

# **A N L A G E 8**

Ergebnisse der isotopenhydrologischen Analysen

**Uhl Kies und Beton, Vorlandstraße 1, 77756 Hausach**

**Beurteilung zu  
isotopenhydrologischen,  
spurengasspezifischen  
und hydrochemischen Untersuchungen  
vom April 2018  
im Umfeld von Neuried-Altenheim**

**Lkr. Ortenaukreis**

**Auftraggeber: Eugen Funk  
Büro für Hydrogeologie  
Rothofweg 7  
79219 Staufen**

**Bearbeiter: Dipl. Hydrol. E. Binder**



**Emmendingen, den 03.12.2018**

**Dipl. Hydrol. E. Binder**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
0. Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen, Anlagen und des Anhangs .....	3
1. Vorgang und durchgeführte Untersuchungen .....	5
1.1 Grundlagen der Grundwasser-Komponentenanalyse .....	6
2. Ergebnisse der Untersuchungen .....	8
2.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ ) und Deuterium ( $^2\text{H-H}_2\text{O}$ ) .....	8
2.1.1 Grundlagen .....	8
2.1.2 Analysenergebnisse und Interpretation .....	11
2.2 Tritium ( $^3\text{H}$ ) .....	13
2.2.1 Grundlagen .....	13
2.2.2 Analysenergebnisse und Interpretation .....	14
2.3 Spurengase (SF <sub>6</sub> /FCKW) .....	15
2.3.1 Grundlagen .....	15
2.3.2 Analysenergebnisse und Interpretation .....	16
2.3.3 Kombinierte Auswertung von Tritium und SF <sub>6</sub> .....	17
2.4 Süßstoff Acesulfam-K .....	19
2.4.1 Grundlagen .....	19
2.4.2 Analysenergebnisse und Interpretation .....	20
2.5 Chlorid .....	22
2.5.1 Grundlagen .....	22
2.5.2 Analysenergebnisse und Interpretation .....	23
3. Vernetzende Auswertung und Zusammenfassung .....	24

## 0. Verzeichnis der Tabellen, Abbildungen, Anlagen und des Anhangs

### Tabellen:

- Tab. 1: Ergebnisse der grafischen Auswertung zur Altersstruktur anhand Tritium und SF6  
Tab. 2: Acesulfam-K-Gehalte von Tagesmischproben an der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS)

### Abbildungen:

- Abb. 1: Säulendiagramm der Sauerstoff-18-Gehalte  
Abb. 2: Säulendiagramm der Deuterium-Gehalte  
Abb. 3: Säulendiagramm der Deuterium-Exzess-Gehalte  
Abb. 4: Korrelation Sauerstoff-18-Gehalte versus Deuterium-Gehalte  
Abb. 5: Säulendiagramm der Tritium-Gehalte  
Abb. 6: Grafische Darstellung der Spurengaskonzentrationen F11, F12, F113 und SF6  
Abb. 7: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -SF6 bzw.  $^3\text{H}$ -FCKW-Gehalte vom Jahr 2018; jeweils MVZ bei Reihenschaltung aus 50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell  
Abb. 8: Säulendiagramm der Acesulfam-K-Gehalte  
Abb. 9: Korrelation Sauerstoff-18- versus Acesulfam-Gehalte  
Abb. 10: Korrelation Acesulfam- versus Tritium-Gehalte  
Abb. 11: Korrelation Sauerstoff-18- versus Tritium-Gehalte  
Abb. 12: Balkendiagramm der Chlorid-Gehalte

### Anlagen:

- Anl. 1: Ergebnisse der isotonhydrologischen, spurengasspezifischen und hydrochemischen Untersuchungen vom April 2018  
Anl. 2: Prüfbericht Nr. 312840 – 312849 (April 2018)  
Anl. 3: Tritium-Zeitreihenuntersuchungen von Monatsmischproben der Rhein-Messstelle Breisach im Vergleich zur Niederschlagsmessstelle Freiburg  
Anl. 4: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -SF6 bzw.  $^3\text{H}$ -FCKW-Gehalte vom Jahr 2018; jeweils MVZ bei 100 % Exponential-Modell  
Anl. 5: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -SF6 bzw.  $^3\text{H}$ -FCKW-Gehalte vom Jahr 2018; jeweils MVZ bei Reihenschaltung aus 75 % Exponential- und 25 % Pistonflow-Modell  
Anl. 6: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -SF6 bzw.  $^3\text{H}$ -FCKW-Gehalte vom Jahr 2018; jeweils MVZ bei Reihenschaltung aus 50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell  
Anl. 7: Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -SF6 bzw.  $^3\text{H}$ -FCKW-Gehalte vom Jahr 2018; jeweils MVZ bei Reihenschaltung aus 25 % Exponential- und 75 % Pistonflow-Modell

- Anl. 8: Korrelation Sauerstoff-18-/Chlorid-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 9: Korrelation Sauerstoff-18-/spez. el. Leitfähigkeit-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 10: Korrelation Sauerstoff-18-/Hydrogenkarbonat-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 11: Korrelation Sauerstoff-18-/Sulfat-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 12: Korrelation Sauerstoff-18-/Bor-Gehalte versus Tritium-Gehalte

Anhang:

- Anh. I: Grundwassergleichenplan vom 12.04.2018 (relativer Mittelwasserstand)
- Anh. II: Analysenergebnisse Hydrochemie von Labor GIU (von AG zur Verfügung gestellt)

## 1. Vorgang und durchgeführte Untersuchungen

Die Hydroisotop GmbH wurde vom Büro für Hydrogeologie Eugen Funk in Staufen beauftragt, an 6 Grundwassermessstellen (Uhl GWM 1 tief, Uhl GWM 2 mittel, Uhl GWM 3 flach, GWM 139/065-1, GWM 62/065-7 und GWM 210/065-7) sowie an 4 Oberflächengewässern (Mühlbach 1, Mühlbach 2, Altrheinzug 2051/065-0 und am Baggersee Wachholderrain) Untersuchungen auf die Isotope Sauerstoff-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ), Deuterium ( $\delta^2\text{H}$ ) und Tritium ( $^3\text{H}$ ), auf die Spurengase SF<sub>6</sub>, F11, F12 und F113 sowie auf den Süßstoff Acesulfam-K durchzuführen.

Anhand der Untersuchungen sollen Aussagen zur Herkunft und Alterstruktur der Oberflächengewässer und der Grundwässer abgeleitet werden.

Die Probenahmen fanden am 12. und 17. April 2018 statt. Die Proben wurden zusammen mit weiteren Proben für hydrochemische Untersuchungen vom AG, Eugen Funk Büro für Hydrogeologie, entnommen. Die Auswahl der zu beprobenden Grundwassermessstellen bzw. Entnahmestellen an den Oberflächengewässern erfolgte durch den AG.

Eine Übersicht zur Lage der beprobten Grundwassermessstellen und Oberflächengewässern sowie zu den Grundwasserfließverhältnissen (relativer Mittelwasserstand) gibt der Grundwassergleichplan in Anhang I. Dieser Plan sowie die Ergebnisse der zusätzlich analysierten hydrochemischen Parameter wurden vom AG zur Verfügung gestellt. Der Baggersee Wachholderrain ist im Übersichtsplan als „See Süd“ bezeichnet.

Aufgrund der wasserwirtschaftlichen Begebenheiten im Umfeld des Kulturwehres Kehl/Straßburg ist die Fragestellung nach der Herkunft der Oberflächengewässer und der beprobten Grundwässer als komplex anzunehmen, was sich bereits anhand der Grundwassergleichen in Rheinnähe abzeichnet.

## 1.1 Grundlagen der Grundwasser-Komponentenanalyse

Zur Klärung der Fragestellungen nach der Herkunft des Baggerseewassers und der Grundwässer müssen in einem ersten Schritt die hier im Umfeld von Neuried-Altenheim am Fließgeschehen möglicherweise beteiligten Grundwasserkomponenten erfasst und mit Hilfe der untersuchten isopenhydrologischen, spurengasspezifischen und hydrochemischen Parameter charakterisiert werden (Grundwasser-Komponentenanalyse). Nachstehend werden die möglicherweise beteiligten Grundwasserkomponenten und deren Referenzmessstellen kurz vorgestellt.

### Komponente 1: „binnenseitiges Grundwasser jung“

Als Referenz für die Grundwasserkomponente „lokal im Oberrheingraben neugebildetes Grundwasser“ bzw. „binnenseitiges Grundwasser jung“ könnte die flache GWM 62/065-7 (Filterbereich: 9 - 18 m u GOK) stehen. Die Messstelle wird aus süd-südöstlicher Richtung angeströmt (s. Anh. I). Die Flurabstände liegen hier bei wenigen Metern.

### Komponente 2: „Rhein-Uferfiltrat jung“

Die Komponente „Rhein-Uferfiltrat jung“ ist insbesondere im Altrheinzug (Pegel 2051/065-0) zu erwarten, da dieser z. T. direkt aus dem Rhein gespeist wird. Ebenso ist es auch bei den beiden Oberflächengewässern Mühlbach 1 und Mühlbach 2 zu erwarten, da der Mühlbach wiederum ein Abzweig des Altrheinzugs darstellt.

### Komponente 3: „Rhein-Uferfiltrat alt“

Ob und inwieweit im Untersuchungsgebiet die Komponente „Rhein-Uferfiltrat alt“ auftritt, soll neben den Untersuchungen auf Sauerstoff-18 und Deuterium zudem über die Chlorid- und Acesulfam-K-Untersuchungen beurteilt werden, da diese Komponente neben isotopisch leichten Signaturen durch vergleichsweise hohe Chlorid- und vergleichsweise geringe Acesulfam-K-Gehalte charakterisiert ist. Bei der Komponente „Rhein-Uferfiltrat alt“ handelt es sich um Rhein-Uferfiltrat, das weiter südlich infiltriert ist und das danach Rhein-begleitend in Richtung Norden fließt.

### Komponente 4: „binnenseitiges Grundwasser alt“

Bei der Komponente „binnenseitiges Grundwasser alt“ handelt es sich um tief zirkulierendes Grundwasser, das möglicherweise am Fuße der Vorbergzone neugebildet wurde und seither in nördliche bzw. nordwestliche Richtung in Richtung Rhein strömt. Ob und inwieweit „altes binnenseitiges Grundwasser“ im Untersuchungsgebiet vorkommt, soll insbesondere mit Hilfe der Tritium-/Spurengas-Untersuchungen beurteilt werden (Beurteilung der Alterstruktur).

### Mischwassersysteme

Aus welchen der oben genannten vier „Basis“-Komponenten sich das Seewasser des Baggersees Wachholderrain zusammensetzt, soll anhand der hier vorliegenden Untersuchungen abgeschätzt werden.

Das Baggerseewasser selbst gilt im Abstrombereich des Baggersees dann ebenfalls als eine am Fließgeschehen beteiligte Grundwasserkomponente, die anhand der stabilen Isotope Sauerstoff-18- und Deuterium möglicherweise charakterisiert werden kann.

Insbesondere bei den beiden tieferen Grundwassermessstellen „Uhl GWM 1 tief“ (Filterbereich von 70-90 m u GOK) und „Uhl GWM 2 mittel“ (Filterbereich von 30-50 m u GOK) soll geklärt werden, ob hier Mischungsanteile der „alten“ Komponenten, wie dem „binnenseitigem Grundwasser alt“ und/oder dem „Rhein-Uferfiltrat alt“ anzutreffen sind.

Der **Mühlbach**, der wie oben beschrieben aus dem Altrheinzug und somit indirekt aus dem Rhein selbst gespeist wird, gilt hier vermutlich als Vorflut. Da sich das Untersuchungsgebiet im Einflussbereich des Kulturwehrs Kehl/Straßburg und somit in einem Bereich mit infiltrierenden Verhältnissen am Rhein befindet, soll mit den vorliegenden Untersuchungen die Mischungsanteile der o.g. Komponenten abgeschätzt werden. Der Mühlbach wurde unmittelbar oberstromig der Verbandskläranlage Neuried-Schutterwald (OGW Mühlbach 2) und etwa 1 km oberstromig beprobt (OGW Mühlbach 1).



## 2. Ergebnisse der Untersuchungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen vom April 2018 sind tabellarisch in Anlage 1 und als Prüfbericht in Anlage 2 dokumentiert (Nr. 312840 – 312849).

### 2.1 Stabile Isotope Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$ ) und Deuterium ( $^2\text{H}-\text{H}_2\text{O}$ )

#### 2.1.1 Grundlagen

Als Teil des Wassermoleküls stellen die stabilen Isotope Sauerstoff-18 ( $^{18}\text{O}$ ) und Deuterium ( $^2\text{H}$ ) ideale Tracer dar, die flächenhaft mit dem Niederschlag eingetragen werden.

Im Wasserkreislauf kommen die theoretisch möglichen Wassermoleküle  $^1\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ ,  $^1\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}_2\ ^{16}\text{O}$ ,  $^2\text{H}_2\ ^{18}\text{O}$  sowie  $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$  und  $^1\text{H}^2\text{H}^{18}\text{O}$  in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Bei allen Phasenumwandlungen des Wassers, wie Kondensations- bzw. Verdunstungsvorgängen, findet eine temperaturabhängige Isotopenfraktionierung statt.

Somit liefern die stabilen Isotope, Sauerstoff-18 und Deuterium, Hinweise auf die Herkunft und Bildungsbedingungen von Grundwässern. Hierbei spielt im vorliegenden Untersuchungsgebiet insbesondere der Höheneffekt eine Rolle. Grund- und Oberflächenwässer aus höher gelegenen Einzugsgebieten oder Einzugsgebieten mit kälteren Klimabedingungen, wie z. B. beim Rheinwasser aufgrund seines dominierend alpinen Einzugsgebietes, zeigen eine charakteristische Markierung durch niedrige  $\delta^{18}\text{O}$ - bzw.  $\delta^2\text{H}$ -Werte (isotopisch leichte Signatur), wohingegen höhere  $\delta^{18}\text{O}$ - bzw.  $\delta^2\text{H}$ -Werte (isotopisch schwere Signatur) auf wärmere Bedingungen bzw. niedriger gelegene Einzugsgebiete hinweisen (z. B. Oberrheinebene). Grund- und Oberflächenwässer aus dem Schwarzwald (Bsp. Kinzig-Uferfiltrat) nehmen hier eine Mittelstellung ein. Der Höheneffekt zwischen Oberrheinebene und Schwarzwald liegt bei etwa 0,2 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) pro 100 m.

Die  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Gehalte werden als  $\delta^{18}\text{O}$ - bzw.  $\delta^2\text{H}$ -Werte in ‰ dargestellt. Sie beziehen sich auf den internationalen Standard VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) und weisen wegen der generellen Abreicherung gegenüber dem Meerwasser negative Werte auf. Die analytischen Messgenauigkeiten liegen bei  $\pm 0,15$  ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $\pm 1,5$  ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ).

Zwischen den  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -gehalten im Niederschlag besteht eine lineare Beziehung, die sich durch die sogenannte Niederschlagsgerade darstellen lässt ( $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + d$ ). Im Bereich des Oberrheingrabens liegt d (Deuterium-Exzess) bei etwa 8 bis 10. Rhein-Uferfiltrat weist in der Regel einen vergleichsweise hohen Deuterium-Exzess von etwa  $d = 10$  (vgl. Anl. 4:  $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ ) und lokal über Niederschläge neugebildetes Grundwasser einen vergleichsweise geringen Deuterium-Exzess von etwa  $d = 8$  auf (vgl. Anl. 4:  $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 8$ ).

Liegen von Grundwasseraufschlüssen  $\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihenuntersuchungen von mindestens 1 Jahr oder regional zusammenhängende Untersuchungen vor, lassen sich aus den  $\delta^{18}\text{O}$ -

Jahresmittelwerten Aussagen zur mittleren Grundwasserneubildungshöhe abschätzen ( $\delta^{18}\text{O}$ -Höheneffekt) und somit Aussagen zur Herkunft des erschlossenen Grundwassers ableiten.

Mit Hilfe von  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Untersuchungen lassen sich zudem Einflüsse von Baggersee-Uferfiltrat erkennen, da die obere Wasserschicht eines Grundwassersees (Epilimnion) in den Sommermonaten als Folge von Verdunstungsprozessen durch Anreicherung der „schweren“ Isotope  $^{18}\text{O}$  und  $^2\text{H}$  im Verhältnis zu den „leichten“ Isotope  $^{16}\text{O}$  und  $^1\text{H}$  markiert ist (je mehr  $^{18}\text{O}$ - bzw.  $^2\text{H}$ -Isotope im Verhältnis zu  $^{16}\text{O}$  bzw.  $^1\text{H}$ , umso „isotopisch schwerer“ ist ein Wasser). Durch die Isotopenfraktionierung verringert sich auch der Deuterium-Exzess. Die Wässer, die bei fortschreitender Verdunstung eines Ausgangswasser entstehen, liegen im  $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Diagramm auf der so genannten Verdunstungsgeraden (vgl. Abb. 1 mit Beispiel eines Grundwassersees im Bereich Legelshurst, Ortenaukreis). Die Markierungen des See-Uferfiltrats werden unterstromig durch Vermischungsprozesse mit Grundwässern anderer Herkunft überlagert. Ein durch Verdunstungsprozesse markiertes Seewasser lässt sich unterstromig des Sees durch eine Art „Fahne“ mit vergleichsweise isotopisch schweren  $^{18}\text{O}$ - und  $^2\text{H}$ -Gehalten sowie geringen Deuterium-Exzessen verfolgen. Dies kann genutzt werden, um die Vermischung von Seewasser und von Seewasser unbeeinflusstem Grundwasser zu bilanzieren. Zusätzlich lassen sich aus dem Verlauf der „Fahne“, die den Stofftransport widerspiegelt, die Grundwasserfließrichtung bestimmen. Bei Vorliegen von  $\delta^2\text{H}$ - und/oder  $\delta^{18}\text{O}$ -Zeitreihenuntersuchungen an Abstrommessstellen lassen sich Grundwasserfließzeiten und Abstandsgeschwindigkeiten abschätzen.

Baggerseen mit einer geringen Anbindung an den Grundwasserstrom, aufgrund von Kolmation („Seenalterung“) oder Selbstabdichtung durch sedimentierte Schwebstoffe (bei Baggerbetrieb), zeigen eine zunehmende Isotopenanreicherung, d. h. die  $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ -Wertepaare werden zunehmend „isotopisch schwerer“ und der Deuterium-Exzess zunehmend geringer.

