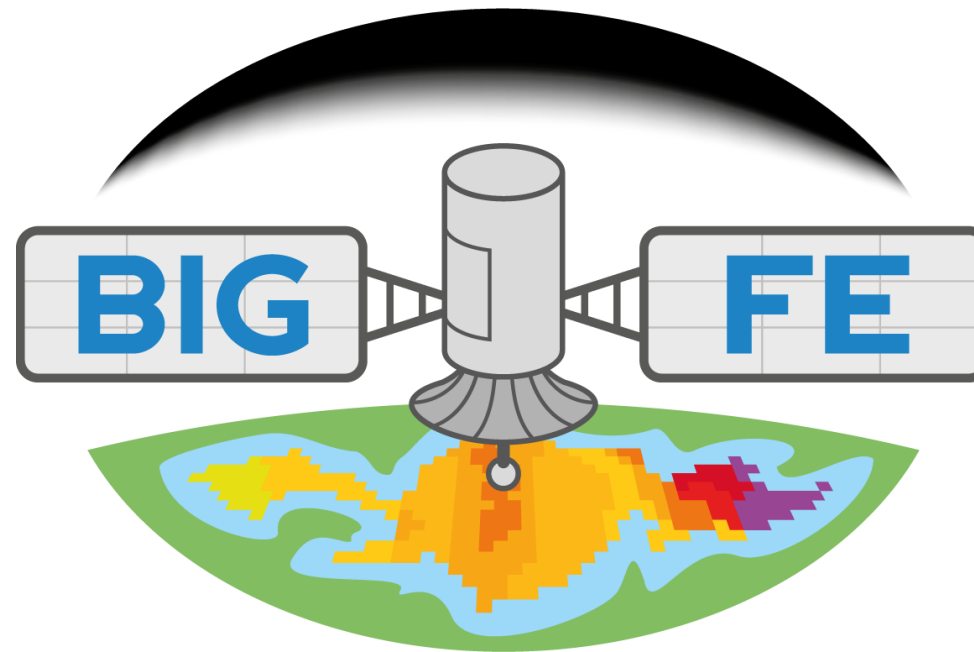


Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur



Projekt BIGFE:

Vom Satellitensignal zum Gewässermonitoring von Seen und Talsperren

Projektlaufzeit: 1.7.2021 – 31.12.2024



Institut für Hygiene und Umwelt
Hamburger Landesinstitut für Lebensmittelsicherheit
Gesundheitsschutz und Umweltuntersuchungen



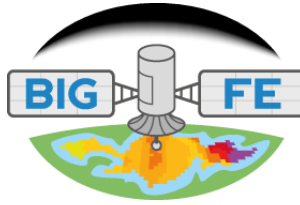
LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



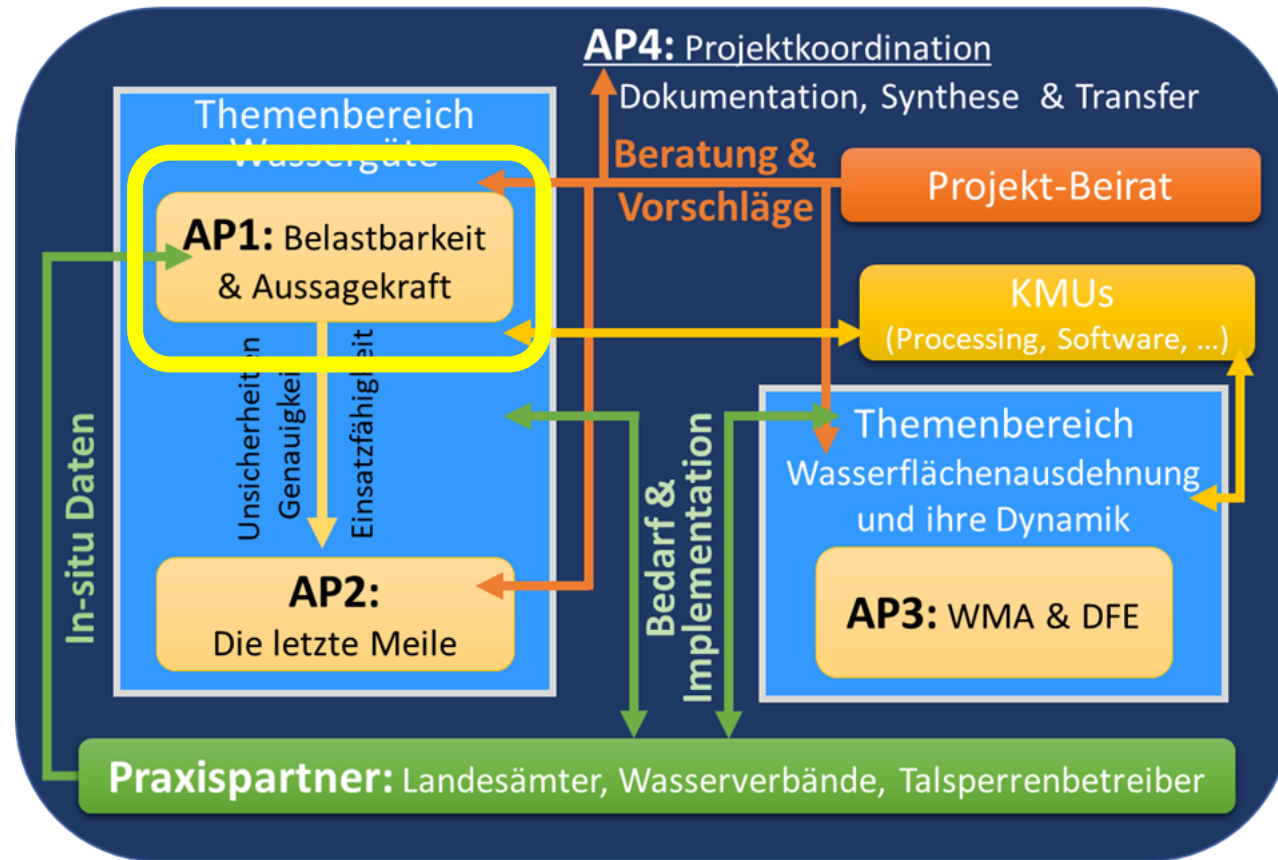
Freistaat
SACHSEN



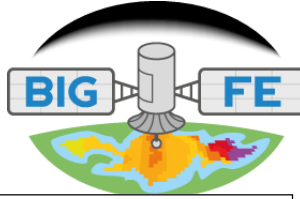
BIGFE Projektstruktur



- **Vier Partner:** UFZ (Koord.), LUBW Baden-Württemberg, LfULG Sachsen, IHU Hamburg
- **12 assoziierte Praxispartner**
- **2 KMUs**
- **4 Arbeitspakete** in zwei Themenbereichen
- **Zielvariablen:**
 - Wasserqualität (Trübung, Sichttiefe, Chlorophyll, Blaualgen, Wassertemperatur)
 - Wasserflächenausdehnung



AP1 - Projektbausteine



in situ-Daten:

Zusammenführen der *in situ* Wasserqualitätsdaten von allen beteiligten Behörden

Operationelle Prozessierung:

- EOMAP GmbH
- Brockmann Consult GmbH

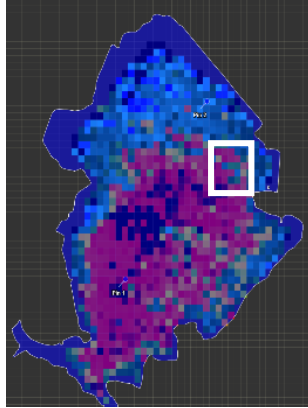
Satellitenrohdaten:

Landsat 8 (OLI)
Sentinel-2 (MSI)
Sentinel-3 (OLCI)



Berechnung der
Wasserinhaltsstoffe
(Raster-Datensatz mit Werten
pro Pixel)

Extraktion und Post-prozessierung:



Ermittlung von Median, 25% Perzentil und 75% Perzentil

→ Tageswert entspricht dem Median aller Pixelwerte des gesamten Gewässers bzw. des Makropixels

Chlorophyll-a Konzentration, Sentinel-2, 19.04.2018

Datenanalyse und Validierung:

Vergleich
räumlicher und
zeitlicher
Auflösungen

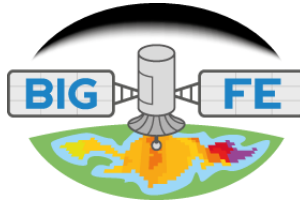
Match-Up-Analyse:
Validierung

Zeitreihen

**Handlungs-
empfehlungen**

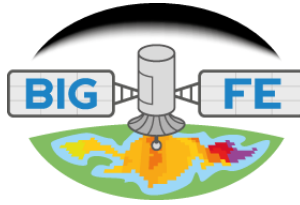
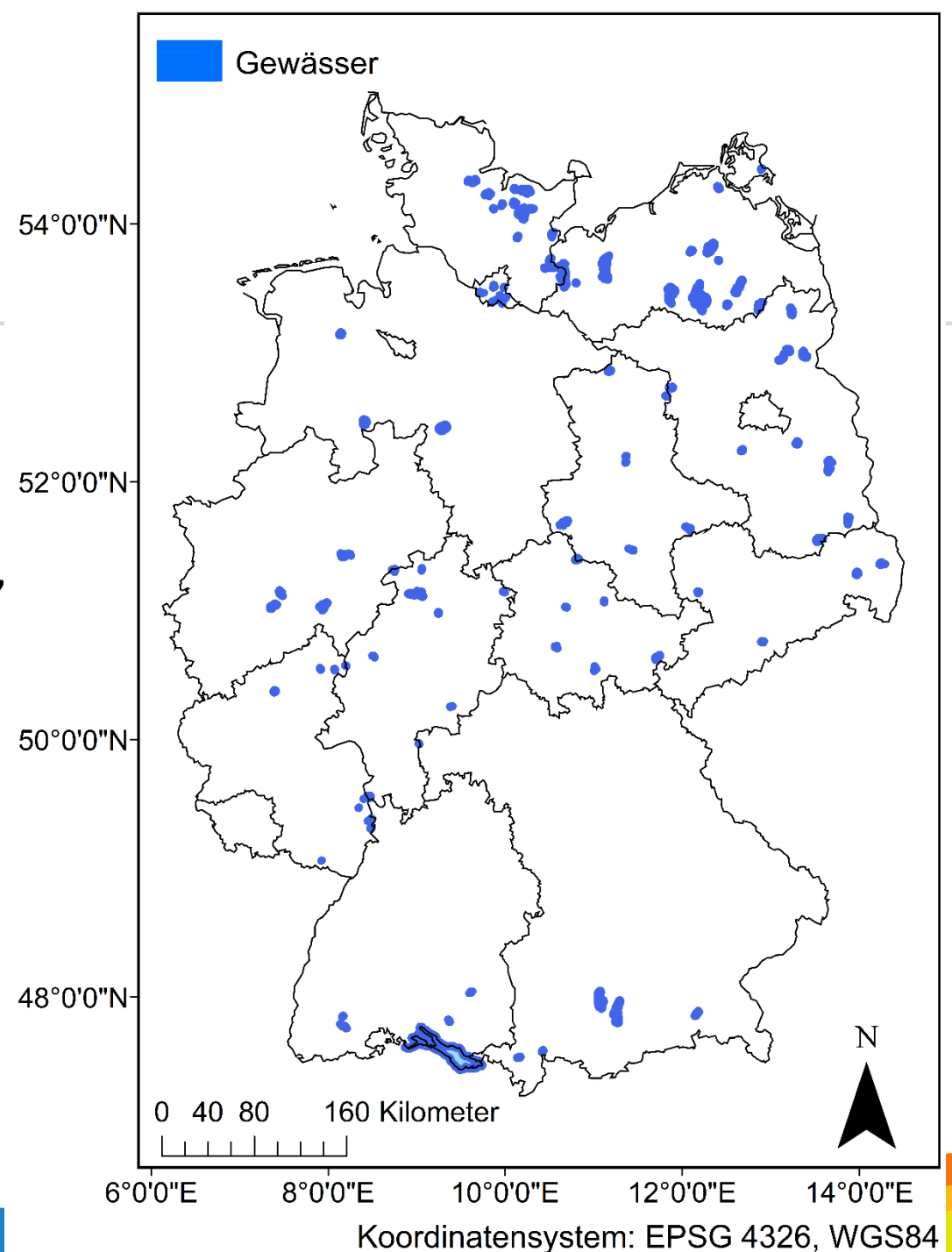
Gliederung

- Datengrundlage *in situ* und Satellit
- Limitationen: Beispiel Bewölkung deutschlandweit
- Räumliche und zeitliche Auflösung
- Evaluierung/ Validierung
- Zeitverläufe
- Kategorien
 - Tiefe
 - Trophie



