

# Satellitenbasiertes Seenmonitoring in Near Real Time

Thomas Wolf

Institut für Seenforschung der LUBW

thomas.wolf@lubw.bwl.de



# Institut für Seenforschung der LUBW

## Monitoringaufgaben

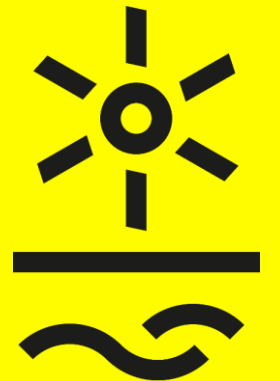
### Monitoringaufgaben der letzten 20 Jahre

- Bodensee und 50 natürliche kleine Seen und 20 Baggerseen

→ **Klassische Methodik Seemonitoring** : Probenahme monatlich {PHYS, CHEM, BIOL} → ca. 6 – 8 Seen/Jahr

### Erweiterung der Datenbasis durch satellitenbasierte Fernerkundung

- Wie kann eine höhere zeitliche und räumliche Auflösung der Gewässerinformationen erhalten werden ?
- → **Unterstützung von landeseigenen und EU-Monitoringaufgaben für den Gewässerschutz**



# Satellitenbasiertes Gewässermonitoring Potential

- Erfassung **großer Flächen mit hoher räumlicher Auflösung** (30 .. 300m)
- Zunehmend **hohe Überflugfrequenz** (1d .. 5d)
- Synoptisch, **landesweit methodisch einheitlich**

**Ergänzung** von in situ Messprogrammen

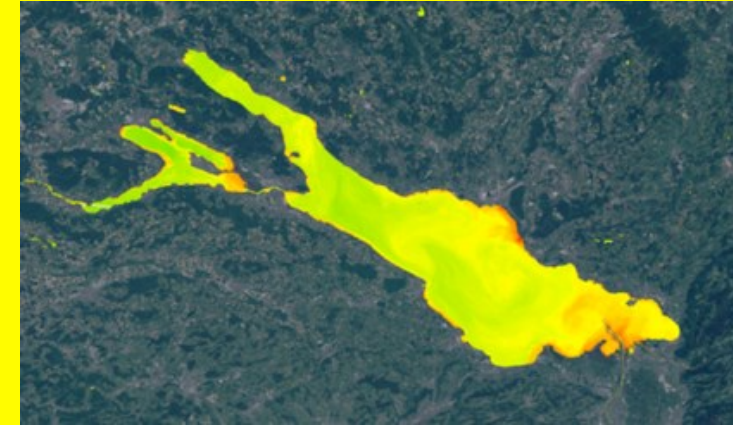
→ **räumliche und zeitliche Verdichtung**

Überwachung einer **großen Anzahl kleinerer Seen**

→ **Indikatives Gewässermonitoring**

## Seen in Baden-Württemberg

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



Landsat 8, (21.05.2016),  
prozessiert durch EOMAP, © NASA

**VS**



# Satelliten für behördliches Gewässermonitoring



## Sentinel-Satelliten der ESA und ergänzend Landsat-Satelliten (NASA)

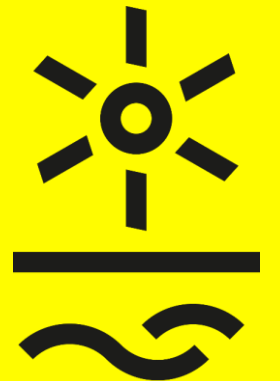
- geeignet für **Binnengewässer**
- **open data policy**
- **langzeitstabil** Satelliten, Daten, Services

### Aktuelles Projekt

- LGL-Projekt „Hochauflösende Satellitendaten in der Landesverwaltung Baden-Württemberg“

Landsat-8	Sentinel-2	Sentinel-3
30x30 m	10x10 m; 30x30 m; 60x60 m	300x300 m
Überflüge 16 Tage Rhythmus	Überflüge 5 Tage Rhythmus	Überflüge täglich
Operational Land Imager (OLI) und Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Multispectral imager (MSI)	Ocean and Land Colour Instrument (OLCI), Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR)
9 Bänder für OLI und 2 Bänder für TIRS	13 Bänder	21 Bänder für OLCI und 9 Bänder für SLSTR

Landsat: 14.05.2022      Sentinel-2: 11.05.2022      Sentinel-3: 11.05.2022



# Farbe des Gewässers = Inhaltsstoffe des Sees

## Passive optische Satellitensensoren

2 – 6 % des Signals → Wasserqualitätsparameter

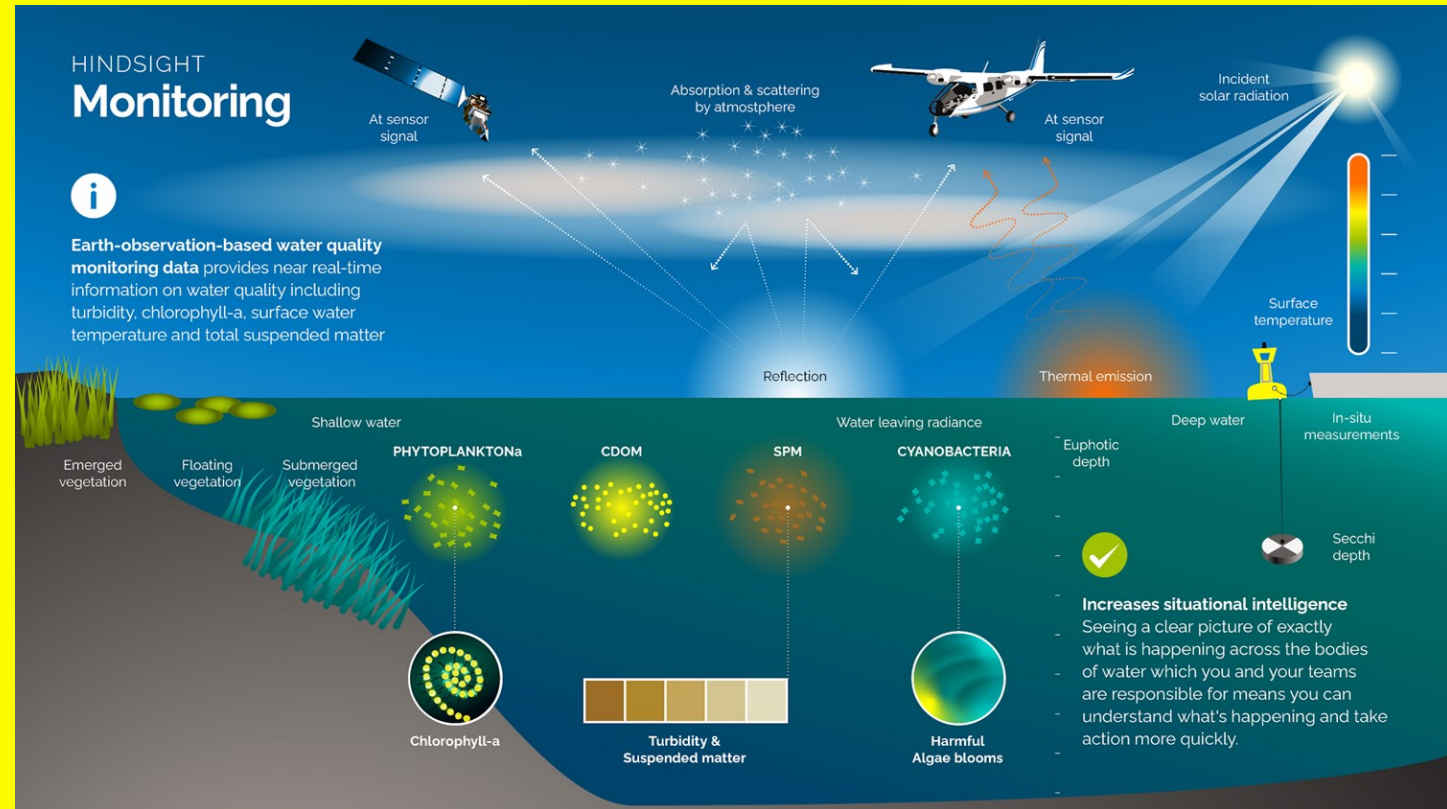
**Parameter:** Chlorophyll-a, Trübung, CDOM, Cyanobakterien, Sichttiefe, Temperatur, ... etc.pp.

