

Wenn das Gletscherwasser kommt

Gletscherentwicklung und Hochwasserschutz unter klimatischen Veränderungen an der Lenk

Isabelle Kull ¹(isabelle.kull@geotest.ch)

Andrea Pozzi ²(andrea.pozzi@nipo.ch)

Daniel Tobler ¹(daniel.tobler@geotest.ch)

Markus Zimmermann ³(markus.zimmermann@ndr.ch)

¹ GEOTEST AG, Zollikofen

² Niederer + Pozzi Umwelt AG

³ NDR Consulting GmbH

Résumé

La vidange soudaine du lac glaciaire de Faverges sur le glacier de la Plaine Morte a entraîné des inondations répétées à Lenk ces dernières années. Depuis 2011, le lac, qui s'étend chaque année, s'écoule chaque été sous les glaces en direction de Lenk. En 2018, lors de la vidange du lac, le débit a atteint l'ampleur d'une crue tricentenaire et a entraîné des dommages dans la zone urbanisée et un changement massif du bilan du lit du chenal. Comme mesures immédiates, des travaux de stabilisation ont été effectués en guise de mesures immédiates. Selon les prévisions glaciologiques, une augmentation continue du volume du lac et de son débit de pointe est attendue d'ici 2050. Diverses mesures de protection ont été évaluées au niveau du glacier pour protéger le village. Enfin, au printemps 2019, un canal de drainage artificiel a été construit dans la glace. Grâce à cette mesure, le volume du lac a été réduit en 2019 et l'eau a pu être évacuée sans dommages. Cela donnera maintenant le temps de lutter contre le risque résiduel restant en évaluant les mesures à prendre au fond de la vallée.

Zusammenfassung

Abrupte Entleerungen des Gletscherrandsees Faverges auf dem Plaine Morte Gletscher haben in den letzten Jahren an der Lenk wiederholt zu Überflutungen geführt. Der jährlich grösser werdende See entleert sich seit 2011 jeden Sommer subglazial in Richtung

Lenk. 2018 erreichte der Abfluss während der Seeentleerung das Ausmass eines 300-jährlichen Hochwassers und führte zu Schäden im Siedlungsgebiet und zu einem massiven Systemwechsel im Geschiebehalt des Gerinnes. Als Sofortmassnahmen wurden Stabilisierungsarbeiten am Gerinne vorgenommen. Gemäss glaziologischen Prognosen ist bis 2050 mit einer weiteren Zunahme des Seevolumens und der Abflussspitzen zu rechnen. Zum Schutz des Dorfes wurden verschiedene Schutzmassnahmen am Gletscher evaluiert. Im Frühling 2019 wurde schliesslich ein künstlicher Entwässerungskanal im Eis realisiert. Dank dieser Massnahme konnte das Seevolumen 2019 reduziert und der See schadenfrei abgeleitet werden. Damit wird nun Zeit gewonnen, um dem verbleibenden Restrisiko mit der Evaluation von Massnahmen im Talboden begegnen zu können.

Ausgangslage

Der Plaine Morte Gletscher liegt westlich des Wildstrubels in den Berner Alpen (Abb. 1). Der flache Plateaugletscher entwässert hauptsächlich nach Norden in Richtung Lenk. Seit die Gletscheroberfläche unter das Niveau der südöstlichen Wasserscheide abgeschmolzen ist, kann oberflächliches Schmelzwasser nicht mehr ins Wallis entwässern. So entstand im Verlauf der letzten Jahrzehnte der Gletscherrandsee Faverges. 2011 wurde erstmals eine Gletscherseeentleerung in Richtung Lenk beobachtet. Seither entleert sich der wachsende Gletschersee alljährlich im Hochsommer. Im Sommer 2018 führte die abrupte Entleerung des Gletschersees zu einem ausserordentlichen Hochwasser im Talboden. Dabei wurde die alte Sperre im Boden des Retzliberg (Abb. 3) zerstört und die dahinter aufgestauten Feststoffe weitgehend erodiert worden.

