

4.6

Tritium-Monitoring in der Aare

Th. Stocker, R. Purtschert, P. Düring und T. Wagner

Abt. Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut Universität Bern, Sidlerstrasse 5, BERN

Zusammenfassung

Im Jahr 2019 setzte die Abteilung für Klima- und Umweltphysik (KUP) der Universität Bern das Monitoring von Tritium (^3H) in Fliessgewässern des Kantons Bern fort, welches im Januar 2017 im Auftrag der BKW Energie AG (BKW) und des Kantons Bern sowie mit Unterstützung des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) begonnen wurde. Es kamen wieder dieselben Probenahmestationen wie im Vorjahr zum Einsatz. Im Jahr 2019 wurden die höchsten Tritiumwerte im Niederschlag aus dem Raum Niederwangen gemessen.

Hintergrund

Tritium ist eines der Radionuklide, die in der Schweiz durch das BAG überwacht werden. Im Hinblick auf die am 20.12.2019 erfolgte Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) bestand u. a. aufgrund der Richtlinien des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) zur Stilllegung von Kernanlagen (ENSI, 2014, Art. 4.5 und 5.4.4) der Bedarf, Tritium im Wasser der Aare in hoher zeitlicher Auflösung zu messen. Um den Normalzustand vor der Stilllegung des KKM bezüglich Tritium in den Fliessgewässern zu charakterisieren, führte die KUP seit Anfang 2017 Tritiummessungen durch, die eine Detektion von allfälligen späteren Veränderungen ermöglichen. Tritium wurde dabei jährlich in mehr als 900 Wasserproben gemessen.

Probenahmen

Im Jahr 2019 wurde im Rahmen dieses Monitorings Aarewasser an drei Standorten entnommen:

- Aare flussaufwärts vom KKM (Standort Eymatt am Wohlensee, oberhalb Einmündung Gäbelbach)
- Aare flussabwärts vom KKM (Standort Mühleberg-Rewag)
- Aare Wynau (kurz vor dem endgültigen Verlassen der Aare des Kantons Bern)

Tritium wurde auch anhand von Einzelproben im Wasser von drei Referenzstandorten gemessen:

- Aare am Altenbergsteg Bern (monatliche Einzelproben)
- Emme an der Heimiswilbrücke Burgdorf (monatliche Einzelproben)
- Aare Thun (Wochenmischproben bis Mai 2019)

Darüber hinaus wurde auch der Niederschlag, der auf dem Dach des Physikalischen Instituts der Universität Bern gesammelt wurde, in Form von Monatsproben untersucht.

Da sich in Niederwangen, ca. 10 km südwestlich des KKM, mit der Firma MB Microtec einer der grössten Tritiumemittenten der Schweiz befindet, wurden auch im Jahr 2019 Tritium-Messungen im dortigen Niederschlag sowie im Wasser des Stadtbachs in Niederwangen und des Gäbelbachs durchgeführt.

Tabelle 1 enthält Einzelheiten zu den Messungen, die 2019 durchgeführt wurden.

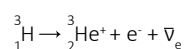
Die täglichen Probenahmen aus der Aare an den Standorten Eymatt und Mühleberg erfolgten mit Hilfe von automatischen Probenehmern vom Typ ISCO 6712, welche in Abständen von je 30 Minuten einige Milliliter Flusswasser in Probeflaschen abfüllen, sodass jede Probeflasche eine Mischprobe eines 24-Stunden-Intervalls enthielt.

Der Standort Thun wurde von August 2018 bis Mai 2019 beprobt, um den Tritiumeintrag der Aare im Oberstrombereich des Grossraums Bern zu bestimmen. So konnte eine Baseline noch vor einer allfälligen Erhöhung des Tritiumgehalts der Aare, die möglicherweise im Grossraum Bern durch das KKM und/oder MB Microtec verursacht wird, etabliert werden. Es wurden Wochenmischproben gemessen, die sich aus jeweils 28 Einzelproben zusammensetzten (4 Proben pro Tag x 7 Tage).

Im Raum Niederwangen wurden wöchentliche Stichproben aus dem Stadtbach entnommen. Der Gäbelbach wurde kurz seiner Einmündung in den Wohlensee in der Nähe des Wohnquartiers Eymatt ebenfalls wöchentlich beprobt. Darüberhinaus wurde auch der Niederschlag in Niederwangen mithilfe eines dort installierten Regensammlers erfasst. Die Intervalle zwischen den Niederschlagsmessungen variierten je nach Niederschlagsmenge. Durchschnittlich hatte sich alle zwei Wochen genügend Niederschlag für eine Messung angesammelt.

