

Die Baumskelette in den Engadiner Seen : eine Erklärung aus Sicht der Geologie

Autor(en): **Schlüchter, Christian / Rüegg, Thomas / Falkenstein, Tobias**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden**

Band (Jahr): **122 (2022)**

PDF erstellt am: **17.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-981214>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Baumskelette in den Engadiner Seen: Eine Erklärung aus Sicht der Geologie

von Christian Schlüchter¹, Thomas Rüegg², Tobias Falkenstein³, Katharina von Salis⁴, Giachem Bott⁵, Edi Meier⁶, Irka Hajdas⁷

¹ Universität Bern
Institut für Geologie und OCCR
Baltzerstrasse 1 + 3
3012 Bern

² Ingenieurgeologie
Dorfstrasse 20
7402 Bonaduz

³ Via Surpunt 6
7500 St. Moritz

⁴ Via Maistra 9
7513 Silvaplana

⁵ ChesAlva Nr. 141
7524 Zuoz

⁶ Edi Meier + Partner AG
Schützenstrasse 1
8400 Winterthur

⁷ Labor für Ionenstrahlphysik
Hönggerberg
ETH Zürich
8093 Zürich

Zusammenfassung

Früher publizierte Datierungen der Baumskelette im Silser- und Silvaplannersee sind mit datierten Funden aus dem St. Moritzersee ergänzt worden. Die grosse Lärche im St. Moritzersee ist aufgrund der Radio-karbondatierung möglicherweise einige Jahrzehnte vor den Bäumen im Silser- und Silvaplannersee ertrunken. Die zeitliche Grössenordnung von 600 bis 700 CE für den Beginn des Seespiegelanstiegs bleibt unverändert, kann aber eventuell differenziert werden. Als dessen mögliche Ursache wird der massive Kollaps von Karsthohlräumen einerseits bei St. Moritz–Sass Runzöl mit der Verschüttung des alten Innlaufs bei Brattas und andererseits bei Sasc da Corn dargestellt.

Schlagnworte: Engadiner Seen, Unterwasserbäume, Datierungen, Karstphänomene

1 Einleitung

Die aufrechtstehenden Bäume in den Engadiner Seen sind ein geheimnisvolles Phänomen. Es handelt sich dabei um veritable Baumskelette in Wachstumsposition. Vor allem sind es Lärchen und untergeordnet Fichten, die vereinzelt oder in kleinen Gruppen im Wasser stehen. Eine Arve ist bis jetzt unter den «ertrunkenen» Bäumen nicht nachgewiesen worden. Aus dem Silvaplannersee ist auch ein umgestürzter Baum bekannt. Auffallend ist der gute Erhaltungszustand des Holzes, was auf dauerhaften Abschluss vor Sauerstoff, also Luftzirkulation, hinweist (Abb. 1). Das heisst wiederum, dass seit dem Ertrinken der Bäume keine grösseren Seespiegelschwankungen mit periodischer subaerischer Exposition eingetreten sind: Die Bäume sind ertrunken und unter Wasser konserviert geblieben. 2018 ist im NGG Band 120, Seiten 41–49, über die Bäume im Silvaplanner- und Silsersee berichtet worden (SCHLÜCHTER ET AL. 2018). Seither sind neue Beobachtungen möglich geworden, die eine Ergänzung des Themas rechtfertigen und eine erweiterte Diskussion erlauben.

2 Der St. Moritzersee

Im Nachgang zur Dokumentation und ersten Diskussion mit der Publikation von 2018 (SCHLÜCHTER ET AL. 2018) ist immer wieder die Frage gestellt worden, wo im Engadin denn weitere «ertrunkene Wälder» zu suchen wären. Da offenbar diesbezüglich keine Beobachtungen gemacht worden sind, war es auch nie eine Frage gewesen, ob überhaupt weitere Unterwasserbäume vorhanden sind. Es müsste nur systematisch und wahrscheinlich tiefer getaucht werden. Das sind Randbedingungen, welche die entsprechenden Forschungen logistisch anspruchsvoll machen und einschränken. Für den St. Moritzersee waren aber offenbar mehr Informationen vorhanden, die im Nachgang eines Naturama-Vortrags in St. Moritz vom 12. August 2020 zum Vorschein gekommen sind. Eine umfassende Dokumentation über geborgenes und verwertetes ertrunkenes Holz kann hier aus mangelndem Wissen nicht erfolgen. Bemerkenswert ist, dass mit mehreren Tauchgängen im Juli 2020 im Bereich Segelclub–Reithalle mindestens drei aufrechtstehende Bäume und ein Chaos von liegendem Holz auf dem Seegrund nachgewiesen werden konnten. Die wohl zentrale Beobachtung sind in Wachstumsposition stehende Fichten und Lärchen. Diese Situation ist bereits kurz in der «Südostschweiz», Nr. 165 vom 19. Juli 2021 beschrieben worden. Die dortige Dokumentation enthält auch ein Bild der «grossen Lärche», deren skeletthafte Erscheinung vergleichbar ist mit der Lärche im Silsersee.

2.1 Altersbestimmung

Bereits im Artikel in der «Südostschweiz» Nr. 165 vom 19. Juli 2021 sind dendrochronologische Altersbestimmungen durch das Laboratorium des Archäologischen Diensts des Kantons Graubünden erwähnt. Im Juli 2021 ist für die Altersbestimmung mit der Radiokarbonmethode die Probe Oens-SM-01 von der «grossen Lärche» bei Koord. 2 784.295/1 151.926 im St. Moritzersee entnommen und dem Radiokar-

bonlabor an der ETH zur Analyse übergeben worden. Die Probe Oens-SM-01 ist ein kleines Stück vom grossen Stamm aus 18,6 m Wassertiefe im westlichen, recht flachen Bereich des Beckens. Das Material eines einzigen Jahrringes genügte für eine Analyse. Dabei ist das folgende Radiokarbonalter bestimmt worden: Oens-SM-01 = ETH-115'990 = 1445 ± 15 yrs BP (yrs BP = Jahre vor heute). Das kalibrierte Alter liegt mit 95,4% Wahrscheinlichkeit zwischen 596 und 647 calCE (calCE = kalibriertes Radiokarbonjahr; Radiokarbonjahre entsprechen nicht Kalenderjahren und werden deshalb kalibriert). Der weite Kalibrationsbereich von 51 Jahren spiegelt die Tatsache wider, dass die untersuchte Probe auf einem Plateau der Kalibrationskurve liegt.

2.2 Wassertiefen der Seen und der Fundstellen

Eine zentrale Frage ist die nach der räumlichen Beziehung zwischen dem heutigen Seebecken, den Fundstellen und den dortigen Wassertiefen, immer im Hinblick auf die Annahme, dass die Bäume dort gewachsen sind, wo sie heute stehen.

Die Fundstellen in den drei Seen sind in vergleichbaren Wassertiefen, bei unterschiedlichen maximalen Seetiefen. Und die Bäume stehen nicht in den tiefsten Bereichen der Seen. Im Silser- und St. Moritzersee sind die Fundtiefen praktisch identisch, wenn man berücksichtigt, dass der Wurzelstock der grossen Lärche im Silsersee ca. 2 m tief eingesedimentiert sein kann (Tab. 1). Im Silvaplanersee stehen die Bäume ufernäher und in geringerer Wassertiefe auf einem terrassenähnlichen Geländeabschnitt. Dort sind die Wurzelstöcke nicht eingesedimentiert. Für den St. Moritzersee gibt es keinen Bericht hinsichtlich Wurzelstöcke.

Die Robustheit der stehenden Baumskelette (Abb. 1) und deren Grösse setzen stabile Bodenverhältnisse an den Fundstellen voraus. Unter Berücksichtigung der Absterbealter der Bäume vor über 1500 Jahren im Silser- und im St. Moritzersee sowie vor mindestens 1000 Jahren im Silvaplanersee bei

Tab. 1: Seespiegelhöhen und Wassertiefen im Vergleich: obere Staustufe mit Silvaplaner- und Silsersee, untere Staustufe mit/im St. Moritzersee.

