

## Megafluten

Michael KOTULLA

### **Dieses PDF-Dokument enthält:**

#### Media (ZM)

- ZM-1: Auf Spurensuche – Megarrippeln in Google Earth (Koordinaten in Dezimalgrad)
- ZM-2: Film und Bild – Ausgewählte Gletscherstauseeausbrüche und Gletscherläufe
- ZM-3: Kommerzielle Video-Produktionen zur Lake-Missoula-Flut

#### Tabellen (ZT)

- ZT-1: Studien spätquartärer terrestrischer Megaflutereignisse

#### Abbildungen (ZA)

- ZA-1: Der pazifische Nordwesten der USA
- ZA-2: Das Channeled Scabland
- ZA-3: Das Channeled Scabland
- ZA-4: Jokülsá Canyon, Island
- ZA-5: Wasserstandsmarken des Lake-Missoula-Eisstausees, Missoula
- ZA-6: Wasserstandsmarken des Lake-Missoula-Eisstausees, Missoula
- ZA-7: Megarippeln, Camas Prairie, Montana
- ZA-8: Megarippeln, West Bar, Columbia River
- ZA-9: Hochgeschwindigkeits-Erosion
- ZA-10: Kolkbildung, Dry Falls
- ZA-11: Grand Coulee
- ZA-12: Grand Coulee mit Dry Falls
- ZA-13: Wallula Gap
- ZA-14: Fortsetzung der Missoula-Flutströme im Pazifischen Ozean
- ZA-15: Vatnajökull-Gletscherlauf (Jökulhlaup), Island
- ZA-16: Grímsvötn-Vulkaneruption, Island
- ZA-17: Touchet-Formation nahe Lowden, Walla Walla Flusstal, Bundesstaat Washington
- ZA-18: Klastischer Gang

#### Ergänzungen (ZE)

- ZE-1: Islands Jökulhlaups
- ZE-2: Tiefseeablagerungen der Lake-Missoula-Flut
- ZE-3: Eine Lake-Missoula-Flut?
- ZE-4: Schmelzwasser-Megafluthypothese

#### Literatur (ZL)

## Media (ZM)

### ZM-1: Auf Spurensuche – Megarrippeln in Google Earth (Koordinaten in Dezimalgrad)

- Lake-Missoula-Flut, Camas-Prairie (36 km W Ronan, Montana, USA): 47.206092, 114.024603 (s. Abb. ZA-7).
- Lake-Missoula-Flut, West Bar (Columbia River, 14 km W Quincy, Washington, USA): 47.121645, 120.012061 (s. Abb. ZA-8).
- Altai-Flut (ca. 50 km ENE Kosch-Agatsch, Republik Altai, Russland): 50.171206, 87.916805.
- Jenissei-Fluten (N/E Kyzyl, Tuwa, Russland): 51.714962, 94.553958.



**Abb. ZM-1** Megarippeln am Jenissei, N Kyzyl, Tuwa, Russland. Maßstab: rote Linie = 1km (durch den Verfasser). Bild: Google Earth.

- Patagonien (Santa Cruz River, 77 km E Lago Argentino): -50.218677, -70.902073.

### ZM-2: Film und Bild – Ausgewählte Gletscherstauseeausbrüche und Gletscherläufe

- **Filmdokumentation:** „Da ist nichts als Feuer und Eis“, ca. 18 min., isländischer Kommentar, insbesondere 2. Filmhälfte.  
→ <http://www1.nams.is/jardfraedi/eldfjoll2.php?id=380>.

Gjálp-Vulkaneruption, Island, vom 30. 09. – 13. 10. 1996 mit anschließendem Jökulhlaup (Gletscherlauf) am 5.-7. 11. 1996 (max. Flussrate: 45.000 m<sup>3</sup>/s, s. ZE-1).

- **Dokumentation und Foto-Serie:** Grímsvötn-Vulkaneruption, Island, 1.-7. Nov. 2004 mit Jökulhlaup am 31. 10. 2004 (!). Die Eruption erfolgte nach dem Gletscherlauf (max. Flussrate: ca. 450 m<sup>3</sup>/s) und der dadurch erfolgten Druckentlastung. Die rapide Schnee- und Eisschmelze begann mit einer Magmenintrusion unter die Grímsvötn-Caldera mindestens acht Tage vor dem Ausbruch.  
→ [http://hraun.vedur.is/ja/englishweb/eruption\\_grimsvotn.html](http://hraun.vedur.is/ja/englishweb/eruption_grimsvotn.html).
- **Bilddokumentation:** Russell Lake Outburst, Alaska, vom 14. 8. 2002 (max. Flussrate: 54.000 m<sup>3</sup>/s). → <http://ak.water.usgs.gov/glaciology/hubbard/photos/index.htm>.

### **ZM-3: Kommerzielle Video-Produktionen zur Lake-Missoula-Flut**

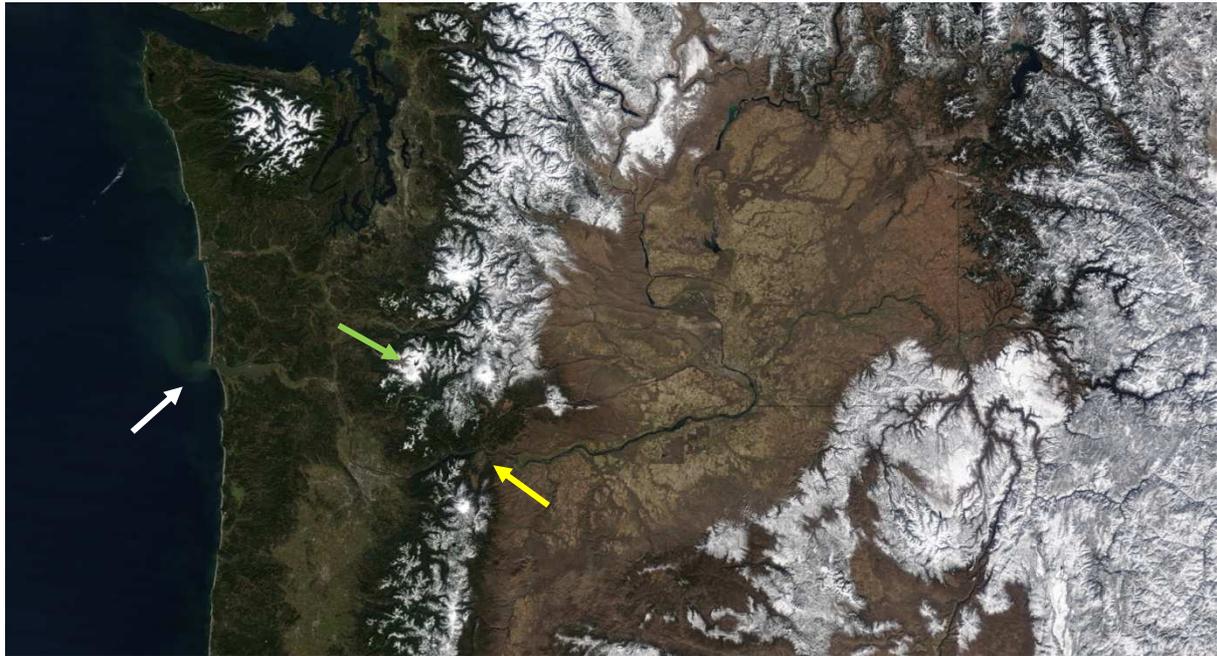
- „Sculpted by floods: The Northwest’s Ice Age Legacy” (KSPS-Dokumentation, ca. 57 min., in englischer Sprache); frei, aber Anmeldung erforderlich.  
→ <http://video.kspis.org/video/1476678922/>
- „Mystery of the Magaflood”. → <http://www.pbs.org/wgbh/nova/megaflood/>.

