

## **Alpine Quellwässer und Klimawandel: Einflüsse auf Temperatur, Wasserchemie und Isotopenzusammensetzung**

Martin Kralik<sup>1</sup> & Erika Papp<sup>2</sup>

*1)Dept. f. Umweltgeowissenschaften, Universität Wien, Althanstr. 14, A-1090 Wien*

*2)Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, A-1030 Wien*

### **Kurzfassung**

In der wissenschaftlichen Literatur gibt es nahezu keine Arbeiten über Änderungen in der Grundwasserqualität im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel. Das ist darauf zurückzuführen, dass bis jetzt kaum lang-zeit Daten existierten und anthropogene Aktivitäten und Änderungen in der Landnutzung in den Einzugsgebieten der Grundwässer dies unmöglich machten. Um diese Fragen zu beleuchten, wurden on-line Daten von Schüttungen, Temperaturen und Leitfähigkeiten bzw. vierteljährlichen Chemiedaten von 40 österreichischen Quellen untersucht. Diese sind über ganz Österreich (ca. 60.000 km<sup>2</sup>) verteilt und in deren Einzugsgebieten gab es nahezu keine Änderungen in der Landnutzung über die letzten 30-40 Jahre. Ungefähr 240.000 on-line Daten und 11.500 hydrochemische Analysen wurden auf Trends (1993-2013) hin untersucht und mit täglichen bzw. monatlichen Daten von meteorologischen Stationen und Oberflächengewässern in der Nähe der Quelleinzugsgebieten verglichen. Neunundzwanzig (74%) der ausgewählten Quellen weisen signifikante Temperaturanstiege auf. Dies betragen im Mittel 0.34 °C im Bereich von 0.06 bis 1.03 °C über den Zeitraum von 20 Jahren (1993-2013). Dieser Anstieg ist jedoch nur die Hälfte der mittleren Temperaturerhöhungen in den meteorologischen Stationen und in den Oberflächengewässern in der Nähe der untersuchten Quelleinzugsgebiete. Die elektrische Leitfähigkeit der Quellwässer nahm über diesen Zeitraum in 22 (56%) der Quellen im Mittel um 4.6% zu. Ebenso sank in 23 (66%) der untersuchten Quellen der gelöste Sauerstoffgehalt im Mittel um 9% ab. Die Schüttung blieb aber in den meisten Quellen konstant.

### **Abstract**

Nearly no papers exist about the groundwater quality changes due to global change impacts. This is very difficult to evaluate due to so far missing long-term quality measurements and strong impacts by anthropogenic activities and land use changes. To avoid the complication by anthropogenic land use changes and activities the authors investigated the on-line discharge, temperature, and electric conductivity measurements as well as quarterly hydro-chemical analyses of 40 springs from a monitoring network all over the Austria (approx. 60,000 km<sup>2</sup>). All the selected springs have a recharge area with no or minimal anthropogenic impacts during the last 30 – 40 years. About 240,000 on-line measurements and 11,500 chemical analyses were evaluated for trends and compared to daily measurements at meteorological and surface water stations close to the recharge areas of the springs.

Forty springs have been selected for trend analysis over a period of 20 years (1993 – 2013). Twentynine (74%) of the selected spring show a significant mean increase in water temperature of 0.34 °C in the range of 0.06 to 1.03 °C. This increase is half of the air- and water temperature increase in meteorological stations and surface waters close to the recharge areas of the investigated springs. The electric conductivity linearly increased in 22 (56%) of the investigated springs at about 4.6%. In 23 (66%) springs the content of dissolved oxygen decreased over these 20 years at about 9% percent in their waters. The discharge, however, did not change significantly in most springs.

