

## Großflächiges Monitoring: Chlorophyll, Trübung und andere Beispiele

### Das Verbundprojekt WasMon-CT - Satellitendaten für das behördliche Gewässermonitoring von Chlorophyll und Trübung

Thomas Wolf<sup>1</sup>, Natascha Oppelt<sup>2</sup>, Kerstin Röske<sup>3</sup>, Björn Baschek<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, [Thomas.Wolf@lubl.bwl.de](mailto:Thomas.Wolf@lubl.bwl.de)

<sup>2</sup> Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, [Oppelt@geographie.uni-kiel.de](mailto:Oppelt@geographie.uni-kiel.de)

<sup>3</sup> Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, [Kerstin.Roeske@smul.sachsen.de](mailto:Kerstin.Roeske@smul.sachsen.de)

<sup>4</sup> Bundesanstalt für Gewässerkunde, [Baschek@bafg.de](mailto:Baschek@bafg.de)



Baden-Württemberg

Copernicus in der Wasserwirtschaft, Koblenz – 13./14.03.2019

## Copernicus-Verbundprojekt *WasMon-CT*

- **Thematischer Schwerpunkt:** Nutzbarkeit von Satellitendaten für das behördliche Gewässermonitoring der Parameter Chlorophyll-a und Trübung



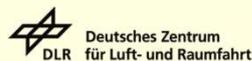
&



Chlorophyll-a in See

Trübung in Flüssen

- **Förderung :** Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)
- **Projekträger:** Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)



## Teilprojekt → Satellitengestütztes Monitoring von Chlorophyll-a in Seen

**Ziel:** Ergänzung bestehender in-situ-Monitoringprogramme und Bewertungsverfahren mit Satellitenmessungen – **Chlorophyll-a**

### Themen

- Validationsstudie für kleine Seen
- Validationsstudie für Bodensee
- Aufbau einer Toolbox
  - Ableitung anwenderorientierter, intuitiv anwendbarer FE-Produkte
  - Ableitung von Trophie-Bewertungsparametern

LU:W

3

## Satellitenbasiertes Monitoring → Potential

- Erfassung **großer Flächen mit hoher räumlicher Auflösung**
- Zunehmend **hohe Überflugfrequenz**

Erfassung **räumlicher Inhomogenitäten**

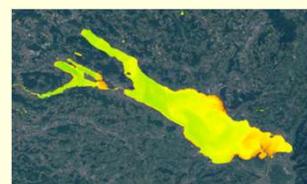
- **Patchiness**

Überwachung einer **großen Anzahl kleinerer Seen**

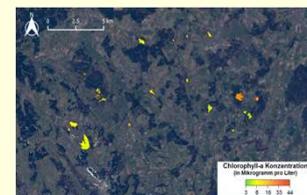
- **Indikatives Gewässermonitoring**

### Seen in Baden-Württemberg

- 24 WRRL-Seen > 50 Hektar
- 260 Seen > 10 Hektar
- 1300 Seen > 1 Hektar



Chlorophyll-a-Konzentration im Bodensee  
Landsat 8, (21.05.2016),  
prozessiert durch EOMAP



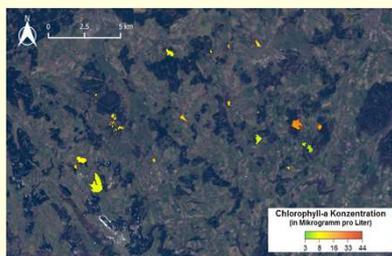
Chlorophyll-a-Konzentration in  
oberschwäbischen Seen  
(Landsat 8: 18.03.2016)  
prozessiert durch EOMAP LU:W

## Validationsstudie - Fragestellungen

- Auf welche **Seentypen** sind die Fernerkundungsverfahren mit welchen **Unsicherheiten** und welchen **Limitationen** anwendbar?
  - Clusteranalyse → **rund 20 Seen, Talsperren, Baggerseen**
- Welche **Genauigkeitsanforderungen** können erreicht werden?

