

# Brauchwassersystem auf dem Prüfstand:

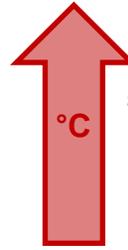
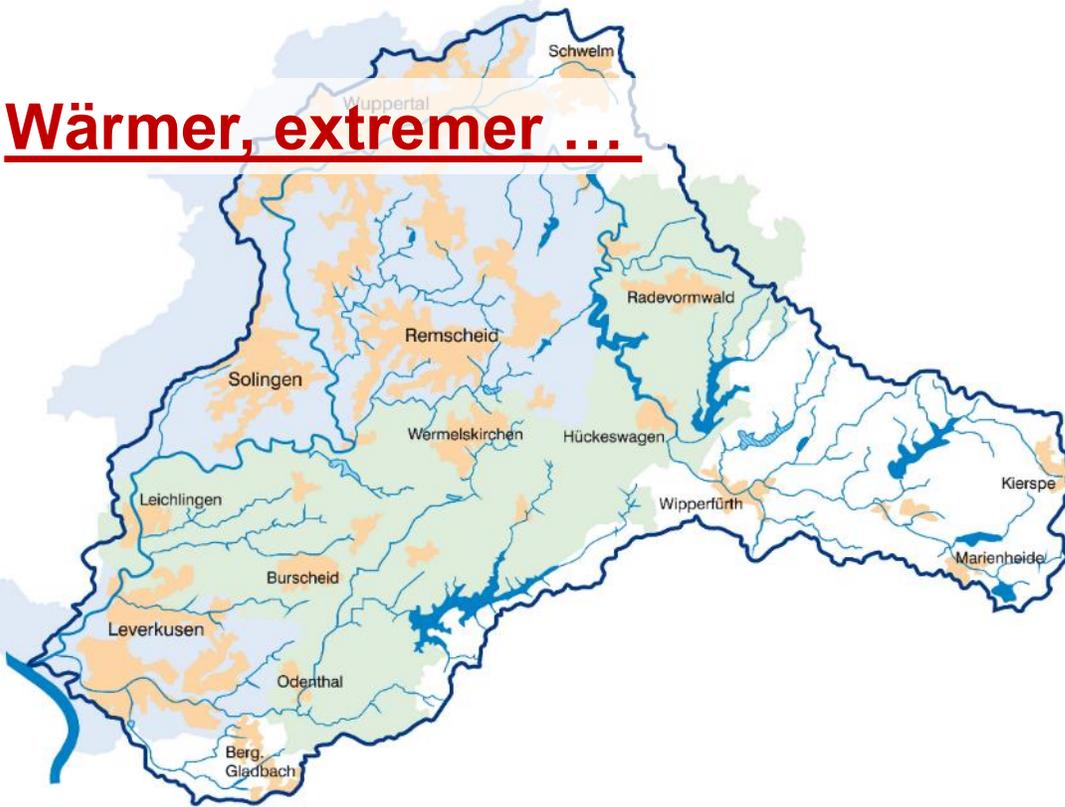
## Auswirkungen von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen auf die Gewässerökologie von Talsperre und Fließgewässer

Dr. Patrick Heidbüchel



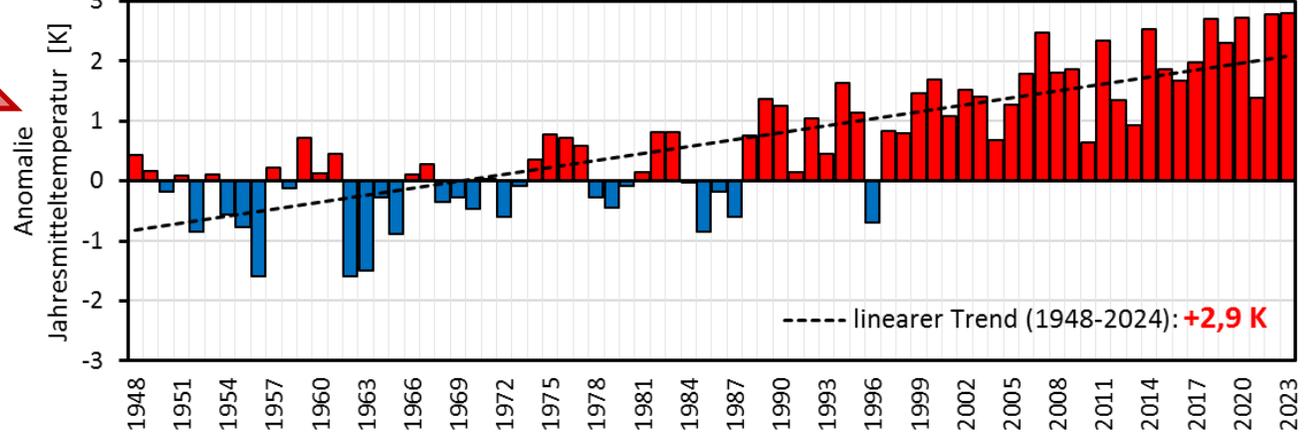
# Klimawandel im Wupperverbandsgebiet

**Wärmer, extremer ...**



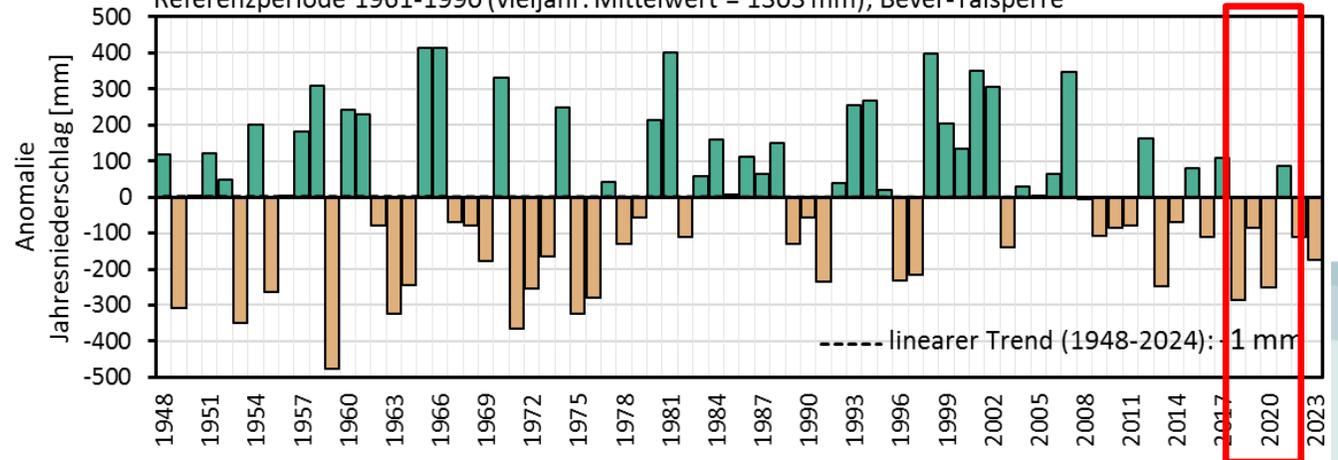
## Temperaturanomalie

Referenzperiode 1961-1990 (vieljähr. Mittelwert = 9 °C); Buchenhofen



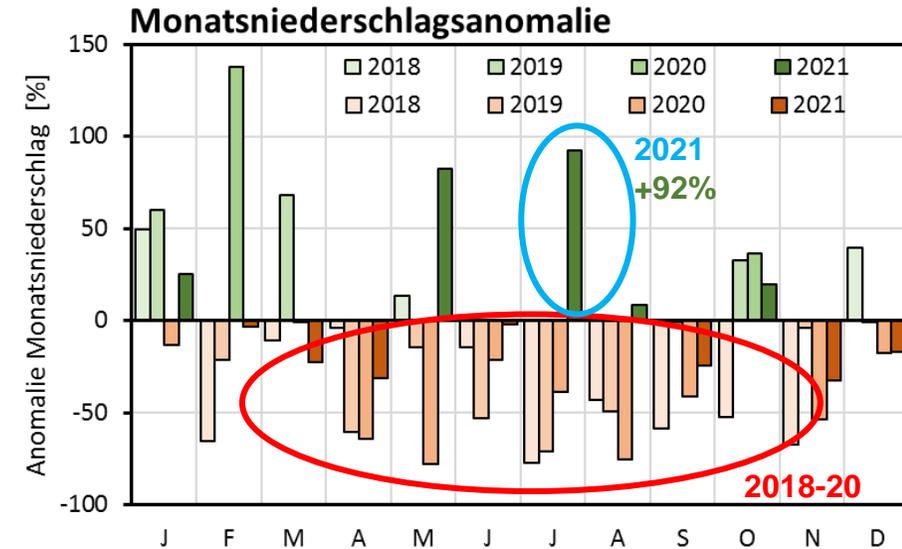
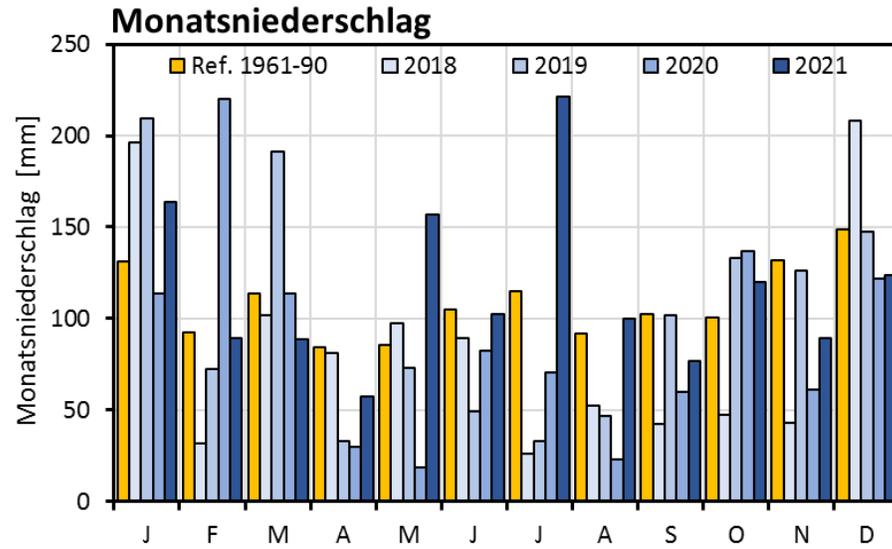
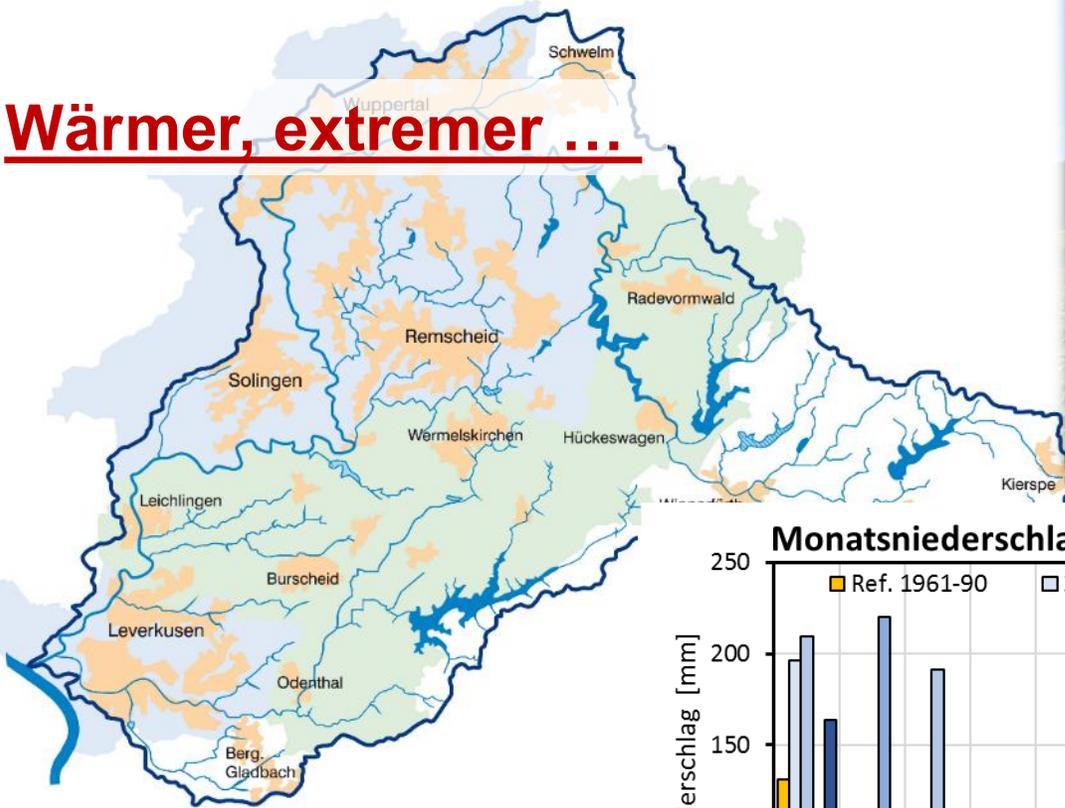
## Niederschlagsanomalie

