

# KLIWAS

Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt  
Entwicklung von Anpassungsoptionen

## Wie ändert sich die Gewässergüte der großen Flüsse?

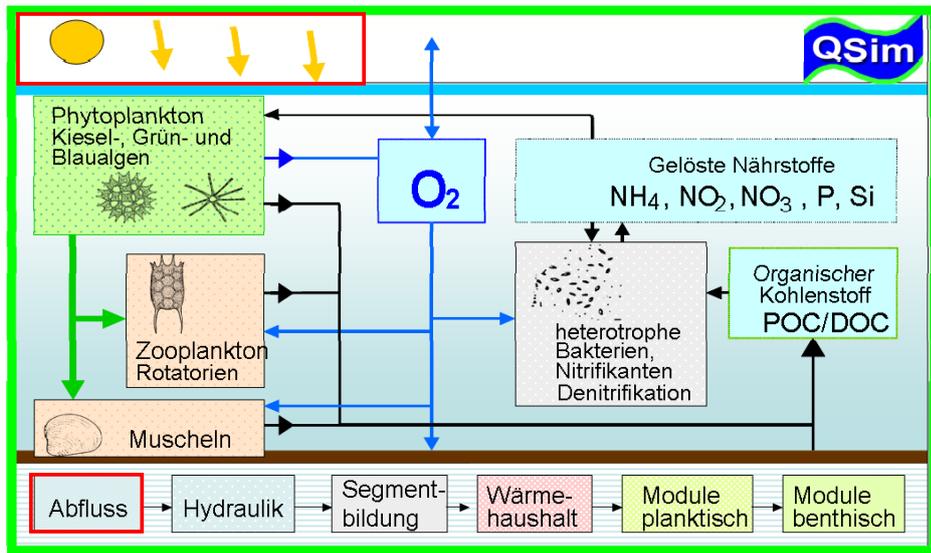
Paulin Hardenbicker  
Hardenbicker@bafg.de  
Projekt: Klimabedingte Änderung des Stoffhaushalts und der  
Algenentwicklung in Bundeswasserstraßen

## Relevanz

- Zukünftige Entwicklung des Gewässerzustandes von Rhein, Elbe und Havel
  - **Sauerstoffgehalt**: Atmung, Lebewesen im Fluss
  - **Algenbiomasse**: Sauerstoff, Nahrungsnetzgrundlage
  - **Wassertemperatur**: steuert biologische, chemische Prozesse
- Modellergebnisse
  - Erreichen des „guten ökologischen Zustandes“ bzw. des „guten ökologischen Potenzials“
  - Ziel der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie



Emissions-szenario  $\Rightarrow$  Globale Klimamodelle  $\Rightarrow$  Regionale Klimamodelle  $\Rightarrow$  Hydrologische Modelle  $\Rightarrow$  Hydraulische Modelle



**HYDRAX**



**Gewässer-gütemodell**

**QSim**

Schöl et al. 1999, 2002

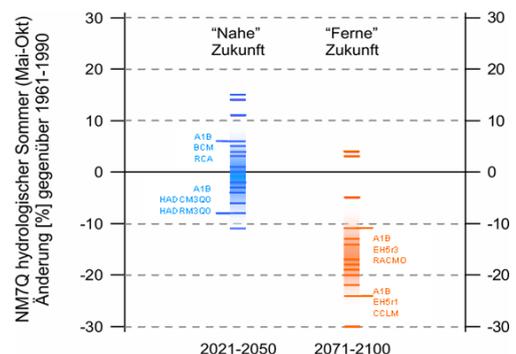
3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

## Verwendete Modellketten

Für die klimatologischen und hydrologischen Eingangsdaten wurden die Ergebnisse von folgenden Klimamodellketten verwendet:

1. Modellkette 'Vergleichskette REMO'  
(A1B  $\rightarrow$  ECHAM5r3  $\rightarrow$  REMO-ENS)
2. Modellkette **nahe Zukunft** oberer Ensemble-Rand  
(A1B  $\rightarrow$  BCM  $\rightarrow$  RCA3)
3. Modellkette **nahe Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B  $\rightarrow$  HADCMQ0  $\rightarrow$  HADRMQ0)
4. Modellkette **ferne Zukunft** oberer Ensemble-Rand  
(A1B  $\rightarrow$  ECHAM5r3  $\rightarrow$  RACMO)
5. Modellkette **ferne Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B  $\rightarrow$  ECHAM5r1  $\rightarrow$  CLM24)
6. nur Havel: Modellkette **ferne Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B  $\rightarrow$  ARPEGE  $\rightarrow$  ALADIN51)

