



Mecklenburg-Vorpommern  
Ministerium für Klimaschutz,  
Landwirtschaft, ländliche  
Räume und Umwelt

# Indikatoren zum Monitoring von Klimafolgen in Seen

25. Gewässersymposium des LUNG

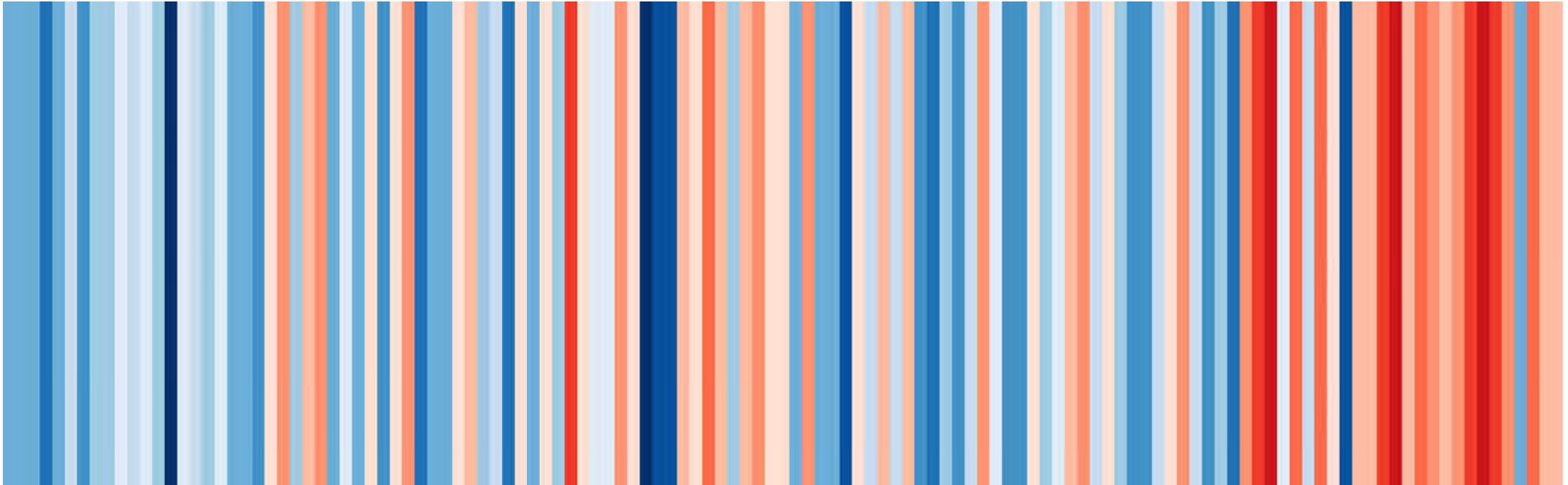
Eckhard Kohlhas, Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft,  
ländliche Räume und Umwelt

Bad Doberan, 22. Juni 2022

# Jahresmitteltemperatur in Mecklenburg-Vorpommern dargestellt als „Warming Stripes“

1881

2020



- Seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881 hat sich das Jahresmittel der Lufttemperatur um 1,3 °C erhöht
- Neun der zehn wärmsten Jahre traten nach dem Jahr 2000 auf

Quelle: Ed Hawkins, <https://showyourstripes.info/>

# Entwicklungsprognose der Lufttemperatur für M-V bei unterschiedlichen Szenarien



	1961-1990	1971-2000	2021-2050 (RCP2.6)	2021-2050 (RCP8.5)	2071-2100 (RCP2.6)	2071-2100 (RCP8.5)
Frühjahr	7,1 °C	7,5 °C	+1,0 °C	+1,3 °C	+1,1 °C	+3,2 °C
Sommer	16,3 °C	16,5 °C	+1,1 °C	+1,4 °C	+1,2 °C	+3,7 °C
Herbst	9,0 °C	8,9 °C	+1,2 °C	+1,5 °C	+1,2 °C	+3,9 °C
Winter	0,2 °C	0,9 °C	+1,1 °C	+1,5 °C	+1,2 °C	+4,1 °C
Jahr	8,2 °C	8,5 °C	+1,1 °C	+1,4 °C	+1,2 °C	+3,7 °C

Quelle: Klimareport M-V 2018

**Bezugszeitraum**  
1971-2000

**Szenario RCP2.6**  
Einhaltung des Klimaziels  
von Paris 2015:  
Erderwärmung deutlich  
unter +2 °C

**Szenario RCP8.5**  
„weiter wie bisher“  
Die Bandbreite der  
Prognosen für 2100 liegt  
zwischen +2,7 und +5°C

# Wasserwirtschaftliche Klimaindikatoren

## - Aktivitäten der LAWA\* -

\* LAWA: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

- 2017: Bericht Wasserwirtschaftliche Klima-Indikatoren in vorhandenen Monitoring-Programmen – Bundesweite Zusammenstellung und Handlungsempfehlungen für eine Vereinheitlichung und Anpassung
- 2018: Einrichtung einer LAWA-Begleitgruppe zur Weiterentwicklung der Indikatoren für das Monitoring der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) im Handlungsfeld „Wasser“
- 2019: Einrichtung einer LAWA-KG „Klimaindikatoren“ des LAWA Ausschuss Klimawandel
- Auftrag: Handlungsempfehlung für die bundeseinheitliche Erfassung von „impact“ und „response“ Indikatoren in der Wasserwirtschaft (bis Ende 2022)
  - „impact“: Einfluss des Klimawandels auf wasserwirtschaftliche Kenngrößen und Qualitätskomponenten
  - „response“: Reaktion auf Veränderungen durch Schutz- oder Anpassungsmaßnahmen

# Für Seen relevante Auswirkungen des Klimawandels

## **steigende Wassertemperatur**

- weniger Tage mit Eisbedeckung
- früher einsetzende biologische Aktivität
- Veränderung des Schichtungs- und Durchmischungsverhaltens
- Veränderung chemischer, physikalischer und biologischer Prozesse
- Veränderung von Lebensgemeinschaften
- ...