Referenzperiode 1961-1990 (vieljähr. Mittelwert = 1303 mm); Bever-Talsperre



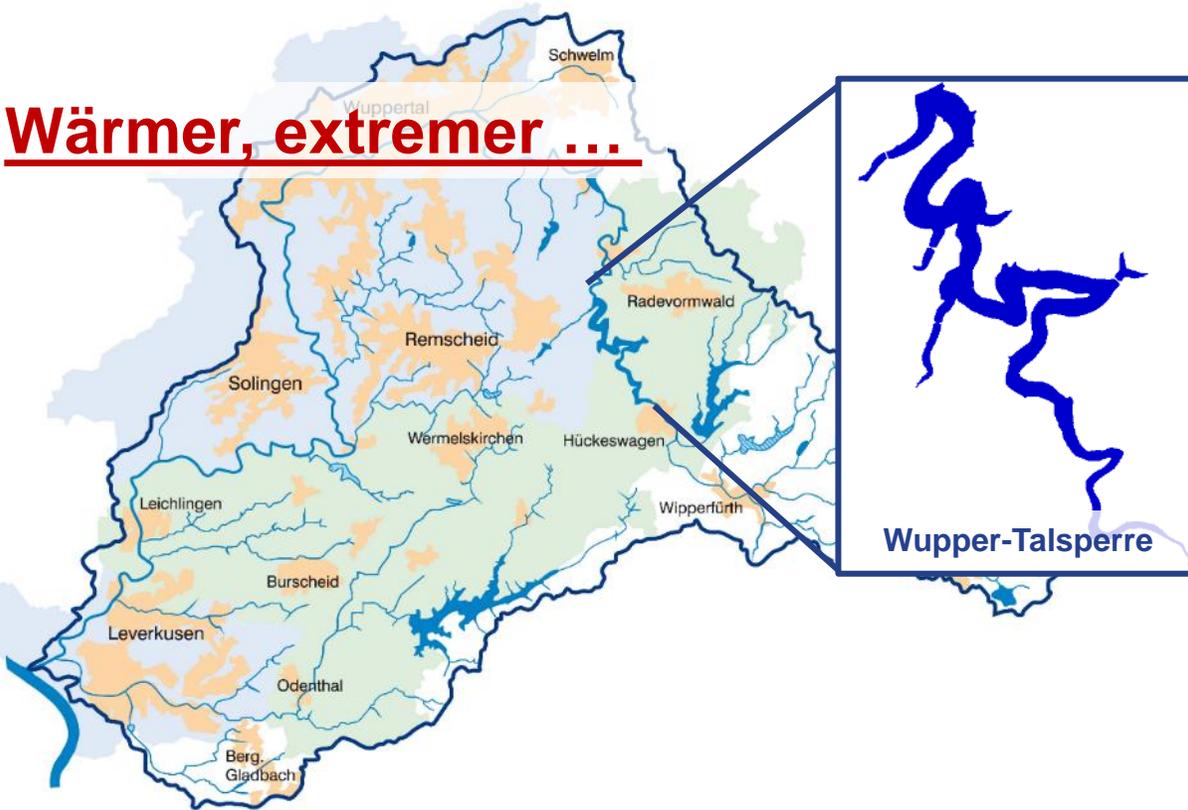
# Klimawandel im Wupperverbandsgebiet

**Wärmer, extremer ...**

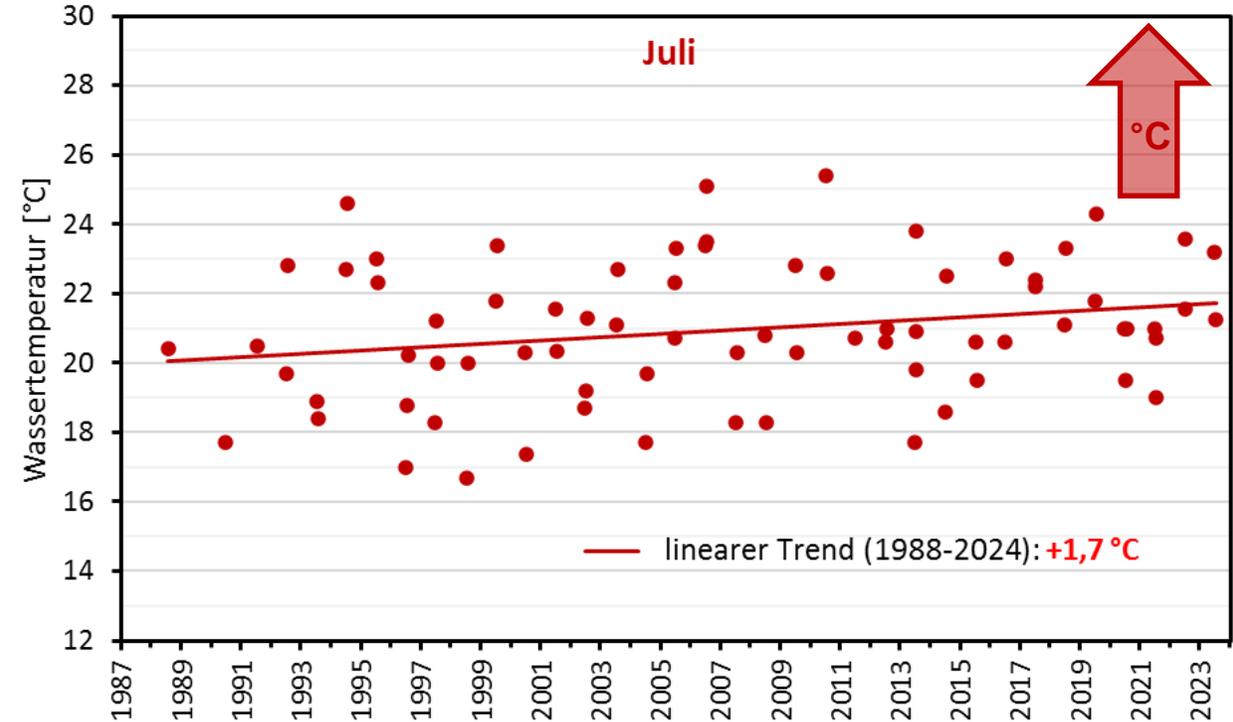


# Klimawandel im Wupperverbandsgebiet

**Wärmer, extremer ...**



Wupper-TS Oberflächenwassertemperatur (1 m Tiefe)



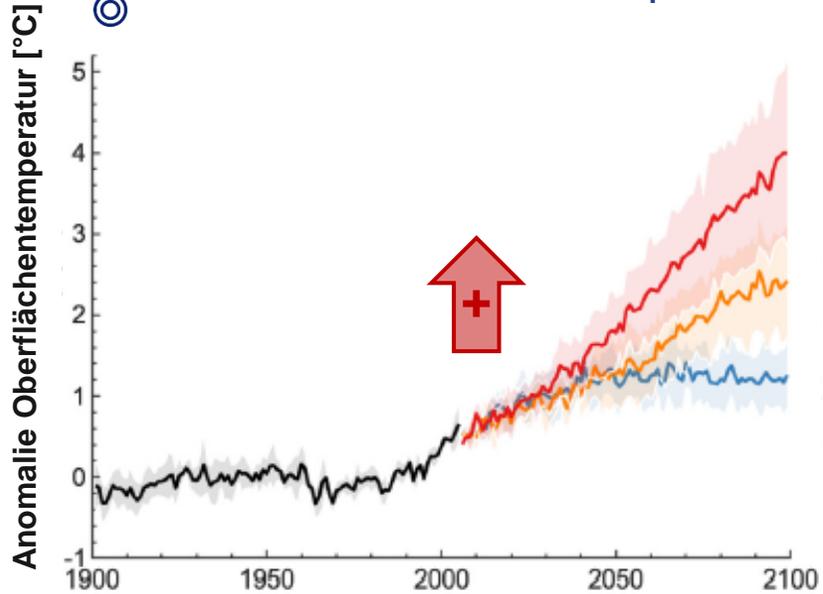
→ Erwärmung der Wupper-Talsperre: Seit Einstau Zunahme Oberflächenwassertemperatur um **1,7 °C**



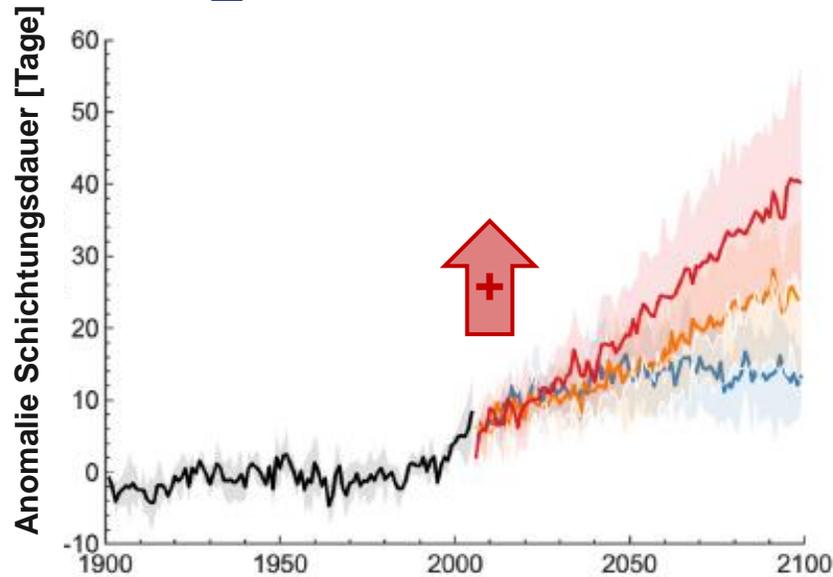
# Klimafolgen für Seen & Talsperren



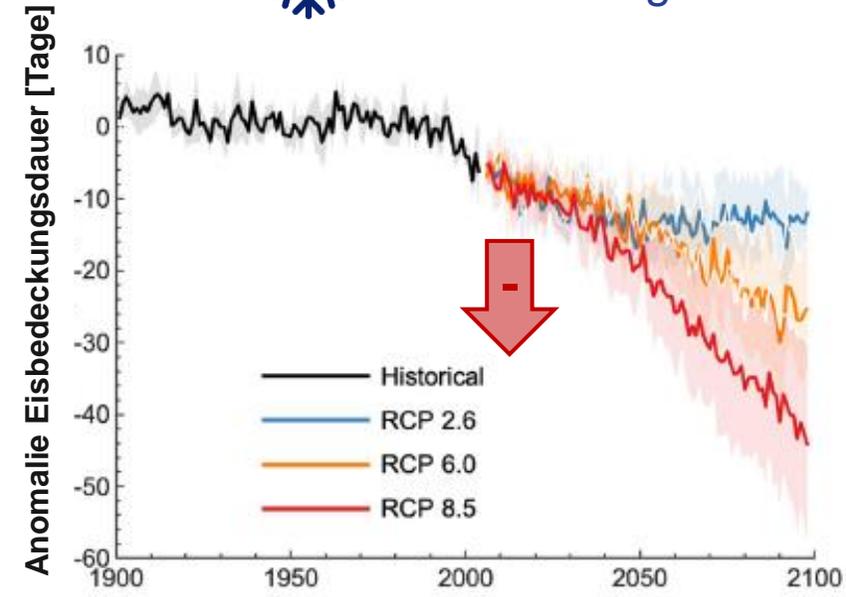
Oberflächenwassertemperatur



Schichtungsdauer



Eisbedeckung



- Intensivierte **Sauerstoffzehrung** – v. a. im Tiefenwasser
- Zunahme **Hitzewellen** und (**Blau-**)**Algenblüten**
- ...

