

# Fachreferat: PFAS in der Umwelt – eine Bestandesaufnahme

Marion Junghans & Alexandra Kroll



# Aktuelle Herausforderungen in Bezug auf PFAS



*Fig. 8 PFAS sind in St. Galler Fließgewässern, Fischen und im Abwasser allgegenwärtig – selbst in Gewässern, in die kein kommunales Abwasser eingeleitet wird und in dessen Einzugsgebiet keine belasteten Flächen bekannt waren.*

- PFAS sind in allen Umweltkompartimenten vorhanden, auch wenn es in der Nähe keine offensichtliche Quelle gibt
- Risiken für Menschen und Wildtiere wurden übersehen und werden erst jetzt sichtbar, nachdem die Normen überarbeitet worden sind
- Die Umweltqualitätsnormen sind sehr niedrig - für Wasser oft im Bereich der Bestimmungsgrenzen
- PFAS sind schlecht abbaubar - Beschränkungen werden nur langsam Wirkung zeigen
- Sanierung ist schwierig
- Es gibt Forderungen nach politischen Maßnahmen gegen PFAS



# Umweltverhalten

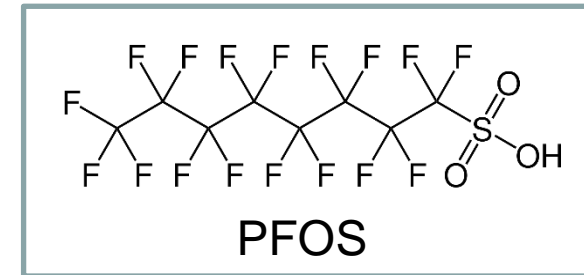
# Stoffgruppe PFAS - Ewigkeitschemikalien



**PFAS = Per- und polyfluorierte Alkylverbindungen**

auch PFC (per- und polyfluorierte Chemikalien)

oder PFT (perfluorierte Tenside)



- Verwendung aufgrund von sehr guten antihaft sowie wasser- und schmutzabweisenden Eigenschaften

> 4700 verschiedene organische Stoffe (nach CAS Nr., OECD-Liste 2018<sup>1</sup>)

- Kohlenstoffketten verschiedener Längen

- Ersatz von Wasserstoffatomen durch Fluoratome → spezifische Eigenschaften  
vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert)

## Polymere

Hauptgruppen:

- Fluorpolymere (e.g. PTFE/»Teflon«)
- Seitenkettenfluorierte Polymere

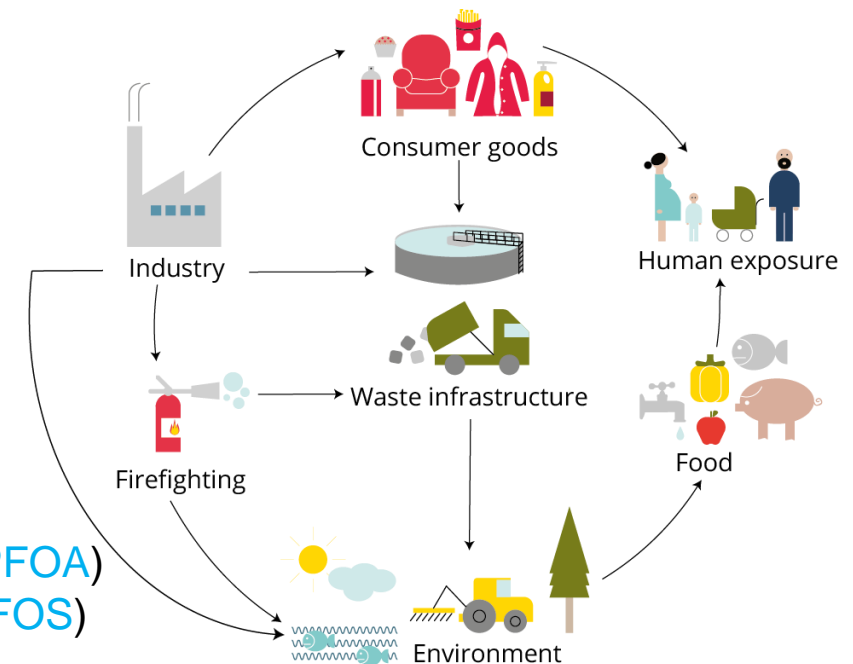
## Nicht-Polymere

Wichtigste Gruppe:

**Perfluoralkylsäuren (PFAA)**

- Perfluorcarbonsäuren (e.g. **PFOA**)
- Perfluorsulfonsäuren (e.g. **PFOS**)
- Perfluorphosphonsäuren

## Hauptexpositionsquellen<sup>2</sup>



<sup>1</sup><https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/global-database-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances.xlsx>

<sup>2</sup><https://www.eea.europa.eu/publications/emerging-chemical-risks-in-europe/emerging-chemical-risks-in-europe>



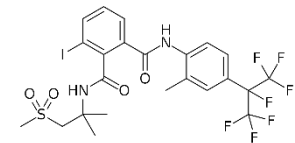
# Quellen von PFAS in der Umwelt

- **Industrie** (Produktion, Verwendung und Freisetzung)
- **Konsumgüter** (Verwendung und Entsorgung)
- Abiotischer oder biotischer **Abbau von Stoffen**, die Perfluoralkylgruppen enthalten und in der Umwelt zu PFAS abgebaut werden

**>95 % direkter Eintrag in die aquatische Umwelt durch Abwässer,**  
Eintrag über die Atmosphäre je nach Standort unterschiedlich wichtig

PFAS «Fingerabdruck» in Gewässern kann stark von Punktquellen abhängen<sup>1</sup> (Studie zu Deutschland und China)

Landwirtschaft: z.B. Flubendiamid, Insektizid mit PFAS-Struktur zur Verwendung in Pflanzenschutzmitteln in der EU zugelassen (bislang nur HR und NL Produkt mit Zulassung, nicht CH)





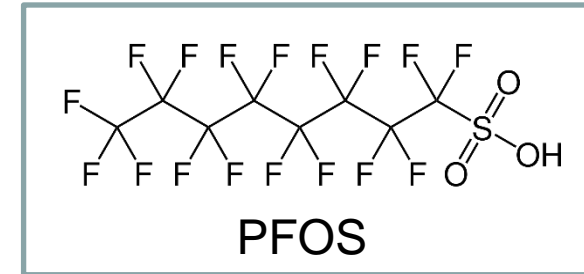
# Umweltverhalten bestimmt durch Molekülstruktur

## Übergeordnete Molekülstruktur:

- 1) hydrophobe Kette, die einen hohen Anteil an Fluor enthält;
- 2) hydrophile Gruppe;
- 3) organische "Spacer"-Gruppe.