## **zunehmende Dauer und Häufigkeit von Dürren**

- abnehmende Zuflüsse über Grund- und Oberflächenwasser
- stärkere Verdunstung auch von Wasserflächen (bis zu 1 cm/Tag)
- eingetragene Stoffe mangels Verdünnung stärker konzentriert
- ...

## **zunehmende Häufigkeit und Intensität von Starkregen**

- Stoffeinträge durch Erosion
- Einleitungen von Niederschlagswasser und Mischwasserabschlägen
- ...

# In der LAWA KG bearbeitete Klimaindikatoren für Seen

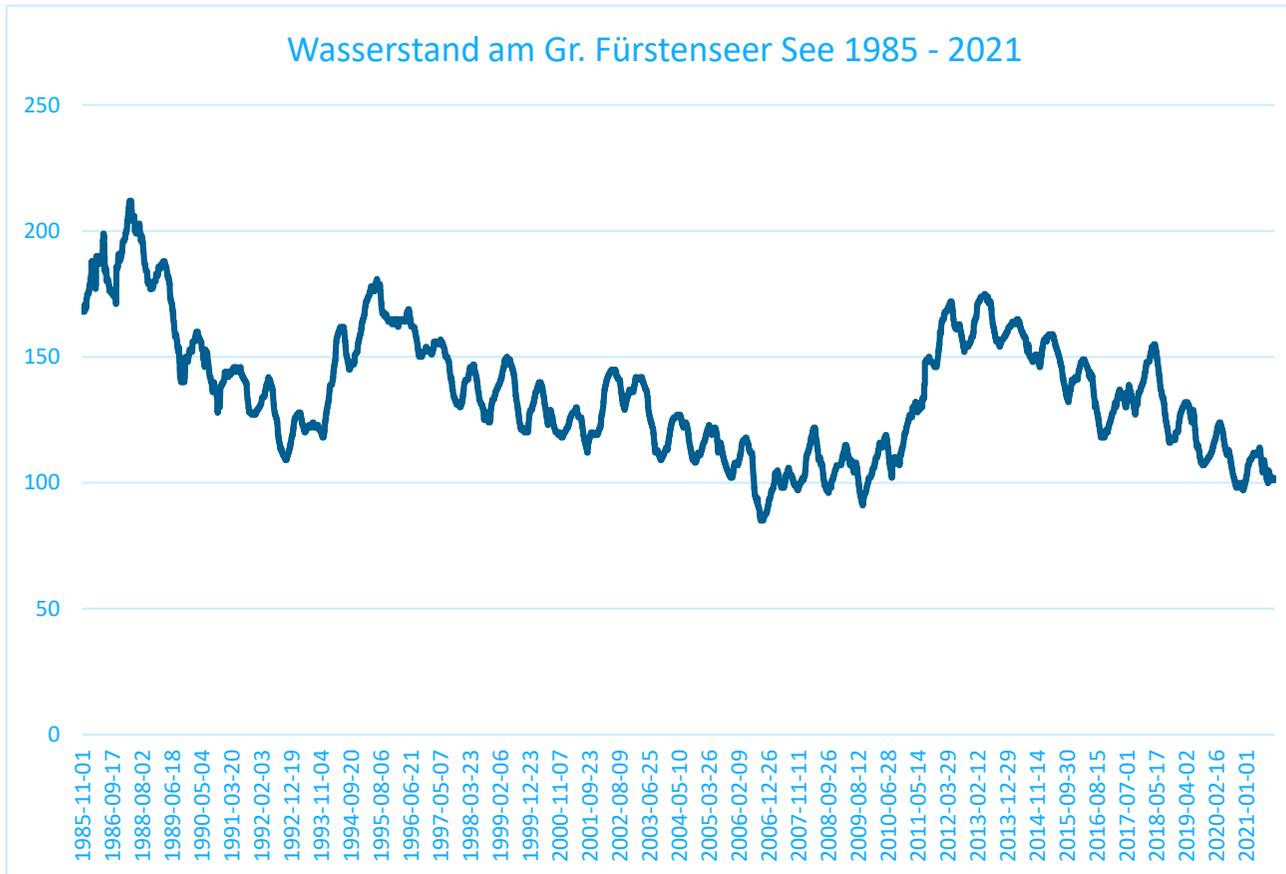
## Impact - Indikatoren

- Wasserstand
- Wassertemperatur
- Eintreten der Frühjahrsalgenblüte
- Beginn und Dauer der Stagnationsperiode
- Blaualgenbelastung
- Eisbedeckung

