

Belastung aquatischer Ökosysteme mit Kunststoffmüll

Möglichkeiten eines globalen und lokalen Monitorings mittels Satelliten-gestützter Methoden

Elizabeth C. Atwood*, J. Franke, S. Enghart, S. Piehl, M. Bochow, H. Imhof,
F. Siegert, C. Laforsch

Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus. „Copernicus Erfolgreich Nutzen“, 03.–05.11.2015

* atwood@rssgmbh.de

Sentinels4marine plastic waste



UNIVERSITÄT
BAYREUTH

GFZ

Helmholtz Centre
POTSDAM



Gefördert durch:



DLR

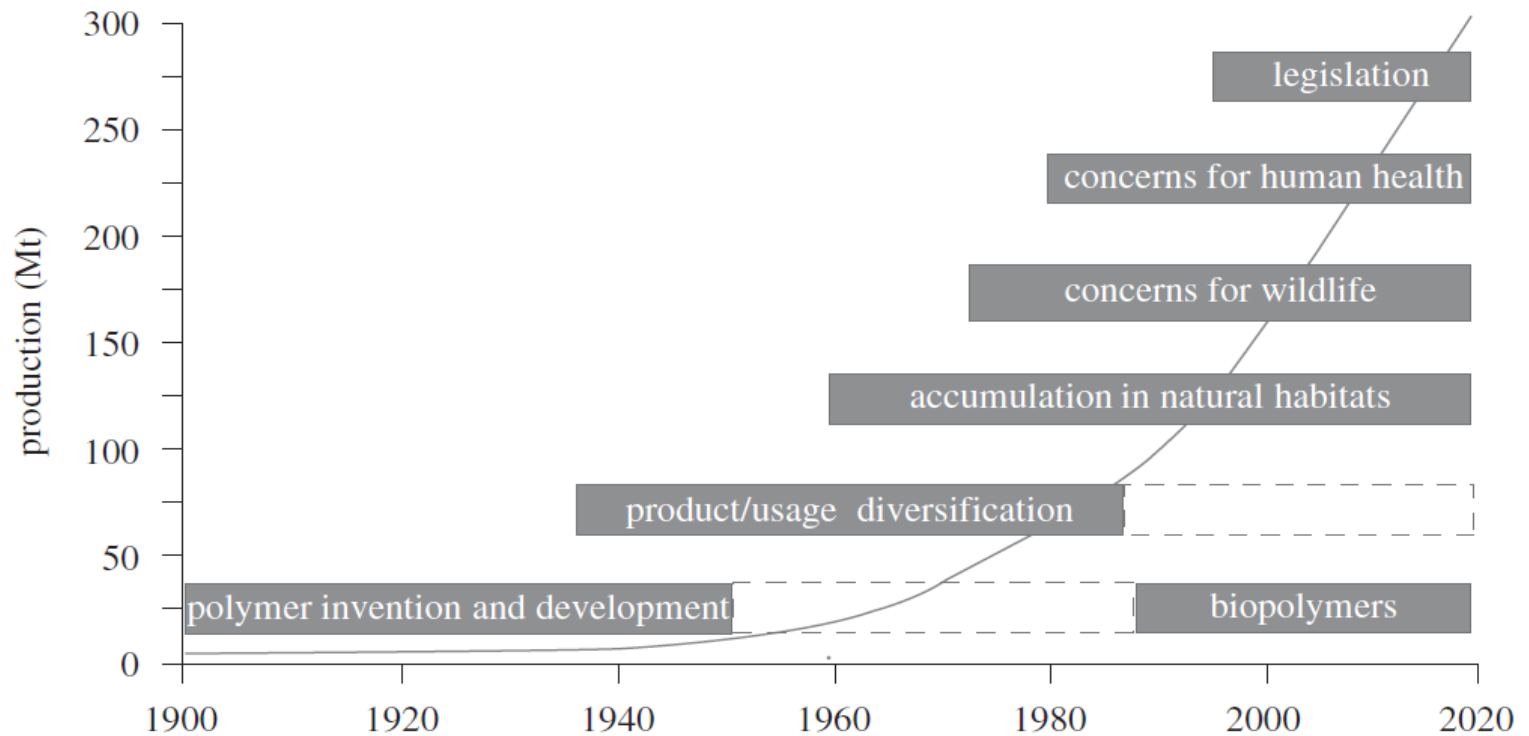
Raumfahrtmanagement



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Das Kunststoffzeitalter

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick



Thompson *et al.* (2009)

Das Kunststoffzeitalter

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

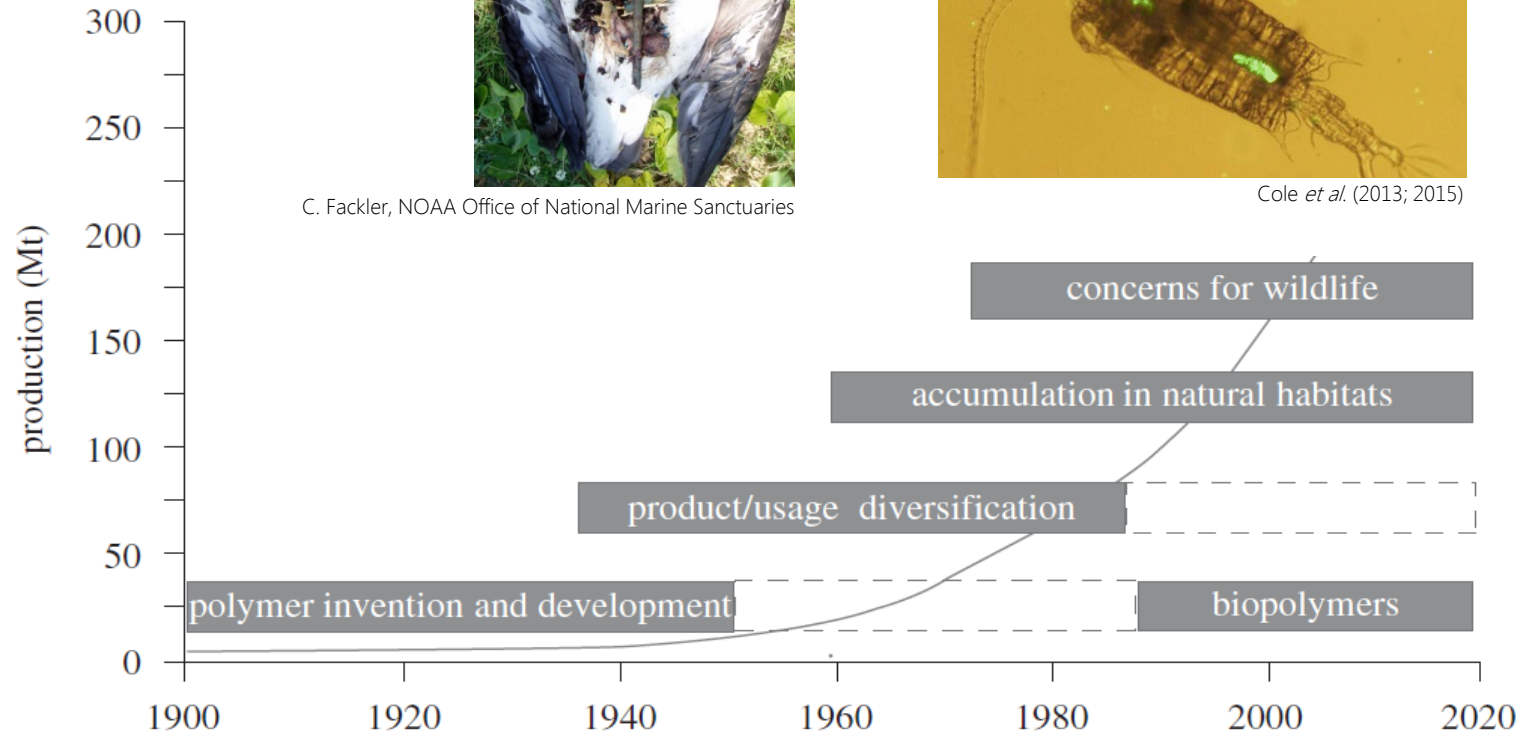
Fazit & Ausblick



C. Fackler, NOAA Office of National Marine Sanctuaries



Cole *et al.* (2013; 2015)



Thompson *et al.* (2009)