## Tabellen (ZT)

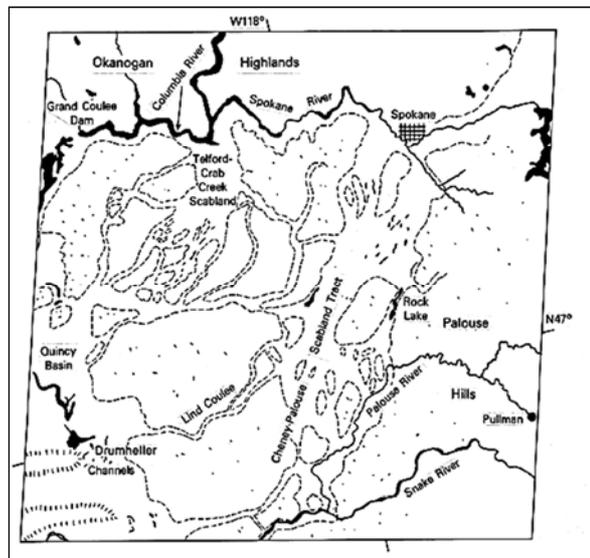
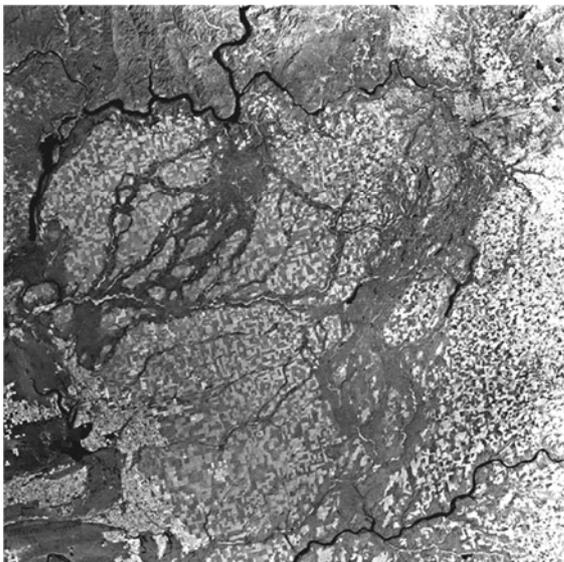
Lokalität (Bezeichnung - Paläo-See, Fluss)	Mechanismus	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Volumen [km <sup>3</sup> ]	Tiefe max. [m]	Flussrate max. [Mio. m <sup>2</sup> /s]	Dauer (Leerung)	Ref.
<b>Alaska</b>							
Atna		≥ 9.000	≤1.400		≥ 3		1
<b>Westliches Nordamerika, Kordillerischer Eisschild</b>							
Missoula	Eisdamm-Bruch	7.500	2.184	> 600	17	2-3 Tage	2
Bonneville	Überlauf	51.530	4.750	300	1		3
"Schmelzwasser-Megaflut"	subglazial						4
<b>Mittleres und östliches Nordamerika, Laurentidischer Eisschild</b>							
Agassiz/Ojibway	Subglaziale Tunnel	840.000	151.000		5	6 Monate	5
<b>Südamerika, Patagonischer Eisschild</b>							
Santa Cruz River							6
<b>Nordeuropa, Fennoskandischer Eisschild</b>							
Englischer Kanal	Bruch Landbrücke		~10.000		1	Wochen	7
Urstromtäler							8
<b>Zentralasiatisches Gebirge</b>							
Altai	Eisdamm-Bruch		600	200	10	2-3 Tage	9
Tsangpo (Tibet), höherer See	Eisdamm-Bruch	2.835	835	680	1-5		10
Jenissei (Tuwa)	Eisdamm-Bruch	3.272	> 373	172	3,5	Tage	11
<b>Zentralasiatisches Tiefland</b>							
Westsibirien --> Schwarze Meer	Überlauf						12
Bosporus	Überlauf						13
<b>Historisch</b>							
Katla-1918-Jökulhlaup (Island)	subglazial, vulkanisch		8		0,3	8 Stunden	14

**Tab. ZT-1** Studien spätquartärer terrestrischer Megaflutereignisse oder kataklysmischer Flut-Phänomene. Auswahl nach BAKER (2013, 518, Table 3) sowie Ergänzungen durch den Verfasser. Referenzen: 1) WIEDEMER et al. (2010); 2) PARDEE (1942), BAKER (1973); 3) MALDE (1968), O'CONNOR (1993); 4) SHAW et al. (1999); 5) LEVERINGTON et al. (2002), CLARKE et al. 2004; 6) PACIFICI (2009); 7) SMITH (1985), GUPTA et al. (2007); 8) SHAW et al. (1989), BAKER (2013); 9) RUDOY & BAKER (1993), HERGET (2012); 10) MONTGOMERY et al. (2004); 11) KOMATSU et al. (2009); 12) GROSSWALD (1998); 13) RYAN et al. (2003); 14) TOMASSON (1996); die Rekonstruktion des Katla-Jökulhlaups vom 12. Oktober 1918 ergab rechnerisch eine Maximal-Flussrate von bemerkenswerten 0,3 Millionen m<sup>3</sup>/s.

## Abbildungen (ZA)



**Abb. ZA-1** Der pazifische Nordwesten der USA. Bildmitte oben, rechts: Das schneefreie Columbia-Plateau mit dem Kanal- und Drainagesystem des Channeled Scabland. Das Becken grenzt westlich an das Kaskaden-Gebirge und liegt in dessen Regenschatten. Nördlich wird es von den Okanogan Highlands, östlich von den Rocky Mountains und im Süden von den Blue Mountains begrenzt. Die tertiären Basaltdecken des Columbia Plateaus bilden eine der größten Flutbasalt-Flächen der Erde aus. Gelber Pfeil: (Älterer) Durchbruch (des Vorläufers) des Columbia River (Columbia River Gorge) durch die Kaskadenkette; weißer Pfeil: Sedimentfahne des Columbia River bei Mündung in den Pazifik; grüner Pfeil: Mount St. Helens Vulkan. Foto (Credit): NASA/Jeff Schmaltz, 24. Februar 2003 (A2003055); Pfeile: Ergänzungen des Verfassers.



**Abb. ZA-2, ZA-3** Das Channeled Scabland, Kernregion der Überflutung des Lake-Missoula-Gletscherstauseeausbruchs. ZA-2 Satellitenaufnahme von 1972, ZA-3 zeichnerische Darstellung mit geographischen Bezeichnungen, Bildbreite etwa 240 km. Zu ZA-2: Die sich verzweigenden und wieder zusammenmündenden Rinnen erscheinen in dunklerem Grau, weil die erodierte Lössdecke den dunklen Basalt freigelegt hat. Sie bilden ein Netzwerk eines gigantischen Kanal- bzw. Drainagesystems. Die Lössbedeckten Gebiete sind an dem „Flickwerkemuster“ zu erkennen; es sind vorwiegend Weizenanbaugelände. Foto/Grafik: NASA.



**Abb. ZA-4** Jokulsá Canyon, Island. Entstanden durch eine prähistorische Megaflut. Etwa 2 km unterhalb des Detifoss, des wasserreichsten Wasserfalls von Europa. Vgl. mit Abb. 6 (Palouse Canyon) des Artikels, typischer rechteckiger, kastenförmiger Canyon-Querschnitt.

Foto: Andreas Tille, 1998 (Wikimedia Commons, [wiki/File:Hafragilsundirlendi.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hafragilsundirlendi.jpg)).



**Abb. ZA-5** Wasserstandsmarken des Lake-Missoula-Eisstauesees, Missoula, USA. Zahlreiche parallele, horizontal verlaufende Marken (weiße Pfeile) vom Fuße der Berge (etwa 1000 m ü. NN) bis zu einer Höhe von etwa 1280 m ü. NN. Schrägsicht, Richtung Nordnordost. Bild: Google Earth; Pfeile: Ergänzungen des Verfassers.