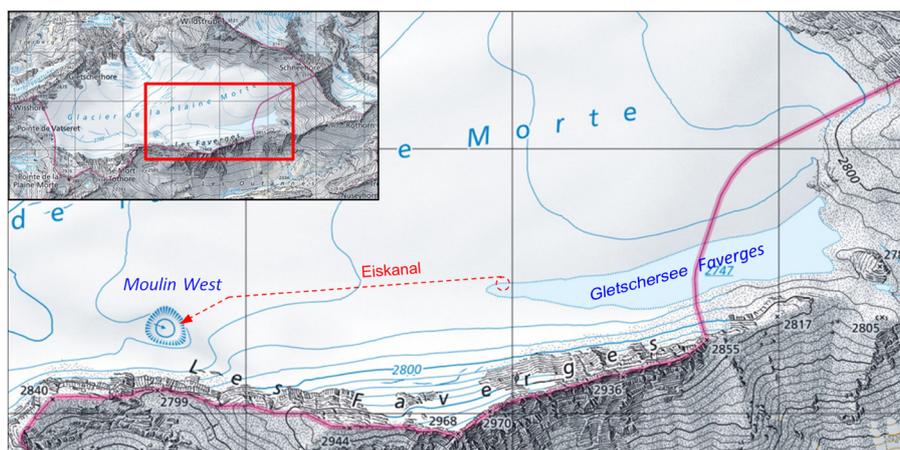


Abbildung 1: Lage des Gletschersees Faverges auf dem Plaine Morte Gletscher (SwissTopo).

Der Sedimenthaushalt hat sich in der Simme durch dieses Ereignis stark verändert. Die Folge waren grosse Schäden im Dorf Lenk.

ausserordentliches Ereignis bezeichnet werden.

Entleerungen des Gletschersees

Der Gletschersee entsteht jeweils mit der Schneeschmelze ab Mai. Die Seeentleerung beginnt typischerweise dann, wenn sich subglaziale Schmelzwasserkanäle plötzlich mit dem Gletschersee verbinden. Im Hochsommer entleerten die bis zu 2 Mio. m3 Wasser innerhalb 1-8 Tage durch subglaziale Kanäle. Das Abflussverhalten variierte bisher allerdings von Jahr zu Jahr (Abb. 2). Der Abfluss der Simme an der Lenk hat während des Seeausbruchs teilweise bis zu einem Faktor 5 zugenommen. Das Frühwarn- und Alarmsystem besteht aus Drucksonden, Webcams und einem Pegelradar zur Überwachung des Seepiegels und den Abfluss unterhalb des Gletschertors. Bei Überschreiten der Schwellenwerte werden die lokalen Behörden über SMS alarmiert. Der Alarm löst im Dorf Lenk je nach Ereignisgrösse u.a. eine Evakuierung von Gefahrengebiete aus.

Auswirkungen der Gletscherseeentleerung 2018 im Talboden

Die Gletscherseeentleerung führte im Unterlauf zu einem Kollabieren der Retzlberg-Sperre (Abb. 3 und 4), wodurch das Gerinne in diesem Bereich vollständig ausgeräumt wurde. Das Verteilwerk Barbarabrücke versagte und ein Grossteil des Abflusses gelangte in den alten Simmelauflauf, wo es zu starker Seitenerosion kam. Im bewaldeten Gebiet oberhalb von Oberwil wurden insbesondere durch Seitenerosion grössere Schwemmhölmengen mobilisiert. Im Siedlungsgebiet wurde das Quartier Rothenbach überschwemmt. Die gesamte Schadensumme lag bei 2.5 Mio. Franken. Das Ereignis hat damit zu einer wesentlichen Veränderung des Sedimenthaushalts und des morphologischen System der Simme geführt. Das Hochwasser kann entsprechend als ein

Gletschersee-Entleerungen 2012 - 2018 (Faverges-See, Plaine Morte Gletscher)