### Informationskaskade

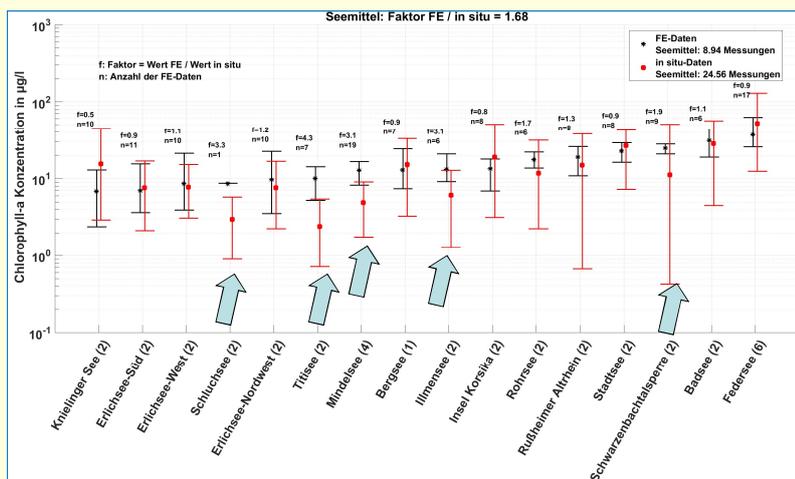
- **Kategorien**  
niedriger ↔ hoher Chl-a-Gehalt
- **Statistische Werte**  
Jahresmittelwerte, Bandbreiten, ...
- **Volle zeitliche Dynamik – Zeitserien:**  
Hohe Genauigkeitsanforderungen  
z.B. saisonale Dynamik



Chlorophyll-a-Konzentration  
Oberschwäbische Seen  
(Landsat 8: 18.03.2016),  
prozessiert durch EOMAP

LUBW

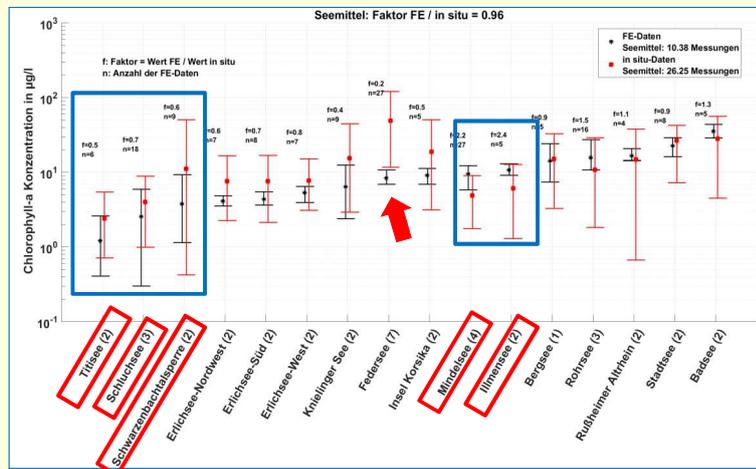
## Validationsstudie Chlorophyll-a in kleinen Seen - generischer Algorithmus



Vergleich der **Mehrjahresmittelwerte der Chlorophyll-a-Konzentrationen** bestimmt aus Fernerkundungs- (FE) und in-situ-Daten (0m-Probe) mit Angabe der mittleren MIN- und MAX-Werte; (Prozessierung EOMAP) © LUBW

LUBW

## Huminstoffreiche Seen – → seetypspezifische Reprozessierung



**Reprozessierung:** Vergleich der Mehrjahresmittelwerte der Chlorophyll-a-Konzentrationen bestimmt aus Fernerkundungs- (FE) und in-situ-Daten (0m-Probe) mit Angabe der mittleren MIN- und MAX-Werte; Prozessierung EOMAP © LUBW

**LUBW**

## Validationsstudie Chlorophyll-a in kleinen Seen

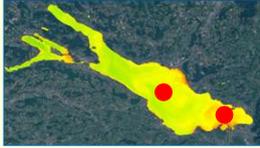
- Satellitenmessungen liegen bei vielen Seen im **Min-Max-Bereich** der in-situ-Messungen
- **Mittelwerte** beider Methoden zumeist **ähnlich**
  - Abweichungen der Mittelwerte bis 70%
  - → **zeitliche Differenzen** zwischen in situ Messung und Satellitenüberflug haben großen Einfluß (zeitliche Variabilität der in situ gemessenen Chlorophyll-a-Werte in 4 Tagen bis zu 70%)
- **Schwierige Seen: Huminstoffreiche** „dunkle“ Seen (z.B.: Titisee)
- → **Reprozessierung** mit seetypspezifischen Algorithmus führen zu z.T. deutlicher Verbesserung
- **Probleme:** Bewölkung, Winterszenen, geringe Anzahl an Satellitendaten für kleine Seen vor 2013

**LUBW**

## Validation – ein komplexes Thema Wie wahr ist „ground truth“ ?

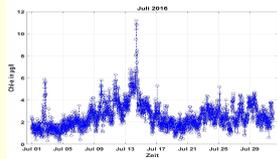
- **Chlorophyll-a** → räumlich und zeitlich hochvariabler Parameter

### Räumliche Variabilität



Chlorophyll-a im Bodensee;  
Hauptmesspunkte IGKB-Monitoring  
(Landsat 8: 8.12.2017),  
prozessiert durch EOMAP