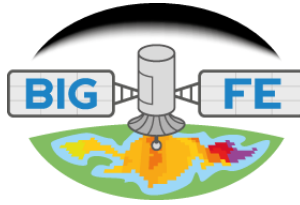
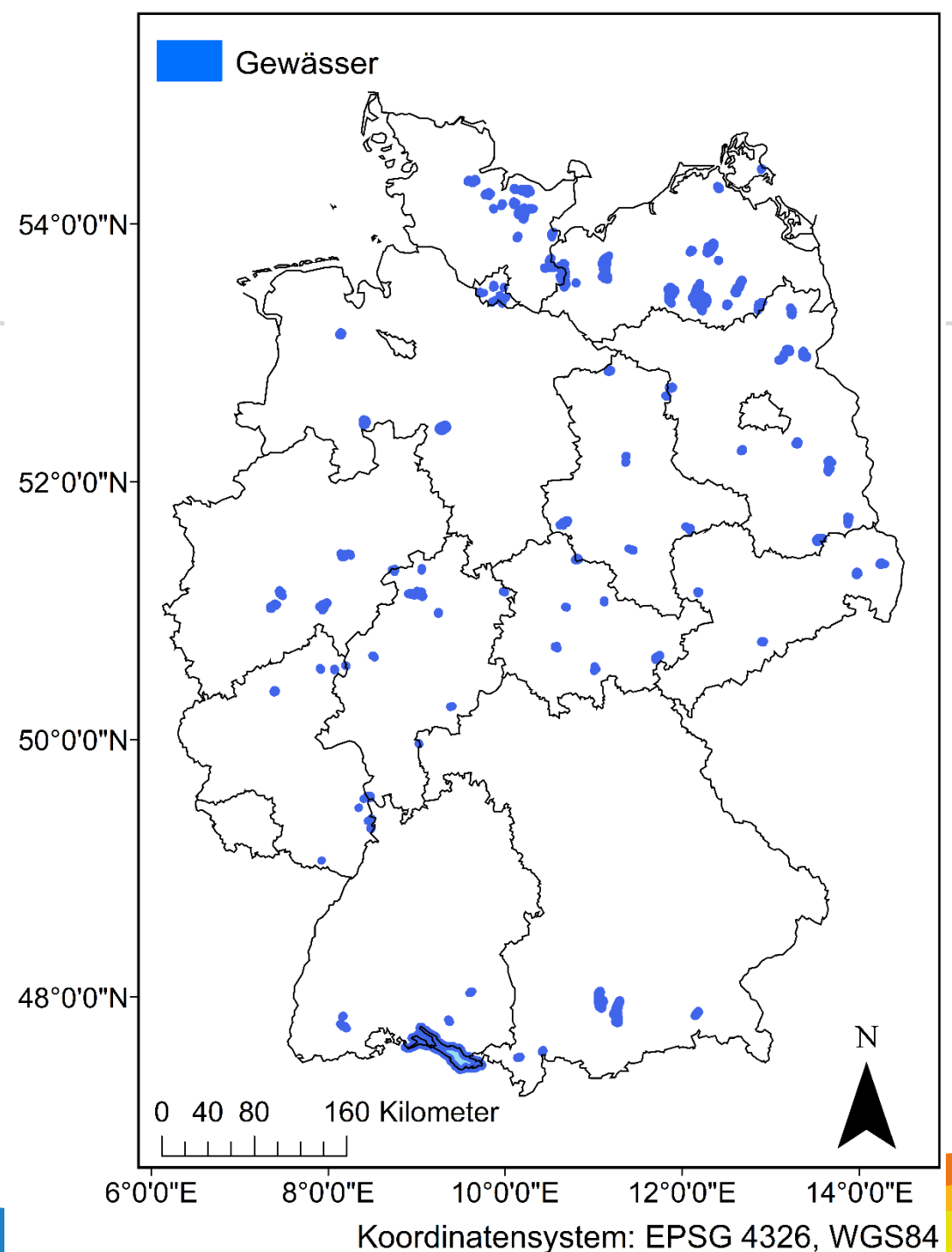
AP1: Belastbarkeit und Aussagekraft

- **Projektgewässer:** > 100 Gewässer in 13 Bundesländern
- **Zielvariablen:** Chlorophyll-a, Trübung, Sichttiefe, Cyanobakterien-Blüten (HAB), Temperatur
- **Zeitraum:** 2016 – 2020
- **Satelliten:**
 - Sentinel-2
 - Sentinel-3
 - Landsat 8



AP1: Belastbarkeit und Aussagekraft

Vielen Dank an all diejenigen, die uns mit *in situ*-Daten unterstützt haben!



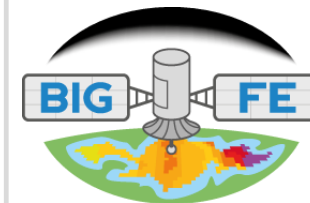
BROCKMANN
CONSULT GMBH



01.09.2023

Einführung BIGFE, Gewässer

Gewässereigenschaften

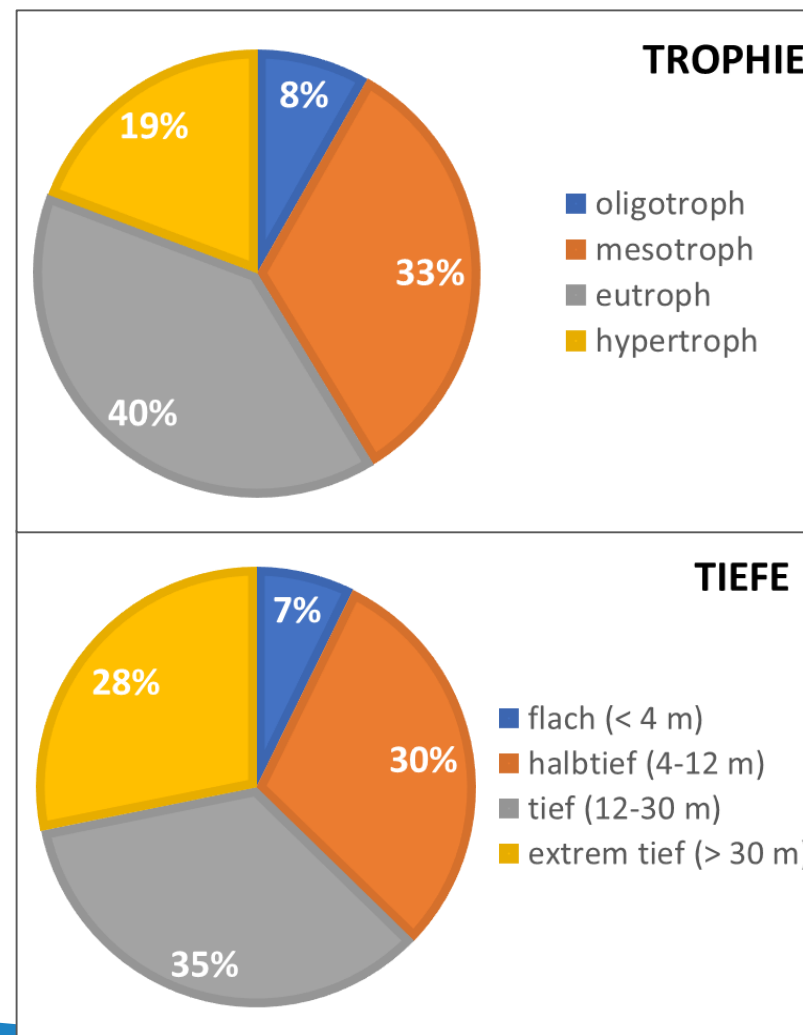


Trophie

- Alle Trophiestufen
 - Oligotroph (z.B. Trinkwassertalsperren) bis polytroph bzw. hypertroph

Tiefe

- Max. Tiefe zwischen 1,4 m (Dümmer, Niedersachsen) und 253 m (Bodensee, Baden-Württemberg)



Chlorophyll-a von Sentinel-3: CyanoAlert®

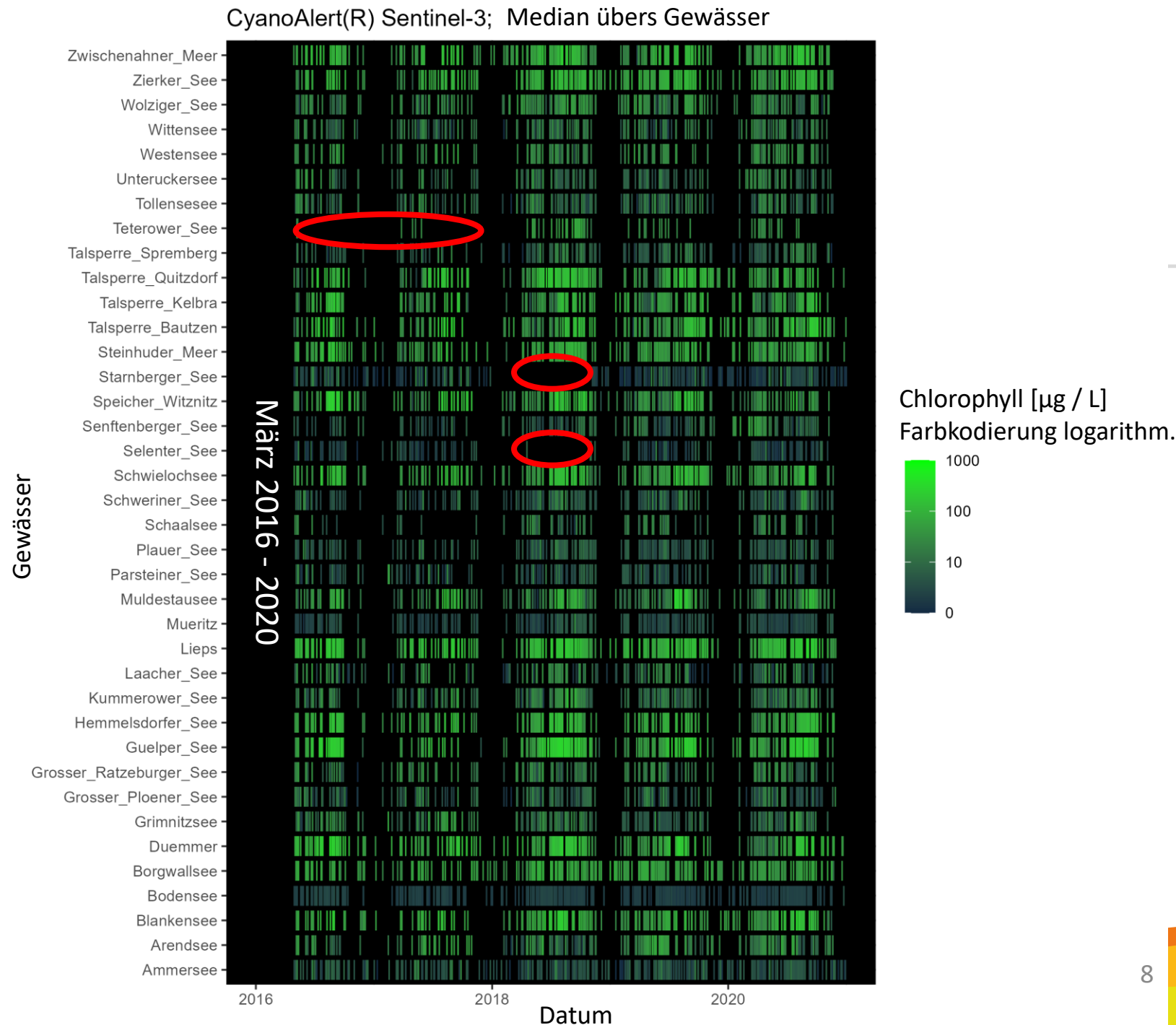
(38 Gewässer Sentinel-3)

Hohe zeitliche Abdeckung!
Chlorophyll-reich *versus* klar

Jedoch Vorsicht: „Kein Chlorophyll“ kann auch an bewölkter Szene liegen !

12.11.2024

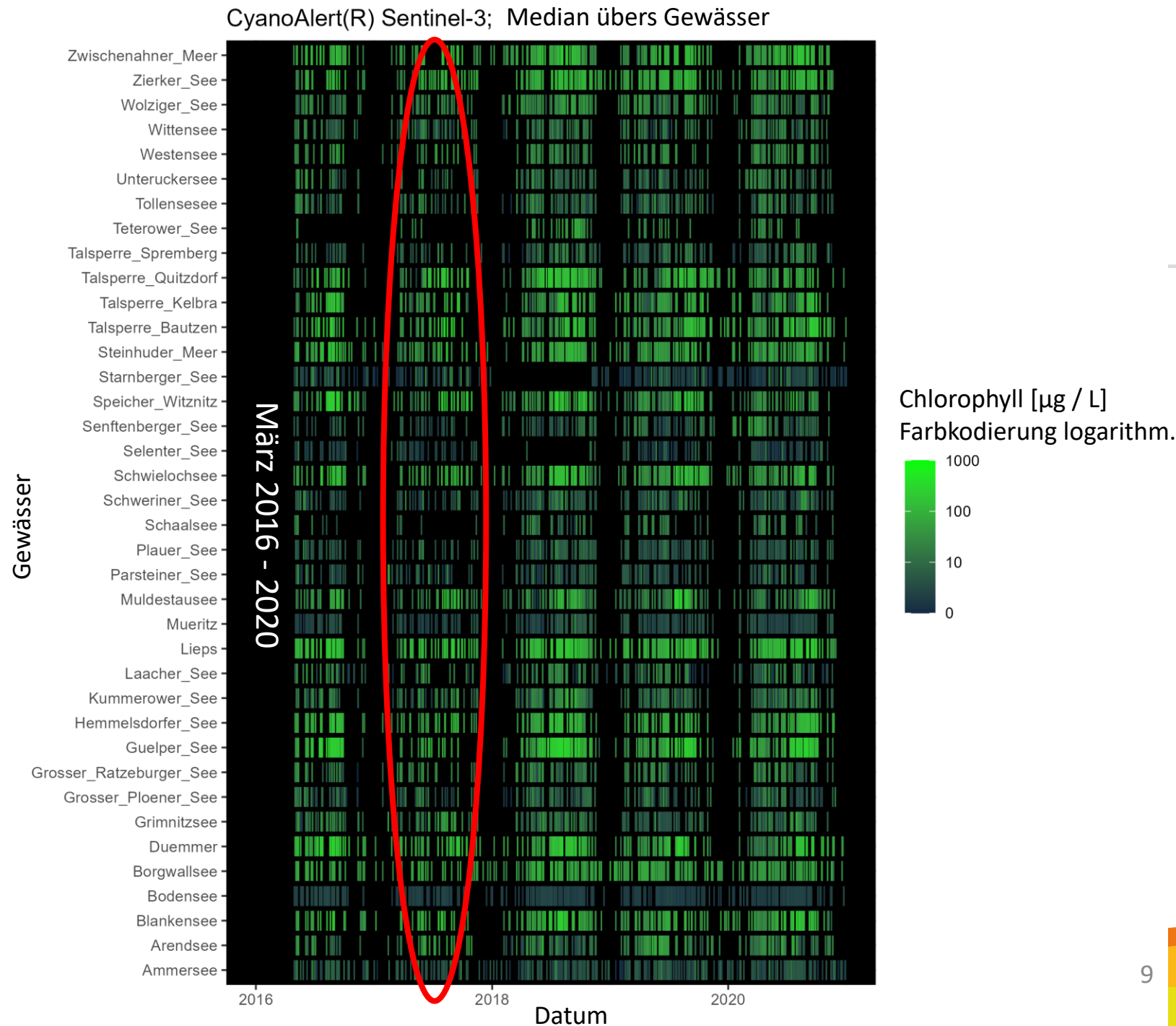
Überblick



Chlorophyll-a von Sentinel-3: CyanoAlert®

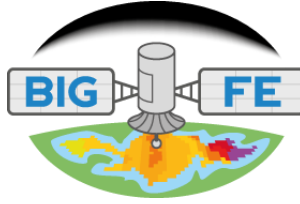
(38 Gewässer Sentinel-3)

Hohe zeitliche Abdeckung!
2017 insgesamt
„gedämpfter“ .. Wieso?