→ bestimmen Sorption an Böden und Sedimenten

→ Praktisch keine Hydrolyse, keine Photodegradation, kein mikrobieller Abbau im Wasser/im Sediment



## Mobilität:

- kurzkettige PFAS gut wasserlöslich → Wasser wichtiger Verbreitungspfad;
- PFOS und PFOA (C-8) sind moderat wasserlöslich;
- langkettige PFAS adsorbieren stark an Boden → Retention.



# **Regulierungen und Anforderungswerte**

# Aktuelle Regulierung von PFAS



- PFOS/PFOA weltweit eingeschränkt oder verboten
- z.T. eingestuft als PBT-Stoffe; persistent (P), bioakkumulierbar (B), toxisch (T) (OECD)
- z.T. Anhang B der Liste der POP des Stockholmer Übereinkommens (UNEP 2009) (Verwendungsbeschränkungen erforderlich)
- Einschränkung/Verbot der Verwendung, Herstellung, Einfuhr und Ausfuhr von PFOS und verwandter Stoffe, EU-Verordnung Nr. 757/2010



# Regulierung von PFAS in der Schweiz

## Anhang 1.16 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV, Stand 1.12.2022:

Verbote (und Ausnahmen) für PFOS, PFHxS, PFOA

### Beispiel PFOS:

Als Perfluorooctansulfonsäure und ihre Derivate (PFOS) gelten Stoffe mit der Summenformel  $C_8F_{17}SO_2X$ , wobei X bedeutet: OH, Metallsalze  $[O-M^+]$ , Halogenide, Amide und andere Derivate einschliesslich Polymere.

<sup>1</sup>Verboten sind die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von PFOS sowie von Stoffen und Zubereitungen mit einem **Massengehalt an PFOS von 0,001 Prozent oder mehr**.

<sup>2</sup> Verboten ist das Inverkehrbringen von **neuen Gegenständen und deren Bestandteilen**, wenn sie folgende Werte überschreiten:

- a. einen Massengehalt von mehr als **0.1 Prozent PFOS** berechnet im Verhältnis zur Masse der strukturell oder mikrostrukturell verschiedenartigen Bestandteile, die PFOS enthalten; oder
- b. im Falle von **Textilien** oder anderen beschichteten Werkstoffen: mehr als **1 µg PFOS pro Quadratmeter** des beschichteten Materials.

# Aktuelle Vorstösse Schweiz



## Mo. Maret 22.3929

Festlegung von PFAS-spezifischen Werten in Verordnungen

- Grenzwerte und Bedingungen für die Entsorgung von Materialien (Abfallverordnung)
- Konzentrationswerte zur Evaluierung der Belastungen des Bodens und der Untergründe (Altlasten-Verordnung und Verordnung über Belastungen des Bodens)
- Grenzwerte für die Einleitung in Gewässer

## Po. Moser 22.4585

Prüfung eines Aktionsplans zur Reduktion der Belastung von Mensch und Umwelt durch langlebige Chemikalien (forever chemicals) wie z.B. PFAS, PCB

## Weitere

26 weitere Geschäfte zu PFAS in Curia Vista zu finden

# Direkte chronische Toxizität in Gewässerorganismen



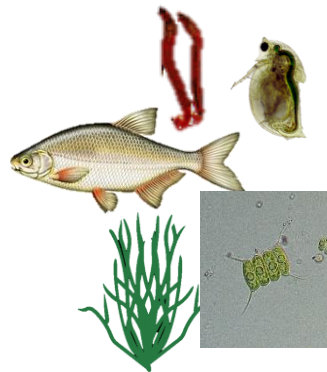
Beispiel PFOS (EU Draft EQS Dossier PFAS 2021)



10 µg/L

> 1 mg/L

Beispiel Flubendiamid (PPDB; Pesticide Properties DataBase)



