



Die Unterwassersinter im Hallstätter See

(Hallstatt/Oberösterreich)

SPELDOK - 31

Titelbild:

oben: Teilansicht der Marktgemeinde Hallstatt von Südost (Werflinger Wand-Obertraun).
Foto W. Greger.

unten: Bereich der Sinterwand in einer Tiefe von 35 m, Sinterzapfenlänge im linken
Bildbereich bis zu 40 cm, Screenshot aus der Videodokumentation von Ch. Macherhammer.

Rückseite: Bereich der Sinterwand in einer Tiefe von 25,6 m,
Screenshot aus der Videodokumentation von Ch. Macherhammer.

Impressum

Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Unterwassersinterwand Hallstatt (Linz/Wien)

Druck: WIRmachenDRUCK, D-71522

Backnang

Erscheinungsdatum: Februar 2024



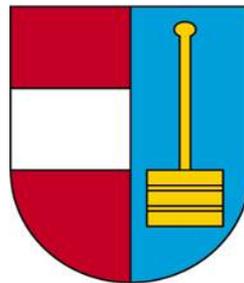
Die Herausgabe dieser Dokumentation wurde ermöglicht durch einen finanziellen Zuschuss
der Marktgemeinde Hallstatt sowie durch Eigenmittel der Verfasser.

SPELDOK ist die *Freie Publikationsreihe* der Karst- und Höhlenarbeitsgruppe am
Naturhistorischen Museum Wien in Kooperation mit dem Verband österreichischer
Höhlenforschung (bis inkl. SPELDOK 28 mit der Fachsektion Karsthydrogeologie des VÖH).

Die Unterwassersinter im Hallstätter See (Hallstatt/Oberösterreich)

Arbeitsgemeinschaft Unterwassersinterwand Hallstatt

Walter Greger, Fritz Idam, Norbert Leutner, Christoph Macherhammer,
Gerhard W. Mandl, Rudolf Pavuza, Hans Reschreiter & Karl Wirobal



Inhaltsverzeichnis

1. Vorgeschichte	1
2. Aktuelle Aktivitäten	1
3. Abklärungen unter Wasser - die vier Tauchgänge	2
4. Beschreibung des untersuchten Unterwasserbereiches	5
5. Geologischer Rahmen	15
6. Hydrogeologische Hinweise zum Hallstätter See	17
6.1. Unterirdischer Wasserzufluss zum See	18
6.2. Geothermalphänomene im Seegebiet	18
7. Modelle und Fakten zur Entstehung der Sinterbildungen	19
7.1. Modell 1 - Entstehung der Sinter über Wasser und spätere Überflutung	20
7.2. Modell 2 - Entstehung der Sinter über Wasser und Abgleiten des Bereiches	21
7.3. Modell 3 - Entstehung der Sinter unter Wasser	21
7.4. Hinweise zur Altersstellung der Sinterbildungen	
7.4.1. Datierung der eingeschlossenen Hölzer mittels ¹⁴ C	22
7.4.2. Kalkhaltige Ausgangsprodukte anthropogener Herkunft	23
7.4.2.1. Der Brandschutt der Feuerkatastrophe von 1750	23
7.4.2.2. Betriebsabfall der Salz-Siedepfannen	24
7.5. Aktuelles Modell zur Entstehung und Entwicklung der Sinterformen	29
8. Hydrographische Daten, Hochwässer und Felsstürze im Gebiet von Hallstatt	
8.1. Hydrographische Situation im Umfeld des Hallstätter Sees	34
8.2. Einfluss der Seeklause auf den Wasserstand	37
8.3. Kurze Hinweise zur Wärmenutzung aus dem Hallstätter See	38
8.4. Zur Grundwassersituation im Hallstätter Echerntal	38
8.5. Historische Massenbewegungen, Felsstürze, Seebewegungen, "Tsunamis"	39
8.6. Chronologische Übersicht außergewöhnlicher Ereignisse im Bereich von Hallstatt	40
9. Zusammenfassender Ausblick	43
10. Summary	44
11. Mitarbeiter, Danksagungen	45
12. Literatur und Medien	
12.1. Literatur	46
12.2. Kurze Literaturhinweise und sonstige Medien	49
13. Bildtafeln	51

1. Vorgeschichte

Seit längerer Zeit wurde von Tauchern über eine "Tropfsteinwand" im Hallstätter See berichtet. Es existiert die eine oder andere Unterwasseraufnahme mit allerdings geringer Aussagekraft, fehlendem Größenvergleich und ohne genauere Lageangabe. Die gesteigerte Aufmerksamkeit in den Reihen der Höhlen- und Heimatforscher bzw. ein neuerlicher Hinweis des Hallstätter Tauchpioniers Gerhard Zauner (→ Abb. 1) brachte schließlich Bewegung in die Angelegenheit. Bei den Nachforschungen fanden sich - unter anderem auch im Internet - immer wieder höchst unterschiedliche Angaben über die sogenannte "Tropfsteinwand". Interessanterweise stieß man auch in diversen regionalen Tourismusinformationen auf Hinweise, aber auch hier fehlen genauere Angaben (→ Kap. 12.1 und 12.2). Die Zeit schien reif, diesem Phänomen unter wissenschaftlicher Begleitung nachzugehen und einen Besuch



abzustatten. Es war dabei sehr hilfreich, dass in den vergangenen Jahren ausgedehnte geophysikalische Prospektionen eines interdisziplinären Teams hinsichtlich der Massenbewegungen im Hallstätter See durchgeführt wurden (Strasser et al., 2020) und dem Projekt extra angefertigte Detailkarten des betreffenden Uferabschnittes zur Verfügung gestellt wurden (→ Abb. 3, 4a+b).

Abb. 1: Unterwasserfoto eines Bereiches der Tropfsteinwand, aufgenommen um 1990.

Quelle: Archiv G. Zauner.

2. Aktuelle Aktivitäten

Zunächst galt es, die erforderliche Logistik für den Beginn und die Durchführung des Projektes ab März 2022 auf eine solide Basis zu stellen, da an der urgeschichtlich und historisch sensiblen Tauchstelle im Zentrum von Hallstatt seit 1991 ein absolutes Tauchverbot, veranlasst vom Bundesdenkmalamt, besteht. Den Vorgesprächen mit dem Hallstätter Bürgermeister Alexander Scheutz folgte eine interne Gesprächsrunde im Vereinsheim des Vereins für Höhlenkunde Hallstatt-Obertraun im April 2022 mit Geologen, Tauchern sowie Heimat- und Höhlenforschern, um einen geordneten und sinnvollen Ablauf des Projektes festzulegen. Zunächst wurden alle bisherigen Fakten gesammelt und Ansuchen um Forschungs- und Tauchgenehmigungen bei den verschiedenen Institutionen eingebracht. Es erschien vorab keinesfalls als sicher, überhaupt eine Ausnahmegenehmigung des absoluten Tauchverbotes zu bekommen. Nach einer kurzen Wartezeit erhielten wir jedoch die positive Zusage und konnten das Projekt auch praktisch in Angriff nehmen.

Auf verschiedene Vorgaben musste indessen Rücksicht genommen werden. Zunächst wurde die zeitliche Begrenzung der Tauchaktivitäten von der Behörde mit 3 Monaten festgelegt. Verschiedene Unwägbarkeiten, wie zum Beispiel die jahreszeitlich sehr unterschiedliche Sicht

für die Taucher, die mögliche nötige Tauchtiefe usw. machten von vornherein klar, dass mehrere Tauchgänge nötig sein würden. Damit verbunden waren auch die auflaufenden Kosten (für An- und Abreise, für den Tauchgang, Analysen, Publikation usw.), welche die Arbeitsgemeinschaft aus eigener Tasche übernehmen musste, im Auge zu behalten. Dankenswerterweise konnten wir nach einer Zusage des Bürgermeisters mit einer Unterstützung seitens der Marktgemeinde Hallstatt rechnen.

Beim ersten Tauchgang am 28. Oktober 2022 galt es, sich zunächst eine erste Orientierung über die Lage der Sintervorkommen unter Wasser zu verschaffen - zu unterschiedlich waren die vorhandenen Angaben und Informationen. Dass dabei ein versierter Taucher und Geologe des Tauchunternehmens *GeoDive* am Werk war und auch dessen Tauchbegleiterin mit über 5000 Tauchgängen eine große Taucherfahrung aufwies, erleichterte dieses Vorhaben auch hinsichtlich möglicher Schwierigkeiten bei den Tauchgängen erheblich. Bei den drei folgenden Tauchgängen wurden das Ausmaß der Versinterung und deren verschiedene Formgebungen abgeklärt und ebenso die beiden unter Wasser liegenden Abrisskanten der im Jahr 1808 erfolgten Abrutschung genau lokalisiert. Behutsame Probeentnahmen von Sinterstücken und Holzresten, die verschiedenen Analysen zugeführt wurden, waren nötig, um eine zeitliche Zuordnung des Phänomens und Detailfotos der Sinterstruktur zu ermöglichen. Eine Tauchtiefe von 45 m wurde erreicht, wo auch der unterste Bereich der Versinterungen auf 41 m endet. Zahlreiche Fotos und eine durchgehende Filmdokumentation über und unter Wasser rundeten das Tauchprojekt ab.

Der Arbeitsgemeinschaft erscheint es nunmehr aber ebenso wichtig, die Geländebefunde und bisherigen Erkenntnisse des Projektes zeitnah der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

3. Abklärungen unter Wasser - die vier Tauchgänge

Zur Abklärung der Lageverhältnisse des Sintervorkommens wurden im Herbst / Winter 2022 vier Tauchgänge im Hallstätter See vor Hallstatt durch zwei professionelle Taucher durchgeführt. Aufgrund der Vorinformationen (→ Kap. 1) wurde als Taucheinstieg ein kleiner Holzsteg östlich des Geschäftes *Dachsteinsport Janu* gewählt (→ Abb. 2). Getaucht wurde mit üblicher Sporttauchausrüstung mit Pressluft.

An allen vier Tauchtagen herrschte klares, sonniges und windstilles Wetter. Die Sichtverhältnisse unter Wasser waren der Jahreszeit entsprechend sehr gut bis mäßig, wobei die Zonen mit geringerer Schwebeteilchenfracht grundsätzlich die obersten Bereiche umfassten. Im Uferbereich konnte der Seegrund bis in mehrere Meter Tiefe betrachtet werden. Im Rahmen der Tauchgänge wurde insbesondere in den tieferen Bereichen keine Strömung festgestellt. Demnach verblieben aufgewirbelte Schlammartikel über mehrere Minuten bewegungslos im Wasser.



Zunächst erfolgte am 28. Oktober 2022 ein Tauchgang zur grundsätzlichen Abklärung der Unterwasser – Sichtverhältnisse sowie der morphologischen Ausbildung des Seebodens. Im Zuge dieses Taucheinsatzes konnte eine räumliche Abklärung des ufernahen Unterwasserareals vorgenommen werden und es wurden dabei auch örtlich Sinterbildungen angetroffen.

Abb. 2: Taucheinstiegsbereich in Hallstatt; Blick in östliche Richtung. Foto: W. Greger.

Dabei wurde eine erste Sinterprobe in 25,5 m Tiefe entnommen. Die maximale Tauchtiefe lag bei rund 30 m.

Am 8. November 2022 wurde entlang der vorgefundenen Steilwand bis in eine Tiefe von 42 m getaucht. Dabei konnten die räumliche Ausdehnung dieses Wandbereiches erkundet und zwei weitere Sinterproben (aus 20 m und 37 m Tiefe) entnommen werden.

Im Rahmen eines Tauchganges am 24. November 2022 erfolgte auch eine Abklärung über den tiefsten, noch sichtbaren Wandbereich hinaus bis in eine maximale Tiefe von 45 m. Außerdem wurden Proben von zwei Holzstücken in einer Tiefe von 17,4 m und 38,5 m entnommen.

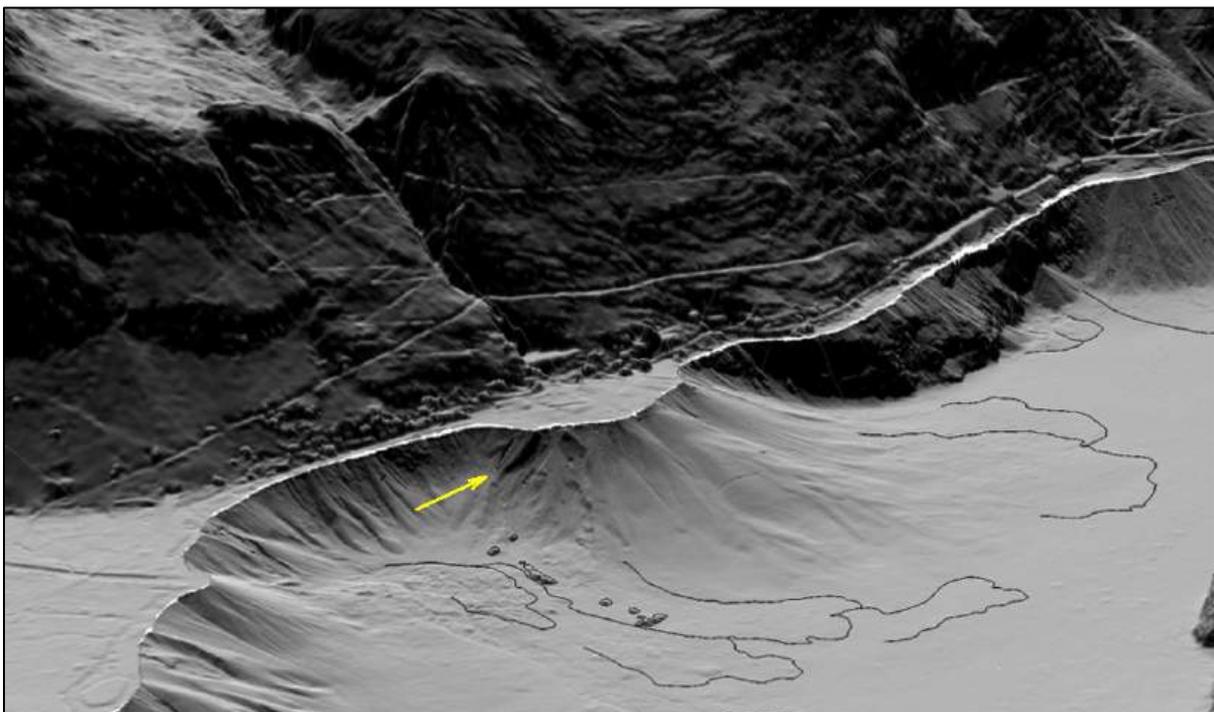
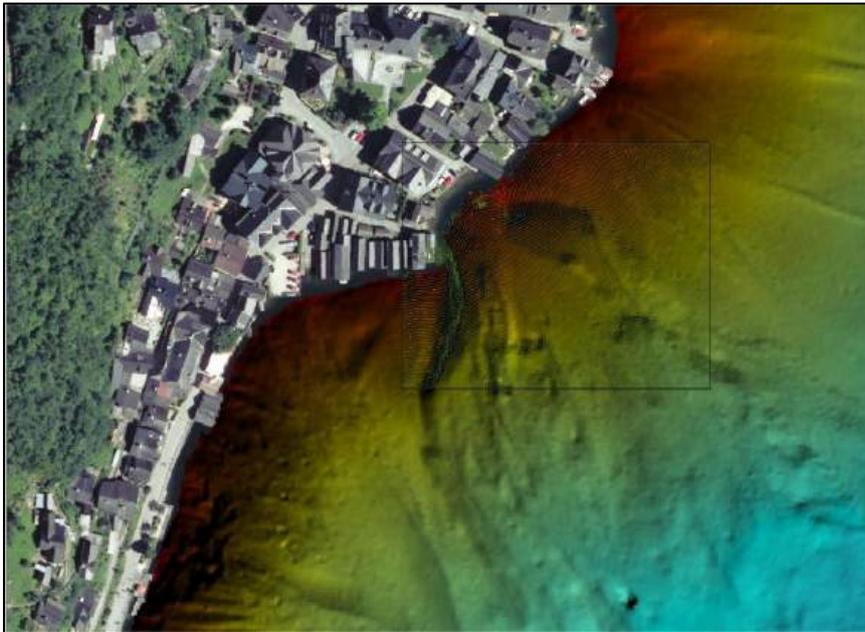
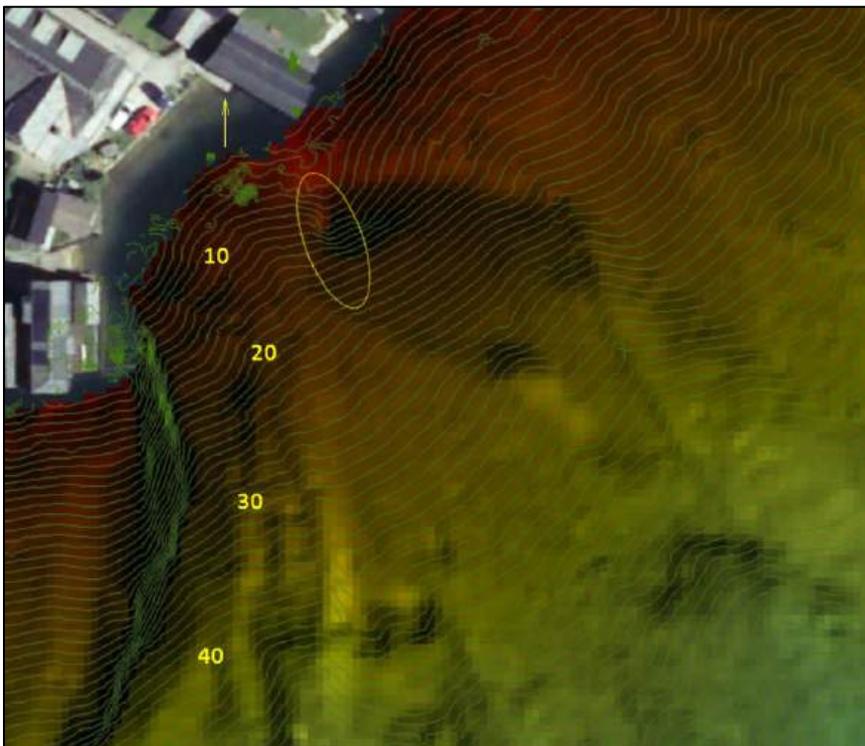


Abb. 3: Teilausschnitt einer 3D Visualisierung der Schwemmfächer von Hallstatt mit dem Steilwandbereich (Pfeil), Kartenerstellung: Thomas Berberich, Michael Strasser (Universität Innsbruck, Institut für Geologie).



Der letzte Tauchgang am 20. Dezember 2022 diente schließlich der Untersuchung einer zweiten Steilwand, deren Verlauf nordöstlich der bereits dokumentierten Steilwand aufgrund der geophysikalischen Prospektionen der Universität Innsbruck (Strasser et. al. 2020 sowie Abb. 4a und 4b), vermutet wurde.



Wenngleich von deutlich geringerer Ausdehnung, konnte diese ebenfalls lokalisiert werden. Bei einer maximalen Tauchtiefe von rund 25 m erfolgte eine annähernd tiefengleiche Querung nach SW zur bereits erfassten großen Steilwand, um die großräumigen Zusammenhänge besser zu erfassen.

Abb. 4a und 4b: Detailausschnitt der Seeuntergrundkarte mit Isohypsen (Angabe in Metern) und Darstellung der beiden Steilwände. Die kleine, östliche Sinterwand ist gelb umrandet, die große Sinterwand ist im linken Bildteil anhand der Isohypsen sehr gut erkennbar. Kartenerstellung: Michael Strasser (Universität Innsbruck, Inst. f. Geologie).

Für die Foto- und Filmdokumentation kam eine Kamera vom Typ GoPro (Version 9) zum Einsatz, die nahezu während der gesamten Tauchzeit von insgesamt 150 Minuten im Einsatz war. Zwei Tauchcomputer der Firma Suunto (Modelle D4 und D9) dienten der Aufzeichnung der Tauchgangsprofile, wobei insbesondere die Tiefen-, Temperatur- und Zeitangaben für die

weiteren Interpretationen herangezogen werden konnten. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass das Modell Suunto D9 diese Daten alle zehn Sekunden aufzeichnet. Im Zuge der Filmdokumentation wurde für eine spätere Auswertung des Filmmaterials (Tiefenzuordnung) die Anzeige von einem dritten Tauchcomputer (Suunto Zoop) punktuell in die Filmaufnahmen mit einbezogen.