Nachweis und Messung des Tritiumgehalts

Der Tritiumgehalt der Wasserproben wurde indirekt über den radioaktiven Zerfall des in den Proben enthaltenen Tritiums bestimmt. Tritiumkerne sind instabil und zerfallen mit einer Halbwertszeit von $4'500 \pm 8$ Tagen (12.32 Jahren) unter Emission eines Elektrons und eines Antineutrinos in das Heliumisotop ^3He (Beta-Minus-Zerfall):



Zum Nachweis und zur Ladungsmessung der in den Wasserproben emittierten Elektronen kam wie in den Vorjahren ein Liquid-Szintillationsmessgerät vom Typ Aloka LSC-LBIII zum Einsatz, welches im Tieflabor des Physikalischen Instituts der Universität Bern installiert ist. Die Nachweisgrenze liegt bei 4 Tritium Units (TU, entsprechend 0.47 Bq/L), womit auch die natürliche Hintergrundaktivität von ^3H im Niederschlag bestimmt werden kann.

Messergebnisse Januar bis Dezember 2019

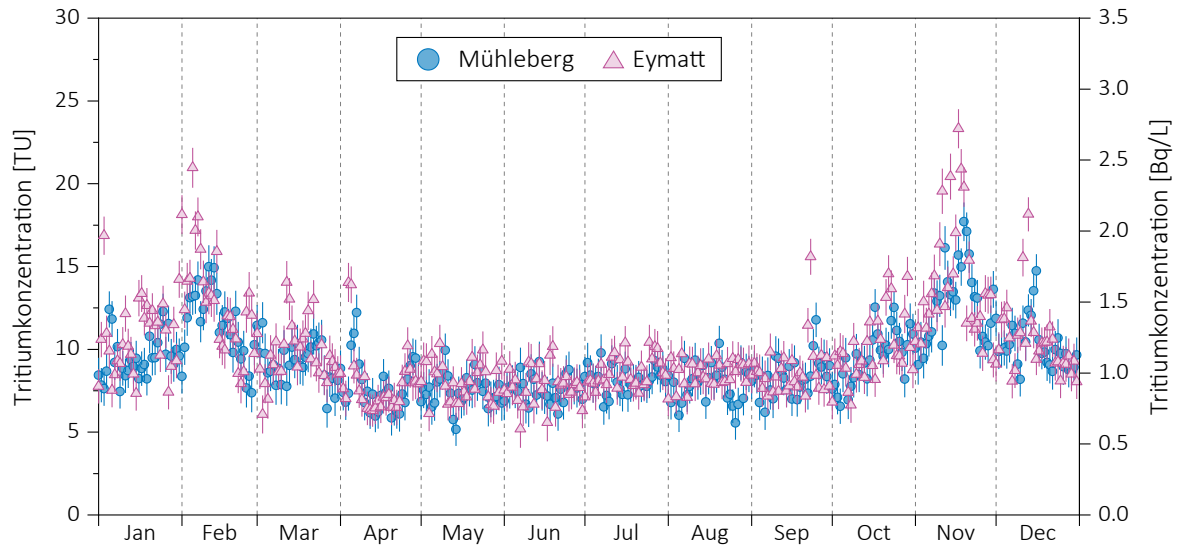
Standorte Eymatt und Mühleberg (Aare)

Die Tritiummesswerte von Wasser der Standorte Eymatt und Mühleberg bewegten sich relativ stabil in einem Band zwischen 5 und 15 TU (entsprechend rund 0.5 - 2 Bq/L). Nur gelegentlich wurden höhere Werte bis maximal 23 TU gemessen, die in der Regel mit einer eher geringen Schüttung der Aare korrelierten. In den Wintermonaten am Anfang und Ende des Jahres sind erhöhte Werte und auch eine grössere Variabilität festzustellen. Die Höchstwerte traten in der Regel zuerst am Standort Eymatt und einige Tage später mit geringer Verdünnung am Standort Mühleberg auf, da das grosse Wasservolumen des dazwischen liegenden Wohlensees als Puffer wirkt.

