

Rasche Entstehung der Wutachschlucht?

Bis zu 160 Meter tief, 1 Kilometer breit und über 30 Kilometer lang: Die Wutachschlucht ist der „Grand Canyon des Schwarzwaldes“. Sie soll am Ende der Eiszeit über einen Zeitraum von Tausenden von Jahren entstanden sein – ausgelöst durch eine Flussablenkung und anschließend durch allmähliche Eintiefung. Welche Mechanismen aber können solch eine gravierende landschaftsformende Veränderung bewirkt haben? Sind sie mehr gradueller oder vielmehr katastrophischer Natur? Als Lehrbeispiel einer „Anzapfung“ jedenfalls hat die Wutachschlucht weithin Bekanntheit erlangt.

Michael Kotulla

Abb. oben Tief in der Wutachschlucht. Oberhalb der Wutach die nach Südosten geneigte Sedimentfolge des Oberen Muschelkalks. (Foto: M. KOTULLA)

Hinweis zu den Anmerkungen: Die Anmerkungen enthalten Belegzitate und weitere Informationen; sie können als Zusatzmaterial zum Artikel unter www.si-journal.de/jg25/heft1/wutach.pdf heruntergeladen werden.

Einleitung

Die Wutachschlucht gilt als ein „Naturphänomen ersten Ranges“.¹ Sie ist Muster einer Flussablenkung, „schönstes Beispiel des landschaftsgeschichtlichen Kampfes um die ‚europäische Hauptwasserscheide‘ zwischen Donau und Rhein“ (LIEHL 1988, 1). Als solches hat die Wutachschlucht seit Jahrzehnten ihren festen Platz in deutschen und ausländischen Lehrbüchern, vornehmlich der Geomorphologie, aber auch in Schulbüchern.

Nicht zuletzt hat der Geologe Hans CLOOS (1885–1951) maßgeblich zu ihrer Bekanntheit beigetragen. In seinem weitverbreiteten Buch *Gespräch mit der Erde* (1947)², das auch in zahlreiche Sprachen übersetzt wurde, widmet er ihr ein eigenes Kapitel, *Schwarzwaldsommer*.

Und mehr: Die Schlucht öffnet in einzigartiger Weise ein dreidimensionales Fenster in den Aufbau der Erdkruste Südwestdeutschlands. Von Westen nach Osten kann zuerst das kristalline Grundgebirge und dann das Deckgebirge mit den aufeinanderfolgenden Gruppen Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper sowie Lias und Dogger durchschritten werden.

Jährlich sind es etwa 60.000–80.000 Naturbegeisterte, die die Wutachschlucht (Abb. 1–2) mit ihren reizvollen Seitentälern besuchen, erwandern und erforschen³ – in unberührter Natur zwischen rauschendem Wasserfall und blühender Botanik, am Fuße hoher, steiler Talhänge und mächtiger Felswände, entlang eines Wildflusses, mit einem Hauch von Abenteuer und ohne Mobilfunknetz.

Zahlreiche Wissenschaftler haben sich im Gelände forschend oder gedanklich mit dem Naturphänomen Wutachschlucht beschäftigt. Ihre Vorstellungen zu Mechanismen der Ablenkung und Eintiefung sowie zu Zeitpunkt und Dauer werden gebündelt vorgestellt und schließlich im Lichte der aktuellen Erforschung von Paläofluten und empirischen Daten zur Entstehung kleinskaliger Schluchten bzw. Canyons betrachtet. Neben der Kurzvorstellung der Wutach wird die Ablenkung oder Umlenkung der Feldberg-Donau – rein beschreibend – im Kasten dargelegt.

Ablenkung – Mechanismen und Zeitpunkt

Anzapfung, rückschreitende Erosion

Stellvertretend für eine Anzahl von Autoren, die „Anzapfung“ und/oder „rückschreitende Erosion“ als Wirkmechanismus vertreten, sollen die aktuellen Publikationen von AHNERT (2015) und HEBESTREIT (2016) stehen.⁴

AHNERT (2015, 232) zufolge ist die Wutach-Anzapfung „ein Beispiel der Anzapfung durch rückschreitende Erosion“⁵: Demnach tiefte sich die Rhein-Wutach durch rückschreitende Erosion ein und verlängerte dabei ihren Lauf nach

Kompakt

Die Entstehung der bis zu 160 m tiefen Wutachschlucht (Schwarzwald) ist historisch nicht dokumentiert; sie muss anhand von Überlegungen und Indizien rekonstruiert werden. Maßgeblich für die Erosion ist eine Leistung, die offensichtlich nur durch Wasserströme mit höheren Abfluss-Magnituden (10^3 bis $\geq 10^4$ m³/s) erreicht werden kann. Da die Entstehung der Wutachschlucht in direktem Zusammenhang mit dem Abschmelzen des Feldberg-Gletschers steht, ist eine Verfügbarkeit und ein Abfluss größerer Wassermengen gegeben. Es wird angenommen, dass ein katastrophisches Initialereignis – die plötzliche Freisetzung großer Schmelzwassermengen – zu einem schlagartigen Ausbruch der höher gelegenen Feldberg-Donau (Donau-System) führte und dies den unmittelbaren Anschluss an das tiefer gelegene Tal der Ur-Wutach (Rhein-System) zur Folge hatte – die „Flussablenkung“. Möglicherweise sind mehrmals und plötzlich größere Schmelzwassermassen freigesetzt worden. Die reine Eintiefung (180 m) mag in Summe einige Wochen angedauert haben. Dieses Szenario unter Einbeziehung empirischer Daten zur Entstehung kleinskaliger Schluchten bzw. Canyons weicht deutlich von der herkömmlichen Vorstellung einer allmählichen, graduellen Eintiefung über einen Zeitraum von 6.000-10.000 Jahren ab.

rückwärts (nach Nordosten, Richtung Feldberg-Donau). Durch weitere Rückverlegung erreichte der Talanfang der Rhein-Wutach schließlich das Tal der Feldberg-Donau und zapfte diese an. An der Anzapfungsstelle bildete sich durch die Ablenkung das markante Anzapfungsknie. Im so geköpften Tal fließt als geköpfter Bach die Aitrach (östlich Blumberg).

