

9 Einzelne Thermalwasservorkommen im Tauernfenster

(D. ELSTER)

9.1 Liechtensteinklamm (S)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

Das subthermale Vorkommen in der Liechtensteinklamm (Abb. 134) wird nicht genutzt. Allerdings sind die Quellen nach einem k. k. Kommissionsprotokoll von 1879 schon seit 1693 urkundlich bekannt. Um 1700 wurde erstmals die Errichtung einer Badeanlage in Erwägung gezogen, die Umsetzung fand jedoch aus finanziellen Gründen nicht statt. Die Unzugänglichkeit zu der Klamm dürfte der wesentliche Faktor sein, dass die Quellen bis heute noch nie genutzt worden sind. Zwischen 1937 bis 1940 wurde auf Initiative des Forschungsinstituts Gastein abermals eine Erschließung der Quellen erwogen, es erfolgte jedoch keine Realisierung (GRUBER, 1977). Im Rahmen von hydrogeologischen Untersuchungen wurde 1939/1940 auch eine 60 m tiefe Bohrung abgeteuft. Der geringe Radongehalt sowie die niedrige Wassertemperatur dürften die Wirtschaftlichkeit einer Erschließung – abgesehen von der schweren Zugänglichkeit – in Frage gestellt haben.

Hydrogeologie

Die warmen Quellen der Liechtensteinklamm befinden sich im Bachbett des Großarlbaches und entspringen aus Klüften im Klammkalk (Kalkmarmore der Nordrahmenzone). Es handelt sich um ein Mischwasser aus Thermalwasser und einer wesentlichen Kaltwasserkomponente. Nach GRUBER (1977) sind die Hauptaustritte des Warmwassers an eine Kluft gebunden, die einer NNW–SSE streichenden Kluftschär (K_1) angehört. Diese lässt sich in Form ursprünglicher Zerr- bzw. Zugklüfte zusammen mit der Kluftschär K_2 als talbildende Störungszone vom Arltal bis in das Salzachtal verfolgen. Aufgrund der Länge der Störungszone ist auch ein

größerer Tiefgang anzunehmen. So zeigte die 60 m tiefe Bohrung im Bereich der Quellaustritte, dass in dieser Tiefe noch kein höher temperiertes Wasser mit einem geringeren Kaltwasseranteil auftritt. Am 11.11.2001 wurde die Schüttung von GADEMAYR (2001) auf durchschnittlich 60 l/s geschätzt. GRUBER (1977) gibt eine Gesamtschüttung von 250 bis 500 l/s an. Die Auslauftemperatur beträgt rund 15 °C.

Hydrochemie

Bei dem Quellwasser der Liechtensteinklamm handelt es sich um eine akrotische Subtherme vom Typ Calcium-Hydrogencarbonat mit einem Lösungsinhalt von ca. 430 mg/l und einer Auslauftemperatur um 15 °C (Tab. 124). GRUBER (1977) erwähnt als auffälliges Merkmal die reichlich frei austretenden Kohlenstoffdioxid-Quellgase. Eine am 12.12.2001 von der Hydrologischen Untersuchungsstelle Salzburg durchgeführte Tritium-Analyse bestätigte mit einem Wert von 14,1 TU den Einfluss durch oberflächennahe bzw. kalte Wässer (GADEMAYR, 2001).

9.2 Tauerntunnel (K/S)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

Der Tauerntunnel der Österreichischen Bundesbahnen wurde in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts erbaut und verbindet Mallnitz (Kärnten) mit Bockstein (Salzburg). Die subthermalen Wasserzutritte im Tunnel (Abb. 135) werden nicht genutzt.

Hydrogeologie und Hydrochemie

Der Tauerntunnel hat eine Gesamtlänge von 8.551 m und führt durch den Hauptkamm der Hohen Tauern.

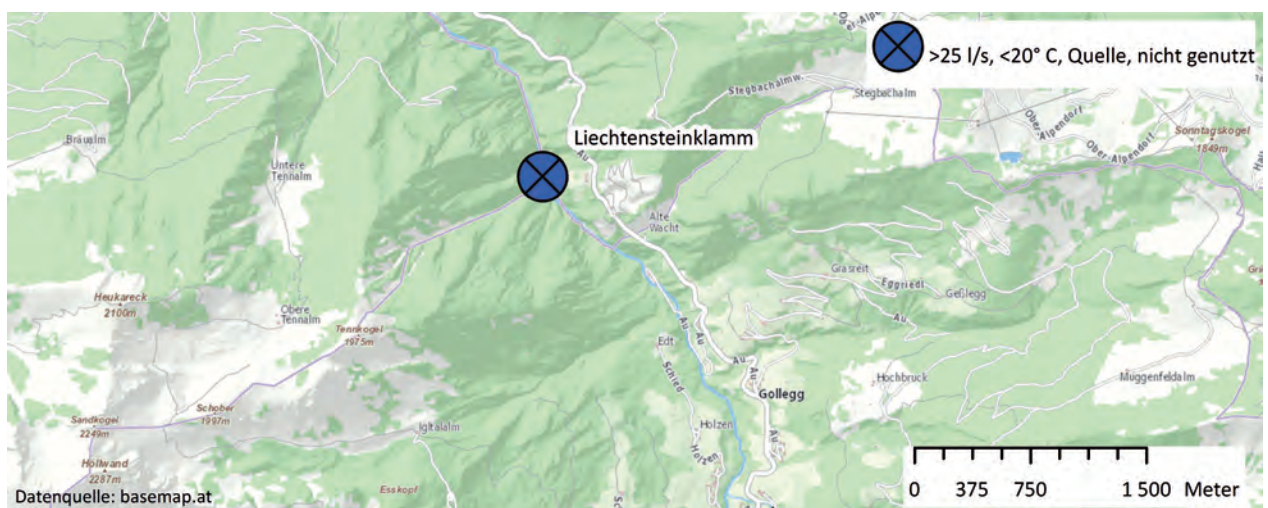


Abb. 134.
Lage des Vorkommens in der Liechtensteinklamm nordwestlich von Gollegg.



Abb. 135.
Lage der Erschließung im Tauerntunnel nördlich von Mallnitz.

Es handelt sich um den bisher längsten unterirdischen Aufschluss, der das Tauernfenster durchörtert. JOB & MUTSCHLECHNER (1969) fassen die vom Vortrieb angefahrenen Gesteinseinheiten von NNW nach SSE wie folgt zusammen: auf 330 m Schutt folgen 370 m Forellengneis, 1.580 m feinkörniger Granitgneis, 5.531 m porphyrischer Granitgneis, 224 m porphyrischer Gneisgranit, 496 m Glimmerschiefer und 20 m Schutt (Abb. 136). Es ist anzumerken, dass die Gebirgsoberfläche im Tunnel heute vollständig ausgekleidet ist. Die Mächtigkeit der überlagernden Gesteinsmasse beträgt maximal 1.455 m. STINI (1950) gibt mit 1.567 m einen etwas höheren Wert für die mächtigste Überlagerung an. An dieser Stelle wurde eine Gesteinstemperatur von 22,4 °C gemessen. In der Mitte der Tunnelstrecke (km 4,2) betrug die Gesteinstemperatur nach JOB & MUTSCHLECHNER (1969) 23,9 °C. Zudem wird von STINI (1950) bei km 4,2 eine geothermische Tiefenstufe von 49 m/°C angeführt.

Nach ZÖTL (1993f) dringen oberflächennahe, schwach mineralisierte Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wässer über tiefreichende Spalten in größere Tiefen vor (Tab. 124). Zwischen km 4,93 und 6,06 (1.173 bis 1.225 m Normalnull) werden subthermale Tunnelwässer vorgefunden. Bei den Untersuchungen von JOB & MUTSCHLECHNER (1969) wurde 1969 die höchste Temperatur (18 °C) bei km 6,09 (Austritt 9) gemessen (Abb. 136).