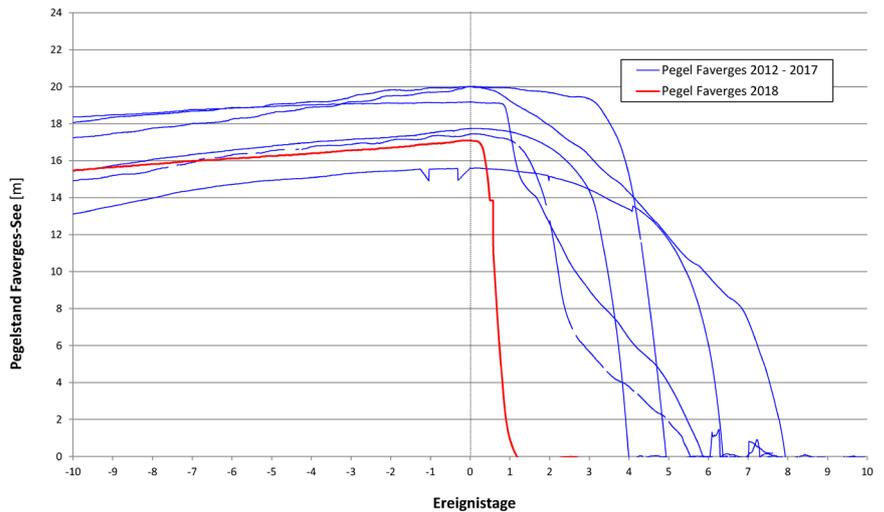


Abbildung 2: Vergleich der Dauer der Gletscherseeentleerungen von 2012 bis 2018 (GEOTEST).

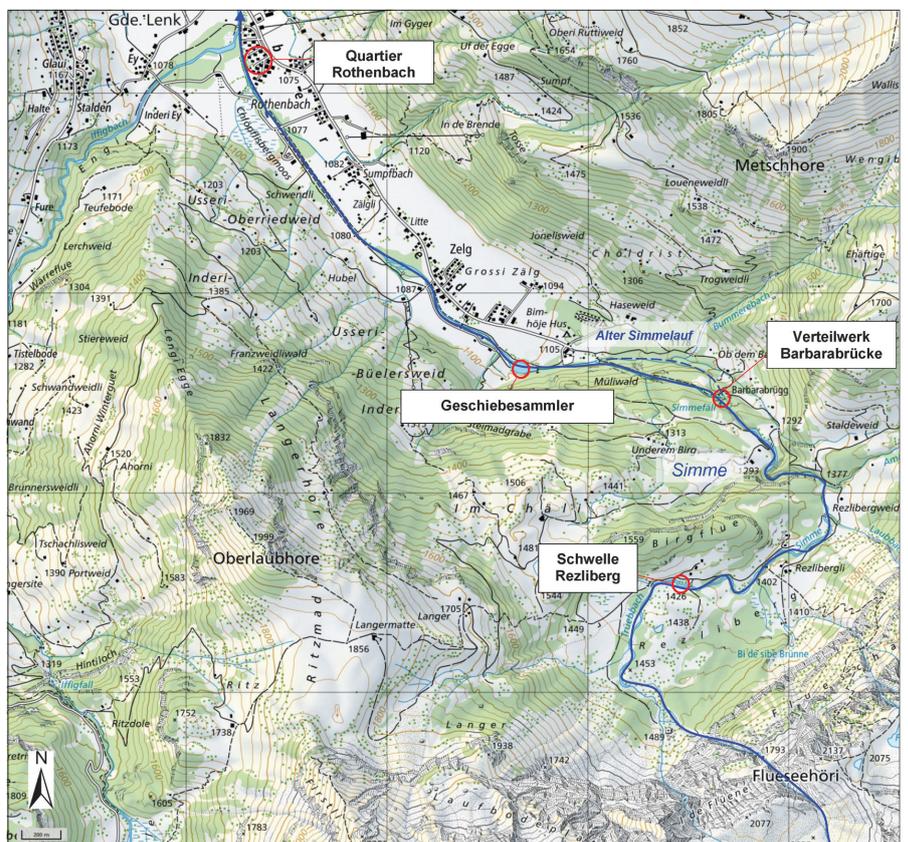


Abbildung 3: Unterlauf der Simme zwischen Gletscher und Lenk (Swisstopo).



Abbildung 4: Kollaps der Sperre im Rezliberg (M. Zimmermann).



