sich ein Faktor, wird sich das fluvialmorphologische Geschehen und damit die Form des Gerinnebettes und des Tales ändern. Beispiele dafür werden aus der Vielzahl der Prozeßkombinationen herangezogen, die sich jedoch im Oberlauf (Hochschwarzwald), Mittellauf (große Gebirgstäler mit Talsohle wie Kinzig, Murg, Dreisam, Elz u. a.) und im Unterlauf (am Ausgang des Schwarzwaldes und im Oberrheintiefland) unterschiedlich auswirken können:

Eine Erhöhung der Last, zum Beispiel durch Frostverwitterung und verstärkte solifluidale Hangdynamik, führt zur Gerinnebetteverweiterung und Akkumulation. Erhöhung des Gefälles infolge tektonischer Hebung und Senkung — wie von LIEHL (1980) für den Schwarzwald und das Oberrheintiefland schematisch dargestellt — fördert die Tiefenerosion und Gerinnebettverengung im Oberlauf. Die Erhöhung des Abflusses infolge höherer Niederschläge in einer feuchten Klimaphase begünstigt die Erosion und Gerinnebettvertiefung. Die Abnahme des Abflusses infolge geringerer Niederschläge und/oder höherer Temperaturen und Verdunstungsraten bedingt Akkumulation und Gerinnebetteverweiterung, zum Beispiel verwilderten Flußtyp der Periglazialgebiete (braided river).

2. Arbeitsmethoden und -techniken

Zielsetzung der Arbeit ist es, die Talententwicklung im Schwarzwald in ihrer Bedeutung für die landeskundliche Forschung darzustellen. Im einzelnen werden die wirksamen Prozeßgefüge und ihre Faktoren erfaßt, wobei das Schwergewicht

auf der Analyse einschneidender morphodynamischer Änderungen und ihren Ursachen liegt, die mit einem Klimawechsel und/oder mit Eingriffen des wirtschaftenden Menschen verbunden sind. Um die prägende Kraft der Flüsse für die Landschaftsentwicklung erfassen und erklären zu können, wurden Arbeitsmethoden und -techniken aus drei Bereichen benutzt, der aktuellen Geomorphodynamik, der paläoökologischen Arbeitsrichtung und der historischen Arbeitsweise.

Im Zusammenhang mit der aktuellen Geomorphodynamik wurden sowohl stationäre Meßstationen aufgebaut als auch Schadenskartierungen durchgeführt. Die Staffelmessungen mit Stechpegel im Norsinger Grund (ZOLLINGER u. BUCHER 1989) ergaben an fünf Meßstellen über eine Laufstrecke von 373 m eine durchschnittliche Tieferlegung des Bachbettes von 4,5 cm pro Jahr. Die Einschneidungsrate der Dobel an der Westabdachung des Kammschwarzwaldes betrug zwischen 50 und 100 cm in den Jahren 1979—89.

Eine Schadenskartierung im Brettental (Einzugsgebiet der Elz) nach einem Jahrhunderthochwasser im Juli 1987 (RÖHRIG 1991) gab einen besonderen Einblick in die aktuellen Erosions- und Akkumulationsvorgänge kleiner und mittlerer Schwarzwaldflüsse (Abb. 2—5). So traten die größten Schäden durch Tiefen- und Seitenerosion unterhalb natürlicher bzw. durch Überbauung bedingter Talverengungen auf. Dabei wurden sämtliche Brücken im Oberlauf zerstört und Straßenpflaster im Prallhangbereich herausgespült oder Bauten in der Talau mit der Flutwelle fortgerissen. Aufschlußbereiche waren die Beobachtungen zum Umfang und zur Größe der Last: Betonteile von über 150 cm im Durchmesser wurden mit der Flut 2 km talabwärts transportiert, aber auch Blöcke des anstehenden Buntsandsteins wurden in Prallhangpositionen unterspült und über eine ähnlich große Entfernung verlagert.

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten lag bislang in der paläoökologischen Auswertung von Ablagerungen im Tal, die auf unterschiedliche Abtrags- oder Aufschüttungsphasen bzw. auf Ruhephasen mit Bodenbildung schließen lassen. Wie diese Methode ohne die Einbindung der aktualmorphologischen Methode zu Fehldeutungen führen kann, zeigen die Aufschlüsse entlang des Brettenbaches (Abb. 2—5): Die Wechselfolge von sandigem Auelehm und Schotterlagen (Abb. 3) entstand während eines Hochwasserereignisses im Juli 1987 und nicht durch eine Klimaänderung. Dagegen gibt die Abbildung 3 die „normale“ Sedimentabfolge seit dem Subboreal wieder, also Schotterakkumulation, darüber kiesig-sandigen Auenlehm und rezente Hochflutablagerungen.

Urkunden und alte Karten liefern viele interessante Hinweise auf die natürlichen Veränderungen des Flußlaufes und auf die menschlichen Einwirkungen durch Nutzung der Flüsse und Täler. SCHWEINFURTH (1990) widmet sich am Beispiel der Murg ausführlich den Einflüssen technogener Maßnahmen auf das fluvialmorphologische Verhalten. Unter anderem wurden die Flößerei (Schwalmungen), die Nutzung der Wasserkraft und die Wasserversorgung (Stauseen) sowie der Hochwasserschutz (Bachverbauung) behandelt. Weitere flußbauliche Veränderungen treten durch den Bergbau sowie durch die Land- und Forstwirtschaft auf.

Abb. 2: Schematisches Auenquerprofil des Brettenbaches/Mittlerer Schwarzwald (Zeichnung u. Entwurf A. Röhrig)