**Abb. ZA-6a (links)** Wasserstandsmarken des Lake-Missoula-Eisstausees, Missoula, USA. Wie Abb. ZA-5; Schrägansicht, Richtung Osten, oberhalb der Universität von Montana, mit markanten M-Zeichen. Lokalität s. Abb. 4. Bild: Google Earth; Pfeile: Ergänzungen des Verfassers.

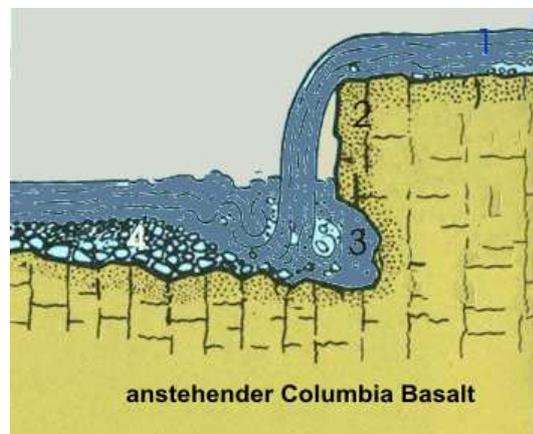
**Abb. ZA-6b (rechts)** Markierung des Höchstwasserstandes durch das Ice Age Floods Institute, 4200 Feet (ca. 1280 m ü. NN). Foto: Djembayz, 2011 (Wikimedia Commons; wikipedia/commons/3/36/Glacial\_lake\_missoula\_high\_water\_mark\_rock\_4200\_ft.jpg).



**Abb. ZA-7** Megarippeln, Camas Prairie, Montana, USA. Megarippeln (Höhe bis 20 m, Abstand bis 200 m) über die gesamte vertikale Bildfläche, Strömungsrichtung N → S (Schrägansicht, Richtung Norden); Lokalität s. Abb. 4 und unter ZM-1. Bild: Google Earth; Markierung durch den Verfasser.

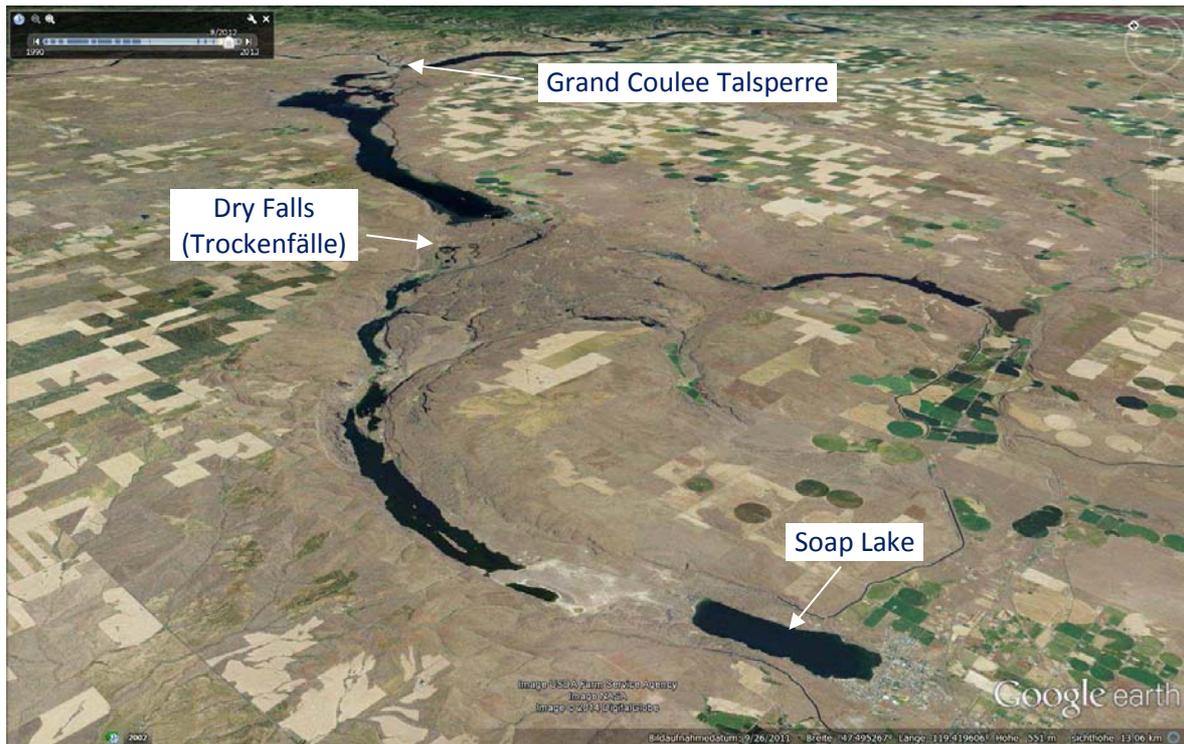


**Abb. ZA-8** Megarippeln, West Bar, Columbia River. Strömungsrichtung NW → SE (Schrägansicht, Richtung Westen); Lokalität s. unter ZM-1. Bild: Google Earth; Markierung durch den Verfasser.

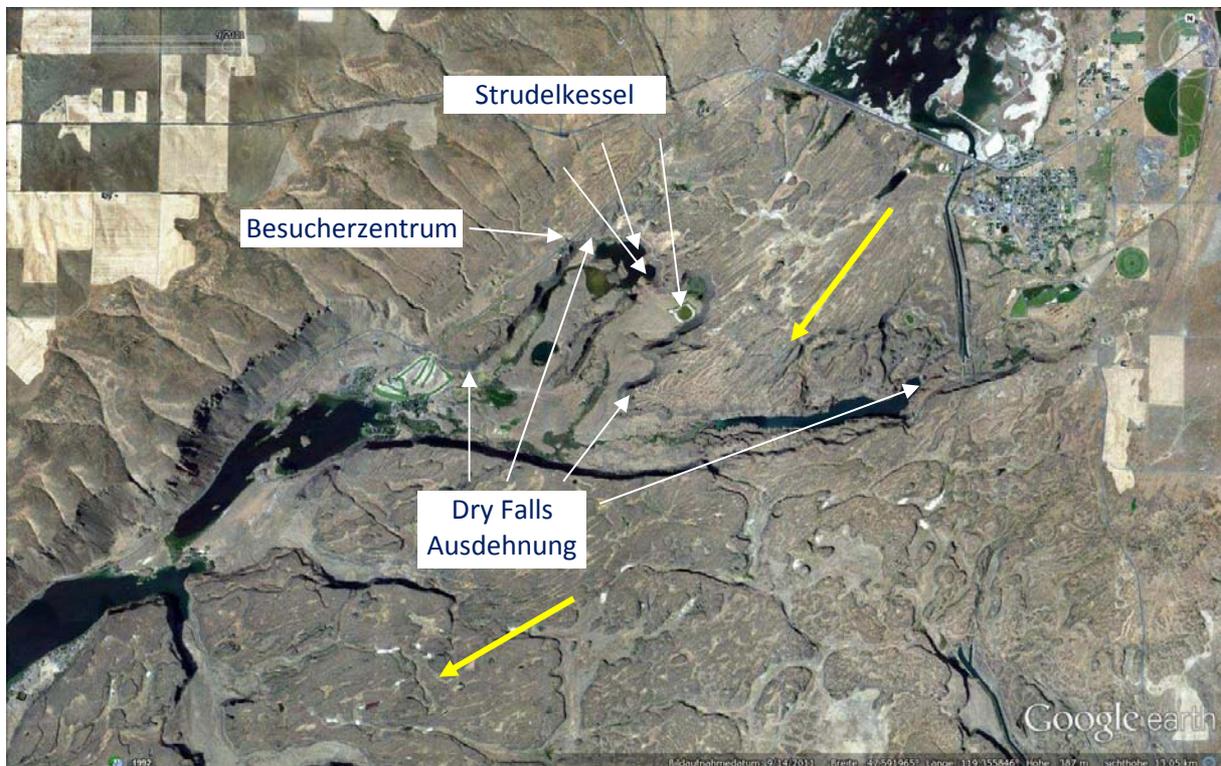


**Abb. ZA-9 (links)** Hochgeschwindigkeits-Erosion. Unterwasser-Tornados gleich reißen hydraulische Wirbel Löcher in den Untergrund. Abhängig von Wassermasse, Fließgeschwindigkeit und Materialfracht können riesige Löcher aus dem massiven Untergrund herausgemeißelt und Gesteinsbrocken ausgeschleudert werden. Grafik: Martin Ernst/Bernd Vornau (2007) nach PBS.ORG (freundl. Überlassung).

