

Fr 17.08



15°|29° C

Sa 18.08



16°|32° C

So 19.08



17°|36° C

Mo 20.08



19°|35° C

Di 21.08



20°|33° C

Uferfiltration im Kontext der Klimaänderung

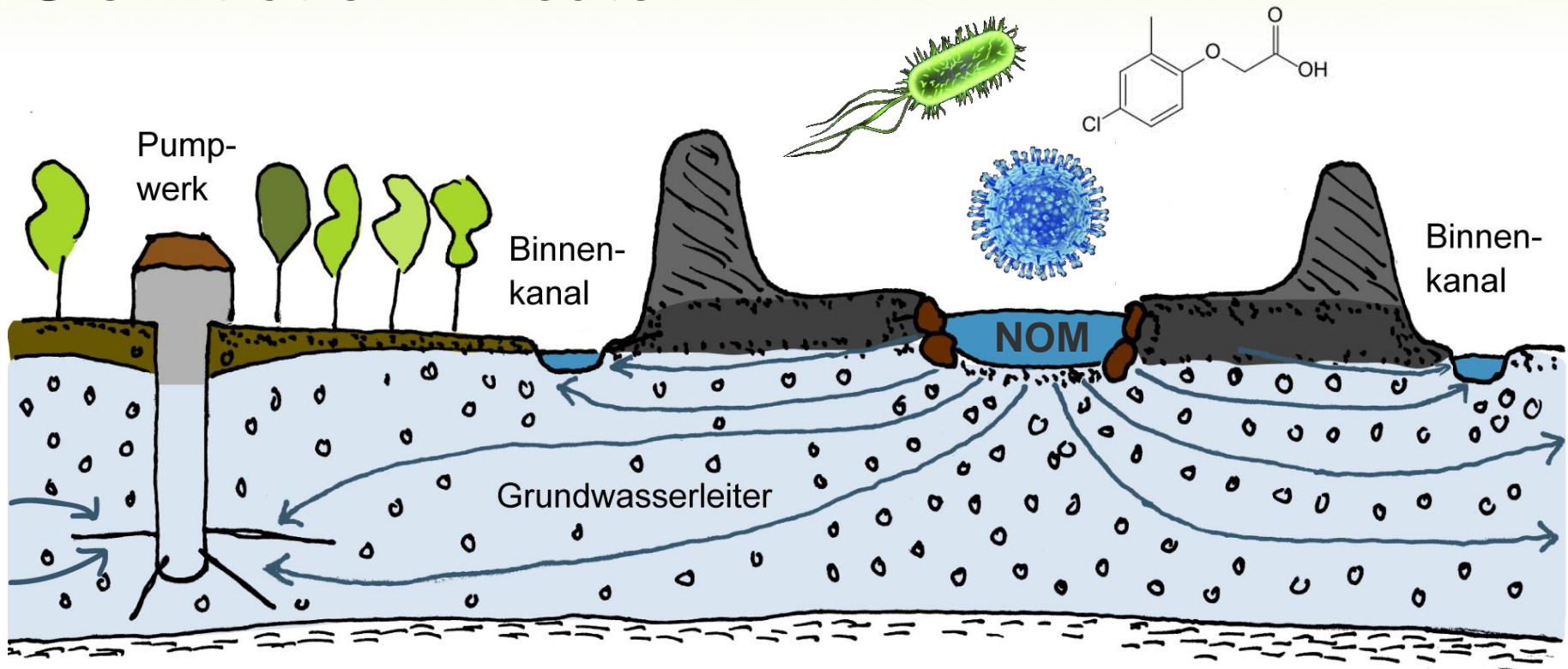
Samuel Diem

AF-Consult Switzerland AG (AF-Colenco)

Matthias Rudolf von Rohr, Janet Hering, Hans-Peter Kohler,
Olaf Cirpka, Mario Schirmer, Urs von Gunten

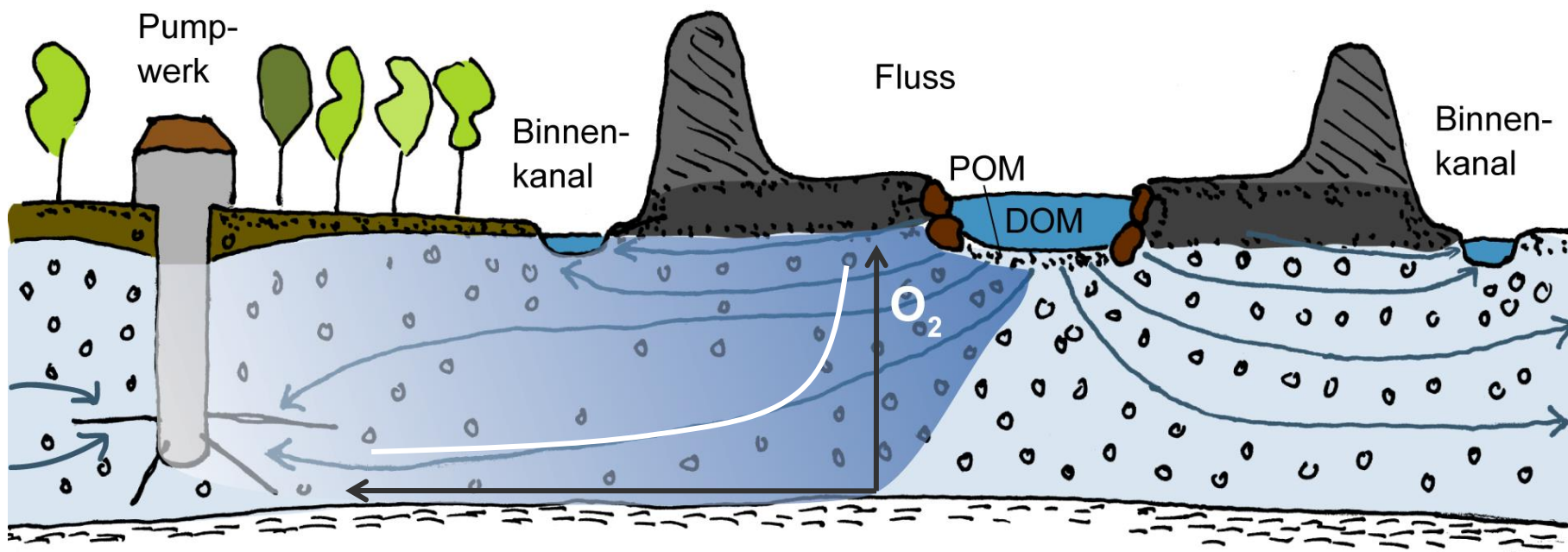
Eawag Infotag, 9.9.2014

Uferfiltration – Heute



- Wichtige Trinkwasserressource (30-35%) von sehr guter Qualität
- Reinigungsleistung
 - Filtration, Sorption, mikrobieller Abbau
 - **Abbau von NOM**

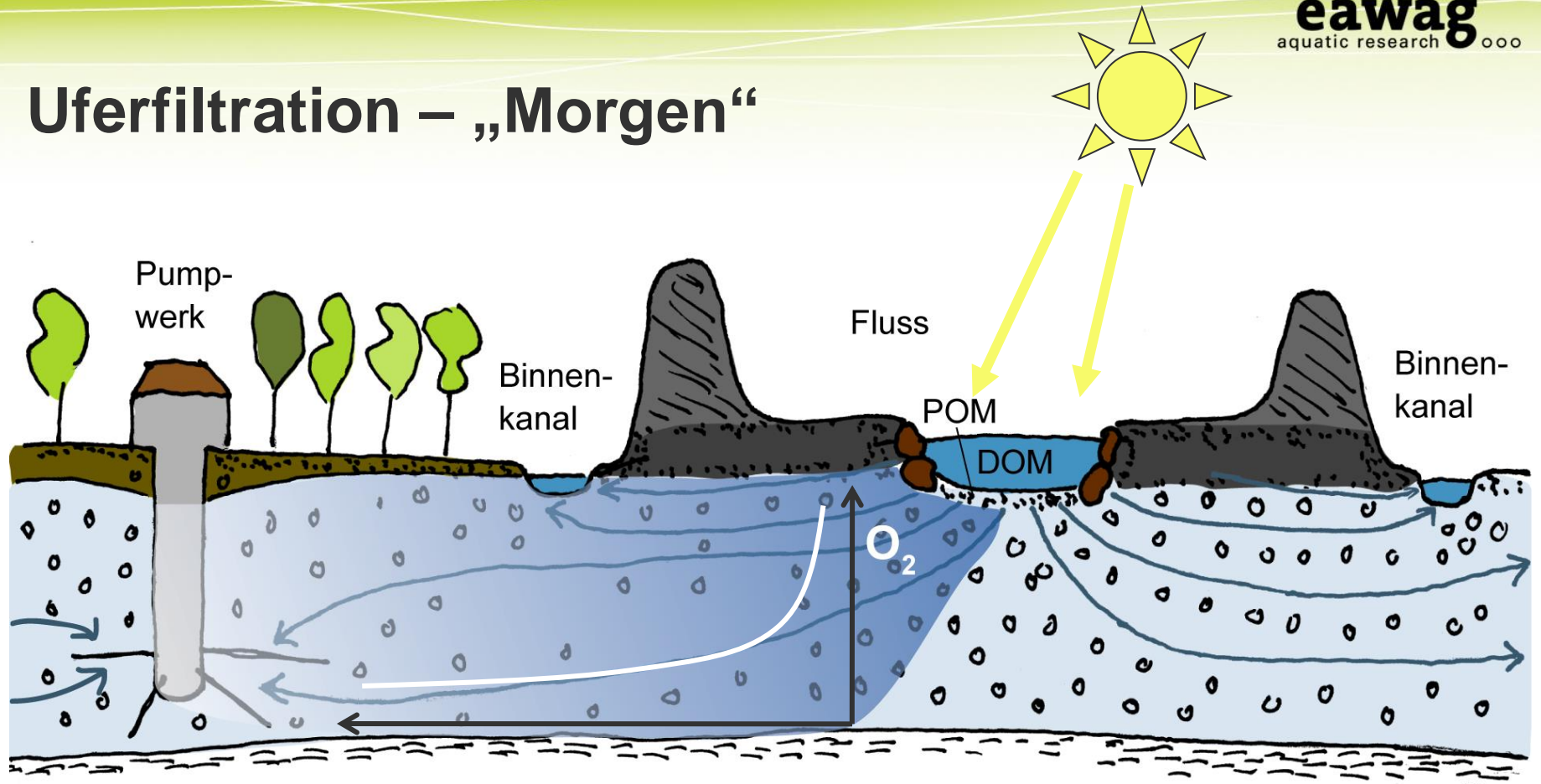
Uferfiltration – Heute



- Natürliches organisches Material (NOM)
 - Gelöstes (*dissolved*) und partikuläres organisches Material (DOM+POM)
- Mikrobieller Abbau von NOM (DOM+POM)
 - $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Heute: oxische Verhältnisse

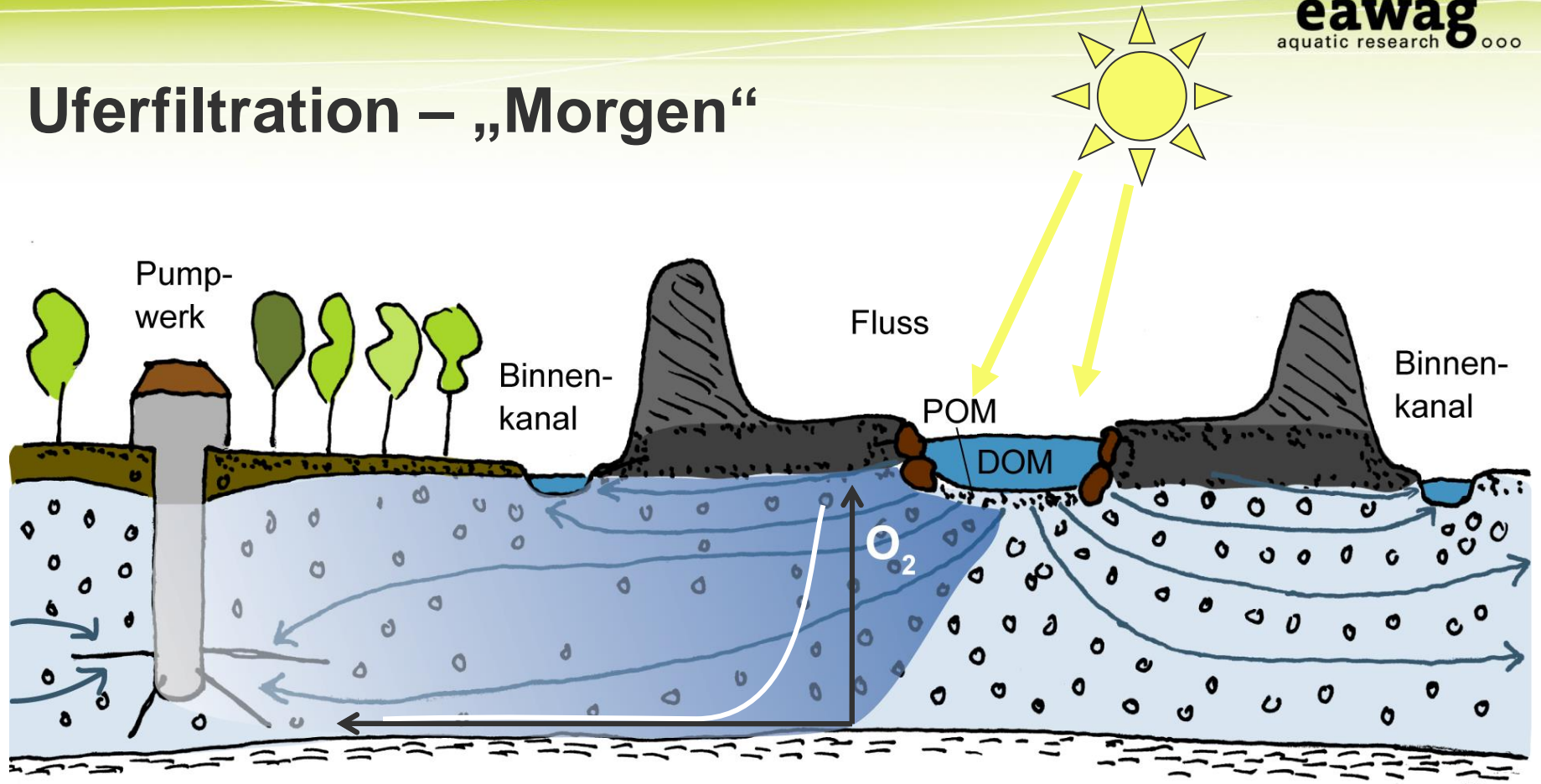
DOC: Dissolved Organic Carbon
POC: Particulate Organic Carbon