Tabelle 1:

Tritium-Messungen Januar bis Dezember 2019 nach Art oder Entnahmeort der Probe

Art oder Entnahmeort der Probe	Anzahl
Aare Eymatt	365
Aare Mühleberg Rewag	365
Aare Wynau	52
Aare Thun	21
Referenzstation Aare Kornhausbrücke	12
Referenzstation Emme Heimiswilbrücke	12
Niederschlag Physikalisches Institut	12
Niederschlag Niederwangen	33
Stadtbach Niederwangen	52
Gäbelbach Eymattstrasse	52
Standards/Nulleffekt/Vergleichsmessungen	58
Total: 1'034	



Figur 1 :
Tritium-Messwerte Eymatt und Mühleberg (2019).

Standorte Kornhausbrücke (Aare Bern) und Heimiswilbrücke (Emme Burgdorf)

An diesen beiden Standorten (Figur 2) wurden keine signifikant erhöhten Messwerte festgestellt. Die Werte lagen vor allem am Standort Heimiswilbrücke relativ stabil in einem Band zwischen 6.5 und 9.5 TU. Am Standort Kornhausbrücke war eine etwas grössere Variabilität mit Werten zwischen 5.6 und 9.9 TU zu beobachten.

Standort Wynau (Aare)

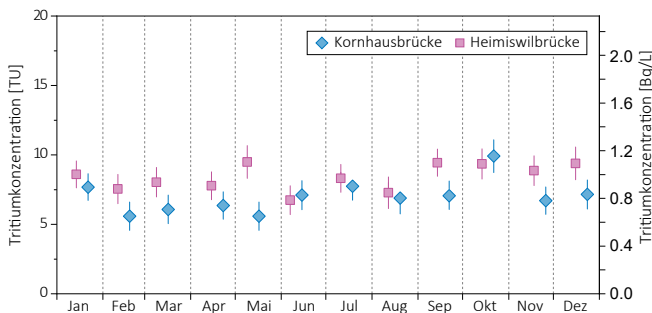
Auch in Wynau (Figur 3) wurden keine erhöhten Werte festgestellt.

Standort Thun (Aare)

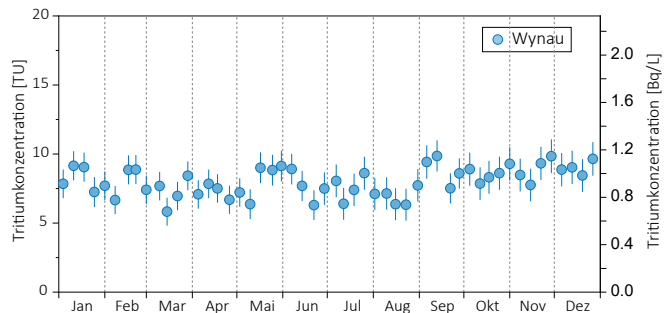
Der Standort Thun (Figur 4) diente von August 2018 bis Mai 2019 als Referenzstation vor einem allfälligen Tritiumeintrag im Raum Bern. Nachdem etabliert werden konnte, dass die Werte generell ca. 1-2 TU tiefer als an den Standorten Eymatt und Mühleberg lagen, wurden die Messungen im Mai 2019 eingestellt.

Standort Physikalisches Institut, Stadt Bern (Regenwasser)

Die Tritiumkonzentration im Niederschlag im Raum Bern ist generell höher als in der Aare und auch höher als in Niederschlägen anderenorts in der Schweiz. Das liegt an lokalen gasförmigen Emissionen. Die im Jahr 2019 gemessenen Proben liegen im Bereich 30 - 110 TU (Figur 5).



Figur 2 :
Tritium-Messwerte an den Standorten Kornhausbrücke und Heimiswilbrücke (monatliche Einzelproben - 2019).



Figur 3 :
Tritium-Messwerte am Standort Wynau (wöchentliche Einzelproben - 2019).

Standorte Niederwangen (Stadtbach, Gäbelbach, Niederschlag)

Im Raum Niederwangen wurden im Jahr 2019 zusätzlich zu den vom BAG durchgeführten Tritiummessungen (s. Kapitel 9.3) je 52 Messungen im Wasser des Stadtbachs (Schweizer Koordinaten 595'312, 197'140) und des Gäbelbachs durchgeführt (Figur 6). Der höchste Messwert beim Wasser des Stadtbachs lag bei ca. 220 TU, wobei im Sommerhalbjahr deutlich niedrigere Werte als im Winterhalbjahr zu beobachten sind. Das Wasser des Gäbelbachs wies relativ stabile Werte im Bereich zwischen 21 und 31 TU auf.