Im Gegensatz dazu wurde im Zuge der vorangehenden Bauarbeiten bei km 4,96 eine Temperatur von 21,2 °C angetroffen. Die temperierten Wasseraustritte 4, 5, 6 und 9 vom Typ Calcium-Natrium-Sulfat-Hydrogencarbonat befinden sich im porphyrischen Granitgneis und weisen eine Ionensumme von ca. 100 mg/l auf (JOB & MUTSCHLECHNER, 1969) (Tab. 124). Deren im Vergleich zu anderen Wässern dieses Raumes etwas höhere Mineralisation ist auf längere Verweilzeiten, Änderungen des Kohlenstoffdioxid-Partialdruckes und Änderungen des Calcium- und Hydrogencarbonatgehaltes zurückzuführen (ZÖTL, 1993f).

9.3 Bad Gastein (S)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

In das komplexe Thermalwasserversorgungssystem von Bad Gastein (Abb. 137) sind gegenwärtig folgende Thermalquellen eingebunden: Elisabeth Quelle (2–12) (IX), Doktor Quelle (VI), Lainer Quelle (V), Rudolf Quelle (II), Wasserfall Quelle (III), Reissacher Quelle (XII), Mitteregg Quelle (XI), Mesnil Quelle (XVII) und Sophien Quelle (XVI). In Tabelle 121 befindet sich eine Übersicht zu den wasserrechtlichen Bewilligungen. Bad Hofgastein wird direkt von den Austritten der Elisabeth Quelle versorgt. Dies galt früher auch für die Abfülle-

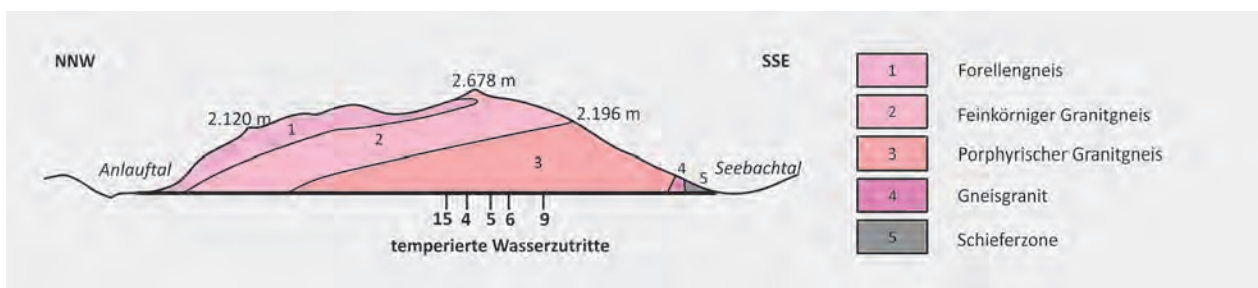


Abb. 136.
Profilschnitt des Tauerntunnels (verändert nach JOB & MUTSCHLECHNER, 1969).

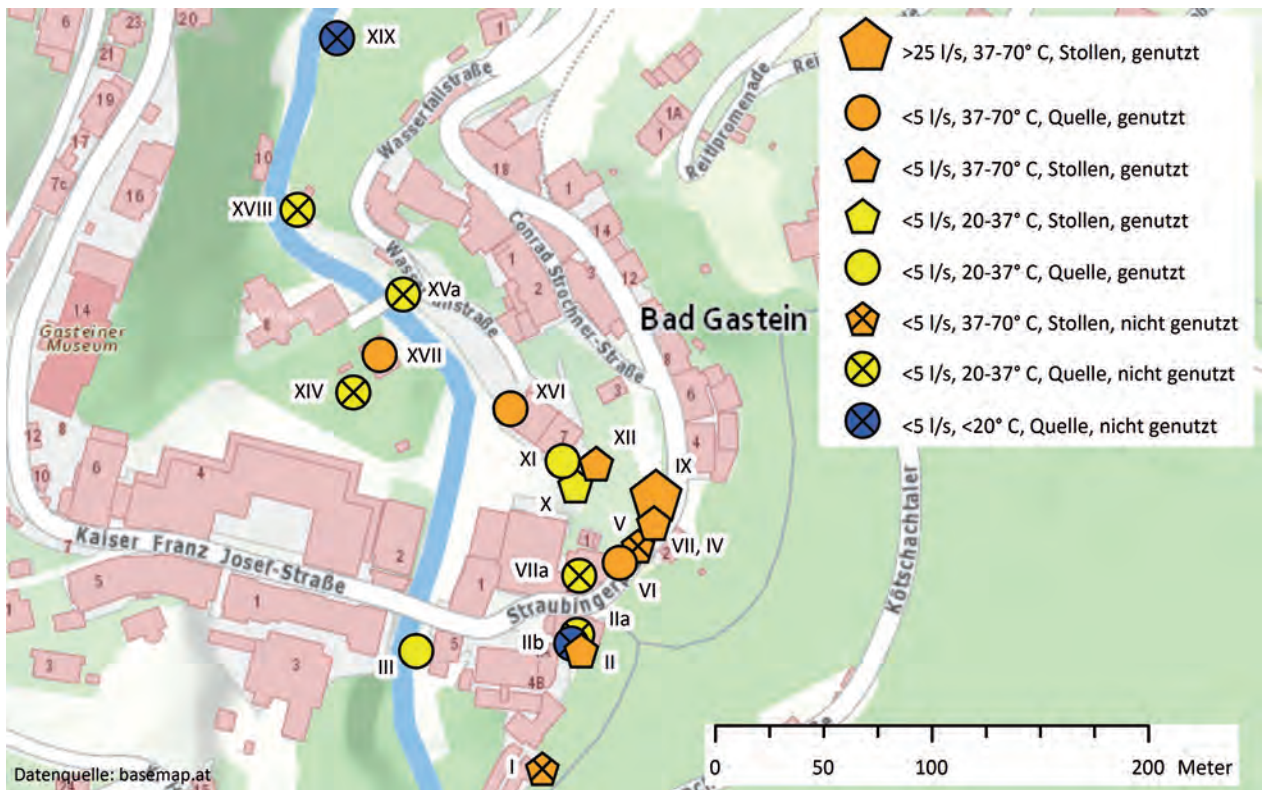


Abb. 137. Lage der nicht versiegten Erschließungen in Bad Gastein. Nähere Bezeichnungen befinden sich in Tabelle 122.

rei der Gasteiner Quellen (Gasteiner Mineralwasser), doch diese Nutzung besteht nicht mehr. Zudem speisen alle Thermalquellen inklusive der Elisabeth Quelle einen Thermalwasserpumpbehälter. Das tiefergelegene Badbruck/Kötschachdorf kann von diesem Behälter direkt versorgt werden, doch um die Versorgung der höhergelegenen Endverbraucher zu gewährleisten, muss das Thermalwasser in Hochbehälter (Thermalwasserhochbehälter 1 und 3) gepumpt werden. Endverbraucher des Thermalwasserversorgungssystems sind Therapiezentren, ein Thermenbetrieb und mehrere Hotels. Zudem ist zu erwähnen, dass die Fledermaus Quelle (X) zu einer Schauquelle umgebaut wurde und nicht mehr der Thermalwasserversorgung dient. In Tabelle 121 sind die relevanten wasserrechtlichen Bewilligungen für die genutzten Thermalwasserquellen angeführt. Für die Thermalquellen wurde ein Wasserschongebiet (Engeres Schongebiet – Zone A und Erweitertes Schongebiet – Zone B) verordnet. Abschließend ist zu erwähnen, dass die Grabenbäcker Quelle (XIV) nicht mehr genutzt wird.

