



Grundlagenerhebung der Sauerlinge in der östlichen Steiermark

Bericht

Michael Gostencnik, Gerfried Winkler

Institut für Erdwissenschaften, NAWI-Graz Geozentrum
Bereich Hydrogeologie
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 26, A-8010 Graz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Probenahmepunkte	4
3.	Probenahme.....	6
4.	Methoden	8
5.	Ergebnisse	10
6.	Diskussion.....	16
7.	Schlussfolgerungen.....	20
8.	Literatur:.....	22

Anhang:

Datenblätter der Säuerlinge

1. Einleitung

In der Steiermark sind mehrere Sauerwasservorkommen unterschiedlicher Genesen bekannt (Zetinigg, 1993; Zötl & Goldbrunner, 1993; Thurner, 1965). Grund für die Untersuchung einiger dieser Sauerlinge ist das Regionalprogramm zur Sicherung der Qualität und Quantität des ost- und weststeirischen Tiefengrundwassers, das eine Anpassung an den Stand der Technik von Anlagen, die Tiefengrundwasser erschließen, vorsieht (LGBl. Nr. 76/2017). Wesentliche Grundlagen für eine Bewertung der Tiefengrundwässer ist die Kenntnis über die hydrogeologischen Gegebenheiten sowie die Herkunft des CO₂ Gases.

In einer unveröffentlichten Studie von Poltnig et al. (2000), wurden bereits mehrere Sauerlinge in der Steiermark und Kärnten untersucht. In der gegenständlichen Studie werden diese Untersuchungen an 4 Sauerlingen der Steiermark fortgeführt.

Das Ziel der gegenständlichen Studie ist, die Sauerwasservorkommen, die in der Nähe von zwei unterschiedlichen geologischen Gegebenheiten austreten, zu erfassen und hydrogeologisch zu charakterisieren. Es sollen hydrogeologische Grundlagen erarbeitet werden, die (i) auf die Herkunft des Quellgases CO₂ der Sauerlinge rückschließen lassen. Diese Kenntnisse stellen eine wesentliche Grundlage für (ii) die Beurteilung dar, ob es sich bei den Sauerwasservorkommen in der Oststeiermark um etwas „Besonderes“ handelt und diese somit „schützenswert“ sind oder nicht bzw. (iii) ob diese problemlos (wieder) erschrotet werden können.

Das eine Untersuchungsgebiet ist geologisch durch neogene Vulkanite geprägt und umfasst die Region um Klapping südlich von St. Anna am Aigen (südöstlich des Stradnerkogels), und das zweite Untersuchungsgebiet den Bereich des nördlichen Stanzertals (zwischen Mürztal und Fischbach), das entlang eines tiefgreifenden Störungssystems verläuft.

2. Probenahmepunkte

Im Steirischen Becken - zumeist in der Nähe von neogenen Vulkaniten und entlang großer Störungssysteme (tlw. Deckengrenzen) - sind zahlreiche Säuerlinge in der Steiermark bekannt. Einige der steirischen Säuerlinge wurden bereits in der Studie von Poltnig et al. (2000) untersucht. Für die gegenständliche Studie wurden vier Säuerlinge im Osten der Steiermark für eine Probenahme ausgewählt (siehe Datenblätter). Zwei dieser Säuerlinge befinden sich an der Nordseite der Fischbacher Alpen, im Kontaktbereich der Exenbergdecke, Stuhleck-Kirchberg-Decke (beide Koralpe-Wölz-Deckensystem, KWD) und Mugl-Rennfeldzug (Silvretta-Seckau-Deckensystem, SSD). Die tektonische Zuordnung wurde von Schuster (2015) und Schuster & Novotny (2015) übernommen und entspricht in diesem Bereich der vormaligen Deckengrenze zwischen Mittelostalpin und Unterostalpin (Tollmann, 1963). Ausgewählt wurden der **Säuerling Jasnitz (JAS)** und der **Säuerling von Stanz (SST)** beide werden detailliert von Zetinigg (2017) beschrieben.

Die anderen beiden Probenahmestellen befinden sich im oststeirischen Becken, südwestlich des Stradner Kogels, in Klapping. Hier wurden die **Brodelsulz (BRO)** und der **Säuerling Klapping (SK)** ausgewählt (beide beschrieben in Zetinigg, 1993), die in der Nähe der jüngsten Vulkanite des Steirischen Beckens austreten. Die im Folgenden angegebenen Koordinaten für die beprobten Säuerlinge stammen aus der Austrian Map online mit dem Referenzsystem ETRS89 (austrianmap.at, 2019).

Säuerlinge nahe der Deckengrenze Koralpe-Wölz-Deckensystem und Silvretta-Seckau-Deckensystem

Die Deckengrenze zwischen KWD und SSD in den Fischbacher Alpen verläuft im Stanzertal von Westnordwesten nach Ostsüdosten (Schuster, 2015, Schuster & Novotny, 2015). Westlich, zwischen Jasnitz und Allerheiligen, ist die Exenberg-Serie (KWD) aufgeschlossen. Die Lithologie der Umgebung ist geprägt von metamorphen Silikatgesteinen. Unterbrochen werden diese von einem Triasstreifen des Semmeringmesozoikums, der von Edelsdorf nach Stanz reicht (Zetinigg, 2017).

Säuerling Jasnitz (JAS):

Koordinaten: Geographische Länge 15° 24' 54", Geographische Breite 47° 28' 20"

Der Säuerling ist als Brunnen gefasst und tritt aus den quartären Sedimentgesteinen aus, die über der Exenberg-Serie abgelagert wurden. Die Gesteine der Exenberg-Serie setzen sich aus dunklen phyllitischen Glimmerschiefern und Marmor zusammen. Das vermutete

orographische Einzugsgebiet besteht aus Gesteinen des Angerkristallins, welches ebenfalls aus phyllitischem Glimmerschiefer aufgebaut ist (Schuster, 2015). Details können dem angefügten Stammdatenblatt (Anhang) entnommen werden.

Säuerling von Stanz (SST):

Koordinaten: Geographische Länge 15° 29' 27", Geographische Breite 47° 28' 20"

Der Quellaustritt des Säuerlings in der Stanz erfolgt aus der quartären Füllung des Stanzertals. Der Einfluss der Gipslagerstätte von Edelsdorf in der Nähe ist signifikant für die chemische Zusammensetzung des Säuerlings (Zetinigg, 2017). Diese Lagerstätte ist Teil des Triasstreifens im Semmeringmesozoikum.

Säuerlinge südöstlich des Stradnerkogels

Der ca. 4,5 km nordwestlich der beiden Säuerlinge gelegene Stradner Kogel wurde in der jüngsten Phase des Oststeirischen Vulkanismus gebildet. Zeitlich ist dieses Ereignis dem Pliozän bis Pleistozän zuzuordnen. Der jüngste Vulkanismus, zu dem die Lavadecke von Hochstraden mit den Stradner Kogel als markanteste Erhebung gehört, ist basaltisch und Na-betont (Nephelinite) (Ebner & Sachsenhofer, 1991). Die Nephelinite des Stradnerkogels dürften unter sehr geringer Aufschmelzung in beträchtlicher Tiefe im oberen Mantel bei hohem Druck gebildet worden sein (Embey-Isztin et al., 1985 in Ebner & Sachsenhofer, 1991).

Säuerling Klapping (SK):

Koordinaten: Geographische Länge 15° 58' 15", Geographische Breite 46° 48' 41"

Die Fassung des Säuerlings befindet sich am Talboden des Pleschbachtals, dessen hangendste Gesteinseinheit quartäre alluviale Sedimente des Pleschbaches sind (wahrscheinlich vorwiegend umgelagerte Sande, Schluffe und Schotter aus dem Sarmat). In der geologischen Karte ist zudem in diesem Bereich Leithakalk (Baden) eingezeichnet, was darauf schließen lässt, dass der Säuerling aus diesem austritt. Die geologischen Befunde einer aktuellen Bohrung in diesem Bereich zeigt jedoch, dass der Säuerling höchstwahrscheinlich aus den Gesteinsschichten des Sarmat austritt. Die exakte geologische Zuordnung ist somit noch nicht ganz geklärt. Am nordwestlich angrenzenden Hügel, der vom Schulenwald bedeckt wird, ist pliozäner Basalt aufgeschlossen, der die miozänen Sedimentschichten durchdrungen hat. Die Abkürzung SK für den Säuerling wurde von Poltnig et al. (2000) übernommen.

Brodelsulz (BRO):

Koordinaten: Geographische Länge 15° 57' 22“, Geographische Breite 46° 48' 42“

Die Brodelsulz tritt innerhalb miozäner Sedimente aus, die vermutlich im Sarmat abgelagert wurden. Nördlich der Austrittsstelle, ca. 800 m entfernt, stehen im Schulenwald pliozäne Basalte des jüngsten Vulkanismus an.

3. Probenahme

Im Zuge der Probenahme wurden Vor-Ort-Parameter gemessen und für die verschiedenen hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen unterschiedliche Probengefäße verwendet. Im Anschluss wird eine Übersicht über die verwendeten Messinstrumente der Vor-Ort-Parameter sowie der Probenahmegefäße und -ausrüstung gegeben:

- Die Messungen der Vor-Ort-Parameter *elektrische Leitfähigkeit (EC)*, *pH-Wert*, *gelöster Sauerstoff (O₂, absolute Konzentration und prozentuelle Sättigung, SI O₂)* und *Wassertemperatur (WT)* erfolgten mit einem Messgerät Multi 3420 der Firma WTW.
- Die Proben für die Tritium (³H) Messungen wurden in 1L PE-Flaschen abgefüllt. Als weitere Probengefäße wurden 100 ml PE-Flaschen für Sauerstoff- und Wasserstoff-Isotopie ($\delta^{18}\text{O}$ bzw. $\delta^2\text{H}$), 250 ml Borsilikat-Flaschen für stabile Kohlenstoff Isotope ($\delta^{13}\text{C}$) und 1L PE-Flaschen für radiogene Kohlenstoff Isotope (¹⁴C) herangezogen.
- Die Probenahme für Heliumisotopenmessung ($\delta^3\text{He}$) erfolgte mittels einer Spezialprobenahmeapparatur. Hierfür wurden 1 m lange Kupferrohre (Durchmesser ca. 1 cm), die auf einer Metallschiene montiert waren, befüllt und mittels Metallklemme an beiden Enden komplett luftdicht verschlossen. Die Spezialkonstruktion ist nötig, um die Wasserprobe gänzlich von Lufteinschlüssen zu trennen und das Verflüchtigen der im Wasser gelösten Gase zu verhindern.