### Fragen Implementierung Fernerkundung

1. Wie gut stimmen in situ und FE-Messung überein ? → **Validation**  
→ **SAMOSEE-BW (20 Seen) BIGFE (112 Seen)**

2. Wie können die Wasserqualitätsparameter im See ermittelt werden ? → **Workflow**

3. Wie kommen die Fernerkundungsdaten zu den Nutzern ? → **Informationsprodukte**



# Optische Gewässerfernerkundung → Gewässerqualität Basisparameter

## Gewässerqualitätsparameter SATWAQMON

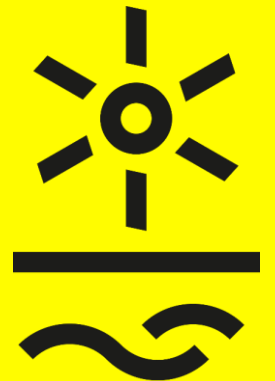
- 1) Chlorophyll-a (CHL)
- 2) Gelbstoffe (CDOM)
- 3) Blaualgenindikator (HAB)
- 4) Sichttiefe (SDD)
- 5) Wassertemperatur (SST)
- 6) Schwebstoffkonzentration (TSM)
- 7) Trübung (TUR)
- 8) Satellitenbasierter Trophiestatus (TSC)



• **QM** – Qualitätsmaße und begleitende Parameter

Diese Parameter werden für das routinemäßige satellitenbasierte Gewässermonitoring verwendet.

→ Weitere Themen z.B. Eisbedeckung, Makrophyten- und Habitatmonitoring, ...



# Zwei Konzepte des Satellitenmonitorings - Retrospektives und near real time Gewässermonitoring

## Retrospektives Monitoring (WQOnline)

- retrospektiv für ein Jahr
- Prozessierung der Rohdaten mit WQOnline
- in house Prozessierung mit MATLAB-Routinen
- in house Qualitätsmanagement
- in house Visualisierung und Statistik
- ➔ aktuell 200 Seen in BaWü (450 Seen)

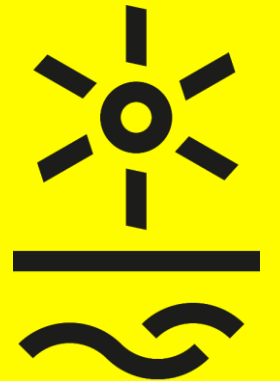
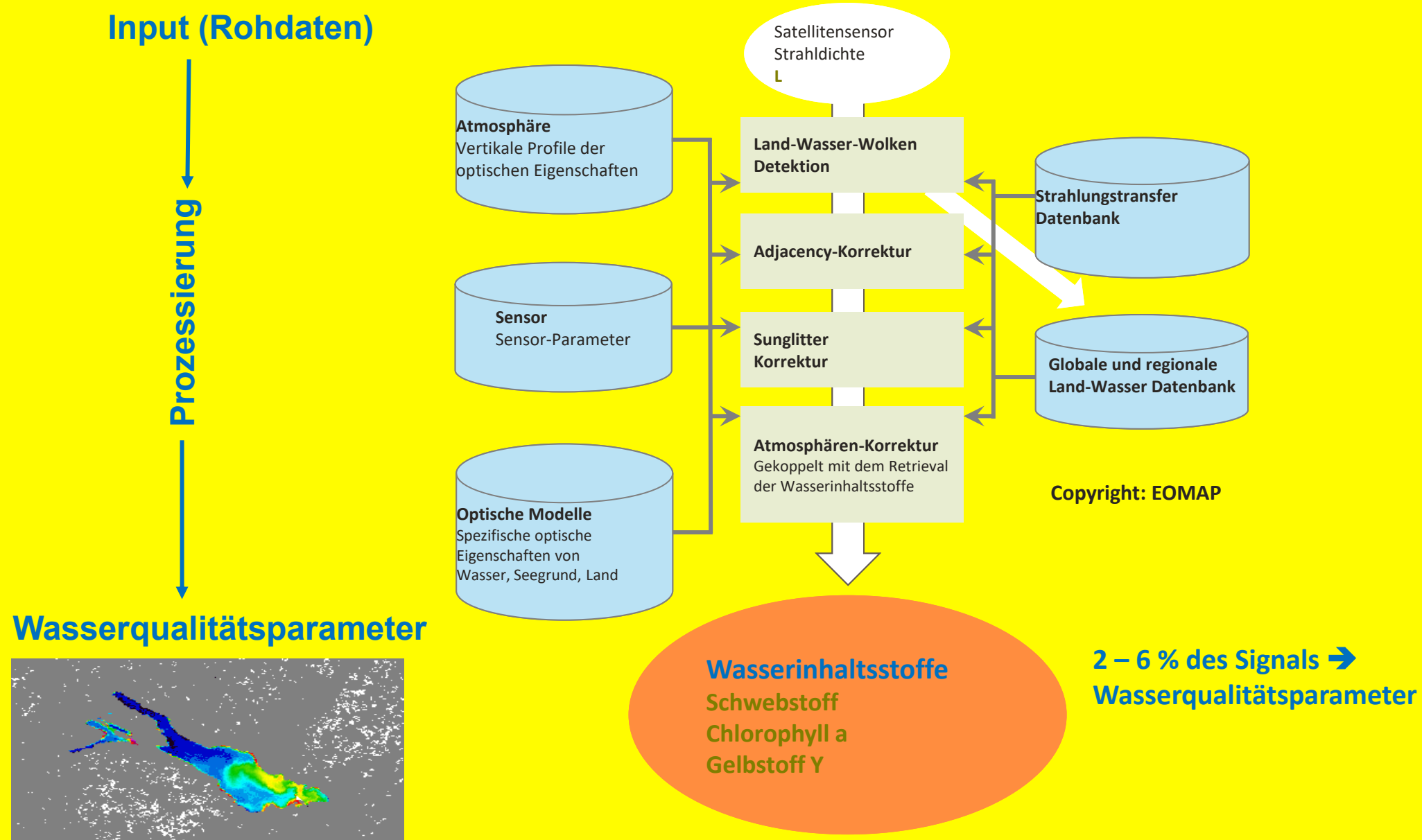
## Near real time Monitoring (eoApp AQUA)