Abbildung 5: Stahltrichterbuhne zur Remobilisierung von Feinsedimenten (D. Hodel).

Sofortmassnahmen am Gerinne

Durch die starken Gerinne- und Ufererosionen wurde das Gerinne stark geschwächt, was im Fall eines erneuten Hochwassers ein hohes Gefahrenpotential darstellte. Sofortmassnahmen waren notwendig, wurden während der LLE erarbeitet und fortlaufend umgesetzt:

- Die Schwelle im Rezliberg wurde bis auf Höhe Grundschwelle befestigt, um eine

weitere Beschädigung zu verhindern. Eine Wiederherstellung der Sperre auf die ursprüngliche Höhe war aus Sicht des Geschiebehaushalts nicht notwendig.

- Im Simmelauf unterhalb der Barbarabrücke wurde eine Gerinneausholzung durchgeführt, die Ufersicherungen bei lokalen Schadstellen saniert sowie die Abflussverhältnisse im Simmekanal verbessert.

- Die Uferanrisse im alten Simmelauf wurden mit Holzkasten saniert.
- Der Geschiebesammler im Oberried wurde unmittelbar nach dem Ereignis geleert (25'000 m³).
- Die Simme wurde neu vermessen.
- Zur Aktivierung des Geschiebetriebs im Simmekanal im Bereich Dorf wurde eine neu angefertigte, mobile Stahltrichterbuhne (Abb. 5) eingesetzt.

Zukunftsszenarien der Gletschersee Entleerungen

Prognosen Seevolumen und Abflussspitzen

Die Modellierungen der künftigen Seeentwicklung bis 2050 deuten auf eine weitere Zunahme des Seevolumens bis auf rund 4 Mio. m³ hin (Huss, 2019). Gleichzeitig verlagert sich der See immer weiter nach Westen und die maximale Seespiegellage wird künftig immer tiefer zu liegen kommen (Abb.6).

Aufgrund der unsicheren empirischen Beziehung zwischen dem Seevolumen und den in den Jahren 2012-2018 beobachteten Abflussspitzen bestehen bezüglich der prognostizierten Abflussspitzen grosse Unsicherheiten. Dies wird durch eine Bandbreite der drei angewendeten Extrapolationsmethoden ausgedrückt (Abb. 7). Mit steigendem Seevolumen werden jedoch auch die Spitzenabflüsse hoch bleiben. Der Vergleich des Wertes von 2018 (grüner Maximalwert) mit den Modellresultaten künftiger Abflussspitzen zeigt, dass 80 m³/s bis ins Jahr 2050 einem realistischen Szenario entsprechen. Gemäss Modellrechnungen ist an der Lenk somit auch künftig noch mit erheblichen Sachschäden zu rechnen, sofern keine Schutzmassnahmen getroffen werden.

Auswirkungen im Talboden

Aus den glaziologischen Abflussprognosen der Seeentleerungen lässt sich ableiten, dass im Unterlauf der Simme mit Abflüssen von 80-100 m³/s zu rechnen ist. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses dürfte einem 5-10-jährlichen Ereignis entsprechen. Dadurch ist für den Talboden zwischen Simmenfälle und Dorfzentrum Lenk Gefahr in Verzug. Die Schäden würden aufgrund der vorbelasteten Gerinne bei gleichbleibendem Abfluss aktuell deutlich höher ausfallen als 2018. Bei Abflüssen grösser als 2018 würde das System unterhalb des Geschiebesammlers kollabieren, da die Ufersicherungen noch nicht repariert sind und erst 2020 im Rahmen eines ISP-Projekts instandgesetzt werden können.

Die Abflusskapazität der Simme erreicht heute oberhalb der Einmündung des Iffigbachs 30-50 m³/s. Um Schäden zu vermeiden, müsste die Simme mit viel Aufwand auf eine Kapazität von ca. 100 m³/s ausgebaut werden. Gemäss Prognosen wird der Gletschersee allerdings ab 2050 stark an Volumen verlieren. Eine Kapazitätserhöhung der Simme wäre somit bestenfalls für die nächsten 30 Jahre nötig.