### Zeitliche Variabilität



Kontinuierliche Chlorophyll-a-Messung  
mit BBE-Fluoreszenzsonde (Juli 2016)  
© LUBW

### Unschärfe klassischer Methoden

- Methodenfehler
- Repräsentativität der Probe
- Räumliche Variabilität
- Zeitliche Variabilität

Zeitliche Variabilität Chlorophyll-a  
timelag  $\Delta t=1,2,4$  Tage  
(BBE-Fluoreszenzsonde, Juli 2016)

Kennwert	$\Delta T = 1$ Tage	$\Delta T = 2$ Tage	$\Delta T = 4$ Tage
Maximum	47%	100%	163%
Mittelwert	17%	36%	66%
Median	14%	32%	57%

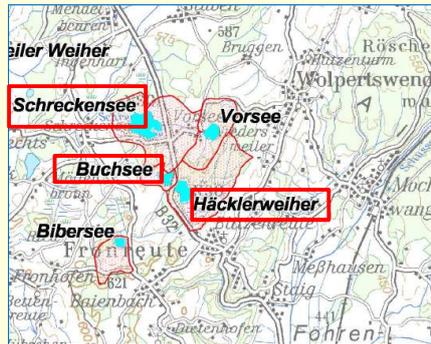


**Überflugsynchrone  
Messkampagnen**

**LUBW**

## Validationsstudie kleine Seen → Überflugsynchrone Messkampagnen

Blitzenreuther Seenplatte → „Seenlabor“



Quelle: Sanierungsprogramm oberschwäbische Seen SOS

**Auswahl von 3 unterschiedlichen Seen:**

Große Bandbreite bezüglich Chlorophyll-a-Konzentration, Trophie,  
Blaualgen/ Cyanobakterien, Gelbstoffe

**LUBW**

## Messkampagne Blitzenreuter Seenplatte → in situ Erfassung räumlicher Variabilität



- Fernerkundungs- (FE) und in situ-Messung am gleichen Tag
- Punktmessungen: Bestimmung **Chlorophyll-a-Konzentration mit HPLC**
- Horizontale & vertikale Profile (Fluoreszenzmessung):  
**Multiparametersonde & BBE-Fluoroprobe-Sonde**



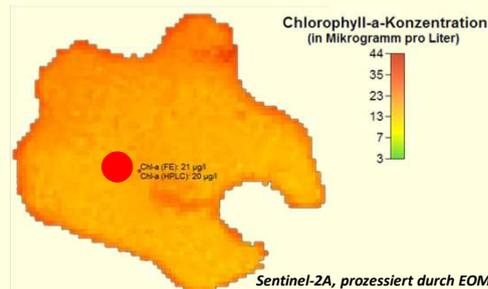
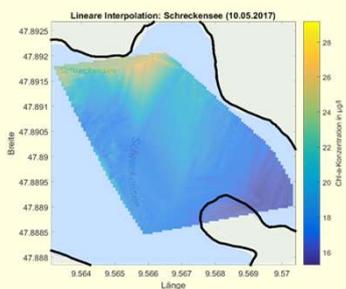
Schlauchboot mit Multiparametersonde,  
© LUBW



Fluoreszenzsondenmessung der Chlorophyll-a-Verteilung im Schreckensee; © LUBW

## Ergebnisse einer überflugsynchronen Messkampagne – Blitzenreuter Seenplatte

### Chl-a Konzentration: Schreckensee am 10.05.2017



**Links in situ:** Interpolation der mit der BBE-Fluoroprobe-Sonde gemessenen Horizontalprofile für Chlorophyll-a.  
**Rechts Satellit:** Rasterdarstellung der Chlorophyll-a-Konzentration bestimmt aus FE-Daten (Sentinel-2A, prozessiert durch EOMAP). Der rote Kreis markiert den Messpunkt Seemitte (Analyse der Wasserprobe mit HPLC).

- **Methodenvergleich Chlorophyll-a-Konzentration in Seemitte**  
21 µg/l (FE) ↔ 20 µg/l (HPLC) ↔ 21 µg/l (BBE)

- Abbildung **räumlicher Verteilungsstrukturen**



## Detektion von Blaualgenblüten im Buchsee

### Sentinel 2 Überflug am 18.08.2017

→ satellitenbasierter HAB-Indikator  
zeigt Blaualgen für Buchsee (BUC)