- innerhalb von Stunden nach Überflug
- Prozessierung der Rohdaten mit eoApp AQUA
- integriert Visualisierung
- integriert statistische Analyse
- integriert Alarm-System
- intuitive Bedienung
- ➔ aktuell 50 Seen in BaWü



# Ableitung der Wasserqualitätsparameter

## ➔ MIPS - Modular Inversion and Processing System



# Workflow - Hybride Implementierung Fernerkundungsmethodik

## Kooperation zwischen KMU und öffentlicher Verwaltung

Kombination von **Fernerkundungs-Dienstleister/Serviceprovider (EOMAP)** und **LUBW-eigenen Prozessierungsalgorithmen**

### 1.) Retrospektives Gewässermonitoring WQOnline

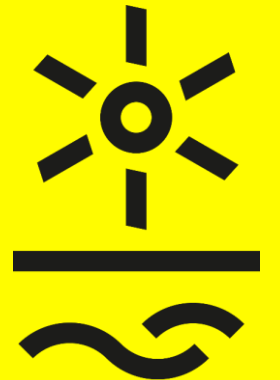
#### STEP1 KMU - Serviceprovider EOMAP (Earth Observation & Environmental Services)

- Prozessierung von Wasserqualitätsparametern (georeferenziert, atmosphärenkorrigiert)
- Datenvolumen etwa 3 – 4 TeraByte/Jahr

#### STEP2 ISF der LUBW - Prozessierung für öffentliche Verwaltung

- Aggregation der Daten (Basisunit Seejahr)
- Visualisierung der Daten
- Statistische Analysen

### 2.) **NEU** Near Real Time (Nahezu-Echtzeit) Gewässermonitoring eoApp AQUA



# Anwenderorientierte, intuitiv erfassbare Informationsprodukte

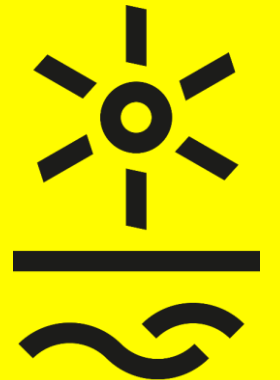
## Ziele

- Zugriff auf Satellitendaten für Nicht-FE-Experten
- nutzbar mit Standard-IT-Arbeitsmitteln Gewässerschutz
- problemlose Verwendung für Routineaufgaben und -themen der Behörden



## Portfolio von Informationsprodukten

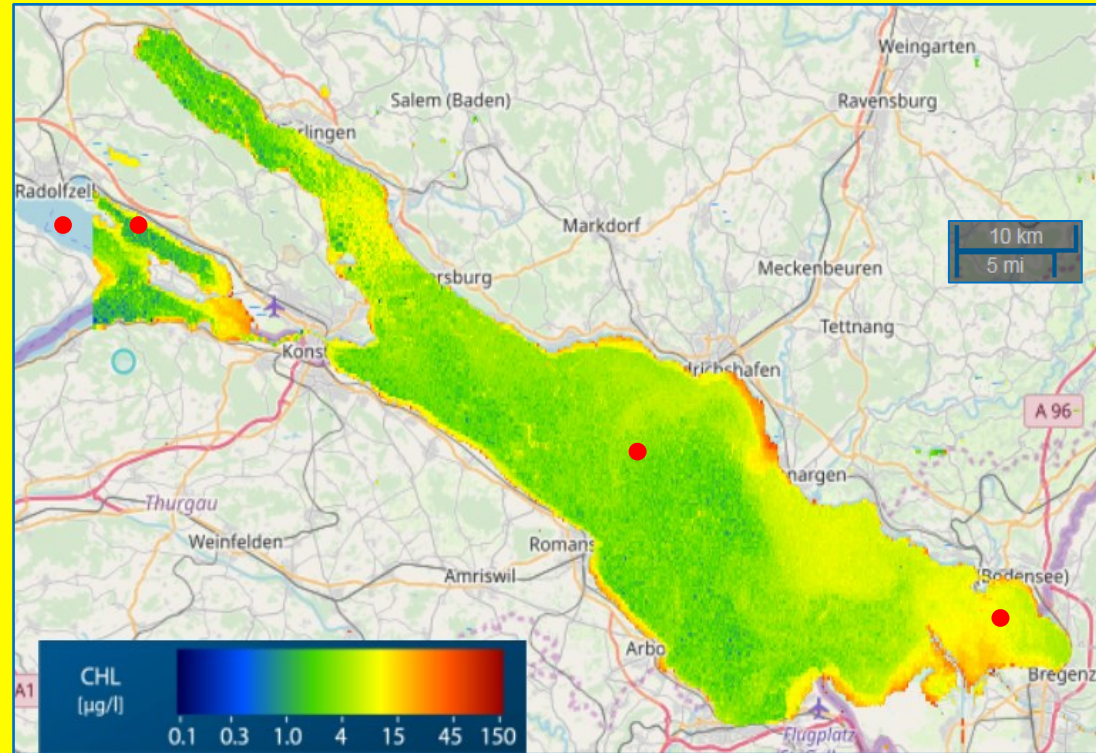
- **Zeitreihen** verschiedener Gewässerqualitätsparameter (z.B.: Chlorophyll a, Temperatur, Trübung)
- **Karten** mit seenspezifischen Informationen
- **Movies** für ausgewählte Parameter → zeitliche Entwicklung
- **Seenensembledarstellungen**



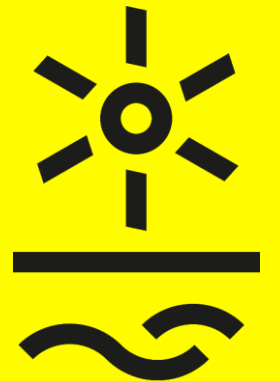
# Fernerkundung - Basisinformationen

Seename	Jahr	Parameter	Mittel_FE
Schluchsee	2016	CHL	3,55816
Federsee	2016	CHL	5,75662
Rohrsee	2016	CHL	16,7698
Schwarzenbach	2015	CHL	3,81791
Rohrsee	2014	CHL	12,3398
Bergsee	2014	CHL	14,3759
Titisee	2013	CHL	2,29599
BR1	2020	CHL	3,55816
FU	2020	CHL	5,75662
LAAR	2020	CHL	16,7698
ZE	2020	CHL	3,81791
GN	2020	CHL	12,3398