Im Quellgebiet von Bad Gastein wurden keine römischen Spuren nachgewiesen. Dies deutet darauf hin, dass die Thermalquellen den Römern verborgen geblieben sind (JANSCHKE & KAHLER, 1991). Nichtsdestotrotz dürften die Quellen aufgrund von schriftlichen Überlieferungen zumindest schon im 13. Jahrhundert bekannt gewesen sein. Die ergiebigste Quelle, die Elisabeth Quelle, soll die erste sichtbare Quelle gewesen sein. Hervorzuheben ist auch die Franz Josef Quelle, bei der es sich ursprünglich um einen 45 m tiefen Stol-

Bezeichnung	wasserrechtliche Bewilligung
Elisabeth Quelle, Austritt 2–7 und 8–12 (IX)	Keine quantitative Beschränkung
Rudolf Quelle (II)	4,85 l/s
Reissacher Quelle (XII)	2,31 l/s
Wasserfall Quelle (III)	4 l/s (76 m ³ für Mitbenutzungsberechtigte)
Franz Josef Quelle (I)	1,27 l/s (110 m ³ /Tag)
Sophien Quelle (XVI)	1,13 l/s
Doktor Quelle (VI)	Keine quantitative Beschränkung
Mitteregg Quelle (XI)	0,09 l/s (8 m ³ /Tag)
Fledermaus Quelle (X)	0,14 l/s
Mesnil Quelle (XVII)	104 m ³ /Tag

Tab. 121. Wasserrechtliche Bewilligungen für die Nutzung der Quellen von Bad Gastein.

len in Lockermassen aus dem Jahr 1854 handelte. Der neue Franz Josef Stollen wurde 1980 angeschlagen. Um 1970 wurde im Auftrag der Gemeinde Bad Gastein mit umfassenden Sanierungsarbeiten der Quelfassungen begonnen. Diese konnten bis 1990 mit Ausnahme der Rudolf Quelle abgeschlossen werden (JANSCHKE & KAHLER, 1991).

Hydrogeologie

Im Raum Bad Gastein bilden die Zentralgneise das dominierende geologische Element. Die Thermalquellen mit ihrer Vielzahl an Einzelaustritten (ca. 90) befinden

sich innerhalb des Ortgebietes und sind einem gemeinsamen Aquifer zuzuordnen. Die Quellen (bzw. Stollenaustritte) unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Schüttung und Austrittstemperatur, diese streut zwischen 24 und 47 °C (REINSDORFF & BECHTOLD, 2003). Auf einer Fläche von 3 ha treten sie zumeist im steilen Hangbereich östlich der Gasteiner Ache aus dem Zentralgneis aus und entspringen entweder Bergsturzblockwerk, Hangschutt, Klüften oder Bankungsfugen. Die größten Wassermengen sind im Lockergestein durch kurze Stollen (z.B. Elisabeth Quelle) gefasst, die dem Felsverlauf in Nischen oder verschütteten Gräben folgen (JANSCHKE & KAHLER, 1991). Bei der Elisabeth Quelle handelt es sich mit einer Schüttung von rund 25 l/s um die ergiebigste Quelle. Die Gesamtschüttung aller Quellen beträgt rund 50 l/s. Der Höhenunterschied zu den höchst- bis tiefstgelegenen Quellaustritten beträgt ca. 97 m (ZÖTL, 1993f).

Da bei den Quellen seit über 70 Jahren Aufzeichnungen über Schüttung und Auslauftemperatur geführt werden, konnte von REINSDORFF & BECHTOLD (2003) eine Zeitreihenanalyse durchgeführt werden. So wurde zwischen der Höhenlage und der Ergiebigkeit keine Korrelation nachgewiesen, allerdings besteht ein scheinbarer Zusammenhang von höheren Wassertemperaturen bei höherer Seehöhe. Zudem dürften geringer schüttende Quellen von dem kühleren oberflächennahen Gebirgsbereich stärker beeinflusst werden, als stark schüttende Quellen. Schnell infiltrierende und den Quellen zufließende Niederschlagswässer, in diesem Fall wäre eine Abnahme der Austrittstemperatur bei höherer Schüttung zu erwarten, konnten bei den Quellen allerdings nicht festgestellt werden. Im Fall der Doktor Quelle wurde mit steigender Schüttung sogar eine Temperaturzunahme beobachtet. Trotzdem belegen Werte von Tritium einen Einfluss von jüngeren Wässern. Auffallend ist, dass nur die höchstgelegenen Quellen (Franz Josef Quelle, Rudolf Quelle und Doktor Quelle) einen deutlichen Jahresgang im Schüttungsverlauf aufweisen. Die Ganglinien dieser Quellen zeigen eine Verzögerung von zwei bis vier Monaten zum Niederschlag. Eine Übersicht der Quellen befindet sich in Tabelle 122.

Für die Thermalwasserzirkulation sind Kluftsysteme maßgeblich von Bedeutung. Nach ZÖTL (1993f) ist in ein NNE streichendes und zumeist steil gegen Osten einfallendes (diesem folgt das Tal der Gasteiner Ache) und in ein mehr gegen Norden streichendes und gegen Westen einfallendes Kluftsystem (taube Gänge) zu unterscheiden. JANSCHKE & KAHLER (1991) weisen zudem auf eine SE-NW verlaufende, steil einfallende Mylonitzone (Kirchbachmulde) hin, die im Zuge von geologischen und geophysikalischen Untersuchungen als Schwächezone nachgewiesen werden konnte. Diese Zone wurde als Hauptförderweg für das Thermalwasser aufgefasst, da sie das übrige Kluftsystem durchschneiden dürfte. Im Zuge des Baues des Neuen Franz Josef Stollens wurde diese Schwächezone mit einem Bohrfächer durchörtert. Dabei konnte in dieser Störungszone die höchste Temperatur im Thermalgebiet (48,4 °C) gemessen werden (Abb. 138).

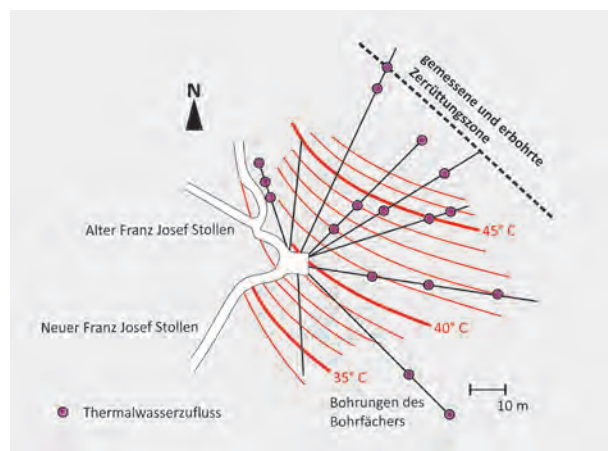


Abb. 138. Fächerbohrungen im Franz Josef Stollen von Bad Gastein (verändert nach JANSCHKE & KAHLER, 1991).

ZÖTL (1993f) nimmt für das Einzugsgebiet der Thermalwässer das Gebiet östlich des Grau- und Hüttenkogels bzw. die weitere Umgebung des Reed Sees (ca. 4,5 km südöstlich von Bad Gastein) an. Für das Einzugsgebiet der Kaltwässer wird der Westhang des Grau- und Hüttenkogels angenommen, dies ist durch Markierungsversuche aus dem Jahr 1966 (JOB & ZÖTL, 1969) belegt.