See	Kote über Meer Seespiegel heute	Wassertiefe Fundstelle	Maximale Wassertiefe Seen	Seespiegelanstieg seit Absterben der Bäume (Minima)
Silsersee	1797	20 m (Stock eingesedimentiert)	71 m	30 m
Silvaplanersee	1791	16 m	78 m	16 bis 18 m
St. Moritzersee	1768	22 m	44 m	20 m

wassergesättigten, ja durchtränkten Verhältnissen heisst auch, dass eine Platzierung (Verfrachtung) der stehenden Bäume nicht in einem instabilen Umfeld wie einer Rutschung, Sackung oder Lawine stattgefunden hat. Die Frage nach dem standfesten Substrat der Bäume ist aber nach wie vor nicht beantwortet. Der Hang oberhalb der Fundstelle (über dem Seespiegel) der Bäume im Silvaplanersee ist aus Felsstufen verschiedener Ausdehnungen aufgebaut, mit unregelmässiger Moränenbedeckung. Es ist anzunehmen, dass die subaquatische Fortsetzung unter dem Seespiegel hangabwärts morphologisch gleich strukturiert ist (gleiche geologische Einheit) und dass demzufolge die dortigen Baumskelette in standfestem Boden, möglicherweise sogar in Moränenmaterial wurzeln. Für den Standort der Bäume im Silsersee gelten nach wie vor die beiden früher entwickelten Möglichkeiten (SCHLÜCHTER ET AL. 2018): Entweder wurzeln die Skelette in dem von GRISCHOTT ET AL. (2014) nachgewiesenen und tsunamiinduzierten Turbidit (NIGG ET AL. 2021), was von der benötigten Stabilität des Untergrundes wenig wahrscheinlich ist, oder sie wurden vom Turbidit umflossen. Die Datierungen für den Turbidit und das Absterbealter der Bäume liegen im gleichen Zeitfenster und sprechen für die Version des Umfliessens. Das heisst, dass das tragende Substrat für die Bäume nicht der Turbidit sein kann. Wobei jedoch nach den Angaben von GRISCHOTT ET AL. (2014) und insbesondere von NIGG ET AL. (2021) eine Überprägung des Uferbereichs im Silsersee und eine Sedimentumlagerung des ufernahen Seegrundes durch den Tsunami stattgefunden hat. Zum Substrat im St. Moritzersee fehlen detaillierte Angaben.

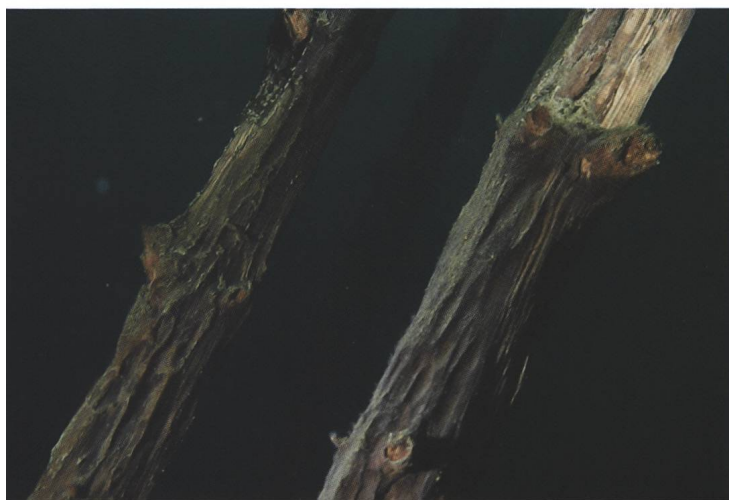


Abb. 1: Der mittlere Teil, der aufrechtstehenden, gut erhaltenen Unterwasserbaumgruppe im Silsersee (Foto: RTR).

Die heutigen Seespiegel entsprechen nicht den maximalen Wasserständen. Delikate Strandlinien bis einige Meter über dem Seespiegel sind in allen Deltas von Silser- und Silvaplanersee ansatzweise kartierbar. Ob diese höheren Seespiegel alle durch den im Silsersee tsunamiinduzierten Wasserhochstand (NIGG ET AL. 2021) in Beziehung stehen, bleibt offen. Der von NIGG ET AL. (2021) dokumentierte Kollaps des Isoladeltas im Silsersee und dem dadurch ausgelösten Tsunami hat die Uferbereiche beträchtlich, zum Teil auch akkumulativ umgestaltet und grössere Sedimentmengen im Seebecken verfrachtet. Dass dabei ufernah die Schuttfächer erodiert wurden, ist nicht auszuschliessen.

Ein höherer Seespiegel als heute ist auch vom St. Moritzersee mit Sedimenten dokumentiert. Diese wurden bei der Verlängerung der Gleisanlagen und beim Bau des Parkhauses aufgeschlossen. Sie werden in der geologischen Karte als «alte Seeablagerungen» bezeichnet (PETERS 2005). Diese alten Seeablagerungen werden mit einem Seespiegel in Verbindung gebracht, der auf der Ostseite des Sees im Schuttfächer bei Acla Dimlej Terrassenränder erodiert hat. Daraus wird auf ein späteres Einschneiden des Inns mit einer vertieften Schluchtbildung, der Charnadüra, von 8 bis 10 m mit einer entsprechenden Absenkung des Seespiegels geschlossen (PETERS 2005).

2.3 Dokumente aus der Römerzeit

Ein gut erhaltener Römerweg führt am Nordrand vom Silsersee von Cadläh über Plan di Mort nach Splüga hinauf (Abb. 2). Die alte Strasse ist nur bis zur Verzweigung der «Wanderwege», kurz unterhalb von Splüga, in gutem Zustand. Anschliessend verliert sie sich zunehmend in zerfallenem Blockschutt. Welche Abschnitte des Wegleins zwischen Splüga und Plaun da Lej zum Römerweg gehören, ist nicht einfach bzw. kaum mehr festzustellen (Abb. 5). Ganz offensichtlich ist der Hang bei Splüga und weiter ostwärts zum Sasc da Corn zerfallen, auch wenn dieses Phänomen auf der geologischen Karte nicht dargestellt ist. Wie tief in den Hang hinein die Sturzauflockerung reicht, ist nicht untersucht. Sie könnte mehrere zehn Meter tief reichen. Diese Hanginstabilität ist somit nach-römerzeitlich. Demgegenüber gilt der Hang auf der Nordseite vom Silvaplanersee im Bereich zwischen Plaun Grand und Grupin als stabil.

Einen weiteren spannenden Hinweis geben römische Altarreste, die 1964 bei Sils Baselgia in 2 m Tiefe ab Oberkante Terrain in siltig-sandigen, feinkiesigen Sedimenten gefunden und ausgegraben wurden (ERB ET AL. 1966). Das damalige Ausgrabungsteam wie auch

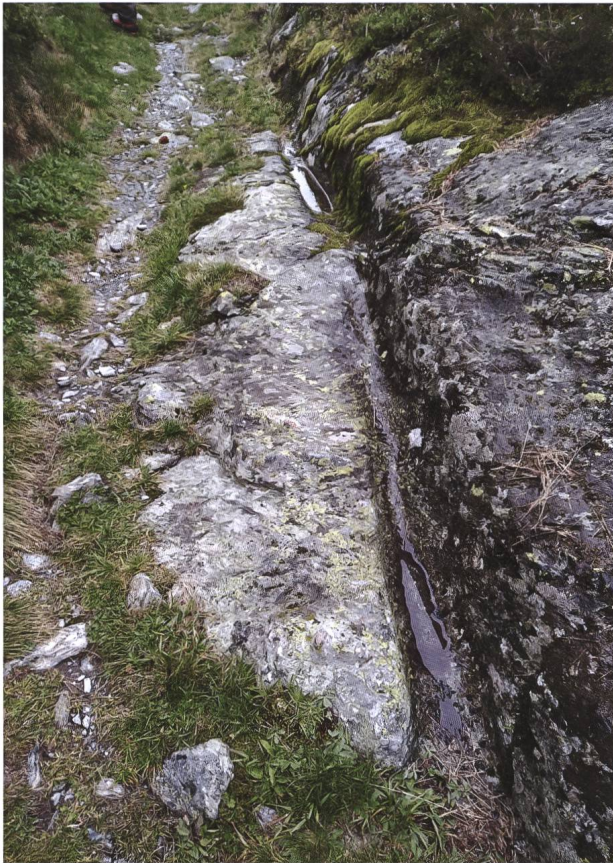


Abb. 2: Abschnitt des intakten Römerweges im Malojagneis bei Plan di Mort am Nordufer des Silsersees (Foto: St. Altner).

