Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

Überwachung von EU-Badegewässern mithilfe satellitengestützter Fernerkundungsmethoden

Dr. Christoph Deller

Referat 65
„Allg. Wasserchemie, Anorg. Spurenanalytik und Badegewässerüberwachung“

Landesamt für Umwelt, RLP

Inhalte

- Motivation
- Rechtliche Aspekte
- Schema zur Risikobewertung
- Badegewässerüberwachung in RLP – herkömmlicher Prozess
- Satellitenfernerkundung als neues Werkzeug?
- Beispiele aus der Evaluationsphase 2020: Aussagen zur Anwendbarkeit
- Praxisbeispiele aus dem Jahr 2022

Motivation

Warum Badegewässerüberwachung?

„…Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit…“ (BadGewV RLP)

Verbraucherschutz/Betriebssicherheit

- Focus A: Pathogene Keime
- Focus B: Massenentwicklungen von Cyanobakterien (“Blaualgen”)

1. Früherkennung
2. Quantifizierung
3. Risikobewertung
4. Entwicklungsverfolgung
5. Sicherheitsmaßnahme begleiten

Rechtliche Aspekte

RheinlandPfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

4.3.2006 DE Amtsblatt der Europäischen Union L 64/37

RICHTLINIE 2006/7/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 15. Februar 2006

über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG

juris-Abkürzung:	BadGewV RP	**Quelle:**	
Fassung vom:	06.10.2015		
Gültig ab:	16.10.2015	**Gliederungs-Nr:**	75-50-13
Dokumenttyp:	Verordnung		

Landesverordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässer (Badegewässerverordnung) Vom 22. Februar 2008

§ 8
Gefährdung durch Cyanobakterien

(1) Deutet das Profil des Badegewässers auf ein Potential für eine Massenvermehrung von Cyanobakterien hin, so führt das Landesamt für Umwelt geeignete Überwachungsmaßnahmen durch, damit Gefahren für die Gesundheit rechtzeitig erkannt werden können.

(2) Kommt es zu einer Massenvermehrung von Cyanobakterien und wird eine Gefährdung der Gesundheit festgestellt oder vermutet, so ergreift die nach § 98 Abs. 3 des Landeswassergesetzes zuständige Wasserbehörde unverzüglich angemessene Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Vermeidung einer Exposition gegenüber dieser Gefahr, einschließlich der Information der Öffentlichkeit.

Schema zur Risikobewertung

Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

Sichttiefe (Secchi) – (Blaualgen) & Chlorophyll-a-Konzentrationen

Stufe	Einschätzung durch visuelle Prüfung (Vor-Ort und Mikroskopie)	Maßnahmen	Alternative und/oder ergänzende Einschätzung durch Analysen
1. Erhöhte Aufmerksamkeit	Trübung mit Sichttiefe < 2 m und Vorkommen von Cyanobakterien	Überwachungshäufigkeit während der Badesaison ggf. verdichten; Allgemeine Aufklärung und Information über dieses Badegewässer	> 1 mm³/L Cyanobakterien-BV oder > 5 µg/L Cyanobakterien-Chl.a*
2. Warnstufe	Schlieren durch Cyanobakterien, jedoch keine geschlossene Schicht aufgerahmter Cyanobakterien oder keine Schlieren, aber grünliche Trübung durch Cyanobakterien mit Sichttiefe < 1 m	Warnhinweise (Wirkung von Cyanobakterien, Verhaltenshinweise) für Badende (insb. Kleinkinder) und wassersporttreibende Personen veröffentlichen	> 3 mm³/L Cyanobakterien-BV oder > 15 µg/L Cyanobakterien-Chl.a*
3. Alarmstufe	Große Bereiche mit geschlossener Schicht aufgerahmter Cyanobakterien ("Teppich") oder ausgeprägte grüne Trübung durch Cyanobakterien mit Sichttiefe < 0,5 m	Warnhinweise (Wirkung von Cyanobakterien, Verhaltenshinweise) für Badende (insb. Kleinkinder) und wassersporttreibende Personen veröffentlichen; Ggf. vorrübergehendes Badeverbot bzw. Sperren**	> 15 mm³/L Cyanobakterien-BV oder > 75 µg/L Cyanobakterien-Chl.a*

Bundesgesundheitsbl 2015 · 58:908–920
DOI 10.1007/s00103-015-2192-8
Online publiziert: 8. Juli 2015
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Bisherige Maßnahmen:

Badegewässerüberwachung in RLP

Während der Badesaison (1.5. – 31.8.):

→ Probefahrten zu den 67 EU-Badegewässern (Laborbus, Probennehmer…)
→ Händische Ermittlung von Sichttiefen & Trübungen vor Ort
→ Chlorophyllmessungen (z.T. mit Messsonden)
→ Bestimmung der Chlorophyllgehalte UND mikroskopische Planktonanalyse im Labor zur Bestätigung/Absicherung der Messwerte

Situation

	Anzahl
Risikogewässer	28
Nicht-Risikogewässer	39
Probefahrten an Risikogewässer	~ 120
Probefahrten an Nicht-Risikogewässer	~ 140
Beprobungen an Risikogewässer	~ 4 - 8
Beprobungen an Nicht-Risikogewässer	~ 2 - 4
Chlorophyllmessungen/Jahr	~400

Statistik

→ geringe Beprobungsfrequenzen – hoher Aufwand im Labor, hoher Ressourcenbedarf
→ Restrisiko („Algenblüte übersehen“) bleibt bestehen…

Probleme

Fernerkundung als zusätzlicher Baustein?

RheinlandPfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

Evaluationsphase: Badesaison 2020

Während der Vegetationsperiode (1.4. – 30.9.):

→ Überwachung von 20 Gewässern mit 10 x 10m (Sentinel 2A/B) - 20 Gewässer (Seen und Seensysteme)
→ **Analyse von hyperspektralen Kopernikus-Daten durch externen Dientleister**
→ Gewässer mit unterschiedlicher Größe, Ufer(vegetations)struktur, Trophiestufe, Blaualgen-Risikopotential
→ Monitoring der Parameter **Trübung, Sichttiefe, Chlorophyll, Blaualgenindikator**
→ Beobachtung des zeitlich „horizontalen Verlaufes“
→ Postsaisonaler Abgleich der Messwerte mit den Werten der vor-Ort Messungen

Plan

→ Statt bisher 5-6 Datensätze/Risikogewässer und 2-3 Datensätze/Nicht-Risikogewässer nun (je nach Wetterlage) bis zu 20 Datensätze. → Deutlich höhere Beprobungsfrequenz.

Vorteile?

