

Neuer Canyon am Oroville-Staudamm – Ausgebrochener Wasserstrom verursacht schnelle Erosion

Für das Phänomen der Erosion liegen neue Beobachtungsdaten vor: Der Wasserstrom, der seitlich aus der beschädigten Überlaufrinne des Oroville-Staudamms (Kalifornien) ausgebrochen war, ließ binnen Tagen einen beachtlichen Canyon entstehen. Das Geschehen im Februar dieses Jahres ist u. a. durch zahlreiche Foto- und Filmaufnahmen gut dokumentiert.

Michael Kotulla

Erst nachdem der Wasserstand im Oroville-Staudamm nachhaltig unter die 850-Fuß-Zielmarke¹ gesenkt werden konnte, war der Wasserfluss am Kontroll-Überlauf gestoppt worden. Die Gischt hatte über Tage die Sicht behindert (Abb. 3 und 5), nun war aber das Ausmaß der Erosion offenbar (Abb. 1): Die betonierte Abflussrinne war im unteren Mittelteil zerstört und weggerissen. Neben der künstlichen Rinne war ein Canyon entstanden, einige Zehner Meter tief und einige Hundert Meter lang (Abb. 6). Und am Fuße des neuen Canyons, im Flussbett des Feather River, hatten sich schätzungsweise 1 Million Tonnen Schutt angehäuft.

Abb. 1 (oben) Oroville-Staudamm, nachdem der Abfluss gestoppt wurde. Übersichtsaufnahme; von rechts nach links: Staumauer (Höhe 235 m), am Fuß Feather River; die zerstörte Überlaufrinne, daneben (rechts) der neugeschaffene Canyon, am Fuß das Schuttfeld; Notfall-Überlauf mit neu befestigtem Wehr. (Foto/Credit: Dale Kolke/California Department of Water Resources; 27. 2. 2017)

Die grauen Brocken im Flussbett, kantig und zum Teil metergroß, sind von dem schießenden Wasser regelrecht aus dem Felsverband herausgemeißelt und abgesprengt worden (Abb. 7). Bei dem Fels handelt es sich um metamorphisierte vulkanische Gesteine² (im frischen Zustand

Abb. 2 Erodierter Überlaufrinne, Schrägsicht. **a** 7. 2. 2017, **b** 9. 2. 2017 nach Testläufen. Rückschreitende Erosion (gelbe Pfeile); die Front hat sich nicht verändert (schwarze Pfeile). (Foto/Credit: Kelly M. Grow/California Department of Water Resources)

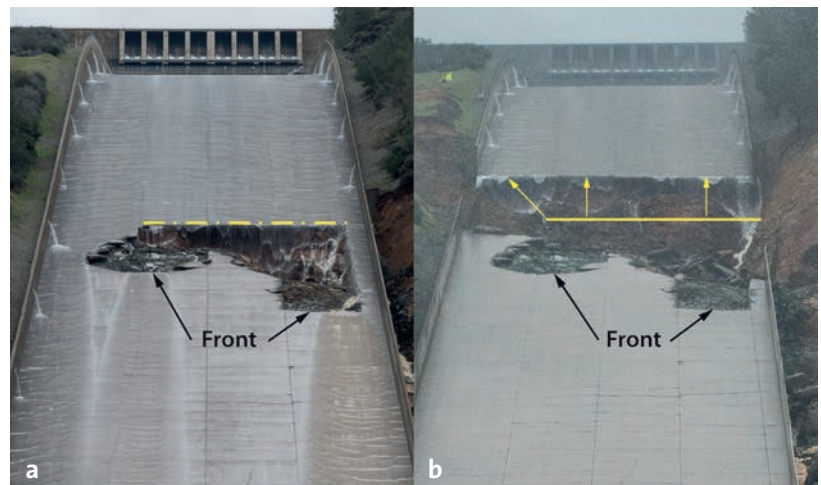




Abb. 3 Fortsetzung der Flutung, 9. 2. 2017, nachmittags. Die Überlauf Rinne wird „aufgegeben“. Der oberflächennahe Untergrund neben der Rinne wird zerrieben und färbt das Wasser orangebraun. (Foto/Credit: Kelly M. Grow/California Department of Water Resources)



Abb. 4 Gravierende Erosion am Notfall-Überlauf (Markierung). Es besteht das Risiko einer Unterspülung und des Bruchs des Wehrs. Weiter unten: weggespülte Straße und Entstehung eines Abflusskanals. (Foto/Credit: Kelly M. Grow/California Department of Water Resources)