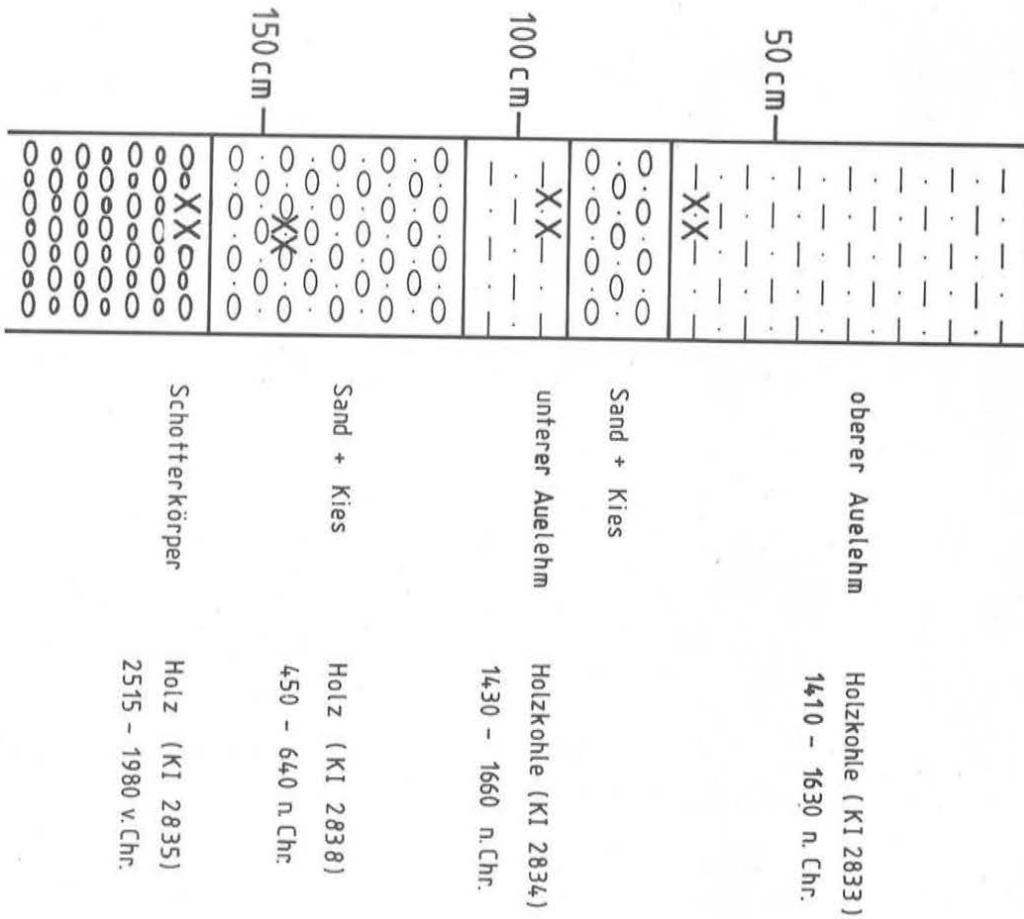
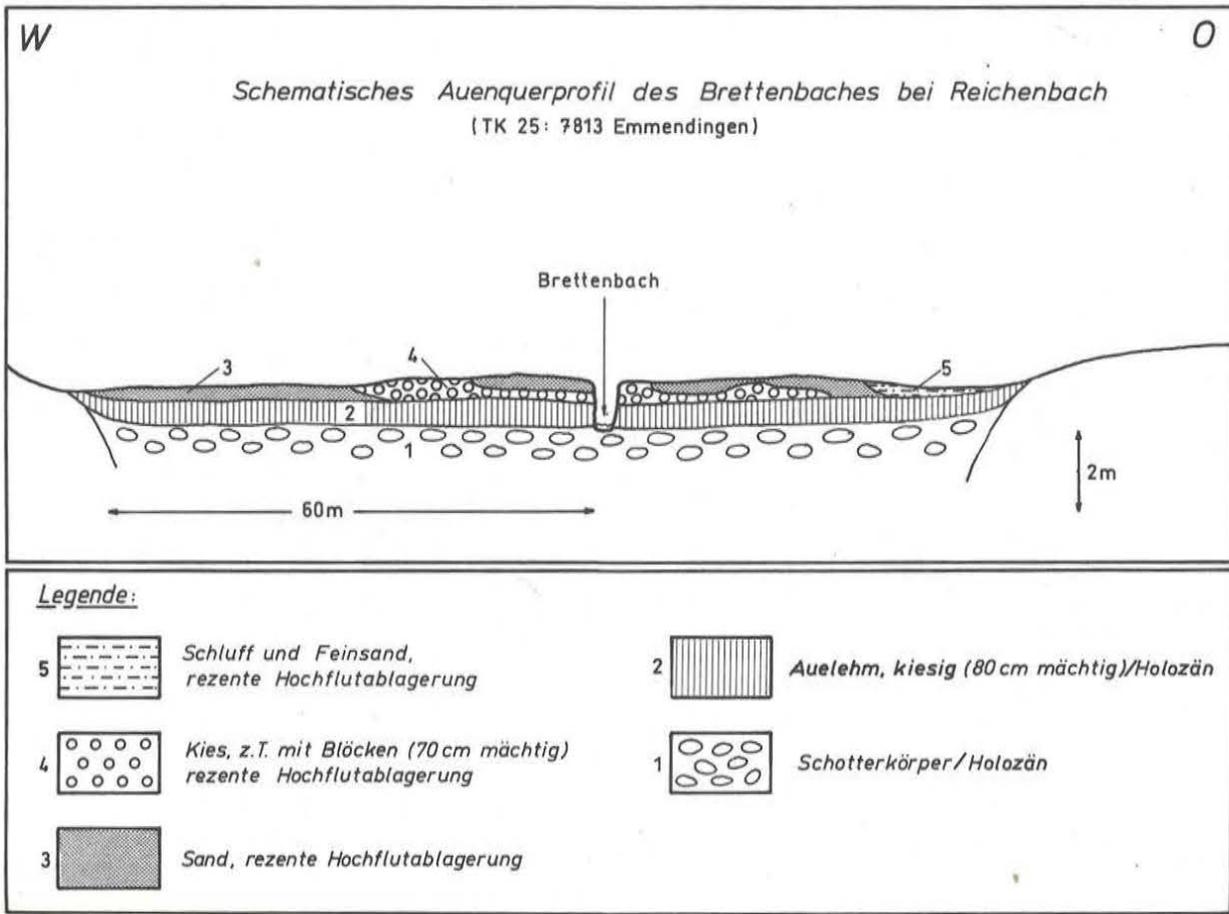
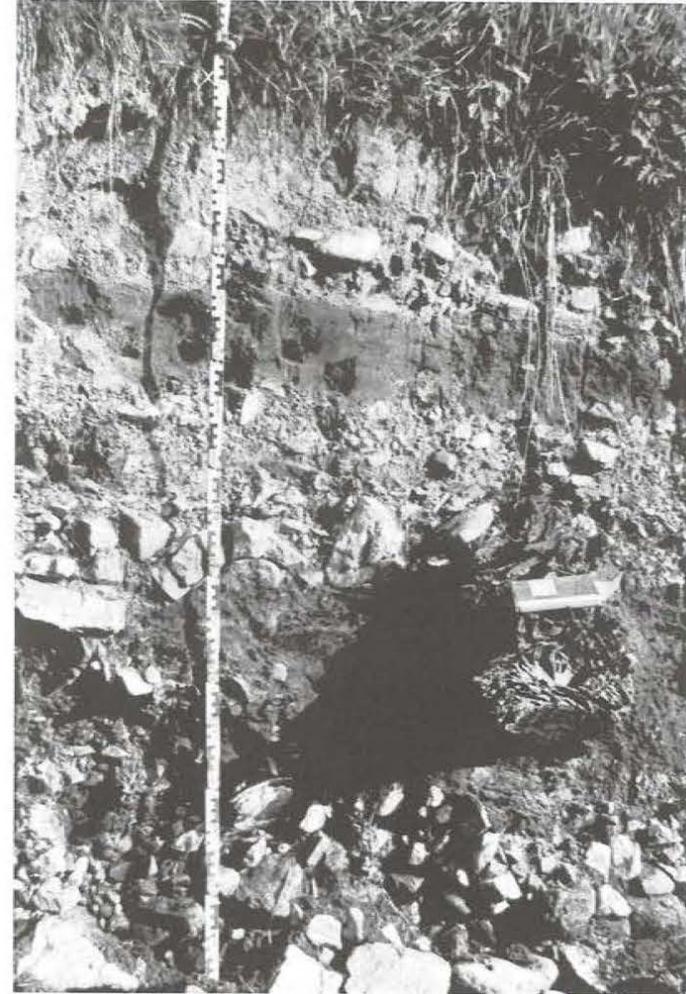