12.11.2024

Grenzen in der Fernerkundung der Gewässer-Qualität

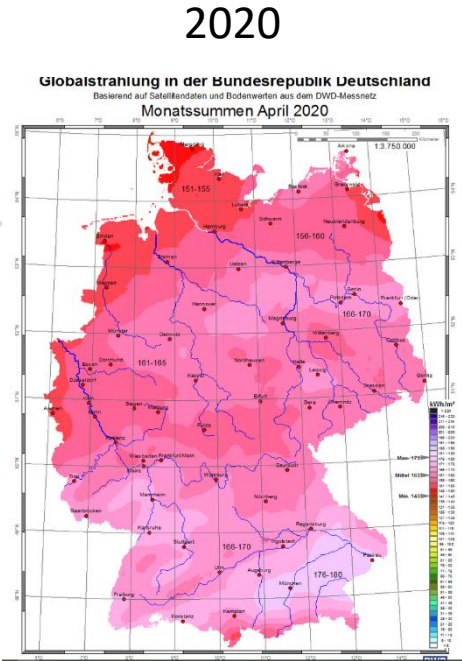
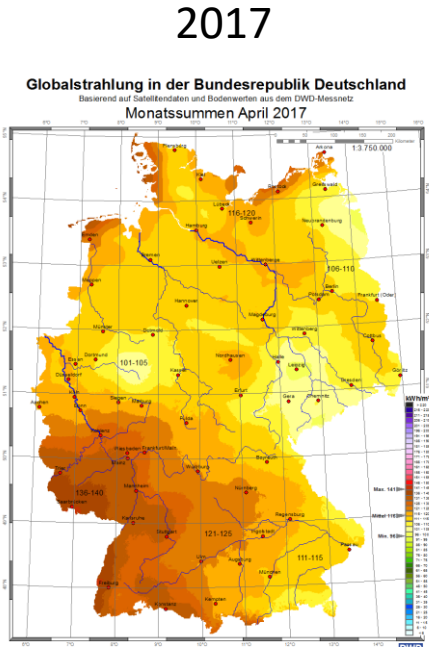


- Mindestmaß an reflektierter Strahlung erforderlich
- Bewölkung
- Oberflächliche Signale
- Optisch auswertbare Messgrößen (keine Nährstoffe)
- Pixel-basierte Daten und Auflösung
- Anspruchsvolle Datenaufarbeitung
- Keine allgemein anerkannten Standards (bisher)

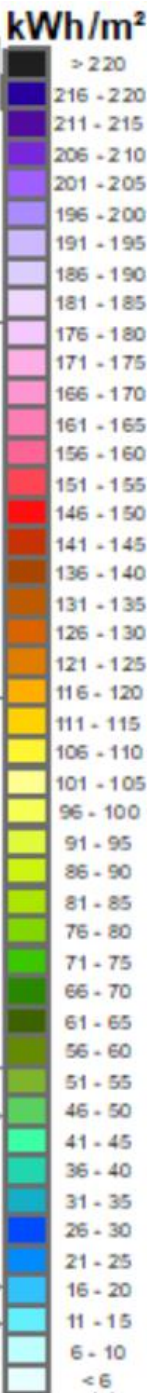
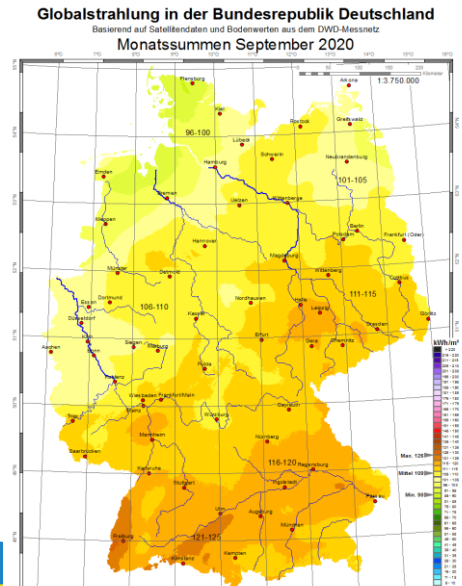
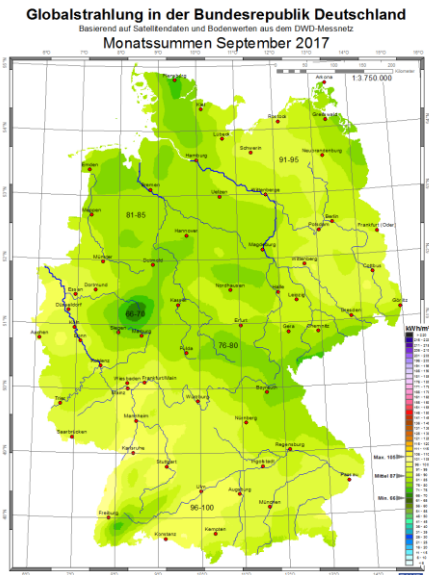
Globalstrahlung [kWh/m²]



April



September



Nicht nur
saisonal,
sondern auch
Jahr-zu-Jahr-
Variabilität

Räumliche Aufteilung Deutschlands: Beispiel Sentinel-2

Bewölkung wird als Meta-
Information mit den „Kacheln“
(= „Szenen“) mitgeliefert

Überlappungsgebiete entstehen



12.11.2024

Bewölkung deutschlandweit

Wolken im BIGFE-Gebiet 2016-2020

Mittlere Bewölkung
für die Sentinel-2-
Kacheln, die BIGFE-
Gewässer abdecken

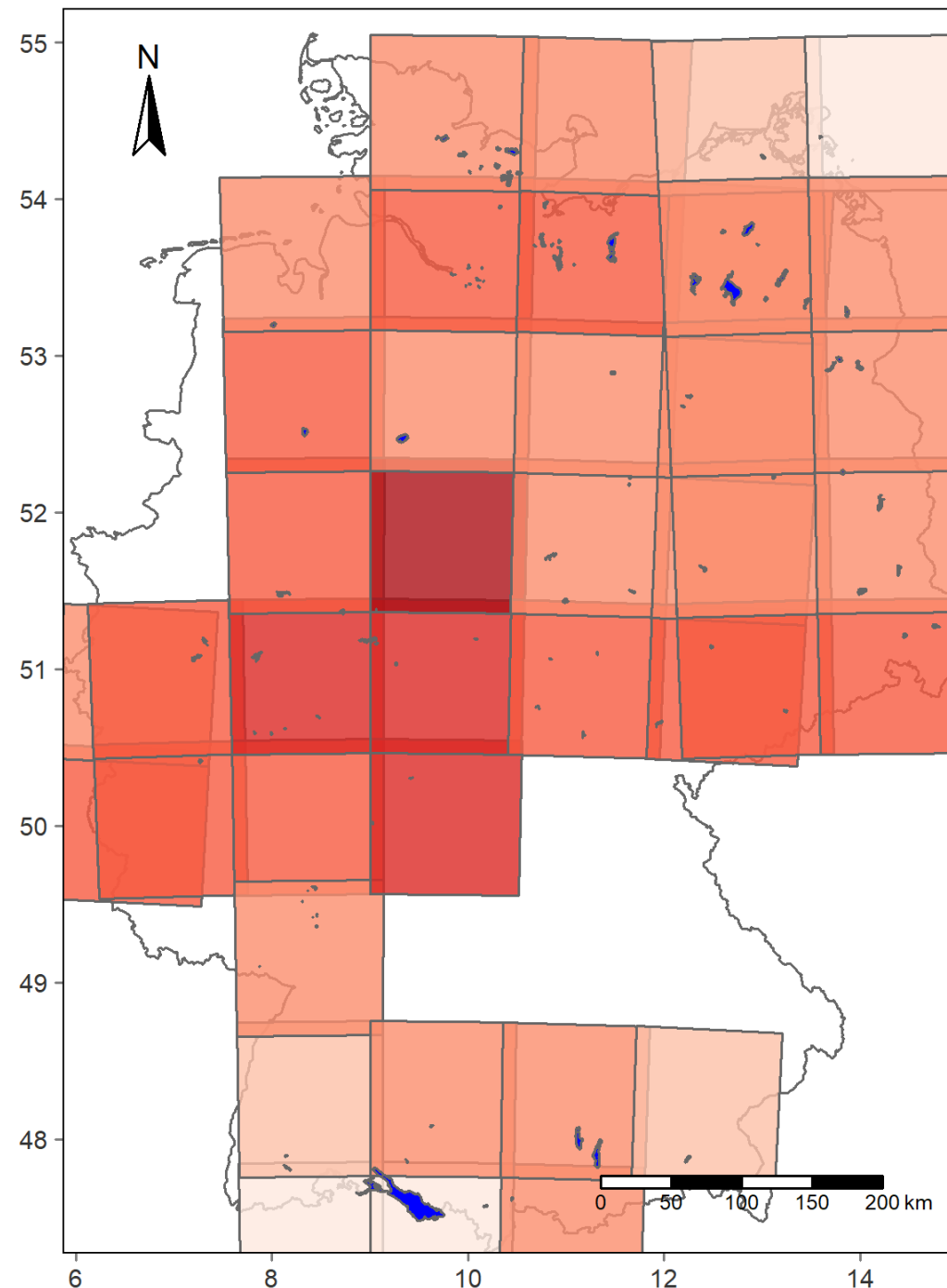
Meiste Bewölkung: südwestliche
Ecke von Twistetalsperre

Geringste Bewölkung: Teile von
Bodensee, Gr. Alpsee, Grüntensee,
Schmacher See auf Rügen