Abb. 5 Situation am 15. 2. 2017. Der Abflussstrom hat sich bereits in den frischen, harten Felsuntergrund eingeschnitten; die Gischt ist nicht mehr orangebraun gefärbt. Links der Abflussweg unterhalb des Notfall-Wehrs; die graue Farbe deutet an, dass auch hier die Erosion bereits im frischen Felsuntergrund wirkte. (Foto/Credit: Dale KOLKE/California Department of Water Resources)

graue Farbe), deren oberer Teil (thermisch?) verändert, alteriert, und weniger resistent ist (orangebraune Farbe). Dieses alterierte Gestein ist im Vergleich zum frischen Fels weitestgehend aufgerieben worden (orangebraune Gischt, Abb. 3; vgl. weiße Gischt in Abb. 5).

Zu Beginn der Krise war befürchtet worden, dass die anfangs im Mittelteil beschädigte Überlauf Rinne (Abb. 2a) durch den Wirkmechanismus der rückschreitenden Erosion weiter nach oben hin „weggefressen“ werden würde und gar die Staumauer angegriffen werden könnte. In der Tat geschah dies auch zunächst noch (Abb. 2b), dann aber scheint sich die Energie im eingegengten Strömungsquerschnitt neben der Überflus Rinne konzentriert und dort für die massive Einschnidung gesorgt zu haben.

Den Entscheidungsträgern blieb keine Wahl (s.u.). Sie mussten die Zerstörung der betonierten Abfluss Rinne in Kauf nehmen, denn es war abzusehen, dass im neuen Abfluss neben der Abfluss Rinne „kontrolliert“ tiefenerodiert wurde, also keine Flächenerosion bzw. ein weiteres seitliches Ausbrechen in Richtung der Staumauer zu befürchten war.

Die initiale Ursache der Beschädigung – dass das schießende Wasser Angriffspunkte zur Zerstörung der Betonrinne hatte – und auch Umfang und Wirkmechanismen der Erosion werden von Ingenieuren und Geologen eingehend untersucht werden. Hier sind entsprechende Sach- und Fachpublikationen zu erwarten.

Die maximale Fluss- bzw. Abflussrate in dem Felseinschnitt – $2800 \text{ m}^3/\text{s}$ (über 4 Tage), reduziert um den Anteil, der über die Schussrinne abfloss – ist vergleichbar mit kleineren isländischen Gletscherläufen (isl.: *jökulhlaup*) mit Raten von 10^3 bis $10^4 \text{ m}^3/\text{s}$ und um Größenordnungen niedriger als eine Megaflut mit Raten von $\geq 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (vgl. BAKER 2013, KOTULLA 2014).

Beobachtungsdaten stehen im Kontrast zur Vorstellung, Fluss-Canyons bildeten sich in langen Zeiträumen.

Dieses Ereignis beobachteter Erosion bietet die seltene Gelegenheit, die Bildung eines Canyons zu analysieren und Modelle zu testen, die für die Rekonstruktion großskaliger Bildungen der Vergangenheit angewendet werden. Denn nach wie vor ist die Vorstellung weit verbreitet, dass sich tief eingeschnittene Fluss-Canyons (z. B. Grand Canyon) durch moderate Ströme nur langsam bildeten, in geologischen Zeiträumen, denen teilweise Millionen Jahre zugewiesen werden; im Kontrast hierzu aber stehen Beobachtungsdaten, die vielmehr hochenergetische und rasche Erosionsereignisse nahelegen (ausführliche Diskussion siehe ERNST 2010).³

Der Oroville-Staudamm

Der 1968 fertiggestellte Oroville-Staudamm im Norden Kaliforniens am Rande der Sierra Nevada, etwa 200 km NNO San Francisco, dient hauptsächlich der Versorgung mit Wasser. Das Rückhaltevermögen beträgt etwa 4 km³ Wasser. Der Kontroll-Überlauf (control spillway) ist ein Einlassbauwerk mit einer nachgelagerten Schussrinne, die knapp 1 km lang und etwa 50 m breit ist und über 200 Höhenmeter tief zum Feather River hinabführt; dabei erreichen die Abflussströme Geschwindigkeiten von bis zu 80 km/h. Der seitlich (NW) angelegte Notfall-Überlauf (emergency spillway) ist lediglich ein Wehr; der Überlaufweg zum Fluss ist ein entsprechend breiter, steiler Hang.

