Vortrag im DLR-Seminar

2.12.2002

Fernerkundung von Seen in Europa

Peter Gege

DLR, IMF-GW

Überblick

- Bedeutung von Seen
- Potential der Fernerkundung
- Status quo der Seenfernerkundung in Europa
- Ausblick

Überblick

- Bedeutung von Seen
- Potential der Fernerkundung
- Status quo der Seenfernerkundung in Europa
- Ausblick

2003: Internationales Jahr des Süßwassers

- **Beschluß der Vereinten Nationen vom 20.12.2000**
- **Initiiert durch die Regierung von Tajikistan**
- **Unterstützt durch 149 Länder**

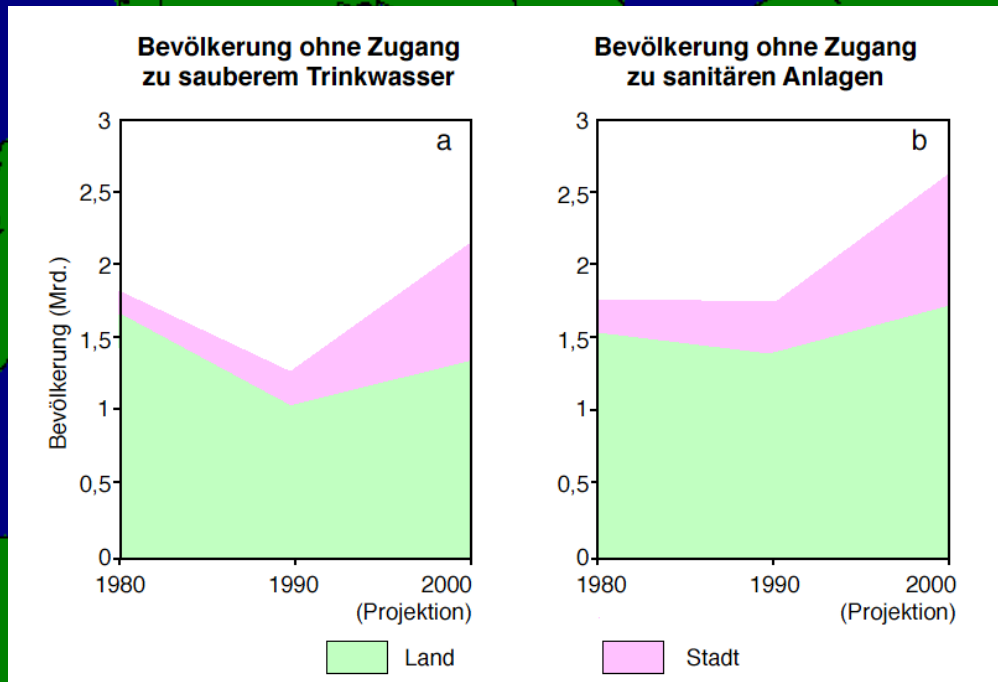
Ziele

- **Wichtigkeit der Ressource Süßwasser ins Bewußtsein bringen:**
  - nachhaltige Nutzung
  - Management
  - Schutz
- **Implementation integrierten Wasserressourcen-Managements beschleunigen**
- **Laufende Aktivitäten vorantreiben**
- **Neue Initiativen einführen**
- **Öffentlichkeitsarbeit**
- **Publikation für das Third World Water Forum in Kyoto, Japan, im März 2003**

http://www.unesco.org/water/iyfw/

Die globale Süßwasserkrise

- 1,2 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser
- 50 % der Weltbevölkerung verfügt über keine hygienischen Toiletten.
- Nur etwa 5 % des Abwassers werden gereinigt.



aus: WBGU 1997
http://www.wbgu.de/wbgu_jg1997_kurz.pdf

Die globale Süßwasserkrise

- 1,2 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser
- 50 % der Weltbevölkerung verfügt über keine hygienischen Toiletten.
- Nur etwa 5 % des Abwassers werden gereinigt.
- Jährlich sterben mindesten 5 Millionen Menschen an Krankheiten im Zusammenhang mit unzureichender Versorgung mit Süßwasser.

Die wichtigsten wasserbürtigen Infektionkrankheiten

Erkrankung	Krankheitsfälle in Mio.	Todesfälle pro Jahr
Diarrhoe	4.000	3-4 Mio
Typhus und Paratyphus	16	600.000
Hepatitis A	16	2.400-12.000
Cholera	384.000	20.000

Quelle: Prof. M. Tilzer

Die globale Süßwasserkrise

- 1,2 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser
- 50 % der Weltbevölkerung verfügt über keine hygienischen Toiletten.
- Nur etwa 5 % des Abwassers werden gereinigt.
- Jährlich sterben mindesten 5 Millionen Menschen an Krankheiten im Zusammenhang mit unzureichender Versorgung mit Süßwasser.

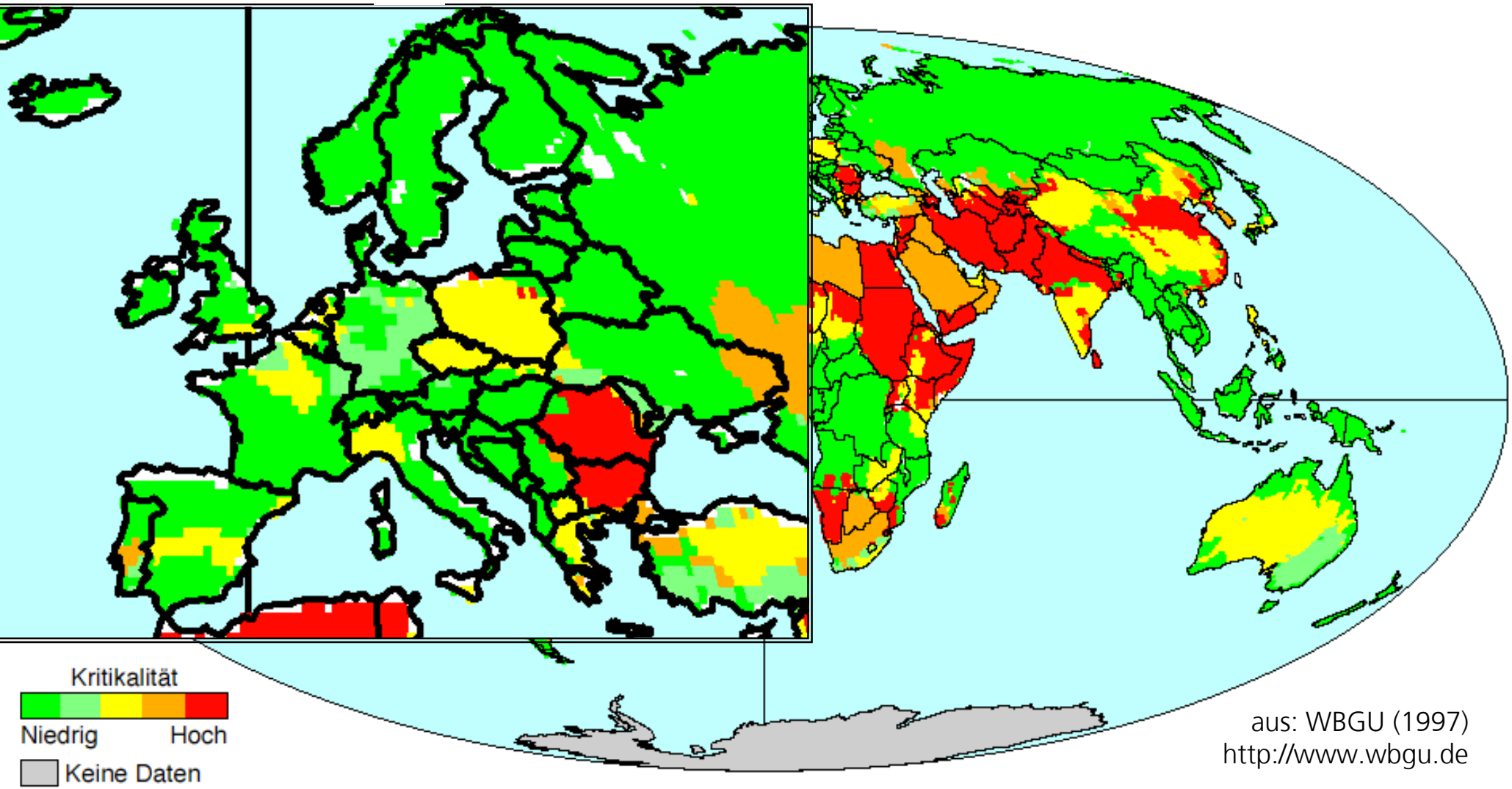
Die wichtigsten Krankheiten durch Parasiten, deren Entwicklung an das Wasser gebunden ist

Erkrankung	Krankheitsfälle in Mio.	Todesfälle pro Jahr
Malaria	300 – 500	2 Mio (1,5 – 2,5)
Bilharziose	200	20.000
Filariose	120	***
Denque Fieber	50 – 100	24.000
Onkozerkose	18	***

Quelle: Prof. M. Tilzer

Die globale Süßwasserkrise

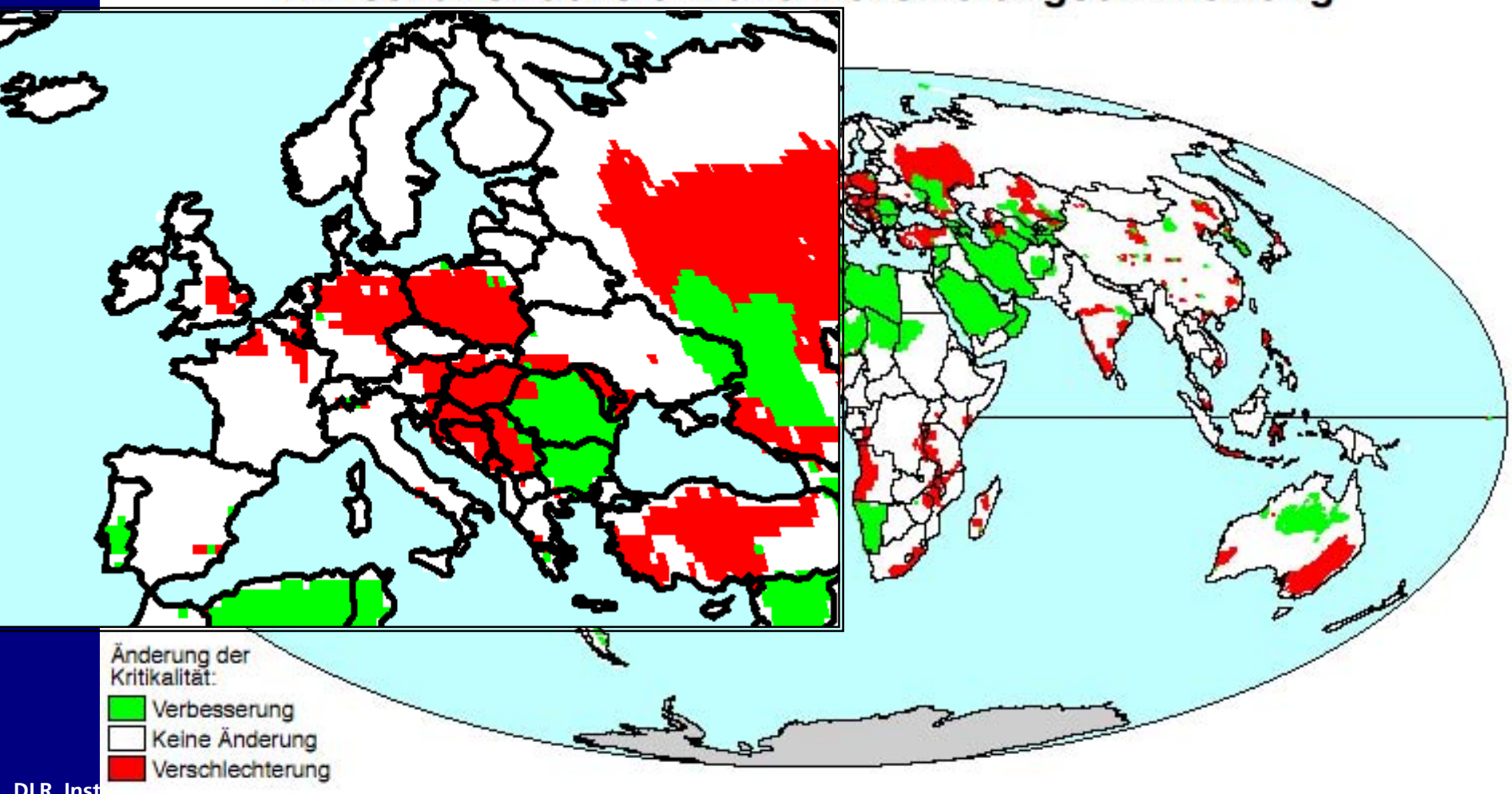
Kritikalitätsindex im Jahre 1995



aus: WBGU (1997)
http://www.wbgu.de

Die globale Süßwasserkrise

Änderung des Kritikalitätsindexes bis 2025 unter Annahme des mittleren Szenarios für die Wasserentnahme und der IPCC-Prognose IS92a für Wirtschaftswachstum und Bevölkerungsentwicklung



Situation in Europa

- 20 Prozent des Oberflächenwassers sind schwer schadstoffbelastet
- 65 Prozent des Trinkwasserbedarfs werden durch Grundwasservorkommen gedeckt
- 60 Prozent der Städte übernutzen ihre Grundwasservorräte
- 50 Prozent der Feuchtgebiete sind gefährdet aufgrund der Übernutzung des Grundwassers
- Die Fläche von künstlich bewässertem Land hat sich seit 1985 um 20 Prozent vergrößert (Südeuropa)

Quelle: Europäische Kommission

Seen in Europa

- es gibt mehr als 500.000 natürliche und 10.000 künstliche Seen (>0.01 km²)
- ihre Gesamtfläche beträgt mehr als 10.000 km²
- Hauptnutzung:
  - Trinkwasser
  - Bewässerung
  - Abfallentsorgung
  - Industrieprozesse und Kühlung
  - Transport
  - Stromerzeugung (Wasserkraftwerke)
  - Tourismus

Europäische Wasserrahmenrichtlinie

- Ziel: bis 2015 für alle Gewässer einen „guten Gewässerzustand“ zu gewährleisten
- Dient dem Schutz aller Gewässer
- Verringerung von Umweltverschmutzung
- Bewirtschaftungssystem für Einzugsgebiete von Flüssen
- Grenzüberschreitende Zusammenarbeit
- Kontrolle des biologischen, hydromorphologischen, physikalisch-chemischen Zustandes der Gewässer
- Wasserpreisgestaltung vorgeschrieben: Der Verursacher trägt die Kosten

Europäische Wasserrahmenrichtlinie

- **Seen ab 0.5 km²**
- **Flüsse ab 10 km²**
- **Einzugsgebiete nach Liste**
- **Übergangsgewässer nach Liste**
- **Küstengewässer nach Liste**

Geforderte Überwachungsfrequenz ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Beispiele:

- Phytoplankton alle 6 Monate
- Temperatur alle 3 Monate
- Nährstoffe alle 3 Monate
- Prioritäre Substanzen 1 mal im Monat
- Schadstoffe in Trinkwasserentnahmestellen:
  - 4 mal pro Jahr wenn <10.000 Personen
  - 8 mal pro Jahr wenn >10.000 Personen
  - 12 mal pro Jahr wenn >30.000 Personen

Zeitplan der WRRL

- 22.12.2000: Inkraft
- Dez. 2003: Nationale und regionale Gesetze angepaßt, Kooperationen in Flußeinzugsgebieten einsatzreif
- Dez. 2004: Istzustandsanalyse abgeschlossen
- Dez. 2006: Überwachungsmaßnahmen einsatzbereit
- Dez. 2008: Öffentliche Anhörungen der Bewirtschaftungspläne
- Dez. 2009: Veröffentlichung der Bewirtschaftungspläne
- Dez. 2015: Gewässer müssen „guten Zustand“ erreicht haben