Darüber hinaus wurden insgesamt 33 Messungen am lokalen Niederschlag in Niederwangen (Schweizer Koordinaten 595'049, 196'717) durchgeführt (Figur 7). Der Höchstwert von annähernd 2'000 TU trat Mitte September auf.

Standort Leibstadt

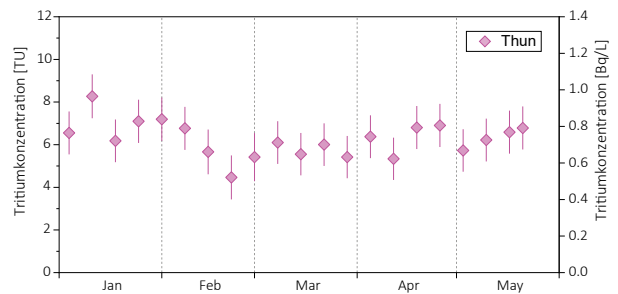
Im Mai/Juni 2019 wurde stromabwärts vom Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) vorübergehend ein automatischer Probenehmer installiert, um den Tritiumgehalt des Rheins vor, während und nach dem Revisionsstillstand zu ermitteln, welcher für den Zeitraum 03. Juni 2019 bis 03. Juli 2019 terminiert war. Es wurden Tagesproben mit einem Sampling-Intervall von je 60 Minuten entnommen.

Kurz nach Revisionsbeginn zeichnete sich ein deutlicher Anstieg von ca. 10 TU auf annähernd 100 TU ab. Nach ca. drei Wochen hatte sich der Tritiumgehalt wieder bei Werten nahe dem Anfangswert stabilisiert (Figur 8).

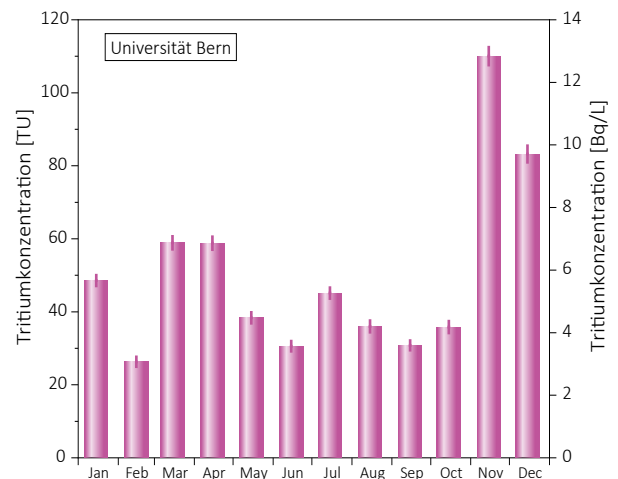
Zusammenfassung der bisherigen Aarewassermessungen

Die seit Messbeginn (1. Januar 2017) gemessenen Tritiumwerte der beiden Aarewasserstationen Eymatt und Mühleberg sind in Figur 9 und 10 dargestellt. In allen drei Jahren konnten Perioden mit um ca. einen Faktor drei erhöhter Aktivität beobachtet werden, die synchron bei beiden Stationen auftraten und auch vergleichbare Amplituden aufwiesen. Die von August 2018 bis Mai 2019 in Thun durchgeführten Messungen weisen darauf hin, dass die Quelle dieser Aktivitätsspitzen im Raum Bern liegen muss. Eine eingehendere Analyse zeigt, dass die Tritiumwerte stark mit der Aareschüttung korrelieren. Die höchsten Tritiumwerte treten bei tiefem Aareabfluss auf (Figur 10). Da dieser bei Frostperioden besonders tief ist, treten die Aktivitätsspitzen gehäuft in der kalten Jahreszeit auf. Eine Korrelationsanalyse ergibt, dass ein Teil der Variation auf einen diffusen, zeitlich konstanten Tritiumeintrag, etwa über das Grundwasser, von 1 TBq/Jahr zurückzuführen ist.