Uferfiltration – „Morgen“



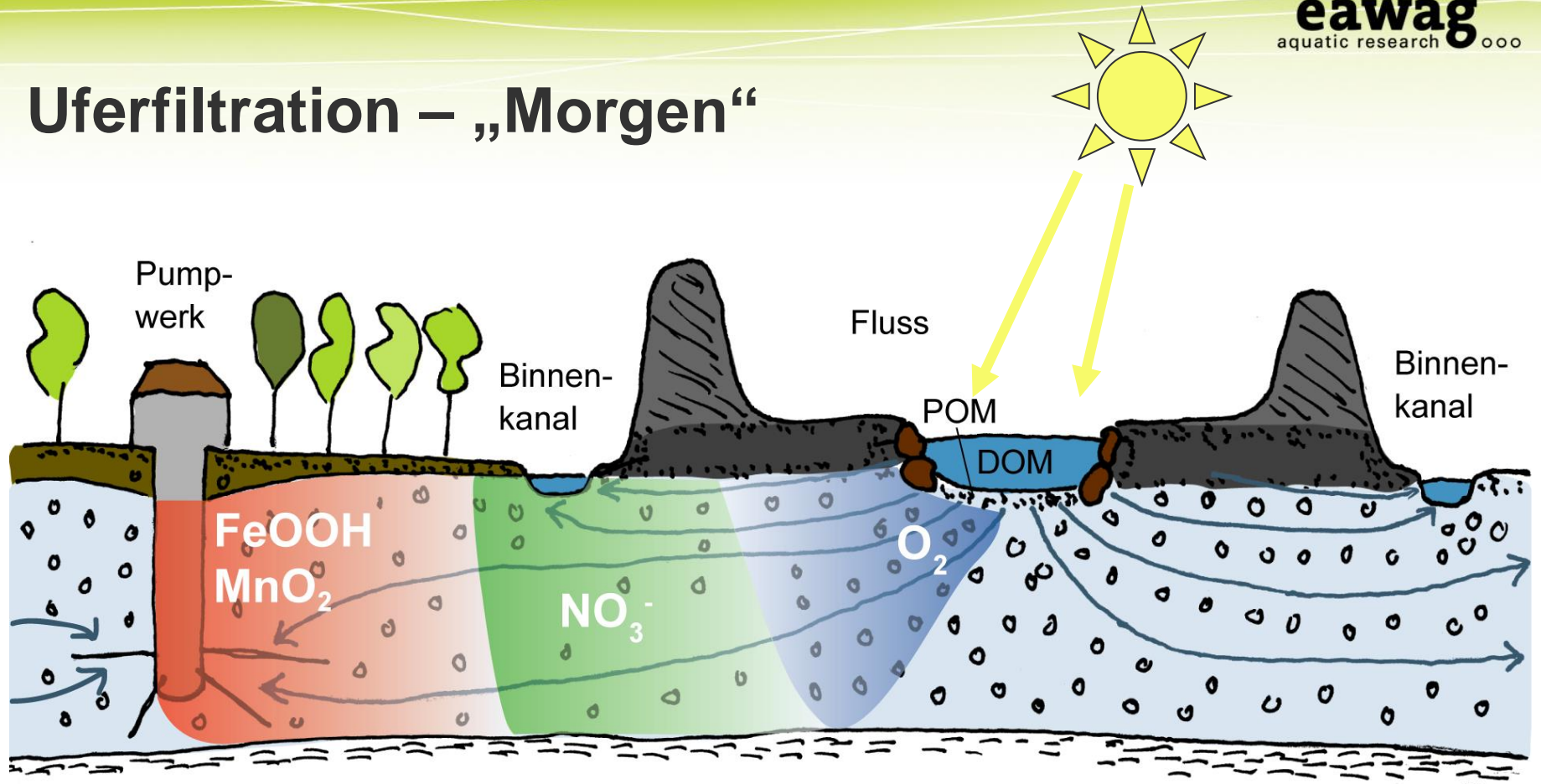
- Sommermonate im Jahr 2085
 - T: +4-5 K
 - Niederschlag: -25%
 - Höhere Frequenz und Intensität von Hitzewellen

Uferfiltration – „Morgen“



- Sommermonate im Jahr 2085
 - Niedriger Abfluss: kleinere Verdünnung, höhere DOC Konzentration
 - Höhere Temperatur: höhere mikrobielle Aktivität
- Komplette Sauerstoffzehrung: anoxische Verhältnisse

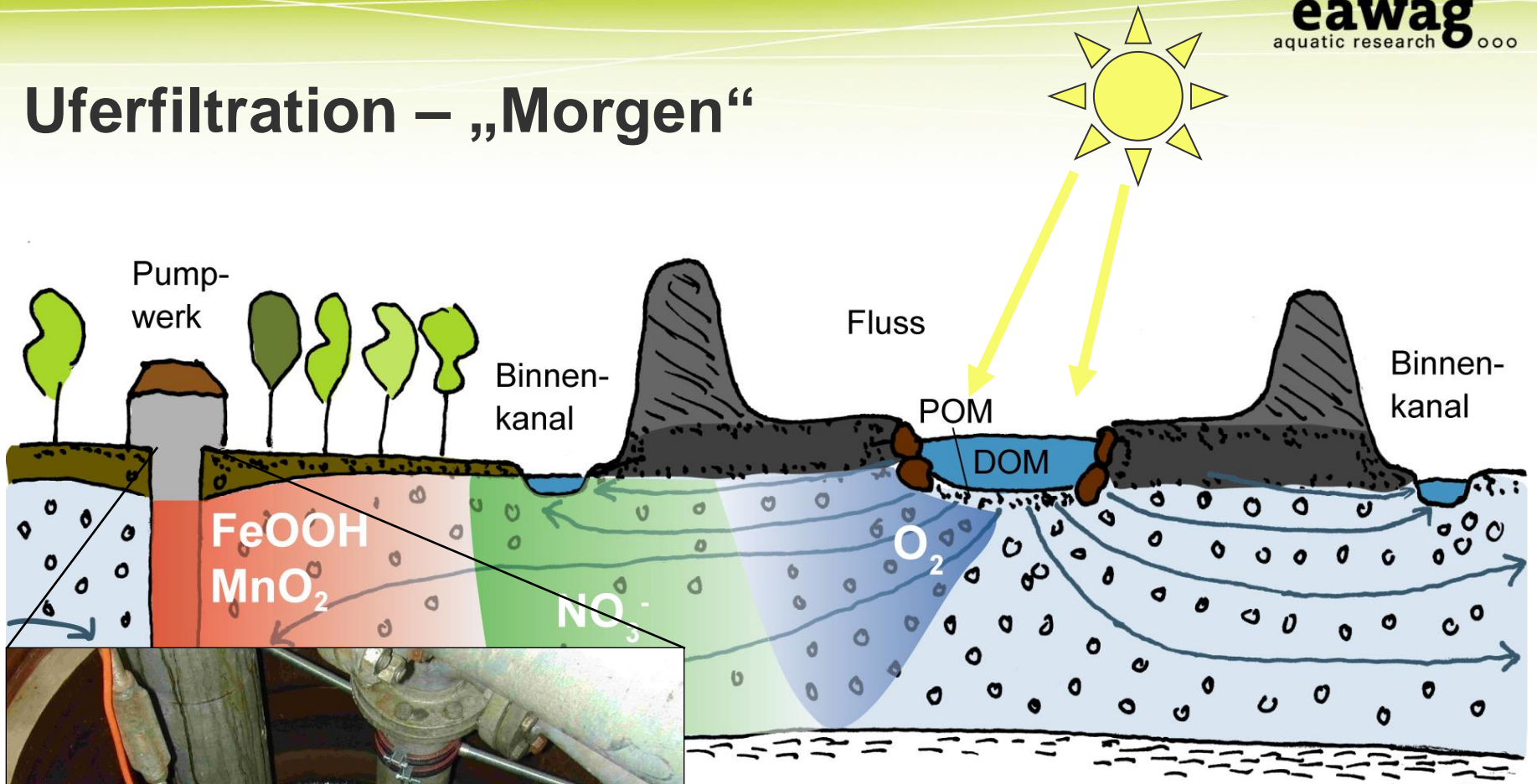
Uferfiltration – „Morgen“



○ Anoxische Verhältnisse

- Bildung von unerwünschten Spezies (Nitrit, Ammonium, Mangan(II), Eisen(II))
- Humantoxikologie, Ästhetik, Desinfektion, Verockerung
- Zusätzliche Aufbereitung erforderlich

Uferfiltration – „Morgen“



○ Hitzesommer 2003

Ziel

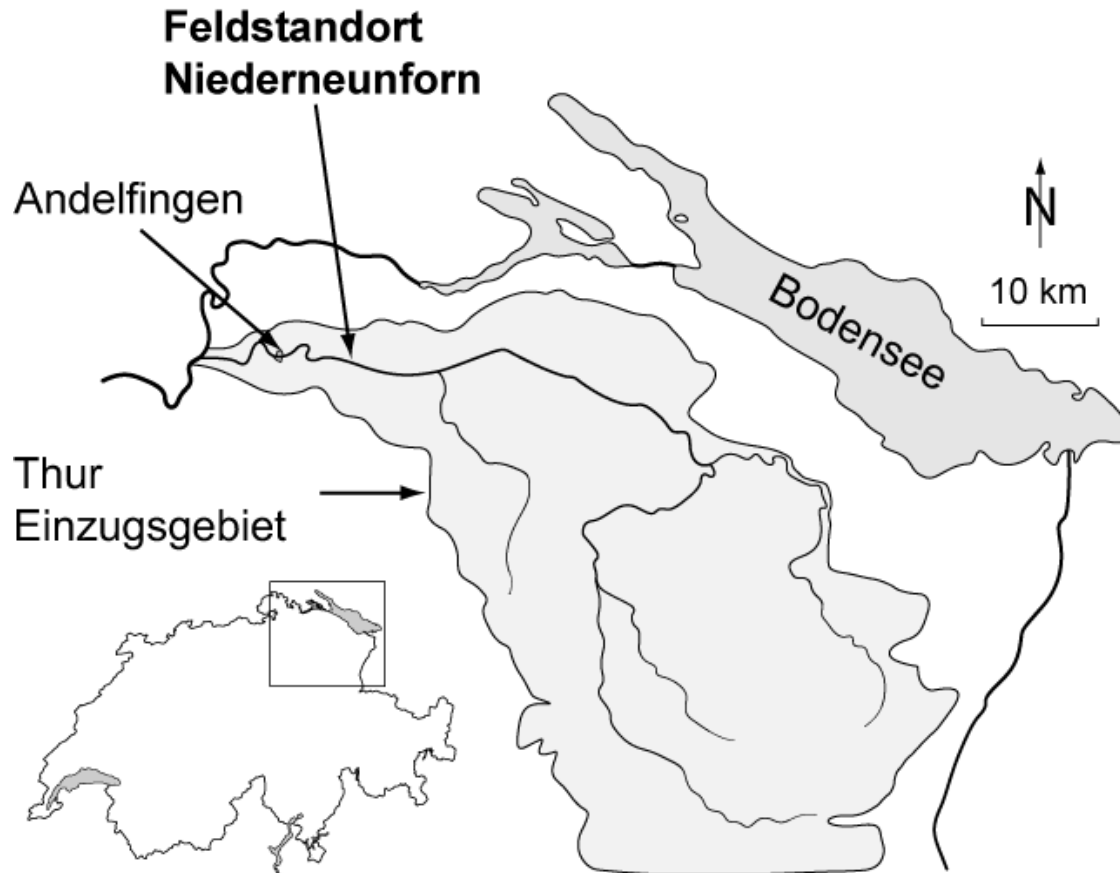
- 1. Besseres Prozessverständnis:**
Abhängigkeit des NOM-Abbaus und der Sauerstoffzehrung von Klimavariablen T und Q
- 2. Quantifizierung im Modell:**
Entwicklung eines reaktiven Transportmodells, welches die T- und Q-Abhängigkeit dieser Prozesse quantifiziert

Ziel

- 1. Besseres Prozessverständnis:**
Abhängigkeit des NOM-Abbaus und der Sauerstoffzehrung von Klimavariablen T und Q
- 2. Quantifizierung im Modell:**
Entwicklung eines reaktiven Transportmodells, welches die T- und Q-Abhängigkeit dieser Prozesse quantifiziert

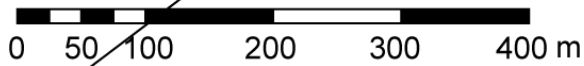
Probennahmen

Feldstandort Niederneunforn



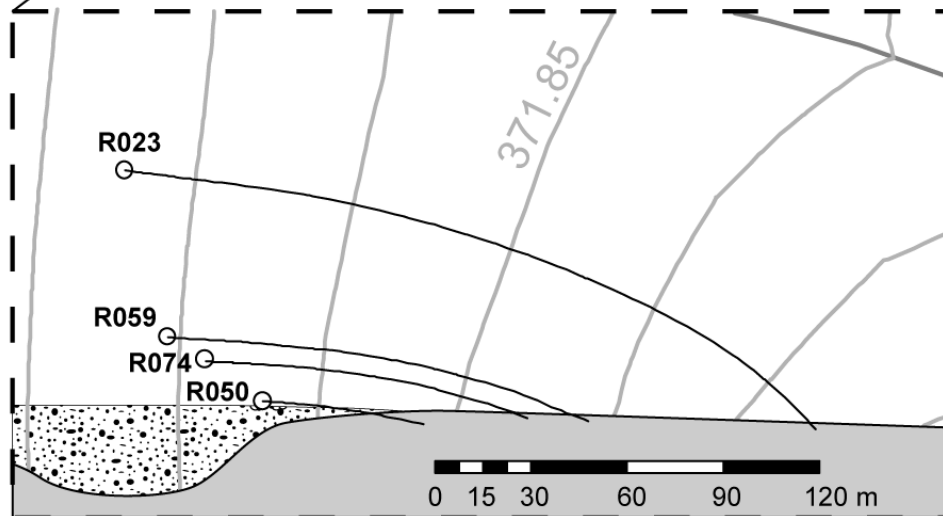
Probennahmen

Waldtransekte



○ Piezometer
☆ Pumpwerk

— Modellrand
— Binnenkanal
== Damm
● Kiesbank

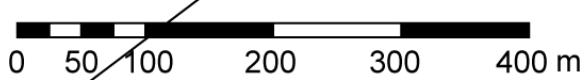


- Probennahmekampagnen
 - Sommer/Winter

Fr 17.08	Sa 18.08	So 19.08	Mo 20.08	Di 21.08
☀	☀	☀	☀	☀
15° 29° C	16° 32° C	17° 36° C	19° 35° C	20° 33° C