Ein Ausbau der Simme auf eine Abflusskapazität von 80-100 m³/s war aus den folgenden Gründen nicht verantwortbar:

- Um für das nächste Gletscherhochwasser 2019 gewappnet zu sein, hätte der Ausbau der Abflusskapazität bis Mitte Juni 2019 erfolgen müssen, was zeitlich nicht realisierbar war.
- Diese Kapazitätserhöhung bedarf eines Wasserbauplanverfahrens und wäre UVP-pflichtig, was erfahrungsgemäss 4-6 Jahre dauert.
- Die Kapazitätserhöhung braucht sehr viel Raum. Dieser fehlt im Talboden. Damit wäre ein Vollausbau der Simme nur mit harten Massnahmen möglich.
- Etlche Umweltaspekte würden verletzt (Wald, Landwirtschaft, Fischökologie, Flora

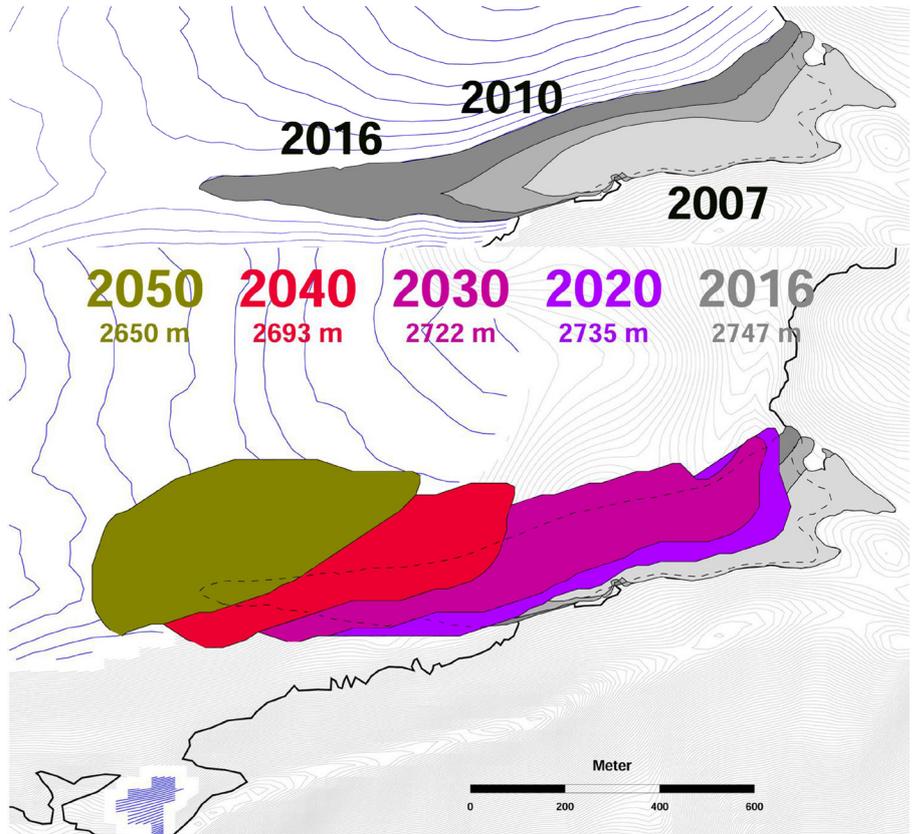


Abbildung 6: Beobachtete und berechnete Seeentwicklung (unten) unter Berücksichtigung eines mittleren Eisdickenverlustes (M. Huss, 2019).