**Abb. ZA-10 (rechts)** Kolkbildung, Dry Falls. Schemazeichnung: „(1) Die Flut hat flächenhaft den anstehenden Columbia-Basalt an der Oberfläche abgeschleudert. (2) Durch Wirbel in dem Flutstrom wird das anstehende Gestein herausgefräst, wodurch steile und abgeschliffene Abbruchwände entstehen. (3) An der Basis rotieren die Wirbel mit Gesteinsmaterial so stark, dass durch ‚Auskesselung‘ Strudeltöpfe entstehen. So kann auch entgegen der Fließrichtung der Flut das anstehende Gestein weiter unterspült und damit eine Hohlkehle herausgemeißelt werden. (4) Das herausgefräste Gesteinsmaterial bleibt bei geringer Strömung in unmittelbarer Nähe liegen, ansonsten wird es durch starke Strömungen – bei der Missoula-Flut viele Kilometer weit – wegtransportiert“ (ERNST & KOTULLA 2007, 27). Grafik: Martin Ernst, modifiziert (2007) nach WWW.CR.NPS.GOV (freundl. Überlassung).



**Abb. ZA-11** Grand Coulee. Die kanalartige, 1 bis 10 km breite und bis zu 300 m tiefe Schlucht erstreckt sich von der Grand Coulee Talsperre bis zum Soap Lake über eine Länge von 80 km. Dry Falls s. Abb. ZA-12. Schrägsicht, Richtung Nordosten; die Wasserverfüllung ist künstlich. Bild: Google Earth; Beschriftungen durch den Verfasser.



**Abb. ZA-12a** Grand Coulee mit Dry Falls. Der Katarakt ist 120 m hoch und 5,5 km weit. Die Strudellöcher entstanden durch hydraulische Wirbel im schießenden Wasser in höherer Wassertiefe. Strömungsrichtung Nordost → Südwest (gelbe Pfeile), anhand der Kataraktbildung und der länglichen Einschnitte in das Untergrundgestein gut zu erkennen. Bild: Google Earth; Beschriftungen durch den Verfasser.



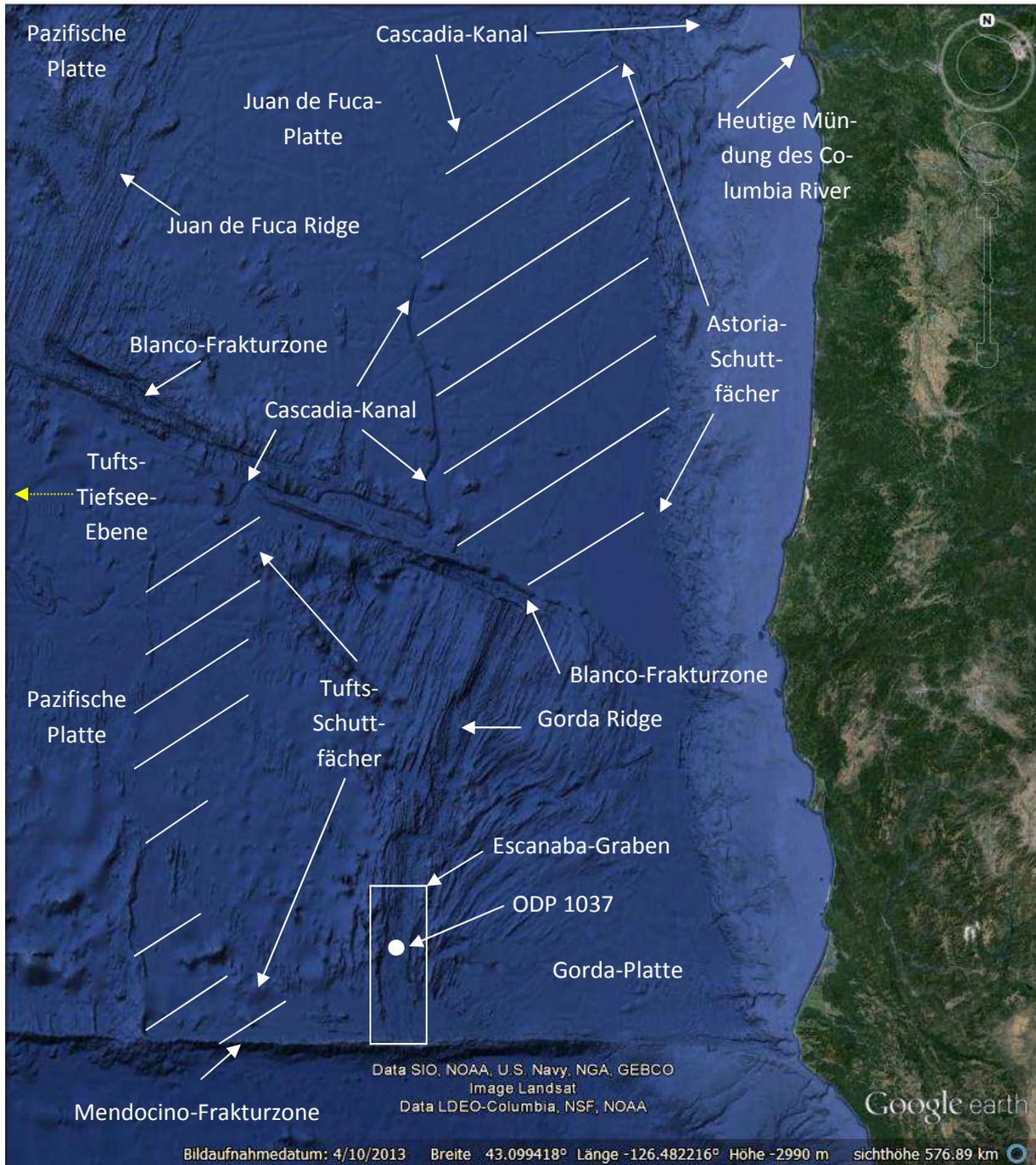
**Abb. ZA-12b** Dry Falls. Blick vom Besucherzentrum Richtung Osten auf die Kataraktwände (bis 120 m hoch) und die Strudelkessel (vgl. Abb. ZA-12a). Anstehendes Gestein: Flutbasalte, Columbia Plateau; Foto: Martin Ernst (freundl. Überlassung).



**Abb. ZA-13a** Wallula Gap. Etwa 2 km breite Talenge des Columbia River, an welcher sich die Flutwasser bis zur Anhöhe hin aufstauten. Lokalität s. Abb. 4, Punkt 9, Blick Richtung Südwesten. Foto: Martin Ernst (freundl. Überlassung).



**Abb. ZA-13b** Wallula Gap. Eine geringfügig andere Perspektive, Blick Richtung Süden. Foto: Williamborg, 2006 (Wikimedia Commons, File:Wallula-Gap--Looking-South.jpg).