Probennahmen

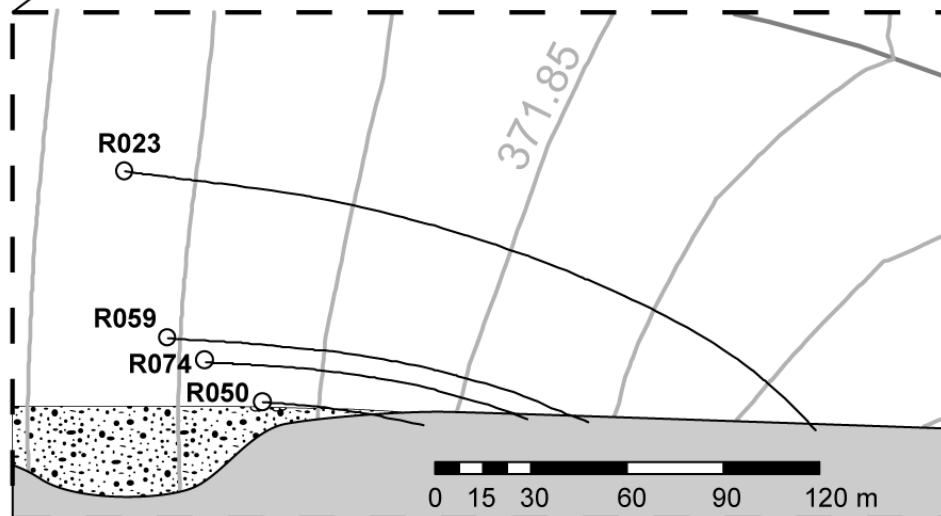
Waldtransekte



○ Piezometer
☆ Pumpwerk

— Modellrand
— Binnenkanal

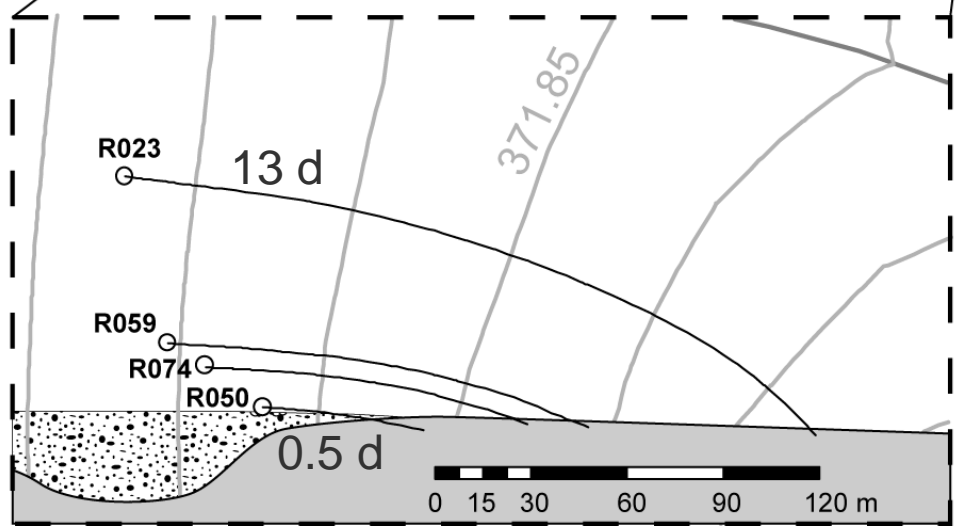
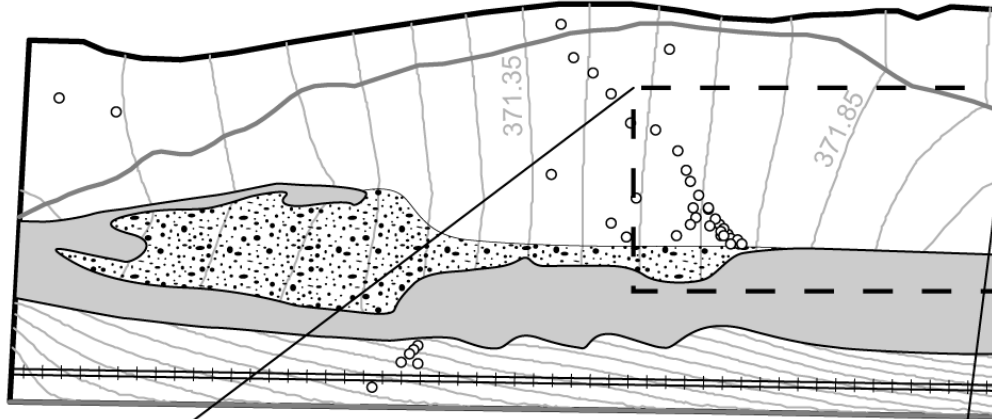
≡≡≡ Damm
●●● Kiesbank



- Probennahmekampagnen
 - Sommer/Winter
- Periodische Probennahmen
 - Breites Spektrum an T- und Q-Bedingungen

Probennahmen

Waldtransekte

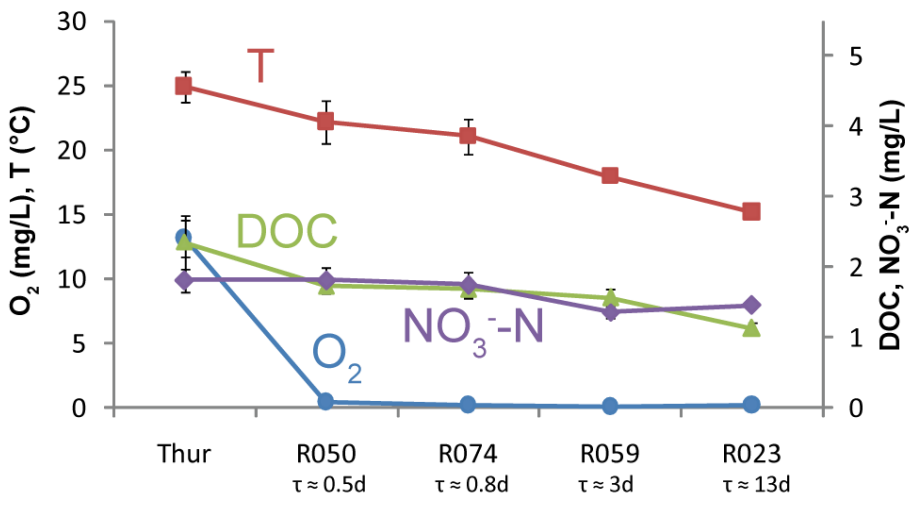


- Fluss- und Grundwasserproben
 - O_2 , DOC, NO_3^-
 - Temperatur (T), Abfluss (Q)
- Fliesszeiten
 - R050: 0.5 d
 - R023: 13 d

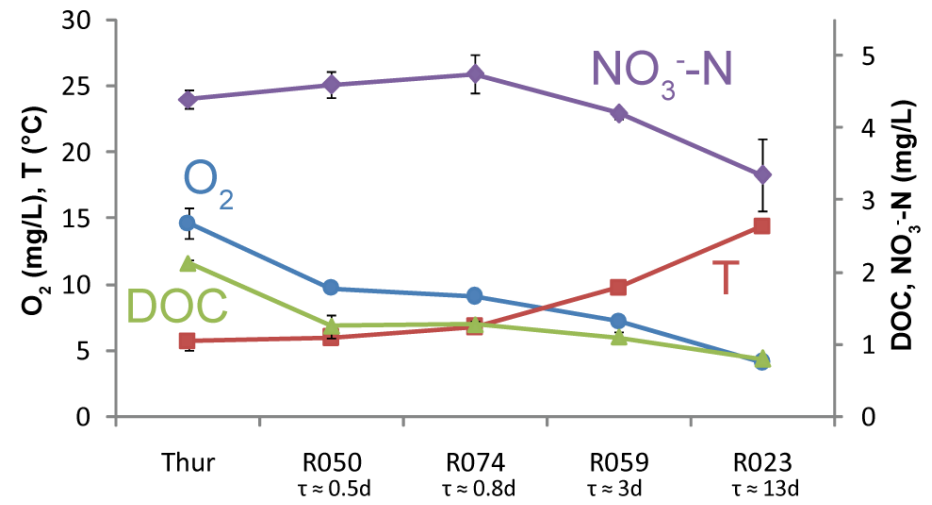
Temperatureffekt

Konzentrationsprofile

Sommer, 20 m³/s



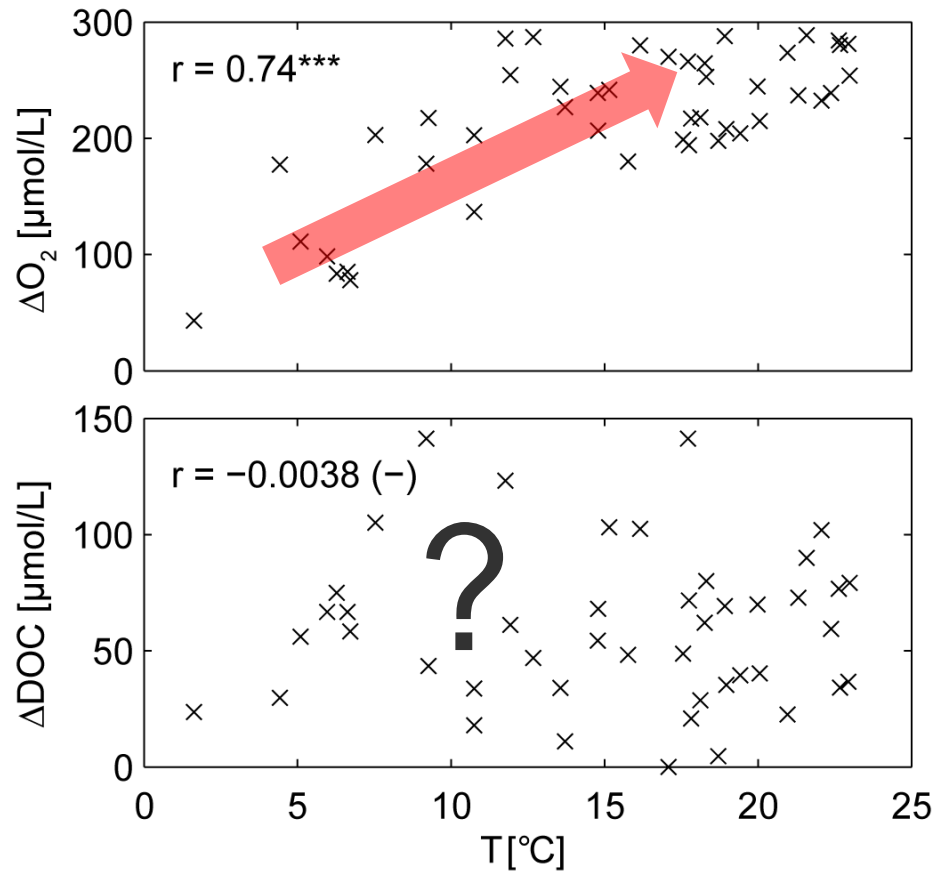
Winter, 6 m³/s



- Höchste mikrobielle Aktivität zwischen Fluss und R050
- Nitrat als Redoxpuffer
- O₂-Zehrung deutlich höher im Sommer als im Winter
- DOC-Zehrung ± identisch

