

Satellitengestütztes Interpretations- und Bewertungs- Instrument für das Küstenmonitoring des Landes Mecklenburg-Vorpommern

**H. Siegel, T. Seifert , G. Schernewski
M. Gerth, T. Ohde, V. Podsetchine, J. Reißmann, I. Tejakusuma**

Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Inhalt

0. Einführung

1. Datenbasis und Methoden

2. Dynamische Muster in der westlichen Ostsee

2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST- Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

2.1.1 [N-Wind](#)

2.1.5 [S-Wind](#)

2.1.2 [NE-Wind](#)

2.1.6 [SW-Wind](#)

2.1.3 [E-Wind](#)

2.1.7 [W-Wind](#)

2.1.4 [SE-Wind](#)

2.1.8 [NW-Wind](#)

2.2 Typische Muster bei Windrichtungsänderungen (Hauptwindrichtungen) anhand von SST Verteilung, Modellsimulation der Strömung und des Partikeltransports

2.2.1 [Ost-Nord-West](#) (ENW)

2.2.2 [Ost-Süd-West](#) (ESW)

2.2.3 [West-Nord-Ost](#) (WNE)

2.2.4 [West-Süd-Ost](#) (WSE)

3. Dynamische Muster im Oderhaff

3.1 Typische Strömungsmuster für die Hauptwindrichtungen

3.2 Partikeltransport für die Hauptwindrichtungen in verschiedenen Zeitschritten

Ziel und Inhalt

SIBIK ist ein Satellitengestütztes Interpretations- und Bewertungs-Instrument für das Küstenmonitoring des Landes Mecklenburg-Vorpommern, das zur Unterstützung der Interpretation und Bewertung der gewonnenen Monitoringdaten sowie in der Folge zur Optimierung der Programme, Strategien und Methoden des Monitorings beitragen soll.

SIBIK stellt einen Katalog dar, der Satellitendaten, Modellsimulationen und textliche Interpretationen der dynamischen Strukturen durch bestimmte Windanregungen und deren Änderung systematisiert. Im wissenschaftlichen Abschlußbericht sind die Untersuchung und Ergebnisse in detaillierter Form dargestellt.

Im ersten Teil (2.1) werden die typischen dynamischen Muster für die Hauptwindrichtungen anhand von Satellitendaten der Wasseroberflächentemperatur, von Modellexperimenten und naturnahen Simulationen in Form von Temperatur und Strömung dargestellt. Räumlich hoch aufgelöste Satellitendaten sind für die Diskussion von Besonderheiten in einzelnen Küstenabschnitten einbezogen.


Im zweiten Teil (2.2) werden die dynamischen Muster und Prozesse systematisiert, die bei Windrichtungsänderungen auftreten. Grundlage dafür sind die aus Winddaten der Jahre 1980-2001 statistisch abgeleiteten Hauptwindrichtungen Ost (E) und West (W). Es werden die Reaktionen in Temperatur und Strömung für alle möglichen Übergänge von und nach den beiden Hauptwindrichtungen betrachtet:

E->N->W, E->S->W, W->N->E, W->S->E.

In die Modellexperimente wurden zusätzlich Drifterquellen (7 landnahe und 3 in der offenen See) einbezogen und der Teilchentransport im Detail beschrieben.

Die Simulationen im Oderhaff (3.) wurden mit dem Model FEMFLOW vertikal integriert für die Hauptwindrichtungen durchgeführt, wovon Strömung und Partikeltransport dargestellt sind.

Nutzungshinweise für die Handhabung des Kataloges

- Windrichtungsverlauf im Untersuchungszeitraum ermitteln
- Aktueller Wind der MARNET Stationen der Ostsee (einschließlich IOW) ist verfügbar auf der BSH Webseite
- http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/MARNET-Messnetz_Ostsee_gross.jsp
- Vom Inhaltsverzeichnis aus wird man über den entsprechenden Gliederungspunkt direkt zu den gewünschten Abschnitten geführt.
- Die Betrachtungen für eine jeweilige Windrichtung enthalten Abbildungen zu den aus Satellitendaten erstellten SST-Mustern, Auszüge aus Modellsimulationen und eine Beschreibung der markantesten Merkmale, die an den Küstenabschnitten von MV auftreten können.
- Die dargestellten Modellergebnisse zur Veranschaulichung der Strömungsmuster und Driftertransporte bei Windrichtungsänderungen sind unterlegt mit Videovorführungen, die auf der jeweiligen Seite mit Mausclick auf die Schaltfläche  gestartet werden können. Dabei wird der Windows Media Player gestartet.
- Anhand der SST, der Strömung und der Drifterexperimente sind die Einflussbereiche der verschiedenen Stationen abzuleiten
- *Eine Übersicht über alle verfügbaren Videos mit Link zum Abspielen (wahlweise Windows Media Player oder Internet Explorer) finden Sie [hier](#).*

1. Datenbasis und Methoden



1. Datenbasis und Methoden

Datenquellen

NOAA- AVHRR Sea Surface Temperature 1990-2002

SeaWiFS- ausgewählte Daten 1998-2002

Landsat 7 TM

IRS- 1C WiFS, Liss-III,

LUNG in situ Daten

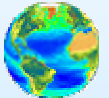
Winddaten Arkona 1980-1992, 1992-2000

Winddaten Darßer Schwelle

Durchflußregistrierungen IOW

Modellsimulationen westliche Ostsee (MOM-3)

Modellsimulationen Oderhaff (FEMFLOW)



Satellitensensoren und ableitbare Größen

Satellitendaten gestatten die synoptische Erfassung des Untersuchungsgebietes. Entsprechend ihrer Spektralkanäle liefern sie Informationen über die Temperatur, optisch wirksame Wasserinhaltsstoffe und die Trübung. Die Wiederholrate der Erfassung eines bestimmten Gebietes der verwendeten Sensoren variiert zwischen Stunden und 21 Tagen.

Der Hauptanteil der im Projekt verwendeten Satellitenszenen resultiert aus Daten des AVHRR Sensors der amerikanischen Wettersatelliten der NOAA-Serie, aus denen die Wasseroberflächentemperatur mit der höchsten zeitlichen Auflösung bestimmt werden kann. Im Zeitraum von 1996 -2001 standen pro Tag 5-7 Szenen zur Verfügung, deren auswertbarer Anteil sich durch Wolkenbedeckung erheblich reduzierte. Um die Oberflächentemperaturmuster sehr gut sichtbar zu machen, besitzen die Satellitenszenen keinen einheitlichen Farbkeil. Für jede Szene wurde Temperaturminimum und -maximum der Wasserpixel bestimmt und diesem Bereich ein Farbkeil zugeordnet (rot-wärmeres Wasser, blau-kälteres Wasser). Serien von Satellitenszenen sind zur vergleichenden Betrachtung mit einem einheitlichen Farbkeil versehen. Zur Darstellung relativ seltener Ereignisse mit hoher Qualität wurde auch auf Daten vor 1996 zurückgegriffen. Die im Katalog dargestellten Verteilungen der Chlorophyllkonzentration sind mit dem Sensor SeaWiFS auf dem Satelliten SeaStar aufgenommen.

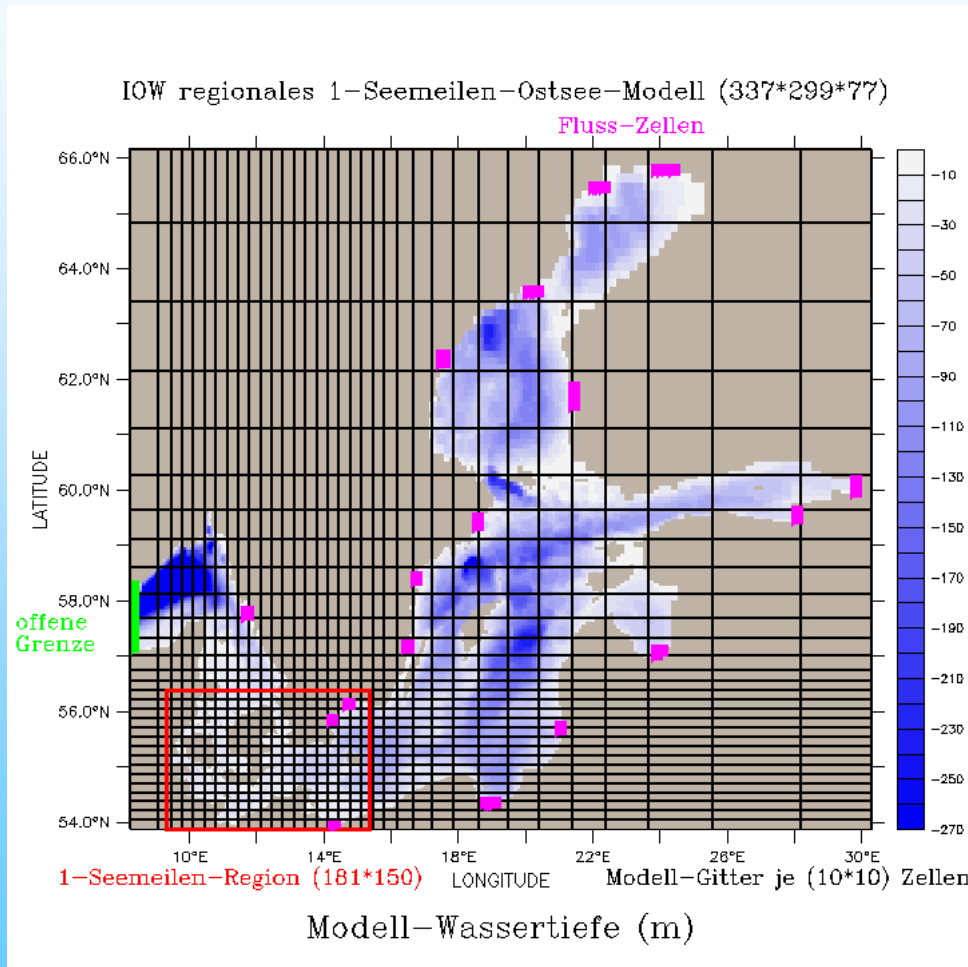
Die räumlich sehr hochaufgelösten Bilder der Küstenabschnitte lieferten die TM und ETM Sensoren auf den Satelliten Landsat 5 und 7 sowie WIFS und LISS-III der indischen Satelliten IRS-IC und P3. Sie gestatten die Ableitung relativer Temperaturen und Trübungswerte, die teilweise für die Bestimmung der Schwebstoffkonzentration genutzt worden sind.

Satellitensensoren und ihre Charakteristik

Sensor	Schwad [km]	Räuml. Aufl. [km]	Einsatzzeit	Parameter
NOAA-AVHRR	2240	1.100	1976–	SST/Turb.
SeaWiFS	2800	1.100	1997–	Chl/SPM/Yel
Landsat-5-TM	185	0.030	1984-1999	SPM/SST
Landsat-7-ETM	185	0.030	1999–2002	SPM/SST
IRS-P3-WIFS	810	0.188	1996–	Turb./SPM
IRS-1C-WIFS	810	0.188	1995–	Turb./SPM
IRS-1C-LISS-3	142	0.023	1995–	Chl/SPM

1. Datenbasis und Methoden

Modellsimulationen in der westlichen Ostsee mit dem Modulare Ozean Modell (MOM-3)



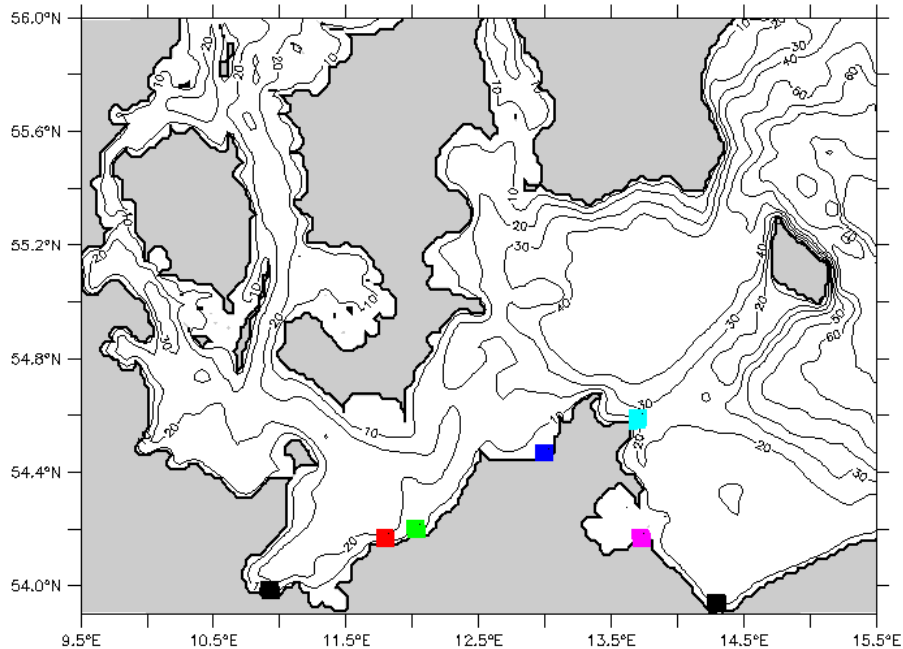
Modellkonfiguration

- Basiscode MOM-3
- 3-dim. Gitter (z-Koordinaten)
 - horizontal ca. 2 - 16 km Auflösung
 - vertikal 77 Schichten von 1.5 - 5 m
- freie Oberfläche und Frischwassereinträge
- Vermischung
 - horizontal nach Smagorinsky
 - vertikal kpp-Schema nach Large u.a.

Antriebsdaten

- Wetterdaten aus ERA40 Re-Analyse
- 15 Modell-Flüsse (Bergström, Carlsson)
- offener Rand
 - T,S klimatologisch
 - Wasserstand vom Pegel Kungsvik

Startverteilung der Drifter von 7 Küstenpositionen

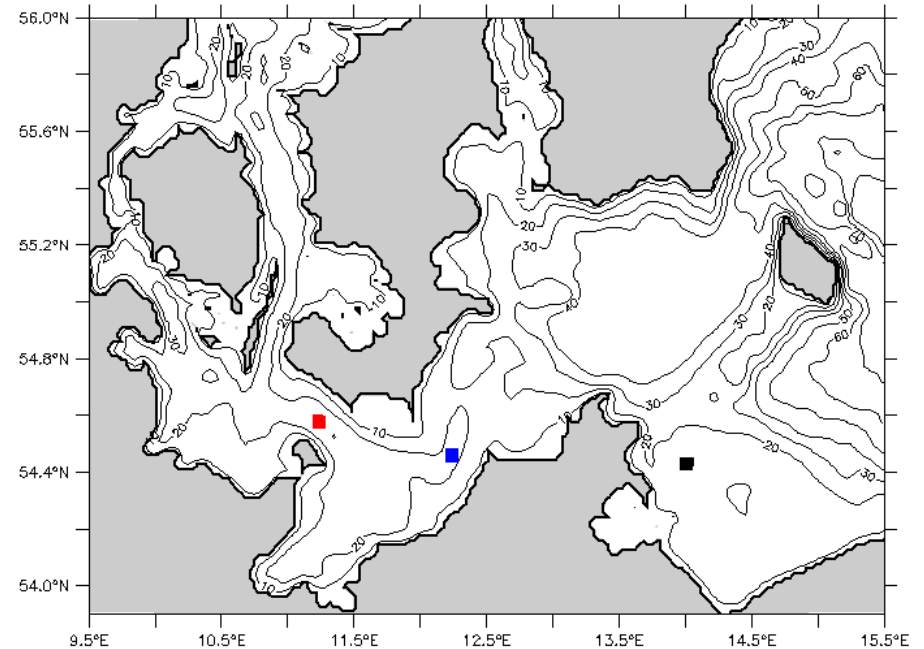


Für die Simulation des Transportes von Wasserteilchen wurden als Startverteilung 7 Küstenpositionen und 3 Positionen in der offenen westlichen Ostsee gewählt, die in den nebenstehenden Abb. dargestellt sind.

Modellsimulationen mit MOM-3

Teilchenquellen in wichtigen Küstenabschnitten und in offenen Bereichen der westlichen Ostsee

Startverteilung der Drifter von 3 Positionen in der offenen See



Modellsimulationen mit MOM-3

Modellprodukte

Karten der Wasseroberflächentemperatur und der Strömung für die Hauptwindrichtungen aus realitätsnahen Simulationen (Mai-Dezember 1999) und aus Modellexperimenten mit idealisierten Windlagen

Karten der Wasseroberflächentemperatur und der Strömung aus Modellexperimenten für verschiedene Phasen bei Windrichtungsänderungen

Videos der Wasseroberflächentemperatur und der Strömung aus Modellexperimenten für verschiedene Windrichtungsänderungen

Karten der Drifterverteilung aus Modellexperimenten mit küstennahen Quellen für verschiedene Phasen bei Windrichtungsänderungen

Videos des Driftertransports aus Modellexperimenten mit küstennahen Quellen für verschiedene Windrichtungsänderungen

Karten der Drifterverteilung aus Modellexperimenten mit küstenfernen Quellen für verschiedene Phasen bei Windrichtungsänderungen

Videos des Driftertransports aus Modellexperimenten mit küstenfernen Quellen für verschiedene Windrichtungsänderungen

Modellsimulationen im Oderhaff mit dem 2 Dimensional Finite Element Model of Flow (FEMFLOW2D)

Modellkonfiguration

Das Modell basiert auf 2-dimensionalen, tiefengemittelten Bewegungs- und Kontinuitätsgleichungen bekannt als “Flachwassergleichungen”

Das Modell ist nutzbar unter PC-DOS, PC-Windows, und VAX VMS

PC-Windows Version beinhaltet ein graphisches Nutzer Interface Modul, ein Interpolationsmodul für Wind und Oberflächenrauigkeit und einen Partikeltrackingblock

Modelleingabedaten

Bathymetrie

Trianguläres Gitter

Realistischer Wind mit Abschattungseffekten durch Küstenvegetation

Modellprodukte

Karten der Strömung für die 8 Hauptwindrichtungen

Karten des Partikeltransport für die dominierenden E- und W- Winde für verschiedene Zeitabschnitte