→ Ist eine **absolute Plausibilisierung** (keine Kalibration) der Satellitendaten (SAT) mit vor-Ort-Daten (LIVE) für eine (semi)quantitative Aussage **möglich oder nötig**?
→ Genügen ggfl. „**Relativdaten**“ (Betrachtung des zeitlichen Verlaufs) zumindest zur Erkennung und Verfolgung der Entwicklung von Algenblüte?
→ Gibt es **Beschränkungen** (Seengröße, Uferstruktur)? Welche?
→ Können SAT-Daten die **LIVE-Daten teilweise** ersetzen und die **Einsatzplanung verbessern**?

Fragen…

Vergleich:
Überwachung mit Satellidatendaten vs. Vor-Ort Überwachung

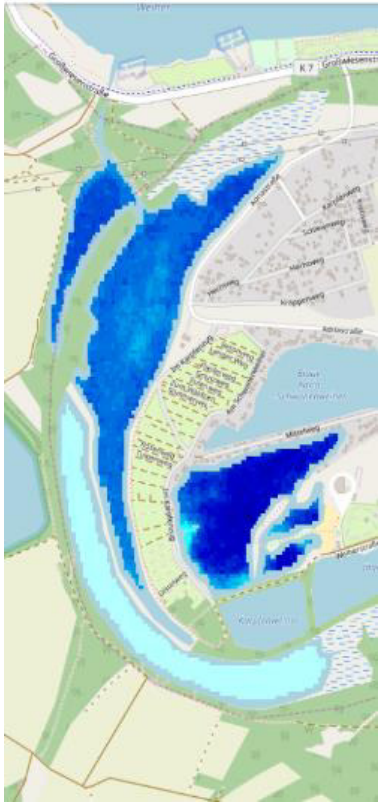
	Satellit	Vor-Ort
Anzahl Beprobungen	8-12 Überflüge/Monat	Je nach Risikoeinstufung: 3 – 8 Beprobungen/Saison (Mai-Aug)
Wetterabhängigkeit	Ja, Erfolgswahrscheinlichkeit bei ca. 35%. Somit Anzahl der auswertbaren Bilder 3-4/Monat, Bilder nicht gleichmäßig zeitlich verteilt	Nein
Ressourcenabhängigkeit	Keine, Ausreichende finanzielle Mittel vorausgesetzt: ganzjährig möglich	Nur Mai-Mitte September möglich. Mai: nur 1 bis max. 2 Tour(en)/Gewässer, hohe Anfälligkeit
Beprobungsort	Seemitte und nicht beschattete Bereiche, i.d.R. ohne Uferbereiche, niedrige Penetrationstiefen	Ufer, Badestelle, Probennahme ggf. auch unterhalb der Oberfläche möglich
Informationsdichte (Chlorophyll/Sichttiefe)	Hoch: Flächige Messungen, Hochaufgelöste oberflächennahe Detailinformation zum gesamten Gewässer	Niedrig: Punktuelle Beprobungen, wenige Informationen über Situation abseits der Badestelle und keine Informationen Seemitte
Abhängigkeit der Datenqualität von Gewässergröße/ Trophie/Morphologie	Ja, Anzahl der auswertbaren Pixel steigt mit der Gewässergröße	Unabhängig
Auswerteaufwand	Zur zeit sehr hoch, Projekt mit explorativem Charakter, keine Routine/Standards	Niedrig
Information zur Algentoxizität	Keine	Durch Planktonuntersuchungen

Beispiel 2020:
„Neuhofener Altrhein“/„Blaue Adria“ (~50 ha)

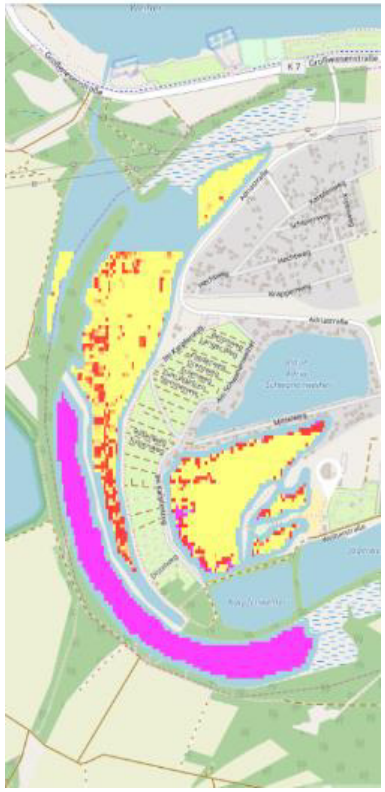
Untersuchungsumfang – kritische Parameter