RAGETH ET AL. (2002) interpretieren die Sedimente über den Funden als Seeablagerungen. Aufgrund von örtlichen Korrelationen der Schichten (RAGETH ET AL. 2002, NIGG ET AL. 2021) kann geschlossen werden, dass die römischen Altäre zumindest geringfügig disloziert sind. Von wahrscheinlich nicht geringer Bedeutung ist der Fundort der Altäre südlich vom heutigen Inn, während die Römerstrasse auf der Nordseite angelegt war. Entweder ist die römische Hauptstrasse in diesem Abschnitt dem steilen Ufer ausgewichen oder die Altäre haben eine turbulente Dislokationsgeschichte erfahren. Ganz allgemein stellt sich die Frage: Wie hat das Oberengadin zur Römerzeit bei wahrscheinlich viel tieferen Seespiegeln ausgesehen? Einer der Altäre bei Sils Baselgia war dem Gott Silvanus gewidmet (ERB ET AL. 1966, namensgebend für Silvaplana?). Ein Hinweis auf eine römische Alternativroute gibt ein römisches Hufeisen, das zwischen Maloja und Val Fex gefunden wurde.

2.4 Zur Hydrographie des Oberengadins

Die heutige Hydrographie des Oberengadins ist durch zwei markante morphologische Erscheinungen begrenzt: Im Westen ist es die Steilstufe ins Ber-

gell mit einer Höhendifferenz von gut 250 m zwischen der Kirche von Maloja und der kleinen Brücke über die Orlegna bei Cavril. HEIM hat dies 1879/80 als «Enthauptung des Engadins» beschrieben. HEIM (1922), STAUB (1934) und CORNELIUS (1951) haben diese erklärende Terminologie übernommen. Im Osten endet die Seenlandschaft beim Punt da Piz, dem Ausfluss des Inns aus dem St. Moritzersee mit einer Höhendifferenz von 53 m zwischen dem Seespiegel von 1768 m und der Sarinera (Kläranlage) bei Cresta-Celerina auf 1715 m ü. M. Die eigentliche Seenlandschaft wird somit von zwei Schluchten begrenzt: vom Bergell im Westen und von der epigenetischen Charnadüra im Osten. Bemerkenswert ist, dass STAUB (1934) den Felsriegel bei Punt da Piz beim Ausfluss des Inns aus dem St. Moritzersee als ehemalige Wasserscheide interpretiert hat oder weiter gefasst, dass der Felsriegel bei Punt da Piz als östlicher Rest einer weiten Oberengadiner Wasserscheide zwischen Inn und Maira aufgefasst werden kann.

Im Artikel von 2018 haben wir uns bereits mit der Beziehung zwischen der tektonischen Grundstruktur und der Talgeschichte des Oberengadins befasst (SCHLÜCHTER ET AL. 2018). Einige Punkte seien zusammenfassend erwähnt:

- Das Engadin als grosses inneralpines Tal ist strukturell mit der Engadiner Linie vorgegeben und ist der Rest einer sehr, sehr alten präquartären Talung (HEIM 1922, STAUB 1934).
- Wann das Bergell vom Einzugsgebiet des Inns abgehängt wurde, ist nicht bekannt.
- Das Seengebiet des Oberengadins ist ein eigenständiger Talabschnitt und als «ertrunkene» Landschaft zu bezeichnen. Ein Vergleich der Felskoten in den Seen (gemäss LK 1:25 000) dokumentiert nur eine geringfügige Übertiefung im Silsersee sowohl in Bezug auf Maloja als auch talabwärts. Dieses Seengebiet ist eine «weitläufige, zweistufige Wasserscheide auf einer Felsunterlage» (Tab. 1).
- Die markanten Schwemmfächer bzw. lateralen landschaftsästhetischen Schuttkegel verdanken ihre Existenz der fehlenden Erosionskraft des Inns (vgl. den rezenten Spöl zwischen Punt dal Gall und Ova Spin, SCHLÜCHTER 2015).
- Im Oberengadiner Seengebiet ist die landschaftliche Überprägung durch die letzteiszeitlichen Gletscher offenbar bescheiden geblieben. Der Fornogletscher ist bei Maloja mit einem Zufluss aus östlicher Richtung vom Eisdom Engiadina ohne grösseren Widerstand direkt ins Bergell abgeflossen. Eine grössere morphologische Wirkung entfaltete die nach Nordosten abfliessende Eismasse unterhalb von Celerina/Samedan mit dem Resultat eines mäch-

tig ausgeweiteten und wahrscheinlich beträchtlich übertieften Tals. Eine Beobachtung wird uns im Folgenden beschäftigen, die bereits von STAUB (1934) als interessante Interpretation dargestellt wurde: Der Ausfluss des Inns in die epigenetische Schlucht der Charnadüra aus dem St. Moritzersee ist das Bezugsniveau, also die Erosionsbasis für die heutige Entwässerung der Oberengadiner Seen. Die Seespiegelschwankungen werden, zumindest seit der letzten Vergletscherung, dort reguliert.

2.5 Datierungen im Vergleich

Die Radiokarbondatierung der Lärche im St. Moritzersee soll im Kontext der bisherigen Datierungen von Proben aus Silser- und Silvaplanersee diskutiert und verglichen werden (BLASS ET AL. 2005, SCHLÜCHTER ET AL. 2018). Diese Radiokarbondatierungen sind ausführlich dargestellt und zitiert worden, so dass direkt auf die folgenden Resultate Bezug genommen wird:

- Zwischen 650 und 700 CE sind die Bäume im Silsersee abgestorben. Sieben verschiedene Proben sind an der ETH mit der Radiokarbonmethode gemessen worden und sind innerhalb des einfachen Fehlers gleich alt: 1339 ± 33 yrs BP. Die einfach gemittelten Absterbejahre von 658, 690, 698, 713, 715, 716 und 724 CE mit einer Bandbreite von nur 66 Jahren machen ein Wachstumsende um 700 CE sehr wahrscheinlich (SCHLÜCHTER ET AL. 2018). Die beiden Stämme im Silsersee sind auch für dendrochronologische Analysen angebohrt worden. Die Jahrringanalysen der Fichte mit 70 Jahrringen und der Lärche mit 64 Jahrringen haben eine Präzisierung des Wachstumsendes wegen der Holzqualität nicht erlaubt.
- Die beiden Radiokarbondaten aus dem Silsersee vom Dach des Turbidits (BLASS ET AL. 2005) fallen in den Zeitraum zwischen 548 und 797 CE. Ein Ereignis, das mit dem Absterben der Bäume im Zusammenhang stehen kann.
- Der jüngste Jahrring der grossen Lärche im Silvaplanersee ist aus dem Jahr 974 CE und markiert das Ende eines 495-jährigen Wachstums. Er hat also das Ende der Bäume im Silsersee miterlebt, ohne selber abzusterben
- Die kleinere Lärche im Silvaplanersee ist um die 500 Jahre später abgestorben (Diskussion in SCHLÜCHTER ET AL. 2018).