## Response – Indikatoren

- noch keine identifiziert

# Wasserstand – Pegel in Standgewässern von M-V



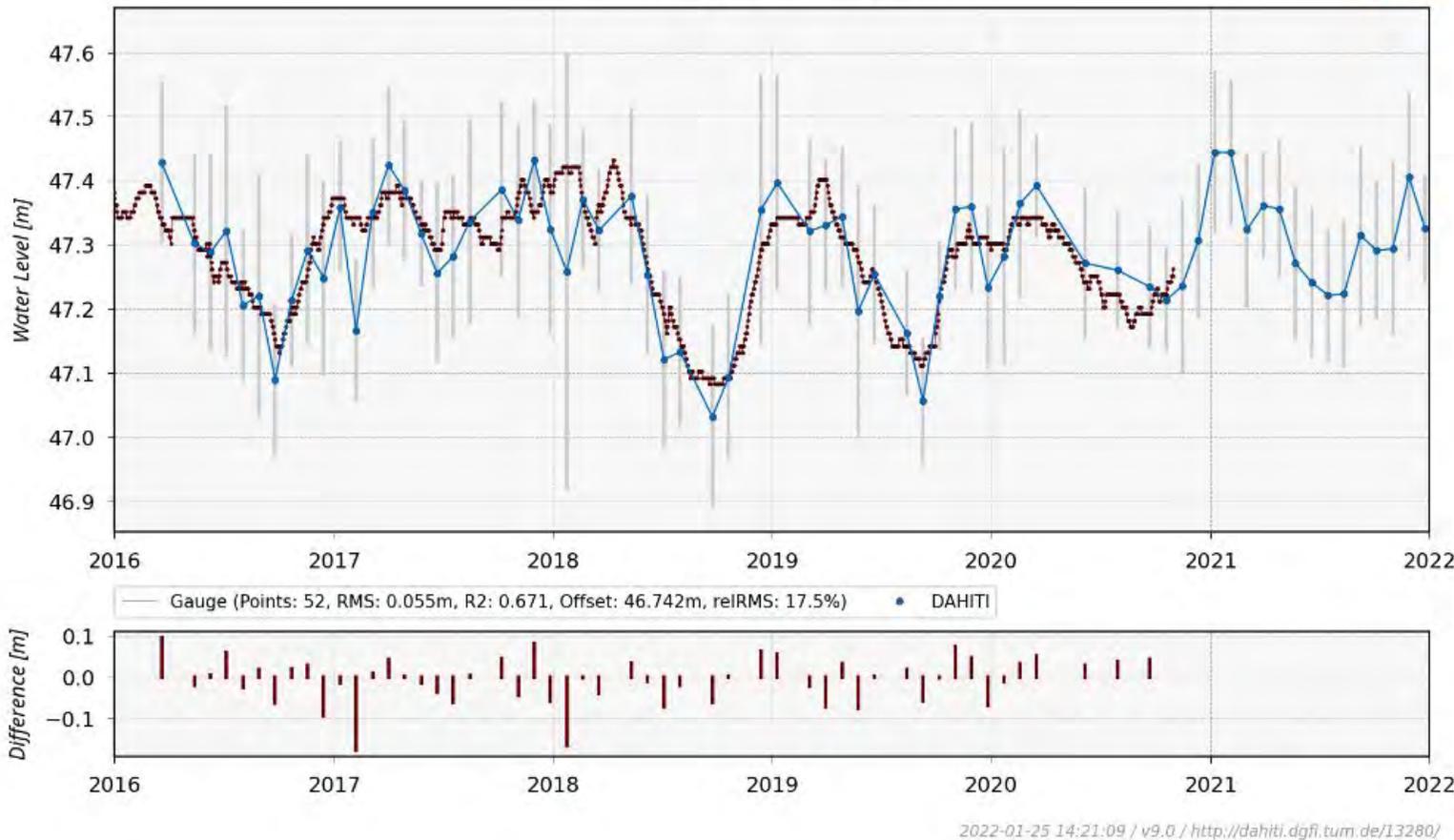
88 Seen mit Pegeln gemäß Überwachungserlass  
davon nur 10 Seen mit  
(weitgehend) unregelmäßigem  
Wasserstand bzw. nicht  
durchflossen

Über 2000 Seen (> 1 ha)  
unbeobachtet!

Entwicklung des Wasserstands am Pegel Fürstensee für die hydrologischen Jahre 1985 – 2021  
Datenquelle: StALU MS, Pegeldatenbank des Gewässerkundlichen Landesdienstes M-V

# Bestimmung Seespiegelhöhe mit Satelliten-Altimetrie - Pilotprojekt mit der TU-München

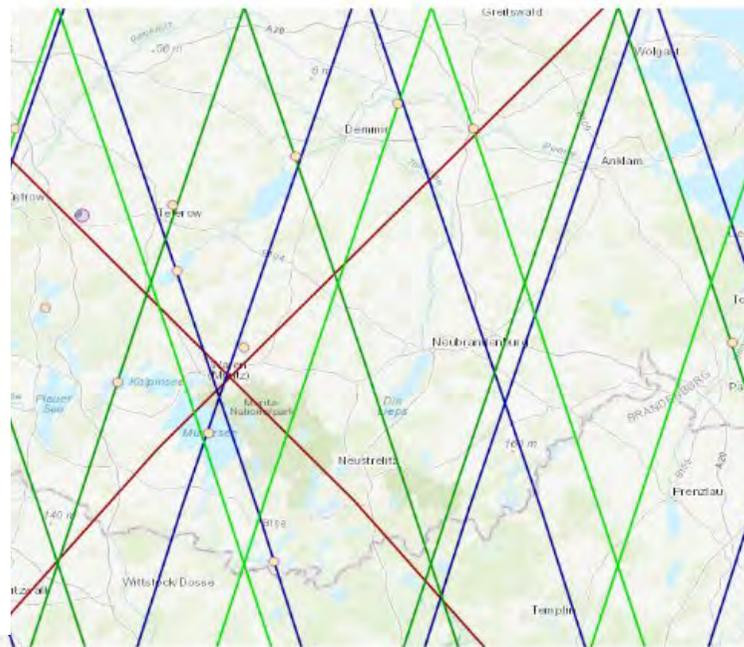
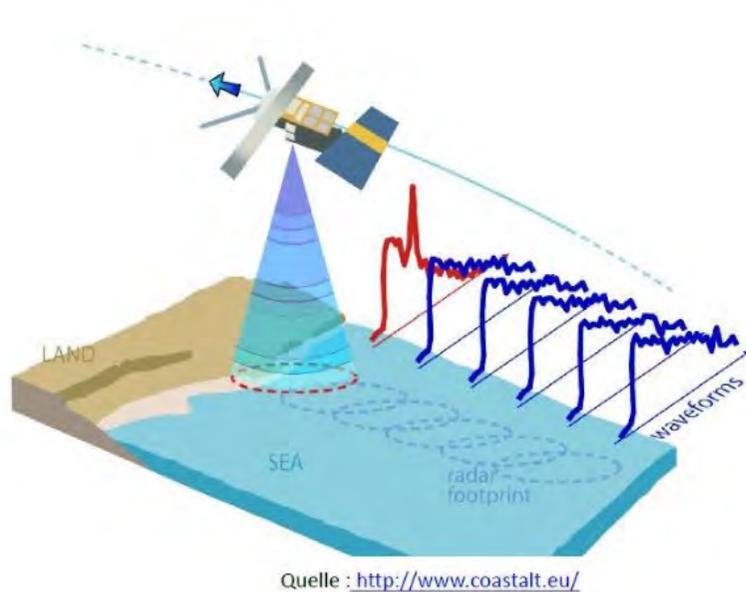
Goldberger, Lake (13280)



	v8.0	v9.0	Perf.
Points	60	52	-13.3%
RMSE	0.109	0.055	-49.2%
R2	0.276	0.671	+142.8%
%RMSE	29.9%	17.5%	-41.7%