Kontrollparameter der WRRL

Indicator determinands ↓	Problems/issues →	EQ	AC	NS	TS	OP	WU	RA	PI	FL
	Examples of indicators ↓									
Biological indicators	Macroinvertebrates, Fish Macrophytes, Phytoplankton, Chlorophyll	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓✓	✗
Descriptive determinands	Dissolved oxygen, pH, Alkalinity, Conductivity, Temperature, suspended solids	✓	✓✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✗	✓	✓ (ss)
Flow	Flows, levels	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✗	✓✓	✓✓
Hydromorphology	Habitat features, structure of bed, sinuosity	✓✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓✓	✗
Additional determinands	Biochemical oxygen demand Chemical oxygen demand Total organic carbon, Secchi disc, Aluminium fractions	✓	✓✓	✓	✗	✓✓	✓	✗	✗	✗
Nutrients	Total phosphorus, Soluble reactive phosphorus, Nitrate Nitrite, Ammonia, Organic	✓	✗	✓✓	✗	✓	✗	✗	✗	✓✓

Key to problems/issues
EQ Ecological quality
AC Acidification

Secondary
NS Nutrient status
TS Toxic substances
OP Organic pollution
WU Water use and availability
RA Radioactivity
PI Physical intervention
FL Fluxes

✓✓ Key determinands - primary
✓ Important but not key determinands
✗ Not considered as essential
ss Suspended solids

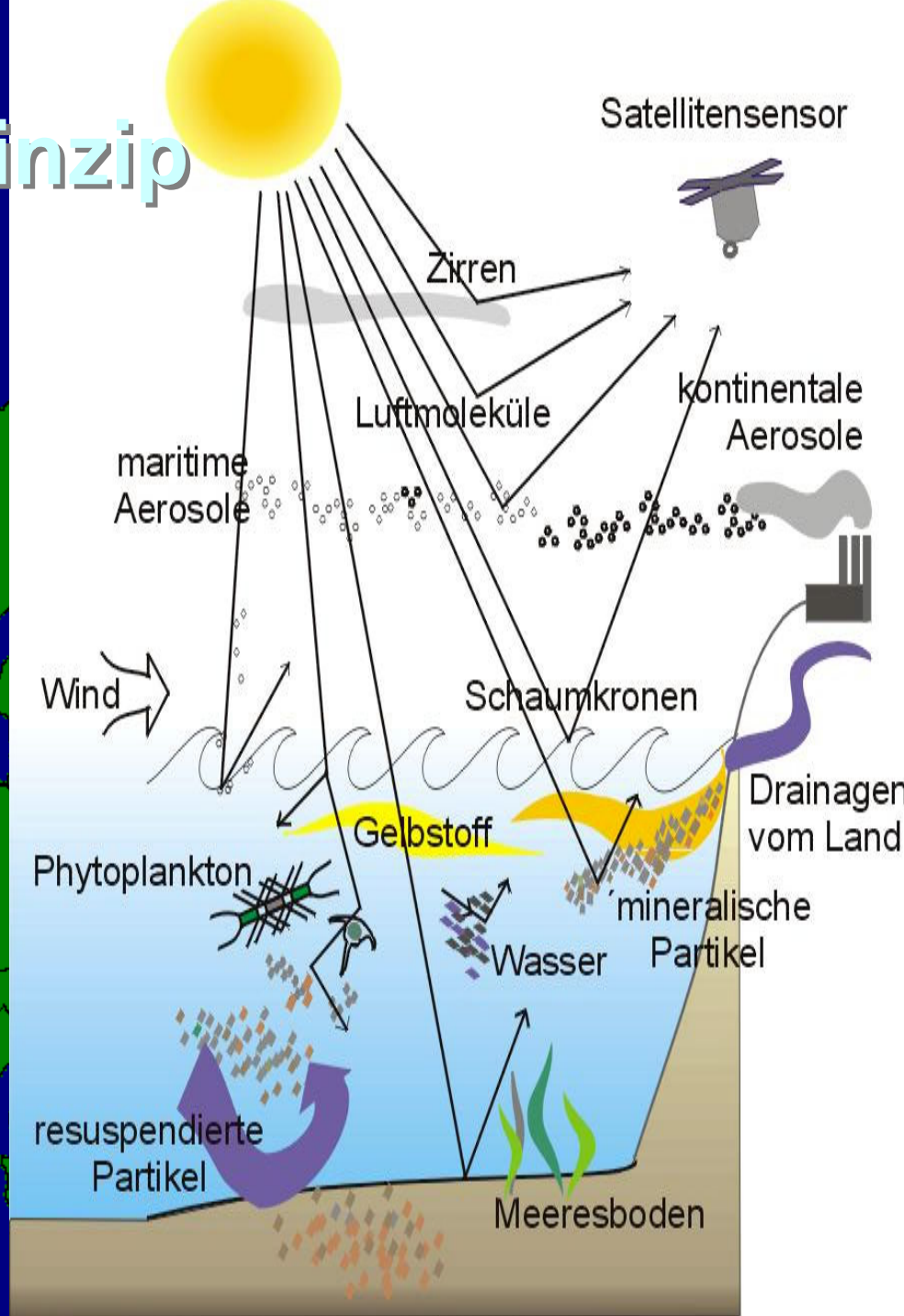
Überblick

- Bedeutung von Seen
- **Potential der Fernerkundung**
- Status quo der Seenfernerkundung in Europa
- Ausblick

Meßprinzip

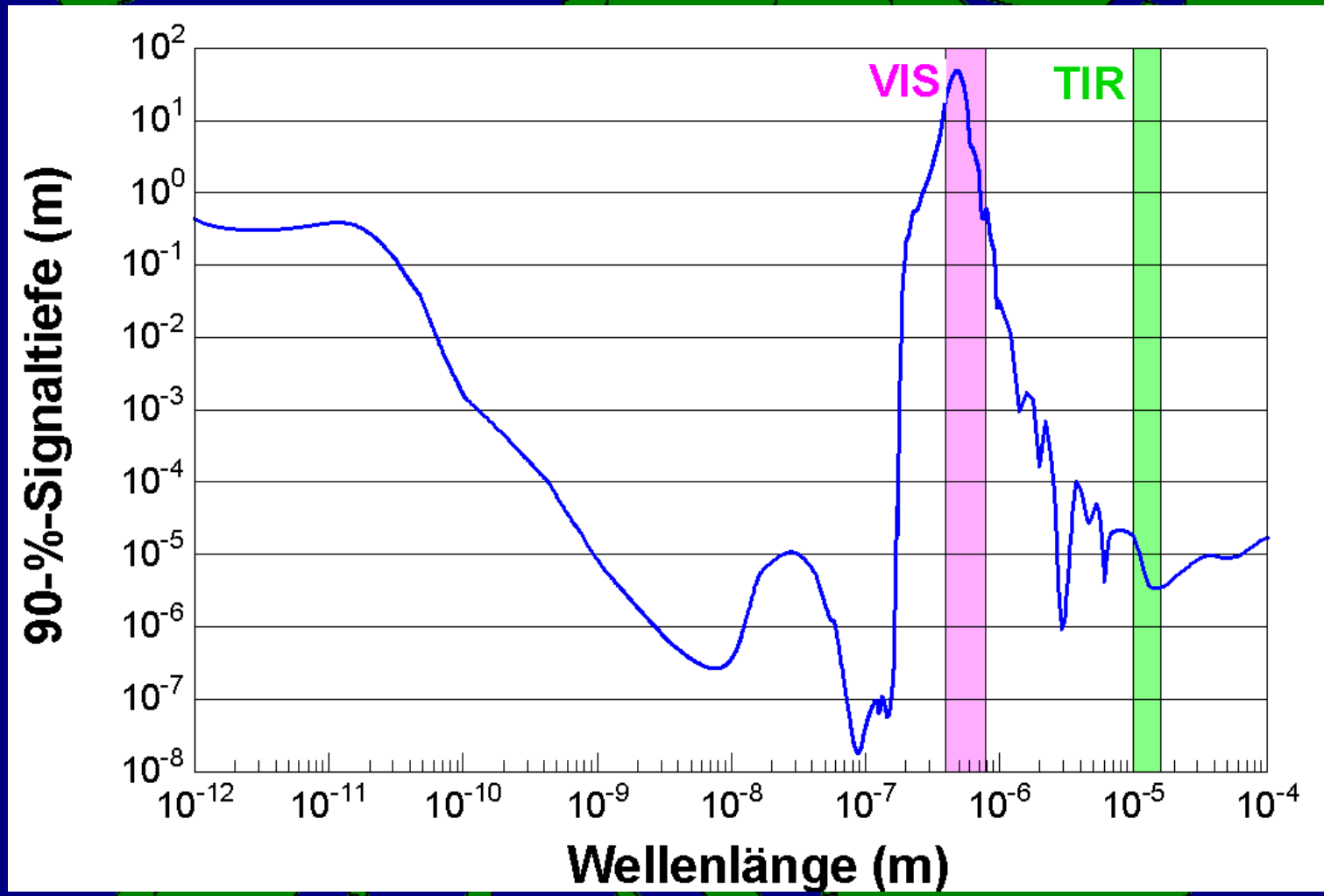
Für Gewässerfernerkundung nutzbare Effekte:

- **Thermische Strahlung der Wasseroberfläche**
- **Strukturen der Wasseroberfläche (Rauhigkeit, Wellen)**
- **Reflexion von Licht an der Wasseroberfläche**
- **Reflexion von Licht im Wasser (Wasserfarbe)**



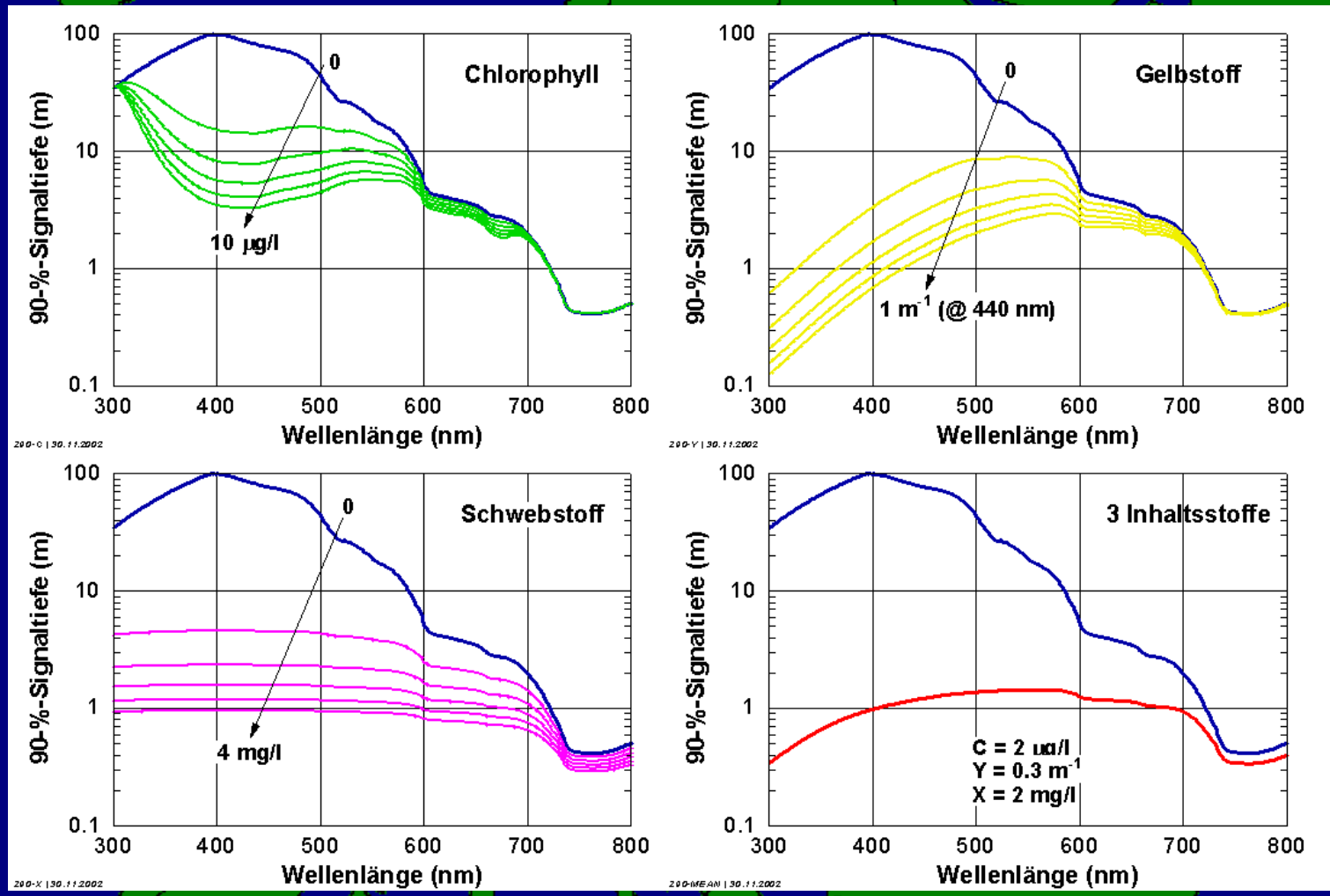
Signaltiefe

- Reines Wasser
- nur Absorption
- Sonne im Zenit
- Beobachtung Nadir



Signaltiefe

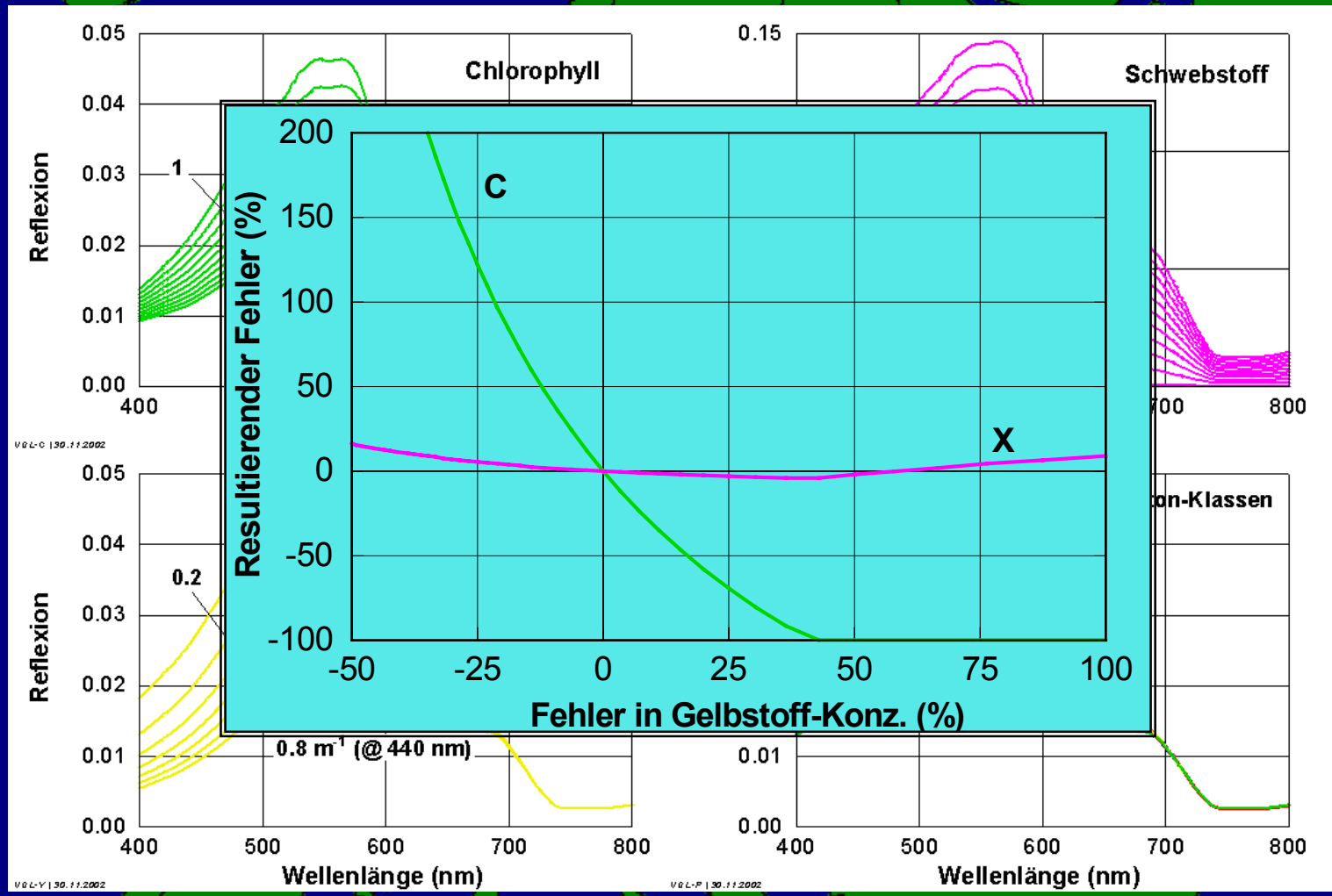
- Absorption
- Streuung
- Sonne im Zenit
- Beobachtung Nadir