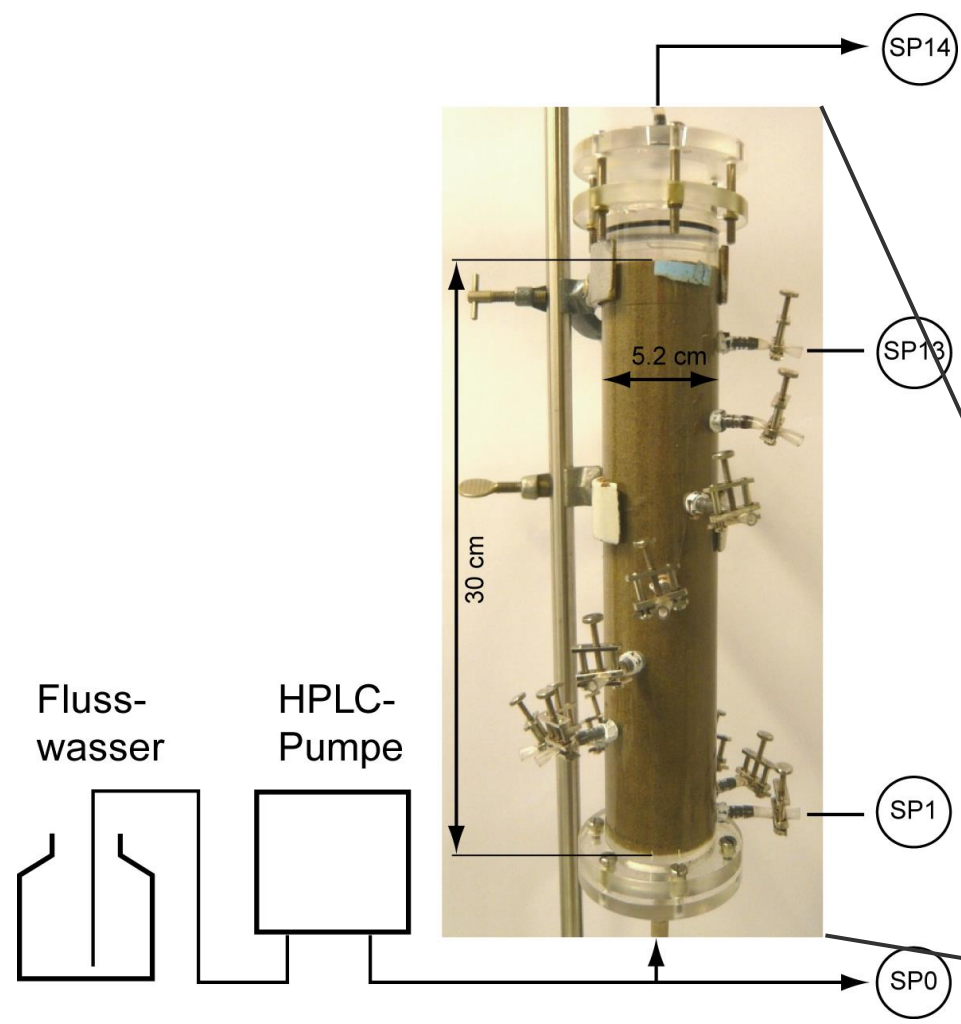
Temperatureffekt

Periodische Probennahmen

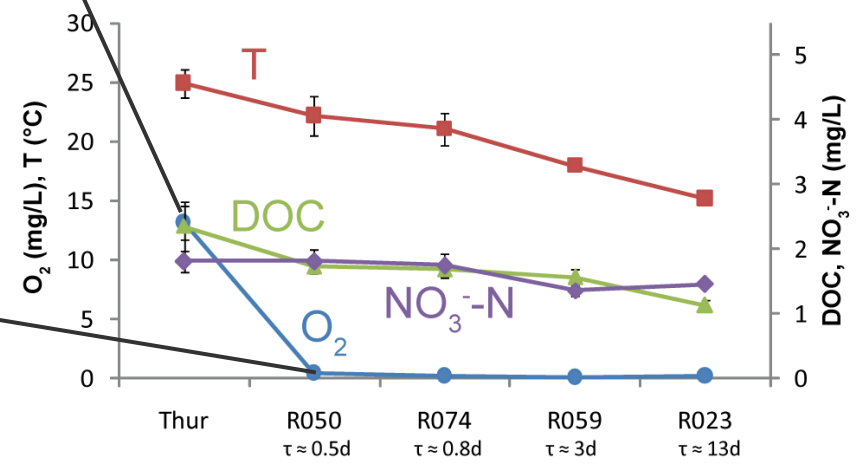


Temperatureffekt

Säulenversuche

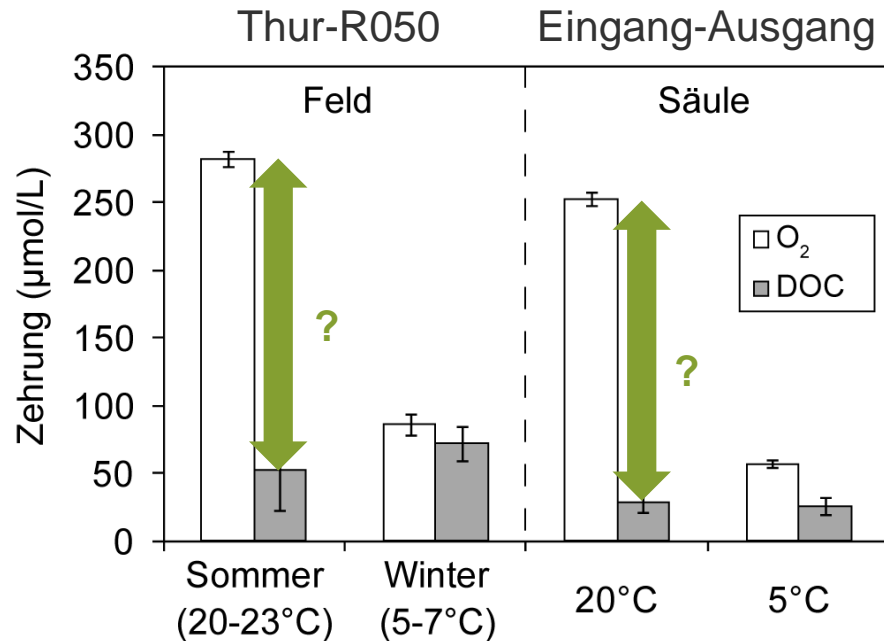


- 20°C (Sommer), 5°C (Winter)
- Sand vom Flussbett der Thur
- Mit Flusswasser betrieben
- Aufenthaltszeit in der Säule
 - 0.5d ("Thur – R050")
- 13 Probennahmestellen entlang Säule



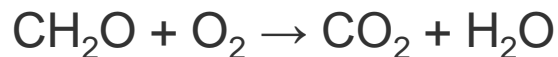
Temperatureffekt

ΔO_2 vs. ΔDOC



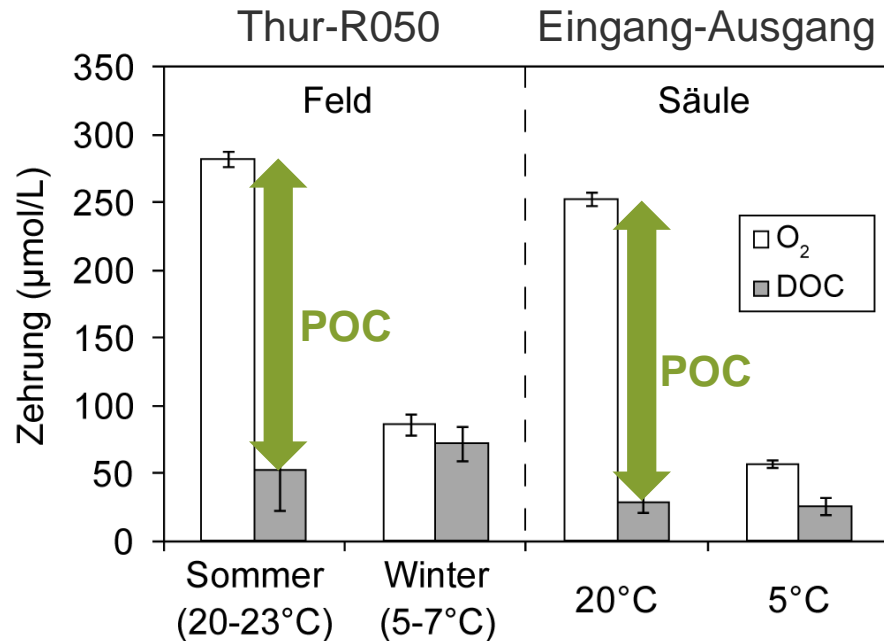
- $\Delta O_2, \text{ Sommer} > \Delta O_2, \text{ Winter}$
- $\Delta DOC_{\text{Sommer}} \approx \Delta DOC_{\text{Winter}}$
- ΔDOC erklärt nur 10-20% der ΔO_2 im Sommer
 - Andere Kohlenstoffquelle

Mikrobieller Abbau von organischem Material:



Temperatureffekt

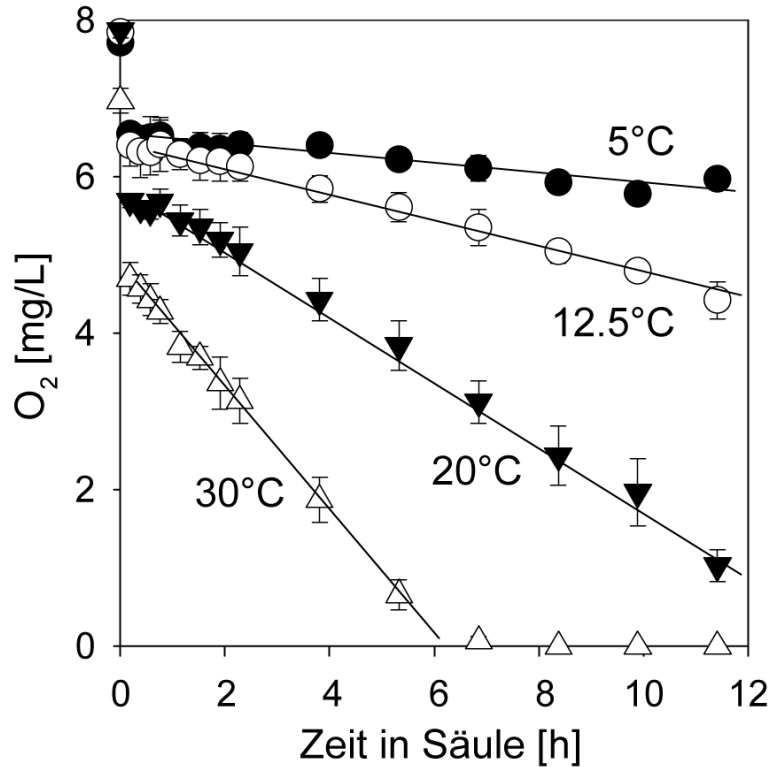
ΔO_2 vs. ΔDOC



- $\Delta O_2, \text{Sommer} > \Delta O_2, \text{Winter}$
- $\Delta DOC_{\text{Sommer}} \approx \Delta DOC_{\text{Winter}}$
- ΔDOC erklärt nur 10-20% der ΔO_2 im Sommer
 - Andere Kohlenstoffquelle
- POM in Flussbetsedimenten
 - POM ist wichtigste Kohlenstoffquelle im Sommer

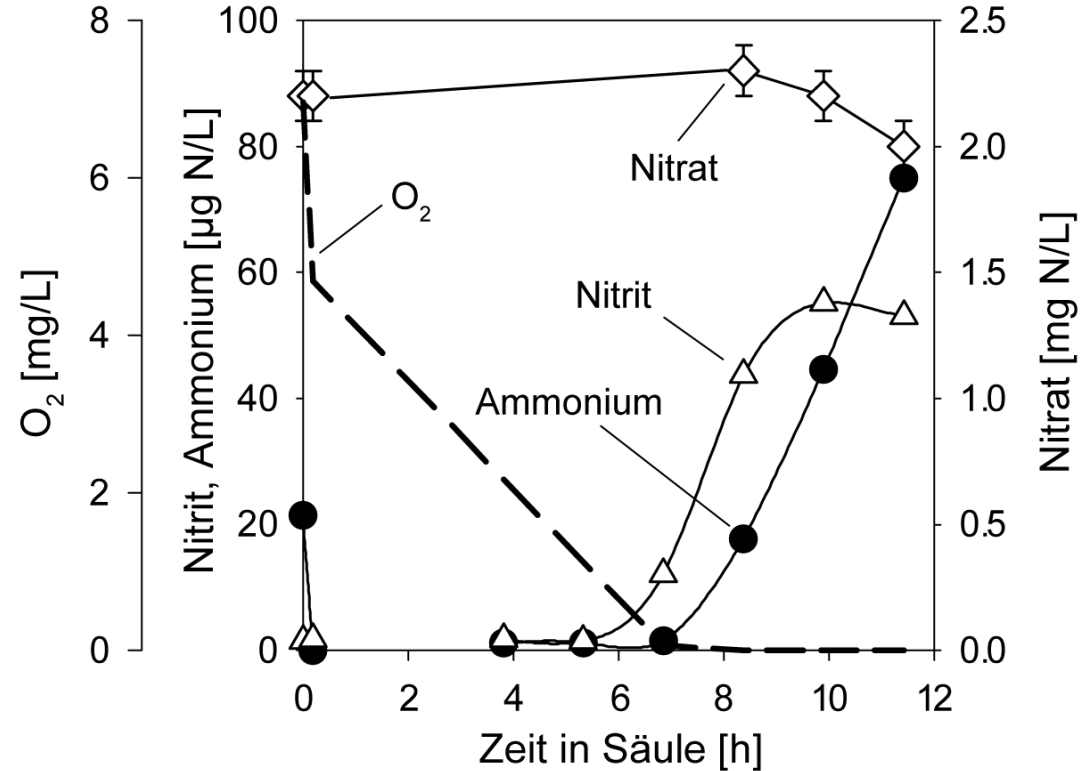
Temperatureffekt

Sauerstoffprofile



- Kinetik 0. Ordnung
- 30°C: anoxische Bedingungen

Konzentrationsprofile bei 30°C

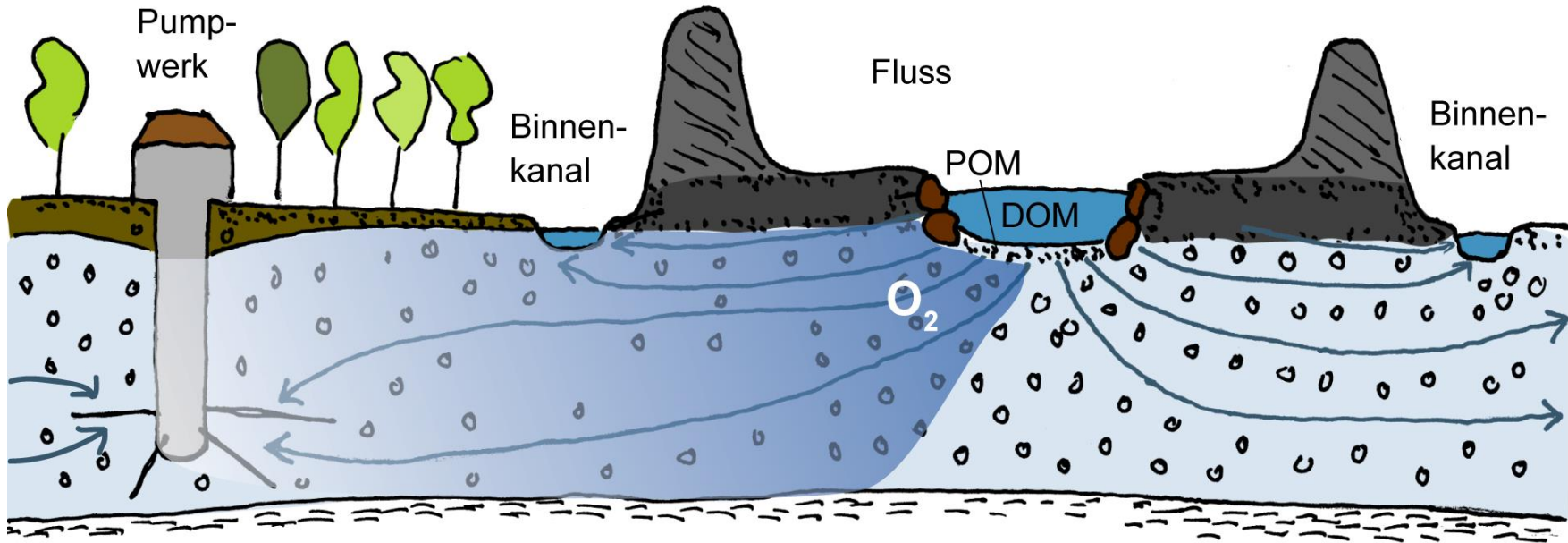


- Redoxprozesse mit N-Spezies
- Nitrit und Ammonium
- Nur teilweise Denitrifikation