Ketten an den Ensemble-Rändern



Veränderte Abbildung:  
Projekt Wasserhaushalt

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Verwendete Modellketten

Für die klimatologischen und hydrologischen Eingangsdaten wurden die Ergebnisse von folgenden Klimamodellketten verwendet:

1. Modellkette 'Vergleichskette REMO'  
(A1B → ECHAM5r3 → REMO-ENS)
2. Modellkette **nahe Zukunft** oberer Ensemble-Rand  
(A1B → BCM → RCA3)
3. Modellkette **nahe Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B → HADCMQ0 → HADRMQ0)
4. Modellkette **ferne Zukunft** oberer Ensemble-Rand  
(A1B → ECHAM5r3 → RACMO)
5. Modellkette **ferne Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B → ECHAM5r1 → CLM24)
6. nur Havel: Modellkette **ferne Zukunft** unterer Ensemble-Rand  
(A1B → ARPEGE → ALADIN51)

Zeiträume:

Referenzzustand  
(1961 – 1990)

**nahe Zukunft**  
(2021 – 2050)

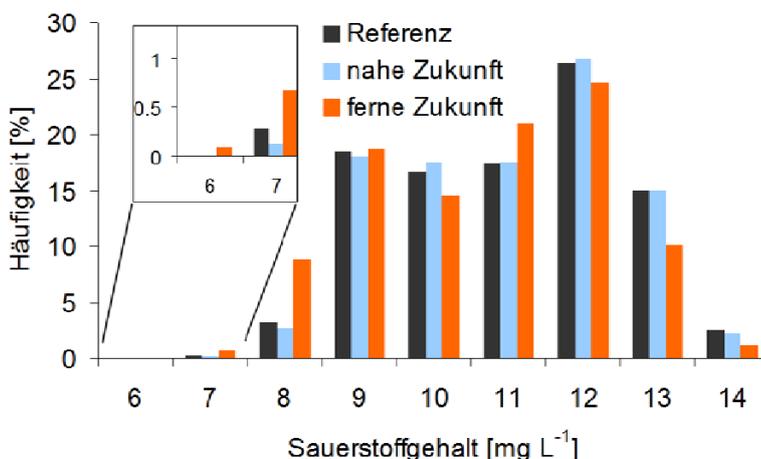
**ferne Zukunft**  
(2071 – 2100)

Modellierte Jahre:  
2000 - 2010

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Ergebnisse Rhein – Sauerstoff

Sauerstoffgehalt Rhein-Km 860 (Bimmen)  
Alle Ketten



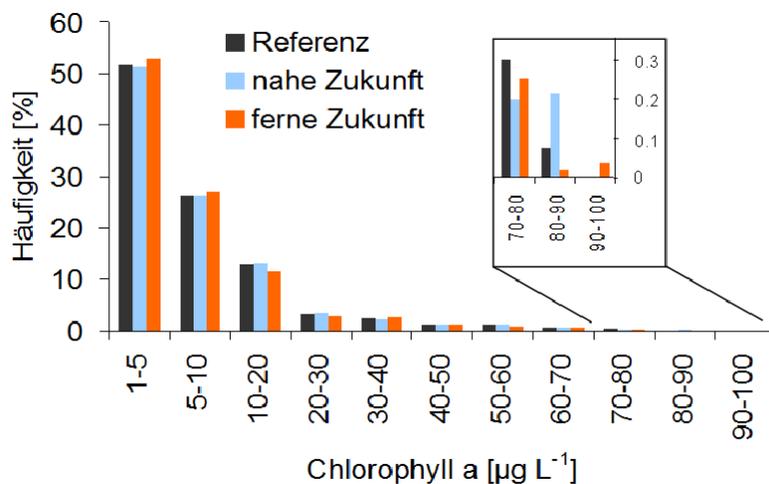
Maximale Änderung bei Km 860

- Sauerstoffgehalt sinkt!
- $\Delta$  **nahe Zukunft**: - 0,3 mg L<sup>-1</sup>  
→ Kette 3  
(alle: + 0,1 bis - 0,3 mg L<sup>-1</sup>)
- $\Delta$  **ferne Zukunft**: - 0,5 mg L<sup>-1</sup>  
→ Kette 5  
(alle: - 0,3 bis - 0,5 mg L<sup>-1</sup>)