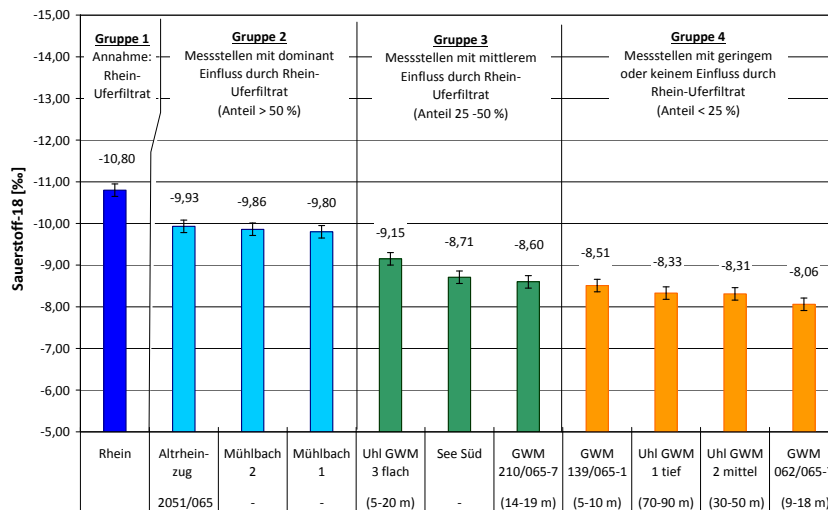


Abbildung 1: Säulendiagramm der Sauerstoff-18-Gehalte

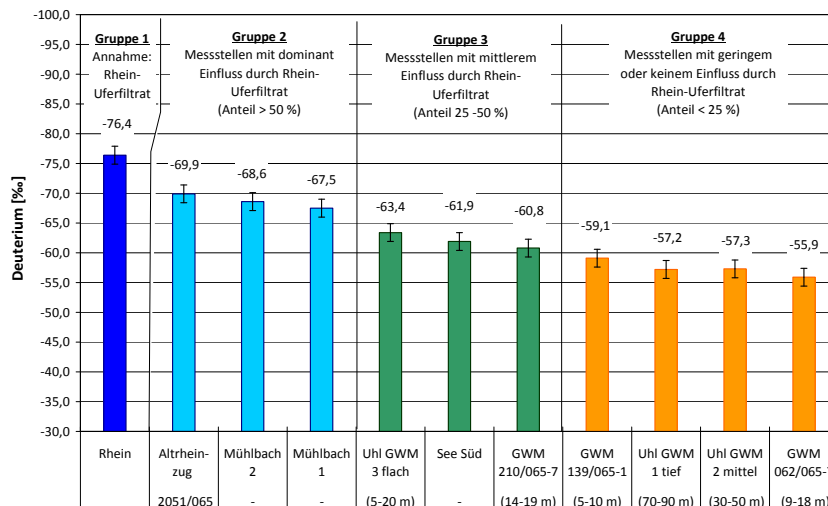


Abbildung 2: Säulendiagramm der Deuterium-Gehalte

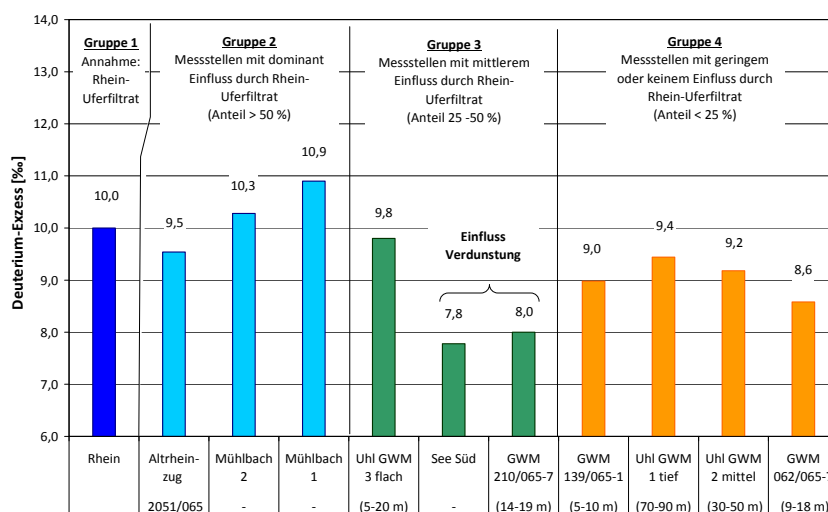
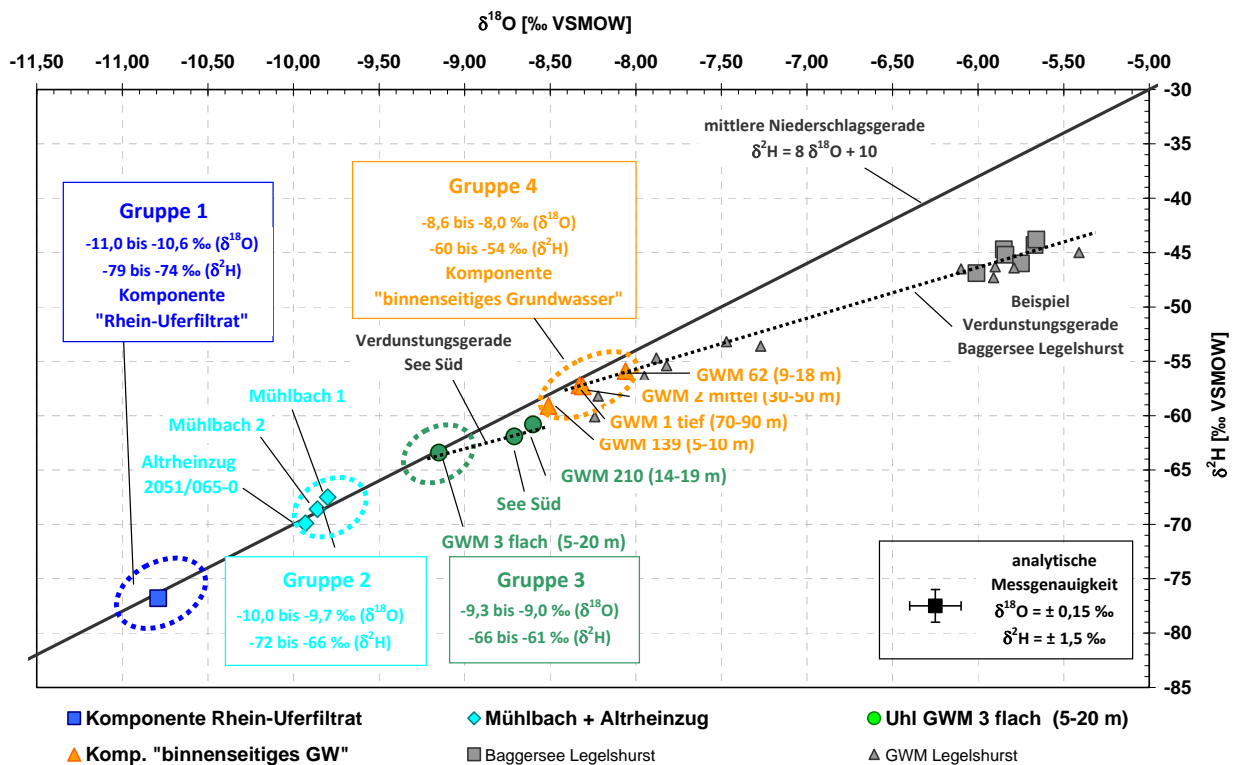


Abbildung 3: Säulendiagramm der Deuterium-Exzess-Gehalte



**Abbildung 4:** Korrelation Sauerstoff-18-Gehalte versus Deuterium-Gehalte

### 2.1.2 Analysenergebnisse und Interpretation

Die gemessenen Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte umfassen insgesamt einen relativ weiten Wertebereich von -9,93 bis -8,06 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ , s. Abb. 1) bzw. -69,9 bis -55,9 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ , s. Abb. 2).

Die aus den Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalten berechneten Deuterium-Exzesse liegen in einem relativ engen Wertebereich von 7,8 bis 10,8 ‰ (s. Abb. 3).

Unter Berücksichtigung der analytischen Messgenauigkeiten von  $\pm 0,15 \text{ ‰}$  ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw.  $\pm 1,5 \text{ ‰}$  ( $\delta^2\text{H}$ ) und der Verdunstungseinflüsse an den Messstellen See Süd und der GWM 210/065-7 (14-19 m) lassen sich insgesamt 4 Gruppen differenzieren (s. Abb. 1 bis 4), wobei es zur Gruppe 1 keine aktuell gemessene Referenzprobe gibt.

#### **Gruppe 1: (-11,0 bis -10,6 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -79 bis -74 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ), Komponente „Rhein-Uferfiltrat“)**

Die Gruppe 1 bzw. Komponente „Rhein-Uferfiltrat“ ist durch isotopisch sehr „leichte“ Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte charakterisiert (-11,0 bis -10,6 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -78 bis -75 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ )), was durch langjährige Messreihen belegt ist (Untersuchungen zum Polder Breisach oder Polder Elzmündung; Grund: dominierend alpines Einzugsgebiet).

Bei den nachstehenden Gruppen 2 und 3 handelt es sich um Mischwassersysteme aus der Komponente „Rhein-Uferfiltrat“ (Gruppe 1) und „binnenseitigem Grundwasser“ (Gruppe 4). Die Mischungsanteile lassen sich mit Hilfe einer linearen Zweikomponenten-Mischungsrechnung abschätzen. Für die Komponente „Rhein-Uferfiltrat“ wird ein Sauerstoff-18- bzw. Deuterium-Gehalt von -10,8 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -76,4 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ) angesetzt, für die Komponente „binnenseitiges Grundwasser“ die Gehalte -8,3 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -57 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ).

### **Gruppe 2: (-10,0 bis -9,7 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -72 bis -66 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ))**

Bei den Messstellen der Gruppe 2 handelt es sich um die drei Oberflächengewässerproben Altrheinzug, Mühlbach 1 und Mühlbach 2. Für die Messstellen der Gruppe 2 lassen sich Rhein-Uferfiltrat-Anteile von etwa 50 bis 75 % abschätzen.

### **Gruppe 3: (-9,3 bis -9,0 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -66 bis -61 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ))**

Bei den Messstellen der Gruppe 3 (Uhl GWM 3 flach, See Süd, GWM 210/065-7) liegen die Rhein-Uferfiltrat-Anteile in einer Größenordnung von etwa 25 bis 50 %.

Anhand der Deuterium-Exzesse sind beim Baggerseewasser und bei der Messstelle GWM 210/065-7 geringe Einflüsse von Verdunstung zu erkennen (s. Abb. 3), was dazu führt, dass diese Messstellen tendenziell der Gruppe 3 zuzuordnen sind (s. Abb. 4: Schnittpunkt Verdunstungs- und mittlere Niederschlagsgerade).

Auf Basis der Zweikomponenten-Mischungsrechnung lassen sich für das dem „See Süd“ zuströmende Grundwasser (-9,3 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -64,4 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ )) Rheinwasseranteile von etwa 40 % abschätzen (Anteil „binnenseitiges GW“ etwa 60 %).

### **Gruppe 4: (-8,6 bis -8,0 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -60 bis -54 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ))**

Die Sauerstoff-18- und Deuterium-Gehalte liegen in einem Wertebereich von -8,6 bis -8,0 ‰ ( $\delta^{18}\text{O}$ ) bzw. -60 bis -54 ‰ ( $\delta^2\text{H}$ ), der für „binnenseitige Grundwässer“ bzw. „lokal im Oberrheingraben neugebildete Grundwässer“ typisch ist.

## 2.2 Tritium ( $^3\text{H}$ )

### 2.2.1 Grundlagen

Tritium ist das radioaktive Isotop des Wasserstoffs ( $^3\text{H}$ ; Halbwertszeit 12,3 Jahre). Die natürliche Produktionsrate von Tritium ist gerade so hoch, dass die Niederschläge ca. 5 TU enthalten (TU = Tritium-Units, 1 TU = 0,119 Bq/l). Als Folge der Wasserstoffatombombentests in den 1950-er und 1960-er Jahren kam es zu Tritiumgehalten in den Niederschlägen von mehreren 1000 TU, die seither abnehmen. Wie die Tritium-Zeitreihenuntersuchungen der Niederschlagsmessstation Freiburg zeigen, weisen die aktuellen Niederschläge als Spätfolge dieser und jüngerer Tests noch Tritiumgehalte von etwa 4-13 TU auf (s. Anl. 3), wobei Winterniederschläge durch vergleichsweise geringe (4-8 TU) und Sommerniederschläge durch vergleichsweise hohe Gehalte (8-13 TU) geprägt sind.

Die Tritiumkonzentrationen der Grundwässer können zur Abschätzung der mittleren Verweilzeit (MVZ) der Jungwasserkomponente (nach 1953 gebildet) herangezogen werden. Dafür werden hydrologische Strömungsmodelle verwendet. Für die quartären Lockersedimente des Oberrheingrabens wird als Grundwasserneubildungs-/Infiltrationsmodell das **Exponentialmodell (EM)** verwendet. Hier wird von einer flächenhaften Grundwasserneubildung im gesamten Einzugsgebiet ausgegangen. Eine 50% - 50% Serienschaltung eines **Exponentialmodell mit einem Piston-flow-Modell (EPM50)** würde beispielsweise angesetzt werden, wenn die Grundwasserneubildung an den Rändern des Einzugsgebietes stattfindet und das neugebildete Grundwasser von dort aus „schubartig“, ohne weitere Zumischung, der Grundwasseraustrittsstelle zuströmt. Ein weiteres Beispiel könnte infiltrierendes Rhein-Uferfiltrat sein, dass den Rhein-parallel, ebenfalls ohne weitere Zumischung, nach Norden strömt.

An jungen Grundwässern mit Mittleren Verweilzeiten von wenigen Wochen bis Monaten lassen sich die oben genannten saisonalen Variationen noch erkennen. Vermischen sich die einzelnen Niederschlagsereignisse bzw. Jahrgänge, ergeben sich für Grundwässer mit MVZ von 1-60 Jahren Tritiumgehalte von etwa 6 bis 8 TU, was als plausibler Wertebereich für die lokal durch Niederschläge neugebildete Grundwässer für den Bereich von Altenheim anzusetzen ist (bei Ansatz eines Exponentialmodells). Bei Serienschaltung von **Exponentialmodell mit einem Piston-flow-Modell (EPM75, EPM50, EPM25)** können für Grundwässer mit MVZ von 1-60 Jahren Tritiumgehalte von etwa 5 bis 19 TU auftreten.

Grundwässer, in denen kein Tritium nachweisbar ist, enthalten keine bzw. nur geringe Niederschlagsanteile aus dem Zeitraum nach 1953.

#### Tritiumgehalte des Rheins bei Breisach

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz (bfg) untersucht seit mehreren Jahren die Tritiumgehalte von Monatsmischproben des Rheins an ausgewählten Stationen. Anhand der Tritiumzeitreihe (1998-2009) der oberstromig gelegenen Rhein-Messstelle Breisach ist eine deutliche Tritium-Markierung des Rheins gegenüber den Niederschlägen angezeigt (vgl. Anl. 3). Ursache ist die Einleitung tritiumhaltiger Abwässer des oberstromig von Freistett gelegenen Atomkraftwerks Fessenheim sowie der Schweizer Atomkraftwerke.

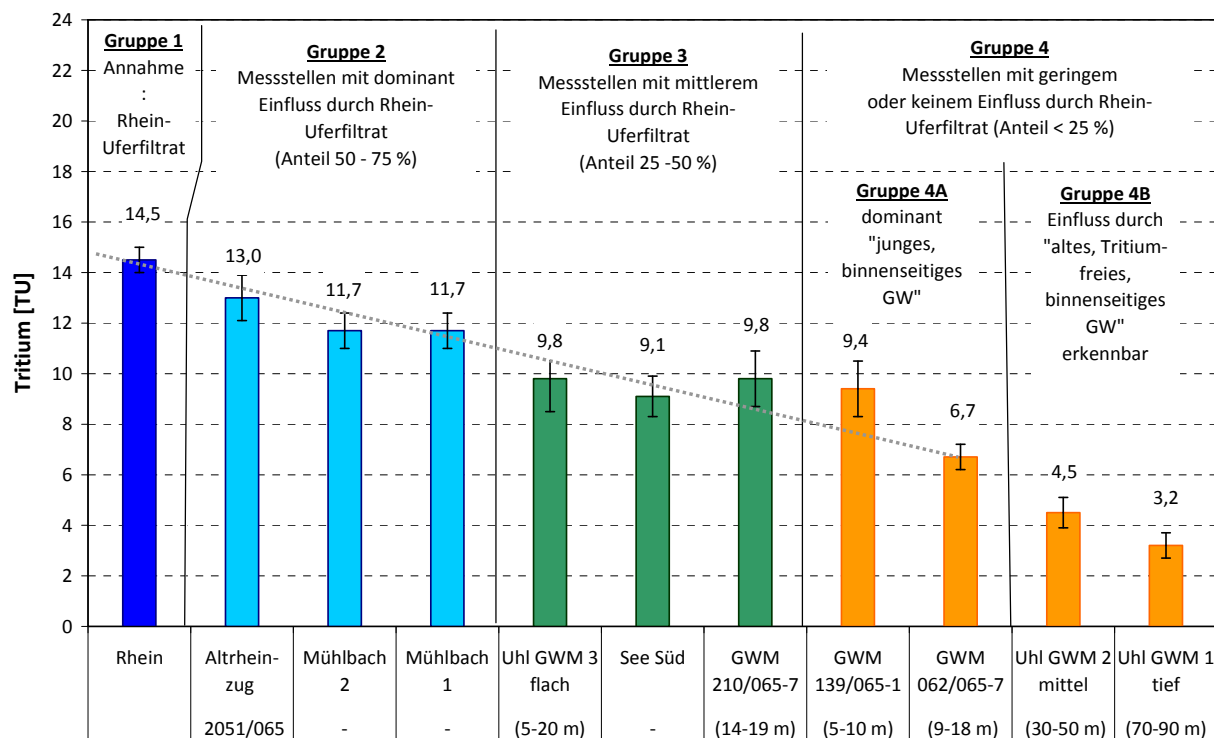


Abbildung 5: Säulendiagramm der Tritium-Gehalte

### 2.1.2 Analysenergebnisse und Interpretation

Die analysierten Tritiumgehalte liegen insgesamt in einem weiten Wertebereich von  $3,2 \pm 0,5$  TU bis  $13,0 \pm 0,9$  TU (s. Abb. 5).

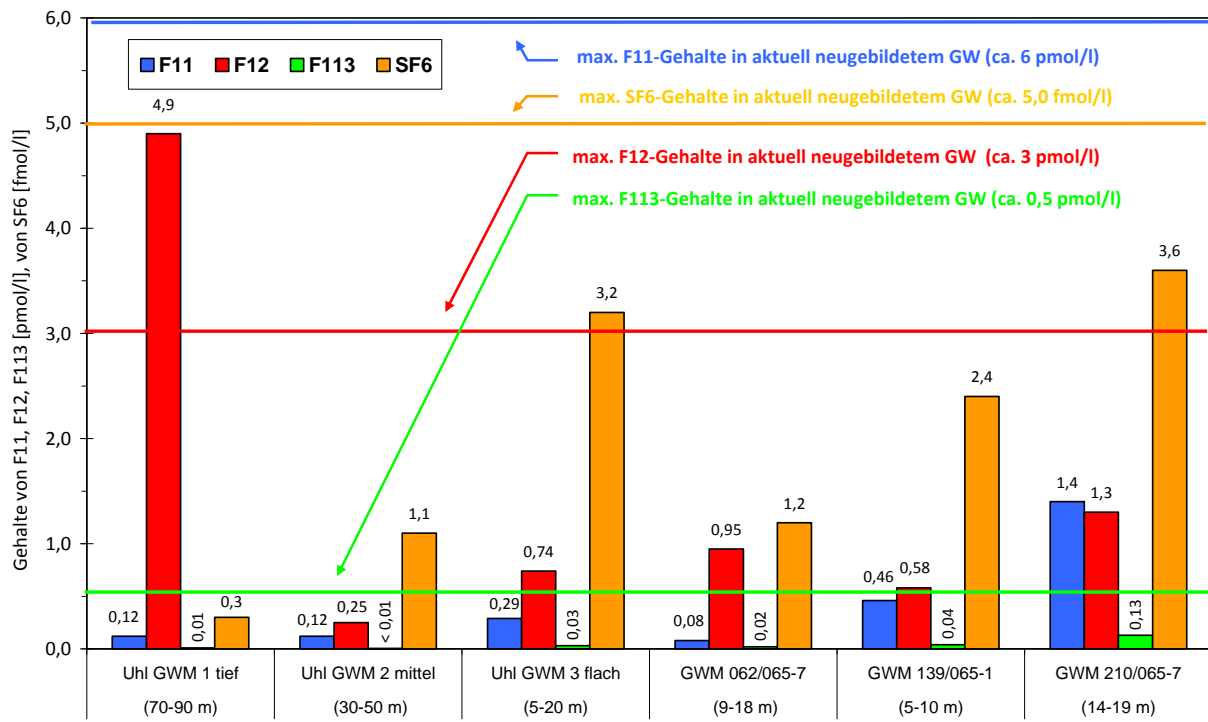
Der Tritiumgehalt für den Rhein im Jahr 2018 lässt sich anhand der Anlage 3 abschätzen ( **$14,5 \pm 0,5$  TU: Gruppe 1 bzw. Komponente 1**).

**Tritiumgehalte von > 9 TU** deuten auf Einflüsse durch Rhein-Uferfiltrat hin. Alternativ könnten auch dominante Anteile an Sommerniederschlägen derartige Tritiumgehalte ermöglichen, was jedoch eher als unwahrscheinlich anzusehen ist (s.u.).

Der **Tritium-Wertebereich von 6 bis 8 TU**, der sich aus lokaler Grundwasserneubildung durch Niederschläge mit MVZ von 1-60 Jahren im Bereich von Altenheim bei Ansatz eines Exponentialmodells ergibt, ist nur an der Probe von GWM 062/065-7 festzustellen. An der Probe Uhl GWM 2 mittel konnte ein vergleichsweise geringer Tritiumgehalt von  $4,5 \pm 0,6$  TU festgestellt werden, der auf dominante Anteile von Winterniederschlägen oder auf die Beteiligung einer Tritium-freien Grundwasserkomponente hinweist (vergleichbar Probe Uhl GWM 1 tief, s. u.).

Der vergleichsweise geringe Tritiumgehalt an der Grundwassermessstelle Uhl GWM 1 tief ( **$3,2 \pm 0,5$  TU**) liegt unterhalb der Tritiumgehalte der aktuellen Niederschläge und zeigt hiermit eindeutig die Beteiligung einer Tritium-freien Grundwasserkomponente an. Zur Erfassung der Mi-

schungsanteile an "altem", Tritium-freien und "jungem", Tritium-haltigen Grundwasser, müsste eine kombinierte Untersuchungen mit einem weiteren Datierungstracer, wie z. B. SF6, den FCKW's F11, F12, F113 oder Krypton-85, durchgeführt werden. Hieraus lassen sich zudem Aussagen zur Mittleren Verweilzeit (MVZ) der Jungwasserkomponente ableiten (siehe Kap. 3).



**Abbildung 6:** Grafische Darstellung der Spurengaskonzentrationen F11, F12, F113 und SF6

## 2.3 Spurengase (SF6/FCKW)

### 2.3.1 Grundlagen

SF6 ist ein Spurenstoff, der seit ca. 45 Jahren zunehmend in die Atmosphäre gelangt. Der Stoff ist gasförmig und löst sich im Niederschlagswasser (Tritium ist dagegen im Wassermolekül enthalten). Über Niederschläge gelangt SF6 in das Grundwasser und kann zur Altersbestimmung herangezogen werden. Die Konzentrationen von SF6 werden in fmol/l (entsprechend  $10^{-15}$  mol) angegeben. Aktuell neu gebildete Grundwässer weisen SF6-Gehalte von ca. 4 - 5 fmol/l auf. Im Vergleich mit Tritium, dessen Konzentrationen in der Atmosphäre und im Grundwasser kontinuierlich abnehmen, ist der SF6-Gehalt kontinuierlich steigend. SF6 gilt als stabil im Hinblick auf Abbauvorgänge im Untergrund. Zusätzliche, anthropogene Quellen sind selten.