# Satelliten-Altmetrie bislang noch nicht flächendeckend und hochaufgelöst



Satellit mit SAR      Wiederkehrfrequenz

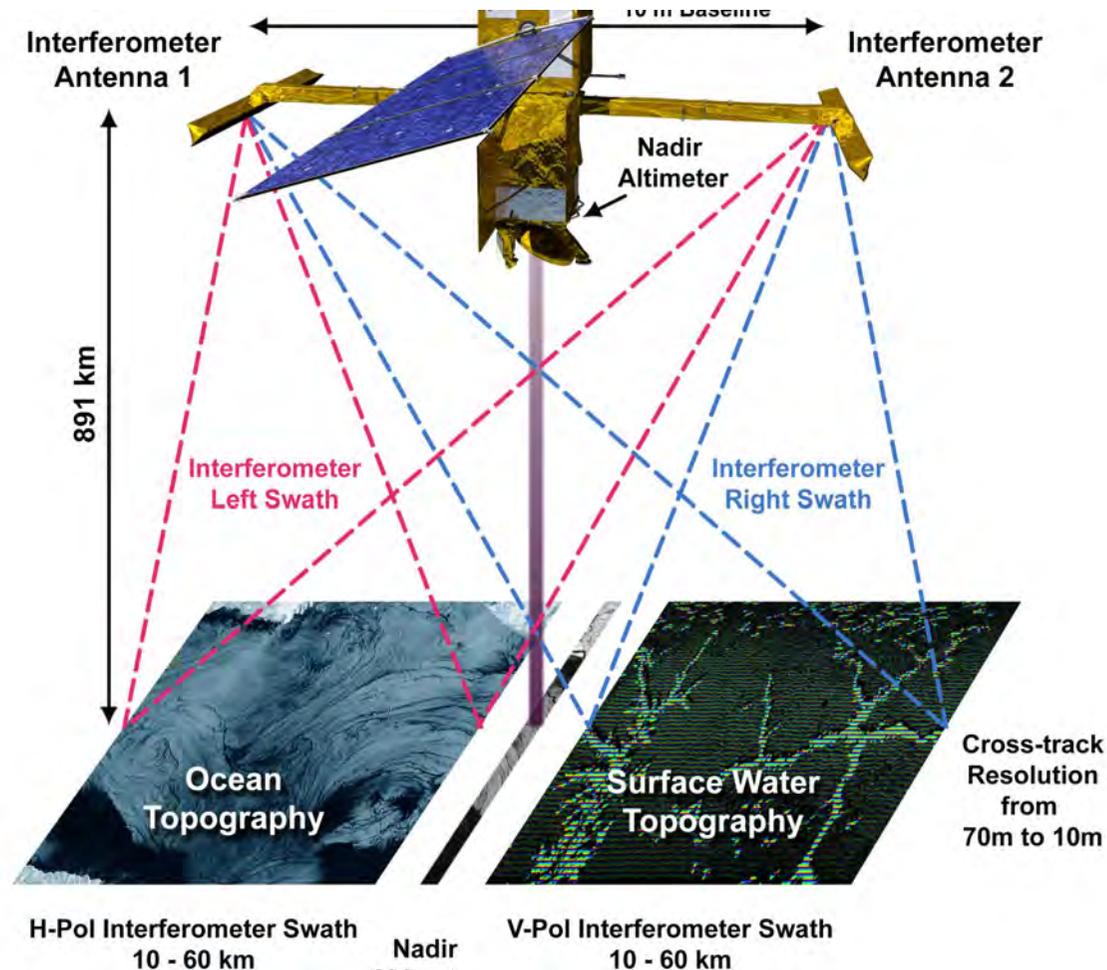
Jason-1/-2/-3	10d
Envisat	35d
Sentinel-3A	27d
Sentinel-3B	27d
Cryosat-2	369d
ICESat-2	90d

Quelle: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI-TUM) | Technische Universität München

- Satelliten mit SAR-Sensor messen bislang nur senkrecht unter ihrer Flugbahn (Nadir). Daher werden nur wenige erfasst. Abbildung zeigt Messprinzip und Flugbahnen in MV
- aufgrund des Durchmessers des Bodensignals nur Wasserspiegelhöhen größerer Seen sicher bestimmbar (+/- 4 cm bei der Müritze)

