

Die Großquellen Tirols – Bestandsaufnahme und Detailuntersuchungen

Felix Thalheim, Rupert Ebenbichler¹

¹) Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH, Leopoldstraße 3, 6020 Innsbruck

Abstract

High-discharge springs can be of massive importance for regional water supply solutions and are assumed to act as indicators for the impact of climate change on large-scale subsurface water reservoirs in bedrock. However, the list of relevant high-discharge springs in Tyrol was incomplete and lacked substantial updates since its initial compilation in the early 90s. Thus, a multi-stage project to update this list and collect and evaluate all available data was devised and is currently in its second implementation phase.

A list of 55 springs with an accumulated minimum discharge of more than 4 000 litres per second was compiled and a data base from a variety of high to low-quality sources as well as existing publications was assembled.

The available data for each spring, including discharge, water temperature, electric conductivity, hydrochemistry as well as bacteriology, were visualised and put together in an extensive report.

The discharge of 4 out of the 24 springs that are being continuously monitored by the hydrological survey of Tyrol showed a decrease, while one even increased, and another 13 exhibit irregularities over the multi-annual periods. With respect to the water temperatures, 14 springs exhibit significant rises similar to observed changes in groundwater temperatures.

Further investigations are being carried out and a broad variety of work packages to understand the impact of climate change on high-discharge springs and to safeguard the strategical water resources of alpine spring catchments was proposed.

Einleitung

Wasser ist Tirols wichtigste Ressource und durchdringt alle Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Daher ist die Sicherstellung der eigenen Wasserressourcen für die Deckung der eigenen Bedürfnisse von zentraler Bedeutung. Im Gegensatz zu vielen anderen Regionen kommt dabei den Quellwässern eine wesentliche Rolle – aus ihnen wird im überwiegenden Ausmaß der Bedarf an Trink- und Nutzwasser über die privaten und öffentlichen Wasserversorgungen gedeckt.

In den 1990er Jahren wurden vom Land Tirol in Kooperation mit dem Energieversorger TIWAG innovative Großquellenhydrogeologie(GQH)-Untersuchungen zur Abschätzung und Erforschung der strategischen Wasserressourcen des Landes durchgeführt. Im Laufe der letzten 20-25 Jahre waren jedoch auch manche dieser Großquellen etlichen Veränderungen z. B. durch Bautätigkeiten und allgemeine Änderungen von Land- und Raumnutzung unterworfen.

Zudem ergeben sich nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft aufgrund des Klimawandels – je nach Szenario und Region – wesentliche Änderungen der Niederschlags- und damit der Entwässerungs-,

Hochwasser- und Grundwasserneubildungssituation (z. B. BLÖSCHL et al., 2018; BMLFUW, 2016; WAGNER et al., 2017). Dies könnte sich in Tirol u. a. teilweise durch gehäufte Starkniederschlagsereignisse (BMLFUW, 2017; VERGEINER et al., 2016), länger andauernde Trockenperioden, verstärkte Oberflächenabflüsse (BMLFUW, 2017) und Erosion (AdTLR, 2015) und eine daraus resultierende Verringerung der Wasserspeicherung mit erhöhtem Kontaminationsrisiko zeigen. Allerdings fallen diese Auswirkungen u. a. aufgrund der Topographie Tirols regional sehr unterschiedlich aus.

In jedem Falle stellt sich zunehmend die Frage nach einer zukunftssicheren Trinkwasserversorgung. Wie wirken sich welche Änderungen regional und vor allem lokal auf die bereits genutzten Quellen aus und stehen uns auch zukünftig unsere strategischen Wasserressourcen z. B. in Form der Großquellen zur Verfügung?

Methodik

Zur Abklärung u.a. dieser Fragen führte die Wasser Tirol im Auftrag des Landes Tirol Vorehebungen zu den strategischen Wasserressourcen durch. Zunächst wurde eine Erhebung der Bestandsdaten durchgeführt, eine Liste von Großquellen zusammengestellt bzw. aktualisiert und nachfolgend die Zeitreihen ausgewählter, repräsentativer Quellen einer genaueren Untersuchung hinsichtlich Schüttungsdynamik, Wassertemperaturen und anderer Charakteristika unterzogen.

Dabei wurde zunächst versucht zu klären, welche Quellen überhaupt unter den Begriff „**Großquellen**“ fallen, und eine vorläufige Liste erstellt. Bei diesen Quellen wurde – basierend auf den Ergebnissen eines Startworkshops mit dem Auftraggeber – darauf geachtet, dass sie Mindestschüttungen von etwa **20 l/s** aufweisen und zudem eine gewisse Nutzungsrelevanz auf regionaler Ebene besitzen (könnten). Danach wurden die zu diesen Quellen vorliegenden Daten erhoben, zusammengetragen, aufbereitet und letztlich einer *Erst- sowie Detailuntersuchung unterzogen*.

Ergebnisse

Überblick

Tab. 1 gibt die aus den Erhebungen hervorgegangene Liste der Großquellen Tirols wieder. Bei einigen Quellen stellte sich im Laufe der Untersuchung heraus, dass sie Schüttungsminima <20 l/s aufweisen. Diese wurden dennoch in der Liste belassen, zumal auch bei etlichen Quellen die Datenqualität fragwürdig ist.

Da bestimmte Quellen im Karwendel aus verschiedenen Gründen nicht für die Wasserversorgung von mehr als Einzel-WVAs in Frage kommen dürften, finden sie sich nicht in der Liste wieder. Einen Überblick über die Großquellen im Karwendel geben LECHNER ET AL., 2019.