HEBESTREIT (2016, 116) nennt als Wirkmechanismus ebenfalls rückschreitende Erosion, ist aber teilweise konkreter: Die Erosion erfolgte von Süden her (Rhein-Wutach) und destabilisierte die flache Wasserscheide unmittelbar südlich der Feldberg-Donau, bis sie schließlich

Abb. 1 Blick von oben in die Wutachschlucht (etwa Richtung Nordwesten). Südlich (links) oberhalb der Schlucht die Ortschaft Boll, nördlich (rechts, oberhalb) Reisel-fingen und weiter hinten (mittig) Göschweiler. Im Hintergrund der Schwarzwald, ganz links der teilweise noch schneebedeckte Feldberg. Foto (Luftbild): Achim MENDE (best-of-bodensee.de), freundl. Zurverfügungstellung.



Die Feldberg-Donau ändert ihren Lauf

Wutach und Wutachschlucht heute

Das Landschafts- und Einzugsgebiet der Wutach reicht von den Schwarzwaldhöhen bis zur Schwäbischen Alb.³¹ Die Wutach entspringt nahe dem Feldberg auf 1440 m ü. M.; ihre oberen Laufabschnitte heißen Seebach (dazwischen der Feldsee) und nach dem Titisee Gutach. Ihren Namen erhält sie erst nach der Zusammenführung von Haslach und Gutach östlich Lenzkirch. Ihre West-Ost-Orientierung, vorgegeben durch die Struktur der Bonndorfer Grabenzone, erfährt bei Achdorf (535 m ü. M.) nahe Blumberg (700 m ü. M.) eine Umbiegung Richtung Süden – das sog. Wutachknie (Abb. 3C). Schließlich mündet sie unter Beibehaltung einer Nordnordost-Südsüdwest-Orientierung nach 91 km bei Waldshut (315 m ü. M.), ca. 30 km westlich Schaffhausen, in den Rhein. Als Wutachschlucht gilt der Abschnitt von der Zusammenführung von Haslach und Gutach bis zum Wutachknie (Wutachschlucht im engeren Sinne) sowie der nördliche Teil des unteren Wutachtals bis etwa Grimmelshofen (etwa mittig zwischen Achdorf und Stühlingen, Abb. 4B), die sogenannten Wutachflühen. Die Teilabschnitte der Wutachschlucht im engeren Sinne werden in der Aufeinanderfolge der charakteristischen Gesteine und der Ausbildung der Schlucht auch als Kristallin-Schlucht, Muschelkalk-Schlucht und Tonstein-Schlucht bezeichnet.

Situation vor der Ablenkung (Abb. 3A und 4A)

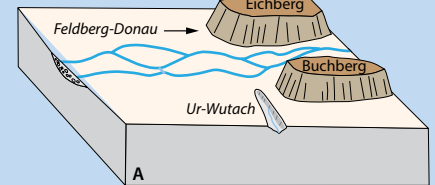
Die Donau hatte zum Zeitpunkt der Vergletscherung des Feldberggebietes einen bedeutenden Quellfluss im östlichen Feld-

berggebiet, die „Feldberg-Donau“ (auch als „Donau-Wutach“ bezeichnet). Das stellenweise bis zu 2 km breite Flusstal der Feldberg-Donau verlief ostwärts über die Baar-Hochfläche und weiter durch die heutige „Blumberger Pforte“ (700 m ü. M.) zwischen Eichberg und Buchberg (Abb. 3A und Abb. 5) bis Tuttlingen (616 m ü. M.) zum Haupttal der Donau. Hiervon zeugen gleichartige Schotterablagerungen auf der Baar-Hochfläche (z. B. Kiesgrube Reiselfingen, teilweise über 20 m mächtig; 730 m ü. M., Abb. 4A) sowie im Aitrach-Reliktal (etwa 6 m mächtig) östlich Blumberg (Abb. 4B). Zur gleichen Zeit existierte die „Rhein-Wutach“ („Ur-Wutach“) als ein nach Südwesten fließender Nebenfluss des Rheins (Mündung heute bei 315 m ü. M.), also auf einem um über 350 m relativ niedrigeren Höhenniveau im Vergleich zur Feldberg-Donau. Wie weit allerdings die Rhein-Wutach an die Feldberg-Donau heranreichte, insbesondere nördlich Grimmelshofen, ist unklar. In beiden Abbildungen (3A und 4A) scheint das Talende zu weit nach Nordosten vorgelagert.

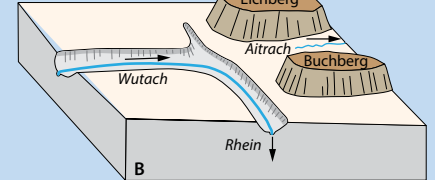
Situation nach der Ablenkung (Abb. 3B und 4B)

Mit Ablenkung des Oberlaufes der Feldberg-Donau und Anbindung an die Rhein-Wutach (bzw. an das Gewässernetz der Rhein-Wutach) ist ein neuer Talanfang bzw. Quellpunkt der Rhein-Wutach geschaffen worden. Damit hat die Donau von ihrem Quellfluss Feldberg-Donau den Oberlauf verloren; sie erhält aus der Feldbergregion kein Quellwasser mehr, der Unterlauf des Quellflusses – das heutige Aitrach-Reliktal – läuft leer. Mit der Ablenkung einher geht eine Verlagerung der Rhein-Donau-

Frühe Eiszeit



Späte Eiszeit



Heute

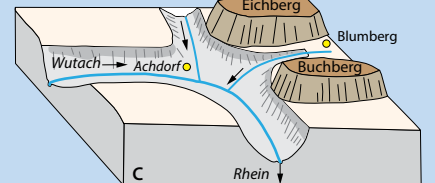


Abb. 3 Stadien der Umlenkung der Feldberg-Donau. Schematische Blockbilder nach dem Flyer „Naturschutzgebiet Wutachschlucht“ der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Freiburg (2. Auflage, 1998).