Die im Rahmen der Tauchgänge aufgezeichneten Daten zu den Wassertemperaturen können zusammengefasst nachstehender Tabelle entnommen werden. Die Messergebnisse wurden dabei im Zuge des Auftauchens festgehalten. Generell ist eine geringe Abnahme der Temperatur entsprechend der Jahreszeit festzustellen. Der Tauchcomputer Suunto Zoop zeigt nur die tiefste gemessene Temperatur an.

Temperaturaufzeichnung während der Tauchgänge				
Datum	Tiefe	Tauchcomputer		
		Suunto D9	Suunto D4	Suunto Zoop
28.10.2022	30 m	-	-	8°C
08.11.2022	5 m	10°C	10°C	-
	10 m	10°C	10°C	-
	20 m	9°C	9°C	-
	30 m	9°C	9°C	-
	42 m	6°C	6°C	6°C
24.11.2022	5 m	9°C	9°C	-
	10 m	9°C	9°C	-
	20 m	9°C	9°C	-
	30 m	8°C	8°C	-
	45 m	7°C	7°C	5°C
20.12.2022	5 m	7°C	7°C	-
	10 m	6°C	7°C	-
	20 m	6°C	7°C	-
	25 m	6°C	7°C	4°C

4. Beschreibung des untersuchten Unterwasserbereiches

Der zumeist steil abfallende Schwemmfächer vor Hallstatt weist - mit Ausnahme der flacheren Uferzone - eine durchgehende Schlammbedeckung auf. Im Untersuchungsbereich führten mindestens eine, vermutlich aber mehrere Massenbewegungen als subaquatische

Rutschungen zu einem Abgleiten eines begrenzten Abschnittes im Schwemmfächer. Die Abgrenzungen dieses Massendefizits bilden zwei annähernd vertikale Steilwände, die einen Einblick in den internen Aufbau des Schwemmfächers ermöglichen. Die Distanz im gegenständlichen Areal zwischen diesen beiden Wänden kann auf etwa 25 m geschätzt werden. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass Angaben zu den Tiefenstufen auf Basis der Anzeige des Tauchcomputers zumeist exakt festgelegt werden können, wogegen horizontale Entfernungen weitgehend auf Abschätzungen beruhen.

Die Interpretation der Lage bzw. Ausbildung der Steilwände erfolgte auch unter Berücksichtigung des übermittelten Schichtenplanes von M.Strasser für den untersuchten Bereich im Isolinienabstand von einem Meter (→ Abb. 4a).

Weiters ist darauf hinzuweisen, dass im Rahmen der Tauchgänge das Hauptaugenmerk auf die Filmdokumentation sowie einige wenige Probenahmen gelegt wurde. Um eine Sichttrübung durch Schwebeteilchen im Wasser hinten zu halten, wurden die vorgefundenen Materialien demnach zumeist nur visuell dokumentiert. Die im Text und Anhang wiedergegebenen Unterwasserfotos sind zur Gänze Screenshots des Unterwasser-Filmmaterials.

Im Bereich der Verlängerung der Straße "Am Hof" bei der Pension Hallberg, unweit des Ufers, beginnt die rechte (westliche) große Steilwand, die in ihren oberen Bereichen eine nahezu senkrechte Ausbildung mit schätzungsweise 5 m Höhe aufweist und annähernd in südlicher



Richtung verläuft. Im Anfangsabschnitt dieses obersten Wandbereiches sind einzelne Holzpfähle, vermutlich von ehemaligen zerstörten Bootshütten stammend, zu erkennen. Der tiefste Holzpfehl steckt in einer Wassertiefe von etwa 9 m nahezu senkrecht im Schlamm.

Abb. 5: Senkrechter Steilwandbereich mit Holzpfehlen und Müll (Tiefe 9 m).

Foto: Ch. Macherhammer.

Unterhalb einer Wassertiefe von etwa 10 m bis zum Ende der dokumentierten Steilwand lässt der Wandaufbau eine zunehmend ausgeprägte Abstufung erkennen. In einer Tiefe von ca. 41 m und einer horizontalen Entfernung von rund 70 m vom Taucheinstieg verschwindet die große Steilwand im schlammbedeckten Schwemmfächer. Die größte Höhe dieser Steilwand wird auf rund 10 m geschätzt.



Der Aufbau des aufgeschlossenen Schwemmfächers im Steilwandbereich lässt grundsätzlich eine steil stehende, heterogene Abfolge aus Trümmerschutt erkennen.

Abb. 6: Abgestufter Steilwandbereich, Blick nach oben aus 15 m Tiefe.

Foto: Ch. Macherhammer

Einerseits dominiert steiniger bis blockiger Gesteinsschutt mit einer kantigen sowie oftmals



auch plattigen Form. Eine Sortierung bzw. Einregelung dieser Komponenten innerhalb der Lagen ist kaum zu erkennen. Andererseits bilden zumeist helle Lagen aus feinkörnigeren Sedimentmaterialien mit Einschlüssen aus Gesteinstrümmern eine kompakte Schüttlage von brekziösem Charakter.

Abb. 7: Schlammbedeckung am Schwemmfächer in 26 m Tiefe, ca. 35 Grad Neigung.

Foto: Ch. Macherhammer.

Die Mächtigkeiten der beobachteten Schichten variieren zwischen wenigen Dezimetern und maximal einem Meter. Erwähnenswert im Zusammenhang mit der Wechsellagerung der unterschiedlichen Lagen ist, dass die verkitteten Zonen mehrfach als Rippen aus der Wand hervortreten.



Abb. 8: Blockiger Gesteinsschutt mit brekziösem Charakter

(Bildausschnitt: 1,5 x 1,0 m).

Foto: Ch. Macherhammer.



Hier fehlen die blockigen Zonen ohne Zwischenfüllungen, es wurden nischenförmige Bereiche bzw. schichtparallele Überhänge gebildet. Gerundete Komponenten, wie fluviatil abgelagerte Schotter, konnten nicht beobachtet werden.

Abb. 9: Verkittete Blocklagen über plattigem Gesteinsschutt in 25 m Tiefe (Bildausschnitt: 2,5 x 1,5 m). Foto: Ch. Macherhammer

Einlagerungen von Holzteilen im Wandbereich sind nur an vier örtlich unterschiedlichen Punkten festgestellt worden. Neben zwei morschen Holzstücken und den beiden beprobten Holzteilen (→ Abb. 12 und 21) wurde im Bereich von 10 m auch ein eingelagerter Wurzelstock im Wandbereich festgestellt.



Abb. 10: Nische (Überhang) unterhalb einer verfestigten Schuttlage. (Bildausschnitt: 2,0 x 1,0 m) Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 11: Gesteinsschutt als Brekzie (Bildausschnitt: 0,4 x 0,3 m). Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 12: Großer runder Holzstrunk (Länge: 1 m, Durchmesser 0,4 m) im oberen Wandbereich (Holzbeprobung bei 17,4 m, → Kap. 7.4.1). Foto: Ch. Macherhammer.



In Verlängerung des Bootshauses vom Taucheinstiegspunkt weg (→ Abb. 2) bildet der Seeuntergrund einige Meter weit ein flaches Schlammplateau aus, das in einer Wassertiefe von rund 9 m steil abfällt.

Abb. 13: Oberer Abschnitt der abgerutschten Zone im Bereich der Bootshütten.
Foto: Ch. Macherhammer

Im Umfeld dieses Bootshauses können ebenfalls steil stehende Holzpfähle bzw. auch umgefallene Holzpfähle vorgefunden werden, die vermutlich von zerstörten Bootshütten stammen.

Am Beginn dieser Versteilung des Schwemmfächers beginnt als linke Begrenzung der abgeglittenen Massen die kleine Steilwand, die bis in eine Tiefe von 17 m reicht und einen südlichen bzw. südöstlichen Richtungsverlauf aufweist. Unterhalb dieser Wand sind noch bis ca. 20 m größere Gesteinbrocken im Schlamm sichtbar. Die maximale Höhe dieser deutlich kleineren Wand lässt sich auf rund 3 m schätzen. Der Aufbau der sichtbaren Wandteile entspricht im Wesentlichen der heterogenen Abfolge der großen Steilwand.



Abb. 14: Abfall des flachen Schlammplateaus und Beginn der kleinen Steilwand in 9 m Tiefe. Ansaugschlauch für den Betrieb der Wärmepumpen (5 cm Durchmesser, ummantelt mit einer Schutzhülle).

Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 15: Verkitteter Gesteinsschutt am unteren Ende der kleinen Steilwand in 17 m Tiefe (Bildausschnitt: 2,0 x 1,0 m).

Foto: Ch. Macherhammer.

Das Hauptaugenmerk im Rahmen der Tauchgänge wurde auf die Dokumentation möglicher Ausbildungen von Versinterungen gelegt. Im Bereich der großen Steilwand konnten ab einer Tiefe von etwa 14 m bis rund 30 m im gesamten Wandbereich punktuell kleinflächige Sinterbildungen festgestellt werden. Diese liegen teilweise als Überzug von Gesteinsbrocken und zum Teil als kleinflächige Ausbildungen bis in dm²-Größe vor. Im oberen Wandbereich in



einer Tiefe von etwa 15 m bzw. im tieferen Wandbereich zwischen ca. 18 m und ca. 20 m wurden derartige flächige Sinterbildungen auch im Ausmaß von über einem Quadratmeter vorgefunden. Augenscheinlich wirken diese hellbraunen bis dunkelbraunen Sinterbildungen wie eine Inkrustation, die häufig eine vertikale Ausbildung mit rillenartigen Vertiefungen bzw. netzartigen Strukturen in Millimeter- bis Zentimetergröße aufweist.

Abb. 16: Detailaufnahme eines kleinen, "tropfstein"reichen Überhanges (Gesamthöhe ca. 10 cm). Foto: Ch. Macherhammer.

Darüber hinaus wurden in diesem Wandbereich lokal auch vereinzelt (insbesondere im vorderen Bereich von Wandnischen) kleine "tropfstein"-artige Sinterformen bzw. Sinter-
röhrchen beobachtet (→ Abb. 16).



Abb. 17: Trümmerschutt mit kleiner Nische in 19 m Tiefe (Bildausschnitt: 1,5 x 1,0 m).

Foto: Ch. Macherhammer.

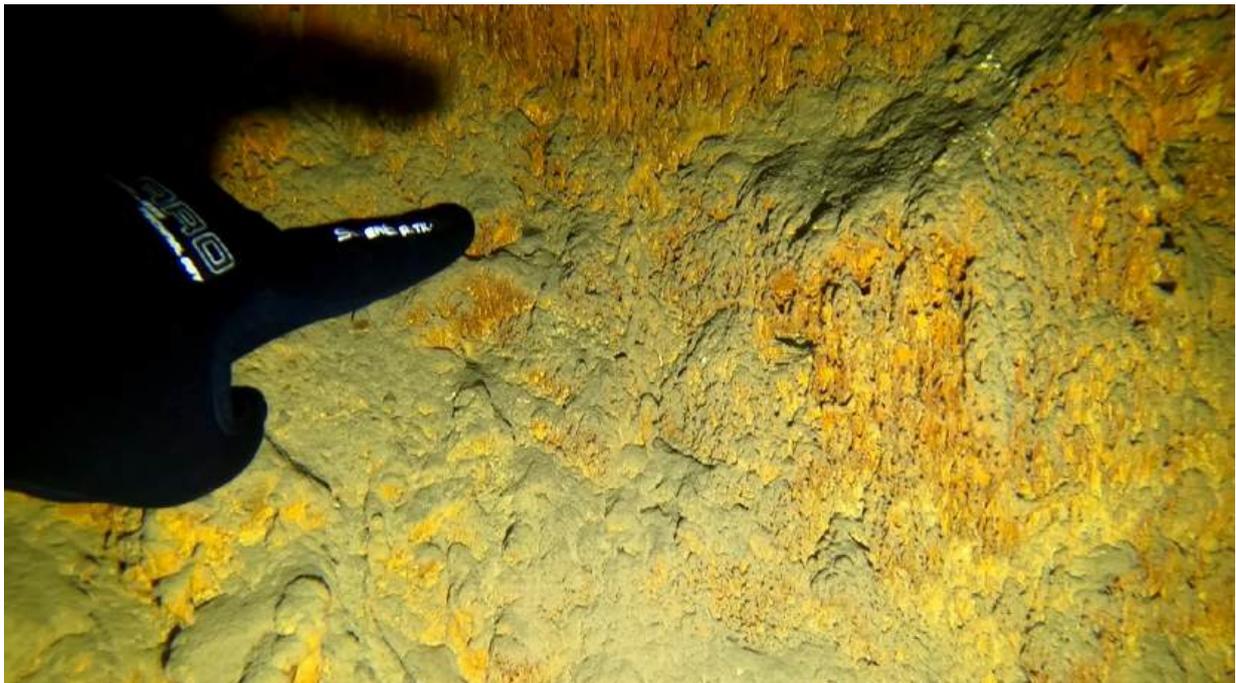


Abb. 18: Großflächige Inkrustationen im oberen Steilwandbereich (Tiefe 30 m, Bildausschnitt: 0,5 x 0,3 m). Foto: Ch. Macherhammer.

Ab einer Wassertiefe von etwa 30 m bis zum unteren Ende der Wand in 41 m Tiefe ist zumeist eine großflächige Versinterung der Steilwand festzustellen. Diese setzt sich auch im treppenartig abgestuften höheren Wandbereich fort und reicht im tiefsten Wandbereich bis auf die schlammbedeckte Fläche des abgerutschten Bereiches. Die Gesamtfläche dieses vom Sinter überzogenen Bereichs kann auf mehr als 20 m² geschätzt werden. Bei genauer Betrachtung handelt es sich um helle, vertikale Sinterbildungen, die teilweise ein schleierartiges Erscheinungsbild (Sintervorhang) bieten. Auf Grund der heterogenen Wechsellagerung und der dadurch bedingten nischenartigen Ausbildungen ist örtlich an vorspringenden Wandpartien auch eine dreidimensionale Form zu erkennen. Im tiefsten

Bereich bis etwa 42 m konnten an einzelnen Gesteinsschutttrümmern im Schlamm keine Versinterungen mehr festgestellt werden.

Versinterungen im Bereich der kleinen Steilwand konnten nur im tiefsten Wandabschnitt in Form der oben erwähnten Inkrustationen festgestellt werden, wobei allerdings nur einzelne wenige cm² große Areale zu beobachten sind.



Abb. 19: Sintervorhang in 36 m Tiefe (Holzlineal mit 0,5 m Länge als Größenvergleich).

Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 20: Sintervorhang in 36 m Tiefe (Holzlineal mit 0,5 m Länge als Größenvergleich).

Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 21: Holz (sichtbarer Teil ca. 20 x 15 cm) unter Sintervorhang in 38,5 m Tiefe (Holzbeprobung, → Kap. 7.4.1). Foto: Ch. Macherhammer.



*Abb. 22: Überhängende Sinterformen in 39 m Tiefe (Bildausschnitt: 1,2 x 1,0 m).
Foto: Ch. Macherhammer.*

Zu der im Zuge der Tauchgänge dokumentierten Unterwasserflora im betauchten Bereich ist festzuhalten, dass lediglich im Bereich bis etwa 8 m Tiefe punktuell Wasserpflanzen (vermutlich Wasserpest) zu beobachten waren, wohingegen makroskopisch erkennbarer Algenbewuchs bis in eine Wassertiefe von 15 m an Holzpfählen und im Steilwandbereich festgestellt wurde.

Als Vertreter der Unterwasserfauna sind bis in eine Tiefe von 20 m Dreikantmuscheln (→ Abb. 57, Zebramuscheln) vorzufinden. Die meisten dieser Muscheln sind in dem oberen Bereich der Steilwand zu beobachten, wogegen an anthropogenen Relikten in dieser Tiefenzone kaum Anhaftungen dieser Muscheln zu sehen sind. Diese Wahrnehmung unterscheidet sich von dem sehr starken Auftreten der Dreikantmuschel im Traunsee, welche dort mit Anhaftungen dieser Muscheln an nahezu sämtlichen Materialien unter Wasser einhergehen. Im Tiefenbereich bis etwa 20 m wurden punktuell Süßwasserschwämme in Form von bis zu wenigen Zentimeter großen, weißen Anhaftungen im Wandbereich dokumentiert (→ Abb. 58).

Wenngleich nicht näher untersucht, soll darauf hingewiesen werden, dass vor allem in einzelnen, tieferen Bereichen der großen Steilwand weiße Beläge mit einem weichen Charakter dokumentiert wurden.

Ergänzend sei angemerkt, dass bei den Tauchgängen neben wenigen kleinen Flussbarschen lediglich ein Hecht und eine Aalrutte zu sehen waren. Gerhard Zauner berichtet indessen von früher intensiverem Fischbestand auch in diesem Abschnitt.



Abb. 23: Weiße Beläge derzeit noch unbekannter Zusammensetzung im tiefsten, versinterten Wandbereich in 41 m Tiefe (Bildausschnitt: 0,8 x 0,6 m). Foto: Ch. Macherhammer.



Im Rahmen der Tauchgänge wurden künstliche Ansammlungen in Form von Müll bzw. als Reste von zerstörten Bootshütten vorgefunden. Wenngleich diese verstreut im gesamten Areal bis in eine Tiefe von 45 m angetroffen wurden, sind auch punktuelle Akkumulationen zu beobachten.

Abb. 24: Heterogener Müll im abgeglittenen Bereich in 13 m Tiefe. Foto: Ch. Macherhammer.

Neben Baumaterialien wie Ziegeln, Dachrinnen, Eternitplatten, Sanitärkeramik, Kunststoff- und Ofenrohren sind Hausinventar-Utensilien (Waschmaschine, Küchenherd, Küchenabwäsche, Geschirrtteile, Flaschen etc.), Gartenstühle, Balkongeländer, Blumentöpfe sowie auch Alpinski, Hinweistafeln, Spanngurte und zahlreiche Kunststoffeimer und diverse



Eisen-, Draht- und Blechteile vorzufinden. Bezugnehmend auf diese angetroffenen künstlichen Anhäufungen wird darauf hingewiesen, dass jedenfalls im Rahmen der Tauchgänge visuell keine akut toxischen Materialien festgestellt wurden.

Abb. 25: Müll im abgeglittenen Bereich in 25 m Tiefe. Foto: Ch. Macherhammer.

Außerdem sind zwei Leitungen zu Wärmepumpen (→ Kap. 8.3 sowie Abb. 14) zu sehen, wobei eine Pumpe unmittelbar im Bereich der kleinen Steilwand positioniert ist.

5. Geologischer Rahmen

Das Landschaftsbild rund um den Hallstätter See ist geprägt von den steil aufragenden Wänden aus Dachsteinkalk. Westlich von Hallstatt, im Salzberg-Hochtal, liegt die weltberühmte Salzlagerstätte mit ihren Begleitgesteinen aus Hallstätter Kalken. Das ganze Ensemble wird überragt vom Bergstock des Plassen aus Plassenkalk (→ Abb. 26). Alle Gesteine sind Sedimentgesteine, Ablagerungen unterschiedlicher Wassertiefen in einem einstigen Meer. Aufgrund der Bedeutung der Region für die beginnende Erforschung der Kalkalpen im 19. Jahrhundert tragen viele Gesteinsformationen Namen nach topografischen Begriffen des Salzkammerguts.

Das erdgeschichtlich älteste Gestein aus Salzlagunen der Perm-Zeit ist das sogenannte Haselgebirge (nach háls = griechisch für Salz), ein Gemisch aus Tonmineralen und verschiedenen Salzmineralen, unter denen das Steinsalz (hauptsächlich aus NaCl bestehend) seit alters her die Grundlage des Bergbaus darstellt. Aufgrund seiner mineralogischen Zusammensetzung zeigt das Haselgebirge gegenüber den starren Kalkgesteinen eher plastisches Verhalten sowie eine etwas geringere Dichte. Auflagernde Kalke neigen daher zum Einsinken und Zerschellen, wie die zahlreichen Massenbewegungen z.B. am Steinbergkogel oder am Plassen eindrucksvoll belegen. Tief eingesunkene Schollen werden sogar im Bergbau angetroffen (→ Abb. 26). Die Salzminerale sind auch sehr gut wasserlöslich. Im Einflussbereich von Oberflächenwässern ist das Haselgebirge daher weitgehend frei von Salz und wird dort als „Ausgelaugtes (Haselgebirge)“ bezeichnet. Bei entsprechender Durchfeuchtung neigt es zu Rutschungen.