Reflexion im Wasser

Bodensee-typische Konzentrationen:

- 2 µg/l Chlorophyll
- 2 mg/l Schwebstoff
- 0.3 m^{-1} Gelbstoff



Algorithmen

Empirische

- **basieren auf statistisch ermitteltem Zusammenhang zwischen Meßgröße und Sensorsignalen**
- **repräsentativer Datensatz nötig** (zeitgleich, muß Dynamikbereich abdecken)

Vorteile

- **einfache und schnelle Auswertung von Bilddaten**
- **kein Modell nötig**

Nachteile

- **nicht immer anwendbar**
- **viele Meßdaten nötig**
- **Übertragbarkeit ungewiß** (manchmal nur für eine Kampagne anwendbar)

Algorithmen

Analytische

- können alle spektrale Information nutzen
- basieren auf physikalischem Modell (Strahlungstransfer)

Vorteile

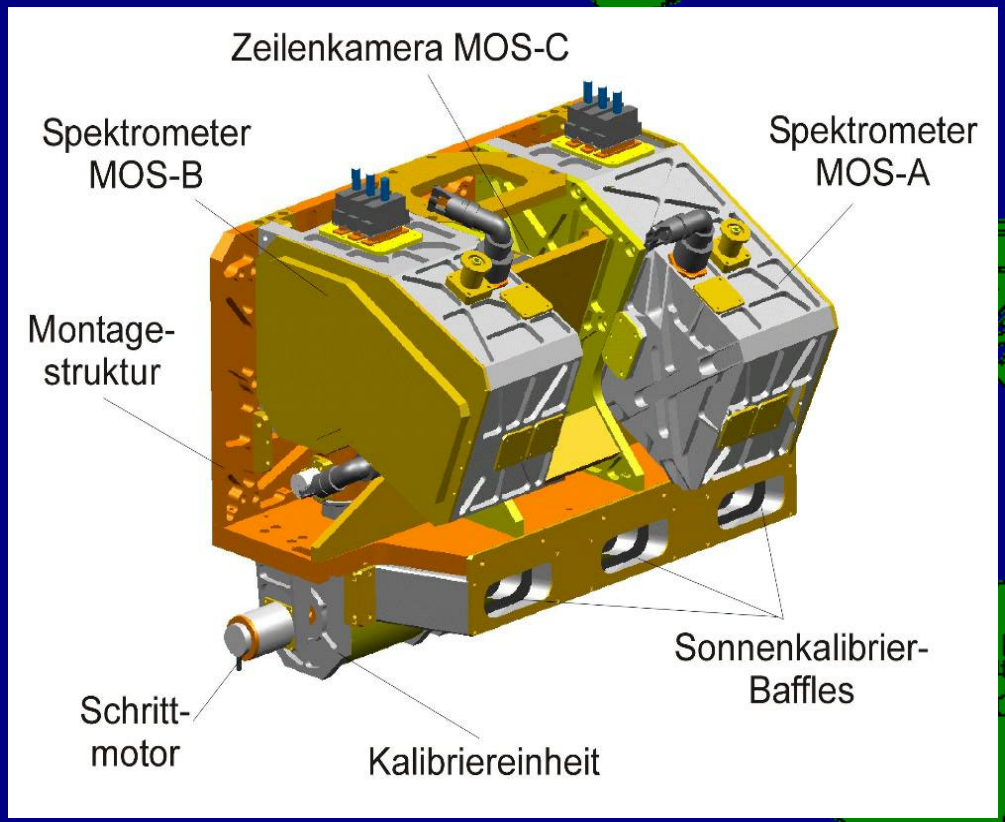
- großer Gültigkeitsbereich
- Genauigkeit abschätzbar
- physikalische Interpretation

Nachteile

- verläßliche Information über Materialeigenschaften nötig (IOPs)
- rechenzeitaufwendig

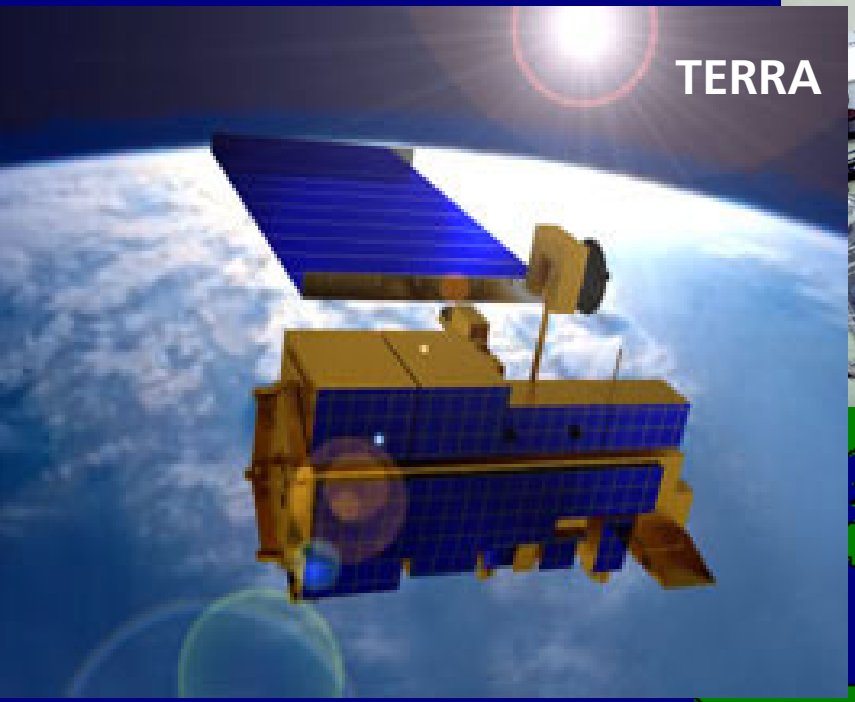
Satellitensensoren (Auswahl)

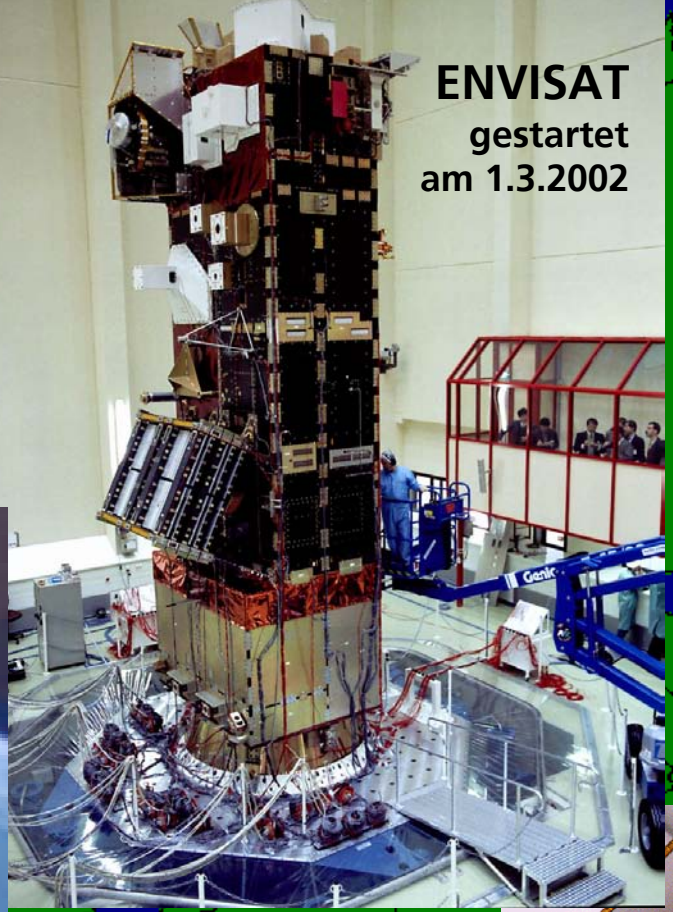
Satellit	Sensor	Kanäle	Spektral-bereich	räum. Auflös.	zeitl. Auflös.	Anwendung
Meteosat	VISSR	3	0.5 - 12.6 µm	5 km	30 min	PAR
NOAA	AVHRR	5	0.58 - 12.5 µm	1.1 km	12 h	Temperatur
SeaWiFS	WiFS	8	0.4 - 0.89 µm	1 km	2 d	Chl, SPM, Y
TERRA AQUA	MODIS	36	0.40 - 14.3 µm	250 m - 1 km	1 d	SPM, (Chl), Temp.
IRS-P3	MOS-B	13	0.41 - 1.01 µm	520 m	24 d	Chl, SPM, Y
ENVISAT	MERIS	15	0.41 - 0.91 µm	300 m	2 d	Chl, SPM, Y
Landsat	TM	6+1	0.45 - 2.35 µm 10.4 - 12.5 µm	30 m 120 m	16 d	SPM, (Chl) Temperatur
EO-1	ALI	6	0.40 - 2.4 µm	30 m	4 - 16 d	.
EO-1	Hyperion	220	0.38 - 2.45 µm	30 m	4 - 16 d	.
SPOT	HRV-XS	3	0.50 - 0.89 µm	20 m	26 d	Schwebstoff

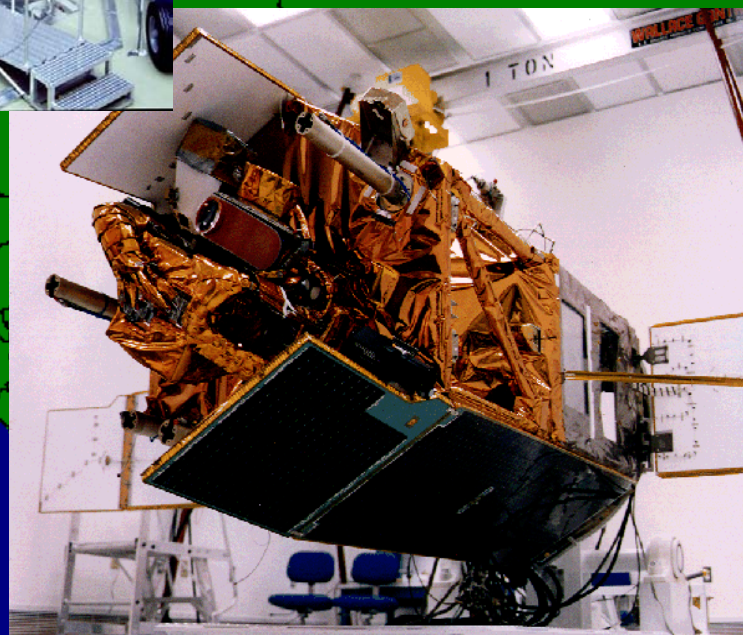

Zeilenkamera MOS-C
Spektrometer MOS-B
Spektrometer MOS-A
Montage-struktur
Sonnenkalibrier-Baffles
Schritt-motor
Kalibriereinheit

MOS
gestartet
am 21.3.1996

DLR







DLR, Institut für Methodik der Fernerkundung, Abteilung Gewässerfernerkundung

Flugzeugsensoren (Auswahl)

Land	Sensor	Kanäle	Spektralbereich	spektrale Auflösung
FI	AISA	bis 288	430 - 900 nm	1.8 nm
D, F, I, E, UK	CASI	bis 288	400 - 1000 nm	1.9 nm
D	Daedalus	11	430 nm - 12 µm	26 - 78 nm
NL	EPS-a	25	406 - 995 nm	15 nm
I	MIVIS	20 50 9 340 - 540	430 - 830 nm 1150 - 1550 nm 1980 - 2450 nm 8210 - 12700 nm	20 nm 8 nm 64 nm 10 nm
D	ROSIS	115	430 - 860 nm	4 nm

Fernerkundbare Größen (1)

Parameter	Anwendungen
Temperatur	• Biologische und chemische Prozesse (Wachstum) • Wärmehaushalt • Tracer für hydrodynamische Prozesse
Chlorophyll	• Phytoplankton ist erstes Glied der Nahrungskette • Algenblüten • Indikator für biologischen und ökologischen Zustand
Algenklassen	• Indikator für Wasserqualität • toxische Algen
Schwebstoff	• Transportvehikel für Schadstoffe • Verlandung • Lichtschwächung
Gelbstoff	• Lichtschwächung • Tracer für Ausbreitung von Zuflüssen

Fernerkundbare Größen (2)

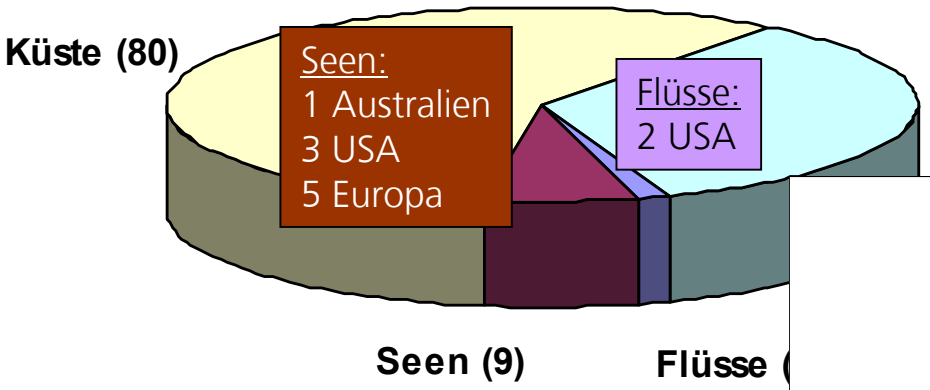
Parameter	Anwendungen
Secchitiefe	• Eindringtiefe des Lichts • Standardmeßgröße seit 100 Jahren
Trophie	• Maß für Produktivität • Indikator für aktuelle Wasserqualität
Makrophyten	• Indikator für mittlere Wasserqualität („Makrophytenindex“) • Kinderstube für Fische
Primärproduktion	• Produktivität eines Gewässers

Nutzen durch FE

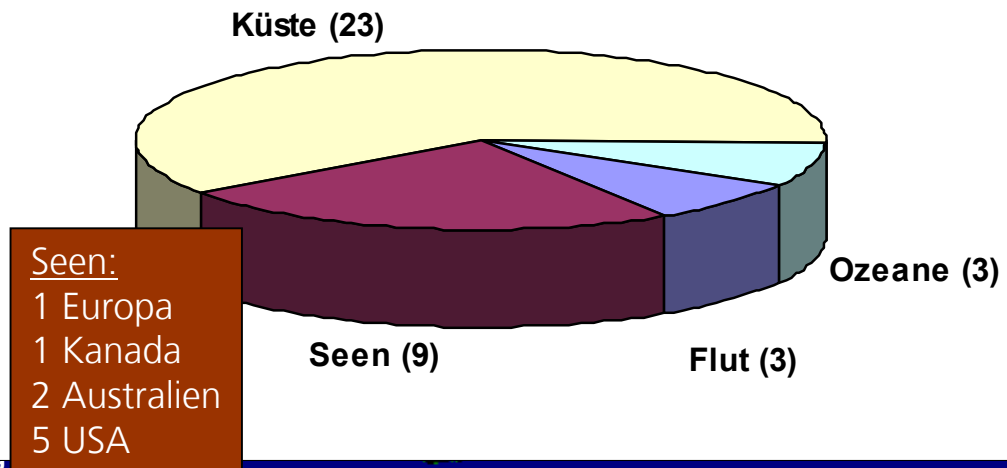
- Information über Seen, die nie oder selten beprobt wurden
- Gleichzeitige Erfassung vieler Seen
  - bessere Vergleichbarkeit
  - Optimierung von Meßstation-Netzwerken
- Räumliche Variabilität innerhalb eines Sees
  - Identifizierung unterschiedlicher Regionen
  - Optimierung der Probestellen
  - Massenbilanzierung von Stoffen
- Ausbreitung von Schadstoffen (FE-Größen als Tracer)
- Archiv

Wie oft und wo werden Seen fernerkundet?