Ziemlich viele Wolken:
Edertalsperre, Kinzig-Talsperre

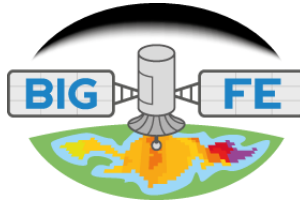
12.11.2024

Bewölkung deutschlandweit



Datengrundlage – Fernerkundungsdaten

Sentinel-2 ca. alle 5 Tage → theoretisch 73 Szenen per Jahr und Wasserkörper



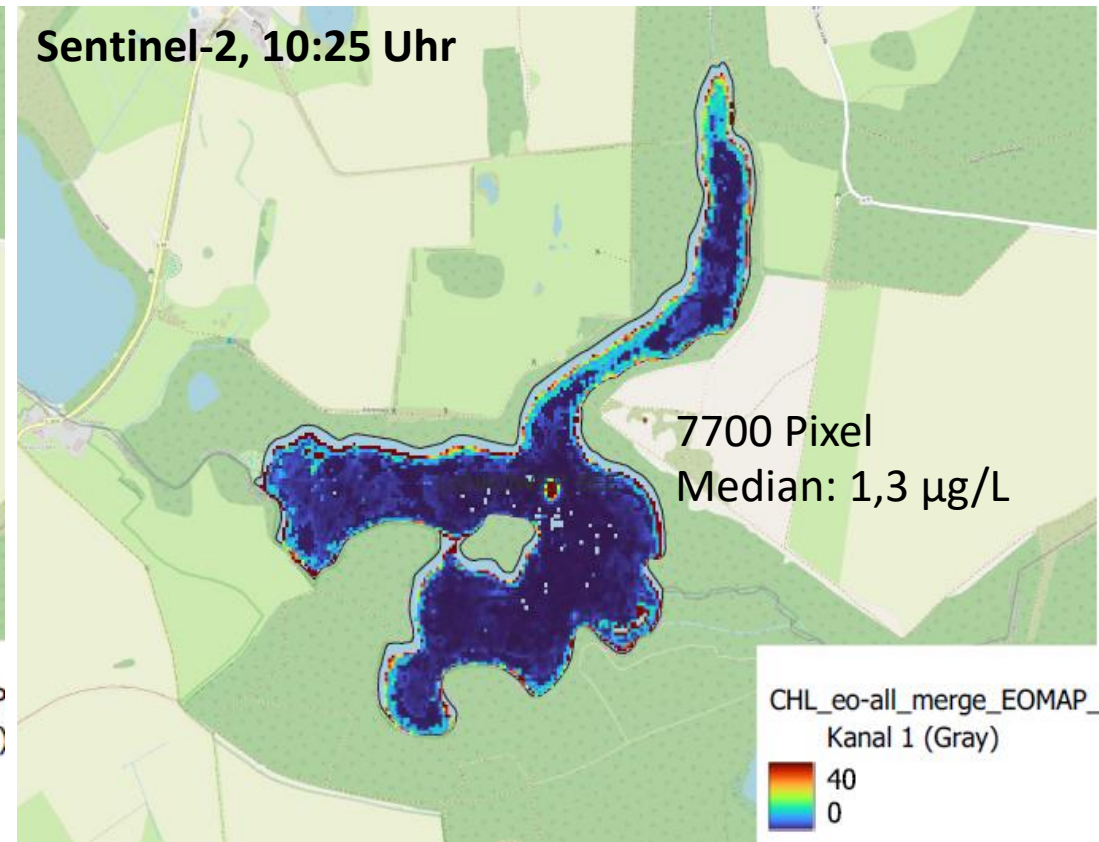
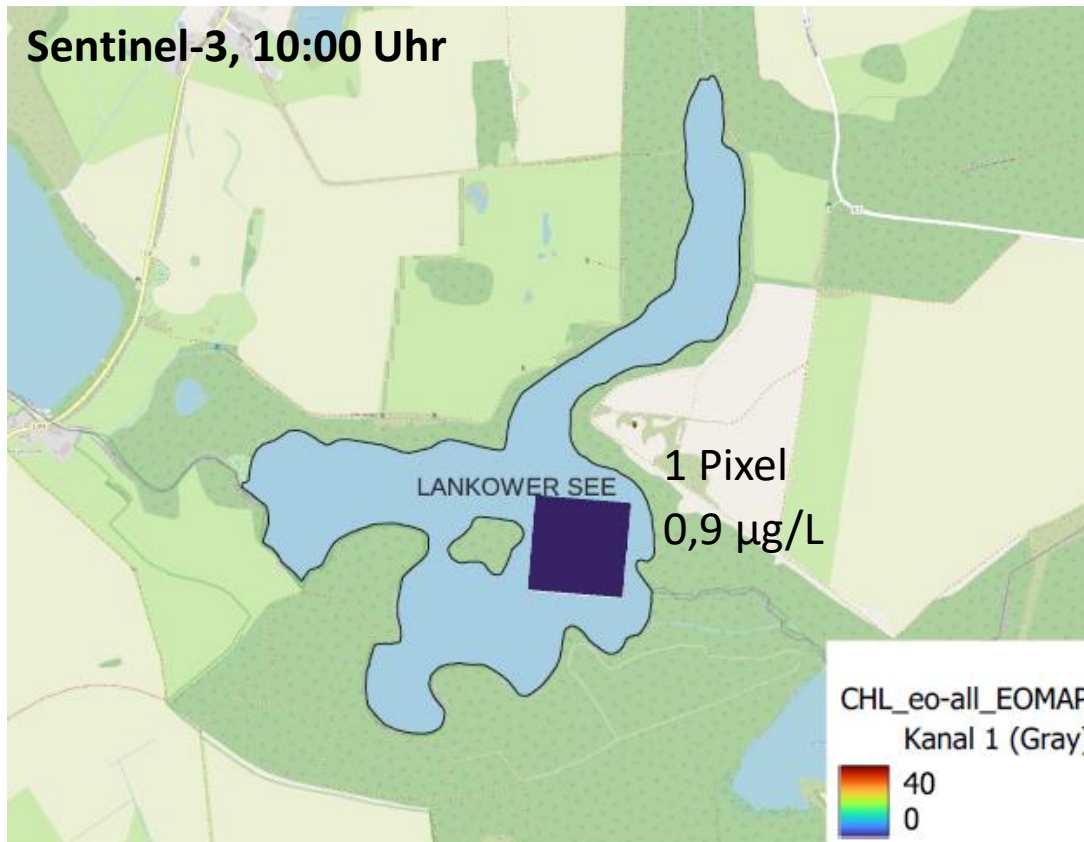
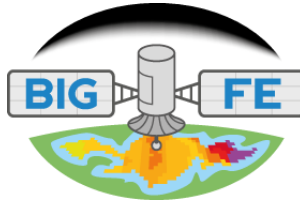
Datenanzahl - Sentinel-2	2016	2017	2018	2019	2020	Gesamter Zeitraum
Min/Gewässer	1	2	4	5	5	17
Max/Gewässer	16	34	55	49	58	209
Durchschnitt	8	11	29	25	29	102
Gesamt	823	1246	3257	2787	3294	11407

→ 21 Aufnahmen pro Gewässer und Jahr für Sentinel-2

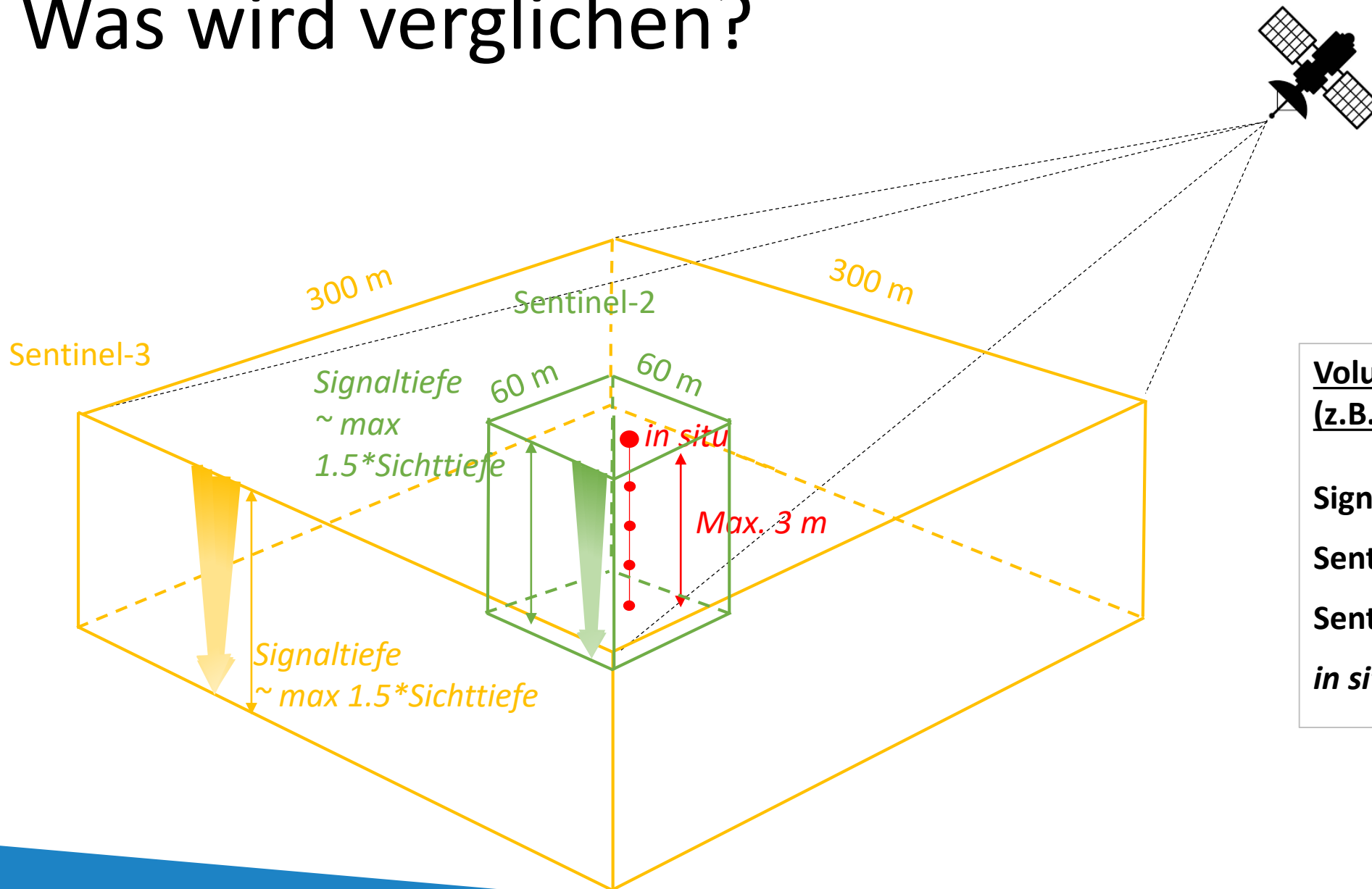
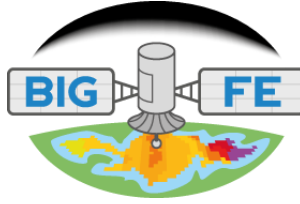
→ 35 Aufnahmen pro Gewässer und Jahr für Sentinel-3

Satellitendaten sind Rasterdaten → Pixel

Lankower See; 88,6 ha; 06.05.2020



Was wird verglichen?



Volumina (z.B. für Sichttiefe 2 m):

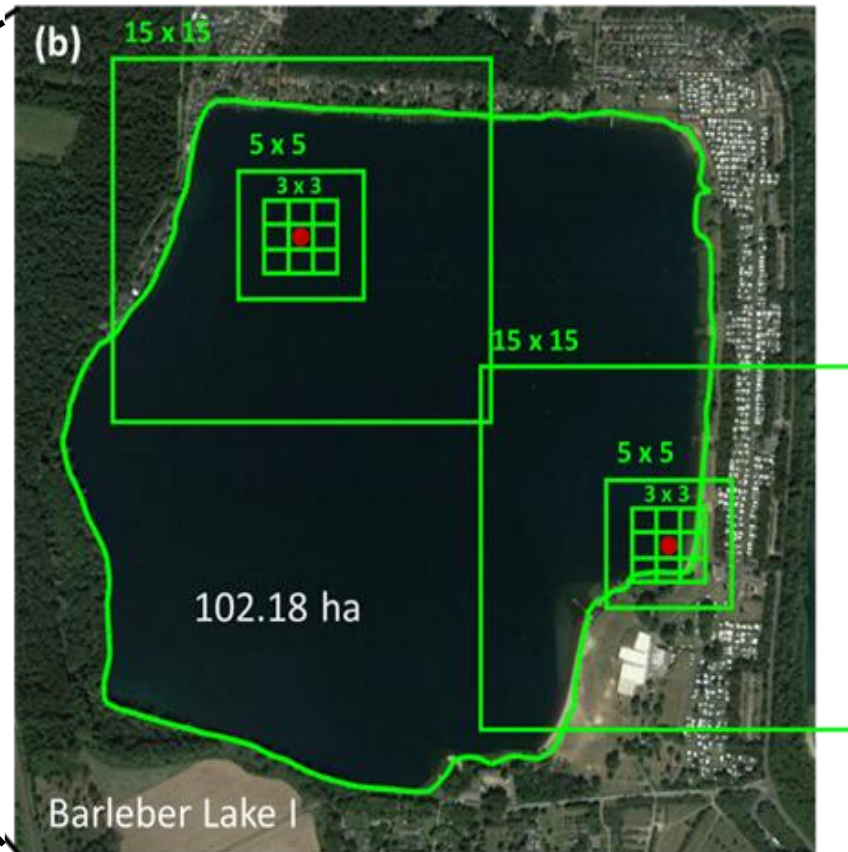
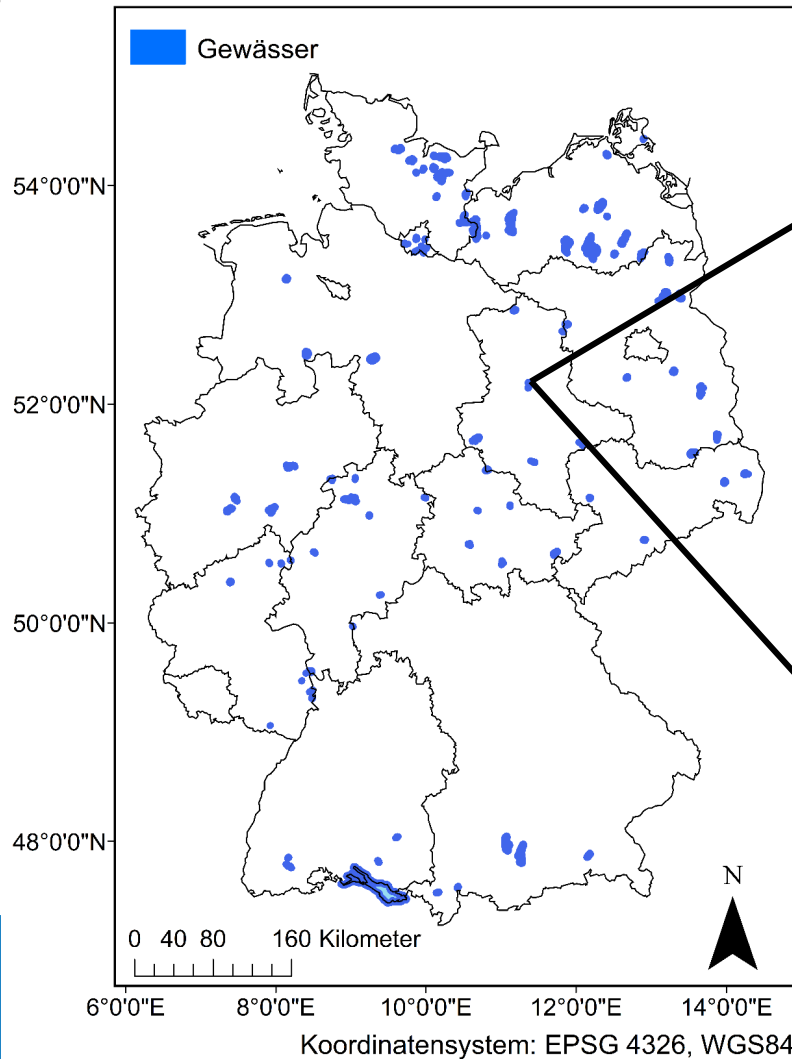
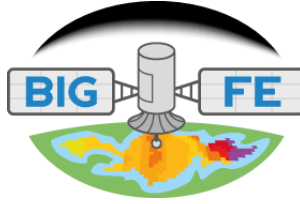
Signaltiefe: 3 m