## Einleitung

Der globale Luft-Temperaturanstieg ist über die letzten 150 Jahre und insbesondere während den letzten 30 – 40 Jahren weltweit gut dokumentiert. In den europäischen Alpen ist der Lufttemperaturanstieg noch höher im Bereich von 2 °C. Sehr wenige Studien existieren über die Änderung von Grundwassertemperaturen im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Der Anstieg oder die Abkühlung der Quellwassertemperatur hängt neben der Entwicklung der Luft-temperatur im Einzugsgebiet, von der Niederschlagsmenge, der lokalen meteorologischen Entwicklung, der mittleren Verweilzeit im Untergrund und von dem natürlichen bzw. zusätzlich anthropogen induzierten Hitzeffluss im Untergrund ab.

### Langzeit - Messdaten

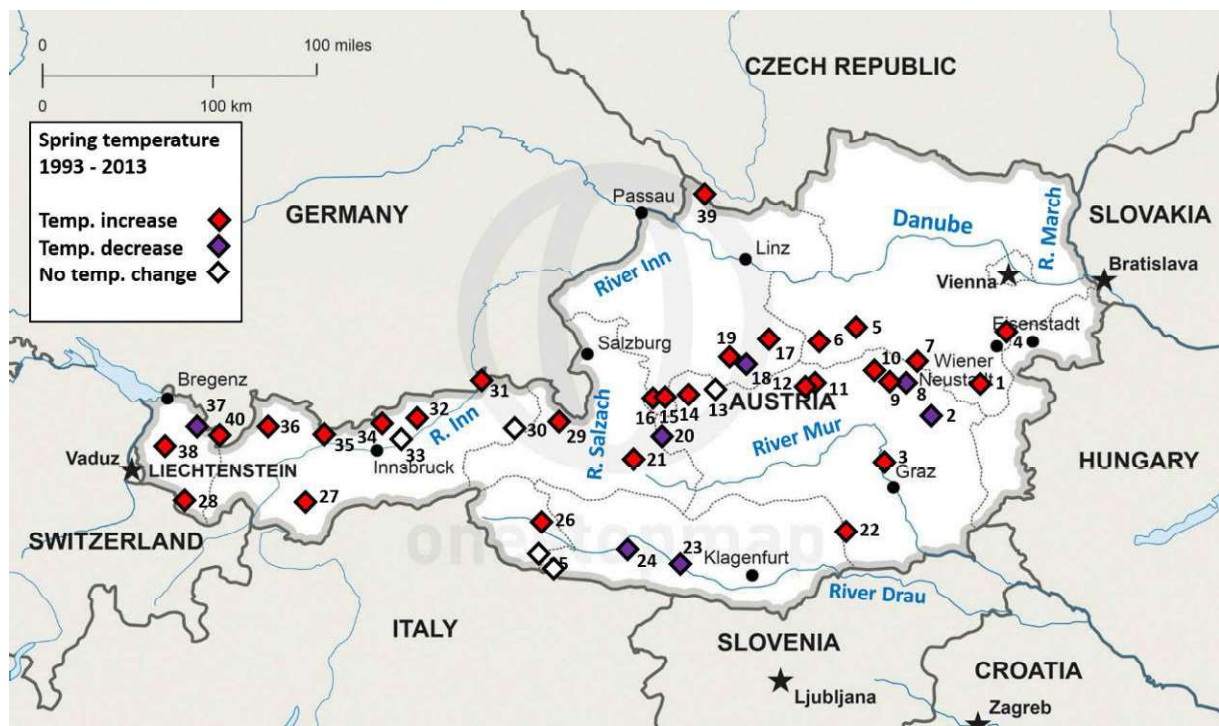


Abbildung 1: Ausgewählte Quellen mit steigenden (rot) und fallenden (violett) Temperaturtrends (1993-2013)