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Ergebnisse Rhein – Chlorophyll

## Chlorophyll Gehalt Rhein-Km 860 (Bimmen) Alle Ketten



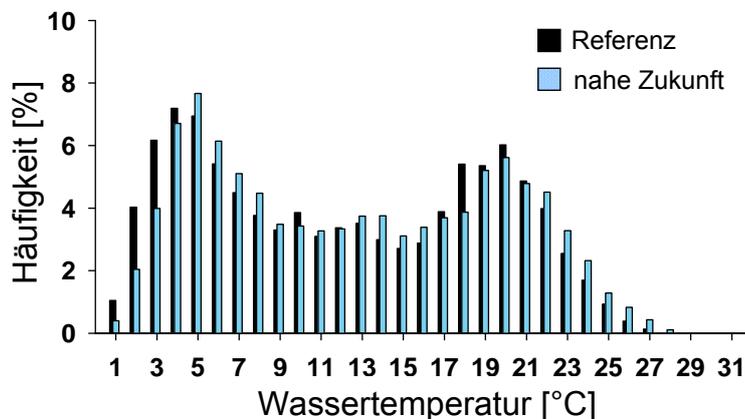
Maximale Änderung bei Km 860

- Chlorophyllgehalt steigt!
- $\Delta$  **nahe Zukunft**: + 2,8 µg L<sup>-1</sup>  
→ Kette 1  
(alle: - 3,8 bis + 2,8 µg L<sup>-1</sup>)
- $\Delta$  **ferne Zukunft**: + 4,2 µg L<sup>-1</sup>  
→ Kette 5  
(alle: - 1,8 bis + 4,2 µg L<sup>-1</sup>)

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Ergebnisse Rhein – Temperatur

## Wassertemperatur Rhein-Km 860 (Bimmen) Kette 1



Änderung bei Km 860

- Wassertemperatur steigt!
- $\Delta$  **nahe Zukunft**: + 0,6 °C  
→ Kette 1  
(alle: + 0,4 bis + 1,4 °C)

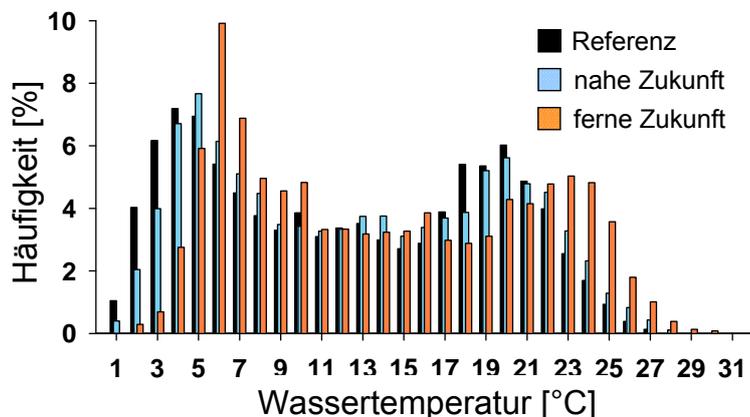
Ansatz:  
Ohne Wärmeeinleitungen  
30 Jahre

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Ergebnisse Rhein – Temperatur