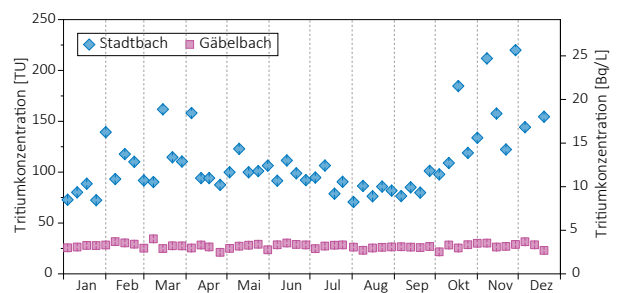
Figur 9 zeigt die bisherigen hochauflösenden Messungen an den Standorten Eymatt und Mühleberg seit Messbeginn Anfang Januar 2017.



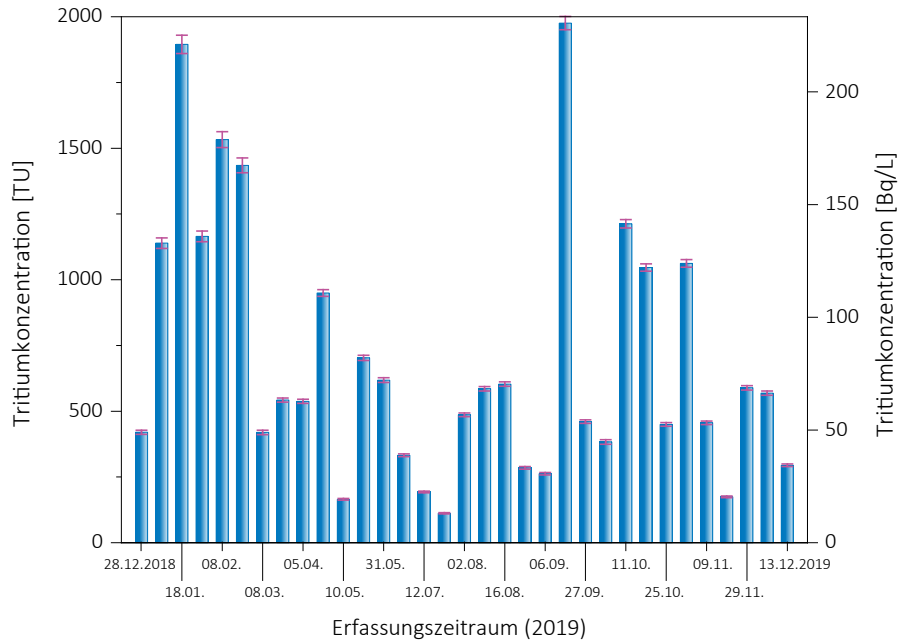
Figur 4: Tritium-Messwerte am Standort Thun (Wochenmischproben).



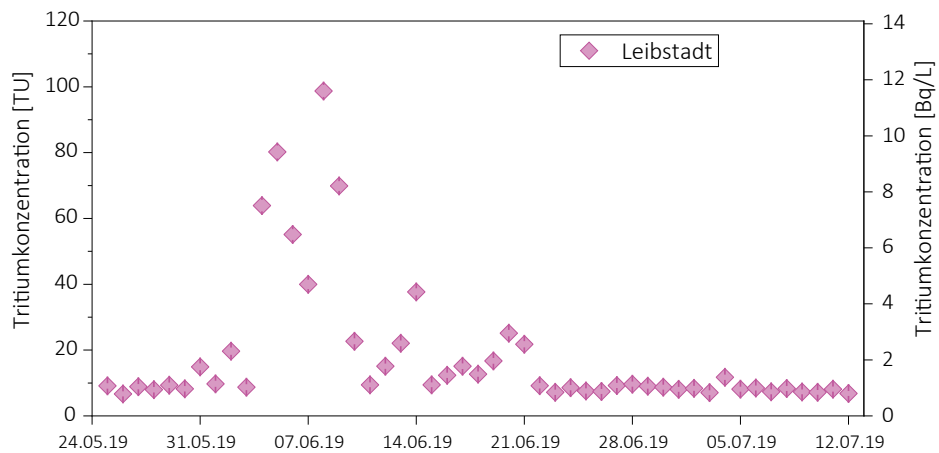
Figur 5: Tritium-Messwerte von Regenwasser des Physikalischen Instituts der Universität Bern (Monatsproben - 2019).



Figur 6: Tritiummesswerte am Stadtbach Niederwangen und am Gäbelbach Eymatt (wöchentliche Einzelproben).