Abb. 3: Auensedimentaufbau am Brettenbach/Mittlerer Schwarzwald
PROFIL WALDSHUT I: TK 25 7813 EMMENDINGEN
¹⁴C - Datierungen [Kalenderalter]

Abb. 4: Sedimentation nach einem Hochwasserereignis am Brettenbach vom 8. 7. 1987 (Aufnahme A. Röhrig)



Abb. 5: Auensedimentationsaufschluß mit eingelagerten Baumstämmen, Brettenbach/Mittlerer Schwarzwald (Aufnahme A. Röhrig)



3. Flußaktivität und Talentwicklung seit der Würm-Kaltzeit

Das Zusammenspiel der geomorphodynamisch wirksamen Faktoren und die Formungsergebnisse bzw. der Wandel infolge Änderung der geökologischen Rahmenbedingungen werden anhand der jungquartären Flußentwicklung ausgewählter Schwarzwaldflüsse seit der Würm-Kaltzeit dargestellt. Ausgangssituation ist die Eigenvergletscherung des Schwarzwaldes und die Prozeßkombination im periglazialen Bereich (u. a. LESER u. METZ 1988, 163). Bei Jahreszeitklimaten mit ausgeprägtem Frostwechsel kommt es zur Frostverwitterung und Solifluktion. Sommerliche Schmelzwässer transportieren eine hohe Last, die in breiten Talsohlen und Becken (z. B. Zartener Becken) und in den Buchten am Austritt der Täler in das Oberrheintiefland (u. a. Freiburger Bucht) akkumuliert werden. Am Ausgang aus dem Gebirge und am Übergang in das Oberrheintiefland tritt auf der Höhe der Hauptverwerfung ein geomorphodynamischer Formenwandel ein. Im Schwarzwald (Erosionsbereich) bilden die pleistozänen Schotter Terrassen oberhalb der heutigen Flußauen, im Oberrheintiefland (Akkumulationsbereich) liegen sie unterhalb der jüngeren Schüttungen, wobei am Übergang beider Naturraumeinheiten eine Terrassenkreuzung vorliegt.

In der Freiburger Bucht sind die Kies-Sand-Schüttungen des Dreisamfächers 30 bis 50 m, maximal 70 m mächtig (GEOL. LANDESSAMT 1981, 277 ff.). Davon sind nach SCHREINER (1981, 179) die oberen 10 bis 30 m mächtigen, frischen Kiese der würmzeitlichen Aufschüttung, die stärker zersetzten Schotter im Liegenden den älteren Kaltzeiten zuzuordnen. Die holozänen Talauen (Dreisam, Dietenbach, Käslebach) liegen häufig ohne deutliche Stufe in dem pleistozänen Schotterkörper eingebettet. Aufschlüsse am Rande des Bohrerbaches (Freiburg, Merzhausener Straße) ließen erkennen, daß die oberen 2 Meter des Schotterkörpers im Holozän umgelagert wurden.

Am Austritt der Möhlin und des Sulzbaches aus dem Gebirge sind die Terrassen nur diskontinuierlich ausgebildet, oder es fehlen die würmkaltzeitlichen

Schotter bis auf kleinere Reste. Sie wurden im Holozän bis auf einige Randlagen ausgeräumt (ZOLLINGER u. MÄCKEL 1989, 88). Deutlich treten dagegen die Terrassenstufen im Zartener Becken auf, die bei Kirchzarten bis zu 10 m über der holozänen Talaue herausragen und von MAUSER u. GRUNWALD (1985, 595) in einer Radar-Kampagne eingemessen wurden.

3.1 Die Aktivitätsphasen im Spätglazial und frühen Holozän

Die Tiefenerosion und Ausräumung der würmkaltzeitlichen Schotter setzte an der Westabdachung bereits im Spätglazial ein. RÖHRIG (1991) erbohrte unter 14 m mächtigen Talfüllungen im Bleichbachtal (Elz-Einzugsgebiet) torfige Horizonte, die ins Alleröd bzw. in die jüngere Dryaszeit zurückreichen. Eine stärkere und auch weit verbreitete Einschneidung ist für das Präboreal zu belegen. Gründe für die Einschneidung liegen zum einen in der langsamen Erwärmung: Die mittlere Jahrestemperatur liegt noch 3 bis 4° C unter der heutigen, so daß bei geringer Vegetationsdecke und kühleren Temperaturen eine geringere Verdunstung eintritt. Zum anderen stellen sich — bedingt durch die klimatischen Rahmenbedingungen — hohe Abflußhöhen und eine Abnahme der Last ein. Die Einschneidungsrate im Präboreal liegt bei 20 m. Die gesamte jungquartäre Eintiefungsrate an der Schwarzwaldwestabdachung zwischen Freiburg und Müllheim beträgt 40 bis 60 m (ZOLLINGER u. MÄCKEL 1989, 97).

3.2 Leithorizonte für das Spätglazial und Altholozän

Der Leithorizont für das Alleröd ist der Laacher Bimstuff, der in vielen Mittelgebirgsflüssen beschrieben wurde (u. a. MÄCKEL 1969). In den Talsedimenten der Schwarzwaldflüsse des mittleren Murgtales (MÜLLER 1979, 54) oder der Elz-Nebenflüsse (RÖHRIG 1991), die durch Pollenanalysen bzw. durch ¹⁴C-Datierungen in das Alleröd gestellt werden, fehlen Hinweise auf den Laacher Bimstuff. Er wurde hingegen als schwaches Tuffbändchen in den Mooren der Hochebene gefunden (LANG 1984). Die starke Tiefenerosion und Ausräumung im ausgehenden Spätglazial/beginnenden Holozän mag der Grund für das Fehlen dieses Leithorizontes sein. Sicherlich war auch die Verfrachtung des vulkanischen Materials nach Süden nur gering im Gegensatz zu den Vorkommen östlich der Ausbruchsstelle (u. a. an der Lahn und Leine).

Der zweite Leithorizont ist die Auenschwarzerde (Tschernitza nach Kartieranleitung 1982, 236). Regional wird sie auch als Feuchtschwarzerde bezeichnet, da sie im feuchten Milieu aus organisch reichem Auenmaterial bzw. Niedermoor-torfen entstand. Auf der Grundlage von archäologischen Funden, Pollenanalysen und ¹⁴C-Datierungen stufte MÄCKEL (1969, 151) den Beginn der Bodenbildung in das ausgehende Präboreal. WALDMANN (1989, 37) stellt den Beginn in der nördlichen Oberrheinebene bereits in das Alleröd. Die von subatlantischen Auensedimenten begrabenen Auenschwarzerden weisen auf eine längere holozäne Stabilitätsphase mit intensiver Bodenbildung hin.