# SWOT\* - die Weiterentwicklung der Satelliten-Altimetrie

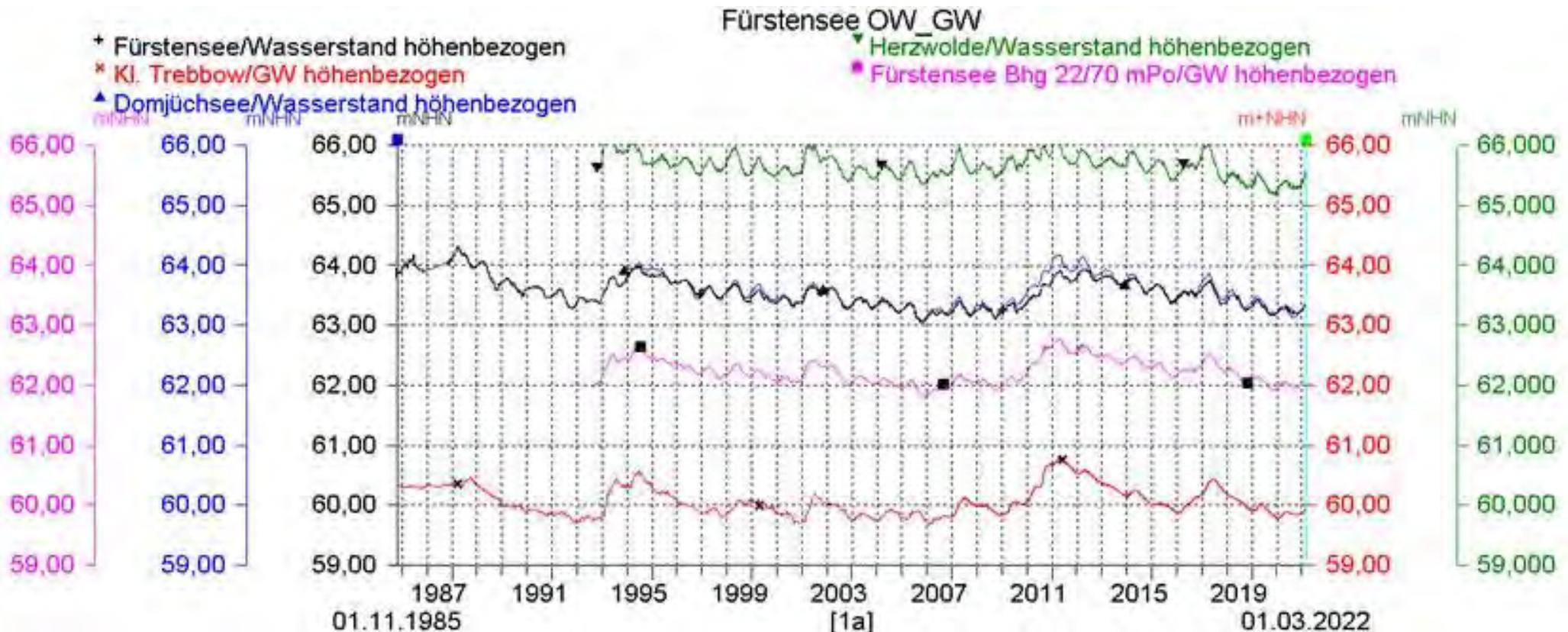
\*Surface Water and Ocean Topography



- Start in 2022 geplant
- speziell für Messung der Oberfläche der Meere und der oberirdischen Gewässer geplant
- flächendeckende Erfassung
- Auflösung:
  - Flüsse > 100 m Breite
  - Seen > 250x250m (6 ha)
- aber: Mission zeitlich befristet (geordnete Rückkehr des Satelliten)

Bildquelle: <https://swot.jpl.nasa.gov/>

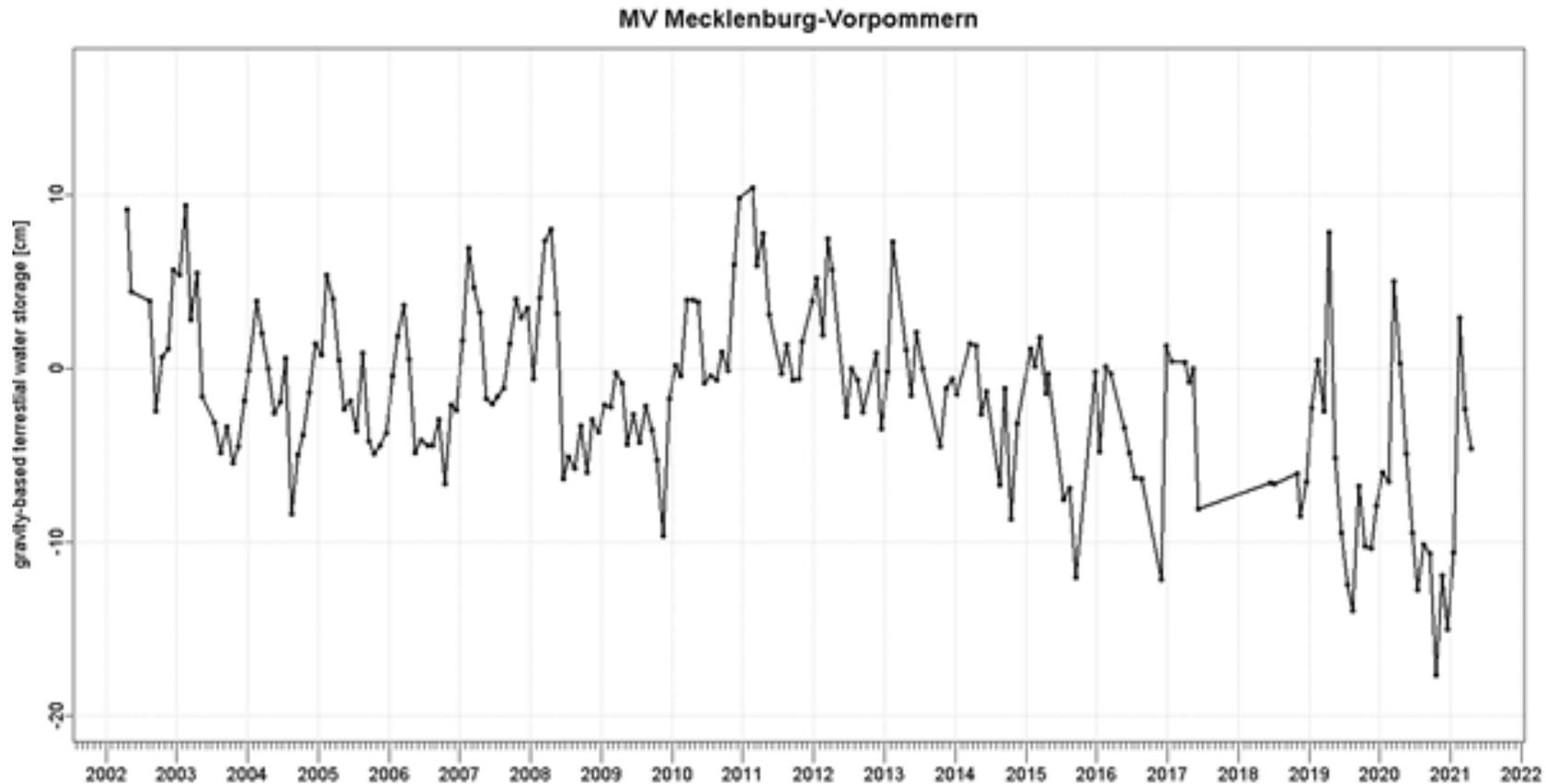
# Wasserstand in (nicht regulierten) Seen als Indikator der Wasservorräte



Pegelzeitreihen des Gr. Fürstenseer Sees am Pegel Fürstensee und des Lutowsees am Pegel Herzwolde im Vergleich mit benachbarten Grundwasserpegeln  
Datenquelle: StALU MS