Figur 7: Tritiummesswerte im Regenwasser Niederwangen (Probenahme jeweils nach ausreichender Niederschlagsmenge).

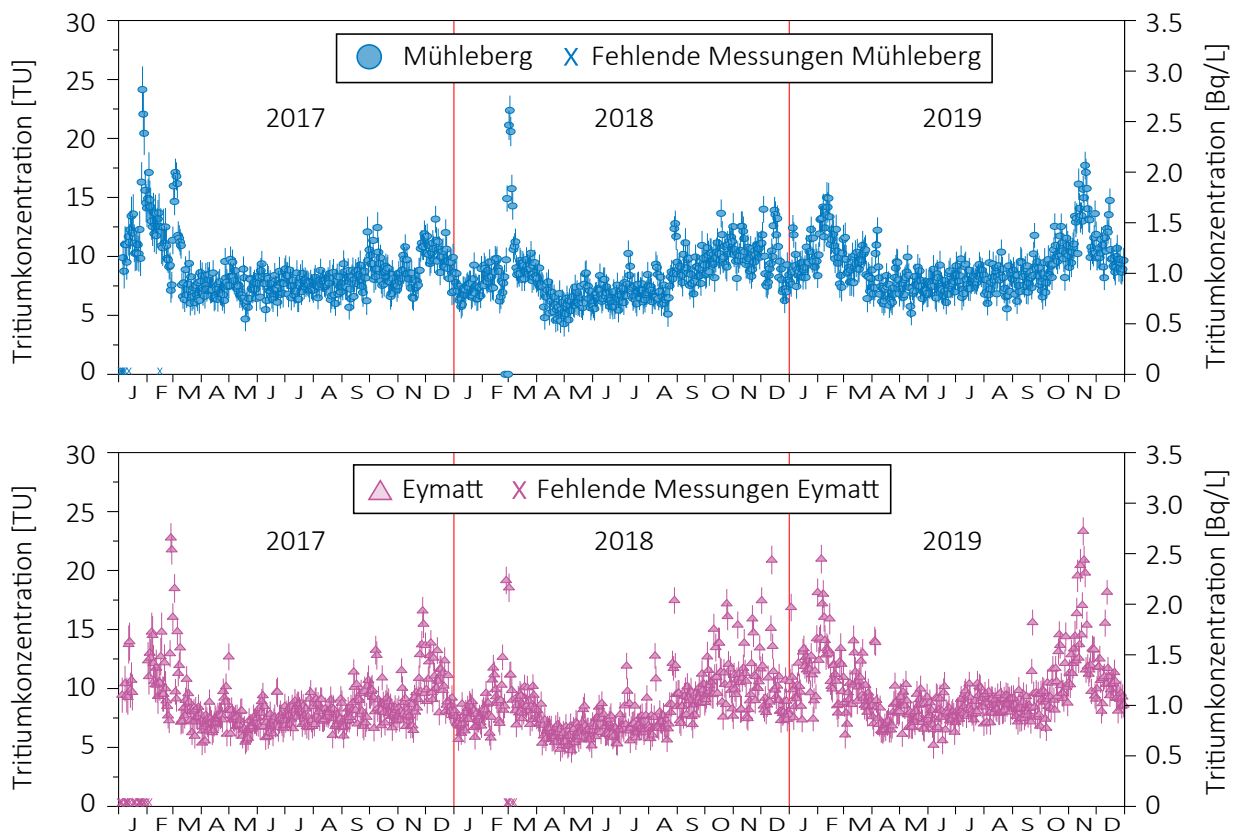


Figur 8: Tritiummesswerte im Rhein stromabwärts vom Kernkraftwerk Leibstadt vor, während und nach dem Revisionsstillstand.