Im Folgenden werden die Bedingungen vor Ort bei der Entnahme der Proben beschrieben:

- **Säuerling Jasnitz (JAS):** Der Säuerling ist in einem betonierten Schacht gefasst, der mit einem Stahldeckel verschlossen und damit unzugänglich war. Von dort wird das Wasser in freiem Gefälle zu einem ca. 20 m entfernten Auslaufbrunnen geleitet, der nicht drosselbar ist. Direkt am Brunnen wurde das Wasser mittels Hahnentnahme beprobt.

- **Säuerling von Stanz (SST):** Der Säuerling wurde bereits vor 1914 als Quelle in einem 7 m tiefen Schacht (Holzzimmerung) gefasst. Heute liegt der Säuerling als Tümpel mit ca. 4 m Durchmesser und ohne oberirdischen Abfluss vor. Der Tümpel ist mit Stacheldraht eingezäunt und am Rand mit Moos, Gras und Buschwerk bewachsen. Von der in Zetinigg (2017) beschriebenen Fassung ist nichts zu sehen. Die Beprobung wurde nahe des Tümpelzentrums durchgeführt. Zum Zeitpunkt der Probenahme waren Exhalationen von CO₂-Gas (aufsteigende Luftblasen) im Tümpel ersichtlich.
- **Säuerling Klapping (SK):** Am nördlichen Rand eines Sportplatzes befindet sich die Betonfassung des Säuerlings Klapping mit nicht drosselbarem Überlauf. Der Arteser wurde brunnenartig gefasst, der Brunnenmantel wurde ca. 40 cm über Geländeoberkante hochgezogen, der Brunnen selbst weist einen Durchmesser von 2 m und eine Tiefe von 3-4 m auf. Die Probenahme wurde direkt in der Fassung und nicht am Überlauf durchgeführt.
- **Brodelsulz (BRO):** Die Brodelsulz als kleine Quelle liegt an einem Bachlauf, der am Tag der Beprobung ausgetrocknet war. Zur Zeit der Probenahme waren CO₂-Exhalationen an der Quelle deutlich ersichtlich. Die Entnahme des Wassers gestaltete sich als schwierig, da die Austrittsmenge stark begrenzt war. Zusätzlich waren die Proben durch starke Trübung (Schlamm-Wasser-Gemisch) beeinträchtigt.

4. Methoden

Die Feldparameter Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und der gelöste Sauerstoff als absolute Konzentration sowie als prozentuelle Sättigung wurden im Gelände gemessen. Zur Ermittlung oben genannter Parameter wurde ein WTW Multi 3420 verwendet. Die Kalibration der pH-Sonde wurde direkt vor der Messung im Gelände durchgeführt. Die Messung der Alkalinität erfolgte am Tag nach der Probenahme mit einem Schott TA20plus Titrator und 10 mM HCl.

Die Konzentrationen der Hauptanionen und -kationen sowie Komplexe wurden mit Ionenchromatographie (IC) bestimmt. Zur Stabilisierung der gelösten chemischen Elemente in den Wässern und zur Verhinderung von Mineralausfällungen wurden die 50 mL Probefläschchen mit 1 mL HNO₃ versehen. Die Analyse der Konzentration der chemischen Elemente erfolgte methodisch durch die optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (Inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES, Gerät: Optima 8300 DV ICP-OES). Um die Signalstärke der Messungen (gemessen in Volt) in Konzentrationen umrechnen zu können, werden Standards mit bekannter Zusammensetzung verwendet. Die Standards für die Kalibration sind NIST 1640a und Meerwasser (SW2) mit einer Messgenauigkeit von $\leq \pm 5\%$. Für die Modellierung der Mineralphasen aus den Daten und die Berechnung von Sättigungsindices wichtiger Minerale diente die Software PhreeqC v3.5 (Parkhurst & Appelo, 2013).

Ein weiterer wichtiger Untersuchungsschritt zur hydrogeologischen Charakterisierung der Säuerlinge sind isotopenhydrologische Analysen. Die Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 der Säuerlingwässer wurden von der Firma JR-Aquaconsol GmbH mit einem WS-CRDS (Picarro L2120-I) gemessen. Die Ergebnisse liegen als Delta-Notation zum Standard VSMOW (Vienna-Standard Mean Ocean Water) vor. Die Proben für das stabile Kohlenstoff-13 Isotop wurde in gasdichten Borsilikat-Flaschen abgefüllt, um einen Austausch mit der Atmosphäre zu verhindern, und wurden am Forschungszentrum für Astronomie und Geowissenschaften in Budapest gemessen. Die Analysen wurden mit dem Massenspektrometer Thermo Finnigan Delta Plus XP vorgenommen. Die Messergebnisse werden in Delta-Notation zum üblichen Standard VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) angegeben. Die Proben für Helium-3 und Tritium wurden in der Abteilung Ozeanographie am IUP Bremen gemessen. Dort wurden die Proben mittels eines Sektorfeld Massenspektrometers (MAP 215-50) analysiert.

Für weitere Berechnungen und Interpretationen wurden folgende Gleichungen verwendet:

$$(1) \quad \delta^{13}C_{Gas} = \frac{(\delta^{13}C_{DIC} + 10^3)}{\alpha_{DIC}} - 10^3$$

Formel 1 dient für die Berechnung von ^{13}C im CO_2 -Gas der Säuerlinge (Dietzel et al., 1997).

$$(2) \quad \alpha_{DIC} = \frac{^{13}R_{DIC}}{^{13}R_{CO_2(Gas)}} = x_f * \alpha_f + x_b * \alpha_b + x_c * \alpha_c$$

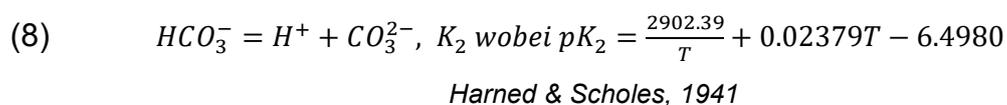
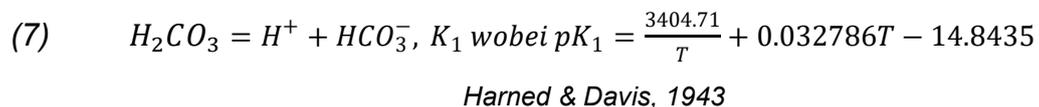
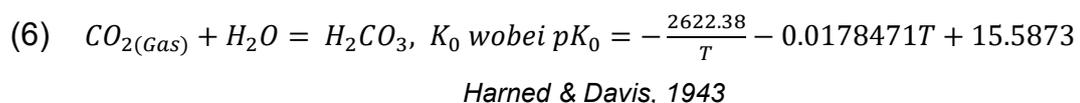
Formel 2 wird dazu genutzt, um die Isotopenfraktionierung des anorganischen Kohlenstoffs zu berechnen (Dietzel et al., 1997), wobei x_f , x_b und x_c die Anteile der Karbonatphasen am gesamten anorganischen Kohlenstoff (DIC) sind. α_f , α_b und α_c stellen die zugehörigen Fraktionierungsfaktoren dar.

$$(3) \quad x_f = \frac{[H_2CO_3]}{\Sigma C} = \left[1 + \frac{K_1}{[H^+]} + \frac{K_1 * K_2}{[H^+]^2} \right]^{-1}$$

$$(4) \quad x_b = \frac{[HCO_3^-]}{\Sigma C} = \left[1 + \frac{[H^+]}{K_1} + \frac{K_2}{[H^+]} \right]^{-1}$$

$$(5) \quad x_c = \frac{[CO_3^{2-}]}{\Sigma C} = \left[1 + \frac{[H^+]}{K_2} + \frac{[H^+]^2}{K_1 + K_2} \right]^{-1}$$

Mit den Formeln 3 bis 5 können die Molproportionen der Karbonatspezies berechnet werden in einer hypothetisch unendlich verdünnten Lösung (Dietzel & Kirchhoff, 2003). In den folgenden Formeln 6 bis 8 werden die zugehörigen Reaktionen beschrieben:



$$(9) \quad R/R_a = \frac{{}^3\text{He}/{}^4\text{He}_{\text{Probe}}}{{}^3\text{He}/{}^4\text{He}_{\text{Luft}}}$$

$$(10) \quad \% - \text{Mantel} - \text{He} = \frac{R/R_a \cdot (R_{\text{Luft}} - R_{\text{Kruste}})}{R_{\text{Mantel}} - R_{\text{Kruste}}} * 100$$

Die Formeln 9 und 10 dienen zur Berechnung der Herkunft des Heliumanteils in den Sauerlingen (Ufrecht, 2006).

5. Ergebnisse

Die Messergebnisse der Geländeparameter und die Alkalinität (in Form des Bikarbonat-Gehaltes, HCO_3^-) werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Im Gelände gemessene Parameter der vier Sauerlinge. Die Probenahme wurde am 20.09.2019 bei sonnigem Wetter durchgeführt. EC= elektrische Leitfähigkeit, WT= Wassertemperatur, SI O₂= Sauerstoffsättigung

Probe	JAS	SST	SK	BRO
Ort	Jasnitz	Sauerling in der Stanz	Sauerling Klapping	Brodelsulz
Uhrzeit	11:16	12:25	15:38	16:21
WT [°C]	11.7	11.3	14.6	14.4
pH	5.56	6.25	6.18	6.01
EC [µs/cm]	311	3400	1571	1300
O₂ [mg/l]	5.69	0.98	1.31	0
SI O₂ [%]	55.2	9.5	13.3	0.2
HCO₃ [mg/l]	178	1432	1055	1137

Der pH-Wert liegt bei allen Sauerlingen zwischen 5.55 und 6.25. Die Messwerte von EC zeigen signifikante Unterschiede bezüglich der gelösten Stoffe, der Wertebereich liegt zwischen 311 µs/cm bei JAS und 3400 µs/cm bei SST. EC lässt sich sehr gut mit der Alkalinität (als HCO_3^- angegeben) korrelieren, die Werte zwischen 178 bei JAS und 1432 bei SST aufweist. Der Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung sind nur beim Sauerling JAS mit 5.69 mg/l bzw. 55.2% auf einem hohen Wert, die Sauerstoffsättigung der anderen drei beprobten Sauerlinge liegt zwischen 0.2% und 13.3%.