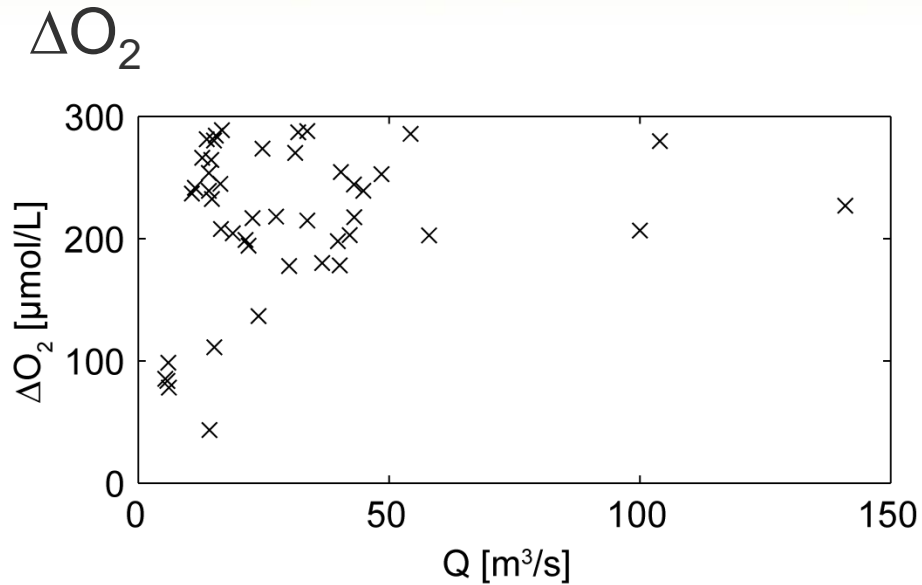
Abflusseffekt

ΔO_2 & ΔDOC

Niedriger Q → ~~Hohes DOC~~ → ~~Hohes ΔDOC~~ → Hohes ΔO_2

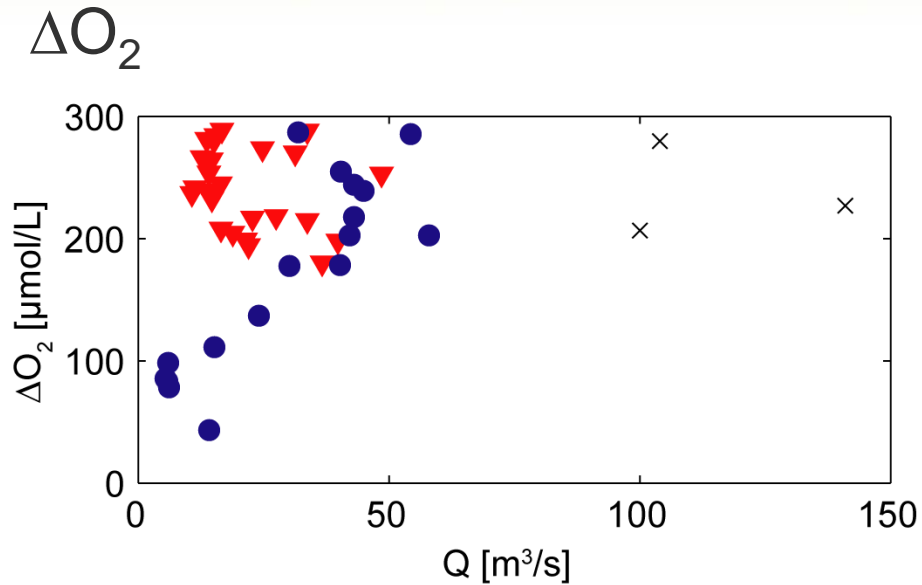


Abflusseffekt



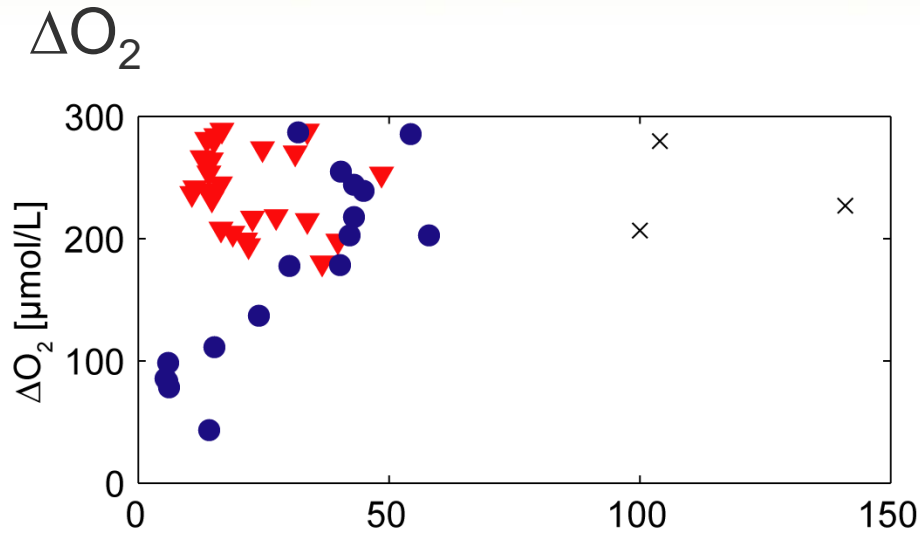
- $\Delta O_2 \times Q$
 - ΔO_2 nimmt zu bis 60 m^3/s
 - Stagniert oberhalb
- Kompensation für T-Abhängigkeit
 - $T < 15^\circ\text{C}$
 - $T > 15^\circ\text{C}$

Abflusseffekt



- $\Delta O_2 \times Q$
 - ΔO_2 nimmt zu bis 60 m^3/s
 - Stagniert oberhalb
- Kompensation für T-Abhängigkeit
 - $T < 15^\circ\text{C}$
 - $T > 15^\circ\text{C}$

Abflusseffekt



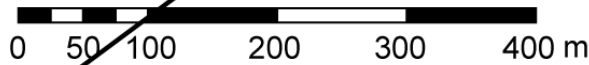
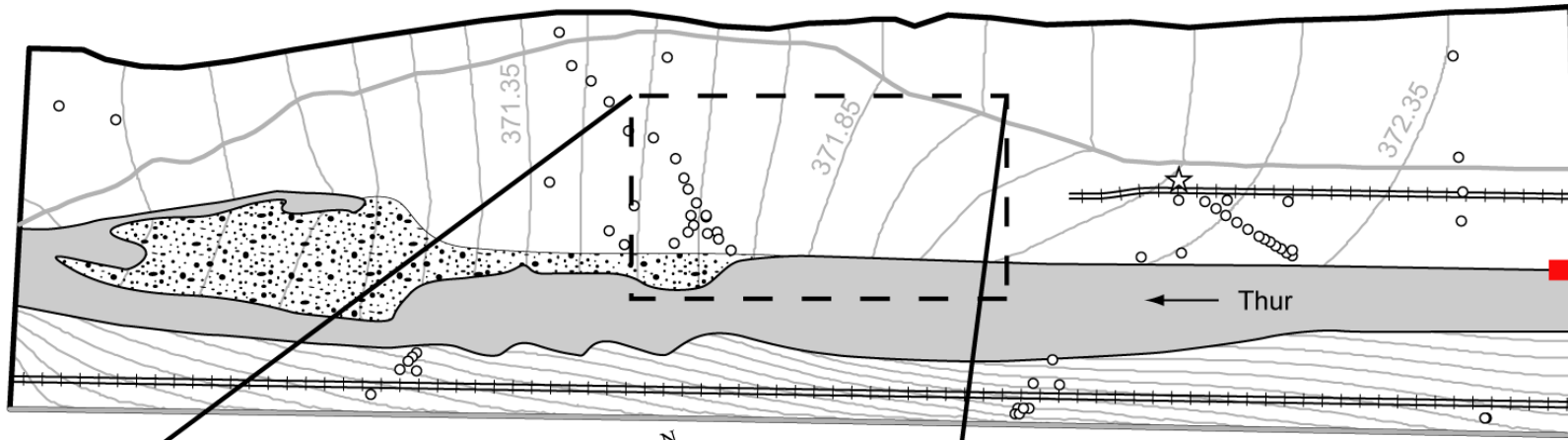
- $\Delta O_2 \times Q$
 - ΔO_2 nimmt zu bis 60 m³/s
 - Stagniert oberhalb
- Kompensation für T-Abhängigkeit
 - $T < 15^\circ\text{C}$
 - $T > 15^\circ\text{C}$
- Konzept:
 - Höherer POM-Input
 - Bessere POM-Verfügbarkeit
 - Höhere mikrobielle Aktivität
 - Höhere O₂-Zehrung



Ziel

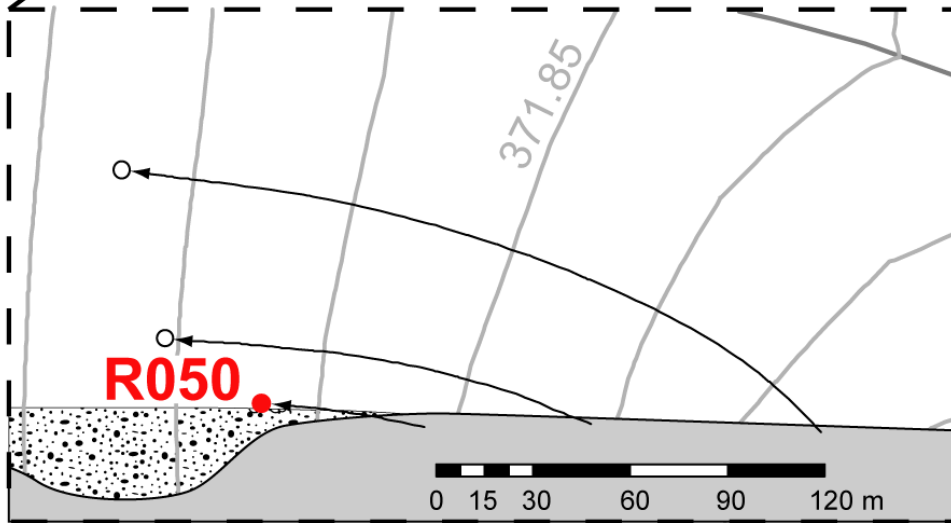
- 1. Besseres Prozessverständnis:**
Abhängigkeit des NOM-Abbaus und der Sauerstoffzehrung von Klimavariablen T und Q
- 2. Quantifizierung im Modell:**
Entwicklung eines reaktiven Transportmodells, welches die T- und Q-Abhängigkeit dieser Prozesse quantifiziert

Kontinuierliche O₂-Messung



○ Piezometer
☆ Pumpwerk

— Binnenkanal
■ Messtation Fluss
Damm
● Kiesbank



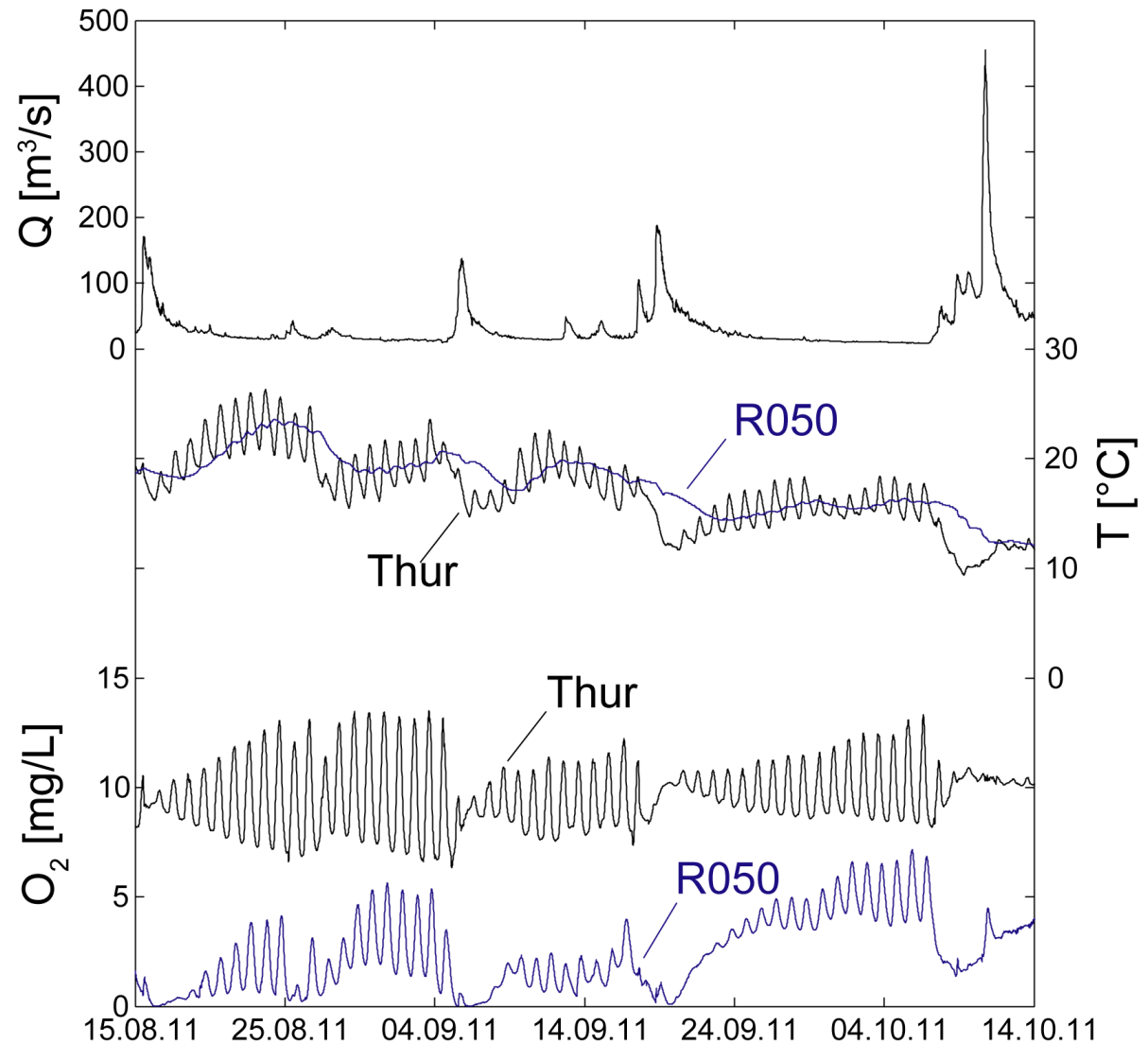
- R050: O₂, T, EC
- Thur: O₂, T, EC, Q
- Intervall: 15 min
- Dauer: 9 Monate