Die neue Probe aus dem St. Moritzersee ist verglichen mit dem Altersbereich der Proben aus dem Silsersee (1273–1395 yrs BP) um 50 Radiokarbonjahre älter (1445 ± 15 yrs BP). Nach SEIFERT & GRISCHOTT (Angaben in der «Südostschweiz» vom 15.7.2021) sind die Bäume im St. Moritzersee im 7. Jahrhundert

CE abgestorben. Der kalibrierte Zeitbereich für das Absterben der neuen Probe Oens-SM-01 ist mit 596 bis 647 CE berechnet. Damit ist der kalibrierte Absterbebereich – und bereits das Alter aus der konventionellen Radiokarbonmessung – wenig älter als die Daten aus dem Silsersee.

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen zum Brattashang und zum Schiefen Turm in den 1970er- und 1980er-Jahren konnten an Holz- und Torfproben aus der Brattas Sturz- und Rutschmasse eine grosse Zahl von Radiokarbonmessungen durchgeführt werden. Die Resultate liegen im Bereich zwischen 725 und 4337 yrs BP (mit einer auffallenden Häufung zwischen 300 und 650 CE). Die entsprechenden Proben sind bisher als Nachweis wiederholter Instabilitäten interpretiert worden, dies vor allem im Zusammenhang mit reliktschen Paläoböden in der Rutschmasse (Abb. 3 und Kap. 4).



Abb. 3: Baugrube Chesa Corviglia (Baubeginn 1980), Aushub in der chaotischen, verflochtenen Sturzmasse (Foto: Ch. Schlüchter).

3 Weiterführende Beobachtungen in der Umgebung

3.1 Baustelle Furnatsch

Auf der Suche nach der Ursache der Seespiegelschwankungen sind verschiedene Mechanismen erwähnt und erörtert worden: Bergstürze, Rutschungen und Lawinen. Die Hauptfrage bleibt: Weshalb stehen die Skelette – mit Ausnahme im Silvaplanersee – in beträchtlicher Distanz vom Ufer? Interessant ist, dass die Existenz der Bäume nie in Frage gestellt worden ist.

Die einfachste und naheliegendste Erklärung ist die eines Seespiegelanstiegs, der zum Ertrinken der Bäume geführt hat. Der für ein Ertrinken der Bäume notwendige Seespiegelanstieg in den Oberengadiner

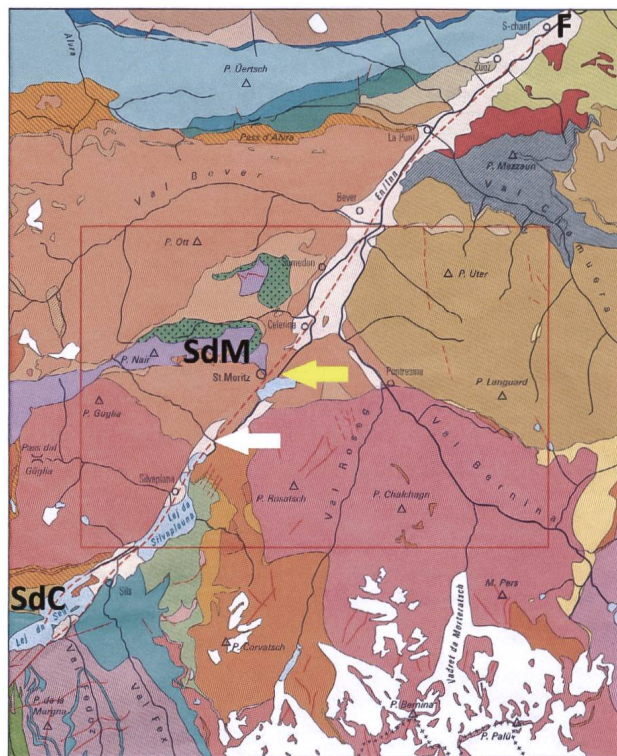


Abb. 4: Tektonische Übersichtskarte. SdC = Sasc da Corn, F = Baustelle Kläranlage Furnatsch, SdM = Sass da Muottas. Der weisse Pfeil markiert die obere, der gelbe die untere Staustufe (PETERS 2005).

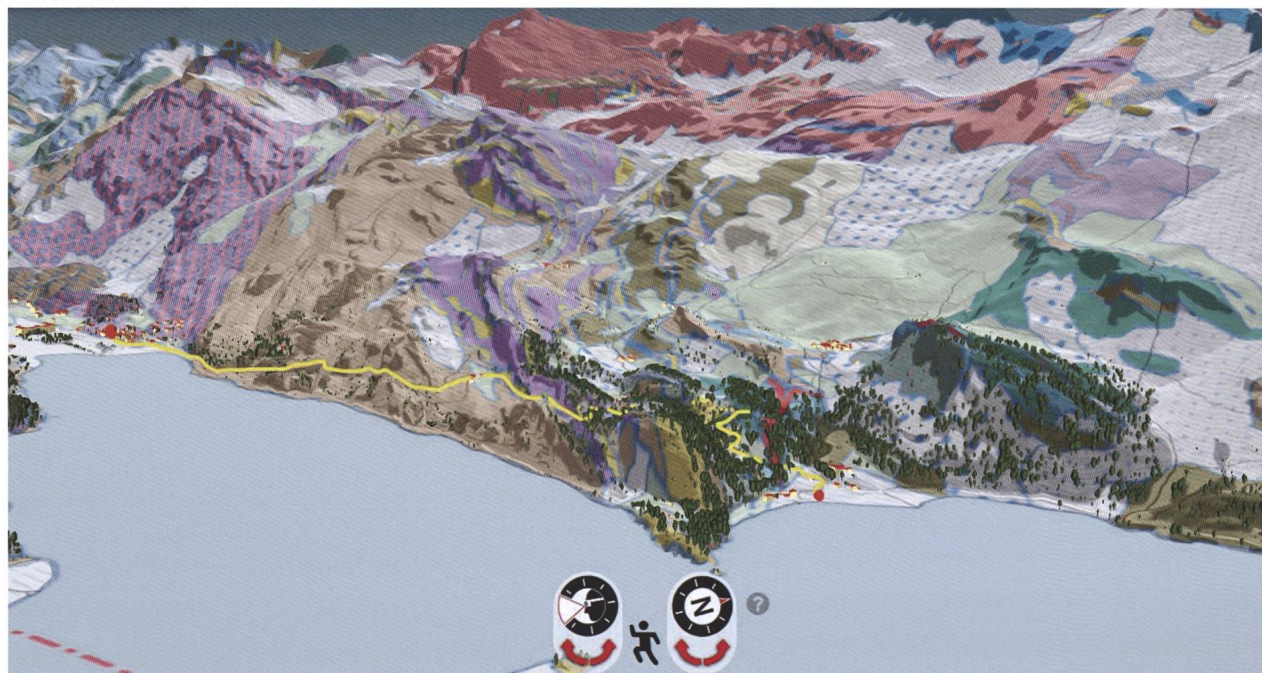
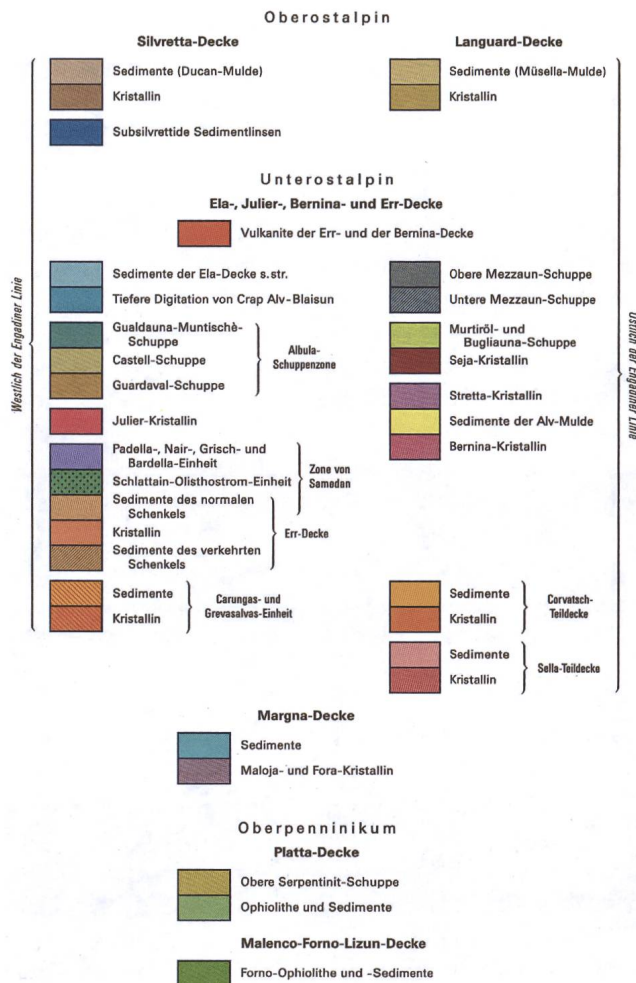