Sentinel-3: 270 000 L

Sentinel-2: 10 080 L

***in situ*:** einige mL bis Liter

Skalen: Gewässer versus Makropixel (3x3, 5x5, 15x15 Pixel)



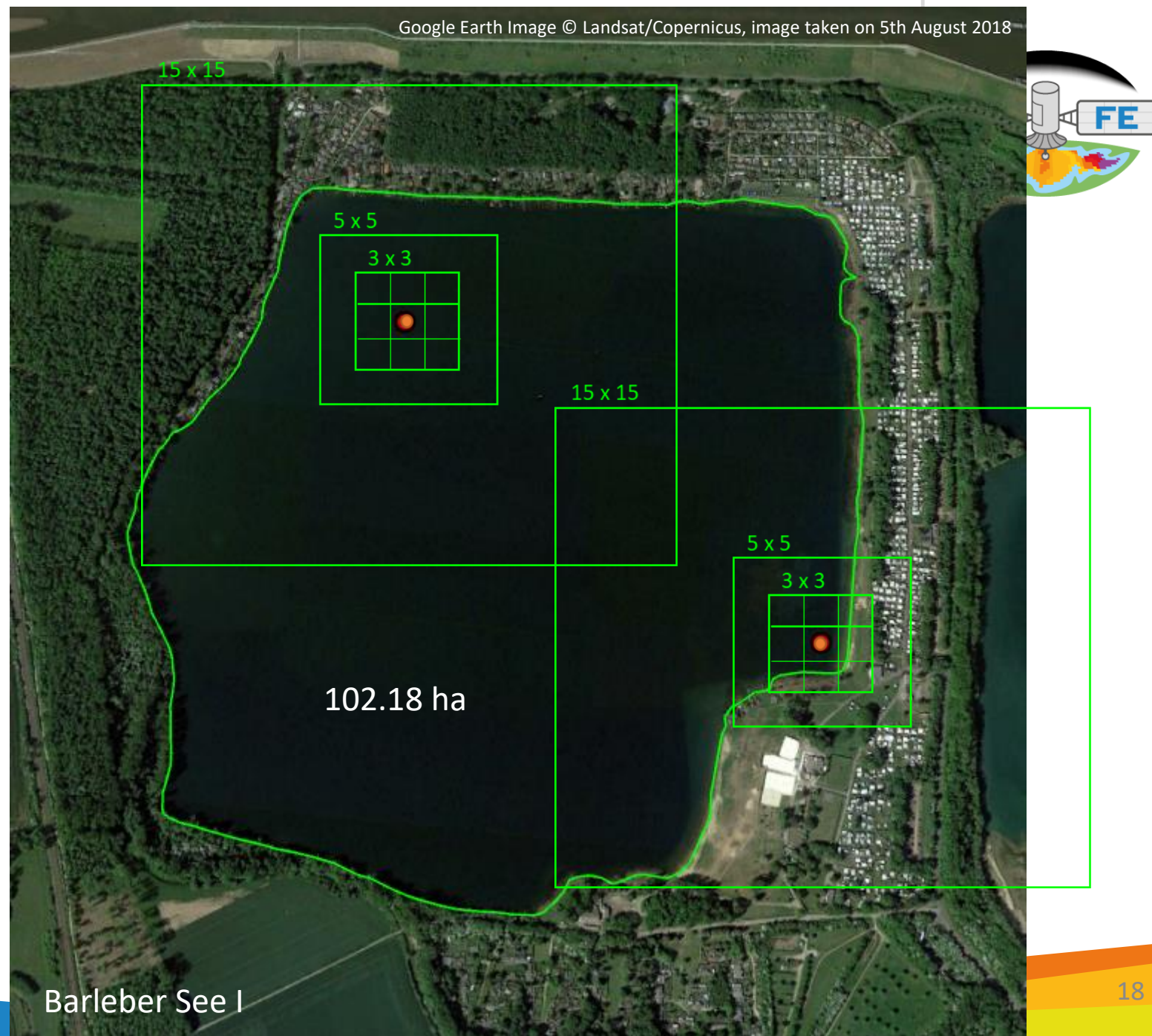
Gegenüberstellung räumlicher und zeitlicher Auflösungen

Räumliche Auflösungen:

- Sentinel-2: **3x3 Pixel** (30x30m/180x180m), **5x5 Pixel** (50x50m/300x300m), **15x15 Pixel** (150x150m/900x900m), **gesamtes Gewässer** (Gewässeroberfläche)
- Sentinel-3: **1x1 Pixel** (300x300m), **3x3 Pixel** (900x900m), **gesamtes Gewässer** (Gewässeroberfläche)

Zeitliche Auflösungen:

- Tag-genaue Matches, +/- 1 Tag Matches, +/- 5 Tag Matches



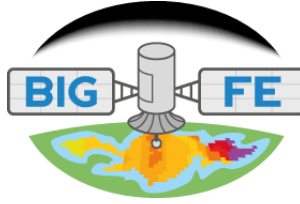
Gegenüberstellung räumlicher Auflösungen



MAE = mittlerer absoluter Fehler

Je dunkler, desto größer der Fehler

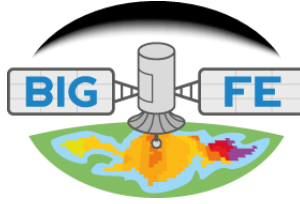
			MAE					N					N Gewässer					(Makro-)pixel
Modell	Sensor	Ziel-Variable	1	3x3	5x5	15x15	all	1	3x3	5x5	15x15	all	1	3x3	5x5	15x15	all	
CyanoAlert	MSI	Chlorophyll-a	-	2.3	2.3	2.1	2.3	-	194	198	168	206	-	64	64	52	62	
		Trübung	-	2.4	2.8	2.3	2.2	-	48	42	23	54	-	11	9	6	10	
		Sichttiefe	-	1.6	1.6	1.6	1.6	-	184	185	156	197	-	64	64	51	64	
	OLCI	Chlorophyll-a	2.5	2.5	-	-	2.5	175	196	-	-	239	31	32	-	-	29	
		Trübung	2.7	2.5	-	-	1.8	12	21	-	-	18	2	2	-	-	2	
		Sichttiefe	1.7	1.8	-	-	1.7	160	228	-	-	190	29	30	-	-	28	



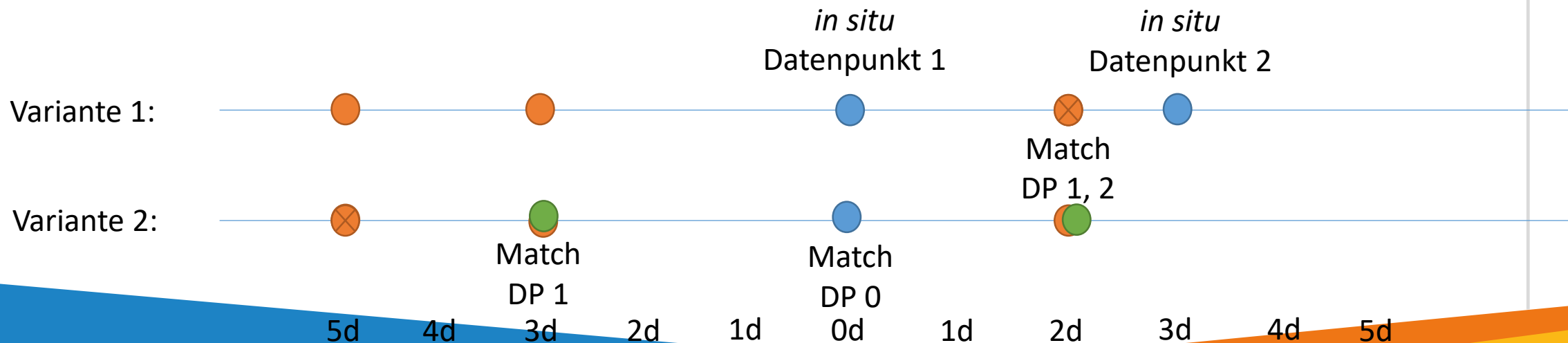
Handlungsempfehlung **räumliche** Auflösungen:

- Wenn möglich: **3x3 Pixel** oder **Gewässer-skalig**
- Kein großer Fehler bei 5x5 bzw. 15x15
 - aber N dann geringer

Umgang mit zeitlichem „mismatch“ (Treffer)



- Treffer zwischen *in situ* und Fernerkundungsdaten
 - Variante 1: Optimale zeitlicher Übereinstimmung zwischen *in situ* und Fernerkundung
 - Variante 2: Jeder *in situ*-Datenpunkt wird einem Fernerkundungspunkt innerhalb exakt 0 Tage, innerhalb 1 Tag und innerhalb 5 Tagen zugeordnet



Gegenüberstellung zeitlicher Auflösungen



Je dunkler, desto größer der Fehler

MAE = mittlerer absoluter Fehler

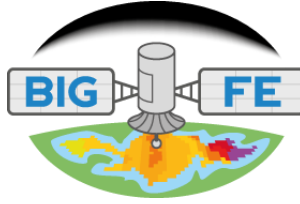
MAE

N

N
Gewässer

Modell	Sensor	Ziel-Variable	±0d	±1d	±5d	±0d	±1d	±5d	±0d	±1d	±5d	Zeitfenster
EOMAP-MIP	MSI	Chlorophyll-a	3.0	3.2	3.4	202	588	1486	65	84	92	
		Trübung	5.7	3.7	3.4	52	172	458	10	10	12	
		Sichttiefe	2.1	2.0	2.1	198	590	1506	65	84	91	
	OLCI	Chlorophyll-a	3.0	2.9	3.0	329	608	1023	33	35	35	
		Trübung	3.2	4.0	4.6	30	49	92	2	2	2	
		Sichttiefe	2.0	2.0	2.0	273	498	861	32	34	34	

Handlungsempfehlung **zeitliche** Auflösungen:



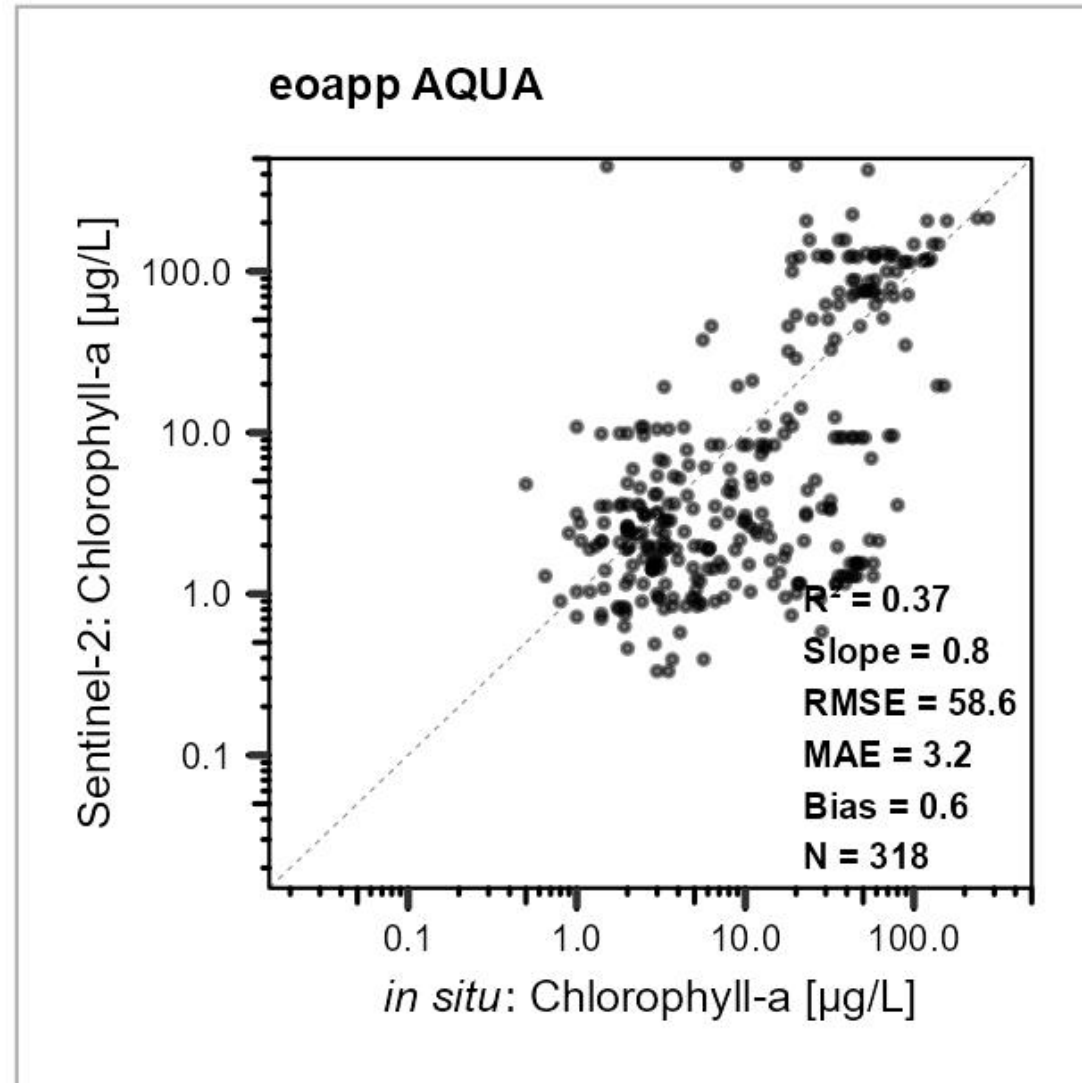
Wenn möglich: **Tag-genaue Auswertung**

Bei Fehlen eines Tag-genauen Satelliten-Überflugs: auch Szenen
von Satelliten-Aufnahmen von bis zu ± 5 Tagen Abweichung
(Vorausgesetzt: keine größeren Umwelt-Ereignisse)