Die FCKW - Spurenstoffe weisen einen atmosphärischen Eintragsmechanismus vergleichbar zu SF6 auf. Zusätzlich können FCKW-Spurenstoffe jedoch auch durch weitere Eintragsquellen – wie



z. B. Kanalisations- und Deponie-Abwässer – ins Grundwasser gelangen. Aufgrund der extrem sensiblen Analysetechnik können diese Überhöhungen auch schon bei geringsten Einflüssen erfasst werden, wenn andere Schadstoffe noch nicht nachzuweisen sind (Messbereich des Spurenstoffes  $\text{pmol/l} = 10^{-12} \text{ mol/l}$ ). Es handelt sich jedoch nicht um grenzwertrelevante Schadstoffparameter. Werden FCKW-Spurenstoffe nur über die Atmosphäre in das Grundwasser eingetragen, können sie auch zur Grundwasserdatierung herangezogen werden. Die FCKW-Gehalte in aktuell neugebildetem, unbeeinflusstem Grundwasser betragen für F11 ca. 6,0 pmol/l, für F12: ca. 3,0 pmol/l und für F113 ca. 0,5 pmol/l.

### 2.3.2 Analysenergebnisse und Interpretation

Die Ergebnisse der FCKW-Spurengasuntersuchungen sind in Abb. 6 grafisch den derzeitigen, max. atmosphärischen Eintragskonzentrationen gegenübergestellt. Die Messwerte der F11-, F12-, und F113-Spezies liegen größtenteils unterhalb der max. atmosphärischen Eintragskonzentration. Mit Ausnahme der Probe Uhl GWM 1 tief (F12-Spezies) treten bei allen weiteren Proben keine Überhöhungen auf. D. h. dass zusätzliche Punktquellen (z. B. Altlasten, wilde Ablagerung mit Kühlschränken, Spraydosen, etc.) nicht erkennbar sind.

Die SF<sub>6</sub>- und FCKW-Spurengasuntersuchungen sollten unterstützend zum Tritium eine nähere Erfassung der Grundwasseraltersstruktur im Untersuchungsgebiet ermöglichen. Anhand der Analysenergebnisse stellte sich jedoch heraus, dass bei allen FCKW-Spezies F11, F12 und F113 aufgrund der hier vorherrschenden reduzierenden Verhältnisse (gelöster Sauerstoffgehalt von 2,9 bis 4,5 mg/l) Abbauprozesse auftreten (siehe Anlage 4 bis 6). Zusätzlich zeigt sich bei der GWM 1 tief eine Überhöhung bei F12, die eine lokale F12-Quelle im Untersuchungsgebiet anzeigt. Der Ursprung der F12-Eintragsquelle ist nicht bekannt.

Aufgrund der dominierenden Abbauprozesse bei allen FCKW-Spezies und der lokalen F12-Überhöhung an der GWM 1 tief können die FCKW-Spurengase (F11, F12 und F113) nicht für die Altersdatierung herangezogen werden, da sie keine belastbaren Informationen zur Altersdatierung des Grundwassers mehr liefern können.

Eine vernetzende Auswertung der Alterstruktur auf Basis der kombinierten Auswertung von Tritium und dem Spurengas SF<sub>6</sub> ist jedoch möglich.

Die vernetzenden Auswertungen dienen dazu, die Grundwasseraltersstruktur durch Kombination von Isotopen- und SF<sub>6</sub>-Spurengasdaten vertieft zu ermitteln. Zusätzlich erfolgt auch eine kombinierte Bewertung von Grundwasseraltersstruktur und der hydrochemischen Beschaffenheit der Grundwasserproben, um hier potenzielle Zusammenhänge aufzeigen und erklären zu können.

### 2.3.3 Kombinierte Auswertung von Tritium und SF6

Durch Verwendung von zwei unabhängigen Datierungstracern lassen sich sogenannte „Harfendiagramme“ erstellen, mit denen die Grundwasseraltersstruktur grafisch ermittelt werden kann. Hiermit ist es möglich, die Zumischung von alten Tritium- und SF6-freien Grundwasserkomponenten zu jungen Grundwässern eindeutig zu erkennen, was mit einzelnen Tritium- bzw. Spurengasmessungen nicht möglich ist.

Für die Zuordnung einer Mittleren Verweilzeit (MVZ) zu einer Grundwasserkomponente müssen immer vereinfachende Annahmen zu den Neubildungsverhältnissen gemacht werden, z. B. eine über das ganze Jahr gleichbleibende Grundwasserneubildung. Die Altersberechnung erfolgt auf dieser Grundlage mit sog. Black-Box-Modellen. Die gängigsten Vertreter der Black-Box-Modelle sind das Exponentialmodell (EM), das Dispersionsmodell (DM) und das Piston-Flow-Modell (PM), die auch parallel und seriell miteinander gekoppelt werden können (DVWK 1995).

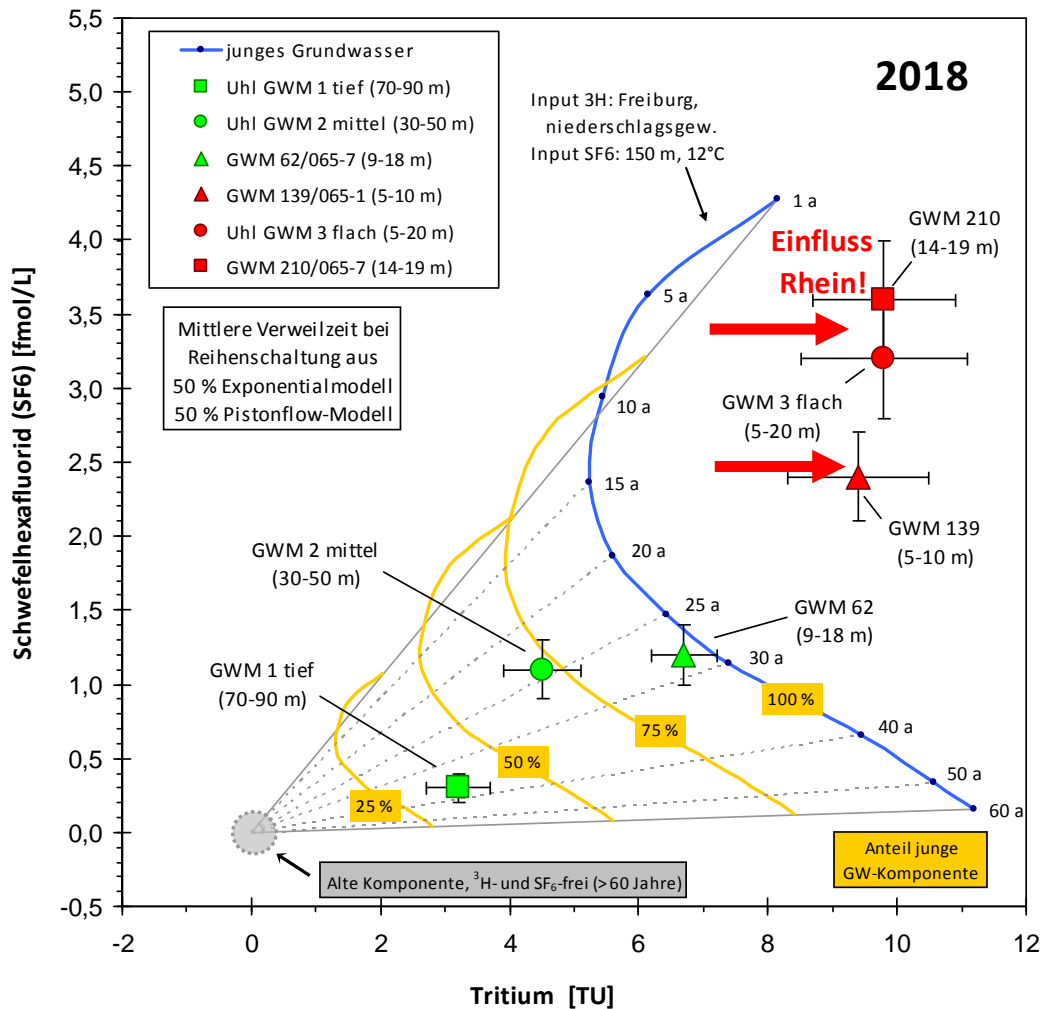
Aufgrund von variablen hydrogeologischen Rahmenbedingungen können die Black-Box-Modelle nur eine Annäherung an die tatsächlichen Sicker- und Strömungsabläufe von der Neubildung bis zum Austritt am Grundwasseraufschluss darstellen.

Für die aktuellen Untersuchungen wurden daher das Exponentialmodell (EM) und 3 weitere Modellansätze von Exponentialmodell mit Zuschaltung von Piston-Flow-Anteilen (PM = 25-75 %) verwendet. Der EM-Anteil repräsentiert dabei vorwiegend die flächenhafte Neubildung von Grundwasser im Untersuchungsgebiet, während der Piston-Flow-Anteil den durchschubartigen Abfluss im Porengrundwasserleiter repräsentiert. Alle Harfendarstellungen sind in den Anlagen 4 bis 7 dargestellt.

Wie oben ausgeführt ist SF6 insgesamt am besten für die Altersdatierung geeignet. Daher wird der Schwerpunkt bei der Dateninterpretation auf die kombinierte Auswertung von SF6 und Tritium gelegt.

Theoretisch müssten die Modellannahmen zur Berechnung der MVZ der Jungwasserkomponente für jede einzelne Messstelle individuell angepasst werden (d.h. z.B. %-Anteil des PM am Fließmodell). Um eine Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen und um die Datensätze anschaulich darstellen zu können, wird bei der Tritium/SF6-Auswertung nachfolgend vereinfachend auf den Modellansatz von 50% EM und 50 % PM zurückgegriffen (vgl. Abb. 7). Dies scheint für den Großteil der Messstellen eine plausible Annahme der hydrogeologischen Strömungs- und Neubildungsverhältnisse zu sein.

Anhand der Lage der Tritium/SF6-Wertepaare im Harfendiagramm lassen sich für die Grundwasserproben folgende Altersstrukturen abschätzen.



**Abbildung 7:**

Grafische Darstellung der GW-Altersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/SF<sub>6</sub>-Gehalte vom Jahr 2018; MVZ bei Reihenschaltung aus 50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell

**Tabelle 1:** Ergebnisse der grafischen Auswertung zur Altersstruktur anhand Tritium und SF<sub>6</sub>

Messstelle	Anteil junge GW-Komponente	MVZ junge GW-Komponente
Uhl GWM 1 tief (70-90 m)	30-40 % JW	MVZ JW: 30-40 a
Uhl GWM 2 mittel (30-50 m)	60-80 % JW	MVZ JW: 22-27 a
GWM 062/065-7 (9-18 m)	90-100 % JW	MVZ JW: 27-30 a
GWM 139/065-1 (5-10 m)	Einfluss Rhein-Uferfiltrat	
Uhl GWM 3 flach (5-20 m)	Einfluss Rhein-Uferfiltrat	
GWM 210/065-7 (14-19 m)	Einfluss Rhein-Uferfiltrat	

## 2.4 Süßstoff Acesulfam-K

### 2.4.1 Grundlagen

*Acesulfam-K* ist ein synthetischer Süßstoff, der vom Körper unverändert wieder ausgeschieden wird. Auch aus Kläranlagen tritt er unverändert aus, was ihn zu einem idealen Markierstoff für Abwasser und abwasserbeeinflusstes Oberflächenwasser bzw. Uferfiltrat macht („Umwelt-Tracer“). Von der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS) sind für das Rheinwasser aus dem Zeitraum 2011 bis 2017 Konzentrationen von bis zu 2.300 ng/l Acesulfam bekannt (Tab. 2). Die Mittelwerte der vergangenen 4 Jahre (2014-2017) zeigen einen stetigen Trend hin zu geringeren Gehalten (aktuell bei etwa 440 ng/l). In lokal aus Niederschlägen neugebildeten Grundwässern ist dagegen kein Acesulfam enthalten. Acesulfam ist seit 1990 in Deutschland zugelassen.

**Tab. 2:** Acesulfam-K-Gehalte von Tagesmischproben an der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS)

Acesulfam-K in ng/l	Anzahl	Min.	Max.	MW	Best.- grenze	Abfluss Rhein (m <sup>3</sup> /s)		
						Min.	Max.	MW
Jahr 2011	11	707	1.539	1.048				
Jahr 2012	26	356	1.259	732				
Jahr 2013	363	428	2.282	1.182	3			
Jahr 2014	365	281	1.460	673	3			
Jahr 2015	365	0	989	519	3			
Jahr 2016	364	220	881	466	3			1.141
Jahr 2017	364	200	1.000	439	3			916
Dez 16	31			474	3			515
Jan 17	31	600	1.100	784	3	403	623	439
Feb 17	28	450	1.000	790	3	540	1.474	695
Mrz 17	31	400	830	563	3	805	1.713	1.064
Apr 17	30	490	750	574	3	609	1.226	780
Mai 17	31	370	510	432	3	958	1.482	1.143
Jun 17	30	230	520	361	3	890	1.492	1.049
Jul 17	31	260	370	305	3	768	1.220	942
Aug 17	31	200	310	262	3	768	1.245	978
Sep 17	30	200	360	249	3	816	1.754	1.072
Okt 17	31	240	420	288	3	656	1.055	808
Nov 17	30	240	400	300	3	565	1.669	927
Dez 17	31	250	480	357	3	704	2.066	1.097

Mittels LC-MS NACHGEWIESENES ACESULFAM-K-GEHALTE IN DER WASSERPHASE IM RHEIN BEI WEIL AM RHEIN

Max. = Maximum; Min. = Minimum, MW = Mittelwert, Best.-Grenze = Bestimmungsgrenze

Quelle: <http://www.aue.bs.ch/umweltanalytik/rheinueberwachungsstation-weil-am-rhein.html>

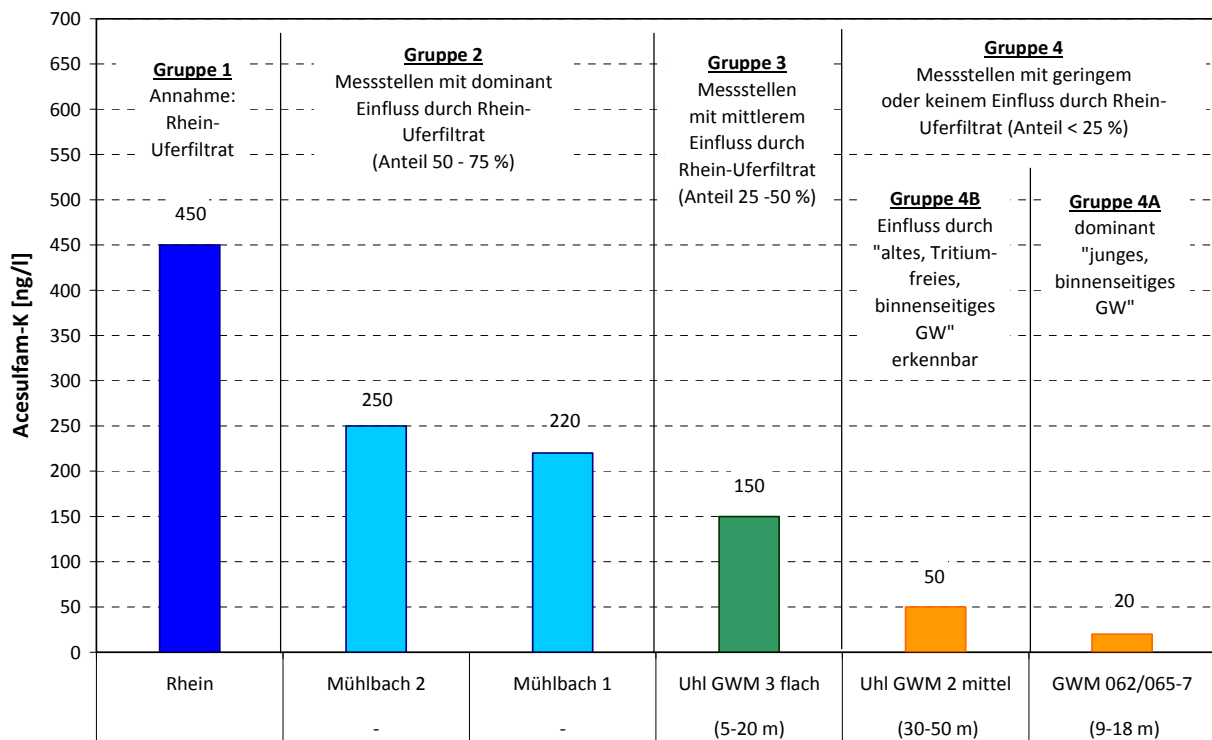


Abbildung 8: Säulendiagramm der Acesulfam-Gehalte

## 2.4.2 Analysenergebnisse und Interpretation

Acesulfam-K konnte in einem relativ weiten Wertebereich von 20 ng/l bis maximal 250 ng/l nachgewiesen werden (s. Abb. 8). Die analytische Bestimmungsgrenze liegt bei 10 ng/l. Die Höhe der Konzentrationen stehen in direkter Verbindung mit den Rhein-Uferfiltrat-Anteilen.

### Mühlbach

Die Acesulfam-Konzentrationen an den beiden Messstellen im Mühlbach (Mühlbach 1 bzw. Mühlbach 2) liegen in einer vergleichbaren Größenordnung (220 bzw. 250 ng/l). Aus der Korrelation Sauerstoff-18 versus Acesulfam lässt sich der Acesulfam-Gehalt des Rhein-Uferfiltrats bzw. Rheinwassers mit 370 bis 430 ng/l abschätzen (siehe Abb. 9: Acesulfam-Gehalt der Komponente Rhein), was sehr gut mit den aktuell an der Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein (RÜS) gemessenen Werten übereinstimmt. Auf Basis der Korrelationen aus Sauerstoff-18 / Acesulfam (Abb. 9), Sauerstoff-18 / Tritium (Abb. 10) und Acesulfam / Tritium lässt sich für den Mühlbach 1 und Mühlbach 2 Rhein-Uferfiltrat-Anteile von 60 bzw. 65 % abschätzen.

### Uhl GWM 3 flach

Für die GWM 3 flach lässt sich auf Basis der Korrelationen ein Rhein-Uferfiltrat-Anteil von etwa 35 % abschätzen.

### Uhl GWM 2 mittel und GWM 062/065-7

An der GWM 2 mittel und der GWM 062/065-7 liegen die Anteile an Rhein-Uferfiltrat-Anteil in der Größenordnung von etwa 10 bis 15 % bzw. etwa 5 %.