Hydrochemie

Bei dem Thermalwasser von Bad Gastein handelt es sich um einen akratischen Natrium-Calcium-Sulfat-Hydrogencarbonat-Typ mit einer Gesamtmineralisation von weniger als 450 mg/l und einer Austrittstemperatur vom subthermalen Bereich bis 47 °C (Tab. 124). Unter anderem zeigten die hohen Gehalte an Fluorid (bis 5,4 mg/l) und Kieselsäure (bis 70,8 mg/l) auf, dass es sich um tief zirkulierende Grundwässer handelt (Tab. 124). Zudem wurden große Mengen an Krustenhelium festgestellt. Charakteristisch ist auch der hohe Gehalt an Radon-222 im Thermalwasser (Tab. 126). ZÖTL (1993f) weist auf deutliche Schwankungen des Radongehalts hin. So werden bereits von JOB & ZÖTL (1969) Werte von 177,7 bis 2.190,4 Bq/l angeführt. Dies ist auf die Beimengung von sauerstoffreichen Oberflächenwässern zum Thermalwasser zurückzuführen. Infolge wird Eisen und Mangan sowie das im Wasser enthaltene Radium ausgefällt bzw. wird Reissacherit abgelagert (JANSCHKE & KAHLER, 1991).

Die Tritiumwerte liegen bei den Thermalquellen Elisabeth Quelle, Franz Josef Quelle und Mesnil Quelle zwischen 5,3 und 6,8 TU und belegen den Einfluss von jüngeren Wässern, der tritiumfreie Grundwasseranteil dürfte bei ca. 20 bis 50 % liegen (Tab. 126) (LORENZ, 2005). Der Gehalt an stabilen Isotopen (Sauerstoff-18 und Deuterium) zeigt auf, dass es sich um vadose Wässer handelt. Die niedrigen Werte dieser Isotope weisen auch auf ein höher gelegenes Einzugsgebiet bzw. eine Grundwasserneubildung bei einem kälteren Klima hin. Die von JOB & ZÖTL (1969) durchgeführte Kohlenstoff-14-Analyse lässt auf eine Verweilzeit von ca. 3.600 bis 3.800 Jahren schließen (Tab. 126).

Nr. in Abb. 137	Bezeichnung	Seehöhe Normal- null (m)	Erschließung und Austritt	Status	1		2		3	
					Ergiebigkeit (l/s)	Auslauf- temperatur (°C)	Ergiebigkeit (l/s)	Auslauf- temperatur (°C)	Ergiebigkeit (l/s)	Auslauf- temperatur (°C)
	Literaturverweis				1		2		3	
	Datum				15.07.2013		Mittelwerte 1935 bis 2003		1969	
I	Franz Josef Quelle	1.034	Stollen; Klüfte	nicht genutzt	2,3	45,9	2,3	44,0		
II	Rudolf Quelle	1.018– 1.019	Stollen; Klüfte	genutzt	5,1	47,1	4,8	46,9		
IIa	Post Quelle		Quellfassung im Keller des alten Postgebäudes	nicht genutzt						27,8
IIb	Gruberhaus Quelle	1.008,2	Quellfassung	nicht genutzt					2,2	14,9
III	Wasserfall Quelle	1.011– 1.015	Quellfassung; Klüfte	genutzt	3,7	37,2	3,8	36,3		
IV	Alte Franzens Quelle	1.007	Stollen; Klüfte	nicht genutzt					0,1	44,5
V	Lainer Quelle	1.006	Kurzer Stollen; Klüfte	nicht genutzt		47,1			2,0	46,4
VI	Doktor Quelle	1.002	Quellfassung; Klüfte	genutzt	0,7	44,6	1,2	44,0		
VII	Neue Franzens Quelle	1.001	Stollen; Klüfte	nicht genutzt			0,2	41,2		
VIIa	Bad Gastein Speisesaal Quelle	996,2– 999,5	Quelle unter dem Hotel Straubinger	nicht genutzt						
VIII	Wandelhalle Quelle			versiegt						
IX	Elisabeth Quelle Austritt 8–12	995–996	Stollen; Lockergestein	genutzt		47,2	20,7	46,6		
IX	Elisabeth Quelle Austritt 2–7	995–996	Stollen; Klüfte	genutzt		46,5	6,1	45,7		
X	Fledermaus Quelle	983	Stollen; Klüfte	Schau- quelle	0,1	35,6	0,1	28,1		
XI	Mitteregg Quelle	976	Quellfassung; Klüfte	genutzt	0,1	39,2	0,3	36,7		
XII	Reissacher Quelle	975	Stollen; Hangschutt und altes Bachbett; Lockermassen	genutzt	3,2	41,1	4,1	39,7		
XIII	Kanal Quellen	972	Quellfassung; Lockermassen	versiegt						
XIV	Grabenbäcker Quelle	968	Quellfassung; Klüfte	nicht genutzt					1,2	36,8
XVa	Brücken Quelle	957	Quellfassung; Flussbett der Gasteiner Ache	nicht genutzt						24,5
XV	Spitzwand Quelle			versiegt						
XVI	Sophien Quelle	964	Quellfassung; Klüfte	genutzt	1,4	38,6	1,2	37,8		
XVII	Mesnil Quelle	958	Quellfassung; Klüfte	genutzt	1,7	37,1	1,4	37,0		
XVIII	Grabenwirt Quelle	954	Quellfassung; Lockermassen	nicht genutzt						23,0
XIX	Strochner Quelle	932	Quelle; Flussbett der Gasteiner Ache	nicht genutzt					3,0	16,1

Tab. 122.

Einzelne Thermalwasseraustritte von Bad Gastein (1: Aufzeichnungen der GEMEINDE BAD GASTEIN; 2: REINSDORFF & BECHTOLD, 2012; 3: JOB & ZÖTL, 1969).



Abb. 139.
Lage der Erschließungen südlich von Lend.

9.4 Lend (S)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

Für die Tiefbohrung Lend-Embach (Abb. 139) ist die wasserrechtlich bewilligte Entnahme auf 4 l/s bzw. 345,6 m³/Tag festgelegt. Gegenwärtig erfolgt jedoch noch keine Nutzung, da der Bau der Therme noch aussteht. Die Thermalwasserzutritte im AHP-Kraftwerkstollen (Abb. 139) werden ebenfalls nicht genutzt.

Das Thermalwasservorkommen von Lend ist seit dem Bau des Kraftwerkstollens von Taxenbach nach Schwarzach bekannt. Im Kraftwerkstollen wurden zunächst mehrere Thermalwässer mit rund 30 °C und geringer Schüttung registriert, bevor es am 20.09.1954 zu dem massiven Thermalwassereinbruch kam. Mit den Arbeiten zur Herstellung der Tiefbohrung Lend-Embach wurde 2002 begonnen. Nach längerer Unterbrechung erfolgte die Fertigstellung im Jahr 2007.

Hydrogeologie

1954 wurde bei Lend im Salzachtal im Kraftwerkstollen Thermalwasser führender Klammkalk bzw. Kalkmarmor der Nordrahmenzone (Jura) angetroffen. Dieses Thermalwasser erschotete man auch später bei der Tiefbohrung Lend-Embach.