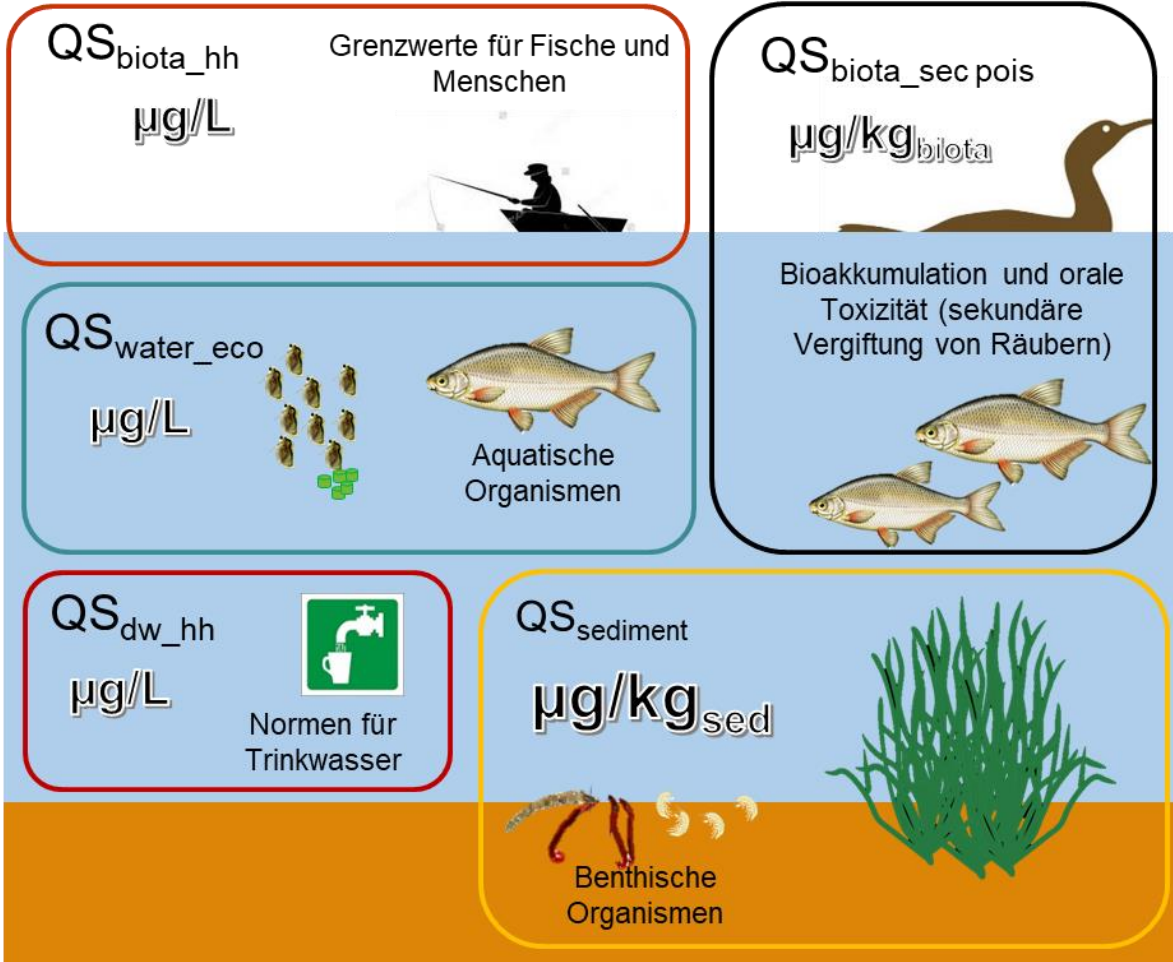
10 µg/L

> 1 mg/L



# Qualitätsstandard für PFAS in Gewässern

Überblick der Qualitätsstandards für die Wasserrahmenrichtlinie (EU)<sup>1</sup>



**CH GSchV berücksichtigt:**

$QS_{water\_eco}$

$QS_{biota\_sec\ pois}$

**PFAS (EU 2022<sup>2</sup>):**

$QS_{biota\_sec\ pois}$   
tiefer als

$QS_{water\_eco}$

aufgrund der starken Bioakkumulation

OZ EQS für PFOS

0.002  $\mu\text{g/L}$  (2011)

basiert ebenso auf Sekundärintoxikation

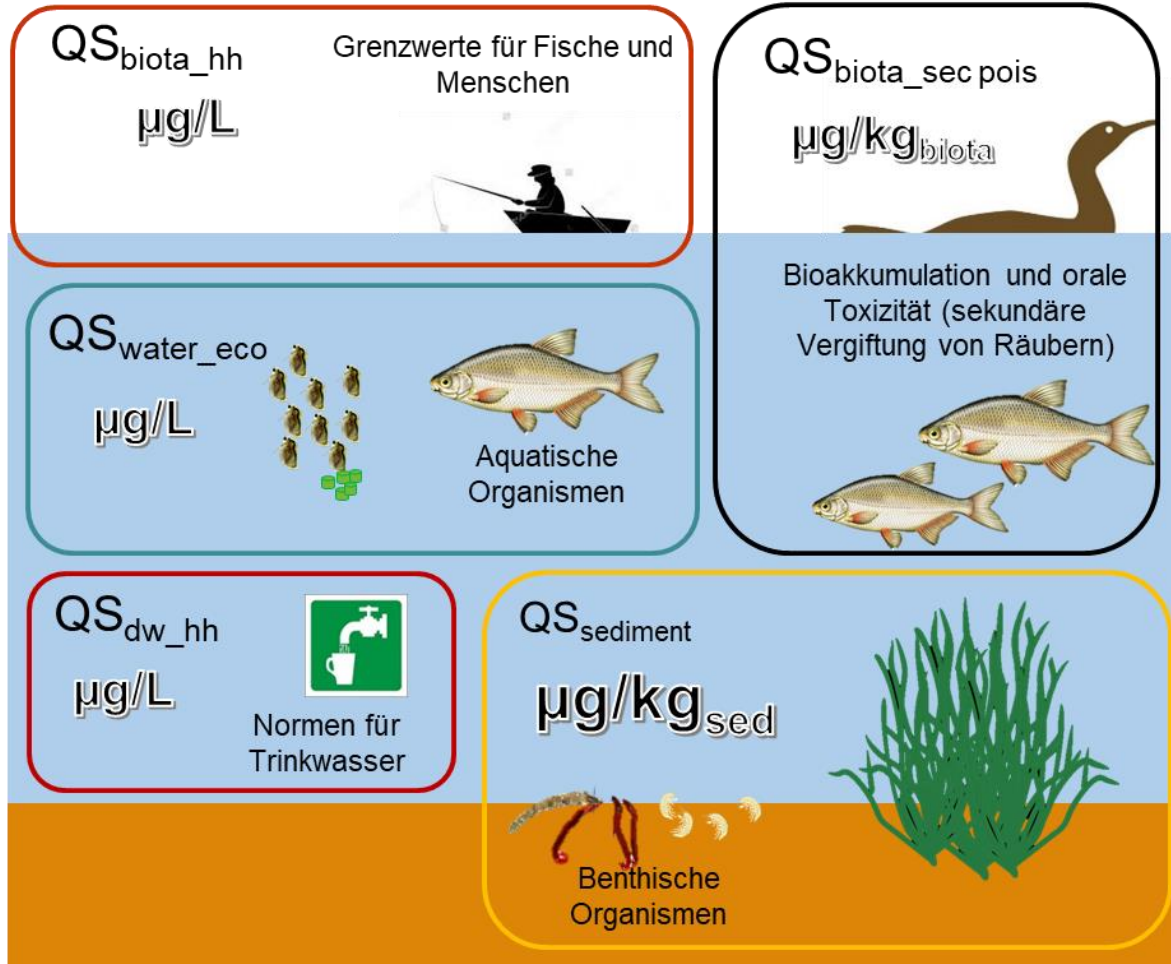
<sup>1</sup>Abzuleiten nach *EU Guidance Document No. 27*