Die Ergebnisse der Ionenchromatographie zeigen bereits einige chemische Charakteristika der untersuchten Sauerlinge (Tabelle 2). Nicht nur die Werte der Gesamtkonzentration und der elektrischen Leitfähigkeit, sondern auch die Zusammensetzung der Wässer variieren stark und ermöglichen eine Zuordnung der Wässer zu unterschiedlichen Wassertypen.

Die Einteilung der Wassertypen erfolgte mit Hilfe eines Piper-Diagramms (Abbildung 1). So können JAS dem Kalzium-Magnesium-Bikarbonat – Typus, SST dem Kalzium-Bikarbonat-Sulfat -Typus, SK dem Kalzium-Bikarbonat – Typus und BRO dem Kalzium-Bikarbonat – Typus zugeordnet werden.

Tabelle 2: Die gemessenen Ionenchromatographie (IC) Ergebnisse der Hauptanionen und -kationen.

Probe	JAS	SST	SK	BRO
Na [mg/l]	4.63	48.05	12.99	2.18
NH ₄ [mg/l]	<0.5	<0.5	<0.5	20.77
K [mg/l]	0.85	6.93	1.64	8.81
Mg [mg/l]	8.34	88.59	19.14	12.45
Ca [mg/l]	46.31	775.33	333.27	231.30
F [mg/l]	0.14	0.44	0.47	0.21
Cl [mg/l]	1.79	10.61	3.16	3.58
Br [mg/l]	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
NO ₃ [mg/l]	4.44	<0.25	<0.25	<0.25
SO ₄ [mg/l]	9.13	1219.67	74.70	4.38
PO ₄ [mg/l]	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

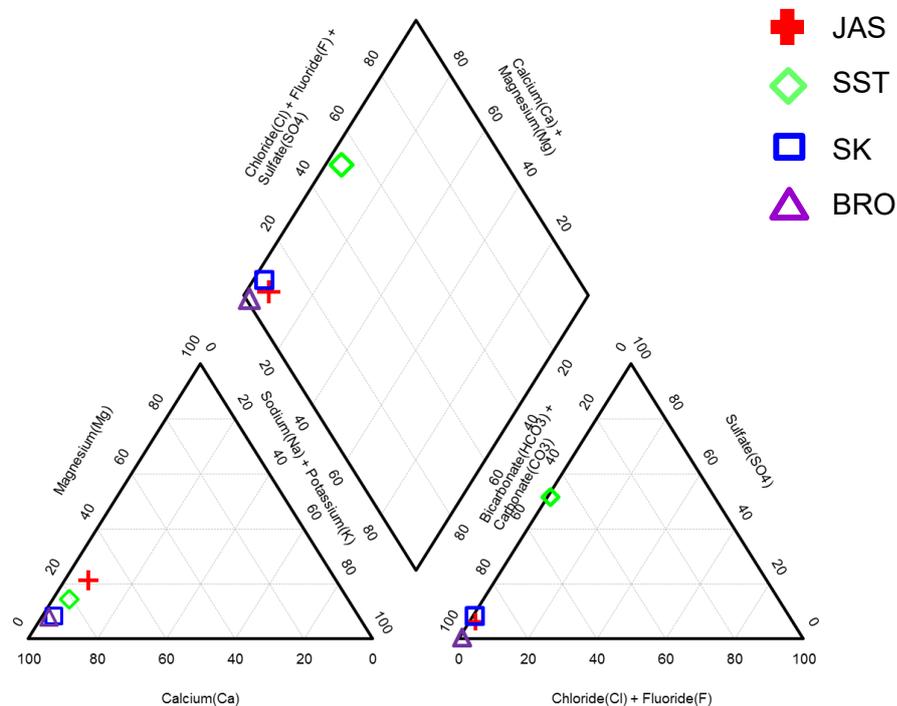


Abbildung 1: Piper Diagramm der beprobten Säuerlinge. Folgende Wassertypen ergeben sich daraus: JAS: Kalzium-Magnesium-Bikarbonat – Typus (Ca-Mg- HCO₃⁻); SST: Kalzium-Bikarbonat-Sulfat -Typus (Ca- HCO₃⁻-SO₄²⁻); SK: Kalzium-Bikarbonat – Typus (Ca- HCO₃⁻); BRO: Kalzium-Bikarbonat – Typus (Ca- HCO₃⁻)

In den Ergebnissen der ICP-OES Messungen zeigen sich weitere Besonderheiten (Tabelle 3). Die Metalle Aluminium, Barium, Eisen, Mangan und Strontium sind in hohen Konzentrationen vorhanden.

Tabelle 3: Elementkonzentrationen der Säuerlinge, gemessen mittels optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).

Probe	JAS	SST	SK	BRO
Ag [µg/l]	5	< 1	< 1	< 1
Al [µg/l]	52	315	216	8134
B [mg/l]	0	0	0	< 0.003
Ba [µg/l]	20	16	37	497
Bi [µg/l]	12	43	65	73
Ca [mg/l]	47	780	346	245
Cd [µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5
Co [µg/l]	< 1	< 1	< 1	10
Cr [µg/l]	< 1	3	3	24
Cu [µg/l]	< 1	< 1	< 1	56
Fe [µg/l]	6	3163	2672	199601
Ga [µg/l]	< 5	< 5	< 5	44
In [µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5
K [mg/l]	1	7	2	9
Li [µg/l]	4	181	41	3
Mg [mg/l]	8	84	20	13
Mn [µg/l]	2	693	433	4191
Na [mg/l]	5	49	13	2
Ni [µg/l]	< 5	10	15	45
P [mg/l]	0	0	0	1
Pb [µg/l]	< 5	< 5	< 5	53
Si [mg/l]	13	8	11	17
Sr [µg/l]	120	15994	802	401
Ti [µg/l]	< 5	< 5	< 5	< 5
Zn [µg/l]	< 1	< 1	< 1	75
As [µg/l]	10	151	< 5	< 5
S [mg/l]	4	393	28	3

Die Sättigung einiger relevanter Minerale in den Sauerwässern spiegelt die chemische Umgebung im Grundwasserleiter wider. Dabei werden neben den Konzentrationen der Inhaltsstoffe auch Parameter wie der pH-Wert und die Temperatur mitberücksichtigt.

JAS zeigt eine Untersättigung der meisten Mineralphasen, eine Übersättigung zeigt sich nur bei Kaolinit und Quarz (Tabelle 4).

Tabelle 4: Sättigungsindices von CO₂ (g) und ausgewählter Minerale in den Säuerlingen, berechnet mit PhreeqC v3.5 (Parkhurst & Appelo, 2013). Zusätzliche Sättigungen (Diaspor, Strontianit, Witherit, Coelestin) sind aufgrund des hohen Sulfat-, Barium- und Strontiumgehaltes für SST angegeben.

Probe	JAS	SST	SK	BRO
CO ₂ (g)	-0.39	-0.27	-0.27	-0.09
Alunit		4.58		
Barit		0.41		
Kalzit	-2.13	0.23	-0.07	-0.38
Gibbsit	-0.25	1.73	1.51	3.47
Gips	-2.67	-0.07	-1.33	
Kaolinit	1.65	5.21	4.98	9.25
Quarz	0.51	0.31	0.41	0.59
Siderit				1.07
Goethit	-0.79	3.49	3.66	5.01
Diaspor		3.08		
Strontianit		-0.91		
Witherit		-4.65		
Coelestin		-0.05		

Die hydrochemische Zusammensetzung des Wassers von SST unterscheidet sich deutlich von der von JAS. Das Sauerwasser ist mit Alunit, Barit und Kalzit, Kaolinit, Quarz, Goethit und Diaspor übersättigt (Tabelle 4). Das Strontiumsulfat Coelestin ist nahezu gesättigt. Die Übersättigung der Mineralphasen spiegelt die bereits vorab angeführten hohen EC-Werte sowie gelösten Hauptanionen und -kationen sowie der Metalle Aluminium, Lithium und Mangan wider (Tabelle 1, 2, 3).

Der Säuerling Klapping (SK) zeigt eine Untersättigung bei den Mineralphasen Kalzit und Gips. Kalzit ist leicht untersättigt und die Metallgehalte sind aufgrund des fehlenden Sauerstoffes (Tabelle 1) erhöht, was zu einer Übersättigung von Gibbsit und Goethit führt.

Die Brodelsulz (BRO) ist durch sehr hohe gelöste Metallgehalte mit mehr als 8 mg/l Aluminium, 200 mg/l Eisen und 4 mg/l Mangan gekennzeichnet. Dies führt dazu, dass Siderit, das am stärksten übersättigte Karbonat in der Lösung ist. Auch Metalloxide und -hydroxide wie Goethit und Gibbsit sind stark übersättigt.

Die Ergebnisse der stabilen Isotope $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ werden in Tabelle 5 und den Abbildungen 2 und 3 gezeigt. Die Werte von $\delta^2\text{H}$ liegen für die Säuerlinge JAS, SST und SK im Bereich von -61.92‰ bis -72.45‰, nur das Wasser von BRO zeigt mit -27.09‰ eine deutliche Abweichung von der globalen meteorischen Wasserlinie (GMWL) (Abbildung 2). BRO zeigt auch bei $\delta^{18}\text{O}$ mit -7.74‰ die höchste Anreicherung von ^{18}O und liegt entsprechend

von der GMWL entfernt (Abbildung 2). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Wässer variieren zwischen -1.35‰ bis -4.40‰ .

Tabelle 5: Ergebnisse der stabilen Isotopie für $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^{13}\text{C}$ aller vier Sauerlinge mit den Standards VSMOW für $\delta^2\text{H}$ und $\delta^{18}\text{O}$ und VPDB für $\delta^{13}\text{C}$. Der Fehler für die $\delta^2\text{H}$ -Messung liegt bei $\pm 0.8\text{‰}$, für $\delta^{18}\text{O}$ bei $\pm 0.1\text{‰}$ und für $\delta^{13}\text{C}$ bei $\pm 0.1\text{‰}$.