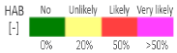
Chlorophyll-a | July 23, 2020

Secchi Depth | July 23, 2020



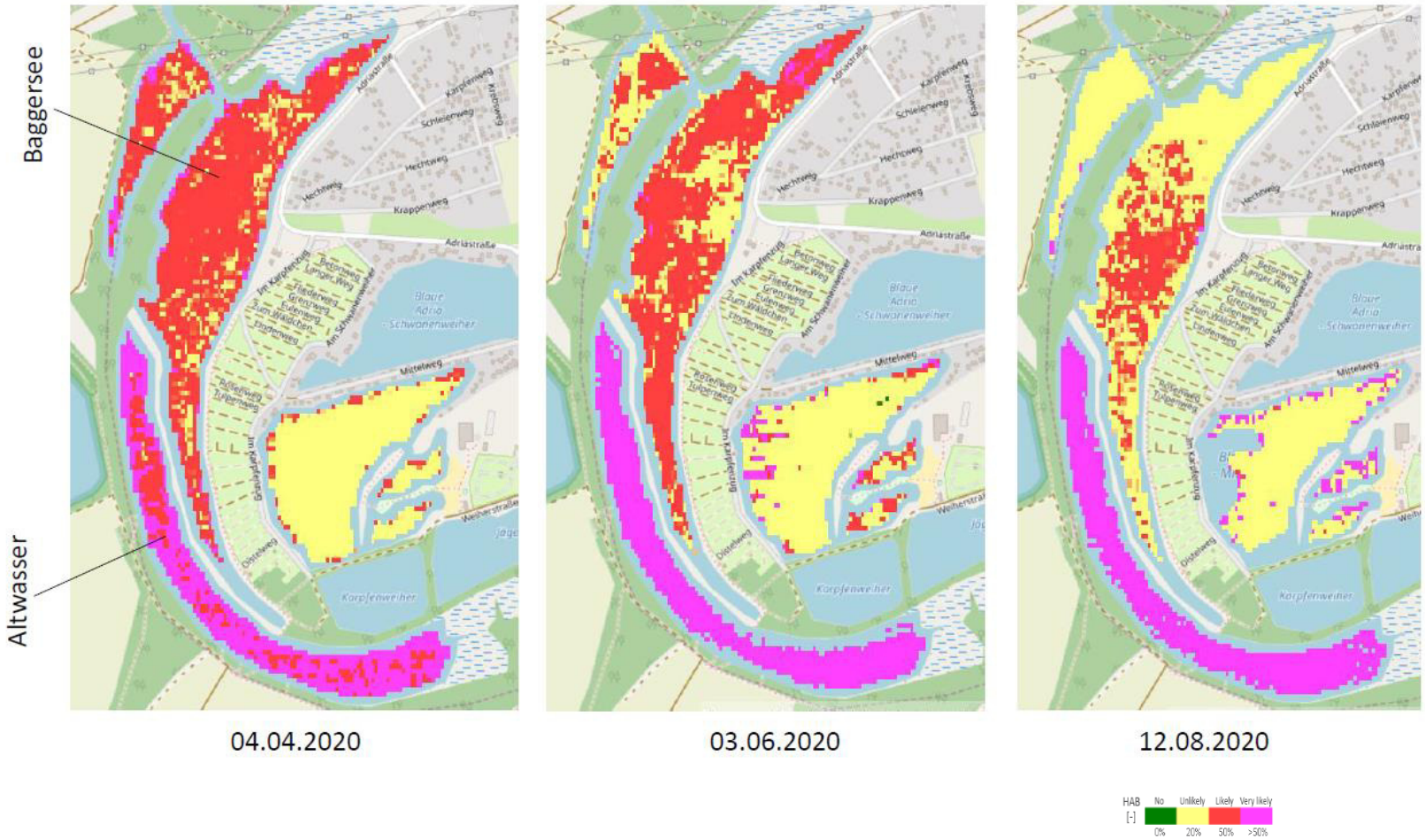
Hab Indicator | July 23, 2020





Beispiel 2020:
„Neuhofener Altrhein“/„Blaue Adria“ (~50 ha)

Der HAB-Indikator



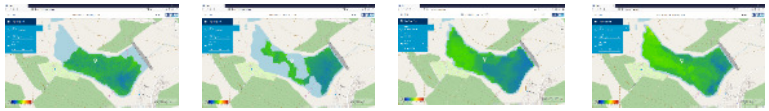
Beispiel 2020: „Krombachtalsperre“ (91 ha)

Saisonale Entwicklung Chlorophyllkonzentrationen

05/20

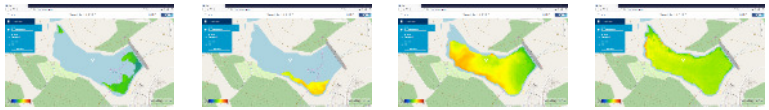
3 2 4 3 9 2 2 µg/l Chl-a

06/20



4 4 5 7 µg/l Chl-a

07/20



8 127 93 46 µg/l Chl-a

08/20

26 13 11 13 µg/l Chl-a

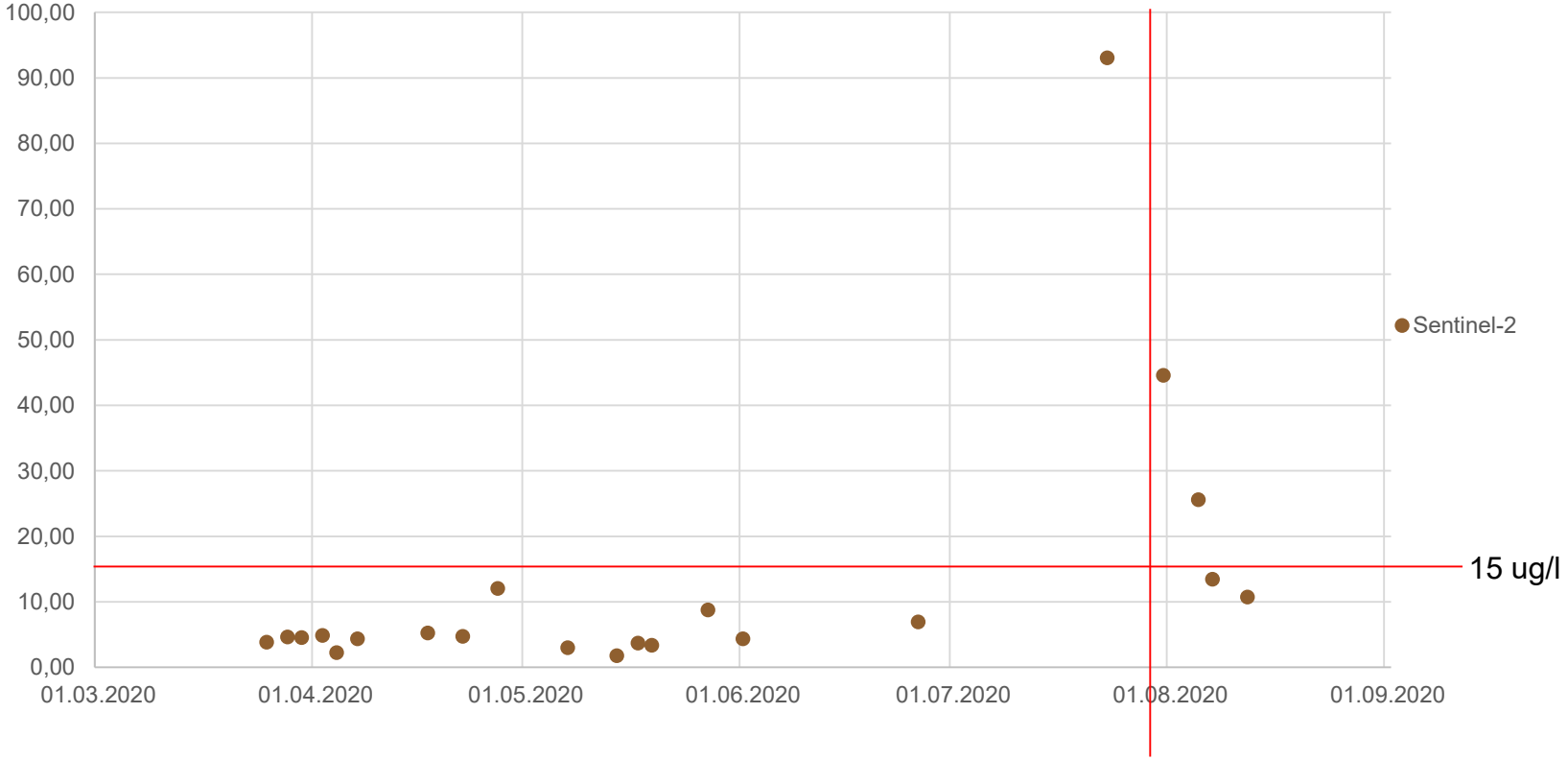
09/20

12 18 4 10 17 5 µg/l Chl-a

- Hohe Gesamtzahl an Szenen u8nd auswertbaren Bildern
- Szenene mit niedriger Pixel-Anzahl
- Wetterabhängigkeit: Längere Perioden ohne Information: insbesondere im Juni – Juli (bis tzu 3 Wochen…)