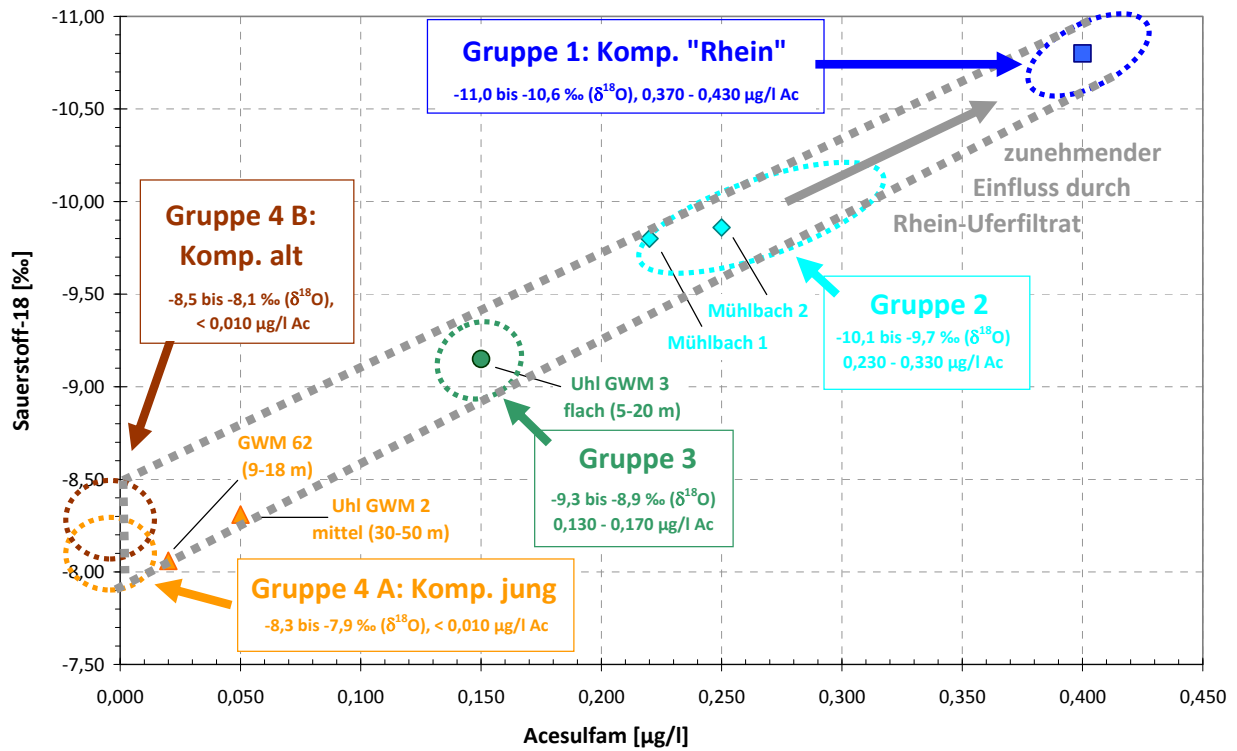


Abbildung 9: Korrelation Sauerstoff-18- versus Acesulfam-Gehalte

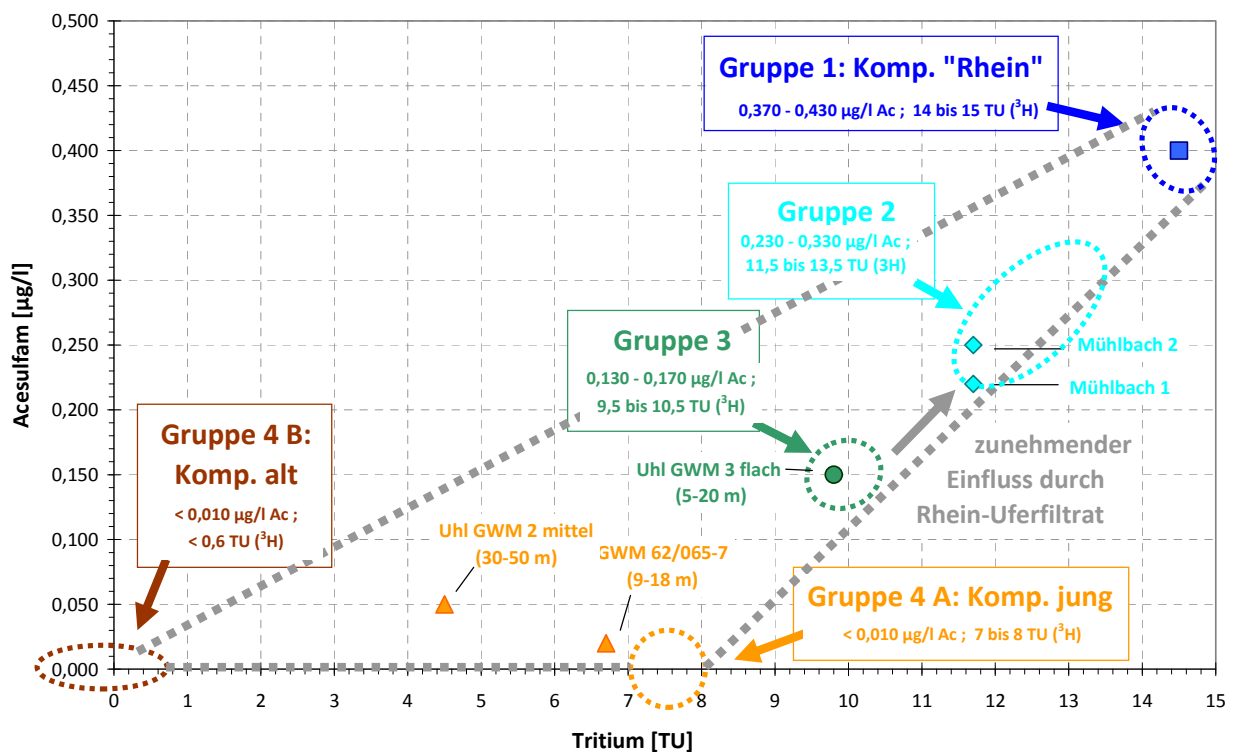
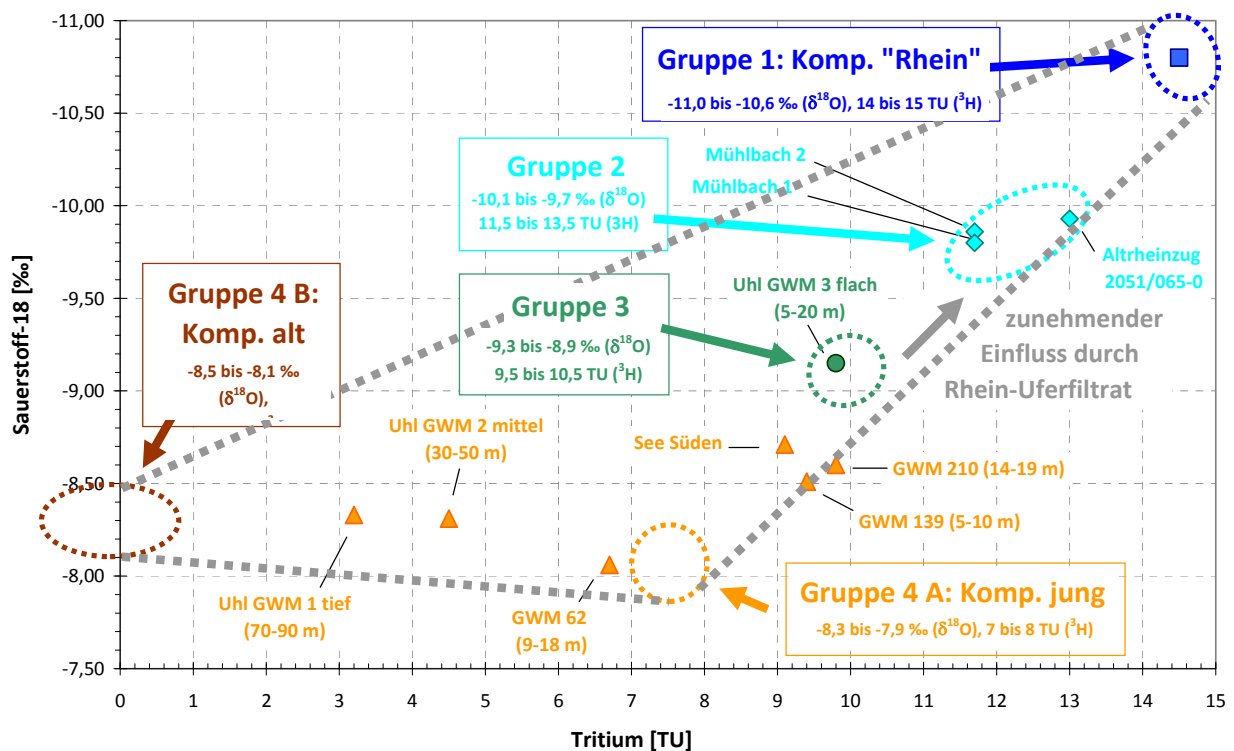


Abbildung 10: Korrelation Acesulfam- versus Tritium-Gehalte



**Abbildung 11:** Korrelation Sauerstoff-18- versus Tritium-Gehalte

## 2.5 Chlorid

### 2.5.1 Grundlagen

Chlorid, das keinem Abbau unterliegt und das nicht absorbiert wird, ist zum Nachweis von Rhein-Uferfiltrat besonders geeignet. Allerdings weisen die heutigen Chlorid-Konzentrationen des Rheins von 10-20 mg/l keinen wesentlichen Kontrast zu dem aus Niederschlag neugebildeten Grundwasser auf, so dass der Nachweis von jungem Rhein-Uferfiltrat allein anhand von Chlorid Unsicherheiten birgt. Früher führte der Rhein jedoch aufgrund von Einleitungen der elsässischen Kaliminen sehr hohe Chlorid-Konzentrationen von über 200 mg/l (vor dem Jahr 1990). Seit Mitte der 1980-er Jahre sind diese allerdings als Ergebnis des Chloridübereinkommens zwischen den Anliegerstaaten stark zurück gegangen (aus LGRB, 2006, sog. „OZH-Bericht“: 1993 ca. 150 mg/l; 1998 ca. 100 mg/l; ab 2000 unterhalb von 50 mg/l)

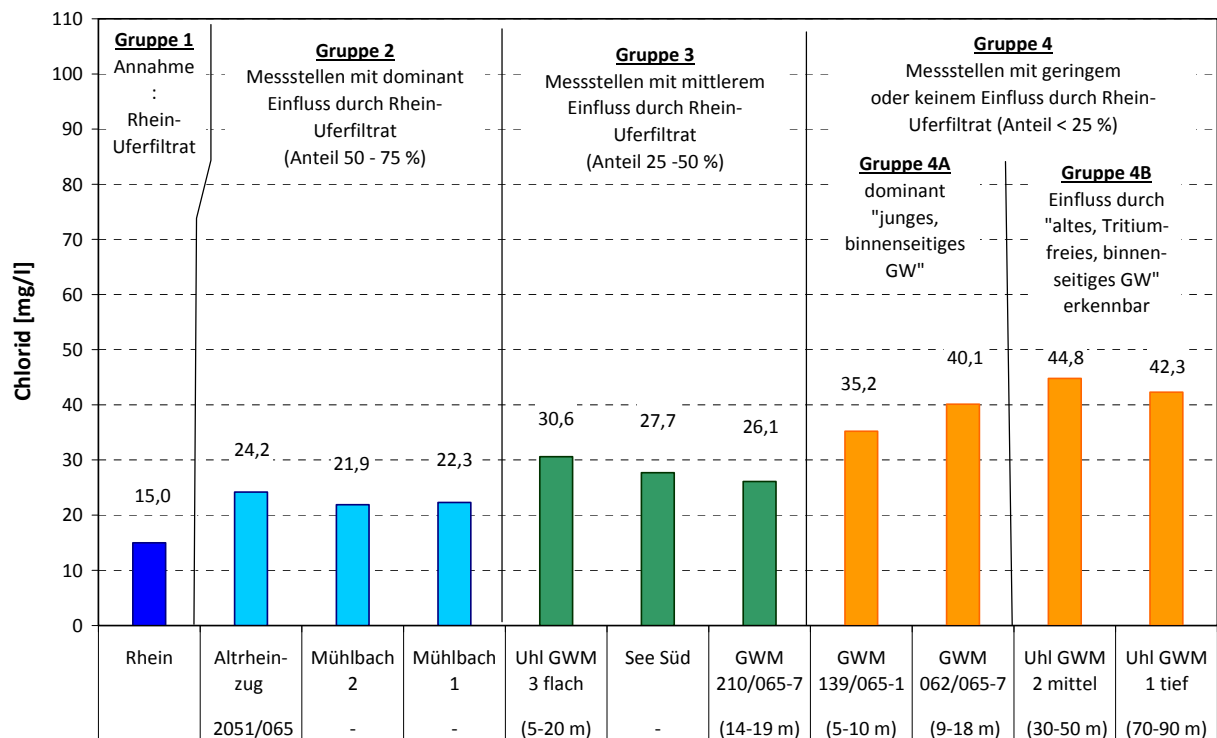


Abbildung 12: Säulendiagramm der Chlorid-Gehalte

### 2.5.2 Analysenergebnisse und Interpretation

Die Analysenergebnisse zu den Hauptinhaltsstoffen wurden uns vom AG freundlicherweise zur Verfügung gestellt (siehe Anhang II).

Die Chlorid-Konzentrationen liegen insgesamt zwischen 21,9 und 44,8 mg/l (s. Abb. 12). Markante Einflüsse durch „altes Rhein-Uferfiltrat“ sind anhand der vorliegenden Proben nicht erkennbar. Die vorliegenden Chloridgehalte passen sehr gut in das Mischwassersystem aus Komponente „Rhein“ (Gruppe 1), Komponente „binnenseitiges GW jung“ (Gruppe 4A) und Komponente „binnenseitiges GW alt“ (Gruppe 4B).



### 3. Vernetzende Auswertung und Zusammenfassung

Für die vernetzenden Auswertungen wurden die untersuchten Parameter Sauerstoff-18, Tritium, Acesulfam-K, spezifische elektrische Leitfähigkeit, Hydrogenkarbonat, Chlorid, Sulfat und Bor jeweils untereinander in Bezug gebracht (siehe Anlagen 8 - 12).

- Anl. 8: Korrelation Sauerstoff-18-/Chlorid-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 9: Korrelation Sauerstoff-18-/spez. el. Leitfähigkeit-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 10: Korrelation Sauerstoff-18-/Hydrogenkarbonat-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 11: Korrelation Sauerstoff-18-/Sulfat-Gehalte versus Tritium-Gehalte
- Anl. 12: Korrelation Sauerstoff-18-/Bor-Gehalte versus Tritium-Gehalte

#### **Komponente 1: „Rhein-Uferfiltrat jung“**

##### ohne Referenzmessstelle

Die Komponente „Rhein-Uferfiltrat jung“ ist durch vergleichsweise hohe Tritiumgehalte aufgrund der Einleitung tritiumhaltiger Abwässer der oberstromig von Altenheim gelegenen Atomkraftwerke geprägt (etwa 14 - 15 TU). Zusätzlich ist das „junge Rhein-Uferfiltrat“ durch hohe Acesulfam-Konzentrationen gekennzeichnet (370 bis 450 ng/l). Der Chloridgehalt ist hingegen unauffällig (10-20 mg/l). Die isotopisch sehr „leichten“ Sauerstoff-18-(Mittelwert: -10,8 ‰) und Deuterium-Gehalte (Mittelwert: -76,4 ‰), die das deutlich höher liegende Einzugsgebiet des Rheins belegen, ermöglichen eine sehr gute Unterscheidung gegenüber den binnenseitigen Grundwässern.

#### **Komponente 4A: „binnenseitiges Grundwasser jung“**

##### Referenzmessstelle: 062/065-7 (9 – 18 m)

Die Komponente „binnenseitiges Grundwasser jung“ wird am Besten durch die flache **GWM 062/065-7** (Filterbereich: 9 - 18 m u GOK) repräsentiert. Diese Komponente ist in ihrer reinen Form frei von Abwassereinflüssen (Acesulfam-K: < 10 ng/l), und lässt sich somit hydrochemisch nicht von der Komponente „binnenseitiges GW alt“ unterscheiden.

Isotopisch ist das „binnenseitige GW jung“ vom „binnenseitigen GW alt“ durch die höheren Tritiumgehalte und somit durch die höheren Anteile an „jungen“ Grundwasserkomponenten zu unterscheiden (etwa 90 bis 100 % Jungwasser; graphische Abschätzung mittels Abb. 7).

Die Sauerstoff-18-(Mittelwert: -8,1 ‰) und Deuterium-Gehalte (Mittelwert: -54 ‰) liegen in einer vergleichbaren Größenordnung, was auf eine vergleichbare Grundwasserneubildungshöhenlage im Oberrheingraben hindeutet. Der Gehalt an Tritium ist bei der Referenzmessstelle 062/065-7 mit  $6,7 \pm 0,5$  TU etwas gering, was die Beteiligung einer Tritium-freien, > 60 Jahre alten Grundwasserkomponente nicht ausschließt (s. Anlagen 8 bis 12: Anteil altes, Tritium-freies GW: 5-10 %).

### **Komponente 4B: „binnenseitiges Grundwasser alt“**

#### **ohne Referenzmessstelle**

Für die Komponente „binnenseitiges Grundwasser alt“ konnte keine „reine“ Referenzmessstelle erfasst werden (wobei Uhl GWM 1 tief etwa 65 % der Komp. 4B aufweist, s. Abb. 7). Das Tiefenwasser sollte frei von Acesulfam-K sein ( $< 10$  ng/l). Die Chlorid-Gehalte liegen auf einem Niveau von etwa 35 bis 40 mg/l.

Isotopisch ist das „alte binnenseitige Grundwasser“ durch vergleichsweise schwere Sauerstoff-18- (Mittelwert:  $-8,3$  ‰) und Deuterium-Gehalte (Mittelwert:  $-57$  ‰) geprägt, was typisch für im Oberrheingraben neugebildetes Grundwasser ist. Markante Anteile von in höheren Lagen des Schwarzwalds neugebildeter Grundwässer und/oder Einflüsse von Rhein-Uferfiltrat sind nicht angezeigt.

	Einheit	Uhl GWM 1 tief	Uhl GWM 2 mittel	Uhl GWM 3 flach	GWM 139/065-1	GWM 62/065-7	GWM 210/065-7	See Süden 2052/065-5 (Baggersee Wachholder- rain)	Mühlbach 1	Mühlbach 2	Altrheinzug 2051/065-0
Filterbereich	m u. GOK	70 - 90	30 - 50	5 - 20	5 - 10	9 - 18	14 - 19				
Probenahme		17.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018
Acesulfam-K	µg/l		0,050	0,150		0,020			0,220	0,250	
F11	pmol/l	0,12 ± 0,05	0,12 ± 0,05	0,29 ± 0,05	0,46 ± 0,05	0,08 ± 0,05	1,4 ± 0,2	-	-	-	-
F12	pmol/l	4,9 ± 0,3	0,25 ± 0,05	0,74 ± 0,05	0,58 ± 0,05	0,95 ± 0,05	1,3 ± 0,1	-	-	-	-
F113	pmol/l	0,01 ± 0,05	< 0,01	0,03 ± 0,05	0,04 ± 0,05	0,02 ± 0,05	0,13 ± 0,05	-	-	-	-
SF6	fmol/l	0,3 ± 0,1	1,1 ± 0,2	3,2 ± 0,4	2,4 ± 0,3	1,2 ± 0,2	3,6 ± 0,4	-	-	-	-
Sauerstoff-18 (18O)	‰	-8,33	-8,31	-9,15	-8,51	-8,06	-8,60	-8,71	-9,80	-9,86	-9,93
Deuterium (2H)	‰	-57,2	-57,3	-63,4	-59,1	-55,9	-60,8	-61,9	-67,5	-68,6	-69,9
Deuterium-Exzess	‰	9,44	9,18	9,80	8,98	8,58	8,00	7,78	10,90	10,28	9,54
Tritium (3H)	TU	3,2 ± 0,5	4,5 ± 0,6	9,8 ± 1,3	9,4 ± 1,1	6,7 ± 0,5	9,8 ± 1,1	9,1 ± 0,8	11,7 ± 0,7	11,7 ± 0,7	13,0 ± 0,9

**Anlage 1:** Ergebnisse der isotopenhydrologischen, spurengasspezifischen und hydrochemischen Untersuchungen vom April 2018

Projekt:	<b>Uhl Kies und Beton</b>		
Auftraggeber:	<b>Eugen Funk, Büro für Hydrogeologie</b>		
Probenart:	flüssig	Probenahme:	Auftraggeber
Laboreingang:	23.04.2018	Analytikbeginn:	23.04.2018
		Analytikende:	28.06.2018

Prüfparameter	Prüfergebnis			Einheit	
	GWM 1 90m	GWM 2 tief/65m	GWM 3 flach		
PROBENBEZEICHNUNG					
Labornummer	312840	312841	312842		
Probenahmedatum	17.04.2018	12.04.2018	12.04.2018		
SPURENSTOFFE					
Acesulfam	-	0,050	0,150	µg/l	*
SPURENGASE					
Trichlorfluormethan (F11)	0,12 ± 0,05	0,12 ± 0,05	0,29 ± 0,05	pmol/l	*
Dichlordifluormethan (F12)	4,9 ± 0,3	0,25 ± 0,050	0,74 ± 0,05	pmol/l	*
1,1,2-Trichlortrifluorethan (F113)	0,01 ± 0,05	< 0,01	0,03 ± 0,05	pmol/l	*
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	0,3 ± 0,1	1,1 ± 0,2	3,2 ± 0,4	fmol/l	*
ISOTOPE					
Sauerstoff-18 (δ <sup>18</sup> O)	-8,33	-8,31	-9,15	‰	
Deuterium (δ <sup>2</sup> H)	-57,2	-57,3	-63,4	‰	
Deuterium-Exzess	9,44	9,18	9,80	‰	
Tritium ( <sup>3</sup> H)	3,2 ± 0,5	4,5 ± 0,6	9,8 ± 1,3	TU	

Projekt:	<b>Uhl Kies und Beton</b>		
Auftraggeber:	<b>Eugen Funk, Büro für Hydrogeologie</b>		
Probenart:	flüssig	Probenahme:	Auftraggeber
Laboreingang:	23.04.2018	Analytikbeginn:	23.04.2018
		Analytikende:	28.06.2018

Prüfparameter	Prüfergebnis			Einheit	
PROBENBEZEICHNUNG	<b>62/065-5</b>	<b>139/065-1</b>	<b>210/065-7</b>		
Labornummer	312843	312844	312845		
Probenahmedatum	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018		
SPURENSTOFFE					
Acesulfam	0,020	-	-	µg/l	*
SPURENGASE					
Trichlorfluormethan (F11)	0,08 ± 0,05	0,46 ± 0,05	1,4 ± 0,2	pmol/l	*
Dichlordifluormethan (F12)	0,95 ± 0,05	0,58 ± 0,050	1,3 ± 0,1	pmol/l	*
1,1,2-Trichlortrifluorethan (F113)	0,02 ± 0,05	0,04 ± 0,05	0,13 ± 0,05	pmol/l	*
Schwefelhexafluorid (SF <sub>6</sub> )	1,2 ± 0,2	2,4 ± 0,3	3,6 ± 0,4	fmol/l	*
ISOTOPE					
Sauerstoff-18 (δ <sup>18</sup> O)	-8,06	-8,51	-8,60	‰	
Deuterium (δ <sup>2</sup> H)	-55,9	-59,1	-60,8	‰	
Deuterium-Exzess	8,58	8,98	8,00	‰	
Tritium ( <sup>3</sup> H)	6,7 ± 0,5	9,4 ± 1,1	9,8 ± 1,1	TU	

Projekt:	<b>Uhl Kies und Beton</b>		
Auftraggeber:	<b>Eugen Funk, Büro für Hydrogeologie</b>		
Probenart:	flüssig	Probenahme:	Auftraggeber
Laboreingang:	23.04.2018	Analytikbeginn:	23.04.2018
		Analytikende:	28.06.2018

Prüfparameter	Prüfergebnis			Einheit
	2051/065-0 Rhein	Mühlbach 1	Mühlbach 2	
PROBENBEZEICHNUNG				
Labornummer	312846	312847	312848	
Probenahmedatum	12.04.2018	12.04.2018	12.04.2018	
SPURENSTOFFE				
Acesulfam	-	0,220	0,250	µg/l *
ISOTOPE				
Sauerstoff-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )	-9,93	-9,80	-9,86	‰
Deuterium ( $\delta^2\text{H}$ )	-69,9	-67,5	-68,6	‰
Deuterium-Exzess	9,54	10,90	10,28	‰
Tritium ( $^3\text{H}$ )	13,0 ± 0,9	11,7 ± 0,7	11,7 ± 0,7	TU

Projekt:	<b>Uhl Kies und Beton</b>		
Auftraggeber:	<b>Eugen Funk, Büro für Hydrogeologie</b>		
Probenart:	flüssig	Probenahme:	Auftraggeber
Laboreingang:	23.04.2018	Analytikbeginn:	23.04.2018
		Analytikende:	28.06.2018

Prüfparameter	Prüfergebnis	Einheit
PROBENBEZEICHNUNG	See Süd	
Labornummer	312849	
Probenahmedatum	12.04.2018	
ISOTOPE		
Sauerstoff-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )	-8,71	‰
Deuterium ( $\delta^2\text{H}$ )	-61,9	‰
Deuterium-Exzess	7,78	‰
Tritium ( $^3\text{H}$ )	9,1 ± 0,8	TU

**Projekt:** Uhl Kies und Beton  
**Auftraggeber:** Eugen Funk, Büro für Hydrogeologie

Prüfparameter	Prüfverfahren
Tritium ( $^3\text{H}$ )	QMA 504-2/1: 2011-09; Flüssigkeitsszintillationspektrometrie (LSC) nach elektrolytischer Anreicherung, gemessen in Tritiumeinheiten (TU) mit zweifacher Standardabweichung (1 TU = 0,119 Bq/L); Ergebnis bezogen auf Messdatum (keine Halbwertszeitkorrektur)
Acesulfam	SPE-LC-MS/MS *
Spurengase	Gaschromatographie GC-ECD *
Deuterium-Exzess	berechnet
Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ )	Gaschromatographie GC-ECD *
Deuterium ( $\delta^2\text{H}$ )	QMA 504-2/23: 2012-02; Cavity-Ringdown-Spektrometrie (CRDS); bezogen auf VSMOW-Std.: $1\sigma = \pm 1,5 \text{ ‰}$
Sauerstoff-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )	QMA 504-2/23: 2012-02; Cavity-Ringdown-Spektrometrie (CRDS); bezogen auf VSMOW-Std.: $1\sigma = \pm 0,15 \text{ ‰}$

## Legende

*	Analytik in Kooperation mit akkreditiertem bzw. qualifiziertem Prüflabor
n.b.	nicht bestimmt, Konzentration zu gering
<	für Messungen radioaktiver Parameter Angabe der Nachweisgrenze, für alle anderen Messungen Angabe der Bestimmungsgrenze
-	nicht beauftragt
x	qualifiziertes Verfahren mit ausstehender Akkreditierung

## Anmerkungen

Die Prüfergebnisse beziehen sich nur auf die Prüfgegenstände.