Tab. 1: Bearbeitete Liste der Großquellen

Name	Nr.	Gemeinde	Bezirk	Schüttung [l/s]			SZ	Quelle genutzt?	SG?	Hydrog. Unters.	Hy-Vor-Ort	GZÜV	WIS	GQH
				Min	Mitt	Max								
Brunauquelle	QU70202001	Haiming	Imst	27	57	118	4	j	j	j	j	j	j	j
Heiterwandquelle (ost+west)	QU70222002	Tarrenz	Imst	112	151	206	2	j	j	n	j	n	j	n
Mühlsprungquelle	QU70212004	Nassereith	Imst	200	757	1 050	5	n	j	j	n	n	j	n
Ochsenbrunnquelle	QU70217014	St. Leonhard im Pitztal	Imst	30	94	222	7	n	n	j	j	j	n	j
Schwarzbach - Moosquelle	QU70209504	Mieming	Imst	30	89	398	13	n	n	j	j	j	j	n
Stöttlbach Ursprung (Quellgebiet)	QU70209005	Mieming	Imst	80		670	8	j	n	j	n	n	j	n
Ursprungquelle (Lehnberg)	QU70213002	Obsteig	Imst	13	113	494	38	j	n	j	j	j	j	n
Wendelinstollen-Quelle	QU70212005	Nassereith	Imst	148		210	1	n	n	n	n	j	j	n
Mühlauer Quellen	QU70101004	Innsbruck	Innsbruck	613	1 002	1 606	3	j	j	j	j	j	j	n
Aalbrunnquelle	QU70336007	Obernberg am Brenner	Innsbruck-Land	30	152	437	15	n	n	j	n	j	n	n
Eibachquelle	QU70334006	Neustift im Stubaital	Innsbruck-Land	123	397	935	8	j	j	n	j	j	j	n
Eppzirler Quellen 1-4	QU70351001	Seefeld in Tirol	Innsbruck-Land	127		300	2	j	n	n	n	j	j	n
Eppzirler-Quelle	QU70348002	Scharnitz	Innsbruck-Land	25		25	1	j	j	n	n	n	j	n
Frontalquellen	QU70341001	Pfons	Innsbruck-Land	23	67	173	7	j	j	n	n	j	j	n
Neissquellen	QU70329002	Mils	Innsbruck-Land	30	41	52	2	j	j	n	n	j	j	n
Stollenquelle	QU70358003	Thaur	Innsbruck-Land	20	28	41	2	j	j	n	n	j	j	n
Weierquellen	QU70357013	Telfs	Innsbruck-Land	117	176	245	2	n	n	n	n	j	n	n
Meilquellen	QU70369007	Zirl	Innsbruck-Land	50		300	6	n	n	n	n	j	j	j
TW-Stollen Bettelwurf	QU70301022	Absam	Innsbruck-Land	207	292	495	2	j	j	n	j	j	j	n
Mühlbachquellen 1-7	QU70418004	Schwendt	Kitzbüchel	219	267	360	2	n	n	n	j	j	j	n
Reintalquellen	QU70416005	St. Johann in Tirol	Kitzbüchel	20	30	50	3	j	n	n	j	j	j	n
(S)auwinkelquellen (1-8)	QU70509002	Ellmau	Kufstein	47	75	109	2	j	j	n	j	n	j	n
Blaue Quelle	QU70510001	Erl	Kufstein	386	732	2 515	7	n	n	j	j	j	j	j
Dihlmannquelle	QU70412002	Kössen	Kufstein	41	57	74	2	j	n	n	n	j	j	n
Hofinger Quelle	QU70508005	Ebbs	Kufstein	55		800	15	j	j	j	n	j	j	n
Sägewerksquellen	QU70527005	Thiersee	Kufstein	40		60	2	j	n	n	n	j	j	n
Alfutzquelle (I)	QU70630001	Zams	Landeck	75	136	242	3	j	n	n	j	j	j	n
Ganderbildquelle	QU70615002	Nauders	Landeck	40		200	5	j	j	n	j	n	j	n
Lärchquellen	QU70607507	Grins	Landeck	30				n	n	n	n	n	j	n
Lareinsontagspleisquellen	QU70606004	Galtür	Landeck	36	67	122	3	n	n	n	j	j	n	n
Stalanzquelle	QU70620516	Ried i.O.	Landeck	20		100	5	n	n	j	n	j	j	n
Verpeilquellen	QU70611008	Kaunertal	Landeck	43		160	4	j	n	n	n	j	j	n
Gitterbachquelle	QU70711504	Iselsberg-Stronach	Lienz	20				n	n	n	n	n	n	n
Moosbrunnquelle	QU70714002	Lavant	Lienz	89	208	627	7	n	n	j	j	j	n	n
Schwarzbodenquelle	QU70705036	Assling	Lienz	22	34	75	3	j	n	j	j	j	j	n
Doserfall	QU70813002	Häselgehr	Reutte	55	748	2 850	52	n	n	n	j	j	n	n
Immenquelle	QU70807001	Ehrwald	Reutte	60		140	2	j	j	j	n	j	j	n
Lehnbachquellen	QU70836504	Weißbach am Lech	Reutte	22	59	427	19	n	n	n	j	j	j	n
Steinkarquellen 1-11	QU70836510	Weißbach am Lech	Reutte	35		35	1	n	n	n	n	n	j	n
Untere Schmittequelle (III)	QU70803004	Biberwier	Reutte	59	105	216	4	j	j	n	j	j	j	n
Auquelle	QU70903002	Brandberg	Schwaz	28	48	81	3	j	j	n	n	j	j	n
Birnerastenquelle	QU70920003	Mayrhofen	Schwaz	54		170	3	j	n	n	n	n	j	n
Bollenbachquelle	QU70936004	Vomp	Schwaz	258	307	413	2	n	n	j	j	j	j	j
Gartalmquelle	QU70910002	Fügenberg	Schwaz	18		35	2	n	n	n	n	n	n	n
Katzensteigquelle (Kasbach)	QU70907005	Eben am Achensee	Schwaz	65	145	257	4	n	n	j	n	j	n	j
Klausbrunnquelle	QU70903004	Brandberg	Schwaz	40		200	5	n	n	n	n	n	j	n
Kotahornquellen	QU70922004	Ramsau	Schwaz	16	39	81	5	j	j	n	n	j	j	n
Kressauquellen	QU70903507	Brandberg	Schwaz	30		161	5	n	n	n	n	n	j	n
Lacknerbrunnquelle	QU70920010	Mayrhofen	Schwaz	78	99	127	2	n	n	n	j	j	j	n
Lacknerquelle - Dengg	QU70903510	Brandberg	Schwaz	109		489	4	n	n	n	n	n	j	n
Obere Bergalmquelle	QU70929507	Steinberg am Rofan	Schwaz	84	192	589	7	j	j	n	n	j	n	n
Pulverermühlquelle	QU70929002	Steinberg am Rofan	Schwaz	19	81	701	37	j	n	n	j	j	j	n
Pulzer- und Lachtalquellen	QU70916008	Hippach	Schwaz	16	59	107	7	j	n	n	n	j	j	n
Quellbach-Ahüttenalm	QU70903517	Brandberg	Schwaz	34		280	8	n	n	n	n	n	j	n
Stubbachquelle	QU70936007	Vomp	Schwaz	39	91	149	4	j	j	j	j	j	j	j

Die 55 in der Liste enthaltenen Quellen weisen eine Minimalschüttung von über 4 000 l/s auf – womit sich theoretisch bei einem durchschnittlichen jährlichen Wasserbedarf von 1 l/s für 500 Menschen die Versorgung von mehr als 2 000 000 Menschen bewerkstelligen ließe.

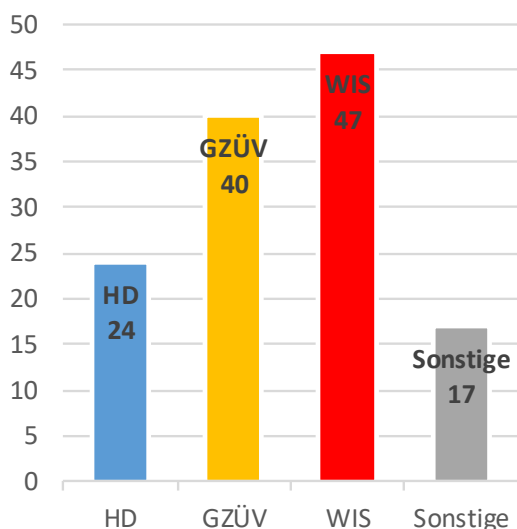


Abb. 1: Übersicht zu den herangezogenen Datenquellen

In **Abb. 1** sind die verwendeten Datenquellen dargestellt. Von 24 der Quellen liegen kont. Aufzeichnungen des HD Tirol vor, 40 der 55 Quellen werden nach GZÜV beprobt, zusätzliche Informationen aus dem WIS gab es bei 47. Bei 17 wurden sonstige Datenquellen wie die GQH verwendet. Dabei sind die Daten des HD naturgemäß am verlässlichsten. Die Daten nach GZÜV sind unterschiedlicher Qualität, was vor allem an den örtlichen Gegebenheiten zur Schüttungserfassung liegt. Die Daten aus dem WIS sind von sehr unterschiedlicher Qualität, die Daten von GZÜV und HD finden sich dort nur bedingt wieder. Teilweise finden sich dort noch Werte vom

Beginn der 90er Jahre aus der GQH, die oftmals nur auf Einzelmessungen und Schätzungen basierten. Bei der Oberen Bergalmquelle zum Beispiel ist gar eine Minimalschüttung von 0,5 l/s angeführt – was aber eher dem Konsens für die Einzelwasserversorgung entsprechen dürfte.

Abb. 2 zeigt, wie sich die Großquellen auf die einzelnen Bezirke Tirols verteilen. Dabei dominiert der Bezirk Schwaz klar (15), gefolgt von Innsbruck Land (10) und Imst (8). In Lienz (3), Kitzbühel (2) und Innsbruck (1) gibt es die wenigsten im ggst. Projekt erfassten Großquellen.

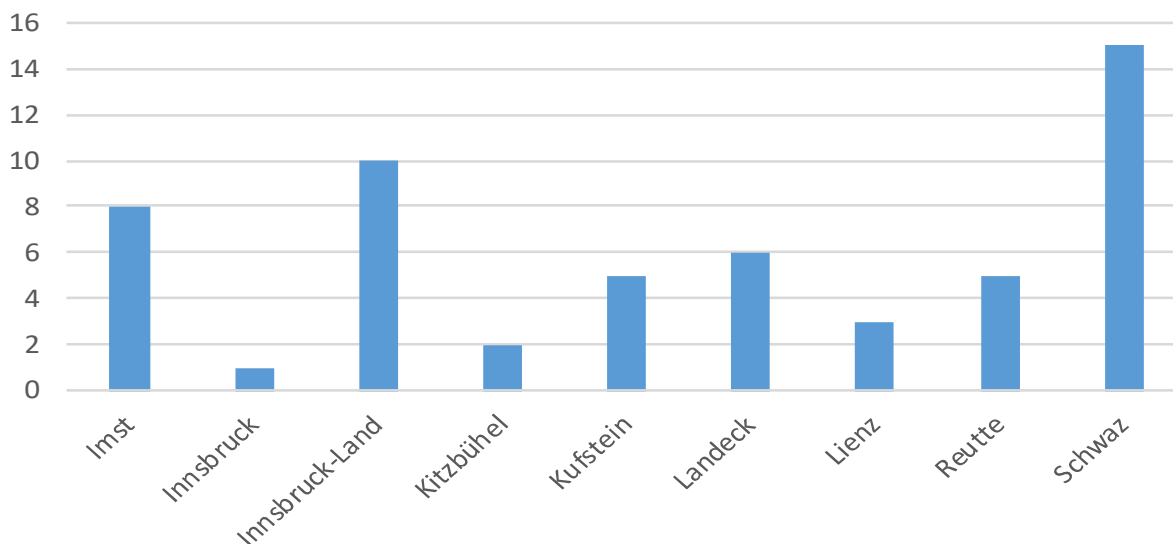


Abb. 2: Verteilung der Großquellen auf die einzelnen Bezirke

Von den 55 Großquellen werden etwas über die Hälfte bereits zur Trinkwasserversorgung genutzt (**Abb. 3**). Dennoch besitzen nur 19 Großquellen ein Schutz- oder Schongebiet (**Abb. 4**).