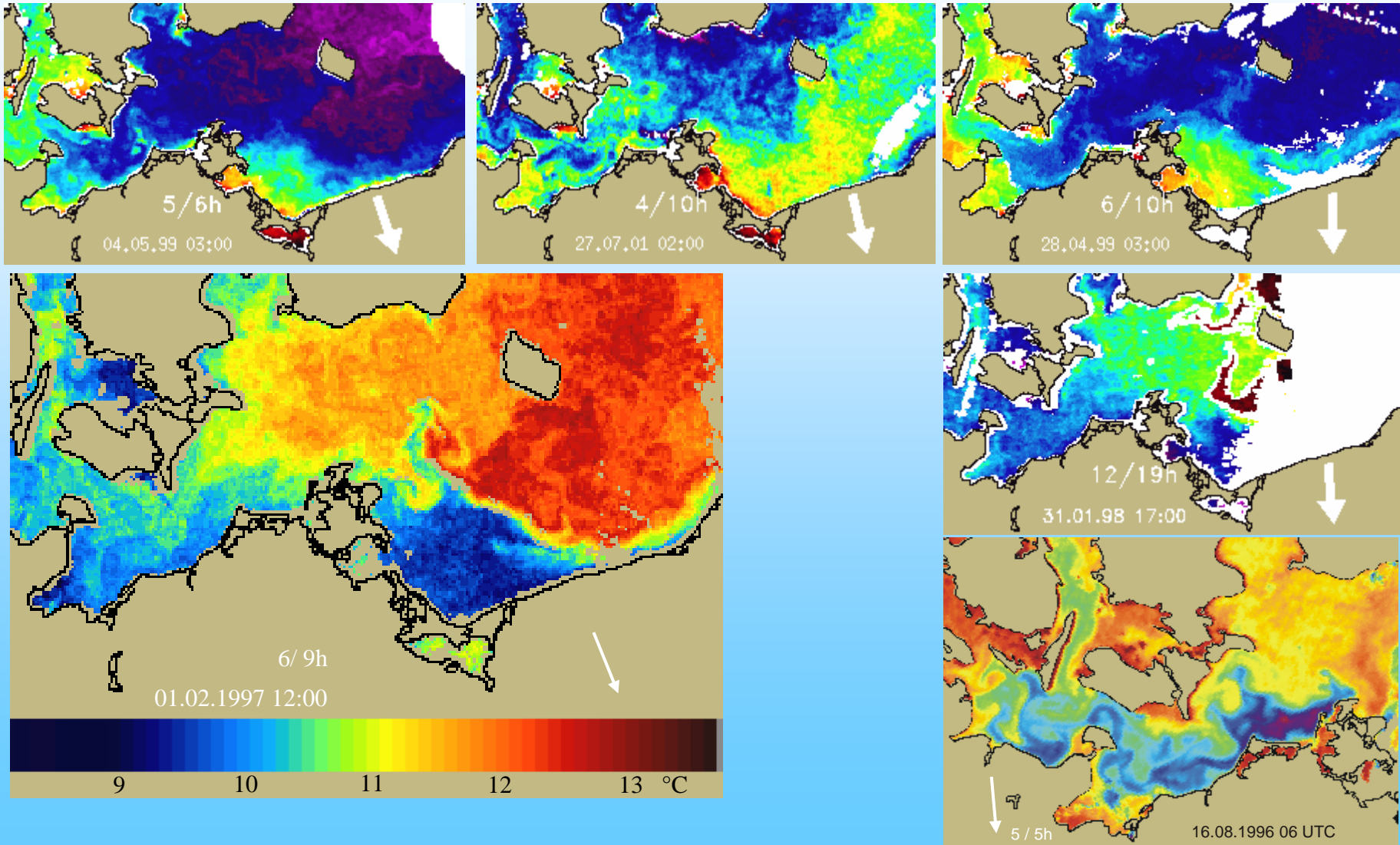
2. Dynamische Muster in der westlichen Ostsee



2. Dynamische Muster in der westlichen Ostsee

2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

2.1.1 N-Wind

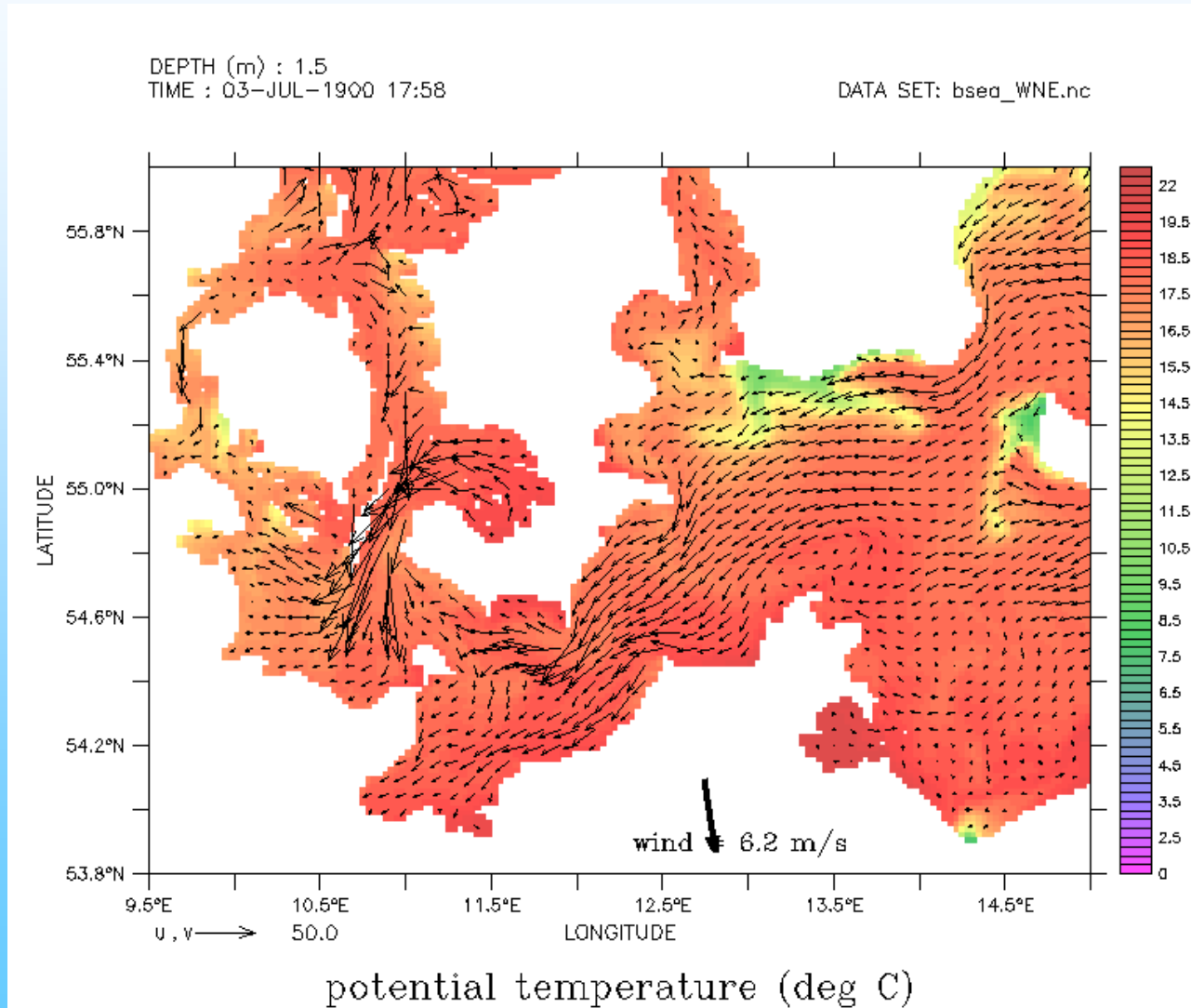


2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, **Modellsimulation** und Landsat TM Szenen



2.1.1 N-Wind

Modellexperiment

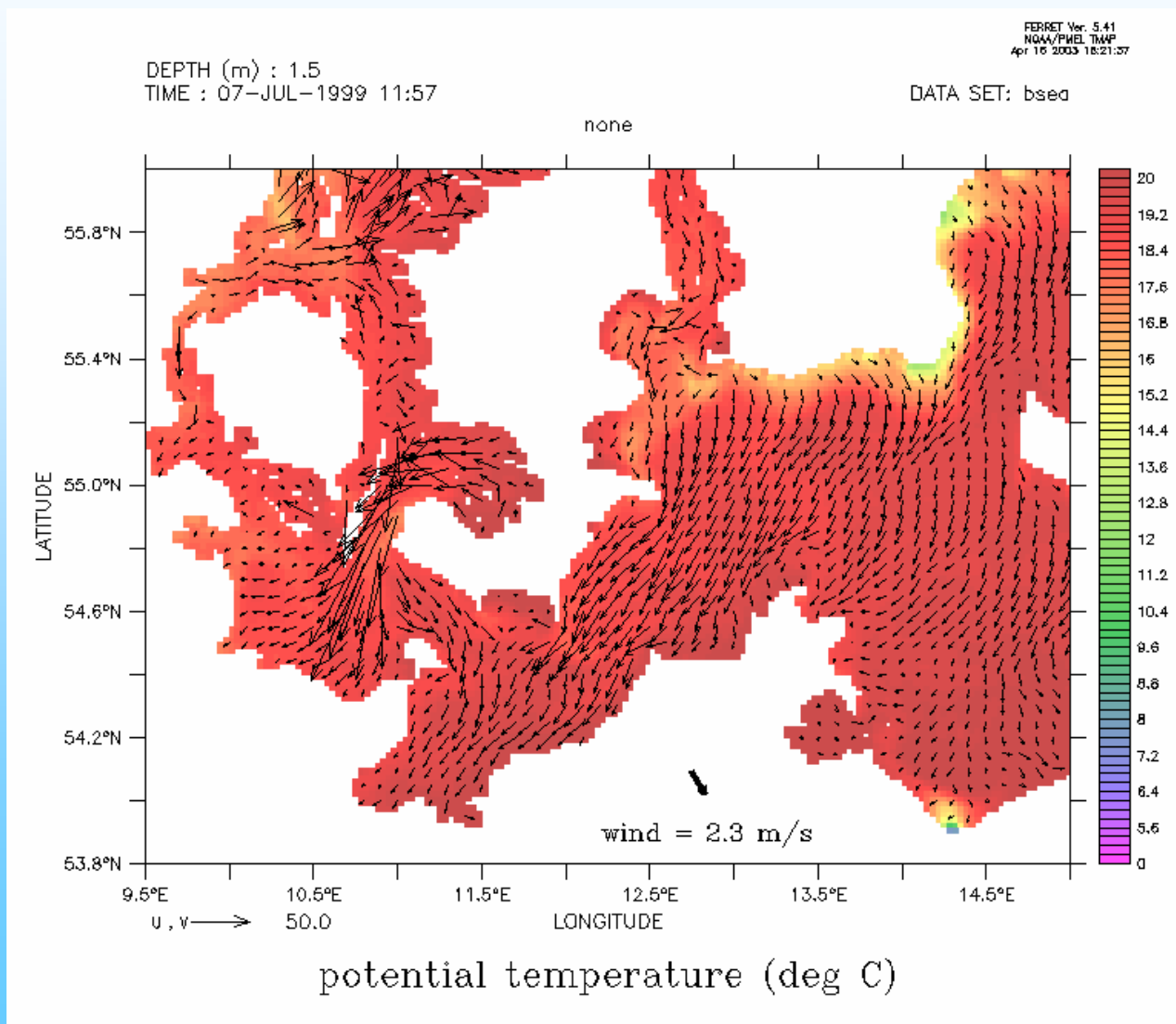


2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, **Modellsimulation** und Landsat TM Szenen

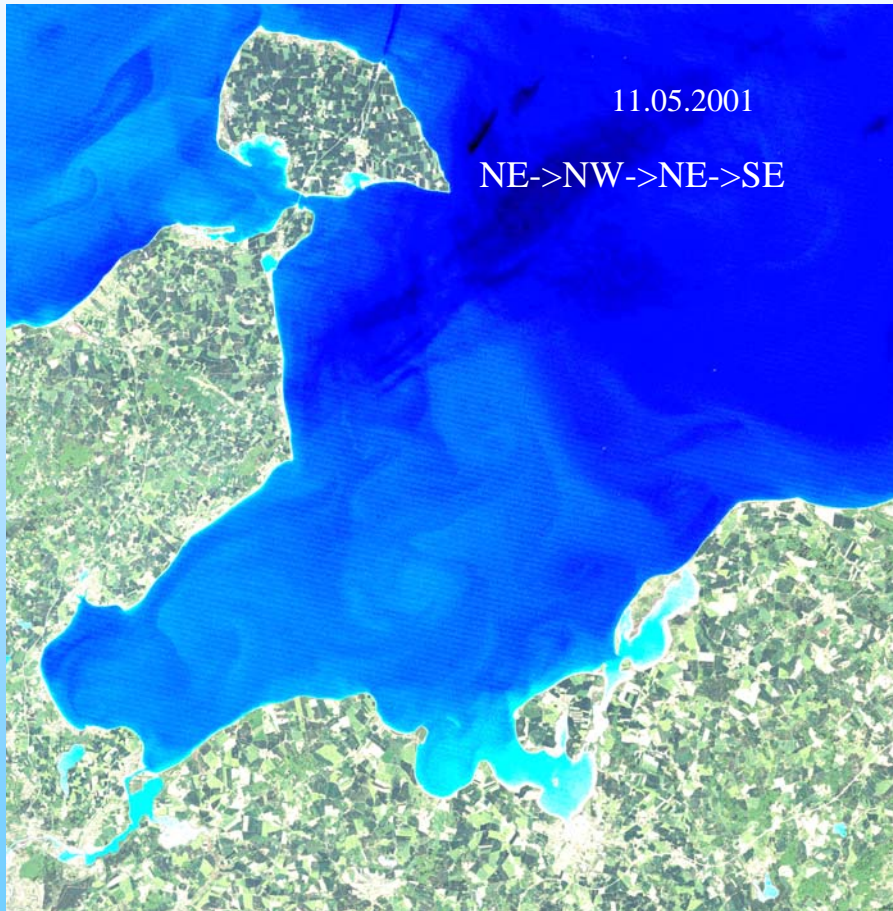


2.1.1 N-Wind

Simulation Juli 1999



2.1.1 N-Wind



Bei wechselnden Winden über Nord entstehen Wirbelstrukturen in der südlichen Mecklenburger und in der Lübecker Bucht

2.1.1 N-Wind

Beschreibung der Muster

Selten gute Satellitenbilder, hauptsächlich im Zusammenhang mit Westwindsituation und Drehung Ost über Nord nach West

Oberflächenwasser der Arkonasee wird in Richtung Mecklenburger Bucht und Pommernbucht transportiert

Greifswalder Boddenausstrom setzt in vielen Fällen nach Süden

Bei vorangegangener Ostwindphase (August 1996) wird Hiddensee auftrieb an die Küste gedrückt und Teile des Kaltwasserausstroms bis in die Mecklenburger Bucht transportiert

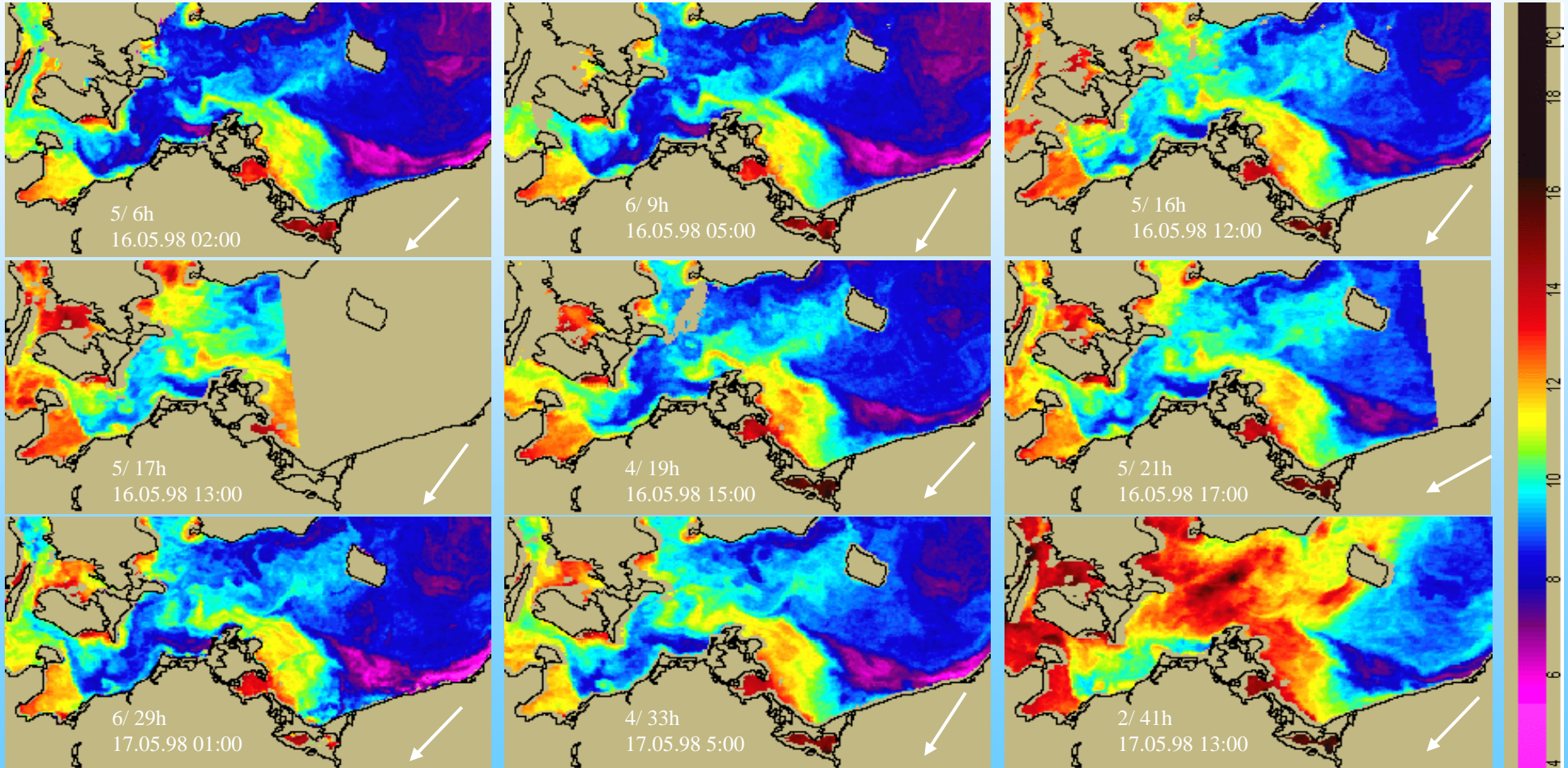
Stoppt oder reduziert den Oderausstrom

Bei nördlichen Winden wird Wasser aus der Mecklenburger Bucht in die Lübecker Bucht gedrückt, wechselnde Winde um Nord erzeugen Wirbel in beiden Gebieten