Abb. 5: 3D-Rekonstruktion der geologischen Verhältnisse beim Sasc da Corn am Nordufer vom Silsersee. Gut sichtbar sind die steilstehenden triadischen Dolomite in Gelb in komplizierter tektonischer Beziehung zu Liaskalken in Lila. In der Fortsetzung dieser Karbonate im See liegt der hydrographische Kontakt zum Karstsystem. Die gelbe Linie markiert den Wanderweg von Plan di Mort nach Plaun da Lej (Kompilation: St. Altner mit Daten von swisstopo).

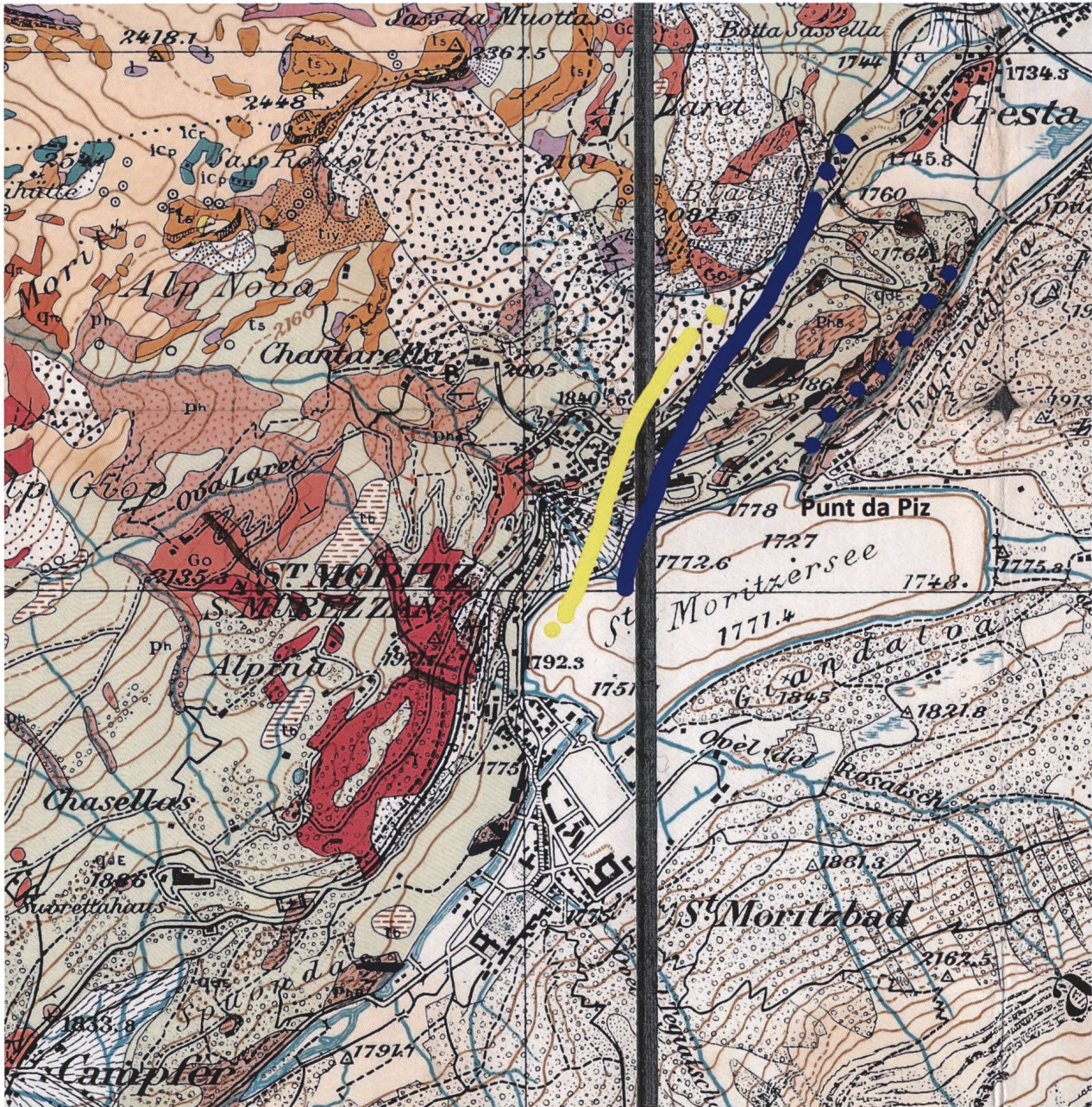


Abb. 6: Ausschnitt aus der geologischen Karte der Err-Julier-Gruppe mit dem damals postulierten, verschütteten Innlauf (blau) mit einem Variantenverlauf unter dem heutigen Dorf (gelb), blau punktiert die heutige Schlucht der Charnadüra (CORNELIUS 1932).

Seen ist beträchtlich: Auf 1500 Jahre hochgerechnet ergibt das für den Silsersee bei 20 m Tiefe 1,3 cm/Jahr, für den Silvaplanersee mindestens 16 m und 1,3 cm/Jahr (die Skelette stehen ufernah) und für den St. Moritzersee sind es 22 m und 1,45 cm/Jahr. Eine Differenzierung der Seespiegelanstiege muss betrachtet werden. Einmal verlangen die Bäume im Silvaplanersee nach einer differenzierten Geschichte, und die ausgeprägte Schuttkegel- und Deltabildung, vor allem bei Silser- und Silvaplanersee kann

durchaus eine Rolle gespielt haben. Es muss auch bedacht werden, dass die grosse Lärche im Silvaplanersee nur 16 m unter der Wasseroberfläche steht, während es im Silsersee 20 m sind.

Häufig stauen geologische Vorgänge neue Seen im Gebirge nicht nachhaltig. Rutschungen werden umflossen, Gletscher schmelzen wieder ab. Die Bildung der neuen Seen in den Alpen in den letzten 20 Jahren ist speziell: Mit dem Schmelzen der Gletscher werden subglaziale übertiefe, stabile Felsbecken, die

sich unmittelbar mit Schmelzwasser füllen, zu neuen Seen. Ein prominentes Beispiel ist der neue See beim Rhonegletscher. Am Beispiel des Oberengadins sind aber Vorgänge notwendig, die einen ganzen Talbereich ertrinken lassen. Es muss also ein Staumechanismus aktiviert werden, der dicht und stabil bleibt und in unserem Fall an der richtigen Stelle stattfindet. Das Oberengadin kann nur an zwei Stellen eingestaut werden: bei Maloja im Westen oder bei St. Moritz im Osten. Bei Maloja ist das Oberengadin im Zeitraum, der uns interessiert, enthauptet geblieben. In einer ersten Annäherung bleibt also St. Moritz.