**Tabellarische Übersicht** über relevante Wasserqualitäts-Parameter für eine Vielzahl von Seen.



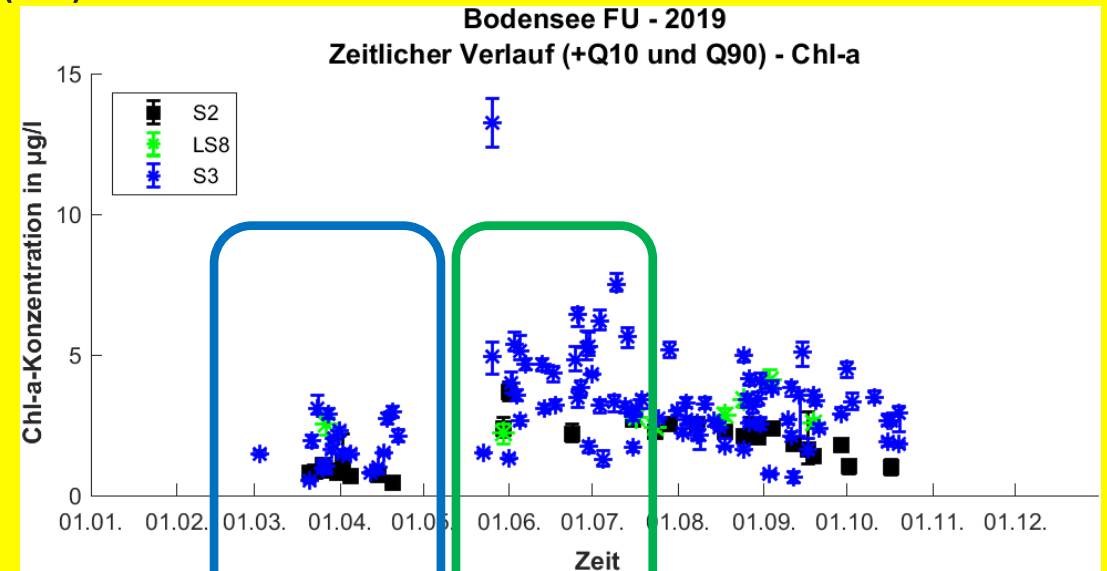
**Räumliche Verteilung** der Chl-a-Konzentration im Bodensee (S2). Zu sehen ist die räumliche Heterogenität der Algenverteilungen.



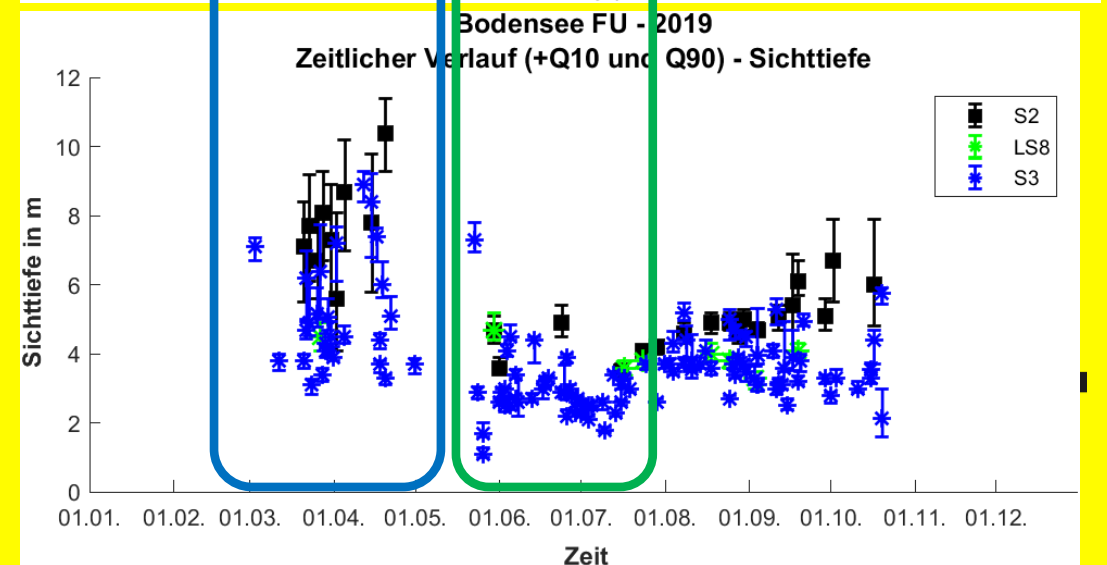
# Zeitliche Entwicklung des Gewässers

- Abbildung der **zeitlichen Dynamik** der Gewässerqualitätsparameter
- für Bodensee sehr hohe Überflugraten (1d) - Kleine Seen (5d)
- Erfassung Phänomenologie des Sees
  - **Klarwasserstadium**
  - **Algenblüte**

Bodensee 2019  
Chlorophyll a



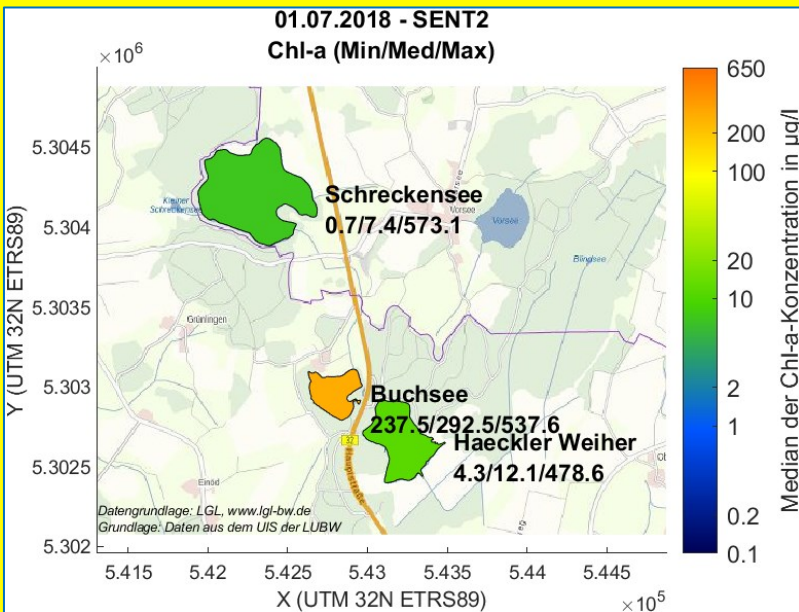
Bodensee 2019  
Sichttiefe



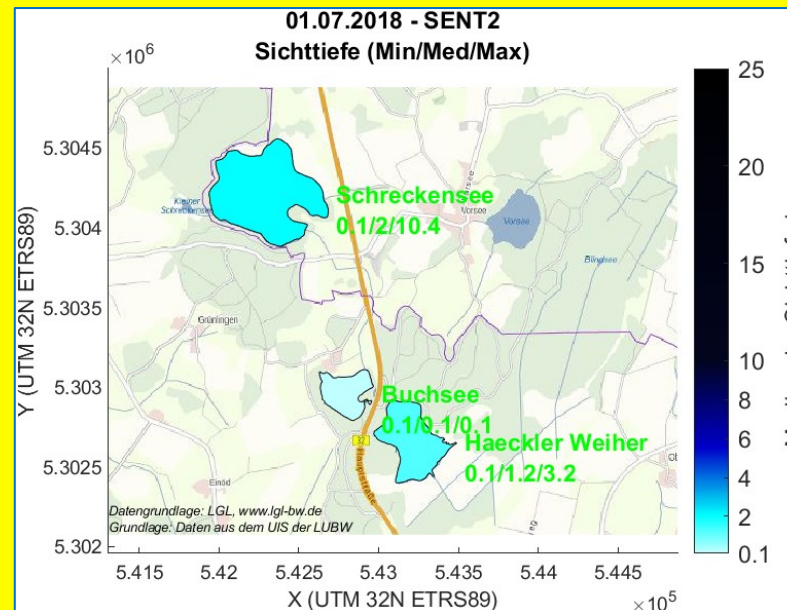
# Darstellung von Seengruppen

- Abbildungen von **Seenensembles** z.B. Blitzenreuther Seenplatte
- unterschiedliche **Gruppierungsparameter** möglich (z.B. geografisch oder administrativ - Regierungspräsidien, Landratsämter, ...)