Beispiel 2020: Krombachtalsperre

Chlorophyll-a Daten im saisonalen Verlauf

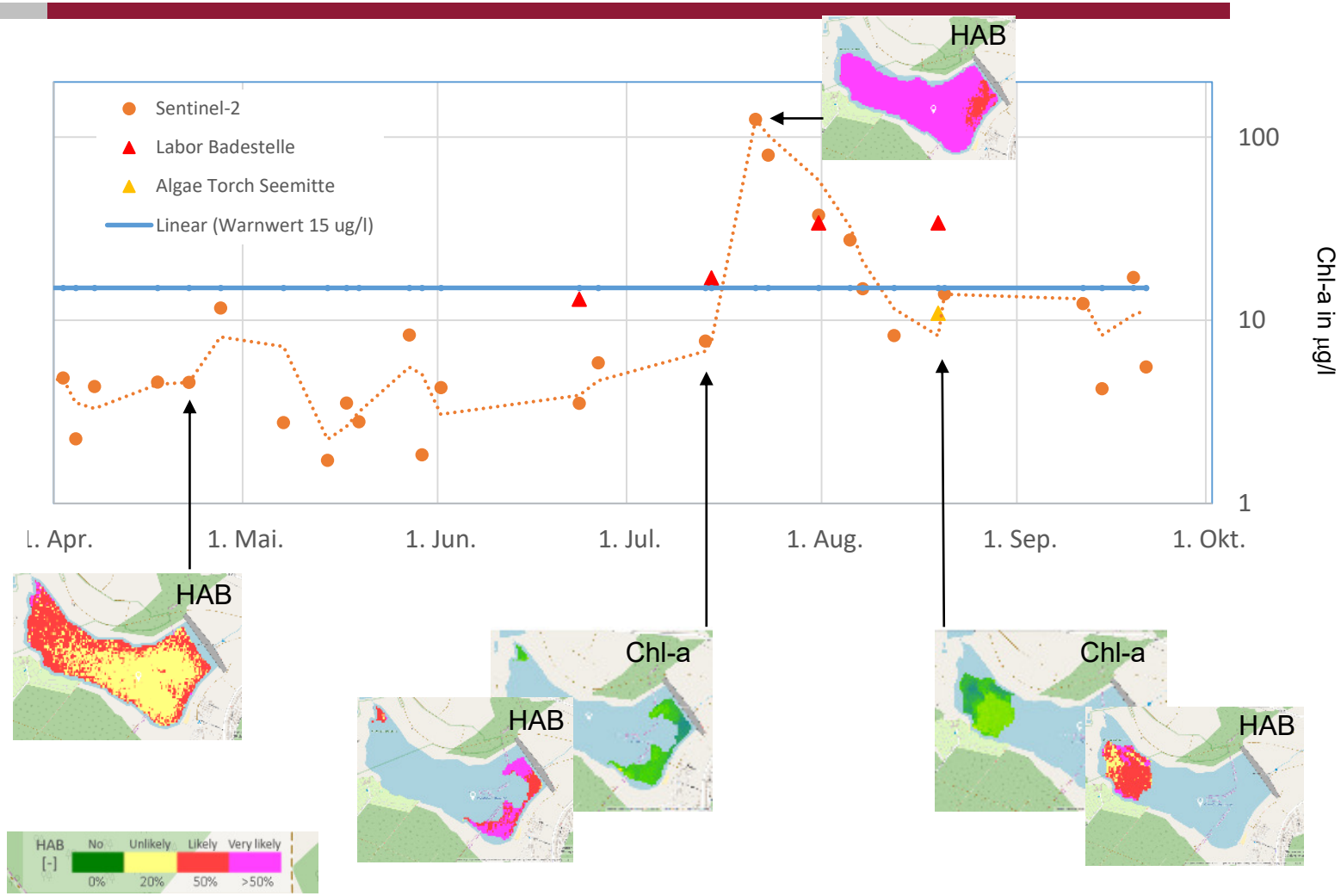


Vor-Ort-Messungen: **Warnstufe** seit 31. Juli

Beispiel 2020: Krombachtalsperre

Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

Verifizierung (absolut) von Chlorophyllkonzentrationen und Blaualgenrisiko



Beispiel 2020 : Krombachtalsperre

Rheinland-Pfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

Vergleich von Satellitendaten und Vor-Ort-Messergebnissen

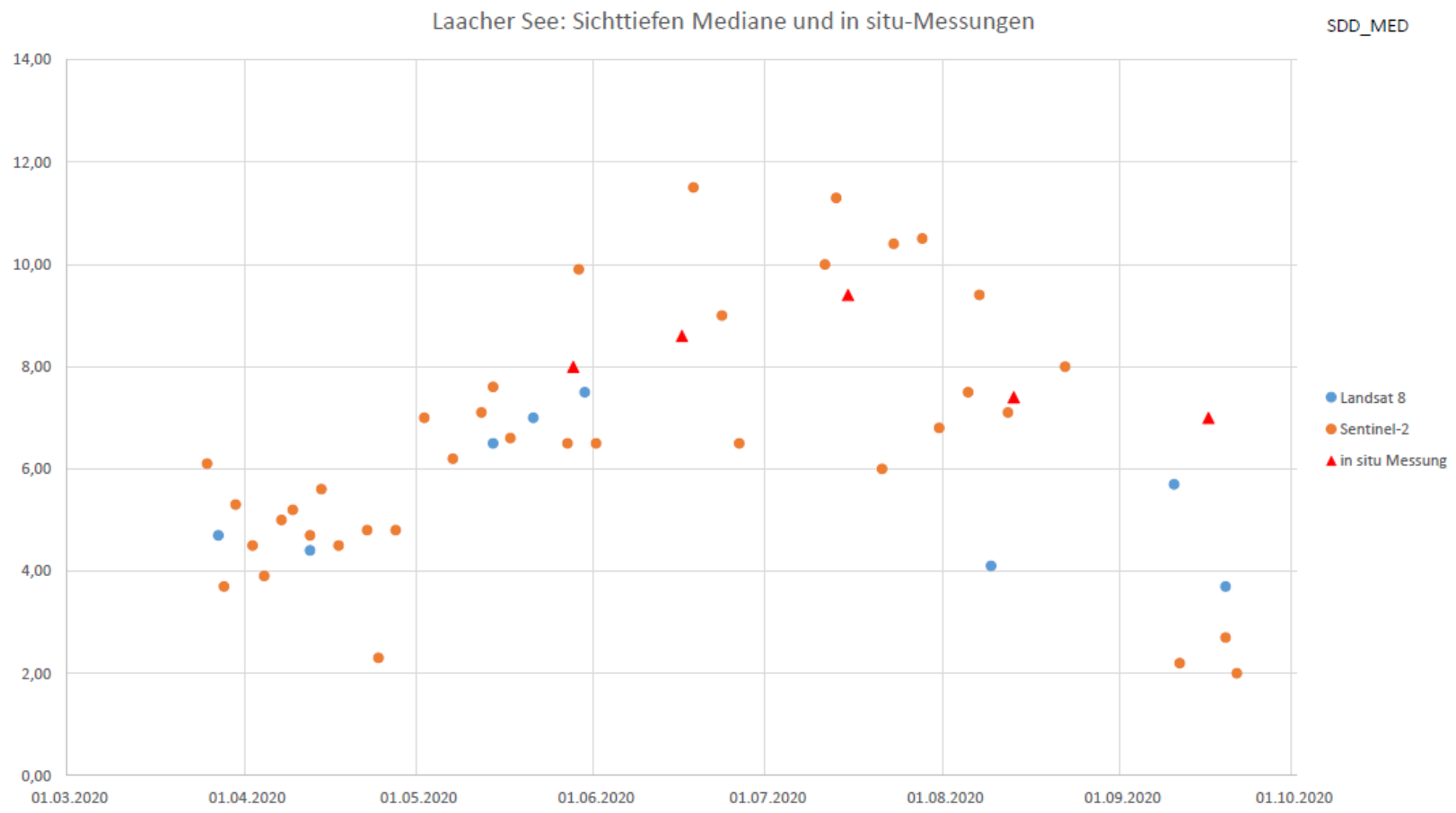
Date on site sampling	19.08.2020	31.07.2020	14.07.2020	23.06.2020	29.05.2020