In der geologischen Karte der Err-Julier-Gruppe, Ostblatt von CORNELIUS (1932) ist in St. Moritz ein alter Flusslauf (mit Fließrichtung Celerina) eingetragen (Abb. 6), der vom westlichen Ende der heutigen Gleisanlagen unter dem Schiefen Turm hinüber ins Ruinatsch führt.

2019 haben MEIER ET AL. im «Swiss Bulletin für Angewandte Geologie» eine inspirierende Dokumentation publiziert, die unbekannte Aspekte der Landschaftsentwicklung im Engadin aufzeigt: Es gibt aktiven Karst. Karstwasserspiegel können landschaftliche Veränderungen verursachen, die katastrophal, rasch und vor allem unerwartet eintreten. In der weiteren Umgebung von Furnatsch bei S-chanf lassen sich geradezu klassische Karstformen beobachten, die zu einem aktiven System gehören. Auf einer Baustelle bei Furnatsch konnte aktive Karstwasserführung nachgewiesen werden (Abb. 7). Ebenso sind in der Gegend von S-chanf immer wieder Erdfälle bekannt geworden. Das aktive Karstgebiet bei S-chanf ist aber nicht in einem ursächlichen Zusammenhang mit den Seespiegelschwankungen zu sehen.



Abb. 7: Aufgebrochener Karsthohlraum in der gipsführenden Raibler-Rauhewacke aus der Trias. Baustelle Kläranlage Furnatsch bei S-chanf (Foto: Th. Rüegg).

Aktive Karst-Lösungsverwitterung im Untergrund ist auch mit dem hohen Sulfatgehalt im hoch mineralisierten Tiefenwasser der Bohrung San Gian in St. Moritz nachgewiesen (PETERS 2005). Hohe Mineralisation mit ebenfalls auf die Lösung gipshaltiger Gesteine im Untergrund hinweisenden hohen Sulfatgehalten ist auch in der bereits römischgenutzten St. Mauritiusquelle in St. Moritz bekannt (PETERS 2005). Die als Römer- und als St. Mauritiusquelle bekannte Mineralquelle ist offenbar aus brunnentechnischen Gründen einige Meter unter heutigem Terrain gefasst. Ist diese Lage auch ein Hinweis auf nach-römischzeitliche Seespiegelschwankungen?

3.2 St. Moritz und der Brattashang

Der Brattashang oberhalb von St. Moritz ist in den 1970er- und 1980er-Jahren berühmt geworden: Einerseits wegen einer erneuten und technisch anforderungsreichen Sanierung des Schiefen Turms und andererseits wegen bautechnischer Probleme bei Neubauten. Umfangreiche geologisch-geotechnische Untersuchungen wurden vor allem durch das damalige ETH-Institut für Grundbau und Bodenmechanik durchgeführt. Der Schiefe Turm ist nicht nur ein Wahrzeichen von St. Moritz, sondern auch Symbol für eine tiefgründige, grossräumige und aktive Rutschung. Ihre Anlage ist durch folgende geologische Gegebenheiten begünstigt:

- Der Gebirgszug Sass Runzöl–Sass da Muottas östlich von der Corviglia besteht aus stark verkarstem Dolomit.
- Die Unterlage bei Alp Nova sind ausgedehnte Gipsvorkommen mit Rauhewacke.
- Im unteren Hangbereich sind kaum aufgeschlossene verschieferte, mylonitisierte Gneise im Kontakt der Bernina-Decke (mit Julier- und Suvretta-Schuppen) und der Err-Decke (mit Nair- und Grisch-Schuppen, FINGER 1978) vorhanden. HEIM (1922) erwähnt zudem «Casannaschiefer». Die Felsunterlage könnte komplizierter und tektonisierter nicht sein.
- Zusätzlich folgt die Engadiner Linie der Decken- bzw. der Schuppengrenze, in deren unmittelbarem Bereich der Schiefe Turm steht.

Der Grat von Sass Runzöl–Sass da Muottas ist zum Tal hin (also in Richtung Dorf) ein exemplarisches Kollaps- und Sturzgebiet (Abb. 8). Der zentrale Sturzkessel ist von tiefgründigen sekundären Anrissen und in Gips und Rauhewacke der Alp Nova von zahlreichen Dolinen umsäumt. Es ist eine einfache Folgerung, dass die Brattas-Instabilität auf eine riesige, zusammengefallene Karstlandschaft zurückzu-



Abb. 8: Blick vom Sass da Muottas auf die verstürzte Felsmasse, aus der sich der Schuttstrom in Richtung des alten Innlaufes entwickelt hat (Foto: Ch. Schlüchter).

führen ist mit kollabiertem Gips und Rauhwanke als primärer Ursache. Dabei sind auch die schiefriigen Gneise des Randgebiets teilweise eingebrochen, sicher begünstigt durch die vorhandenen Mylonite der Schuppengrenze und der Engadiner Linie. Aus der riesigen Einsturzmasse hat sich dann, infolge der veränderten (verstopften) Hangwasserwege, die komplexe Rutschung (Bergsturzschtstrom nach HEIM 1922) im unteren Hangbereich in Richtung des heutigen Dorfs entwickelt (Abb. 4). Ein sichtbares Beispiel für die in der Tiefe der Rutschung teilweise verstopften Fliesswege ist die grosse Quelle bei God sur Chaunt Blais, die den Bach im westlichen Bereich der Rutschung speist. Stabil ist der Gneisrücken mit dem Kulm-Hotel.

Weshalb ist der Brattashang für die vorliegende Diskussion über die Seepegelveränderungen relevant? Ausgehend von der Felsoberfläche beim Kulm-Hotel und hangwärts zum Schiefen Turm und weiter hangwärts konnte mit zahlreichen Bohrungen gezeigt werden, wie bereits unter dem Schiefen Turm die Felsoberfläche abtaucht und in der Tie-

fe verschwindet (IGB-ETH 1979). Bergwärts, also hangwärts vom Schiefen Turm, zieht eine tiefe Rinne durch den Hang, die (analog HEIM 1922) als alter Innlauf interpretiert wird (Abb. 6). Sie ist bis praktisch auf das heutige Seeniveau nachgewiesen. Tiefere Bohrungen sind nicht ausgeführt worden. Der morphologische Damm am Ostrand der Oberengadiner Seen kann somit ein tiefgründig kollabierter Karst mit dem sich daraus entwickelnden Bergsturzschtstrom sein. Interessant ist, dass CORNELIUS im Begleittext (1951) zur Karte aus dem Jahre 1932 den alten Flusslauf «unter dem Schiefen Turm» vehement verneint hat. Zerrütteter Fels bei Punt dal Piz (Seitenast der Engadiner Linie?), die Nähe zum alten Innlauf und die Schuttkegelbildung bei Acla Dimlej haben den Ausfluss aus dem gestauten See vorgegeben. Eine vorletzzeitliche Entwässerung über den Lej da Staz ist dadurch nicht ausgeschlossen. Um den Lauf durch die Brattasrutschung ohne Ablenkung zu überstehen, müsste ein Stazer-Inn bereits im Gebiet von St. Moritz Bad von der allgemeinen Talrichtung abgelenkt werden.