Probe	JAS	SST	SK	BRO
$\delta^2\text{H}$ (VSMOW)	-61.92	-72.45	-68.14	-27.09
$\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW)	-8.86	-10.21	-9.85	-7.74
$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)	-4.40	-1.35	-2.04	-1.54
$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2 \text{ Gas}}$ (VPDB)	-4.52	-4.40	-4.83	-3.42

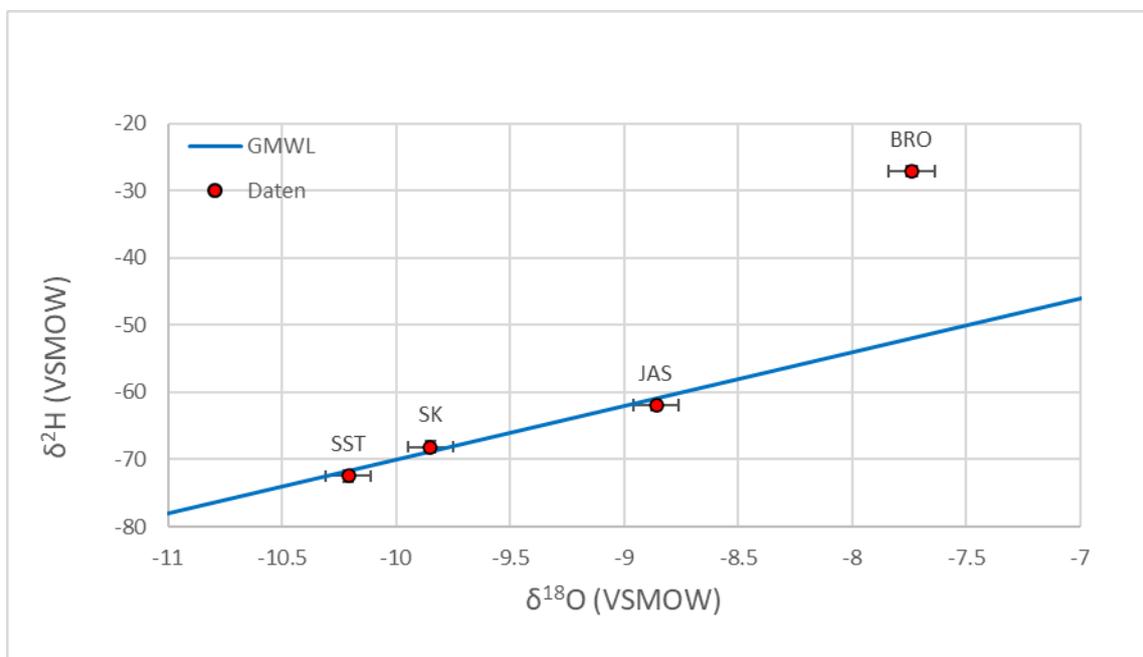


Abbildung 2: Die globale meteorische Wasserlinie zeigt Niederschlagswässer und Prozesse, denen diese unterliegen auf (Craig, 1961). Sie ist definiert als $\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10$.

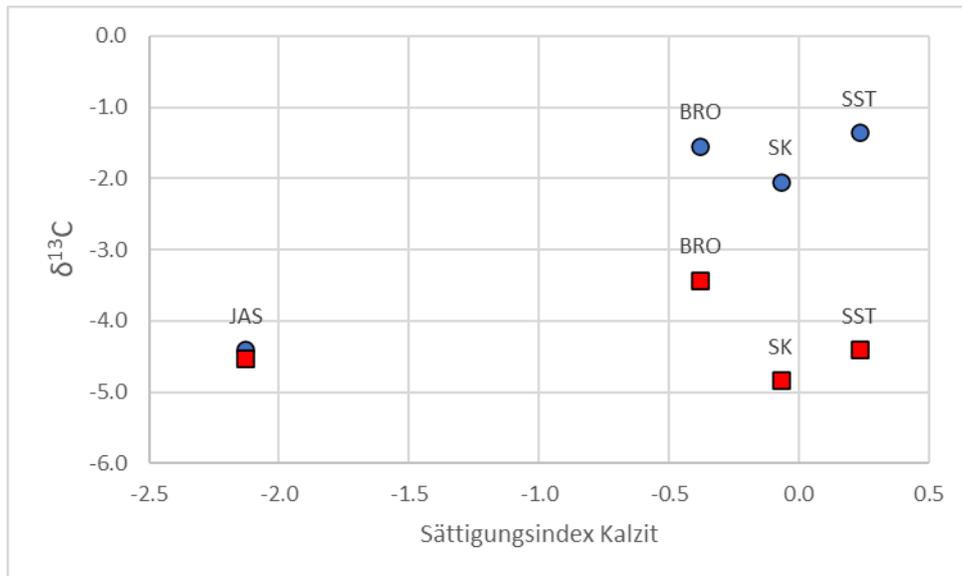


Abbildung 3: $\delta^{13}\text{C}$ als Funktion vom Sättigungsindex von Kalzit. Die blauen Kreise zeigen den gesamten gelösten anorganischen Kohlenstoff und die roten Quadrate das im Wasser gelöste CO_2 -Gas.

Über die bekannten Reaktionen des Karbonatsystems lässt sich die Signatur des CO_2 -Gases herleiten. Dazu werden über die Gleichungen 6 bis 8 die Verteilungskoeffizienten mithilfe der Temperatur errechnet. Aus den Verteilungskoeffizienten und dem pH-Wert resultieren basierend auf den Gleichungen 3 bis 5 die Verteilung der Karbonatspezies im Wasser. Diese sowie die zugehörigen Fraktionierungsfaktoren $\alpha_f=0.9989$, $\alpha_b=1.0097$ und $\alpha_c=1.0091$ werden wiederum in Gleichung 2 eingesetzt (Dietzel et al., 1997). Das Resultat, α_{DIC} , zeigt nun die Fraktionierung des Gesamtkohlenstoffs gegenüber dem Gas. Diese ist unterschiedlich groß für alle vier Sauerlinge mit: 1.00012 für JAS, 1.00306 für SST, 1.00281 für SK und 1.00188 für BRO. Mit Gleichung 1 wird der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert berechnet und ergibt: -4.52 für JAS, -4.40 für SST, -4.83 für SK und -3.42 für BRO (Abbildung 3).

Die Messungen der Edelgase (He, Ne) wurden für die Wässer aller vier Sauerlinge durchgeführt, um die Herkunft der Gasanteile, insbesondere des CO_2 -Gases, in den Sauerwässern bestimmen zu können. Eine Übersicht der Ergebnisse zeigt Tabelle 6. Die Ne/He-Verhältnisse liegen alle deutlich unter dem atmosphärischen Wert von 4.343.

Zudem wurden die Tritiumgehalte aller vier Sauerlinge bestimmt (Tabelle 6), um das relative Alter des jeweiligen Grundwassers zu bestimmen. Die Sauerwasservorkommen zeigen mit 0.45 bis 9.62 Tritiumeinheiten (TU) eine starke Streuung der Tritium-Werte. Exakte Berechnungen der Alterswerte waren nicht möglich, da die vorliegenden He^3/He^4 -Werte zu stark von nicht-tritiogenem Helium (aus der Atmosphäre, siehe Ergebnisse von Ne) beeinflusst wurden. In Abbildung 4 wurde daher über das radioaktive Zerfallsgesetz die Konzentration rückgerechnet und mit dem Wert des Niederschlags verglichen.

Tabelle 6: Die gemessenen He^3/He^4 -Verhältnisse mit den zugehörigen Ne/He -Verhältnissen, sowie die Konzentrationen des radioaktiven Tritiums im Wasser. R/Ra unter Annahme von $\text{Ra} = 1.38\text{E}-6$ (Kipfer, 1991)

Probe	JAS	SST	SK	BRO
He^3/He^4	1.78E-07	7.17E-08	7.90E-06	7.23E-06
Ne/He	0.32	0.09	0.1	0.13
R/Ra	0.13	0.05	5.72	5.24
He Mantelanteil	2.20%	0.89%	97.84%	89.55%
Tritium [TU]	1.84 ± 0.26	1.43 ± 0.17	0.45 ± 0.13	9.62 ± 0.86

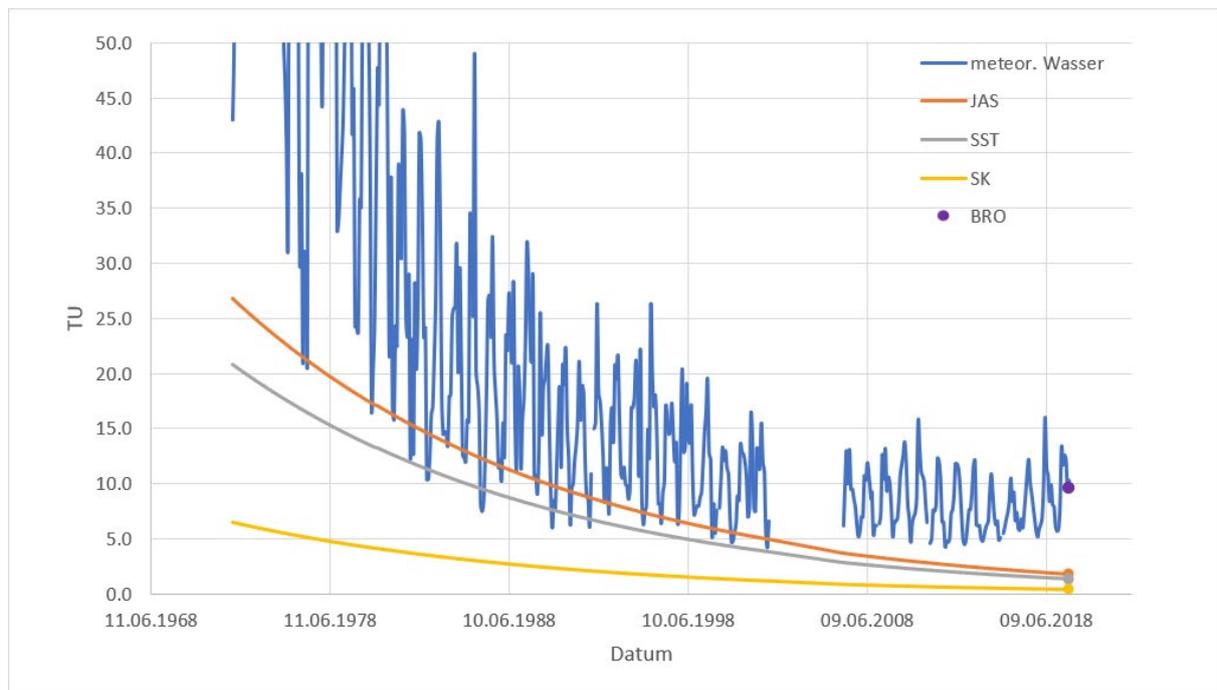


Abbildung 4: Zerfallskurven von Tritium für die Säuerlinge JAS (orange), SST (grau) und SK (gelb) im Vergleich mit meteorischem Wasser (blau). BRO (lila) liegt auf dem rezenten Wert für Niederschlag.