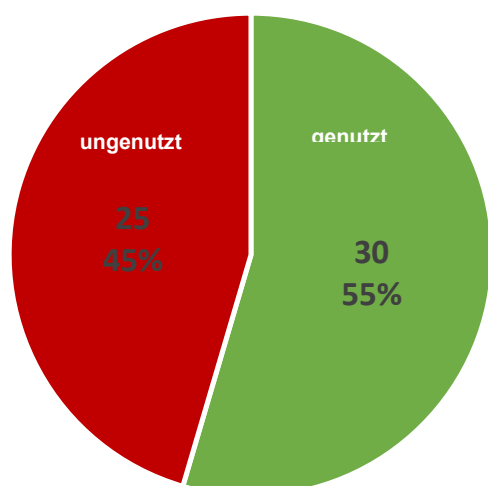


Abb. 3: Darstellung der Nutzungssituation

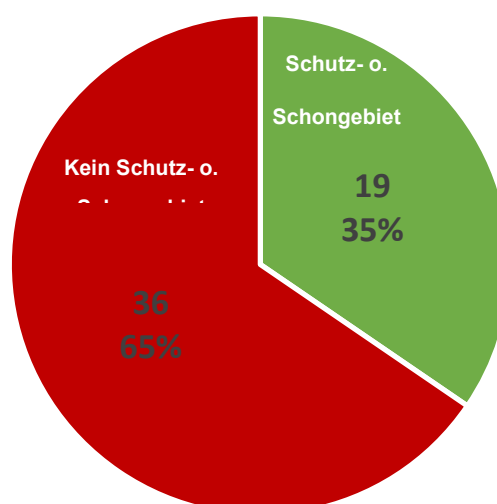


Abb. 4: Darstellung zum Quellschutz

Über 17 der 55 Quellen liegen hydrogeologische Untersuchungen vor, davon werden allein 10 durch die Projekte GQH und Ressourcenschutz Mieminger Gebirge (PLIESSNIG ET AL., 2010) abgedeckt. Bei einigen Quellen sollen laut WIS zusätzliche Untersuchungen vorliegen (insbesondere Hinteres Zillertal und Lechtal).

Auf 4 Quellen mit kont. Aufzeichnung der Vor-Ort-Parameter wird im Folgenden genauer eingegangen.

Bettelwurfstollen – QU70301022

Der Bettelwurfstollen, genauer gesagt der Trinkwasserstollen Bettelwurfquellen (**Tab. 2**), befindet sich im Halltal (Gemeinde Absam) am Bettelwurfeck unterhalb der Bettelwurfreife. Der Stollen liegt auf etwa 1.010 m Seehöhe und wurde von 1995 bis 2002 errichtet.

Tab. 2: Stammdaten des Trinkwasserstollens Bettelwurfquellen

Name der Messstelle:	Trinkwasserstollen Bettelwurfquellen	RW:	89.512,19
HZB-Nummer:	396200/-218/-226	HW:	244.150,49
Gemeinde:	Absam	Höhe [m ü. A.]:	1.008,70
Quellkatasternummer:	QU70301022	Bezirk:	Innsbruck-Land
Postzahl:		Grundstück (Nr./KG):	2183/1
Nutzung:	ja	Schutz-/Schongebiet:	ja
		Nutzungsart:	Trinkwasserversorgung, Wasserkraft

Die Stollenwässer werden einerseits zur Wasserversorgung u. a. der Gemeinden Absam und Hall verwendet, andererseits mehrfach wasserkrafttechnisch genutzt. Der Stollen besitzt ein Schongebiet, das zum Wasserschongebiet Inntaldecke – Karwendel gehört.

Nach dem GEOFAST-Kartenblatt 118 Innsbruck (GBA, 2013) fährt der Stollen Bergwässer im Wettersteinkalk der Inntal-Decke an, welche hier an Raibler Schichten und an Hauptdolomit der Lechtal-Decke grenzen (**Abb. 5**), wobei die Raibler Schichten als Stauer wirken.

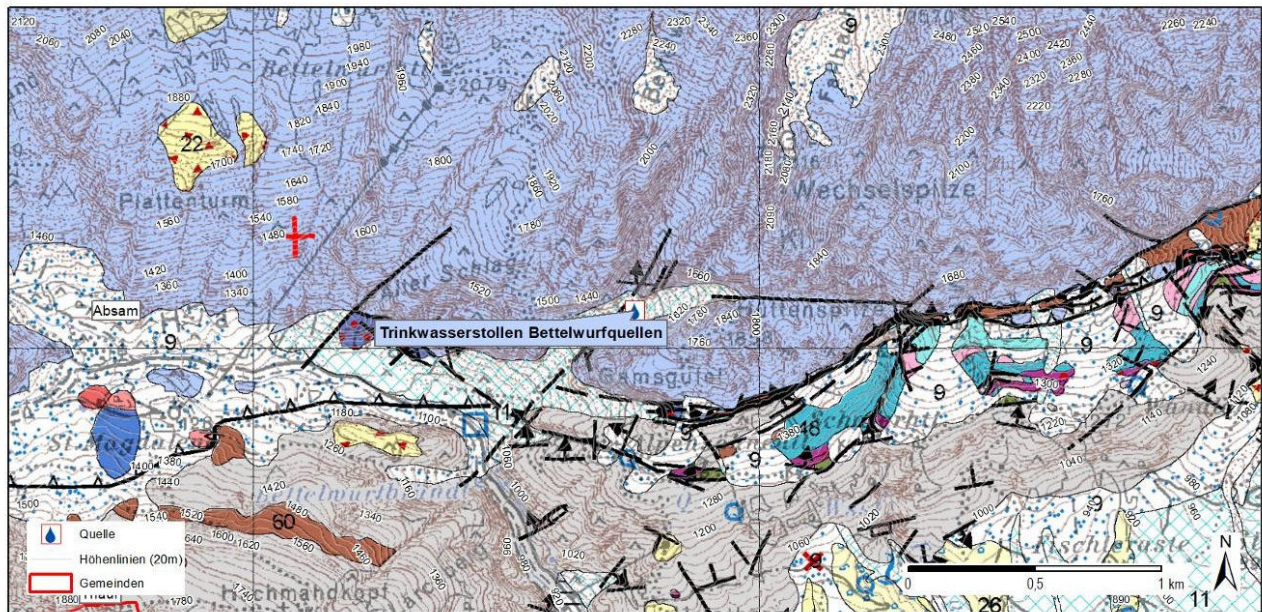


Abb. 5: Geologische Übersicht zum Trinkwasserstollen (Datenquelle: GBA, 2013, GF 118 Innsbruck, GIS-Online)

In **Abb. 6** werden die Vor-Ort-Parameter des Trinkwasserstollens dargestellt. Dabei wurden die Schüttungen der drei Messstationen einzeln sowie in Summe dargestellt, WT und LF werden nur beim mittleren Stollen gemessen. Die Schüttungen weisen gewisse jahreszeitliche Schwankungen mit höheren Schüttungen zu Beginn der 2. Jahreshälfte auf (207 bis 495 l/s, Schüttungszahl von 2,4), dabei weisen alle drei Stollen eine hohe Synchronität auf. Die WT und LF sind ausgesprochen konstant (siehe auch *Tab. 3*), wobei die WT zu geringfügigen Maxima im Sommer tendiert und die LF Maxima bei hohen Schüttungen zeigt. Die WT zeigt zudem einen leicht ansteigenden Trend. Von besonderer Auffälligkeit ist das Schüttungsverhalten, da hier eine recht kontinuierliche Abnahme der Minima und Maxima zu verzeichnen ist. So liegen die Extrema etwa 100 l/s niedriger als noch zu Beginn der 2000er Jahre. Die GZÜV-Messungen bestätigen diesen Trend.