Nördlich des Kaiserstuhls kommen zahlreiche neolithische Siedlungsplätze vor, die an gewisse geoökologische Rahmenbedingungen geknüpft sind wie die Schwarzerde und die unmittelbare Nähe des Flußwassers. So lassen sich heute mit den Siedlungsplätzen die alten Flußarme des verzweigten, sich ständig verlagernden und verschleppten Unterlaufes der Elz rekonstruieren (RÖHRIG u. STÖCKEL 1991).

3.3 Einschneidungs- und Ruhephasen im Atlantikum

Im Oberlauf der Schwarzwaldflüsse zeichnet sich am Übergang von Boreal zum Atlantikum I (5500 v. Chr.) eine Einschneidungsphase ab. Sie wurde in zwei Gebieten, an den Oberläufen der Schiltach (Kinzig-Einzugsgebiet) und im oberen Elztal, genauer untersucht. Altersbestimmungen von Hölzern aus dem Moor oberhalb der Talleiste im Schachenbronnental (Schiltach-Einzugsgebiet) ergaben ein Alter von 7760 ± 90 J. v. h. (KI—2840), die von Baumstämmen aus den Torfen der heutigen Talaue ein Alter von 5660 ± 75 J. v. h. (KI—2841) (Tab. 3, Nr. 19, 20). Somit liegt die Einschneidungsrate im Atlantikum zwischen 5 und 6 m. Ein ähnliches Bild liegt für das obere Elztal vor: Die Hochmoore oberhalb der Talaue entstanden im frühen Atlantikum (7120 ± 40 J. v. h., Tab. 3, Nr. 31), die Niederungsmoore im Talgrund im ausgehenden Atlantikum (5680 ± 90; Tab. 3, Nr. 32). Somit liegt die Einschneidungsrate bei 3,5 m. Gründe für die verstärkte Einschneidung im Atlantikum sind die höheren Niederschläge, der höhere Abfluß und wärmere Temperaturen (2 bis 3° C wärmer als heute). Dadurch entwickelte sich eine geschlossene Bodenbewachung mit entsprechendem Erosionsschutz, so daß weniger Material von den Seiten in die Gerinne gelangen konnte. Das Gefälle erhöhte sich durch rückschreitende Erosion der rhenanischen Flüsse, auch in den danubisch geprägten Oberläufen.

Die ¹⁴C-Datierungen von Holz, das aus Niederungsmooren der heutigen Flußauen sowohl der höher gelegenen Schwarzwaldflüsse als auch aus den Mittelläufen der Elz stammt, ergaben Altersangaben zwischen 4000 und 6000 J. v. Chr. (Tab. 3). Danach reicht die Torfentwicklung durch das Atlantikum bis in das Subboreal hinein und belegt eine geringe fluviale Aktivität (MÄCKEL u. ZOLLINGER 1989, 246; RÖHRIG 1991).

3.4 Verstärkte Geomorphodynamik im Subboreal und frühen Subatlantik

Zu Beginn des Subboreals fand an einigen Flüssen der Westabdachung eine erneute Eintiefung mit nachfolgend verstärkter Schotterakkumulation statt. Die bis zu wenigen Metern mächtigen Schotter- und Kieslagen werden von subatlantischem Auenlehm überdeckt. Eine ¹⁴C-Datierung an Hölzern im obersten Abschnitt des Schotterkörpers im Brettenbach ergab zum Beispiel ein Alter von 3760 ± 55 J. v. h. (Tab. 3, Nr. 14). Im Sulzbachtal werden die 3 m mächtigen Schotterlagen nach oben hin mit einer Bodenbildung im Kieskörper abgeschlos-

Tab. 3: DFG-Schwerpunktprogramm
Jungquartäre Fluß- und Hangdynamik im Mittleren und Südlichen
Schwarzwald
Zusammenstellung der bisher vorliegenden ¹⁴C-Datierungen:

La- bor- Nr.	Kenn- nummer der Datie- rung	Fundort	Material der Probe (in g)	¹⁴ C-Alter (Jahre BP)	Kalender- alter
1	KI—2412	TK 25:8112 8112 Staufen Oberdottingen RW 3402, 375 HW 5302, 325	Holzkohle	1800±55	40 v. — 355 n. Chr.
2	KI—2413	Oberdottingen s. 1	Holzkohle	1900±70	20 v. — 230 n. Chr.
3	KI—2414	Oberdottingen s. 1	Holzkohle	840±60	1050±1265 n. Chr.
4	KI—2415	Oberdottingen s. 1	Holz und Holzkohle	800±50	1160—1295 n. Chr.
5	KI—2416	Oberdottingen s. 1	Holz und Holzkohle	830±70	1055—1265 n. Chr.
6	KI—2417	Oberdottingen s. 1	Holz und Holzkohle	12 600±240	
7	KI—2590	Altbachtal 7913 Freiburg NO	Holzkohle	2150±60	390—15 v. Chr.
8	KI—2591	Altbachtal 7913 Freiburg NO	Holzkohle	2290±70	555—180 v. Chr.
9	KI—2872	Föhrental 7913 Freiburg NO(15,2) RW 3420, 375 HW 5322, 250	Holzkohle	400±50	1405—1620 n. Chr.

La- bor- Nr.	Kenn- nummer der Datie- rung	Fundort	Material der Probe (in g)	¹⁴ C-Alter (Jahre BP)	Kalender- alter
10	KI—2844	Wittental 8013 Freiburg SO RW 3422, 125 HW 4717, 425	Schnecken- schalen (14,8)	15 850±310	
11	KI—2929	Wittental s. 10	Schnecken- schalen	16 370±320	
12	KI—2833	TK 25:7813 Emmendingen RW 3421, 575 HW 5340, 100	Holz und Holz- kohle (1,85)	390±75	1410—1630 n. Chr.
13	KI—2834	s. 12	Holz und Holzkohle	300±39	1430—1660 n. Chr.
14	KI—2835	s. 12	Holz (35, 56)	3760±55	2515—1980 v. Chr.
15	KI—2836	s. 12; benachbartes Profil	Holzkohle (13, 73)	290±39	1435—1665 n. Chr.
16	KI—2837	s. 12; benachbartes Profil	Holz (82, 02)	480±80	1345—1490 n. Chr.
17	KI—2838	s. 12 RW 3421,575 HW 5340,050	Holz, Baumreste (29, 89)	1440±80	450—640 n. Chr.
18	KI—2839	s. 12 RW 3420,610 HW 5339,070	Holzkohle (5, 13)	290±55	1435—1665 n. Chr.