**Abb. ZA-14** Die Fortsetzung der Missoula-Flutströme im Pazifischen Ozean. Als Sediment beladene, sich schnell fortbewegenden Bodenströme (Trubestrome, turbidity currents) wird die Sedimentfracht durch den untermeerischen Cascadia-Kanal den Kontinentalhang hinab transportiert. Das Material lagerte sich in Depressionen (Escanaba-Graben) und auf Tiefseeebenen (Astoria-/Tufts-Schutfächer (Schrägschraffur) sowie Tufts-Tiefseeebene) ab, teilweise über 1000 km vom Mündungsbereich des Columbia River entfernt. ODP 1037: Bohrung des Ocean Drilling Projektes bis in über 500 m Tiefe unterhalb des Seebodens. Wassertiefen: Tufts-Tiefseeebene etwa 3100-3400 m, Escanaba-Graben > 3100 m. Bild: Google Earth; Eintragungen durch den Verfasser nach NORMARK & REID (2003). Bildbreite: etwa 680 km; Bildhöhe: etwa 750 km.

## Ergänzungen (ZE)

### **ZE-1: Islands Jökulhlaups**

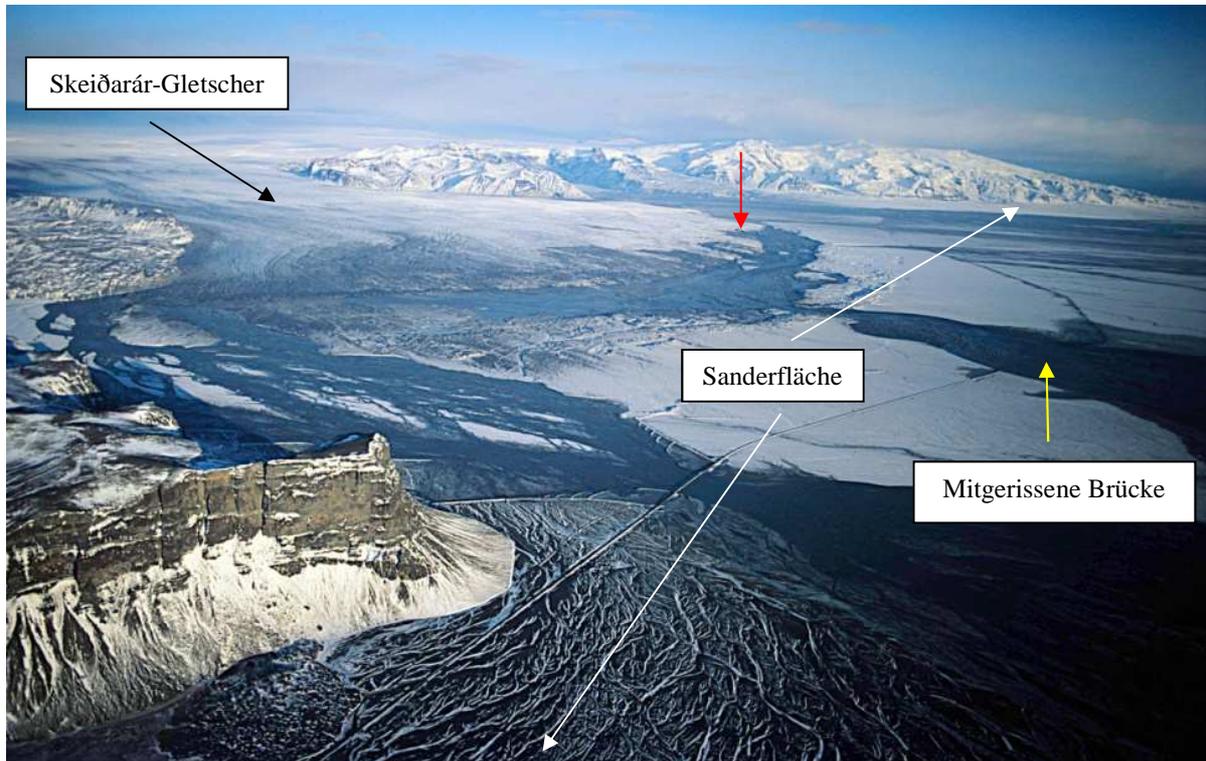
Die besonderen Gegebenheiten in Island, von Inlandeis und Schnee überdeckte aktive Vulkankomplexe, bieten ein natürliches Labor zum aktuogeologischen Studium kleindimensionierter Gletscher(see)ausbrüche. Ihr Beitrag zur Rekonstruktion von Megafluten ist allerdings limitiert. Methodologisch vermittelt der Analogieschluss zwischen der Beobachtung aktueller Phänomene und der Entschlüsselung vergangener, nicht beobachteter Phänomene.

Die lokal als Jökulhlaup (wörtlich Gletscherlauf) bezeichneten und gefährlichen Fluten treten hauptsächlich am 150 km breiten Inlandeiskomplex des Vatnajökull (wörtlich Wassergletscher) auf und entwässern dort über südlich und nördlich verlaufende Drainage-Systeme in den Nordatlantik (Abb. ZA-16). Der November-1996-Jökulhlaup ist der in der jüngsten Vergangenheit größte Gletscherlauf, der mit modernen Mitteln wissenschaftlich ausgewertet wurde (GUDMUNDSSON et al. 1997, BJÖRNSSON 2003). Es begann am 30. September 1996 mit einer vulkanischen Eruption unterhalb der 400-500 m dicken Vatnajökull-Eisdecke, entlang einer 7 km langen Naht zwischen dem Grímsvötn-Vulkan und dem nördlich gelegenen Bárðarbunga-Vulkan. Die Eruption dauerte 13 Tage und produzierte etwa  $0,5 \text{ km}^3$  vulkanisches Material. Die Schmelzwässer akkumulierten in dem 10 km entfernten Kratersee des Grímsvötn (unter schwimmenden Schelfeis), bis der Eisdamm spät am 4. November angehoben wurde. Das austretende Eisstauwasser bahnte sich langsam seinen Weg durch ein 50 km langes Tunnelsystem des Skeidarár-Gletschers. Am Morgen des 5. November allerdings, beim Austritt aus dem Gletscher, ergossen sich Fluten über die Sanderfläche des Skeiðarársandur (Abb. ZA-15). Der gesamte Inhalt des Grímsvötn-Kratersees, nahezu  $4 \text{ km}^3$ , leerte sich in nur 2 Tagen; die Flussraten erreichten bis zu  $45.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Es wurden bis zu 9 m Sediment aufgeschüttet, und die Küstenlinie wurde um 900 m meerwärts verschoben. Die eigens für solche Flutkatastrophen konstruierte, tiefverankerte Brückenkonstruktion der Ringstraße wurde in dem Teilabschnitt über den Gígjukvísl-Fluss zerstört und mitgerissen. Bereits am Folgetag, dem 6. November, klang der Gletscherlauf ab.