3.3 Sasc da Corn am Silsersee

Der Sasc da Corn bildet einen ausgeprägten, scheinbar stabilen Felsvorsprung in den Silsersee südlich von Plaun da Lej. Es handelt sich hier um «komplex verschupptes Mesozoikum der hochpenninischen Decken (Margna- und Sella-Decke) über basalem Malojagneis» (GEOLOGISCHER FÜHRER DER SCHWEIZ 1967, S. 807–808). Der noch intakte Teil des Römerweges ist im Malojagneis angelegt (siehe Abschnitt 2.3). Ein nicht mehr aktiver Steinbruch am Sasc da Corn erlaubt den Einblick in die komplizierten und vor allem stark aufgebrochenen Gesteine, vorwiegend Dolomit (Abb. 5). Für die Diskussion über die Seepiegelveränderungen sind zwei Beobachtungen wichtig:

- Der Sasc da Corn bildet das Ostende des (nur?) oberflächlich versackten Hangs mit dem zerstörten Römerweg. Zudem gilt der Hang lokal als instabil.
- Das Gebiet um den Sasc da Corn sollte aus Sicherheitsgründen wegen subaquatischen «Wanderlöchern» und Steinschlag nicht betreten werden. Eine wichtige Gegebenheit ist der Verlauf der Engadiner Linie bei Sasc da Corn. In der tektonischen Übersichtskarte vom «Geologischen Atlasblatt St. Moritz» (PETERS 2005) teilt sich am Westende des Silvaplanersees die Engadiner Linie in zwei Äste. Der südliche Ast ist die sich weiter nach Westen ausdehnende Hauptlinie. Der nördliche Ast verliert sich bei Sasc da Corn. Offenbar treffen dort mehrere instabilitätsfördernde geologische Elemente aufeinander (Abb. 4).

Wir haben es mit einer direkten Interaktion von einem Karstsystem mit dem heutigen See zu tun. Wie tief ins heutige Seebecken die mesozoischen Sedimente, vor allem der Dolomit anstehen, ist nicht bekannt. Ein Kollaps offener Karsthohlräume im Untergrund bei Sasc da Corn kann das ehemals tieferliegende Schluckloch verstopft haben, was zum nachfolgenden Seespiegelanstieg führte.

Mit dem Brattashang bei St. Moritz und dem Sasc da Corn am Silsersee sind zwei Karstgebiete unterschiedlicher Grössenordnung und bisheriger Mechanismen vorhanden, die beide die Kapazität gehabt haben und sicher weiterhin haben, die Landschafts- und Talgeschichte mitzugestalten. Es muss auch die Frage gestellt werden, inwiefern die komplex tektonisierten, triadischen Karbonatgesteine südlich von Silser- und Silvaplanersee mit der grossen Rutschung der Furtschellas aktiven Karst enthalten. Die dortige bescheidene Oberflächenentwässerung ist ein Hinweis (Mitteilung von R. Melcher).

4 Schlussfolgerungen

In der Entwicklung der Oberengadiner Seenlandschaft sind zwei gegensätzliche Elemente enthalten. Da ist einmal die lange, lange geologische Zeit, die im weiten Tal zwischen St. Moritz und Maloja gewissermassen ruht. Die Anlage und die Ausformung dieser relikthischen Landschaft sind voreiszeitlich. Im Gegensatz dazu stehen Baumskelette in den drei Seen, deren Absterbealter mit der Radiokarbonmethode bestimmt worden sind und deren Geschichte in weniger als 2000 Jahren Platz hat. Für eine Dislokation der Bäume von einem Wachstumsort zu den jetzigen Standorten in den Seen gibt es keine schlüssigen Argumente. Zu stabil und zu uferfern (mit Ausnahme im Silvaplanersee) stehen sie da. Die auf Datierungen beruhenden Ereignisse sind nachfolgend zusammengefasst. Da mit Ausnahme der Bäume im Silvaplanersee keine präzisen dendrochronologischen Daten vorliegen, sind im Folgenden die mit 95,4% Wahrscheinlichkeit bestimmten Kalenderjahre als Bandbreiten (Zeitfenster) angegeben.

- Das Alter der organischen Schicht mit den römischen Altäre von Sils Baselgia ist 225–419 CE. Der Turbidit als Resultat des Zusammenbruchs vom Delta ist jünger.
- Die obersten Lagen des Turbidits sind 548–797 CE abgelagert worden.
- Die Bäume im Silsersee starben 636–727 CE ab, also im gleichen Zeitfenster wie der Turbidit zur Ablagerung kommt. Aber die Bäume beginnen dort um 630 CE zu wachsen, bezogen auf das gemittelte Absterbealter um 700 CE.
- Die Lärche im St. Moritzersee stirbt 596–647 CE ab. Gemittelt also um 40 Jahre vor den Bäumen im Silsersee. Natürlich muss dieser Sachverhalt mit weiteren Daten bestätigt werden.
- Die grosse Lärche im Silvaplanersee lebte von 479–974 CE. Sie steht in mindestens 6 m weniger Wassertiefe als die Bäume im Silsersee. Der kleine Baum im Silvaplanersee lebte von 1433–1556 CE.
- Die St. Mauritiuskirche auf der Brattas Rutschmasse wurde 1139 CE gebaut.

Bis im 7. Jahrhundert CE hat im Oberengadin offenbar morphologische Ruhe geherrscht. Spätestens um 700 CE beginnt der Wasserspiegel im Silsersee massiv zu steigen und die Bäume sterben ab, nachdem offenbar der Wasserspiegel im St. Moritzersee einige Jahrzehnte früher angestiegen ist. Nach diesem Szenario wird der alte Innlauf durch den Brattashang früher verschüttet als der Kollaps vom Isoladelta mit dem folgenden Turbidit erfolgt. Diesen «frühen Er-

eignissen» hat die grosse Lärche im Silvaplanersee von leicht erhöhter Warte aus zugeschaut. Der junge Baum im Silvaplanersee fällt ganz aus diesem Szenario, was auf junge (< 1000 Jahre) und geringere Seespiegelschwankungen hinweisen kann.

Welche Mechanismen haben die Engadiner Landschaft in den letzten 2000 Jahren derart umgestaltet?

Aufgrund der vorangehenden Darstellungen ist die folgende geologische Kausalkette ein wahrscheinliches und plausibles Szenario. Dabei sind die landschaftlichen Veränderungen beträchtlich: In einer ersten Instabilitätsphase kollabiert der Karst am Sass Runzöl und blockiert mit dem sich entwickelnden Schuttstrom den alten Innlauf (Abb. 6). Der Seespiegel im St. Moritzersee steigt an, bis der Überlauf in die epigenetische Charnadüra bei Punt da Piz funktioniert und sich damit der Seespiegel stabilisiert. Zur gleichen Zeit kollabiert und verstopft der Karst bei Sasc da Corn (Abb. 5) und löst den Seespiegelanstieg in der oberen Staustufe aus. Die vorhandenen Datierungen sprechen dafür, dass beide Staustufen annähernd gleichzeitig wirksam geworden sind, abgesehen vom leicht älteren Absterbealter der Lärche im St. Moritzersee. In dieser Betrachtung und unter Berücksichtigung der Ursachen der Seespiegelanstiege ist ein bedeutendes Erdbeben als Ursache für den kollabierenden Karst möglich. Dafür spricht auch die Nähe der beiden «Stöpsel» zur Engadiner Linie als Transmission der Erdbebenspannungen. Dieser Aspekt verlangt aber noch eine kurze Diskussion.