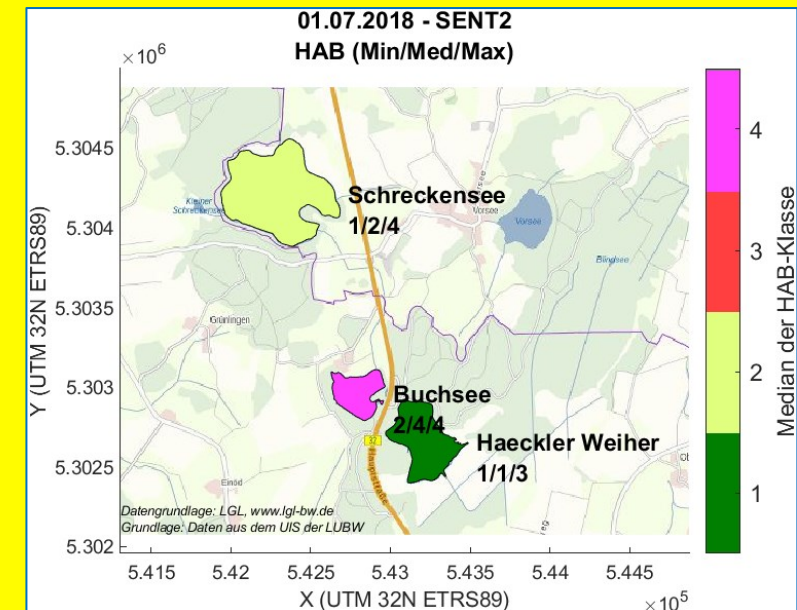
## Chlorophyll a



## Sichttiefe



## Blaualgengindikator



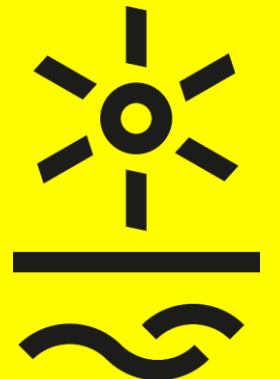
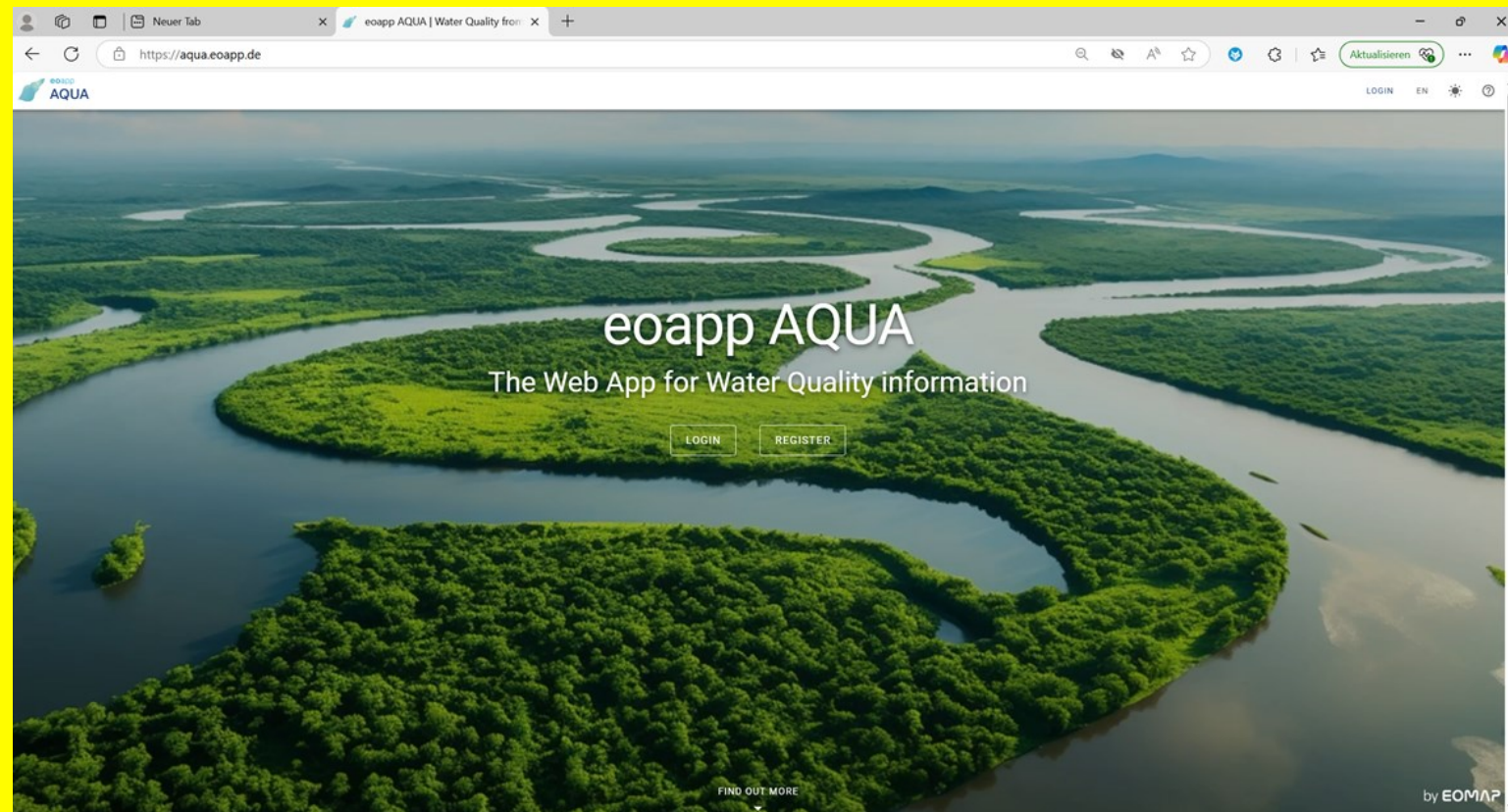
# Übergang zu near real time Gewässermonitoringsystem eoApp AQUA

Start 2024 → Implementierung und Test NRT-/Echtzeit-Fernerkundungssystem eoApp AQUA

- Monitoring für 50 priorisierten Seen
- zeitnahe operative Prozessierung der Satellitendaten (wenige Stunden bis 1 Tag nach Überflug)
- **inkl. Visualisierung**
- **inkl. Alarmsysteme**