Wasserscheide. Das Einzugsgebiet des Rheins hat sich um etwa 200 km² vergrößert. – Die Ablenkung wird häufig als „Wutachablenkung“ bezeichnet; hier wird die Phrase „Ablenkung der Feldberg-Donau“ verwendet. Da die Begriffe „Ablenkung“ oder „Umlenkung“ häufig genetisch verwendet werden, wäre eine neutrale Phrase wie „Änderung des Flusslaufs“ angezeigt.

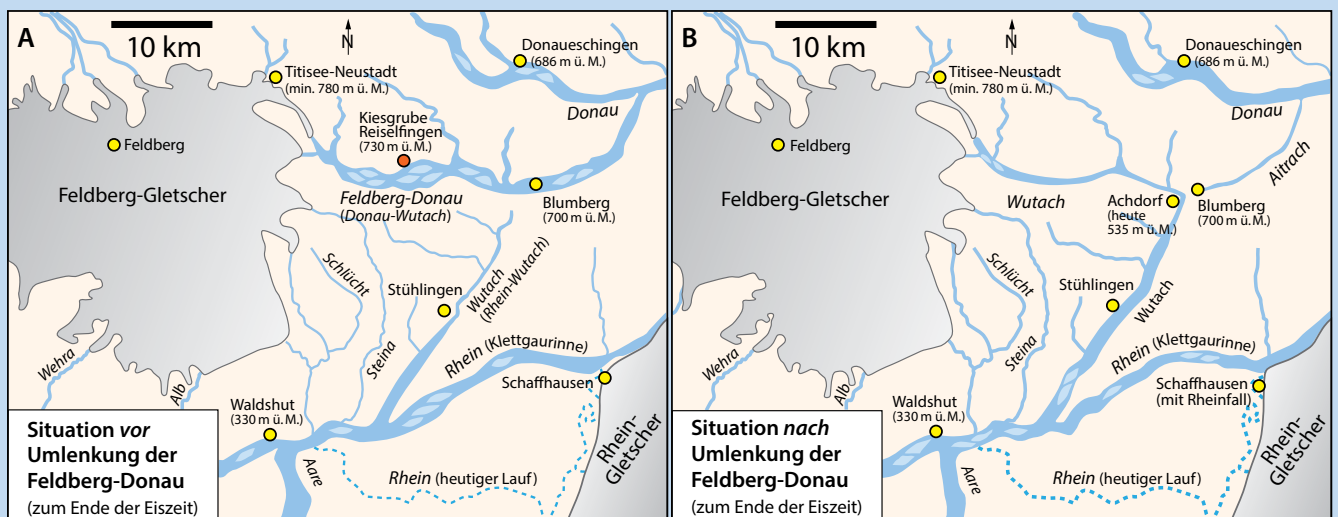


Abb. 4 Das Gewässernetz von Donau und Rhein östlich des Feldberges vor und nach Umlenkung der Feldberg-Donau. (Nach HEBESTREIT 2016)

durchbrochen wurde. Aufgrund des größeren Gefälles zum Rhein hin⁶ erfolgte eine Umlenkung des Oberlaufs der Feldberg-Donau. Als konkret auslösendes Ereignis vermutet HEBESTREIT (2016) eine Kombination aus der „Höherlegung der Talsohle der Feldberg-Donau durch Aufschotterung“ und „Abbau der Wasserscheide durch Erosion von Süden“. Das Tal der Rhein-Wutach sei schon zuvor weit nach Norden ausgeformt gewesen.

Das Lehrbeispiel einer „Anzapfung“ ist reine Theorie und mit möglichen Wirkmechanismen nicht vereinbar.

Der Mechanismus der (fluviatilen*) rückschreitenden Erosion kann nur bei einem (aktiven) Abflussgeschehen wirksam sein (ungeachtet weiterer Bedingungen). Theoretisch kann dieser an jedem Punkt zwischen dem Beginn des Abflusses (Talanfang, Quellbereich) und seinem Ende wirken, jedoch nicht jenseits (oberhalb) des Quellbereichs.⁷ Denkbar allerdings sind Starkregen-Ereignisse, die oberhalb des Quellbereichs der Rhein-Wutach zahlreiche (kleinskalige) Abfluss-Ereignisse und/oder höher liegende (neue) Quellaustritte hätten initiieren können; dies wird aber von keinem Bearbeiter vorgeschlagen. Dann aber ist anzunehmen, dass im Bereich der damaligen Wasserscheide nicht genügend Wasser für rückschreitendes Erodieren zur Verfügung stand (vgl. METZ & SAUER 2012, 278) und folglich die Rhein-Wutach über ihren Quellbereich (Talanfang) hinaus keine rückschreitende Erosion hat vornehmen können.

Überlauf, Durchbruch, Ausbruch

RAHM (1961, 135) zum Beispiel spricht sich gegen eine „Enthauptung“ (Köpfung) aus. Der „letzte Anstoß zur Ablenkung der Wutach“ sei „nicht durch die rückwärtsschreitende Erosion der Rhein-Wutach gegeben“ worden, sondern sei ein durch Aufschüttung [und Höherlegung der Wasserstandslinie, MK] der Donau-Wutach bedingtes „freiwilliges“ Überlaufen“⁹ in ein anderes Tal. Zuvor aber sei die Rhein-Wutach durch rückwärtsschreitende Erosion „bis nahe an die Donau-Wutach herangekommen“. Von einem „Überlaufen“ gehen auch METZ & SAUER (2012, 25) aus.¹⁰ Infolge der Aufschotterung „konnte die Feldbergdonau zunächst nur bei Hochwasser, später dauerhaft über eine niedrig liegende Wasserscheide in ein nach Süden zum Rhein entwässerndes Tal fließen. Dadurch war die Flussanzapfung oder besser Flussablenkung



der Feldbergdonau in das Tal der Ur-Wutach abgeschlossen (...)“.¹¹

GEYER & GWINNER (2011, 412) bezeichnen den Prozess als Anzapfung, verwenden aber zusätzlich den Begriff „Durchbruch“. Das obere danubische Tal (Feldberg-Donau) sei möglicherweise so stark mit Schotter aufgefüllt worden, „dass ein Durchbruch zum tiefer gelegenen rheinischen Tal erfolgen konnte“.¹² Mit „Durchbruch“ könnte ein mögliches Initialereignis angedeutet sein.