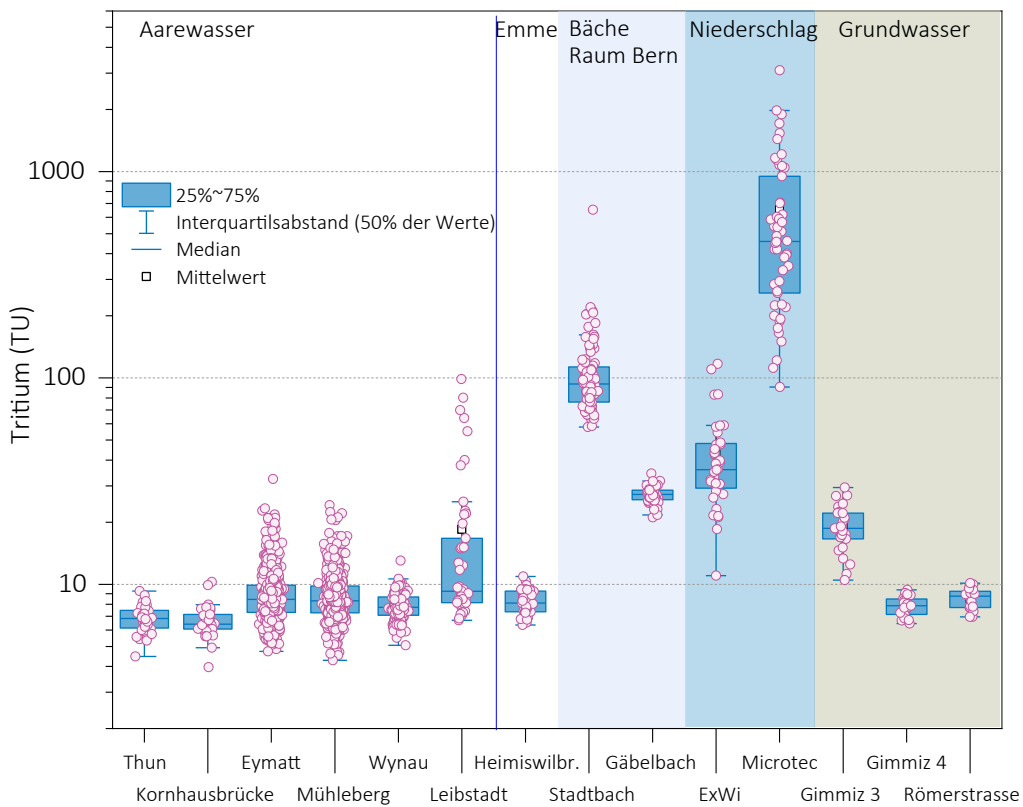
Überblick über sämtliche Messungen Januar 2017 bis Dezember 2019

Figur 10 zeigt einen Überblick über 2'777 Messungen, die an der KUP in den Jahren 2017, 2018 und 2019 durchgeführt wurden. Demnach beträgt der natürliche Tritiumgehalt der Aare gemessen bei Thun ca. 7 TU. Ähnliche Werte werden auch noch kurz vor Bern bei der Kornhausbrücke beobachtet. Bei der Eymatt sowie nach dem KKW Mühleberg liegen die Tritiumwerte auf vergleichbarem Niveau leicht höher. Das KKW Mühleberg kann demnach als Hauptemittent ausgeschlossen werden. Der Tritiumanstieg und auch die erhöhte Variabilität sind auf gasförmige Emissionen von der Firma Microtec zurückzuführen.

Die höchsten Werte in der Aare wurden jeweils bei tiefem Pegelstand beobachtet. Bei Wynau sind die Tritiumwerte wieder leicht tiefer. Der Einfluss der Firma Microtec wird insbesondere im Stadtbach und in den Niederschlägen bei Niederwangen deutlich, wo Tritiumgehalte von weit über 1'000 TU vorkommen. In geringerem Ausmass ist der etwas weiter entfernte Gäbelbach betroffen. Grundwasser-Messstellen, die mehrheitlich von Aarewasser gespeist werden (Gimmiz 3 und Römerstrasse) zeigen entsprechende Tritiumkonzentrationen von unter 10 TU. Bei Gimmiz 3 ist der Anteil von lokalem Niederschlag und damit der Tritiumgehalt entsprechend höher.



Figur 9: Überblick über die bisherigen hochauflösenden Messungen an Standorten Eymatt und Mühleberg seit Messbeginn.



Figur 10: Überblick über 2'777 Tritiummessungen der KUP in den Jahren 2017, 2018 und 2019.

Chapitre / Kapitel 4

Environnement Umwelt

2019

- Aérosols et précipitations
- URAnet Aero
- Surveillance de l'air avec des avions militaires
- Systèmes aquatiques, URAnet Aqua
- Tritium dans l'Aar
- Eaux potables
- Sols et herbe
- Aérosol und Niederschlag
- URAnet Aero
- Überwachung der Luft mit Militärflugzeugen
- Aquatische System, URAnet Aqua
- Tritium in der Aare
- Trinkwasser
- Boden und Gras