## Wassertemperatur Rhein-Km 860 (Bimmen) Kette 1



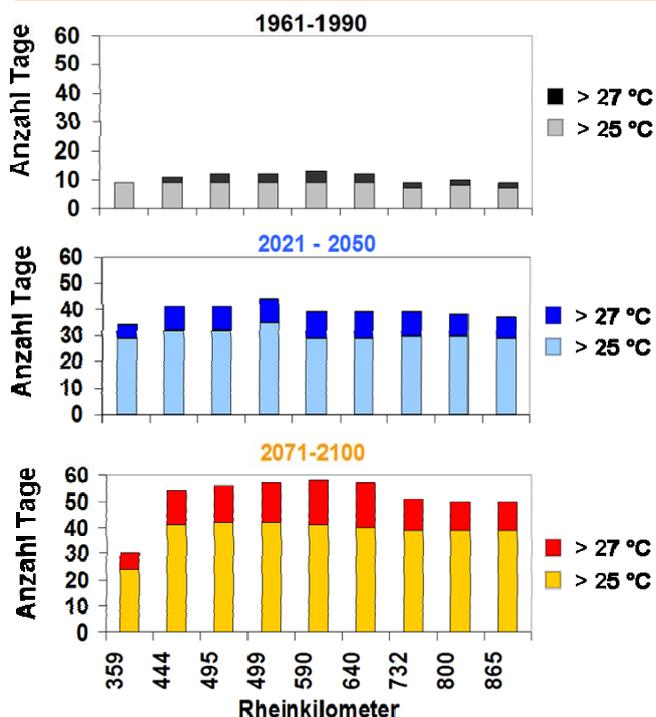
## Änderung bei Km 860

- Wassertemperatur steigt!
- $\Delta$  **nahe Zukunft**: + 0,6 °C  
→ Kette 1  
(alle: + 0,4 bis + 1,4 °C)
- $\Delta$  **ferne Zukunft**: + 1,9 °C  
→ Kette 1  
(alle: + 1,9 bis + 2,2 °C)

Ansatz:  
Ohne Wärmeeinleitungen  
30 Jahre

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Ergebnisse Rhein – Temperatur



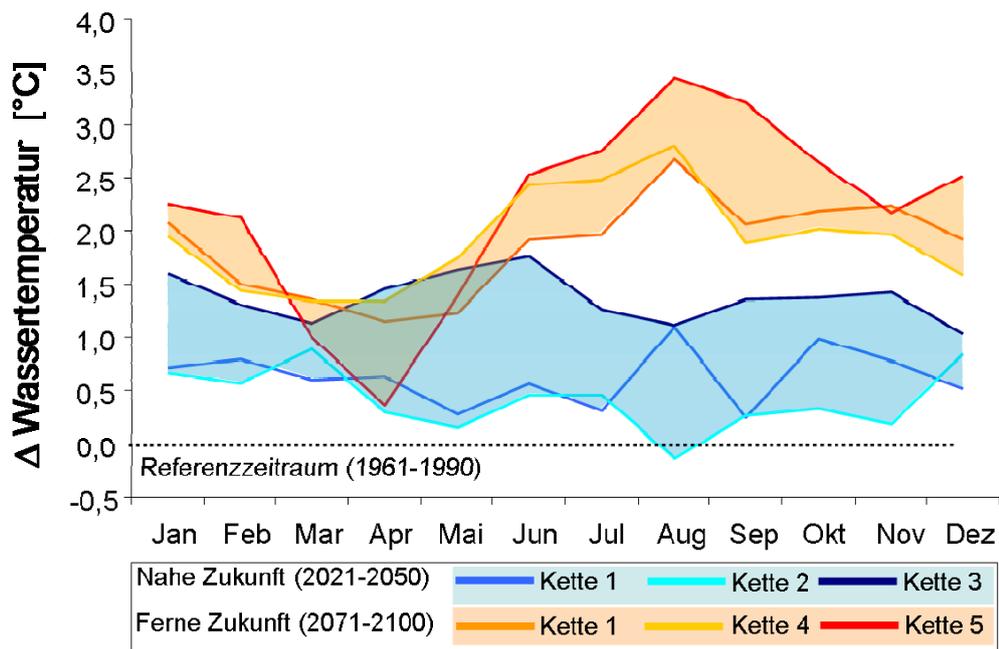
## Änderung bei Km 860

- Wassertemperatur steigt!
- $\Delta$  **nahe Zukunft**: + 0,6 °C  
→ Kette 1  
(alle: + 0,4 bis + 1,4 °C)
- $\Delta$  **ferne Zukunft**: + 1,9 °C  
→ Kette 1  
(alle: + 1,9 bis + 2,2 °C)