Während der folgenden Trias-Zeit wurden über dem Haselgebirge anfangs noch Sandsteine und Flachwasserkarbonate abgelagert, bevor mit dem Absinken des Schelfmeeres in größere Wassertiefen die Bildung der bunten Hallstätter Kalke einsetzte. Sie entstanden im Wesentlichen aus dem feinen Kalkschlamm, der aus den benachbarten Riffen und Lagunen in das tiefere Wasser verdriftet wurde. Berühmt sind sie für ihre Fossilien, insbesondere Ammoniten. Gegen Ende der Trias-Zeit gelangte zunehmend Tonschlamm ins Meer und überdeckte als Zlambachmergel die Hallstätter Kalke. Die Mergelsedimentation setzte sich dann bis in die Jura-Zeit fort.

Der Lagunenbereich der Trias-Zeit liegt im Umfeld des Hallstätter Sees in Form des über 1.000 m mächtigen, gebankten Dachsteinkalkes vor. Die zugehörigen Riffe sind im Gosaukamm und lokal auf der Südseite des Dachsteinplateaus erhalten.

Gegen Ende der Trias-Zeit kam es zu einem weltweiten Riffsterben. Die Kalkproduktion erlahmte und konnte in der Jura-Zeit die anhaltende Absenkung nicht mehr kompensieren. Die Lagunen versanken in größere Meerestiefen, wo anfangs noch geringmächtige Rotkalke und zu Beginn der späten Jura-Zeit nur noch kieselige Tiefseesedimente der Radiolarit-Gruppe abgelagert wurden.

Zu dieser Zeit kam es zu einer grundlegenden, großräumigen Umgestaltung der Ablagerungsräume. Die Bewegung der Krustenplatten führte zu einer Plattenkollision, in deren Zuge ozeanische Kruste auf den kalkalpinen Schelf aufgeschoben wurde. Die dortige Sedimentbedeckung wurde abgeschert, verfaltet und glitt auf ihrem mobilen Haselgebirgssockel in die Radiolaritbecken über den abgesunkenen Lagunen. Über diesem chaotischen Schollenmosaik entwickelten sich erneut Riffe und Lagunen, jene des Plassenkalkes.

Von der Kreide-Zeit bis in die Neogen-Zeit führten anhaltende Plattenbewegungen zu weiterer Einengung der Ablagerungsräume, bis schließlich die Gesteinsstapel über den Meeresspiegel gehoben wurden. Die mechanische Beanspruchung im Zuge dieser Bewegungen verursachte Brüche im Gestein, von nur Millimeter breiten Klüften bis zu kilometerlangen Störungszonen. Neben der flächenhaften Abtragung konnten insbesondere an diesen Schwächezonen die Kräfte der Verwitterung ansetzen. Sie schufen die Grundformen der Gebirgslandschaft, die durch die Gletscher der Eiszeiten zu ihrer heutigen Form geformt wurden. All diese Gesteine und ihre Verwitterungsprodukte finden wir im Umfeld des Salzberg-Hochtales und damit im Einzugsgebiet des Hallstätter Mühlbaches, für dessen hydrochemische Charakteristik sie daher relevant sind.

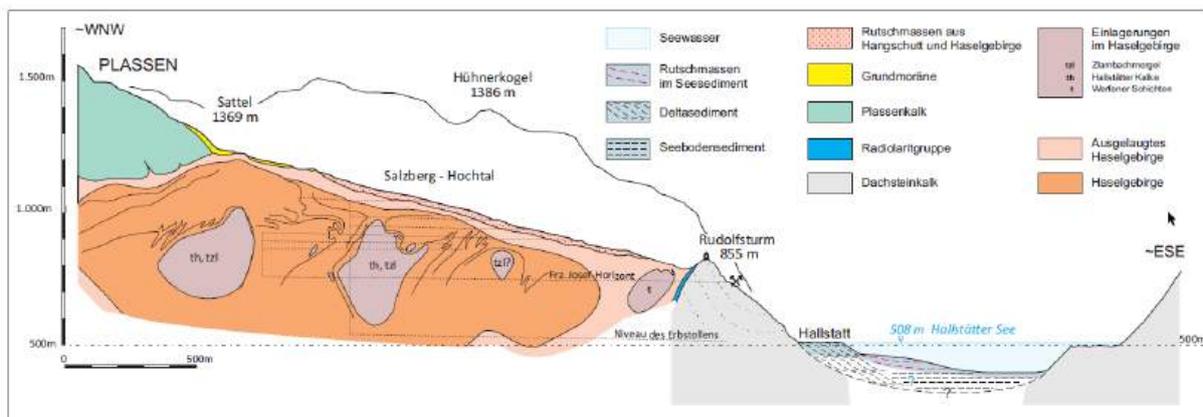


Abb. 26: Geologischer Querschnitt durch das Salzberg-Hochtal und den Hallstätter See (Geologie des Hallstätter Salzberges unter Verwendung von SCHAUBERGER 1960, vereinfacht).

Während der Eiszeiten, beginnend vor ca. 2 Millionen Jahren, hatte sich wiederholt ein mächtiges Eisstromnetz gebildet, das sich im Trauntal von den Höhen des Dachsteinplateaus bis ins Alpenvorland erstreckte, wo es die Endmoränen der Maximalstände hinterließ. Im Inneren der Salzammergut war das Eis bis zu 1000 m dick, nur die höchsten Gipfel ragten darüber hinaus. Dabei konnten die schuttreichen, unter Druck stehenden Schmelzwassermassen an der Basis der Eisströme tiefe Wannen, sogenannte übertiefte Täler, in den Fels erodieren. Der Höhepunkt der jüngsten Vereisung, der Würm-Eiszeit, war etwa zwischen 24.000 und 19.000 Jahren vor heute erreicht. Eine zunehmende Erwärmung führte dann zu einem vergleichsweise raschen Abschmelzen der Eismassen, sodass das Trauntal um etwa 15.000 Jahre

vor heute bis in den Hallstätter Raum eisfrei wurde (van Husen in G.W. Mandl et al., 2012, Taf. 3). Ab diesem Zeitpunkt begannen die Zubringer des Hallstätter Sees, insbesondere die Koppentraun, aber auch kleinere Zuflüsse und die Schutthalden der umgebenden Felswände das übertiefte Seebecken wieder zu verfüllen. Der flache Seeboden im zentralen Bereich zeigt, dass hier der Felsuntergrund bereits von mächtigen Feinsedimenten überdeckt sein muss. Die Mächtigkeit dieser Seesedimente ist nicht bekannt (→ Abb. 26).

Zu dieser Zeit setzte auch die Erosion im eisfrei gewordenen Salzberg-Hochtal ein. Die abfließenden Niederschlagswässer bahnten sich ihren Weg ins Tal und formten dabei die Mühlbachschlucht. Die ursprüngliche Moränenbedeckung im Hochtal wurde bis auf geringe Reste abgetragen und seewärts verfrachtet, wo sie zum Aufbau des Hallstätter Schwemmkegels beitrug. Schutt und Felssturzmaterial aus den umgebenden steilen Felswänden trafen auf das freiliegende ausgelaugte Haselgebirge und lösten bei entsprechender Durchfeuchtung Muren aus, die ebenfalls den Schwemmkegel mit Material speisten. Die Spuren dieser Massenbewegungen sind in modernen Laserscans gut sichtbar (→ Abb. 27). Eine archäologische Bohrung (KB 1) im Hochtal ließ erkennen, dass dort bis in eine Tiefe von etwa 40 m vermutlich vier Murenkörper übereinander liegen (Mandl, unpubl.). Derartige Massenbewegungen waren auch für die bekannten Katastrophen in den prähistorischen Bergbauen verantwortlich. Kleinere Ereignisse dieser Art finden bis in die Gegenwart statt (Urstöger, 2000).

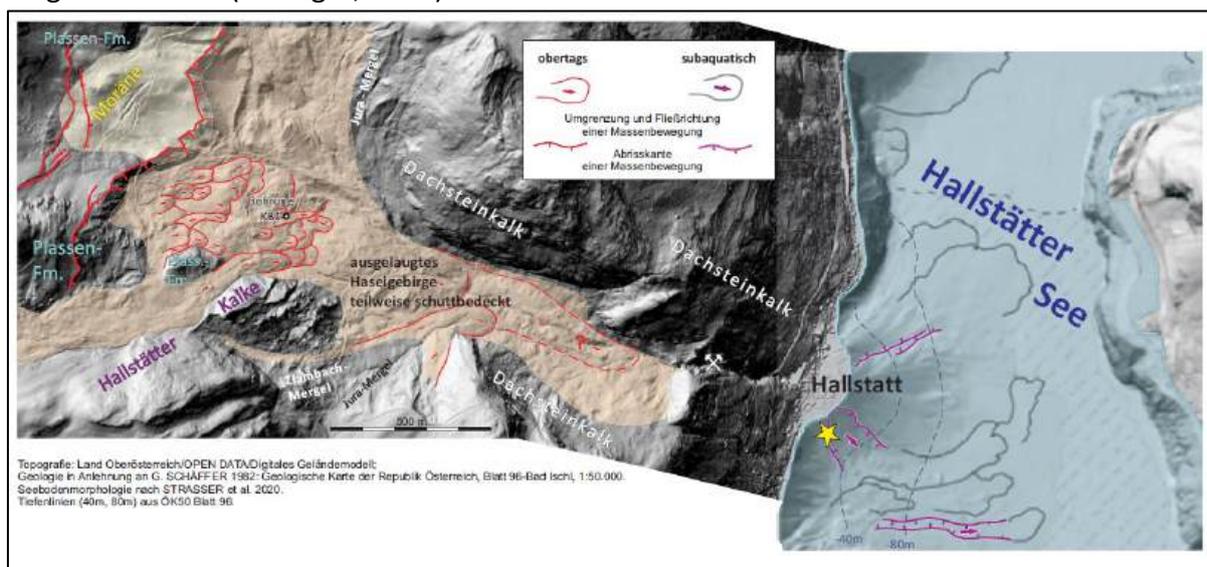


Abb. 27: Geologische Skizze der Umgebung von Hallstatt.

6. Hydrogeologische Hinweise zum Hallstätter See

Auf den größeren Rahmen der regionalen Entwässerung im Einzugsgebiet des Hallstätter Sees mit den hydrographischen Grunddaten wird im Kapitel 8.1 eingegangen. Im Folgenden sollen einige Besonderheiten kurz Erwähnung finden, die für die Entstehung und Entwicklung der Unterwassersinter von Relevanz sein könnten.

6.1. Unterirdischer Wasserzufluss zum See

Achleitner & Pavuza (1989) untersuchten in einer kleinen, längerfristigen Studie, ob und welche Menge Wasser dem Hallstätter See unterirdisch zutritt. Dies kann durch Quellaustritte, aber auch diffus erfolgen. Es kam dabei eine hydrographisch-hydrochemische Methodik zur Anwendung. Eine exakte Lokalisierung der oft diffusen Zuflussbereiche konnte im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden, es wurden jedoch einige generelle Erkenntnisse gewonnen.

- Der unterirdische Wasserzufluss zum Hallstätter See ist - jahreszeitlich stark schwankend - mengenmäßig beträchtlich und erreicht zeitweise Werte von bis zu 20% (im Spätherbst) des gesamten Wasserzulaufes zum See
- Aus hydrochemischer Sicht fließen dem See vor allem im Herbst erhöhte Mengen an (Kalk)Karstwasser aus den angrenzenden Gebirgen zu

Seit langer Zeit sind die "Köhbrunnen" in manchen Seeabschnitten des Hallstätter Sees bekannt (Morton, 1929). Es sind dies unterseeische Quellen - vor allem im Südteil des Sees - die durch ihre konstante Aktivität auch bei vollständig von Eis bedecktem See ein Zufrieren an der Stelle des Aufwallens verhindern. Nach den Messungen von Morton handelt es sich dabei keinesfalls um Thermalwasser, sondern um kaltes Karstwasser, dessen Temperatur (deutlich $> 0^{\circ}\text{C}$) aber bei entsprechender Menge ausreicht, eine Eisbildung an dieser Stelle zu verhindern. Friedrich Morton hat an einer Stelle unweit von Hallstatt in einer Tiefe von 16 m eine Wassertemperatur - wohl eine Mischtemperatur - von $+2,5^{\circ}\text{C}$ in einem solchen Köhbrunnenbereich gemessen.

Diese Beobachtung harmoniert gut mit den Beobachtungen der Höhlenforscher. Die Quellläste von Hirschbrunn und Kessel - beide auch hydrogeologisch zum über 118 km (Stand: 2023) langen System der Hirlatzhöhlen gehörend - reichen bis zu 70 m weit unter den heutigen Seespiegel des Hallstätter Sees hinab (Leutner, in 12.2) - vermutlich ein Relikt aus der vorholozänen Zeit.

Im Bereich des ehemaligen Thermalwasserstollens ("Warmes Wasser") südlich von Steeg (→ Kap. 6.2) soll es im See zeitweise auch unterseeische Quellen - möglicherweise mit Thermalwasser - geben. Bei einem Tauchgang im Zuge unseres Projektes konnte dies jedoch aktuell nicht verifiziert werden.

6.2. Geothermalphänomene im Seengebiet

Rund 2 km südöstlich von Steeg, am Fuße des Ramsaugebietes gab es einen 165 m langen Stollen - der größte Teil davon ist heute nicht mehr begehbar, der auf der Suche nach einem seit langer Zeit bekannten Warmwasseraustritt geschlagen wurde, bei dem es vor einigen

Jahrhunderten auch Badeeinrichtungen gab (Leutner, in 12.2). Im Zuge der Suche wurden Wässer von bis zu 24°C Wassertemperatur festgestellt, der eigentliche Quellaustritt wurde allerdings nie erreicht. Hölzer aus einem Vorläuferstollen, die bei den Arbeiten entdeckt wurden, erwiesen sich mittels ¹⁴C-Datierung als mittelalterlich. Die Angaben zur Wasserqualität sind widersprüchlich, doch dürfte es sich hier nicht um Salinarwasser gehandelt haben.

Gegenwärtig ist - nach etlichen Einstürzen, Vermauerungen und Straßenbau - vom Thermalphänomen obertägig nichts mehr zu bemerken, den Erzählungen nach sollte jedoch vor dem Stollen gelegentlich Warmwasser im See aufdringen. Im Zuge unseres Projektes konnte dies bei einem Tauchgang jedoch nicht verifiziert werden. Eine detaillierte Zusammenfassung der höchst wechselvollen jüngeren Geschichte des "Warmwasserstollens" gibt Schauburger (1979). Derselbe Autor berichtet auch über eine "außergewöhnliche Temperaturerhöhung" in der (erfolglos auf Salz abgeteufte) Bohrung "Steeg" sowie eine schwach thermal beeinflusste Schwefelwasserquelle bei der Gosaumühle aus dem 18. und 19. Jahrhundert, die aber heute nicht mehr existiert. Aus dem unmittelbaren Ortsgebiet von Hallstatt berichtet Wirobal (1990) über einige Rohr- und Schachtbrunnen mit erhöhter elektrischer Leitfähigkeit und Temperatur der Wässer (bis 620 µS/cm bzw. 10°C, bei einem Jahres-Lufttemperaturmittel von Hallstatt von knapp unter 5°C).

Diese Hinweise zeigen einerseits eine gewisse Häufung geothermaler Indizien in den Wässern am Westrand des Hallstätter Sees, zum Teil kombiniert mit erhöhten Gehalten an Sulfat und Chlorid. Die recht komplexe lokaltektonische Situation am Rand des Salinarstockes (→ Abb. 26) mag dazu beigetragen haben. Für den Bereich der Mühlbachmündung in den See, wo die Sinterbildungen auftreten, bedeutet dies eine jedenfalls erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens etwas höher temperierter und mineralisierter Wässer über den Mühlbach sowie aus den Festgesteinsaquiferen über die Lockersedimentmassen am Hangfuß sowie auch direkt in den See.

7. Modelle und Fakten zur Entstehung der Sinterbildungen

Die seit vielen Jahren bekannten "Tropfsteine" im Hallstätter See - besser freilich allgemein als "Sinterbildungen" zu bezeichnen - in unmittelbarer Ufernähe im zentralen Ortsbereich von Hallstatt wurden im Zuge von vier Tauchgängen im Herbst und Winter 2022 genauer dokumentiert und untersucht (→ Kap. 3 und 4).

Aufgrund der vorab vorhandenen Informationen wurden zunächst Hypothesen zu Alter und Entstehung der Tropfsteinbildungen formuliert, denen im Zuge weiterer Untersuchungen und Abklärungen nachgegangen werden sollte.

7.1. Modell 1 - Entstehung der Sinter über Wasser und spätere Überflutung

Diese Hypothese, basierend auf der generellen Beobachtung, dass sich Tropfsteine nur in sehr seltenen Fällen unter ganz speziellen Bedingungen unter Wasser bilden, würde eine (wenigstens temporäre) Absenkung des Wasserspiegels des Hallstätter Sees um mindestens 40 m erfordern. Eine solche ist in historischer Zeit aber nicht belegt – auch die Errichtung der Seeklause kann nur einen Einfluss von wenigen Metern auf den Seespiegel gehabt haben (→ Kap. 8.2).

Damit stellt sich zwangsläufig die Frage nach der Möglichkeit für entsprechende Spiegelabsenkungen in der geologischen Vergangenheit. Die heutige Nordbegrenzung des Hallstätter Sees wird von keiner durchgehenden Felsschwelle gebildet, sondern von Sedimenten des Spät- bis Postglazials (Schäffer, 1982). Hier wurden bereits durch Friedrich Simony im 19. Jahrhundert Moränenreste im Nordwestbereich des Sees nachgewiesen, die heute jedoch unter Wasser liegen (Van Husen, 1977, Seite 72).

Die 1966 abgeteufte Bohrung Steeg (ST1) zeigte, dass dort der Fels in Form der Werfen-Formation erst unter 137 m quartären Lockersedimenten angetroffen wurde (Mandl et al., 2012: 153). Obertags sind dies hauptsächlich die feinstoffreichen Schwemmfächersedimente des Zlambachs. Theoretisch wären hier die Voraussetzungen für einen tiefer liegenden Abfluss des Sees unmittelbar nach dem Abschmelzen des Eises gegeben, als die Schwemmfächer erst im Entstehen waren.

Ebenfalls als Hinweis auf eine frühere Tieflage des Vorfluters können die zuvor genannten Karstquellen Kessel und Hirschbrunn am Südrand des Hallstätter Sees gewertet werden, deren Siphone bis zu 70 m unter den heutigen Seespiegel reichen (Leutner, in 12.2).

Die Entstehung der Sinterbildungen würde in diesem Falle aber nicht etwa wie in einer Höhle, sondern am Rande eines steilen Abhanges (Erosionsrinnen oder Abrisskanten von Massenbewegungen) des Hallstätter Schwemmfächers in Form von Kalktuff stattfinden, der sich durch CO₂-Verlust beim Austritt des Wassers am Steilhang östlich des heutigen Ortes abgesetzt hat.

Gegen diese Möglichkeit sprechen jedoch mehrere geologische Fakten:

Die spätglazial geschütteten Ablagerungen des Hallstätter Schwemmfächers liegen tief unter den holozänen Anteilen begraben. Bei einer Freilegung durch jüngere Rutschungen wären die fragilen und relativ weichen "spätglazialen" Sinter wohl zerstört worden - abgesehen davon, dass die aktuellen Sinterbildungen dafür viel zu hoch in Relation zu den spätglazialen Sedimenten situiert sind.

Im Flussbett der Traun bei Lauffen erreicht eine Felsschwelle bei etwa 480 m Höhe die Oberfläche. Sofern dieser Fels ansteht und kein abgestürztes Material einer

Massenbewegung darstellt - wofür die geologische Karte keinerlei Anhaltspunkte erkennen lässt - wäre dies die tiefstmögliche holozäne Absenkung des Seespiegels, also etwa 28 m unter dem heutigen Niveau. Dies ist zu gering für eine subaerische Bildung der mindestens bis zu 41 m Wassertiefe hinab reichenden Sinter.