Secchi depth in m	1,20	0,90	1,70	1,80	> 2
Chlorophyll a in µg/L	34	34	17	13	n/a
Date of satellite scene	20.08.2020	31.07.2020	13.07.2020	23.06.2020	29.05.2020
Secchi depth in m	1,20	0,50	1,90	3,20	4,70
Chlorophyll a in µg/L satellite	14	38	8	4	2
HAB-Indicator	likely	very likely	very likely	likely	unlikely
Percentage of evaluated pixels	19	84	10	44	13
	West shore	Full lake	Bathing site	Bathing site	Bathing site

← Zeit

… weitere Analysen 2020 von ~20 EU-Badegewässern

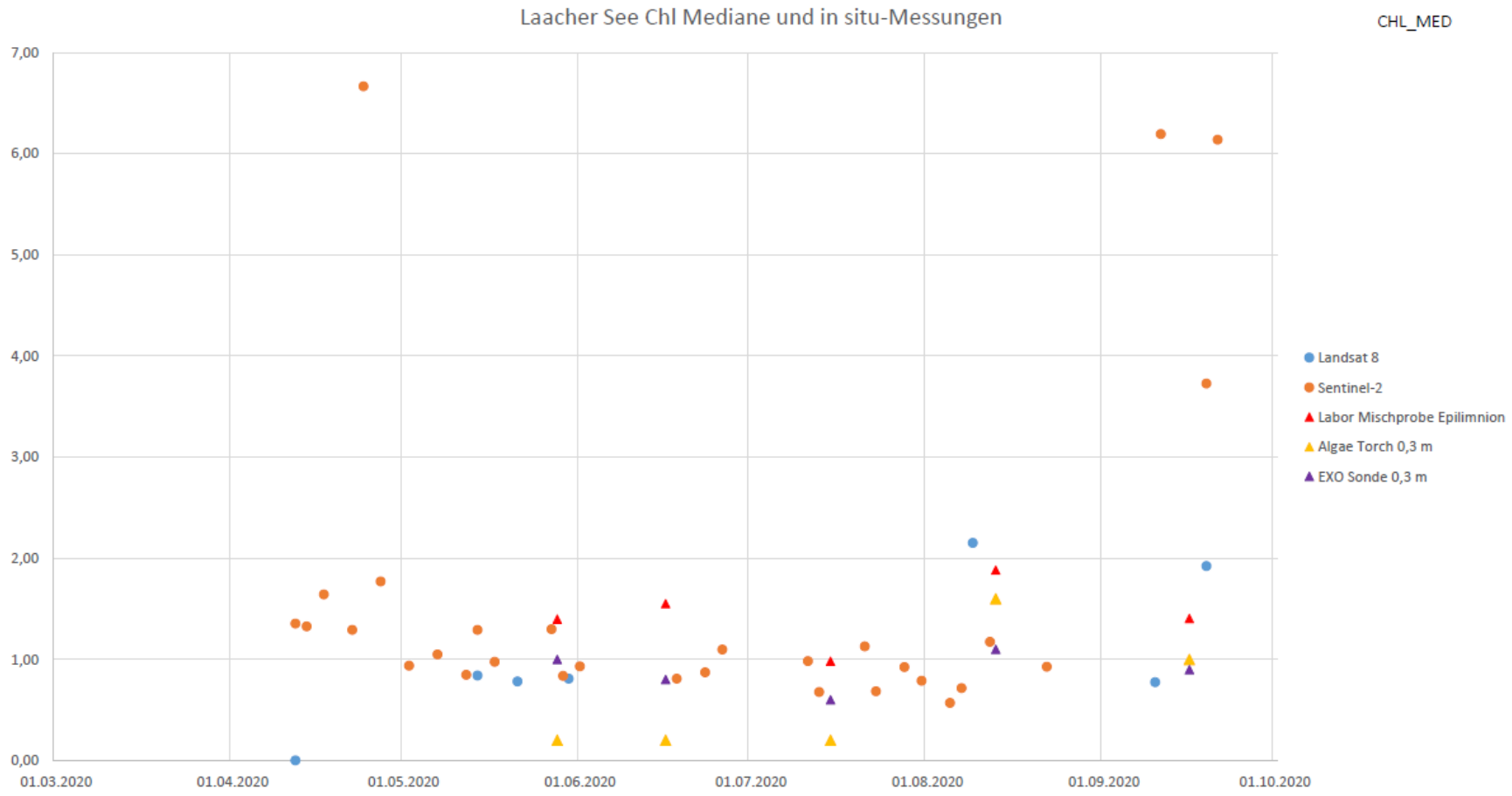
Beispiel 2020 : Laacher See - Sichttiefen