Das Kunststoffzeitalter

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

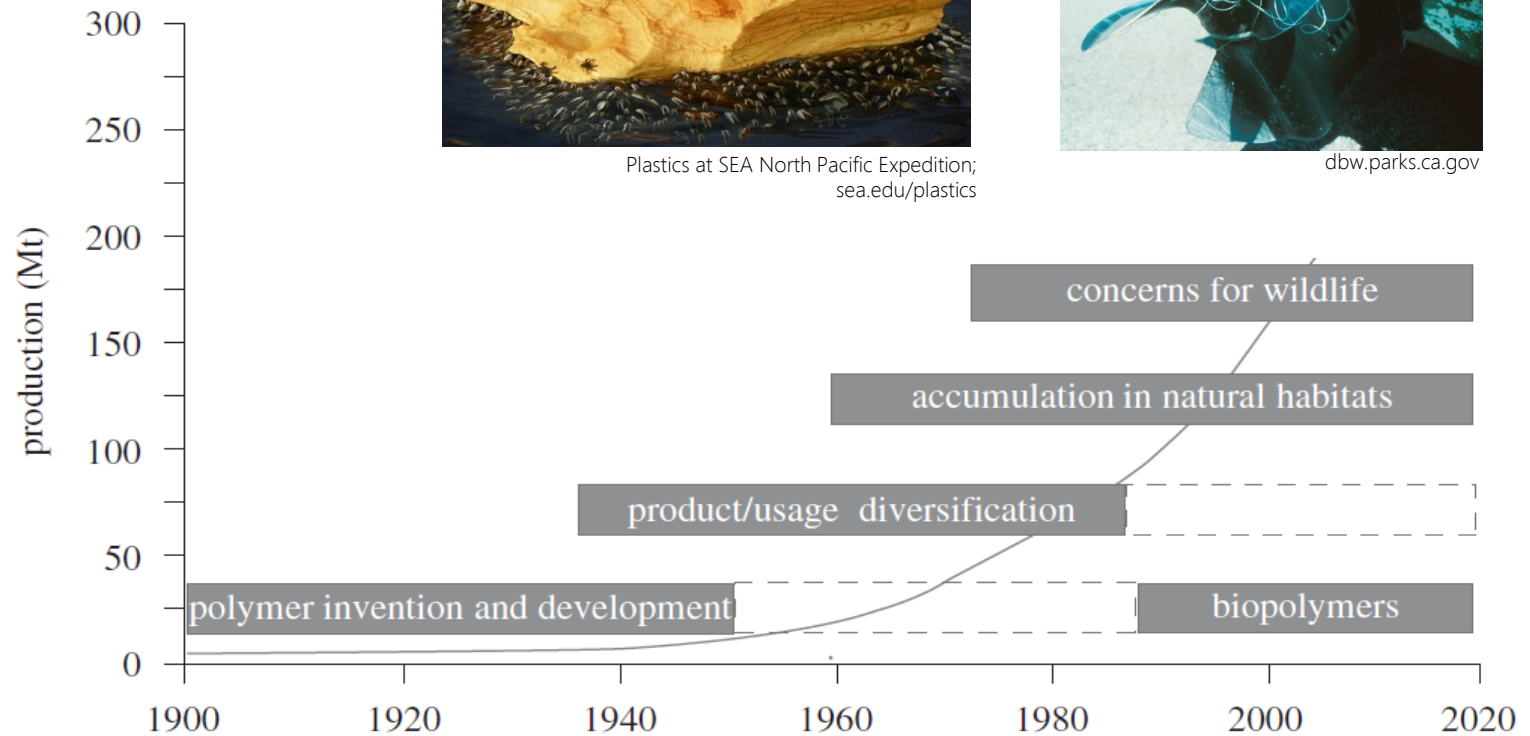
Fazit & Ausblick



Plastics at SEA North Pacific Expedition;
sea.edu/plastics



dbw.parks.ca.gov



Thompson *et al.* (2009)

Das Kunststoffzeitalter

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

Methoden

Vorläufige

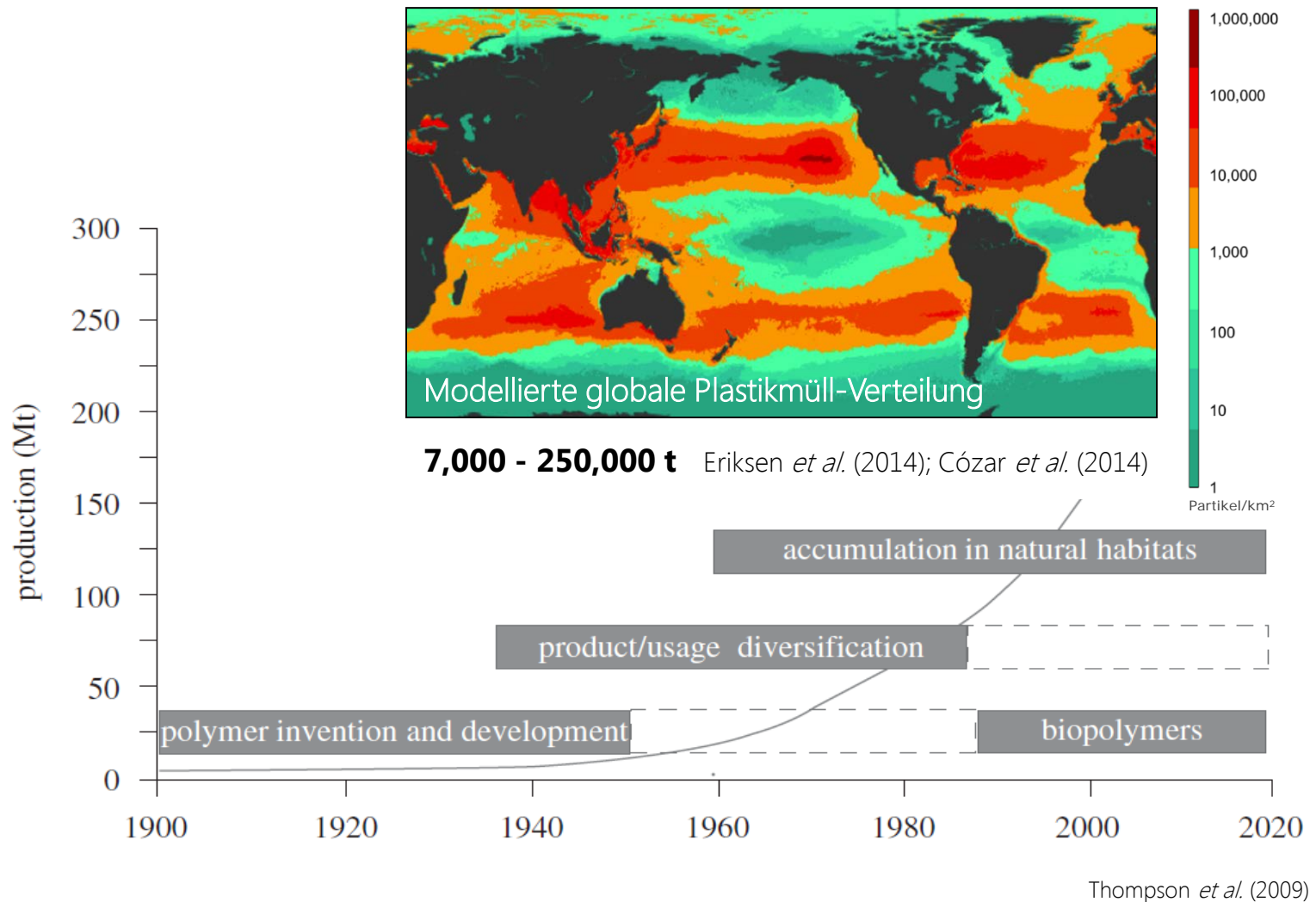
Ergebnisse

Ozeanwirbel

Überblick

Indikatoren

Fazit & Ausblick



Aktuelle Plastik-Monitoringmethoden

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

Fazit & Ausblick

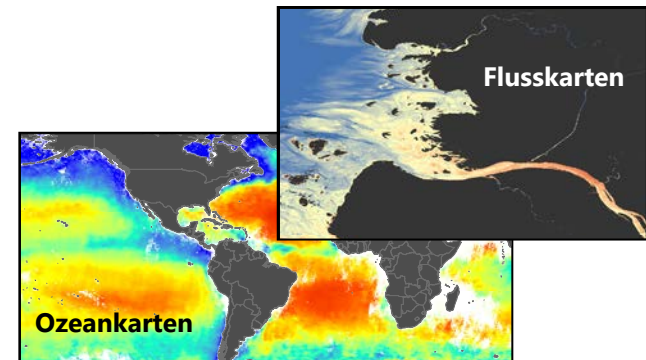
Flüsse	Kaum Daten Oft nach Sturmereignissen
Küsten	Strand Monitoringprogramme (z.B. Coastal Cleanup) Fokus: Makroplastiktteile (> 5mm)
Ozean	Netzzüge an der Oberfläche Strömungsmodelle + bekannte Plastikmüll-Quellen



S. Piehl



satimagingcorp.com



- Können fernerkundliche Methoden nutzbare Information liefern, um Monitoring-Programme zu verbessern?

Projektziele

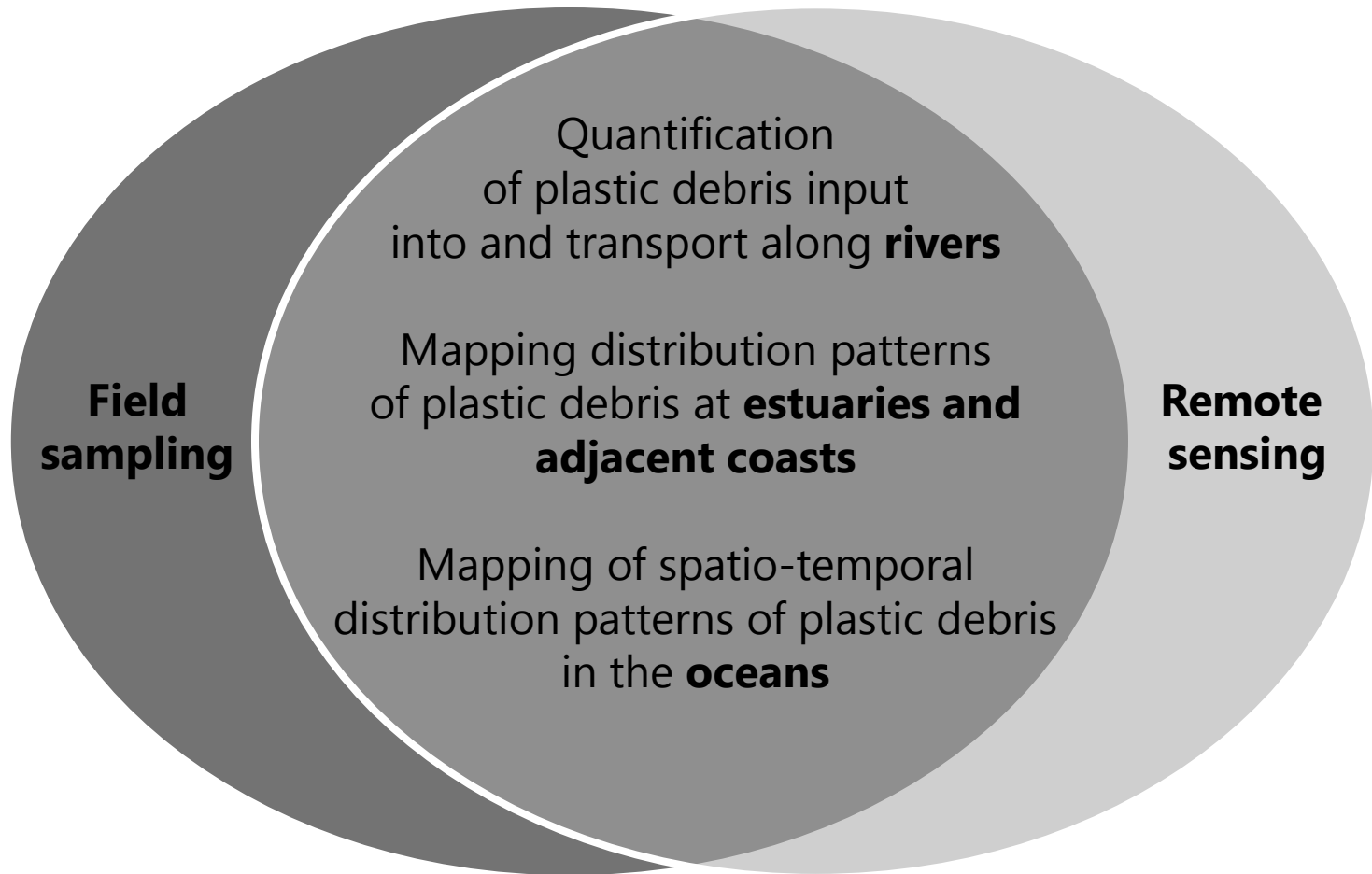
Hintergrund
Ziele
Spektral-
Methoden
Flüsse & Küsten