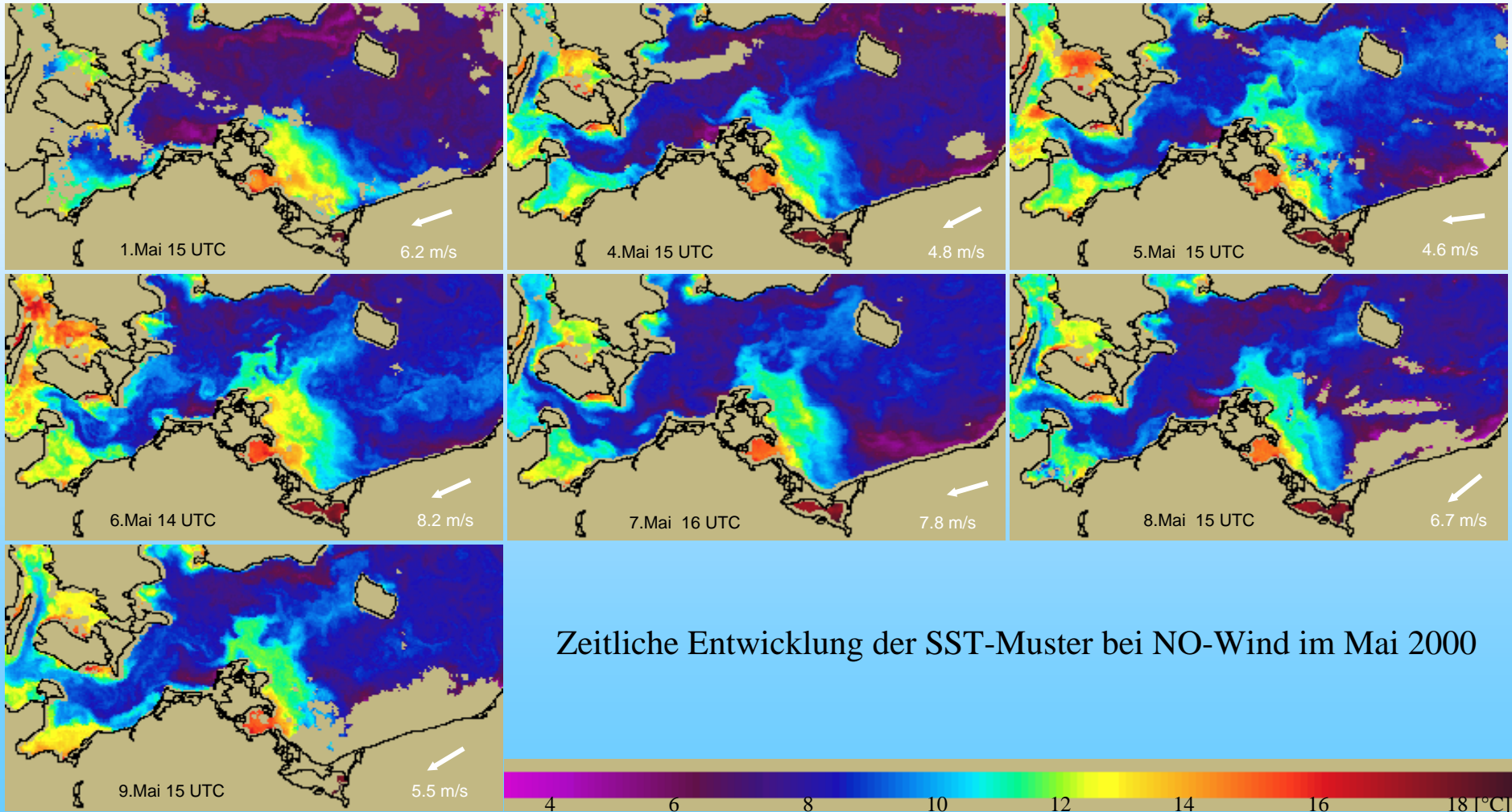
2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



2.1.2 NE-Wind im Mai 1998



2.1.2 NE-Wind

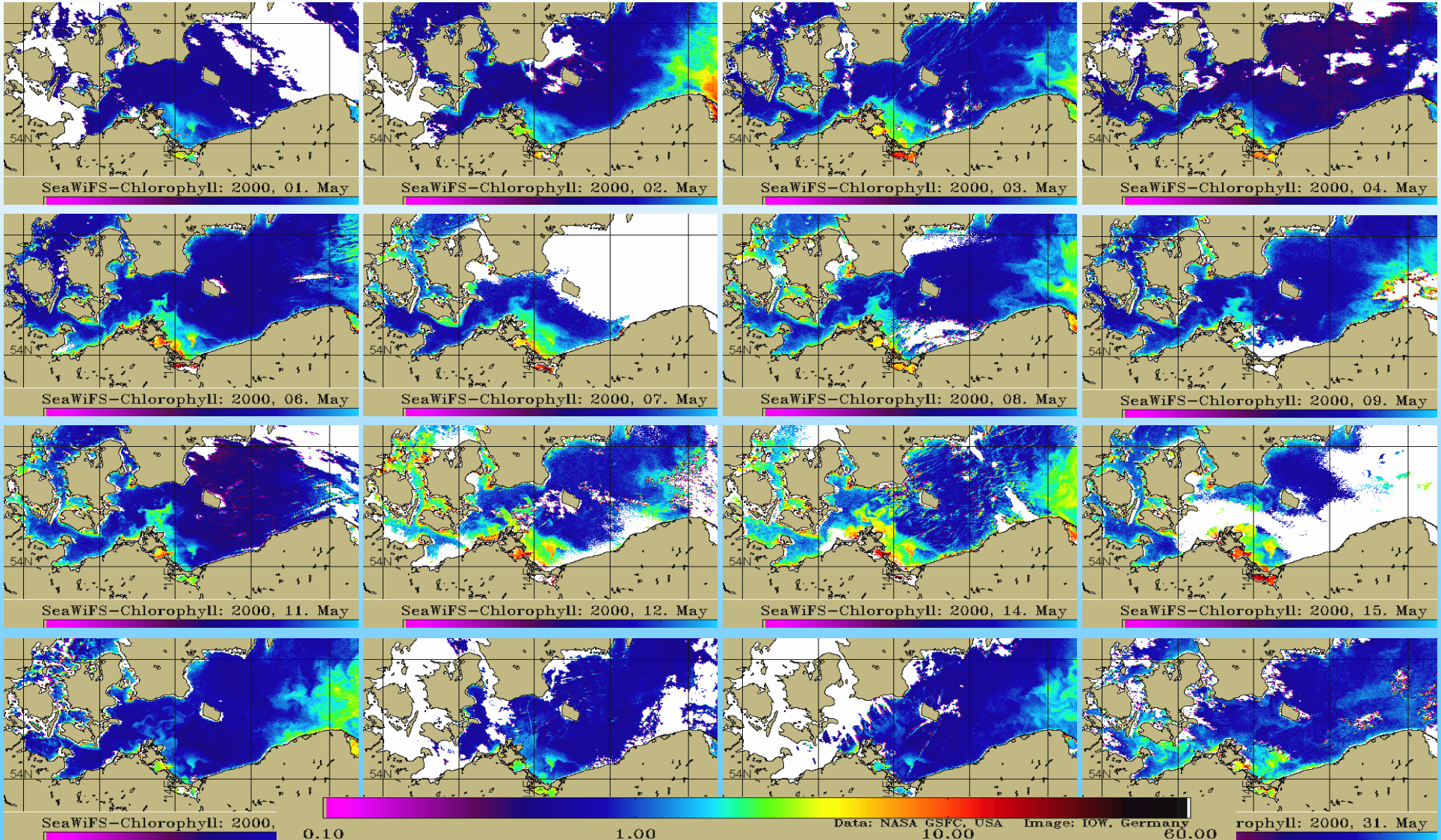


2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



2.1.2 NE-Wind

Chlorophyllverteilung SeaWifs Mai 2000

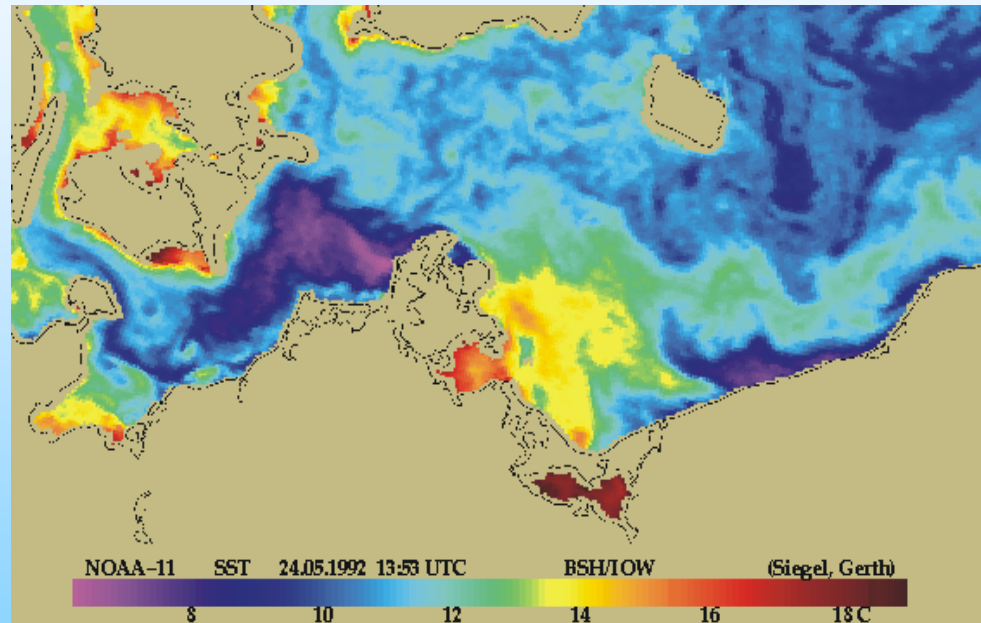


2.1.2 NE-Wind

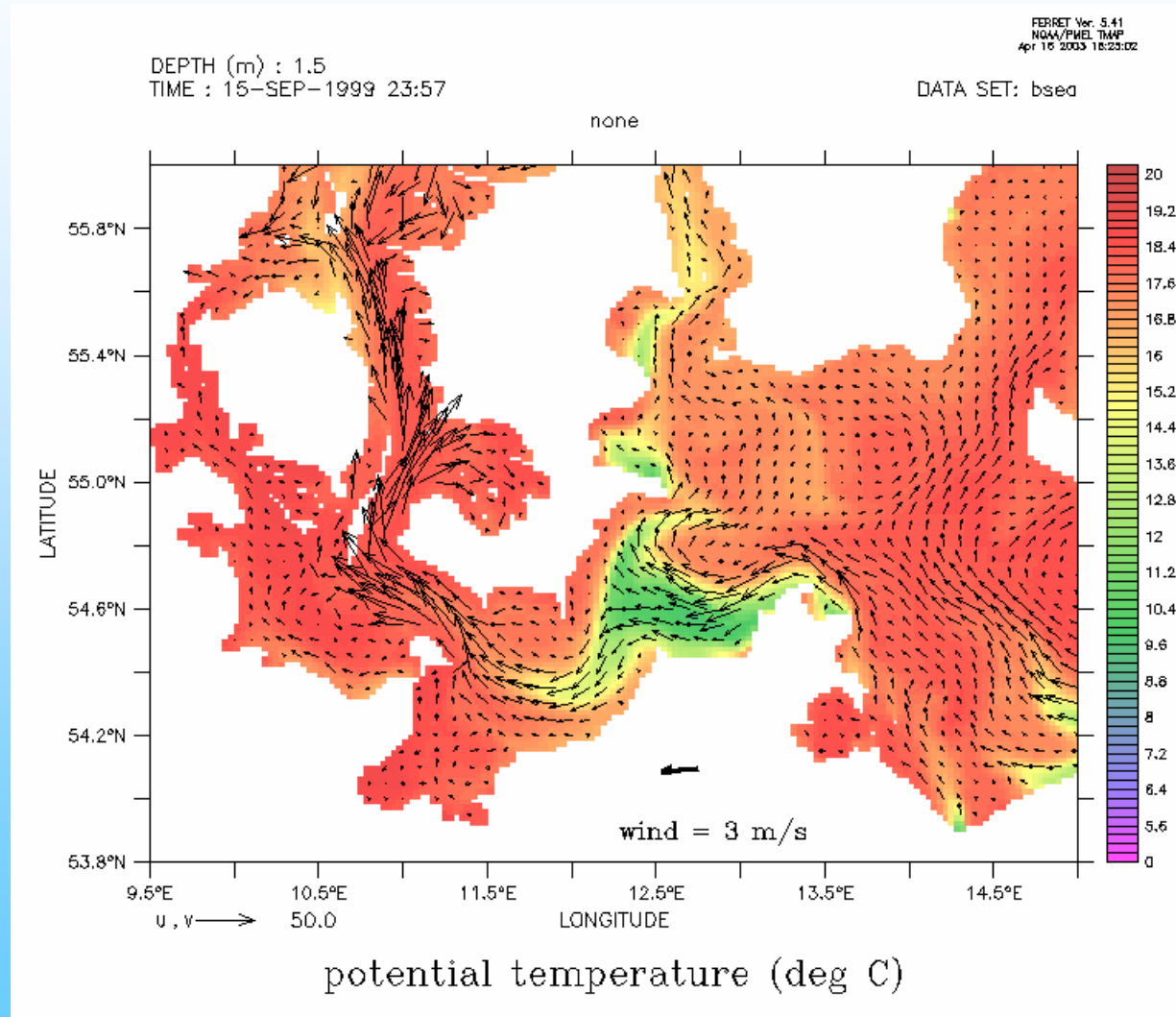
Beschreibung der Muster

- Entstehung einer Kaltwasserauftriebsfahne vor Hiddensee
- mäandrierender Ausstrom des Kaltwassers über den Fehmarnbelt aus der Ostsee
- Mecklenburger und Lübecker Bucht werden nicht beeinflusst vom Ausstromregime
- thermische Front in der Mecklenburger Bucht
- Pommernbuchtwasser wird einschließlich Oder- und Greifswalder Bodden Ausstrom an die Usedomküste gedrückt und bis nördlich Rügen transportiert
- Oderfahne wird teilweise vor der südlichen Usedomküste festgehalten
- kaltes Auftriebswasser, das an der polnischen Küste entsteht, dringt bis in die Pommernbucht vor
- Die SeaWiFS Daten zeigen, dass die höheren Chlorophyllkonzentrationen in der Pommernbucht bis in die Arkonasee transportiert werden können