Vergleich von Satellitendaten und Vor-Ort-Messergebnissen



Beispiel 2020 : Laacher See – Chlorophyll-a

Vergleich von Satellitendaten und Vor-Ort-Messergebnissen



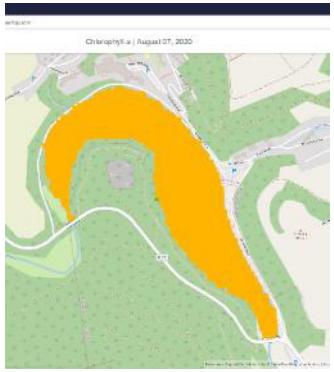
(Einige) Dateninterpretationsansätze und - Werkzeuge

RheinlandPfalz
LANDESAMT FÜR UMWELT

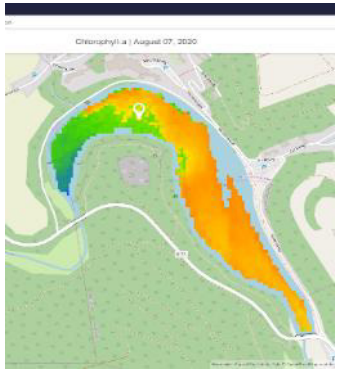
Heterogenität von Chl-a-Verteilung// Plausibilisierung durch Parameterkorrelationen

Stausee Bitburg

Mittelwert



Einzelpixel



Heterogenität messbar über Standardabweichung der Einzelwerte

Einzelpixelbetrachtung und Datenqualität (=Pixelmenge und Pixelverortung) kann (und muss) zur Klärung von Unterschieden zwischen Satellitendaten und Live-Daten herangezogen werden…

→ „Badestellenpolygone“

Waldsee Rieden (0,5 ha) / Seehof Erlenbach (15 ha)

Sichttiefen	
Satellit	LfU
stets	5 Messungen
>2m	~ 1m

Sichttiefen	
Satellit	LfU
stets	6 Messungen
~ 1m	~ 1m

Chl-a in ug/l	
Satellit	LfU
12.08.2020	13.08.2020
8	55

Chl-a in ug/l	
Satellit	LfU
23.07.2020	30.07.2020
11	18
12.08.2020	20.08.2020
27	35

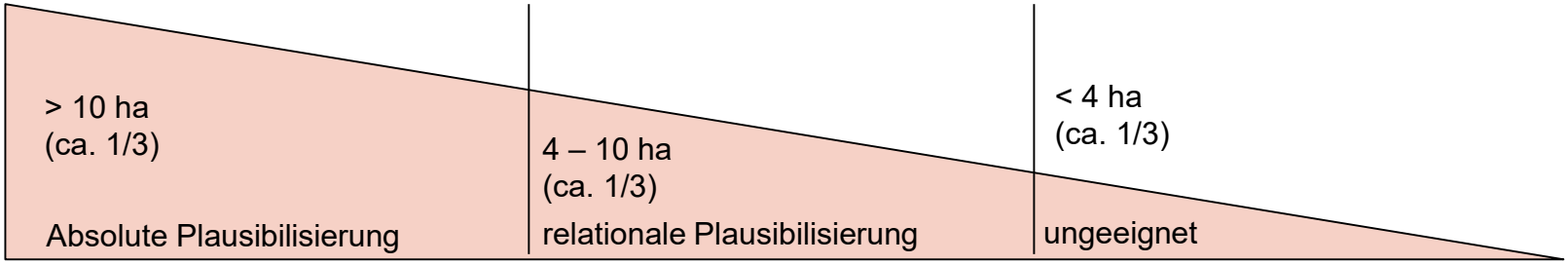
Hypothese: Übereinstimmung von LIVE/SAT-Sichttiefendaten führt zu guter Übereinstimmung von LIVE/SAT-Chl-a-Daten: Sichttiefen als wertvolle Indikatoren für Verwertbarkeit von Chl-a-Daten:

Chlorophyllmessungen sind „teuer“, daher: LIVE oftmals nur Sichttiefenmessungen, SAT-Chl-a-Daten werden zusätzlich nutzbar.

Nach der ersten Erprobungsphase 2020:

Erste Beobachtungen, „Hypothesen“ & Limits

I. „Beobachtungsgüte“ skaliert mit Anzahl der auswertbaren Pixel und somit mit der Gewässergröße



II. Sichttiefe sind gute Indikatoren für die mögliche SAT/LIVE-Plausibilisierungen von Chlorophyllwerten

III. Standardabweichungen der Chlorophyllwerte aus Einzelpixelbetrachtungen können zur Interpretation vom Unterschieden zwischen SAT- und LIVE-Daten herangezogen werden.