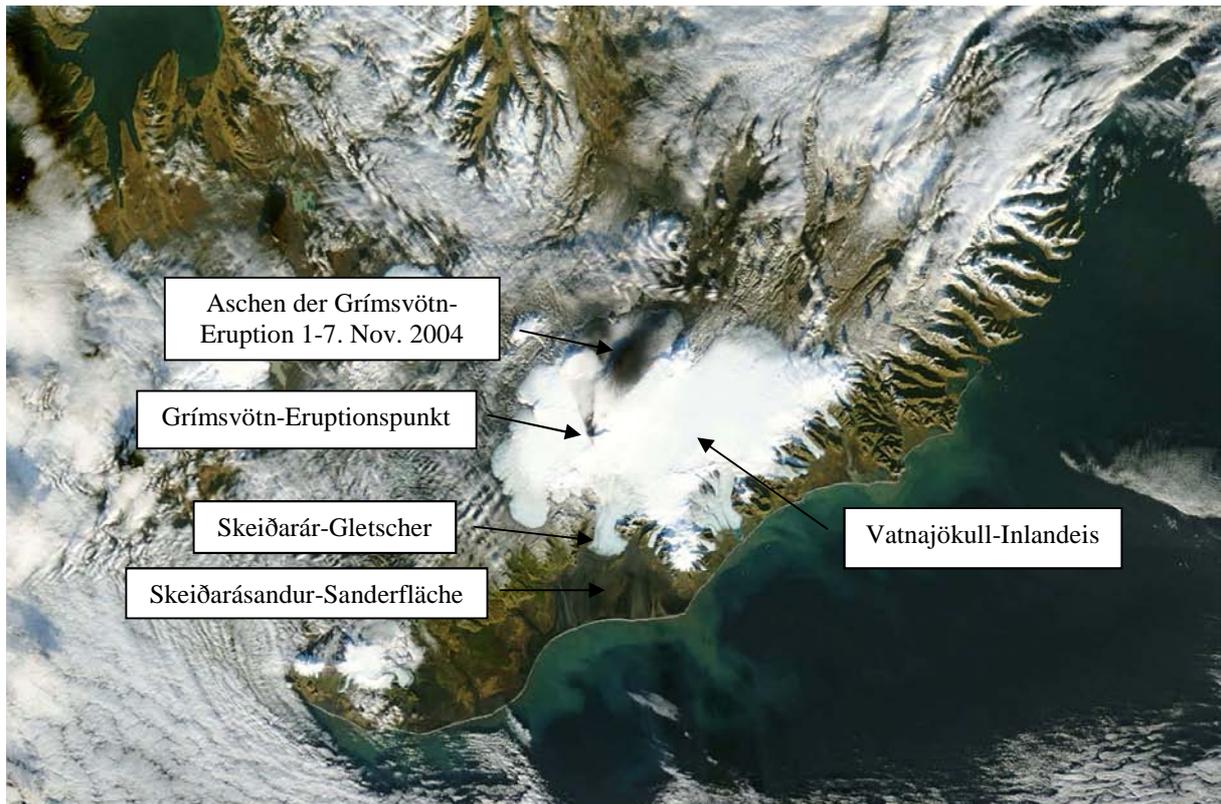
**Extrem rasche Rhythmitbildung.** An einem der Gletscheraustrittspunkte des November-1996-Jökulhlaups konnten RUSSELL & KNUDSEN (1999) in der Folge zeigen, dass rhythmische Sedimentfolgen (ABAB-Rhythmite) während einer einzigen Flut extrem rasch gebildet werden können. Bei dem untersuchten Abschnitt (Lokalität s. Abb. ZA-15) handelt es sich um 15 m mächtiges grobkörniges Sediment, welches in einer steilwandig umgrenzten Einbuchtung seitlich zum Hauptströmungskanal eines Gletscherausflusses unter niedrig-energetischen Bedingungen („Stillwasser“) gebildet wurde. In einem Aufschlussabschnitt alleine zählten sie über 80 Rhythmite; die gesamte Abfolge besteht aus etwa 300 Rhythmiten. Für die Bildung eines Rhythmits kann basierend auf dem 17 Stunden andauernden Gletscherlauf rechnerisch eine Zeitspanne von 3-4 Minuten angenommen werden. Möglich aber ist, dass die gesamte Abfolge in nur 20 bis 30 Minuten gebildet wurde, während einer Phase rhythmisch turbulenter, jeweils 4-6 Sekunden anhaltender Strömungsimpulse (s. ZM-2), die sich von den beobachteten (filmdokumentierten) diskreten Flutoberflächenwellen ableiten lassen.

Ihre Untersuchungen (S. 9) unterstützen damit die Vorstellung (Theorie) der „*Mehrfach-Rhythmitbildung während einer Flut*“ und der „*dynamischen Überflutung*“, wie es SMITH

(1993) für die Entstehung der Missoula-Flutsedimente vorgeschlagen hatte. Demzufolge ist es wahrscheinlich, dass die rhythmischen Abfolgen der Lake-Missoula-Flut ebenfalls durch ein einziges Flutereignis entstanden sind (s. ZE-3). Des Weiteren, so die Autoren, können ihre Studien dazu beitragen, die Mechanismen zur Bildung ähnlicher, rhythmischer oder impuls-gesteuerter Suspensionsablagerungen in anderen Sedimentationsumgebungen (bspw. Tiefsee-becken) aufzuklären.



**Abb. ZA-15** Vatnajökull-Gletscherlauf (Jökulhlaup), Island. Der Skeiðarár-Gletscher des Vatnajökull-Inland-eiskomplexes bildet an seinem Ende eine etwa 16 km breite Gletscherzunge. Südlich davor breitet sich die etwa 25 km lange Sanderfläche des Skeiðarársandur aus (Übersicht s. Abb. ZA-16). Der durch den Gjálp-Vulkanausbruch verursachte mächtige Gletscherseeausbruch (siehe Textteil) spülte in seiner Hochphase am 5. November 1996 einen Teil der Sanderablagerungen und der Brückenkonstruktion der Ringstraße (Bildmitte rechts, über den Gígjukvísl-Gletscherfluss, gelber Pfeil) weg. Das hier abgebildete Foto vom 6. November zeigt bereits die abklingende Phase des Gletscherlaufs. Der rote Pfeil zeigt auf die Lokalität der Ausbildung der Rhythmite (siehe Textteil, nach RUSSELL & KNUDSEN, 1999). Foto (Credit): U.S. Geological Survey/Oddur Sigurðsson; Eintragungen durch den Verfasser.



**Abb. ZA-16** Grímsvötn-Vulkaneruption, Island. Das Satellitenbild vom 16. November zeigt die Aschen der Ausbruchphase vom 1.-7. 11. 2004 (s. auch ZM-2). Die Eruption erfolgte am Abend des 1. November infolge einer Druckentlastung, die durch den Ausbruch der aufgestauten Schmelzwassermassen in der Grímsvötn-Caldera ausgelöst wurde. Foto (Credit): NASA/Jacques Descloitres, TMOA2004312; Eintragungen durch den Verfasser.

## **ZE-2: Tiefseeablagerungen der Lake-Missoula-Flut**

Die Lake-Missoula-Megaflut führte dem Pazifischen Ozean etwa  $1000 \text{ km}^3$  Sediment zu. Die Sediment beladenen, sich schnell fortbewegenden Bodenströme (Trübestrome, turbidity currents) flossen durch den untermeerischen Cascadia-Kanal; das Material lagerte sich in Depressionen und auf Tiefseeebenen ab, teilweise über  $1000 \text{ km}$  vom Mündungsbereich des Columbia River entfernt (Abb. ZA-14).

NORMARK & REID (2003) gehen von zahlreichen spätpleistozänen katastrophischen Flutereignissen aus, die in den Tiefseesedimenten repräsentiert sind. Die Zuweisung der Sedimente zu einzelnen Flutereignissen erfolgt Ereignis-basiert und mit Hilfe von Eingrenzungen durch  $^{14}\text{C}$ -Datierungen.

Die über  $500 \text{ m}$  mächtige, auf basaltischem Untergrund aufliegende Sedimentfolge des jungen Escanaba-Grabens besteht fast ausschließlich aus Turbiditen (Shipboard Scientific Party 1998). NORMARK & REID weisen die obersten 11 sandigen Turbidit-Einheiten (zusammen  $120 \text{ m}$ ) den Lake-Missoula-Flutereignissen (s. ZE-3) zu. Das unterste Sandintervall weist mit  $57 \text{ Metern}$  Dicke (!) eine extreme Mächtigkeit auf und wird als eine Turbidit-Einheit interpretiert (= ein Sedimentationsereignis); dieser untere Teil wird als Initial-Ablagerung des (größten) Flutereignisses gedeutet (M1-Intervall). Das obere sandige Turbidit-Intervall (M2) mit einer Mächtigkeit von  $63 \text{ m}$  besteht aus einer Sequenz von 10 Turbidit-Einheiten, deren mächtigste Einheit  $12 \text{ m}$  dick ist. Die Autoren gehen davon aus, dass die Sedimentabfolge nicht vollständig ist und nur die mächtigsten Trübestrome den Escabana-Graben erreicht hätten.