6. Diskussion

Alle vier Säuerlinge wurden bereits in Zetinigg (1993) beschrieben, mit den neuen Analyseergebnissen besteht nun aber die Möglichkeit, die Genese der Wässer und die Herkunft des CO_2 Gases detaillierter zu erfassen. In einem ersten Schritt können mithilfe der Sättigung einiger Mineralphasen Aussagen über die Genese und damit der Herkunft der Wässer getroffen werden (Tabelle 4). Für alle vier Sauerwässer können unterschiedliche (hydro-) chemische Rahmenbedingungen der durchflossenen Grundwasserleiter (und damit der wasserleitenden Gesteinseinheiten) ausgewiesen werden.

Das Sauerwasser von **JAS** zeigt eine Untersättigung von Kalzit (Tabelle 4), was darauf hinweist, dass es im Grundwasser zu keinem, oder einem nur sehr untergeordneten Kontakt mit Karbonatgesteinen kommt. Somit dürften im Einzugsgebiet kaum Karbonatgesteine vorliegen und das Einzugsgebiet nicht bis zum Schöckelkalk reichen (Datenblatt Säuerling Jasnitz).

Das Wasser von **SST** zeigt eine Sättigung von Gips (Tabelle 4) und hohe Konzentrationen von Strontium und Barium (Tabelle 3), die bis zur Übersättigung vom Bariumsulfat (Baryt) und zur Sättigung vom Strontiumsulfat (Coelestin) führen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass im Einzugsgebiet triassische Gesteine des Semmeringmesozoikums (Rauhwacke, Gips, Marmor; z.B. Bauer, 1967) anstehen und Teile des Grundwasserleiters bilden (Datenblatt Säuerling in der Stanz). Des Weiteren dürfte keine maßgebliche Zumischung anderer Wässer erfolgen, da sonst eine Verdünnung erkennbar wäre (Abweichung von Sättigung).

Das Wasser von **SK** zeigt sein hohes Lösungspotential von Karbonat durch die hohen Konzentrationen von gelöstem Kalzium und Bikarbonat bei gleichzeitig leichter Untersättigung an Kalzit (Tabelle 1, 3, 4). Dies weist auf darauf hin, dass Karbonatgestein (vermutlich Leithakalk von Klapping) im Einzugsgebiet vorliegt (Datenblatt Säuerling von Klapping).

Generell kommt es bei den Säuerlingen SST, SK und BRO durch die Untersättigung von gelöstem Sauerstoff im Wasser zur starken Lösung von Metallen aus dem Gestein des Grundwasserleiters (Tabelle 1, 3). Bei **BRO** ist dies am stärksten ausgeprägt (Tabelle 3). Die Anreicherung von gelöstem Eisen mit 200 mg/l bei BRO führt zur sofortigen Ausfällung von Goethit und anderen Eisenoxiden und -hydroxiden, sobald ein Kontakt zum atmosphärischen Sauerstoff oder einer anderen Sauerstoffquelle vorliegt.

Der Vergleich der stabilen Isotope Deuterium und Sauerstoff-18 der beprobten Sauerwässer mit der globalen meteorischen Wasserlinie (GMWL) ermöglicht eine Aussage, ob es sich um meteorische Wässer handelt (Abbildung 2). Die Wässer der Säuerlinge JAS, SST und SK liegen auf der GMWL und entsprechen daher meteorischen Wässern. Bei Prozessen wie Verdunstung oder Kondensation ändert sich das Isotopenverhältnis im Verhältnis zur GMWL und es kommt zu Abweichungen. Die Brodelsulz zeigt ein solches Verhalten, jedoch so extrem, dass Verdunstung oder Kondensation für eine derartige Abweichung nicht ausreichen. Eine mögliche andere Erklärung der starken Abweichung könnte der Vitaleffekt (Hoefs, 2018) sein. Hierbei handelt es sich um bakterielle Aktivitäten in Wässern ohne gelösten reinen Sauerstoff. Die Bakterien beziehen für ihre Stoffwechsellätigkeiten den Sauerstoff aus Sauerstoffverbindungen (z.B. Eisenoxide, Nitrat, ...) und produzieren in weiterer Folge Methan (CH_4) und Ammonium (NH_4). Methan und Ammonium entziehen dem Wasser vorwiegend

Protium (^1H -Isotop), wodurch es zu einer Anreicherung vom schweren Wasserstoffisotop Deuterium kommt.

Generell zeigen die hohen SI CO_2 aller vier Säuerlinge (Tabelle 4), die den CO_2 -Partialdruckwerten entsprechen ($p\text{CO}_2$ -Wert), dass eine stetige Gasnachlieferung erfolgen muss. Der Kohlenstoff in den Säuerlingen kann aus drei „Quellen“ stammen: Biogenes Boden- CO_2 (Ballestend et al., 1987), geogenes CO_2 -Gas (aus dem Erdinneren), das den Wässern zugemischt wird und gelöste Karbonate als Bikarbonat (Dietzel et al., 1997). Die Menge an in der Bodenzone aufgenommenem CO_2 (biogenes) spielt im Vergleich zum geogenen CO_2 für die gesamte Menge an CO_2 in den beprobten Säuerlingen keine Rolle, da der CO_2 -Partialdruck des geogenen Gases um mehrere Größenordnungen höher ist.

Weitere Informationen zur Herkunft des CO_2 -Gases lassen sich über die stabile Isotopenzusammensetzung des gelösten anorganischen Kohlenstoffs gewinnen, aus dem die $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{Gas})}$ Werte berechnet wurden (Tabelle 5, Abbildung 3). Alle $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2(\text{Gas})}$ Werte liegen mit $-4\text{‰} \pm 1\text{‰}$ nah beieinander und damit im Wertebereich für geogenes CO_2 -Gas (z.B: Allard et al., 1991; Nowak et al., 2015). Das gesamte $\delta^{13}\text{C}$ -Spektrum in der Natur reicht von $+5\text{‰}$ bis -40‰ (Hoefs, 2018). Weitere Hinweise auf den Ursprung des CO_2 -Gases liefert das Isotopensignal des Kohlenstoffs nicht, allerdings besteht über das mitgelieferte Helium (und dessen Isotopenzusammensetzung) im Gas die Möglichkeit, weitere Berechnungen durchzuführen und die geogenen „Quellen“ zu differenzieren.

Dazu wurde das $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnis gemessen (Tabelle 6). Für Helium gibt es keine Delta-Notation wie bei anderen stabilen Isotopen. Weitere Interpretationen sind aber nur möglich, wenn eine Beeinflussung durch die Atmosphäre ausgeschlossen werden kann. Das Ne/He -Verhältnis gibt Auskunft darüber, ob das Wasser der Säuerlinge nach der Anreicherung mit dem CO_2 noch einen Austausch mit der Atmosphäre hatte. Der Wert des Ne/He -Verhältnisses der Atmosphäre liegt bei 4.343, das heißt, mit den gemessenen Verhältnissen von 0.09 bis 0.32 (Tabelle 5) kann ein atmosphärischer Kontakt ausgeschlossen werden. Das He^3/He^4 -Verhältnis der Probe im Vergleich zur Atmosphäre ($=R/R_a$), die Atmosphäre besitzt ein He^3/He^4 von $1.38\text{E}-6$ (Kipfer, 1991), gibt bereits eine Auskunft über die Herkunft, da sich die Isotopensignatur der relevanten Reservoirs deutlich voneinander unterscheidet (Ufrecht, 2006). Es gibt drei relevante Reservoirs: (i) Die Atmosphäre selbst mit $R/R_a=1$, (ii) den Erdmantel mit $R/R_a=8$ bis 10 und (iii) die Erdkruste mit $R/R_a=0.015$ bis 0.03 . JAS mit $R/R_a=0.13$ und SST mit $R/R_a=0.05$ zeigen fast reine Krustensignale in der Heliumherkunft. Anders ist es bei SK mit $R/R_a=5.72$ und BRO mit $R/R_a=5.24$, wo der Anteil des Mantels überwiegt. Auf Basis der Gl. 10 und den bekannten He^3/He^4 -Verhältnis in der Erdkruste ($1.5\text{E}-8$; Ballentine & Burnard, 2002) und im kontinentalen Erdmantel unter Europa ($8\text{E}-6$; Dunai & Baur, 1995)

können in weiterer Folge die prozentualen Mantelanteile von CO₂ in den Säuerlingen berechnet werden. Diese sind für JAS 2.20%, für SST 0.89%, für SK 97.86% und für BRO 89.56%. Die CO₂-Quelle für die Säuerlinge JAS und SST liegt somit in der Erdkruste, und das CO₂ kann am Kontakt zwischen Koralpe-Wölz-Deckensystem und Silvretta-Seckau-Deckensystem aufsteigen. Die CO₂-Quelle für SK und BRO ist eindeutig dem Erdmantel und in Verbindung mit dem oststeirischen Vulkanismus zuzuordnen. Die in Poltnig et al. (2000) untersuchten Säuerlinge werden zusätzlich in Abbildung 5 dargestellt, um die neuen Daten den bereits bekannten Säuerlingen gegenüberstellen zu können. Der Säuerling Johannisbrunn (JB1) und der Säuerling Mariannenquelle (MQ) zeigen ebenfalls Anreicherung von Mantelhelium, wenn auch deutlich geringen im Vergleich zu SK und BRO. Dies bestätigt den jungen Vulkanismus im steirischen Becken als die gemeinsame geologische Rahmenbedingung und CO₂ Quelle der vier Säuerlinge. Interessanterweise stellen die vier beprobten Säuerlinge JAS, SST, SK und BRO jeweils zwei Beispiele für Endglieder der beiden geogenen CO₂ Quellen dar. Dies ist v.a. für weitere künftige Zuordnungen von anderen steirischen Säuerlingen in Bezug auf ihre CO₂ Quelle von Bedeutung, da sie somit als Referenz dienen können.