Letztlich entscheidend für die Falsifikation dieser Hypothese ist freilich die Altersdatierung der vorgefundenen eingebetteten Hölzer (→ Kap. 8.4).

7.2. Modell 2 - Entstehung der Sinter über Wasser und Abgleiten des Bereiches

Die erste Phase der Entstehung entspricht jener der ersten Hypothese – eine Bildung von Kalktuffquellen am Hang oberhalb des (ehemaligen) Seespiegels. In der Folge könnte es durch (an dieser Stelle auch historisch dokumentierte und aufgrund der Topographie auch durchaus zu erwartende) Hanggleitungen zum Abrutschen des Bereiches in die heutige Tiefenlage unter Wasser gekommen sein. Der dafür zur Verfügung stehende Zeitraum reicht von der jüngeren geologischen Vergangenheit bis fast in die Gegenwart (→ Kap. 8.5 und 8.6).

Der offensichtliche Schwachpunkt an diesem Modell ist einerseits der Erhaltungszustand der Sinterbildungen - die zum Teil sehr weichen und porösen Gebilde hätten einer Hangrutschung wohl kaum standgehalten - andererseits die unübersehbare und an den steilen Abschnitten stets völlig vertikale Ausrichtung, die bei einem Abrutschen dabei wohl kaum dermaßen durchgehend erhalten geblieben wäre.

7.3. Modell 3 - Entstehung der Sinter unter Wasser

Für dieses Modell kommt der größte Abschnitt des Holozäns bis in die geologische Gegenwart in Frage. In diesem Zeitraum lag allerdings der Tiefenbereich, wo sich die Tropfsteine befinden, mit Sicherheit bereits gänzlich unter Wasser (→ Kap. 5, sowie 7.1 und 8.2). Eine subaquatische Ausbildung der Sinterbildungen – die man dann allerdings weder als Tropfsteine, noch Kalktuffe im eigentlichen Sinn bezeichnen kann – ist prinzipiell nicht undenkbar, doch sind die in der Literatur dokumentierten Formen entweder solche des extremen Seichtwasserbereiches in Höhlen („Poolfinger“) oder - seltener - solche aus Karstgewässern mit extremer limnologisch – hydrochemischer Zonierung in wesentlich wärmeren und humideren Klimazonen. Beides ist im vorliegenden Fall aber nicht gegeben.

Vorstellbar indessen ist eine kombinierte Entstehung auf biologisch-hydrochemischer Basis, aufbauend zum Beispiel auf Cyanobakterien („Blualgen“), die für ihren Metabolismus mit äußerst geringen Lichtmengen das Auslangen finden und die einen Stoffumsatz unter Verbrauch von CO₂ aufweisen, sowie auf verschiedenen weiteren Bakterien, die im Zuge ihres Metabolismus ebenfalls zur Kalkausscheidung beitragen können (→ Kap. 7.5).

Voraussetzungen sind dabei ein ausreichendes Angebot an gelöstem Calcium, nicht allzu tiefe Wassertemperaturen und ein gewisses Nährstoffangebot.

7.4. Hinweise zur Altersstellung der Sinterbildungen

7.4.1. Datierung der eingeschlossenen Hölzer mittels ^{14}C

Die beprobten Sinterbildungen könnten grundsätzlich mit Hilfe von Uranisotopen altersdatiert werden. Dafür sind jedoch gewisse Randbedingungen zu erfüllen, die einen Stoffumsatz – und damit eine Verfälschung – nach der Entstehung der Sinter ausschließen („geschlossenes System“). Dies ist bei subaquatischen Sintern jedoch kaum gegeben und daher problematisch.

Eine direkte Datierung mittels Radiocarbon (^{14}C) wäre prinzipiell auch denkbar, doch sind auch hier schwerwiegende chemisch-physikalische Faktoren bei der nachfolgenden Interpretation zu berücksichtigen, die die relativ kostspielige Anwendung durch den großen Unsicherheitsbereich nicht recht lohnen.

Der Fund von methodisch sicher datierbarem Holz im Zuge der Tauchgänge im Herbst 2022 einerseits innerhalb der Sinterbildungen (auf – 38,5 m) sowie in der Folge auch oberhalb (- 17,4 m) ermöglichte indessen, immerhin ein absolutes Maximalalter der heutigen Sinterbildungen zu erhalten.

Das erhaltene und nach aktuell gängigen Methoden korrigierte Alter stellt freilich einen Zeitraum aus der Lebenszeit des Baumes dar. Sein Fällen oder Absterben und die Verfrachtung in den See können nur danach stattgefunden haben und dazwischen kann ohne weiteres ein Zeitintervall liegen, in dem das datierte Holz als Bauholz zur Verwendung kam. In der Tat wirken viele der angetroffenen Hölzer, auch jenes, das in -38,5 m Tiefe beprobt wurde, durchaus bearbeitet.

Die ^{14}C -Altersbestimmung der beiden Hölzer, durchgeführt im „Laboratorium Datowan Bezwzgednych“, Krakau/Polen mittels AMS-Datierung, ergab Wachstumsalter, die in der Folge mittels üblicher dendrochronologischer Kalibrierung (OxCal 4.4.) auf Kalenderjahre umgerechnet wurden (→ Abb. 28a und 28b).

No.	Sample name	Age ^{14}C	Lab. no.
1	<i>Lake Hallstatt, sample H-17,4</i>	312±19	MKL-A6209
2	<i>Lake Hallstatt, sample H-38,5</i>	761±18	MKL-A6210

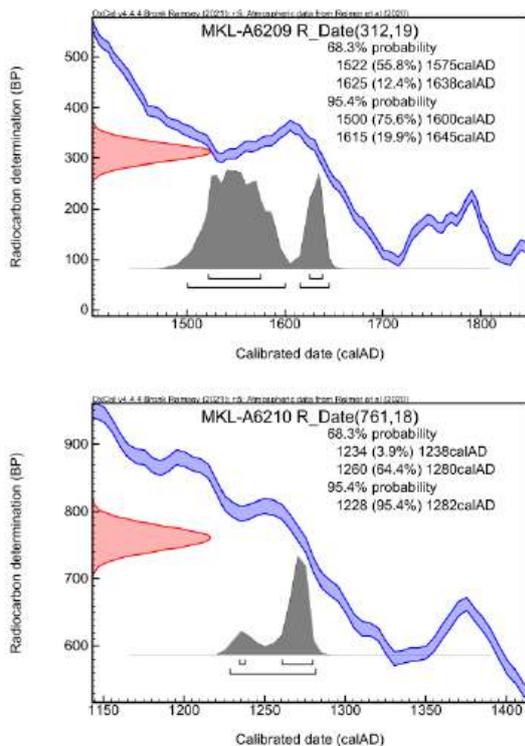


Abb. 28a und 28b: Auf Kalenderjahre kalibrierte Wachstumsalter der beiden Holzproben (oberes Diagramm: Holz aus -17,4 m, unteres Diagramm: Holz aus -38,5 m).

7.4.2. Kalkhaltige Ausgangsprodukte anthropogener Herkunft

Ein weiterer Hinweis hinsichtlich der Herkunft des kalkhaltigen Ausgangsmaterials für die Sinterbildungen ergibt sich aus der lokalen Geschichte von Hallstatt, aber auch aus einigen Aspekten der Salzverarbeitung. Basierend auf den langjährigen Forschungen der Historiker und Archäologen sind daher noch zwei wichtige Faktoren hinzuzufügen.

7.4.2.1. Der Brandschutt der Feuerkatastrophe von 1750

Das Material der Rutschmasse könnte auch Brandschutt der Katastrophe von 1750 (→ Kap. 8.6) enthalten. Der Großteil des Marktes und auch das Pfannhaus fielen dem Brand zum Opfer. Wie am realen Befund des baulichen Bestandes, der vom Brand nicht betroffen war, abgelesen werden kann, besteht das frühneuzeitliche Mauerwerk in Hallstatt aus Kalksteinen in Kalkmörtelbindung (Kain & Idam, 2020, Seite 41 ff.). Der Mörtelanteil beträgt je nach Ausführungsweise etwa 10% - 15% des Mauerwerkvolumens. Die kalkigen Sandanteile des Mörtels sind traditionell aus den Mündungsbereichen von Waldbach und Traun entnommen worden (Kain & Idam, 2020, Seite 19).

Wie Versuchsbrände mit historischen, holzbefeuerten Kalköfen zeigen, gast der CO₂-Anteil der Kalksteine, die im Wesentlichen aus Calciumcarbonat (CaCO₃) bestehen, ab etwa 750°C Brenntemperatur nach 4-5 Brenntagen vollständig aus (Válek, J., 2015, Seite 61ff.). Als

Brennprodukt entsteht bei diesem Prozess Calciumoxid (CaO), das zum Bindemittel von Kalkmörtel weiterverarbeitet werden kann. Ausgehärteter Kalkmörtel mit Zuschlägen aus kalkigen Sanden besteht stofflich daher ebenfalls fast ausschließlich aus Calciumcarbonat (CaCO₃) und würde im Brennprozess wiederum zu Calciumoxid (CaO) zerfallen.

Nach dem Brand wurden die Brandruinen abgetragen – nur ein kleiner Teil konnte wiederverwendet werden – und es entstanden riesige Mengen an Schutt. Mit Sicherheit waren dies hunderte Kubikmeter von zum Teil zu Calciumoxid (CaO) gebranntem Kalksteinmauerwerk, welches durch den Brand so schwer in Mitleidenschaft gezogen war, dass es nicht weiterverwendet werden konnte und zu entsorgen war.

Im Hofkammerarchiv Wien wird ein Bericht von 1751 über die abgebrannte Saline verwahrt: Das alte Pfannhaus war *"von dem Feuer dergestalten zu Grund gerichtet worden, daß kaum eine Stein - Platten oder von denen übrigen Herrschafft! Gebäuen das geringste Materiale mehr gebraucht werden [konnte], so nicht vom Feuer, weilen alles aus Marmor - Stein bestehet, angegriffen, und aufgelöset worden"* war (→ Kap.12.2).

Auch die Stelle, an der 1808 die Rutschung erfolgte, würde sich jedenfalls für eine rasche Entsorgung des Brandschuttes anbieten.

7.4.2.2. Betriebsabfall der Salz-Siedepfannen

Es ist weiters denkbar, dass Anteile des Rutschungsmaterials einen Teil des Abfalls des laufenden Betriebs der Sudpfannen, welche in der Nähe der heutigen Sinterwand im Ortsgebiet über viele Jahrhunderte betrieben wurden, darstellen.

Wann genau im Markt Hallstatt die erste Sudpfanne gestanden ist, lässt sich indessen nicht exakt bestimmen. Die älteste schriftliche Quelle, die direkt auf die Salzproduktion in Hallstatt Bezug nimmt, verweist auf das Jahr 1305 (Urkunden-Buch des Landes ob der Enns, Wien 1868) worin das *"sieden ze Halstat, daz da von dem Halperg chumt"* belegt ist. Viele Hinweise sprechen aber dafür, dass bereits lange davor in Hallstatt Salz gesotten wurde, unter anderem die Erwähnung von Lauffen 807 (im Zusammenhang mit (Salz)transportschiffen auf der Traun), der Bau und die Einweihung von Kirchen in Hallstatt und die umweltarchäologischen Daten, welche eine Intensivierung der Nutzung der Wälder bereits um 1000 n.Chr. anzeigen (Festi et al., 2020).

Fest steht, dass mindestens von 1305 bis zum Brand 1750 in Hallstatt-Markt Sudhütten bestanden und dass im Sudbetrieb vor Ort große Mengen an Betriebsabfall anfielen.

Das Gebäude, in dem die Pfanne zur Salzsud installiert war, hieß "Pfannhaus" und stand bis zur Brandkatastrophe von 1750 in der Verlängerung der Mühlbachschlucht, im südlichen Bereich des Geschiebekegels, auf dem der Markt Hallstatt gegründet ist. Auf den ersten Blick *"musste sich ein jeder verwundern, wie jemahlen einen hat einfallen können, an einem solchen*

Orth, wo die alte Salz-Pfannen gestanden, eine dergleiche zu erbauen [wo] [...] nicht einmahl Platz gewesen, das benötigte Hallholz aufzustellen [und die Gefahr von abgehenden] Schneelähnen und Steiner [...] zu befürchten" war (Quelle: Hofkammerarchiv Wien, Altes Bancale, rote Nummer 286, 23. 1. 1751).

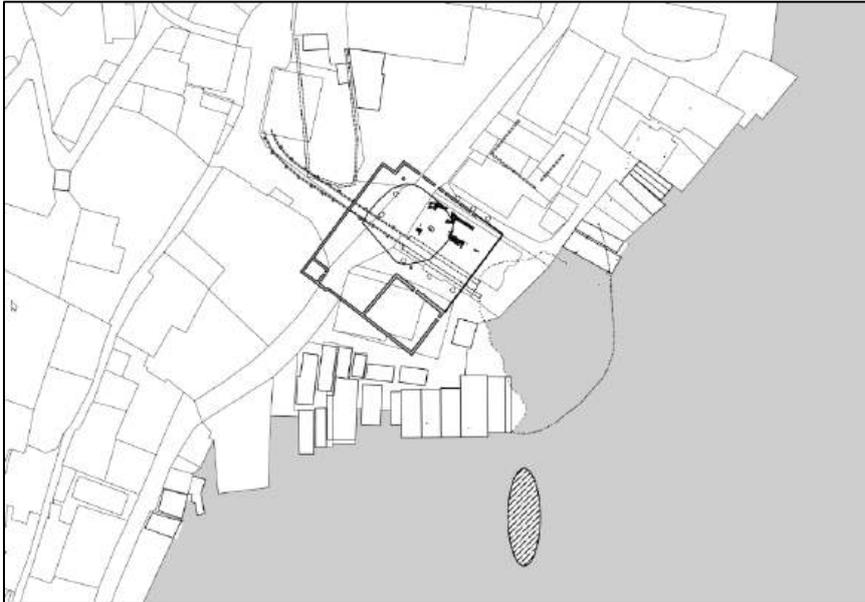
Jedoch weist dieser Standort auch wesentliche Vorzüge auf, die für seine Auswahl ausschlaggebend gewesen sein dürften. Der steil abfallende Mühlbach stellte für lange Zeit die einzige praktikable Möglichkeit zur Nutzung der Wasserkräfte in Hallstatt dar. Nur in der Nähe dieses Baches war der mechanische Antrieb der erforderlichen technischen Einrichtungen wie Schöpfräder oder Schmiedehämmer möglich (Schraml, 1936). Der "Bognerwinkel" im unmittelbaren Nahebereich des alten Pfannhauses ist eine der wenigen windstillen Buchten des Hallstätter Sees (Unterberger, 1998, S. 77). Die Anlandung der erforderlichen großen Brennholzmengen (→ Abb. 29) wurde hier nur wenig von ungünstigen Winden gestört. Auch die starken Fallwinde aus der Mühlbachschlucht berühren den "Bognerwinkel" nicht, sondern treffen erst etwa 50 bis 100 m vom Ufer entfernt auf die Seeoberfläche auf.



Abb. 29: Karte von Hallstatt von 1713. Ein Bogen Holz wird im Bognerwinkel (links im Bild) gerade angelandet. Das Sudhaus stand rechts von der Anlandestelle am Bach (Detail aus der Karte von Johann Riezinger, OÖ-Landesarchiv, KPSXXII260a, 1713).

Da die Technologie der Industrieschlote, bei denen durch Unterdruck das Feuer angefacht wird, erst im 19. Jahrhundert entwickelt worden ist, erklärt sich die Lage des Objekts auch aus einer topologischen Gegebenheit zur Luftzufuhr. Die Falllinien der Mühlbachschlucht weisen direkt auf den ehemaligen Standort des Pfannhauses Markt. Von den Nachmittagsstunden bis in die späte Nacht fallen durch diese Schlucht Winde mit starkem Druck ins Tal.

Da diese Fallwinde nur in einem etwa 50 m breiten Geländestreifen auftreten, ist dieser Umstand, neben der Uferlage und der damit gelösten Brennholzzufuhr und der Möglichkeit, die Verbrennungsrückstände auf kurzem Wege im See zu verstürzen, als einer der entscheidenden Parameter der Standortwahl anzusehen.



Über die exakte Lage des Pfannhauses liegen weder historische Vermessungspläne noch archäologische Befunde vor, jedoch sind zahlreiche Bildquellen evident, sodass der Standort des einstigen Pfannhauses im rezenten Ortsgefüge annähernd bestimmt werden kann (→ Abb. 30).

Abb. 30: Lageplan mit rezenten Grundstücksgrenzen. Pfannhaus um 1730, Uferverlauf 1809 (vor und nach der Rutschung) punktiert, Mauerreste von 1809 strichliert. Lage der großen Sinterwand (schraffiert) eingetragen, Zeichnung F. Idam (Idam, 2003, S.125 ff.).

Das Tor des "Alten Pfannhauses" lag an der östlichen Giebelmauer Richtung Seeufer. Über das Pfannhaus selbst liegt hingegen ein exakter Plan im Maßstab 1:72 vor, der um das Jahr 1730 entstanden sein dürfte und nach dem der Grundriss des Gebäudes eine Fläche von etwa 33 x 39 m einnimmt (→ Abb. 31).

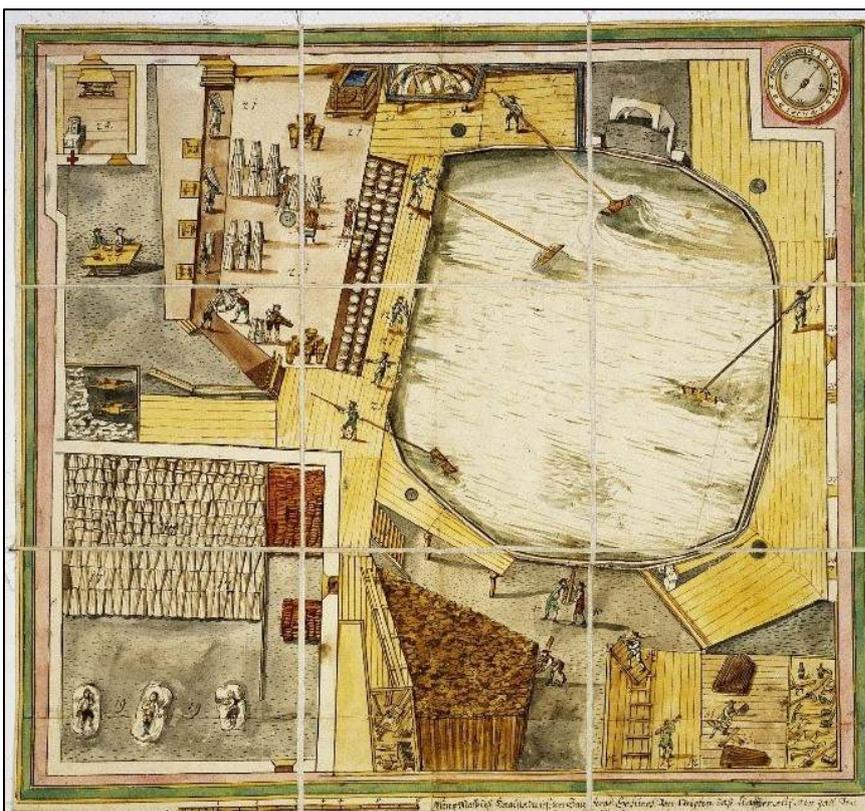


Abb. 31: Abbildung Pfannhaus um 1730

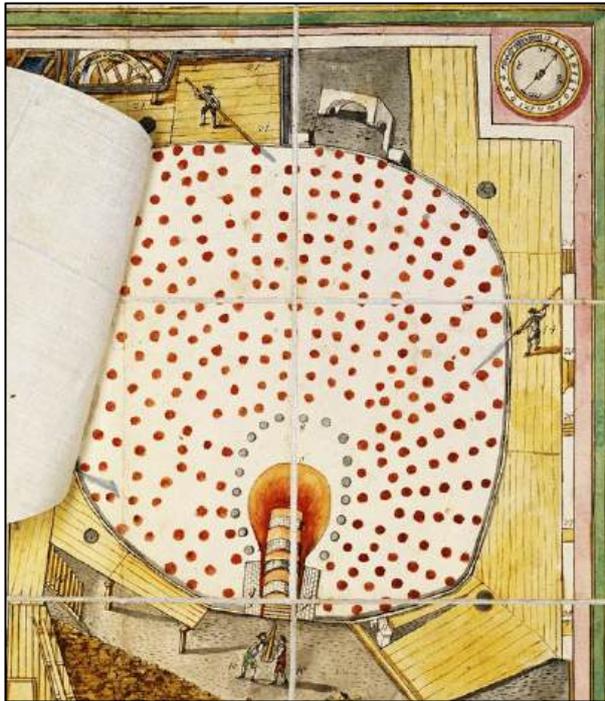
(Bildarchiv ÖNB, Schuber Sign. PK 231 VIII C1, Hallstätter Pfanne, Teilabbildung oberer Bereich),

Länge und Breite der abgebildeten Fläche ca. 50 m.