La- bor- Nr.	Kenn- nummer der Datie- rung	Fundort	Material der Probe (in g)	¹⁴ C-Alter (Jahre BP)	Kalender- alter
19	KI—2840	TK 50:7914 Furtwangen RW 3448,300 HW 5338,400	Holz (38, 26)	7760±90	
20	KI—2841	s. 19 RW 3448,600 HW 5337,600	Holz (71, 38)	5560±75	4690—4410 v. Chr.
21	KI—2842	s. 19 RW 3449,500 HW 5335,700	Holz (83, 26)	4120±70	2905—2430 v. Chr.
22	KI—2843	s. 19 RW 3448,700 HW 5336,500	Holz (65, 02)	850±41	1045—1260 n. Chr.
23	KI—2928	TK 25:8013 Wittental	Schnecken- schalen	16 370±320	
24	KI—3037	TK 25:7812 Kenzingen RW 3404,625 HW 5338,750	Holz Kohle (3, 5)	5780±120	4960—4430 v. Chr.
25	KI—3038	TK 25:7815 Triberg RW 3441,600 HW 5329,425	Holz (26, 83)	5530±90	4555—3980 v. Chr.
26	KI—3039	s. 25	Holz (16, 27)	7000±70	6255—5455 v. Chr.
27	KI—3040	s. 25 RW 3441,375 HW 5330,025	Holz (26, 99)	1460±60	440—630 n. Chr.

La- bor- Nr.	Kenn- nummer der Datie- rung	Fundort	Material der Probe (in g)	¹⁴ C-Alter (Jahre BP)	Kalender- alter
28	KI—3048	TK 25:7712 Ettenheim RW 3412,162 HW 5341,875	Org. Feinerde- material z. T. holzkohlehaltig (20.45+8,14)	1100±700	
29	KI—3050	TK 25:7712 Ettenheim RW 3405,200 HW 5344,250	Holz Kohle (8, 16)	1240±90	600—915 n. Chr.
30	KI—3078	TK 25:7814 RW 3437,250 HW 5331,550	Holz (39, 98 feucht)	5920±90	5195—4555 v. Chr.
31	KI—3079	s. 30	Holz, Torf- mudde (30, 74)	7120±140	
32	KI—3092	TK 25:7814 Elzach RW 3437,150 HW 5331,500	Torf (43, 5)	5680±90	4850—4400 v. Chr.
33	KI—3093	TK 25:7814 Elzach RW 3437,075 HW 5332,125	Holz (133, 5)	5210±60	4315—3800 v. Chr.
34	KI—3094	TK 25:8112 Staufen RW 3400,450 HW 5299,300	Holz Kohle (23, 9)	3130±140	
35	KI—3095	TK 25:8012 Freiburg SW RW 3405,600 HW 5309,425	Holz Kohle (9, 48)	240±38	

sen (ZOLLINGER u. MÄCKEL 1989, 89): Gleichzeitig zur Aufschüttungsphase in den Flüssen herrschte an der Westabdachung des Schwarzwaldes eine aktive Hangdynamik. Als Beleg dafür werden die 2 bis 3 m mächtigen Lößlehmlagerungen in der Fußzone nördlich des Klemmbaches (zwischen Badenweiler und Sulzburg) herangezogen, die nach einer ¹⁴C-Datierung von eingelagerten Holzkohlestücken im jüngeren Subboreal entstanden (Tab. 3, Nr. 3a). Selbst in kleinen Flußsystemen der Schwarzwaldwestabdachung wie im Altbachtal (nordöstlich Freiburg) erfolgte im ausgehenden Subboreal eine Schotterakkumulation. Die darüberliegenden Löslehmlagerungen entstanden nach ¹⁴C-Datierungen von Holzkohle in der Zeit zwischen 390 und 15 v. Chr. (Tab. 3, Nr. 7). Eine ähnliche Auenlehmbildung erwähnt bereits REICHELT (1953, 252) für die Latène-Zeit in Baden. In der Oberrheinebene bei Rheinau (SCHIRMER u. STRIEDTER 1985, 11) und bei Zienken südlich Hartheim kommen in dem oberen, 2 bis 3 m mächtigen Schotterkörper Baumstämme vor, die in die gleiche Zeit gelegt werden. Die Gründe für die verstärkte Akkumulation im Subboreal und frühen Subatlantikum liegen wohl zum einen in der Klimaverschlechterung (u. a. Abkühlung um 2 bis 3° C gegenüber heute), zum anderen in der zunehmenden Einwirkung des Menschen in der Bronze- und Eisenzeit. Mit besserem Werkzeug konnte die schützende Vegetationsdecke schneller aufgelockert werden. Bedingt durch Klimaverschlechterung und Bevölkerungszunahme kam es zu einer Siedlungsverdichtung an Gunststandorten (u. a. in der Oberrheinebene und der Vorbergzone) und damit zu einer schnelleren Bodenerosion und Verlagerung auch von Grobmaterial.

3.5 Fluß- und Talentwicklung in römischer Zeit

Der Stabilitätsphase mit Torfwachstum in der Talaue folgt im Subatlantikum eine fluviale Aktivität. Sie äußert sich in Schotterumlagerungen und Aufschotterungen. In den Tälern der Westabdachung wie am Sulzbach wird der Kieskörper zum Hangenden mit einer Bodenbildung abgeschlossen. Datierungen von Hölzern im Schotterkörper fallen in die Zeit zwischen 20 v. und 230 n. Chr. (Tab. 3, Nr. 2). Die Gründe für die Aufschotterung sind in der Auflichtung der Wälder für Brenn- und Bauholz, vielleicht auch im Zusammenhang mit dem Bergbau zu suchen.

Ein weiterer Einfluß der Römer zeigte sich in der Entstehung der kastenförmigen Lößtäler im Kaiserstuhl. Die von DEHN u. FINGERLIN (1979, 19) ausgewerteten Fundschichten im Rückhaltebecken nördlich Vogtsburg-Oberbergen (Gewann Spührenloch) ergaben, daß das Tal bereits zu römischer Zeit zu einem Kastental umgestaltet worden war. Die Talform wurde später durch Schwemmlöß weiter aufgefüllt, in dem etwa 1 m über den römischen Fundschichten ein humoses Bändchen vorkommt (22,6 % organische Substanz). Diese humose Lage weist auf eine zwischenzeitliche Ruhephase (Versumpfung nach Siedlungsaufgabe) hin, bevor wieder neue Schwemmschichten aus Löß mit zwischengeschalteten Sand und Grus abgelagert wurde. Ähnliche Talfüllungen, aber bislang ohne datierbare Funde, wurden in der Vorbergzone erbohrt.

3.6 Die mittelalterliche Auensedimentation

Die mittelalterliche Sedimentation von Feinmaterial in der Talaue („Auenlehm“) fand in zwei Phasen statt. Die erste Phase liegt nach ¹⁴C-Datierungen von Hölzern und Holzkohle, die direkt unter der Auenlehmdecke bzw. in dieser gefunden wurden, zwischen dem 5. und 7. Jh. n. Chr., fällt also sowohl in die alemannische Landnahmezeit (5./6. Jh. n. Chr.) als auch in die Ausbauzeit (7./8. Jh. n. Chr.). Die Auensedimentation erreichte aber nicht den großen Umfang wie die des Hochmittelalters, die für alle Schwarzwaldflüsse mit zeitlichen Verschiebungen nachgewiesen wurde. Ihr Beginn hängt mit der Siedlungsgeschichte eng zusammen: So fällt die verstärkte Auenablagerung an der Westabdachung ins 11. bis 13. Jh. n. Chr. (z. B. im Sulzbachtal). Im Mittleren Schwarzwald fällt sie mit den Rodungsaktivitäten des Klosters St. Georgen im Hochmittelalter zusammen. In den Seitentälern, die erst Ende des Hochmittelalters oder zur frühen Neuzeit durch Einzelhöfe erschlossen wurden, setzte die Auensedimentation, belegt durch ¹⁴C-Daten (Tab. 3), erst vom 15. bis 17. Jh. n. Chr. ein.