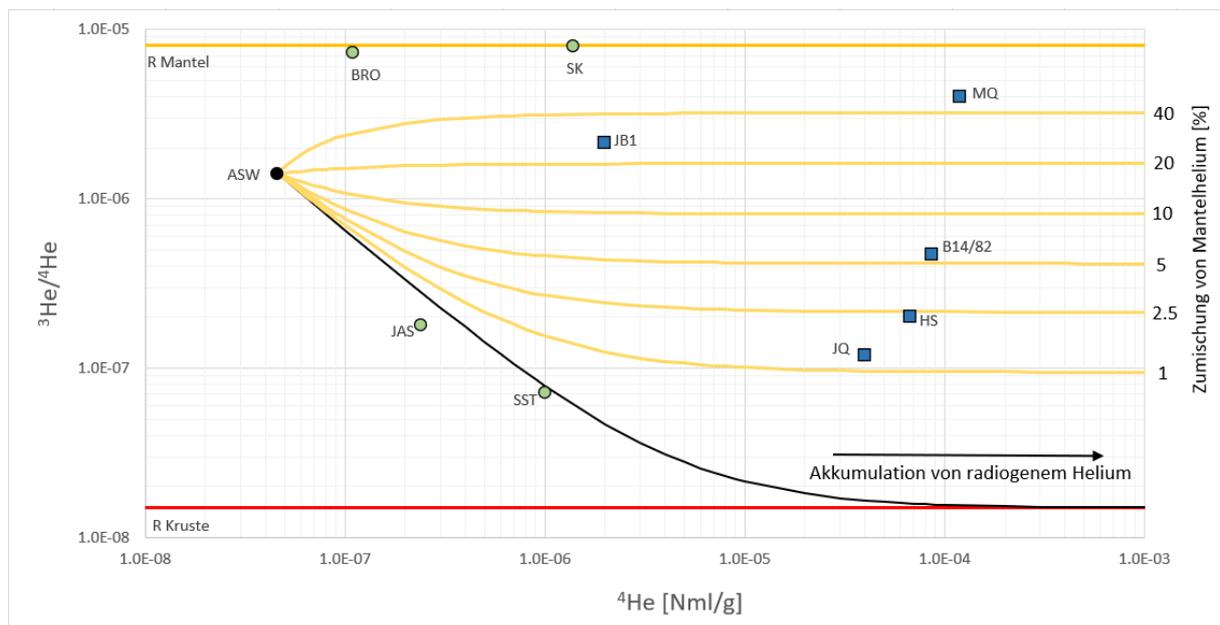


Abbildung 5: Das ³He/⁴He-Verhältnis wird als Funktion vom ⁴He-Gehalt dargestellt (Poltnig et al., 2000). Der schwarze Kreis (ASW) dient als Ausgangspunkt für die folgenden Berechnungen und beschreibt Grundwasser im Gleichgewicht mit der Atmosphäre. Die schwarze Linie zeigt die theoretische Grundwasser Entwicklung bei Akkumulation von radiogenem Helium. Bei Zumischung von Helium aus dem Erdmantel (orange Linien) ändert sich die Entwicklung entsprechend. Die grünen Kreise stellen die aktuell gemessenen Werte der Säuerlinge JAS, SST, SK und BRO dar. Von Poltnig et al. (2000) gemessene Werte sind ebenfalls eingetragen als blaue Quadrate mit den Probennahmepunkten: B14/82-Bad Eisenkappel, JQ-Stainzer Johannesquelle, HS-Hengsberger Säuerling, MQ-Mariannenquelle (Bad Gleichenberg), JB1-Johannisbrunn (Hof bei Straden)

Die Tritiumgehalte erlauben trotz der nicht durchführbaren Altersberechnung einige Rückschlüsse. In Abbildung 4 zeigt sich, dass die Tritiumkonzentrationen der Sauerlinge JAS, SST und SK so niedrig sind, dass Mischwässer aus sehr alten (tritiumfreien) und meteorischen Wässern vorliegen und damit an diesen Stellen höchstwahrscheinlich Tiefengrundwasser austritt. Der Tritiumwert der Brodelsulz entspricht dem rezenten Regenwasser, was die Beschreibung als Mofette von Zetinigg (1993) bestätigt. Das Quellwasser der BRO stammt größtenteils aus einem sehr seicht liegenden Grundwasserleiter, der meteorische Wasser speichert und am Austritt der BRO mit trockenem CO₂-Gas anreichert.

7. Schlussfolgerungen

In der gegenständlichen Studie wurden unterschiedliche Isotopenuntersuchungsmethoden kombiniert, um die Herkunfts- bzw. Bildungsumstände der austretenden Wasser abschätzen und eine Zuordnung und Bestimmung der CO₂-Quelle der Sauerlinge feststellen zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wässer der Sauerlinge Jasnitz (JAS), In der Stanz (SST), Brodelsulz (BRO) und Klapping (SK) meteorischen und somit nicht juvenilen Ursprungs sind. Der Ursprung des in den Sauerlingen auftretenden CO₂ Gases ist bei allen vier vorwiegend geogen. Das CO₂ Gas der beiden Sauerlinge JAS und SST stammt aus der Erdkruste, wohingegen die Sauerlinge BRO und SK das CO₂ Gas aus dem Erdmantel beziehen und somit neben den bisher bekannten Sauerlingen Johannisbrunn (Hof bei Straden) und Mariannenquelle (Bad Gleichenberg) mit dem jungen Vulkanismus des steirischen Beckens in Zusammenhang gebracht werden können. Die vier Sauerlinge stellen für jeweils beide geogenen Herkunftsgruppen (Erdmantel und Erdkruste) „Endglieder“ dar, also Beispiele mit sehr geringen Mischungsverhältnissen, und sind somit ideale Referenzbeispiele, mit denen künftige Daten von Sauerlingen in der Steiermark gut eingestuft werden können. Somit können die vier Sauerwässer als „besonders“ eingestuft werden und sind schützenswert. Drei der Sauerlinge (JAS, SST und SK) wurden bereits in der Vergangenheit gefasst, wobei nur die Fassung des Sauerlings Jasnitz dem Stand der Technik entspricht. Derzeit liegt keine wasserwirtschaftliche Nutzung dieses Sauerlings vor, der ungedrosselte Überlauf am Stockbrunnen dient lediglich „Wasserholern“ als „besondere“ Trinkwasserressource (Zetinigg, 2017). Die Sauerlinge von Jasnitz und In der Stanz traten ursprünglich natürlich aus und wurden erst im Nachhinein gefasst. Eine Drosselung des Überlaufs des Sauerling Jasnitz bzw. die Anpassung an den Stand der Technik bei dem Sauerling In der Stanz sind als nicht erforderlich anzusehen. Darüber hinaus muss aufgrund der geringen Dichte der Sauerlinge in

der Obersteiermark davon ausgegangen werden, dass es sich um Einzelercheinungen handelt, deren (erneute) Erschließungsmöglichkeit mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Anders verhält es sich beim Säuerling von Klapping. Auch wenn nicht gänzlich geklärt ist, ob dieses Vorkommen natürlichen Ursprungs ist oder erst durch eine gezielte Erschließung nutzbar gemacht wurde, so zeigt doch das gehäufte Auftreten von Säuerlingen im Bereich des oststeirischen Vulkanismus, dass eine gewollte zusätzliche (künstliche) Erschließungen von Säuerlingen in dieser Region mit hoher Wahrscheinlichkeit möglich ist.

Graz, 15.06.2021



(Assoz. Prof. Dr. Gerfried Winkler)

8. Literatur:

- Allard P., Maiorani A., Tedesco D., Cortecchi G., Turi B., 1991. Isotopic study of the origin of sulfur and carbon in Solfatara fumaroles, Campi Flegrei caldera. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 48, 139-159.
- austrianmap.at, 2019. www.austrianmap.at. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Stand 13.11.2019.
- Balesdent J., Mariotti A., Guillet B., 1987. Natural ^{13}C abundance as a tracer for studies of soil organic matter dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 19, 25-30.
- Ballentine C.J. & Burnard P.G., 2002. Production and Transport of Noble Gases in the Continental Crust. In: Porcelli, D.P. & Ballentine, C.J. (eds.): *Noble Gases in Geochemistry and Cosmochemistry*, *Rev. Mineral. Geochem.* 47, 482-538.
- Bauer F.K., 1967. Gipslagerstätten im zentralalpiner Mesozoikum (Semmering, Stanzertal). *Verh. Geol. Bundesanstalt*, 1967, 70-90.
- Craig H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* 133, 1702-1703.
- Dietzel M., Schwecke H., Hirschfeld A., Röhring M., Böttcher M. E., 1997. Geochemische und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -isotopenchemische Untersuchung zur Herkunft der Kohlensäure in mineralhaltigen Wässern Nordhessens (Deutschland). *Acta hydrochim. Hydrobiol.* 25, 191-201.
- Dietzel M., Kirchhoff T., 2003. Stable Isotope Ratios and the Evolution of Acidulous Ground Water. *Aquatic Geochemistry* 8, 229-254.
- Dunai T. J., Baur H., 1995. Helium, neon and argon systematics of the European subcontinental mantle: Implications for its geochemical evolution. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 59(13), 2767-2783.
- Ebner F., Sachsenhofer R.F., 1991. Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. *Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum* 49, 101 S.
- Embey-Isztin, A., Peltz, S., Poka, T. 1985. Petrochemistry of the neogene and quaternary basaltic volcanism in the Carpathian Basin. – *Fragmenta Mineralogica et Paleontology*, 12, 5-18.
- Harned H.S., Davis R., 1943. The ionization constant of carbonic acid in water and the solubility of carbon dioxide in water and aqueous salt solutions from 0 to 50 °C. *J. Am. Chem. Soc.* 65, 2030–2037.
- Harned H.S., Scholes S.R., 1941. The ionization constant of HCO_3^- from 0 to 50 °C. *J. Am. Chem. Soc.* 63, 1706-1709.
- Hoefs J., 2018. *Stable Isotope Geochemistry*. Eighth Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 437 S.
- Kipfer R., 1991. Primordiale Edelgase als Tracer für Fluide aus dem Erdmantel. *Diss. ETH Zürich*, 223S.
- LGBl. Nr. 76/2017, 2017. 76. Verordnung: Regionalprogramm TGW. Verordnung des Landeshauptmannes von Steiermark vom 31. Juli 2017, mit der ein Regionalprogramm zur Sicherung der Qualität und Quantität des ost- und weststeirischen Tiefengrundwassers erlassen wird (Regionalprogramm TGW).