Im Zuge der Vortriebsarbeiten im Kraftwerkstollen wurde dabei offensichtlich eine Karsthöhle angefahren und es kam zu einem Warmwassereinbruch mit ca. 620 l/s und einer Temperatur von 23 bis 24 °C (STINI, 1954). Nach einigen Wochen stellte sich eine relativ konstante Schüttung von 80 bis 120 l/s ein. Im Stollen kam es insgesamt auf einer Strecke von mehreren hundert Metern im Klammkalk zu einer Vielzahl von Warmwasserzutritten. Besonders auffallend ist jedoch die unterschiedliche Durchmischung von kalten und warmen Wässern, was auf ein komplexes Kluftwassersystem hinweist (REINSDORFF & BECHTOLD, 2012). Die Thermalwässer mit geringem Kaltwasseranteil sind hauptsächlich an nach Osten einfallende und N-S streichende Verkarstungs-

und Kluftzonen gebunden, die miteinander in Verbindung stehen dürften. Nach CUDRIGH (2002) sind diese auf ein Extensionsereignis in E-W Richtung zurückzuführen. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass die mit dem Klammkalk in Wechsellagerung auftretenden Schiefer- und Phyllitabschnitte wasserundurchlässig sind. Der Stollen wurde im Zuge der fortschreitenden Arbeiten plombiert, doch gelang die Abdichtung nicht vollständig. Dies ermöglichte weiterführende hydrogeologische Aufnahmen. So betrug die Gesamtschüttung der Thermalzone bei einer Stollenbegehung am 19.07.2002 zwischen den Kilometrierungen 8,4 bis 9,9 rund 60 l/s (BECHTOLD & SCHINDLMAYR, 2002). Für diesen Abschnitt sind Wassertemperaturen von 23 bis 36 °C und Leitfähigkeiten von 480 bis 500 µS/cm charakteristisch. Hervorzuheben ist jedoch ein ergiebiger Thermalwasserzutritt bei der Kilometrierung 8,879 mit 30,3 °C und einer Schüttung von 10 l/s. Bei der Tiefbohrung Lend-Embach wurde versucht, diese Kluft anzutreffen.

Die bis auf 737 m abgeteuft Bohrung Lend-Embach durchörterte bis 575 m unter GOK eine Wechselfolge von Schiefen und Phylliten, bevor man den Klammkalk erreichte (REINSDORFF & BECHTOLD, 2012). Ab 729 m wurde eine intensivere Klüftigkeit registriert, insbesondere bei 736 m trat eine ca. 0,5 m offene Kluft auf. Die Auswertung von anschließenden geophysikalischen Untersuchungen zeigte zahlreiche offene bzw. teilweise offene Klüfte zwischen 631,8 und 734,9 m. Diese wiesen überwiegend ein E-W Streichen (vereinzelt N-S) und mittleres bis steiles Einfallen auf. Der Ruhewasserspiegel befand sich ca. 383 m unter GOK. Ab 607 m unter GOK befindet sich die offene Bohrlochstrecke. Bei einem Langzeitpumpversuch vom 16.04.2008 bis zum 06.06.2008 wurde mit Förderraten von 2 l/s (neun Tage) bis 5 l/s (42 Tage) gefahren. Es wurde dabei eine maximale Auslauftemperatur von 33,6 °C erreicht. Der Abstich betrug bei der Förderrate von 5 l/s rund 400 m unter GOK. Zudem ist zu erwähnen, dass sich der stationäre Strömungszustand nach Änderung der Entnahmemenge rasch einstellte.

Die Wärme des Thermalwassers ist auf die geothermische Anomalie der Salzachtal-Störung zurückzuführen (CUDRIGH, 2002). Es ist anzunehmen, dass die Wässer über Klüfte in größere Tiefe gelangen und entlang der abdichtend wirkenden Kakirite der Salzach-Ennstal-Störung aufsteigen. REINSDORFF & BECHTOLD (2012) nehmen an, dass das Einzugsgebiet im Osten durch die Gasteiner Ache und im Westen durch die Rauriser Ache begrenzt ist. Die südliche Begrenzung bildet der Bernkogel. Einerseits folgt das Thermalwasser einer Entwässerung Richtung Osten, wobei die Gasteiner Ache als Vorfluter agiert, andererseits ist davon auszugehen, dass N-S gerichtete Störungen, wie z.B. gut erkennbar im Taufenbachtal, ebenfalls einen großen Einfluss auf die Wasserwegigkeit und die Infiltrationsbedingungen haben. Zudem wurde für dieses Einzugsgebiet ein Gesamtabfluss von rund 160 l/s berechnet.

Eine mögliche gegenseitige Beeinflussung der Thermalwässer von Lend und Bad Gastein wird von zahlreichen Autoren, z.B. REINSDORFF & BECHTOLD (2012) und STINI (1954), nicht angenommen. Diese Annahme stützt sich auf folgende Hauptargumente:

1. Die mächtigen Phyllite des Glockner-Deckensystems agieren als Wasserstauer. Der geologische Aufbau sorgt somit für eine Differenzierung in zwei Thermalwasserbezirke mit unterschiedlicher Genese.
2. Hydrochemie und Isotope belegen eine unterschiedliche Herkunft der Wässer.
3. Es konnte keine quantitative Beeinflussung belegt werden (das langjährige Monitoring der Schüttungen der Thermalquellen in Bad Gastein zeigte keine Beeinflussung der Quellen durch den massiven Warmwassereinbruch im AHP-Kraftwerksstollen von 1954).

Hydrochemie

Bei dem Thermalwasser der Tiefbohrung Lend-Embach sowie des AHP-Stollens handelt es sich um einen ak-

ratischen Calcium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Typ mit einer Gesamtmineralisation von rund 400 mg/l (Tab. 124). Die Wassertemperatur beträgt bei der Tiefbohrung, je nach Förderrate, um 32 °C. Bis auf den Fluoridgehalt spricht der Chemismus für eine Herkunft aus dem Karbonatgestein (CUDRIGH, 2002). Die Tritiumkonzentration von 8,5 TU verdeutlicht den Einfluss von jüngerem Wasser bei der Tiefbohrung (Tab. 126). Für den tritiumfreien Grundwasseranteil kann auf Grundlage des Kohlenstoff-14-Gehaltes ein Modellalter von mehreren tausend Jahren angenommen werden (REINSDORFF & BECHTOLD, 2012). Da die chemische Zusammensetzung der Komponenten sowie deren Mischungsverhältnis nicht bekannt sind, dürften genaue Berechnungen nicht möglich sein. Analysen der stabilen Umweltisotope Sauerstoff-18 (-12,9 ‰) und Deuterium (-92,6 ‰) weisen bei höheren Pumpstufen auf ein relativ tief gelegenes Einzugsgebiet hin (REINSDORFF & BECHTOLD, 2012) (Tab. 126). Die Gase bestehen hauptsächlich aus Stickstoff (14,04 Nml/kg) und Kohlenstoffdioxid (9,78 Nml/kg).

9.5 Kaprun (S)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

Für die Tiefbohrung Kaprun Thermal 1 (Abb. 140) ist die wasserrechtlich bewilligte Entnahmemenge auf maximal 5,1 l/s für eine ausschließlich balneologische Nutzung festgelegt worden. Im Durchschnitt dürfen 2,0 l/s (172,8 m³/Tag, 63.245 m³/Jahr) entnommen werden.

Die Niederbringung der Tiefbohrung Kaprun Thermal 1 erfolgte 2006, 2010 konnte die Thermenanlage in Betrieb genommen werden.

Hydrogeologie

Nach EISNER & GOLDBRUNNER (2006) wurde auf Grundlage von Voruntersuchungen die Erschließung von Thermalwässern in den Kalkschiefern und Dolomitmarmoren der Nordrahmenzone angestrebt. Tatsächlich wurde