Die Auensedimente bestehen in enger Bindung an das Ausgangsgestein (vgl. Kap. 1) entweder aus grusig-anmoorigem Lehm oder sandigem bis tonigem Schluff. Die Auenlehmdecken schwanken zwischen 40 und 200 cm Mächtigkeit und weisen häufig kiesig-sandige, schluffig-tonige oder anmoorige Zwischenlagen auf.

Im Zusammenhang mit der Rodung der Wälder, der Bodenabspülung an den Hängen und der Auensedimentation steht die Bildung von Schwemmfächern. Sie weisen auf verstärkte Geomorphodynamik an Wirtschaftswegen, Viehauftriebspfaden, agrarische Nutzung mäßig geneigter Hänge und Holzschleifbahnen hin. Das Ergebnis sind unterschiedlich große Schuttkegel, die sich mit dem subatlantischen Auenlehm verzahnen. Größere Schwemmfächer, wie im Elztal oder Münstertal, die den Fluß deutlich auf die Gegenseite abgedrängt haben und auf dem heute Wohngebäude stehen, sind älteren, zum Teil prähistorischen Aktivitätsphasen zuzuordnen (RÖHRIG 1991).

3.7 Der Einfluß des Menschen auf das fluvialmorphologische Geschehen in der Neuzeit

In der Neuzeit verstärken sich verschiedene Aktivitäten des wirtschaftenden Menschen. An vielen Flüssen findet man Hinweise auf frühere wasserbauliche Maßnahmen. Weitere Belege für die Nutzung und Umgestaltung der Flüsse wurden aus Archivalien und Befragungen ermittelt (vgl. Kap. 2).

Die Aktivitäten liegen in der holzwirtschaftlichen Nutzung der Wälder und dem Transport der Stämme entlang von Schleifwegen und Schwallungen im Flußbereich. Darüber berichten unter anderem SCHWEINFURTH (1990) für das Murgtal sowie MÄCKEL (1981, 93) und ZOLLINGER (1990, 117) für die Nebenflüsse der Möhlin (u. a. Neumagen, Norsinger Ahabach). Einen anderen Erwerbszweig mit einschneidender Wirkung auf das fluvialmorphologische Geschehen stellt der Bergbau dar. Beispiele dafür liegen im Münster- und Sulzbach-

tal vor (MAUS 1979). In fast jedem Tal findet man Gräben und Kanäle, die im Zusammenhang mit Mühlenbetrieben stehen. Gelegentlich handelt es sich um künstlich angelegte Wasserläufe, die in Gegenrichtung zum allgemeinen Talgefälle fließen (Glottertal). Fischteiche, aufgelassene wie neue Anlagen, sind in vielen Tälern verbreitet, Dämme und Steinmauern zeugen von verlassenen Bauten im Talgrund (MERZ 1988). Auf den Ausbau der Möhlin und des Neumagen als Floßkanal im 18. Jh. weisen GEIGES und ULMANN (1986, 25) hin. Verheerend muß zu dieser Zeit der Waldzustand gewesen sein, da die Hänge der Westabdachung weitgehend abgeholzt wurden. Entsprechend intensiv war auch die Bodenerosion von den Hängen infolge fehlender Vegetationsdecke sowie der Beeinträchtigung der Geländeoberfläche durch Schleif- und Fahrspuren.

Großen Einfluß auf die geomorphodynamischen Prozesse nimmt die landwirtschaftliche Nutzung, zum Beispiel durch Be- und Entwässerungsanlagen, Terrassierung, Pflugarbeit und Beweidung an mäßig bis steil geneigten Hängen. Unter diesem Gesichtspunkt untersuchte HARTMANN (1988) in Nebentälern des unteren Glottertales Einzelphänomene wie Ackerterrassen, Schwemmfächer und Auensedimente. Unter Auswertung von historischen Quellen und Befragungen stellte er eine Zunahme der anthropogenen Veränderungen in den letzten 100 Jahren fest, die durch eine verstärkte Mechanisierung der Landwirtschaft und durch forstwirtschaftliche Eingriffe (Forstwege, Kahlschlag) möglich wurde. Schließlich sind Hochwasserschutzmaßnahmen wie Deiche und wasserbauliche Maßnahmen zum Uferschutz zu erwähnen. Über den Einfluß der Rheinkorrektion durch Tulla auf die Schwarzwaldflüsse berichtet SCHWEINFURTH (1990) für das Murgtal. Im Einzugsgebiet der Möhlin hat sich der Norsinger Ahabach südöstlich Ehrenkirchen seit der Rheinkorrektur um 3 bis 4 m eingetieft (vgl. Kap. 2 sowie ZOLLINGER u. BUCHER 1989).

Neuzeitliche Auenlehme wurden in der Neumagen-Möhliner Niederung (Staufener Bucht) gefunden. Entlang der Möhlin bei Ehrenkirchen liegen sie über Sanden, die reichlich Holzkohle führen. Die ¹⁴C-Datierung einer Probe (80 cm unter Flur) ergab ein Alter von 240 ± 38 Jahren (Tab. 3, Nr. 35). Die Akkumulation des Feinmaterials steht im Zusammenhang mit der starken Abnahme der Fließgeschwindigkeit der Möhlin (Tab. 1) und der häufigen Überschwemmung in der Niederung der Staufener Bucht sowie mit der hohen Bodenabtragung von den landwirtschaftlich genutzten Flächen des Schönbergs und des Hexentals bzw. den entwaldeten Flächen der Westabdachung (s. o.).

3.8 Subterrane Abtragung

In den muldenförmigen Talanfängen der Emmendinger Vorbergzone fallen Kleinformen wie Schäfte, Röhren und Nachsackungen auf, die durch subterrane Abtragungen entstanden sind. Nach SCHOCK (1980, 44 ff.) treten diese Formen sowohl lösungsbedingt über kalkreichem als auch über kalkfreiem Gestein auf. Häufig liegt ein Gesteinswechsel vor, der eine Stauung und Konzentration des Hangwassers verursacht. Die vertikalen Schäfte und Einsackungen folgen zu meist den linear ausgerichteten subterranean Hangwasserbahnen. Sie beschleunigen

die rückschreitende Erosion, die Tieferlegungen des Talanfanges und die Anlage von Erosionsgräben.

Die Schadensaufnahme im Brettental nach dem Jahrhundertereignis 1987 ergab eine Beziehung zwischen subterranean Abtragung und Erosionsschäden durch wasserbauliche und landwirtschaftliche Maßnahmen. So führen bei der Röhrenverlegung der ausgehobene Graben und das Kiesbett zu einer Veränderung der Fließrichtung durch Konzentration des Hangwassers auf die neugeschaffene Tiefenlinie, die als Aquifer dient. An Schwachstellen oder am Auslaß der Röhren kann dann vor allem bei Starkregen und hohem Abfluß das subterranean Hangwasser ausbrechen und empfindliche Erosionsschäden verursachen.