- Nowak M.E., Beulig F., von Fischer J., Muhr J., Küsel K., Trumbore S.E., 2015. Autotrophic fixation of geogenic CO₂ by microorganisms contributes to soil organic matter formation and alters isotope signatures in a wetland mofette. *Biogeosciences* 12, 7169-7183.
- Parkhurst D. & Appelo C., 2013. User's Guide to PHREEQC (Version 2)—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. Water Resources Investigations Report, 99-4259.
- Poltnig W., Leis A., Benischke R., 2000. Herkunft und Schutz von Mineralwässern, Heilwässern, CO₂-Gasauftrieben und Sauerlingen. Institut für Hydrogeologie und Geothermie. Unveröffentlicht.
- Schuster R., 2015. Geografischer und geologischer Überblick über die Kartenblätter GK50 Blatt 103 Kindberg und 135 Birkfeld. Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, 2015 in Mitterdorf im Mürztal, S 4-9.
- Schuster R., & Novotny, A., 2015. Die Einheiten des Ostalpinen Kristallins auf den Kartenblättern GK50 Blatt 103 Kindberg und 135 Birkfeld. Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt, 2015 in Mitterdorf im Mürztal, S 10-37.
- Thurner A., 1965. Hydrologie der Sauerlinge in Österreich. *Wissenschaftl. Arbeiten aus dem Burgenland* 30, 138-143.
- Tollmann A., 1963. Ostalpensynthese. Franz Deuticke Wien, 256 S.
- Ufrecht W., 2006. Zusammensetzung und Herkunft der Gase in den Sauerlingen von Stuttgart-Bad Cannstatt und –Berg. *Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz* 3/2006, 103-114.
- Zetinigg H., 1993. Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. *Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum* 50/51, 362 S.
- Zetinigg H., 2017. Die zwei Ulrichsquellen in der Stanz und Sauerlinge in ihrer Umgebung. *Beiträge zur Hydrogeologie*, Band 61, 5-21.
- Zötl J., Goldbrunner J. E., 1993. Die Mineral- und Heilwässer Österreichs: Geologische Grundlagen und Spurenelemente. Springer-Verlag Wien, 328 S.

ANHANG

- Datenblatt Sauerling Jasnitz (JAS)
- Datenblatt Sauerling In der Stand (SST)
- Datenblatt Sauerling Klapping (SK)
- Datenblatt Sauerling Brodelsulz (BRO)

Säuerling Jasnitz

Lage

Der Säuerling Jasnitz entspringt im Jasnitzgraben zwischen den Ortschaften Wieden und Jasnitz, nahe der Gemeindestraße L137 (Abb. 1).



Abbildung 1: Geographische Lage des Säuerlings Jasnitz (austrianmap.at, 2021)



Abbildung 2: Geologie des Einzugsgebietes des Säuerlings Jasnitz (GIS Stmk, 2021)

Kurzcharakterisierung

Der Sauerling Jasnitz ist mit einem betonierten Schacht gefasst. Über eine Leitung wird das Wasser zum Auslaufbrunnen an der Straße geführt. Die Schüttung wird in Zetinigg 1993 mit 7 bis 12 l/s beschrieben.

Das Einzugsgebiet des Sauerlings liegt im Bereich der Exenberg-Serie und phyllitischer Glimmerschiefer des Angerkristallins (Abb. 2).

Tabelle 1: Vor Ort gemessene hydrochemische Parameter (am 20.09.2019)

Temperatur [°C]	11.7
pH-Wert	5.5
Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	311
Absoluter Sauerstoffgehalt [mg/l]	5.69
Relative Sauerstoffsättigung [%]	55.2



Abbildung 3: Foto: G. Winkler

Quellenverzeichnis:

austrianmap.at, 2021. www.austrianmap.at. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Stand 15.03.2021.

GIS Stmk, 2021. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte>. Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation. Stand 15.03.2021.

Zetinigg H., 1993. Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum 50/51, 362 S.

Säuerling in der Stanz

Lage

Der Säuerling in der Stanz befindet sich in der Ortschaft Stanz im Mürztal, etwa 8km südöstlich von Kindberg, auf dem Grundstück Nummer 982/2 KG Stanz (Abb. 1).



Abbildung 1: Geographische Lage des Säuerlings in der Stanz (austrianmap.at, 2021)

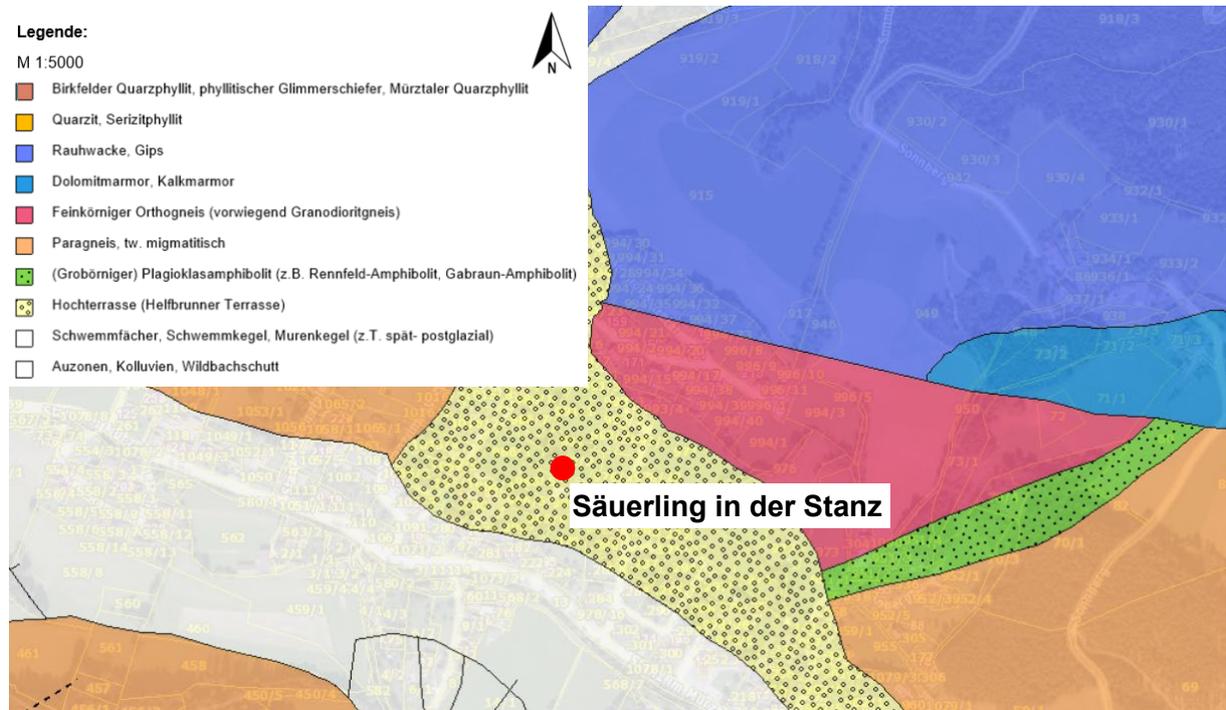


Abbildung 2: Geologie des Einzugsgebietes des Säuerlings in der Stanz (GIS Stmk, 2021)

Kurzcharakterisierung

Der Säuerling in der Stanz ist durch einen mit Holz ausgebauten Schacht gefasst (Zetinigg, 1993). Der Abfluss aus diesem Tümpel wird durch ein Drainagerohr in den Stanzbach geleitet.

Das Einzugsgebiet des Säuerlings liegt im Bereich der metamorphen Gesteine des Raabalpenkristallins und den Marmoren und Rauhwacken des Semmeringmesozoikums (Abb. 2). Der Säuerling tritt in der Hochterrasse der quartären Talfüllung oberirdisch aus.

Tabelle 1: Vor Ort gemessene hydrochemische Parameter (am 20.09.2019)

Temperatur [°C]	11.3
pH-Wert	6.2
Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	3400
Absoluter Sauerstoffgehalt [mg/l]	0.98
Relative Sauerstoffsättigung [%]	9.5



Abbildung 3: Foto: G. Winkler

Quellenverzeichnis:

austrianmap.at, 2021. www.austrianmap.at. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Stand 19.03.2021.

GIS Stmk, 2021. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte>. Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation. Stand 19.03.2021.

Zetinigg H., 1993. Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum 50/51, 362 S.

Säuerling von Klapping

Lage

Der Säuerling von Klapping befindet sich am Rand des Fußballplatzes des UFC Klapping, östlich des Pleschbaches (Abb. 1).