Aufeinanderfolgende Tage mit  
Überschreitung von 25 °C und 27 °C  
Kette 1

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

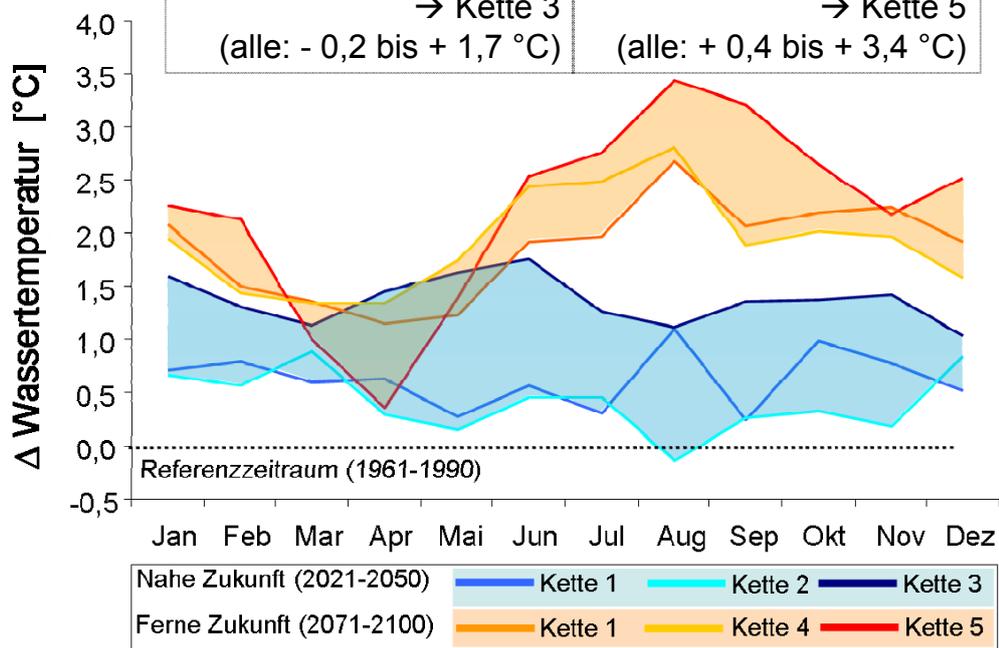
## Änderung der Wassertemperatur



3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

- ferne Zukunft alle Ketten: + 2 °C (Mittelwert über 9 Stationen)

- Monatsmittelwerte:  $\Delta$  **nahe Zukunft: + 1,7 °C**  $\Delta$  **ferne Zukunft: + 3,4 °C**  
 → Kette 3 → Kette 5  
 (alle: - 0,2 bis + 1,7 °C) (alle: + 0,4 bis + 3,4 °C)



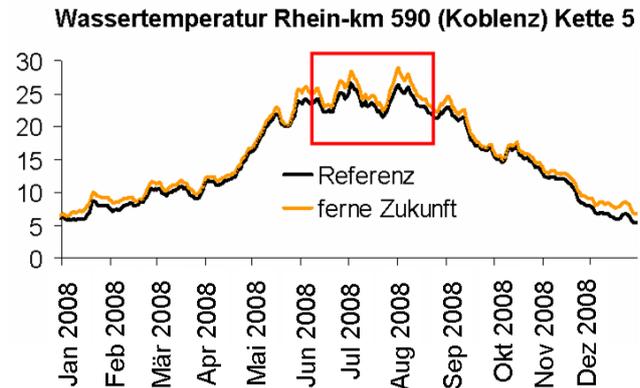
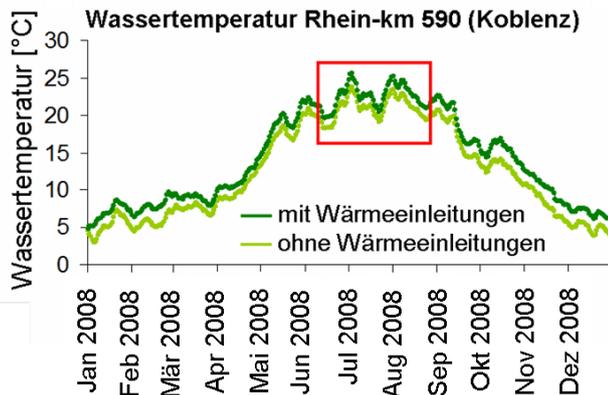
3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Kernaussage Rhein

1. Auswirkungen der genehmigten Wärmeeinleitungen (Stand 2006) liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die Effekte des Klimawandels.