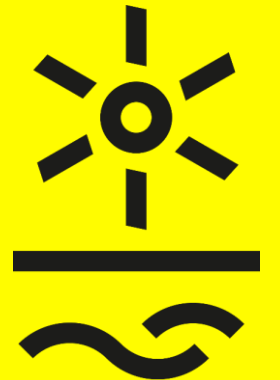
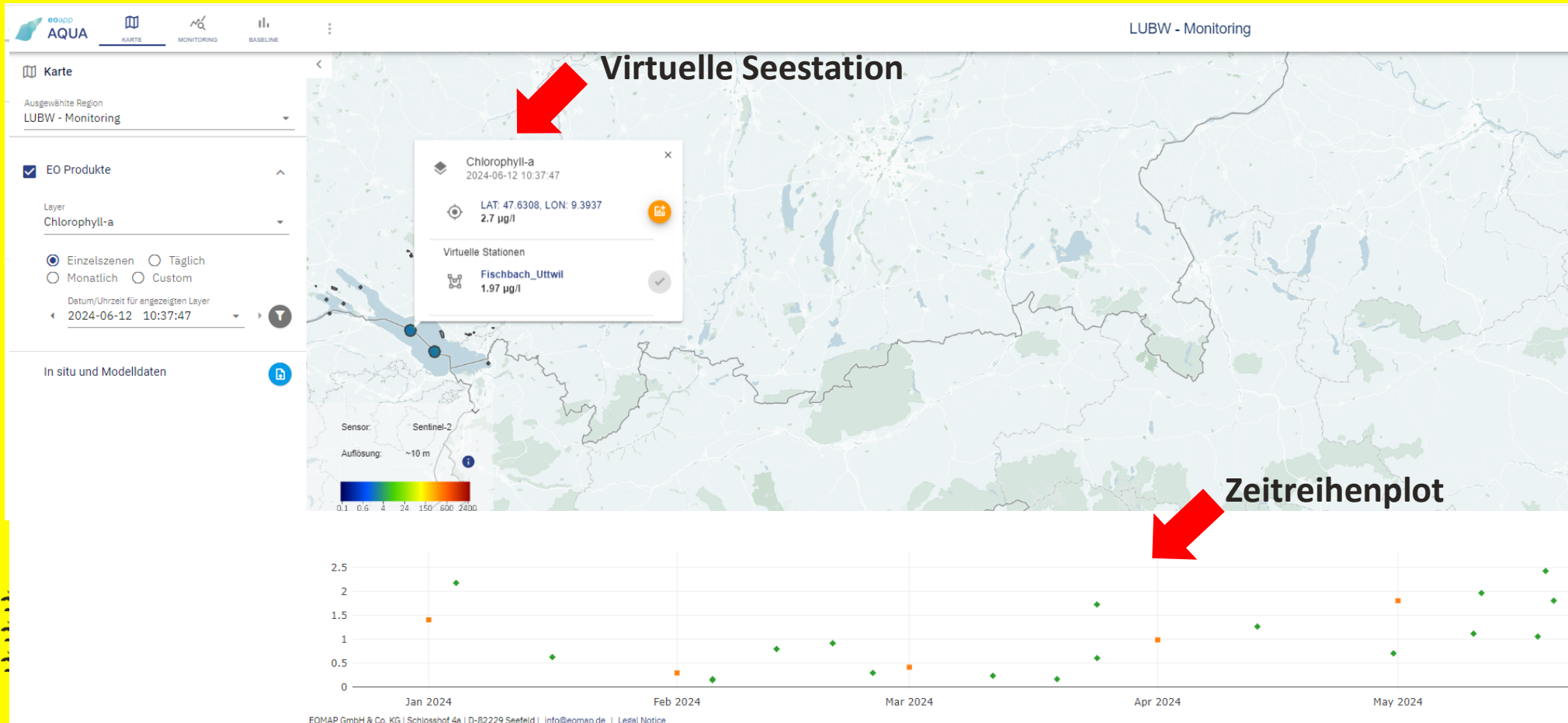
## Funktionalitäten

- Karte
- Monitoring
- Baseline



# Übersichtsdarstellung

- **Kartendarstellung** – Übersicht und detaillierte Datendarstellung
- Abrufen von WAQ-Daten für einzelne Seen
- verschiedene Aggregierungszeiträume (Einzeltermin, Tag, Monat, benutzerdefiniert)



# Monitoring und Alarme

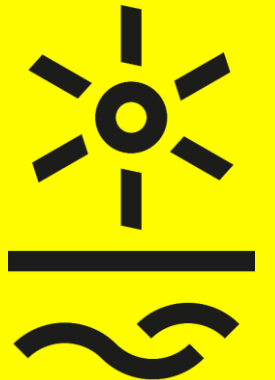
- **Monitoring und Alarm-Tableau** → **Setzen von Limits/Thresholds (global, regional, pro See)**
- **Liste der Warnungen und Alarme und übersichtliche Monitoring-Übersichtskarte**
- → **Alarmmeldungen per Email**

**Liste der Warnmeldungen** LUBW - Monitoring **Übersichtsgrafik**

Region: LUBW - Monitoring | Layer: Chlorophyll-a | Startdatum: | Enddatum: |  Gesamter Zeitraum