ERB (1937, 316f) zog bereits in den 1930er-Jahren eine katastrophische Entleerung aufgestauter Eisrandseen (mit Bezug zum Feldberg-Gletscher) in Betracht; so schreibt er: „Der Gedanke liegt übrigens nahe, in dieser Katastrophe – die sich mehrfach wiederholt haben kann (...)“¹³ – den letzten Anstoß zu der längst vorbereiteten Wutachablenkung zu sehen (...)“¹⁴.

Zeitpunkt

Stratigraphisch* wird der Zeitpunkt der Ablenkung in das Hochglazial (Oberwürm, Oberpleistozän; Tab. 1) gestellt. Bereits ERB (1937) hatte das Auftreten kristalliner Schwarzwaldgerölle in den Terrassenschottern der Unteren Wutach mit dem Schaffhausener Stand des Rhein-Gletschers (entspricht Maximalstand) korreliert. Das Vorfinden der Laacher-See-Tephra – einer wichtigen mitteleuropäischen stratigraphischen Marke (KOTULLA 2016) – im Reliktal der Aitrach sowie im Feldsee-Moor nahe des Feldsees (Feldberg) zeigt an, dass die Ablenkung der Feldberg-Donau vor Ausbruch des Laacher-See-Vulkans (Alleröd, Spätglazial) erfolgt sein muss und dass zu diesem Zeitpunkt die Feldbergregion weitgehend eisfrei war.

Radiometrische Altersbestimmungen (hier: Radiokarbonmethode¹⁵) grenzen die Ablenkung der Feldberg-Donau auf ein „zeitliches“ Fenster

Abb. 2 Die Muschelkalkschlucht, Blick Richtung Nordosten. Oben links: Hof nahe Dreischluchtenhalle bei Bachheim, östlich Reisel-fingen. Foto (Luftbild): Achim MENDE (best-of-bodensee.de), freundl. Zurverfügungstellung.

Glossar

Flussanzapfung: Durchbrechen einer Wasserscheide durch *rückschreitende Erosion* eines Flusses und (dauerhafte) Vereinnahmung des jenseits der ursprünglichen Wasserscheide (höher-) gelegenen Flusssystems (Einzugsgebiet), z. B. aufgrund des stärkeren Gefälles; häufig mit Bildung eines *Anzapfungs-knies*. „Am bekanntesten ist die Anzapfung der Wutach im Südosten des Schwarzwaldes zum Rhein hin“ (NEEF 1981).

Fluviatil: von Flüssen verursacht.
Magnitude: hier allg. Größenordnung.
Rückschreitende Erosion: Mit Bezug auf die vorwiegend linear wirksame Tätigkeit des fließenden Wassers flussaufwärts gerichtete Tiefenerosion; z. B., Wasserfälle, die allmählich rückwärts wandern“ (NEEF 1981). Siehe auch KOTULLA (2017, Abb. 2).
Stratigraphisch: hier die Altersfolge der Gesteinskörper (i. e. S. Schichten) betreffend.
Temporär: zeitweise auftretend.

zwischen etwa 11.000 und 26.000 ¹⁴C-Jahren vor heute (v. h.) ein.¹⁶ Während HEBESTREIT (1993) die Ablenkung über eine Extrapolation auf 15.000–20.000 [radiometrische] Jahre v. h. weiter einengt¹⁷, korrelieren PFAFFENBERGER & SCHIEDECK (1993) die Oberkante des Schotterkörpers der Feldberg-Donau mit dem Maximalstand der Würmvereisung (bzw. kurz danach), der mit ca. 18.000 [radiometrischen] Jahren angenommen wurde. Schließlich verankert HEBESTREIT (1995, 2016) die Ablenkung bei 19.000–20.000 [radiometrischen] Jahren v. h., kurz vor dem Würm-Maximalstand.¹⁸

Eintiefung – Dauer und Mechanismen

Dauer

Die Wutach soll sich in etwa 6.000 bzw. 10.000 [radiometrischen] Jahren auf ihr tiefstes Niveau eingeschnitten haben (RICKEN & EINSELE 1993, HEBESTREIT 2016).

PFAFFENBERGER & SCHIEDECK (1993) korrelieren auskartierte Terrassen im Gutach-, Haslach- und oberen Wutachtal (Niveaus I–V) mit Gletschereisrandlagen („Moränen“wällen), sog. Rückzugshalten.¹⁹ Diesen waren bereits im Rahmen eines radiometrisch begründeten Altersmodells geschätzte [¹⁴C–] Alter zugewiesen worden. So veranschlagen sie im Bereich der Haslach-Mündung (Kristallin-Schlucht; Gesamt-

eintiefung 70 m) für die Erosion von ca. 25 m in die Lockersedimente (bis auf Niveau II) eine Zeitspanne von 2.000–3.000 [¹⁴C–] Jahren. In der Folge – auf Basis der Altersschätzungen – hätte sich der Fluss hauptsächlich in Kristallingestein eingetieft: um 13 m in 1.000–2.500 [¹⁴C–] Jahren (bis auf Niveau III), um weitere 10 m in weniger als 2.000 [¹⁴C–] Jahren (bis auf Niveau IV) und schließlich um 23 m in 2.000–3.000 [¹⁴C–] Jahren (bis auf Niveau V).²⁰

Diese Terrassenniveaus (mit Ausnahme von Ia, Niederterrasse) allerdings können nicht in die Hauptschlucht hinein verfolgt werden. Einige mutmaßliche Terrassenrelikte weist HEBESTREIT (1995, 38) dem Terrassenniveau II zu. Demnach soll die Schlucht vor etwa 15.000 [¹⁴C–] Jahren zur Hälfte eingetieft gewesen sein und bereits am Beginn des Holozäns (hier: ca. 11.000 [¹⁴C–] Jahre v. h.) die heutige Talsohle erreicht haben (HEBESTREIT 2016). Denn für Kalktuffe dicht über dem Talboden hatten BAUER & KNIPPING (1993) Alter von bis zu etwa 12.500 (korrigiert 11.000) ¹⁴C-Jahren v. h. vermeldet. Schließlich errechnet HEBESTREIT (2016) mittlere Eintiefungsgeschwindigkeiten von 11 m/1.000 [¹⁴C–] Jahre (Schattenmühle) und bis 20 m/1.000 [¹⁴C–] Jahre (Achdorf, Wutachknie).