Arbeitsgebiete der Teilnehmer der "Ocean Optics" Konferenz, Santa Fe November 2002



Arbeitsgebiete der Teilnehmer des Workshops über Küste und Binnengewässer, Wolfsville Oktober 2001



Überblick

- Bedeutung von Seen
- Potential der Fernerkundung
- **Status quo der Seenfernerkundung in Europa**
- Ausblick

Seen-FE in Schweden

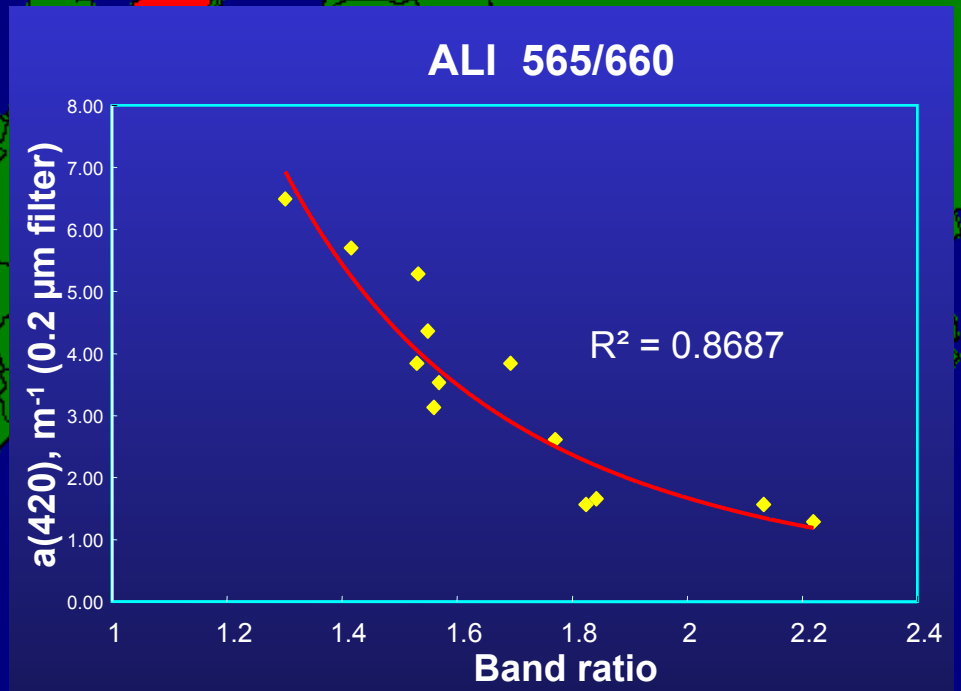
Finnische Seenplatte

10 km

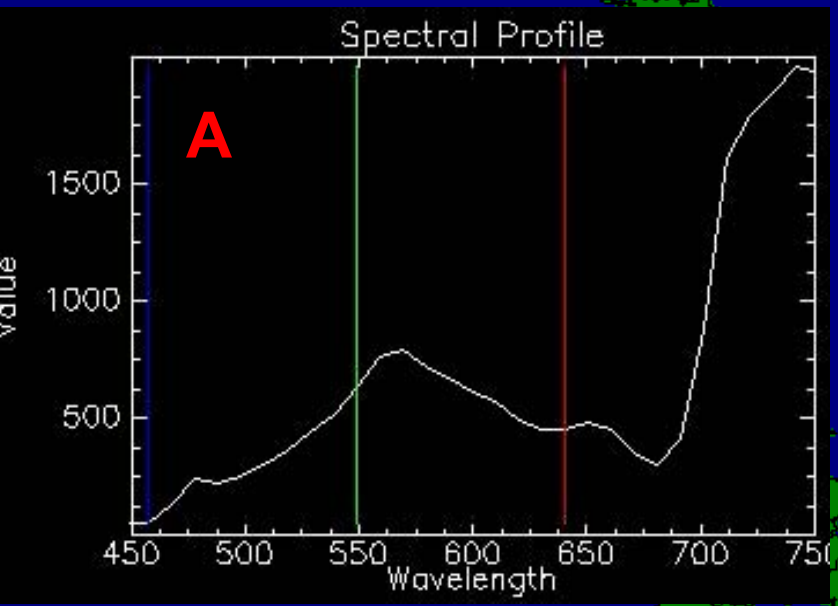
Ostsee, Golf von Finnland

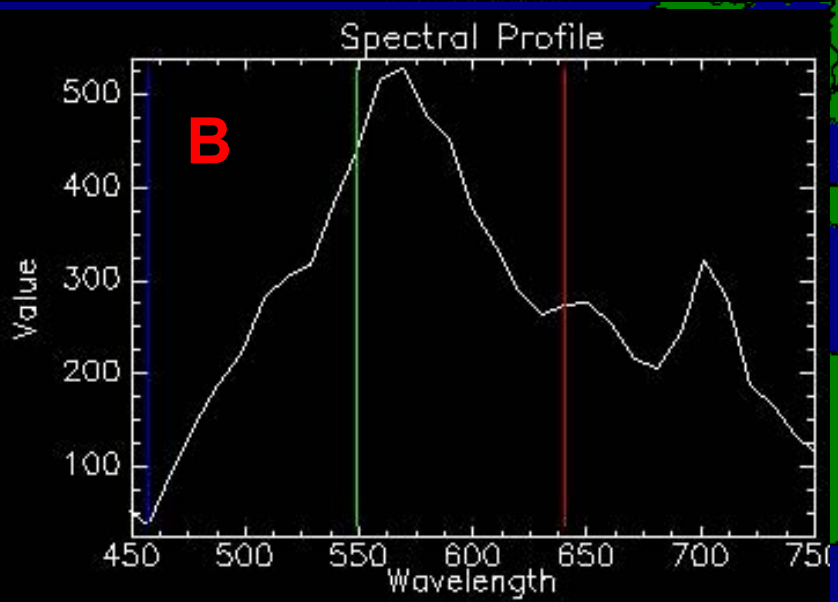
Gelbstoff-Konzentration
Sensor: Advanced Land Imager (ALI)

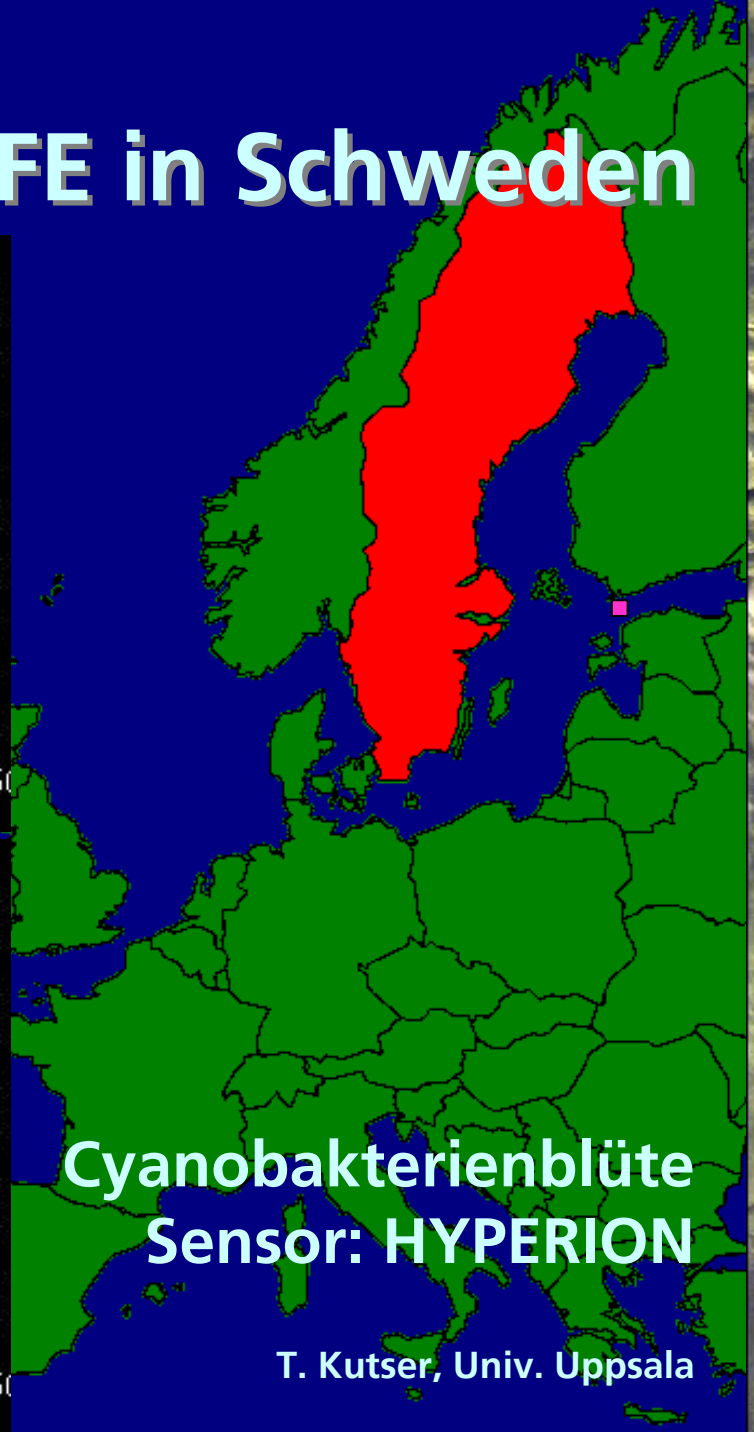
T. Kutser, Univ. Uppsala



Seen-FE in Schweden







Golf von Finnland
(Ostsee)