Kontinuierliche O₂-Messung

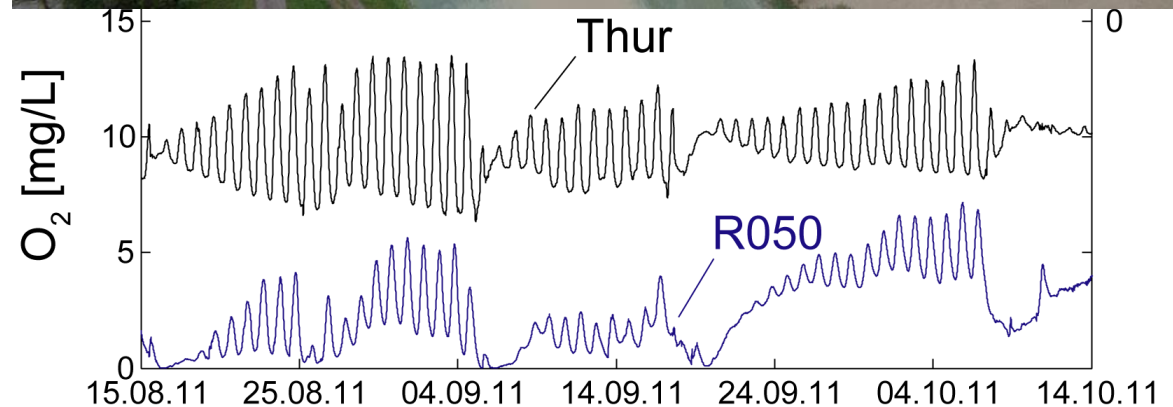
Thur und R050

- Tägliche O₂ Schwankungen im Fluss
- T-Effekt
- Q-Effekt



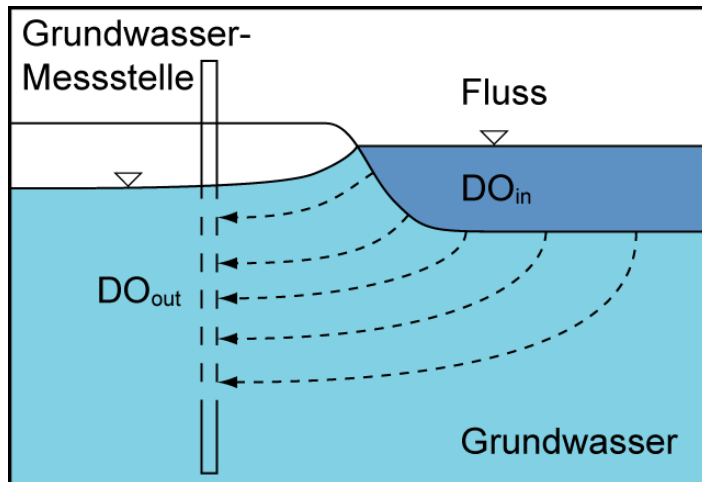
Kontinuierliche O₂ Thur und R050

- Tägliche O₂ Schwankungen im Fluss
- T-Effekt
- Q-Effekt



Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport

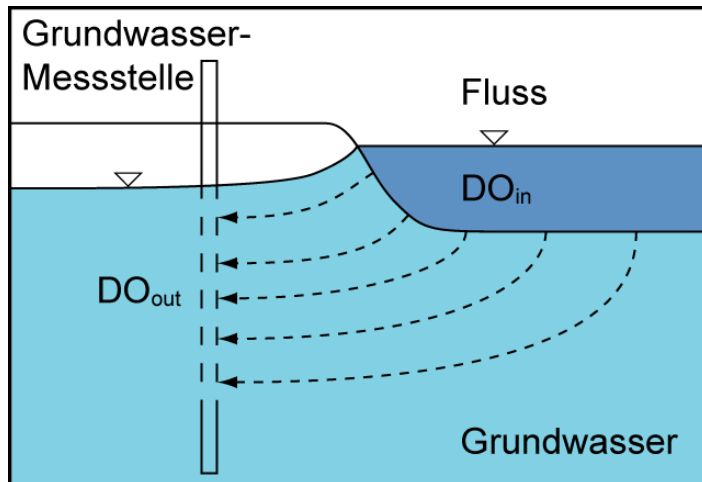


DO: Dissolved Oxygen (O₂)

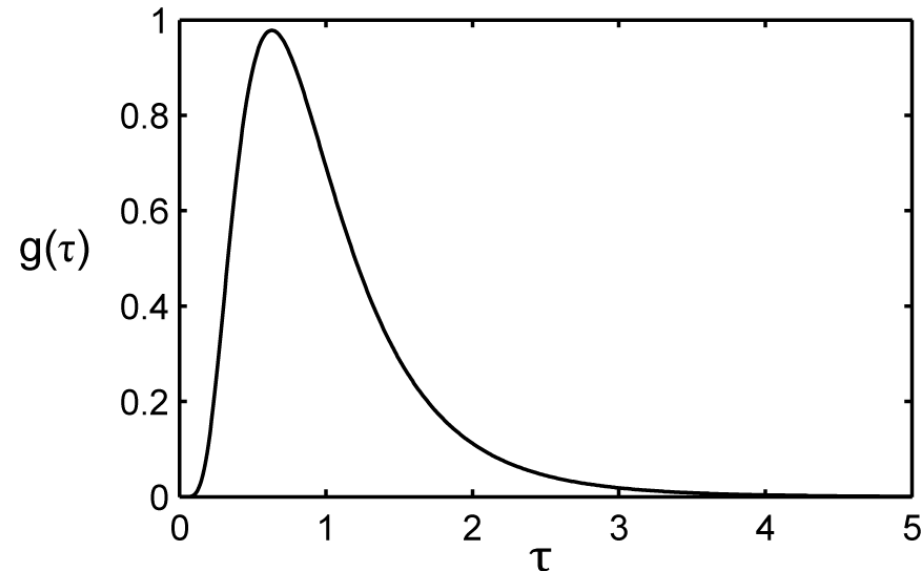
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - k_{eff} \cdot \tau) d\tau$$

Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport



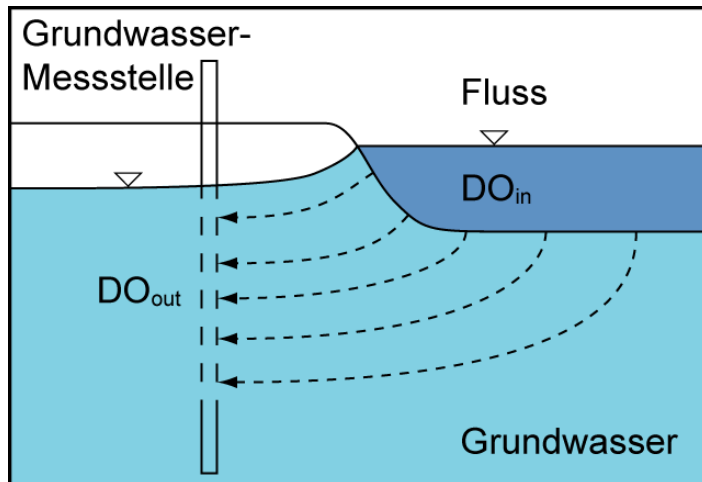
DO: Dissolved Oxygen (O₂)



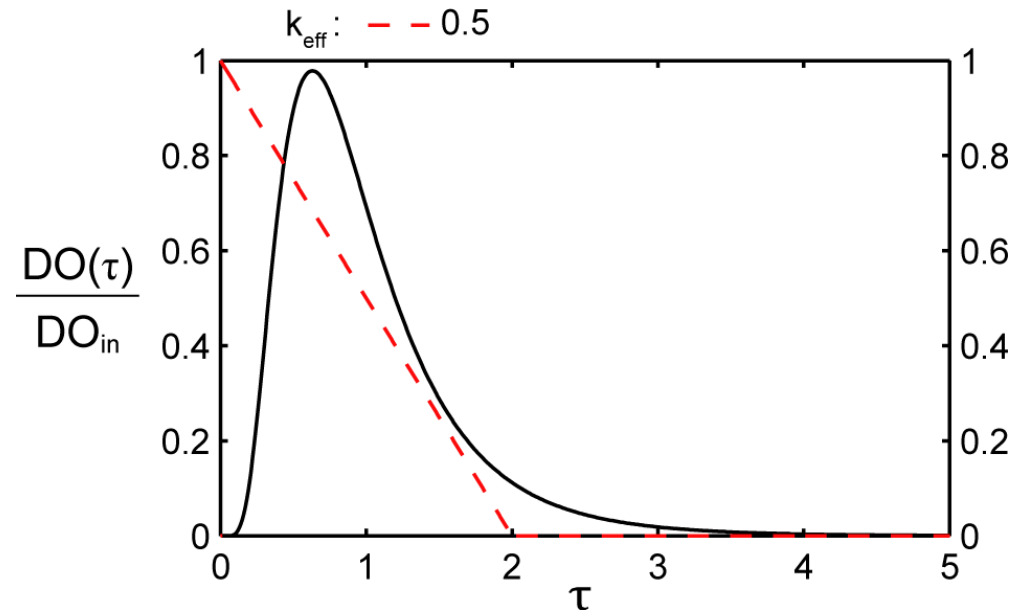
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} \boxed{g(\tau)} \max(0, DO_{in} - k_{eff} \cdot \tau) d\tau$$

Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport



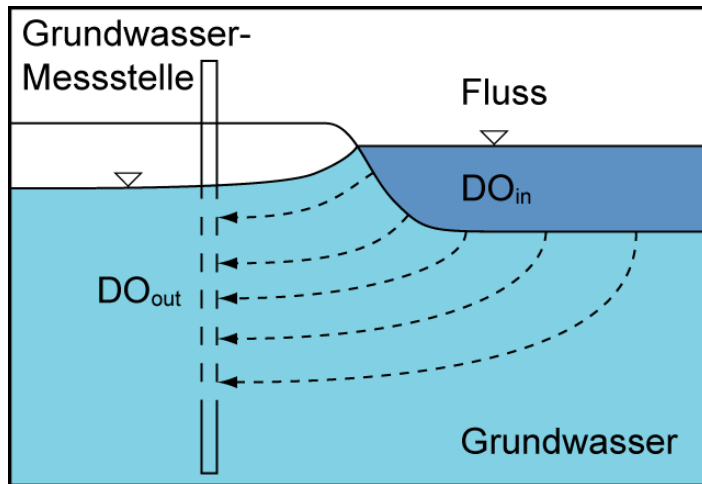
DO: Dissolved Oxygen (O_2)



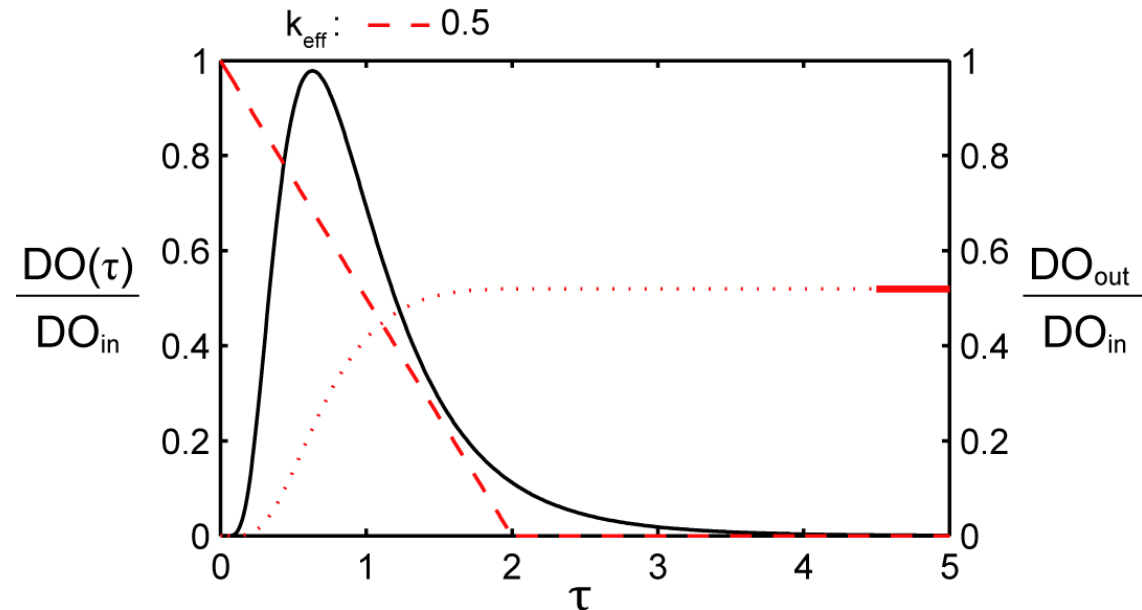
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} \boxed{g(\tau)} \max(0, DO_{in} - k_{eff} \cdot \tau) d\tau$$

Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport



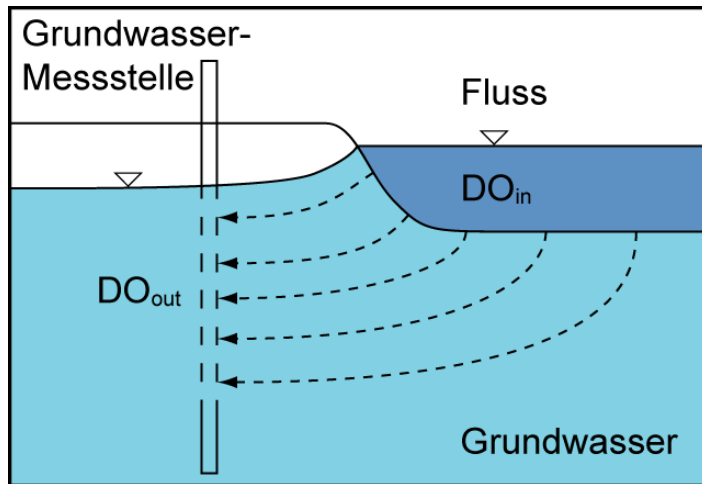
DO: Dissolved Oxygen (O₂)