2.1.3 E-Wind



2.1.3 E-Wind

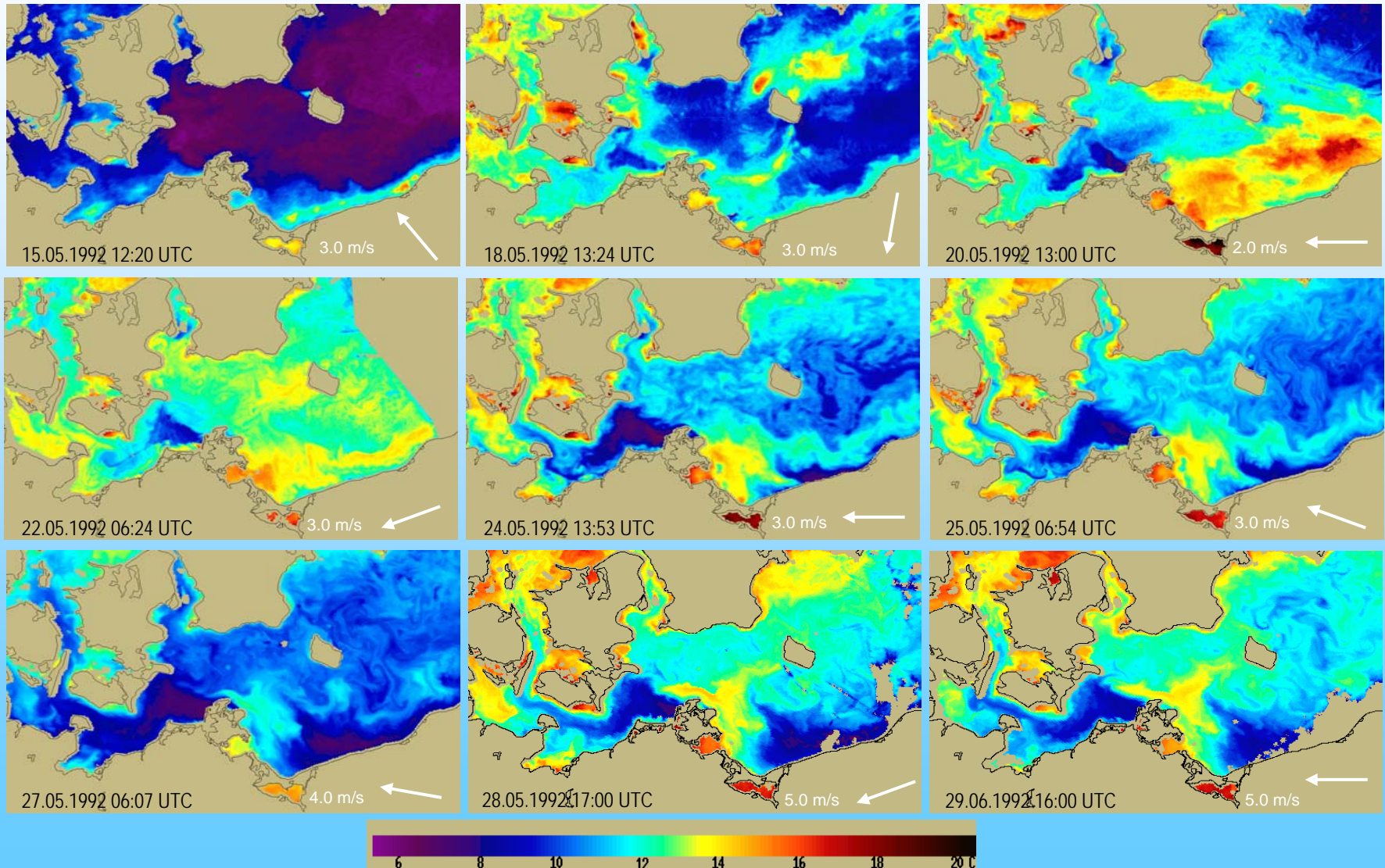


2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



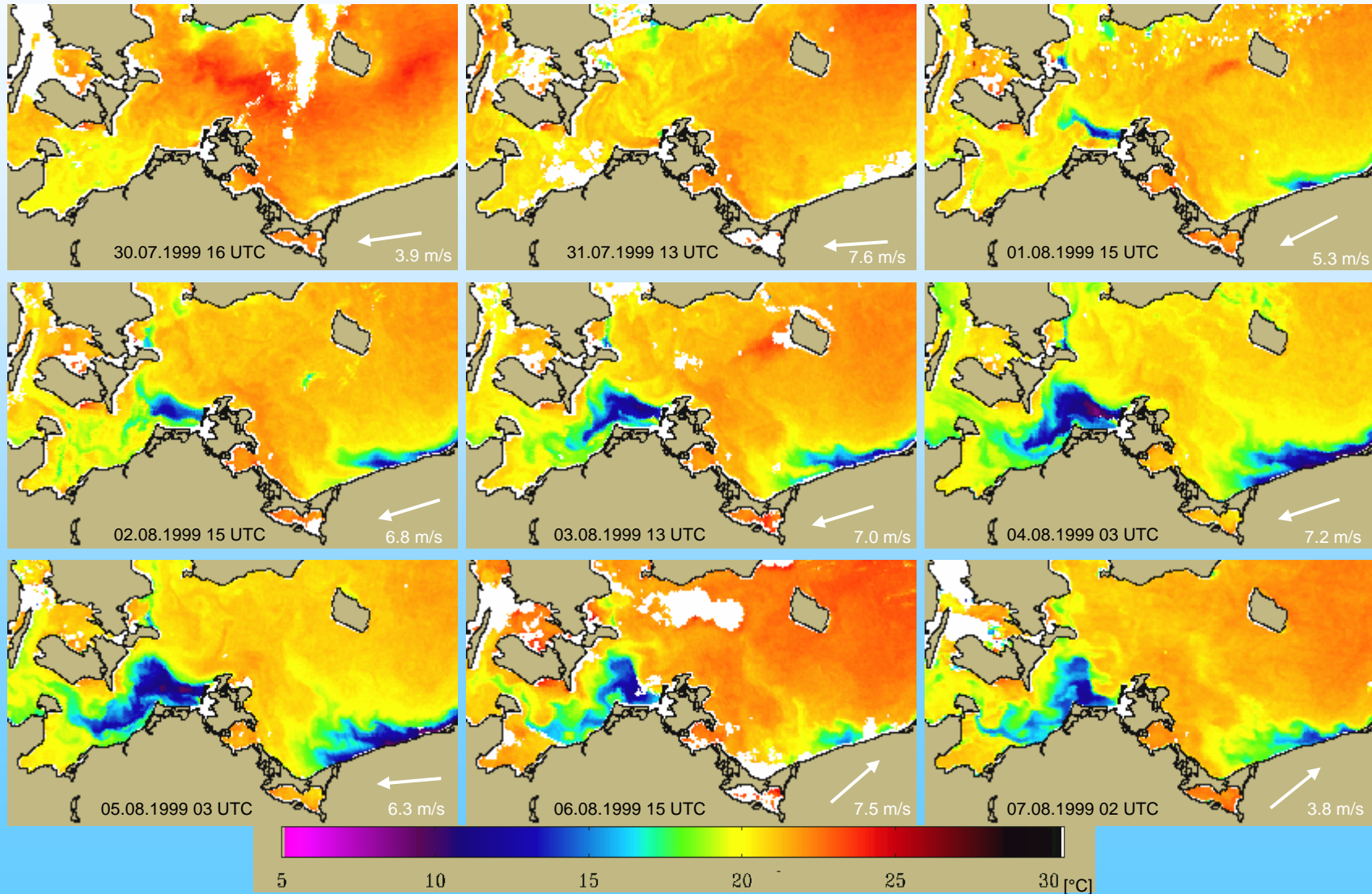
2.1.3 E-Wind

Mai 1992



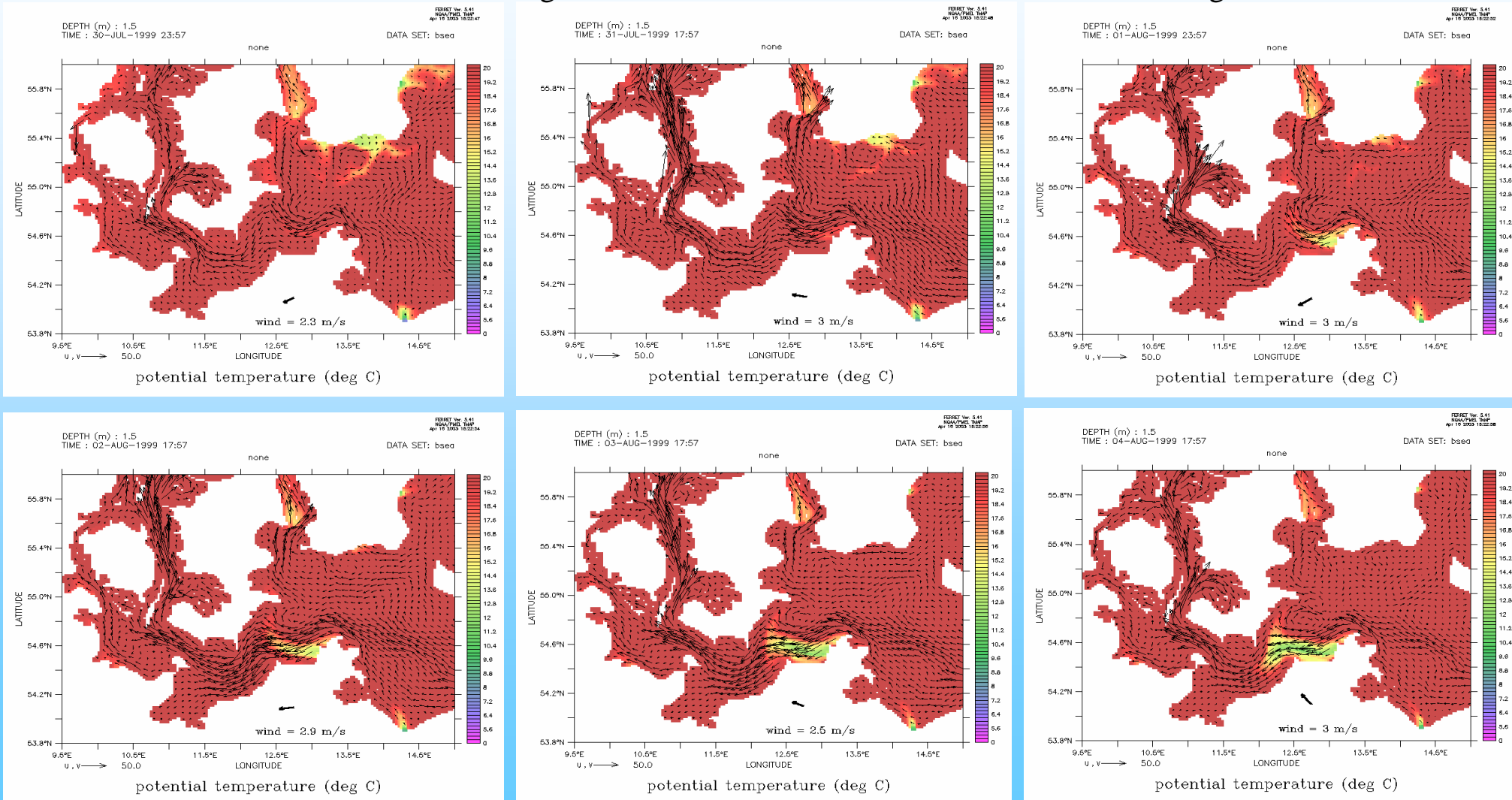
2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

2.1.3 E-Wind

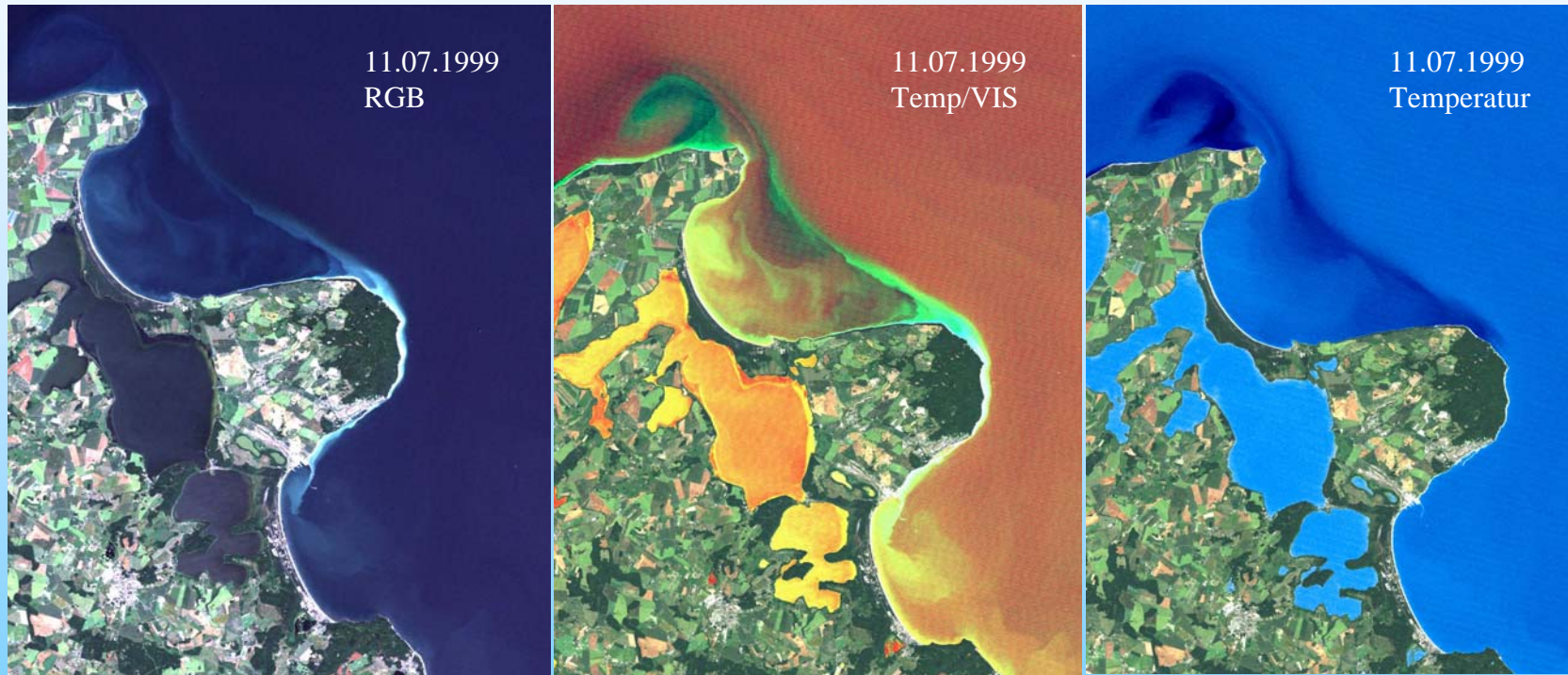


2.1.3 E-Wind

Modellierte Entwicklung des Auftriebsfilamentes vor Hiddensee im Juli/August 1999

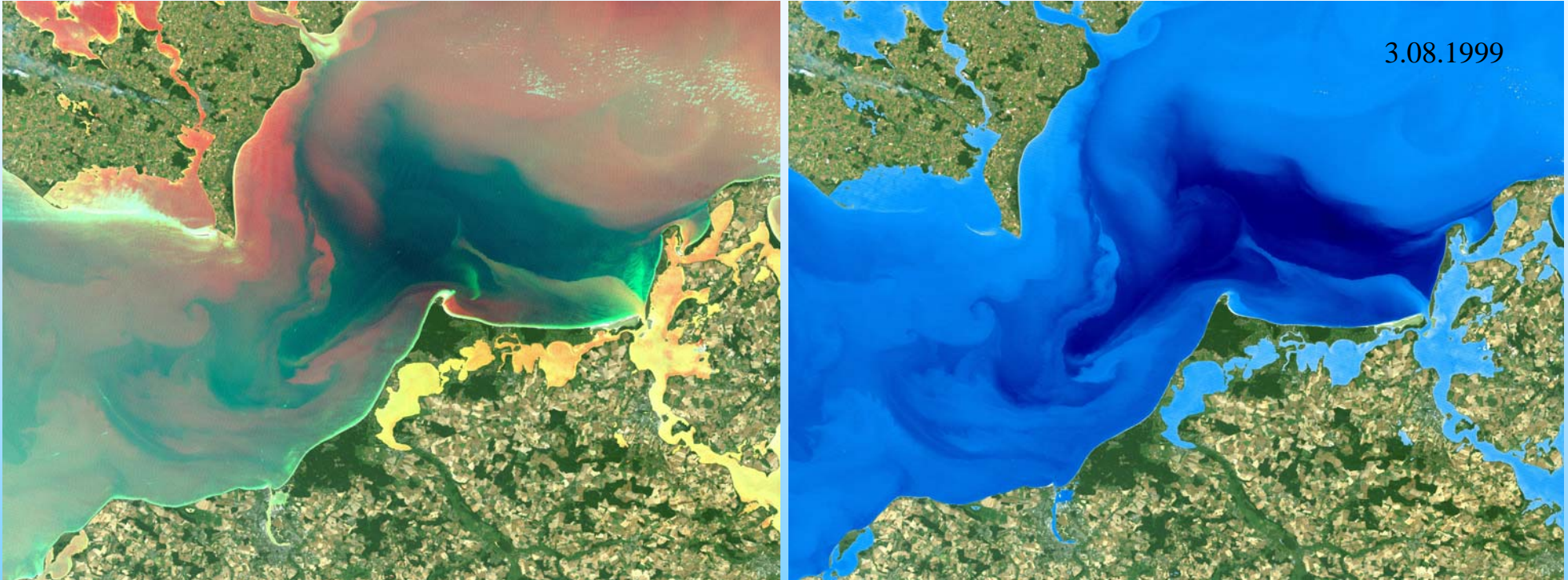


2.1.3 E-Wind



Erodiertes Kreidematerial von der Halbinsel Jasmund wird außerhalb der Tromper Wieck nach Norden und vorbei am Hafen Saßnitz nach Süden transportiert

2.1.3 E-Wind



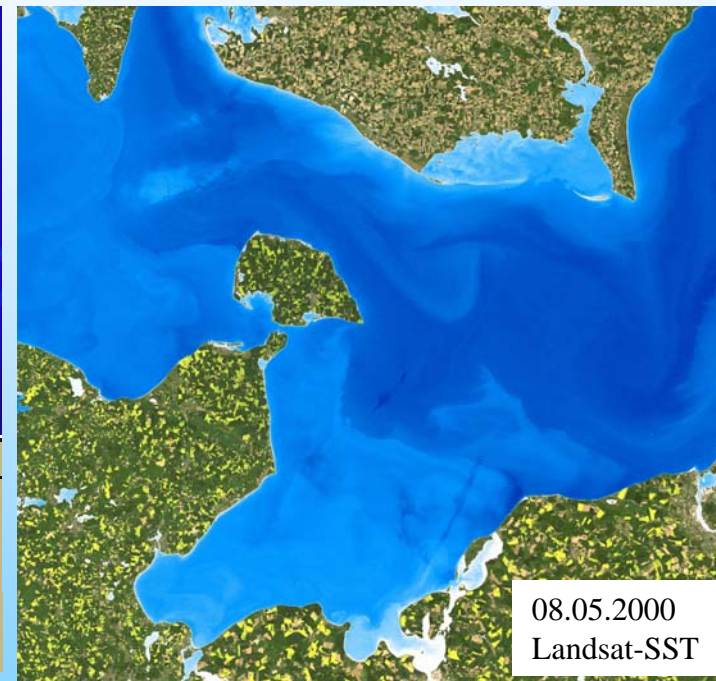
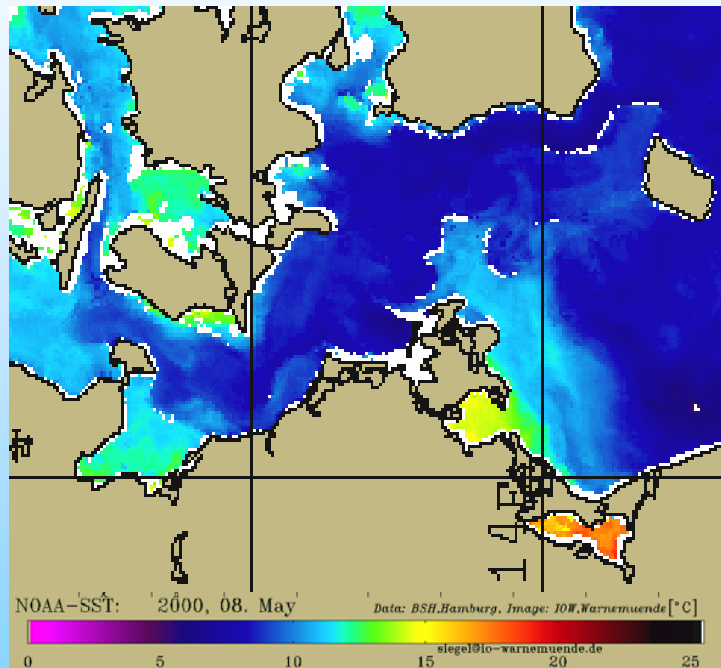
Bei lang anhaltenden Ostwinden wird durch den Strelasund zwischen Hiddensee und Darß Wasser aus dem Greifswalder Bodden gedrückt und in einem schalen Band nach Nordwesten transportiert.

2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und **Landsat TM Szenen**



2.1.3 E-Wind

Mecklenburger- und Lübecker Bucht



Ausstrom kalten Auftriebswassers erfasst nur den zentralen Teil der Mecklenburger Bucht, sodass südlicher Teil und Lübecker Bucht nicht beeinflusst sind.

Temperaturfront liegt zwischen Kühlungsborn und Fehmarn, Wismarbucht hebt sich in Temperatur von Lübecker Bucht ab.

2.1.3 E-Wind

Beschreibung der SST-Muster

- Entstehung einer Kaltwasserauftriebsfahne vor Hiddensee in den Sommermonaten
- Im Winter entsteht eine Warmwasserfahne, die aufgrund höherer Wolkenbedeckungsgrade aber sehr selten zu beobachten ist (21.10.1994)
- mäandrierender Ausstrom des Kaltwassers über den Fehmarn Belt aus der Ostsee
- Modellierung zeigt deutlich das Ausstromband, dass das kalte Wasser aus der Ostsee hinaus transportiert
- Auftriebswasser im Gebiet Hiddensee - Darß kann aus unterschiedlichen Gebieten sein, vor Hiddensee Zwischenwasser aus der Arkonasee oder vor dem Darß Tiefenwasser aus dem Bereich Darßer Schwelle.
- Mecklenburger und Lübecker Bucht werden nicht beeinflusst vom Ausstromregime
- thermische Front in der Mecklenburger Bucht
- Aus dem Strelasund wird Greifswalder Bodden Wasser herausgedrückt, das durch den Auftrieb vor Hiddensee an die Darß- Küste gedrückt wird.
- Warnow-Wasser fließt durch Ekman Transport und induzierten Auftrieb nach NW und erreicht nicht den Warnemünder Weststrand.