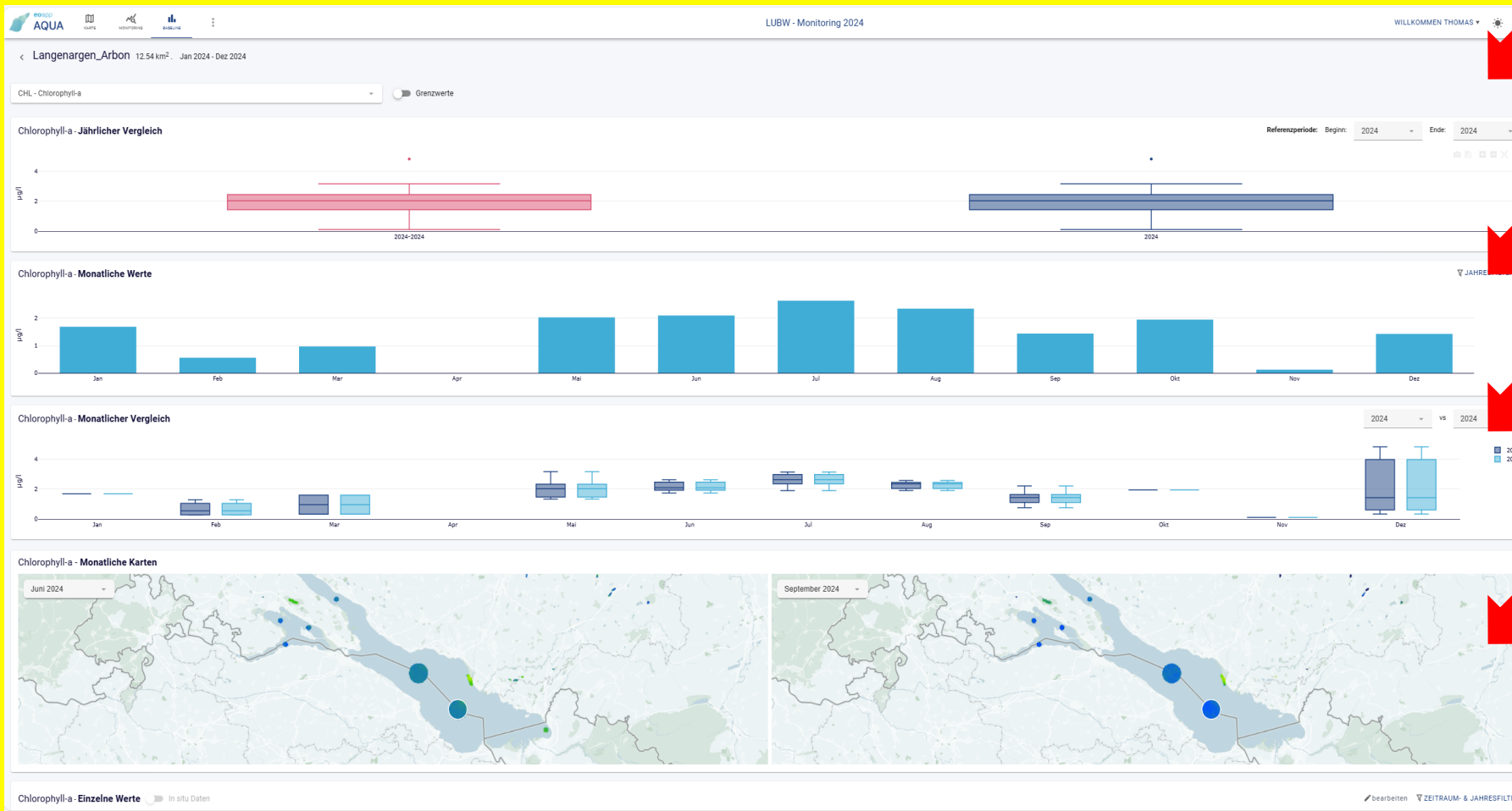
Virtuelle Stationen	Aktueller Status	Vorheriger Status	Benachrichtigungen / Warnungen
Iller_Stausee	⚠️ 2024-06-12 44.77 µg/l	⚠️ 2024-06-12 30.83 µg/l	⚠️ 6 / ⚠️ 9
Illmensee	⚠️ 2024-06-07 332.54 µg/l	✅ 2024-05-28 1.96 µg/l	⚠️ 1 / ⚠️ 0
FWZ_Schussen	⚠️ 2024-06-12 22.53 µg/l	✅ 2024-06-12 13.16 µg/l	⚠️ 4 / ⚠️ 14
Alter_Minthesee_Russheimer_Alt	⚠️ 2024-06-07 20.13 µg/l	✅ 2024-05-28 1.27 µg/l	⚠️ 1 / ⚠️ 1
Fischbach_Uttwil	✅ 2024-06-12 1.92 µg/l	✅ 2024-06-12 2.6 µg/l	⚠️ 0 / ⚠️ 0
Langenargen_Arbon	✅ 2024-06-12 2.05 µg/l	✅ 2024-06-12 2.63 µg/l	⚠️ 0 / ⚠️ 0
Taubergliessen_Rennkehle	✅ 2024-06-12 19.61 µg/l	✅ 2024-06-11 15.96 µg/l	⚠️ 1 / ⚠️ 0
Niederrimsiger_See	✅ 2024-06-12 1.77 µg/l	✅ 2024-06-07 1.24 µg/l	⚠️ 0 / ⚠️ 0

©OMAP GmbH & Co. KG | Schlosshof 4a | D-82229 Seefeld | [info@omap.de](mailto:info@omap.de) | [Legal Notice](#)



# Zeitliche Entwicklung

- **Zeitreihenanalyse** – Vergleich von Zeiträumen (z.B. monatlich, jährlich)
- **Gewässerentwicklung** anhand von Basisgrafiken