<sup>2</sup><https://circabc.europa.eu/ui/group/9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d/library/e6137ae7-3056-4d01-ae44-de003185ab1c/details>,



# Qualitätsstandard für PFAS in Gewässern

Qualitätsstandards für die Wasserrahmenrichtlinie (EU)<sup>1</sup>



## Zeitliche Entwicklung der toxikologischen Referenzwerte der EFSA

<b>2008</b> TDI <b>150 ng/kg (PFOS)</b> <b>1500 ng/kg (PFOA)</b>
<b>2018</b> TWI <b>13 ng/kg (PFOS)</b> <b>6 ng/kg (PFOA)</b>
<b>2020</b> Summen-TWI <b>4.4 ng/kg</b> <b>(<math>\Sigma</math>PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS)</b>







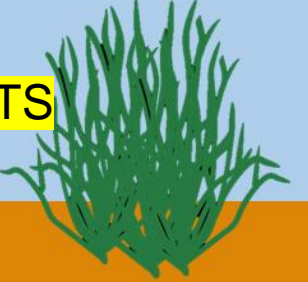

TDI = tolerable tägliche Aufnahmemenge

TWI = tolerable wöchentliche Aufnahmemenge

<sup>1</sup>Abzuleiten nach *EU Guidance Document No. 27*



# Beispiel Qualitätsstandard für PFOS

<p><math>QS_{biota\_hh}</math> Grenzwerte für Fische und Menschen</p> <p>EU-WFD<sup>1</sup>: 0.039 ng/g</p> <p>EU<sup>2</sup>: 2-35 ng/g Filet</p> 	<p><math>QS_{biota\_sec\ pois}</math></p> <p>OZ: 2 ng/L</p>  <p>Bioakkumulation und orale Toxizität (sekundäre Vergiftung von Räubern)</p> 
<p><math>\bar{OZ}_{akut:co}</math></p> <p>36000 ng/L</p>  <p>Aquatische Organismen</p> 	
<p><math>QS_{dw\_hh}</math></p>  <p>Normen für Trinkwasser</p> <p>WFD<sup>1</sup>: 2.2 ng/L</p> <p>CH-TBDV: 300 ng/L</p>	<p><math>QS_{sediment}</math></p> <p>OZ: 1.85 ng/g TS</p>  <p>Benthische Organismen</p> 

<sup>1</sup> Vorschlag 2022 [https://environment.ec.europa.eu/document/download/5aa45d99-811a-4e45-b89a-c10e30745fc1\\_en?filename=Annexes%20to%20the%20proposal\\_0.pdf](https://environment.ec.europa.eu/document/download/5aa45d99-811a-4e45-b89a-c10e30745fc1_en?filename=Annexes%20to%20the%20proposal_0.pdf)

<sup>2</sup> gültig ab 2023 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R2388>

# Anforderungswerte für PFAS-Rückstände - EU



## Trinkwasser

Regulatorische Werte für PFAS

- 'Summe PFAS' meint Summe der für den menschlichen Konsum bedenklichen Per- und Polyfluoroalkylsubstanzen aus Punkt 3 Teil B von Anhang III. **0.1 µg/l**
- Total der Per- und Polyfluoroalkyl Substanzen
  - **0.5 µg/l**

## Oberfl-gewässer

Vorschlag EU-Wasserrahmenrichtlinie (Okt. 2022)

- EQS für Summe 24 PFAS als PFOA Äquivalenzkonzentrationen basierend auf EFSA TWI von 4.4 ng/kg Körpergewicht
- **Wasser** Phase (Schutzziel Trinkwasser)
  - **0.0044 µg/l<sup>1</sup>**
- **Biota** (Schutzziel **Fisch**konsum)
  - **0.077 µg/kg Nassgewicht<sup>2</sup>**

## Nahrungsmittel

REGULATION (EU) 2022/2388 & CH (2024)

- Maximale Rückstände in verschiedenen Lebensmitteln in Bezug auf Summe PFOS, PFOA, PFNA und PFHxS
- Fische **2 µg/kg Nassgewicht** in Filet für Säuglinge und Kleinkinder
- Für übrige Konsumenten hängen die maximalen Rückstände von der Fischart ab – drei Klassen
  - **2 µg/kg Nassgewicht**
  - **8 µg/kg Nassgewicht**
  - **45 µg/kg Nassgewicht**

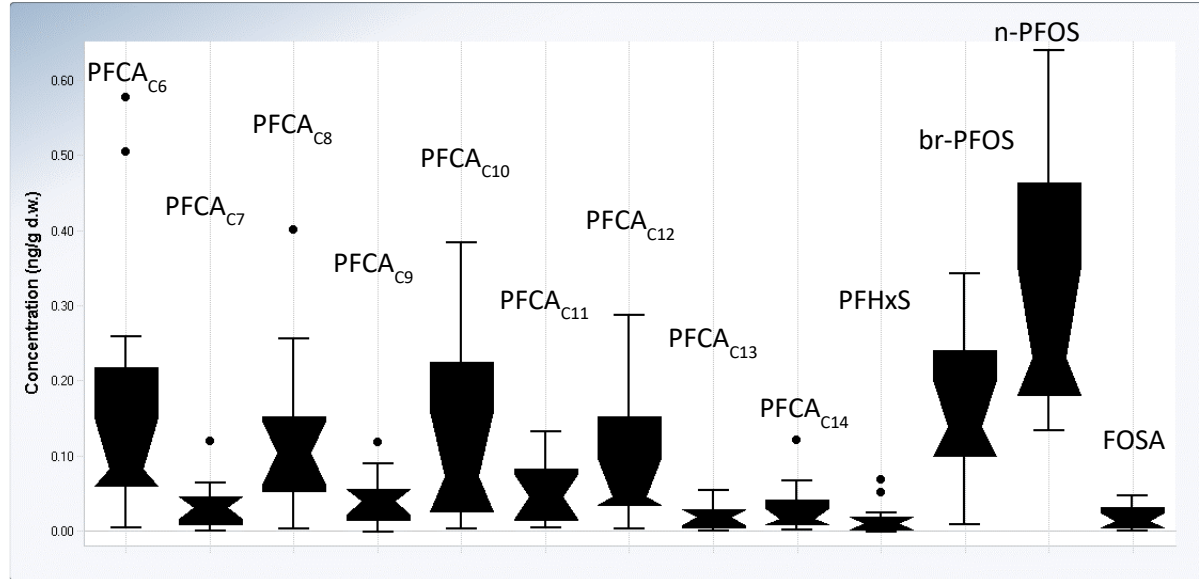
<sup>1</sup>aktueller WRRL EQS PFOS: 0.00065 µg/l