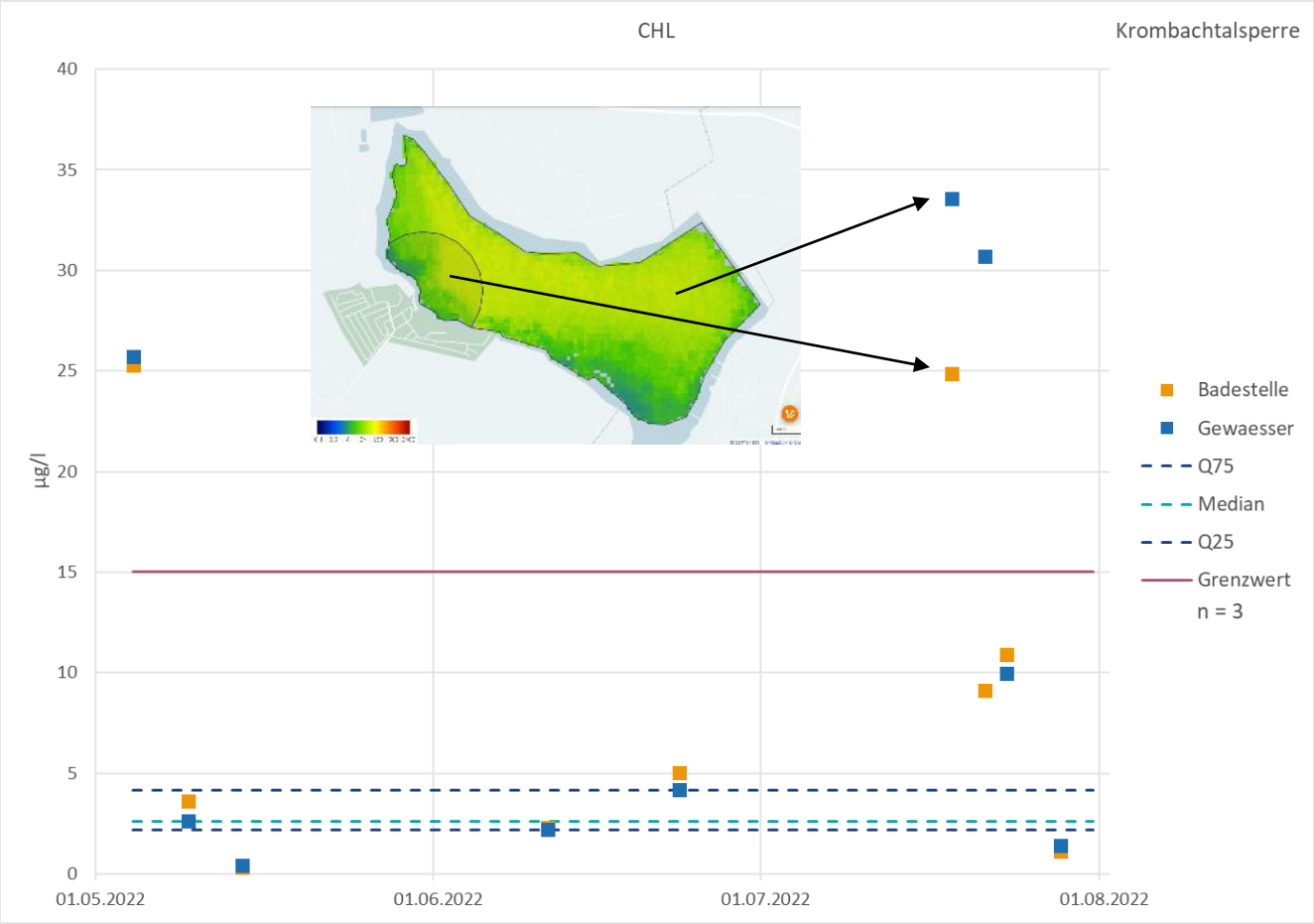
V. Einschränkungen im operativen Bereich durch wetterabhängige Unterbrechungen in Zeitreihen

VI. Einsatz der SAT-Daten zur Einsatzplanung und zur Unterstützung der Vor-Ort Überwachung DERZEIT für ca. 65 % der Badegewässer möglich

VII. Kleine, häufig von Blaualgenblüten betroffene Gewässer können derzeit noch nicht in der satellitengestützen Überwachung mit berücksichtigt warden.

Beispiel 2022: Krombachtalsperre

Warnstufe im Juli – heterogene Verteilungen – “Badestellenpolygone”

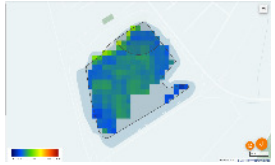


Beispiel 2022: Badeweiher Neuhofen

Lange Phasen ohne Daten – sehr “dynamisches Verhalten”

05/22

9.5.22 – 4 ug/l



14.5.22 – 2 ug/l

Secchi depth on site

19.5.22 – 4 m

06/22

Secchi depth on site

14.6.22 – 2 m

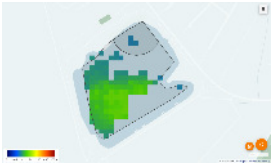
23.6.22 – 6 ug/l

28.6.22 – 18 ug/l

07/22

Secchi depth on site

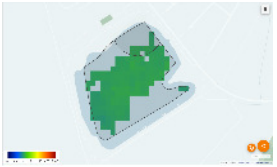
5.7.22 – 1,6 m



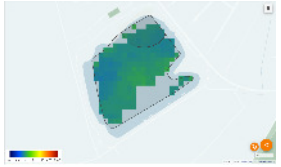
8.7.22 – 6 ug/l

18.7.22 – 14 ug/l

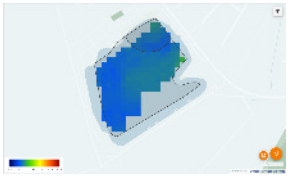
08/22



2.8.22 – 4 ug/l



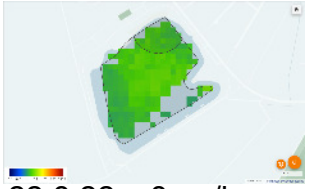
7.8.22 – 3 ug/l



12.8.22 – 2 ug/l

Secchi depth on site

18.8.22 – 1,2 m



22.8.22 – 8 ug/l

Beispiel 2022: Willersinnweiher

Unerwartete Algenblüte im August

2.8.22 – 1 ug/l

7.8.22 – 6 ug/l

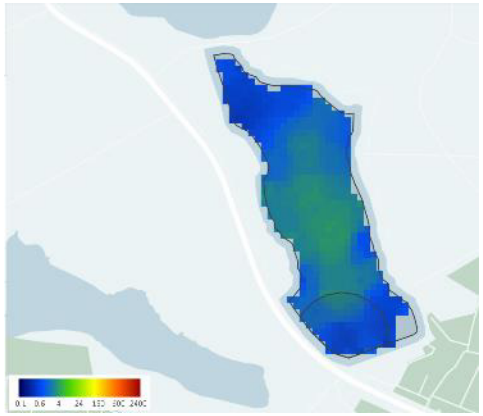
12.8.22 – 22 ug/l

22.8.22 – 46 ug/l

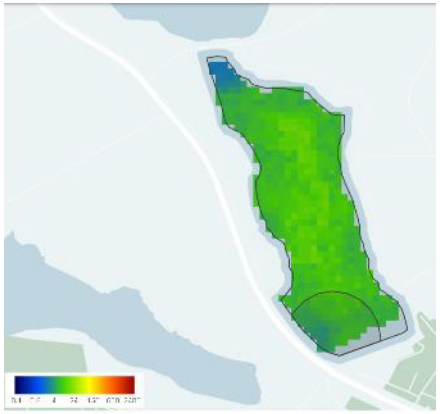
20.8.: Warnhinweise - 26.8.22: Beginn der Vor-Ort-Messkampagne