Es wird in jedem Fall davon ausgegangen, dass die Tiefenerosion noch im Pleistozän abgeschlossen war (Tab. 1) und auch die Talhänge schon weitgehend ihren heutigen Zustand erreicht hatten (RICKEN & EINSELE 1993, 16). Im Holozän erfolgte dann sogar eine Aufschotterung des Talbodens um 6–15 m.²¹ Demnach ist die (Tiefen-)erosive Kraft der Wutach seit Beginn des Holozäns quasi gleich Null. Folglich stehen Ablenkung und Entstehung der Wutachschlucht in direktem Zusammenhang mit dem Abschmelzen des Feldberg-Gletschers (s. Kasten), also mit der Verfügbarkeit und dem Abfluss größerer Wassermengen.

Mechanismen

Nach HEBESTREIT (1995, 75) erfolgte die Eintiefung stufenweise „durch rückschreitende Erosion“. So hätten Phasen gewechselt, die

Tab. 1 Flussgeschichte, Stratigraphie und Altersmodell. Zusammengestellt nach HEBESTREIT (1993, 1995) und weiteren Bearbeitern³². A) Zuordnung der Sedimente bzw. Ereignisse in die konventionelle Klimostratigraphie (hier: Alpen-Gliederung), teilweise auf Basis von ¹⁴C-Alter. B) Werte in Klammern (bzw. ...) beziehen sich auf HEBESTREIT (1995). Das Altersmodell bis etwa 50.000 ¹⁴C-Jahre (vor heute = vor 1950) bezieht sich auf unkalibrierte ¹⁴C-Alter.³³ Die Grenze Pleistozän/Holozän ist erst 2008 formal definiert worden.³⁴

Lokalität	Flussgeschichte	Ablagerungen	Chronostratigraphie	Glazial-Gliederung ^{A)}		Alter ^{B)} (Tsd. radiom. Jahre)
Wutachschlucht	Sedimentation u. Erosion (lateral)	Talfüllung: 6 - 15 m	Holozän	Postglazial		0 - 10
Rhein-Wutach (RW) Wutachschlucht (WS)	Tiefenerosion (WS): Eintiefung bis 170m	Konglomerate (RW): lokal mehrere m	Pleistozän	Oberwürm	Spätglazial	10 - 14
					Hochglazial	14 - 18 (bzw. 20)
Feldberg-Donau/ Rhein-Wutach	Ablenkung: Feldberg-Donau wird Oberlauf der Rhein-Wutach				während Hochglazial	15 - 20; ca. 18 (bzw. 19 - 20)
					Hochglazial	18 (bzw. 20) - 28
Feldberg-Donau (Reiselfingen)	Sedimentation (primär)	Hangendschotter: ca. 7 m		Mittelwürm		28 - 70
	Sedimentation (primär)	Liegendschotter: ca. 20 m				

vermutlich auch den Umfang der Erosion steuern: klimatisch kühlere Phasen, in denen langsamere Tiefenerosion und Terrassenbildung vorherrschten, im Wechsel mit klimatisch wärmeren Phasen, in denen es mehr schnellere Tiefenerosion und geringere Schuttfuhr gab. Dabei könnten „schon geringere Änderungen der Abflussverhältnisse zur Entwicklung von Terrassenstufen geführt haben“, mit Bezug auf die Niederterrassenschotter. HEBESTREIT (1995, 77) räumt allerdings ein, dass „Ansatzpunkte der rückschreitenden Erosion (Gefällsknicke)“ nicht zu erkennen sind.²²

Für die Eintiefung von bis zu 180 m ist eine hohe Magnitude der Abflussrate entscheidend.

Die Eintiefung in den lockeren Sedimentkörper der sog. Niederterrasse unter Ausbildung der Terrassenniveaus Ib-IIe zeige, so PFAFFENBERGER & SCHIEDECK (1993, 68), eine „veränderliche Flussschotterdynamik“ an, deren Ursache in kurzzeitigen klimatischen Schwankungen zu sehen sei. Eine „starke Wasserführung der Flüsse“ hätte die „lineare Tiefenerosion in Hochwasserzeiten“ verstärkt.²³

Diese Art von Beschreibungen legt zwar eine episodische Tiefenerosion nahe, die aber in Anbetracht des ausgebreiteten Zeitraumes von vielen Tausend [radiometrischen] Jahren – zugespitzt: jedes Jahr eine Hochwasserzeit – letztendlich eine graduelle, allmähliche Erosion bedeutet.

Ablenkung und Eintiefung – eine Frage der Magnitude?

Mit Entstehung der Wutachschlucht sind 2,5 km³ Gestein durch Tiefenerosion ausgeräumt worden, Nebentäler eingeschlossen; davon entfallen etwa 50–60 % auf Tonsteine, etwa 30 % auf Karbonate und Sulfate und etwa 10 % auf kristalline Gesteine (HEBESTREIT 1995, 81). WESTPHAL (1989, 189)²⁴ bezeichnet die Erosionsleistung als „ungewöhnlich“. Und weiter: Die Wutachschlucht habe sich bis 180 Meter tief in den alten Talboden der Feldberg-Donau *ingerissen* [kursiv, MK], die Aufschotterung mitgerechnet.