- Methoden
- Vorläufige Ergebnisse

 Ozeanwirbel

- Überblick
- Indikatoren

 Fazit & Ausblick



Direkt

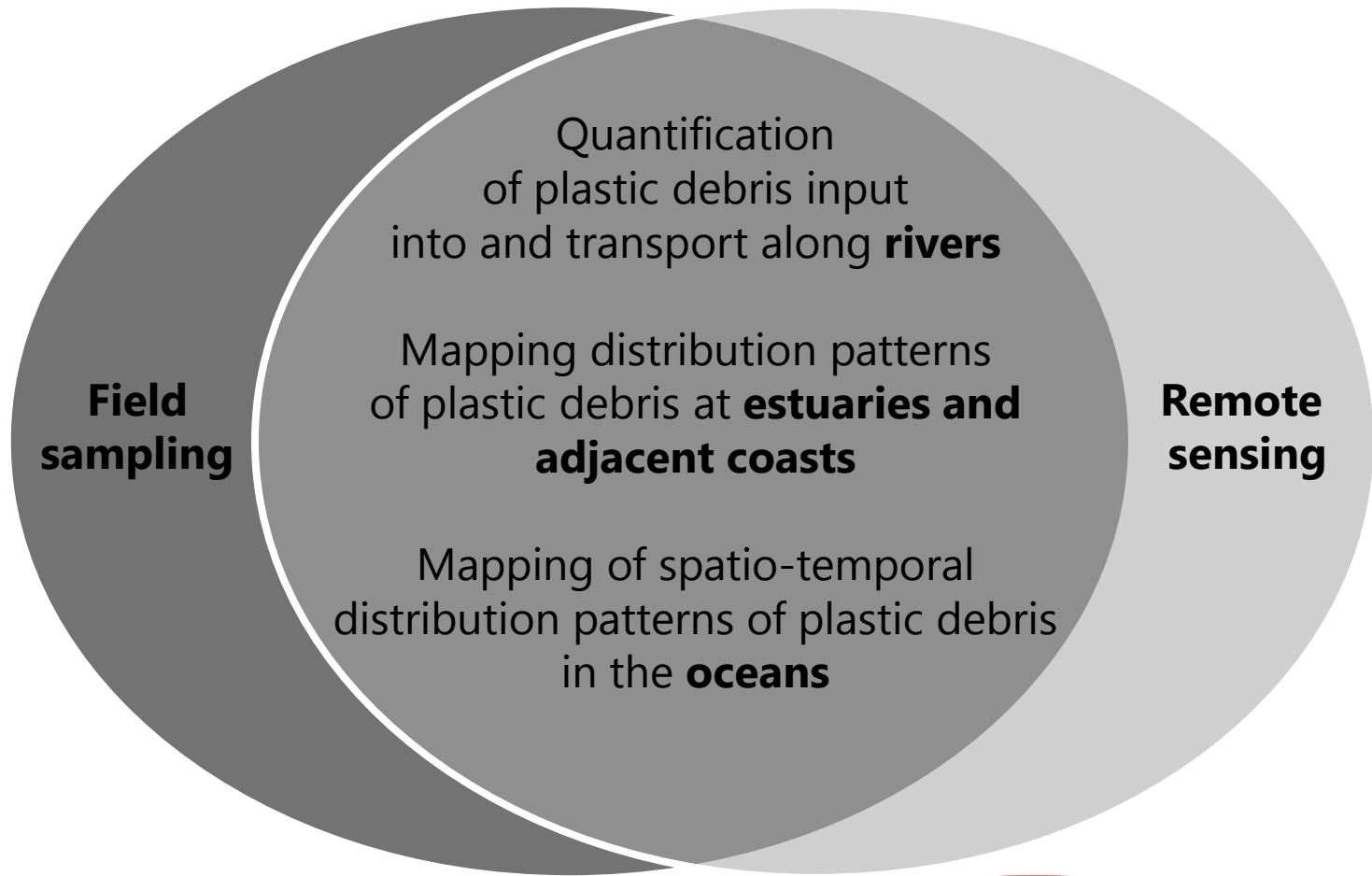
Spektrales Plastik-Signal

Indirekt

Wasserparameter als Proxys

Projektziele

- Hintergrund
Ziele
Spektral-
Methoden
Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
 Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
 Fazit & Ausblick



Direkt	Indirekt
Spektrales Plastik-Signal	Wasserparameter als Proxys

Annahme der indirekten Methode

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

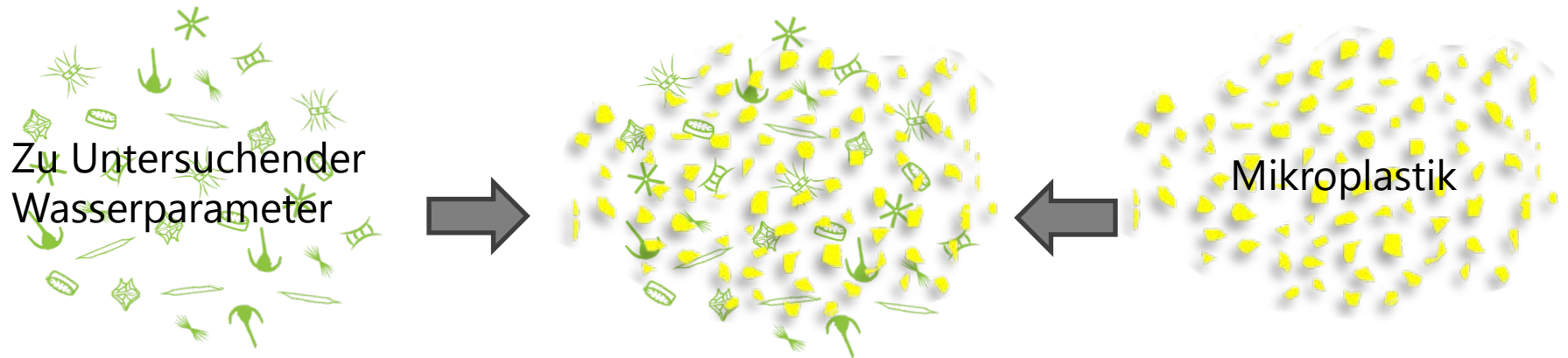
Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

Fazit & Ausblick

- Plastik wird durch die gleichen Mechanismen wie z.B. Schwebstoffe & Chlorophyll transportiert Kubota (1994), Howell et al. (2012), Pichel et al. (2012)



Annahme der indirekten Methode

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

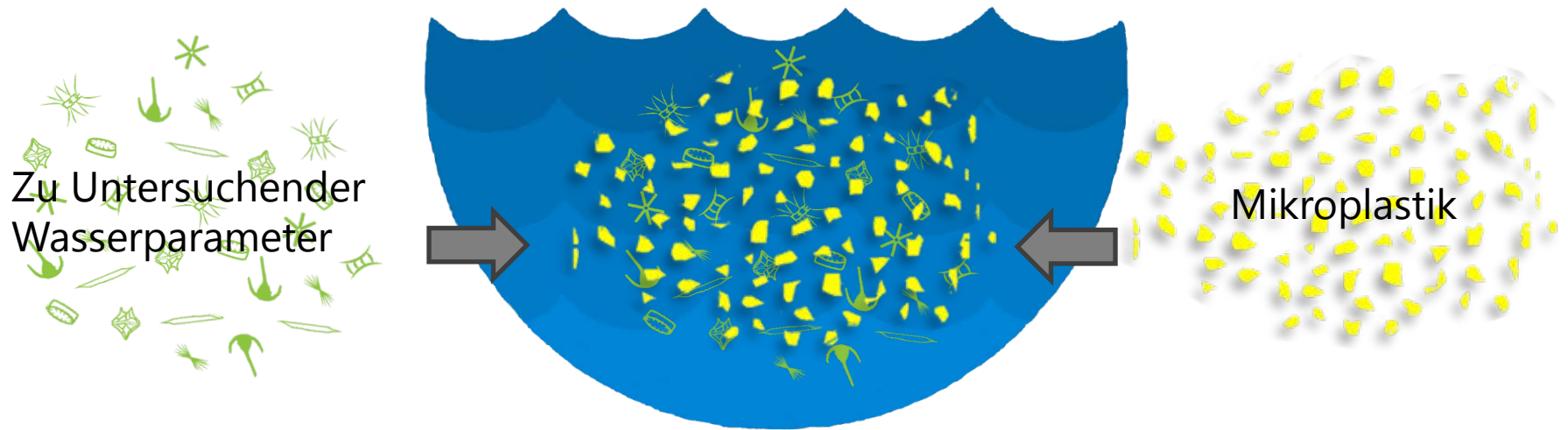
▪ Überblick

▪ Indikatoren

Fazit & Ausblick

- Plastik wird durch die gleichen Mechanismen wie z.B. Schwebstoffe & Chlorophyll transportiert Kubota (1994), Howell et al. (2012), Pichel et al. (2012)

Wellen



Annahme der indirekten Methode

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

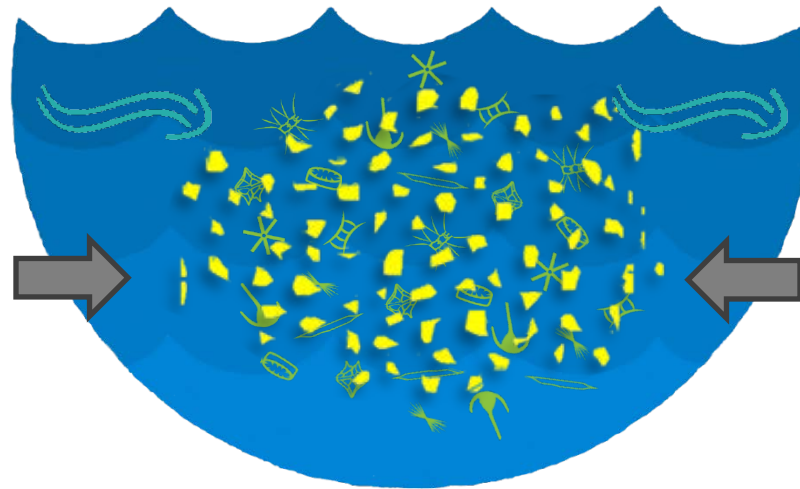
Fazit & Ausblick

- Plastik wird durch die gleichen Mechanismen wie z.B. Schwebstoffe & Chlorophyll transportiert Kubota (1994), Howell et al. (2012), Pichel et al. (2012)