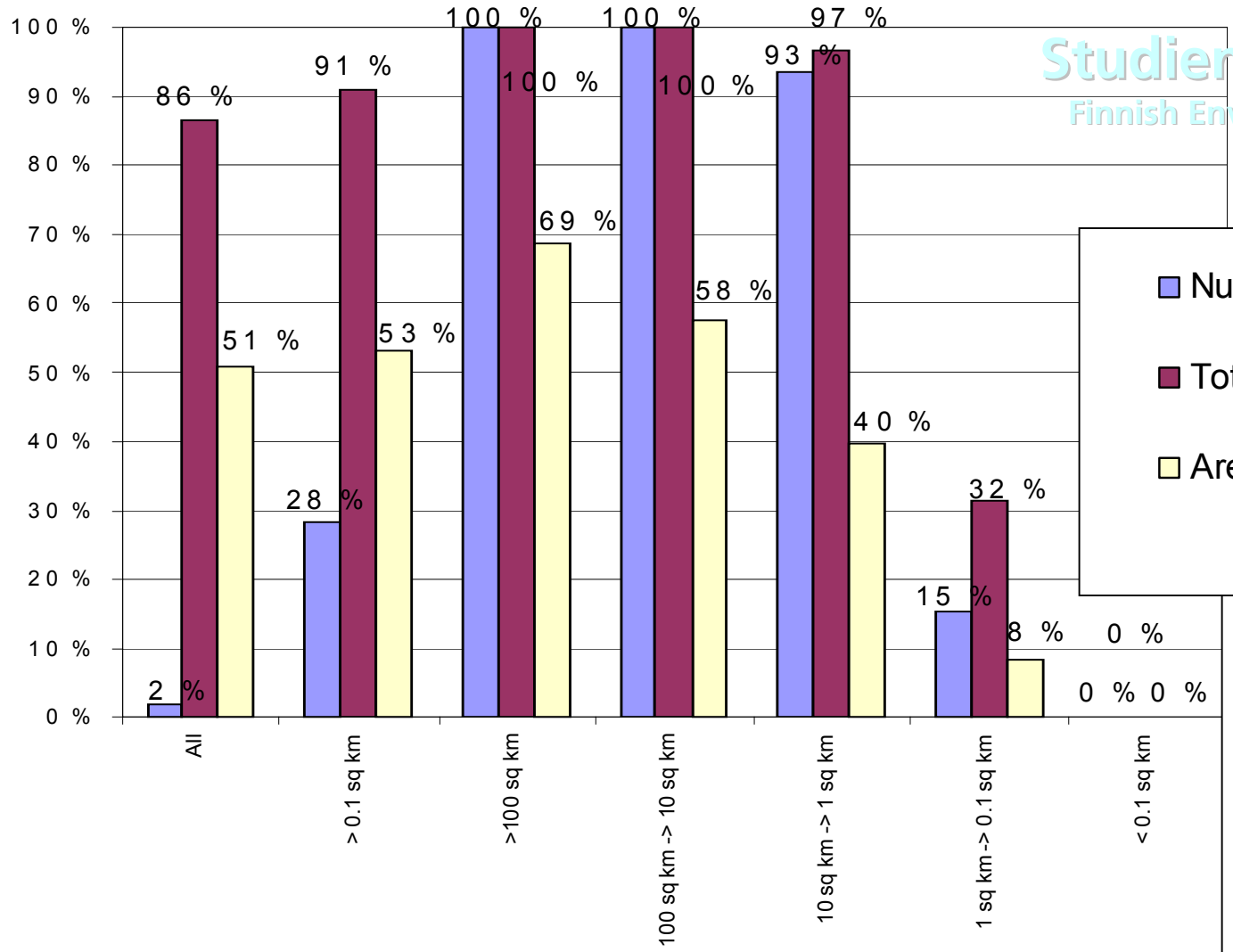
Cyanobakterienblüte
Sensor: HYPERION

T. Kutser, Univ. Uppsala

Seen-FE in Finnland

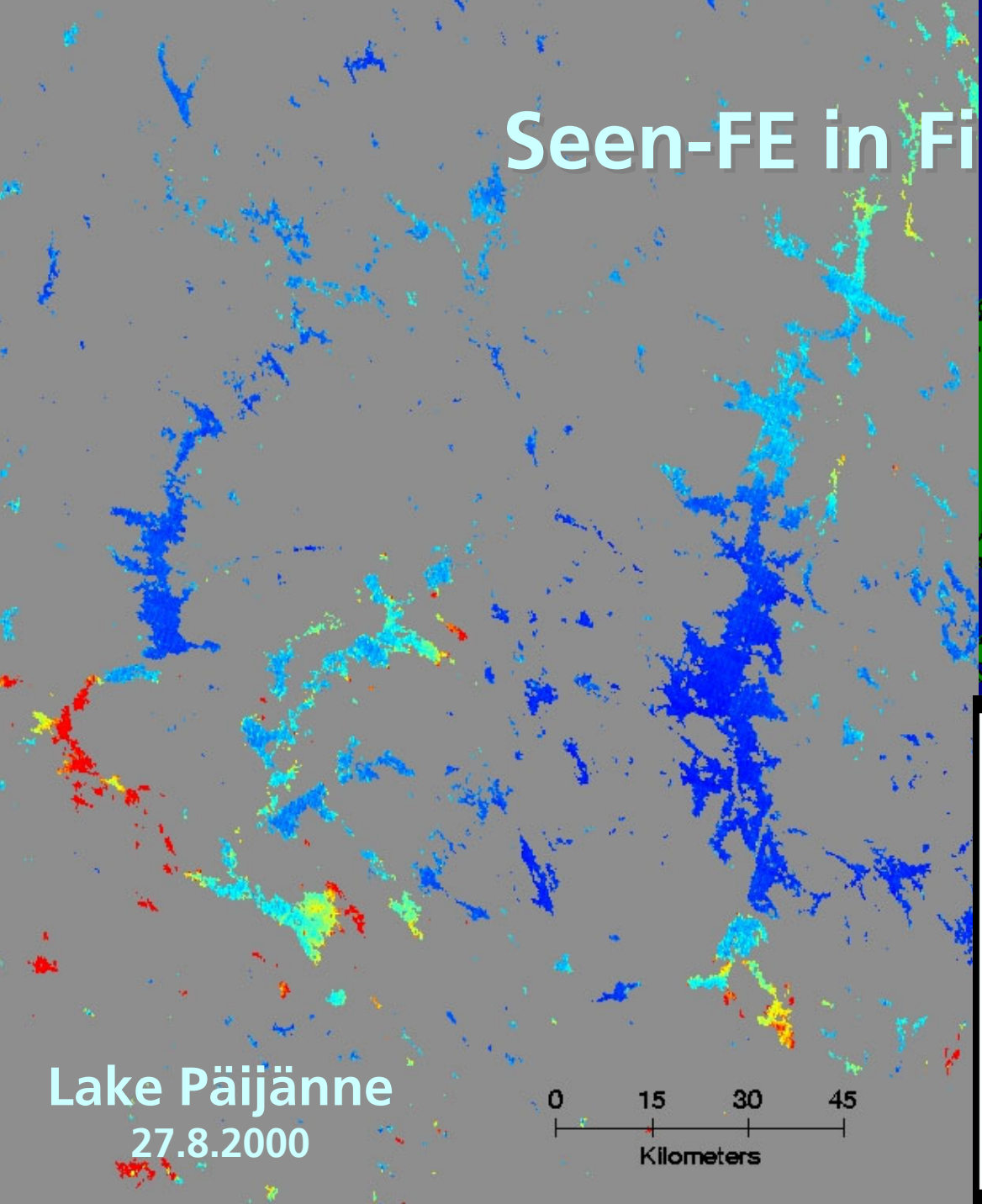
Studien zur Sensorauflösung

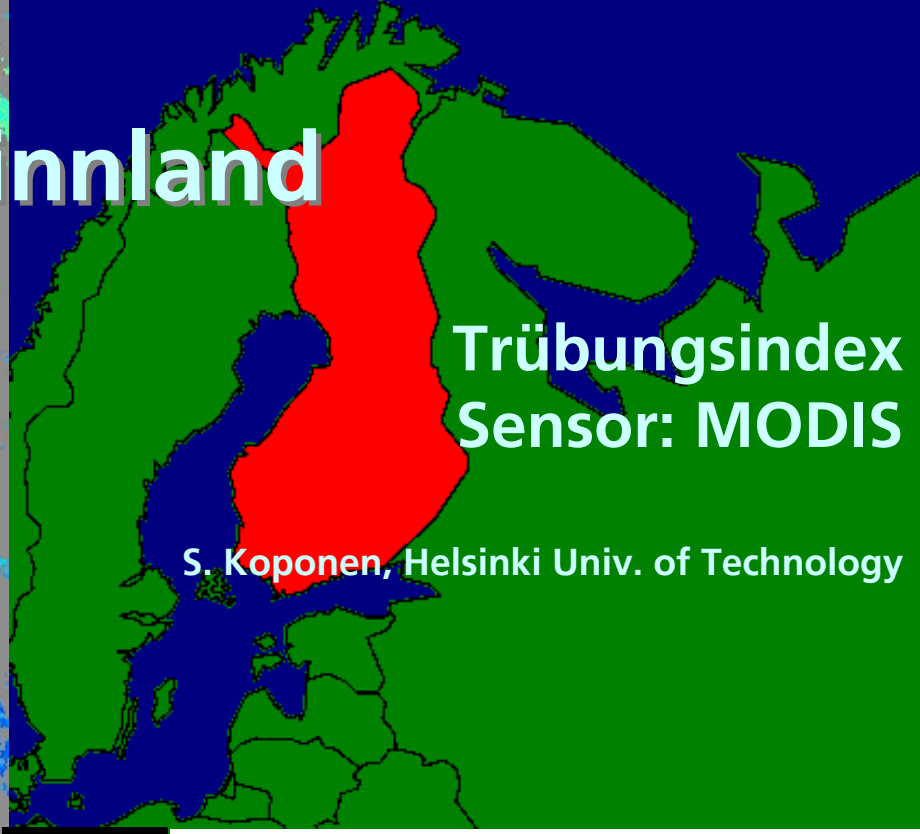
Finnish Environmental Institute, Helsinki (SYKE)



Abdeckung der finnischen Seen durch MERIS

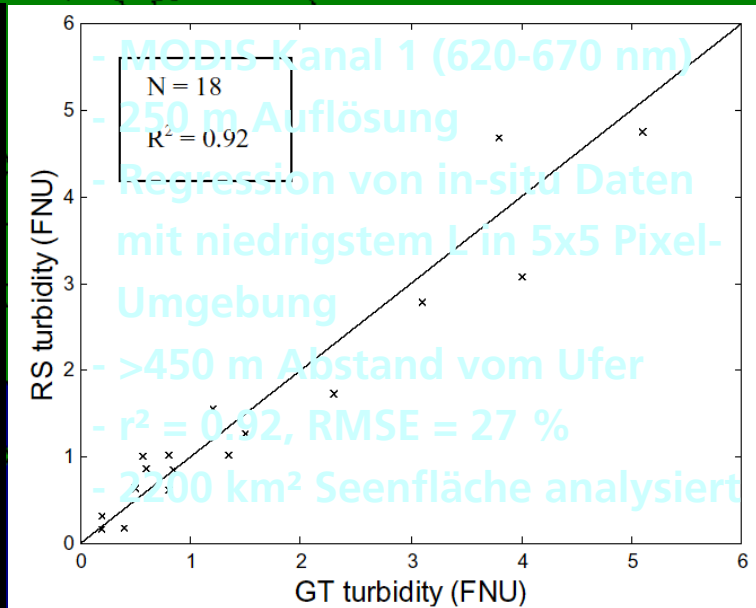
Seen-FE in Finnland





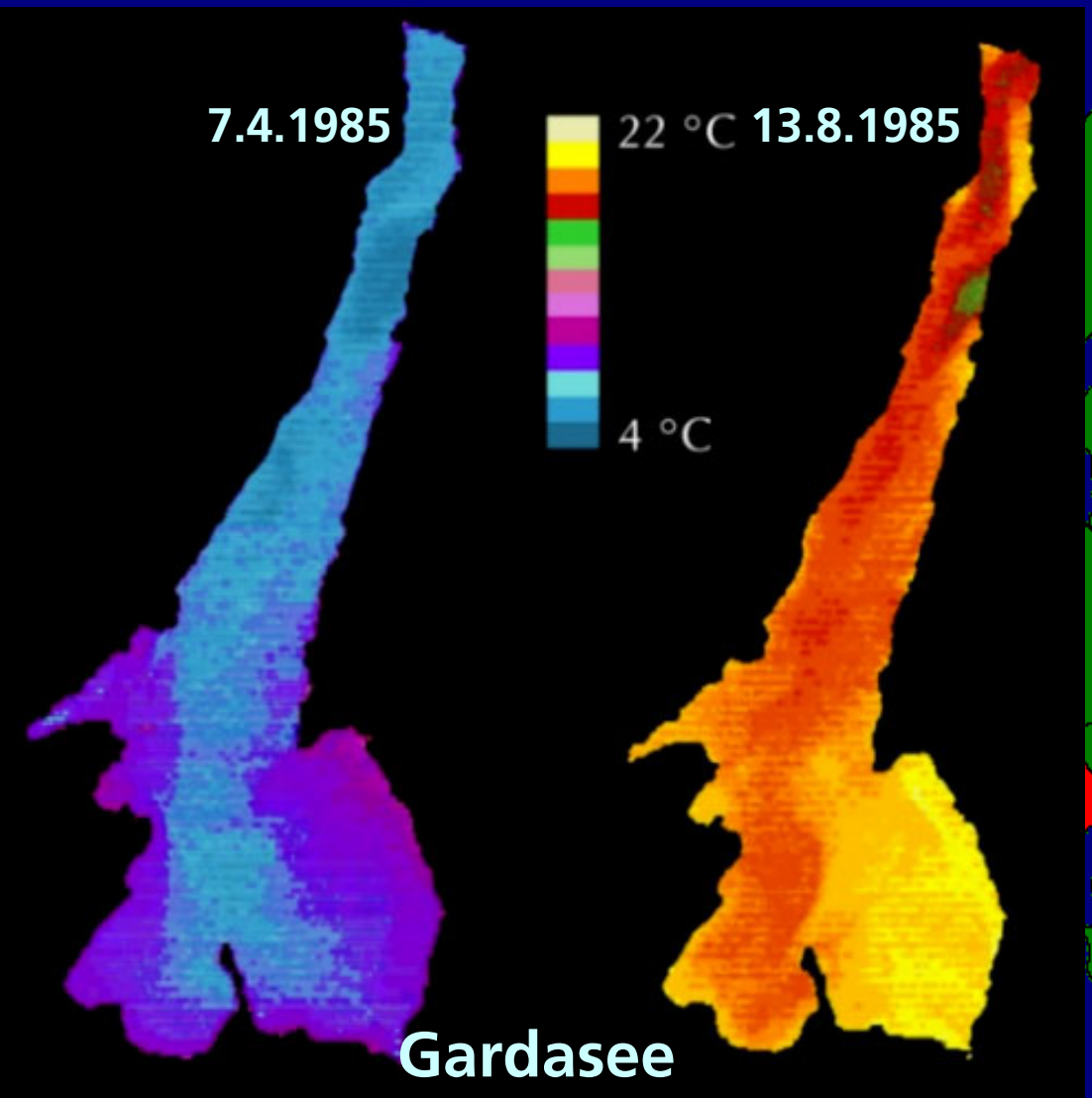
Trübungsindex
Sensor: MODIS

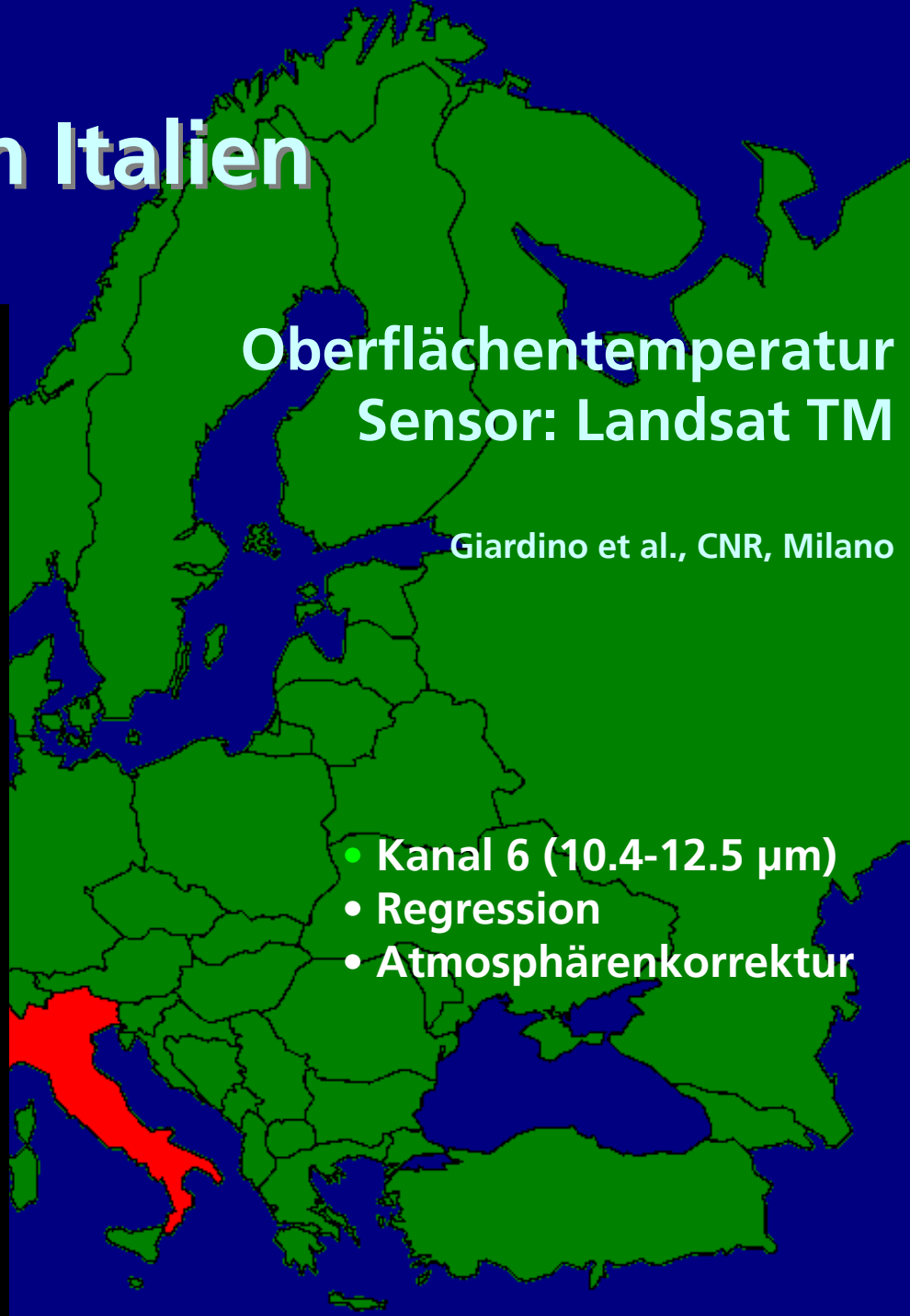
S. Koponen, Helsinki Univ. of Technology



- MODIS-Kanal 1 (620-670 nm)
- 250 m Auflösung
- Regression von in-situ Daten mit niedrigstem L in 5x5 Pixel-Umgebung
- >450 m Abstand vom Ufer
- r^2 = 0.92, RMSE = 27 %
- 2500 km² Seenfläche analysiert

Seen-FE in Italien



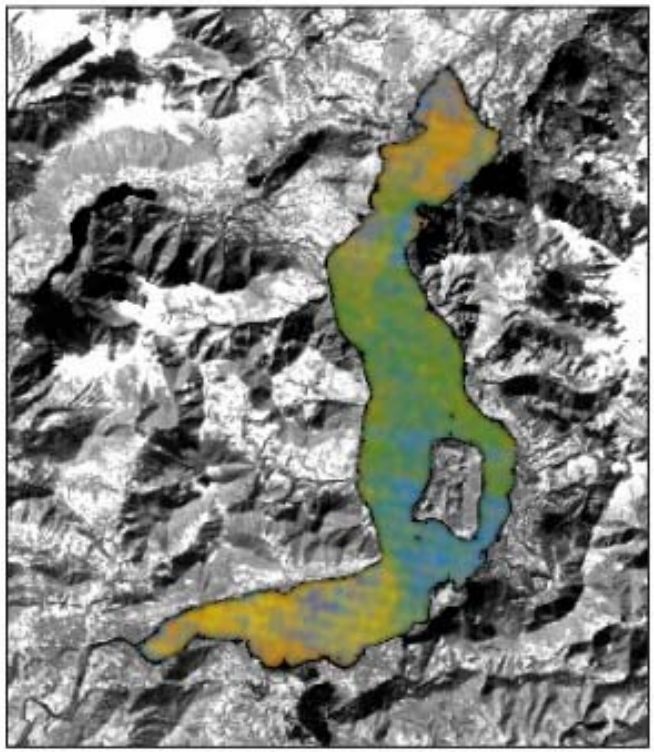


Oberflächentemperatur
Sensor: Landsat TM

Giardino et al., CNR, Milano

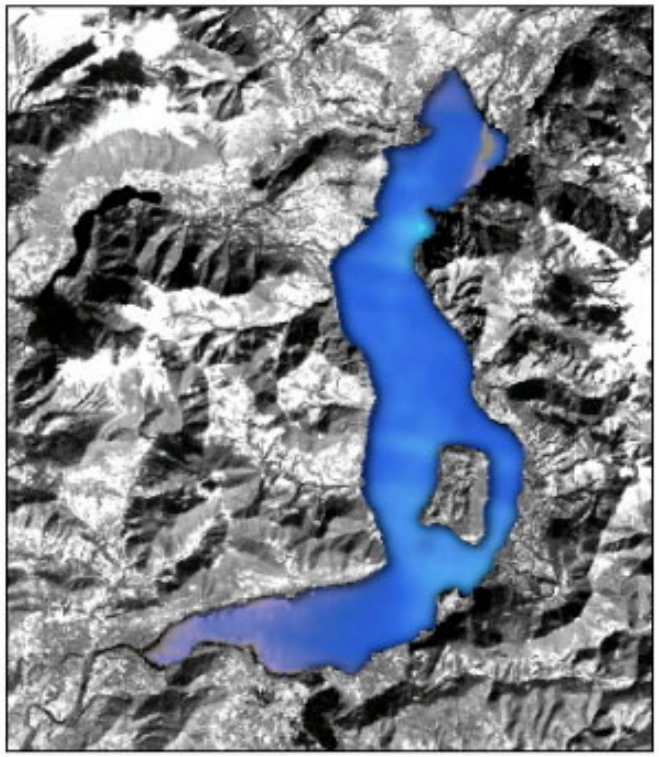
- Kanal 6 (10.4-12.5 µm)
- Regression
- Atmosphärenkorrektur