Hohe (fluviatile) Erosionsleistungen können offensichtlich nur durch Wasserströme mit höheren Abfluss-Magnituden* erreicht werden. Das zeigen z.B. Ausnahme-Vorkommnisse von Flutereignissen in Verbindung mit dem Betrieb von größeren Stauanlagen. Bei unterschiedlichen Gegebenheiten sind durch massive Erosion des harten Felsuntergrundes binnen Tagen neue Canyons entstanden: Kürzlich am Oroville-

Staudamm in Kalifornien (KOTULLA 2017) oder 2002 der Canyon Lake Gorge in Texas (LAMB & FONSTAD 2010, ERNST 2010). Am Überlaufkanal der Ricobayo-Stauanlage (Spanien) führten Flutungen in den Jahren 1933 bis 1936 zu fünf erheblichen Erosionsereignissen – vier der fünf drastischen Auskolkungen ereigneten sich während eines Tages (ANTON et al. 2015).²⁵ Bei all diesen Vorkommnissen sind die Abflussraten bekannt: bis zu 1.000 m³/s (Ricibayo) und bis zu 2.000–3.000 m³/s (Oroville, Canyon Lake).

Die „Holozän-Wutach“ war und ist zu einer Tiefenerosion nicht (mehr) in der Lage (s.o.). Der höchste jemals gemessene Hochwasserabfluss (HHQ) betrug am 15.2.1990 317 m³/s.²⁶ Terrestrische Flutereignisse mit extrem großen Abflussraten ($\geq 10^6$ m³/s, sogenannte Megafluten; BAKER 2013, KOTULLA 2014) stehen u.a. in Verbindung mit dem Zusammenbruch gewaltiger Eismassen am Ende der Eiszeit. Es kann davon ausgegangen werden, dass skalenmäßig kleinere, aber dennoch größere Flutereignisse umso häufiger aufgetreten sind, auch bei kleineren Eismassen wie der Deckenvereisung des Feldberg-Gletschers (ca. 700 km²).²⁷

Es ist also durchaus denkbar, dass Abflussraten mit einer Magnitude von 10^3 bis $\geq 10^4$ m³/s notwendig waren, um die „ungewöhnliche“ Erosionsleistung der Eintiefung erbringen zu können.

Szenarien katastrophischer Flutereignisse

In Anlehnung an bereits genannte Ideen (s.o. ERB 1937) ist folgendes katastrophisches Initialereignis vorstellbar: Möglicherweise ausgelöst durch eine (plötzliche) Freisetzung großer Schmelzwassermassen des Feldberg-Gletschers, z.B. durch eine (Teil-) Entleerung eines sub- oder proglazialen temporären* Schmelzwasserbeckens (oder mehrerer dieser Art), erfolgt eine rasche Flutung und Akkumulation großer Wassermassen im Tal der Feldberg-Donau. Dadurch wird ein kritischer Schwellenwert an der (flachen?) Wasserscheide südwestlich Blumberg überschritten. Möglicherweise durch Überlauf (sowie Druck und Unterspülung) bricht der natürliche Damm (Dammbruch).

Mit dem schlagartigen (Fluss-)Ausbruch stürzen nicht nur die Wassermassen des Oberlaufs der Feldberg-Donau (samt nachfolgender Schmelzwasser) und in Teilen ihres Unterlaufs (heutige Aitrach-Reliktal) zum tiefsten Punkt (Richtung Tal der Rhein-Wutach), auch Material des Untergrundes (Kristallinschotter, Ton- und Kalksteine) am und seitlich des Ausbruchspunktes werden aufgrund der ansteigenden hydrodynamischen Energie zunehmend aufgenommen. Die so mit Sediment beladenen schießenden

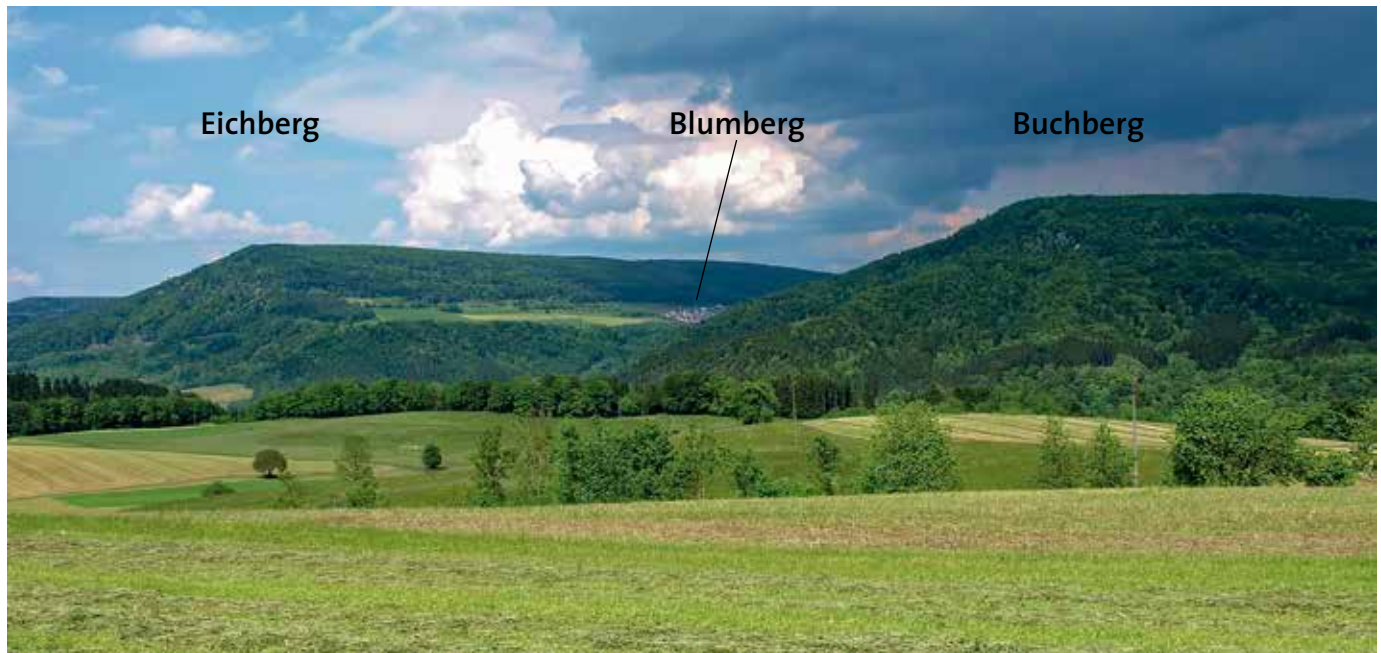


Abb. 5 Relikttal der Feldberg-Donau zwischen Eichberg (links, 914 m ü. M.) und Buchberg (rechts, 880 m ü. M.), dazwischen am Talboden der Ort Blumberg (700 m ü. M.). Die Lokalität wird auch als „Blumberger Pforte“ bezeichnet. Zwischen dem Hain (im Mittelgrund) und dem Bergrücken des Buchbergs liegt das tiefe Tal der Wutach „verborgen“. (Foto: M. KOTULLA)