(Jane et al. 2021, Nature) <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y>

(Woolway et al. 2021, Environ. Res. Lett.) <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3d5a>

Woolway et al. 2022, BioScience  
<https://doi.org/10.1093/biosci/biac052>

→ Risiko für den Verlust von Ökosystemleistungen steigt!



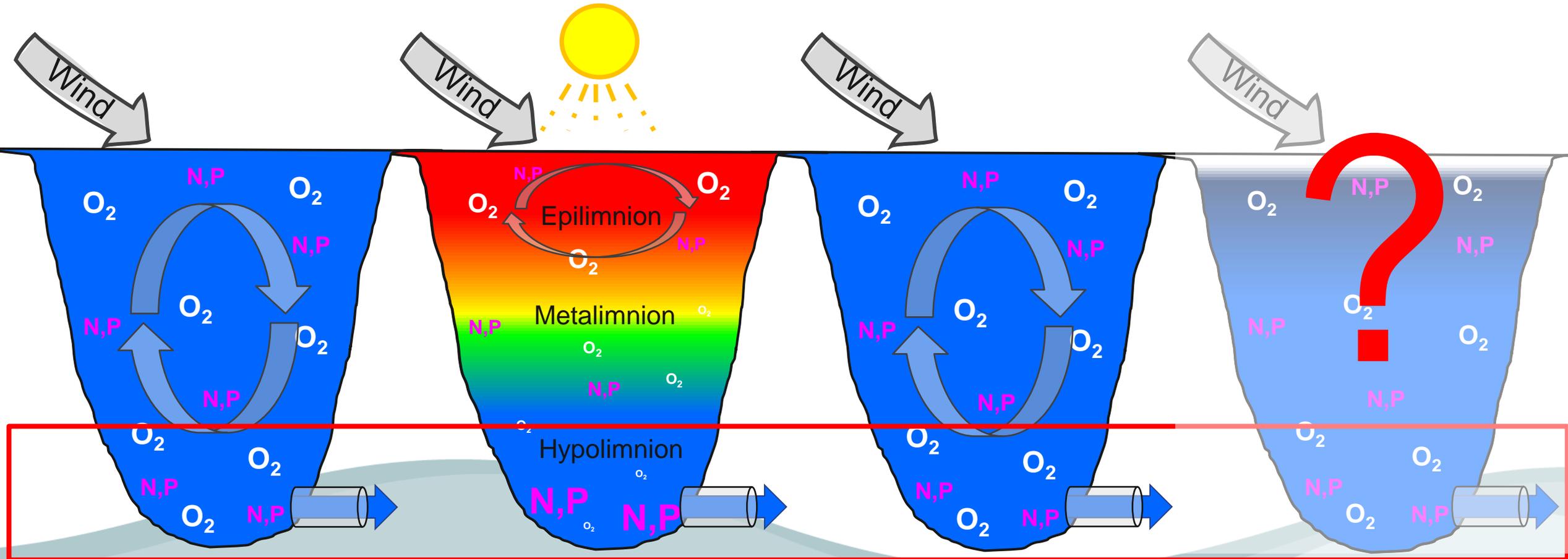
# Schichtungsverhalten von Seen/Talsperren – Stagnation & Zirkulation