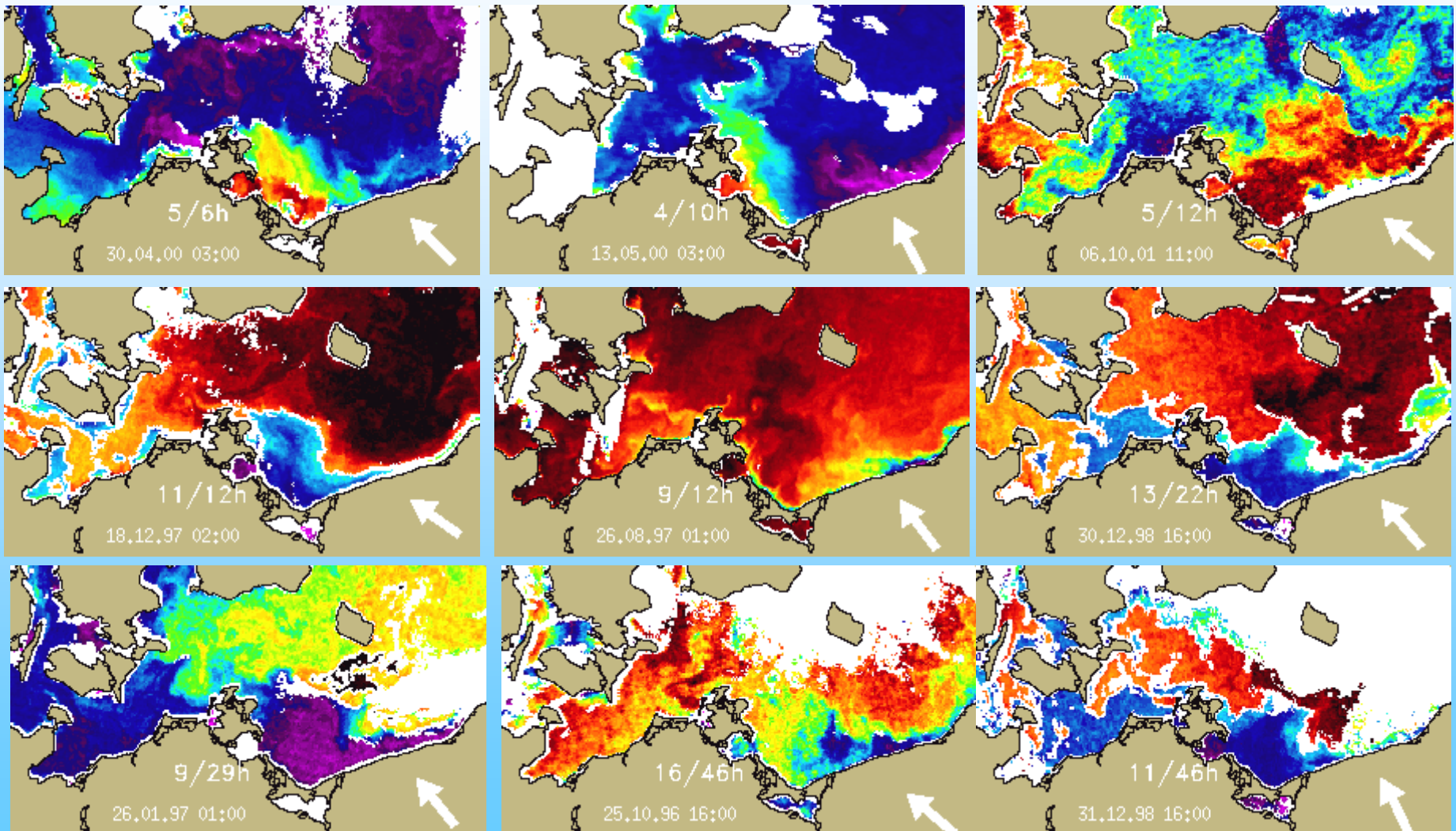
2.1.3 E-Wind

Beschreibung der SST-Muster

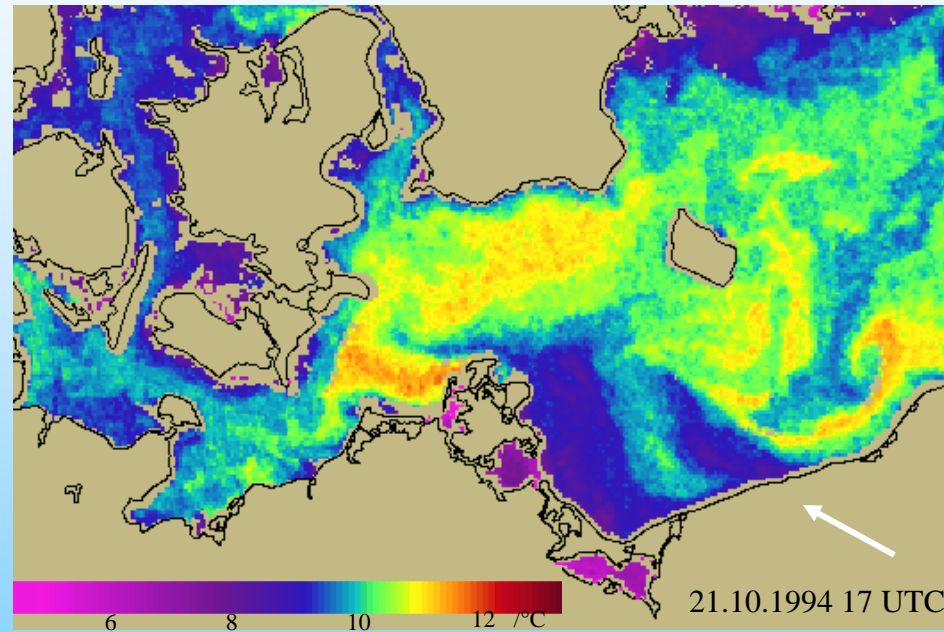
- Pommernbuchtwasser wird einschließlich Oder-und Greifswalder Bodden Ausstrom an die Usedomküste gedrückt und bis nördlich Rügen transportiert
- kaltes Auftriebswasser, das an der polnischen Küste entsteht, dringt bis in die Pommernbucht vor
- Der Ausstrom des Oderwassers durch die Swine erfolgt pulsierend durch Wasserstandsschwankungen
- Oderausstrom (Pommernbuchtwasser) fließt entlang der Küste von Usedom und Rügen und reicht teilweise bis in die zentrale Arkonasee.
- Der Wasserstand im Greifswalder Bodden ist durch den Ostwind stark angestiegen, wodurch die Peene nicht mehr in den Greifswalder Bodden, sondern nach Norden abfließt.
- Auftrieb an der Nordküste Greifswalder Oie und an der Südküste der Tromper Wiek.
- Erodirtes Material von der Halbinsel Jasmund wird außerhalb der Tromper Wieck durch Ekman Transport und dadurch induzierten Auftrieb nach Norden transportiert.
- Aus dem Strelasund wird Greifswalder Bodden Wasser herausgedrückt, das durch den Auftrieb vor Hiddensee an die Darß- Küste gedrückt wird.

2.1.4 SE-Wind

Beispiele von Oberflächenmustern der SST nach mehreren Tagen Süd-Ost-Wind



2.1.4 SE-Wind



2.1.4 SE-Wind

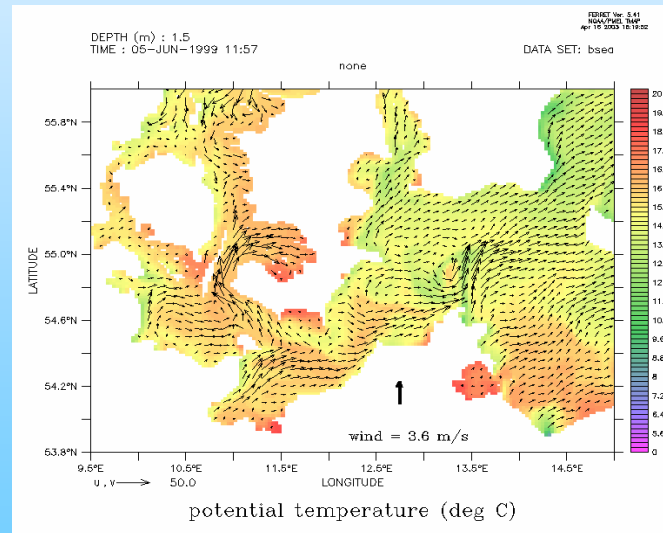
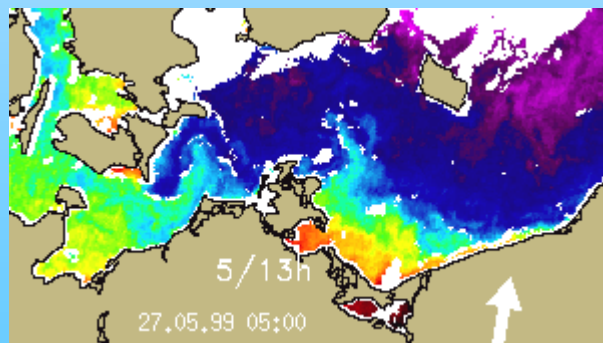
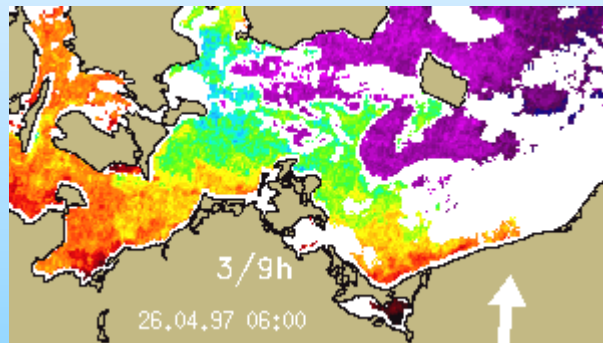
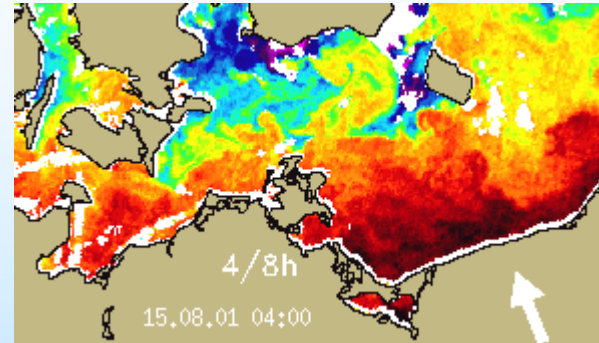
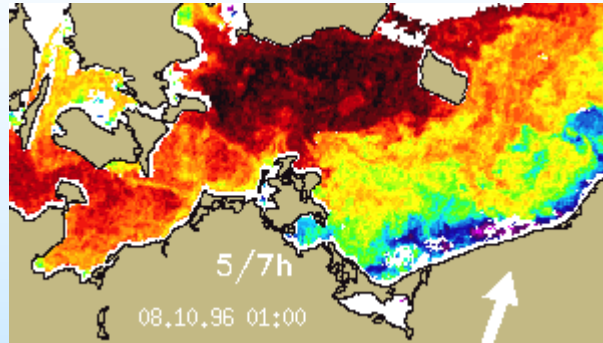
Beschreibung der Muster

- Forciert den Transport des Pommernbuchtwassers entlang der Ostküste Rügens bis hinein in das Arkona Becken
- fächert die in einer Ostwindphase entstandenen Auftriebszellen an der polnischen Küste in Richtung offene See auf
- bei vorangegangener Ostwindsituation wird die entstandene Auftriebsfahne vor Hiddensee in nordöstliche Richtung aufgespreizt und das kalte Wasser über die Schwelle transportiert
- Auftrieb an Usedomküste mit Kern bei Koserow möglich
- trägt das Wasser der Pommerbucht über die in den Wintermonaten durch Auskühlung der flachen Bucht gut erkennbare 20m– Isobathe in die Ostsee hinein.

2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



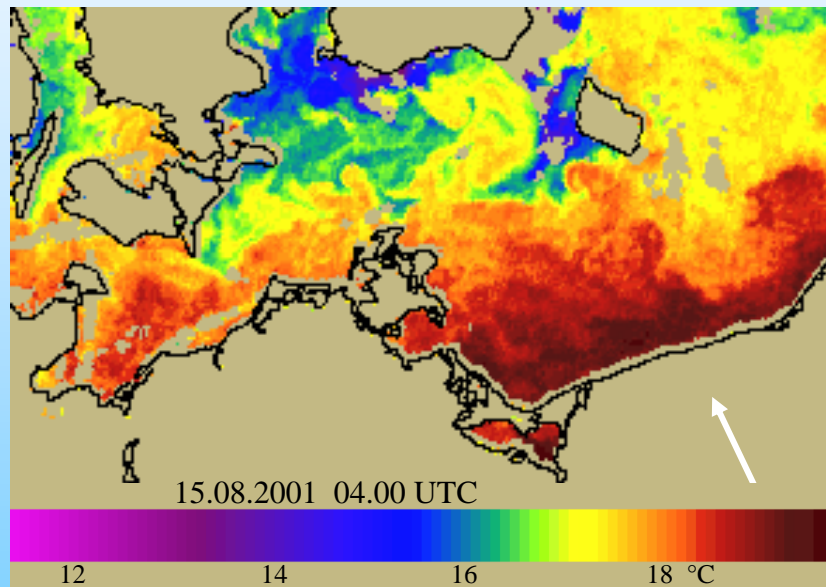
2.1.5 S- Wind



2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von **SST Verteilung**, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



2.1.5 S- Wind

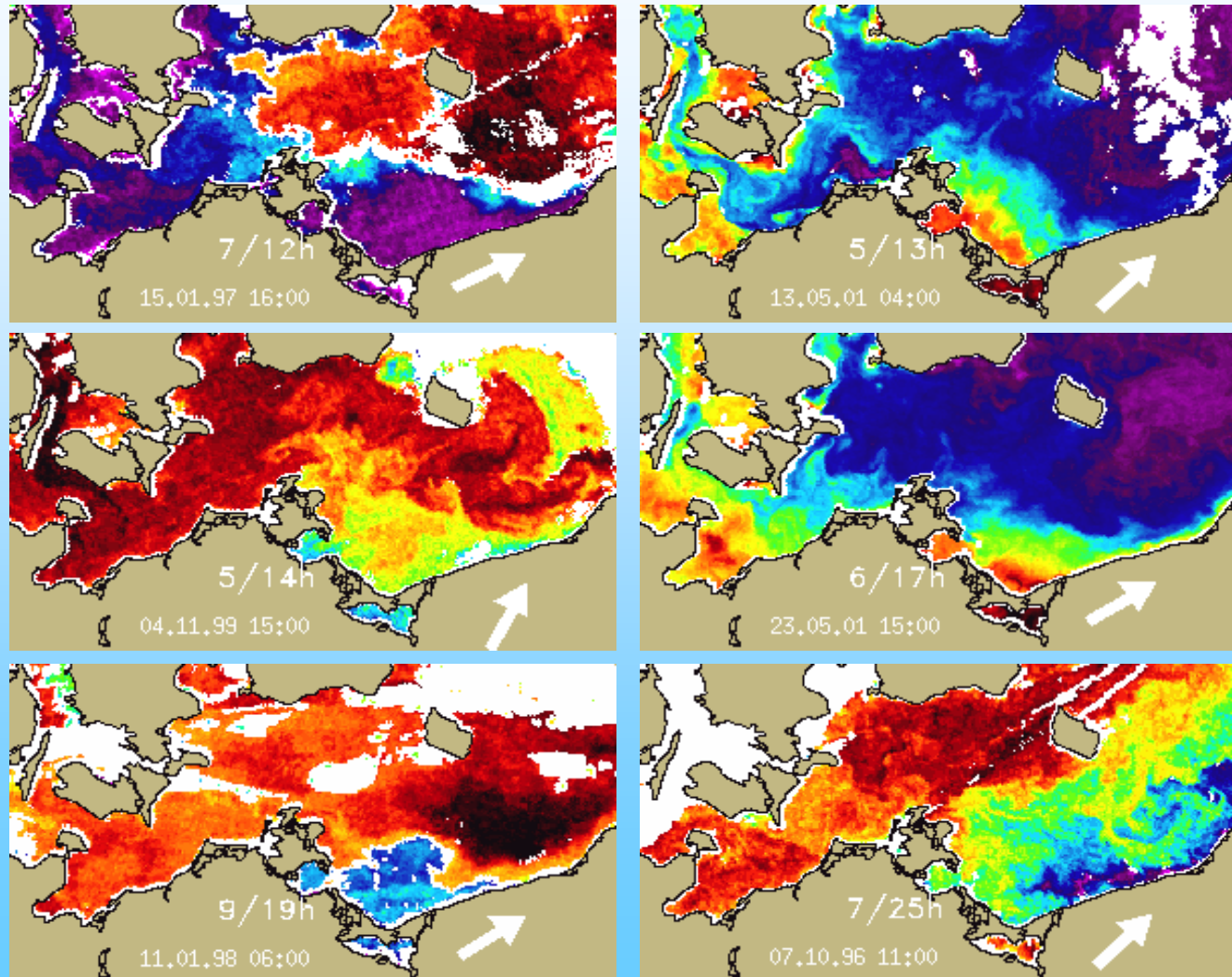


2.1.5 S-Wind

Beschreibung der Muster

- Oderausstrom, Pommernbuchtwasser und Greifswalder Bodden-Ausstrom werden in nördliche Richtung transportiert
- bei vorangegangener Ostwindphase werden die Auftriebsfilamente vor Hiddensee und der polnischen Küste aufgespreizt

2.1.6 SW- Wind



2.1.6 SW- Wind

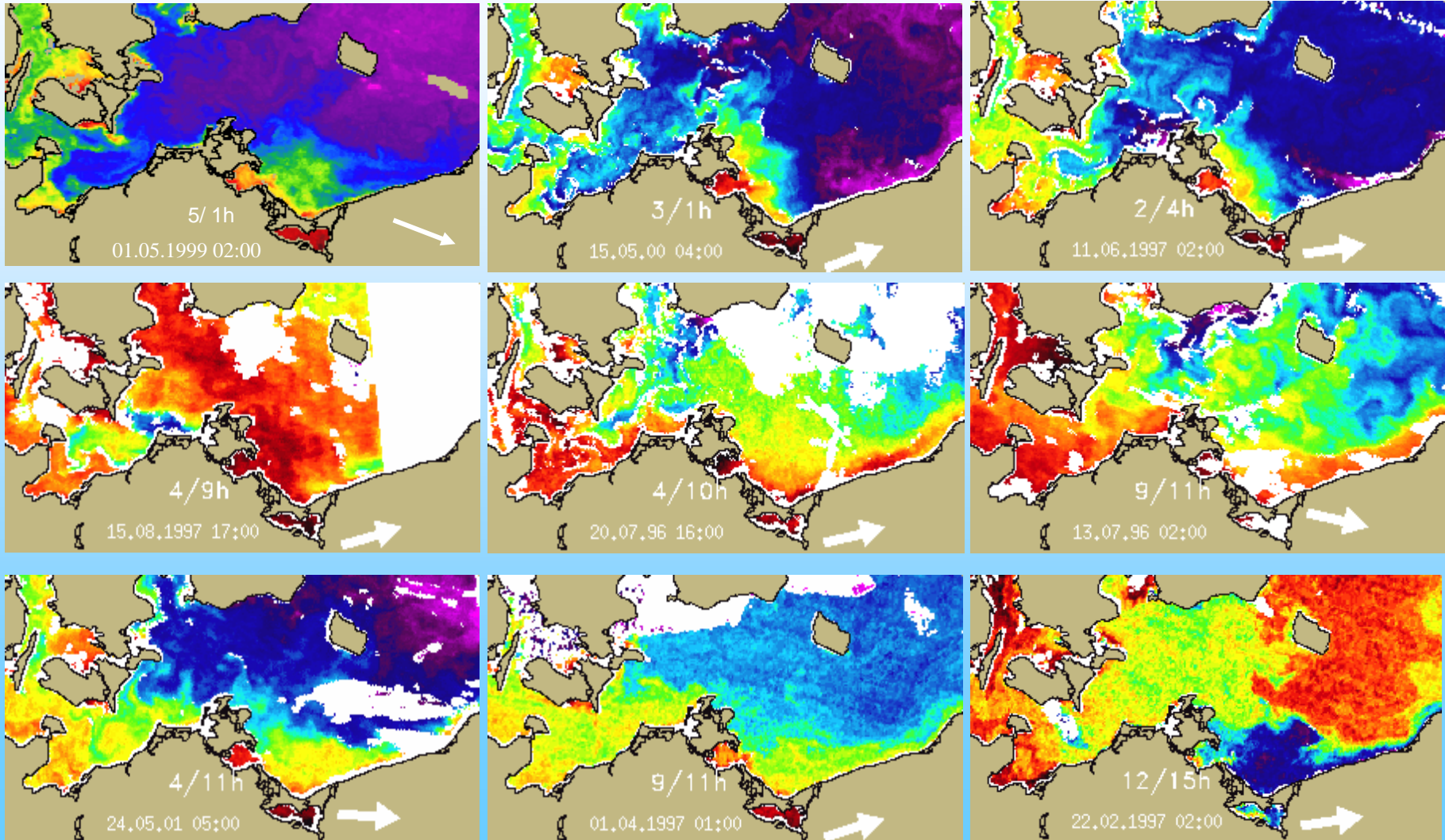
Beschreibung der Muster

- Greifswalder Boddenausstrom nach Osten gerichtet
- bei vorangegangener Ostwindphase werden die Auftriebsfilamente vor Hiddensee und der polnischen Küste nach Nordosten gestreckt
- Oderaustromband an der Usedomküste wird aufgefächert
- Die Mecklenburger Bucht ist bei höheren Windgeschwindigkeiten aus westlichen und südwestlichen Richtungen aufgrund der geringen Wassertiefen völlig durchmischt
- falls eine Ausstromblase vorhanden ist, wird sie in Richtung polnische Küste transportiert