Flutwasser beginnen den Untergrund bis zum Talbeginn der Rhein-Wutach tiefgründig zu erodieren – und schließlich auch die Talsohle der Rhein-Wutach.

Des Weiteren ist vorstellbar, dass sich temporäre Schmelzwasserseen mehrmals gebildet haben und (plötzliche) Freisetzungen großer Schmelzwassermassen sich wiederholt ereigneten.

Die Indizienlage

Für eine allmähliche Eintiefung werden keine Indizien genannt; vielmehr leitet sich das „Episodisch-Graduelle“ aus dem (radiometrischen) zeitlichen Rahmen und einer entsprechenden zeitlichen Segmentierung ab (s. o. PFAFFENBERGER & SCHIEDECK 1993).

Für höher-energetische Flutereignisse gibt es (vorläufig) einige wenige Indizien bzw. Phänomene, die als solche interpretiert werden können.

1. Verbreitungsgebiet des Feldberg-Gletschers. Gibt es Indizien für Schmelzwasserbecken? Eine Identifizierung bzw. Rekonstruktion von (temporären) Becken ist bisher nicht vorgenommen worden; es ist möglich, dass sich Reliktstrukturen erhalten haben, sofern die Beckenränder nicht durch Eis gebildet wurden.

2. Tal der Feldberg-Donau. Gibt es Indizien für (Hoch-) Wasserstände der Feldberg-Donau? Es ist möglich, dass Wasserstandsmarken gebildet wurden; bisher aber gibt es keine Hinweise dafür. Ihre Überlieferung allerdings ist fraglich; Hangrutschen und Bodenfließen haben die Talflanken nachweislich in größerem Umfang verändert.

3. Wutachschlucht. Gibt es Indizien für bedeutende Erosionsereignisse? Ausgehend von der Terrassengliederung im Haslach-, Gutach- und

oberen Wutachtal ist sowohl die Korrelation mit den sog. Rückzugsständen fraglich („Aufwärts-Korrelation“) als auch mit der Hauptschlucht bis zum Wutachknie („Abwärts-Korrelation“) und darüber hinaus zu den Wutachflühen. Die verschiedenen, z.T. schematischen Querschnitte des oberen Wutachtals (z.B. PFAFFENBERGER & SCHIEDECK 1993, 71) können auch so gelesen und interpretiert werden, dass es lediglich *zwei* (Haupteinschneide-) Ereignisse (Niveaus Ia-Ie sowie Niveaus IIa-V) gab. Die teilweise kastenförmigen Talquerschnitte und geringe Talbreiten (z.B. Wutachflühen) deuten ebenfalls auf höher-energetische, vertikale Erosion hin.

4. Unterlauf der Wutach. Gibt es Indizien für bedeutende Erosions- und/oder Sedimentationsereignisse? Erste Ablagerungen des erodierten Untergrundes treten im Unterlauf der Wutach südlich Grimmelshofen auf (etwa 7,5 Talkilometer südlich Achdorf). Der Sedimentkörper besteht im unteren Teil aus Konglomeraten mit hohem Kristallinanteil, Komponenten, die erst mit bzw. nach der Ablenkung der Feldberg-Donau in das Tal der Rhein-Wutach transportiert werden konnten. Sie liegen unmittelbar anstehenden Kalksteinen des Unteren Muschelkalks auf. Nach HEBESTREIT (1995, 54) muss der Ablagerung dieser Konglomerate eine Erosionsphase vorausgegangen sein, die „entweder die ältere würmzeitliche Talfüllung entfernt oder aber die Talbasis sogar noch kurz vor der Kiesakkumulation geringfügig vertieft“ hat. Ein initiales Flutereignis (s. o.) könnte diese Erosion bewirkt haben und mit Nachlassen der hydrodynamischen Energie Sande und Kiese abgelagert haben.

Weiter südlich kommen weitere einzelne Schotterkörper mit Kristallingesteinen vor; sie lassen sich nicht unterscheiden. Im Mündungsbereich, südlich Wutöschingen, treten

in den Niederterrassen-Niveaus „über- und nebeneinander“ Schotterkörper mit Kristallin-
gesteinen auf; ihre Verzahnungen „spiegeln eine
komplizierte Flussschotterdynamik wider“ (HEBESTREIT
1995, 69). Möglicherweise handelt es sich dort
um Umlagerungen. Für beide Bereiche kann
gelten, dass lediglich *ein* Sedimentationsereignis
überliefert ist. Dies müsste anhand weiterer
Analysen überprüft werden. Die Überlieferung
nur eines Sedimentationsereignisses würde für
ein hauptsächliches Flutereignis mit hoher Ma-
gnitude sprechen.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Ablenkung der Feldberg-Donau und die
Entstehung der Wutachschlucht stehen zeitlich
und genetisch in direktem Zusammenhang mit
dem Abschmelzen des Feldberg-Gletschers.

Als Mechanismus zur Erbringung der
hauptsächlichen Erosionsleistung werden eini-
ge wenige höher-energetische Flutereignisse
vorgeschlagen. Einige Indizien weisen in diese
Richtung. Allmähliche, niedrig-energetische
(graduelle) Erosion – auch unter Einbeziehung
von Hochwasserzeiten (vgl. heutige Wutach) – ist
kein wirksamer Mechanismus für eine gravieren-
de Tiefenerosion des erforderlichen Umfangs.²⁸
Als Initialereignis und mögliches Hauptereignis
wird ein katastrophischer (Fluss-) Ausbruch der
Feldberg-Donau angenommen. Im Vergleich
zu bekannten Flutereignissen wird vermutet,
dass die reine Eintiefung der Wutachschlucht in
Summe nur einige Wochen dauerte.