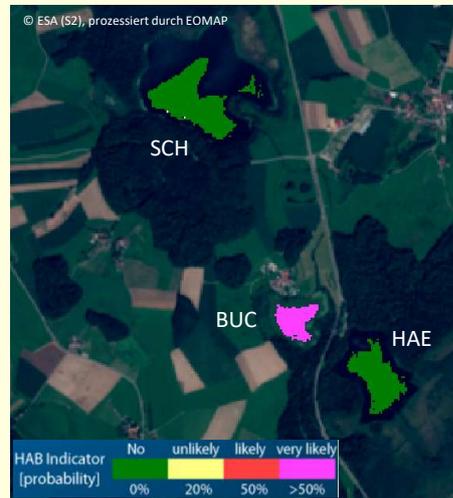
### In-situ-Daten vom 15.08.2017

→ in situ Detektion von Blaualgen für  
diesen Messtermin mit

- BBE-Fluoroprobe-Sonde
- HPLC-Analyse

### Limitation

- Cyanobakterien im Metalimnion



Harmful algal bloom HAB-Indikator,  
Sentinel 2, 18.08.2017

LW:W

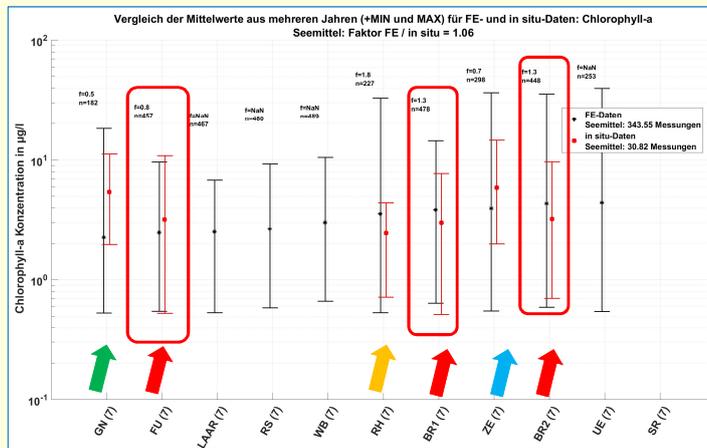
## Validationsstudie Chlorophyll-a im Bodensee

- Langjähriges **in situ Monitoringprogramm** (IGKB)
  - → Probenahme 14 tägig
- **Satelliten mit gröberer räumlicher Auflösung** (dx = 300 m)
  - → TERRA – AQUA (seit 1999) – Sentinel 3 (seit 2017)
- **Vorteil: Sehr hohe Überflugfrequenzen**
  - → aller 1-2 Tage

Bodensee © LW:W

LW:W

## Validationsstudie Chlorophyll-a im Bodensee Zeitraum 2011 - 2017



- Große Anzahl von FE-Daten → **hohe zeitliche und räumliche Auflösung**
- **Gute bis sehr gute Übereinstimmung** von Mittelwerten und gemessenen Chlorophyll-a-Bandbreiten im Bodensee Obersee
- (Prozessierung EOMAP) © LUBW

LUBW

## Fazit

- **Validationsstudie Chlorophyll-a in kleine Seen**
  - Chlorophyll-a-Bandbreiten unterschiedlicher Seetypen werden erkannt
  - für viele Seen gute Übereinstimmung statistischer Werte;
  - **Problematische Seen** - speziell huminstoffreiche Seen, Flachseen
    - → **Reprozessierungen mit seetypspezifischen Algorithmen**
- → **Indikatives Gewässermonitoring** ist möglich
- **Validation Chlorophyll-a im Bodensee**
  - Sehr hohe Überflugfrequenz (und zukünftig noch steigend)
  - Gute bis sehr gute Übereinstimmung statistischer Werte für Chlorophyll-a
- → **Ergänzung des in situ Monitoringprogramms Bodensee**
  - Anschlussfähigkeit
- **WICHTIG: Grenzen der Verfahren und Anwendbarkeit beachten!**
- **Einschätzung:** Die satellitengestützten Fernerkundungsdaten bieten ein sehr **großes Potential**, um bestehende terrestrische in-situ-Verfahren um **räumlich und zeitlich hochaufgelöste Informationen zu ergänzen** und um im Rahmen eines **übersichtsartigen, indikativen Gewässermonitorings** für eine Vielzahl von See-Informationen für den wichtigen Indikatorparameter Chlorophyll-a zu liefern.

LUBW

## Ausblick – Wie geht es weiter ?

→ **SAMOSEE-BW** „Satellitenbasiertes Monitoring von Seen in Baden-Württemberg“ → Digitalisierungsstrategie des Landes Baden-Württemberg

→ **Laufzeit** : 2 Jahre

### Ziele

- Implementierung für **Routine-Monitoringprogramm Bodensee**
- Implementierung **indikatives Gewässermonitoring kleine Seen**
- **Machbarkeits- und Anwendungsstudie** – z.B.: Trübung, Sichttiefe, Temperatur, HAB, Trophie, Makrophyten

In situ Monitoring



Satellitenbasiertes  
Monitoring

**LUBW**