Wellen

Strömung

Zu Untersuchender
Wasserparameter



Mikroplastik

Annahme der indirekten Methode

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

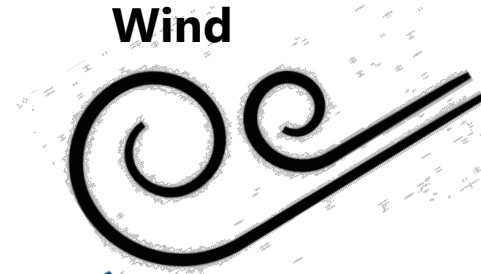
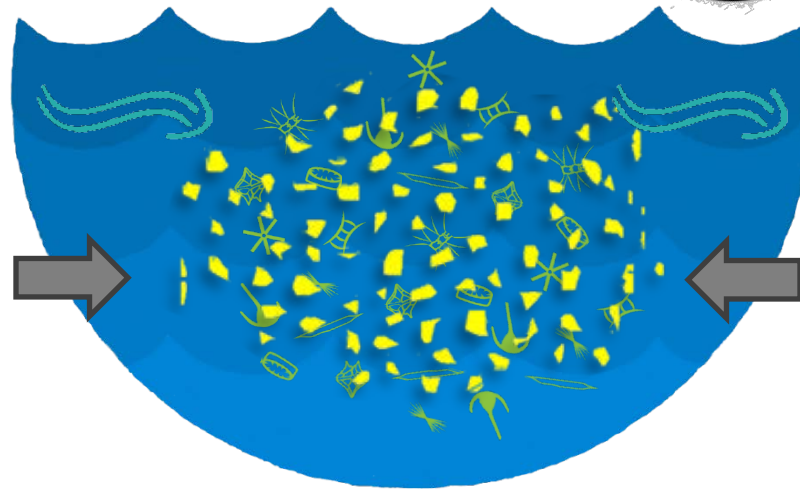
Fazit & Ausblick

- Plastik wird durch die gleichen Mechanismen wie z.B. Schwebstoffe & Chlorophyll transportiert Kubota (1994), Howell et al. (2012), Pichel et al. (2012)

Wellen

Strömung

Wind



Annahme der indirekten Methode

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

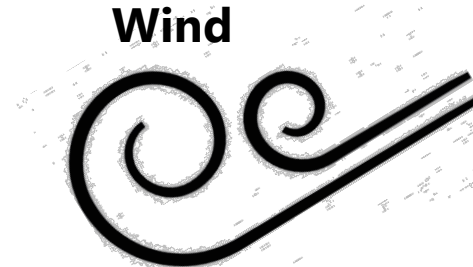
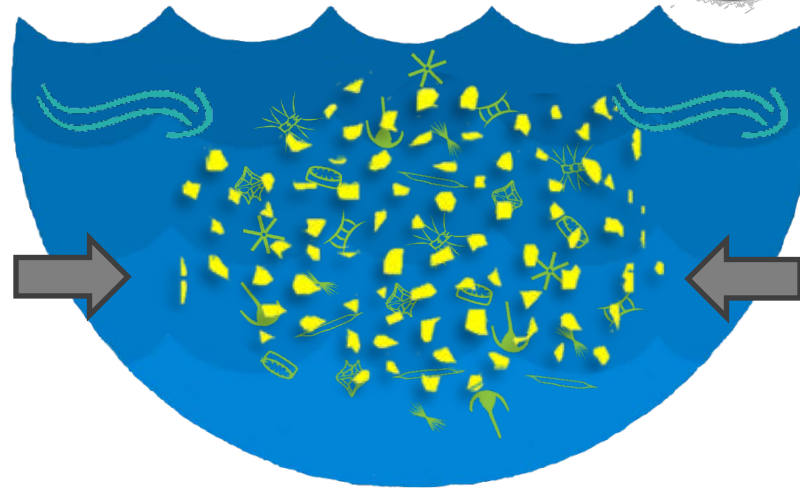
Fazit & Ausblick

- Plastik wird durch die gleichen Mechanismen wie z.B. Schwebstoffe & Chlorophyll transportiert Kubota (1994), Howell et al. (2012), Pichel et al. (2012)

Wellen

Strömung

Wind



Ableitbare Wasserparameter

Chlorophyll-a, Gelb- & Schwebstoffe, Wasseroberflächentemperatur

Satelliten-basierte Proxys

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

Fernerkundungs-Messungen als Hinweise von Plastikmüll-Sammelplätzen

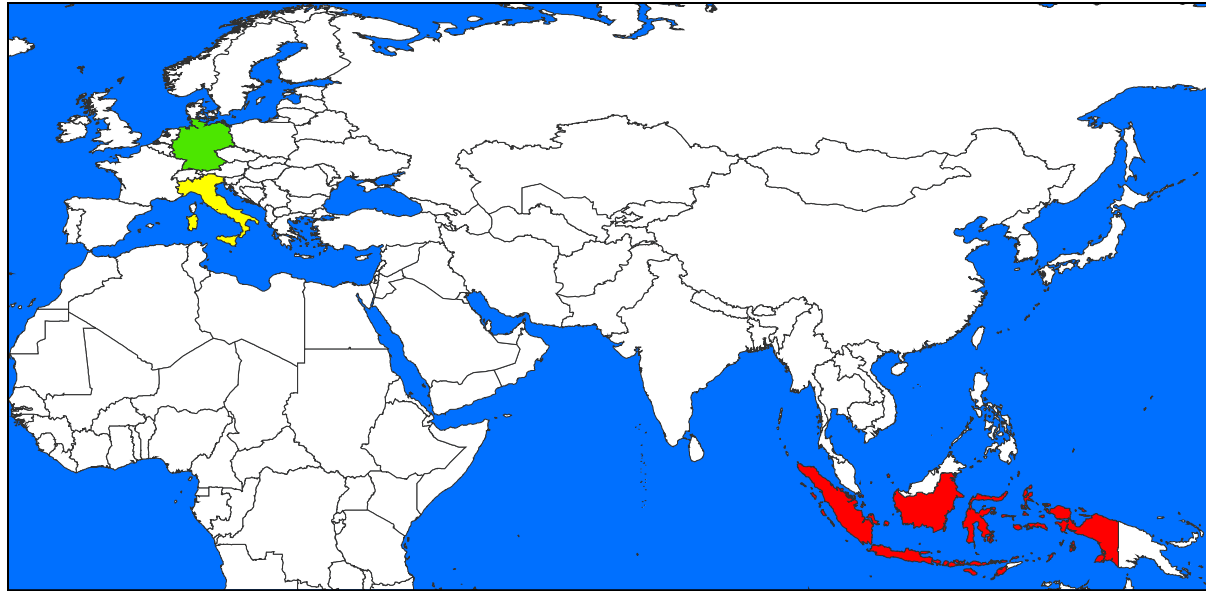
Pichel *et al.* (2007); Morishige *et al.* (2007)

Proxy		Publikation	Algorithmus Basis
Wasseroberflächen-temperatur	1 (SST)	Baban (1993)	Landsat-5 TM band 6 (10.40-12.50 μm)
Chlorophyll-a 4 Proxys	2 (Chl-a)	Dall'Olmo & Gitelson (2006); Gitelson <i>et al.</i> (1985)	$R_{rs}(725 \text{ nm}), R_{rs}(665 \text{ nm})$
	3 (Chl-a)	Dall'Olmo & Gitelson (2006)	$R_{rs}(671 \text{ nm}), R_{rs}(710 \text{ nm}), R_{rs}(740 \text{ nm})$
	4 (Chl-a)	Gons (2002; 1999)	$R_{rs}(704 \text{ nm}), R_{rs}(672 \text{ nm}), R_{rs}(776 \text{ nm})$
	5 (Chl-a)	O'Reilly <i>et al.</i> (1998) (OC4 algorithm)	$R_{rs}(443 \text{ nm}), R_{rs}(555 \text{ nm}), R_{rs}(490 \text{ nm}), R_{rs}(512 \text{ nm})$
Schwebstoffe (Suspended Particulate Matter) 2 Proxys	6 (SPM)	Jørgensen (2000) (SISCAL SPM algorithm)	Subsurface irradiance reflectance at 555 nm
	7 (SPM)	Dekker (1993)	Subsurface irradiance reflectance at 706 nm
Gelbstoff (colored Dissolved Organic Matter) 3 Proxys	8 (cDOM)	Kutser <i>et al.</i> (2005)	EO-1 ALI: band 2 (525-605 nm), band 3 (630-690 nm)
	9 (cDOM)	Kowalczyk <i>et al.</i> (2005)	$R_{rs}(490 \text{ nm}), R_{rs}(590 \text{ nm})$
	10 (cDOM)	Schwarz (2005)	$R_{rs}(443 \text{ nm}), R_{rs}(512 \text{ nm})$

R_{rs} : Remote sensing reflectance

Projektziele: Flüsse

Hintergrund
Ziele
Spektral-
Methoden
Flüsse & Küsten
▪ Methoden
▪ Vorläufige
Ergebnisse
Ozeanwirbel
▪ Überblick
▪ Indikatoren
Fazit & Ausblick