Neue Erkenntnisse sind aus der Verwendung
hochauflösender Laserscans der Geländeoberflä-
che (Digitales Geländemodell, DGM; LiDAR²⁹;
ohne Vegetation)³⁰ sowie hydraulischen Über-
legungen und Modellrechnungen zu erwarten.

Dank

Dr. Reinhard JUNKER und Dr. Martin ERNST dan-
ke ich für die Durchsicht des Manuskripts und
wertvolle Hinweise, Frank MEYER für die Erstel-
lung der Grafiken. Mein Dank gilt insbesondere
Herrn Achim MENDE für die Zurverfügungstel-
lung der Luftbilder; nur diese Perspektive erlaubt
einen großräumigen Einblick in die Schlucht.
Die Studiengemeinschaft Wort und Wissen führt
seit vielen Jahren in der Wutachschlucht Wande-
rungen und Exkursionen durch; diese sind auch
für die kommenden Jahre geplant ([http://www.
wort-und-wissen.de/exkursionen.html](http://www.wort-und-wissen.de/exkursionen.html)). Durch
die Teilnahme an den Exkursionen ist mein In-
teresse an der Entstehung der Wutachschlucht
geweckt worden.

Literatur

- ANTON L, MATHER AE, STOKES M, MUNOZ-MARTIN A & DE
VINCENTE G (2015) Exceptional river gorge formation
from unexceptional floods. *Nature Communications* 6,
doi:10.1038/ncomms8963.
- AHNERT F (2015) Einführung in die Geomorphologie. 5.
Auflage, Stuttgart.
- BAUER M & KNIPPING M (1993) ¹⁴C-Daten und paläobota-
nische Befunde von Kalktuffvorkommen: Rückschlüsse
auf das Mindestalter der Wutachschlucht. In: EINSELE G
& RICKEN W (Hrsg.) Eintiefungsgeschichte und Stoff-
austrag im Wutachgebiet (SW-Deutschland). Tübinger
Geowiss. Arbeiten, Reihe C, 15, 74–84.
- CLOOS H (1947) Gespräch mit der Erde. München.
- ERB L (1937) Der Zeitpunkt der Wutachablenkung und
die Parallelisierung der würmeiszeitlichen Stadien
des Schwarzwalds mit denen des Rheingletschers.
Mittl. Bad. Landesver. F Naturk. u. Naturschutz, NF
3, 314–319.
- ERNST M (2010) Bildung eines Canyons in nur 3 Tagen.
Stud. Integr. J. 17, 88–92.
- GEYER M & GWINNER MP (2011) Geologie von Baden-
Württemberg. Herausgegeben von: GEYER M, NITSCH
E & SIMON T. 5. völlig neu bearbeitete Auflage, Stuttgart.
- HEBESTREIT C (1993) Sedimentations- und Subrosionspro-
zesse in einem würmzeitlichen Kieskörper der Donau-
Wutach: Implikationen für Klima und Permafrost. In:
EINSELE G & RICKEN W (Hrsg.) Eintiefungsgeschichte
und Stoffaustrag im Wutachgebiet (SW-Deutschland).
Tübinger Geowiss. Arbeiten, Reihe C, 15, 45–57.
- HEBESTREIT C (1995) Zur jungpleistozänen und holozänen
Entwicklung der Wutach (SW-Deutschland). Tübinger
Geowiss. Arbeiten, Reihe C, 25.
- HEBESTREIT C (2016) Wutachregion. Wiebelsheim.
- KOTULLA M (2014) Megafluten. Stud. Integr. J. 21, 4–11.
- KOTULLA M (2016) Der explosive Ausbruch des Laacher-
See-Vulkans. Stud. Integr. J. 23, 111–116.
- KOTULLA M (2017) Neuer Canyon am Oroville-Staudamm
– Ausgebrochener Wasserstrom verursacht schnelle
Erosion. Stud. Integr. J. 24, 45–48.
- LAMB MP & FONSTAD MA (2010) Rapid formation of a
modern bedrock canyon by a single flood event. *Nature
Geoscience* 3, 477–481.
- LIEHL E (1988) Morphologie des Wutachgebietes. In: LIEHL
E (Hg.) Die Wutach. Nachdruck von 1971, Freiburg,
1–30.
- METZ B & SAUER H (2012) Geomorphologie und Land-
schaftsentwicklung. In: Regierungspräsidium Freiburg
(Hg.) Der Feldberg. Subalpine Insel im Schwarzwald.
Ostfildern, 14–62.
- NEEF E (1981) Das Gesicht der Erde. Nachschlagewerk der
physischen Geographie, mit einem ABC. 5., überarbei-
tete Auflage, Frankfurt/M.
- PAFFENBERGER C & SCHIEDEK T (1993) Zeitmarken der
Wutach-Eintiefung: fluviale Terrassen und ihre Kor-
relation mit würmzeitlichen Vereisungsphasen des
Südschwarzwaldes. In: EINSELE G & RICKEN W (Hrsg.)
Eintiefungsgeschichte und Stoffaustrag im Wutachgebiet
(SW-Deutschland). Tübinger Geowiss. Arbeiten, Reihe
C, 15, 66–73.
- RICKEN W & EINSELE G (1993) Entstehung der Wutach-
schlucht: Übersicht der Prozeßabfolgen. In: EINSELE G
& RICKEN W (Hrsg.) Eintiefungsgeschichte und Stoff-
austrag im Wutachgebiet (SW-Deutschland). Tübinger
Geowiss. Arbeiten, Reihe C, 15, 16–44.

Anschrift des Verfassers:

*Michael Kotulla, SG Wort und Wissen,
Rosenbergweg 29, 72270 Baiersbronn;
E-Mail: m.kotulla@wort-und-wissen.de*