Frühjahrszirkulation

Sommerstagnation

Herbstzirkulation

Winterstagnation



**Talsperre: Abgabe von Tiefenwasser über Grundablass**

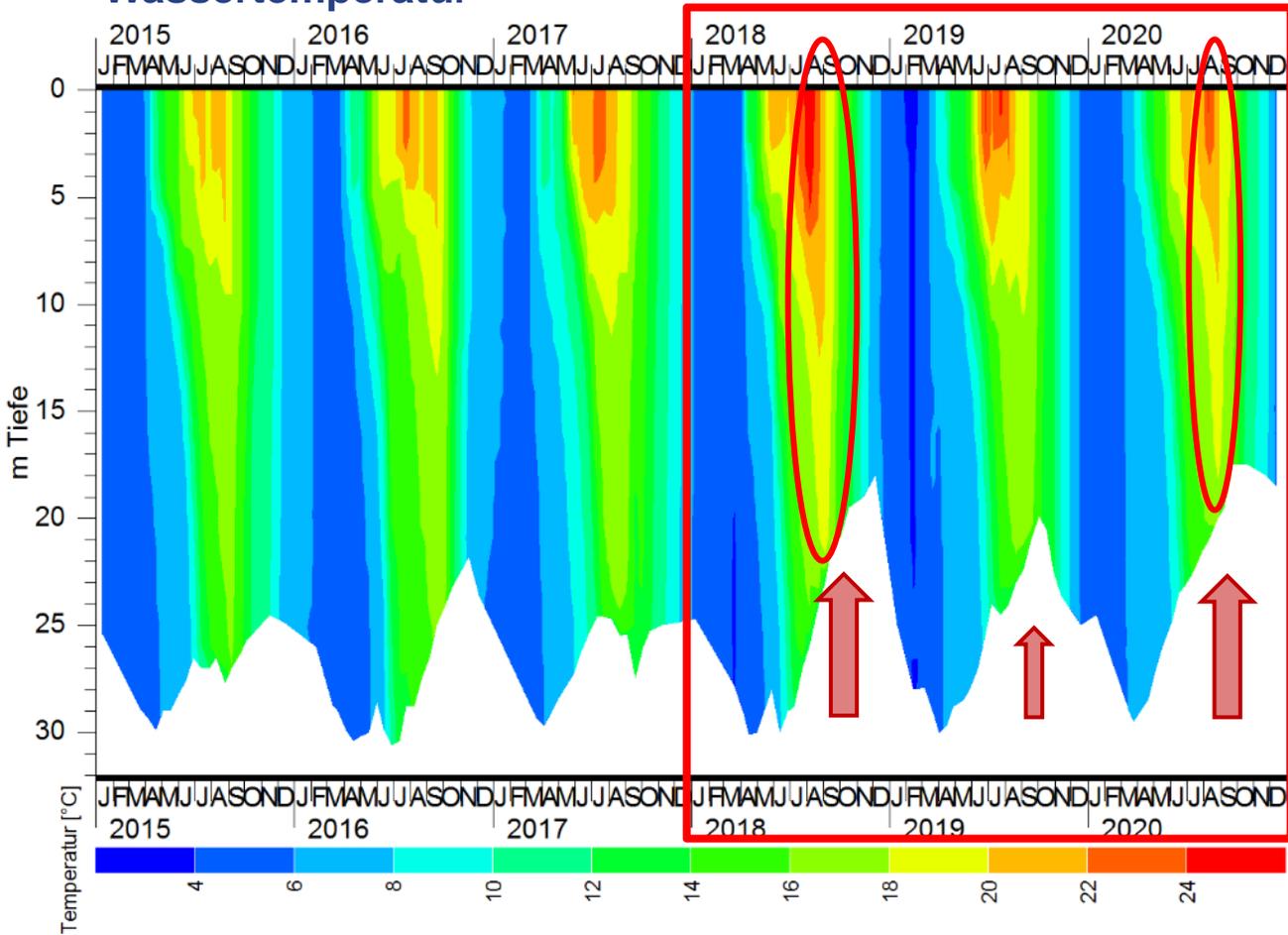


# Auswirkungen von Extremereignissen: Dürrejahre 2018-2020

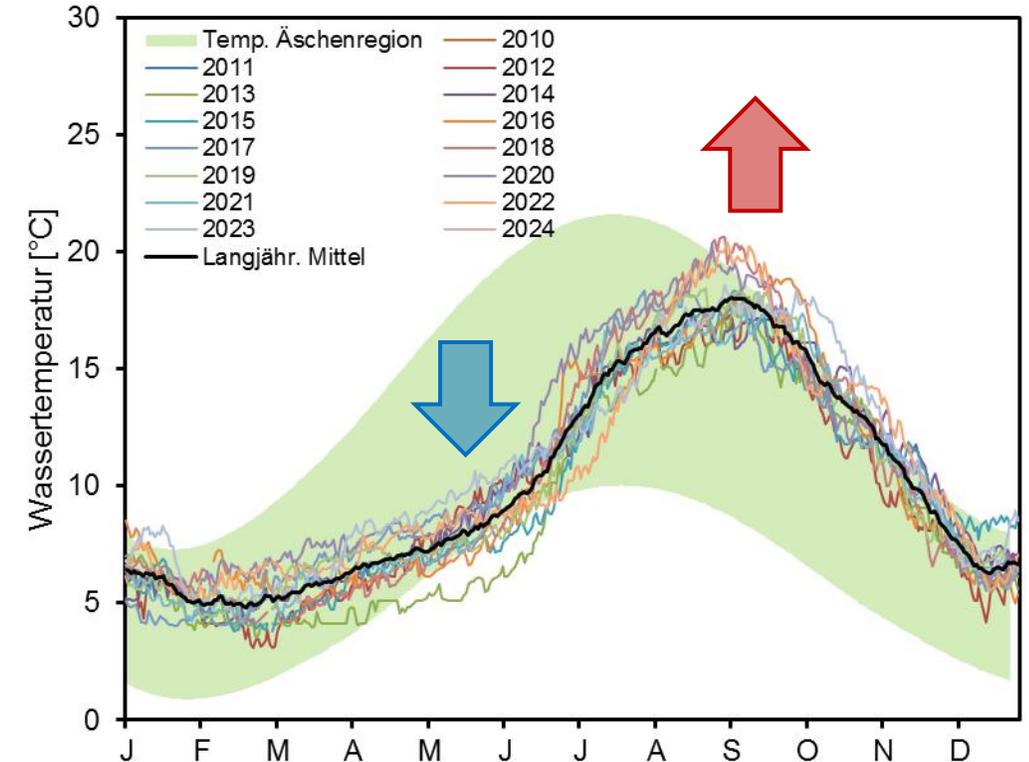


# Dürrefolgen an der Wupper-Talsperre 2018-2020

## Wassertemperatur



## Wassertemperatur Ablauf Wu-TS (Wupper km 75,3 Krebsöge)

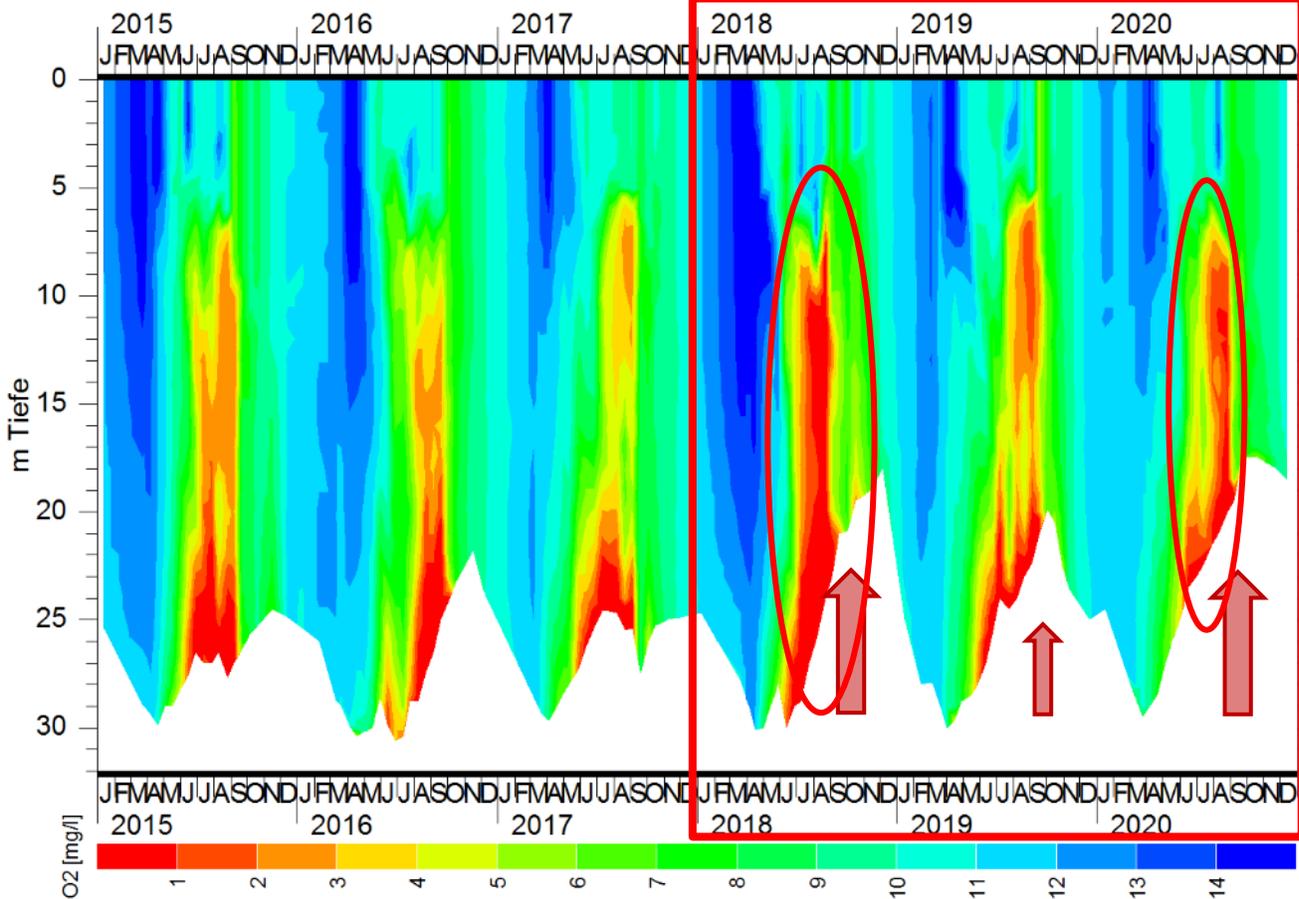


- Zu kalt im Frühjahr/Frühsummer
- Zu warm im Spätsommer/Herbst

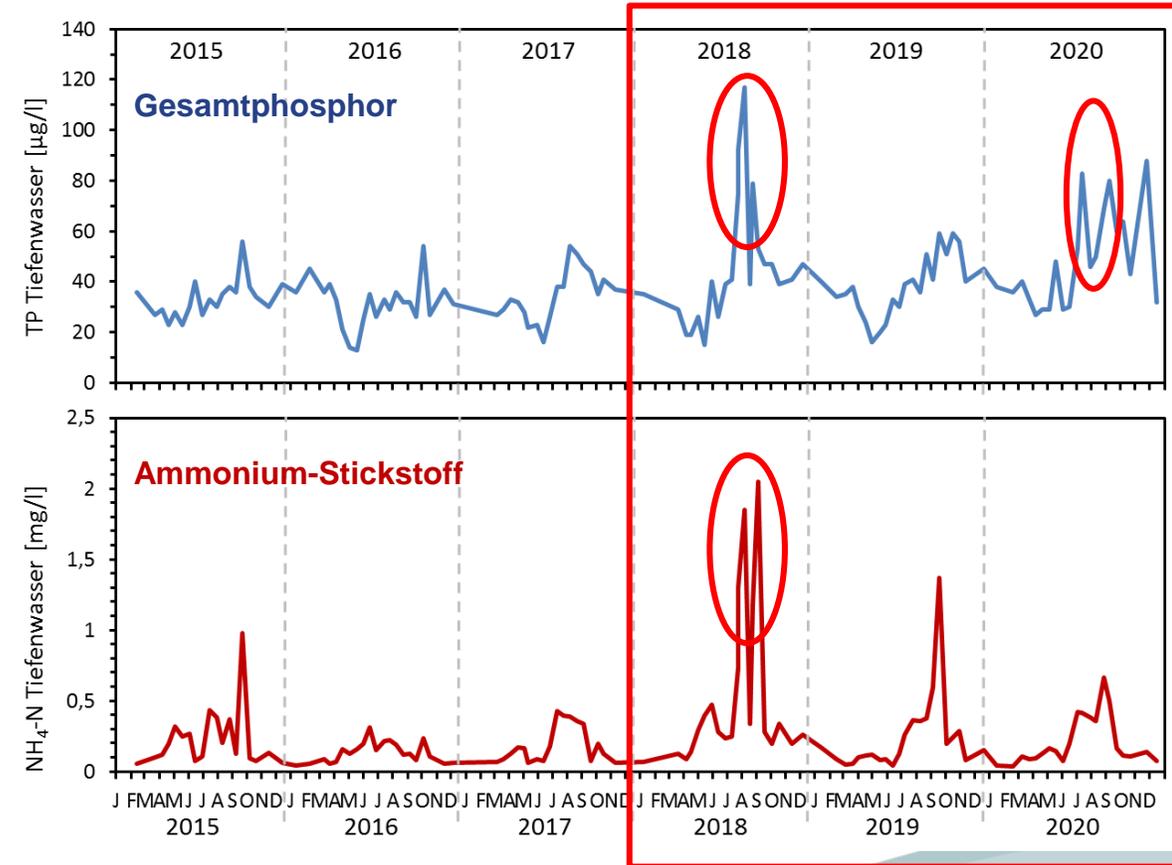
→ Verringerte Stauinhalte und gesteigerte Erwärmung Tiefenwasser

# Dürrefolgen an der Wupper-Talsperre 2018-2020

## Sauerstoffkonzentration



## Nährstoffmobilisierung im Tiefenwasser

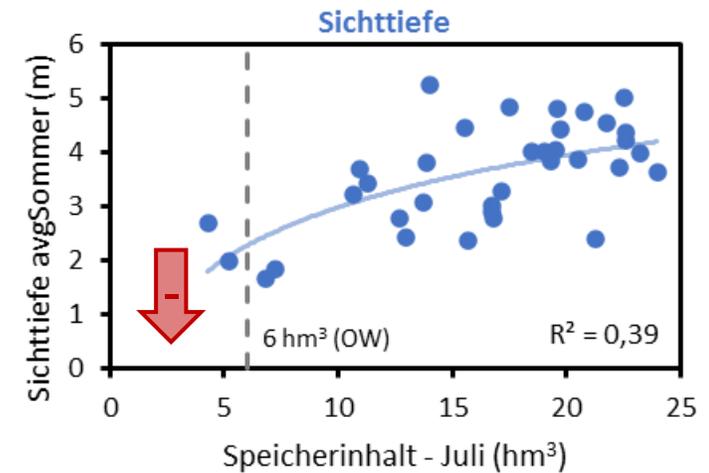
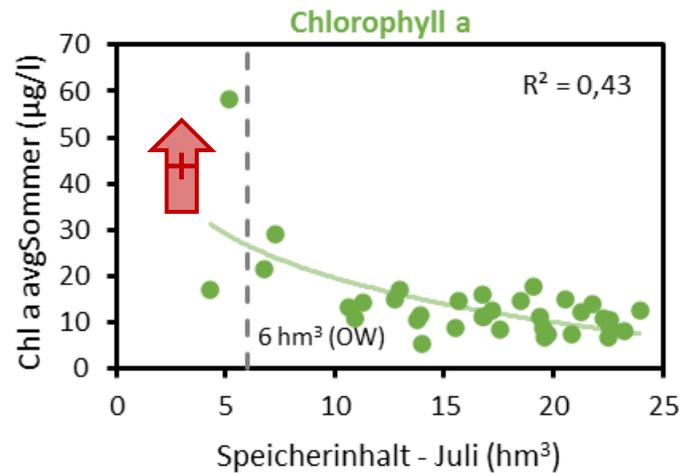
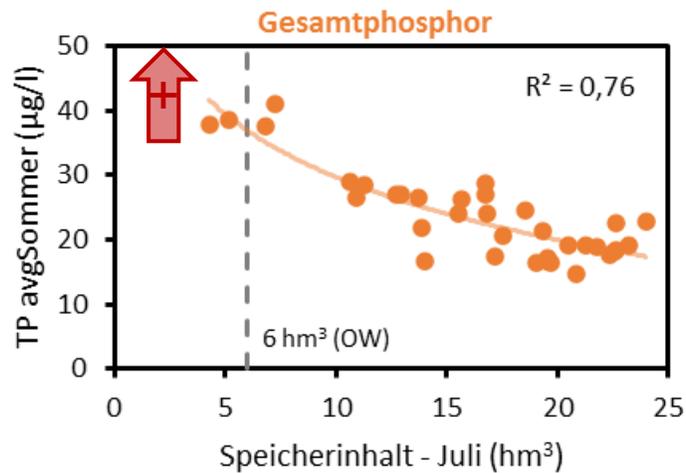
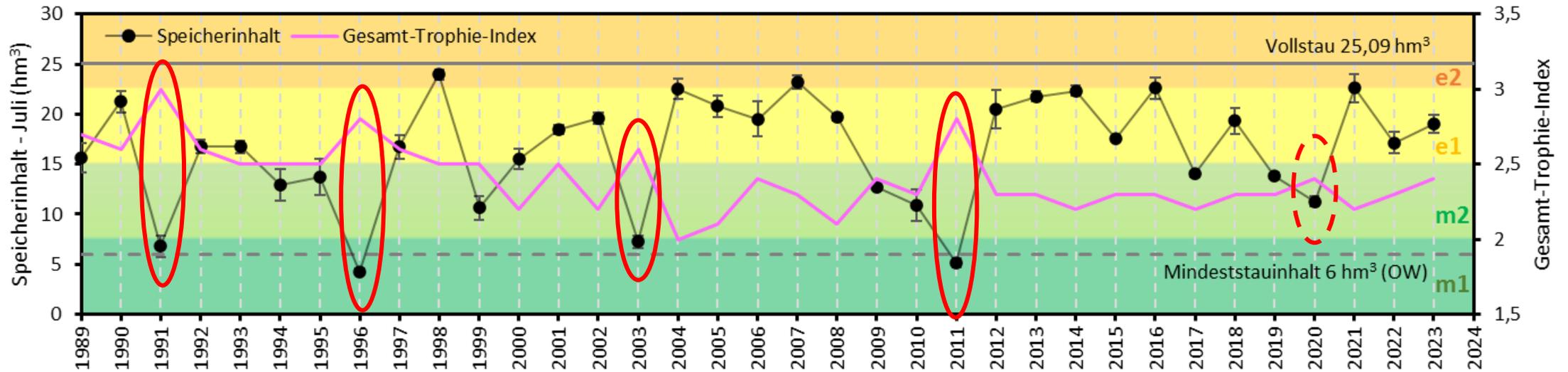


→ Gesteigerte Sauerstoffzehrung & erhöhte Faulschlammabbildung → Nährstoffrücklösung/-anreicherung  
 → Auswirkung auf Wasserqualität Talsperre und Fließgewässer – Bewirtschaftungsziele § 27 WHG?