Scatterplots Validierung, beispielhaft

- Sentinel-2
- Chlorophyll-a
- Tag-genau
- Gewässer-skalgig
- Eomap

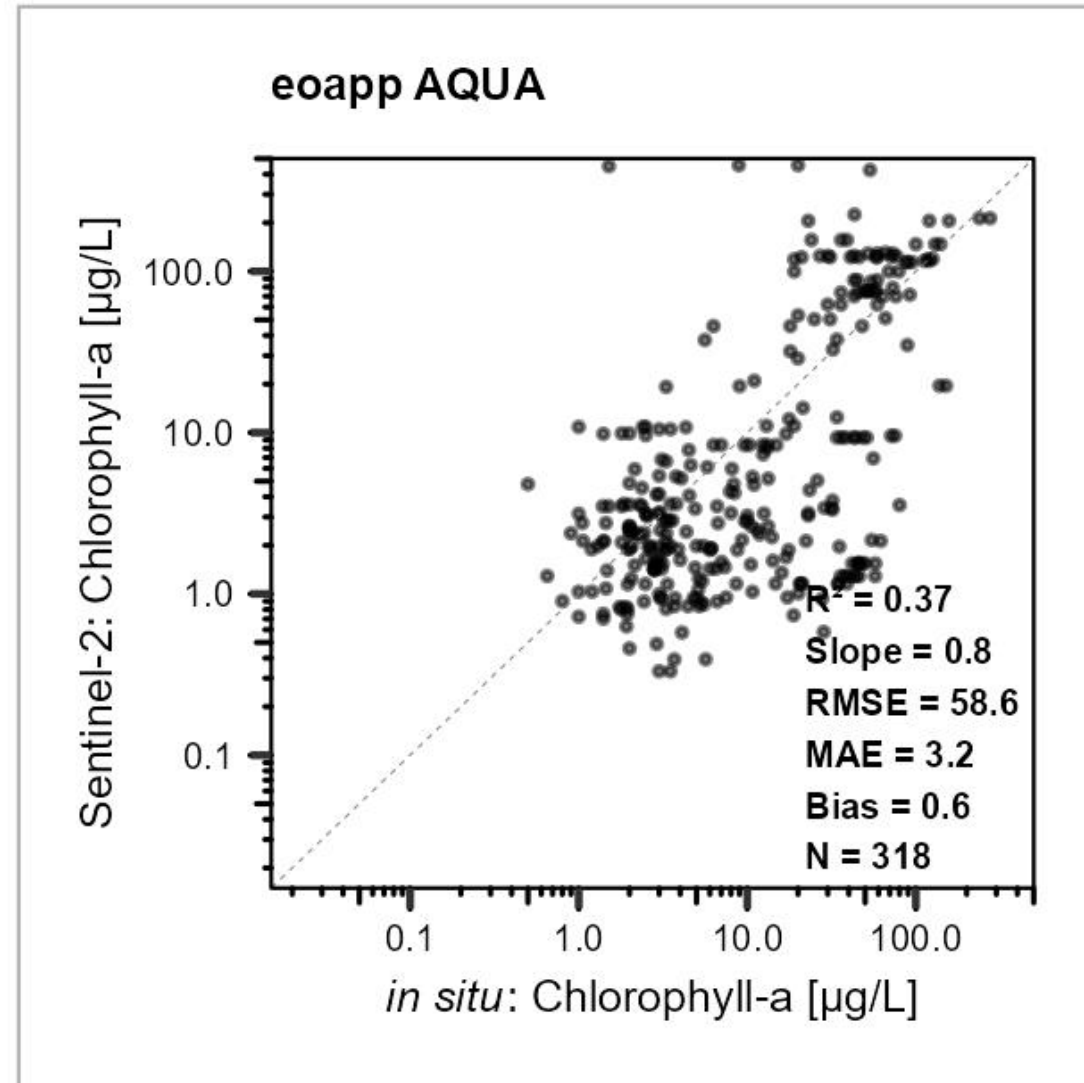
**Keine weitere Anpassung
(naiv, transferierbar);
Monitoring**



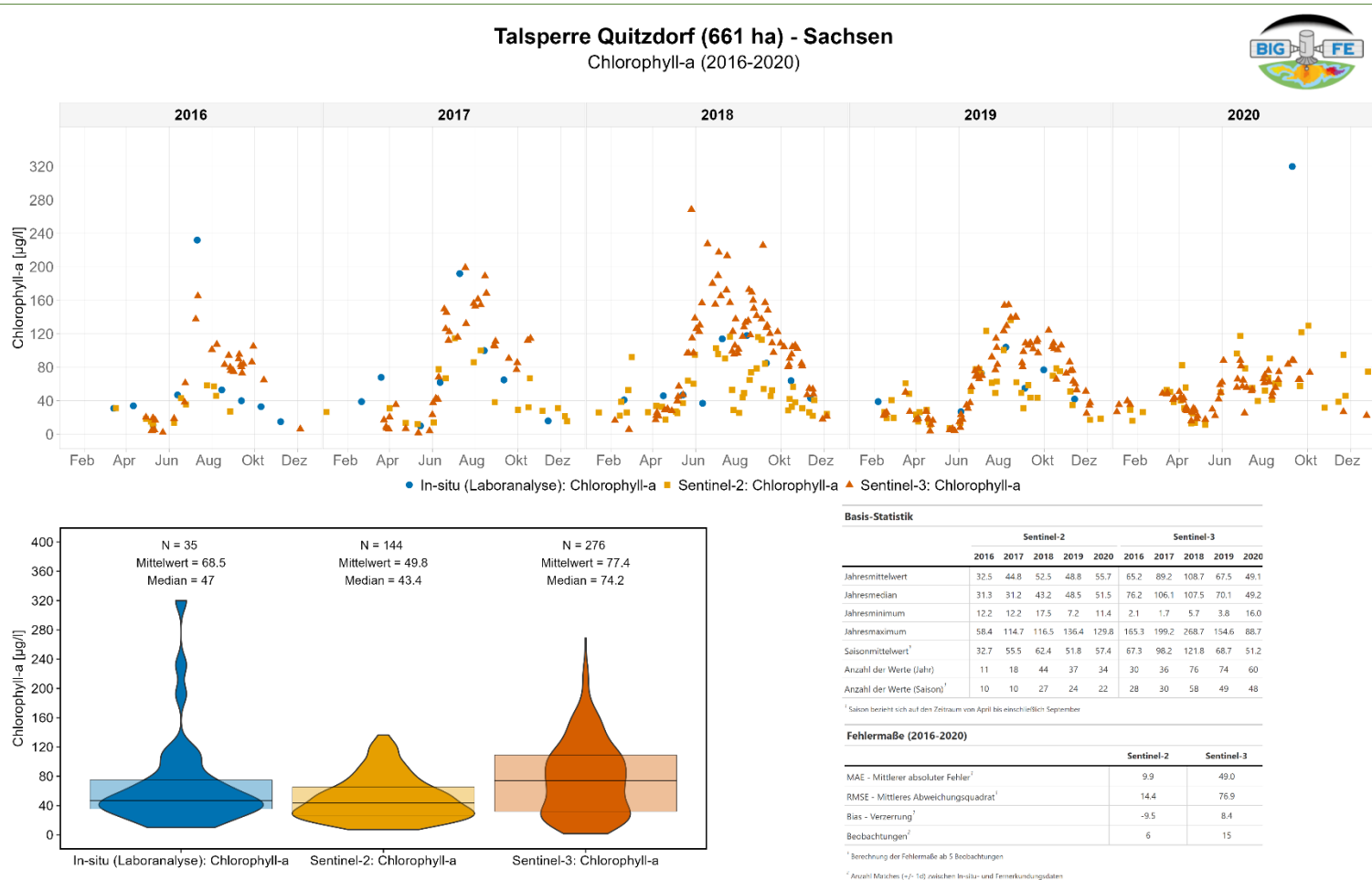
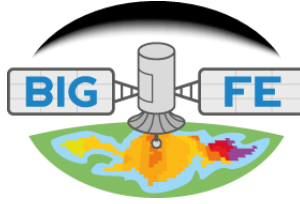
Scatterplots Validierung, beispielhaft

- Sentinel-3
- Chlorophyll-a
- Tag-genau
- Gewässer-skalgig
- Eomap

Fazit: die Übereinstimmung wäre höher, wenn die Prozessierung ans Gewässer angepasst werden würde
Schmidt *et al.* (2024) *Remote Sensing*



Steckbrief mit Violinplots – hier: Talsperre Quitzdorf



	Sentinel-2					Sentinel-3				
	2016	2017	2018	2019	2020	2016	2017	2018	2019	2020
Jahresmittelwert	32.5	44.8	52.5	48.8	55.7	65.2	89.2	108.7	67.5	49.1
Jahresmedian	31.3	31.2	43.2	48.5	51.5	76.2	106.1	107.5	70.1	49.2
Jahresminimum	12.2	12.2	17.5	7.2	11.4	2.1	1.7	5.7	3.8	16.0
Jahresmaximum	58.4	114.7	116.5	136.4	129.8	165.3	199.2	268.7	154.6	88.7
Saisonmittelwert ¹	32.7	55.5	62.4	51.8	57.4	67.3	98.2	121.8	68.7	51.2
Anzahl der Werte (Jahr)	11	18	44	37	34	30	36	76	74	60
Anzahl der Werte (Saison) ¹	10	10	27	24	22	28	30	58	49	48

¹ Saison bezieht sich auf den Zeitraum von April bis einschließlich September

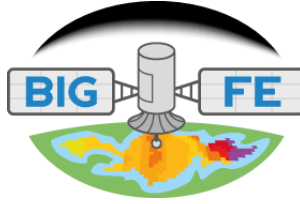
Fehlermaße (2016-2020)		
	Sentinel-2	Sentinel-3
MAE - Mittlerer absoluter Fehler ¹	9.9	49.0
RMSE - Mittleres Abweichungsquadrat ¹	14.4	76.9
Bias - Verzerrung ²	-9.5	8.4
Beobachtungen ²	6	15