2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

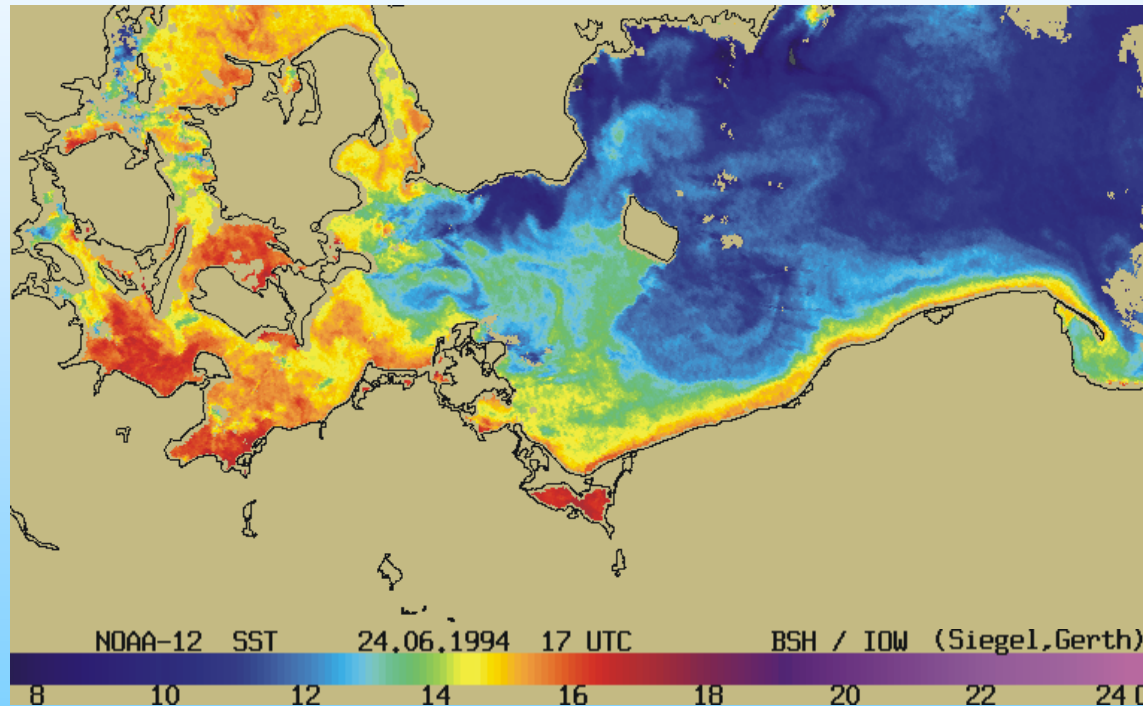


2.1.7 W- Wind

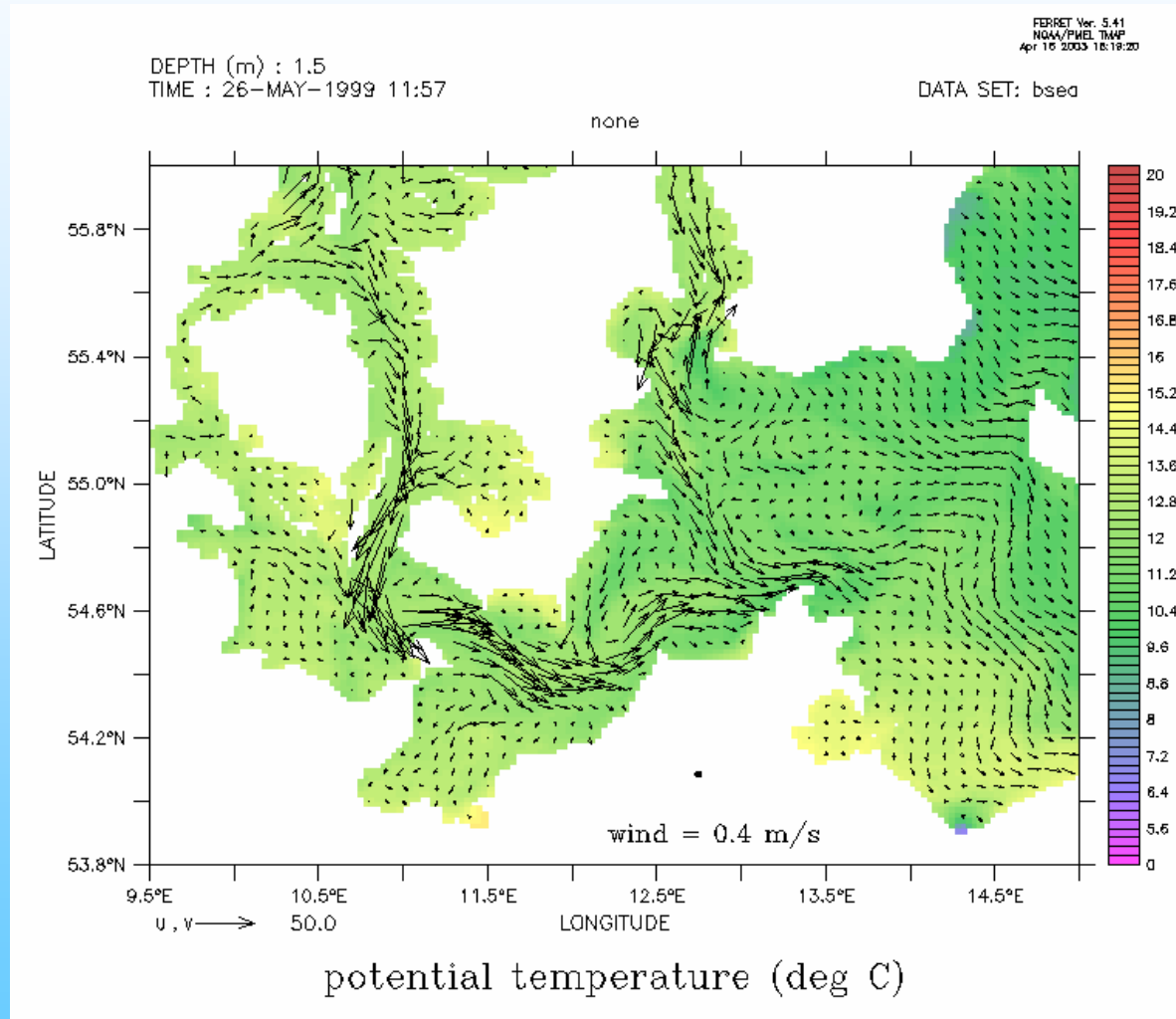


2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von **SST Verteilung**, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

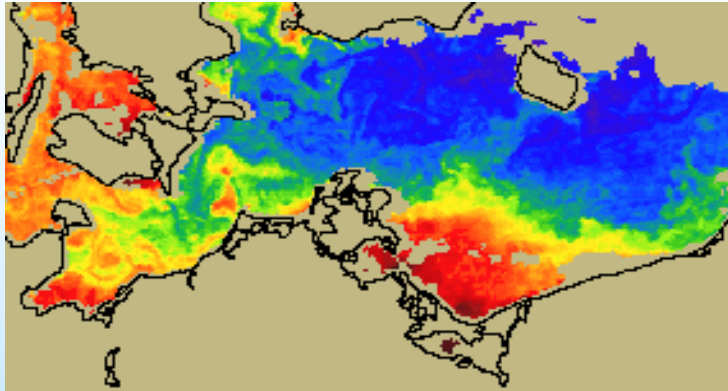
2.1.7 W- Wind



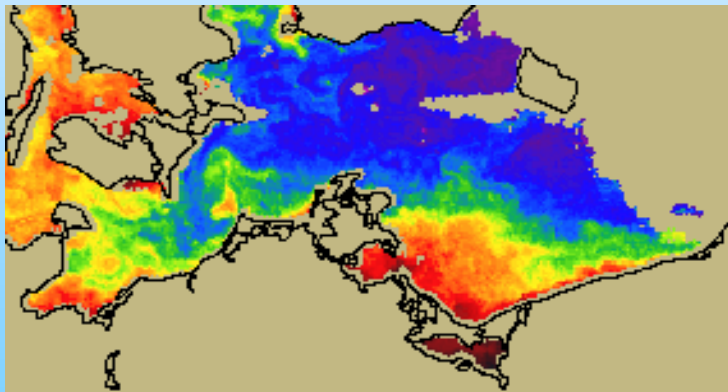
2.1.7 W- Wind



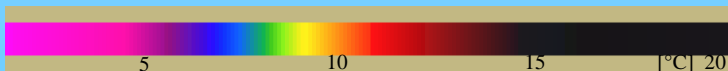
2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen



NOAA-SST am 03.05.99 13 UTC
271°/ 3.5 ms⁻¹

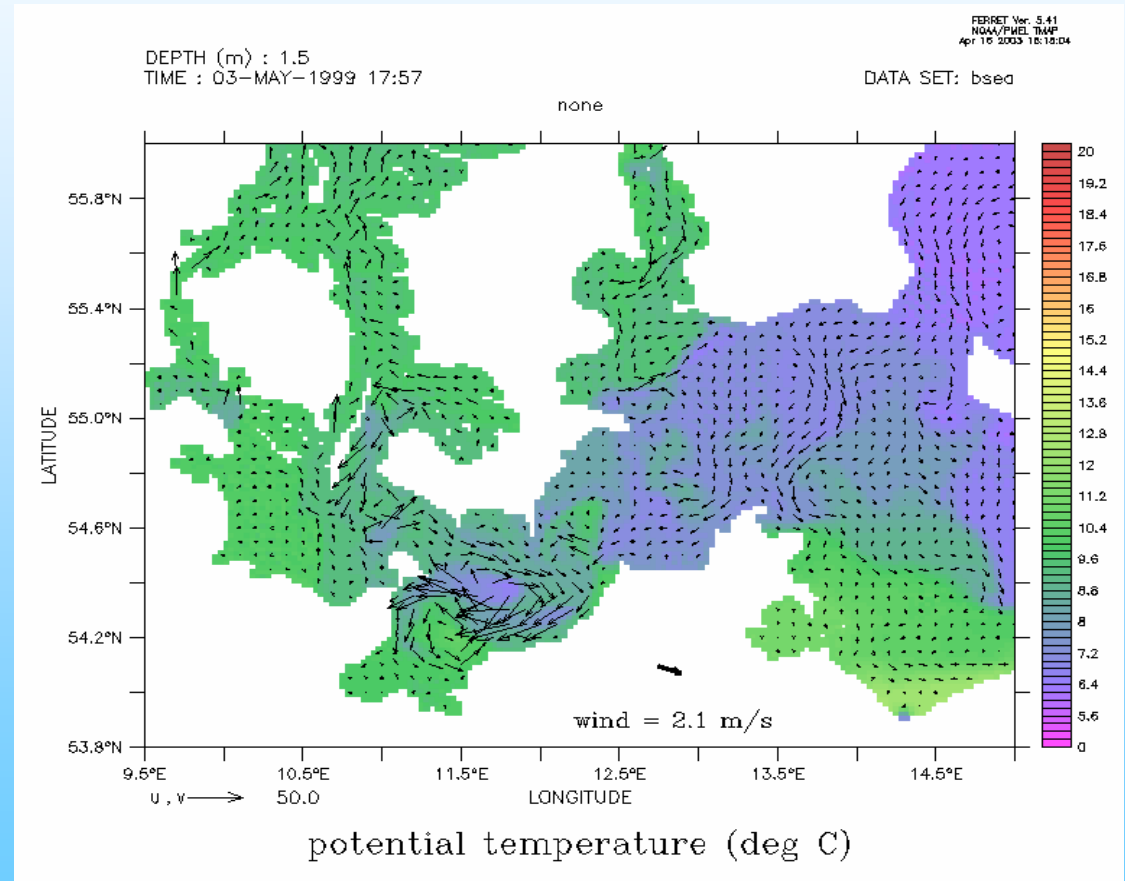


NOAA-SST am 03.05.99 15 UTC
281°/ 5.7 ms⁻¹



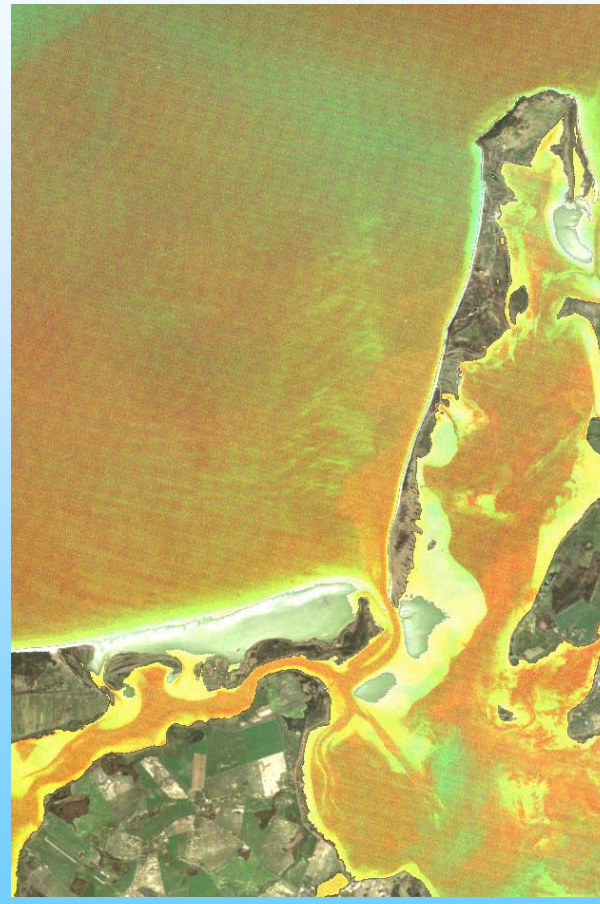
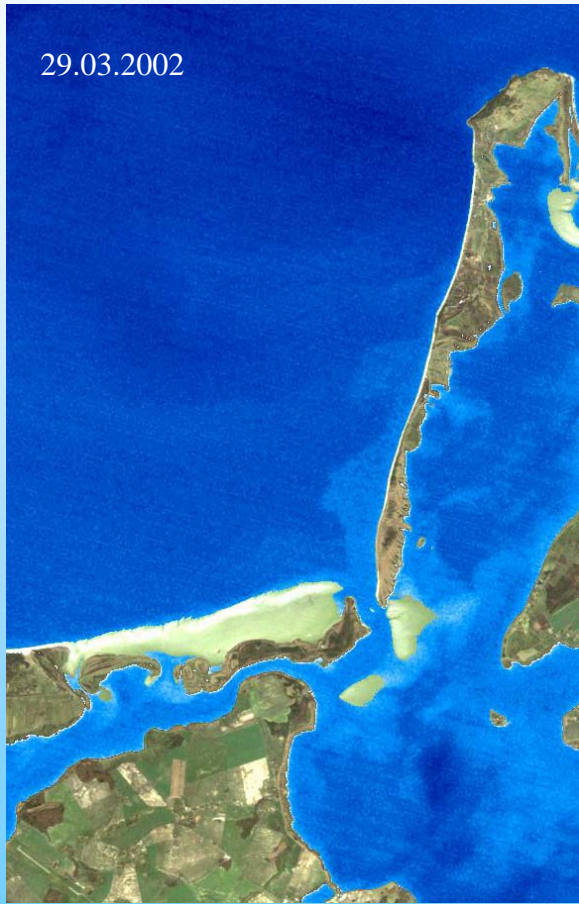
2.1.7 W- Wind

NOAA-SST und Modellergebnis für den 03.05.1999 (Westwind)



2.1.7 W- Wind

Darss-Hiddensee Austrom



Westwind:

geringer Darss- Hiddensee Ausstrom nach Norden entlang der Westküste Hiddensee (Vgl. Modellsimulation)

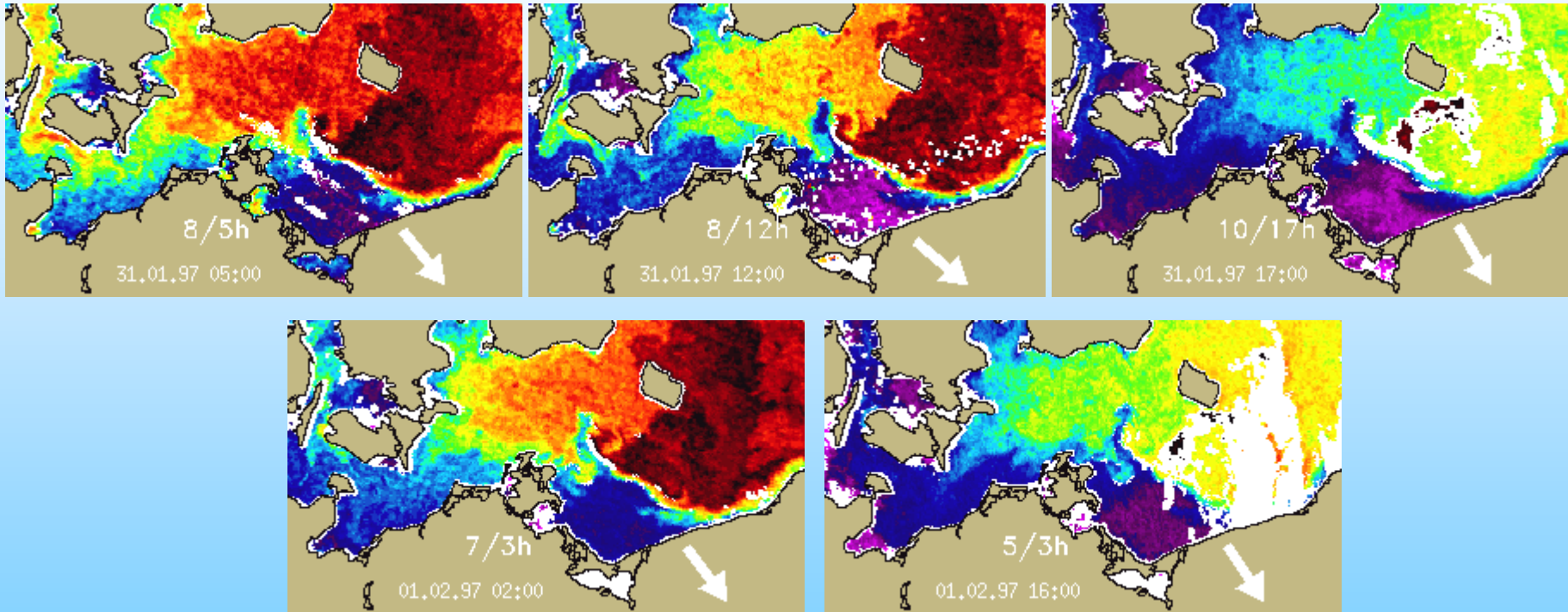
2.1.7 W- Wind

Beschreibung der Muster

- Auftrieb an der MV Küste aus Ostwindperioden wird innerhalb kurzer Zeit zerstört
- nach langanhaltenden westlichen Winden Entstehung eines Warm- bzw. Kaltwasserbandes entlang der polnischen Küste
- zyklonale Wirbelbildung in Mecklenburger Bucht, Lübecker Bucht wird nicht von diesem Strömungsmuster erfasst, Lübecker Bucht Wasser wird entlang der Küste nach Osten transportiert
- Wasser der Pommernbucht wird in Richtung Osten aus der Bucht hinaus transportiert
- Greifswalder Bodden Ausstrom wird ostwärts transportiert
- Ausstrom Darß-Zingster Boddenkette wird entlang der Westküste Hiddensees transportiert