Effekte des Klimawandels auf Wassertemperatur durch die Bewirtschaftung des Wärmehaushalts überlagert.

Wärmeeinleitmengen müssten reduziert werden, um der Erwärmung durch den Klimawandel entgegenzuwirken.

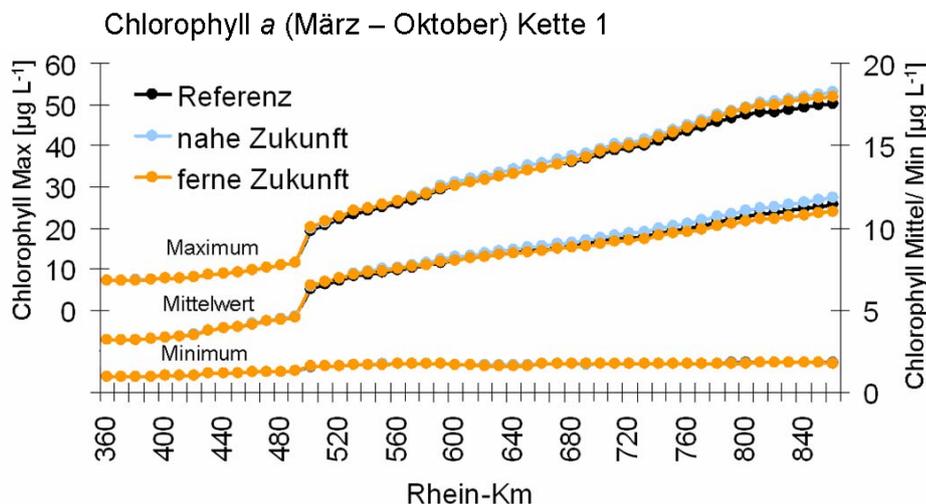


3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

# Kernaussage Rhein

2. Der Sauerstoffgehalt und die Algenentwicklung werden durch zukünftig veränderte Abflüsse oder Wassertemperaturen nur geringfügig beeinflusst.

Als indirekte Folge des Klimawandels könnten – z. B. durch Anstieg der Wassertemperatur – Nahrungsnetzeffekte ausgelöst werden, die die Gewässergüte stärker beeinflussen können als direkte Klimawandeleffekte.



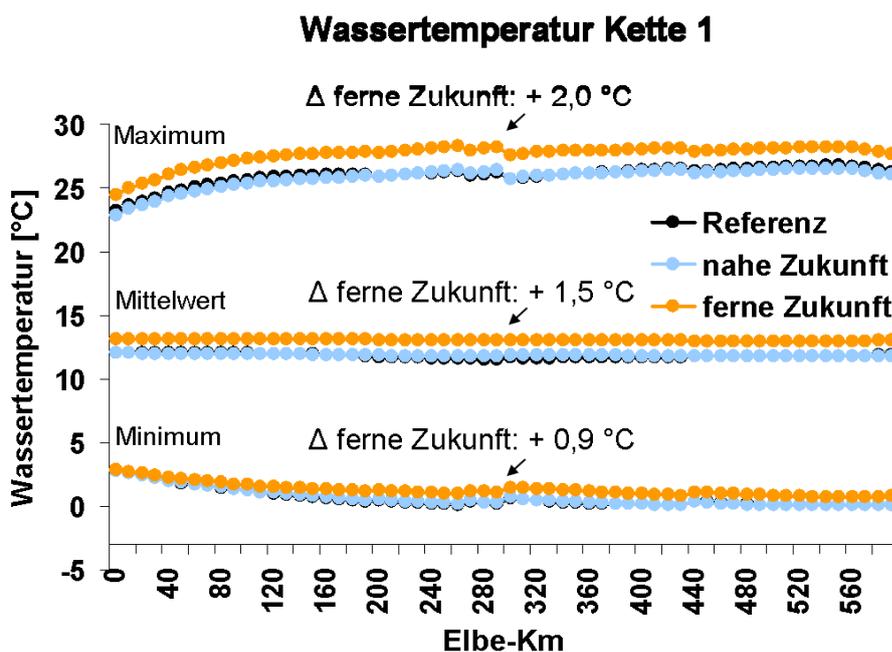
*Dreissena* sp. *Corbicula* sp.