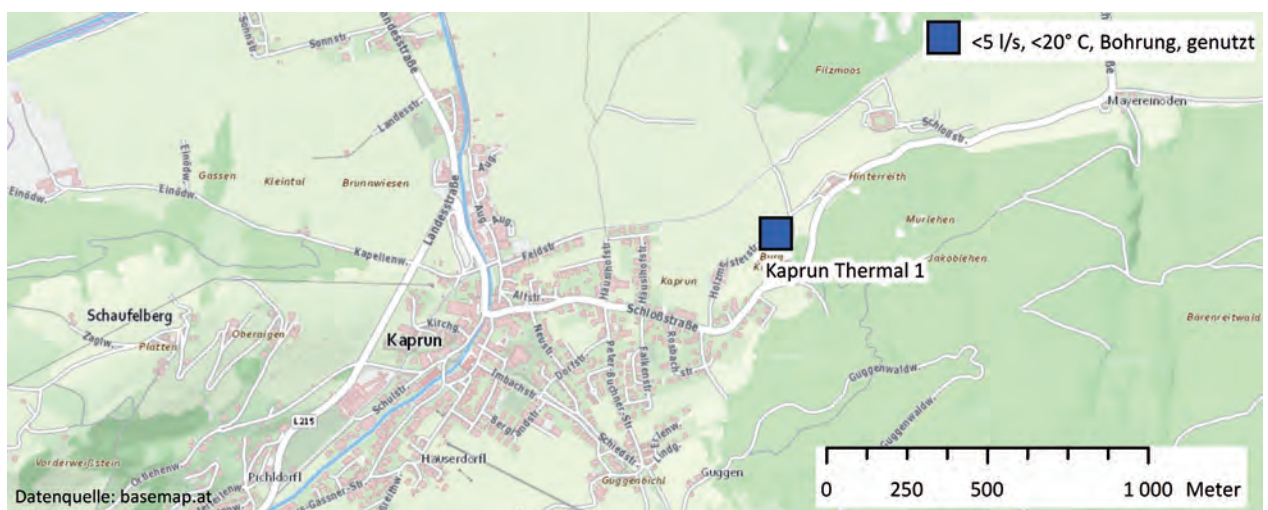


Abb. 140. Lage der Erschließung nordöstlich von Kaprun.

jedoch auch das Glockner-Deckensystem angetroffen. Nachdem 27,0 m mächtiges Quartär (Fein- bis Grobkiese) durchörtert wurde, wurden im Liegenden Kalkschiefer, Dolomitmarmor und Schwarzphyllite der Nordrahmenzone bis zu einer Teufe von 447,0 m angetroffen. Darunter folgte eine Störungszone, die als Deckengrenze zu den ab 453,6 m beginnenden Serpentiniten und Phylliten des Glockner-Deckensystems interpretiert wurde (Tab. 123). Diese Gesteine fallen mit ca. 65° Richtung Norden ein. Da die Bohrung bei einer Teufe von ca. 681 m fest wurde und Fangarbeiten erfolglos blieben, wurde eine Ablenkung (Kaprun Thermal 1a) durchgeführt. Ziel der Ablenkbohrung waren die Wasser führenden Kalkmarmore der Nordrahmenzone in größerer Tiefe. Der Beginn der Ablenkung wurde bei 410,0 m MD angesetzt. Es kam jedoch zu einem erneuten Festwerden der Bohrung bei 644,0 m in den stark gestörten Abfolgen von Serpentiniten und Schwarzphylliten des Glockner-Deckensystems. Anschließend wurde eine weitere Ablenkung, Kaprun Thermal 1b, mit einer Ablenkung ab wiederum 410,0 m MD bis auf 560,0 m MD niedergebracht. Der Landepunkt dieser Ablenkung lag bei 40,2 m nördlich und 19,8 m westlich des Aufschlagpunktes (Entfernung von 44,8 m). Eine geophysikalische Produktionsmessung ergab eine Temperatur von 19,4 °C an der Sohle der zunächst offenen Bohrstrecke (297,0 bis 560,0 m) von Kaprun Thermal 1b. Zudem wurde ein Hauptzufluss im Bereich 300,5 bis 336,0 m festgestellt. Im Abschnitt 336,0 bis 447,5 m wurden weitere Zuflüsse nachgewiesen, die in Summe 30 % des Gesamtzuflusses ausmachten.

Teufen TVD (m u. GOK)	Kaprun Thermal 1
-27	Quartär -27: Fein- bis Grobkies
-447	Nordrahmen-Zone -130: Kalkschiefer, grau -160: Kalkschiefer, Dolomitmarmor, grau -237: Dolomitmarmor, hellgrau -386: Tonschiefer, Phyllit, Kalkschiefer, dunkelgrau -320: Dolomitmarmor, hell-mittelgrau -370: Kalkschiefer, Dolomitmarmor, hellgrau -390: Kalkschiefer, Dolomitmarmor, Schwarzphyllit, dunkelgrau -447: Kalkschiefer, Phyllit, dunkelgrau
-453,6	Störungszone, Kakarit, weißlich (interpretiert als Deckengrenze)
-680 (ET)	Glockner-Deckensystem -483: Serpentin, Phyllit, Kalkschiefer, grüngrau -509,6: ?Schwarzphyllite und Kalkschiefer, leicht karbonhaltig, dunkelgrau -575: Serpentin mit wenig toniger Einlagerung -580: Störungszone, vollständig zerscherter Serpentin mit toniger Matrix -600: Serpentin, kompakt, kaum tonige Matrix, eisenhaltig -680: Serpentin, vorwiegend zerschert, graugrün

Tab. 123. Bohrprofil von Kaprun Thermal 1 (EISNER & GOLDBRUNNER, 2006).

Für die Dauerförderung wählte man eine Filterstrecke von 533,81 bis 539,96 m. Bei einem Kurzpumpversuch lag der Ausgangswasserspiegel bei 5,6 m unter GOK. Vom 08.11.2006 bis zum 14.12.2006 folgte ein Langzeitpumpversuch, bei dem mit einer durchschnittlichen Förderrate von 2 l/s gefahren wurde. Die Fördertemperatur lag hierbei bei durchschnittlich 17,2 °C und es wurden quasistationäre Verhältnisse bei einer Absenkung von 122,0 m unter GOK erreicht. Die Auswertung der Aufspiegelungsphasen ergab für den sondenfernen Bereich eine Transmissivität von $2,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Hydrochemie

Bei dem subthermalen Wasser der Tiefbohrung Kaprun Thermal 1 handelt es sich um einen Calcium-Natrium-Magnesium-Sulfat-Typ mit einer Gesamtmineralisation von ca. 1.450 mg/l und einer Auslauftemperatur von ca. 17,4 °C (Tab. 125). Aufgrund der Werte von Deuterium (-88,2 ‰) und Sauerstoff-18 (-12,28 ‰) ist von einem meteorischen Charakter des Thermalwassers auszugehen (Tab. 126). Da Tritium nicht nachgewiesen werden konnte, ist auch ein Einfluss durch junge bzw. oberflächennahe Wässer auszuschließen. Die frei aufsteigenden Gase bestehen hauptsächlich (98,1 %) aus Stickstoff (BENETKA & BREZINCAK, 2007b).

9.6 Hintertux (T)

Aktuelle Nutzung und Entwicklungsgeschichte

Das Thermalwasser wird gegenwärtig für ein Thermal Freibad in unmittelbarer Nähe zu den Quellaustritten sowie für ein Hallenbad genutzt. Die wasserrechtliche Bewilligung entspricht der gesamten Schüttung der gefassten Quellen. Die Quelle 1 (Abb. 141) schüttet zwischen 1,34 und 6,25 l/s (BIEMANN, 1969). Für die Quelle 2 (Abb. 141) wird eine Schüttung von mindestens 3 l/s angegeben.

Die Thermalquellen von Hintertux werden bereits vielen Jahrhunderten genutzt. So wurde die erste Beschreibung des „Wildenbad in Wildentux“ laut MUTSCHLECHNER von BURGLECHNER um 1600 verfasst (BADHOTEL KIRCHLER, 2016). Seit 1847 sind die Thermalquellen im Privatbesitz einer Familie.