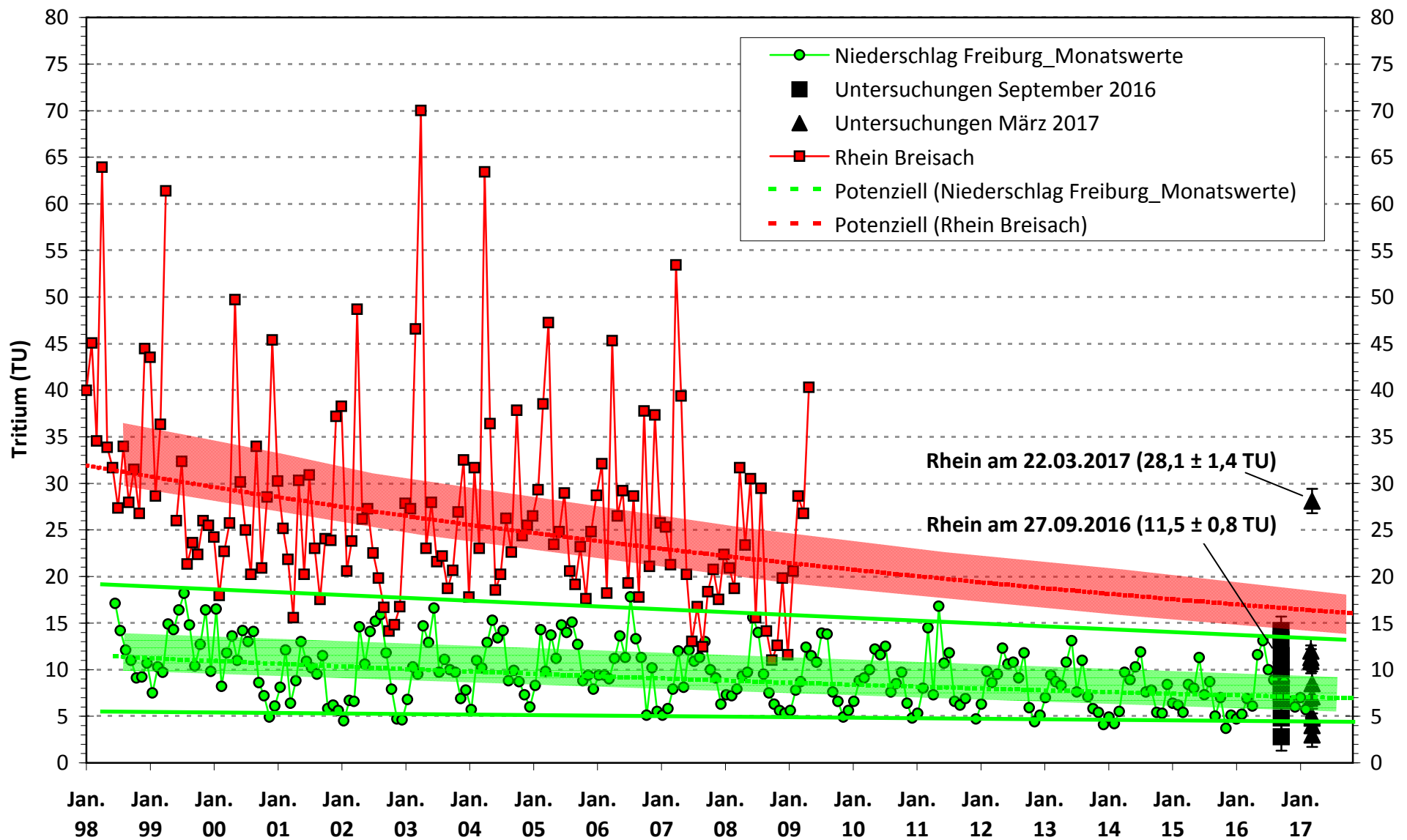
Auch eine auszugsweise Veröffentlichung von Prüfergebnissen bedarf der ausdrücklichen schriftlichen Genehmigung der Hydroisotop GmbH.

Es gelten die allgemeinen Geschäftsbedingungen der Hydroisotop GmbH.

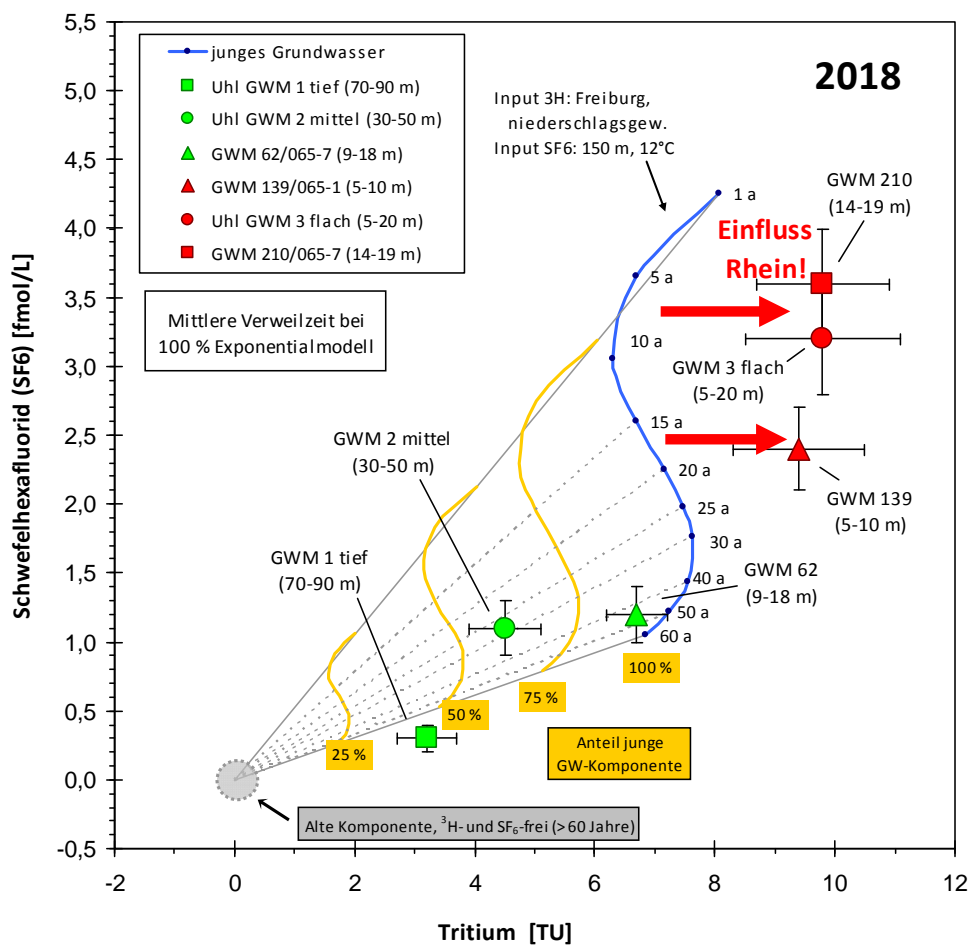
Die Hydroisotop GmbH übernimmt keine Verantwortung für die Korrektheit von Probenahmen durch Dritte.

Dr. Eichinger  
 (Geschäftsführer)  
 05.07.2018

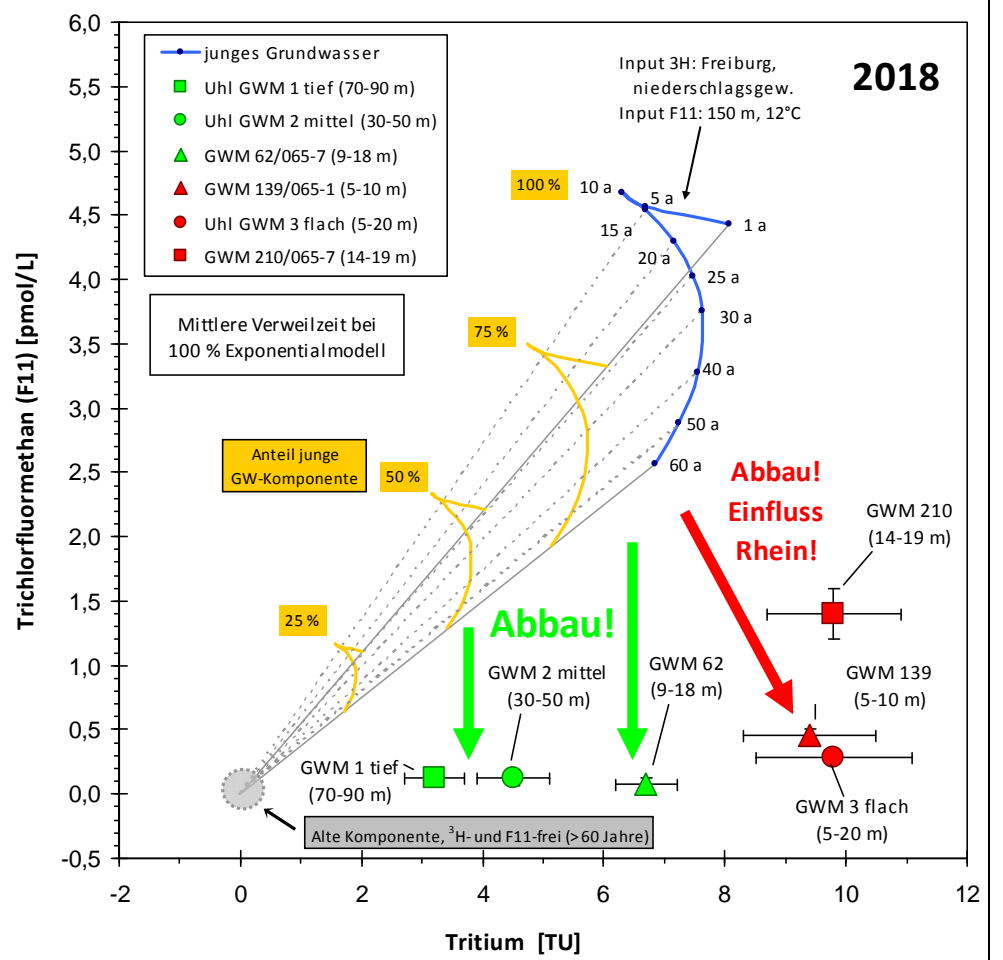




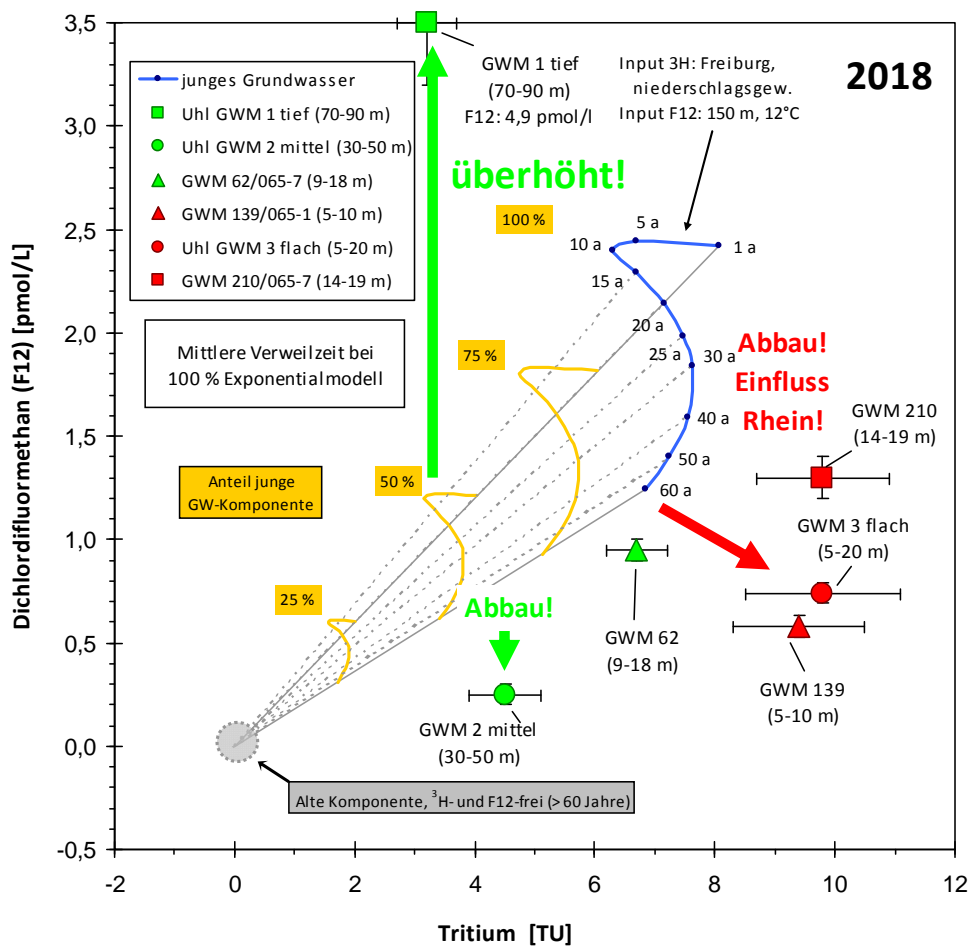
Anlage 3: Tritium-Zeitreihenuntersuchungen von Monatsmischproben der Rhein-Messstelle Breisach im Vergleich zur Niederschlagsmessstelle Freiburg



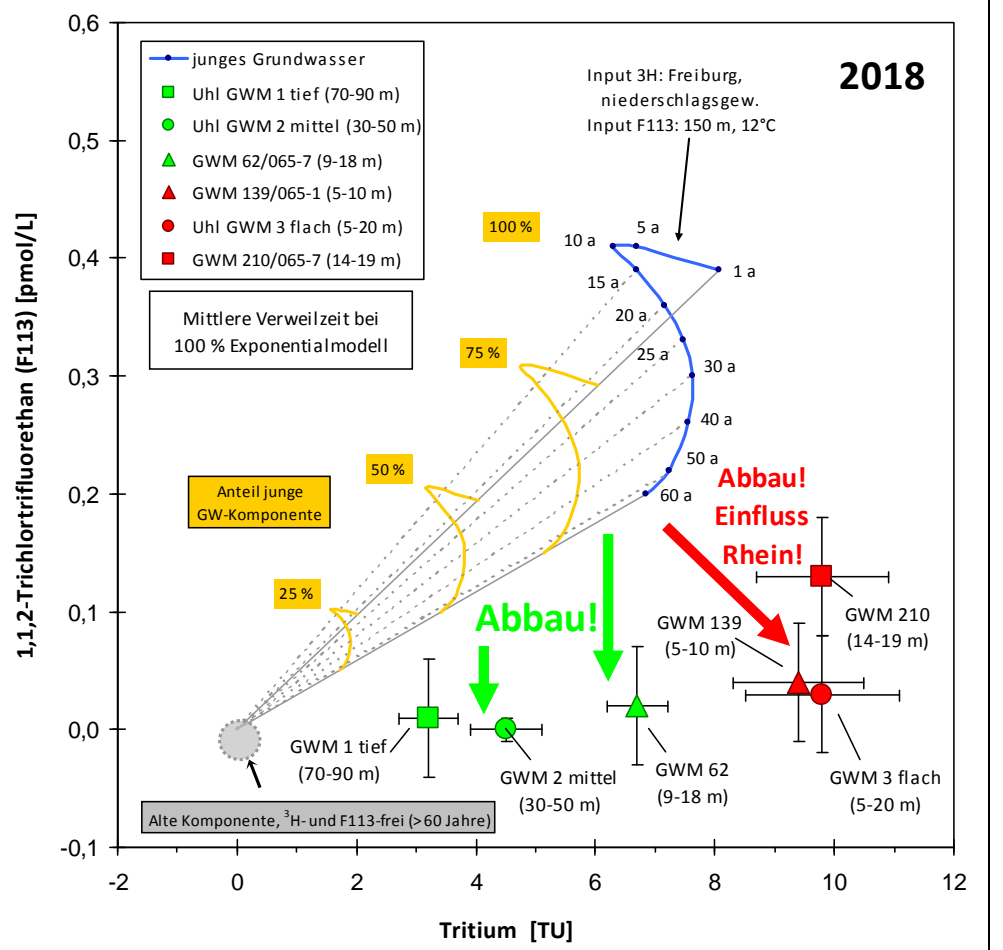
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei 100 % Exponentialmodell



Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{11}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei 100 % Exponentialmodell



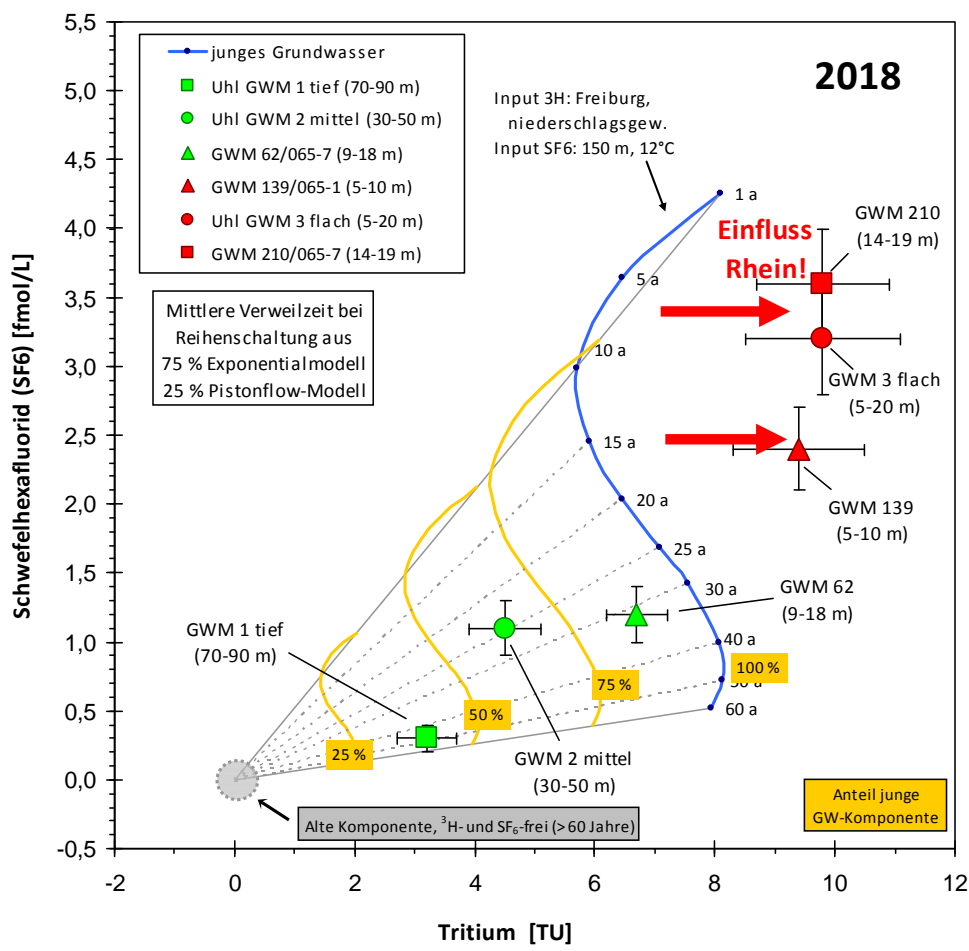
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{12}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei 100 % Exponentialmodell