# Kopplung von Wassermenge & Gewässergüte



# Trophie der Wupper-Talsperre in Abhängigkeit vom Sommerspeicherinhalt

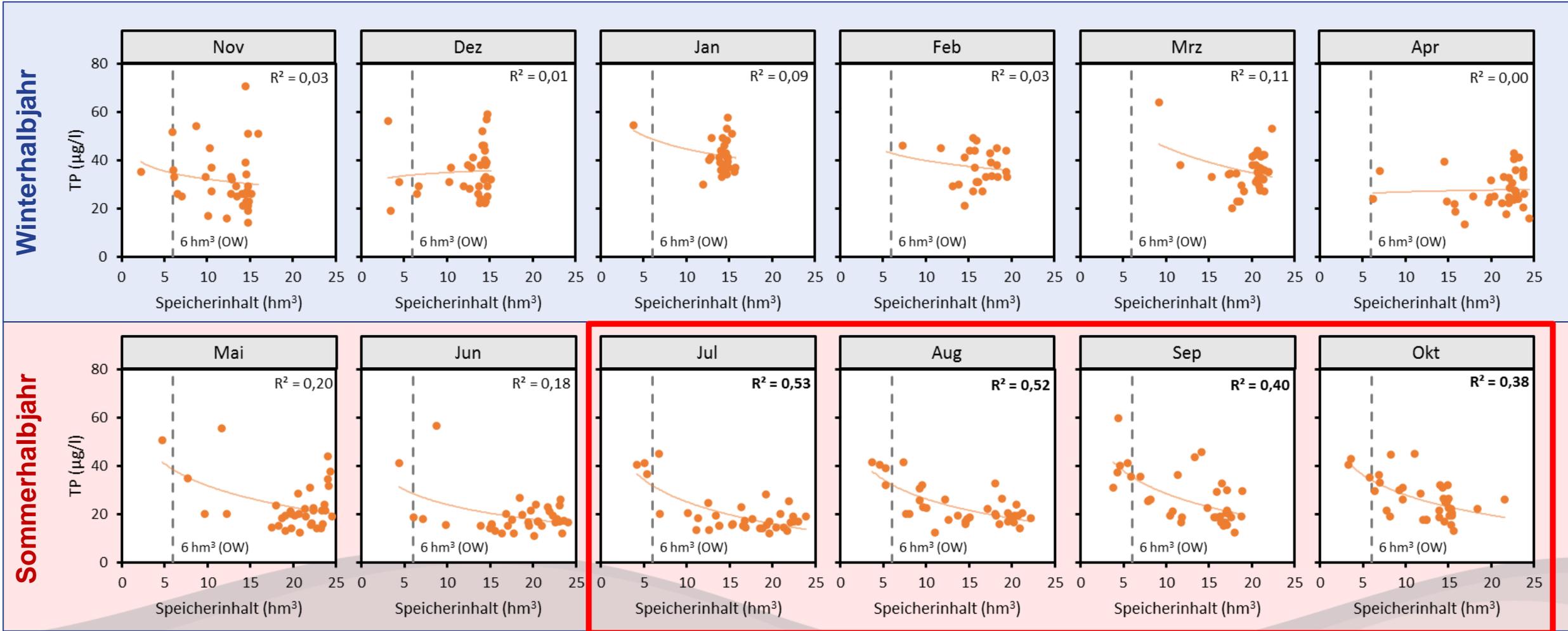


→ Niedrige Sommerstauinhalte (Juli) führen zur Erhöhung der Trophie der Wupper-Talsperre

(Gesamtphosphor, Chlorophyll a in euphotischer Zone; Mindeststauinhalt = Orientierungswert)



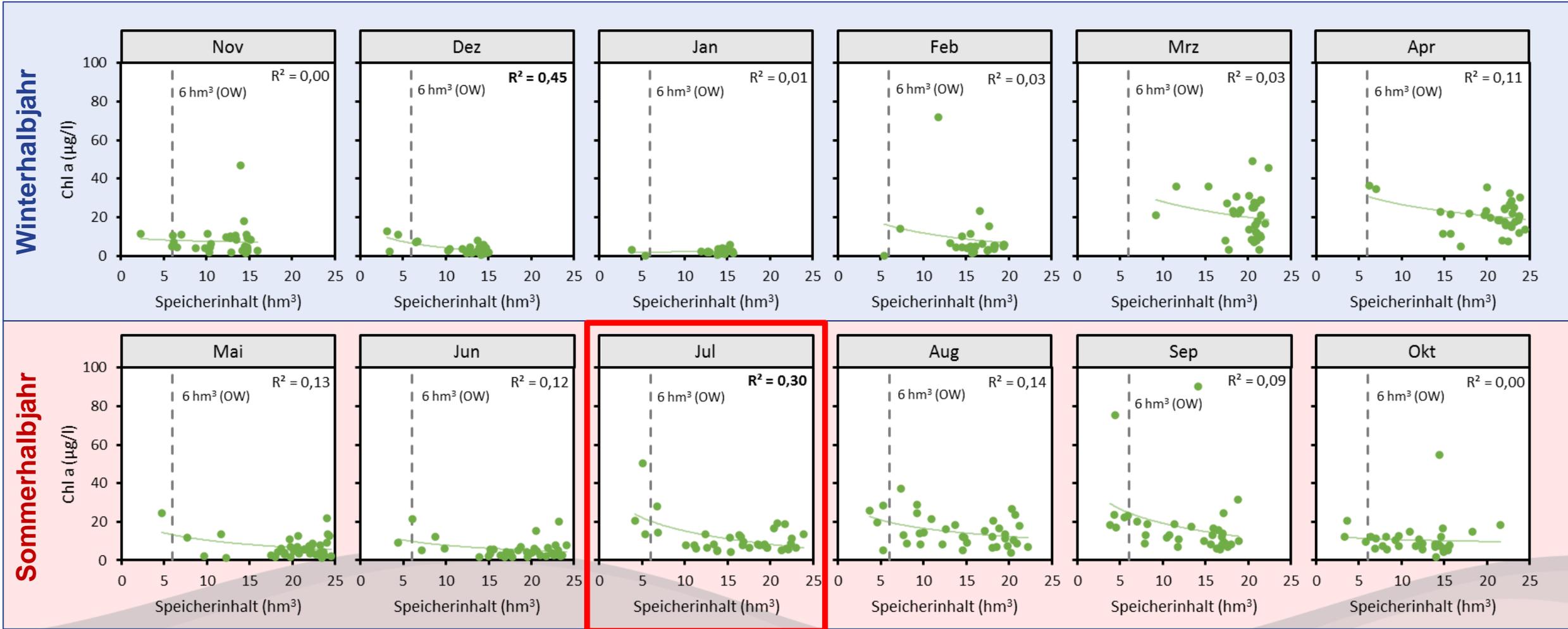
# Gesamtphosphor der Wupper-Talsperre in Abhängigkeit vom Speicherinhalt



  = Starke Kopplung an Speicherinhalt ( $R^2 > 0,3$ )



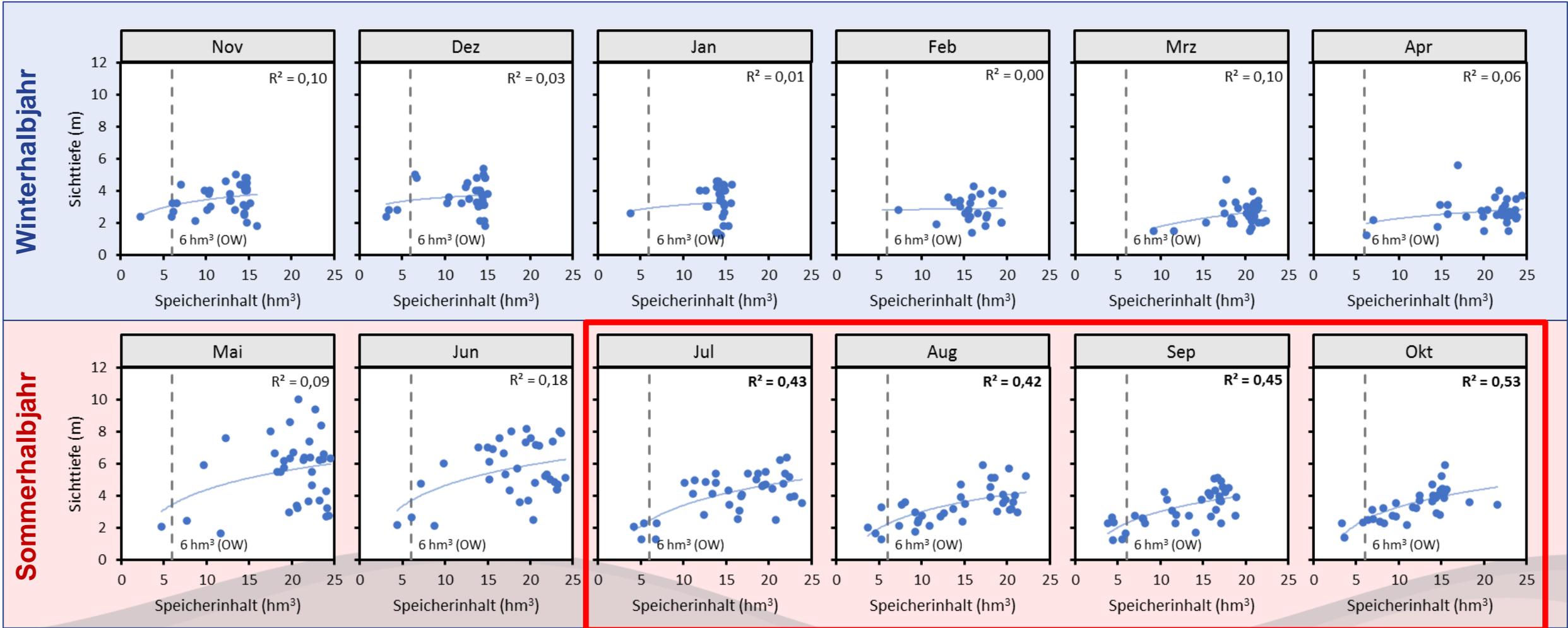
# Chlorophyll a der Wupper-Talsperre in Abhängigkeit vom Speicherinhalt



   = Starke Kopplung an Speicherinhalt ( $R^2 > 0,3$ )



# Sichttiefe der Wupper-Talsperre in Abhängigkeit vom Speicherinhalt



   = Starke Kopplung an Speicherinhalt ( $R^2 > 0,3$ )