Foto: eigene Aufnahme

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

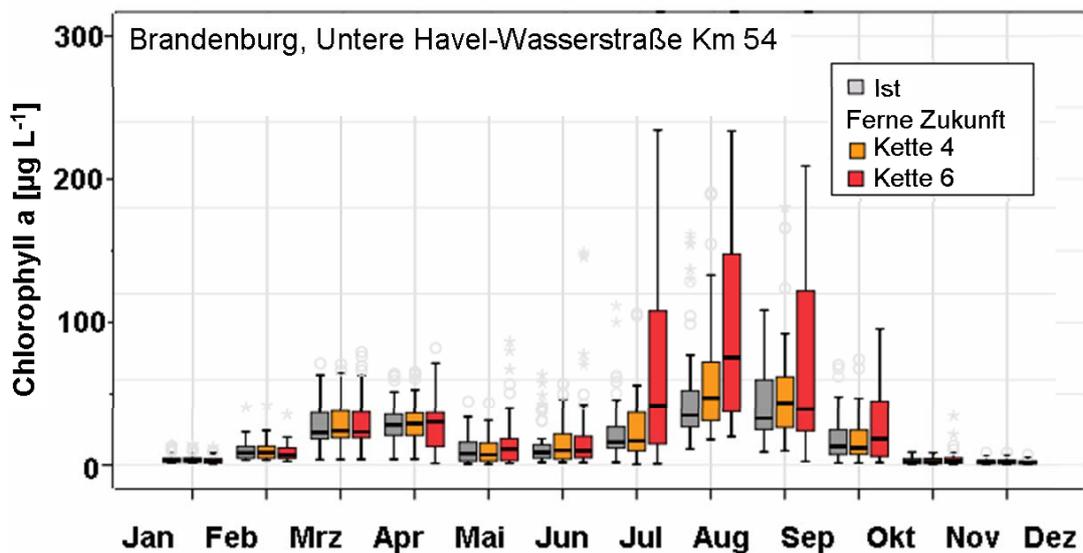
# Ergebnisse Elbe – Temperatur



3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

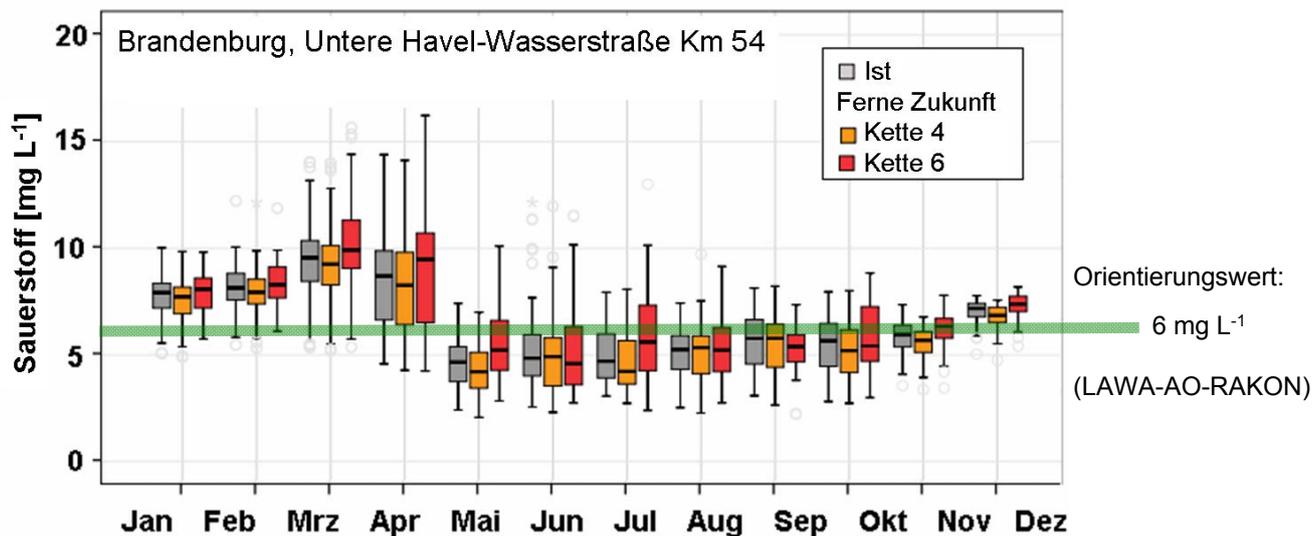
# Ergebnisse Flusshavel – Chlorophyll

## Änderung des Chlorophyllgehaltes in der fernen Zukunft



3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

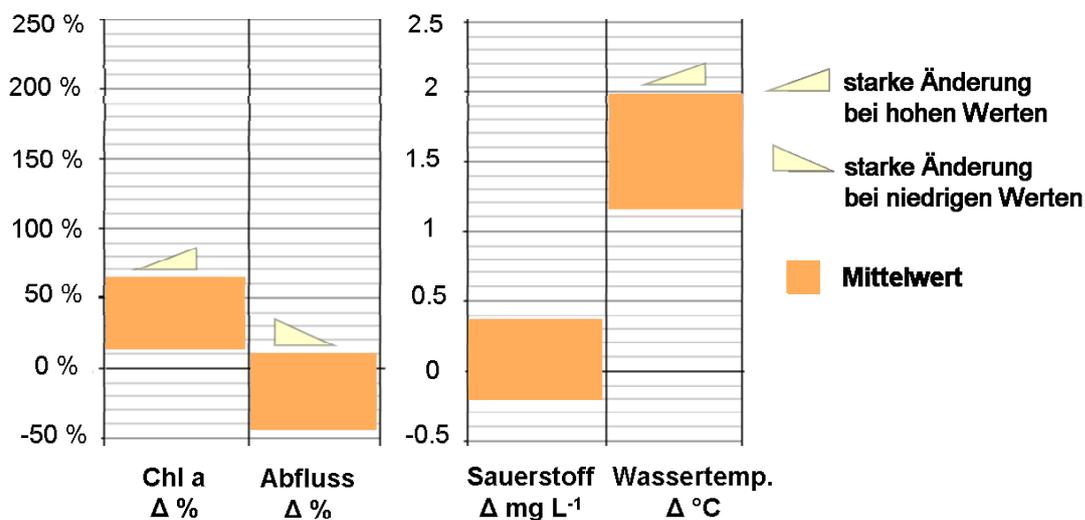
## Änderung des Sauerstoffgehaltes in der fernen Zukunft



3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

## Flusshavel unterer Modellrand Km 54 (Brandenburg)

### Änderung der Mittelwerte der Ketten in der fernen Zukunft



3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

1. Vorläufige Ergebnisse Teilgebiet Flusshavel: Güte-Situation könnte sich aufgrund von niedrigen Sauerstoffkonzentrationen und hohen Chlorophyllkonzentrationen verschärfen.

2. Gütemodellierung ist daher für Berlin sehr sinnvoll, gerade bei Bewirtschaftungsfragen, denn durch Klimawandel könnten heute schon kritische Effekte verstärkt werden.