Um aus der in den Laugwerken des Salzbergbaues gewonnenen Kochsalzlösung - der Sole oder Sulze - granuliertes Salz zu gewinnen, ist es klarerweise notwendig, deren Wasseranteil von etwa 75 Gewichtsprozenten zu verdampfen und damit das Salz zum Kristallisieren zu bringen. Bis zur Einführung der Kohlefeuerung in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts war die Leistungsfähigkeit der Forstwirtschaft der maßgebliche Parameter für den Salzausstoß. 1583, am Höhepunkt der Hallstätter Salzproduktion, wurden bei einem Brennstoffbedarf von 88.000 Raummetern Holz (→ u.a. Schraml, 1932) jährlich an etwa 260 Siedetagen täglich etwa 330 Raummeter Holz verfeuert (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv). Als "Hallwit", dem Feuerungsholz für die Pfanne, wurde klafterlanges - ca. 1,8 m langes - Rundholz von Nadelbäumen, so genannte "Threillinge" verwendet, die noch zu Ende des 16. Jahrhunderts ungetrocknet verfeuert wurden. "[Die Arbeiter] *Nemen dz Holz auß dem Wasser, vnd tragens vnter die Pfannen.*" (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv). Stücke mit großem Durchmesser wurden vor dem Verbrennen in Längsrichtung "*zu 4 thailh*" gespalten. Dieser Verdampfungsprozess erfolgte in flachen offenen Becken, den Pfannen, deren Bodenfläche leicht geneigt war, sodass die Salzkristalle zum Pfannenrand hingezogen und aus der Mutterlauge herausgehoben werden konnten (Stadler, 1991). Eine Sudperiode dauerte fünf bis sieben Wochen, während der, abgesehen von Sonntagen und hohen Feiertagen, die Salzsud im Dreischichtbetrieb durchgehend gefahren wurde (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv). Die Sudperioden wurden wegen Ausbesserungsarbeiten an der Pfanne, dem sogenannten "Pfannbraithen", für jeweils mindestens eine Woche unterbrochen.

Die Größe der Pfannen wuchs im Laufe der Entwicklung von 32 m² zu Beginn des 14. Jahrhunderts auf 264 m² um das Jahr 1730 beträchtlich. Die großen Pfannen wurden aus etwa zwei Dutzend "Stücken" zusammengesetzt, welche jeweils wiederum aus 220 bis 390 vernieteten, etwa 26 x 52 cm großen Blechen bestanden (Schraml, 1928, S. 80 und Erich, 1972, S. 37). Da die handwerklich gefertigten Bleche unregelmäßig stark waren, mussten deren Verbindungsstellen zusätzlich noch mit einem Gemenge aus Kalk und Lehm abgedichtet werden, womit das Ausrinnen der Sulze unterbunden werden sollte. Um die Blechteile vor allzu großer Hitze zu schützen und ein Durchschmelzen des Metalls zu verhindern, waren die Stücke auch auf der Feuerseite mit Lehm beschichtet (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv). Eine detaillierte Darstellung dazu findet sich bei Idam (2024).

Der umgerechnet 0,5 m hohe Pfannenrand (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv), auch "Pranft" genannt, lag auf einer Umfassungsmauer auf, während die Unterstützung des Pfannbodens durch etwa 250 bis 300 massive Steinpfeiler erfolgte, welche Pfannsteher hießen, "*deren zweyerley Sorten synt: nemblich Rott: und weisse Stain*" (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv), wobei die weißen Steine im Feuer nicht beständig waren und innerhalb weniger Tage zu Stückkalk (CaO) brannten. "*Dahero, und sonderlich die Jenige, so voran am Feuer stehen [mussten] vast alle 8. Tag mit weiss oder anderen frischen Stehern*" ausgewechselt wurden. Die roten, eisenoxidhaltigen Steine hielten dem Feuer länger stand (→ Kap. 12.2 Hofkammerarchiv). Die Einführung dauerhafterer "Pfannsteher" aus zylindrischen



Ziegeltrommeln setzte sich erst ab der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts durch (Schraml, 1932).

Abb. 32: Grundriss der Siedepfanne (Feuerungsebene mit Pfannsteher), "Die Pfannsteher Ziegel sinnd mit rotten Zinober verzeichnet und befinden sich an der Zahl 293. Weisse Stainsteh sind in allem nur 17" (→ Legende zu Abb. 31).

Der Abfall aus dem Betrieb der Sudpfannen dürfte demnach aus einem Gemenge von Holzasche, den Resten der zu Calciumoxid (CaO) gebrannten Pfannstehern und der zu Ziegelbrocken gebrannten Lehmbeschichtung der Pfannenunterseite bestanden haben. In diesem Zusammenhang stellt sich naturgemäß auch die Frage, ob in großen Volumina dieses Gemenges nach dem Versturz in den See nicht ähnliche chemische Prozesse wie bei der Aushärtung des römischen *Opus Caementicium*s abgelaufen sind und in weiterer Folge die Aussinterungen, ähnlich wie bei kalkreichen Zementen, entstanden sein könnten. Die gemessenen Werte der stabilen Isotopen von Sauerstoff und Kohlenstoff in den Unterwassersintern (→ Kap. 7.5, Abb. 33) sprechen allerdings eher gegen diese Option nach gegenwärtigem Wissensstand.

Zusammenfassend lässt sich jedenfalls feststellen, dass über Jahrhunderte in unmittelbarer Nähe der abgerutschten Fläche die Sudhäuser standen und dass im Rahmen des laufenden Sud-Betriebes große Mengen an Betriebsabfall zu entsorgen waren. Die später abgerutschte Stelle am Ufer des Sees würde sich als Platz für die Einrichtung der Betriebsabfallshalde anbieten. Kurze Transportwege vom Sudhaus und der windgeschützte Uferbereich, welcher für die Salzschiffe und das Anlanden des Brennholzes notwendig ist, bleiben dabei von einer allfälligen Einbringung in den See unbeeinträchtigt.

Das so entsorgte Material bietet sich neben dem geogenen Lokalschutt und allfälligem Brandschutt (→ Kap. 7.4.2.1) als Quelle für das in der Folge gelöste Calcium an. Fast wöchentlich mussten hunderte Steinsäulen, die Pfannsteher erneuert werden. Die zu CaO zerheizten Pfannsteherteile wurden gesammelt und zu Löschkalk verarbeitet. Die anfallenden

Mengen dürften jedoch weit über dem damaligen Bedarf gelegen sein, sodass nur die besten und nicht verunreinigten Stückkalkbrocken weiterverarbeitet wurden.

Die zumeist grobe und kantige Struktur der Bestandteile des noch stehenden aufgeschütteten Materials – wie es die Unterwasserfotos (z.B. → Abb. 8 bis 11) zeigen – würde indessen auch gut zur Textur des entsorgten Brandschutts von 1750 passen.

Im laufenden Betrieb entstand darüber hinaus auch Holzasche. Bei bis zu 300 Festmetern verfeuerten Holz am Tag ist mit gewaltigen Mengen zu rechnen. Beim Sudhaus Lahn gehörte es bis zur Einstellung des Sudbetriebs 1965 zum Betriebsablauf, die Asche im See beim sogenannten Aschensteg zu verstürzen. Es kann daher mit einiger Sicherheit angenommen werden, dass diese Praxis zumindest zeitweise auch beim Pfannhaus im Markt ausgeübt wurde.

7.5. Aktuelles Modell zur Entstehung und Entwicklung der Sinterformen

Die Untersuchungen der stabilen Isotopen von ^{13}C und ^{18}O der Unterwassersinter von Hallstatt ergaben signifikante Unterschiede zum Muttergestein im Einzugsbereich (Dachsteinkalk), aber auch zu den geringmächtigen rezenten Quelltuffen im Mühlbach oberhalb des Maximilanstollens.

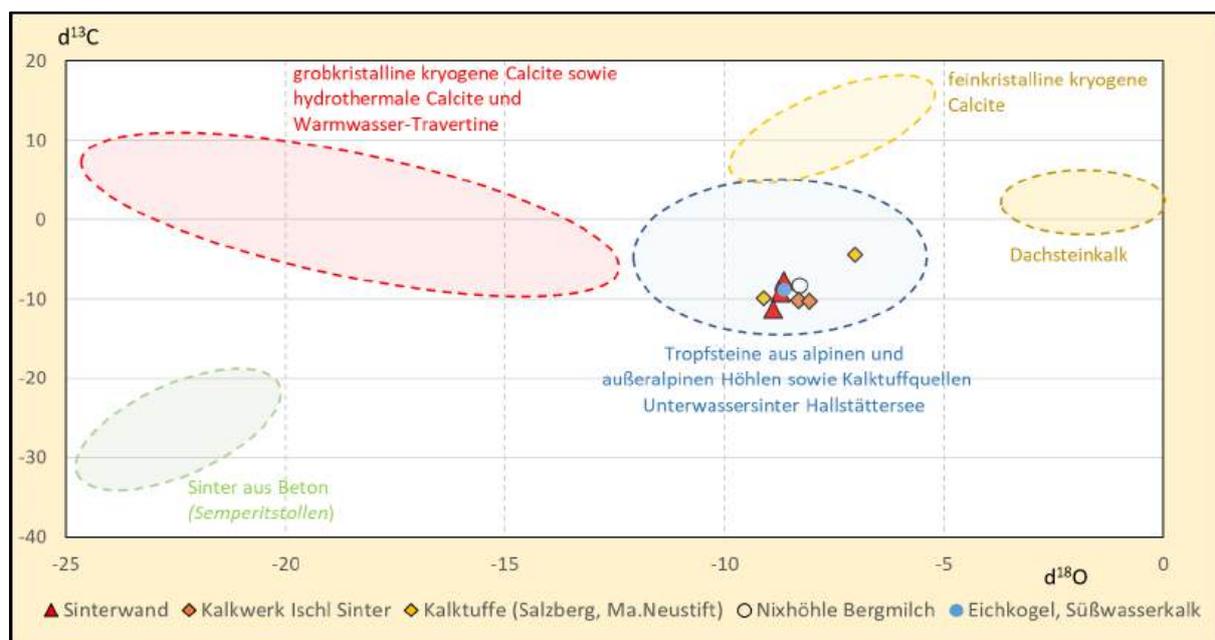


Abb. 33: Diagramm der stabilen Isotopen (^{13}C und ^{18}O) der Sinter aus dem Hallstätter See ("Sinterwand") im Vergleich zu eigenen Werten (verschiedene Süßwasserkalke, Betonsinter, Dachsteinkalk, kryogene Karbonate) sowie kompilierten Daten aus Gandin & Capezzuoli (2008), Spötl & Cheng (2014) und Ford & Williams (2007).

Die erhaltenen Werte liegen am ehesten im Bereich "normaler" Sinterbildungen aus mitteleuropäischen Höhlen und Kalktuffquellen, jedenfalls auch deutlich abseits des

Bereiches der hydrothermalen und der meisten kryogenen Calcite sowie auch signifikant abseits jener Sinterbildungen, die sich oft im Bereich von Betonbauwerken durch Auflösung calciumhaltiger Anteile des Zementes bilden.

Bemerkenswert indessen erscheint die jedenfalls hinsichtlich der stabilen Isotopen gegebene Ähnlichkeit mit dem pannonen Süßwasserkalk des Eichkogels südlich von Wien. Dieser wird heute als Sediment eines Süßwassersees mit wenig Wasserbewegung angesehen (Harzhauser & Binder, 2004, Seite 4).

Die 3 Proben aus dem Hallstätter See unterscheiden sich hinsichtlich ^{18}O praktisch nicht, bei ^{13}C deutet sich gegen die Tiefe zu eine geringfügige Abreicherung an, die bei jener Probe, wo nicht nur die Kristalle, sondern auch die deutlich dunkler gefärbte Innenseite der hohlen Abschnitte einbezogen wurden, am stärksten ist. Dies deutet möglicherweise auf einen verstärkten Anteil organischen Kohlenstoffs im Bereich der im folgenden erwähnten möglichen Entgasungslöcher hin.

Die Sinter der Hallstätter Sinterwand sind - wie auch die meisten calcitischen Speläotheme - aus Niedrig-Magnesium-Calcit (LMC - Low Magnesium Calcite) zusammengesetzt, in unserem Fall enthalten die Sinter lediglich 1 Mol % MgCO_3 und keine aberranten Mengen sonstiger Kationen. Allerdings waren Spuren von Stickstoff (in Form von NH_4^+ , ca. 0,1 %) festzustellen, die vermutlich vom Abbau der organischen Substanz im Sinter stammen. An den - aus Schutzgründen nur wenigen und kleinen - geborgenen Proben wurde ersichtlich, dass die Sinterbildungen vielfach innen hohl bzw. mit Calcitkristallen erfüllt sind, der organische Anteil also offenbar bereits weitgehend abgebaut ist. Einige der auffallenden lateralen Löcher deuten vielleicht auf eine Entgasung im Zuge des Abbaus des organischen Anteils der Sinter hin. Derartige Entgasungsvorgänge bei der Ausbildung exotischer Sinterbildungen in allerdings unterschiedlichem Umfeld wurden verschiedentlich beobachtet und beschrieben, (Rösler & Mücke, 1989, S. 26 oder Sanna & Forti, 2015).



Abb. 34: Nahaufnahme des geborgenen Sinters von - 37,8 m, mit möglichen Entgasungslöchern. Foto: R. Pavuza.

Bei den Tauchgängen wurden keine aktuellen Temperaturänderungen im Seewasser (weder thermometrisch, noch optisch durch unterschiedliche Lichtbrechung) vor dem Sinterbereich festgestellt, auch gab es keine merklichen Hinweise auf aktuell zusetzende, höher mineralisierte Wässer - jedenfalls nicht in nennenswerten Mengen. Ob ehemalige Wegigkeiten im Schwemmfächer verschwunden sind (z.B. infolge der Inkrustationen durch Sinter) oder das Wasserangebot regional abgenommen bzw. andere Abflusswege generiert hat, ist gegenwärtig nicht verlässlich zu beantworten.

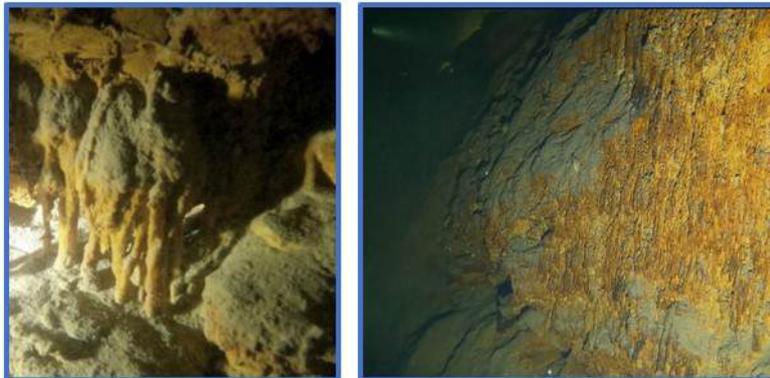
Im Zusammenhang mit den bereits erwähnten Cyanobakterien, deren Potential zur Kalkinkrustierung lt. Literatur dann besonders effizient ist, wenn Kalkangebot und Wassertemperatur erhöht sind, ergibt sich auch die Frage nach möglichen zusetzenden warmen und mineralreichen Wässern zum relativ gering mineralisierten, kühlen Wasser des Hallstätter Sees (→ Kap. 6.2).

Darüber hinaus kann aber fraglos auch eine ganze Reihe anderer Bakterien im Zuge unterschiedlicher mikrobiologischer Aktivitäten (Ureolyse, Nitratreduktion, Sulfatreduktion, Aminosäure-Oxydation und Methanoxydation) zur Kalkausscheidung beitragen (Zhu & Dittrich, 2016).

Aus den bisherigen Daten (→ Kap. 6 sowie 8.3) ergibt sich jedenfalls ein gewisses hydrogeologisches Potential mineralisierter und schwach thermal beeinflusster Wässer von westlicher Seite, das sich in mineralreichen Bächen, Quellen und Grundwasser im Bereich von Hallstatt/Mühlbach manifestiert, aber auch im Vorhandensein des Thermalwassers von Steeg. Der Zutritt zum See könnte unter anderem an Störungszonen am Ostrand des intern stark zergliederten Salinars gebunden sein. Die potentiellen Austrittsstellen von Bergwasser können dabei durchaus auch tiefer liegen als die gegenwärtige Seeoberfläche. Dafür sprechen auch die historisch dokumentierten „Köhbrunnen“ im See sowie die tiefreichenden, ebenfalls bis unter den heutigen Seespiegel reichenden, allerdings geothermal noch nicht merklich beeinflussten Wasseraustritte von Kessel und Hirschbrunn. Wenn die Wasserwege indessen entsprechend tief reichen, wäre auch die nötige Erwärmung gegeben, wie sich bei der Thermalquelle von Steeg sowie bei einigen moderat temperierten Grundwässern im Bereich Hallstatt zeigt.

Aufgrund dieser hydrogeologischen Randbedingungen könnte daher - rein geologisch betrachtet - aus heutiger Sicht zu einer gewissen Zeit der teilweise grobblockigen Rutschmasse östlich von Hallstatt lateral (und unterhalb des Seespiegels) mineralreiches und etwas höher temperiertes Wasser aus dem weiteren Salinarbereich zugetreten sein, vermutlich in Form von Salinar- und Karst-Mischwasser. An der Steilwand fanden so für eine gewisse Zeit „Blualgen“ und andere Bakterien optimale Wachstumsbedingungen vor und konnten Kalkinkrustationen in größerer Menge, jedoch im Ganzen räumlich durchaus begrenzt bilden. Dort wo Überhänge vorhanden waren, bildeten sich vorerst überkrustete Schleimfäden in Form von „Stalaktiten“, die selbst beim gegebenen Auftrieb im Wasser ab einer gewissen

Dimensionierung infolge der höheren Dichte der calcitischen Inkrustationen der Schwerkraft folgen müssen.



An den steilen Wänden bildeten sich hingegen eher flächige Versinterungen, jedoch stets in deutlich erkennbarer, subvertikaler Ausbildung (→ Abb. 35/36).

Abb. 35 und 36: „Tropfsteine“ und Sinterwand – beide sind eindeutig schwerkraftorientiert. Fotos: Ch. Macherhammer.

Eine gewisse Ähnlichkeit, sowohl in der Ausprägung als auch in der Genese, ist mit den sogenannten „Pool fingers“ gegeben, die in der Zwischenzeit auch aus einigen österreichischen Höhlen bekannt geworden sind (Cech, 2016, S. 20, Abb. 14). Diese entstehen im Zuge des Metabolismus von Mikroorganismen, vermutlich durch Calcitanlagerungen an deren Gallerthüllen („Exopolymere“).



Ein besonders spektakuläres internationales Beispiel aus der Hidden Cave im Carlsbad National Park (USA) soll hier vergleichsweise angeführt werden (→ Abb. 37).

Abb. 37: Pool fingers in der Hidden Cave, Carlsbad National Park (USA). Foto: L. Plan.

Im Falle der Tropfsteinwand könnte der in dieser Tiefe sehr geringe, aber dennoch vorhandene Lichtanteil im Falle von Cyanophyceen („Blualgen“) im Zuge des Metabolismus allerdings - wenigstens theoretisch - auch eine photosynthetische Kalkabscheidung ermöglichen. Eine Quantifizierung dieser beiden genannten Möglichkeiten ist jedoch schwierig und auch bei methodisch ungleich leichter direkt zu untersuchenden Flachwasserkarbonaten nur sehr aufwändig einigermaßen erreichbar (Shiraishi, 2008).