4. Zusammenfassung

Als Ergebnis fluvialer Formungsprozesse treten heute im Schwarzwald unterschiedlich gestaltete Fluß- und Talsysteme auf. Ihre Größe und Form sind von verschiedenen Faktoren abhängig, wie der Gesteinsbeschaffenheit, vom dem vererbten Relief und dem Gefälle, vom Niederschlag und seinem Einfluß auf die fluvialmorphologischen Parameter Abflußmenge und -höhe sowie Durchschnittsgeschwindigkeit, der Last und der Bodenbewachsung. Die genannten Faktoren der Flußentwicklung und die Vielfalt der daraus resultierenden Prozesse stehen in einem wechselseitigen Wirkungsgefüge. Verstärkt sich ein Faktor, wird sich das fluviale Geschehen und damit die Form des Gerinnebettes und des Tales ändern. Folglich wird sich bei der Erhöhung der Last, zum Beispiel durch Frostverwitterung und solifluidale Hangdynamik in der Kaltzeit, das Gerinnebett erweitern und Akkumulation vorherrschen. Die Erhöhung des Abflusses dagegen, bedingt durch höhere Niederschläge in einer feuchten Klimaphase oder die Abnahme der Last wegen dichter Bodenbewachsung, wird eine Vertiefung des Gerinnebettes nach sich ziehen. Solche Beispiele für das Zusammenspiel der geomorphodynamisch wirksamen Faktoren und Formungsprozesse werden anhand der Entwicklung ausgewählter Flüsse im Oberlauf, Mittel- und Unterlauf seit der Würm-Kaltzeit dargestellt. In der Forschung werden sowohl aktuumorphologische Arbeitsmethoden (Meßreihen, Schadenskartierungen) als auch paläoökologische Verfahren eingesetzt. Bei der paläoökologischen Auswertung der Flußsedimente spielen historische Funde und datierbare organische Ablagerungen (für Radiocarbonatierung, Pollenanalysen) eine große Rolle. Zwei für das Spät- und Postglazial wichtige Leithorizonte bilden der Laacher Bimstuff und die Auenschwarzerde. Der allerödzeitliche Laacher Bimstuff kommt verstärkt in östlicher Richtung der Ausbruchsstelle vor (u. a. Lahn, Leine), während er nach Süden hin nur noch in Torfen der Altflächen des Schwarzwaldes zu finden ist. Die Bildung der Auenschwarzerde beginnt im Präboreal und weist auf eine längere holozäne Stabilitätsphase hin. Der Aufschüttungsphase im Würmglazial folgten Phasen der Einschneidung und Aufschüttung seit der Allerödzeit. Die Gründe der Einschneidung im Altholozän liegen in der Erosionskraft der Schmelzwässer, der geringen Verdunstung und der geringen Vegetationsdecke.

Das Ergebnis war eine Tieferlegung der jungpleistozänen Erosionsbasis am Schwarzwaldrand um 20 m. Der Aufschüttungsphase im frühen Holozän folgte eine zweite Einschneidungsphase an der Grenze vom Boreal zum Atlantikum. Die Gründe dafür sind in dem hohen Niederschlag und Abfluß zu suchen, in der Bodenbewachung als Abtragungsschutz und in dem erhöhten Gefälle im Oberlauf als Folge der rückschreitenden Erosion der rhenanischen Flüsse. Dadurch wurde die Erosionsbasis im Schwarzwald zum Beispiel um 6 m tiefergelegt. Eine im Schwarzwald und zum Oberrheintiefland hin verfolgbare Schotterakkumulation (zum Teil mit eingelagerten Baumstämmen) trat im Subboreal ein. Die Gründe dafür liegen in der Klimaverschlechterung und in der verstärkten Einwirkung des Menschen auf das fluvialmorphologische Geschehen. Im Zusammenhang mit der Klimaverschlechterung und Bevölkerungszunahme steht die Siedlungsverdichtung an Gunststandorten und die zunehmende Bearbeitung des Bodens mit verbesserten Arbeitsgeräten (Übergang vom Neolithikum zur Bronze- und Eisenzeit).

Eine weitere Schotterakkumulation erfolgte während der römischen Zeit. Radiocarbon-Datierungen und Sedimentanalysen belegen vier Phasen der Auenlehmsedimentation: Die erste fand während der Eisenzeit statt (^{14}C -Daten zwischen 4. und 1. Jh. v. Chr.). Die zweite fällt mit der alemannischen Landnahme und des Landausbaus zusammen (^{14}C -Daten vom 5. bis 7. Jh. n. Chr.). Die dritte und mächtigste Sedimentation fällt in die (hoch-)mittelalterliche Rodungsphase, wobei die Datierungen mit der zeitlichen Verschiebung des Siedlungsganges übereinstimmt. Die vierte Auenlehmsedimentation fand bereits in der Neuzeit (vor etwa 240 Jahren) statt. Der neuzeitliche Einfluß des Menschen auf die Fluß- und Talentwicklung geschah durch mannigfaltige Nutzung (Schwallungen, Teichanlagen, Bewässerungsanlagen, Bergbau und Mühlenbetriebe) und wird durch Geländefunde, Urkundenauswertungen und Befragungen belegt.

Danksagung

Die Untersuchungen über die Fluß- und Talentwicklung wurden im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes „Fluviale Geomorphodynamik im Quartär, Teilprojekt Schwarzwald“ (Ma 557/8 — 1 bis 4) durchgeführt. Die Autoren danken Frau Dr. Gaby Zollinger (Basel), die in der ersten Phase Mitarbeiterin des Projekts war, für Hilfen im Gelände und bei der Auswertung der Befunde. Herr Hartmann, ebenfalls Mitarbeiter des Projekts, half bei den Gelände- und Laborarbeiten. Die ^{14}C -Datierungen wurden im Laboratorium der Universität Kiel durchgeführt und von Herrn Prof. Dr. H. Willkomm kommentiert.