Das Sedimentvolumen für beide Intervalle (M1/M2) schätzen sie für jeden Ablagerungsraum auf der Basis von Sedimentkern- und seismischen Auswertungen getrennt: Tufts-Tiefseeebene (470 km<sup>3</sup>), Tufts-Sedimentfächer (315 km<sup>3</sup>), Escanaba-Graben (115 km<sup>3</sup>) und Astoria-Sedimentfächer (550 km<sup>3</sup>). Die so ermittelten insgesamt 1450 km<sup>3</sup> erachten sie als Mindestgröße. Die proportionale Aufteilung ergibt für das M1-Intervall, dem größten (initialen) Gletscherseeausbruch, ein Sedimentvolumen von mindestens 700 km<sup>3</sup>.

Die <sup>14</sup>C-Alter betragen (nach BRUNNER et al. 1999), jeweils Tiefe unter dem Meeresboden: 121,5 m: 15.482 ± 100 [<sup>14</sup>C-] Jahre; 73,1 m: 20.230 ± 160 [<sup>14</sup>C-] Jahre; 56,8 m: 15.750 ± 70 [<sup>14</sup>C-] Jahre; 21,6 m: 10.882 ± 85 [<sup>14</sup>C-] Jahre; 1,56 m: 8.762 ± 95 [<sup>14</sup>C-] Jahre. Das Datum für 73,1 m Tiefe wurde verworfen (zu hoch/nicht passend). Nach dieser Aufstellung wären die Sedimente in 121,5 m und 56,8 m Tiefe gleich alt. Dies passt zur sedimentologischen Interpretation, dass die Sedimente dieses Tiefenbereiches ein Flutereignis repräsentieren.

### **ZE-3: Eine Lake-Missoula-Flut?**

Es gibt unterschiedliche Auffassungen darüber, ob der Gletscherseeausbruch (Missoula) einmalig geschah (SHAW et al. 1999) oder ob er sich dutzende Male ereignet hat (WAITT 1980, 1984, 1985a, 1985b; ATWATER 1984, 1987; CLARKE et al. 1984; CRAIG 1987) und des Weiteren darüber, ob andere Quellen großer freiwerdender Wassermassen (bspw. aus anderen Gletscherregionen) unmittelbar beteiligt waren (ebenfalls SHAW et al. 1999).

BRETZ selbst nahm bis zu sieben Flutereignisse an, um unterschiedliche Verwitterungsercheinungen zu erklären (BRETZ et al. 1956). WAITT (1980) schlug eine Folge von sogar 40 Flutereignissen vor. Er begründete dies mit einer Serie von 40 Rhythmiten in dem Burlingame Canyon im Walla Walla Valley. Jeder Rhythmit sei durch jeweils ein Lake-Missoula-Flutereignis gebildet worden. Im Sanpoil Valley (im Nordosten) wurden sogar 89 Rhythmite ausgeschieden und als 89 Flutereignisse gedeutet (ATWATER 1984).

BAKER (2009, 6-14) fasst die aktuelle Situation wie folgt zusammen: Die Studien zur hochenergetischen (Kies und Blöcke) Fazies der spätpleistozänen Überflutungen des Channeled Scabland und angrenzender Gebiete wiesen darauf hin, dass zahlreiche der hypothetischen (möglicherweise 40 bis 100) Fluten wahrscheinlich von relativ geringer Magnitude im Vergleich zu den größten Ereignissen gewesen seien. Weitere Studien seien notwendig, um ein komplettes Bild herauszuarbeiten. Als weitere Herausforderungen nennt er u. a.: Korrelation der Seesedimente und ihre Datierung, Mechanismen der (wiederholten) Füllung des Missoula-Sees und des (wiederholten) Bruches des Eisdamms sowie weitere, zu berücksichtigende Lokalitäten/Quellen signifikanter Schmelzwasseransammlungen.

Die Interpretation der Rhythmite als jeweils ein Flutereignis wurde allerdings von SHAW et al. weitestgehend entkräftigt (s. auch ZE-1, rasche Rhythmitbildung):

**Burlingame Canyon.** Das Seitental wurde zum Rückwasserstaubecken, als sich die Lake-Missoula-Flutwasser am nahegelegenen Wallula Gap (Abb. 4, Punkt 9) aufstauten. Hierbei entstand ein See von etwa 250 m Tiefe. Eine ca. 60 m mächtige, alternierende Sand/Silt-Abfolge wird als Hochwasserschwallablagerungen (flood surge deposits) interpretiert. Die etwa 40 Rhythmite, zwischen 10 und 200 cm dick, werden von WAITT als jeweils ein Missoula-Gletscherseeausbruchereignis gedeutet, gefolgt von Dekaden oder Jahrhunderten subaerischer (unter freiem Himmel) Exposition.

---

<sup>1</sup> Klammer/Ergänzung zur Klarstellung durch den Verfasser.

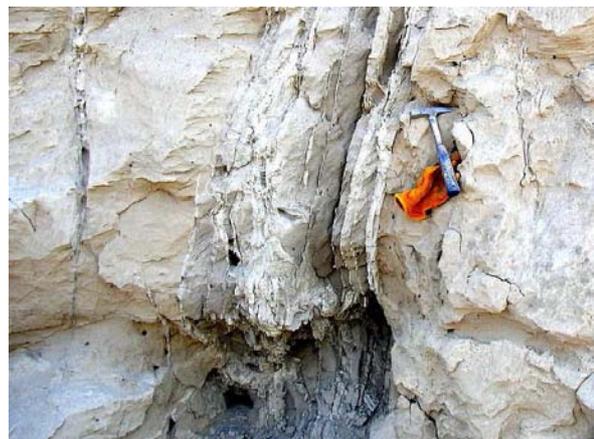
SHAW et al. beschreiben die Rhythmit-Abfolge (ABCABC-Rhythmite) wie folgt: A: eben geschichteter grober Sand und Feinkieskomponenten, B: aufwärtssteigende Rippeln und Schrägschichtung, C: massiver Silt. Zu den Argumenten von WAITT nehmen sie wie folgt Stellung:

a) Eine Tephralage (S-Lage des Mount St. Helens) in der C-Einheit eines Rhythmits soll nach WAITT subaerisch abgelagert worden sein; des Weiteren sollen alle C-Einheiten äolischer Herkunft sein. Die Aschenlage allerdings zeigt Einschaltungen von Silt und Sand, sodass eine gemeinsame aquatische Ablagerung nach SHAW et al. plausibler erscheint. Dies gilt insgesamt auch für die gesamte C-Einheit. Die Löss-Fraktion der Einheit ist aufgemischt und ebenfalls aquatisch abgelagert.

b) Partielle Ausspülungen (Erosion) der abgelagerten Sedimente sind auf die basalen Einheiten beschränkt. Wäre jeder Rhythmit ein Flutereignis sollten solche Ausspülungen über alle Rhythmite verteilt sein.

c) Klastische Gänge (Intrusionen) durchschneiden zahlreiche Schichten und manchmal auch die gesamte Rhythmit-Abfolge (Abb. ZA-18). Die klastischen Gänge müssen sich unter Druck und nach Ablagerung der gesamten Folge gebildet haben (syndementär); ansonsten wäre anzunehmen, dass jeder Rhythmit seine eigene Gangstruktur aufweisen würde. Die rasche Entwässerung des Sees könnte erhöhte Drücke zur Bildung dieser Gänge (also über den lithostatischen Druck hinaus) bewirkt haben.