Ein weiteres subaquatisch fokussiertes Modell zur Genese wäre die Einbringung von kalkhaltigem Feinmaterial, das einerseits geogenen Ursprungs sein kann, aber auch im Rahmen der bergbaulichen Tätigkeiten angefallen sein könnte (→ Kap.7.4.2.2) und über den Mühlbach im Ortsgebiet in den See gelangte und durch Pflanzen oder Bakterien Schleim im Steilhang teilweise fixiert wurde. Derartige Erscheinungen sind jedenfalls aus dem Gelände

bekannt, wo Gesteinsdetritus in Gerinnen durch Pflanzen (Moose und Algen) zurückgehalten wird und so "Pseudokalktuffe" bildet, die den echten Tuffen oft täuschend ähnlich sind. Im vorliegenden Fall spricht indessen die Textur der Sinter dagegen, auch sollte sich dies in einer deutlich unterschiedlichen Isotopensignatur in Relation zu Süßwasserkarbonaten (→ Abb. 33) manifestieren, was aber nicht der Fall ist.

Teile der im Zuge der Ableitung des Hanges im Jahre 1808 entstandenen grobblockigen Sedimente dürften indessen aus kalkhaltigem Betriebsabfall der Sudwannen der Saline bestehen, die bis 1965 im Ortsgebiet existierten (→ Kap.7.4.2.2). Auch die Einbringung von Holzasche, aber auch Brandschutt von 1750 - beide mit merklichen Anteilen Calcium-hältiger Verbindungen - ist denkbar (→ Kap.7.4.2.1).

Weiters wäre neben der anthropogenen konzentrierten Einbringung von Abwässern vor Errichtung der Kanalisation (die erst gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts vollendet



wurde), die das Wachstum bestimmter Mikroorganismen im betroffenen Seeabschnitt fraglos förderten, auch ein gewisser Einfluss oberflächlich dem See zutretender, höher mineralisierter Bachwässer aus dem Bereich des Salzberges als zusätzliche Calcium-Quelle denkbar.

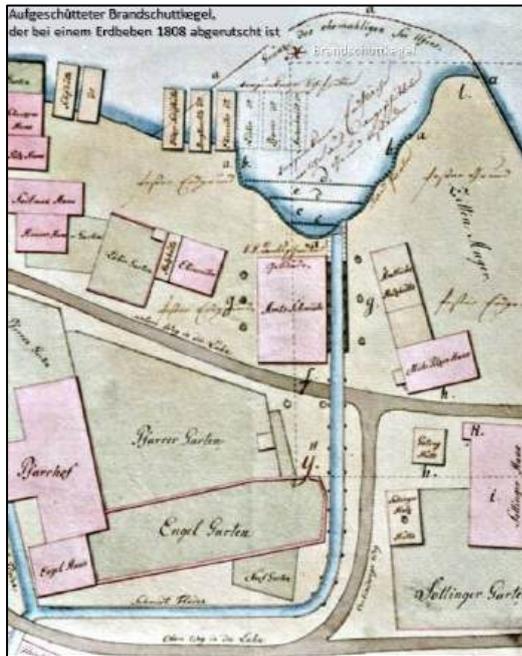
Abb. 38: Josephinische Landesaufnahme (1775-1777) [Quelle: arcanum.com] im Vergleich mit der aktuellen Situation (DORIS OÖ. map).

Jedenfalls zeigt der Kartenausschnitt von Hallstatt der Josephinischen Landesaufnahme (1775-1777) einen in den See mündenden Bach nicht allzu weit der heutigen Unterwassersinter (→ Abb. 38). Ob und wie weit dieser Bach mit dem nach einer Verschwenkung nach Norden dem See zufließenden Mühlbach ursprünglich zusammenhing, lässt sich allerdings heute nicht mehr mit Sicherheit sagen.

Schließlich muss aber vor allem das historisch belegte Abrutschen eines relativ großen Uferbereiches im Jahre 1808 (→ Abb. 39) in die Überlegungen miteinbezogen werden, das im Bereich der heutigen Sinterwand stattgefunden und die Unterwasserlandschaft fraglos maßgeblich umgestaltet und geprägt hat. Im Zuge dieser massiven geomorphologischen

Ereignisse wurden - teilweise bearbeitete - Hölzer eingeschlossen und in der Folge von Sinter überkrustet.

Zusammenfassend läßt sich sagen: In der wasserdurchsetzten Rutschmasse von 1808 war ausreichend calciumreiches Sediment vermutlich sehr unterschiedlicher Herkunft vorhanden, das an der Oberfläche des steilen Hanges im Zusammenwirken mit anthropogen belasteten



Wässern aus dem Ortsgebiet sowie vielleicht auch höher mineralisierten und leicht thermal beeinflussten, zusetzenden Grundwässern einer Mikroorganismenassoziation in einem begrenzten Seeabschnitt optimale Wachstumsbedingungen geboten hat. Die Vollendung der Kanalisation im Ortsgebiet vor wenigen Jahrzehnten wird mit einiger Sicherheit das Wachstum der beteiligten Mikroorganismen infolge des Wegfalles von Nährstoffen in der Folge restriktiv beeinflusst haben. Gleichermäßen wird auch die Verlegung der hydraulischen Wegigkeiten in der Rutschmasse durch Kalkausfällung einen begrenzenden Faktor der Sinterbildung darstellen.

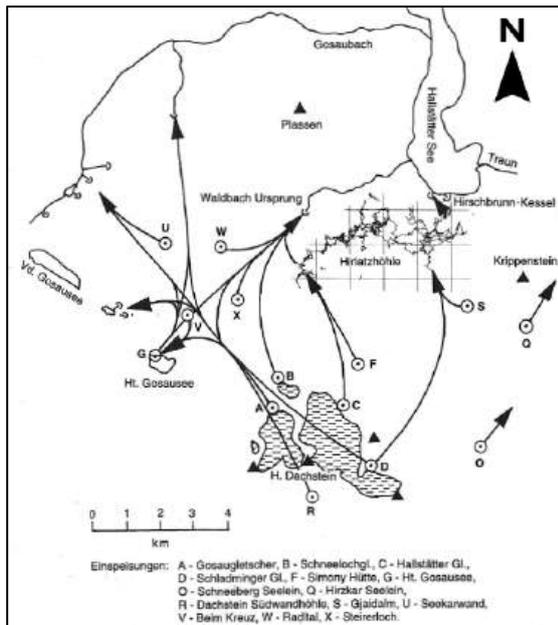
Abb. 39: Situation im Uferbereich vor der heutigen Sinterwand im 19. Jahrhundert, mit Eintragung des ehemaligen Uferbereiches ("Brandschuttkegel" aus dem 18 Jh.), der 1808 abgerutscht ist (Quelle: Seerutschung, 1808 - Salzoberamtsarchiv, OÖLA).

Die Unterwasser-Sinterwand von Hallstatt ist also nach gegenwärtigem Wissensstand eine durch Mensch und Natur geformte Erscheinung der letzten beiden Jahrhunderte. Man kann die durchaus beeindruckenden und jedenfalls im alpinen Raum bislang offenbar einzigartigen Formen somit als "Anthropogen induzierte, subaquatisch-biogene Kalktuffe" bezeichnen.

8. Hydrographische Daten, Hochwässer und Felsstürze im Gebiet von Hallstatt

8.1. Hydrographische Situation im Umfeld des Hallstätter Sees

Die ins Trauntal abfließenden Niederschlagswässer kommen aus den Hochflächen unserer Karstgebirge, den Nördlichen Kalkalpen, in unserem Fall dem Toten Gebirge und dem Dachstein. Beide zählen zu den größten und höhlenreichsten Karstmassiven der Ostalpen. Der in den Hochlagen bis nahezu 3.000 m in den Wintermonaten gespeicherte Schnee, das vorläufig noch immer vorhandene „ewige Eis“ und relativ hohe Jahresniederschläge, die zu den größten Österreichs zählen, sind der Garant für gleichmäßigen Wassersegen das ganze Jahr über. Vorteilhaft sind die nach Norden einfallenden wasserstauenden Schichten im



Untergrund des Dachsteingebirges, wie eine stark vereinfachte Darstellung der Geologie und der Abflussverhältnisse (Karstwasserwege) zeigt (→Abb. 40 und 41). Der überwiegende Anteil der Wässer des Dachsteingebietes fließt in nördliche Richtungen ab, wogegen der Abfluss nach Süden mengenmäßig untergeordnet ist.

Abb. 40: Zusammenfassende Darstellung der Abflusswege im nördlichen Dachsteingebiet (aus Völkl, 1998).

Diese bereits aus den geologischen Rahmenbedingungen und den Beobachtungen der Höhlenforscher abzuleitenden Hinweise

auf die Abflussverhältnisse wurden durch Tracerversuche gegen Ende des 20. Jahrhunderts nachhaltig bestätigt. Eine aktuelle Zusammenfassung der langjährigen Untersuchungen findet sich bei Benischke, Stadler & Völkl, 2016. Die Bedeutung des Hallstätter Sees als Vorflut - sowohl für oberirdisch, als auch unterirdisch zusetzende Wässer - wird deutlich erkennbar.

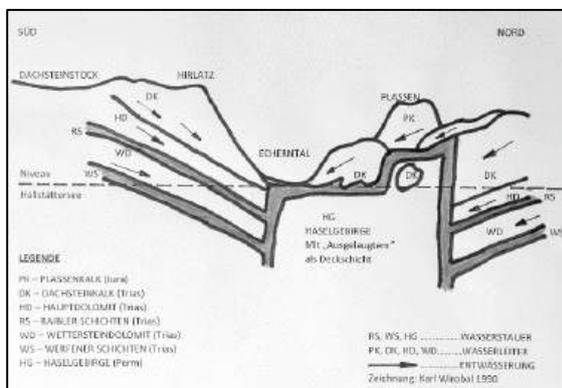


Abb. 41: Stark schematisierter und vereinfachter hydrogeologischer Schnitt durch das Gebiet von Hallstatt (aus Wirobal, 1990).

Um eine Vorstellung über die Größenordnung der abfließenden Wässer im Gebiet des Hallstätter Sees und damit deren Auswirkungen auf Hochwässer zu bekommen, sollen einige hydrographische Basisdaten angeführt werden.

- Seehöhe 508 m ü. A
- Seefläche des Hallstätter Sees: 8,4 km²
- Hydrographisches Einzugsgebiet: knapp 650 km²
- Jahresniederschlag: bis 2000 mm
- Zufluss: 53 % über die Traun, der Rest über Bäche und Riesenquellen (z.B. Waldbach, Kessel) sowie unterirdisch
- Größter (beobachteter) Zufluss: 590 m³/s (Obertraun, 1920)
- Größter (beobachteter) Abfluss: 445 m³/s (Steeg 1959)
- Gefälle zwischen Zu- und Abfluss: 5 cm

Trotz des insgesamt riesigen Einzugsgebietes und der großen Niederschlagsmengen treten verheerende Hochwässer im Raum Hallstatt vergleichsweise selten auf. Zu erklären ist das unter anderem damit, dass sich viele Hochflächen im Einzugsgebiet in einer Höhenlage um 2000 m befinden, der Niederschlag dort daher im Jahreslauf oft als Schnee „zwischen- gelagert“ wird und das Wasser dementsprechend verzögert abfließt. Das hydrographische Einzugsgebiet ist dabei rund 75 mal so groß wie die Fläche des Sees (*daraus ergibt sich - natürlich nur anschaulich ! - dass das jährlich in den See fließende Wasser eine Wassersäule von mindestens 100 m über dem See bilden würde*).

Zwischen 1340 und 1892 sind 26 größere Hochwässer historisch dokumentiert. Seither gibt es private Messungen und amtliche Aufzeichnungen des Hydrographischen Dienstes an Pegelmessstellen.



Abb. 42 a und b: Hochwasser-Marken Höplinger im Ortszentrum (linkes Bild) und Seelände, die Kinder verweisen auf den Wasserstand beim Rekord-Hochwasser vom 7.9.1920 (221 cm über dem „See-Normalstand“). Fotos: K. Wirobal.

Seit 1897 gibt es amtliche Messungen des Wasserstandes durch das Amt der OÖ-Landesregierung - Hydrographischer Dienst). Hochwässer mit rund 1 m über dem „See-Normalstand“ (Wehroberkante Steeg), das sind 2 m über dem jeweiligen Pegel-Nullpunkt „PNP“, gab es seither knapp über 20, wobei am 7. September 1920 der bisherige Höchstwert dokumentiert wurde (→ Abb. 42a, 42b).

Die jüngsten Jahrzehnte gehören nicht zu den hochwasserreichsten Perioden in Europa. Hochwässer traten früher vermehrt bei kühler Witterung auf („Die Presse“, 12.09.2020). Ufernahe Bereiche sind jedoch stets betroffen (→ Abb 43).



Abb. 43: See-Hochwasser 2002 im Ortsgebiet von Hallstatt - die Bootshütten sind teilweise überflutet. Foto: K. Wirobal.

8.2. Einfluss der Seeklause auf den Wasserstand

Die denkmalgeschützte Klause wurde 1511 für den Salztransport gebaut und 1573 erhöht, wodurch der Seespiegel rund 1,5 m angehoben wurde und für die Schifffahrt immer ausreichend Wasser abgelassen werden konnte. Die Klause entspricht in den wesentlichen Bauteilen auch heute noch der Bauweise zur Zeit der Errichtung. Das knapp mehr als 100 m lange Holzbauwerk besteht aus 11 beweglichen Klaustoren, 12 Klausstuben (Steinkästen), einer Floßgasse für die Schifffahrt und flussabwärts aus einem Gegenposter (Nadelwehr) zur statischen Entlastung des Hauptbauwerks. Zur Jahrtausendwende hat man die Floßgasse durch den Einbau einer automatischen Wehranlage (Klappenwehr) modernisiert. Bei Bedarf können auch die Klaustore automatisch geöffnet werden, deren Schließen wird aber noch immer händisch durchgeführt. Die Durchflusslänge aller Tore beträgt knapp 35 m Länge, sodass ein Durchflussquerschnitt von rund 40 m² zur Verfügung steht. Bei geöffneten Toren ist ein Durchfluss von rund 72 m³/s Wasser möglich (Beschreibung 2020; Anm.: F. Rosenauer (1934) gab für alle 11 Klaustore einen Durchfluss von 35 m³/s an ?).

Als „Normalstand“ des Hallstätter Sees gilt 1 m über dem Pegel-Nullpunkt in Steeg/Bad Goisern, was ungefähr mit dem Laufsteg der Wehranlage ident ist, auch wenn dies in der neuen Wehrbetriebsordnung nicht ausdrücklich angeführt wird.

Eine gewisse Regelung des Seespiegels ist unter „Normalbedingungen“ mit den derzeitigen Einrichtungen möglich. Nach der Wehrbetriebsordnung (2007) erfolgt die Wehrsteuerung in Abhängigkeit vom Seespiegel Steeg. Der Seestand darf „...im Regelfall zwischen den Koten 508,20 m u. A. und 508,45 m ü. A. schwanken. Bei höheren Spiegeln sind alle Klauswehrtore zu öffnen. Der Seespiegel und der Abfluss in die Traun können dann durch das Klauswehr nicht mehr beeinflusst werden“. Eine Schwankung des Wasserstandes von +10 cm und -15 cm, bezogen auf den See-Normalstand von 508,35 m ü. A. ist also zulässig. In Hallstatt/Lahn liegt nach mehrjähriger Beobachtung von K. Wirobal der Seestand meist im Bereich der „zulässigen“ -15 cm oder knapp darunter. Damit ist also eine zumindest zeitweise geringfügige Absenkung gegeben, was bei überraschendem Starkregen von Vorteil ist.

Im Fall extremer Niederschläge im Einzugsgebiet über längere Zeit (Hochwässer 2002 u. 2013) ist die historische Wehranlage allerdings überfordert bzw. technisch nicht geeignet. Auch bei vorbeugender Reaktion auf angesagte Starkregen bestehen wenig Möglichkeiten des Wasserrückhaltes. Der riesige Zufluss vom Einzugsgebiet und der - auch bei geöffneten

Klaustoren - verhältnismäßig geringe Seeabfluss (s. oben) führen zu einem schnellen Anstieg des Seespiegels.

Amtliche und auch private Aufzeichnungen durch K. Wirobal (Hallstatt) haben folgende Anstiege des Seespiegels festgehalten, die immerhin Zuflussmengen von mindestens 250-450 m³/s erfordern.

12.08.2002	08:00 - 09:00	17,0 cm/h	Klaustore geöffnet !
12.08.2002	09:00 - 12:00	14,7 cm/h	
01.06.2013	08:00 - 12:00	10,0 cm/h	

Für die erst in einer Tiefe von über 20 m beginnenden Unterwassersinter im Bereich von Hallstatt sind diese Spiegelschwankungen somit nicht von unmittelbarer Bedeutung und auch die Errichtung und Änderung der Klause mit dem damit verbundenen vergleichsweise geringen Anstieg des Seespiegels hat wohl keine nennenswerte Rolle bei ihrer Entstehung und Entwicklung gespielt. Nicht bekannt ist allerdings, ob in der Tiefe von 20 – 40 m im Zuge extremerer Hochwasserereignisse das - nach den Beobachtungen der Taucher bei Schönwetter in dieser Tiefe stagnierende - Seewasser (→ Kap. 3) eine gewisse Durchbewegung erfährt.

8.3. Kurze Hinweise zur Wärmenutzung aus dem Hallstätter See

Der Hallstätter See ist ein riesiger Wärmespeicher, der im Winter die ganze Umgebung wärmt und im Sommer kühlt.

„Geht man vereinfacht davon aus, dass sich der südliche See von 14°C Anfang Oktober auf 4°C Ende Jänner abkühlt und unterstellt man weiters ein konstantes Temperaturgefälle vom Seespiegel bis in 40 m Tiefe, wo das ganze Jahr über eine Temperatur von ca. 4°C herrscht, so beträgt die durchschnittliche Abkühlung 5°C. Das Wasservolumen bis 40 m Tiefe beträgt ca. 180 Mio m³. Eine Abkühlung um 5°C setzt eine Wärmeenergie von rund 1000 Mio kWh frei, was dem Energieinhalt von rund 100 Mio kg Heizöl entspricht (ca. 3333 Tankwagen zu 30.000 kg). Bei gleichmäßiger Abkühlung von Anfang Oktober bis Ende Jänner stehen im Durchschnitt täglich 8,3 Mio kWh Wärmeenergie zur Verfügung (ca. 28 Tankwagen Heizöl)“
[Auszug aus „Das Klima von Hallstatt“, K. WIROBAL, Musealverein Hallstatt, 1994].

Tatsächlich wurde und wird Wasser aus dem See entnommen und mittels Wärmetauscher zur Energiegewinnung verwendet. Bei den Tauchgängen im Zuge der Sinteruntersuchungen konnten jedenfalls entsprechende Leitungen und Pumpen lokalisiert werden (→ Kap. 4).

8.4. Zur Grundwassersituation im Hallstätter Echerntal

Seit Anfang der Achtzigerjahre des vorigen Jahrhunderts wird Wasser in Hallstatt auch für Heizungszwecke mittels Wärmepumpen genutzt. Die vom Dachstein abfließenden Wässer sind zwar etwas kälter als jene im unteren Trauntal, sonst aber wegen ihrer Reinheit

(Trinkwasserqualität) für Wärmepumpen bestens geeignet. In diesem Zusammenhang wurde das Grundwasser im Echerntal an mehreren Stellen mittels Rohrbrunnen erschlossen und deren Niveau durch K. Wirobal eingemessen. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, das Wasser-Niveau in den Brunnen sowohl bei See-Normalstand, beim Winter-Seestand und auch beim Hochwasser im Juli 1990 zu ermitteln. Auf diese Weise sieht man, dass neben Karstwässern dem See auch Grundwasser direkt aus dem Lockersedimentaquifer des Echerntales rund 500 m südlich der Unterwasser-Sinterwand - zufließen dürfte (→ Kap. 6.1).