# Wasservorräte in gesamt M-V

## Entwicklung der letzten 20 Jahre

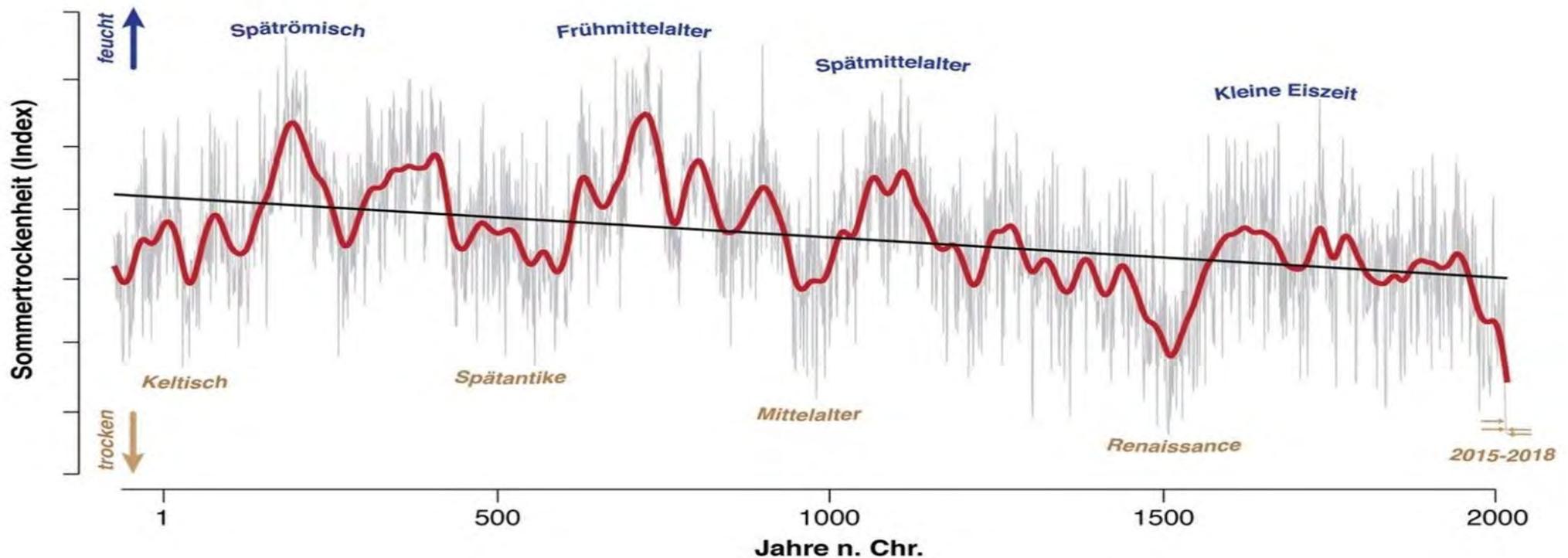


Auswertung der Daten des Satellitenpaars GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) zur Messung der terrestrischen Wasserspeicherung 2002-2021 für das Gebiet von Mecklenburg-Vorpommern.

Quelle: Auswertung der BFG für die LAWA-KG Klimaindikatoren

GRACE-Daten werden Grundlage eines neuen Indikators für den Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)

# Versuch der Einordnung in langjährige Entwicklungen: sommerliche hydroklimatische Bedingungen seit der Römerzeit

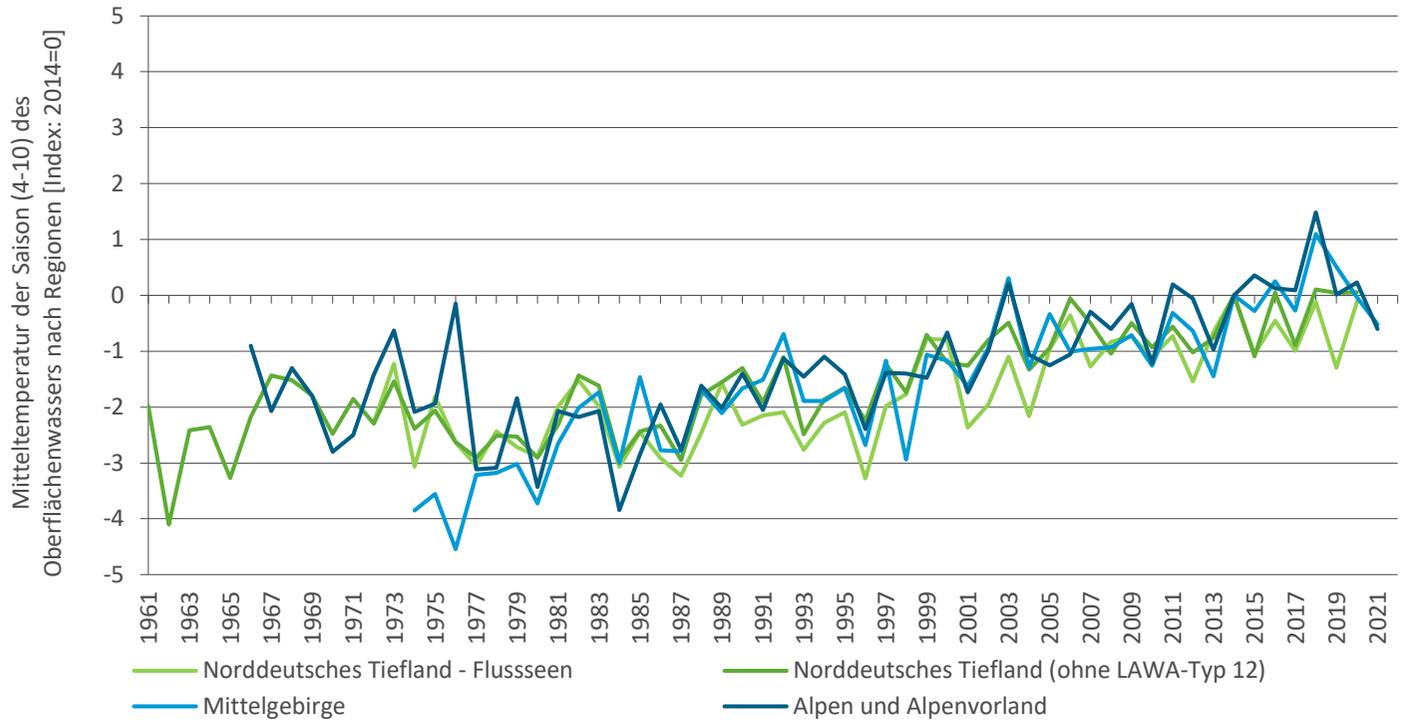


Autor: Büntgen et al. (2021): Recent European drought extremes beyond Common Era background variability.