Die Engadiner Linie verläuft in der unmittelbaren Nähe des Schiefen Turmes, wahrscheinlich im Bereich des alten Innlaufes (Abb. 6). Entgegen den Vermutungen haben die Erdbeben vom 25. April 1986 und vom 6. Mai 1976 im Friaul den Schiefen Turm nur um etwa 1 mm bewegt. Diese Bewegung ist aber innerhalb der jahreszeitlich bedingten Schiefstellungen infolge der Wasserführung im Hang bedeutungslos. Insbesondere sind die grossen Erdbeben vom Piz Quattervals im Jahr 1785 und von St. Moritz vom 13. September 1927 ohne Beeinträchtigung des Turmes geblieben (WULLIMANN & SCHNELLER 1987). Ebenso sind starke Erdbeben im Gebiet der Schweiz vor dem Jahr 1000 CE und insbesondere im uns interessierenden 7. Jahrhundert CE archivisch schwierig nachzuweisen (GISLER ET AL. 2007). Der Kollaps des Isola-Schuttfächers, bzw. -Deltas muss nicht zwingend durch ein Erdbeben ausgelöst worden sein. Unter anderem erlaubt seine interessante Restform die Frage, weshalb er denn nicht ganz kollabiert, sondern elegant an der kleinen Felsinsel hängen geblieben ist? Eine erdbebeninduzierte Verflüssigung

müsste zu einem vollständigen Kollaps geführt haben. Der Kollaps des Schuttfächers ist auch ohne Erdbeben möglich, denn bei steigendem Wasserspiegel kommt der Schuttfächer unter Auftrieb und schwimmt sozusagen auf. Die jetzt leichter gewordenen Sedimente können sich schlagartig verflüssigen. Ob nun Erdbeben oder Wasserspiegelanstieg den Schuttfächer kollabieren liessen, wirft die Frage auf, weshalb die anderen Schuttfächer stabil geblieben sind? Und weshalb sind als Folge eines grossen Erdbebens nicht alle Bäume umgestürzt?

Zuletzt bleibt die Frage nach den Bäumen im Silvaplanersee und dem kollabierten Römerweg am Silsersee. Den verstürzten Römerweg und weitere junge Instabilitäten im Hang bei Splüga mit kollabierendem Karst bei Sasc da Corn in Verbindung zu bringen, ist naheliegend (Abb. 5). Die Lärchen im Silvaplanersee stehen etwas neben der skizzierten Geschichte und es bleibt die Frage, ob der Seespiegel nicht langsamer angestiegen ist und die Bäume weiter im Becken draussen nicht doch eine Zeit lang als halbdürre Skelette z.T. noch aus dem Wasser ragten. Die Bäume im Silvaplanersee haben irgendwie eine andere Geschichte. Sind eventuell doch kleinräumige Hangsackungen involviert? Eine Frage, die mit den Untersuchungen zum Bau des projektierten Lehnenviadukts dem See entlang beantwortet werden müsste. Der jüngere Baum hat nach dem Bau der St. Mauritiuskirche im Brattashang 1139 CE erst um 1433 CE gekeimt. Dadurch müssen auch die 24 Radiokarbondatierungen von Holz und Torf im Brattashang in einem grösseren Zusammenhang gesehen werden. Alle Vergleiche mit klimatischen Ereignissen scheitern, und so bleibt dort das komplexe lithologische Durcheinander, wie es sich für eine Rutschung von solchen Dimensionen gehört (Abb. 4 und Abb. 5).

5 Dank

Grosser Dank gebührt dem Redaktionsteam für den Jahresbericht der NGG für die Geduld und Unterstützung. Herrn Reto Melcher danken wir für seine freundliche Mitteilung seiner Beobachtungen zur spärlichen Oberflächenentwässerung südlich von Silser- und Silvaplanersee. Verbindlich danken wir Frau Bertilla Giossi, RTR, für die Erlaubnis, ein Bild als Abbildung publizieren zu dürfen. Die Informationen vom Tiefbauamt des Kantons zum winterlichen Zustand der Kantonsstrasse bei Plaun di Lej sei bestens verdankt. Wir danken Inma Gutiérrez für die sorgfältige Auswertung der Georadardaten im Gebiet der Kläranlage Furnatsch.

6 Literatur

- BLASS, A., ANSELMETTI, F. S., GROSJEAN, M., STURM, M., 2005. The last 1300 years of environmental history recorded in the sediments of Lake Sils (Engadine, Switzerland). *Swiss Journal of Geosciences* Vol. 98, No.3: 319–332.
- CORNELIUS, H. P., 1932. Geologische Karte der Err-Julier-Gruppe 1:25 000, Ost-Blatt. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, Spezialkarte N. 115 B, Kümmerly & Frey.
- CORNELIUS, H. P., 1951. Geologie der Err-Julier-Gruppe, Erläuterungstext. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz, N.F. 70. Lieferung, III. Teil, Kümmerly & Frey.
- ERB, H., MEYER, E., BRUCKNER, A., 1966. Römische Votivaltäre aus dem Engadin und neue Inschriften aus Chur. *Helvetica Antiqua*, Festschrift Emil Vogt 9: 223–232.
- FINGER, W., 1978. Die Zone von Samaden (unterostalpine Decken, Graubünden) und ihren jurassischen Brekzien. *Mitt. Geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich*, N.F. Nr. 224, 140 S.
- GEOLOGISCHER FÜHRER DER SCHWEIZ, 1967. Heft 9, Chur-Engadin, Wepf: 867–868.
- GISLER, M., FÄH, D., MASCIADRI, V., 2007. «Terrae motus factus est»: earthquakes in Switzerland before A. D. 1000. A critical approach. *Natural Hazards*, Springer Media.
- GRISCHOTT, R., DONAU, F., KOBER, F., HAJDAS, I., STRASSER, M., 2014. Mass Movements at 700 AD in Lake Sils, Engadine. *Annual report, Ion Beam Physics ETH Zürich*: 46.
- HEIM, A., 1879/8. Die Seen des Oberengadins. *Jahrbuch S.A.C.* Band 15.
- HEIM, A., 1922. *Geologie der Schweiz*, Band II. Tauchnitz, Leipzig.
- IGB-ETH, 1979. Technischer Bericht No. 3676/6 vom 22. Januar 1979 (und Folgeberichte), Schiefer Turm St. Moritz, Sondierbohrungen Sept. 1978, Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH Zürich zu Handen der Gemeinde St. Moritz.
- MEIER, E., GUTIÉRREZ, I., RÜEGG, TH., BERWEGER, M., 2019. Baugrundrisiken in schwierigem Untergrund mit geophysikalischen Methoden erkennen und entschärfen – am Beispiel des Neubaus der ARA Furnatsch in S-chanf, GR. *Swiss Bulletin für angewandte Geologie*, Vol 24/2: 75–84.
- NIGG, V., WOHLWEND, ST., HILBE, M., BELLWALD, B., FABRI, ST. C., DE SOUZA, G. F., DONAU, F., GRISCHOTT, R., STRASSER, M., ANSELMETTI, F. S., 2021. A tsunamigenic delta collapse and its associated tsunami deposits in and around Lake Sils, Switzerland. *Natural Hazards* (2021) 107: 1069–1103.
- PETERS, T., 2005. *Geologischer Atlas der Schweiz 1:25 000, Blatt 1257 St. Moritz (Atlasblatt 118)*, mit Erläuterungen. swisstopo.
- RAGETH, J., 2002. Sils i.E./Segl, Baselgia/nördlich Haus Suosta Veglia. *Jahresberichte des Archäologischen Dienstes Graubünden und der Denkmalpflege Graubünden*: 141–146.
- SCHLÜCHTER, C., 2015. Dynamik im regulierten Spöldank Hochwasser. *Nationalparkforschung in der Schweiz* 103/2015: 69–73. Haupt Verlag (Bern).
- SCHLÜCHTER, C., BONANI, G., DONAU, F., GRISCHOTT, R., NICOLUSSI, K., PFENNINGER, A., SCHLÜCHTER, B., SEIFERT, M., VATTIONI, S., HAJDAS, I., 2018. Rätselhafte Unterwasserbäume in den Oberengadiner Seen. *Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden*, Band 120: 41–49.
- SEIFERT, M., GRISCHOTT, R., 2021. Versunkene Wälder in den Oberengadiner Seen. *Südostschweiz* Nr. 165 vom 19. Juli 2021.
- STAUB, R., 1934. *Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie*. Denkschriften der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, Band LXIX, Abh.1.
- WULLIMANN, R., SCHNELLER, F., 1989. *Der Schiefe Turm von St. Moritz*. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 35, 31.8.1989.