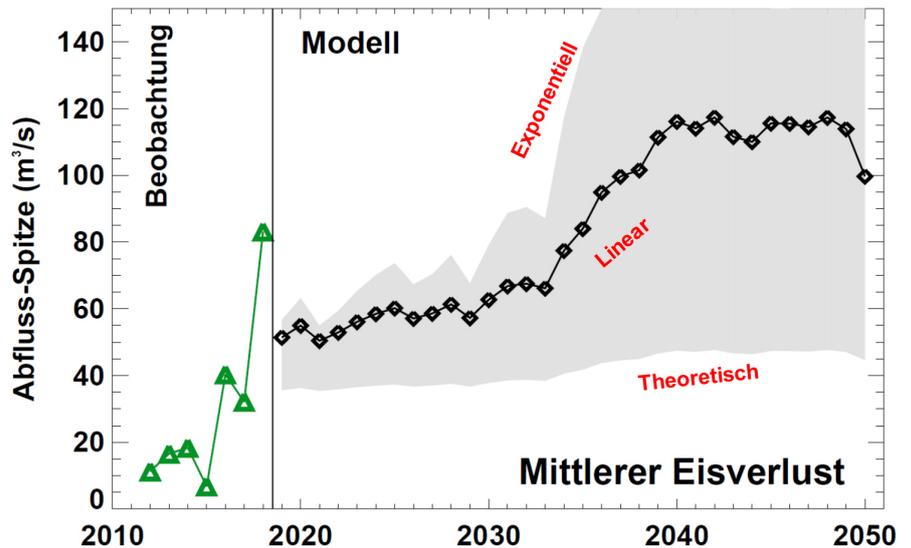


Abbildung 7: Beobachtete Abflusspitzen (grün) und zukünftige Entwicklung gemäss Modellierung (schwarz) mit Angabe der Unsicherheiten (grau) (M. Huss, 2019).

und Fauna)
 • Verhältnismässig hohe Kosten (> 35 Mio. CHF).
 Als Alternative müsste entweder ein Hochwasserentlastungsstollen oder ein Rückhaltebe-

cken für 1 Mio. m³ Wasser geschaffen werden. Die erforderliche Retentionsfläche von 1 km² zur Drosselung der Simme fehlt in Oberried allerdings.
 Die Realisierung von effizienten Massnah-

men im Talboden ist schwierig. Daher wurden Massnahmen am Gletscher evaluiert.

Massnahmen am Gletscher Geprüfte Massnahmenvarianten

Aufgrund der engen Platzverhältnisse im Talboden wurden Massnahmen im Bereich des Gletschers geprüft. In einem Expertengremium wurden rund 10 verschiedene Eingriffsmöglichkeiten zusammengetragen. Das Spektrum der Massnahmen reichte von Abpumpen des Sees über die Schaffung eines Stollens in Richtung Wallis bis hin zu Rückhaltmassnahmen nördlich des Gletschers.

In einem Evaluationsprozess wurden die Massnahmenvarianten bezüglich u.a. Wirksamkeit, technischer Machbarkeit, Lebensdauer, Kosten und Unsicherheiten geprüft. Mehrere Massnahmenvarianten erfüllten viele der oben genannten Kriterien. Aufgrund des schlechten Gerinnezustandes der Simme war jedoch klar, dass dem Kriterium Bauzeit bzw. Realisierung vor Sommer 2019 die höchste Priorität zuteil kommt. Die einzige Schutzmassnahme die dieses Zeitkriterium erfüllen konnte, war ein Entlastungskanal im Eis zu einer nahegelegenen Gletschermühle im Westen des Sees.

Der Bau des 1.2 km langen Eiskanals war mit Realisierungskosten von rund 2 Mio. CHF voranschlagte und wies ein sehr gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Im Weiteren wird der Gletscher durch diese Massnahme nur minimal verändert. Es werden zudem keine fixen Bauelemente im Eis hinterlassen, was aus Sicht des Umwelt- und Landschaftsschutzes eine optimale Voraussetzung war. Die technische Machbarkeit war gegeben, obschon man mit solch einzigartigen Bauten im Eis bisher noch keine Erfahrung hatte. Der Eiskanal erfüllte somit alle Entscheidungskriterien und ging als Bestvariante hervor.

Eiskanal – Bau, Unsicherheiten und Risiken

Beim Bau des Eiskanals wurde der Gletscher oberflächlich angeritzt, um einen künstlichen Seeüberlauf zu schaffen und damit das Seevolumen auf ein Maximalvolumen von 1 Mio. m³ zu reduzieren.