Seen-FE in Italien



Chl =
11· TM1 - 9· TM3 - 3.3

Lago Iseo
7.3.1997



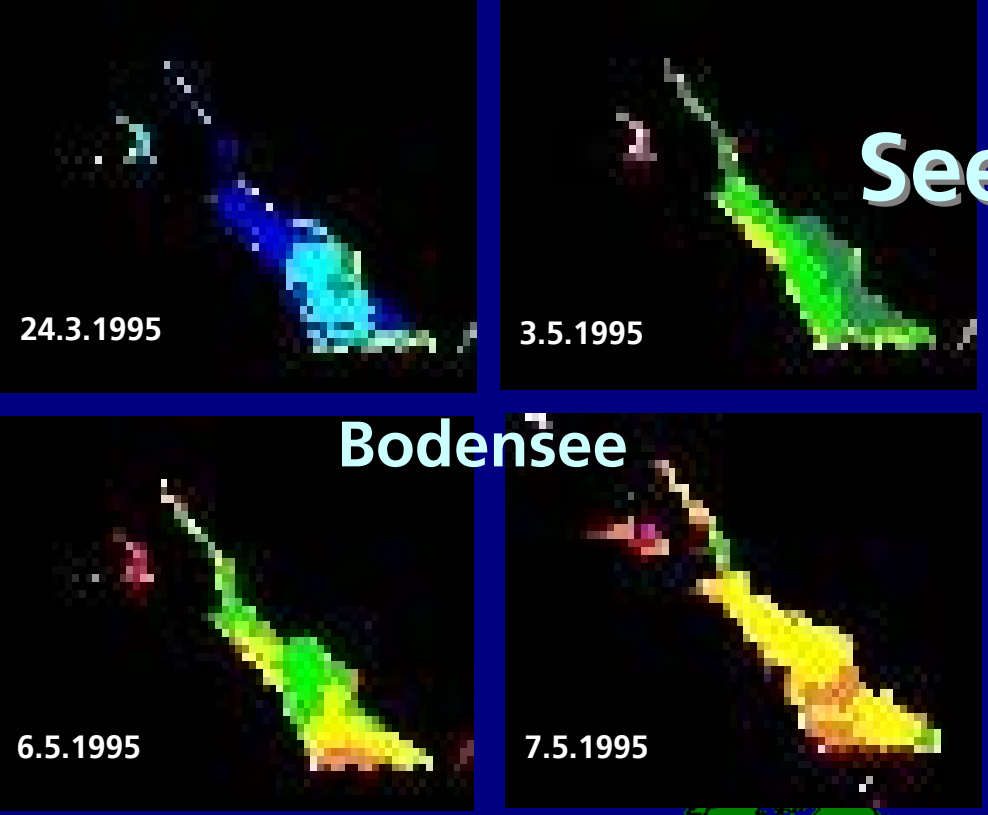
SD =
8 · TM1 / TM2 - 8.3

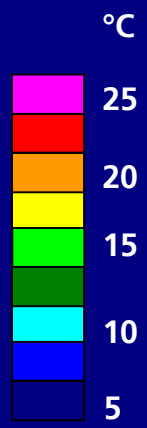
- 4 Probestellen
- Regression
- Atmosphärenkorrektur

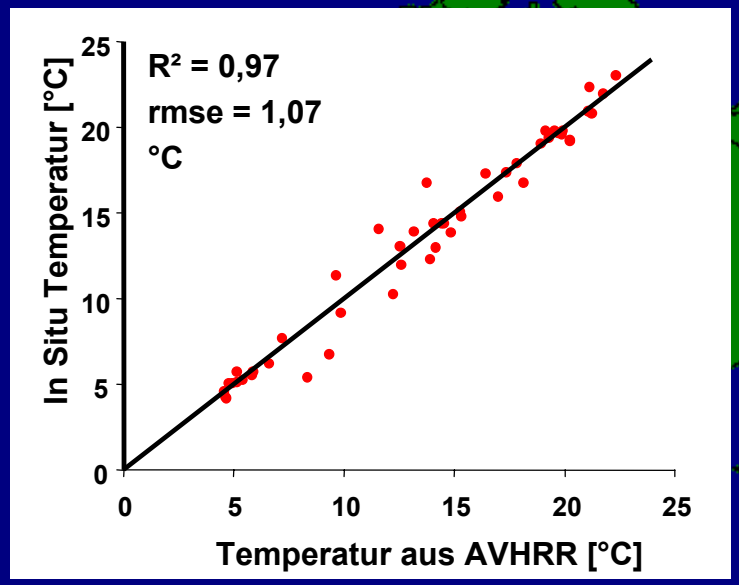
Chlorophyll und Sichttiefe
Sensor: Landsat TM

Univ. Milano
JRC Ispra

Seen-FE in Deutschland





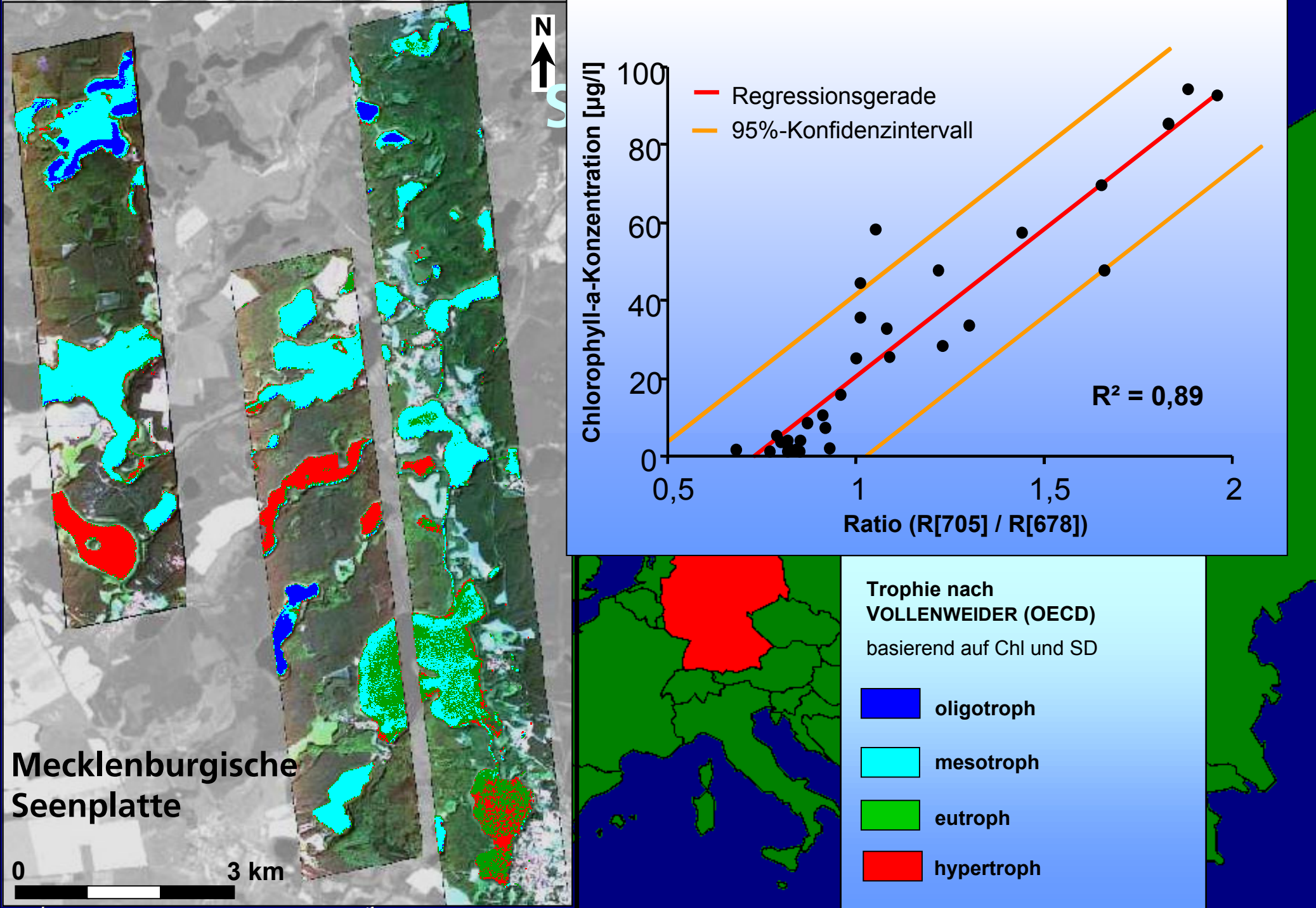


Temperatur
Sensor: NOAA14-AVHRR

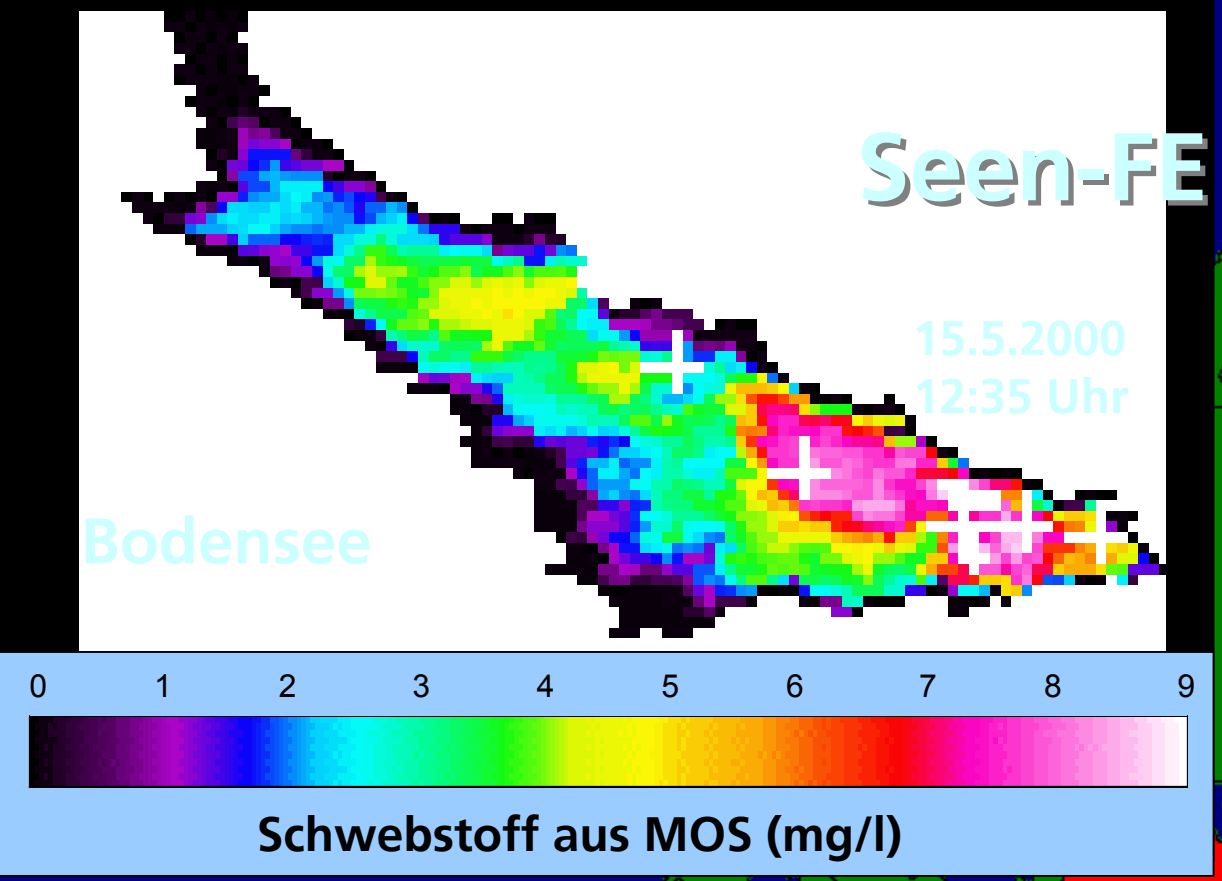
S. Thiemann, DLR Oberpfaffenhofen

Anwendungen:

- Regionaler Algorithmus für Bodensee
- Temperatur für 0-4 m Tiefeninterval
- Wärmehaushalt eines Sees
- 5 Jahre NOAA14-AVHRR-Daten
- Antrieb für Phytoplankton-Wachstum
- Einbeziehung von Wetterhistorie
- Tracer für hydrodynamische Prozesse
- Verwendung eines neuronalen Netzes


N
Mecklenburgische Seenplatte
0
3 km
Regressionsgerade
95%-Konfidenzintervall
Chlorophyll-a-Konzentration [µg/l]
100
80
60
40
20
0
0,5
1
1,5
2
Ratio (R[705] / R[678])
R² = 0,89
Trophie nach
VOLLENWEIDER (OECD)
basierend auf Chl und SD
oligotroph
mesotroph
eutroph
hypertroph