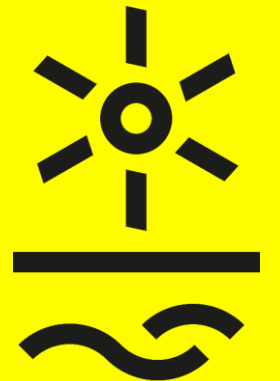


Boxplot Jahresvergleich

Boxplot Monat

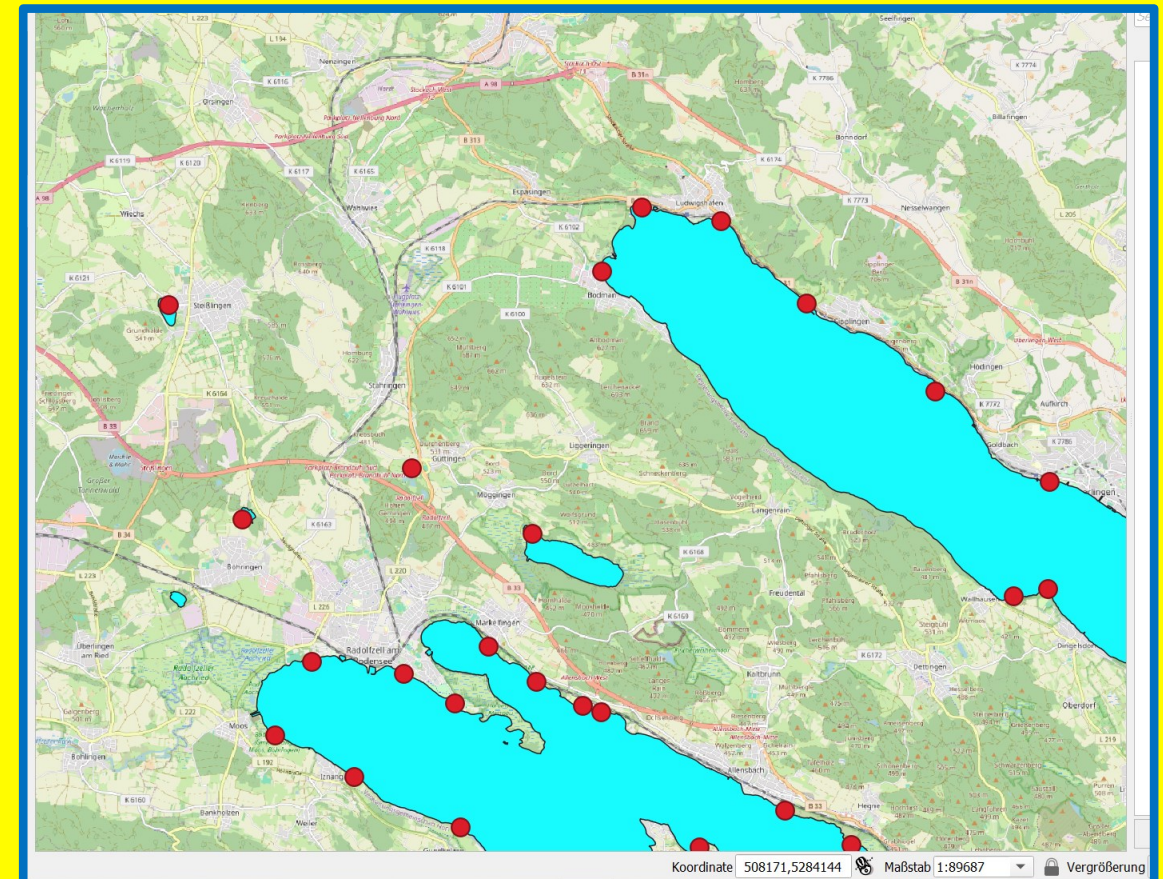
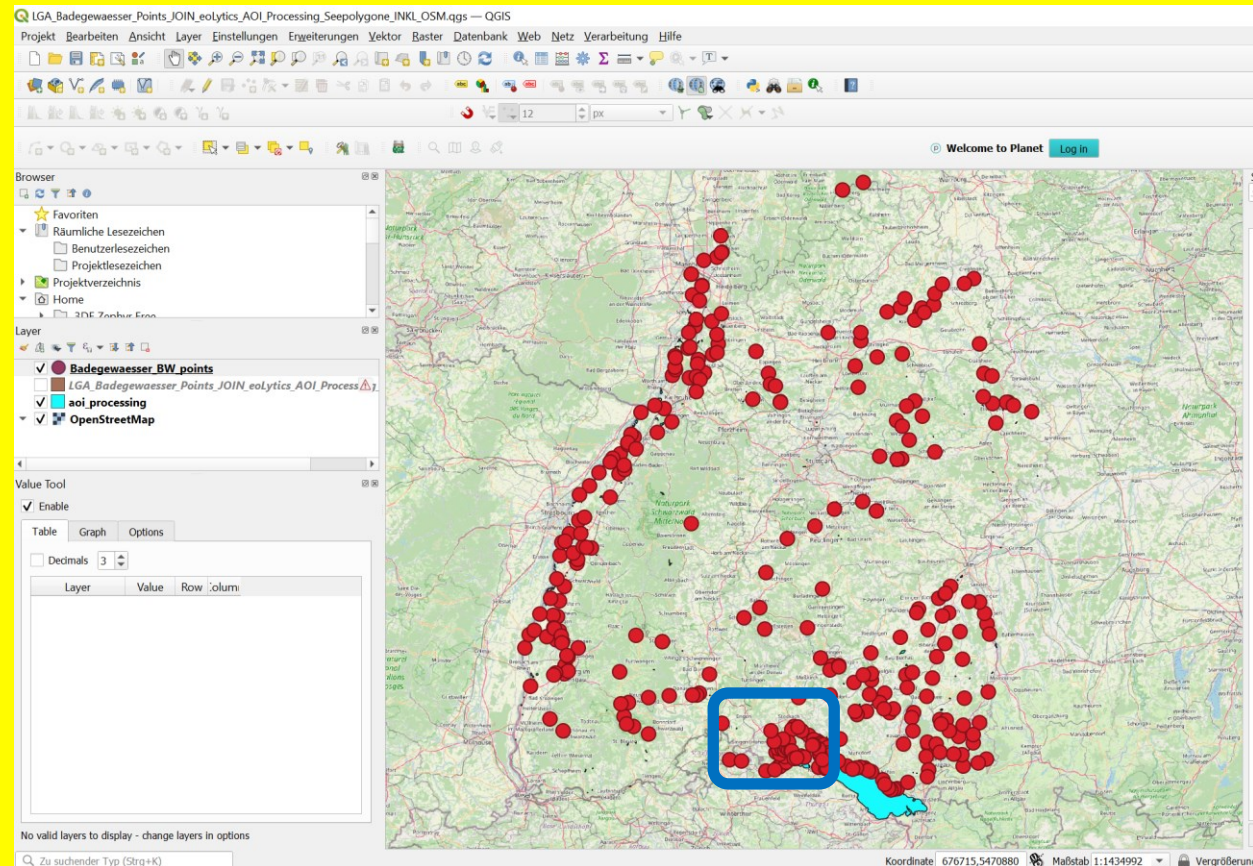
Boxplot Monatsvergleich

Übersicht See



# Nächste Schritte - Abgleich Badegewässermonitoring (LGA) und satellitenbasierten Gewässermonitoring (LUBW)

- Schnittmengen zwischen Satellitenmonitoring SATWAQMON der LUBW (**blaue Polygone**) und Badegewässermonitoring-Messstellen (**rote Punkte**) des Landesgesundheitsamtes (LGA)
- Informationen zu Blaualgen/Cyanobakterien - **Synthese in situ Monitoring** ↔ SATWAQMON



# Nächste Schritte - multiskalare Fernerkundung

## Monitoring von Wasserpflanzen

- Verwendung von Drohnen- und Satelliteninformationen → unterschiedliche Auflösungen
  - → LGL-Projekt „Hochauflösende Satellitendaten in der Landesverwaltung Baden-Württemberg“
- **WICHTIG:** Abgleich Fragestellung vs Informationen der verschiedenen Plattformen {DFE, HR, VHR}

Satellit Sentinel 2 (30.08.2024)  
räumliche Auflösung dx = 30 m  
→ grober Überblick



Satellit Pleiades (30.08.2024)  
räumliche Auflösung dx = 0,5 m  
→ Detailinformation Verteilung



Drohnenbefliegung (23.08.2024) räumliche  
Auflösung dx=1,5 cm  
→ höchstauflösend – Artbestimmung ?



# Zusammenfassung satellitenbasiertes Seenmonitoring

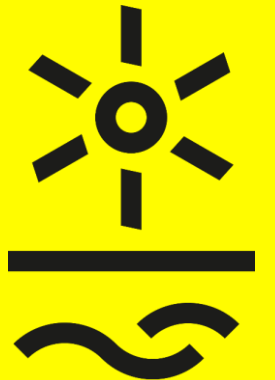
- Einsatz der Satellitendaten für ein landesweites, harmonisiertes Gewässermonitoring
  - retrospektiv für 2022/2023/2024 Seenensemble von 50/200/200 Seen
  - hohe zeitliche und räumliche Informationsdichte
  - landesweite, methodisch einheitliche Erfassung der Gewässer
- In 2024 erstmalig Implementierung (NRT) Echtzeit-Satellitenmonitoring eoApp AQUA
  - 50 priorisierte Seen
- Badegewässermonitoring - Kooperation LUBW und Landesgesundheitsamt (LGA)
- In Zukunft multiskalare Fernerkundung ?
- Synthese vor Ort Seenmonitoring ↔ satellitenbasiertes Monitoring

In situ Monitoring



Satellitenbasiertes  
Monitoring

„Man kann nur schützen, was man kennt“ ... 50 Seen in 2022 → 200 Seen ab 2023/2024



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

## Dank an

- Nathalie Karle und Kristina Popp und Rebecca Kutzner (**ISF der LUBW**)
- Bastian Ellmenreich, Jan Tomaschek, Albrecht Schultze, Jennifer Krauß (**Koordinierungskreis Digitalisierung KoDi im UM**)
- Kolleginnen und Kollegen des **ISF der LUBW**
- Thomas Heege, Karin Schenk, Philipp Bauer, Christoph Deller, Hendrik Bernert (**EOMAP**)