# Klimafolgenanpassung des Wuppersystems: Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung



# Klimafolgenanpassung Wuppersystem: Hochwasserschutz & NW-Aufhöhung

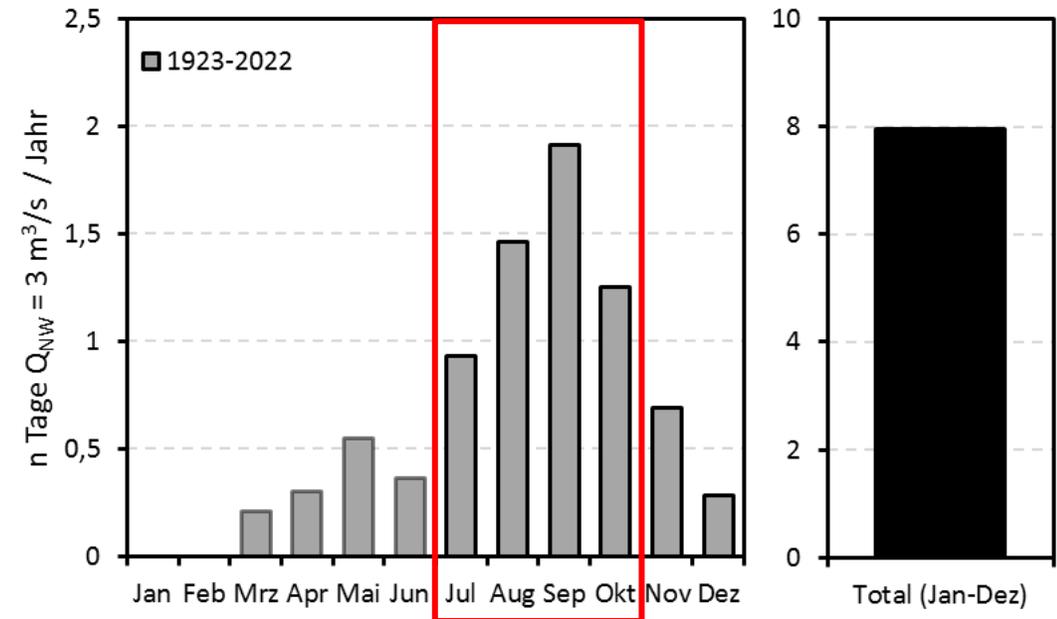
## I. Erhöhung des Hochwasserschutzes

- Retentionsräume im Sommerhalbjahr:
  - **Wupper-TS = 2,5 Mio. m<sup>3</sup>**
  - Bever-TS & Neye-TS = je 1 Mio. m<sup>3</sup>



## II. Schonung Wasserdargebot Wupper-TS

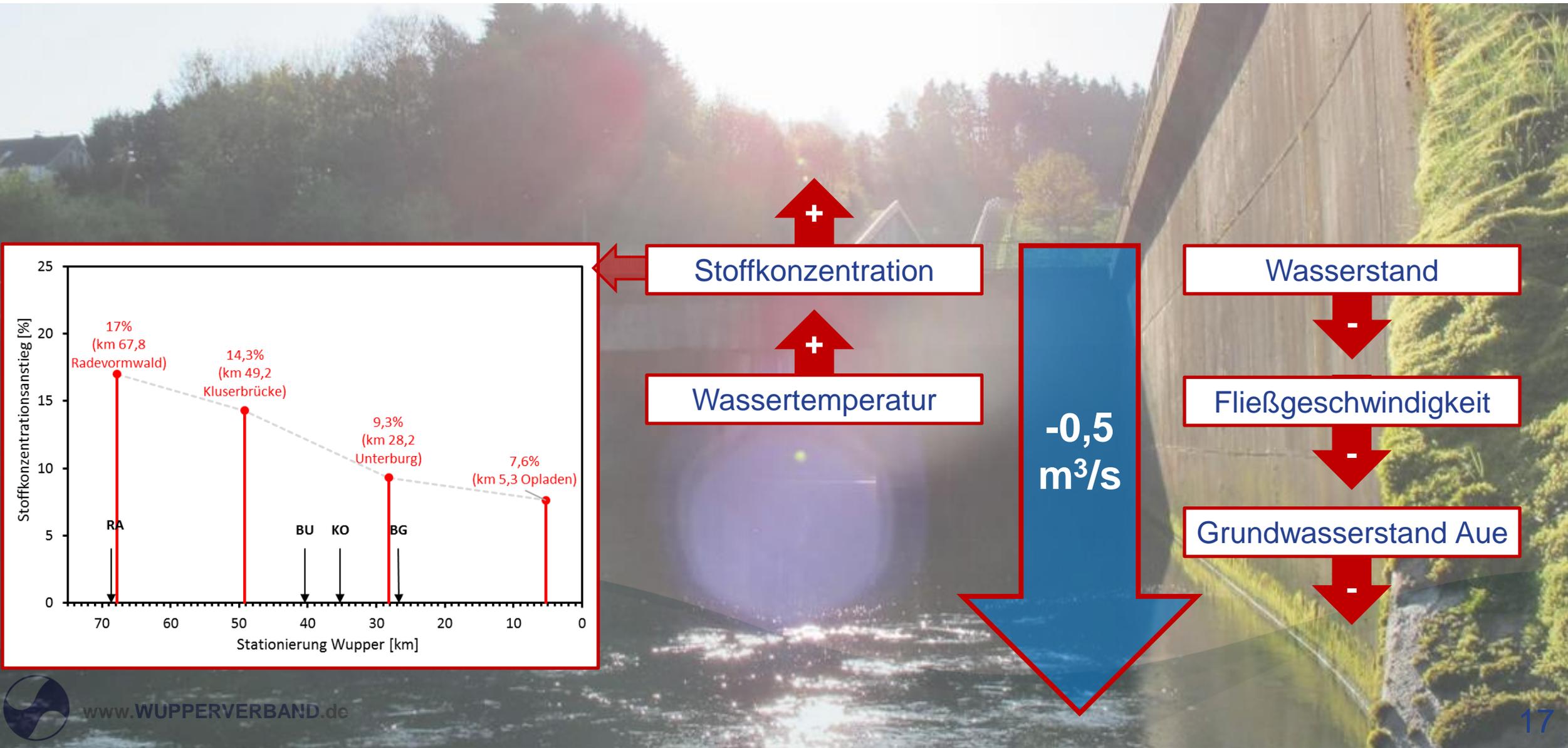
- Temporäre Reduktion Niedrigwasseraufhöhung:
  - **-0,5 m<sup>3</sup>/s; 3,5 m<sup>3</sup>/s → 3,0 m<sup>3</sup>/s (Pegel Kluserbrücke)**
- **Notwendig bei Einführung Sommerretentionsraum**
- Eintrittswahrscheinlichkeit = 8 Tage/Jahr



Retrospektive Simulation Lamellenplan (TALSIM)



# Auswirkungen reduzierter Niedrigwasseraufhöhung auf Fließgewässer





# i.) Stoffkonzentration: Allgemeine chemisch-physikalische Parameter (ACP)

## Stoffliches Monitoring 2023 (Wechsel zwischen Plan- & Ist-Zustand NWA)

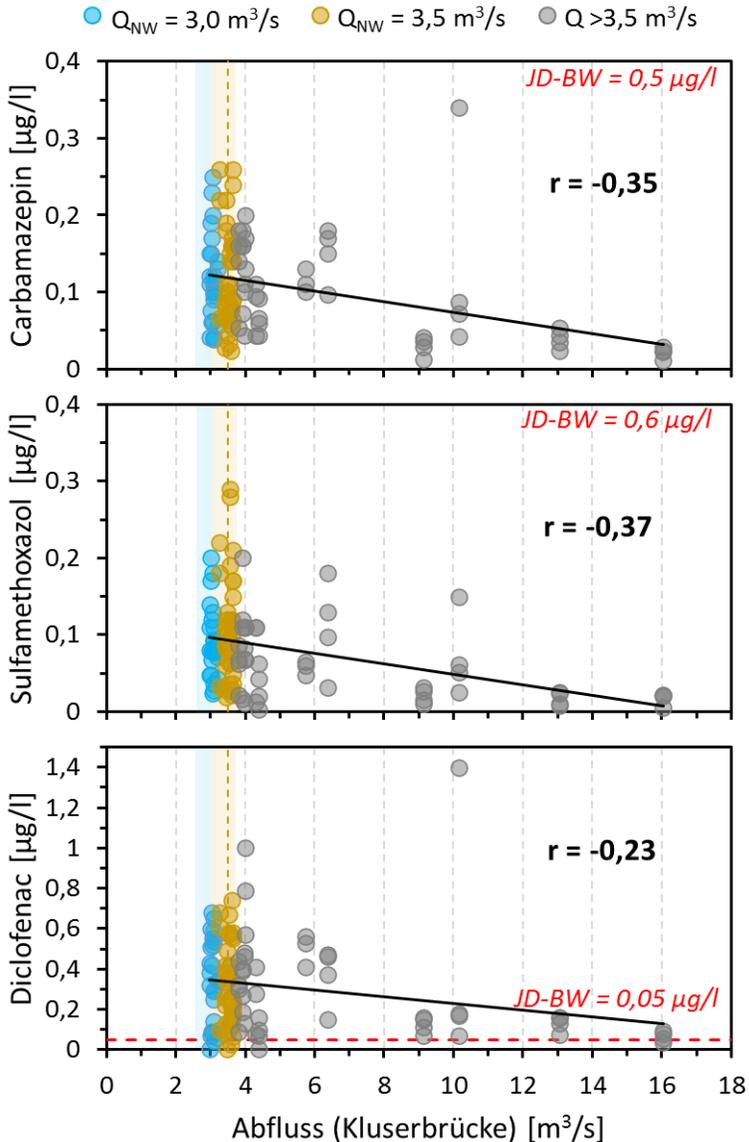
n = 4 (3,5 m<sup>3</sup>/s), n = 3 (3,0 m<sup>3</sup>/s)