In: Nature Geoscience 14, S.190-196

Bildquelle: <https://infothek.bmk.gv.at/assets/uploads/2021/03/trockenheitgrafik.jpg> (abgerufen am 11.5.2022)

# Wassertemperatur

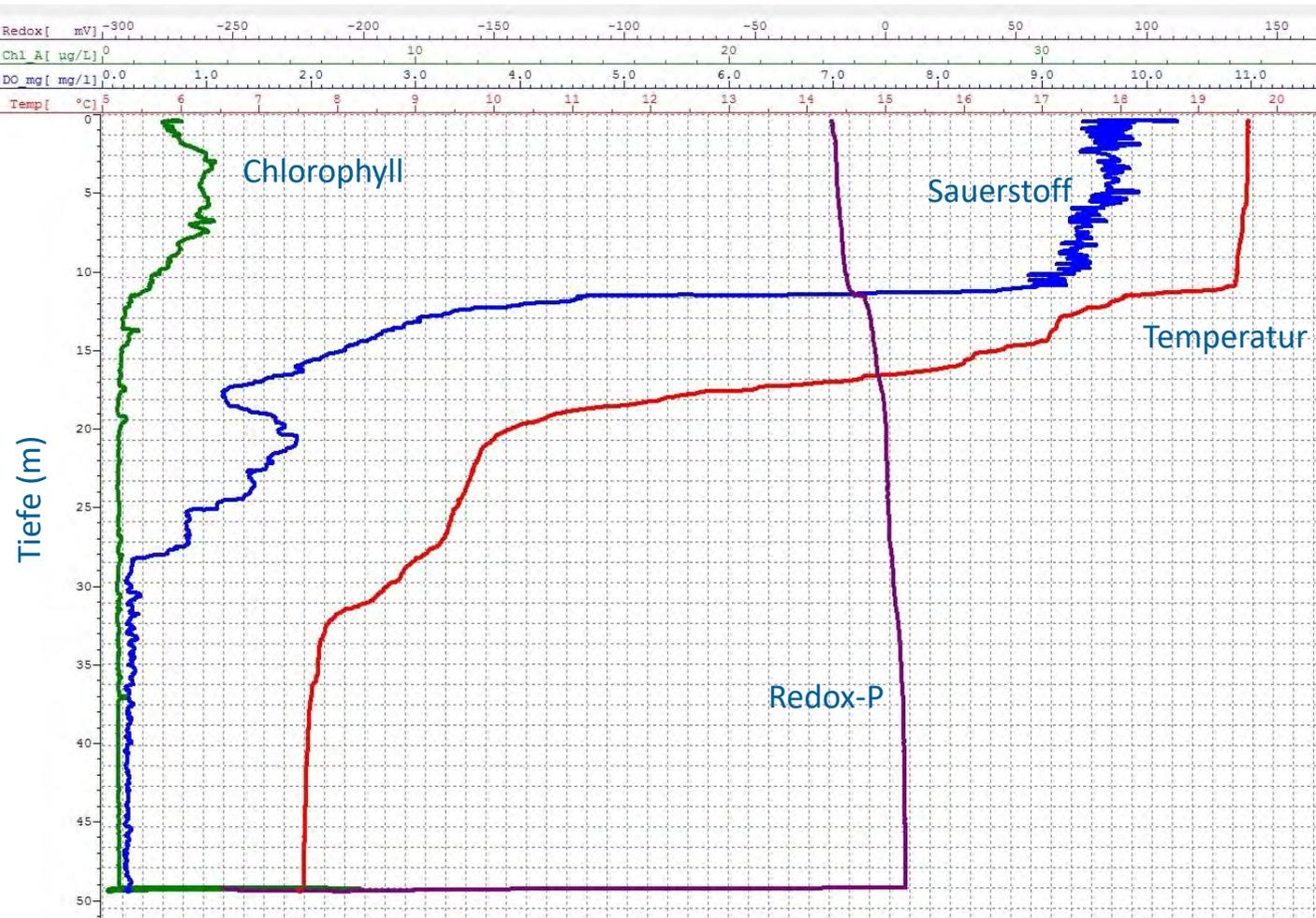


Datenquelle: BE SenUMVK, BW LUBW, BY LfU, BB IGB, MV MLU, SN LTV, TH TLUBN, TH TFW, (Seenmonitoring,Talsperrenüberwachung)

- bundesweit nur für wenige Seen und nur an der Oberfläche gemessene langjährige Zeitreihen mit täglichen Messungen verfügbar
- viele fehlende Messwerte
- kein einheitliches Messverfahren

Datenbereitstellung durch die Gewässerkundlichen Dienste der Länder  
 Auswertung: Bosch& Partner im Auftrag der KG Klimaindikatoren der LAWA