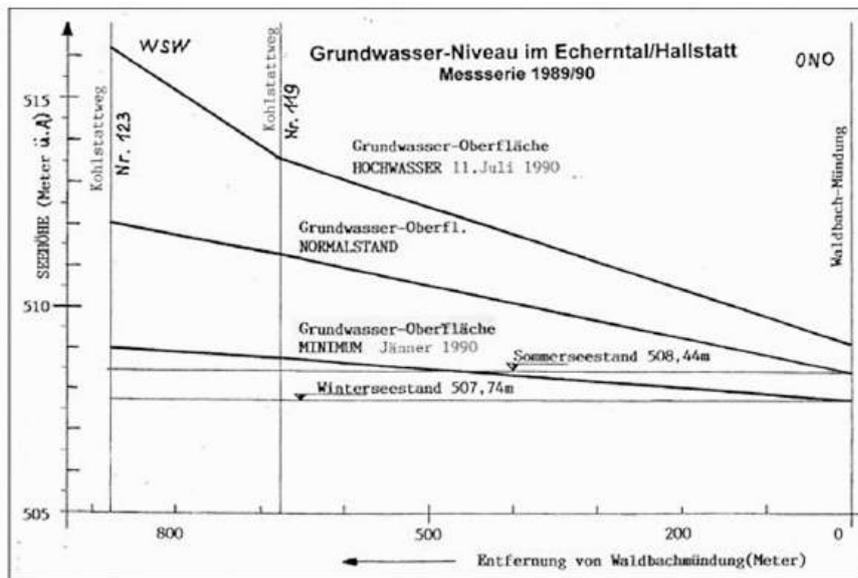


Abb. 44: Grundwasserstand im Echerntal bei Hallstatt in Relation zum Seespiegel (Grafik aus Wirobal, 1990).

8.5. Historische Massenbewegungen, Felsstürze, Seebewegungen, "Tsunamis"

Felssturz-Ereignisse gibt es im Umfeld von Hallstatt jährlich meist mehrere, doch treten glücklicherweise Schäden relativ selten auf. Über solche Ereignisse berichtet die „Hallstatt-Chronik“ (Urstöger, 2000) und auch „Das Klima von Hallstatt“ (Wirobal, 1994).

Ereignisse im Zusammenhang mit Wellenbewegungen am See sind zwar selten, treten aber auch gelegentlich auf, wenn Lawinen oder Felsabbrüche direkt im See landen. Die bekannte "Schoß-Lawine" beim „Hirschbrunn“ südöstlich von Hallstatt reicht oft mehr als 100 m in den See hinaus. Auffallende Wellen gibt es dann bis Obertraun.

Auch Seeufer-Rutschungen oder Erdbeben verursachen Wellenbewegungen. Beobachtet hat man am 21. Juli 1808 abends zweimal eine „... 3 bis 4 Fuß hohe Schwellung des Sees...“. Eine ähnliche Erscheinung wiederholte sich am 24. August nachts. Bei dem gleichzeitigen Erdbeben versanken vor der Salinenschmiede „...drei Schiffhütten und eine Landfläche von 160 Quadratklaftern [ca. 600 m², Anm. Red.] im See“ (Urstöger, 2000).

Ein Teil des beim Kernmagazinplatz (heute Bus-Terminal) in den See geschüttete Tunnel-Ausbruchmaterials rutschte am 16. August 1964 und nochmals am 15. März 1965 in den See. Jedes Mal wurden größere Wellenbewegungen beobachtet.



Gut dokumentiert ist der „Tsunami“ durch den Abbruch eines Teils des 1552 m hohen Schneidkogels, eines östlichen Vorberges des Plassen im Jahre 1652 (*Anm. K. Wirobal.: an anderer Stelle wird auch 1649 genannt*), ausgelöst möglicherweise durch ein Erdbeben. Mehrere hunderttausend Kubikmeter Fels glitten über das „Hohe Plattert“ ab und stürzten über den „Steingraben“ in den See.

Abb. 45: Schneidkogel-Abbruch entlang des „Plattert“ (Gleitfläche). Foto: K. Wirobal.

Zerstört wurden die Soleleitung, der Saumpfad nach Hallstatt und am östlichen Seeufer der Lagerplatz der „Hallholzzaine“. Geht man davon aus, dass letztere halbwegs hochwassersicher gelagert waren, dürfte die Wellenhöhe doch enorm gewesen sein.

1661 wird in der Hallstatt-Chronik auch von einem heftigen Erdbeben berichtet, bei dem der Wasserspiegel des Sees um 7 Zoll (fast 18 cm) gestiegen sein soll.

Inwieweit diese Ereignisse einen (negativen) Einfluss auf die Unterwassersinter haben, lässt sich wegen der Tiefenlage der Vorkommen und der weitgehenden Unkenntnis der Tiefenwirkung bergsturzinduzierter Wasserbewegungen freilich nur schwer abschätzen.

8.6. Chronologische Übersicht außergewöhnlicher Ereignisse im Bereich von Hallstatt

Die in der folgenden Zusammenstellung angeführten Ereignisse könnten direkt und indirekt in Zusammenhang mit der Unterwassersinterwand stehen. Eine Wertung der Relevanz ist indessen nur in einigen Fällen - die Jahreszahlen der aus unserer Sicht bedeutenderen Ereignisse sind farblich leicht hervorgehoben - möglich.

2013	Ein Starkregenereignis löste am 18. Juni ein verheerendes Hochwasser mit erheblichem Materialtransport im Mühlbach aus. Große Schäden an der Infrastruktur und Häusern im Ortszentrum waren die Folge (<i>Pürstinger C., 2017</i>).
2005	3000-4000 Tonnen Salz gelangen über den Mühlbach in den Hallstätter See, bedingt durch ein technisches Gebrechen im Salinenbereich (<i>„Die Presse“ v. 31.10.2005</i>).
1976	Baubeginn der Kanalisation im Hallstätter Ortsgebiet (<i>Urstöger, H.J. 2000</i>).

<p>1884</p> <p>1881</p> <p>1880</p>	<p>Durch Starkregen ausgelöste Wassermassen, durchsetzt mit Hang- und Haldenschutt, schossen im der Mühlbach in Richtung Zentrum von Hallstatt. Das Murenmaterial zusätzlich vermischt mit größeren Felsblöcken verursachte eine Katastrophe im Ortskern, sodass jeweils die Aufräumarbeiten wochenlang anhielten (<i>Pürstinger C., 2017</i>).</p>
<p>1808</p>	<p>Nach einem Erdbeben und riesiger Seeschwellung versanken vor der Salinenschmiede "Im Hof" drei Schiffhütten und eine Landfläche von 160 Quadratklaftern im Hallstätter See (<i>Urstöger H.J., 1984</i>).</p> <p><i>“Den 19 Junj dieses 1808 Jahr ist zum erstenmal die Landmilitz angekündet worden. An einen von Wetter sehr schönen Mittwoch Abend, als den 21 Julj um 1/4tl nach 8 Uhr hat es den See etlichmal zu 3 bis 4 Schuh hoch auf geschwöllet, und sohin theils orthen von Markt bis Lahnseits bey 2 Klafter weit auf das Land getrieben und wieder über die ordinari See Höhe abfahrend, dann wieder steigend, und fahrend gemacht bey 9 Minuten lang; ausser den Markt Tremischer seits, und über den Waldbach Lahn hinwärts aber, hat man keine sonderbare anschwellung bemerket. Am 24 Augusti an einen Pfingstag um 11 Uhr Nachts, da das Wetter nicht so klar wie vormals war, verspriet man eine Erderschütterung, worauf gleich nach diesen von gantzen Markt Haalstatt ein Krachen und Gepolter gehöret wurde, das fast anhaltend bis auf ½ 1 Uhr in der Nacht, als des 25 Augusti vor der 1802 Neu gebauten Schmidten, ein Fleck Land bey 160 Quadrat Klafter (160 Klafter² = 518,40m²), sammt 3 Schöfhütten, bis auf 1 Klafter (1Klafter² = 3,24m²) zu der benannten Schmidten, in den See eingebrochen, wobey grosses geprasel und grausen in Wasser entstunde, und am See eine 4 bis 5 Schuh hohe Schwöllung von Hof bis Zeugstadl in der Lahn verursachte, in der Tremischen auswärts, und innwärts über den Waldbach wurde es immer weniger bemerket, so das bey der Amtschöfhütten das Wasser nur 2 Schuh auf und ab Lieffe in gerader auf und absteigung, solches zwar immer minders steigen und fahlen des See dauert gegen eine 4tl Stund; Bey diesen besagten einsturz ist viel altes Holtz von Wiehren und Senkwerch, auch Buchene und Fichtene Drähling aufgangen, und am Wasser oben geschwummen, deren vieles 3 Schuh in abschnit hat. Dieses verursachten Schaden gab man meistens denen 2 Schmidthamern, theils aber auch der erpöbung der Erde Schuld. Der Schmidten zu fernern Schutz hat man in nachfolgender Zeit, große Senkwerch hinein gesetzt, und mit dem Schlagwerk 4 bis 5 Klafter lange Lerchene Steken eingeschlagen, Viele Zihlen volle Gürme zugeführt, und eingesenket, und dann etwas weniges mit Schütt ausgefüllet”. (aus der Engleitner-Chronik)</i></p>

1750	Katastrophaler Marktbrand, 35 Gebäude wurden zerstört. https://www.hallstatt.net/ueber-hallstatt/weltkulturerbe/themenwege-durch-das-welterbe/themenweg-hallstatt/themenweg-hallstatt-hallstatt-brennt/
1743	Durch einen Wolkenbruch schwoll der Mühlbach ungewöhnlich hoch an. Schuttmassen wälzten sich durch den Ort. Das aufgestaute Wasser ergoss sich zwischen den Häusern des Marktes in den See (Urstöger H.J., 2000).
1652 oder 1649	<i>“Beyläufig um diese Zeit ist das Gebirg in Haalstatt, so jetzt der Staingraben heist eingebrochen. Dieser einsturz ist von aller Höhe geschehen, und hat einen so Praslenden Sturm verursacht, das es unter der Wehr, anderseits des See einen Haalholzzain umgeworfen, und der Staub ein Zohl dick an dem andern Land lage”.</i> (Auszug aus Engleitner-Chronik Chronik von 1650 bis 1699) Abbruch am Schneidkogel, mehrere hunderttausend Kubikmeter Fels stürzten über den Steingraben in den See, ein Mini-Tsunami wurde ausgelöst (→ Kap. 8.5).
1572	Eine große Überschwemmung verwüstete einen Teil Hallstatts. Die Wassermassen des gewaltig angewachsenen Mühlbaches haben mitten im Ort enorme Mengen an Schutt und Steinen abgelagert, sodass der überwiegende Teil der angrenzenden Häuser schwer beschädigt wurde (Urstöger H.J., 1984).
1550	Wachstum Holzprobe aus – 17,4 m Wassertiefe (→ aktuelle Untersuchung, Kap. 7.4).
1270	Wachstum Holzprobe mit Sinterauflage aus – 38,5 m Wassertiefe (→ aktuelle Untersuchung, Kap. 7.4).
~ 13 000 v.Chr.	Moräne unter heutigem Seeniveau abgelagert -> Seespiegel noch merklich tiefer als heute (→ Kap. 5 sowie Van Husen, 1977, Seite 72 mit Verweis auf F. Simony).

9. Zusammenfassender Ausblick

Die vier Tauchgänge im Herbst/Winter 2022 erbrachten den direkten Nachweis eines vorspringenden, bereits durch die geophysikalische Prospektion eines interdisziplinären Teams erfaßten Schwemmfächers im ufernahen Bereich östlich des Ortszentrums von Hallstatt, der durch eine massive Rutschung im Jahr 1809 überprägt und stark übersteilt wurde. An seiner Westwand weist dieser markante subaquatische Bereich über 30 m Tiefenerstreckung eine ausgedehnte – in Relation zum übrigen Uferbereich des Hallstätter Sees freilich räumlich stark begrenzte - Übersinterung durch gelblichen, verhältnismäßig grobkristallinen Calcit auf. Insbesondere an Überhängen erinnern diese Sinter optisch durchaus an klassische Tropfsteine, vor allem aber an Kalktuffe. Darin eingeschlossene Holzreste erbrachten mittels ^{14}C -Bestimmung ein Maximalalter des Holzes von knapp 800 Jahren - gleichzeitig auch das absolute Maximalalter der Tropfsteine. Die Tropfsteine sind nach Abwägung der denkbaren Hypothesen subaquatisch entstanden, vermutlich unter Mitwirkung von Cyanobakterien und anderer Bakterien, deren Metabolismus eine Kalkausscheidung ermöglicht - möglicherweise ähnlich dem Phänomen der "Pool finger", die auch in Österreich bereits in einigen Höhlen nachgewiesen wurden. Allerdings ist dort die Wassertiefe erheblich geringer und die Vergleichbarkeit daher nur bedingt möglich.

Für den Uferbereich ist insbesondere das erwähnte Abgleiten des Uferbereiches und die Verlagerung des Ufers um etliche Meter im Jahr 1808 von Relevanz, verbunden mit Hinweisen, daß vor - und teilweise auch nach - dem Abgleiten in diesem Bereich verschiedene kalkhaltige Materialien zur Ablagerung gelangten (Brandschutt, Betriebsabfall der Sudpfannen, Holzasche).

Eventuell spielten bei der Entstehung lokal zufließende, höher mineralisierte, vom benachbarten Salinar beeinflusste und vermutlich auch geringfügig höher temperierte Wässer eine gewisse Rolle. Aktuell dürfte indessen in der Gleitmasse selbst kein oder nur ein geringer Zufluss stattfinden, jedenfalls gab es bei den Tauchgängen keine Hinweise darauf. Die geologischen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen im Umfeld des Vorkommens lassen diese Option für vergangene Zeiträume jedoch als möglich erscheinen. Darüber hinaus muss der Zufluss von Abwässern aus dem Ortsgebiet bis gegen Ende des vergangenen Jahrhunderts in Betracht gezogen werden.

Die Besonderheit der Sinterbildungen liegt weniger in ihrem Alter als in der Seltenheit solcher Bildungen in der angetroffenen Tiefenstufe. Subaquatisch entstandene Sinterbildungen sind global durchaus selten und in dieser Quantität jedenfalls im weiteren Umfeld den beteiligten Tauchern nicht bekannt. Auch die internationale Literatur darüber ist überaus spärlich, die dort beschriebenen Phänomene sind überdies kaum mit den hier angetroffenen Sinterbildungen unmittelbar vergleichbar.

Eine über diese erste Darstellung hinausgehende mikrobiologisch-geochemisch orientierte Spezialuntersuchung inklusive der molekularbiologischen Identifikation der beteiligten Organismen und deren Beitrag zur Entstehung der Sinterwand bedarf jedoch einer fundierten Finanzierung und einer weitaus aufwändigeren Probenahme, wäre freilich für die Zukunft aber wünschenswert.

Ein gewisser Grundschutz der Vorkommen ist seitens der Behörde durch das Tauchverbot gegeben, doch ist bei allfälligen, unbedingt nötigen technischen Vorhaben im angrenzenden Uferbereich - wie etwa die Entsorgung des Mülls - eine besondere Sorgfalt unter Berücksichtigung der hier dargestellten topographischen Gegebenheiten im Seeuntergrund zum Schutze der überregional bedeutsamen Sinterbildungen angebracht.

10. Summary

The four dives in autumn/winter 2022 provided direct evidence of a protruding alluvial fan in the area close to the shore east of the center of Hallstatt, which had already been recorded by the geophysical prospection of an interdisciplinary team. This area was heavily overprinted by a massive landslide in 1809. On its western wall, this striking subaquatic area over a depth of 30 m shows an extensive - in relation to the rest of the shore area of Lake Hallstatt, of course, spatially very limited - overgrowth by yellowish, relatively coarsely crystalline calcite. Particularly on overhangs, this calcitic sinter is visually reminiscent of classic stalactites, but above all of calcareous tufa. By means of ^{14}C determination, the maximum age of wood trapped in the sinter was found to be almost 800 years - also the absolute maximum age of the dripstones. After weighing up the conceivable hypotheses, the dripstones were formed subaquatically, presumably with the involvement of cyanobacteria and other bacteria whose metabolism enables lime excretion. These features are possibly similar to the phenomenon of "pool fingers", which have already been detected in some caves in Austria. However, the water depth there is considerably less and comparability is therefore only possible to a very limited extent.

Of particular relevance is the already mentioned slippage of the shore area and the relocation of the shore by several meters in 1808, combined with evidence that various calcareous materials were deposited in this area before - and in some cases after - the slippage (fire debris, operational waste from the brewing pans, wood ash).

It is possible that locally inflowing, higher mineralized waters, influenced by the neighbouring salinar and probably also slightly higher tempered waters played a certain role in the formation. Currently, however, there is probably little or no inflow in the sliding mass itself, at least there was no evidence of this during the dives. However, the geological and hydrogeological conditions in the vicinity of the deposit make this option appear possible for past periods. In addition, the inflow of wastewater from the local area up to the end of the last century must be taken into account.

The peculiarity of the sinter formations lies less in their age than in the rarity of such formations at the depth level encountered. Subaqueous sinter formations are quite rare globally and are not known in this quantity to the divers involved, at least not in the wider area. The international literature on this subject is also extremely sparse, and the phenomena described there are hardly directly comparable with the sinter formations encountered here. However, a special microbiological and geochemical investigation going beyond this initial presentation, including the molecular biological identification of the organisms involved and their contribution to the formation of the sinter wall, requires sound funding and far more elaborate sampling, but would certainly be desirable for the future.

A certain degree of basic protection of the deposits is provided by the authorities through the ban on diving, but in the event of any absolutely necessary technical projects in the adjacent shore area, special care should be taken to protect the sinter formations of supraregional importance, taking into account the topographical conditions in the lake bed described here. A certain basic protection of the deposits is provided by the authorities through the ban on diving, but in the case of any absolutely necessary technical projects in the adjacent shore area - such as the disposal of waste - special care must be taken to protect the sinter formations of supraregional importance, taking into account the topographical conditions in the lake bed described here.

11. Mitarbeiter, Danksagungen

Am Projekt „Unterwassersinterwand im Hallstätter See“ waren folgende Personen unmittelbar beteiligt:

Evelin Dworak, Tauchunternehmen GeoDive (*Tauchen und Tauchdokumentation*)

Walter Greger, Verein für Höhlenkunde Hallstatt-Obertraun und Korrespondent des NHM-Wien (*Organisation und Gesamtedaktion*)

Dipl.-Ing. Dr. Fritz Idam, Industriearchäologe (*relevante Aspekte der Salzverarbeitung*)

Norbert Leutner, Heimat- und Höhlenforscher (*historische Daten*)

Dr. Harald Lobitzer, Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt Wien i.R. (*Geologie*)

Mag. Christoph Macherhammer, Geologe, Tauchunternehmen GeoDive (*Tauchen und Tauchdokumentation*)

Dr. Gerhard W. Mandl, Mitarbeiter der Geologischen Bundesanstalt Wien i.R. (*Geologie*)

Ing. Dr. Rudolf Pavuza, assoziierter Mitarbeiter des Naturhistorischen Museums Wien, Karst- und Höhlenarbeitsgruppe (Geol.Pal.Abt.) (*Hydrogeologie, Sinterbearbeitung, Gesamtredaktion*)

Dr. Hans Reschreiter, Archäologe (*relevante Aspekte der Salzverarbeitung*)

Dipl.Ing.Dr. Karl Wirobal, Musealverein Hallstatt (*historische und ortskundliche Daten*)

Gerhard Zauner, ehem. Tauchunternehmer Hallstatt (*Erstinformation, Beratung*)

Stellvertretend für alle anderen, die die Arbeitsgemeinschaft bei diesem Projekt unterstützt haben, sei besonders gedankt:

- Alexander Scheutz, Bürgermeister der Marktgemeinde Hallstatt für die allgemeine und finanzielle Unterstützung und sein Interesse.
- Österreichische Bundesforste (als Vertreter des Grundbesitzers des Sees) für die erteilte Tauchgenehmigung.
- Bezirkshauptmannschaft Gmunden für die Erteilung der allgemeinen Tauchgenehmigung.
- Bundesdenkmalamt Wien für die spezielle Tauchbewilligung.
- Univ. Prof. Dr. Michael Strasser (Universität Innsbruck) für die fachliche Unterstützung sowie Herstellung und Überlassung von Seeuntergrundkarten.
- Dr. Peziza Cech für die kritische Durchsicht des Manuskriptes und sprachliche Korrekturen

12. Literatur und Medien

12.1 Literatur

Achleitner, A., Pavuza, R. (1989) Fließen größere Mengen Karstwasser unterirdisch in den Hallstättersee ?.-, Höhlenkundliche Vereinsinformationen (Hallstatt), 16(1):42-55.