Flüsse

Deutschland: Trave & Elbe

Italien: Po Flussdelta

Indonesien: Citarum

Beprobungszeitraum

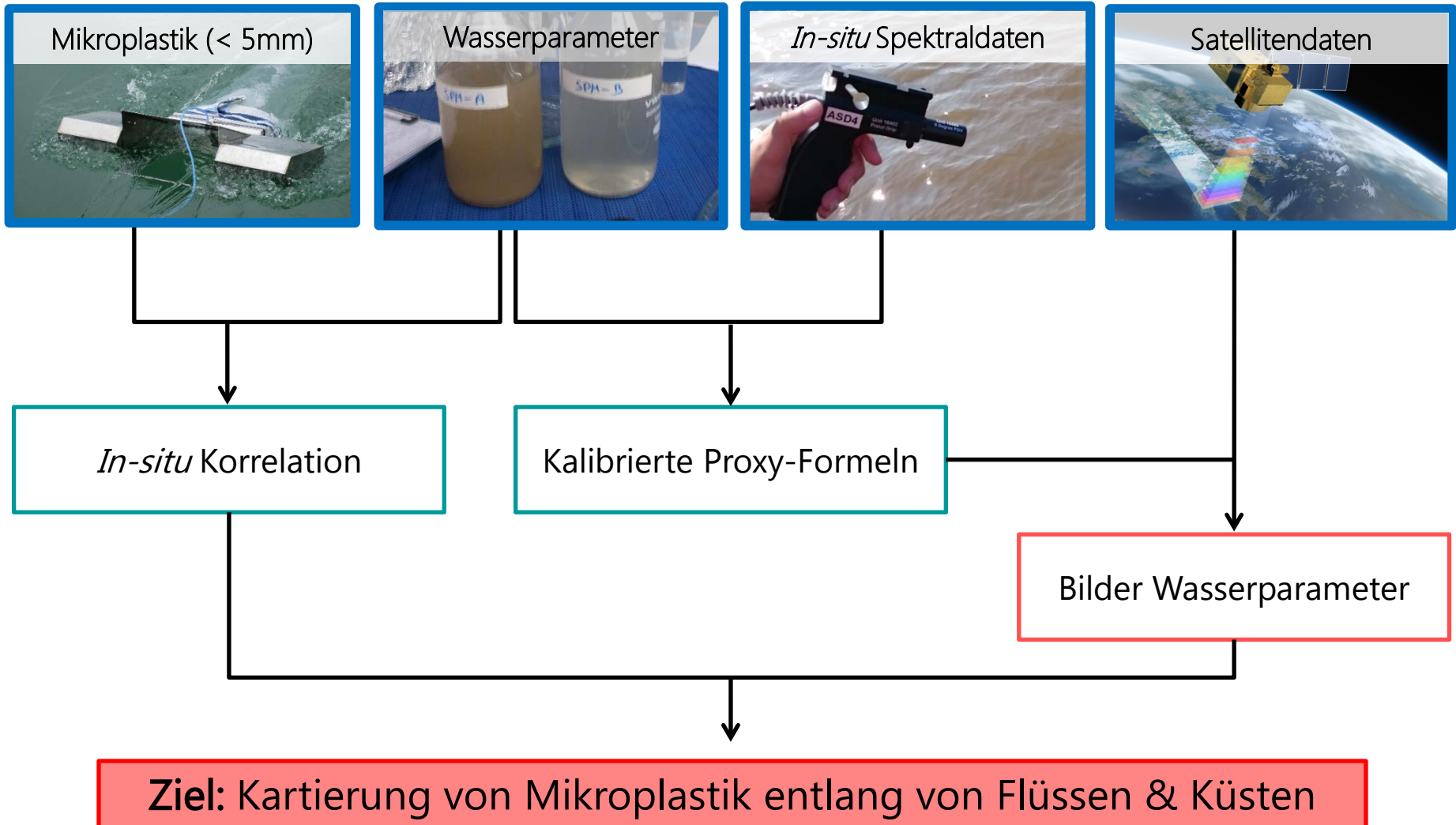
2014 & 2015

Frühjahr 2016

Sommer 2016

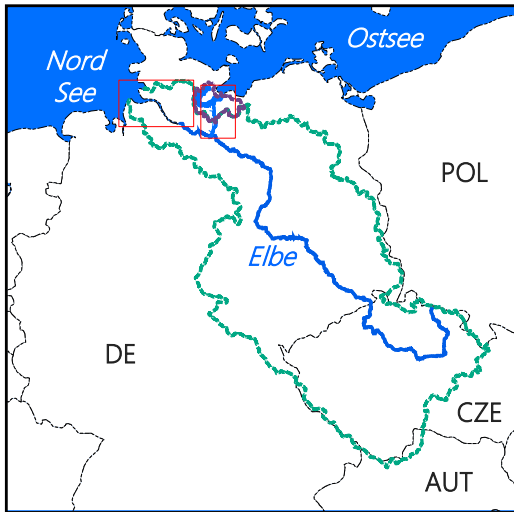
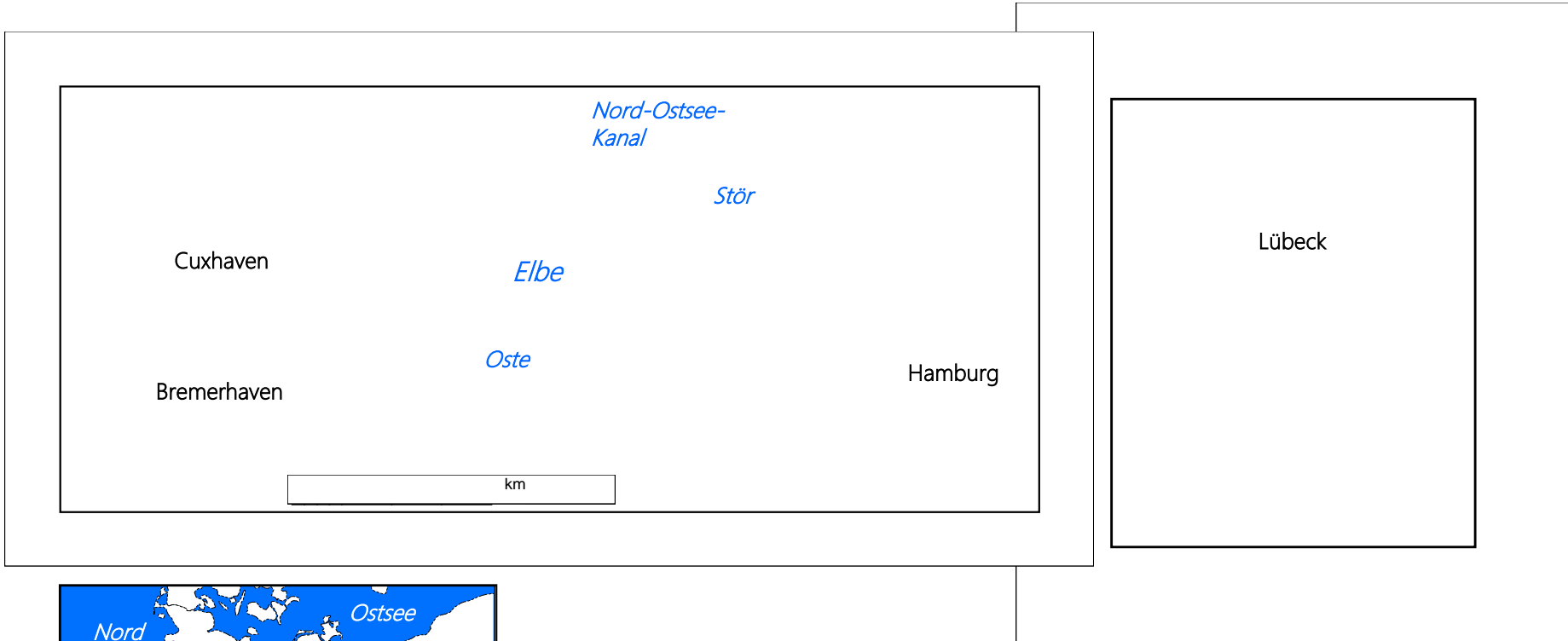
➤ **Feldkampagnenziel: deckt jeweils Fluss und Mündung ab**

Datenakquise & Modellierung



Ziel: Kartierung von Mikroplastik entlang von Flüssen & Küsten

Elbe & Trave Proben



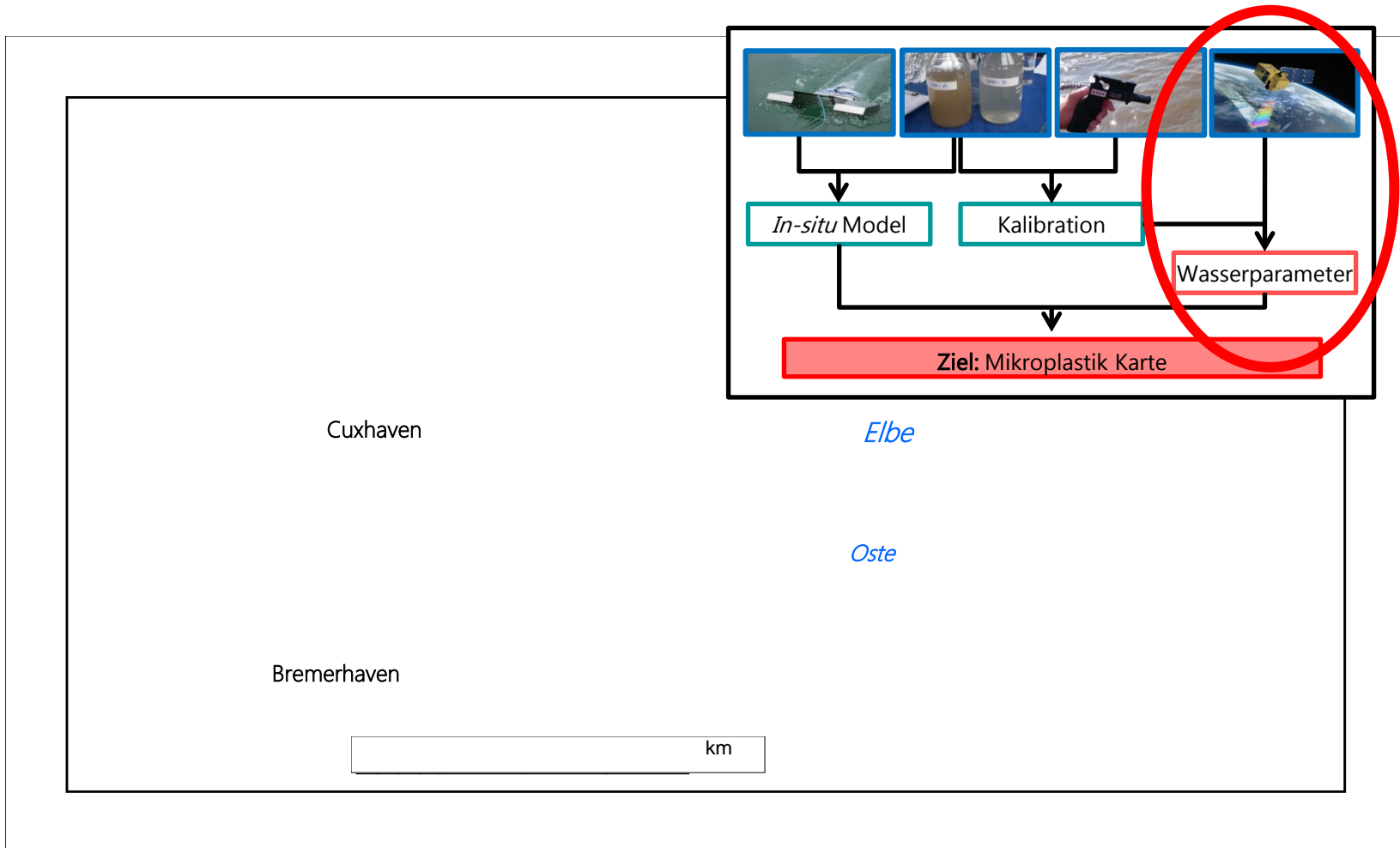
- - - Elbe Einzugsgebiet
- - - Trave Einzugsgebiet
- Ozean und Wasserwege
- Wattenmeer
- Stadtgebiete
- Nichtstädtische Gebiete