Stoffname	BW	Wert	vor KA Radevormwald km 68,8		nach KA Radevormwald km 67,8		oh. Blombach km 57,5		Rutenbecker Brücke km 41,6		vor KA Kohlfurth km 35,9		nach KA Kohlfurth km 32,5		nach KA Burg km 24,8		Opladen km 5,2		
			3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	3,5 m <sup>3</sup> /s	3,0 m <sup>3</sup> /s	
pH-Wert	7-8,5 Min. - Max.	Mittel (± SD) Min. - Max.	7,41 (± 0,13) 7,22 - 7,5	7,47 (± 0,02) 7,45 - 7,48	7,39 (± 0,16) 7,18 - 7,53	7,29 (± 0,03) 7,26 - 7,31	7,59 (± 0,03) 7,56 - 7,62	7,63 (± 0,05) 7,57 - 7,66	7,6 (± 0,07) 7,54 - 7,7	7,64 (± 0,08) 7,55 - 7,69	7,54 (± 0,05) 7,5 - 7,61	7,68 (± 0,05) 7,62 - 7,72	7,53 (± 0,05) 7,49 - 7,6	7,58 (± 0,03) 7,53 - 7,63	7,6 (± 0,05) 7,55 - 7,65				
O <sub>2</sub> [mg/l]	7 mg/l Minimum	Mittel (± SD) Min. - Max.	9 (± 0,3) 8,6 - 9,3	8,8 (± 0,4) 8,4 - 9,3	8,8 (± 0,3) 8,4 - 9,1	8,6 (± 0,5) 8,3 - 9,1	9,8 (± 0,2) 9,5 - 10	9,5 (± 0,3) 9,3 - 9,9	9,4 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,1 (± 0,3) 8,9 - 9,5	9,4 (± 0,4) 9 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9	9,5 (± 0,3) 9,1 - 9,9
NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	0,1 mg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	0,011 (± 0,008) 0,008 - 0,023	0,008 (± 0) 0,008 - 0,008	0,008 (± 0) 0,008 - 0,008	0,019 (± 0,012) 0,008 - 0,031	0,008 (± 0) 0,008 - 0,008	0,008 (± 0) 0,008 - 0,008	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,011 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,011 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,011 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,011 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,011 (± 0,005) 0,008 - 0,015	0,01 (± 0,005) 0,008 - 0,015
NH <sub>3</sub> -N [µg/l]	1 µg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	0,09 (± 0,08) 0,04 - 0,21	0,07 (± 0,01) 0,06 - 0,07	0,05 (± 0,01) 0,03 - 0,06	0,12 (± 0,09) 0,04 - 0,21	0,08 (± 0,01) 0,06 - 0,1	0,09 (± 0,01) 0,06 - 0,1											
NO <sub>2</sub> -N [µg/l]	30 µg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	16 (± 7) 6 - 20	10 (± 1) 9 - 10	15 (± 6) 9 - 20	20 (± 1) 19 - 21													
Gesamt-Phosphor [mg/l]	0,1 mg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	0,018 (± 0,005) 0,015 - 0,021	0,015 (± 0,005) 0,012 - 0,018															
o-PO <sub>4</sub> -P [mg/l]	0,07 mg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	0,01 (± 0,001) 0,008 - 0,012																
Chlorid [mg/l]	10 mg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	2,9 (± 0,1) 2,6 - 3,2																
Eisen [mg/l]	0,7 mg/l JD (OW)	Mittel (± SD) Min. - Max.	0,03 (± 0,03) 0,01 - 0,06	0,03 (± 0,03) 0,01 - 0,06	0,03 (± 0,02) 0,01 - 0,06	0,03 (± 0,03) 0,01 - 0,07	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,03	0,02 (± 0,02) 0 - 0,04	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,03	0,01 (± 0,01) 0 - 0,03	0,03 (± 0,01) 0,01 - 0,04	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,03	0,03 (± 0,02) 0,01 - 0,05	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,04	0,03 (± 0,01) 0,01 - 0,05	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,03	0,03 (± 0,02) 0,01 - 0,05	0,02 (± 0,01) 0,01 - 0,03	0,03 (± 0,02) 0,01 - 0,05

Kontinuierliche Werte zu Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>-N) uh. der Kläranlagen:  
→ Konzentrationen bei Niedrigwasserabfluss generell sehr gering und keine deutliche Erhöhung bei NW-Reduktion

→ Keine reduktionsbedingte Grenzwertüberschreitung = ACP halten Beurteilungswerte (OGewV Anlage 7) ein

# i.) Stoffkonzentration: Konzentrationsänderung Spurenstoffe



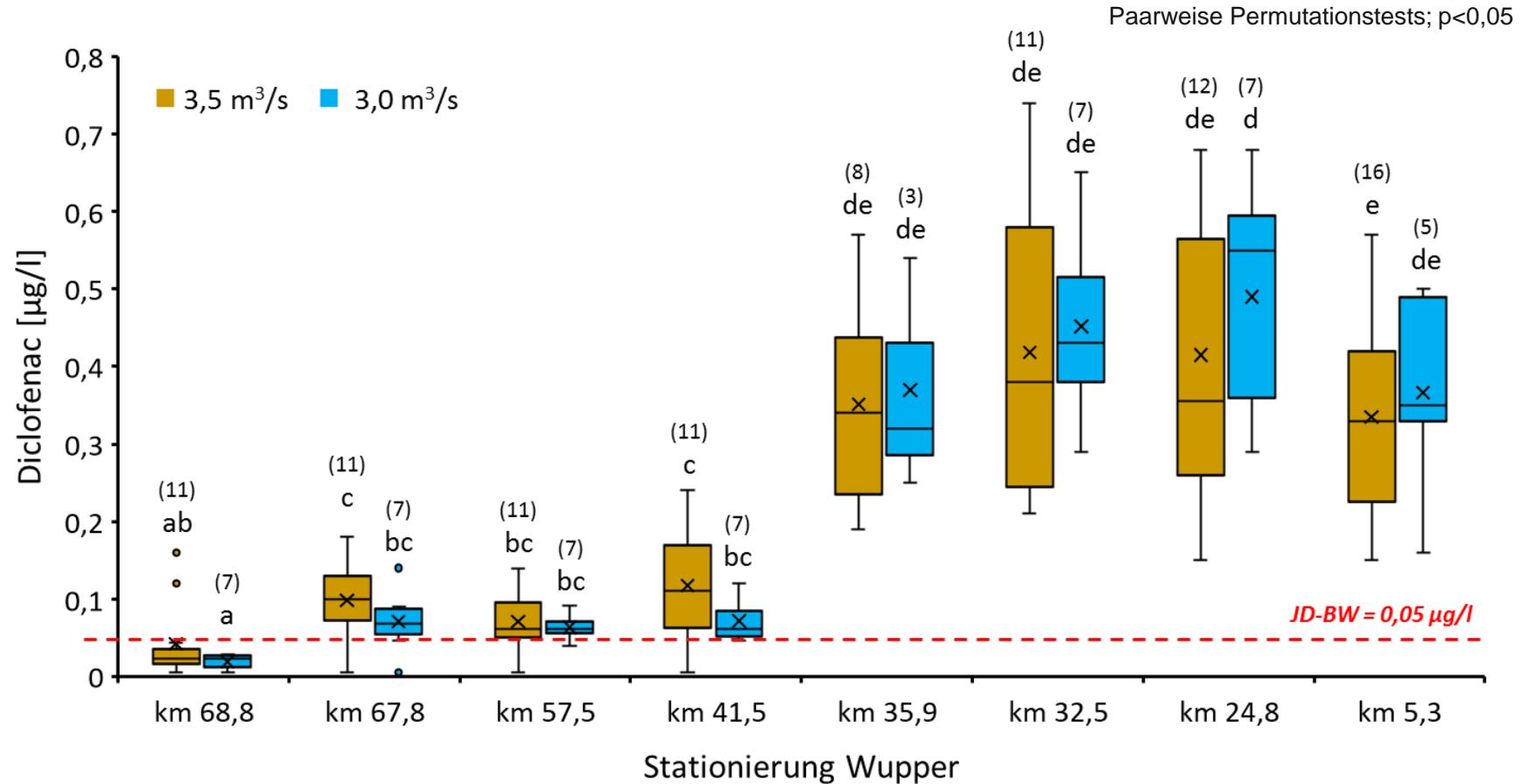
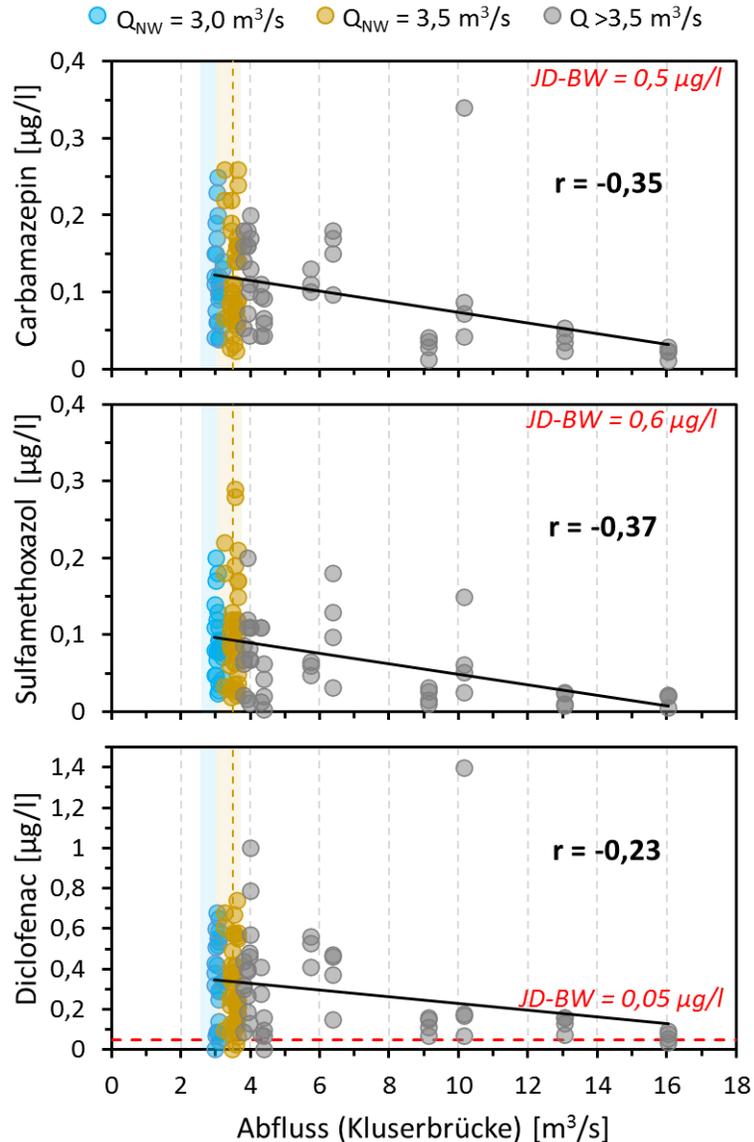
**Negativ mit Abfluss korrelierte Indikatorsubstanzen**  
(Messstellen uh. Kläranlagen)

→ Carbamazepin = **Einhaltung Orientierungswert**

→ Sulfomethoxazol = **Einhaltung Orientierungswert**

→ Diclofenac = **Überschreitung Orientierungswert**

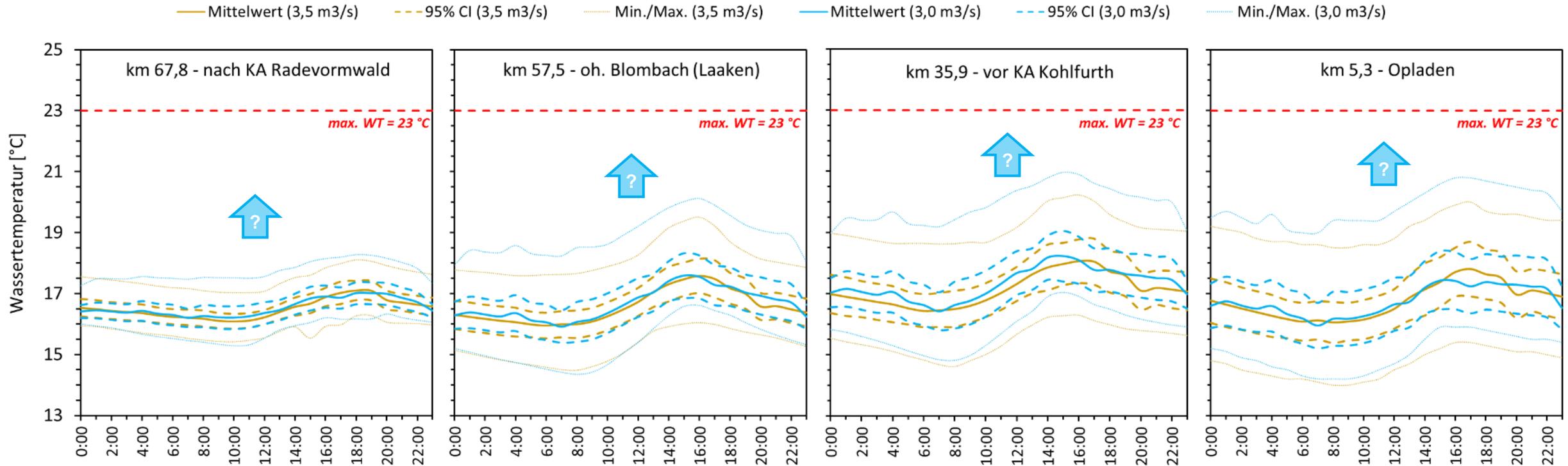
# i.) Stoffkonzentration: Konzentrationsänderung Spurenstoffe