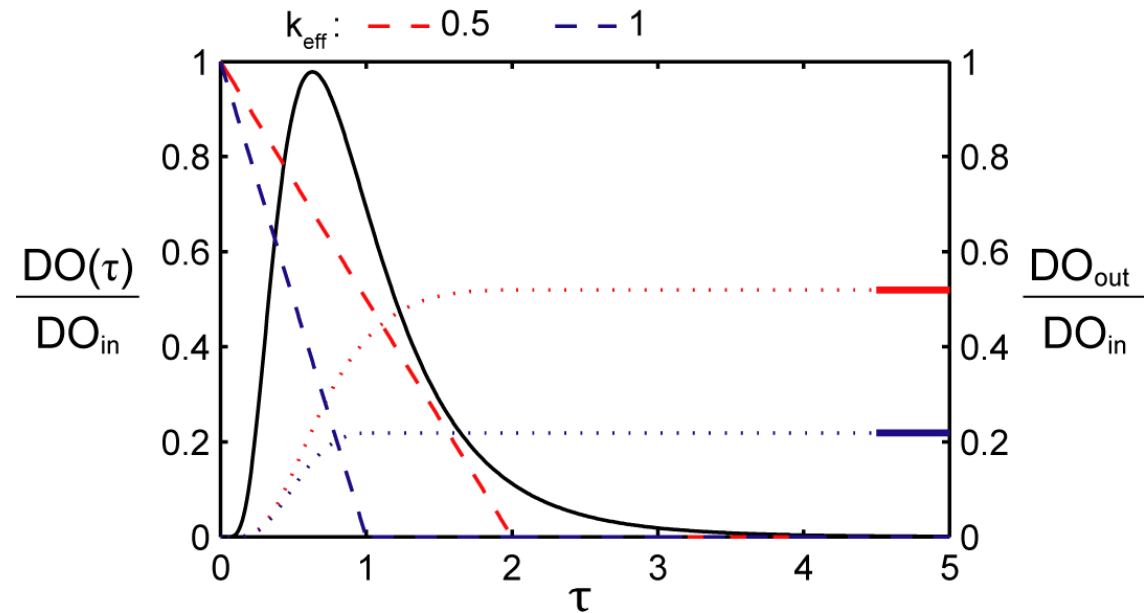
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - k_{eff} \cdot \tau) d\tau$$

Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport

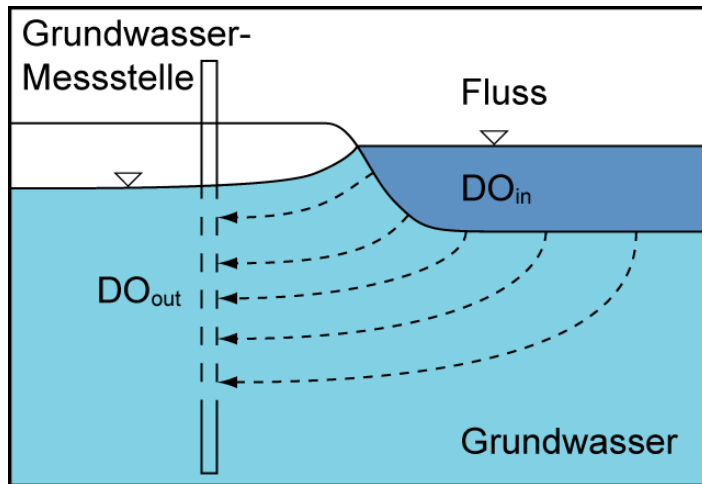


DO: Dissolved Oxygen (O_2)

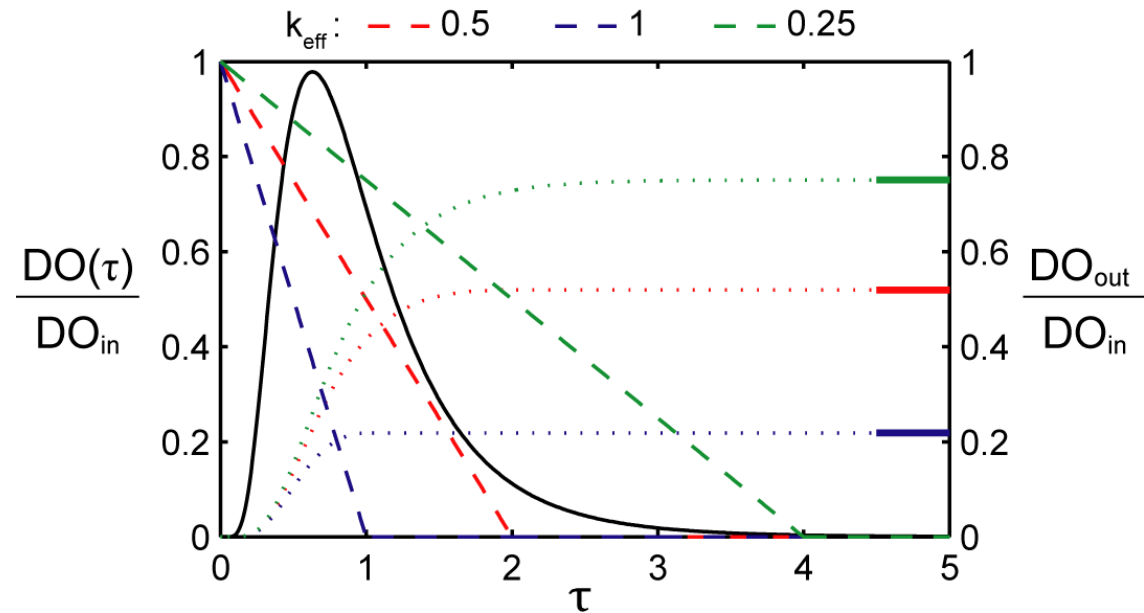


Modellaufbau

Stochastisch-konvektiv reaktiver Transport



DO: Dissolved Oxygen (O_2)



Modellaufbau

Effektive O₂-Zehrungsrate

$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - k_{eff} \cdot \tau) d\tau$$

- Abhängig von:
 - Temperatur (T)
 - Abfluss (Q)

Modellaufbau

Effektive O₂-Zehrungsrate

$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - \overbrace{f_T \cdot k(Q)}^{k_{eff}} \cdot \tau) d\tau$$

- Temperaturfaktor f_T
- Abflussabhängige Rate $k(Q)$

Modellaufbau

Die 3 Elemente

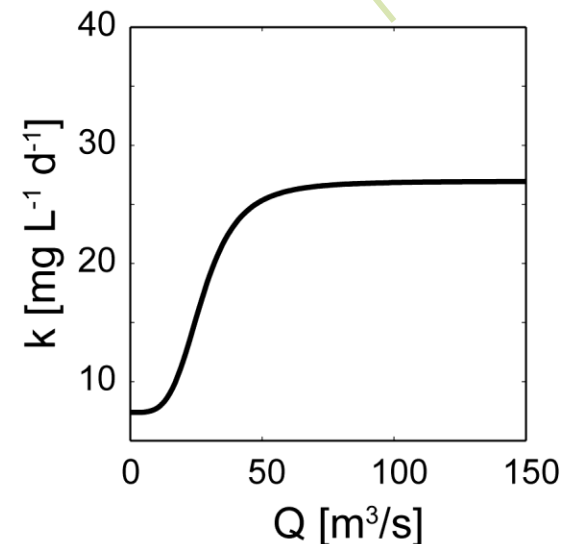
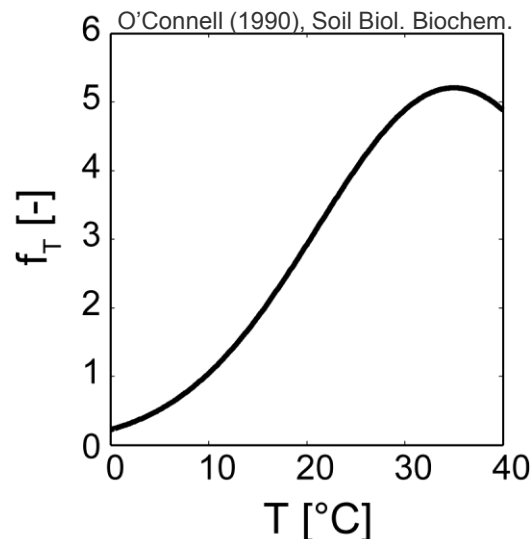
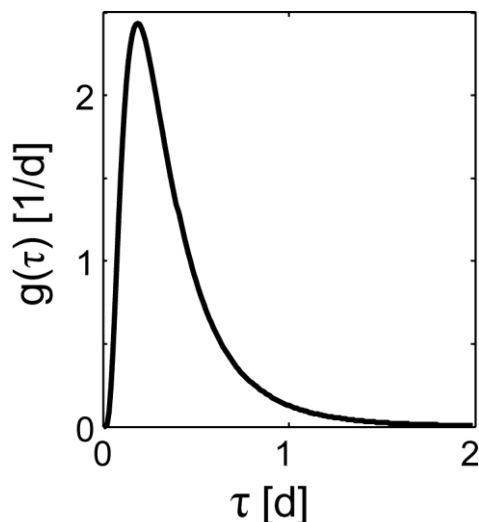
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - f_T \cdot k(Q)) \cdot \tau d\tau$$

- Fließzeitenverteilung $g(\tau)$
- Temperaturfaktor f_T
- Abflussabhängige Rate $k(Q)$

Modellaufbau

Die 3 Elemente

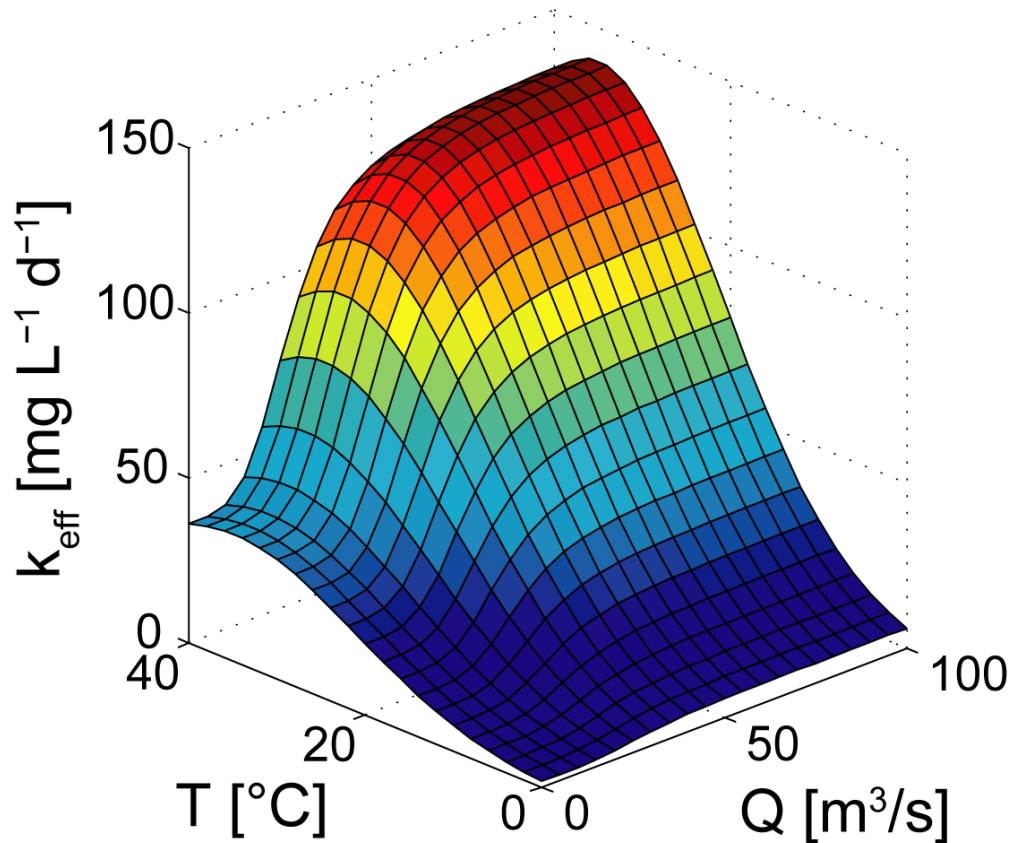
$$DO_{out} = \int_0^{\tau_{max}} g(\tau) \max(0, DO_{in} - f_T \cdot k(Q) \cdot \tau) d\tau$$



- Fließzeitenverteilung
 - Dekonvolution von EC-Zeitreihen
- Temperaturfaktor
 - Literatur

- $k(Q)$ -Beziehung
 - Aus O₂-Zeitreihen geschätzt

Effektive Zehrungsrate

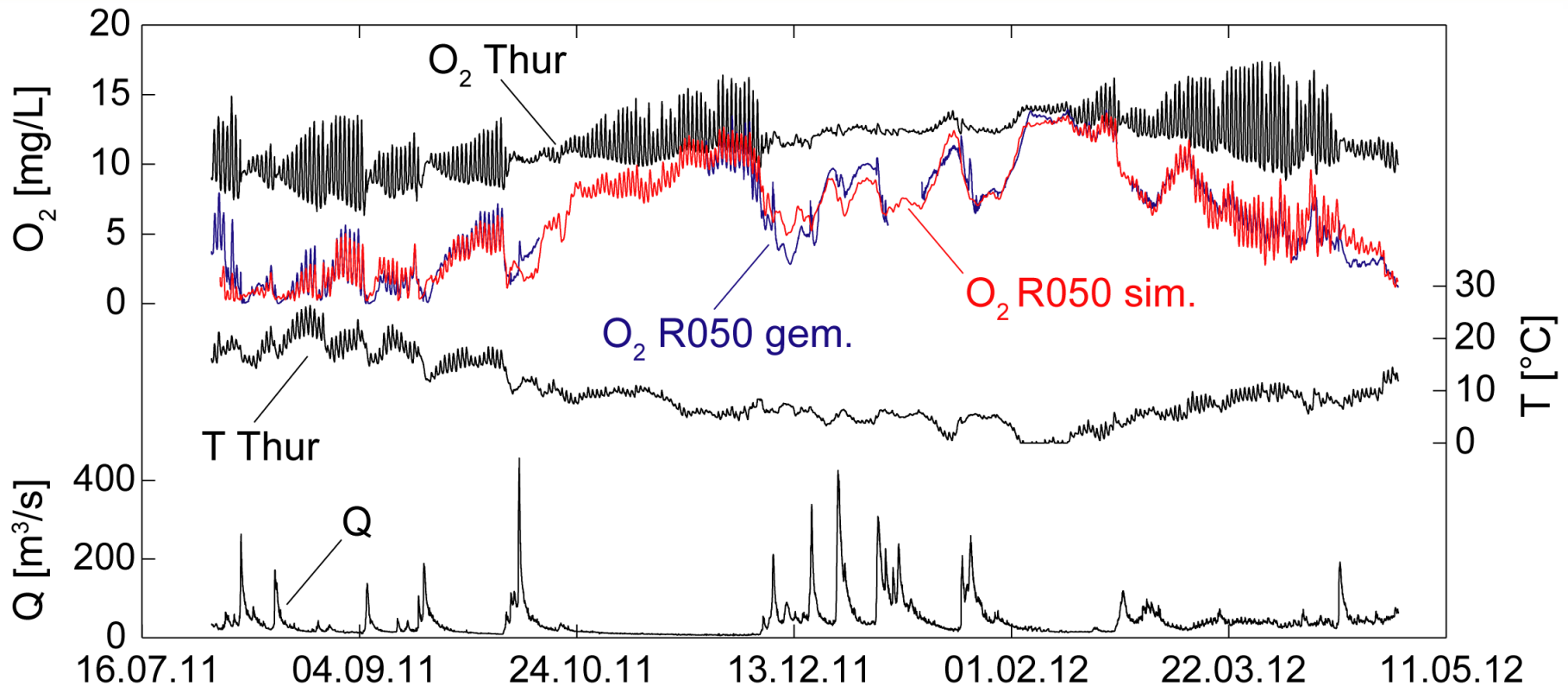


○ Höchstes Risiko für anoxische Verhältnisse an unserem Standort

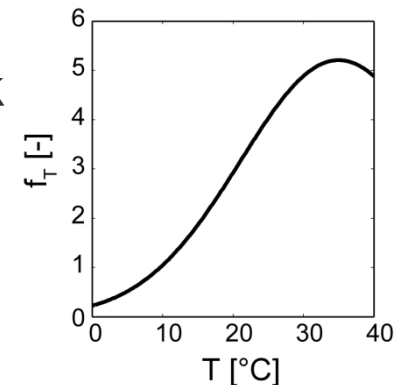
- Hitzewellen
- Erhöhte Abflüsse ($>50 \text{ m}^3/\text{s}$)