Foto: A.Becker

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

## Fazit

### Sauerstoffgehalt

Rhein: geringe Änderung  
kein Sauerstoffdefizit

Flusshavel: kritisches Limit wird  
zeitweise unterschritten (lokal)

### Algenbiomasse

Rhein: geringe Änderung  
unkritisch

Flusshavel: potenziell möglicher starker  
Anstieg der Algenbiomasse  
Überlagerung des Klimaeffektes  
durch **Abflussbewirtschaftung**

### Wassertemperatur

Rhein und Flusshavel: Anpassung der erlaubten Wärmeeinleitungen  
,Schwellenwert' bei Genehmigungen  
Überlagerung des Klimaeffektes durch **Bewirtschaftung des Wärmehaushaltes**

3. KLIWAS Statuskonferenz 2013, 12./13.11.2013, Berlin

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !



[www.kliwas.de](http://www.kliwas.de)

Paulin Hardenbicker  
Annette Becker  
Carsten Viergutz  
Helmut Fischer

[Hardenbicker@bafg.de](mailto:Hardenbicker@bafg.de)  
[Becker@bafg.de](mailto:Becker@bafg.de)  
[Viergutz@bafg.de](mailto:Viergutz@bafg.de)  
[Helmut.Fischer@bafg.de](mailto:Helmut.Fischer@bafg.de)