**Sanpoil Valley.** Die 89 Rhythmite in Sanpoil Valley enthalten keine basaltischen Bruchstücke und können deshalb nicht dem Lake-Missoula-Flutereignis zugerechnet werden. SHAW et al. vermuten, dass sie durch Schmelzwasser einer anderen Region der Kordillerischen Eisdcke entstanden.



**Abb. ZA-17 (links)** Touchet-Formation nahe Lowden, Walla Walla Flusstal, Bundesstaat Washington. Die bis zu etwa 60 m mächtige, alternierende Sand/Silt-Abfolge (Rhythmithe) wird als Hochwasserschwallablagerungen (flood surge deposits) interpretiert. Es ist umstritten, ob jeweils ein Rhythmit ein Flutereignis repräsentiert oder die gesamte Abfolge während eines Flutereignisses entstand (siehe Textteil). Foto: Williamborg, 2006 (Wikimedia Commons; wiki/File:Touchet-formation-2.JPG).

**Abb. ZA-18 (rechts)** Klastischer Gang. Die Gänge (Intrusionen) durchschneiden zahlreiche Schichten und manchmal auch die gesamte Rhythmit-Abfolge. Ihre Formung lässt auf nur ein Lake-Missoula-Megaflutereignis schließen (siehe Textteil). Foto: Williamborg, 2006 (Wikimedia Commons; wiki/File:Touchet-formation-clastic-flows-tcht-rvr.JPG).

**Fazit (ZE-1 bis ZE-3).** Es scheint wahrscheinlich, dass die Rhythmite (Walla Walla Valley) ein Flutereignis repräsentieren. Die Tiefseeablagerungen im Escanaba-Graben (s. o. ZE-2) legen den Schluss nahe, dass es sich um *ein* („großes“) Megaflutereignis (*die* Lake-Missoula-Flut) handelt; die nachfolgenden (Sedimentations-) Ereignisse können demnach entweder das Abklingen der Flut oder („kleinere“) Flutereignisse danach repräsentieren. Der Verfasser geht nach dem jetzigen Kenntnisstand nur von einer Lake-Missoula-Flut hoher Magnitude aus.

#### **ZE-4: Schmelzwasser-Megafluthypothese**

Ungeklärt und umstritten sind die Prozesse, die solch markante Formen wie Drumlins, Rogenmoränen (mosaikartiges Muster aus Gesteinsschuttrücken), Tunnelkanäle und großdimensionierte, spindelförmige Kolkmarken am Untergrund der Eismassen gebildet haben. Während SHAW (1989, 2010) die Strukturen durch schießende Untergrundwasser erklärt (Schmelzwasser-Megafluthypothese), vertreten CLARKE et. al (2005) und andere die traditionelle Auffassung subglazialer Eisdeformationsprozesse beim Überfahren des Untergrundes.

#### **Literatur (ZL)**

- ATWATER BF (1984) Periodic floods from Glacial Lake Missoula into the Sanpoil arm of Glacial Lake Columbia, northeastern Washington: *Geology* 12, 464–467.
- ATWATER BF (1987) Status of glacial Lake Columbia during the last floods from glacial Lake Missoula: *Quaternary Research* 27, 182–201.
- BJÖRNSSON H (2003) Subglacial lakes and jökulhlaups in Iceland. *Global Planet. Change* 35, 255–271.
- BRETZ JH, SMITH HTU & NEFF GE (1956) Channeled scabland of Washington; new data and interpretations. *Geological Society of America Bulletin* 67, 957–1049.
- BRUNNER CA, NORMARK WR, ZUFFA GG & SERRA F (1999) Deep-sea sedimentary record of the late Wisconsin cataclysmic floods from the Columbia River. *Geology* 27, 463–466.
- CLARKE GKC, MATHEWS WH & PACK RT (1984) Outburst floods from Glacial Lake Missoula: *Quaternary Research* 22, 589–599.
- CLARKE GKC, LEVERINGTON DW, TELLER JT, DYKE AS & MARSHALL SJ (2005) Fresh arguments against the Shaw megaflood hypothesis: reply to comments by David Sharpe on ‘Paleohydraulics of the last outburst flood from Glacial Lake Agassiz and the 8200 BP cold event’. *Quaternary Science Reviews* 24, 1533–1541.
- CRAIG RG (1987) Dynamics of a Missoula flood. In: MAYER LB & NASH D (eds.) *Catastrophic flooding: Binghamton Symposia in Geomorphology, International Series 18*, 305–332.
- ERNST M & KOTULLA M (2007) Die Lake-Missoula-Flut. *Factum* 8/07, 22–30.
- GUDMUNDSSON MT, SIGMUNDSSON F & BJÖRNSSON H (1997) Ice–volcano interaction of the 1996 Gjálp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland. *Nature* 389, 954–957.
- MALDE HE (1968) The catastrophic late Pleistocene Bonneville Flood in the Snake River Plain, Idaho. U.S. Geological Survey Professional Paper 596, 1–52.

- MONTGOMERY DR, HALLET B, LIU YL, FINNEGAN N, ANDERS A, GILLESPIE A & GREENBERG HM (2004) Evidence for Holocene megafloods down the Tsangpo River gorge, southeastern Tibet. *Quaternary Research* 62, 201–207.
- O'CONNOR JE (1993) Hydrology, hydraulics and sediment transport of Pleistocene lake Bonneville flooding on the Snake River, Idaho. *Geological Society of America Special Paper* 274, 1–83.
- RUSSELL AJ & KNUDSEN Ó (1999) An ice-contact rhythmite (turbidite) succession deposited during the November 1996 catastrophic outburst flood (jökulhlaup), Skeiðarárjökull, Iceland. *Sediment. Sedimentary Geology* 127, 1–10.
- SHAW J, MUNRO-STASIUK M, SAWYER B, BEANEY C, LESEMANN J-E, MUSACCHIO A, RAINS B & YOUNG RR (1999) The Channeled Scabland: Back to Bretz? *Geology* 27, 605–608.
- SHAW J (2010) In defence of the meltwater (megaflood) hypothesis for the formation of subglacial bedform fields. *Journal of Quaternary Science* 25, 249–260.
- Shipboard Scientific Party (1998) Escanaba Trough: reference site (site 1037). In: FOUQUET Y, ZIERENBERG RA, MILLER DJ et al. (eds.) *Proc. Ocean Drilling Program, Initial Reports* 169, 205–252.
- SMITH GA (1993) Missoula flood dynamics and magnitudes inferred from sedimentology of slack-water deposits on the Columbia Plateau, Washington. *Geol. Soc. Am. Bull.* 105, 77–100.
- TOMASSON H (1996) The jökulhlaup from Katla in 1918. *Annals of Glaciology* 22, 249–254.
- WAITT RB (1980) About forty last-glacial Lake Missoula jökulhlaups through southern Washington. *J. Geol.* 88, 653–679.
- WAITT RB (1984) Periodic jökulhlaups from Pleistocene Glacial Lake Missoula—New evidence from varved sediment in northern Idaho and Washington: *Quaternary Research* 22, 46–58.
- WAITT RB (1985a) Case for periodic, colossal jökulhlaups from Pleistocene glacial Lake Missoula: *Geological Society of America Bulletin* 96, 1271–1286.
- WAITT RB (1985b) Periodic jökulhlaups from Pleistocene Glacial Lake Missoula; new evidence from varved sediments in northern Idaho and Washington: Reply: *Quaternary Research* 24, 357–360.

Anmerkung: ggfs. hier fehlende Literaturangaben sind im Literaturverzeichnis des Artikels enthalten.