$$k_{\text{eff}} = f_T \cdot k(Q)$$

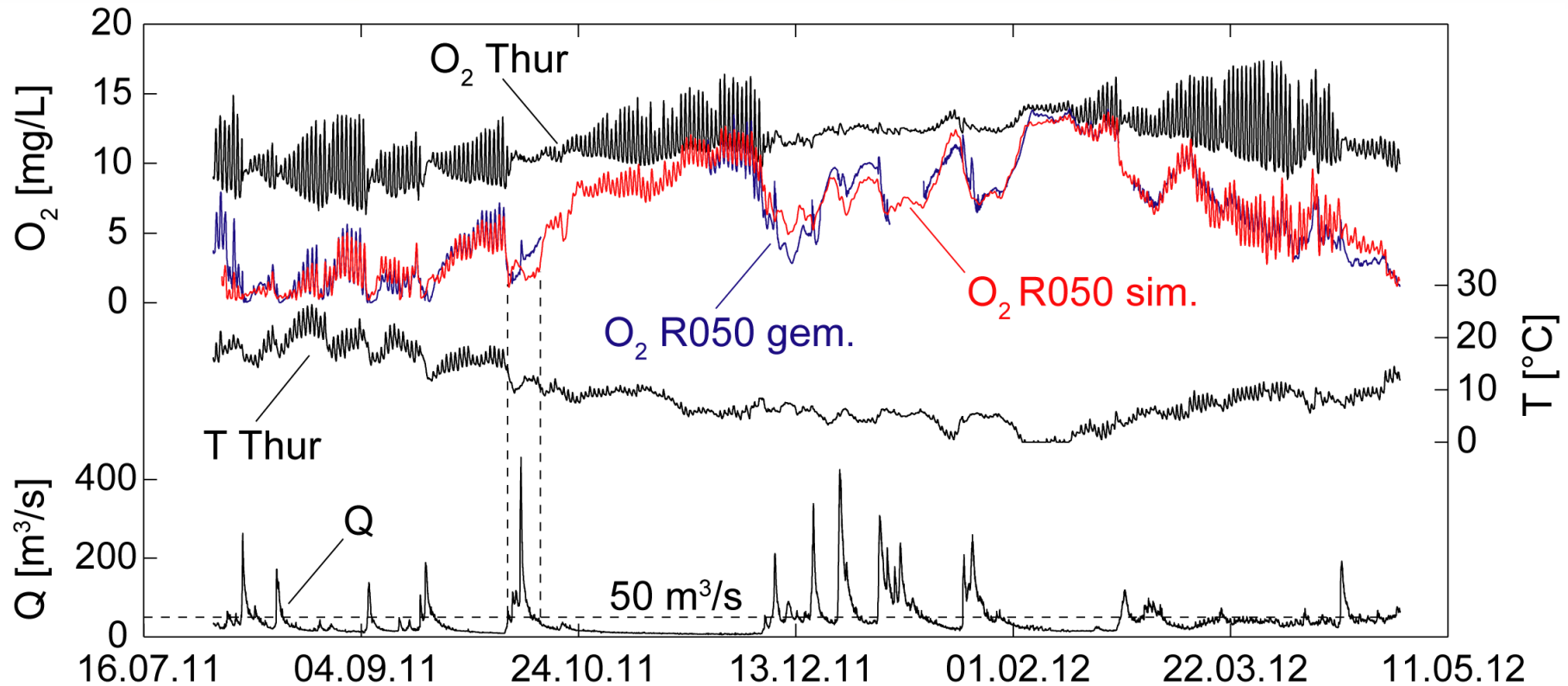
Simulation der gesamten O₂-Zeitreihe



- Erfolgreiche Simulation der beobachteten O₂-Dynamik
 - Langzeitige Variationen: T-Effekt

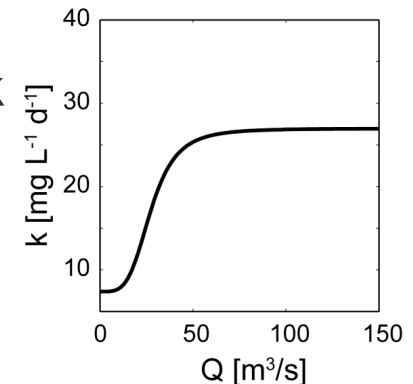


Simulation der gesamten O₂-Zeitreihe

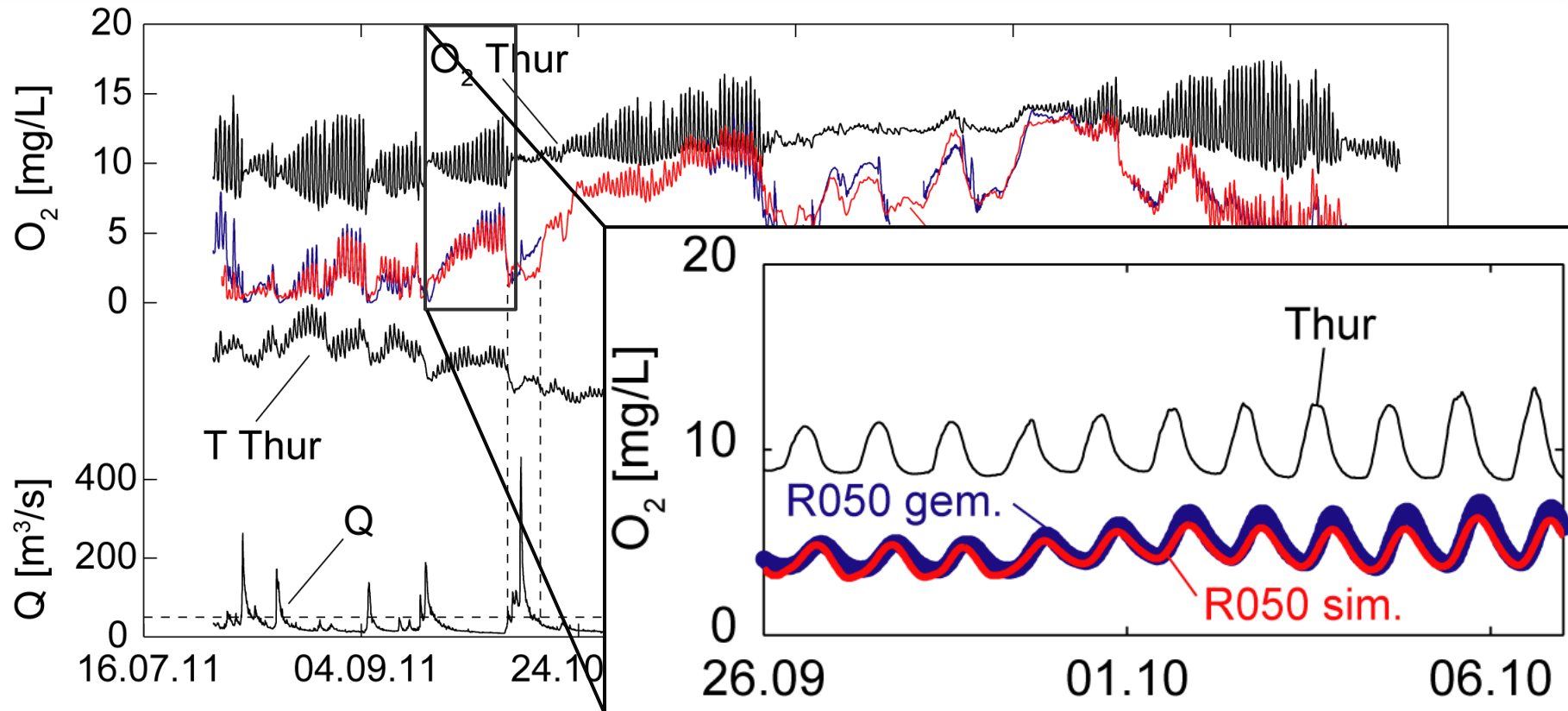


○ Erfolgreiche Simulation der beobachteten O₂-Dynamik

- Langzeitige Variationen: T-Effekt
- Kurzzeitige Variationen: Q-Effekt

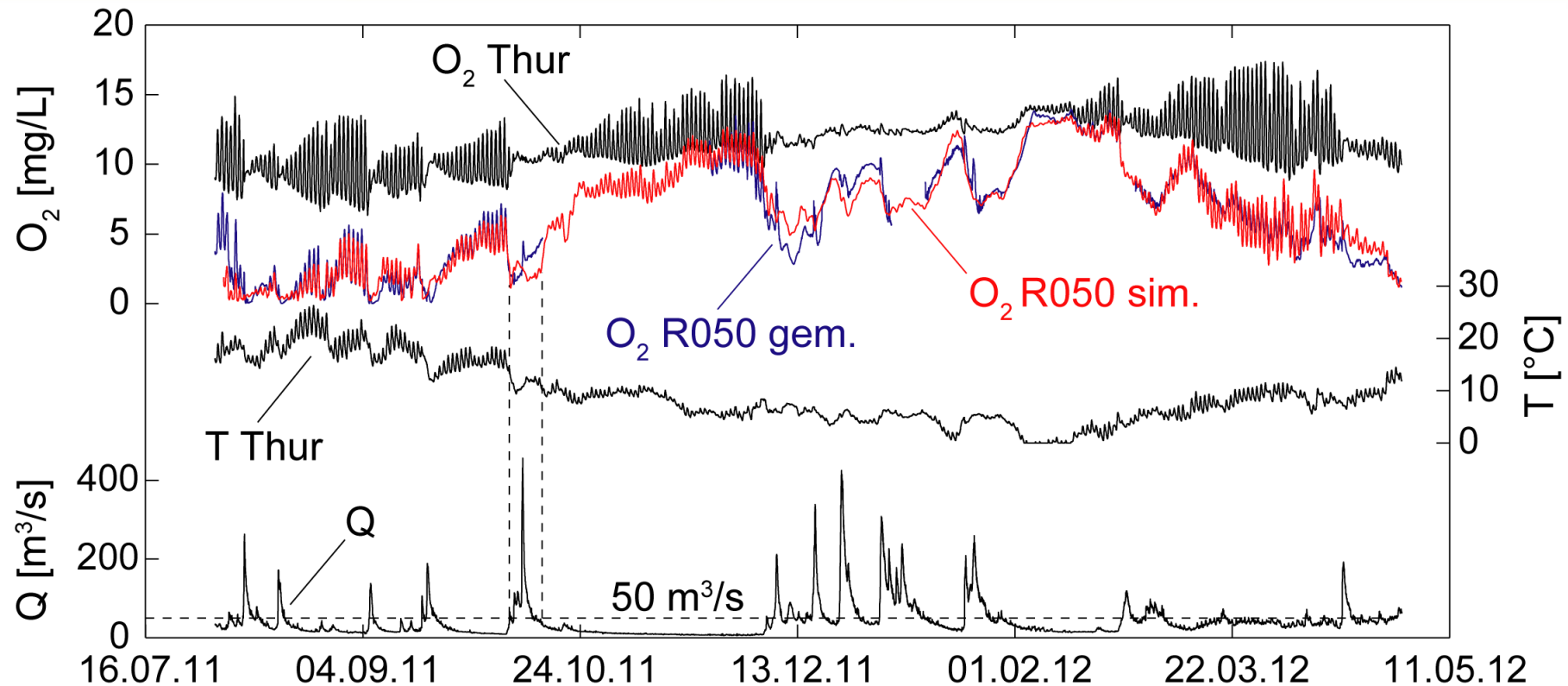


Simulation der gesamten O₂-Zeitreihe



- Erfolgreiche Simulation der beobachteten O₂-Dynamik
 - Langzeitige Variationen: T-Effekt
 - Kurzzeitige Variationen: Q-Effekt
 - Tägliche Schwankungen

Simulation der gesamten O₂-Zeitreihe


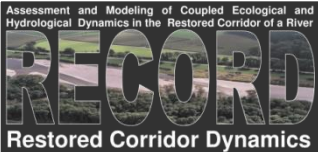


- Erfolgreiche Simulation der beobachteten O₂-Dynamik
- Auf andere Uferfiltrationssysteme übertragbar
- Risiko anoxischer Verhältnisse besser einschätzen

Fazit

- POM wichtigste Kohlenstoffquelle
 - Für grössten Teil der O_2 -Zehrung verantwortlich
- Erhöhter POM-Eintrag während Hochwasser
- Erhöhte Temperaturen & häufigere Hitzewellen
 - Auftreten anoxischer Verhältnisse möglich
- Nitrat wirkt als Redoxpuffer
 - Aber: Bildung von Nitrit und Ammonium
- Monitoring O_2 - und Nitrat-Konzentrationen
 - Redoxzustand erfassen
 - Massnahmen ergreifen
- Reaktives Transportmodell
 - Verlässliche Bestimmung der O_2 -Konzentration im Grundwasser $f(T, Q)$
 - Auswirkung unterschiedlicher Klimaszenarien
 - Risiko anoxischer Verhältnisse besser beurteilen

Verdankung

-  **FNSNF**
SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS ZUR
FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG
-  **Sustainable water management**
National Research Programme NRP 61
-  **Thurgau**
Amt für Umwelt
-  Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Umwelt BAFU
-  **RECORD**
Restored Corridor Dynamics
- Andreas Raffainer, Roger Mégroz, Lena Froyland, Tobias Vogt, Simone Peter, Sebastian Huntscha, Irene Brunner, Aua Labor, Jacqueline Traber, Sabrina Bahnmüller, Eduard Hoehn, Peter Reichert, Daniel Käser, Ryan North, Simon Figura, Gruppe Hydrogeologie



Vielen Dank!