- 2015**
- Elbe Proben
- Juni (n=13)
- August (n=20)
- 2014**
- Trave Proben
- Mai (n=27)

Daten Quellen
 Corine Land Cover v.17,
 European Environmental Agency (EEA)
 Open Street Maps
 HydroSHEDS, World Wildlife Foundation (WWF)

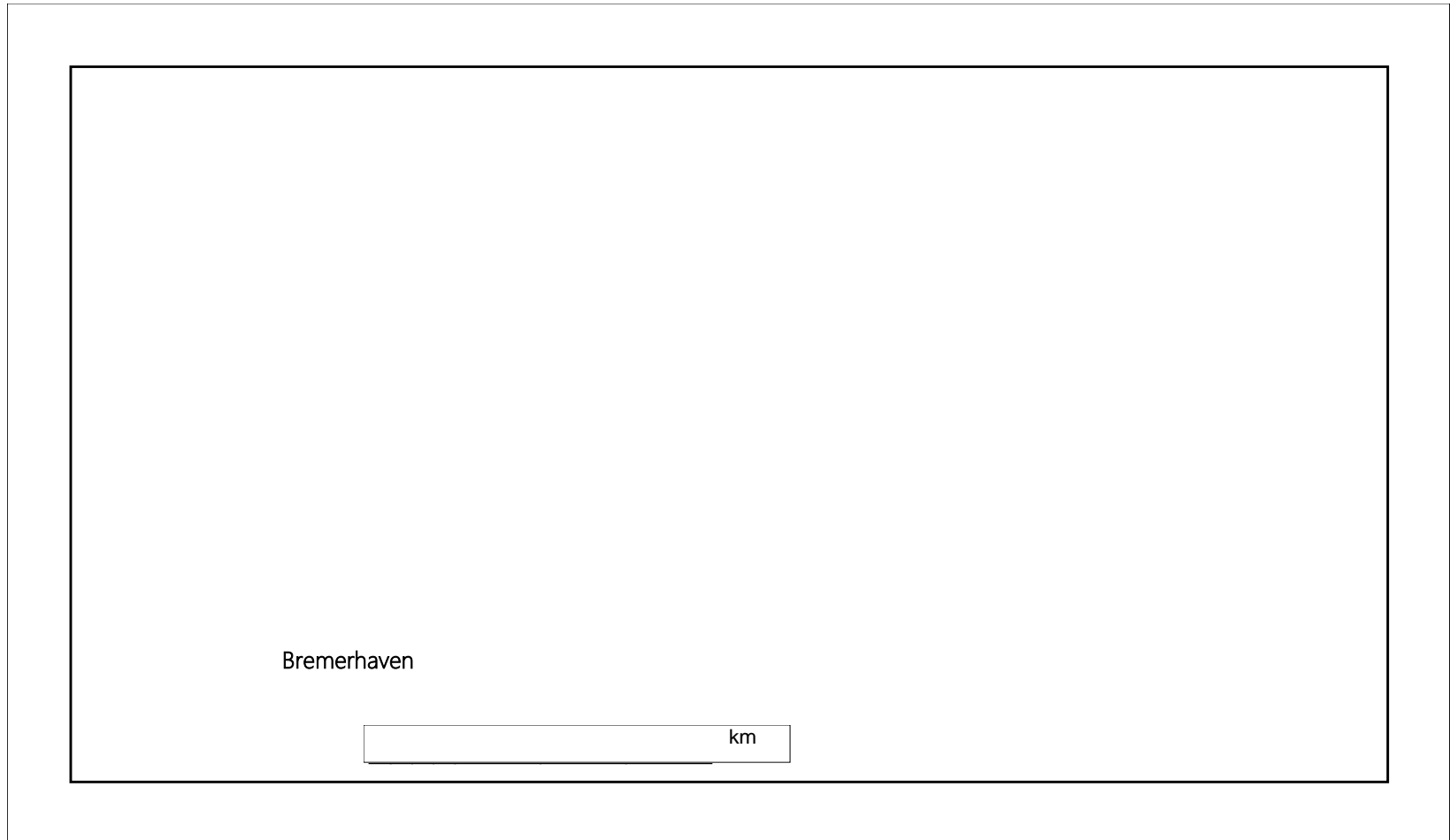
Elbe Wasserparameter Karten

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
Methoden
- Flüsse & Küsten
- Methoden
- **Vorläufige
Ergebnisse**
- Ozeanwirbel
- Überblick
- Indikatoren
- Fazit & Ausblick



Elbe Wasserparameter Karten

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - **Vorläufige Ergebnisse**
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick



RapidEye Aufnahme von 21.08.2015

- Gleichzeitig zur Elbe Feldkampagne

Elbe Wasserparameter Karten

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick



Schwebstoff (SPM)

- Erkennung Turbidity Maximum Zone (TMZ)

Elbe Wasserparameter Karten

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - **Vorläufige Ergebnisse**
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

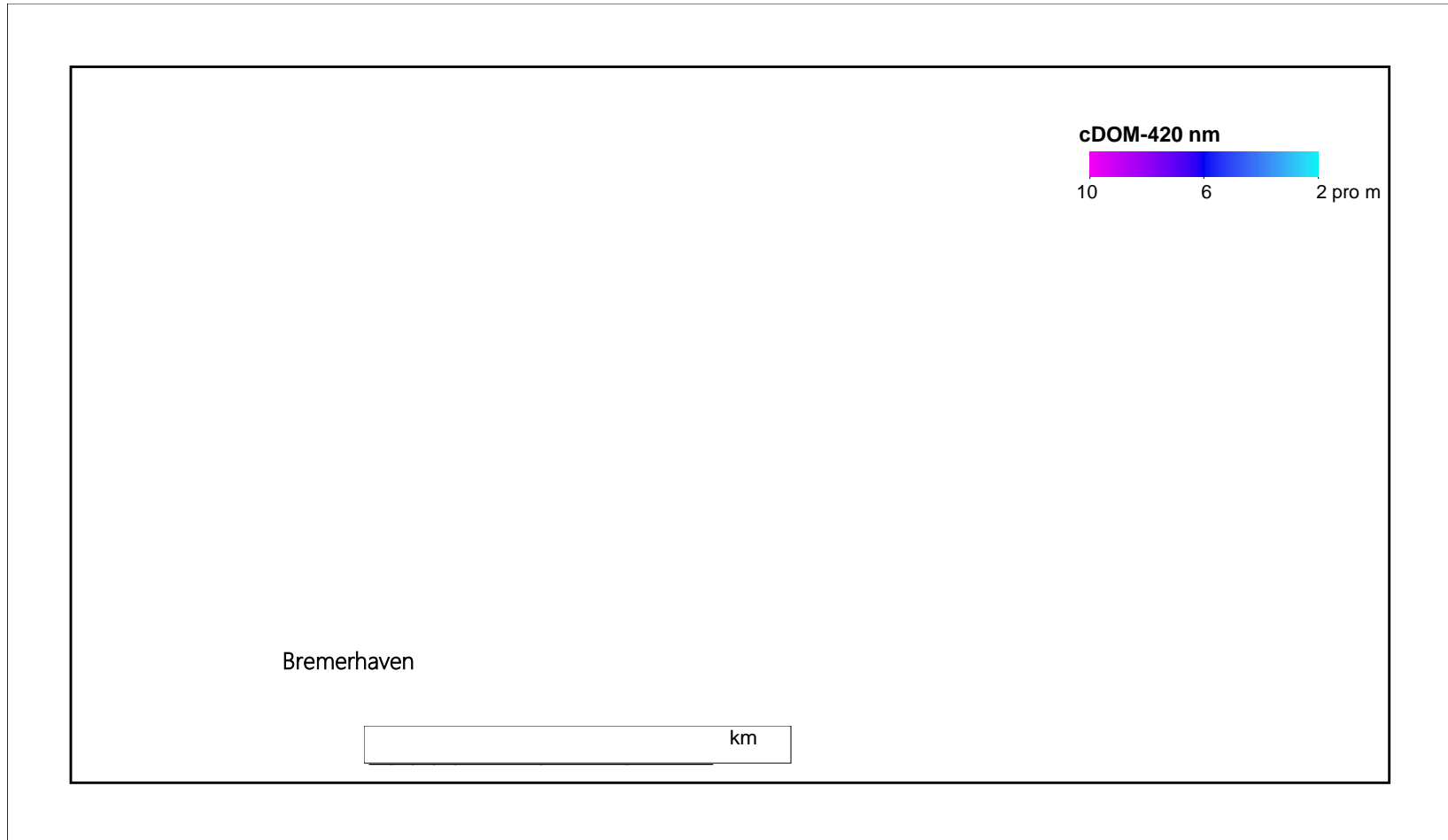


Chlorophyll-a

- Schwer von SPM zu trennen, Methoden mit Rot/NIR verwendet

Elbe Wasserparameter Karten

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Methoden
- Überblick
- Indikatoren
- Fazit & Ausblick