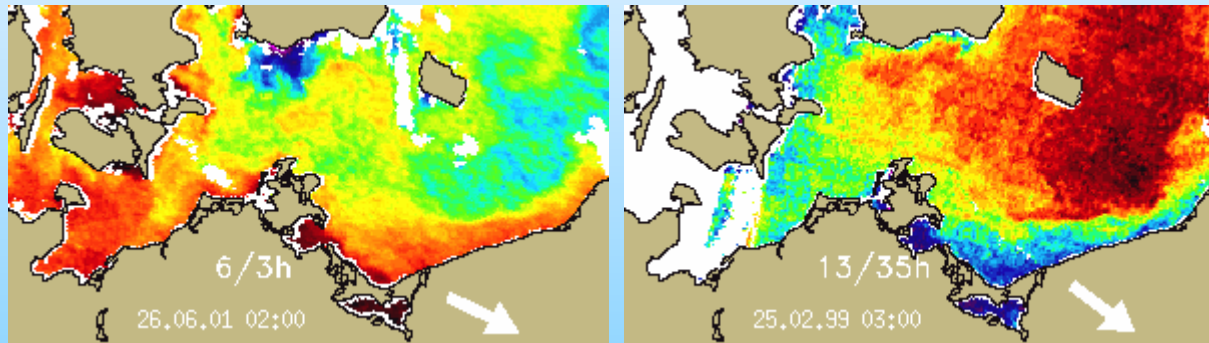
2.1.8 NW- Wind

Zeitserie SST Januar 1997



2.1 Typische Muster für verschiedene Windrichtungen anhand von SST Verteilung, Modellsimulation und Landsat TM Szenen

2.1.8 NW- Wind



2.1.8 NW- Wind

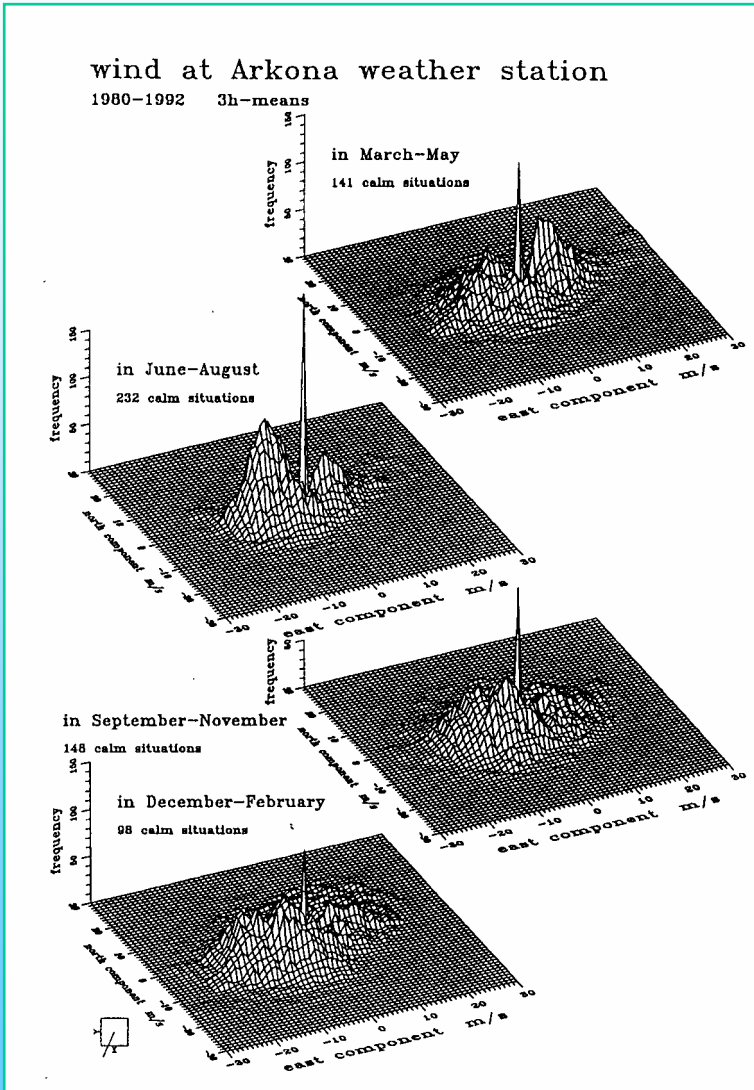
Beschreibung der Muster

- Nur selten gute Satellitenbilder, hauptsächlich im Zusammenhang mit Westwindsituation
- Im wesentlichen werden die Muster aus der Westwindsituation beibehalten
- Entstehung eines Warm- (Kalt-) Wasserband an der polnischen Küste
- Greifswalder Boddenausstrom fließt entlang der Usedomküste nach Süden ab
- An der mecklenburgischen Küste lagert besonders warmes (kaltes) Oberflächenwasser
- Auftrieb aus Ostwindperioden wird innerhalb kurzer Zeit zerstört

2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen



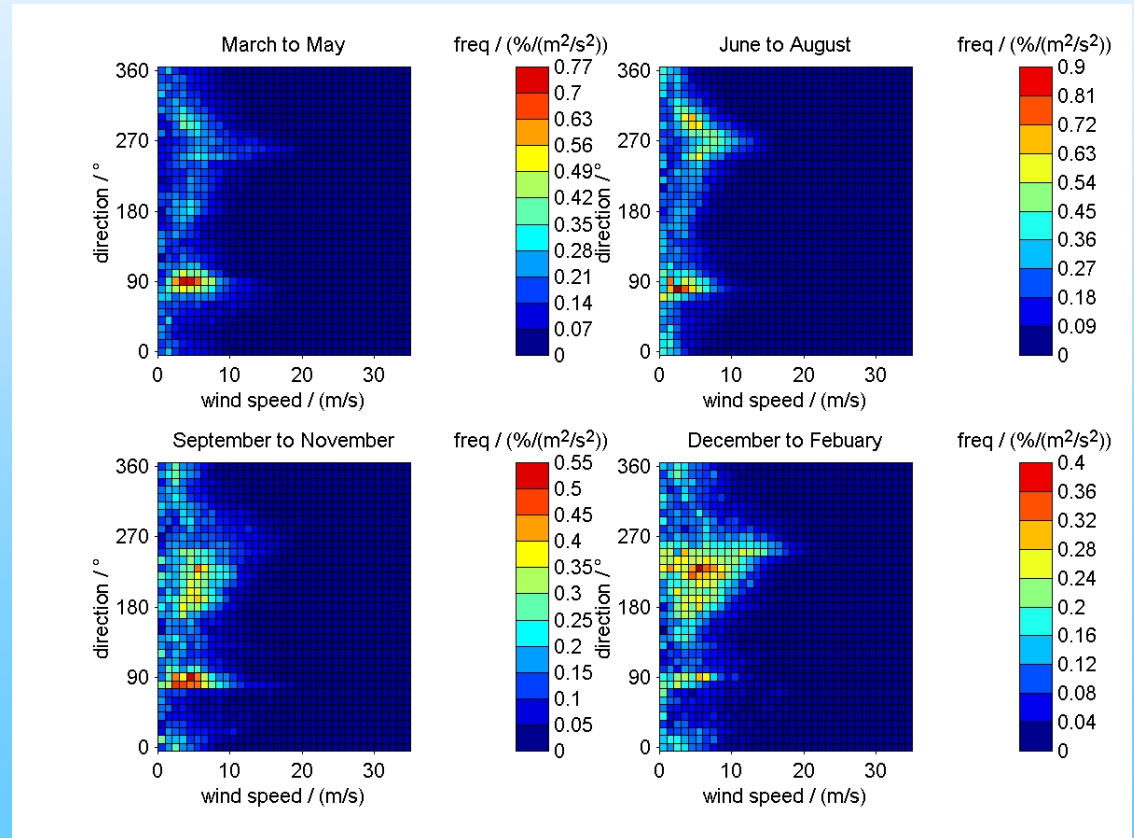
Windstatistik 1980-1992



2.2.0 Einführung

Ermittlung dominierender Windrichtungen

Windstatistik 1992-2000



2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

2.2.0 Einführung

Ergebnisse der Windstatistik

- Hochvariable Windsituationen
- Zeitskalen <12h – max. 400h (16 Tage)
- Zeitskalen für zusammenhängende Windereignisse 12h
- Anpassungszeiten der Strömung (Trägheitsperiode) ca. 13h
- Windrichtungen mit den längsten zusammenhängenden Windsituationen (Ost und West)
- Dominierende Zahl aller Windereignisse West und Süd, d.h. der Wind dreht häufig über Süd

2.2.0 Einführung

Übersicht

Ausgehend von den Ergebnissen der Windanalysen, die ein hoch variables Windfeld belegen und als dominierende anhaltende Windrichtungen Ost und West identifizierten, reicht es nicht, nur die Reaktionen auf Winde aus den 8 Hauptwindrichtungen zu berücksichtigen, sondern es werden alle Übergänge von einer Hauptwindrichtung in die andere und umgekehrt betrachtet.

2.2.1 Ost-Nord-West (ENW)

2.2.2 Ost-Süd-West (ESW)

2.2.3 West-Nord-Ost (WNE)

2.2.4 West-Süd-Ost (WSE)

Für diese 4 Situationen sind Zeitserien von Satellitendaten, Temperatur- und Strömungskarten sowie Drifterverteilungen mit küstennahen und zentralen Quellen für die verschiedenen Phasen der Windrichtungsänderungen zusammengestellt.

2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

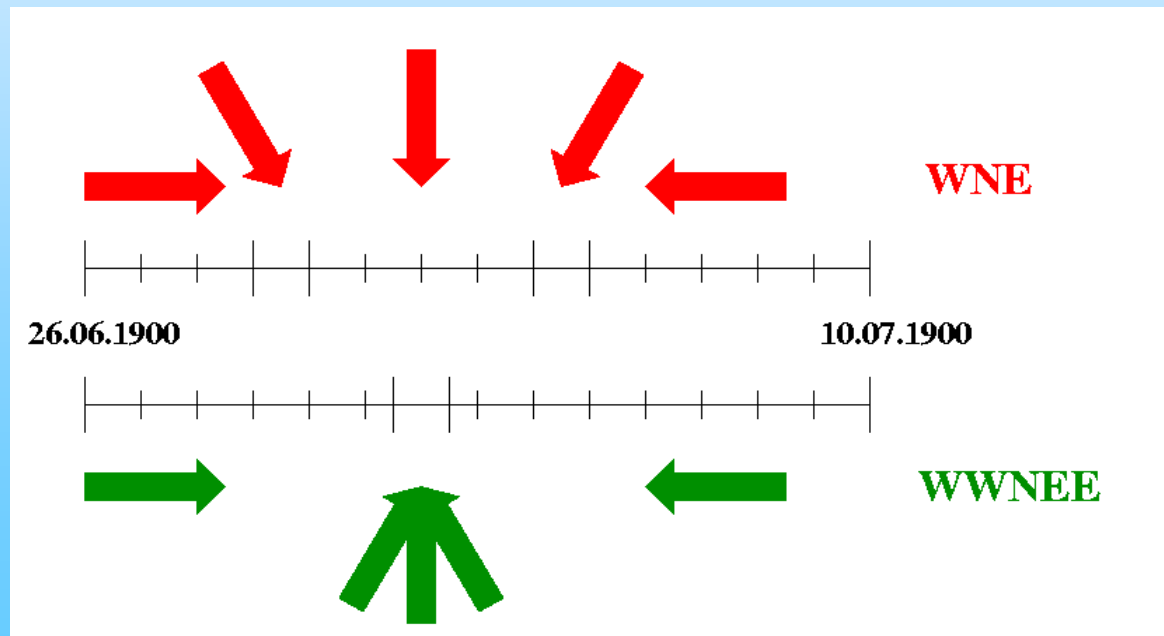
2.2.0 Einführung

Modellexperimente mit idealisierten Windlagen

Zeitscheibe 04 vom 26.06.1900 bis 10.07.1900

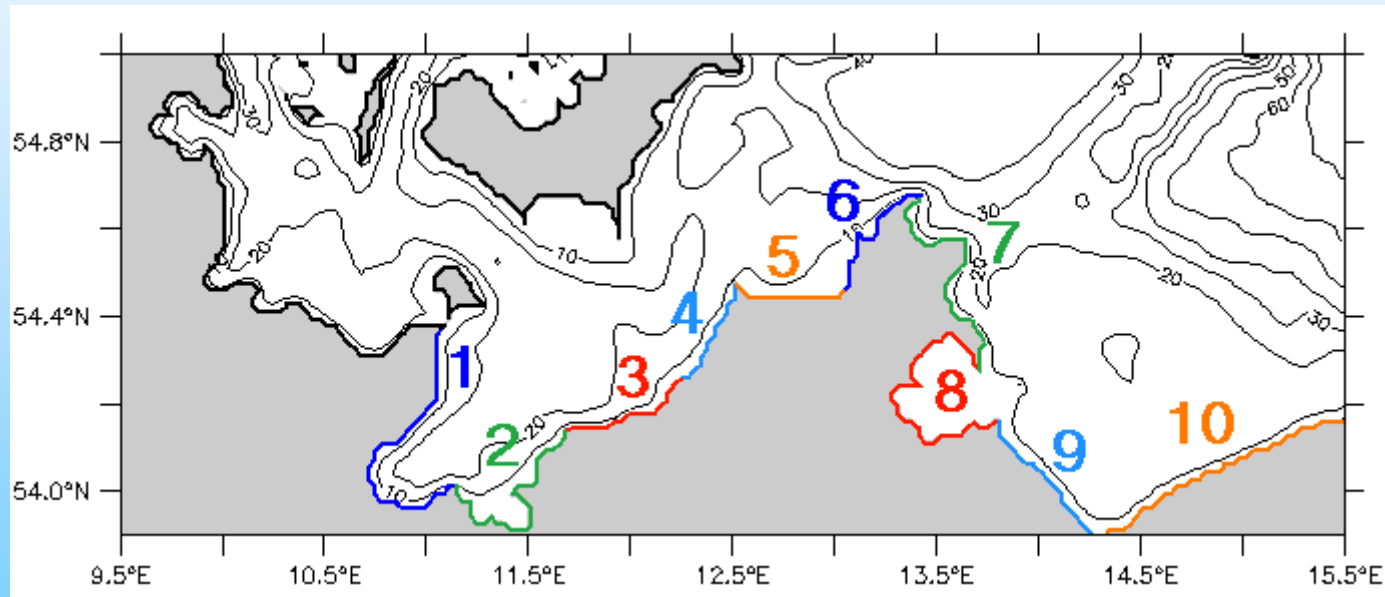
8 idealisierte Windlagen mit konstant 7 m/s

- a) 3 aufeinanderfolgende Windlagen **ENW, ESW, WNE, WSE**
- b) Ost- auf Westwind mit schnellem Wechsel über Nord oder Süd
EENWW, EESWW, WWNEE, WWSEE