Beispiel 2022: Postweiher

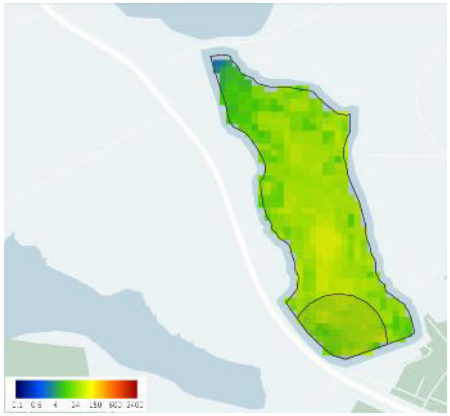
Unerwartete Algenblüte im August



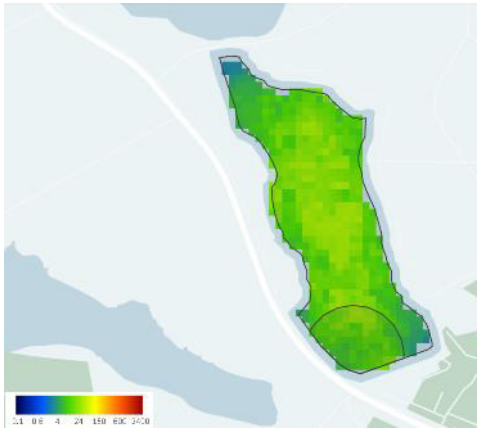
7.8.22 – 2 ug/l



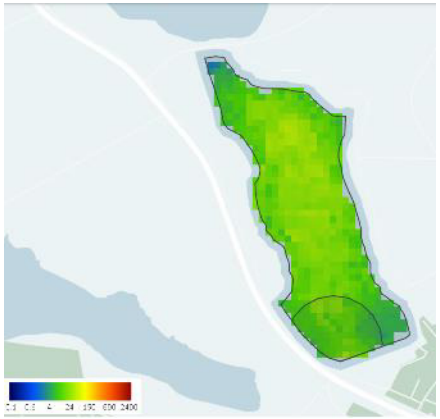
10.8.22 – 8 ug/l



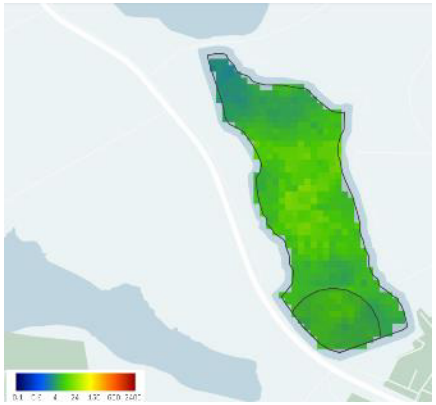
20.8.22 – 32 ug/l



22.8.22 – 13 ug/l

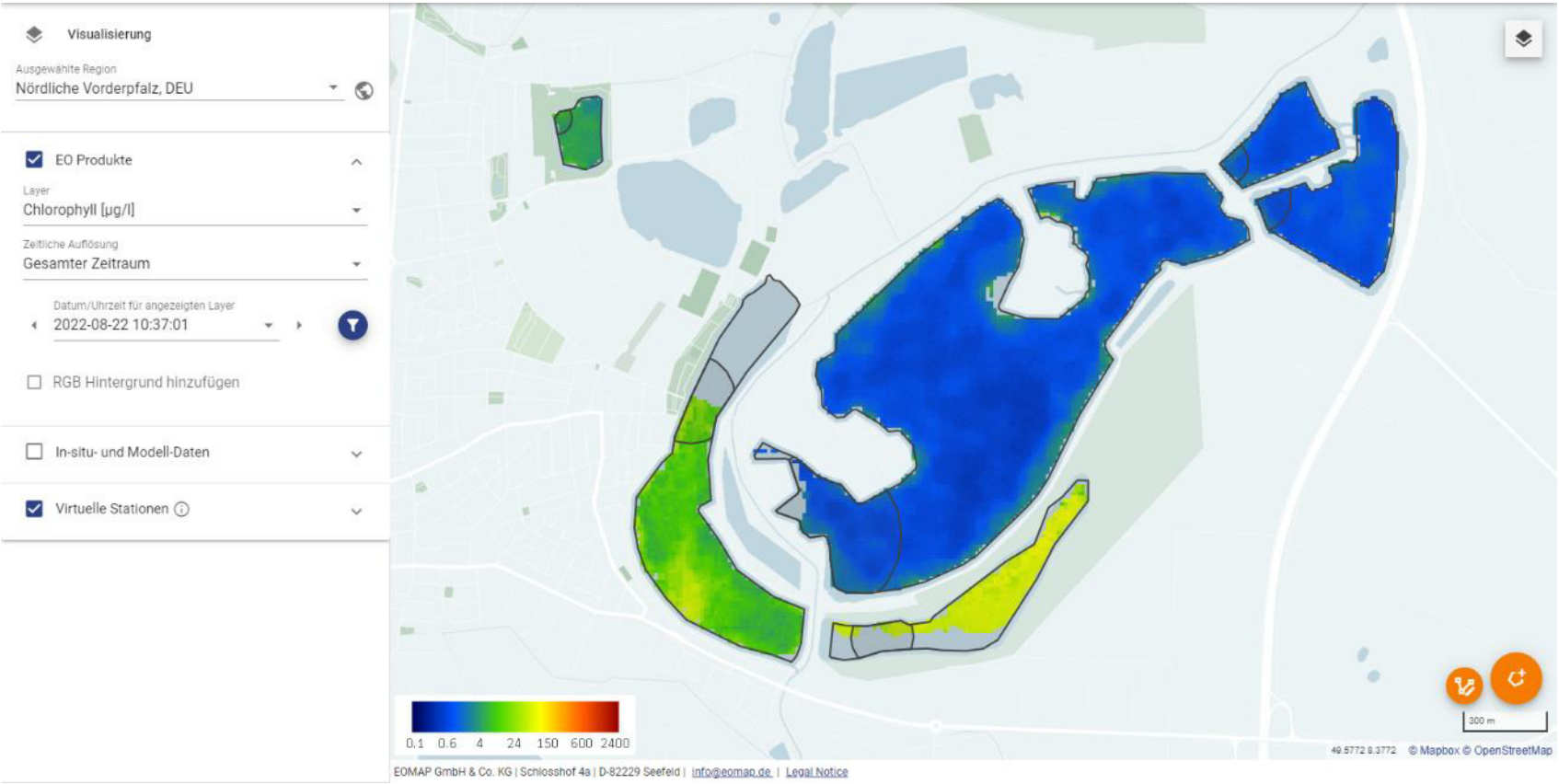


25.8.22 – 15 ug/l



1.9.22 – 7 ug/l

20.8.22: Start der Vor-Ort Messkampagne geplant – 22.8.22: keine Vor-Ort Messungen nötig…

Wie sehen die Daten aus?

„Portal – web-basierte Anwendung“