Hydrogeologie

Die Thermalquellen von Hintertux befinden sich im Bereich der postvariszischen Bedeckung der Zentralgneise und des prävariszischen Kristallins (beides Subpeninikum). Insgesamt handelt es sich um 22 Quellen mit Auslauftemperaturen zwischen 11,8 und 22,2 °C, die im Wiesenhang und Hangschutt austreten (CZURDA, 1993b). Die Schüttung der gesamten Quellgruppe beträgt 15 bis 20 l/s (Stand 1993). In den wasserrechtlichen Bewilligungs- und Überprüfungsbescheiden von 1970 und 1986 werden für die Nutzung zwei gefasste Quellen angeführt. Dabei dürfte es sich allerdings um Fassungen von mehreren Quellaustritten handeln, da KOMMA & SCHEMINZKY (zit. nach CZURDA, 1993b) im Jahr 1952 von fünf genutzten Quellaustritten (Nr. 4, 5, 6, 11

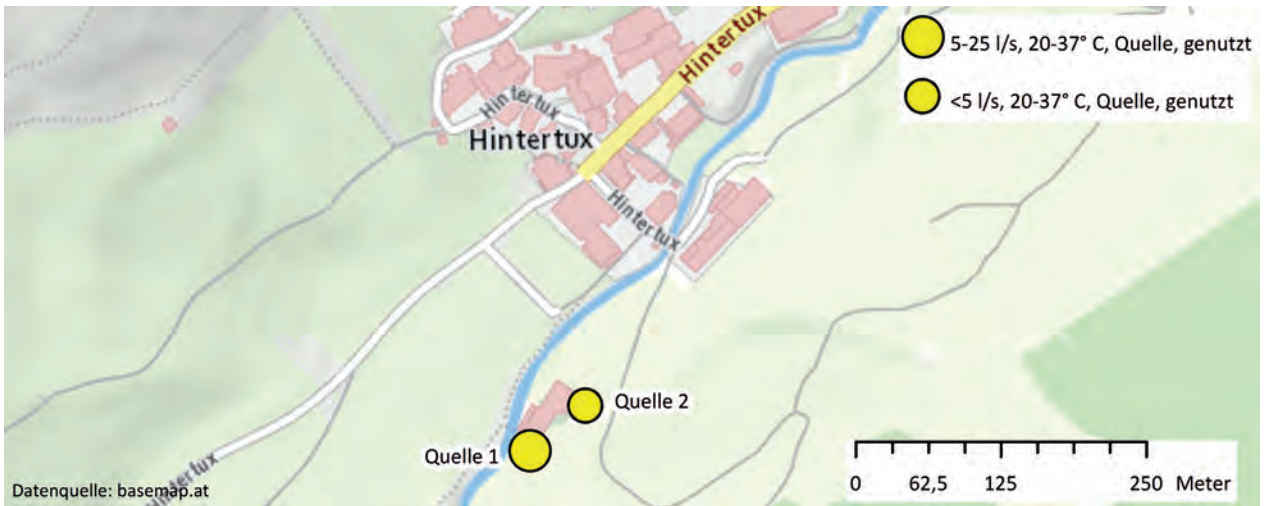


Abb. 141.
Lage der Erschließungen südlich von Hintertux.

und 12) berichten. Alle Quellaustritte befinden sich orografisch rechts des Tuxerbaches und mindestens 5 m über dem Bachniveau. Das Quellwasser wurde in von Schutt bedeckten, steil nach NNW einfallenden, grünlichen Chlorit- bis Serizitphylliten erschlossen. Der Geofast-Karte Blatt 149–Lanersbach (KREUSS, 2005) zufolge, sind im Bereich der Quellen unter dem lokalen Schutt Phyllite bzw. Schiefer der Kaserer Serie (Jura bis Unterkreide) zu vermuten, die von Hochstegenkalkmarmor (Oberjura) unterlagert werden.

Es ist anzunehmen, dass die Kalkmarmore der Hochstegen-Formation (Subpenninikum) als Hauptaquifer agieren. Vermutlich handelt es sich also um ein temperiertes Karstwassersystem. Die gemessenen Urangelhalte könnten auch auf den Zufluss von Kluftwässern

aus permischen Metasedimenten oder den Zentralgneisen hinweisen. Somit kann die Erwärmung sowohl auf die geothermische Tiefenstufe der Überdeckung (bis ca. 1.500 m), als auch auf in größere Tiefen zirkulierende Karstwässer zurückgeführt werden.

Hydrochemie

Die ca. 20 °C warmen Thermalquellen von Hintertux weisen einen akrotischen Natrium-Hydrogencarbonat-Sulfat-Typ auf (Tab. 125). Eine Besonderheit ist der erhöhte Urangelgehalt, dieser liegt zwischen 2,75 und 3 µg/l. Da alle Quellen denselben Chemismus zeigen, ist von einem gemeinsamen Aquifer auszugehen. Inwieweit die Beeinflussung durch kalte oberflächennahe Wässer der Grund für Quellen mit niedrigerer Temperatur ist, bleibt ungeklärt.

9.7 Hydrochemische Analysen und Isotopenanalysen von einzelnen Thermalwasservorkommen im Tauernfenster

Hydrochemische Inhaltsstoffe	12.12.2001	1969	1969	1969	1969	1969	1969	20.10.2010	20.10.2010	13.05.2008	08.08.1990	1959	13.05.2008	23.09.1954	15.06.1993	15.06.1993	Lend, AHP-Stollen (8,516 km)
Datum	12.12.2001	1969	1969	1969	1969	1969	1969	20.10.2010	20.10.2010	13.05.2008	08.08.1990	1959	13.05.2008	23.09.1954	15.06.1993	15.06.1993	Lend, AHP-Stollen (8,516 km)
Ergiebigkeit (l/s)	60												5	620	1,72	ca. 6	Lend, AHP-Stollen (8,879 km)
El. Leitfähigkeit (µS/cm)	532 (25 °C)							498	521	434 (20 °C)			433 (20 °C)		451	557	Lend, AHP-Stollen (9,923 km)
Auslauftemperatur (°C)	15,2	17	16	18	16,5	7,8	7,8	44,3	47,1	46,3			32,7	23,4	26,8		Lend, Tiefbohrung Lend-Embach
pH	7,29	8,4	8,1	8,6	7,8	7,8	7,8	7,68	7,88	8,1			7,35	7,88	7,46		
Kationen (mg/l)																	
Calcium (Ca)	75,2	16,11	19,32	13,93	18,44	21,4	21,4	20,6	20,6	23	21,6	21,92	70,6	47,2	68	103,1	
Magnesium (Mg)	7,7	1	0,92	0,94	0,72	0,5	0,5	0,5	0,5	0,29	0,41	0,94	11,7	14,1	12,4	18	
Natrium (Na)	25,3	10,87	10,99	7,68	10,99	74,1	74,1	78,7	78,7	80,5	73,4	79,41	18,2	31,4	18	2,4	
Kalium (K)	2,3	1,09	0,98	0,94	1,21	3,9	3,9	3,8	3,8	3,01	2,5	2,87	1,37	1,61	0,57		
Summe	110,5	29,07	32,21	23,49	31,36	99,9	99,9	103,6	103,6	106,8	97,91	105,14	101,87	92,7	100,01	124,07	
Anionen (mg/l)																	
Hydrogencarbonat (HCO ₃)	248	43,63	39,66	29,78	45,76	67,85	67,85	71,03	71,03	61		63,94	210	212,3	214	201,5	
Chlorid (Cl)	25,9	0	0	0	0	25,2	25,2	27,5	27,5	25,8	21,7	29,6	7,55	11,9	6,5		
Sulfat (SO ₄)	39,3	23,54	33,96	22,29	30,69	127,5	127,5	131,6	131,6	124		126,33	70,4	47,9	74,2	174,4	
Summe	313,2	67,17	73,62	52,07	76,45	220,55	220,55	230,13	230,13	210,8	21,7	219,87	287,95	272,1	294,7	375,9	
Spezielle Parameter Kationen (µg/l)																	
Aluminium (Al)						375,6	375,6	547,5	547,5		< 17	120	< 10				
Ammonium (NH ₄)	< 20									< 20	100		< 20			30	
Barium (Ba)						7,5	7,5	6,2	6,2		< 2		9				
Blei (Pb)						2,7	2,7	2,9	2,9		< 22		< 1				
Chrom (Cr)						0,9	0,9	1,2	1,2		< 3		< 1				
Eisen (Fe)	< 20					470 (2+)	470 (2+)	704 (2+)	704 (2+)	9			112				