<sup>2</sup>aktueller WRRL EQS PFOS: 9.1 µg/kg Nassgewicht

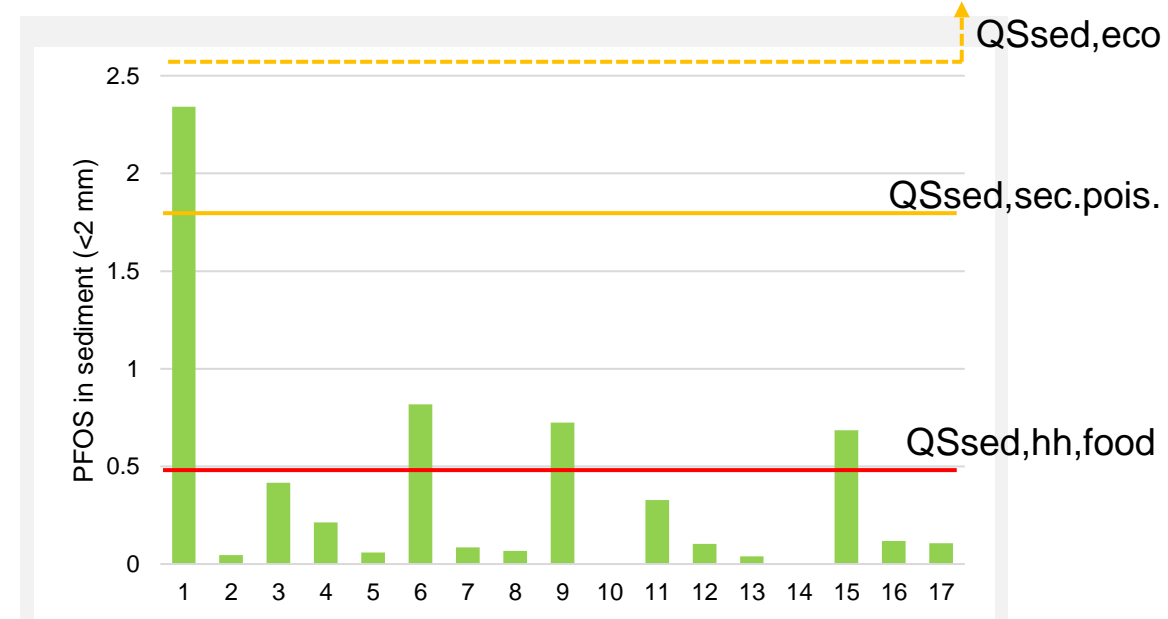


# Messwerte in der Umwelt

# Sediment



Measured concentrations in sediments from small streams (n=17) in Switzerland (August 2018).

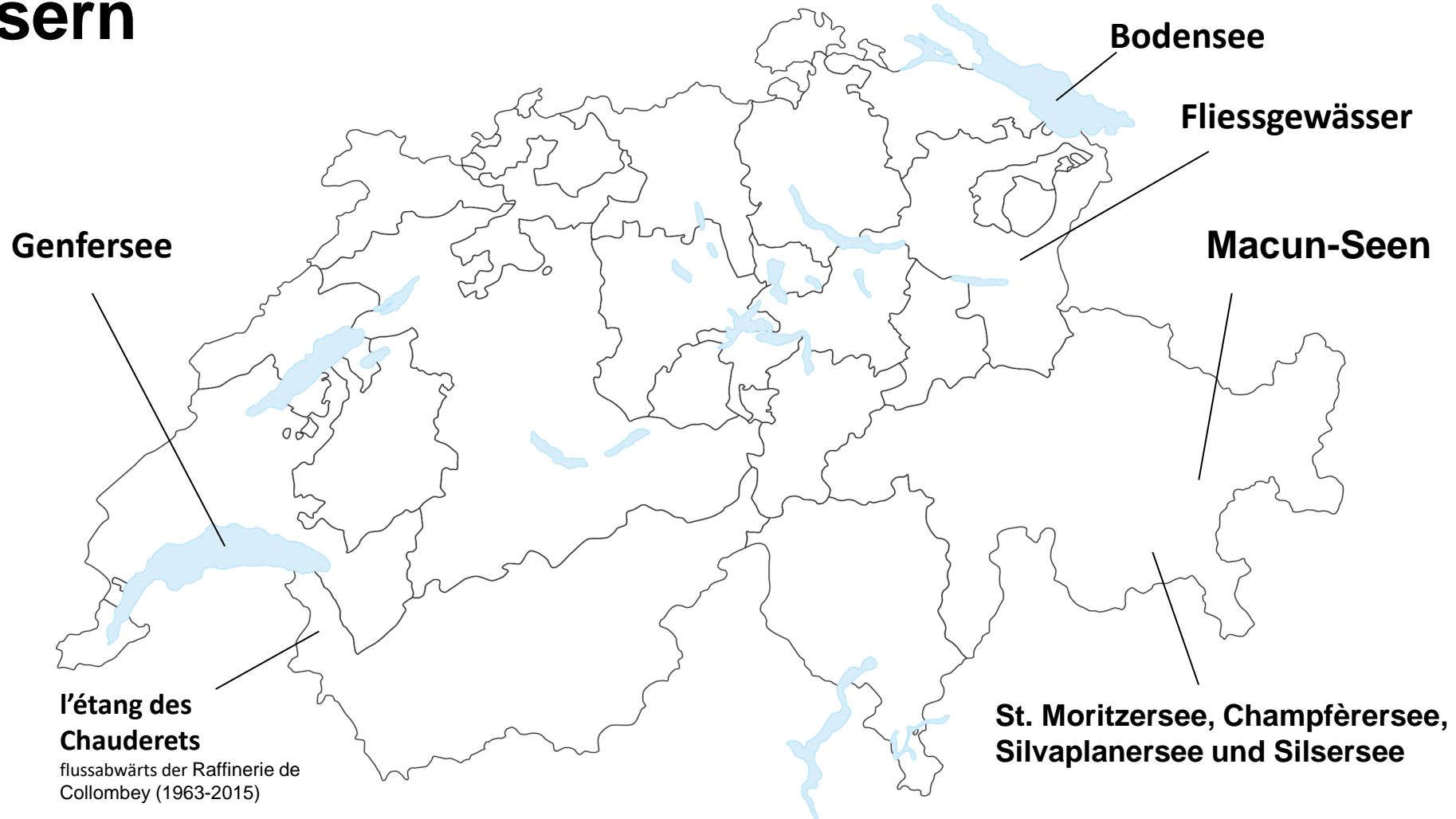


Measured concentrations in sediments from small streams (n=17) in Switzerland (August 2018).