Es existieren nahezu keine Arbeiten über die Änderung der Wasserqualitätsdaten im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Diese ist schwierig zu evaluieren wegen der oft fehlenden lang-zeit Qualitätsdaten, der Änderung der Landnutzung bzw. der starken Einflüsse durch menschliche Aktivitäten während der letzten Jahrzehnte. Um diese beiden letztgenannten Einflüsse auszuschließen wurden von den Autoren die on-line Schüttungs-, Temperatur- und Leitfähigkeits-Messungen bzw. die vierteljährlichen hydrochemischen Analysen von 40 ausgewählten Quellen der Monitoringnetzwerke des Hydrographischen Dienstes (Ehyd, 2019) und der Wassergütererhebung (GZÜV, 2006) ausgewertet (Tab. 1). Die Quellen sind über ganz Österreich (ca. 60.000 km<sup>2</sup>) verteilt. All diese 40 Quellen haben

**Tabelle 1:** Ausgewählte Quellen und deren mittlere Schüttungs-, Temperatur und Leitfähigkeitsdaten (1993-2013)

Nr.	HZB-Nr.	GZÜV Nr.	Name	Schüttung (L/s)	Temperatur (°C)	elektr. Leitfähigkeit (µS/cm)
1	395582	KK31800132	Ursulaquelle	15	8.6	240
2	395913		Brunnaderquelle	49	10.9	588
3	395855	KK60632072	Hammerbachquelle	191	8.9	352
4	396135	FW31000197	Fischa-Dagnitz Quelle	427	11.0	586
5	395574	KK32000222	Große Mühlquelle	534	7.1	355
6	395590	KK30500762	Reithbachquelle	250	7.1	302
7	396077		Wasseralmquelle	244	5.6	258
8	396093		Siebenquellen	372	5.4	251
9	395822	KK61310022	Roßlochquelle	382	6.2	285
10	396127		Pfannbauernquelle	307	6.7	336
11	395871	KK61101032	Wassermannsloch	523	6.5	212
12	395939	KK61221012	Schwabeltalquelle	104	5.7	240
13	395863	KK61245032	Sagtümpel	340	5.7	245
14	395905	KK61233022	Ödensee-Kaltwassertrichter	31	5.4	209
15	395053	KK40709012	Hirschbrunn-Seeaustritt	382	5.6	170
16	395038	KK40709022	Waldbachursprung	3130	4.2	149
17	395079	KK40909012	Steyernquelle	236	6.7	284
18	395111	KK40915012	Rettenbachquelle	1099	6.4	199
19	395012	KK40916012	Teufelskirche	1050	6.6	217
20	395897	KK61232042	Preunegger Siebenquellen	64	5.9	187
21	395244	KK52207872	Marbachquelle	446	5.3	230
22	395848	KK60308012	Reihbachquelle	19	6.0	121
23	395673	KK20201032	Union Quelle	319	8.3	331
24	395707	KK20613122	Fellbachquelle	154	7.4	388
25	395426	KK73710012	Schwarzbodenquelle	26	5.9	309
26	395384		Gossenbachquelle	19	3.2	28
27	395491	KK72250032	Ochsenbrunnquelle	93	5.7	70
28	395756	KK80120152	Fidelisquelle	304	5.7	143
29	395228	PG51200552	Friedlbrunn Quelle	79	8.1	495
30	395343	KK71410052	Schreiende Brunnen	74	6.4	269
31	395434	KK71340012	Blaue Quelle	735	8.0	568
32	395418	KK71250052	Katzensteigquelle	147	7.7	391
33	395350	KK71250172	Stubbachquelle	86	6.7	252
34	395327	KK71250072	Schwarzlackenquelle	228	4.8	295
35	395368	KK71230022	Schwarzbach - Moosquelle	90	3.8	193
36	395400	KK71130022	Lehnbachquellen	58	5.6	223
37	395749	KK80211152	Goldbachquelle	58	5.3	198
38	395731	KK80411252	Gerstenbödenquelle	35	5.7	194
39	395095		Geyerquelle	16	5.9	26
40	395764	KK80228152	Riezlern Aubachquelle	895	5.2	199

Einzugsgebiete, die während der letzten 30 – 40 Jahre keine oder minimale Änderungen erfahren haben. Ungefähr 240.000 on-line Messungen und 11.500 physikalisch-chemische Analysen wurden auf Trends hin analysiert und mit Trendentwicklungen an meteorologischen Stationen nahe der Quelleinzugsgebiete verglichen. Um die Höhe der Einzugsgebiete einzuschätzen und den Bezug zur Paläoklimatologie zu gewährleisten wurden die vorhandenen  $\delta^{18}\text{O}$ -Messungen der Quellwässer und Niederschlagsstationen der Österreichischen Isotopenkarte (Kralik et al. 2015a) ausgewertet.