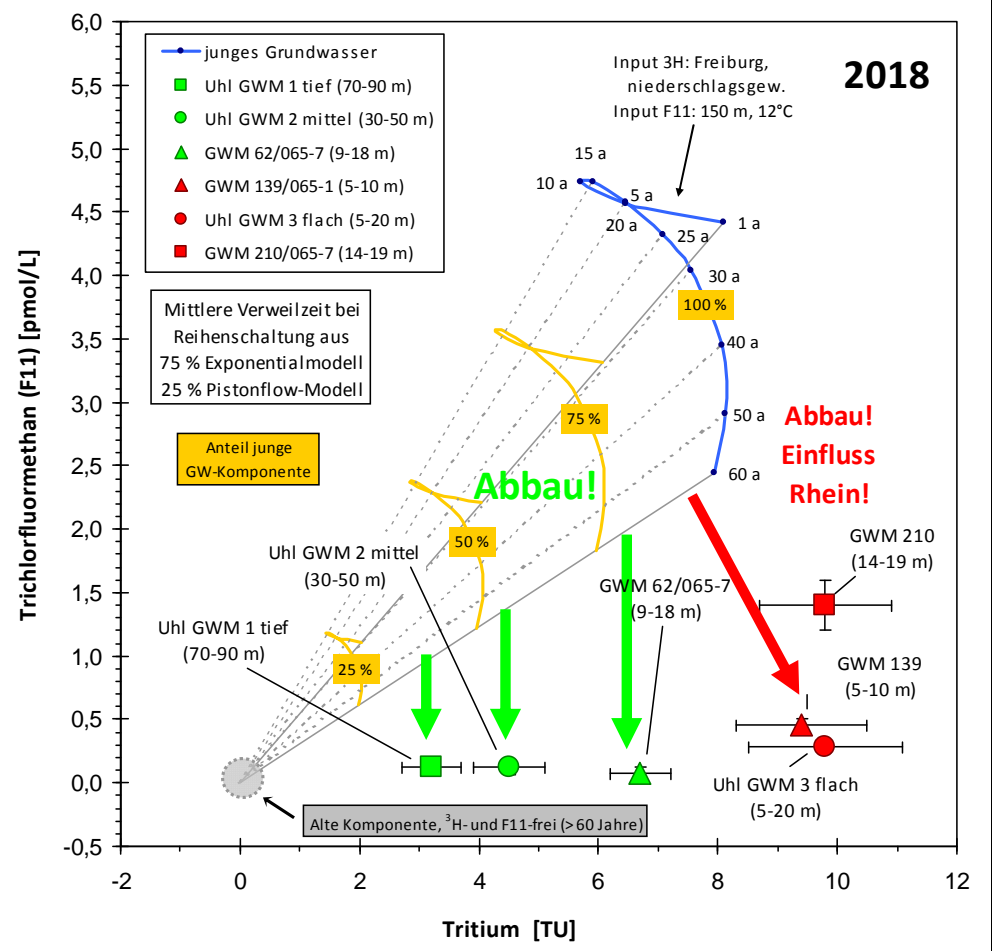
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{113}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei 100 % Exponentialmodell

### Anlage 4:

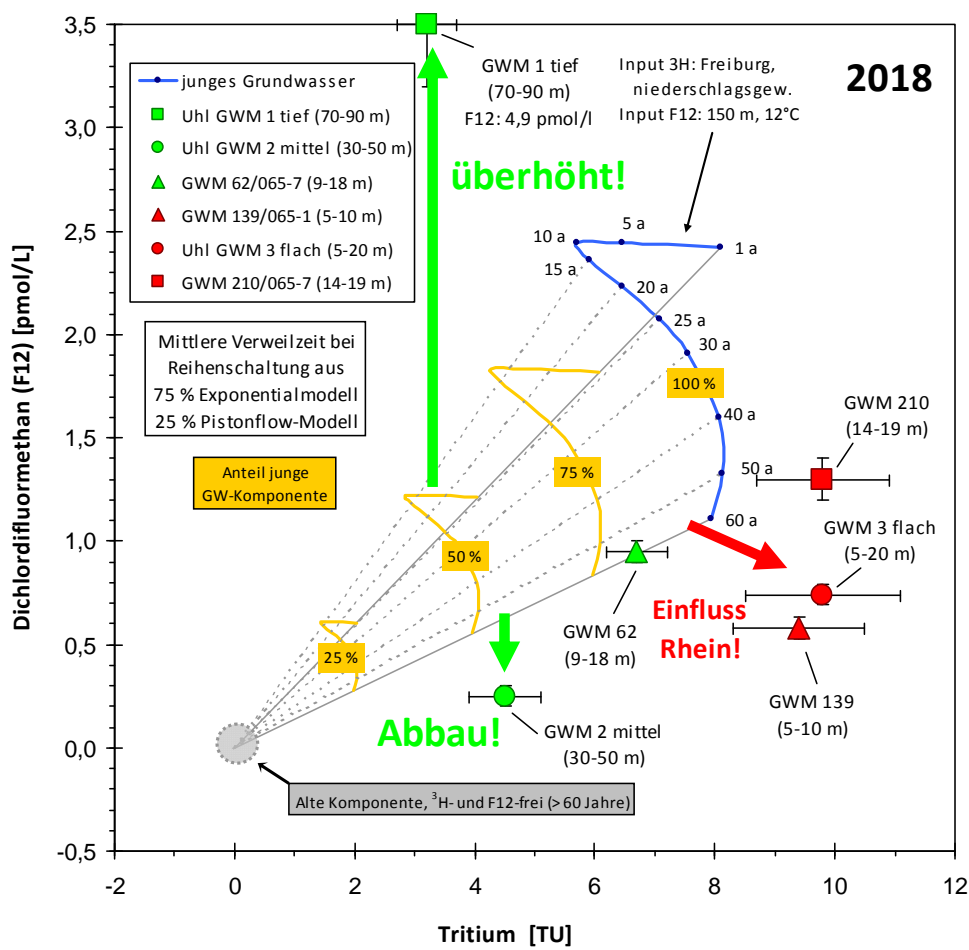
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$  bzw.  $^3\text{H}$ -/ $\text{FCKW}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Jeweils Mittlere Verweilzeit bei  
**100 % Exponential-Modell**



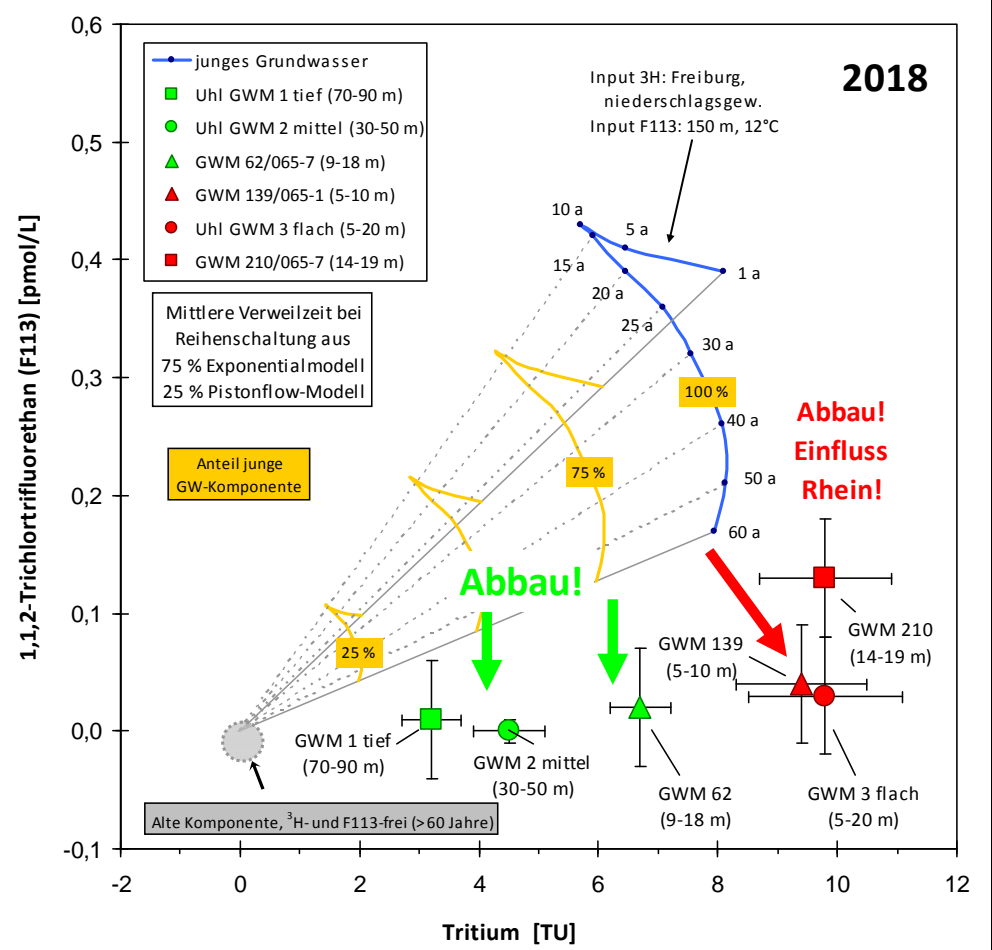
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 75 % Exponentialmodell und 25 % Pistonflow-Modell



Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{11}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 75 % Exponentialmodell und 25 % Pistonflow-Modell



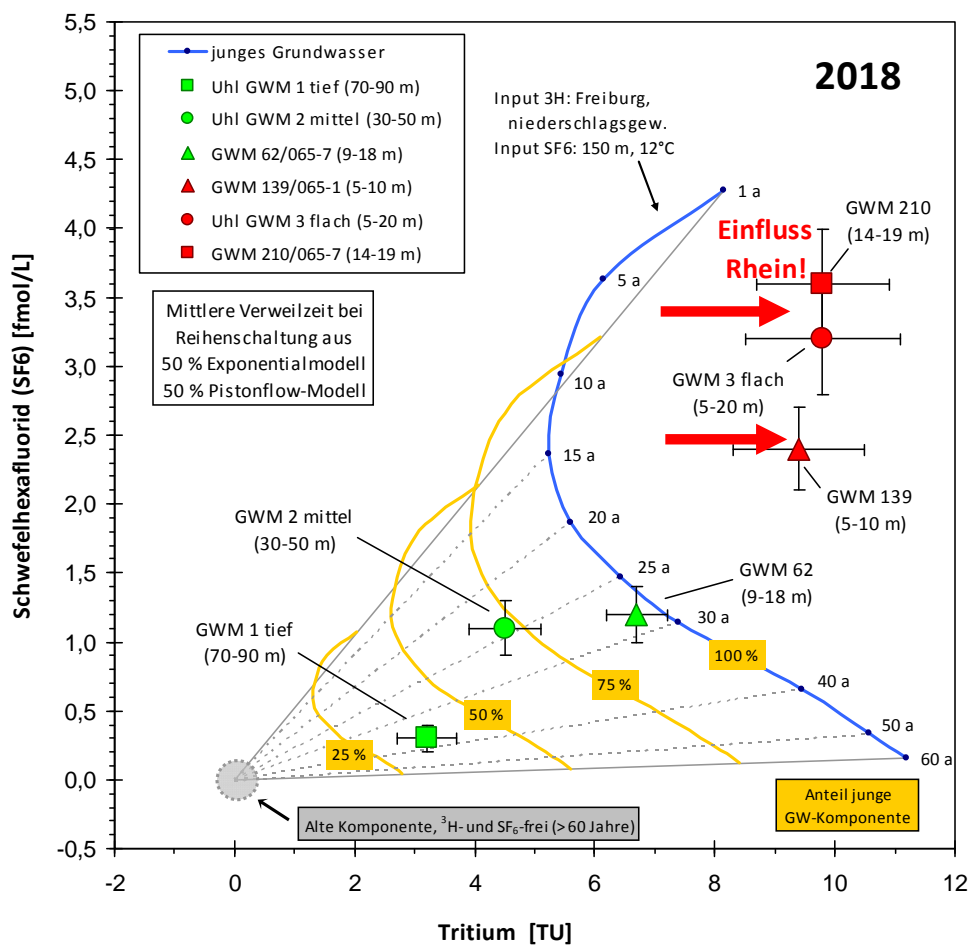
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{12}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 75 % Exponentialmodell und 25 % Pistonflow-Modell



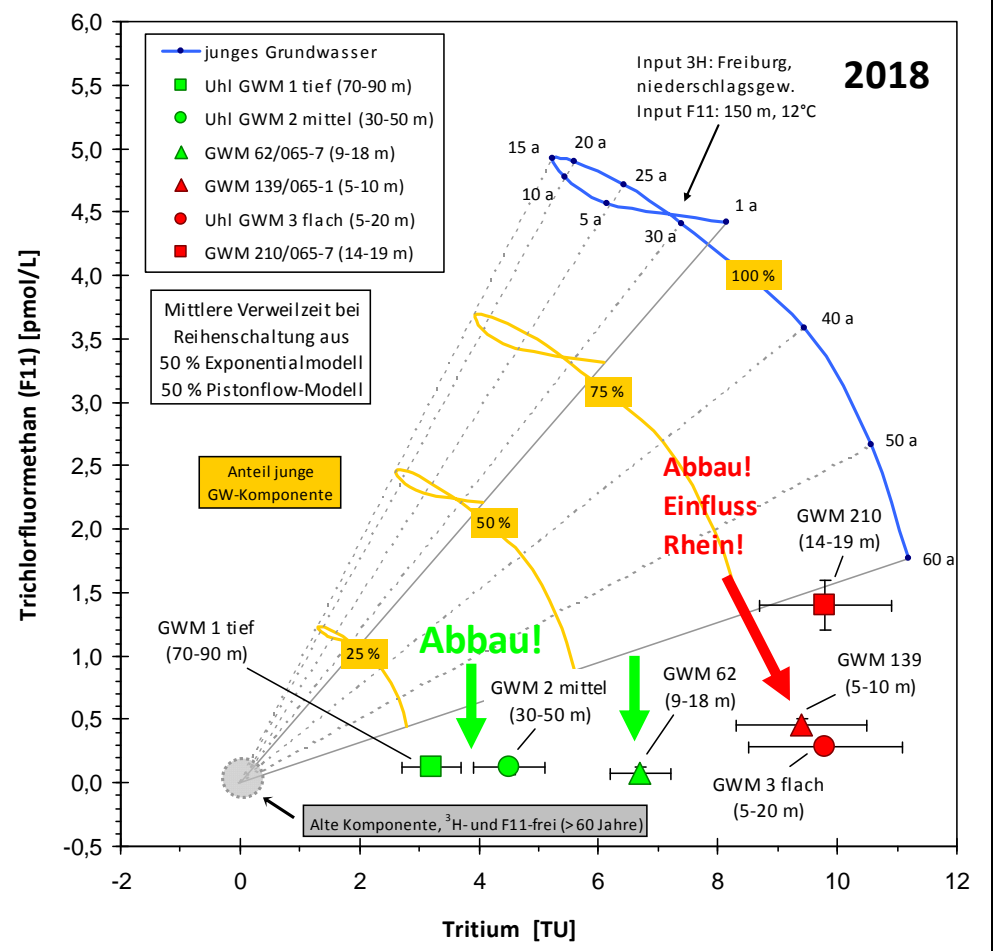
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{113}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 75 % Exponentialmodell und 25 % Pistonflow-Modell

### Anlage 5:

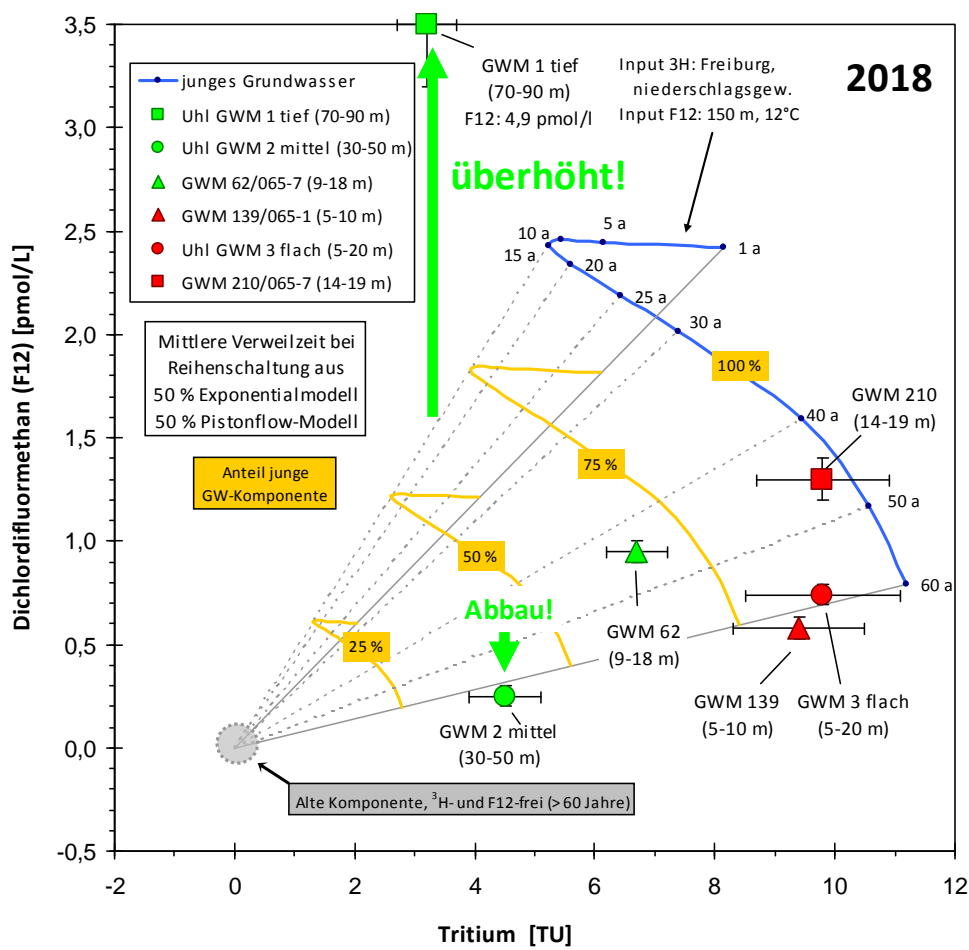
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$  bzw.  $^3\text{H}$ -/ $\text{FCKW}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Jeweils Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus  
**75 % Exponential- und 25 % Pistonflow-Modell**



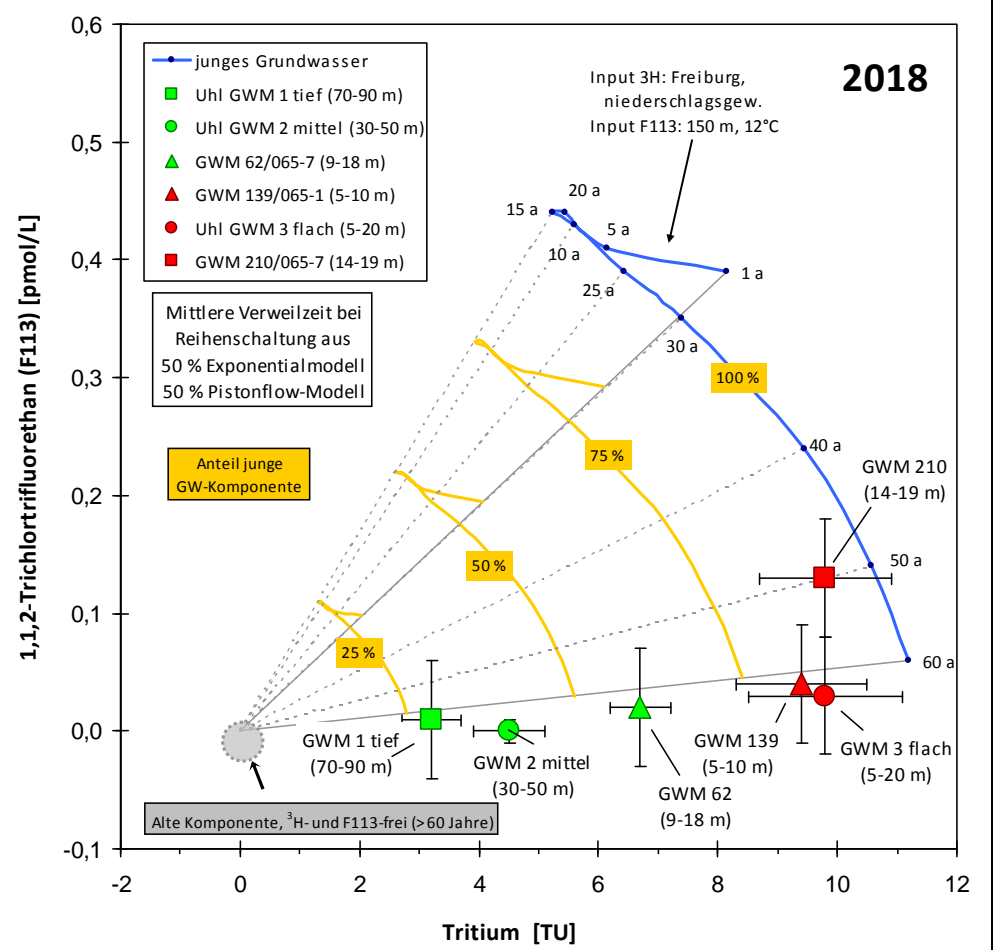
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 50 % Exponentialmodell und 50 % Pistonflow-Modell



Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{11}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 50 % Exponentialmodell und 50 % Pistonflow-Modell



Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{12}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 50 % Exponentialmodell und 50 % Pistonflow-Modell

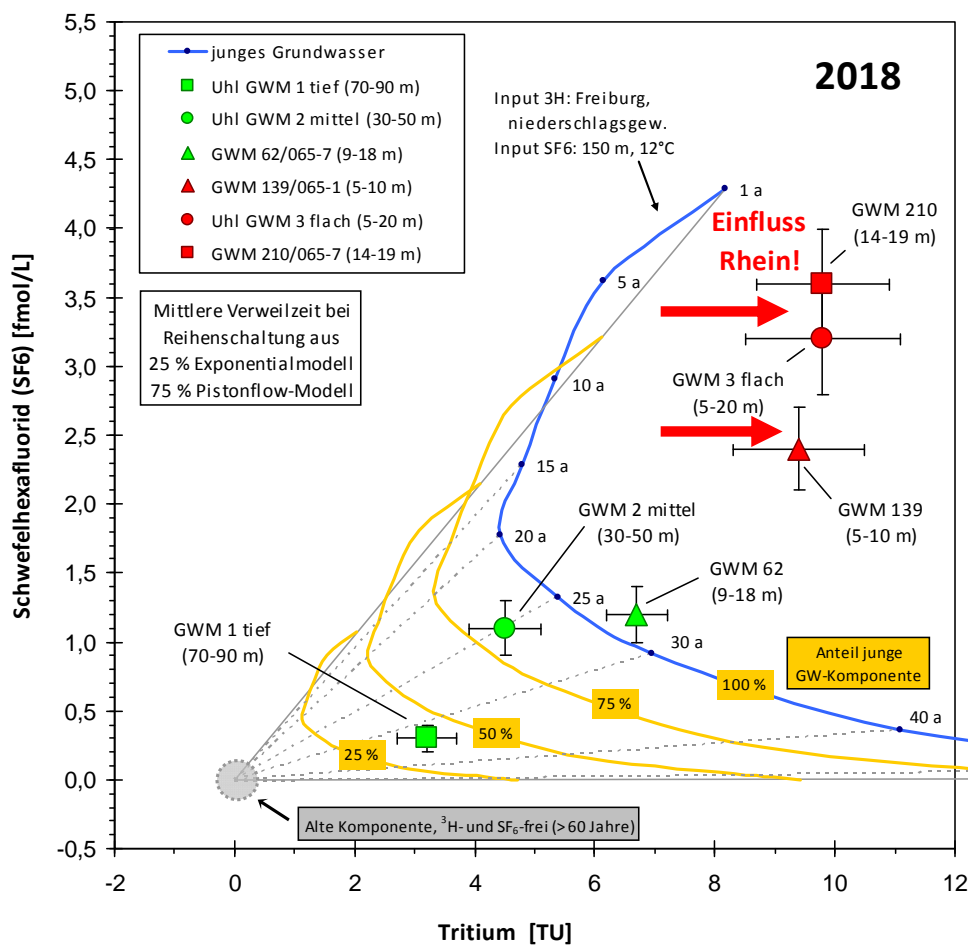


Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{F}_{113}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 50 % Exponentialmodell und 50 % Pistonflow-Modell

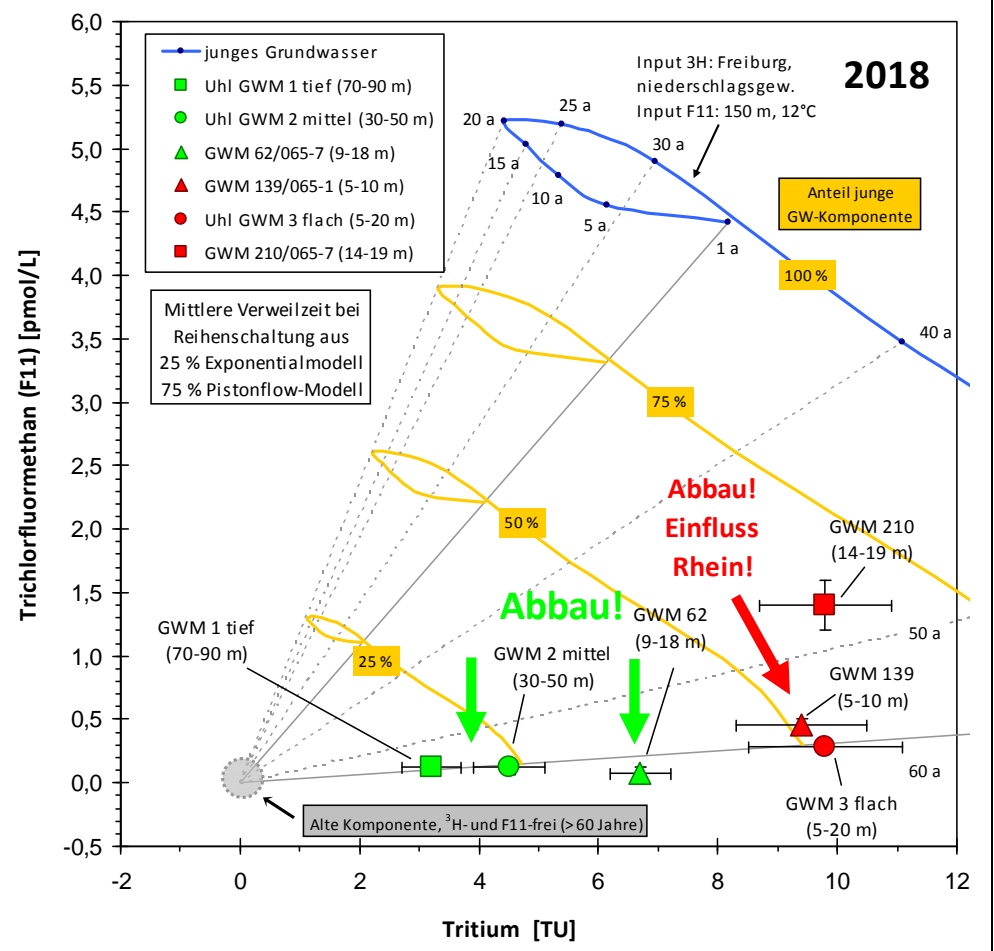
### Anlage 6:

Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der  $^3\text{H}$ -/ $\text{SF}_6$  bzw.  $^3\text{H}$ -/ $\text{FCKW}$ -Gehalte vom Jahr 2018  
Jeweils Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus  
**50 % Exponential- und 50 % Pistonflow-Modell**

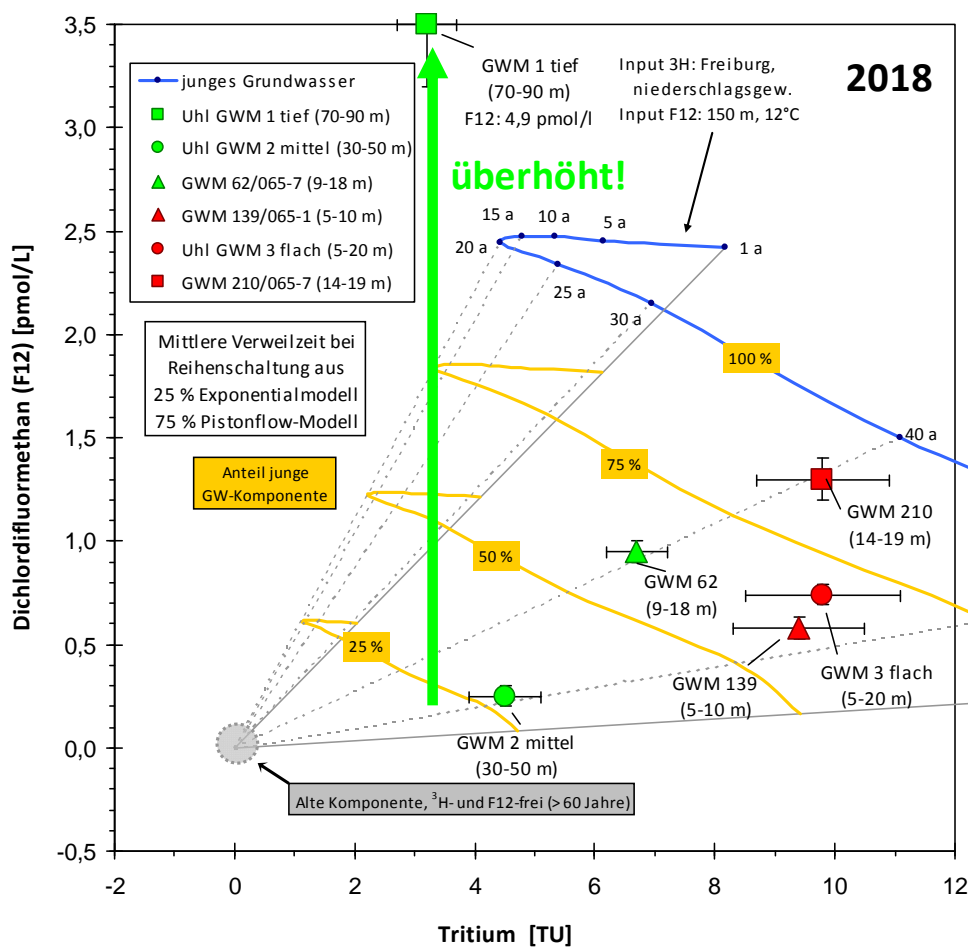




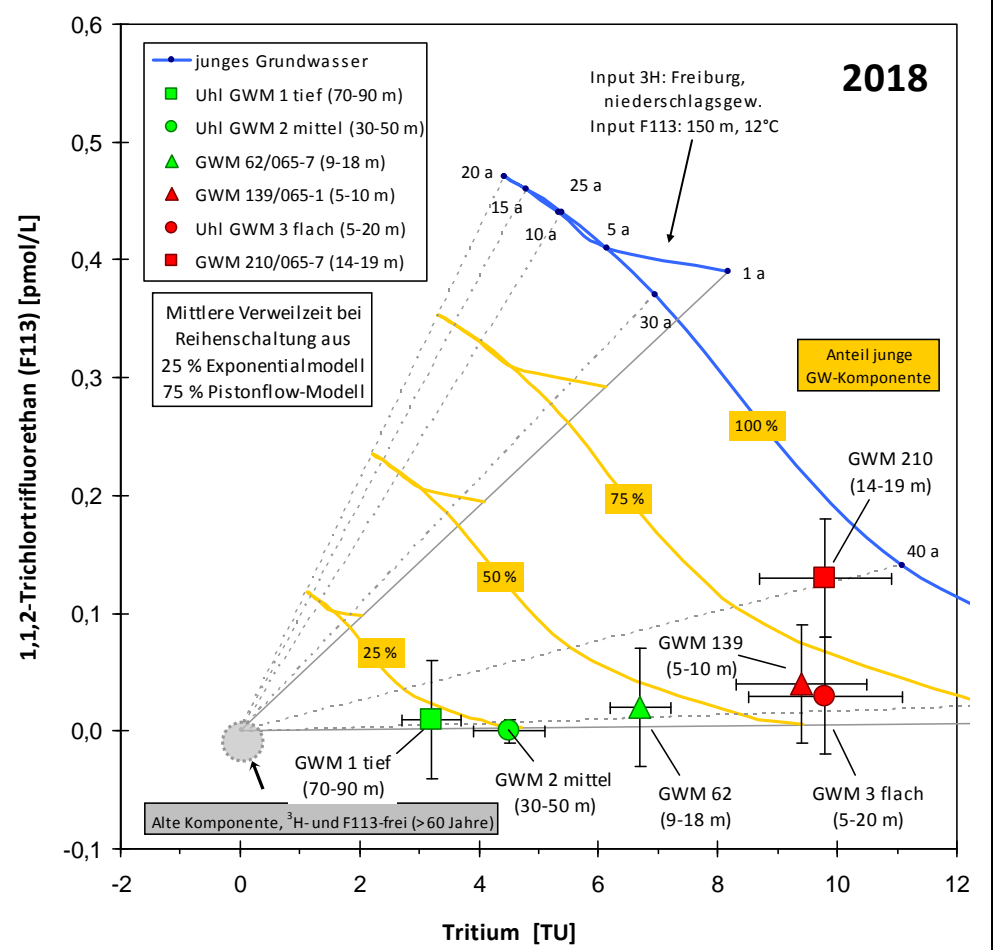
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/SF<sub>6</sub>-Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 25 % Exponentialmodell und 75 % Pistonflow-Modell



Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/F11-Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 25 % Exponentialmodell und 75 % Pistonflow-Modell



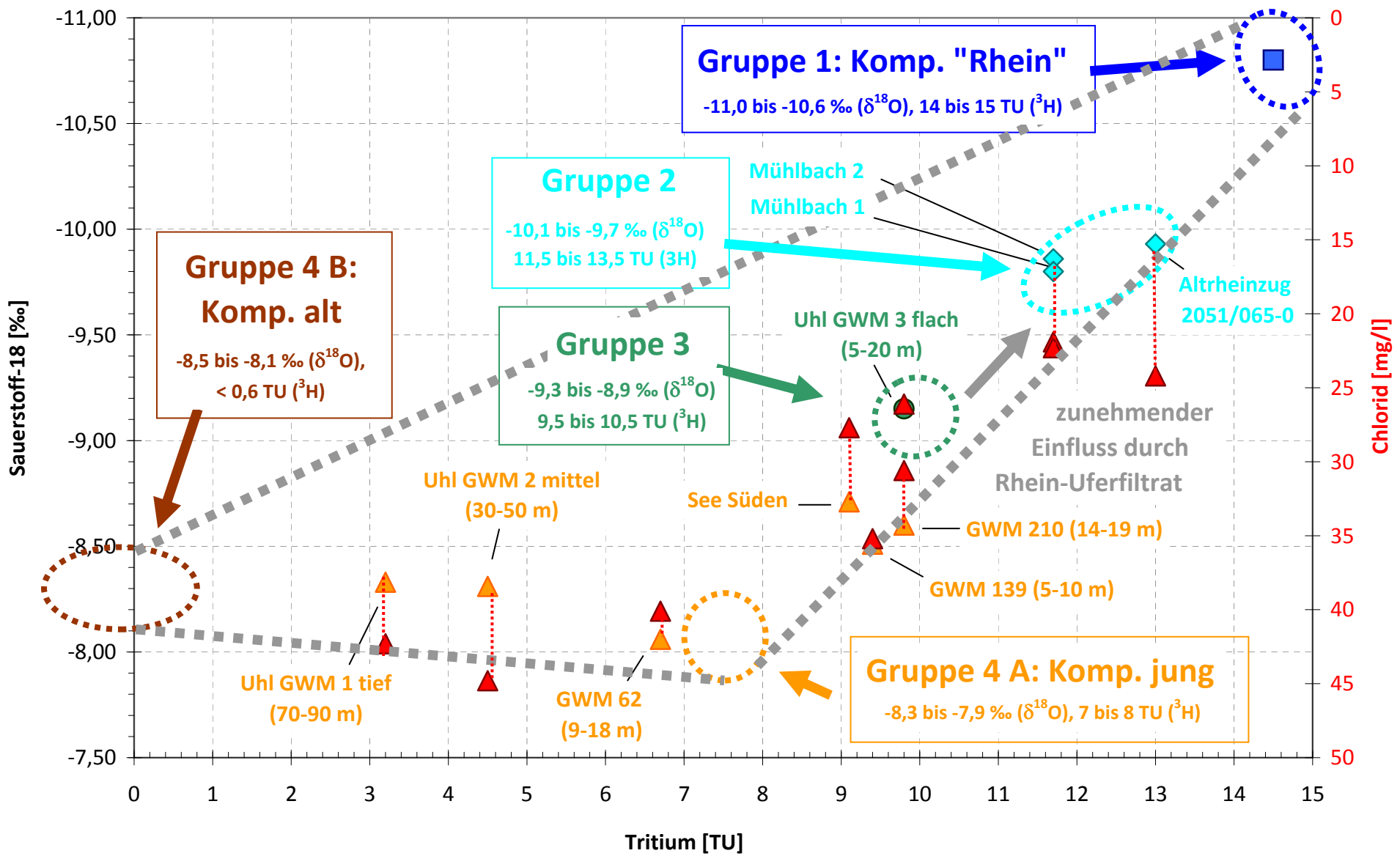
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/F12-Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 25 % Exponentialmodell und 75 % Pistonflow-Modell



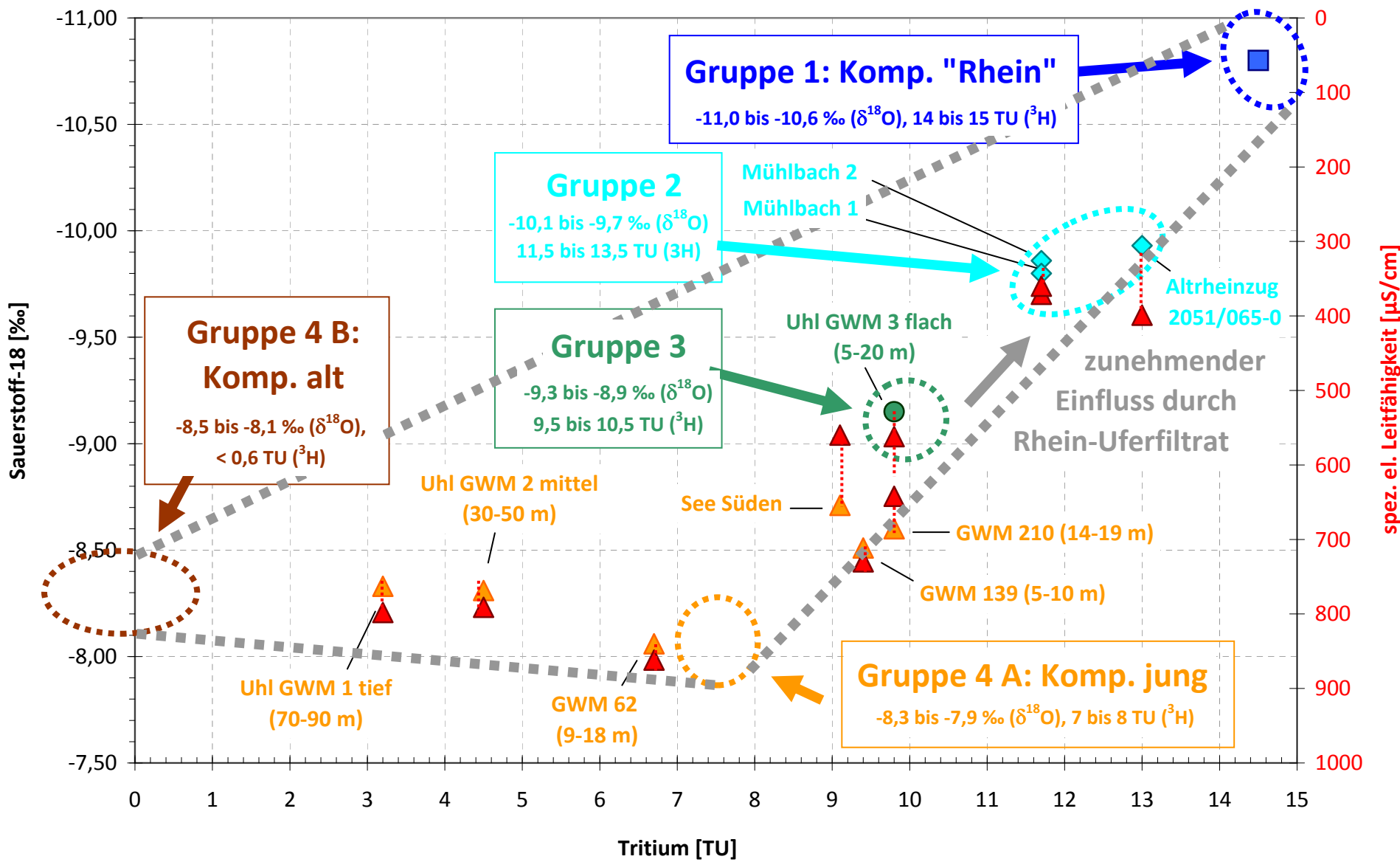
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/F113-Gehalte vom Jahr 2018  
Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus 25 % Exponentialmodell und 75 % Pistonflow-Modell