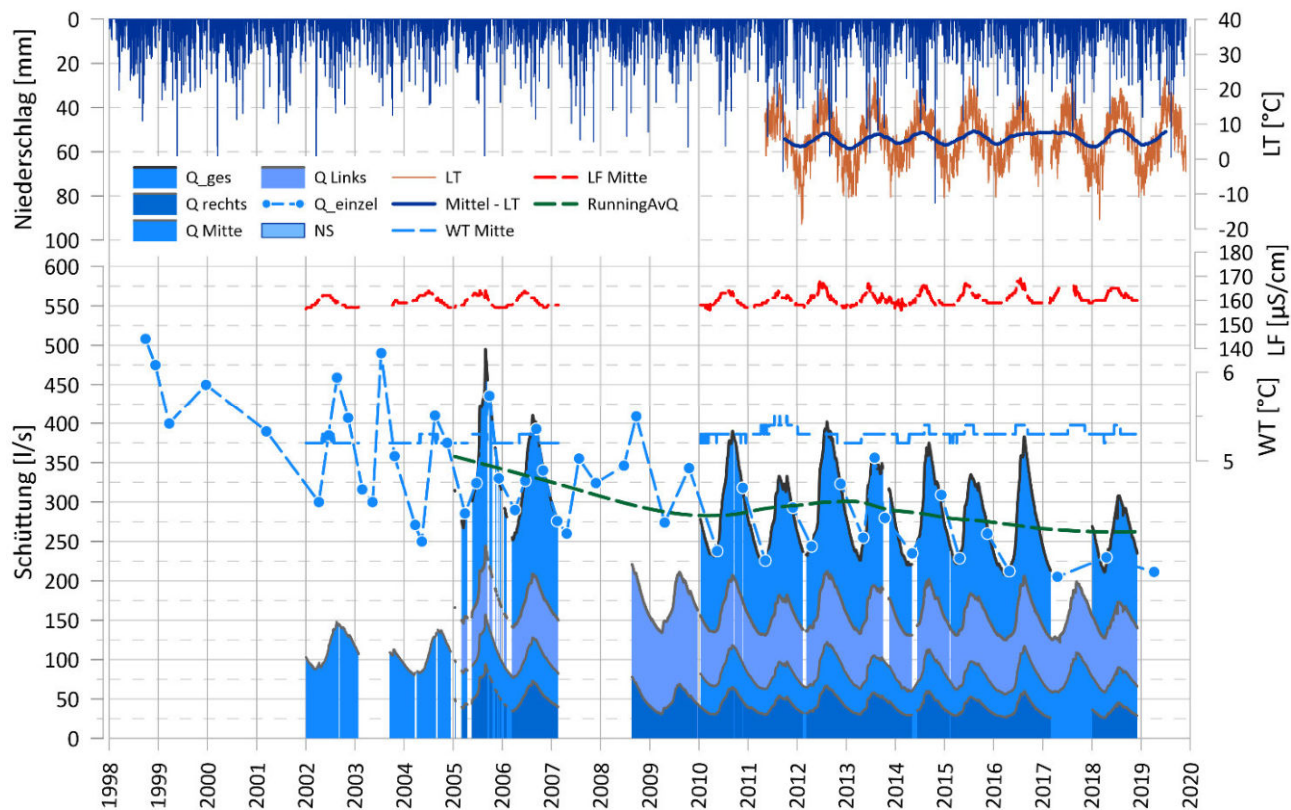


Abb. 6: Vor-Ort-Parameter Bettelwurfquellen, NS und LT der Messstation St. Martin i. G. (Datenquelle: HD Tirol)

Tab. 3: Zusammenfassung der Vor-Ort-Parameter des Trinkwasserstollens (WT und LF: Stollen Mitte)

Parameter	Minimum	Mittel	Maximum	Quotient
Schüttung [l/s]	207	292	495	2,4
Wassertemperatur [°C]	5,2	5,3	5,5	1,1
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	156	160	169	1,1

Mühlbachquellen 1-7 – QU70418004

Die Mühlbachquellen (Tab. 4) befinden sich in der Gemeinde Schwendt im Bezirk Kitzbühel auf etwa 673 m Seehöhe im sogenannten Kohlental, welches sich zwischen Zahmem Kaiser und Unterberghorn in NS-Richtung erstreckt.

Tab. 4: Stammdaten der Mühlbachquellen

Name der Messstelle:	Mühlbachquellen 1-7	RW:	-71.154,82
HZB-Nummer:	395376	HW:	275.000,46
			673,37

		Höhe [m ü. A.]:	
Gemeinde:	Schwendt	Bezirk:	Kitzbühel
Quellkatasternummer:	QU70418004	Grundstück (Nr./KG):	850/1
Postzahl:	4/2181	Schutz-/Schongebiet:	nein
Nutzung:	ja	Nutzungsart:	Wasserkraft

Die Mühlbachquellen entspringen einem isolierten Stock des Kaisergebirges (Unterberghorn), der nach der Geologischen Karte Blatt 91 St. Johann in Tirol (GBA, 2008) primär aus Hauptdolomit aufgebaut ist (**Abb. 7**). Sie befinden sie sich am orographisch rechten Talrand, wo sie aus dem Hangschutt austreten. Es handelt sich damit nicht um einen Austritt aus dem Talgrundwasser, sondern um in einem Quellhorizont austretendes Schichtwasser (gemäß WIS). Der Großteil des vermuteten EZG ist demnach aus Hauptdolomit aufgebaut.

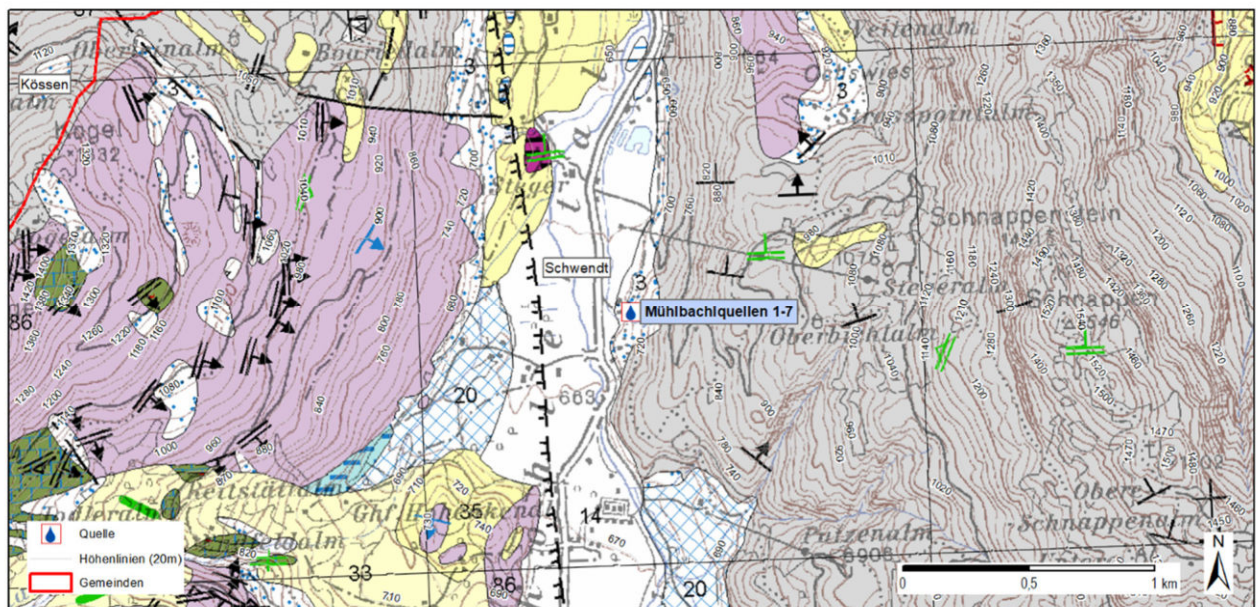


Abb. 7: Geologische Übersicht der Mühlbachquellen (Datenquelle: GBA, 2008, GK 91 St. Johann in Tirol)

In **Abb. 8** werden die Vor-Ort-Parameter der Mühlbachquellen dargestellt. Die Schüttung weist zwar eine klare Saisonalität mit höheren Werten von Frühjahr (Schneesmelze) bis Herbst auf, jedoch sind die Schwankungen recht gering (219 bis 360 l/s, Schüttungszahl von 1,6). Die WT ist von allen Quellen am konstantesten – sie veränderte sich in 16 Jahren Messreihe nur um maximal 0,1 °C – was für einen äußerst geringen Oberflächeneinfluss spricht (siehe auch Tab. 5). Umso auffälliger ist die starke Saisonalität der LF, die im Jahresverlauf um mehr als 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ schwankt, einen sehr geglätteten Kurvenverlauf zeigt und mit den ersten Schüttungmaxima des Jahres ihr Maximum erreicht (bzw. den Maxima etwas voraus ist). Auffällig ist auch die Schüttung, da sie nach HD Tirol zuletzt einen steigenden Trend aufwies, jedoch die

Messungen nach GZÜV häufig signifikante Abweichungen zeigen. Auch scheinen die GZÜV-Messungen vor 2003 auf einem höheren Niveau.