Seen-FE in Deutschland



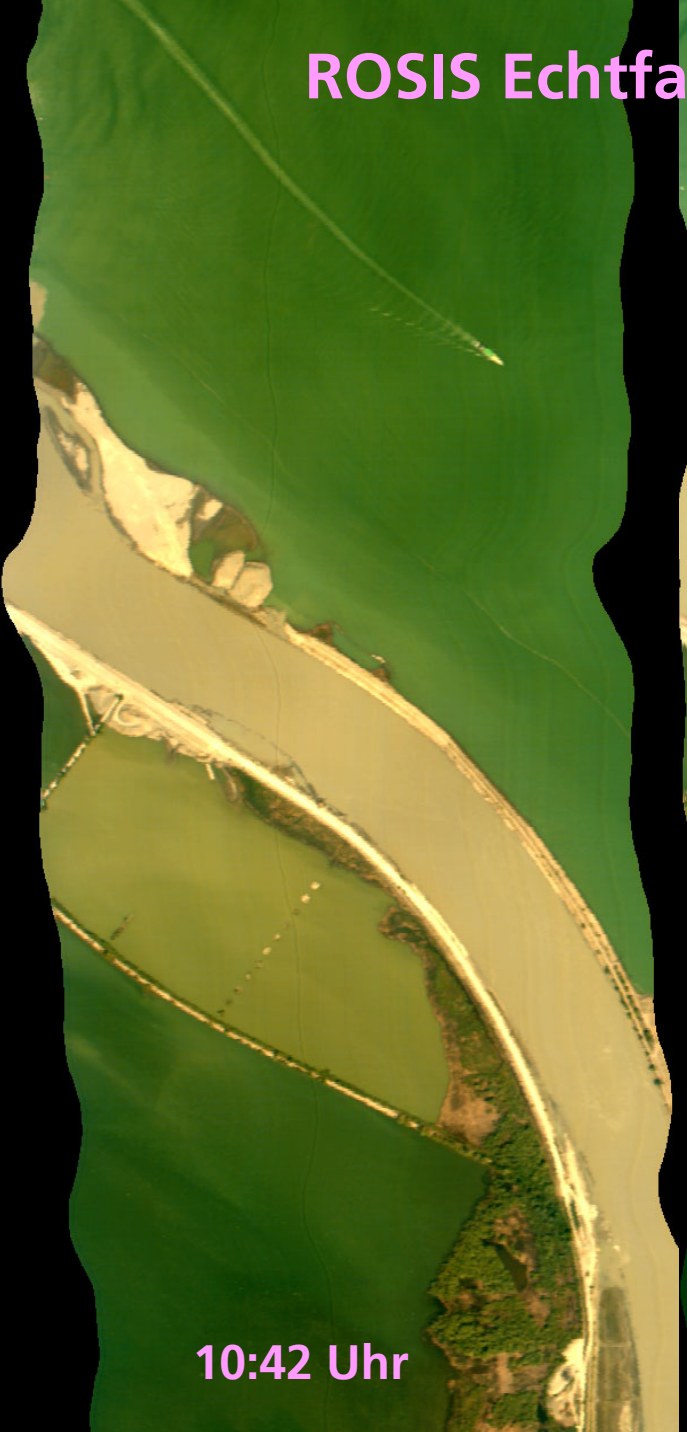
Schwebstoff
Sensoren: MOS und ROSIS

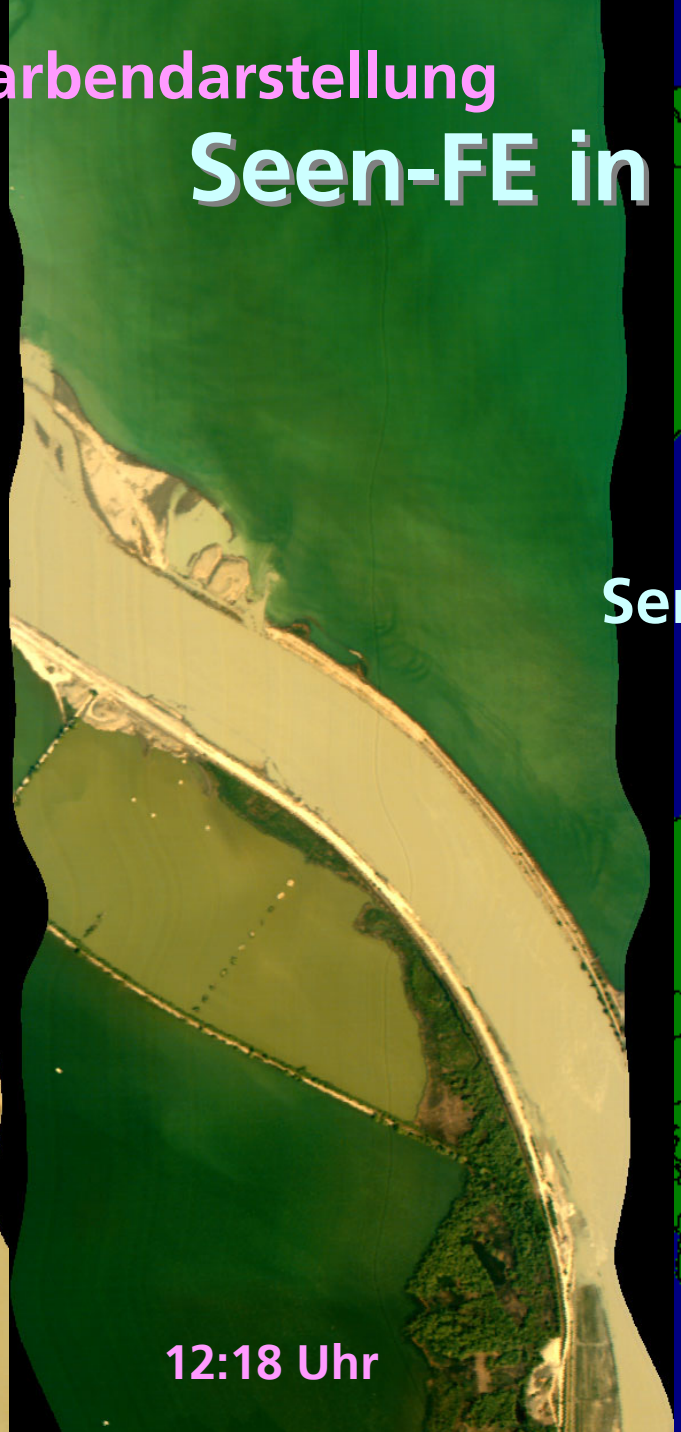
N. Stahl, DLR Oberpfaffenhofen

MOS:
Hauptkomponenteninversion

ROSIS Echtfarbendarstellung

Seen-FE in Deutschland

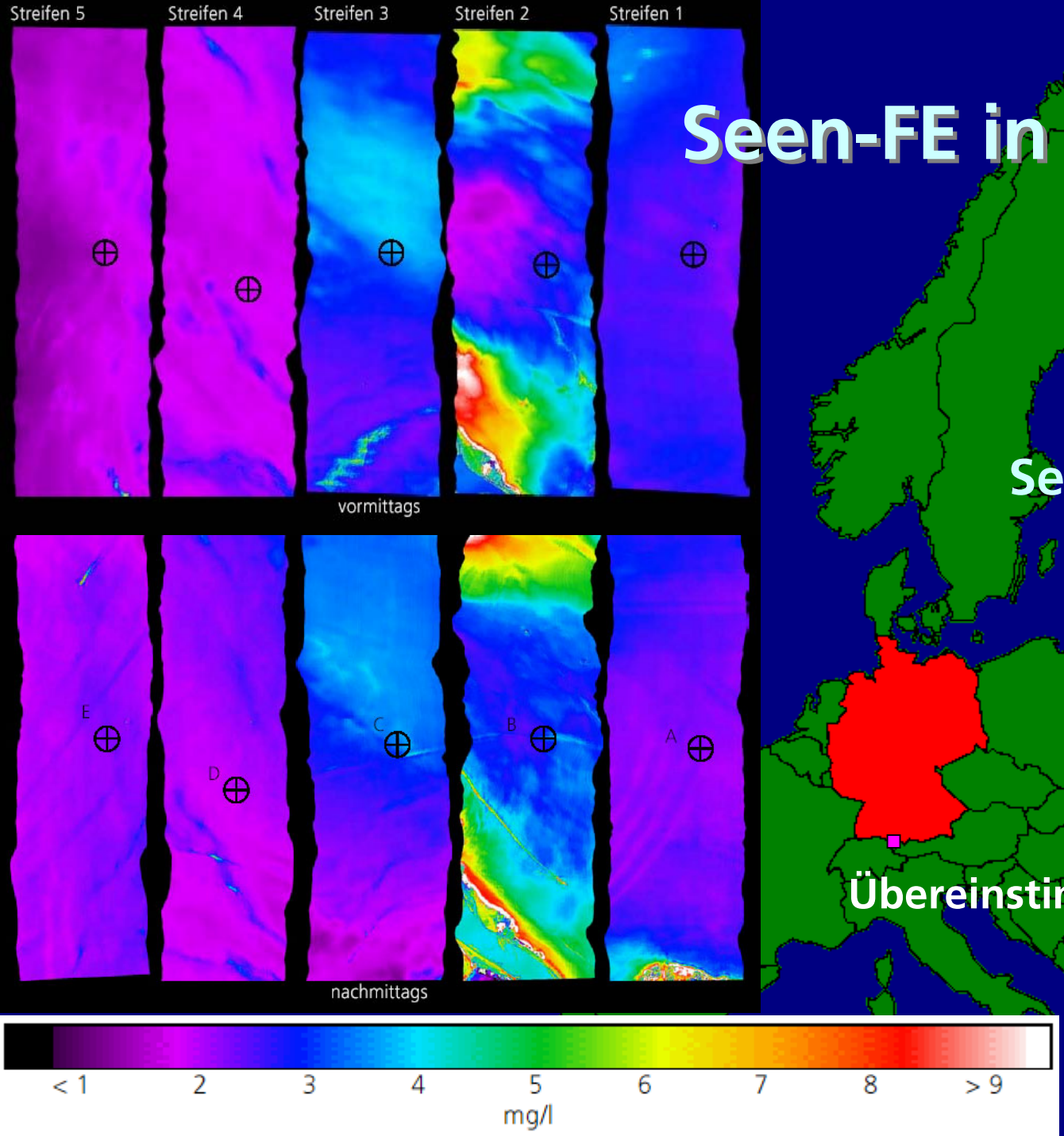




Schwebstoff
Sensoren: MOS und ROSIS

N. Stahl, DLR Oberpfaffenhofen

Seen-FE in Deutschland



Schwebstoff
Sensoren: MOS und ROSIS

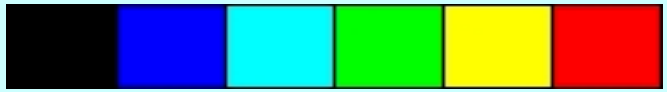
N. Stahl, DLR Oberpfaffenhofen

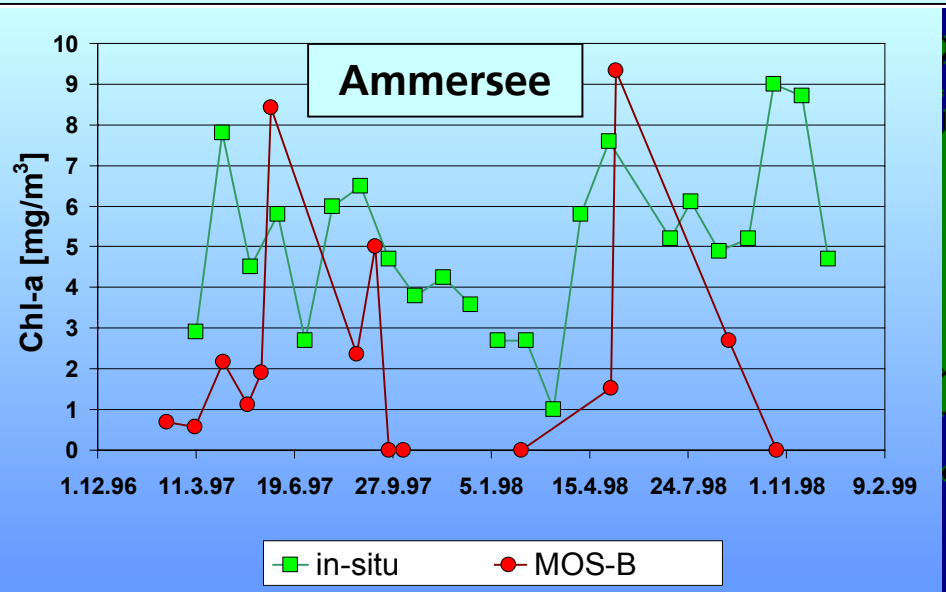
ROSIS:
Inverse Modellierung

Übereinstimmung mit in-situ-Werten:
± 22 % (1 mg/l)

Seen-FE in Deutschland

Chlorophyll-a in [mg/m³]