¹ Berechnung der Fehlermaße ab 5 Beobachtungen

² Anzahl Märschen (+/- 10) zwischen In-situ- und Fernerkundungsdaten

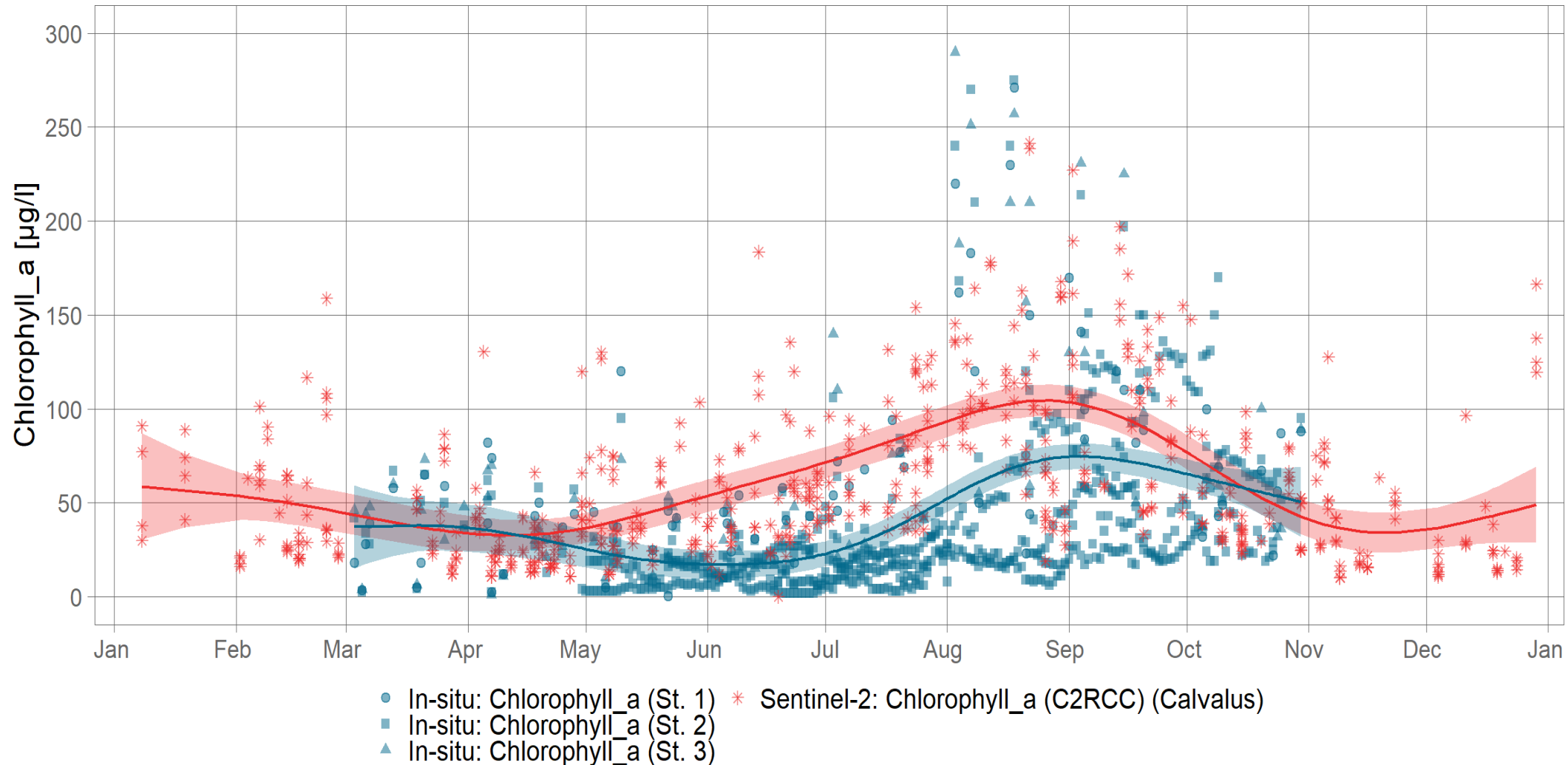
Auf Basis
der
Frage-
bögen →
AP2

Beispiel-Gewässer: zeitliche Variabilität - saisonale Muster

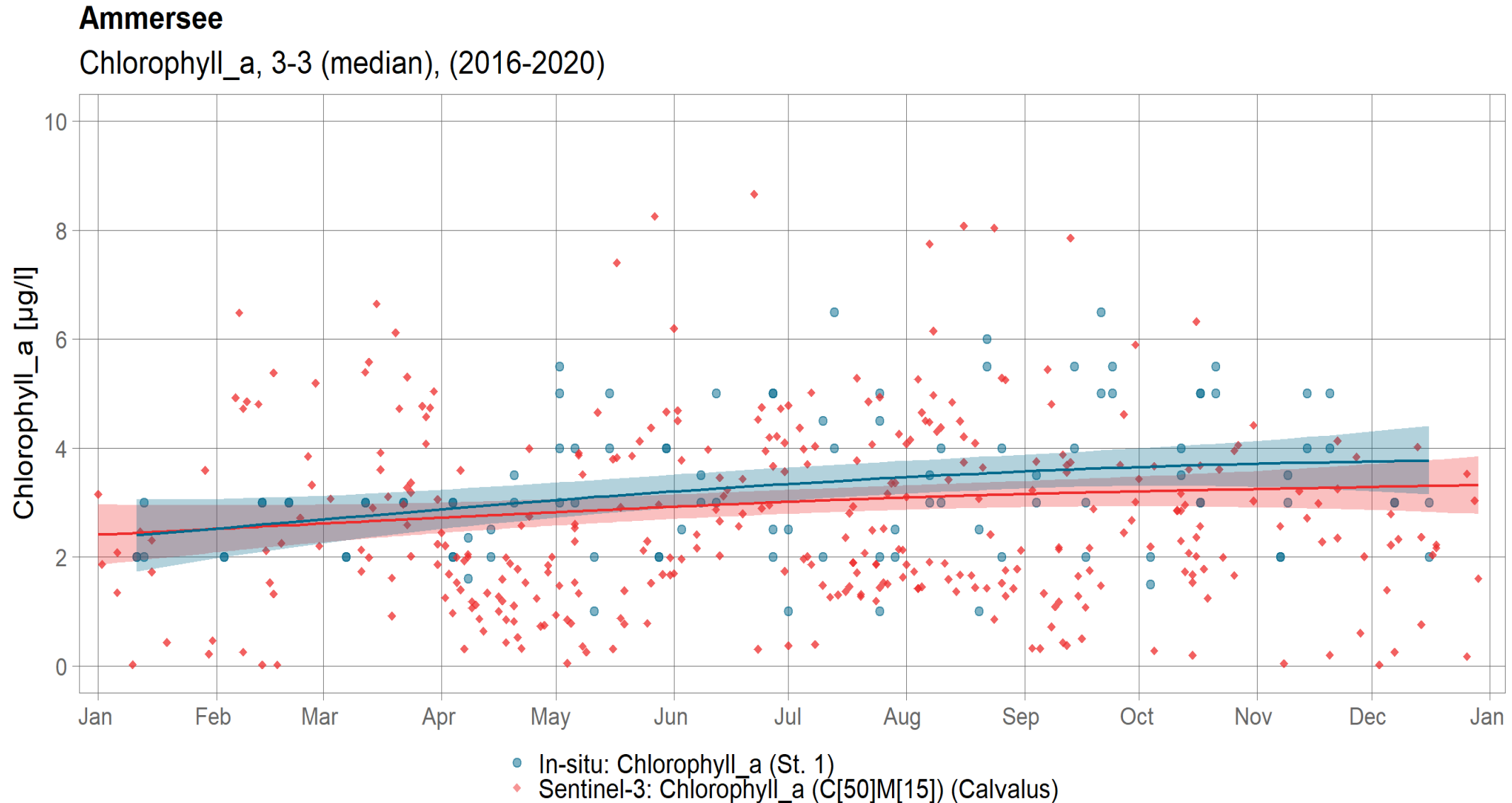
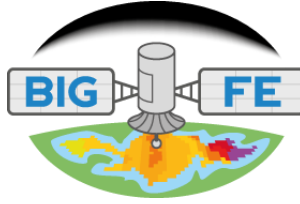


Duemmer

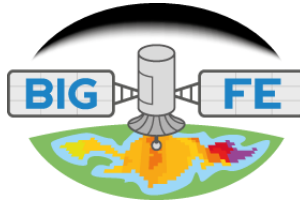
Chlorophyll_a, 3-3 (median), (2016-2020)



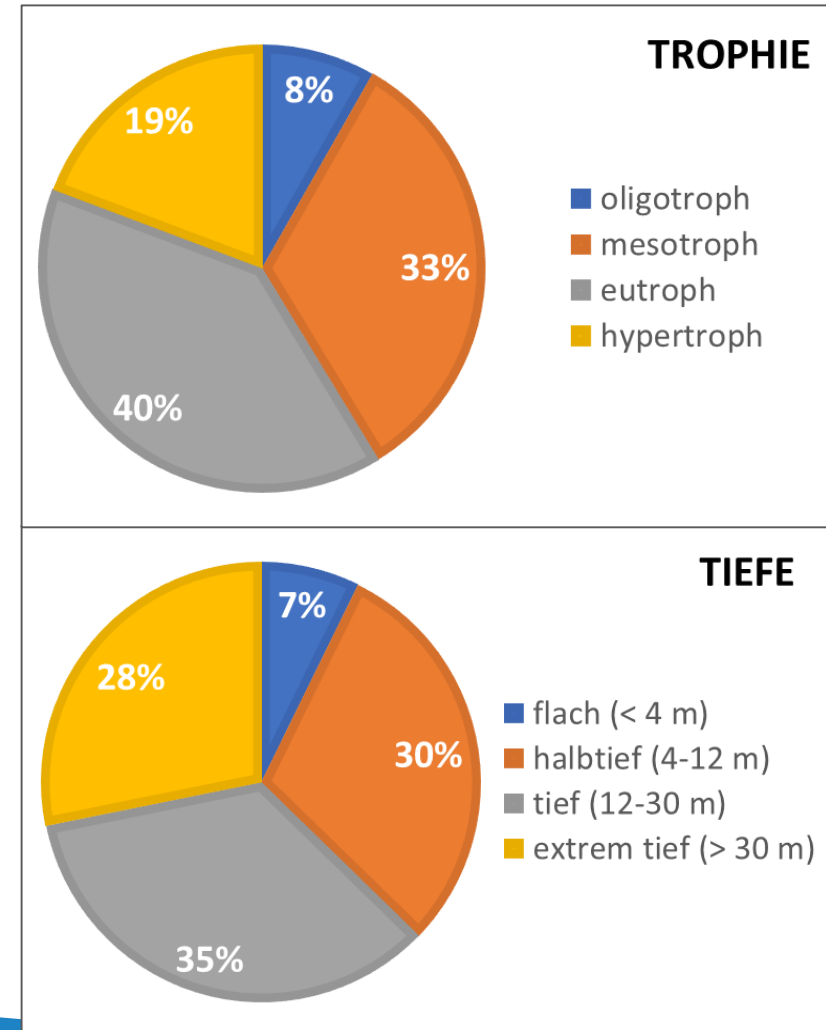
Beispiel-Gewässer: zeitliche Variabilität - **saisonale** Muster



Gibt es Gewässer-weise Eigenschaften, die gegen die Anwendung von Fernerkundung sprechen?



z.B. Tiefe, Trophie?



Tiefe

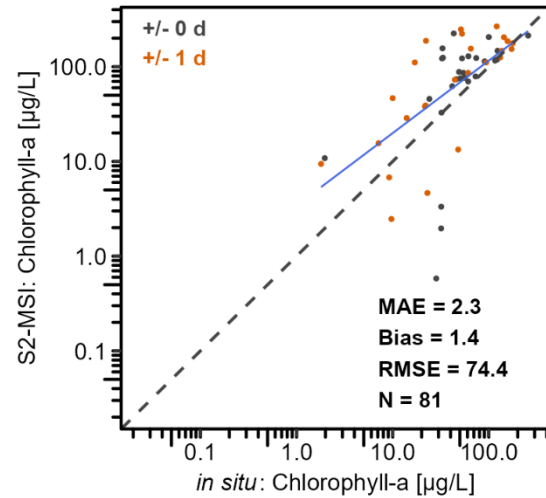
Chlorophyll, Sentinel-2,
 ± 1 Tag,
Gewässer-skalig