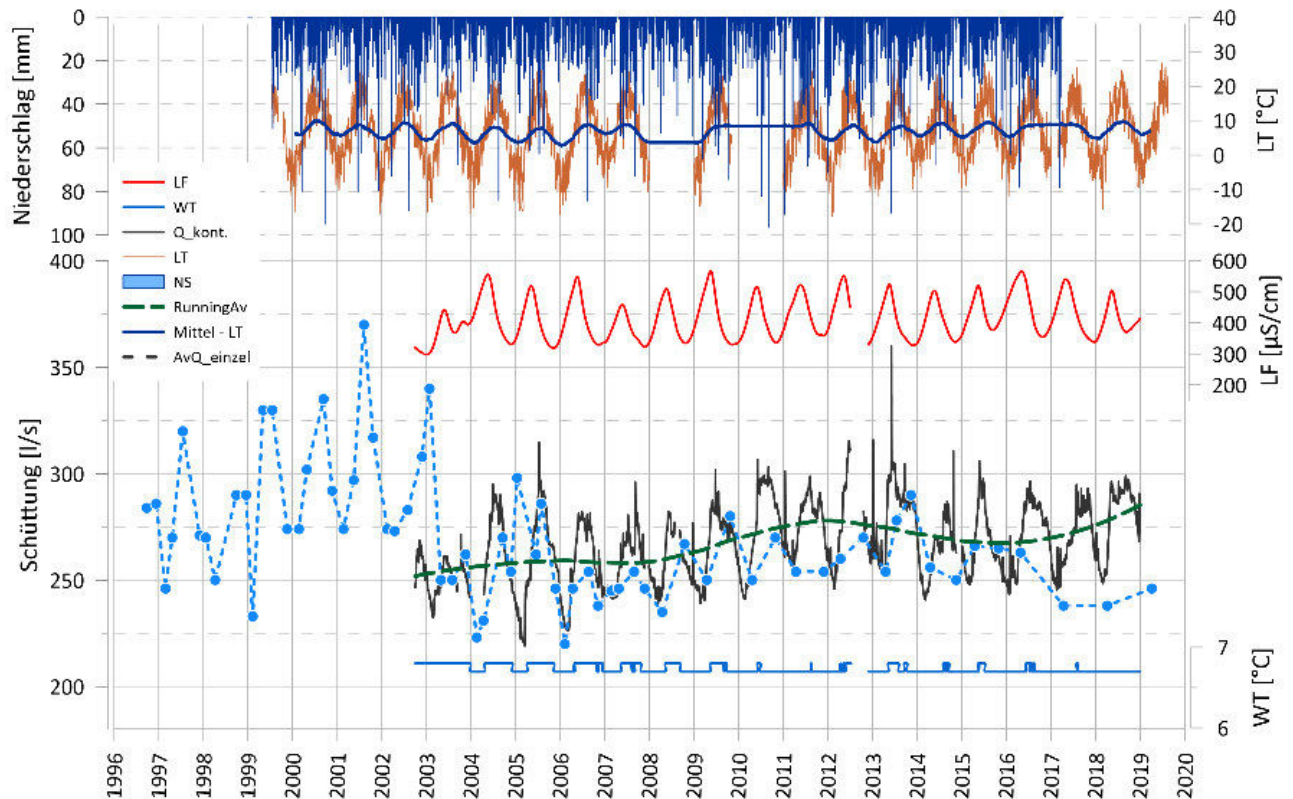


Abb. 8: Vor-Ort-Parameter der Mühlbachquellen, NS und LT der Station Griesner Alm (Datenquelle: HD Tirol)

Tab. 5: Zusammenfassung der Vor-Ort-Parameter der Mühlbachquellen

Parameter	Minimum	Mittel	Maximum	Quotient
Schüttung [l/s]	219	267	360	1,6
Wassertemperatur [°C]	6,7	6,7	6,8	1,0
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	298	414	568	1,9

Katzensteigquelle – QU70907005

Die Katzensteigquelle (vormals Kasbachquellen, Tab. 6) befindet sich im Süden der Gemeinde Eben am Achensee im Kasbachgraben orographisch rechts des gleichnamigen Baches. Sie befindet sich in etwa 878 m Seehöhe, in ihrem Umfeld treten noch eine Vielzahl weiterer Quellen aus.

Tab. 6: Stammdaten zur Katzensteigquelle

Name der Messstelle:	Katzensteigquelle	RW:	106.822,18
----------------------	--------------------------	-----	-------------------

HZB-Nummer:	395418	HW:	254.185,64
		Höhe [m ü. A.]:	877,61
Gemeinde:	Eben am Achensee	Bezirk:	Schwaz
Quellkatasternummer:	QU70907005	Grundstück (Nr./KG):	-
Postzahl:		Schutz-/Schongebiet:	nein
Nutzung:	nein	Nutzungsart:	-

Die Katzensteigquelle tritt an einem steilen Hang aus, der nach GEOFAST-Kartenblatt 119 Schwaz (GBA, 2008) aus postglazialen Schottern aufgebaut ist (**Abb. 9**). Darüber befindet sich ein Schwemmfächer. Nach den Ergebnissen der GQH Jenbach (WVT, 1994) kommt das Wasser der Kasbachquellen entweder primär aus Karstwässern des Rofan und/oder mineralisch angereicherten Wässern des Achensees. Weitere Informationen finden sich im Endbericht zur Großquellenhydrogeologie Jenbach (u.a. WVT, 1994).

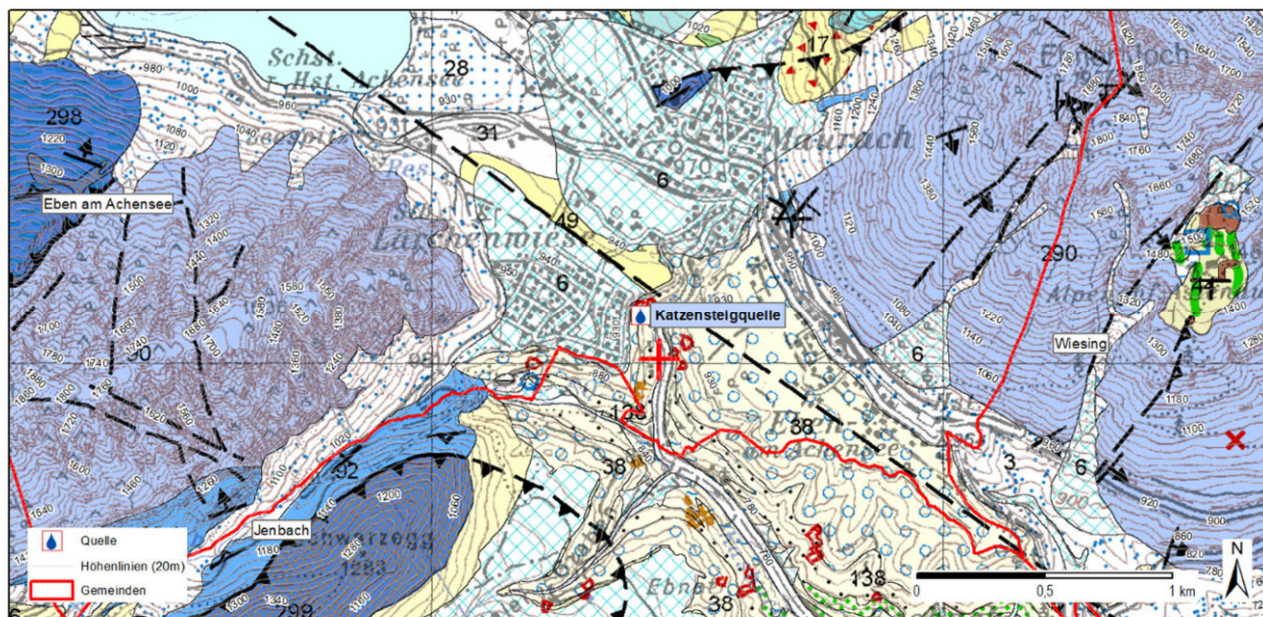


Abb. 9: Geologische Übersicht zur Katzensteigquelle (Datenquelle: GBA, 2008, GF 119 Schwaz, GIS-Online)

In **Abb. 10** werden die Vor-Ort-Parameter der Katzensteigquelle dargestellt. Die Schüttung weist eine ausgeprägte Saisonalität mit Maxima in der zweiten Jahreshälfte und Minima im Winter/Frühjahr auf. Sie schwankt mäßig stark (65 bis 257 l/s) und hat eine Schüttungszahl von 4 (siehe auch **Tab. 7**). Die LF zeigt eine ausgeprägte Saisonalität mit Maxima bei hoher Schüttung, die WT verhält sich gleichermaßen, schwankt im Jahresverlauf aber nur um max. 0,4 °C. Sowohl LF als auch insbesondere WT zeigen einen steigenden Trend. Die WT liegt mittlerweile 0,7-0,8 °C höher als noch 2004. Die Minima der Schüttung variieren ausgesprochen stark (zwischen 125 und 65 l/s), wobei kein klarer Trend erkennbar ist, aber zumindest ist das Schüttungsniveau etwas niedriger als vor 2003.