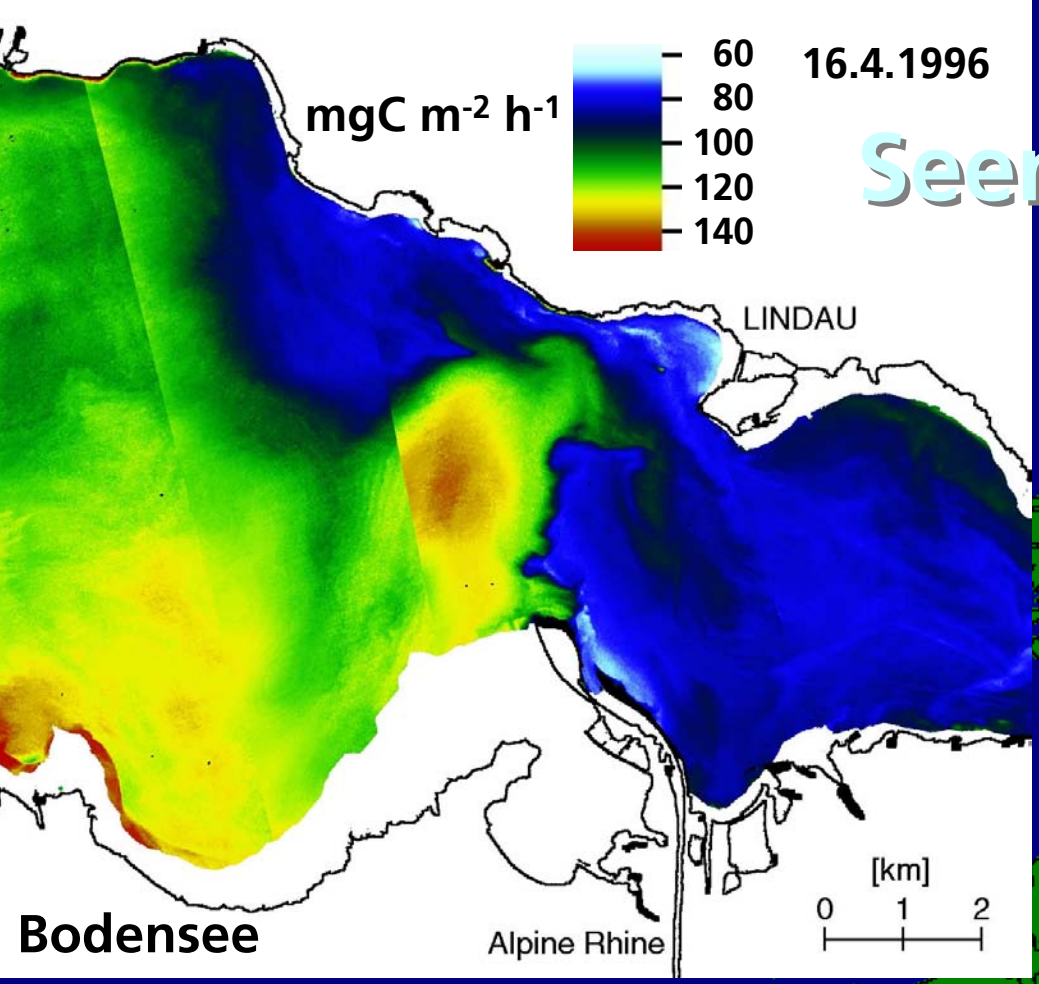


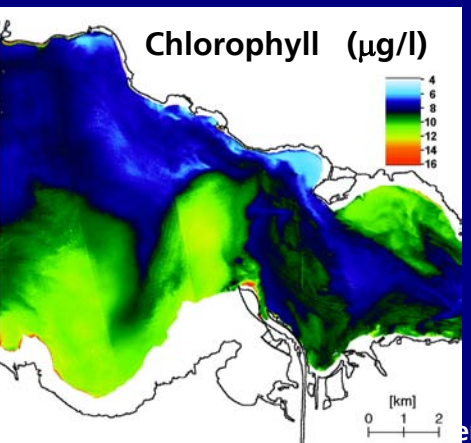


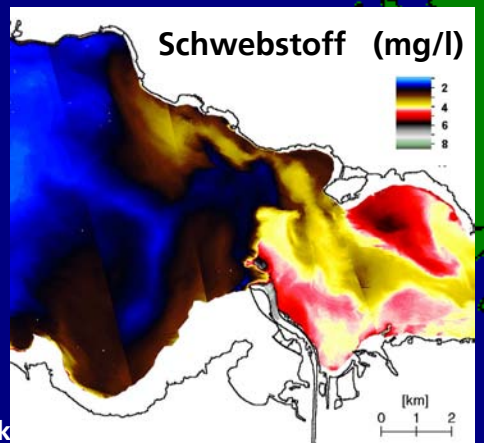
Chlorophyll Sensor: MOS

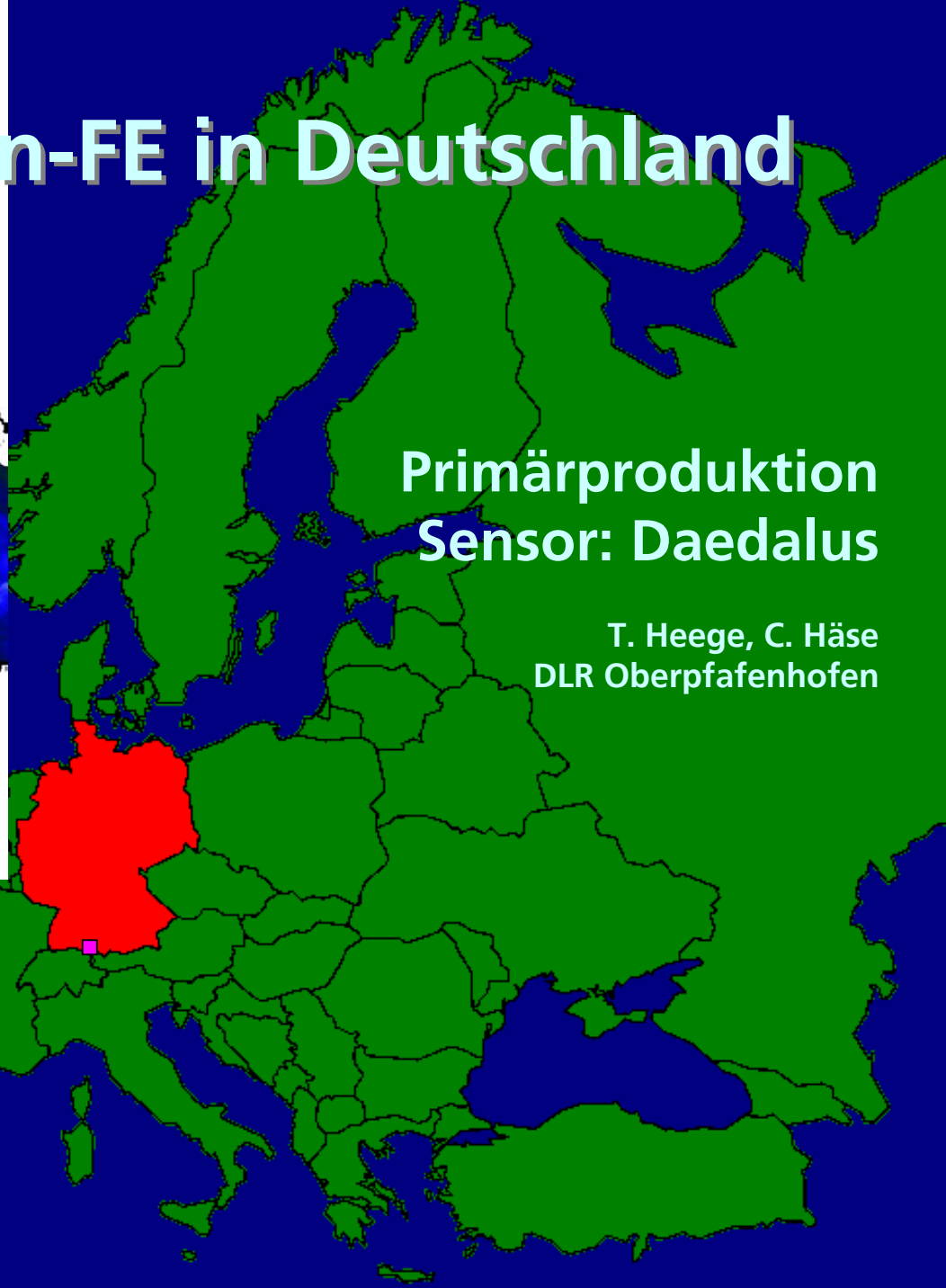
K. Ebert, DLR Berlin

Seen-FE in Deutschland





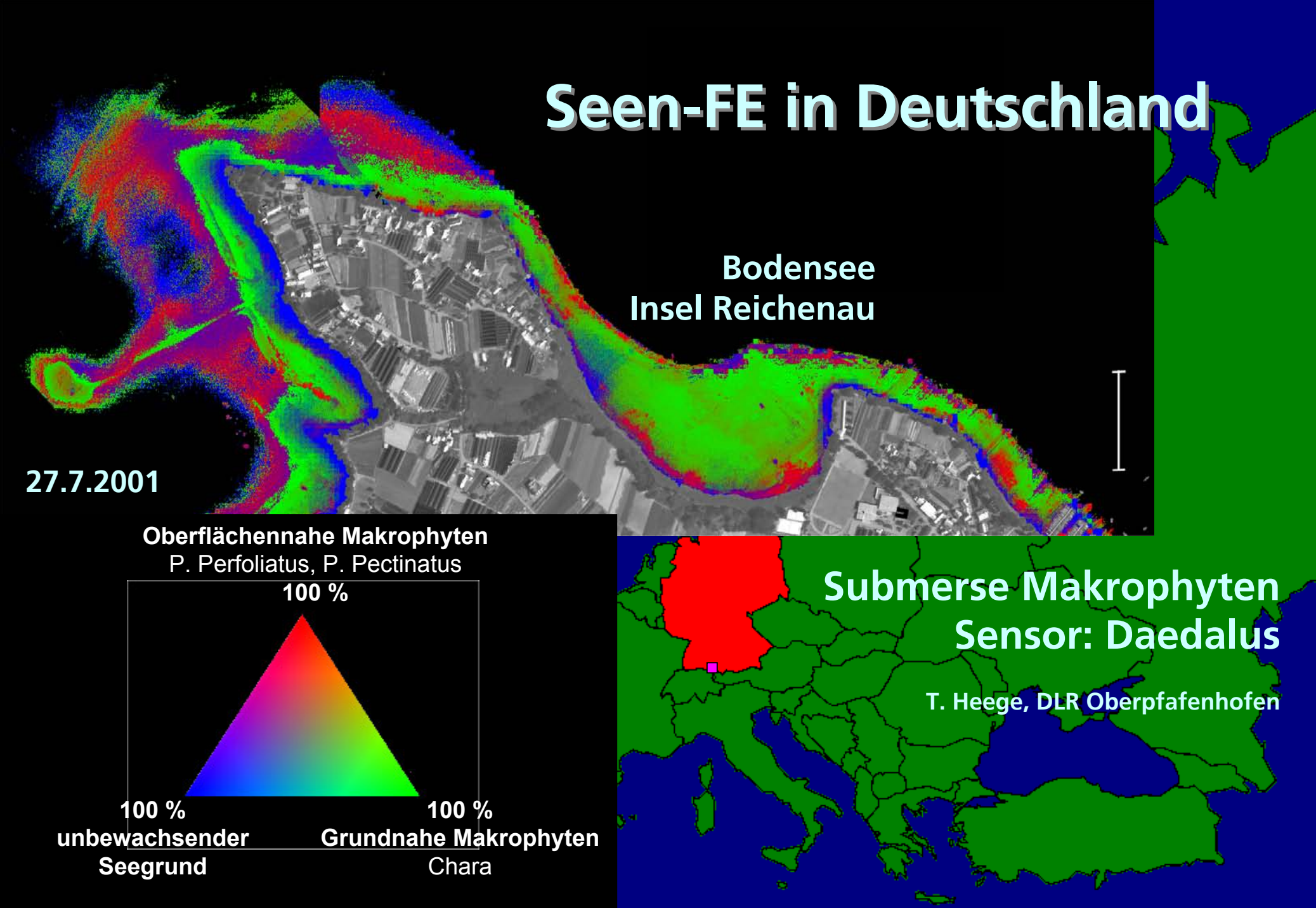




Primärproduktion
Sensor: Daedalus

T. Heege, C. Häse
DLR Oberpfafenhofen

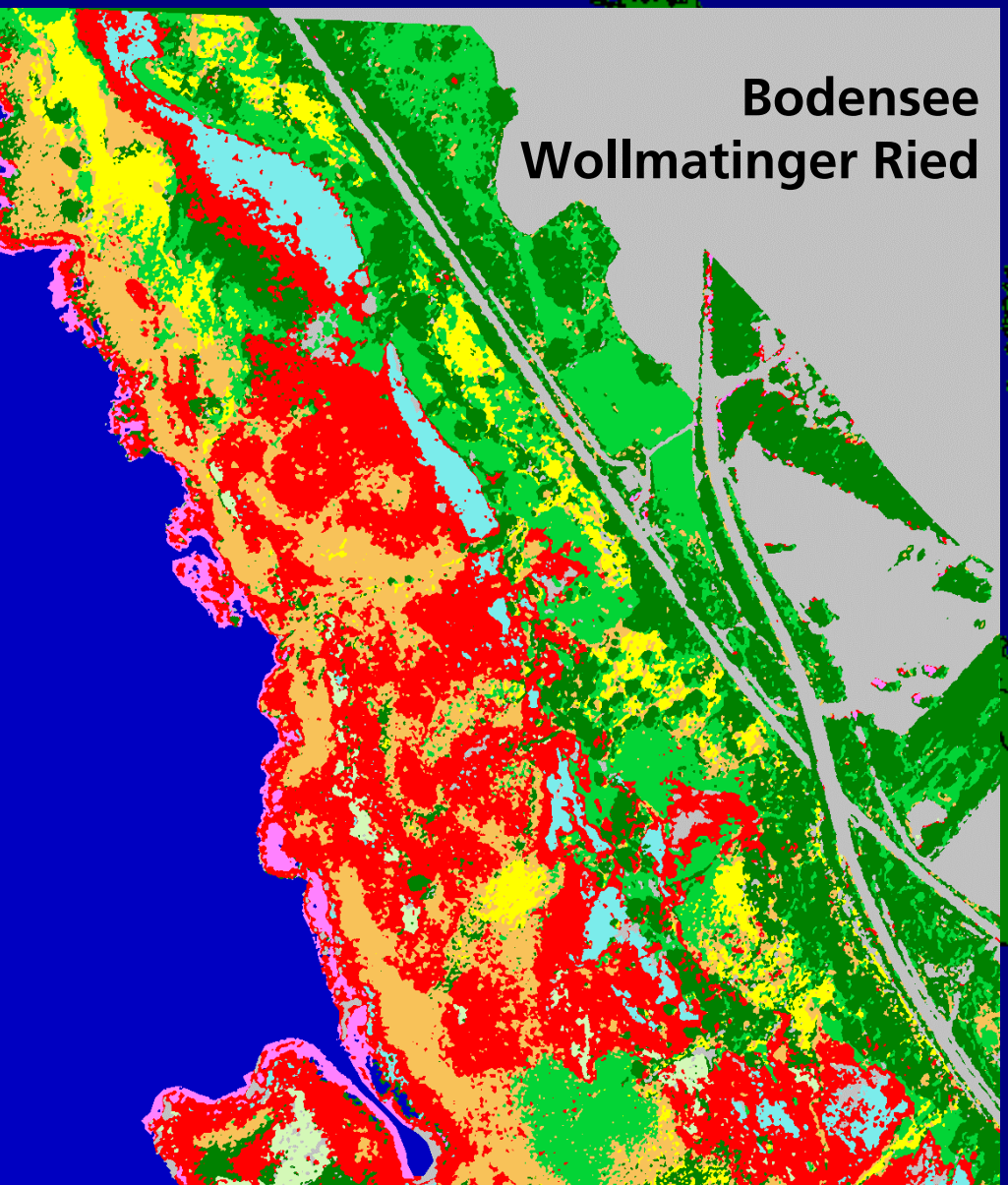
Seen-FE in Deutschland

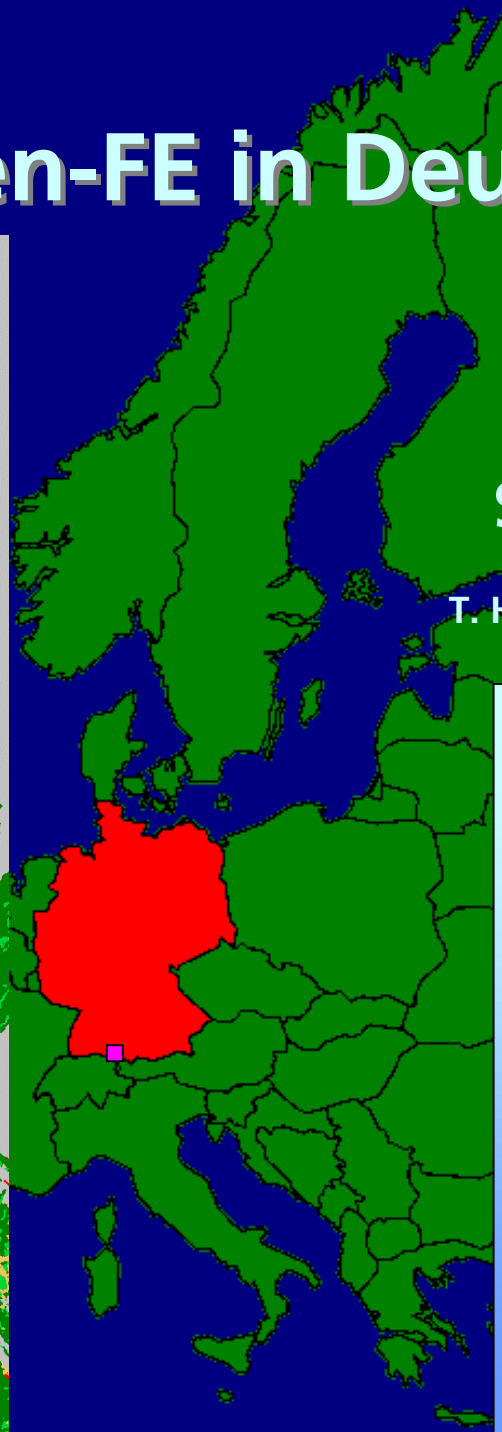


Submerse Makrophyten
Sensor: Daedalus

T. Heege, DLR Oberpfafenhofen

Seen-FE in Deutschland





Schilf
Sensor: Daedalus

T. Heege, DLR Oberpfafenhofen

Schilf:

- Schadkl. 0
- Schadkl. 1-2
- Schadkl. 3-4
- Schadkl. 5

- Quellgebiet
- Gras
- Wiese
- Bäume
- Wasser
- Sonstiges

Überblick

- Bedeutung von Seen
- Potential der Fernerkundung
- Status quo der Seenfernerkundung in Europa
- **Ausblick**

Forschungsbedarf

Status quo	Ziel
FE-Daten werden bisher fast nur mit empirischen Algorithmen ausgewertet	Analytische Algorithmen einsetzen
Variabilität der optischen Eigenschaften der Inhaltsstoffe europäischer Seen unbekannt	Europäische Datenbank optischer Eigenschaften
Korrektur der Atmosphäre über Seen nicht operationell	Operationelle Verfahren für die wichtigsten Sensoren
Korrektur von Spiegelungen an der Wasseroberfläche nicht operationell	Operationelle Verfahren für die wichtigsten Sensoren
Verfahren zur Analyse von Wasser sind länderspezifisch	Vergleich der Methoden
Meßprogramme erfassen selten alle FE-relevanten Größen	Europaweit gültiges Meßprotokoll für Validation von FE-Daten

DANKE

Andreas Albert, DLR
Kerstin Ebert, DLR
Clivia Häse, DLR
Thomas Heege, DLR
Sampsa Koponen, TU Helsinki
Tiit Kutser, Univ. Uppsala
Timo Pyhälahti, SYKE
Natalie Stahl, LfW
Sabine Thiemann, DLR
Max Tilzer, Univ. Konstanz