Die Krise im Februar 2017 – Chronologie der Ereignisse⁴

Am 7. Februar war ein unregelmäßiges Fließverhalten im mittleren Teil der Überlaufrinne festgestellt worden; eine Unterbrechung zeigte die Ursache: Die betonierte Rinne war über Zehner Meter gravierend beschädigt, es klaffte ein großes Loch, das Abflusswasser war bereits seitlich nach rechts (SO) ausgebrochen (Abb. 2a). Die herausgebrochenen Betonteile waren bereits weggespült. Es wurden sofort Notmaßnahmen eingeleitet, u. a. die zusätzliche Befestigung des Wehrs am Notfall-Überlauf sowie die Durchführung von Testläufen am Kontroll-Überlauf zur Abschätzung der zerstörerischen Wirkung durch die Erosion (Abb. 2b). In Befürchtung einer Zuspitzung der Lage – der Seespiegel war 30 Fuß über die Zielmarke von 850 Fuß gestiegen und weitere starke Zuflüsse wurden in den nächsten 48 Stunden erwartet – wurde am 9. Februar der Kontroll-Überlauf wieder dauerhaft geöffnet (Abb. 3), zunächst mit einem Volumen von 1120, dann 1820 und schließlich 1540 m³/s. Tatsächlich stieg der Seespiegel durch enorme Zuflüsse auf ein Niveau von über 901 Fuß (275 m; Nacht vom 11. zum 12. Februar). Dies führte zu einem Austritt (Überfall) des aufgestauten Seewassers am Wehr des Notfall-Überlaufs; erstmals in der Geschichte des Staudamms. Die Erosion am Notfall-Überlauf allerdings wirkte schneller und einschneidender als angenommen; es wurde noch am 12. Februar eine Pflicht-Evakuierung des Oroville-Gebietes (etwa 200.000 Einwohner) veranlasst. Gleichzeitig wurde die Ausflussrate auf 2800 m³/s gesteigert, und in der Nacht vom 12. auf den 13. Februar wurde damit schließlich der Überfall am Wehr des Notfall-Überlaufs gestoppt. Die Schäden dort waren gravierend (Abb. 4); rechtzeitig war eine wahrscheinliche



Abb. 6 Der neue Canyon aus einer anderen Perspektive; 27. 2. 2017. (Foto/Credit: Dale Kolke/California Department of Water Resources)

Unterspülung und ein möglicher Bruch des Wehrs verhindert worden. Am 14. Februar wurde die Pflicht-Evakuierung aufgehoben. Aufgrund eines stetigen Falls des Seespiegels konnte auch der Abfluss am Kontroll-Überlauf stufenweise reduziert werden (16. und 18. Februar), für den Zeitraum 23. bis 27. Februar auf 1400 m³/s. Nach dem 24. Februar sank der Seespiegel unter die Zielmarke von 850 Fuß. Am 27. Februar schließlich – nach 18 Tagen – wurde der Abfluss bis auf Weiteres für eine Bestandsaufnahme sowie Aufräum- und Reparaturarbeiten gestoppt (Abb. 7).

Anmerkungen

- ¹ 1 Fuß = ca. 0,305 m.
- ² Gesteine des Smartville-Komplexes. Nach der geologischen Karte des Department of Water Resources vom 2. 8. 2003, Plate G, Appendix A, Signatur „Js“: u. a. metamorphisierte Vulkanite; nach der geologischen Karte des Chico Quadrangle, Map No. 7A, Sheet 1, Signatur „mv“: vulkanische Gesteine.
- ³ Siehe auch „Entstehung von Canyons“: DVD-Rei-

Abb. 7 Der Tag danach – Geologen beginnen ihre Untersuchungen; 28. 2. 2017. Die unebene, unregelmäßige Oberfläche des blaugrauen vulkanischen Gesteins zeugt von einer „absprengenden“, erosiven Wirkung. (Foto/Credit: Brian BAER/California Department of Water Resources)



- he defacto, Folge 2. (<http://www.wort-und-wissen.de/index2.php?artikel=medienstelle/dvd/defacto2.html>)
- ⁴ Nach einem Bericht des California Department of Water Resources: „Lake Oroville Spillway Incident: Timeline of Major Events February 4–25“; Zugriff 7. März 2017. (<http://www.water.ca.gov/oroville-spillway/index.cfm>)

Literatur

- BAKER VR (2013) Global late quaternary fluvial paleohydrology: With special emphasis on paleofloods and megafloods. In: SHRODER JF (ed.) Treatise on Geomorphology, Vol. 9, 511–527.
- ERNST M (2010) Bildung eines Canyons in nur 3 Tagen. Stud. Integr. J. 17, 88–92.
- KOTULLA M (2014) Megafluten. Stud. Integr. J. 21, 4–11.