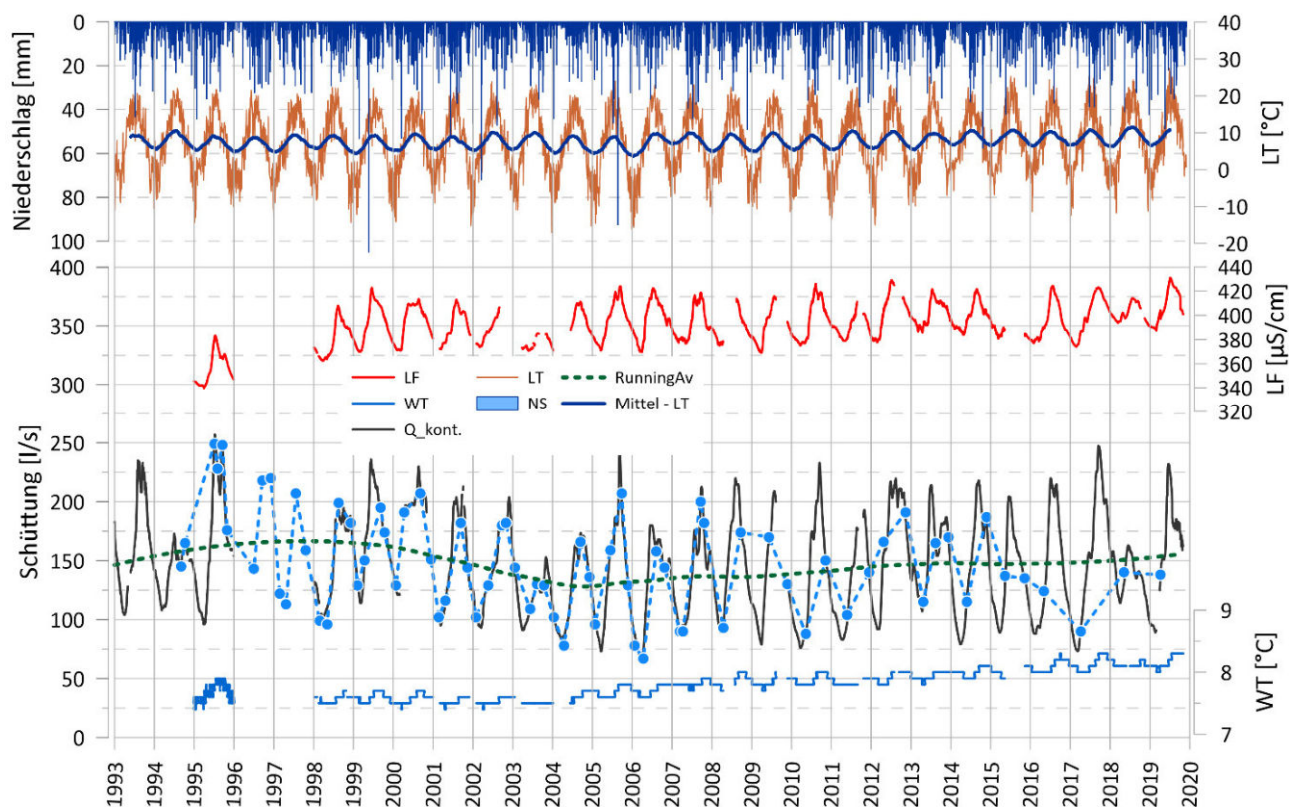


Abb. 10: Vor-Ort-Parameter der Katzensteigquelle, NS und LT der Station Schwaz (Datenquelle: HD Tirol)

Tab. 7: Zusammenfassung der Vor-Ort-Parameter der Katzensteigquelle

Parameter	Minimum	Mittel	Maximum	Quotient
Schüttung [l/s]	65	146	257	4,0
Wassertemperatur [°C]	7,4	7,8	8,3	1,1
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	340	393	431	1,3

Bollenbachquelle – QU70936004

Die Bollenbachquelle (Tab. 8) befindet sich im „Vomper Loch“ auf dem Gemeindegebiet von Vomp orographisch links des Vomperbaches unterhalb des Wehrs der Oberstufe WK-Vomperbach.

Tab. 8: Stammdaten der Bollenbachquelle

Name der Messstelle:	Bollenbachquelle	RW:	96.430
HZB-Nummer:	395459	HW:	246.030
		Höhe [m ü. A.]:	852

Gemeinde:	Vomp	Bezirk:	Schwaz
Quellkatasternummer:	QU70936004	Grundstück (Nr./KG):	2659
Postzahl:		Schutz-/Schongebiet:	nein
Nutzung:	ja	Nutzungsart:	Wasserkraft

Die Quelle ist laut WIS bislang ungenutzt, wird aber laut GQH Vomp (WVT, 1994) dem Kraftwerksstollen zugeführt, das E-Werk soll ein Wasserbezugsrecht bis 17.09.26 haben (WIS bestätigt dies).

Die Bollenbachquelle befindet sich wie z.B. auch der Trinkwasserstollen Bettelwurfquellen an der Grenze von Inntal- und Lechtal-Decke, wo die Raibler Schichten im Liegenden die vielzitierte „Badewanne Karwendel“ abdichten. Unmittelbar südlich schließt sich hier Hauptdolomit der Lechtal-Decke an. Das EZG ist etwa 15 km² groß und erstreckt sich über den Hochnissl bis westlich des Vomper Lochs (WVT, 1994). Weitere Informationen finden sich in den umfassenden Untersuchungen der Großquellenhydrogeologie Vomp aus den 90er Jahren (u.a. WVT, 1994).

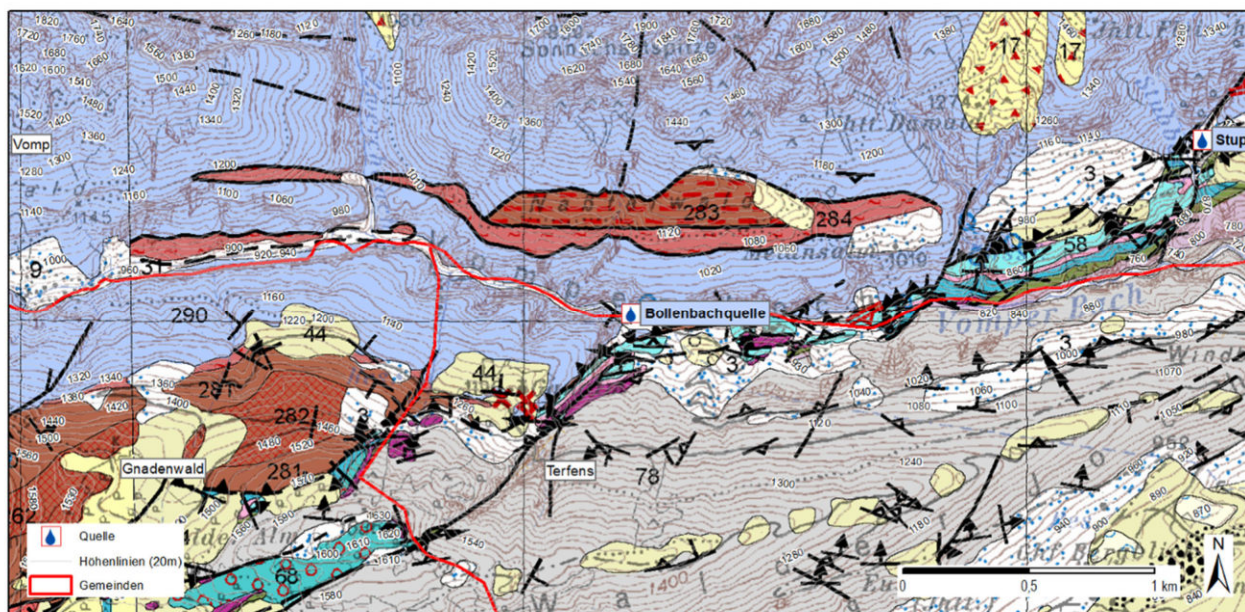


Abb. 11: Geologische Übersicht zur Bollenbachquelle (Datenquelle: GBA, 2008, GF 119 Schwaz, GIS-Online)

In **Abb. 12** werden die Vor-Ort-Parameter der Bollenbachquelle dargestellt. Die Schüttung weist eine ausgeprägte Saisonalität mit Maxima im Sommer und Minima im Winter/Frühjahr. Sie schwankt allerdings nur gering zwischen 258 und 413 l/s und hat somit eine Schüttungszahl von 1,6 (siehe auch **Tab. 9**). Die LF zeigt eine gewisse Saisonalität mit Minima bei hoher Schüttung, die WT zeigt ebenfalls eine Saisonalität, allerdings mit Maxima bei Niederwasser im Winter und Minima bei starker Schüttung im Sommer, schwankt allgemein nur sehr geringfügig. Die LF und WT zeigen einen steigenden Trend.

Die Schüttung zeigt gewisse Auffälligkeiten. Die Datenlücke zwischen dem Beginn der kont. Aufzeichnung 1998 der Zeitreihe ab 2002 entstand aufgrund von Vermurungen und anderen Mess-Störungen. In diesem Zeitraum liegt eine wesentliche Änderung im EZG vor, da die Schüttung eine klare Abnahme sowohl der Minima als auch Maxima zeigt. Das ist ebenfalls aus den GZÜV-Daten ersichtlich, welche auch während der Datenlücke vorliegen und eine Verringerung der Maxima um 50-60 l/s und der Minima um 30-40 l/s anzeigen. Bei genauer Betrachtung der Daten fällt auf, dass hier eine recht plötzliche Veränderung eingetreten ist, da zumindest die Messung 1/2000 wohl noch das „alte“ Maximalniveau anzeigt, Messung 1/2002 dann spätestens ein neues Minimalniveau. Schon die Messwerte aus 2001 sind auffällig niedrig. Ein auslösendes Ereignis wäre demzufolge Mitte 2000 bis Ende 2001 zu suchen.