Literatur

- ARBEITSGRUPPE BODENKUNDE 1982: Bodenkundliche Kartieranleitung. — 3. Aufl., 331 S., 19 Abb., 98 Tab.; Hannover.
- DEHN, R. u. G. FINGERLIN 1979: Ausgrabungen der archäologischen Denkmalspflege Freiburg im Jahre 1978. — Archäologische Nachrichten aus Baden 22, S. 12—35; Freiburg i. Br.
- GEIGES, L. u. E. ULMANN 1986: Vom Belchen zum Rhein. Noviomagus et Melina. — 132 S.; Freiburg i. Br.
- GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1981: Erl. geol. Kt. 1:50 000 Freiburg u. Umgebung. — 2. Aufl.; Stuttgart.
- GERMAN, R. 1963: Taldichte und Flußdichte in Südwestdeutschland. Ein Beitrag zur klimabedingten Oberflächenformung. — Ber. z. dt. Landeskd., 30/1, S. 12—32, 4 Abb.; Bad Godesberg.
- HARTMANN, M. 1988: Landschaftsentwicklung des Föhrentals, Landkreis Breisgau — Hochschwarzwald. — Unveröff. Staatsexamensarbeit Univ. Freiburg, 122 S.; Freiburg i. Br.
- KELLER, R. 1979: Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland; Boppard.
- LANG, G., MERKT, J. u. J. H. STREIF 1984: Spätglazialer Gletscherrückzug und See- u. Moorentwicklung im Südschwarzwald, Südwestdeutschland. — Diss. Bot., 72 (Festschrift Welten), S. 213—234; Vaduz.
- LESER, H. u. B. METZ 1988: Vergletscherung im Hochschwarzwald. — Berliner Geogr. Abh. 47, S. 155—175; Berlin.
- LIEHL, E. 1975: Geländeformen des Feldberggebiets. — Landformen im Kartenbild II/6, S. 8—16; Braunschweig.
- LIEHL, E. 1980: Oberflächenformen und Landschaftsgeschichte In: Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald (Hrsg.): Breisgau-Hochschwarzwald. — S. 30—41; Freiburg i. Br.
- MAUS, H. 1979: Bergbaugeschichtlicher Wanderweg Sulzburg. — 40 S.; Müllheim.
- MAUSER, W. u. B. GRUNWALD 1985: Some investigations on the perceptibility of drainage networks using optically processed remote-sensing data. — In: Trevett I. W. (Ed.) Joint Research Center Pub. No. S. A./I. 04—E2.85, S. 588—600.
- MÄCKEL, R. 1969: Untersuchungen zur jungquartären Flußgeschichte der Lahn in der Gießener Talweitung. — Eiszeitalter und Gegenwart 20, S. 138—174; Öhringen.
- MÄCKEL, R. 1981: Staufferer Bucht und Hexental — Eine Fußexkursion entlang der Schwarzwaldrandverwerfung südlich von Freiburg im Breisgau. — Freiburger Geogr. Mitt. 1980/2, S. 85—106; Freiburg i. Br.
- MÄCKEL, R., MÜLLER, H., PARLOW, E. u. D. VOGELBACHER 1983: Praktikum in Physischer Geographie, St. Georgen — Langenschiltach. — Unveröff. Praktikumsbericht Inst. f. Phys. Geographie Freiburg, 155 S.; Freiburg i. Br.
- MÄCKEL, R. u. G. ZOLLINGER 1989: Fluvial action and valley development

- in the Central and Southern Black Forest during the Late Quaternary. — *Catena Suppl.* 15: 243—252; Cremlingen.
- MERZ, W. 1987: Boden, fluviale Geomorphodynamik und Talgeschichte in den Quelltäälern der Schiltach, Mittlerer Schwarzwald. — Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Freiburg, 82 S., 12 Prof.; Freiburg i. Br.
- MÜLLER, A. 1978: Flußgeschichte der oberen Murg, Talabschnitt Baiersbronn-Huzenbach. — Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Freiburg, 80 S., 7 Prof.; Freiburg i. Br.
- NIPPES, K. 1990: Gewässer und Wasserhaushalt im Schwarzwald. — In: Mäkel, R. (Hrsg.): Einführung in die Exkursionsgebiete, 16. Tagung Dt. Arbeitskreis Geomorphologie in Freiburg, S. 50—62; Freiburg i. Br.
- REGIONALVERBAND SÜDLICHER OBERRHEIN 1988: Oberflächengewässer. Beratungsmaterial für den Landschaftsrahmenplan Südlicher Oberrhein. — Veröff. d. Regionalverbandes südl. Oberrhein 15, 101 S., 3 Karten; Freiburg i. Br.
- REICHEL, G. 1953: Über den Stand der Auelehmforschung in Deutschland. — *PM* 97, S. 245—261; Gotha.
- RÖHRIG, A. 1990: Mittlerer Schwarzwald (Elztal), Emmendinger Vorbergzone, Oberrheinebene (nördliches Kaiserstuhlvorland). — In: Mäkel, R. (Hrsg.): Exkursionsführer Schwarzwald-Oberrheintiefland Teil II, S. 1—11, 5 Abb.; Freiburg i. Br.
- RÖHRIG, A. 1991: Untersuchungen zur Fluß- und Talentwicklung im Einzugsgebiet der Elz (Mittlerer Schwarzwald) — ein Beitrag zur jungquartären fluvialen Geomorphodynamik Südwestdeutschlands. — Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg; Freiburg i. Br.
- RÖHRIG, A. u. H. STÖCKEL 1991: Archäologische und bodenkundliche Untersuchungen im nördlichen Kaiserstuhlvorland und ihre Aussagen zur frühholozänen fluvialen Geomorphodynamik. — *Fundberichte aus Baden-Württemberg*; Stuttgart.
- SCHIRMER, W. u. K. STRIEDTER 1985: Alter und Bau der Rheinebene nördlich von Straßburg. — In: Heuberger, H. (Hrsg.): Exkursionsführer II: Unterelsaß (Rheinebene nördlich Straßburg), Lothringische Vogesen, S. 3—14; Hannover (Deuqua).
- SCHOCK, G. 1980: Aspekte der Reliefgestalt und Reliefentwicklung an den Oberläufen des Aubächles und seinen Zuläufen (Mittelschwarzwald). — Unveröff. Staatsexamensarb. Univ. Freiburg, 101 S.; Freiburg i. Br.
- SCHREINER, A. 1981: Quartär und Tektonik der Vorbergzone und der Oberrheinebene. — In: *Erl. Geol. Karte Freiburg i. Br.*, S. 174—198; Stuttgart.
- SCHWEINFURTH, W. 1990: Geographie anthropogener Einflüsse — Das Murgsystem im Nordschwarzwald. Ein Kapitel anthropogener Geomorphologie. — *Mannheimer Geogr. Arb.* 26, 351 S.; Mannheim.
- TREMKLE, H. u. H. v. RUDOLFF 1980: Das Klima im Schwarzwald. — In: Liehl, E. u. W. D. Sick (Hrsg.): *Der Schwarzwald*, S. 59—100; Bühl/Baden.
- WALDMANN, F. 1989: Beziehungen zwischen Stratigraphie und Bodenbildungen aus spätglazialen und holozänen fluvialen Sedimenten in der nördlichen Oberrheinebene. — Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg i. Br., 166 S.; Freiburg i. Br.

- ZOLLINGER, G. 1990: Quartäre Geomorphogenese und Substratentwicklung am Schwarzwald-Westrand zwischen Freiburg und Müllheim (Südbaden). — *Physiogeographica*, Basler Beiträge zur Physiogeographie 12, 202 S.; Basel.
- ZOLLINGER, G. u. B. BUCHER 1989: Erosionsmessungen im Norsinger Ahbach südlich von Freiburg im Breisgau und ihre geomorphologische und hydrologische Interpretation. — *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.* 77/78, S. 67—79; Freiburg i. Br.
- ZOLLINGER, G. u. R. MÄCKEL 1989: Quartäre Geomorphodynamik im Einzugsgebiet des Sulzbaches und der Möhlin, Südbaden. — *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br.* 77/78, S. 81—98; Freiburg i. Br.