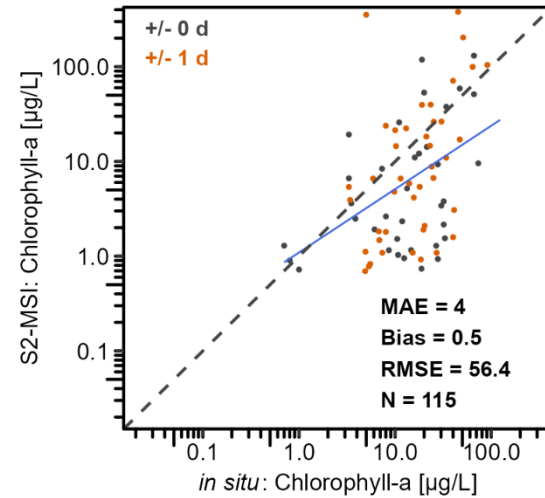
eoApp AQUA

CyanoAlert: chl_conc

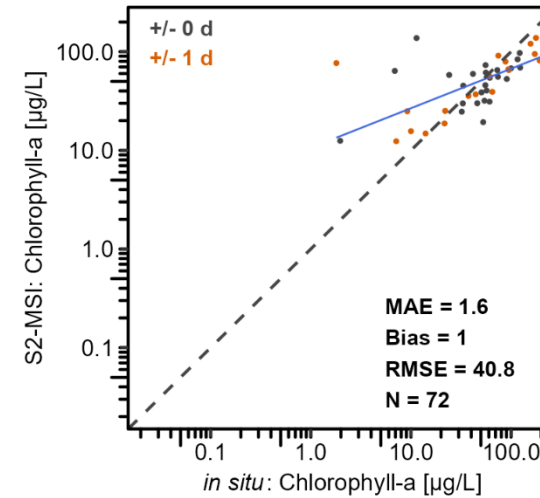
flach, < 4 m



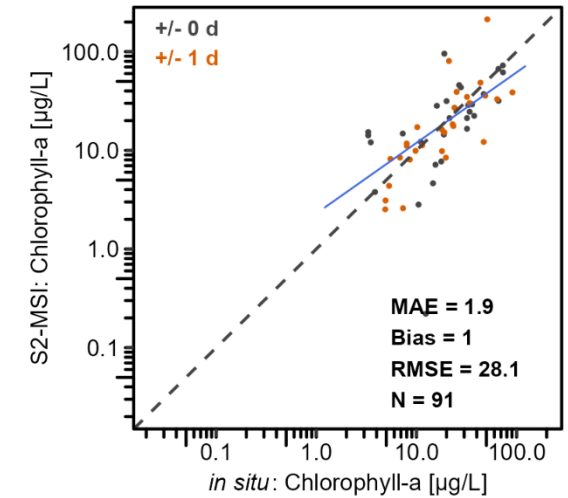
4-12 m



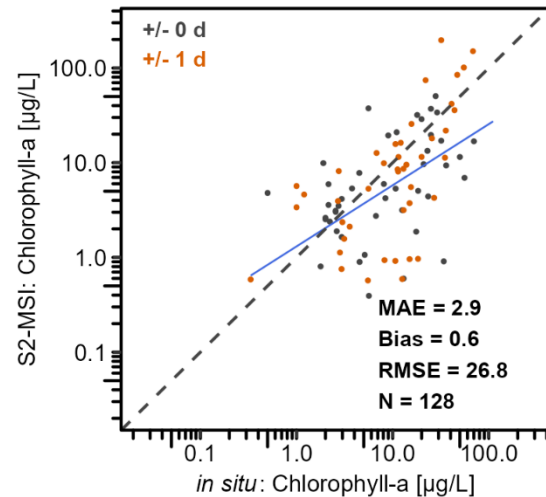
flach, < 4 m



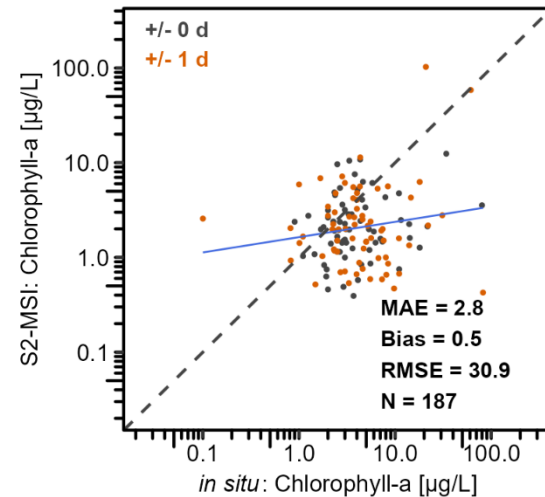
4-12 m



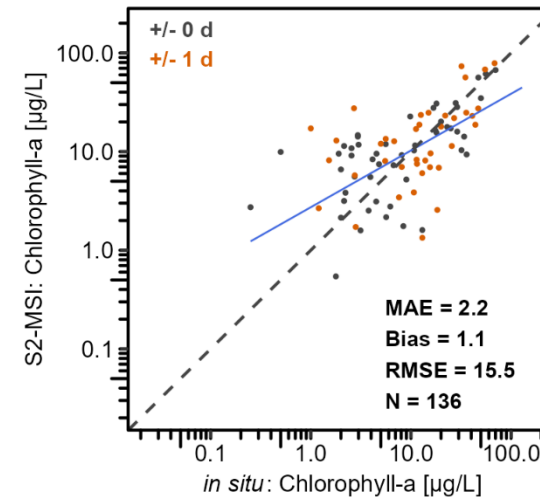
12-30 m



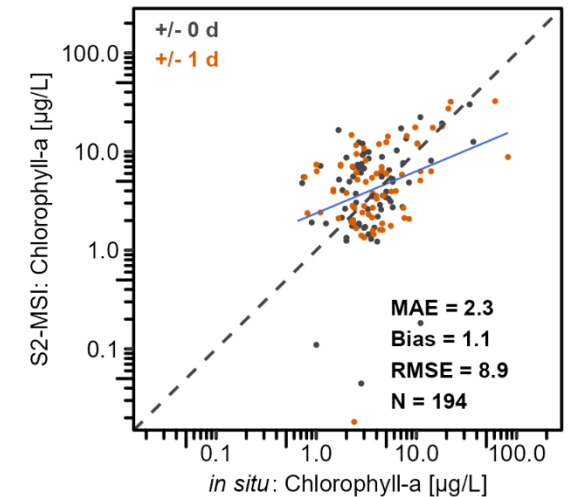
tief, >30 m



12-30 m



tief, >30 m



Trophie

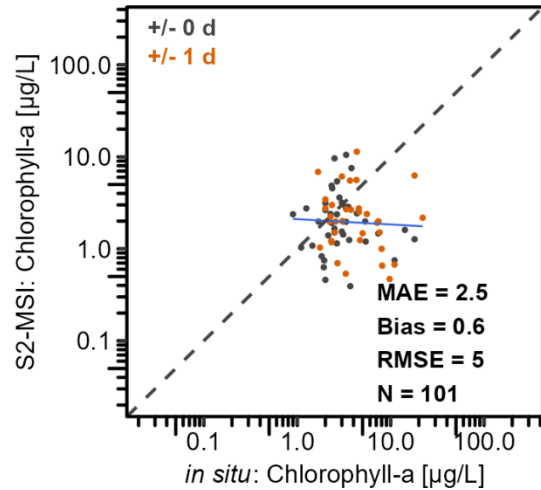
Chlorophyll, Sentinel-2,
 ± 1 Tag,
Gewässer-skalig



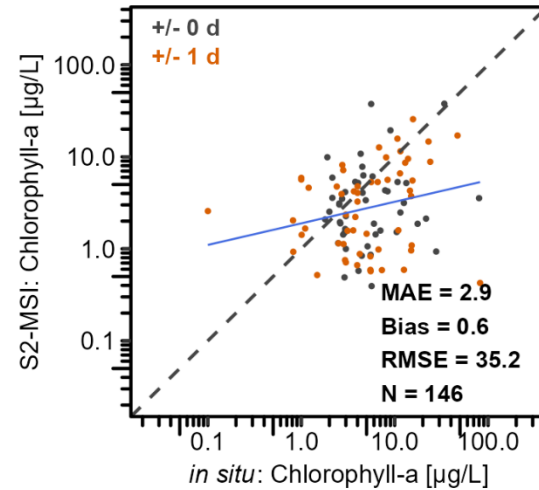
eoApp AQUA

CyanoAlert: chl_conc

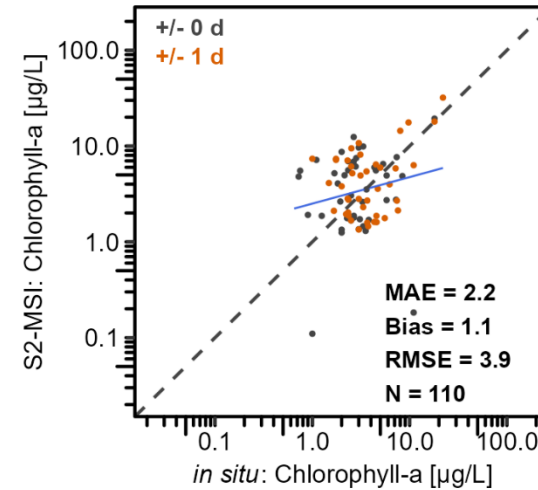
oligotroph



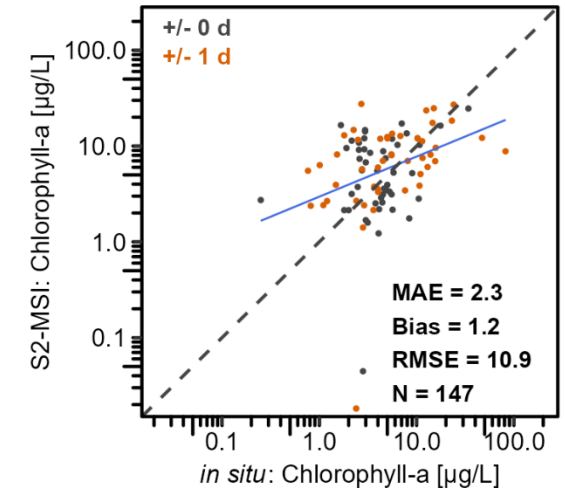
mesotroph



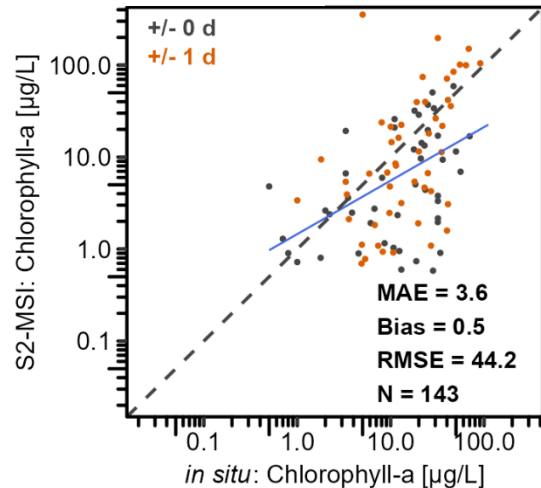
oligotroph



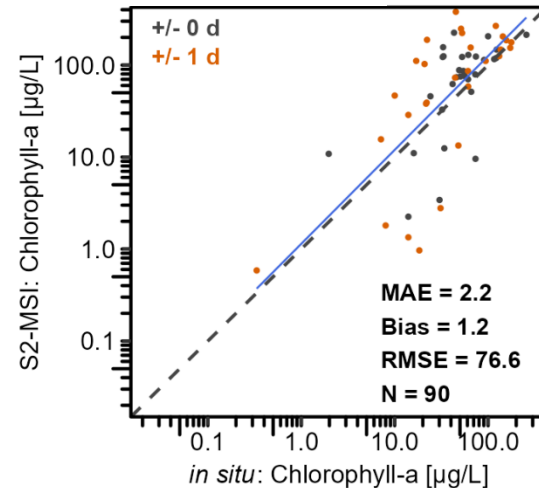
mesotroph



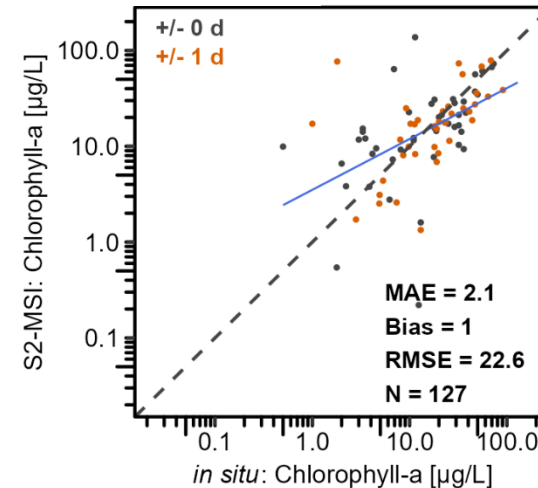
eutroph



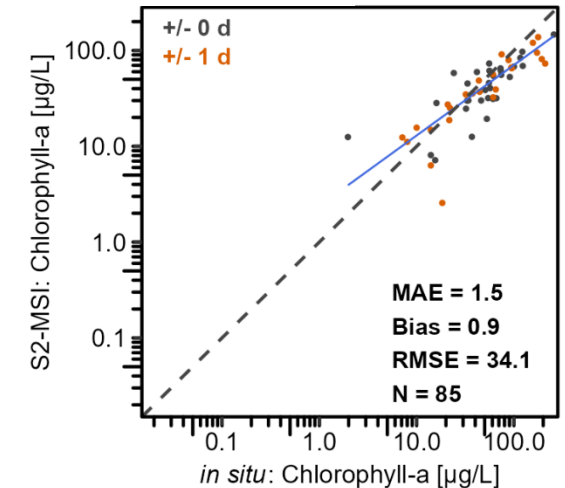
hypertroph



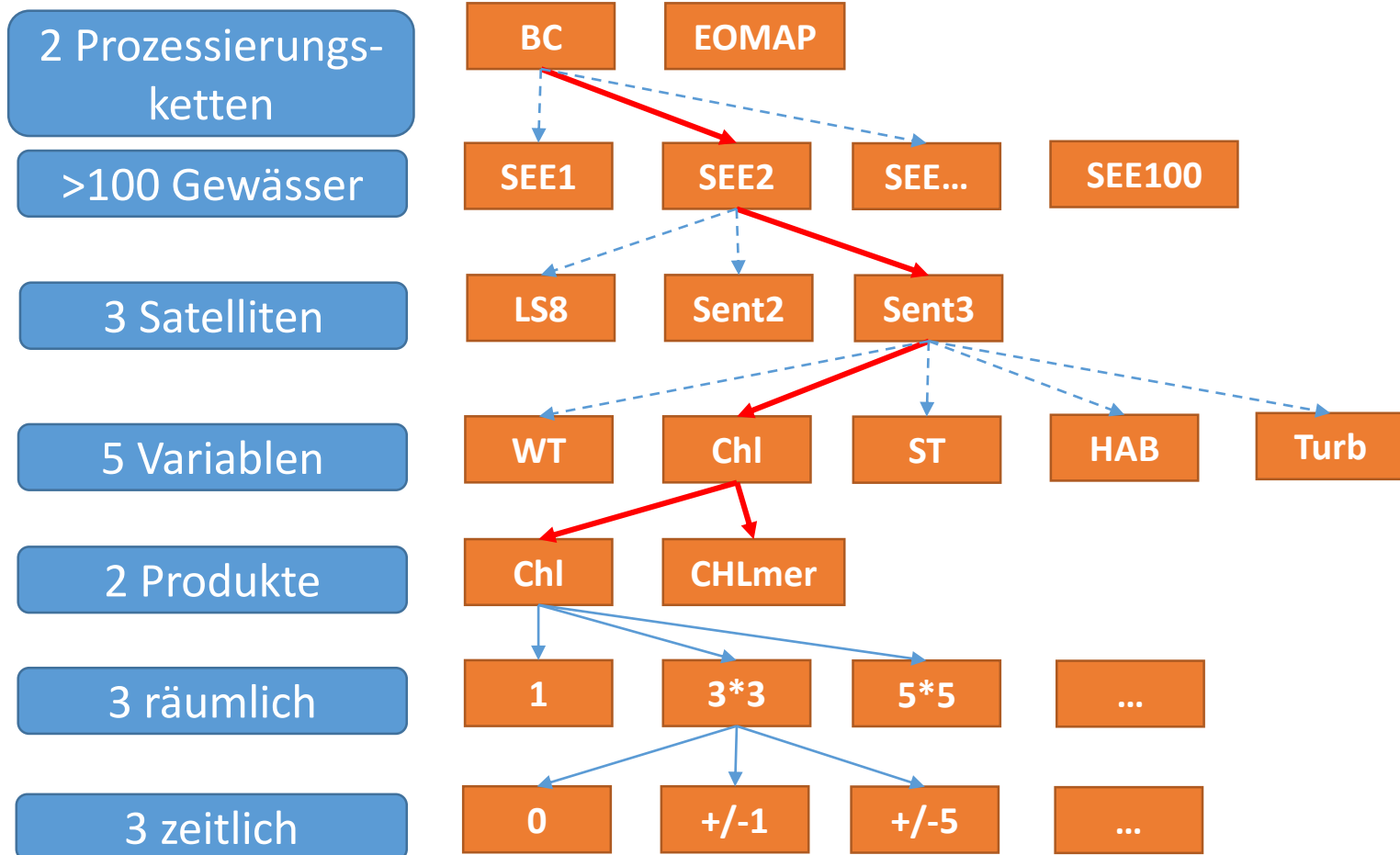
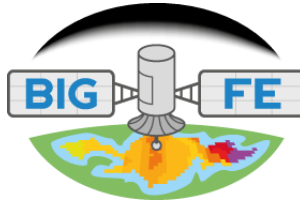
eutroph



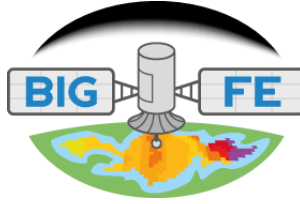
hypertroph



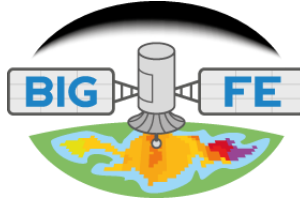
AP1: Entscheidungen



Fazit



- Gute räumliche und zeitliche Abdeckung
- Räumliche oder zeitliche Aggregation nicht so entscheidend
- Trotz Unsicherheit und Fehlern gute Erfassung des mittlere Gewässerzustands
- Lohnenswert, die Daten Länder-übergreifend zusammen zu bringen
- Offen: Harmonisierte Vorgehensweise, Standardisierung



Danke

an alle, die *in situ*-Daten zur Verfügung
gestellt haben

an alle ProjektpartnerInnen