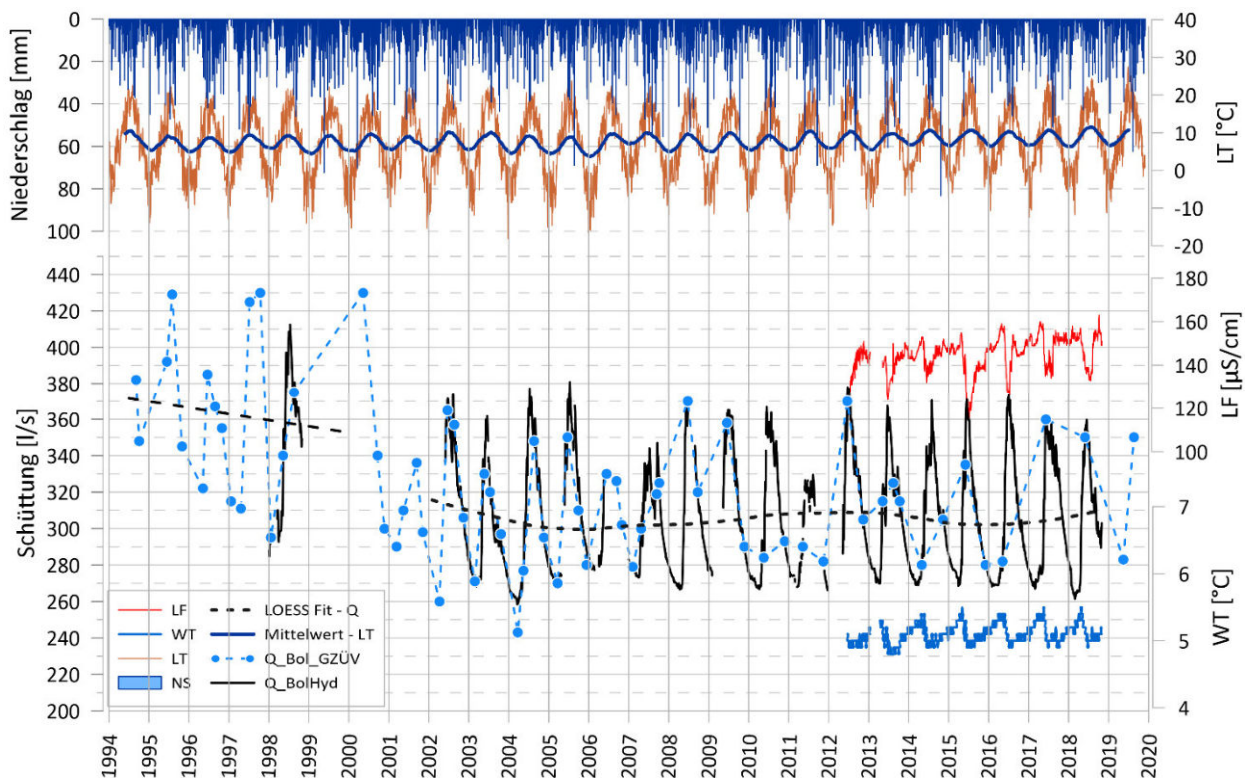


Abb. 12: Vor-Ort-Parameter der Bollenbachquelle, NS, LT der Station Schwaz (Datenquellen: HD Tirol)

Tab. 9: Zusammenfassung der Vor-Ort-Parameter der Bollenbachquelle

Parameter	Minimum	Mittel	Maximum	Quotient
Schüttung [l/s]	258	307	413	1,6
Wassertemperatur [°C]	4,8	5,1	5,5	1,1
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	115	145	163	1,4

Zusammenfassung

Bettelwurfstollen

Der Trinkwasserstollen Bettelwurfquellen zeigt eine klare Abnahme der zuströmenden Wassermenge. So ist die Minimalschüttung der drei Stollen seit Anfang der Messreihe um wenigstens 1/3 zurückgegangen (von etwa 300 auf 200 l/s). Zeitgleich gibt es zumindest bei der WT einen leicht ansteigenden Trend.

Mühlbachquellen

Bei den Mühlbachquellen zeigen alle drei Vor-Ort-Parameter besondere Auffälligkeiten. Die Quelle hat von allen betrachteten die vierthöchste Minimalschüttung, zudem halten die Maxima im Sommer erstaunlich lange an – als gäbe es ein Sommer- und ein Winterniveau. Die WT ist von allen Quellen am gleichförmigsten, schwankt in 16 Jahren nur um 0,1 °C, was für quasi nicht vorhandenen Oberflächeneinfluss und Tiefenzirkulation sowie lange Verweilzeiten spricht. Die LF hingegen weist eine ausgesprochen starke Saisonalität auf und ist positiv an die Schüttung gekoppelt. Die Unterschiede der LF werden wohl durch Gipslösung verursacht, die bei höherer Schüttung (höherem Bergwasserspiegel) verstärkt auftritt. Trends lassen sich bei WT und LF nicht erkennen, die Schüttung weist auffällige Schwankungen und Abweichungen zwischen GZÜV- und HD-Werten, was auch an der Messsituation vor Ort liegen könnte.

Katzensteigquelle

Die Katzensteigquelle zeigt in Hinblick auf die Schüttung ein von Jahr zu Jahr verschiedenes Niveau der Mindestschüttung, die um bis zu 60 l/s variiert, und zudem bis 2004 einen abnehmenden, dann einen eher ansteigenden Trend. Die LF steigt leicht, die WT hingegen signifikant. Die Ursachen dafür sind unklar, dazu müsste abschließend geklärt werden, aus welcher Richtung und wie die Quelle angeströmt wird, was laut Endbericht der GQH Jenbach von 1994 noch offen war.

Bollenbachquelle

Die Bollenbachquelle zeigt in Hinblick auf die Schüttung eine klare Abnahme, die wohl eher als Einzelereignis denn als kont. Trend zwischen 2000 und 2002 stattgefunden hat. Infolgedessen fehlen der Bollenbachquelle etwa 30-40 l/s ihrer Mindestschüttung, es ist keine Regeneration erkennbar. Obgleich bereits damals Ursachenforschung betrieben wurde, scheint der Sachverhalt nicht zur Gänze abgeklärt worden zu sein. Dessen ungeachtet stellt die Bollenbachquelle eine ausgesprochen wertvolle Wasserressource dar, was sich auch in der Konstanz von WT und LF zeigt, die auf einen geringen Oberflächeneinfluss hinweisen. Mit ihrer Mindestschüttung von 258 l/s liegt die Quelle an dritter Stelle der Großquellen Tirols.

Trends

In **Abb. 13** wird die Schüttungsentwicklung der 24 vom HD kontinuierlich gemessenen Quellen zusammengefasst. Dabei (und auch im Folgenden bei WT und LF) wird einmal in „auffällig“ und „unauffällig“ untergliedert, wobei bei „auffällig“ noch genauer in „Zunahme“, „Abnahme“ und „Sonstiges“ unterschieden wird. Zunahme und Abnahme wurden nur dann ausgewiesen, wenn klare Trends erkennbar waren. Eine

Zunahme ließ sich lediglich bei den Lareinsonntagspleisquellen feststellen, Abnahmen bei den Brunauer Quellen, dem Trinkwasserstollen Bettelwurf, den Sauwinkelquellen und der Bollenbachquelle. Unter „Sonstiges“ wurden Auffälligkeiten wie starke Schwankungen, mögliche mehrjährige Zyklizitäten, Unklarheiten etc. zusammengefasst.

Abb. 14 zeigt die zusammengefasste Temperaturentwicklung der vom HD Tirol gemessenen Quellen. 14 von 24 Quellen zeigen eine klar steigende Tendenz, zwei weisen sonstige Auffälligkeiten auf. Der Anstieg ist dabei geringer als z.B. zuletzt bei Grundwassermessstellen beobachtet und beträgt maximal 0,04 °C pro Jahr bei den Sauwinkelquellen bzw. 0,03 °C pro Jahr bei der Katzensteigquelle.