Nur ein Monat nach dem Massnahmenentscheid konnte im April 2019 mit dem 2-monatigen Bau des Eiskanals begonnen werden. Trotz grösseren technischen Schwierigkeiten

gonnen werden konnte. Diese Arbeiten waren zeit- und kostenintensiv. Die Witterungsbedingungen waren insbesondere in der Anfangsphase für Mensch und Maschine eine Herausforderung. Anhaltende Schneestürme und Nebel behinderten die Arbeiten auf dem Gletscher. Später erschwerte das hohe Schmelzwasseraufkommen und die Einsturzgefahr in Gletschermühlen und Hohlräumen die Arbeit. Höchst ungewiss war insbesondere, ob ein Vortrieb des Microtunnels im Eis aus tech-



Abbildung 8: Bau des Eiskanals mit dem Schreitbagger (P. Petroni).

konnte das Vorhaben termingerecht realisiert werden. Das Seevolumen konnte reduziert werden, und die Entleerung im Sommer 2019 fand schadenfrei statt. Die Massnahme Eiskanal hat planmässig funktioniert.

Der Bau des Eiskanals war mit Unsicherheiten und Risiken verbunden. Das grösste Risiko brachte der enorme Zeitdruck. Der Bau musste noch vor der Seefüllung Ende Juni abgeschlossen sein. Einerseits um einem mögliche Überflutungen der Baustelle zu verhindern und andererseits um eine weiterführende Destabilisierung der Gerinne im Unterlauf zu vermeiden. Die grossen Schneemengen auf dem Gletscher (4.5 m) mussten über die gesamte Strecke von 1.2 km abgestossen werden, bevor mit dem Bau des eigentlichen Kanals be-

nischer Sicht gelingen würde. Es stellte sich rasch heraus, dass das Microtunneling-Verfahren für Horizontalbohrungen im Eis wenig geeignet war. Zu gross und nicht prognostizierbar waren die Abweichungen der Bohrung. Dank rascher Anpassung des Vortriebs, Improvisation, täglicher Adaption an neue Verhältnisse und enormer Teamleistung konnte der Kanal mit intensivierten Baggerarbeiten doch noch rechtzeitig fertiggestellt werden.

Ausblick

Erkenntnisse Entleerung 2019

Nach der Seeentleerung 2019 durch den künstlichen Eiskanal konnten folgende Erkenntnisse gemacht werden:

Der Eiskanal hat sich durch die Entleerung um bis zu 7.5 m abgesenkt. In einzelnen Berei-

chen haben sich grosse Kavernen gebildet. Dadurch kann eine Seeentleerung trotz Absenkung des Gletschersees auch im nächsten Jahr gewährleistet werden.

Im Eiskanal sind Gletschermühlen entstanden, die das Wasser ins subglaziale Entwässerungssystem abgeleitet haben. Der Eiskanal wurde daher nie ganz durchflossen. Innerhalb des Kanals bestehen unterschiedliche Abflussniveaus. Die Bedeutung unterschiedlicher Abflussknoten für die Folgejahre birgt neue Unsicherheiten.

Im Eiskanal abgelagerter Triebsschnee erschwerte den Abfluss, was lokal zu einem Wasserrückstau führte. Dieser Aspekt dürfte sich durch den Winter noch verstärken und ist ein wesentlicher Faktor für die Prognose der Entwicklung in den Folgejahren.

Eine Seeverlagerung hat aus bekannten Gründen nicht stattgefunden. Je nach Entwicklung ist eine solche in den Folgejahren durchaus möglich.

Unsicherheiten und Risiken künftiger Gletschersee-Entleerung

Auch heute bestehen bezüglich des künftigen Abflussverhaltens im Eiskanal nach wie vor Unsicherheiten und Risiken. Verklausungen im Kanal durch Triebsschnee, Böschungsinstabilitäten und Kaverneneinstürze oder Zufrieren des Mikrotunnels können im Frühsommer zu einem Rückstau und damit zu einem Seevolumen von deutlich über 1 Mio. m³ führen. Es ist aber durchaus möglich, dass durch den künstlichen Abfluss eine Seeverlagerung und -vergrösserung nach Westen stattfindet.