Dino-Federn in Bernstein?

Ein neuer Bernsteinfund sorgt für Furore: Erstmals wurden federähnliche Strukturen zusammen mit Knochenstrukturen *in Bernstein* entdeckt. Die Zuordnung des eingeschlossenen Schwanzwirbelsäulenfragments zu einem Dinosaurier aus der Gruppe der Coelurosaurier erscheint allerdings nicht gesichert. Der Federaufbau entspricht keiner bekannten Federstruktur und passt nicht gut zum derzeit favorisierten Federentstehungsmodell. Mit 99 Millionen radiometrischen Jahren (mittlere Kreide) ist der Fund viel zu jung, um Auskunft über eine hypothetische Evolution von Federn zu geben, da bereits der berühmte „Urvogel“ *Archaeopteryx* und andere Gattungen aus dem Oberjura und der Unterkreide moderne Federn besaßen.

Reinhard Junker

Bernstein-Einschlüsse (Inklusen) bieten faszinierende Einblicke in die frühere Lebewelt. Ungezählte Insekten, Spinnentiere, Pflanzenteile, Mikroorganismen und in selteneren Fällen sogar Frösche, kleine Echsen oder Federn sind dadurch erhalten. Nun wurde erstmals ein kurzer Abschnitt (ca. 36 mm) eines (Dinosaurier-?) Schwanzes, an dem sich Wirbel abzeichnen, in einem Bernstein beschrieben (XING et al. 2016a); das Stück wurde auf einem Bernsteinmarkt in Myanmar erworben und stammt aus einer der dortigen Bernsteinminen. Das Besondere an dieser Inkluse: Der Schwanz ist nicht nur von Wirbeln durchzogen; an seiner Oberfläche ist auch ein Besatz von federähnlichen Anhängen erhalten. Damit wurden erstmals federähnliche Strukturen *zusammen mit Knochen in Bernstein* entdeckt. Außerdem bietet der Fund Einblicke in die räumliche Anordnung der fiederigen Strukturen. Auch in dieser Hinsicht ist der detailreiche Fund aus Schichten der mittleren Kreide Myanmars, die radiometrisch auf 99 Millionen Jahre datiert werden, interessant.

Bei den zahlreichen bisher beschriebenen Dinosaurierfossilien mit flaumartiger Körperbedeckung sind wegen schlechter Erhaltung die Details der Körperanhänge oft nicht genau rekonstruierbar, außerdem handelt es sich dabei um Kompressionsfossilien, d. h. deren Überreste sind zusammengedrückt und quasi nur 2-dimensional erhalten.

Aufgrund von wenigen und wenig spezifischen Merkmalen der erkennbaren Wirbel wa-

gen die Autoren eine Zuordnung des Fossils zu den Coelurosauriern („Hohlschwanzechsen“); die abgeleitete geringe Größe interpretieren sie als Hinweis auf ein Jugendstadium. XING et al. vermuten, dass das Tier spatzengroß war; wie groß es in ausgewachsenem Zustand war, ist schwer abzuschätzen. Coelurosaurier sind eine größere Gruppe unter den Dinosauriern; sie werden in zahlreiche Untergruppen unterteilt, zu denen auch die Deinonychosauriden gehören, die als nächstverwandt mit den Vögeln gelten (sie werden von den meisten Forschern als Schwestergruppe der Vögel angesehen). Auch die Tyrannosauriden gehören zu den Coelurosauriern; diese Gruppe ist also sehr vielseitig. Eine präzisere Zuordnung zu einer Familie innerhalb der Coelurosaurier ist nicht möglich.

Aus Größe und Form der Wirbel des erhaltenen Bruchstücks schließen die Autoren, dass das Tier mindestens 15, wahrscheinlich über 25 Wirbel besaß. Zum Vergleich: Der berühmte „Urvogel“ *Archaeopteryx* besaß 23 Schwanzwirbel, der Urvogel *Jeholornis* bis zu 27 (ZHOU & ZHANG 2003); deren Schwänze waren daher als Fiederschwänze ausgebildet. Die Autoren halten es aufgrund morphologischer Details der Wirbel allerdings für unwahrscheinlich, dass der Fund zu solchen Fiederschwanz-Vögeln gestellt werden könnte. (Heutige Vögel besitzen einen Fächerschwanz, der an einem Pygostyl – einigen verwachsenen Schwanzwirbeln – ansetzt; das trifft auch auf die meisten fossilen Vögel aus der Kreide zu.)