### Anlage 7:

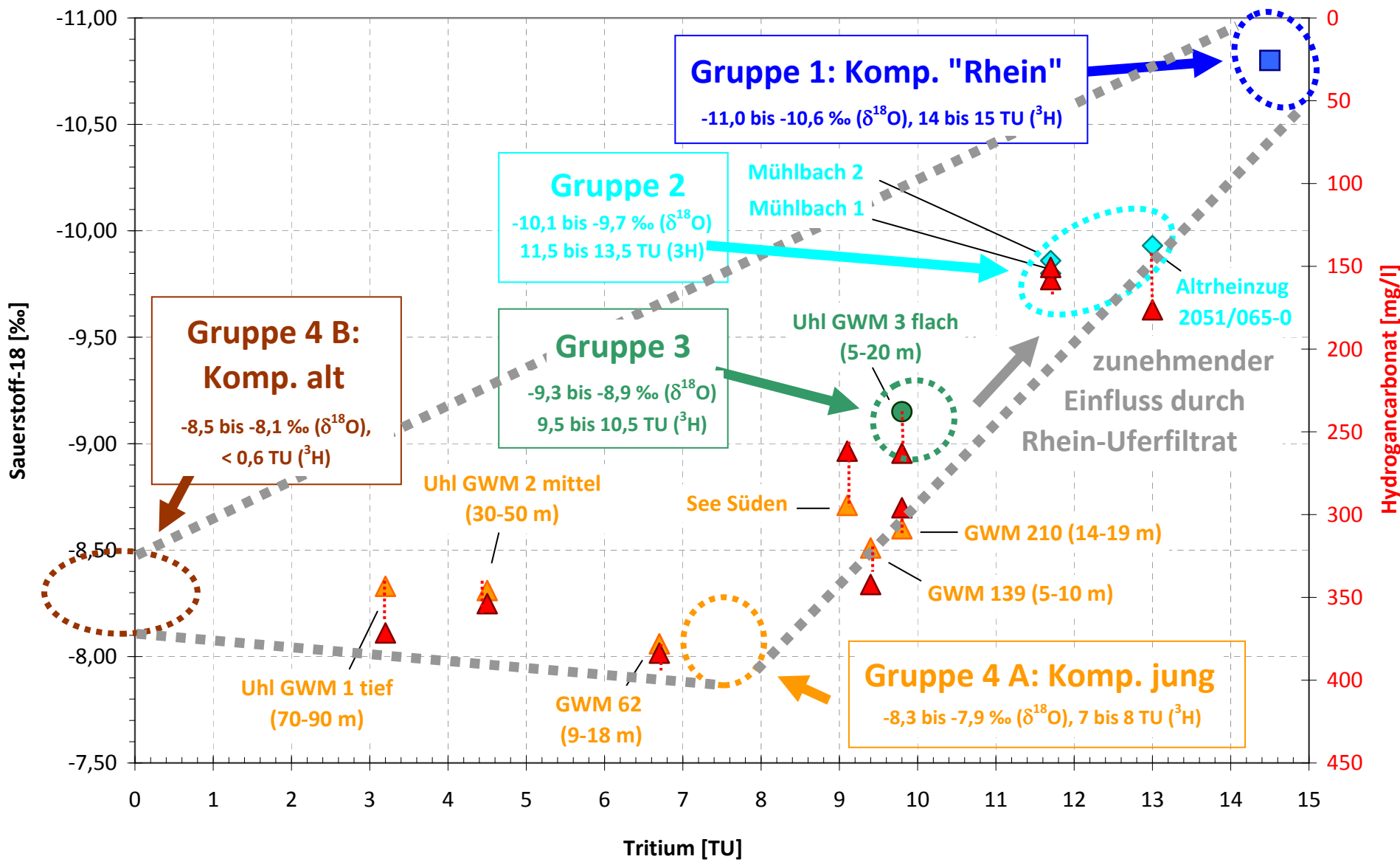
Grafische Darstellung der Grundwasseraltersstruktur auf Basis der <sup>3</sup>H-/SF<sub>6</sub> bzw. <sup>3</sup>H-/FCKW-Gehalte vom Jahr 2018  
Jeweils Mittlere Verweilzeit bei Reihenschaltung aus  
**25 % Exponential- und 75 % Pistonflow-Modell**



Anlage 8: Korrelation Sauerstoff-18-/Chlorid-Gehalte versus Tritium-Gehalte

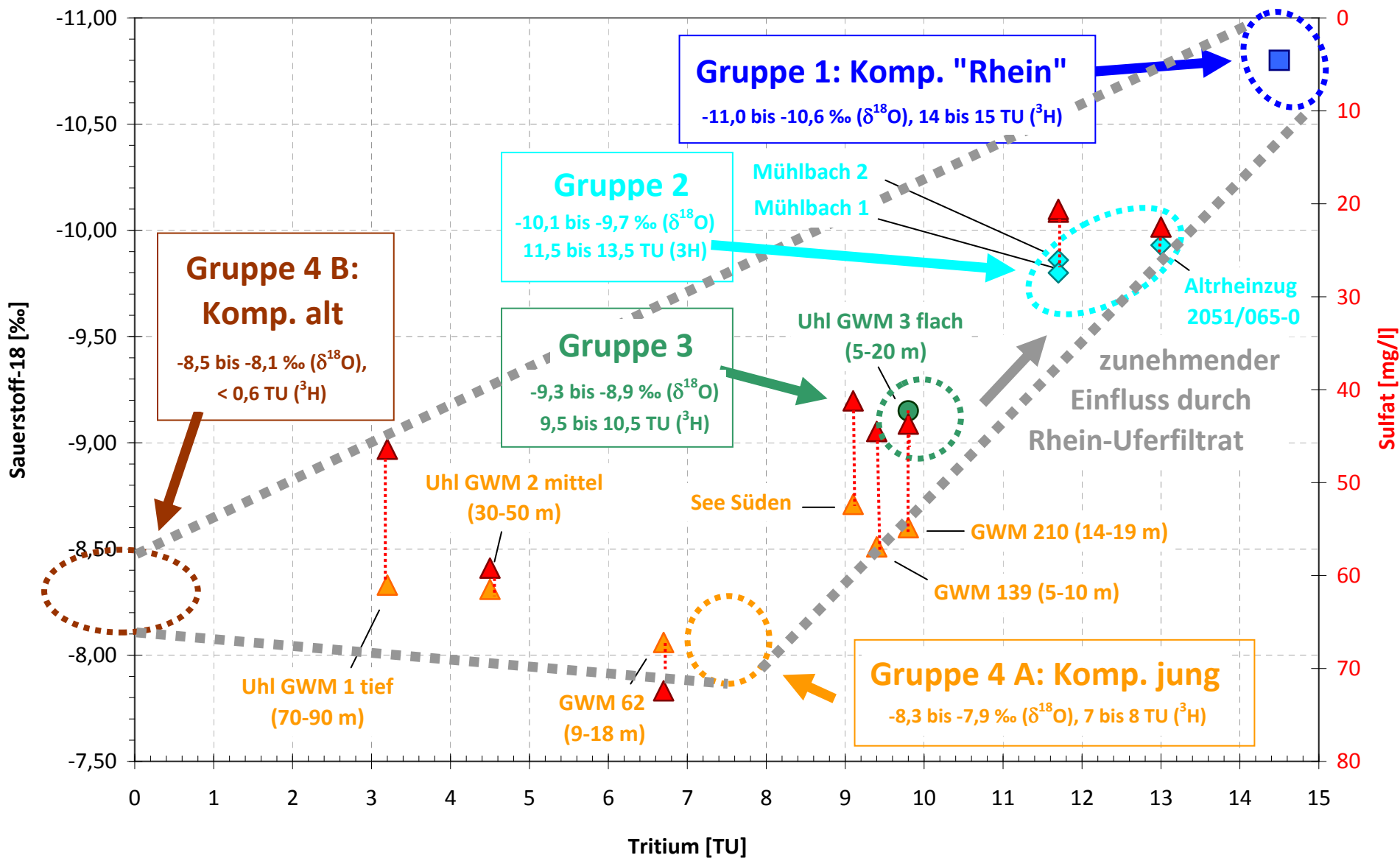


**Anl. 9:** Korrelation Sauerstoff-18-/spez. el. Leitfähigkeit-Gehalte versus Tritium-Gehalte

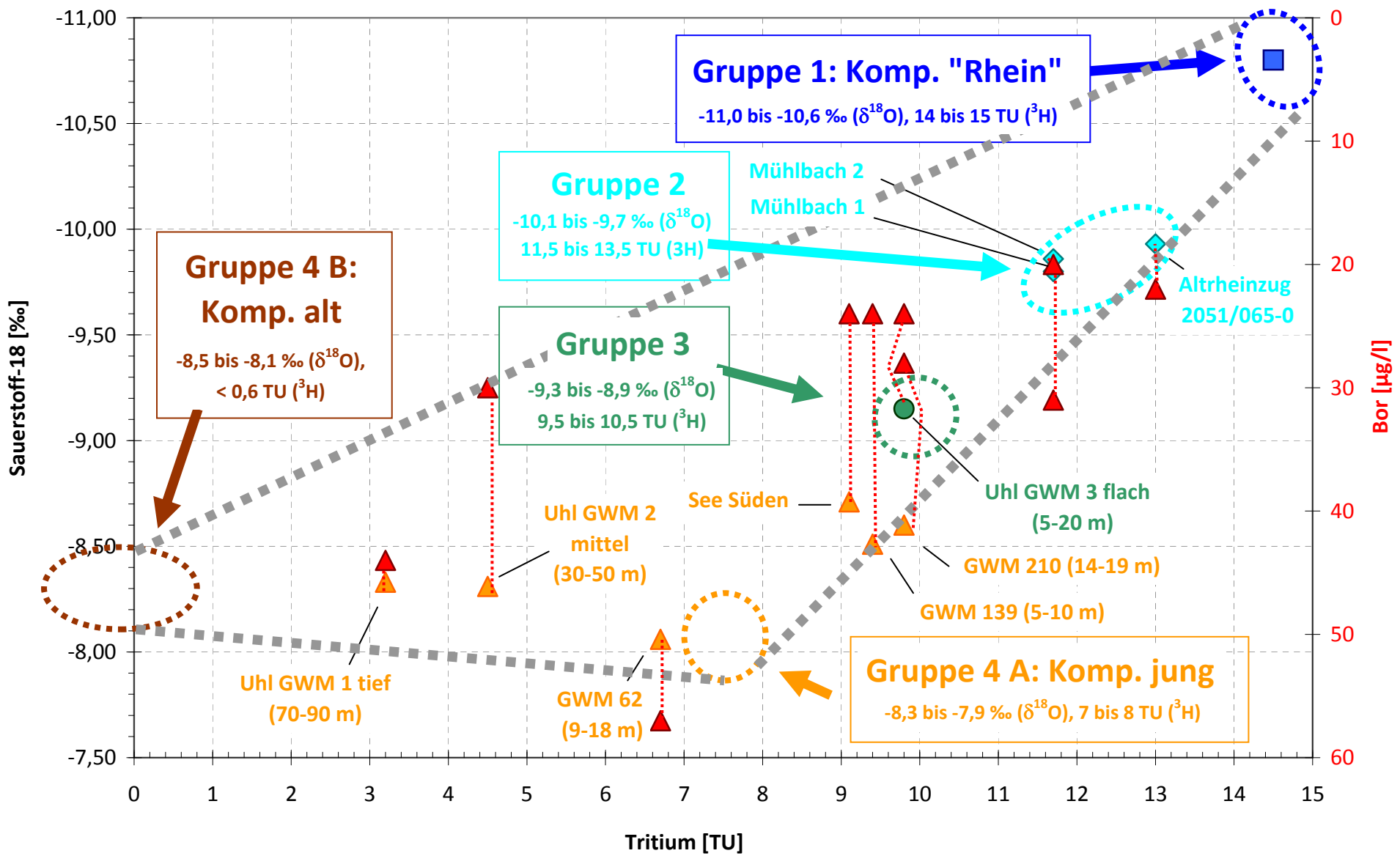


Anl. 10: Korrelation Sauerstoff-18-/Hydrogenkarbonat-Gehalte versus Tritium-Gehalte

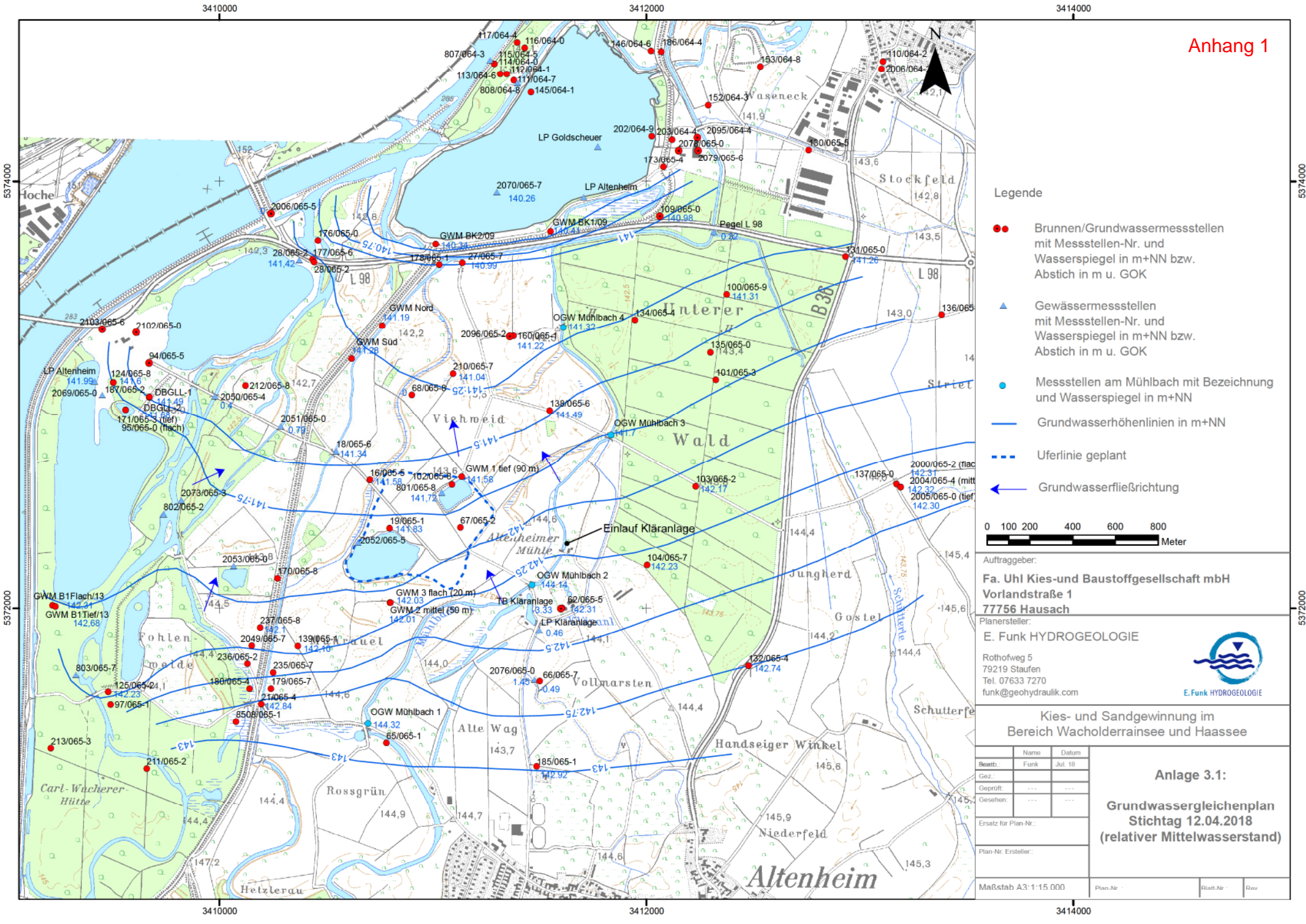




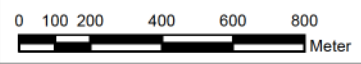
Anl. 11: Korrelation Sauerstoff-18-/Sulfat-Gehalte versus Tritium-Gehalte



Anlage 12: Korrelation Sauerstoff-18-/Bor-Gehalte versus Tritium-Gehalte



- Legende**
- Brunnen/Grundwassermessstellen mit Messstellen-Nr. und Wasserspiegel in m+NN bzw. Abstich in m u. GOK
  - ▲ Gewässermessstellen mit Messstellen-Nr. und Wasserspiegel in m+NN bzw. Abstich in m u. GOK
  - Messstellen am Mühlbach mit Bezeichnung und Wasserspiegel in m+NN
  - Grundwasserhöhenlinien in m+NN
  - - - Uferlinie geplant
  - ← Grundwasserfließrichtung



Auftraggeber:  
**Fa. Uhl Kies- und Baustoffgesellschaft mbH**  
 Vorlandstraße 1  
 77756 Hausach

Planersteller:  
**E. Funk HYDROGEOLOGIE**  
 Rothofweg 5  
 79219 Staufen  
 Tel. 07633 7270  
 funk@geohydraulik.com



Kies- und Sandgewinnung im Bereich Wacholderrainsee und Haassee

	Name	Datum
Bearb.:	Funk	Jul. 18
Gez.:		
Geprüft:	---	---
Gesehen:	---	---
Ersatz für Plan-Nr.:		
Plan-Nr. Ersteller:		

**Anlage 3.1:**  
**Grundwassergleichenplan**  
**Stichtag 12.04.2018**  
**(relativer Mittelwasserstand)**

Maßstab A3: 1:15 000	Plan-Nr.	Riatt-Nr.	Row
----------------------	----------	-----------	-----

Proben 01.04.2018		Proben April 2018										Jun. 2018 Sonderproben		
		Uhl GWM 1 / 90 m	Uhl GWM 2 / 65 m	Uhl GWM 3 / 20 m	GWM 139/065-1	GWM 62/065-7	GWM 210/065-7	See Süden	Mühlbach 1	Mühlbach2	Altrheinzug / 2051/065-0	2000/065-2	2004/065-4	2005/065-0
Probenahme		01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	01.04.2018	Jun. 18	Jun. 18	Jun. 18
pH-Wert	-	7,22	7,26	7,29	7,3	7,19	7,48	7,98	7,89	7,86	7,94	7,59	7,4	7,33
el. Leitfähigkeit bei 25°C	µS/cm	798	791	642	730	862	562	560	360	371	399	654	652	689
Sauerstoffgehalt	mg/l	3,4	4,1	4,5	2,9	4,3	4,4	9,2	8	8,5	8,4	1,4	1,3	1,2
Sauerstoffgehalt	%	32	38	42	26	41	43	92	80	85	87	14	13	12
Temperatur	°C	12,7	12,1	11,4	11,3	12,7	12,3	15,1	14,1	14	15	12,1	11,9	12,4
Trübung	NTU	4,47	1,48	1,96	0,08	0,11	0,03	0,65	2,2	5,47	2	2,31	8,3	1,84
Hydrogencarbonat	mmol/l	6,09	5,8	4,85	5,61	6,29	4,31	4,29	2,47	2,59	2,89			
Calcium	mg/l	124	132	109	127	140	91,3	89	51,3	52,6	54,5			
Magnesium	mg/l	14,1	14	10,6	12,1	13,4	9,88	9,84	7,44	6,75	6,74			
Natrium	mg/l	32,1	21,6	16	16,4	22,7	15,4	17,2	11,6	15,2	18,1			
Kalium	mg/l	4,43	2,79	2,58	2,73	8,38	2,84	3,61	2,38	2,8	2,56			
Gesamthärte	mmol/l	3,67	3,87	3,16	3,67	4,05	2,68	2,63	2,55	1,59	1,64			
Bor	mg/l	0,044	0,03	0,024	0,024	0,057	0,028	0,024	0,031	0,02	0,022	0,014	0,027	0,042
Eisen, gelöst	mg/l	0,053	0,245	0,19	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	0,027	0,032			
Eisen,gesamt	mg/l	0,199	0,274	0,193	0,007	0,044	< 0,007	0,008	< 0,007	0,181	0,115			
Mangan, gelöst	mg/l	0,886	0,806	0,433	< 0,001	0,129	0,004	0,002	< 0,001	0,018	0,022			
Mangan, gesamt	mg/l	0,908	0,812	0,43	< 0,001	0,152	< 0,001	0,003	0,002	0,034	0,026			
Silicium	mg/l	6,54	6,57	5,18	4,87	5	4,1	3,6	4,14	3,13	2,37			
Nitrat	mg/l	11,5	< 1	2,97	9,99	13,2	8,21	2,53	5,85	6,09	4,16	1,34	< 1	< 1
Nitrat-N	mg/l	2,6	0,14	0,67	2,26	2,98	1,86	0,57	1,32	1,38	0,94			
Nitrit	mg/l	0,038	0,01	0,022	< 0,005	0,028	< 0,005	0,036	0,037	0,039	0,037	0,023	< 0,005	< 0,005
Nitrit-N	mg/l	0,012	< 0,005	0,007	< 0,005	0,009	< 0,005	0,011	0,01	0,012	0,01			
Ammonium	mg/l	0,012	0,014	0,013	< 0,005	0,009	< 0,005	0,23	0,029	0,03	0,091			
Ammonium-N	mg/l	0,009	0,01	0,01	< 0,005	0,007	< 0,005	0,179	0,023	0,023	0,071			
Chlorid	mg/l	42,3	44,8	30,6	35,2	40,1	26,1	27,7	22,3	21,9	24,2	24,4	23,8	31,6
Sulfat	mg/l	46,4	59,2	43,7	44,5	72,4	33,8	41,2	20,6	20,9	22,5	30,2	26,5	15,7
Phosphor, ges. als P	mg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,057	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,051	0,025			
ortho-Phosphat als P	mg/l	< 0,006	< 0,006	< 0,006	0,008	0,007	0,01	< 0,006	0,009	< 0,006	< 0,006			
DOC	mg/l	1,59	2,94	2,56	3,25	1,48	2,35	3,53	1,86	2,26	2,18			
Oxidierbarkeit	mg/l	1,02	0,5	1,12	0,96	< 0,5	< 0,5	0,64	0,96	< 0,5	1,31			

Anhang II: Analysenergebnisse Hydrochemie von Labor GIU (von AG zur Verfügung gestellt)