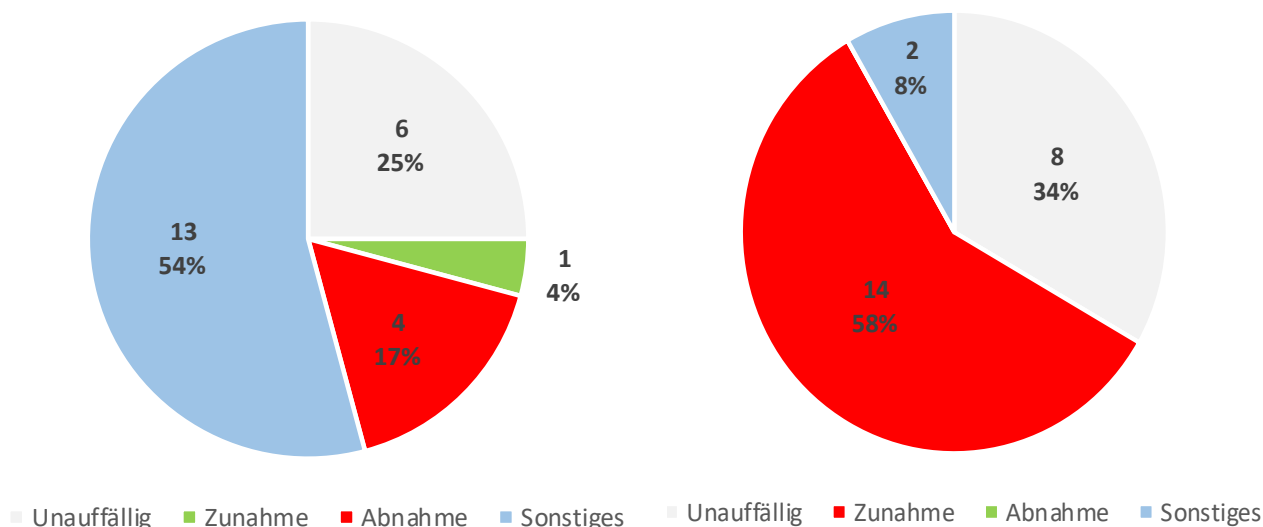


Abb. 13: Schüttungsentwicklung

Abb. 14: Temperaturentwicklung

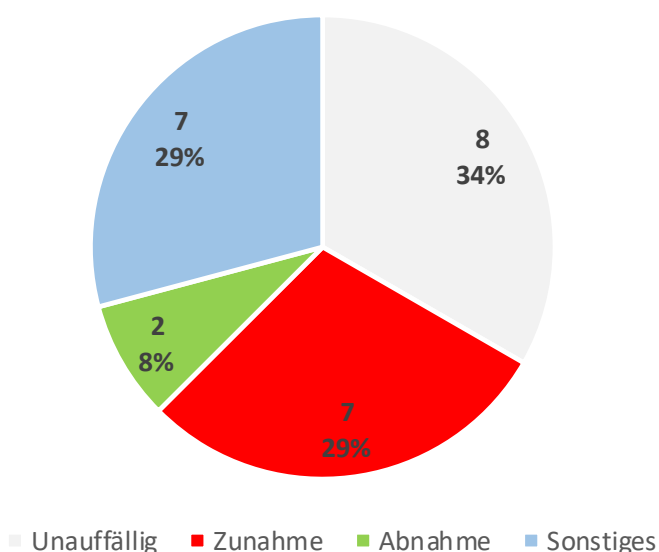


Abb. 15: Entwicklung der Leitfähigkeit

In **Abb. 15** wird abschließend die Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit der 24 Quellen mit kontinuierlicher Messung dargestellt. Dabei weisen zwei Quellen eine klare Abnahme und sieben eine klare Zunahme auf. Weitere sieben Quellen zeigen sonstige Auffälligkeiten wie starke Saisonalität, mehrjährige Zyklen und anderweitige Abweichungen.

Schlussfolgerungen/Diskussion

Auf Basis der gegenständlichen Datenerhebungen lässt sich festhalten, dass sich ein aufgrund verminderter Grundwasserneubildung durch Klimawandel häufig befürchteter Rückgang von Quellschüttungen bis dato nur bei sehr wenigen Quellen klar abzeichnen könnte. Und auch bei diesen können direkte anthropogene Einflüsse aufgrund von Infrastrukturmaßnahmen anstelle von Einflüssen des Klimawandels nicht ausgeschlossen werden.

Bei der elektrischen Leitfähigkeit (als ein Sammelparameter für die Hydrochemie) und insbesondere bei der Wassertemperatur sind klimatische Einflüsse hingegen bei einer Vielzahl an Quellen klar erkennbar – damit bestätigen sich auch bei den Quelltemperaturen Trends, welche bei Luft-, Oberflächenwasser- und Grundwassertemperatur schon vielfach wissenschaftlich behandelt wurden (z. B. RODIONOV, 2004; NORTH et al., 2013; MENBERG et al., 2014; BENZ et al., 2017; BENZ et al., 2018). Wieso allerdings nur bestimmte Quellen bereits seit längerer Zeit diese Trends aufweisen, andere jedoch nicht, lässt sich zumindest auf Basis dieser Grundlagendatenerhebung noch nicht ersehen. Den im Alpenen Raum signifikanten mikroklimatischen Effekten kommt wahrscheinlich auch hierbei eine gewichtige Rolle zu.

Auch wenn sich bei den Schüttungsmengen noch keine durchgängigen Trends ergeben, so zeigen doch jeweilige Auffälligkeiten und insbesondere auch die Trends bei WT und LF, dass sich Änderungen der atmosphärischen Gegebenheiten bereits deutlich niederschlagen. Damit ist auch nicht ausgeschlossen, dass in manchen Gebieten zukünftig Änderungen des Schüttungsverhaltens auftreten können. Um diese Prozesse genauer zu verstehen und idealerweise prognostizieren zu können, sind Detailanalysen notwendig.

Vor dem Hintergrund steigenden Nutzungsdrucks auf die vorhandenen Wasserressourcen, der sich aus dem Bevölkerungswachstum, steigendem Tourismus, zunehmendem Bedarf an Wasser für die Landwirtschaft etc. ergibt, sowie den Prognosemodellen in Bezug auf die klimatische Entwicklung, kommt der genauen Kenntnis und der Sicherung strategisch wichtiger Wasserressourcen als Grundlage einer gesicherten zukünftigen Wasserversorgung in jedem Fall eine essenzielle Stellung zu.

Um für diese Entwicklungen gerüstet zu sein und auch in Notsituationen über wirksame Instrumente einer gesicherten Wasserversorgung zu verfügen und damit bestmöglich agieren und nicht nur reagieren zu können, erscheinen längerfristige, vorausschauende Maßnahmen erforderlich.

Die detaillierten Maßnahmen können aus Ansicht der Autoren Aus diesen und weiteren Detailerwägungen werden folgende Maßnahmenpakete vorgeschlagen:

- **VERTIEFTE RESSOURCENERKUNDUNG (Dargebot)**
- **ABSCHÄTZUNG DER LANGFRISTIGEN BEDARFSENTWICKLUNG (Bedarf)**
- **ENTWICKLUNG NACHHALTIGER NUTZUNGSKONZEPTE (Bedarfsdeckung)**
- **SCHUTZ UND SICHERUNG DER STRATEGISCH WICHTIGEN WASSERRESSOURCEN (Schutz)**
- **VERNETZUNG UND ÖFFENTLICHKEITSARBEIT (Bewusstsein)**

Literaturverzeichnis

- AdTLR (2015): Sachstandsbericht Klimawandel in Tirol.
- Benz, S. A., Bayer, P., & Blum, P.: Global patterns of shallow groundwater temperatures, *Environmental Research Letters*, 12, 034005, 2017a
- Benz, S. A., Bayer, P., Winkler, G., & Blum, P.: Recent trends of groundwater temperatures in Austria, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/hess-2017-663>, in review, 2017b
- Blöschl, G., Blaschke, A. P., Haslinger, K., Hofstätter, M., Parajka, J., Salinas, J., & Schöner, W. (2018). Auswirkungen der Klimaänderung auf Österreichs Wasserwirtschaft – ein aktualisierter Statusbericht. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. <https://doi.org/10.1007/s00506-018-0498-0>
- Chimani B., Heinrich G., Hofstätter M., Kerschbaumer M., Kienberger S., Leuprecht A., Lexer A., Peßenteiner S., Poetsch M.S., Salzmann M., Spiekermann R., Switanek M. und H.Truhetz (2016). ÖKS15 – Klimaszenarien für Österreich. Daten, Methoden und Klimaanalyse. Projektendbericht, Wien.
- Geologische Bundesanstalt (2007): GF-Kartenblatt 91 St. Johann in Tirol
- Geologische Bundesanstalt (2013): GF-Kartenblatt 118 Innsbruck
- Geologische Bundesanstalt (2008): GF-Kartenblatt 119 Schwaz
- Hiebl, J., & Frei, C. (2018). Daily precipitation grids for Austria since 1961—development and evaluation of a spatial dataset for hydroclimatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1–2), 327–345. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2093-x>
- Lechner, K., Ribis, M. & Poscher, G. (2019): Großquellen der Kluft- und Karstgrundwasserleiter im Karwendel (Nördliche Kalkalpen, Tirol). *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* **25**, 71–80 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00767-019-00440-z>
- Menberg, K., Blum, P., Kurylyk, B. L., and Bayer, P. (2014): Observed groundwater temperature response to recent climate change, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 4453–4466, <https://doi.org/10.5194/hess-18-4453-2014>, 2014.
- North, R.P., Livingstone, D.M., Hari, R.E. et al. (2013): The physical impact of the late 1980s climate regime shift on Swiss rivers and lakes. *Int Waters* 3:341–350. <https://doi.org/10.5268/IW-3.3.560>
- Pliessnig, H., Spiegelhalter, K., Stubenböck, E., Waldner, A. (2010): Ressourcenschutz Mieminger Gebirge – Endbericht
- Rodionov, S.N., 2004: [A sequential algorithm for testing climate regime shifts](#). *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L09204, doi:10.1029/2004GL019448
- Vergeiner, J., Drechsel, S., Haslinger, K (2016): Klimatrends im Alpenen Raum – Was wir über die Vergangenheit wissen und wie wir uns die Zukunft vorstellen. Geoforum Umhausen 2016, Tagungsband
- Wagner, T., Themeßl, M., Schüppel, A., Gobiet, A., Stigler, H., Birk, S. (2017): Impacts of climate change on stream flow and hydro power generation in the Alpine region
- WVT (1993): WVT-Projekt Großquellenhydrogeologie Haiming – 1. Zwischenbericht März 1993
- WVT (1994a): WVT-Projekt Großquellenhydrogeologie Jenbach, Endbericht Phase 1
- WVT (1994b): WVT-Projekt Großquellenhydrogeologie Vomper Loch, Endbericht
- WVT (1994c): WVT-Projekt Großquellenhydrogeologie Erl, Endbericht