- PFOS dominiert basierend auf der Konzentration
- Weitere PFAS tragen ebenfalls zum Risiko bei



# Vorkommen von PFAS in einigen Schweizer Gewässern



→ PFAS in Fliessgewässersedimenten in CH:  
Casado-Martinez, C. et al. (2021). Integr Environ Assess Manag 2021;17:716-725.

# PFAS in Fischfilet: Beispiele Bodensee und Genfersee



## Bodensee<sup>1</sup>

### 2009

40 der 43 Fischfilets enthielten PFOS

9.9 µg/kg (Mittelwert) PFOS

In drei Proben Perfluordecansäure (PFDA),  
wenige µg/kg

### 2020

29 PFAS in 5 Fischarten an 6 Probenahmestellen:

0.01 – 29.81 µg/kg

10.31 µg/kg PFOS (Median)

Σ PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS:

(Schleie Untersee – Barsch Obersee)

1.8 – 30 µg/kg

## Genfersee<sup>2</sup>

### 2018

2 Fischarten, 14 Proben

2.4-19.3 µg/kg PFOS

9.1 µg/kg PFOS (Median, *R. rutilus*)

9.8 ± 4.2 µg/kg (Mittelwert, Stdabw. *L. lota*)

2.7-22.6 µg/kg Σ 14 PFAS

Weitere Beobachtung:

Gesamtfischkonzentration

etwa 2x höher als im Fischfilet

<sup>1</sup>Riemenschneider et al. 2021, Bericht UA-BW, D

<sup>2</sup>Valsecchi et al. 2021, Environmental Toxicology and Chemistry—Volume 40, Number 3—pp. 658–676



# PFAS in Fischfilet: Beispiele Oberengadin und ehem. Minengebiet

## Oberengadin<sup>3</sup>

70 Fische aus 4 Seen

Summe PFHxS, PFOA, PFOS, PFNA

In 50 % allen Fischfilet und 90 % allen  
Lebergewebes nachgewiesen

0.9 - 1.3 µg/kg Fischfilet (Mediane der Seen)

2.1- 18 µg/kg Leber (Mediane der Seen)

0.9 µg/kg PFOS im Fischfilet (Median)

## l'étang des Chauderets<sup>4</sup>

37 - 6723 µg/kg "PFAS" Fischfilet

- In den vier Beispielen ist das Konzentrationsverhältnis von Wasser zu Fisch ähnlich;
- Meist stärkere Akkumulation in der Fischleber.

<sup>3</sup>Schmid et al 2022, Kanton Graubünden, Dokument ANU-406-51; St. Moritzersee, Champfèrersee, Silvaplanersee und Silsersee

<sup>4</sup>Kanton Wallis 2022, Pollution par les PFAS - Contamination des poissons de l'étang des Chauderets à Collombey