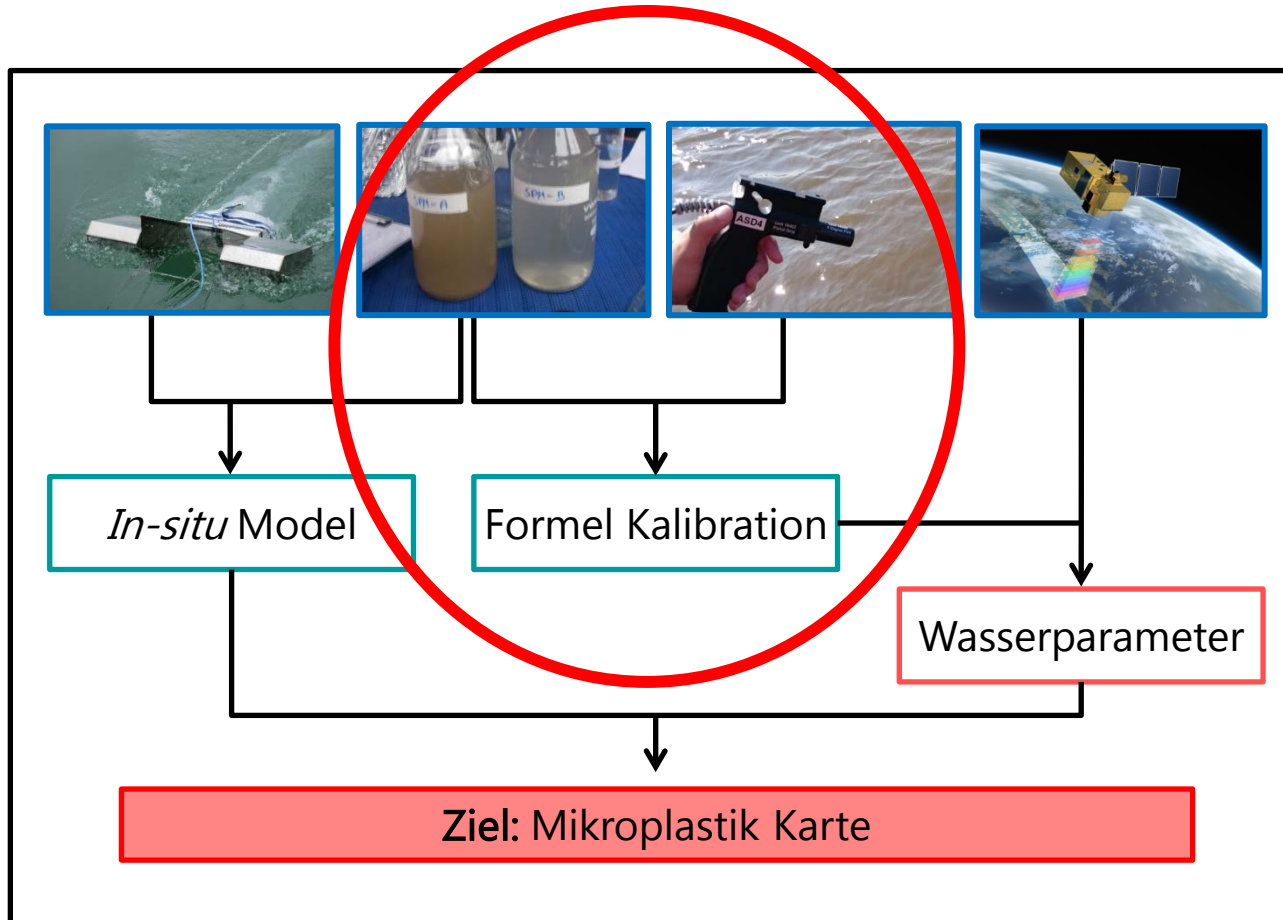
Gelbstoffe (cDOM) Absorption beim 420 nm

- Eintrag von Flüssen gut zu erkennen

Kalibration der Proxyformeln anhand Spektrometer und *in situ* Daten (Trave)

Gelbstoff: cDOM-400 nm

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

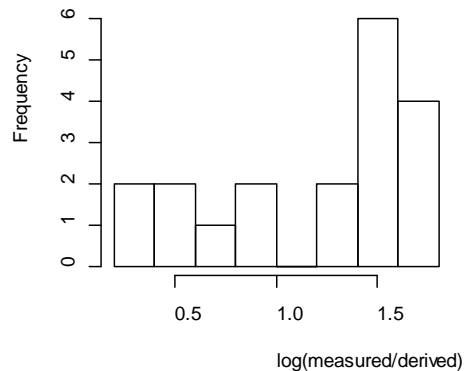
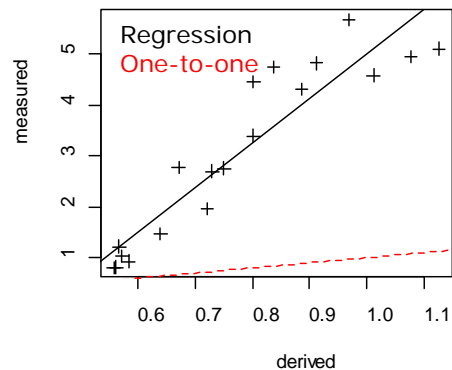


Kalibration der Proxyformeln anhand Spektrometer und *in situ* Daten (Trave)

Gelbstoff: cDOM-400 nm

Literatur-Formel

r^2 :	0.86
RMSE:	8.34
Bias:	6.91



Modellierte Werte
(derived)
vs
in situ Daten
(measured)

Log Error
(*in situ*/modelliert)

Ausgewogenheit
oder Bias der Daten

Kalibration der Proxyformeln anhand Spektrometer und *in situ* Daten (Trave)

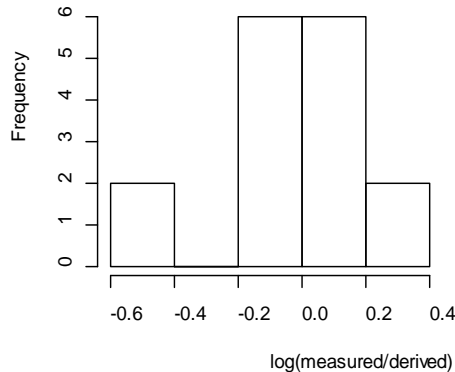
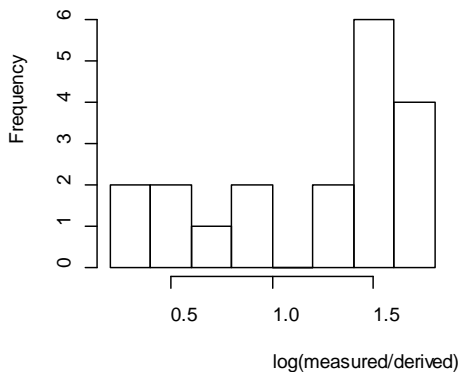
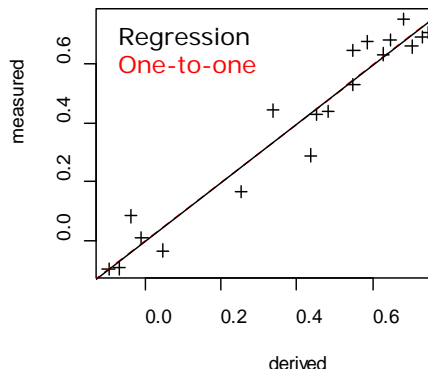
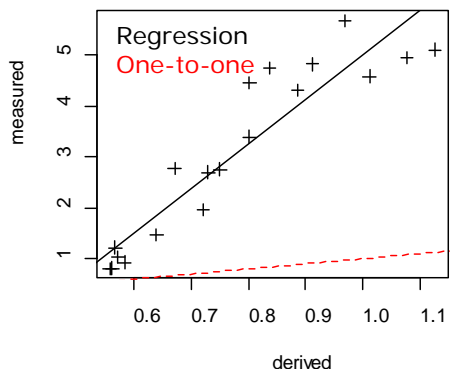
Gelbstoff: cDOM-400 nm

Literatur-Formel

r^2 : 0.86
 RMSE: 8.34
 Bias: 6.91

Kalibrierte Formel

r^2 : 0.94
 RMSE: 0.07
 Bias: 0.06



Modellierte Werte
 (derived)
 vs
in situ Daten
 (measured)

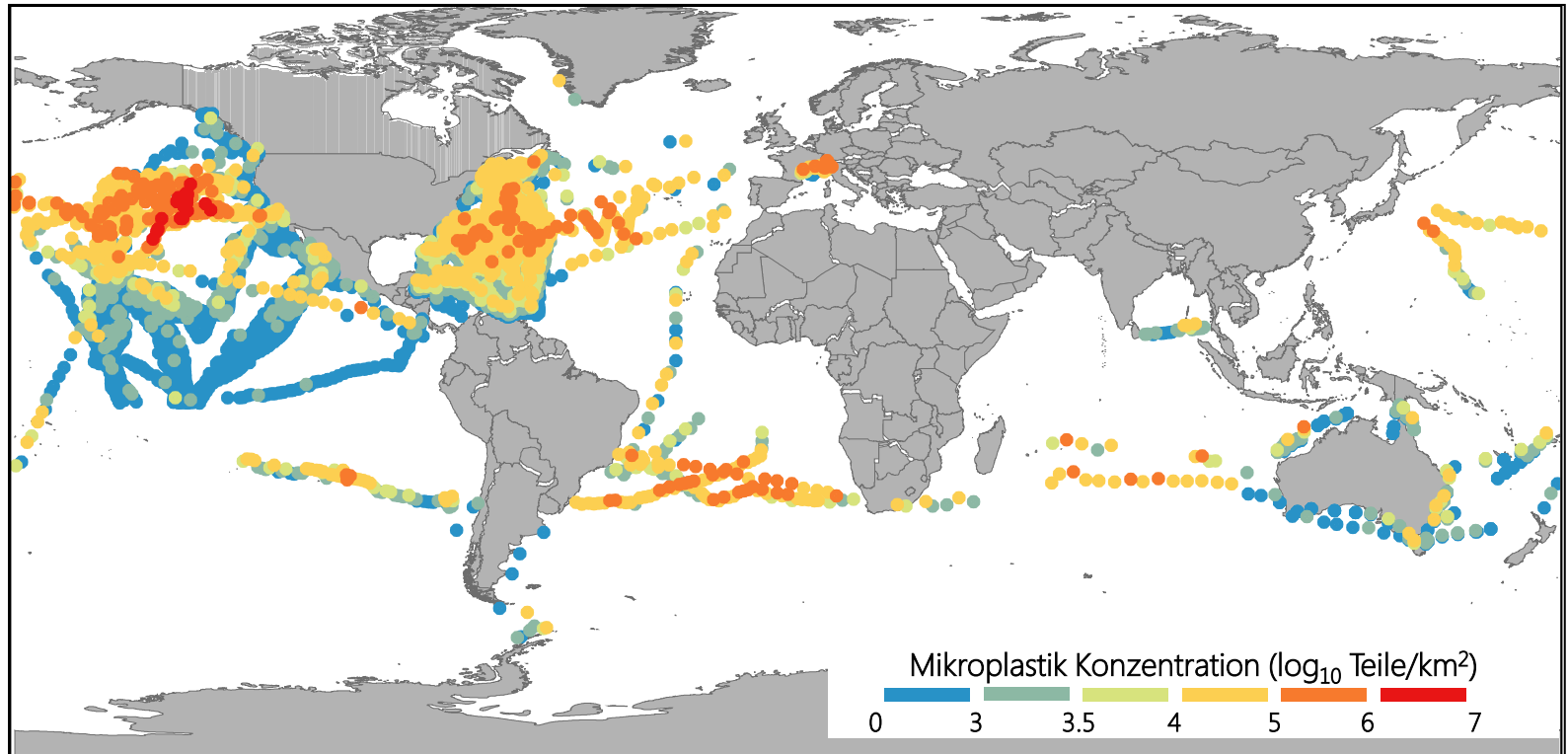
Log Error
 (*in situ*/modelliert)