Abbildung 1: Geographische Lage des Säuerlings von Klapping (austrianmap.at, 2021)

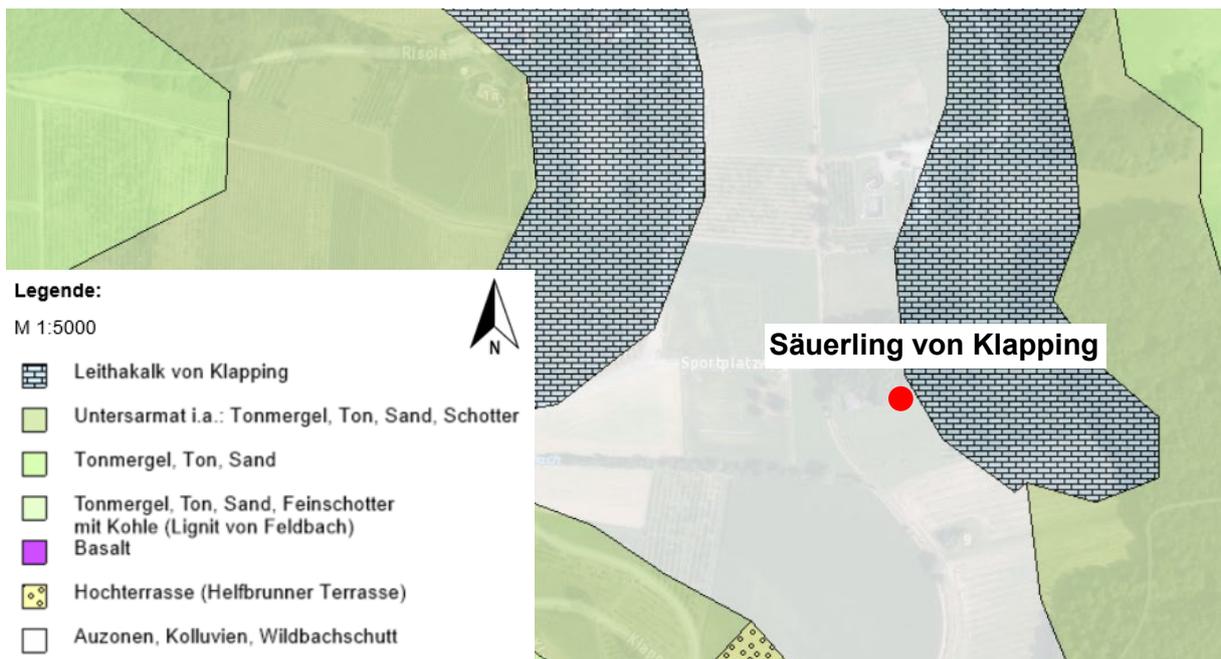


Abbildung 2: Geologie des Einzugsgebietes des Säuerlings von Klapping (GIS Stmk, 2021)

Kurzcharakterisierung

Der Säuerling von Klapping ist wie ein Brunnen mit Beton gefasst und besitzt einen Überlauf, welcher durch einen Drainagegraben in den Pleschbach geleitet wird (Zetinigg, 1993).

Das Einzugsgebiet des Säuerlings liegt im Bereich sarmatischer Schotter und badenischer Leithakalke von Klapping (Abb. 2).

Tabelle 1: Vor Ort gemessene hydrochemische Parameter (am 20.09.2019)

Temperatur [°C]	14.6
pH-Wert	6.2
Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1571
Absoluter Sauerstoffgehalt [mg/l]	1.31
Relative Sauerstoffsättigung [%]	13.3



Abbildung 3: Schachtfassung des Säuerlings von Klapping mit freiem Überlauf (Fotos: M. Ferstl)

Quellenverzeichnis:

austrianmap.at, 2021. www.austrianmap.at. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Stand 19.03.2021.

GIS Stmk, 2021. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte>. Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation. Stand 19.03.2021.

Zetinigg H., 1993. Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum 50/51, 362 S.

Brodelsulz

Lage

Die Brodelsulz liegt am südlichen Ende des Schulenwaldes, westlich von Klapping (Abb. 1).

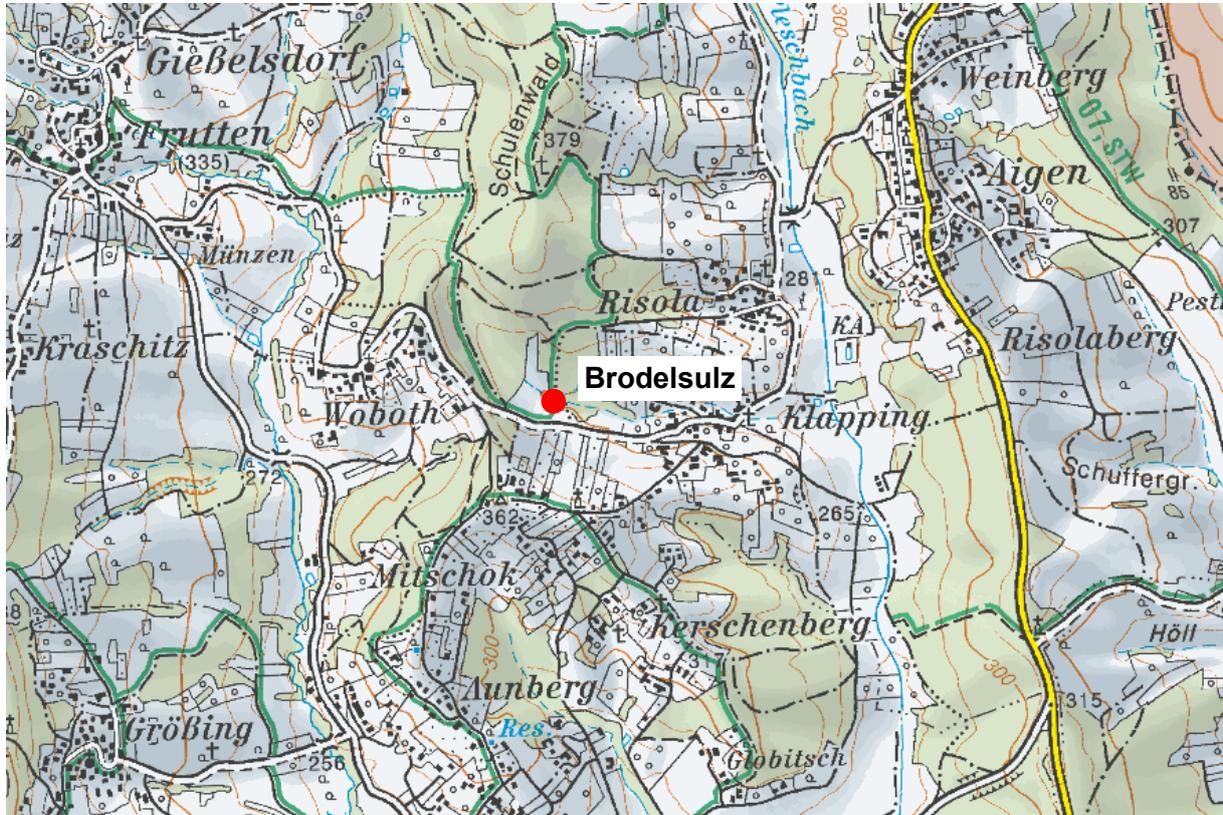


Abbildung 1: Geographische Lage der Brodelsulz (austrianmap.at, 2021)

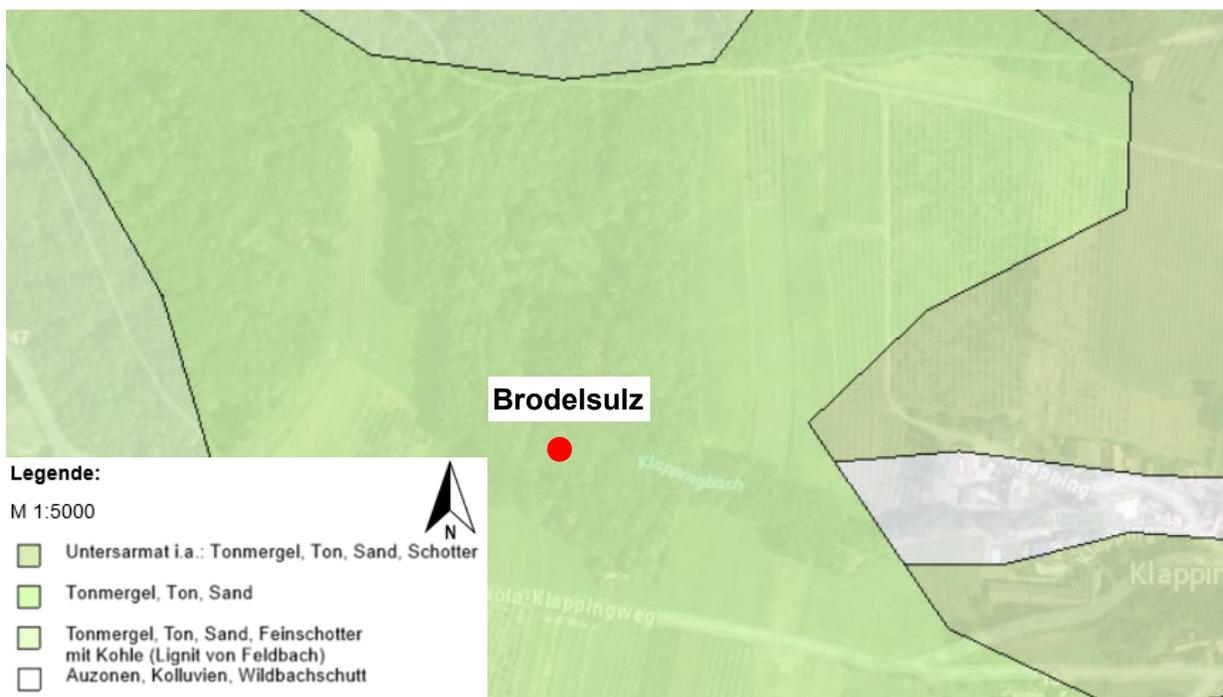


Abbildung 2: Geologie des Einzugsgebietes der Brodelsulz (GIS Stmk, 2021)

Kurzcharakterisierung

Die Brodelsulz ist ein abflussloser Tümpel am rechten Ufer des Klappingbaches, auf annähernd gleichem Niveau (Zetinigg, 1993). Eine seichte Betonfassung, wie sie in Zetinigg (1993) beschrieben wird, ist nicht mehr zu erkennen. Es handelt sich nicht um eine Quelle, sondern um eine trockene vulkanische Gasexhalation, die Mofette genannt wird.

Die Mofette wird direkt von meteorischem Wasser gespeist. Die geologische Umgebung besteht aus Miozänen Sedimenten (Abb. 2).

Tabelle 1: Vor Ort gemessene hydrochemische Parameter (am 20.09.2019)

Temperatur [°C]	14.4
pH-Wert	6.0
Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	1300
Absoluter Sauerstoffgehalt [mg/l]	0.0
Relative Sauerstoffsättigung [%]	0.2



Abbildung 3: Foto: M. Ferstl

Quellenverzeichnis:

austrianmap.at, 2021. www.austrianmap.at. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. Stand 19.03.2021.

GIS Stmk, 2021. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Basiskarte>. Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung, A17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation. Stand 19.03.2021.

Zetinigg H., 1993. Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum 50/51, 362 S.