Benischke, R., Stadler, H. & Völkl, G. (2016): Karstquellen.- in Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (2016, Red.); Höhlen und Karst in Österreich.- Denisia 37 (Linz):73-96.

Cech, P. (2016): Mikroorganismen in Höhlen.- in Spötl, C., Plan, L. & Christian, E.: Höhlen und Karst in Österreich.- Denisia 37 (Linz): 199-210.

Erich, R.(1972): Die Baudenkmäler des Salinenwesens in Österreich.- Diss. Techn. Hochschule Wien, Bd. 1.

Festi, D., Brandner, D., Grabner, M., Knierzinger, W., Reschreiter, H., Kowarik, K. (2020): 3500 years of environmental sustainability in the large-scale alpine mining district of Hallstatt, Austria. Journal of Archaeological Science: Reports 35 (2021) 102670, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102670>.

Ford, D. & Williams, P.(2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology.- (Rev.Ed.), Chichester (Wiley & Sons), p.307.

Gandin, A., Capezzuoli, E. (2008): Travertine versus calcareous tufa: distinctive petrologic features and stable isotope signatures,- *Il Quaternario, Italian Journal of Quart. Sci.* 21(1B):125-136.

Harzhauser, M. & Binder, H. (2004): Synopsis of the Late Miocene mollusc fauna of the classical sections Richardhof and Eichkogel in the Vienna Basin.- *Arch. Molluskenkunde*, 133(1/2)1–57.

Idam, F. (2003): Gelenkte Entwicklung, Industriearchäologie in Hallstatt, Industrielle Muster unter der alpinen Idylle, Unveröff. Diss., TU-Wien.

Idam, F. (2024): Salzproduktion in Hallstatt.- preprint:
https://www.researchgate.net/publication/377464084_Salzproduktion_in_Hallstatt

Kain, G. & Idam, F. (2020): Historische Bautechniken für Wildbachverbauungen im Salzkammergut, Göttingen (Cuvillier).

Leutner, N., (2012): Höhlenbildung.- Höhlen, Natur und Kultur im Inneren Salzkammergut.- (Bad Ischl): 20-21.

Mandl, G.W., Husen van, D. & Lobitzer, H. (2012): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Republik Österreich, 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.

Meyberg, M., Rinne, B. (1998): Tauchen in der Hirlatzhöhle.- Die Hirlatzhöhle im Dachstein, Wiss. Beiheft zur Zeitschrift "Die Höhle" Nummer 52, 223-239, ARGE Hirlatzhöhlenbuch (Hallstatt).

Morton, F. (1929): Köhbrunnen und Lotungen im Hallstätter See im Winter 1929.- (Aus der Botan. Station in Hallstatt, N. 17), *Archiv für Hydrobiologie* Bd. XX:704-705.

Pavel, R. (2006): Durch den Kessel in die Hirlatzhöhle.- Höhlenkundliche Vereinsnformation, Verein für Höhlenkunde Hallstatt - Obertraun, Jahrgang 26/2006, 7-9.

Pürstinger, C. (2017): Verbauungsgeschichte Hallstätter Mühlbach und Revision des Gefahrenzonenplans der Marktgemeinde Hallstatt.- *Angewandte Geowissenschaften an der GBA, Arbeitstagung 2017*, 132-139, Wien.

Rosenauer, F. (1934): Die Seeklause am Hallstättersee in Steeg, in: *Heimatgaue, Zeitschrift für oberösterreichische Geschichte, Landes- und Volkskunde*, 15:128 -137.

Rösler, H.J., Mucke, D. (1989): Zur Mineralogie junger Kalziumkarbonatbildungen.- *Beitr. z. Höhlen und Karstforschung*, 30(2)23-26.

Sanna, L., Forti, P. (2015): Subaqueous anti-stalactites: a new type of speleothem from the old aqueduct of Sassari (Sardinia, Italy).- *Hypogea* 2015 - Proc. Int.Congr. of Speleology in artificial cavities, p. 511-518.

Schäffer, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96-Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Schauberger, O. (1960): Geologischer Längsschnitt durch den Hallstätter-Salzberg. - Lagerstättenarchiv Nr. L-1856/3K (Geosphere Austria - ehem. Geologische Bundesanstalt). [= Quellenangabe für einen Teil des Geologischen Schnittes in Abb.26].

Schauberger, O.(1979): Die Mineral- und Thermalquellen im Bereich des ostalpinen Salinars zwischen Salzach und Enns.- Schriftenreihe Oberösterreich. Musealverein, 9, (Linz)

Schraml, C.(1932): Das oberösterreichische Salinenwesen vom Beginn des 16. bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts, S. 205 ff.

Schraml, C.(1936): Das österreichische Salinenwesen von 1918 bis zum Ende des Salzamtes im Jahre 1850.- Wien.

Shiraishi, F. (2008): Microbial metabolism and calcification in freshwater biofilms.- Diss.Math.Natwiss.Fak. G.-A.-Univ.Göttingen.

Spötl, C., Cheng, H. (2014): Holocene climate change, permafrost, and cryogenic carbonate formation.- *Clim.Past*, 10, 1349-1362.

Stadler, F.(1991): Stadler, Franz: Das Salinenwesen im steirischen Salzkammergut von 1760 bis 1850, in: *Das Salz in der Rechts- und Handelsgeschichte*, Schwaz 1991,S. 379 - 402, hier S. 387.

Strasser, M., Berberich,T., Fabbri S., Hilbe, M., Huang, J-J. S., Lauterbach, S., Ortler, M., Rechsreiter, H., Brauer, A., Anselmetti, F., Kowarik, K.(2020): Geomorphology and event-stratigraphy of recent mass-movement processes in Lake Hallstatt (UNESCO World Heritage Cultural Landscape, Austria).- in: *Geological Society, London, Special Publications*, 500, <https://doi.org/10.1144/SP500-2019-178>.

Unterberger, H.(1998): Die Marktgemeinde Hallstatt und ihre Entwicklung von der Jüngerer Steinzeit bis 1896, Hallstatt.

Urstöger H. J.(2000): Hallstatt-Chronik, von Beginn bis zum Jahre 2000. Musealverein Hallstatt.

Urstöger H. J.(1984): Hallstatt-Chronik, von Beginn bis zum Jahre 1884. Musealverein Hallstatt.

Válek, J.(2015): Lime Technologies of Historic Buildings, Praha.

Van Husen, D.(1977): Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal.- Jahrbuch Geol.Bundesanstalt, 120/1:1-130 (Wien).

Völkl, G. (1998): Die Hirlatzhöhle als Fenster zu den karsthydrologischen Vorgängen im Inneren des Dachsteins.- in Buchegger, G.& Greger, W.: Die Hirlatzhöhle im Dachstein.- Wiss. Beiheft zur Zeitschrift "Die Höhle", Nummer 52, 208-213, ARGE Hirlatzhöhlenbuch (Hallstatt).

Wirobal, K. (1990): Die Nutzung der Dachsteinquellen für Heizzwecke.- Friedrich Morton - Gedenkschrift zum 100. Geburtstag. - Musealverein Hallstatt.

Wirobal, K. (1994): Das Klima von Hallstatt.- Musealverein Hallstatt.

Wirobal, K. (2022): Wasserreiche Welterbe-Region Hallstatt.- Traunspiegel, Folge 290, 20-21.

Wirobal, K. (2006): Romantisches Echerntal.- Musealverein Hallstatt.

Wirobal, K. (2020) Hochwässer am Hallstättersee.- Traunspiegel, Folge 276, 24-26.

Zhu, T., Dittrich, M. (2016): Carbonate Precipitation through microbial activities in natural environment, and their potential in biotechnology: A Review.- Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 4:1-21.

12.2 Kurze Literaturhinweise und sonstige Medien

Die Presse vom 31.10.2005: "Versalzener Badespaß im Hallstätter See".

Wirobal K.: Hochwässer am Hallstättersee. „Der Hallstätter“, 2/2003.

Wirobal, K.: Tsunami in Hallstatt?, „Der Hallstätter“, 2006.

Wirobal, K.: Hallstättersee: Wirksame Hochwasserbeeinflussung ist mit der derzeitigen Seeklause praktisch unmöglich. „Ischler Woche“, 14.08.2013.

Hofkammerarchiv Wien, Altes Bancale, rote Nummer 286, 23. Januar 1751: Commissions Relation dieses hohen Mittels Hoff Rath's Hr. v. Quiex die zu Haalstatt abgebrunnenen Sallz Pfannen betr., fol. 55, 56v.

Hofkammerarchiv Wien, Obderensisches Salzkammer Gut, Fonds 6, Salinen zu Hallstatt, rote Nummer 47, Handschriften aus den Jahren 1494 – 1710, fol.443^v, 1245ff.

Hofkammerarchiv Wien, Oberösterreichische gemischte Gegenstände, rote Nummer 73, Unterschiedliche relationes von fremder Salczsiedung, fol. 1833^r.

Hofkammerarchiv Wien, Handschriftensammlung Nr. 329 Graf Caraffische Salzkammerguts Visitations Commissions Relation 1697, fol. 42.

<https://www.norbertleutner.at/2017/02/20/der-hirschbrunn-quellbezirk/> : *“.....Im Jahre 2001 erreichte der tschechische Höhlentaucher Pavel Riha eine Tiefe von 75 m (63m korr. durch Red.) und im Jahre 2005 sogar 80 m! Angeblich soll in dieser unglaublichen Tiefe noch eine Fortsetzung sichtbar sein....”*

<http://www.unterwasserwelt-history.de/html/hallstattersee.html> : *“...Wer es gerne tiefer hat, sollte sich an den unterirdischen Felswänden (fast 200 m lang) vergnügen. Manche sind an den überhängenden Stellen mit kleinen Tropfsteinen (20-30 cm lang) bewachsen, die aber mit zunehmender Tiefe größer werden....”*

<https://www.alpensicht.com/oesterreich-halstaetter-see.htm>: *“...Außerdem leben im See Rotaugen, Elritzen, Adlrutten und viele weitere Fische. Auch besonders schön sind die unterirdischen [Anm.Red.: sic !] Felswände, die teilweise mit Tropfsteinen bewachsen sind....”*

<https://urlaubstelegramm.de/mystisches-erlebnis-hallstatt/> : *“....Hallstätter See: Hier gibt es rätselhafte unterirdische Tropfsteine, die bei einem Tauchgang zu bestaunen sind....”*

<https://www.norbertleutner.at/2017/05/17/das-warmwasser-am-hallst%C3%A4ttersee/> : *...Der ursprüngliche Stollen wurde wahrscheinlich schon vor über 500 Jahren geschlagen....*

(Internet-Links zuletzt überprüft 01/2024)

13. Bildtafeln →



Abb. 46: Oberkante der großen Steilwand in 28 m Tiefe, rechts abgerutschter Bereich (Bildausschnitt: 2,0 x 2,0 m). Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 47: Wurzelstock im Wandbereich in 10 m Tiefe. Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 48: Holzstück in der großen Steilwand in 15 m Tiefe.
Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 49: Großflächige Inkrustationen und tropfsteinartige Sinterbildungen in 25 m bis 26 m Tiefe (Bildausschnitt: 1 x 0,7 m). Foto: Ch. Macherhammer.



*Abb. 50: Sinterüberzug an einem Gesteinsblock (Bildausschnitt: 0,8 x 0,6 m).
Foto: Ch. Macherhammer.*



*Abb. 51: Detailaufnahme der Nische von Abb. 17 mit 5 cm langen Sinterröhrchen (Bild-
ausschnitt: 0,3 x 0,2 m). Foto: Ch. Macherhammer.*



*Abb. 52: Steilwand mit Sintervorhang oberhalb Abb. 21 in 37 m Tiefe
(Bildausschnitt: 2,0 x 1,5 m). Foto: Ch. Macherhammer.*



*Abb. 53: Flächige, dunkelbraune Inkrustationen in 15 m Tiefe
(Bildausschnitt: 0,5 x 0,3 m). Foto: Ch. Macherhammer.*



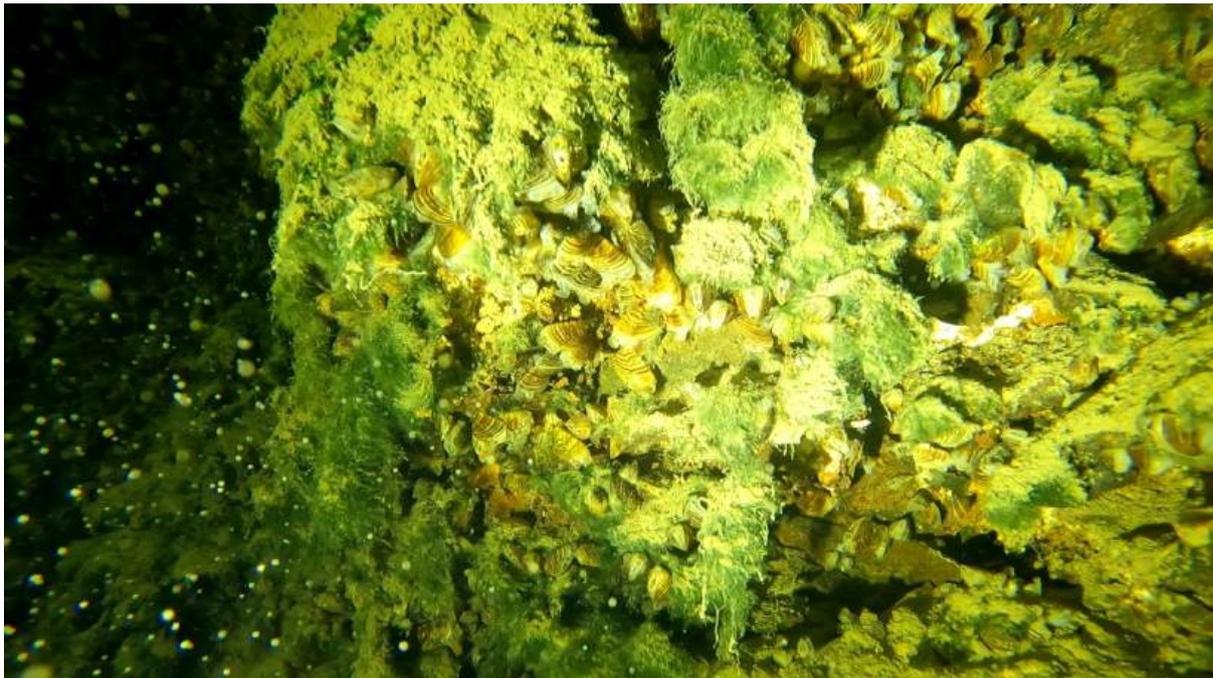
Abb. 54: Großflächiger Sinterüberzug in m²-Größe in 19 m Tiefe mit einzelnen Dreikantmuscheln (→ Abb. 57) und weißen Schwämmen (Pfeil) - Detail : → Abb. 58, Bildausschnitt: 1,5 x 1,0 m. Foto: Ch. Macherhammer.



Abb. 55: Detailaufnahme in 35 m Tiefe. Die Sinterzapfenlänge beträgt im linken Bildbereich bis zu 40 cm und im rechten 15 cm (Bildausschnitt: 0,5 x 0,3 m). Foto: Ch. Macherhammer.



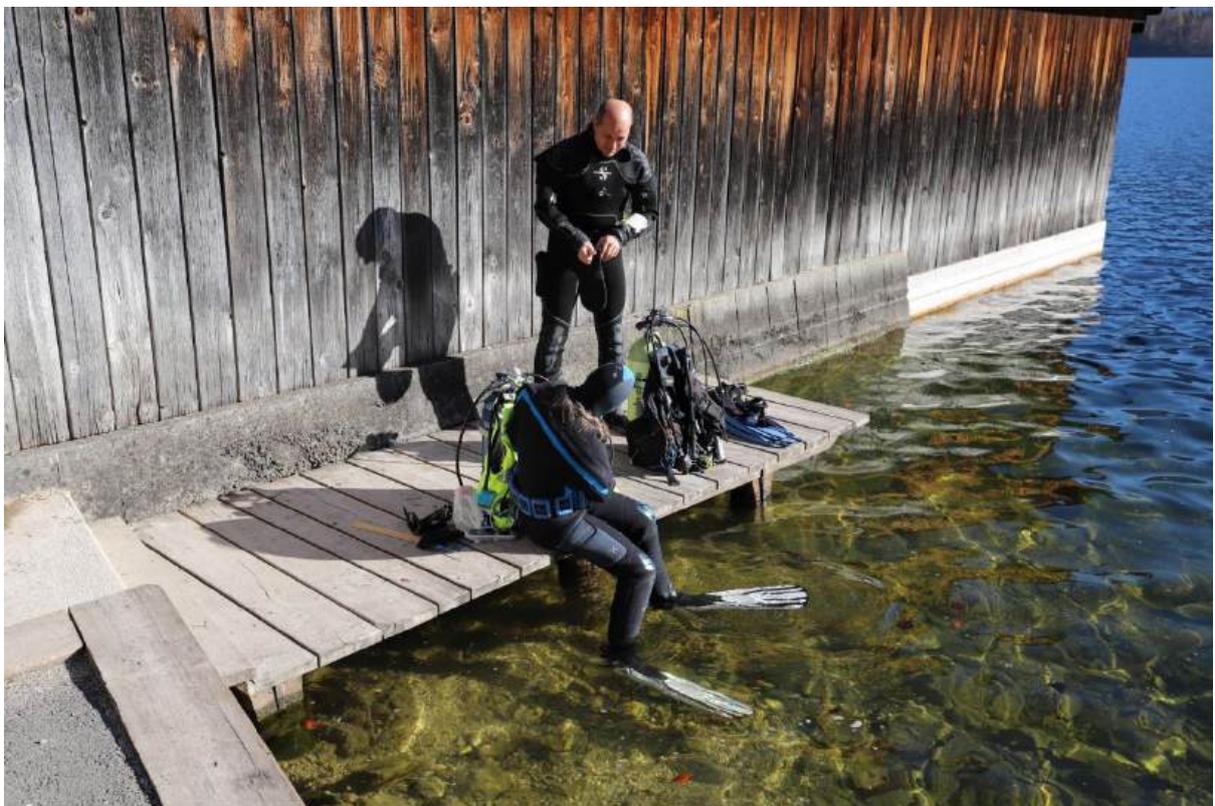
*Abb. 56: Überhängende Sinterformen in 39 m Tiefe
(Bildausschnitt: 1,5 x 1,2 m). Foto: Ch. Macherhammer.*



*Abb. 57: Algenbewuchs und Dreikantmuscheln in 6 m Tiefe
(Bildausschnitt: 0,6 x 0,4 m). Foto: Ch. Macherhammer.*



Abb. 58: Süßwasserschwamm (indet.) bei -12 m, Foto: Ch. Macherhammer.



*Abb. 59: Ch. Macherhammer, E. Dworak bei den Vorbereitungen zum 1. Tauchgang.
Foto: W. Greger.*

Viele Publikationen der Speldok-Reihe sind unter www.hoehle.org/speldok sowie auf www.zobodat.at als pdf kostenfrei abrufbar. Gedruckt sind vielfach nur Restexemplare erhältlich.

Zuletzt sind in der SPELDOK-Reihe erschienen:

SPELDOK 30: Charakterisierung bedeutender Karstquellen Niederösterreichs. C. Schmalfuß, R. Pavuza und L. Plan. 46 S. (Wien 2021).

SPELDOK 29: Rudolfstollen 2015 - 2020, Nachträge zur Monographie "Der Rudolfstollen in Linz-Urfahr (Österreich) und seine Umgebung - eine naturwissenschaftlich-historische Bestandsaufnahme (2016)". E.Fritsch, W. Greger, R. Pavuza & P. Cech, 32 Seiten (Wien 2020).

SPELDOK 28: Vier Fallstudien für Fledermausbeobachtungen in Österreich im geologisch-speläologischen Rahmen. R. Pavuza, 23 Seiten (Wien 2018).

SPELDOK 27: Burgenland unterirdisch — Nachträge (2008-2018) zu den Burgenland-Höhlenbüchern. R. Pavuza, F. Volkmann & E. Keck, 45 Seiten (Wien 2018).

Eine vollständige Liste findet sich unter <https://hoehle.org/speldok>



In 37 m Tiefe entnommene Probe aus der Sinterwand im Hallstätter See, Foto: W. Greger