→ Diclofenac = Überschreitung Orientierungswert

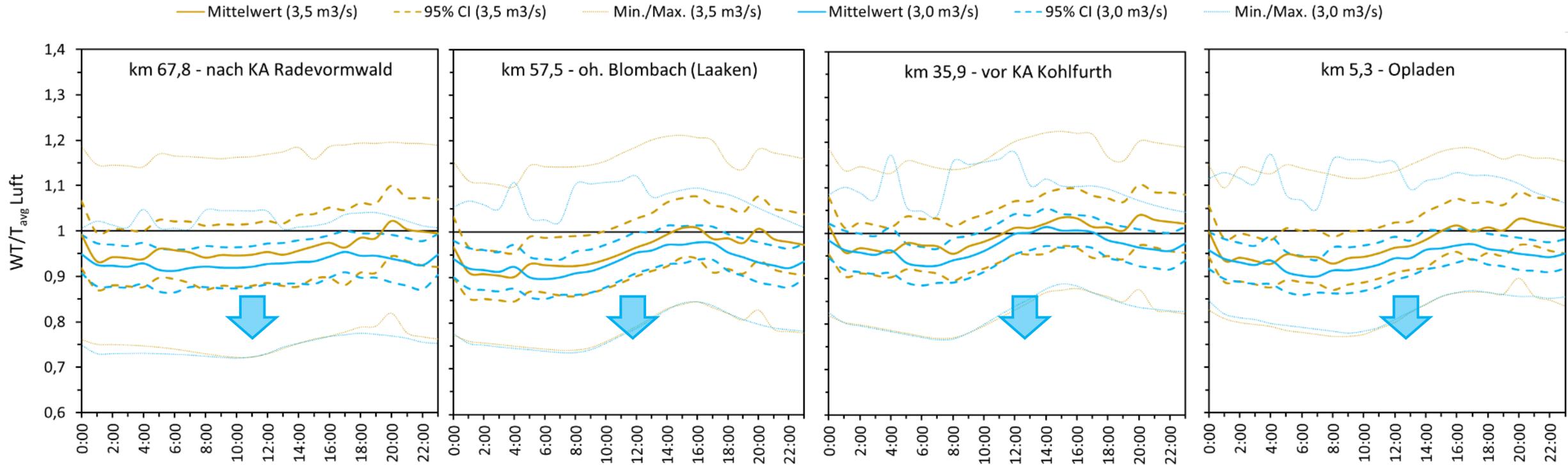
→ Kein statistisch signifikanter Unterschied in Diclofenac zwischen Niedrigwasseraufhöhung  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  (Ist) und  $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$  (Plan)

## ii.) Wassertemperatur: Tagesdynamik (kontinuierlich)



- Keine Überschreitung **max. WT = 23 °C** (OGewV) bei reduzierter Niedrigwasseraufhöhung
- Temperaturunterschiede Ist-/Plan-Zustand sehr gering – gemessene max. Werte bei 3,0 m<sup>3</sup>/s höher
- **Aber:** Keine Berücksichtigung von Schwankungen in Hintergrundbedingungen → Korrektur um Lufttemperatur

## ii.) Wassertemperatur: Tagesdynamik (kontinuierlich)

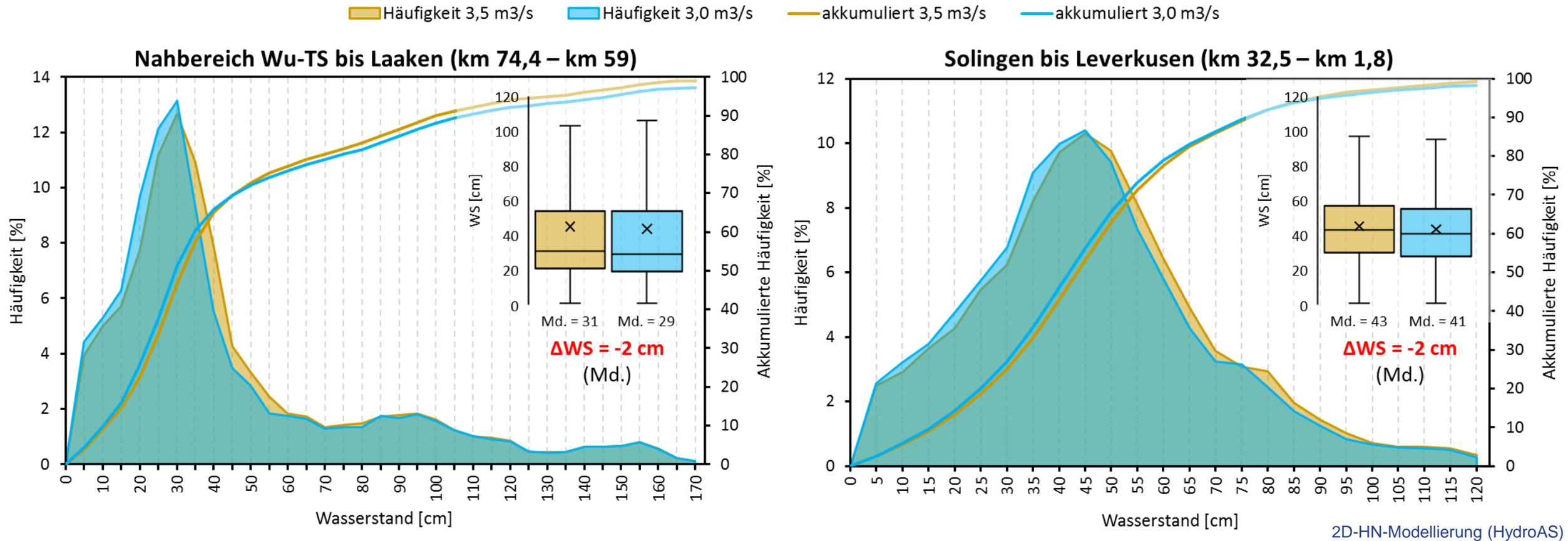


**Korrektur um Lufttemperatur zeigt umgekehrten Trend:**

→ Bei 3,5 m<sup>3</sup>/s höhere Wassertemperaturen relativ zur tagesmittleren Lufttemperatur

→ Auswirkung auf Temperatur bei NW-Reduktion von 3,5 m<sup>3</sup>/s auf 3,0 m<sup>3</sup>/s gering

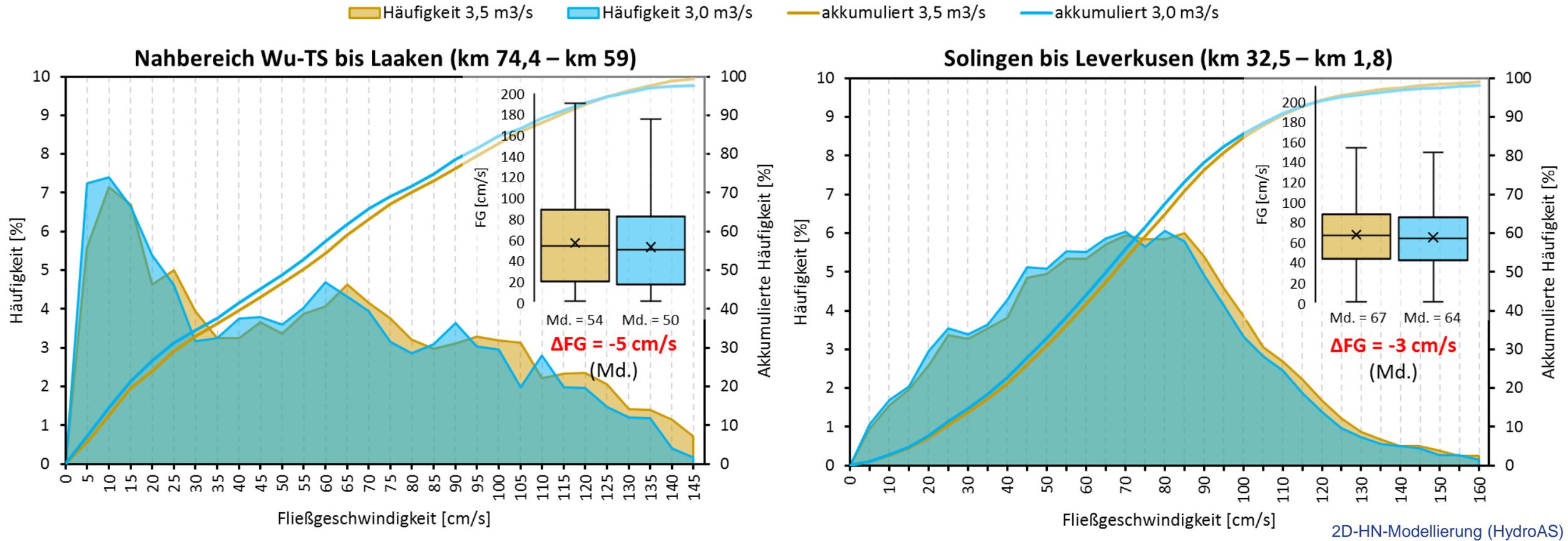
### iii.) Wasserstand: Modellergebnisse Wasserstandsänderung



→ Nur geringfügige Verschiebung in Häufigkeitsverteilung der Wassertiefen = **Mosaik bleibt erhalten!**



# iv.) Fließgeschwindigkeit: Modellergebnisse Fließgeschwindigkeitsänderung



→ Nur geringfügige Verschiebung in Häufigkeitsverteilung der Fließgeschwindigkeiten = **Mosaik bleibt erhalten!**

# Zusammenfassung & Schlussfolgerung

- Gewässer sind Klimafolgen ausgesetzt (Erwärmung, Schichtungsdauer, ...)
- Wassermenge und Gewässergüte sind über die Sommermonate/Stagnation eng gekoppelt
  - Dürrejahre bergen Risiko für Zustandsverschlechterung von Talsperre & Fließgewässer
- Großes Potential zur Erhöhung der Klimaresilienz durch Talsperren des Wuppersystems
  - Klimaangepasster Ausgleich **Hochwasserschutz & Niedrigwasseraufhöhung** notwendig:
    - Sommerretentionsräume **erfordern in Dürrejahren zwingend** Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung, sonst erhöhtes Risiko für **Totalausfall** und **Zustandsverschlechterung** (Talsperre & Fließgewässer)
- Maßvolle Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung zeigt nur unerhebliche Veränderungen in den abiotischen Bedingungen
  - Auswirkungen auf die Fließgewässerbiozönose werden als gering eingestuft

→ Die maßvolle, situative Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung ist ein sinnvoller Schritt zur Erhöhung der Klimaresilienz des Wuppersystems



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Patrick Heidbüchel  
Referent Limnologie  
T1 - Bereich Wasserwirtschaftliche Grundlagen - Dienste und Zukunftsthemen

Wupperverband  
Am Walde 2  
42929 Wermelskirchen

Tel: +49 202 583323  
E-Mail: [phl@wupperverband.de](mailto:phl@wupperverband.de)



**WUPPERVERBAND**

für Wasser, Mensch und Umwelt