Aus heutiger Sicht wird das Worstcase-Szenario durch eine Verklausung des Eiskanals mit Triebsschnee gebildet, welche durch Rückstau die Entstehung eines maximalen Seevolumens zur Folge haben kann. Bricht der Gletschersee wie in den Jahren zuvor subglazial aus, können Abflussspitzen von 2018 oder grösser entstehen. Eine sorgfältige Beobachtung der

Schneeschnmelze im Frühjahr 2020 ist vorgehen, Notmassnahmen sind auf konzeptioneller Basis geplant.

Konsequenzen künftiger Gletscherseeausbrüche auf Hochwasserschutz

Aufgrund den nach wie vor bestehenden Restrisiken und Unsicherheiten des langfristigen Funktionierens der künstlichen Seeentwässerung, müssen im Unterlauf allenfalls weiterführende Massnahmen realisiert werden. Bevor Massnahmen baulicher und raumplanerischer Art im Talboden geplant, dimensioniert und umgesetzt werden können, sind Grundlagen zu Abflüssen und Feststoffhaushalt sowie später allenfalls eine Revision der Gefahrenkarte notwendig:

Hydrologie: Überprüfen der hydrologischen Bedingungen der Simme und ihrer Zuflüsse. Insbesondere sind die verbleibenden Abflüsse von möglichen Seeausbrüchen in die Hydrologie miteinzubeziehen. Für das Management von Überflutungsflächen sind nicht nur die Abflussspitzen von Bedeutung, sondern auch die Abflussvolumen.

Feststoff: Überprüfen der Feststoffszenarien. Die grossen Kubaturen von Feinsedimenten (Sand, Feinkies) wurden im Rahmen der LLE nicht berücksichtigt.

Abflusskapazitäten: Die Abflusskapazitäten der Simme sind nach dem Abschluss der Sofortmassnahmen auf der gesamten Länge festzulegen.

Retentionsflächen: Bestimmen der Retentionskapazitäten der Überflutungsflächen bei unterschiedlichen Szenarien und Ganglinien.

Gefahrenkarte: Eine Revision der Gefahrenkarte ist im Falle von veränderten hydrologischen Szenarien und Feststoffverhältnissen zu prüfen.

Die Erarbeitung eines Wasserbauplans kann nach dem Vorliegen der Grundlagen und der Gefahrenkarte an die Hand genommen werden. Die Grundlagen werden aufzeigen, wo

Handlungsbedarf ist und mit welchen Massnahmen allfällige Schutzdefizite reduziert werden können.

Fazit

Der Gletscherseeausbruch 2018 führte zu einem hydromorphologischen Systemwechsel in den unterliegenden Gerinnen. Das plötzlich veränderte Feststoff- und Geschiebeverhalten im Ober- und Unterlauf brachte das System in kurzer Zeit an seine Grenze. Gemäss glaziologischen Prognosen ist künftig zunehmend mit Gletscherseeausbrüchen in der Grössenordnung von 2018 zu rechnen. Diese Herausforderung konnte nur dank der Reduktion des Gletscherseevolumens bewerkstelligt werden. Der Bau eines Eiskanals war die einzig mögliche, sinnvolle und wirtschaftliche Lösung.

Der Umgang mit klimabedingten Gefahren und Szenarien verlangt ein pragmatisches, schnelles und lösungsorientiertes Vorgehen und fordert innovative Lösungen und Methoden. Dazu gehören auch der mutige Transfer von Lösungsansätzen aus anderen Branchen, der Einsatz von neuen Technologien und ein hohes Mass an Flexibilität.

Das heute verbleibende Risiko für ein grosses Gletscherhochwasser kann mit gutem Gewissen der Restgefährdung zugeordnet werden. Grosse Hochwasserabflüsse sind künftig nur noch bei einer Verklausung des Eiskanals oder beim Zufrieren des Mikrotunnels zu erwarten. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Fachspezialisten und Planern sowie Behördenvertretern aller Ebenen hat dank einer ganzheitlichen Systembetrachtung zu einer raschen und zielgerichteten Lösungsfindung beigetragen

Virtueller Rundgang - Besichtigung des Eiskanals auf dem Gletscher