# Beginn und Dauer der Sommerstagnation

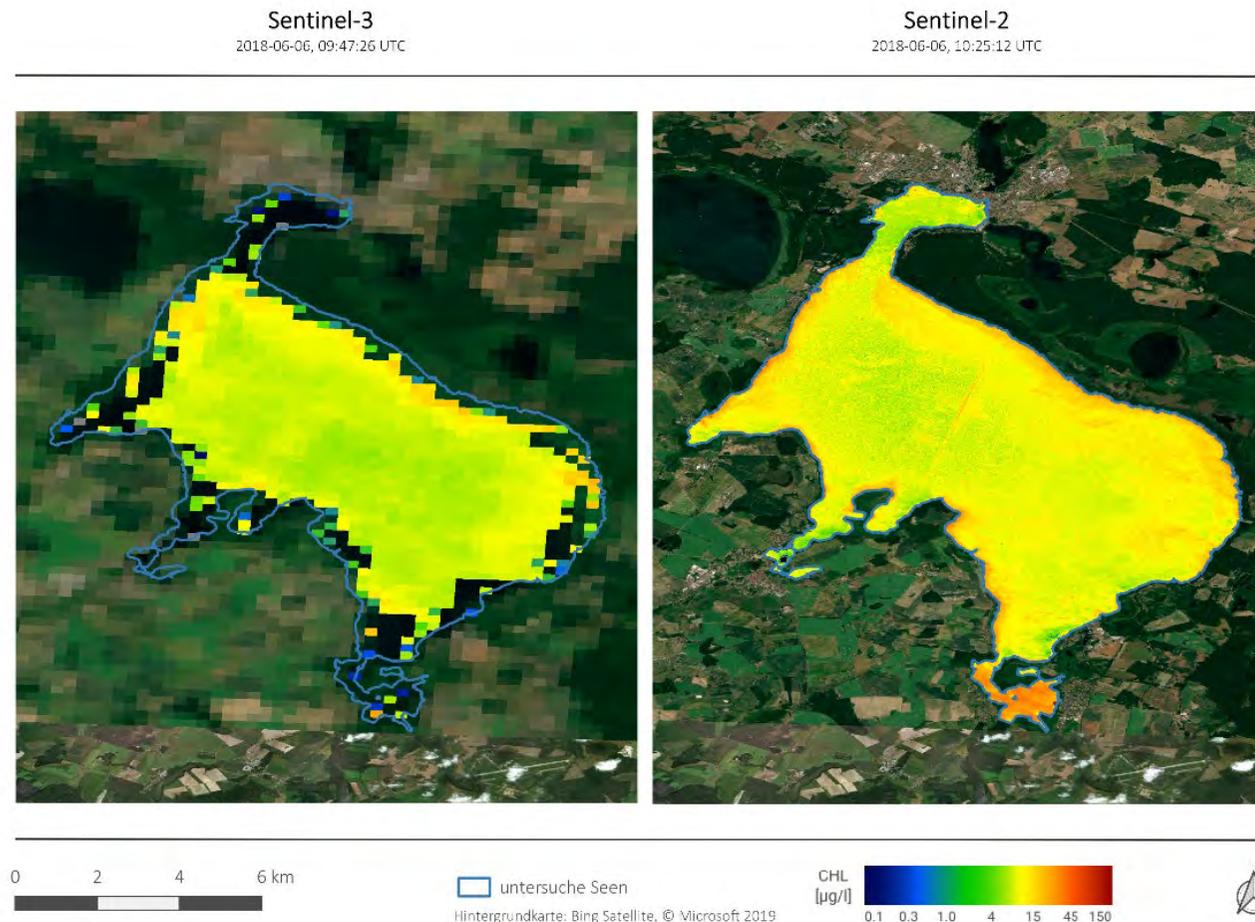


Tiefenprofil gemessen mit der Multiparameter-Sonde im Schweriner See b. Willigrad am 19.09.2016  
Quelle StALU WM

- Indikator für den „Charakter“ eines Sees
- beeinflusst maßgeblich die ökologischen und physikalisch-chemischen Prozesse im See
- Monitoring nach WRRL zeitlich nicht hoch genug aufgelöst (6x /Jahr)
- bislang nur an ausgewählten Seen verfügbar
- LAWA LFP-Projekt initiiert
- >>Vortrag Dr. Schwefel

# Eintreten der Frühlingsalgenblüte in Seen

- Monitoring nach WRRL zeitlich nicht hoch genug aufgelöst Verfahren
- Methode Fernerkundung weitgehend ausgereift
- gute Übereinstimmung mit In-Situ-Messungen
- räumliche Differenzierung
- Sentinel-Daten kostenlos
- Problem: Wolken
- im Winterhalbjahr nicht/schlecht verwendbar
- für kleinere Seen nicht geeignet
- >> CONNECT-Vortrag



Chlorophyllkonzentrationen in der Müritz bestimmt mit Daten von Sentinel 3, Auflösung bis 300 m, Wiederkehr täglich  
Sentinel 2, Auflösung bis 10 m, Wiederkehr alle 2-3 Tage  
Datenquelle: EOMAP im Auftrag des Seenprogramms M-V

# Fazit: In Seen lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels messen

## Wasserstand

In Seen seit Jahrzehnten bundesweit gemessen. Allerdings oft beeinflusst durch menschliche Steuerung. Daher wenige verwendbare Zeitreihen für unbeeinflusste Pegel. Liefert im Zusammenhang mit dem Grundwasser wichtige Erkenntnisse über die Wasservorräte. Für kleinere, unbeobachtete Gewässer keine Daten verfügbar. Ggfls. Pegel in regional repräsentativen Gewässern neu errichten. Perspektivisch satellitengestützt messbar?

## Wassertemperatur

Langjährige Messreihen für die Oberflächenwassertemperatur liegen nur für bundesweit 40 Seen mit verwertbaren Daten vor. Wechsel von Messmethode und Sensor zuweilen schlecht dokumentiert. Satellitengestützt messbar.

## Dauer der Stagnationsperiode

Neue Methodenstandards in der Entwicklung (s. Vortrag Dr. Schwefel)

## Eintreten der Frühjahrsalgenblüte und Blaualgenbelastung

Können mit dem „normalen“ Monitoring (6 Termine zwischen März und Oktober) nicht erfasst werden. Methoden der Fernerkundung dieser Parametersind weit entwickelt (s. Vortrag Dr. Berger, Dr. Wollrab). „Letzte Meile“ zur Nutzung in den Gewässerkundlichen Diensten fehlt noch.



Mecklenburg-Vorpommern  
Ministerium für Klimaschutz,  
Landwirtschaft, ländliche  
Räume und Umwelt

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt**

Eckhard Kohlhas

Telefon +49 385 588-16460

e.kohlhas@lm.mv-regierung.de

<https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/lm/>