Ausgewogenheit
 (Bias) der Daten

Projektziel: Monitoring Meere

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

n = 9656, Proben von Mai 1972 – Nov. 2013



Datensätze

Cózar *et al.* (2014)

Eriksen *et al.* (2014)

Goldstein *et al.* (2013)

Law & Morét-Ferguson (2014)

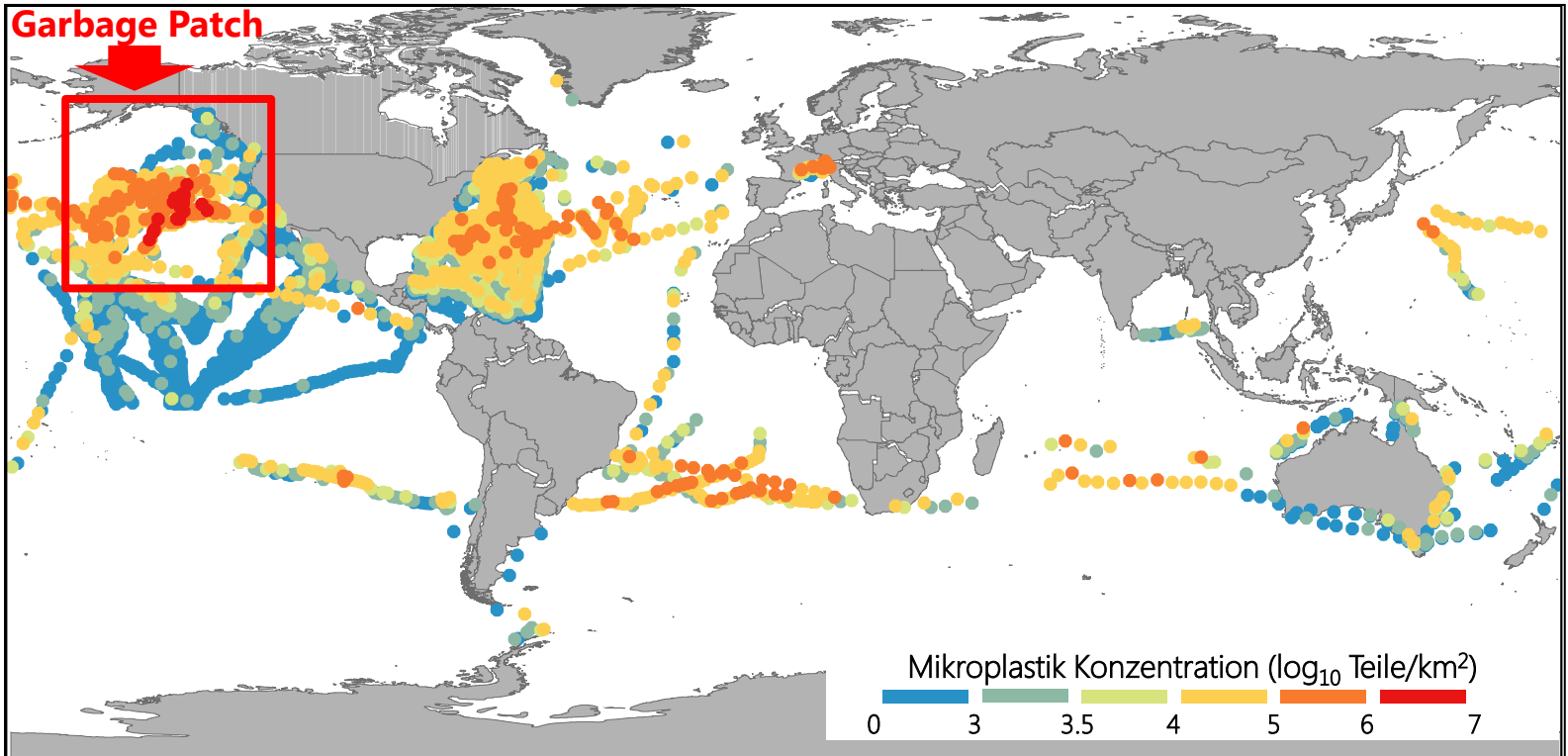
Law *et al.* (2010)

Projektziel: Monitoring Meere

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

**Great Pacific
Garbage Patch**

n = 9656, Proben von Mai 1972 – Nov. 2013



Datensätze

Cózar *et al.* (2014)

Eriksen *et al.* (2014)

Goldstein *et al.* (2013)

Law & Morét-Ferguson (2014)

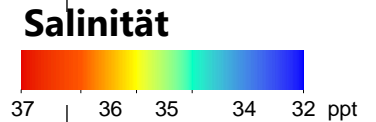
Law *et al.* (2010)

Ocean Convergence Fronts

SMOS Daten (CP34-BEC)
 9-tägige Komposite-Bild
 Kerndatum 14.09.2012



SA Subarctic domain
TZ Transition zone
ST Subtropical domain



Salinität Konturen

— 33.8-34.0 ppt
 Subarctic Front

— 34.5-34.7 ppt
 Subtropical Front



- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick

Fazit und Ausblicke

Flüsse

- Verbesserte Wasserparameter Karten durch kalibrierte Algorithmen
- Plastikproben zur Zeit in Labor-Bearbeitung
- In situ Datensatz wird erweitert durch Po und Citarum Beprobung in 2016
- *Nutzungsmöglichkeiten:* Sentinel-2 Daten bieten höhere räumliche und spektrale Auslösung, besonders in dem NIR Bereich

Meere

- Salinität potenziell bester Parameter, um Wirbel und Fronten zu erkennen
- Bedarf an mehr aktuellen öffentlichen Datensätzen

Fazit und Ausblicke

Entwicklungsbedarf?

- Bessere Abdeckung in dem SWIR Bereich
- Hyperspektrale Satelliten – wir freuen uns sehr auf EnMAP

Hindernisse für eine vertiefte operationelle Nutzung von Fernerkundungsdaten?

- Fehlendes Grundlagenwissen, in Forschung investieren!

Unterstützung des Bundes bei der Einführung der operationellen Nutzung von Copernicus?

- Investieren in Methoden-Entwicklung
- Link zwischen in situ und FE muss verstärkt werden

Weiterentwicklung der Copernicus-Dienste?

- IR Wassersignale sind sehr niedrig, besonders in SWIR, Bedarf an sensiblere Sensoren und besser spektrale Auslösung

Danke

- Hintergrund
- Ziele
- Spektral-
 - Methoden
- Flüsse & Küsten
 - Methoden
 - Vorläufige Ergebnisse
- Ozeanwirbel
 - Überblick
 - Indikatoren
- Fazit & Ausblick



Gefördert von



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Hintergrund

Ziele

Spektral-

Methoden

Flüsse & Küsten

▪ Methoden

▪ Vorläufige

Ergebnisse

Ozeanwirbel

▪ Überblick

▪ Indikatoren

Fazit & Ausblick

- Baban, S. M. J. (1993) *Int. J. Remote Sens.* 14, 1247–1267.
- Cole, M. et al. (2013) *Environ. Sci. Technol.* 47, 6646–55.
- Cole, M. et al. (2015) *Environ. Sci. Technol.*
- Cózar, A. et al. (2014) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 17–19.
- Dall’Olmo, G. & Gitelson, A. A. (2006) *Appl. Opt.* 45, 3577.
- Dekker, A. G. Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing. 237 (Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, 1993).
- Eriksen, M. et al. (2014) *PLoS One* 9(12), e111913.
- Gitelson, A. et al. (1985) *Remote Sens.* 6, 28–36.
- Goldstein, M. et al. (2013) *PloS one* 8(11), e80020.
- Gons, H. J. J. (2002) *Plankton Res.* 24, 947–951.
- Gons, H. J. (1999) *Environ. Sci. Technol.* 33, 1127–1132.
- Howell et al. (2012) *Mar. Pollut. Bull.* 65, 16-22.
- Jørgensen, P. V. Interpretation of remote sensing ocean colour in Danish coastal waters. (PhD Thesis. Institute of Geography, Univ. Copenhagen, Denmark, 2000).
- Kowalczuk, P. & Olszewski, J. (2005) *Int. J. Remote Sens.* 26, 345–370.
- Kubota, M. (1994) *J. Phys. Oceanogr.* 24, 1059-1064.
- Kutser, T. et al. (2005) *Remote Sens.* 94, 535–540.
- Law, K. L. et al. (2010) *Science* 329(5596), 1185–1188.
- Law, K. & Morét-Ferguson, S. (2014) *Environ. Sci. Technol.* 48, 4732–4738.
- Morishige, C. et al. (2007) *Mar. Pollut. Bull.* 54, 1162–9.
- O’Reilly, J. E. et al. (1998) *J. Geophys. Res.* 103, 24937.
- Pichel, W. G. et al. (2007) *Mar. Pollut. Bull.* 54, 1207–11.
- Pichel et al. (2012) *Mar. Pollut. Bull.* 65, 28-41.
- Schwarz, J. (2005) *Int. J. Remote Sens.* 26, 283–293.
- Thompson, R. C. et al. (2009) *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 364, 1973–6.