### **Niederschlags- und Oberflächengewässermessnetz für Isotopen (ANIP)**

In Österreich wurden seit über 45 Jahren Monatsmischproben von mehr als 30 über ganz Österreich verteilten Niederschlagsstationen gesammelt und analysiert (**Isotopenmessnetz „ANIP“**; ANIP 2019). Die Daten dieser Stationen liefern die sogenannten „Input-Werte“ ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) und bieten unter anderem auch die Voraussetzung für Altersberechnungen der Mittleren Verweilzeit (MVZ) des Grundwassers. Überdies gibt es seit 2015 eine Karte (**Wasserisotopenkarte Österreichs**) samt Werten eines großen Teils in Österreich erhobener  $^{18}\text{O}$ -,  $^2\text{H}$ - und  $^3\text{H}$ -Daten (Kralik et al. 2015a,b).

### **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Vierzig Quellen wurden zur Trendanalyse über 20 Jahren (1993 -2013) ausgewählt. Neunundzwanzig (74%) der ausgewählten Quellen zeigen einen signifikanten mittleren Anstieg in der Quellwassertemperatur von 0,34 °C mit einem Schwankungsbereich von 0,06 bis 1,03 °C. Dieser Anstieg ist nur die Hälfte der Temperaturanstiege in meteorologischen Stationen und in Oberflächengewässern in der Nähe der Einzugsgebiete der untersuchten Quellen. Die elektrische Leitfähigkeit der Quellwässer zeigt in 22 (56%) der untersuchten Quellen im Mittel einen signifikanten linearen Anstieg um 4.6% und der gelöste Sauerstoff sinkt in 23 (66%) der untersuchten Quellen im selben Zeitraum um 9%. Die Quellschüttung bleibt jedoch über diese 20 Jahre in den meisten Quellen konstant.

Die Ursachen und das Ausmaß der Temperaturanstiege, der Anstiege an gelösten Stoffen und das Sinken der gelösten Sauerstoffgehaltes bzw. die Auswirkungen auf die Qualität der Quellwässer wird diskutiert

### **Literatur**

ANIP – Austrian Network of Isotopes in Precipitation (2019): Österreichisches Netzwerk für Isotopen ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) in Niederschlägen und Oberflächengewässern. BMLFUW, Ämter d. Landesregierungen, AIT und Umweltbundesamt, Wien. Homepage des Umweltbundesamtes > Umweltsituation > Wasser > Isotope > Isotopenmessnetz ANIP –

Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (<https://wasser.umweltbundesamt.at/h2odb/fivestep/abfrageQdPublic.xhtml>)

Ehyd – Hydrographische Daten (2019): Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus; Abteilung - Wasserhaushalt (HZB). (<https://ehyd.gv.at/>)

Kralik, M., Benischke, R., Leis, A., Heiss, G., Wyhlidal, S., Grath, J., Hadrbolec, M., Zieritz, I. & Philippitsch, R. (2015a): Wasserisotopenkarte Österreichs (Internetversion). <https://secure.umweltbundesamt.at/webgis-portal/isotopen/map.xhtml>

Kralik, M., Benischke, R., Wyhlidal, S. & Philippitsch, R. (2015b): Erläuterungen zur Wasserisotopenkarte Österreichs: Der Niederschlags-, Oberflächenwasser-, Grundwasser- und Tiefengrundwasserstationen. 30 S., Bericht d. Bundesministerium f. Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. <http://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasserqualitaet/wasserisotopen.html>