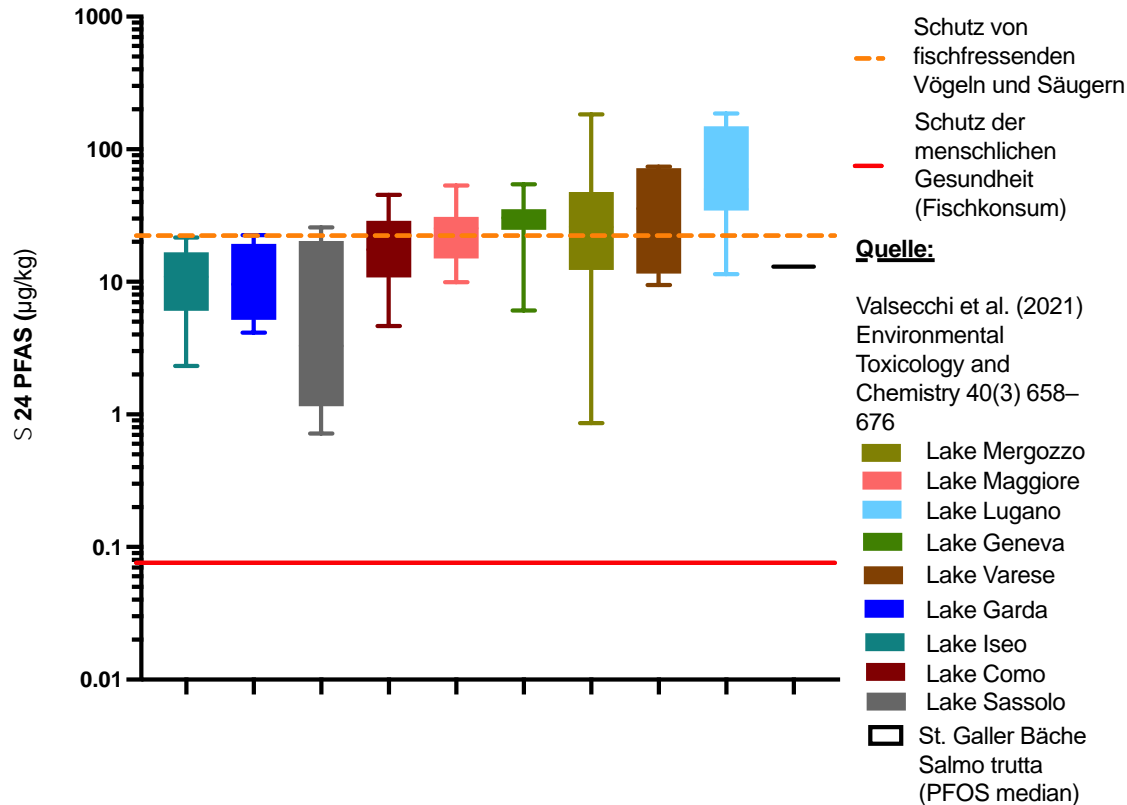
# PFOS-Konzentrationen in Fischen

<b>See</b>	<b>PFOS Median (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>)</b>	<b>PFOS Maximum (<math>\mu\text{g}/\text{kg}</math>)</b>
Silsersee	1.0	2.1
Lago Bianco	0.9	2.0
Lago Crocetta	1.1	1.5
Comersee	4.1	6.0
Gardasee	1.4	4.8
Lago Iseo	0.9	2.5
Lago Varese	7.0	12.5
Lago Mergozzo	5.4	38.4
Lago Sassolo	0.3	0.8
Lago Maggiore	8.6	19.9
Luganersee	15.7	50.5
Genfersee	9.1	19.3
Bodensee	10.3	10.8

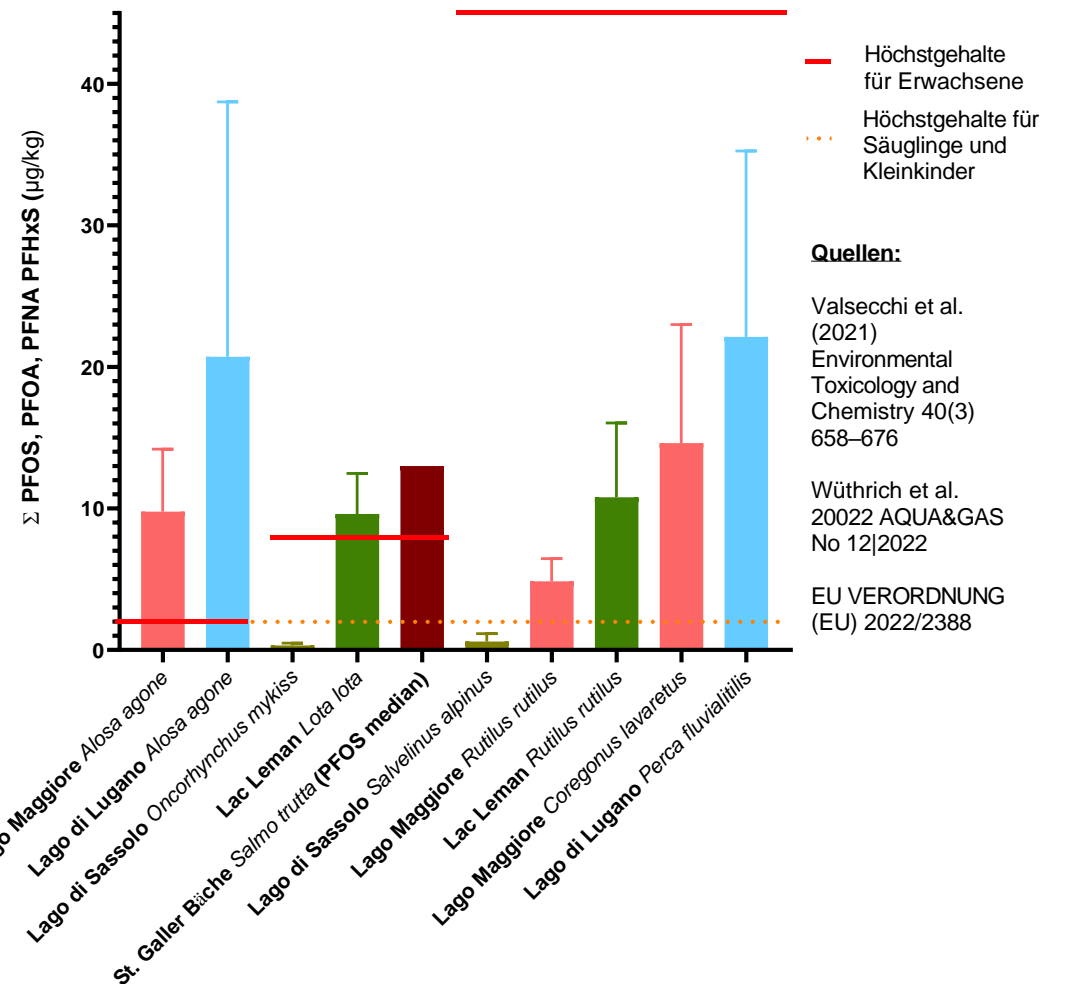
# Vergleich PFAS in Filets mit neuen Anforderungswerten



Rückstände in Fischfilets im Vergleich zum EQS-Vorschlag der Wasserrahmenrichtlinie



Rückstände in Fischfilets im Vergleich zu den Höchstgehalten an Perfluoralkylsubstanzen in bestimmten Lebensmitteln (EU)





# Konzentrationen im Seewasser: Beispiel PFOS

Bodensee 2019<sup>1</sup> 1 ng/l - 5 ng/l

Macunseen 2015<sup>2</sup> 0.1 ng/l

Seen im Oberengadin 2021<sup>3</sup> 0.1-0.2 ng/l

Vergleich stark kontaminiertes Gewässer:

l'étang des Chauderets 2021<sup>4</sup> ~500 ng/l PFAS

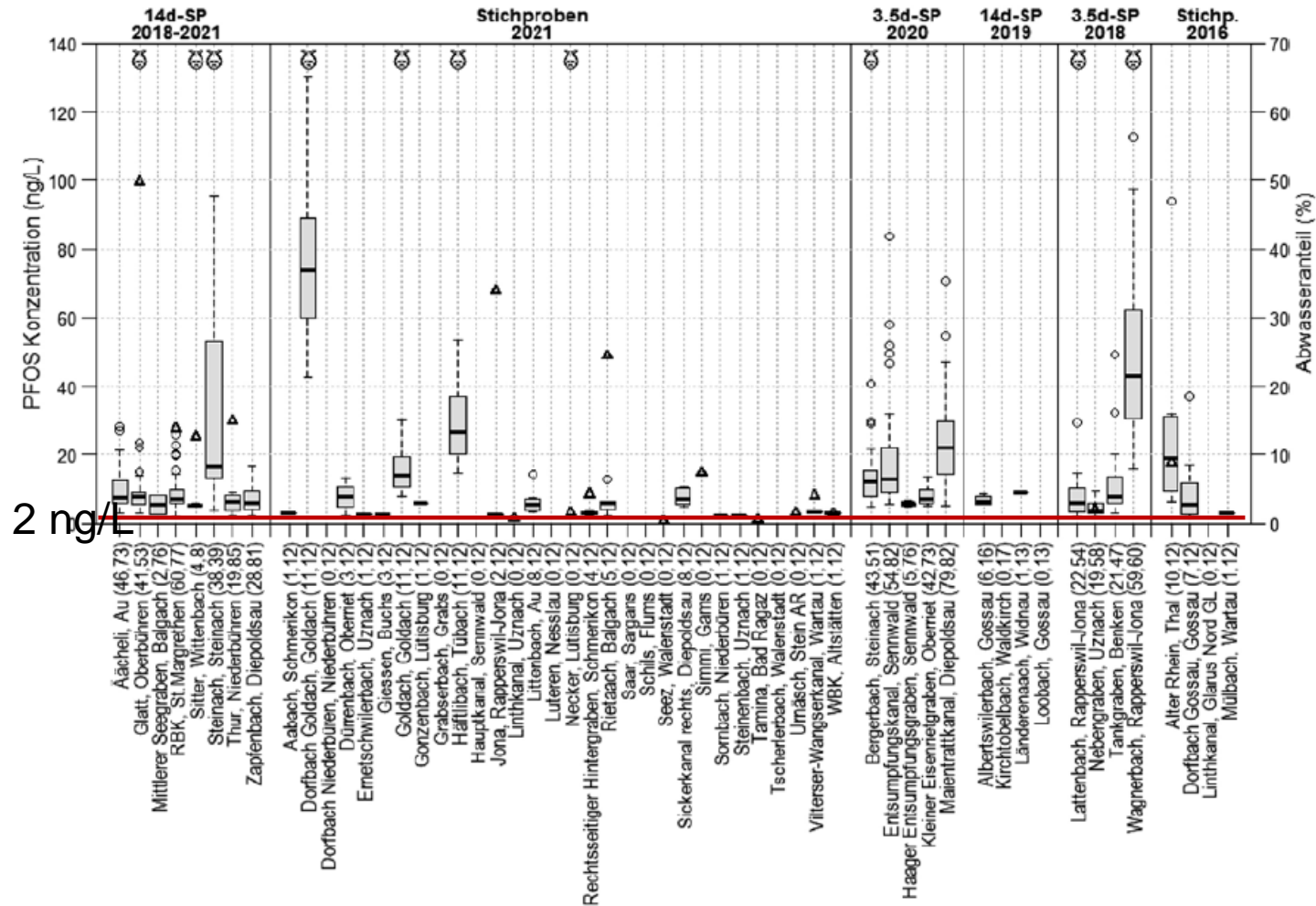
<sup>1</sup>IGKB, <https://www.igkb.org/aktuelles/bodensee-wasser-informationssystem-bowis/spurenstoffe/>

<sup>2</sup>Cobbing M., Jacobson T., Santen M.: Chemie in unberührter Natur, Greenpeace untersucht die globale Verbreitung gefährlicher per- und polyfluorierter Chemikalien; Greenpeace, Hamburg, 2015)

<sup>3</sup>Schmid et al 2022, Kanton Graubünden, Dokument ANU-406-51; St. Moritzersee, Champfèrersee, Silvaplanersee und Silsersee

<sup>4</sup>Kanton Wallis 2022, Pollution par les PFAS - Contamination des poissons de à Collombey

# PFOS-Konzentrationen in St. Galler Fließgewässern



- Bestimmungsgrenzen zwischen 2 und 6 ng/l
- Wenn Konzentrationen ermittelt werden konnten, wurden auch bestehende UQN der EU-WRRL für PFOS überschritten
  - 2 ng/L Schutz der Vögel und Säuger
  - 4.4 ng/L Schutz der Menschen beim Konsum von Trinkwasser



# Einordnung von PFAS Umweltkonzentrationen: Trinkwasser

## Höchstwerte für Trinkwasser

CH: TBDV<sup>1</sup> Anhang 2

Perfluorooctansulfonat (PFOS) 0.3 µg/l

Perfluorhexansulfonat (PFHxS) 0.3 µg/l

Perfluorooctansäure (PFOA) 0.5 µg/l

European Drinking Water Directive  
0.1 µg/l sum of 20 PFAS listed in Annex III  
0.5 µg/L for “PFAS total”  
strengere Werte für Summe PFOS, PFOA,  
PFNA, PFHxS in DK und DE beschlossen

**Bodensee-Wasserversorgung (D)**

PFOS

0.003 µg/L

weitere 17 PFAS nicht nachweisbar<sup>2</sup>

**Oberengadin**

PFOS, 5 Proben

<0.0001 µg/l drei Proben

0.0002 µg/l zwei Proben

→ Oberflächen- und Trinkwasserwerte unterhalb der aktuellen Höchstwerte

<sup>1</sup>Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen, SR 817.022.11

<sup>2</sup>Riemenschneider et al. 2021, Bericht UA-BW, D

# Aktuelles Fazit



- In allen überprüften Kompartimenten werden PFAS gefunden
- PFAS liegen in komplexen Mischungen vor
- Konzentrationen in Fischen korrelieren mit Wasserkonzentrationen
- Grundlage für neue Grenzwerte für Gewässer und Lebensmittel ist der Schutz der menschlichen Gesundheit (Effekte auf das Immunsystem bei Kindern)
- Gemessene Konzentrationen in Gewässern liegen bisher unterhalb der Grenzwerte
- Gemessene Konzentrationen in Fischen liegen häufig oberhalb der Grenzwerte



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



**Click to add title**



# Titel



- Hier ein Beispiel für die Formatierung der Aufzählungen
  - Aufzählung Stufe 1
    - Aufzählung Stufe 2
      - Aufzählung Stufe 3