Kupfer (Cu)							6,6	8,5	11		3	
Lithium (Li)							301,7	327,5	186		140	
Mangan (Mn)	< 50						42	48	15	4	8	
Selen (Se)									< 0,5		8	
Strontium (Sr)							705,9	717,6	631		260	1.120
Spezielle Parameter Anionen (µg/l)												
Bromid (Br)												
Fluorid (F)	2,66	36	3,19	2,53	2,72	4,010	4,210	5,420		4,200	1,860	1.170
Hydrogensulfid (HS)												
Iodid (I)												
Carbonat (CO ₃)												
Undissoziierte Stoffe (mg/l)												
m-Kieselsäure (H ₂ SiO ₃)	11,4	11,3	10,3	8,3	12	67,29	70,83	33,6	33,7	58,5	10,6	
o-Borsäure (H ₃ BO ₃)												
Feststoffsumme (mg/l)	423,7	107,64	116,13	83,86	119,81	393,66	411,13	356,63	154,98	393,33	404,03	365,97
Freies Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	20,2					1,82	1,18					14
Gel. Schwefelwasserstoff (H ₂ S)												
Lösungsinhalt (mg/l)	443,9	107,64	116,13	83,86	119,81	395,48	412,31	356,63	154,98	393,33	404,03	379,97
Tit. Schwefel (mg/l)									0,1			
Literaturverweis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												13
												14
												15

Tab. 124.
 Hydrochemische Analysen von Liechtensteinklamm, Tauerntunnel, Bad Gastein und Lend (1: GADEMYR, 2001; 2-6: Job & MUTSCHLECHNER, 1969; 7, 8: HOBIGER, 2010e; 9, 12: SALZBURG AG, 2008; zit. nach REINSORFF & BECHTOLD, 2012; 10: EGLE, 1991; 11: KOMMA & SCHEMINZKY, 1959; zit. nach ZÖTL, 1993f; 13: KOMMA & SCHEMINZKY, 1954; zit. nach ZÖTL, 1993f; 14, 15: BUNDESANSTALT FÜR CHEMISCHE UND PHARMAZEUTISCHE UNTERSUCHUNGEN, 1994; zit. nach REINSORFF & BECHTOLD, 2012).

Hydrochemische Inhaltsstoffe	Kaprun, Thermal 1	Hintertux, Quelle 4	Hintertux, Quelle 5 und 6	Hintertux, Quelle 11	Hintertux, Quelle 12
Datum	04.12.2006	1952	1952	1952	1952
Ergiebigkeit (l/s)	2	8,6			Ø 3,5
El. Leitfähigkeit (µS/cm)	1.416 (20 °C)				
Auslauftemperatur (°C)	17,4	18,1	20,2	21,5	22,1
pH	7,5	7,2	7,2	7,2	7,2
Kationen (mg/l)					
Calcium (Ca)	200	4	3,8	2,8	4,2
Magnesium (Mg)	56	0,5	0,4	0,4	0,3
Natrium (Na)	128	55,7 (Na+K)	57,7 (Na+K)	56,4 (Na+K)	54,7 (Na+K)
Kalium (K)	4,9				
Summe	388,9	60,2	61,9	59,6	59,2
Anionen (mg/l)					
Hydrogencarbonat (HCO ₃)	169	104,9	107,4	103,2	100,1
Chlorid (Cl)	52	7,8	8,8	7,7	7,1
Sulfat (SO ₄)	779	34,7	34,5	34,6	37
Summe	1.000	147,4	150,7	145,5	144,2
Spezielle Parameter Kationen (µg/l)					
Aluminium (Al)	40	6			
Ammonium (NH ₄)	810				
Barium (Ba)	10				
Blei (Pb)	< 1	5		6	
Chrom (Cr)	< 10				
Eisen (Fe)	730	19		16	
Kupfer (Cu)	< 10	36		12	
Lithium (Li)	250				
Mangan (Mn)	80				
Selen (Se)	< 10				
Strontium (Sr)	6.800				
Spezielle Parameter Anionen (µg/l)					
Bromid (Br)	300				
Fluorid (F)	200				
Hydrosulfid (HS)	600				
Iodid (I)	70				
Carbonat (CO ₃)	1.030				
Undissoziierte Stoffe (mg/l)					
m-Kieselsäure (H ₂ SiO ₃)	20,5				
o-Borsäure (H ₃ BO ₃)	13,7				
Feststoffsumme (mg/l)	1.434,02	207,67	212,6	205,13	203,4
Freies Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	7,4	2	5	4	4
Gel. Schwefelwasserstoff (H ₂ S)					
Lösungsinhalt (mg/l)	1.441,42	209,67	217,6	209,13	207,4
Tit. Schwefel (mg/l)	< 1				
Literaturverweis	1	2	3	4	5

Tab. 125.
Hydrochemische Analysen von Kaprun und Hintertux (1: BENETKA & BREZINCAK, 2007b; 2–5: KOMMA & SCHEMINZKY, 1952, zit. nach CZURDA, 1993b).

Erschließungen	Literaturverweis	Datum	Kohlenstoff-14 (% modern)	Kohlenstoff-14 (Jahre)	Kohlenstoff-13 (‰)	Tritium (TU)	Sauerstoff-18 (‰)	Deuterium (‰)	Schwefel-34 (‰)	Radium-226 (Bq/l)	Radon-222 (Bq/l)
Bad Gastein, Franz Josef Quelle (I)	1	31.08.2004				6,3	-13,30	-96,5			
Bad Gastein, Franz Josef Quelle (I)	2	1966									177,6
Bad Gastein, Wasserfall Quelle (III)	3	08.08.1990					-13,10	-96,9			
Bad Gastein, Wasserfall Quelle (III)	4	1966									1.398,6
Bad Gastein, Doktor Quelle (VI)	5	08.08.1990					-13,30	-102,2			
Bad Gastein, Doktor Quelle (VI)	6	1966									758,5– 980,5
Bad Gastein, Elisabeth Quelle (X)	7	31.08.2004				5,3	-13,46	-97,1			
Bad Gastein, Elisabeth Quelle (X)	8	1966		3.600– 3.800							1.491,1 Austritt 2-7
Bad Gastein, Mesnil Quelle (XVII)	9	31.08.2004				6,8	-13,25	-94,9			
Bad Gastein, Mesnil Quelle (XVII)	10	1966									2.190,4
Lend-Embach, Tiefbohrung	11	13.05.2008			-7,2	8,5	-12,9	-92,6	8,50	0,0236	5,70
Lend, AHP-Stollen	12	01.01.2004				11,6	-13,0				
Kaprun, Thermal 1	13	04.12.2006			-10,14	< 0,3	-12,28	-88,2		0,037	5,2
Hintertux, Quelle 4	14	05.05.1952								1,85	18,13
Hintertux, Quelle 5 und 6	15	05.05.1952								0,1369	13,32
Hintertux, Quelle 11	16	05.05.1952								0,1332	19,61
Hintertux, Quelle 12	17	05.05.1952								0,1961	13,69

Tab. 126.

Isotopenanalysen von Bad Gastein, Lend, Kaprun und Hintertux (1, 7, 9: LORENZ, 2005; 2, 4, 6, 8, 10: JOB & ZÖTL, 1969; 3, 5: EGLE, 1991; 11: HYDROISOTOP, 2008, zit. nach REINSDORFF & BECHTOLD, 2012; 12: REINSDORFF & BECHTOLD, 2012; 13: BENETKA & BREZINŠČAK, 2007b; 14–17: KOMMA & SCHEMINZKY, 1952, zit. nach CZURDA, 1993b).