2.2.0 Einführung

Küstenregionen für die Drifterinterpretation

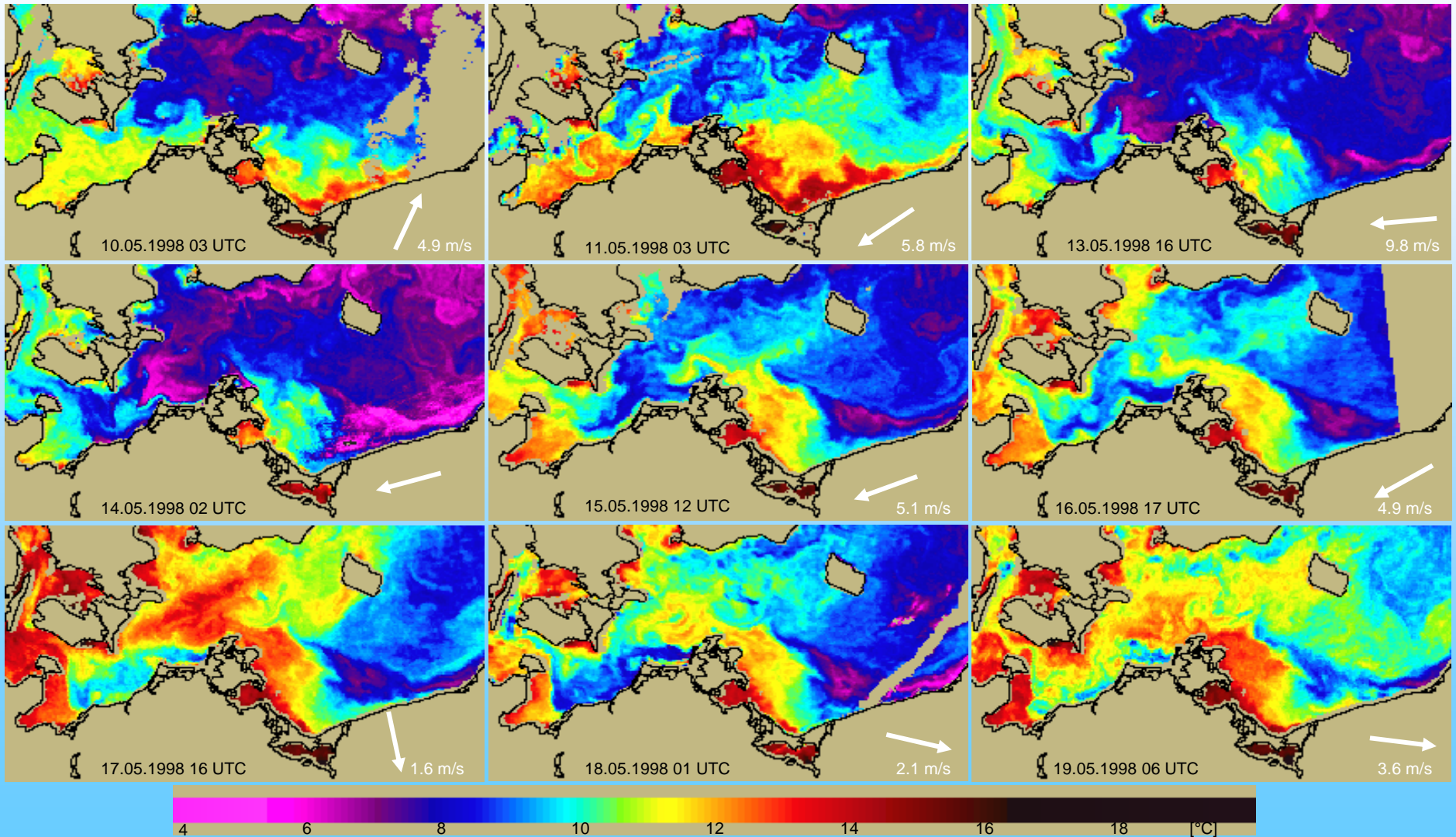


2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen



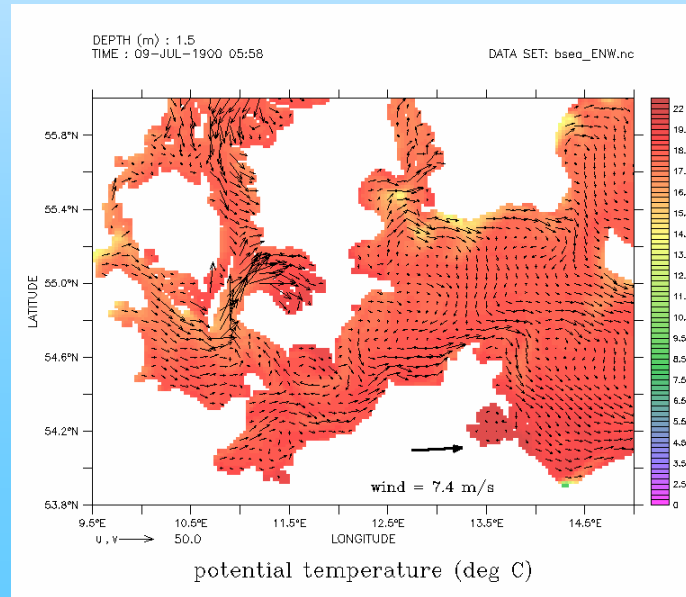
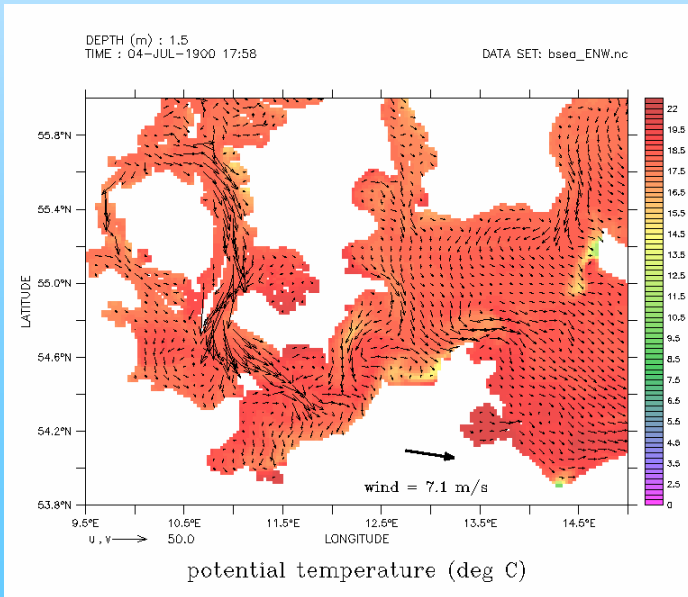
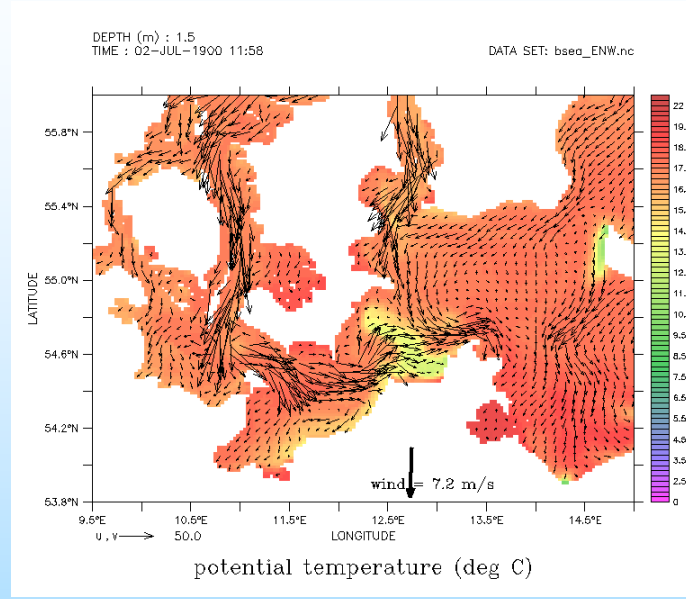
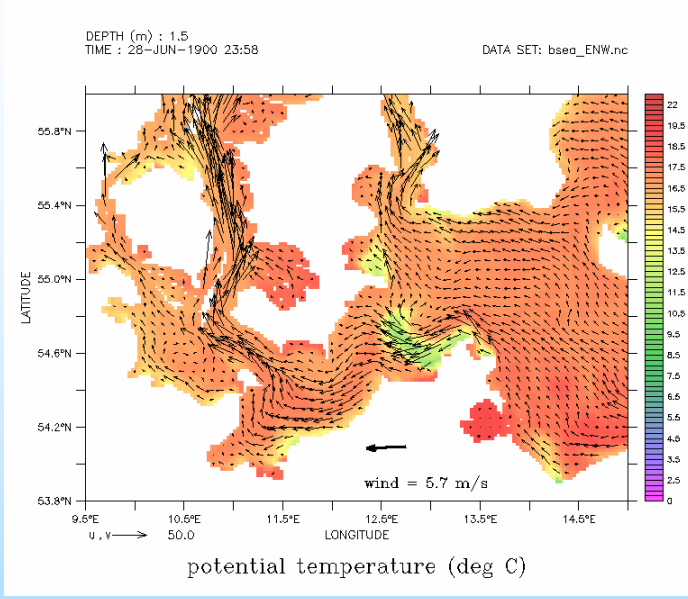
2.2.1 Ost-Nord-West (ENW)

2.2.1 Ost-Nord-West (ENW)



2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

2.2.1 Ost-Nord-West (ENW)



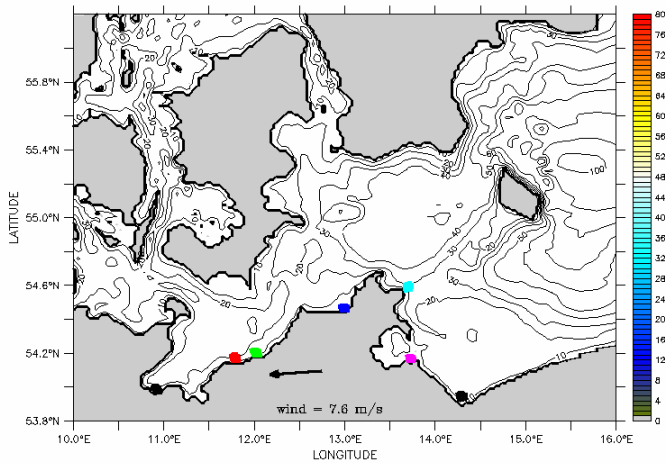
**Temperatur,
Strömung**

12, 26, 35, 53



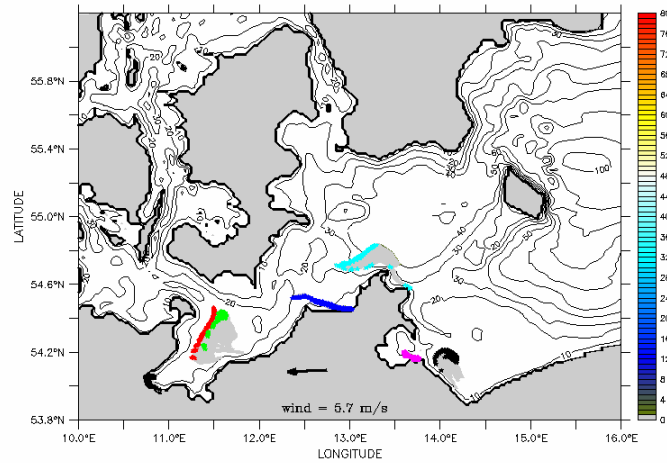
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment ENW



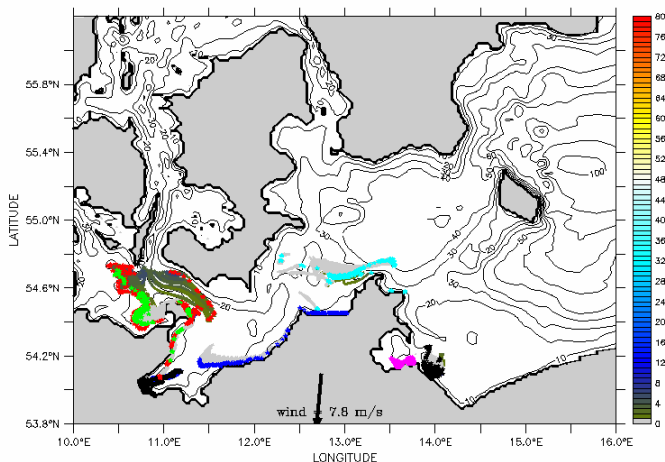
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 26-JUN-1900 06:00

SIBIK Windexperiment ENW



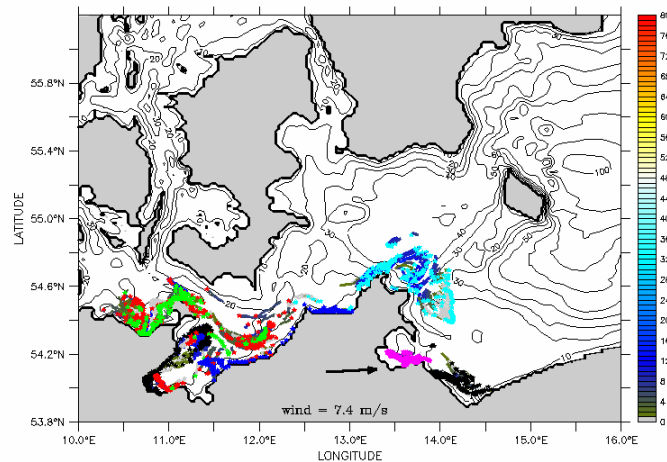
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 29-JUN-1900 00:00

SIBIK Windexperiment ENW



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 03-JUL-1900 06:00

SIBIK Windexperiment ENW



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 09-JUL-1900 06:00

ENW

Oder,

E nach NW entlang Usedom

N Ekmandrift an Usedomküste

W nach SE und an polnische Küste

Peene,

E in Gr. Bodden hinein

N Südküste

W bleibt Südküste liegen

Saßnitz,

W Richtung NW bis östlich Darsser Schwelle

Wirbel bei Änderung

N Nordküste Rügen (Region 6)

E Wirbel außerhalb der Tromper Wieck und

nach SE wieder Richtung Saßnitz

Strelasund,

E nach NW bis Höhe Warnemünde

N treibt fast alle Drifter an Küste (Reg. 2 bis 5)

W Ablösung in Region 2, alle anderen Drifter

verbleiben an Küste

Warnow, Kühlungsborn,

E nach W um den Tiefenbereich der MB und

durch Fehmarnbelt

N an Küste westlich Fehmarn

W teilweise zurück bis an die Küste um

Warnemünde (Region 3)

Trave,

E nach W als Wolke in innere Bucht (Reg. 1)

N nach NE löst sich von der Küste

W wird komplett nach N transportiert (an

Küste Region 1)



Drifter offene See

ENW (Bilder 12, 27, 35, 56)

Fehmarnbelt

E mit Ausstrom bis ins südliche Kattegatt
 N Ekmandrift gegen die Insel Samsoe
 W einzelne Drifter mit Einstrom zurück in Fehmarnbelt

Kadettrinne

E bis Eingang Gr. Belt
 N Ekmandrift gegen südliche Küste von Langeland

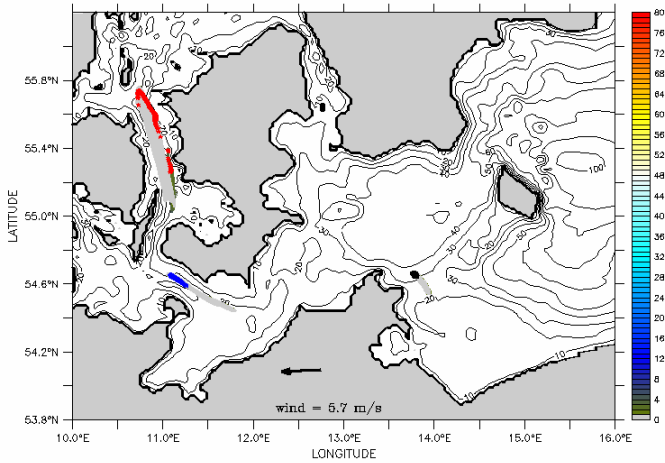
W teilweise Ablösung von Langeland und Rückstrom bis in Fehmarnbelt

Saßnitzrinne

E nach NE in südliche Arkonasee
 N an Küste Kap Arkona bis Hiddensee (Region 6), sinken dort auf Tiefen unter 10m ab

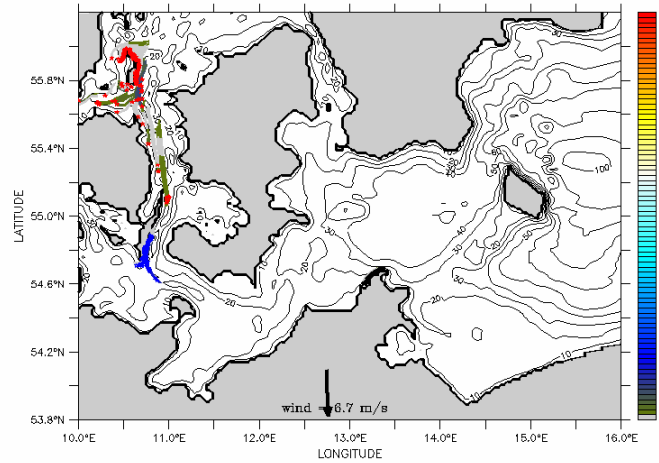
W Drift nach NE in Wirbel in südlicher Arkonasee, Teile bleiben an der Küste

SIBIK Windexperiment ENW



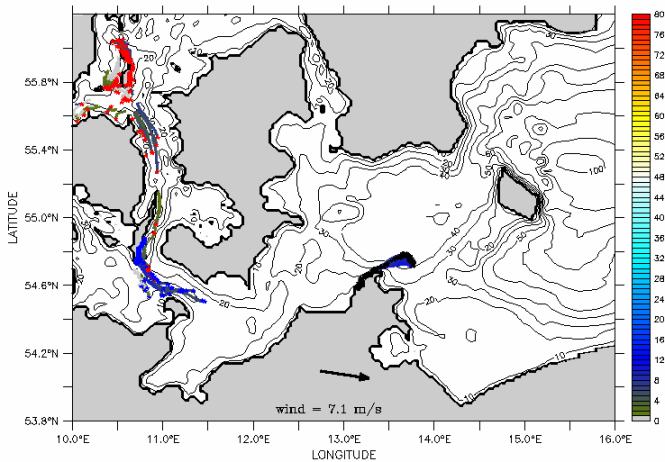
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 29-JUN-1900 00:00

SIBIK Windexperiment ENW



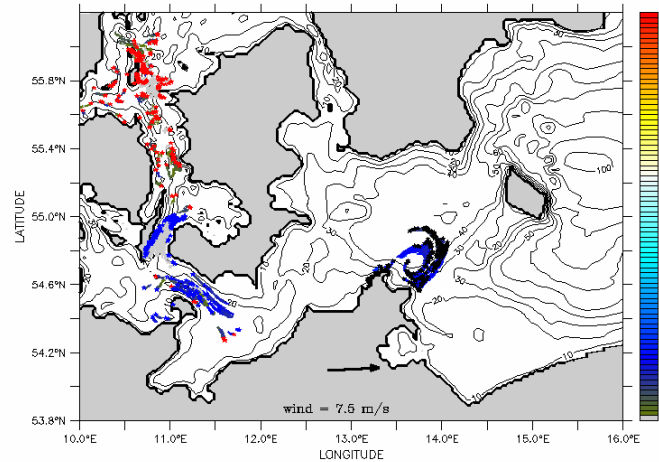
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 02-JUL-1900 18:00

SIBIK Windexperiment ENW



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 04-JUL-1900 18:00

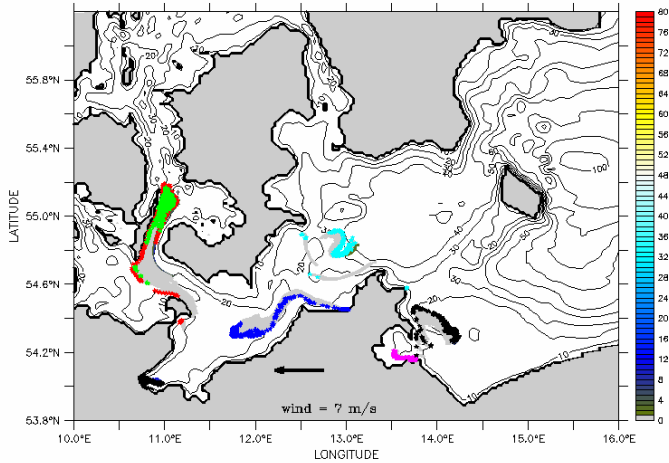
SIBIK Windexperiment ENW



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

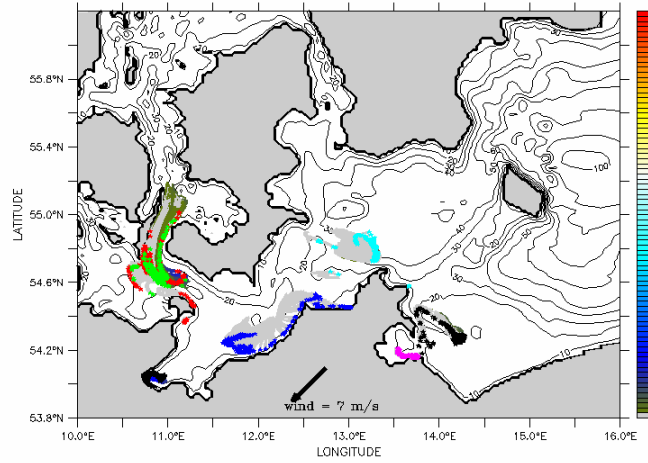


SIBIK Windexperiment EENWW



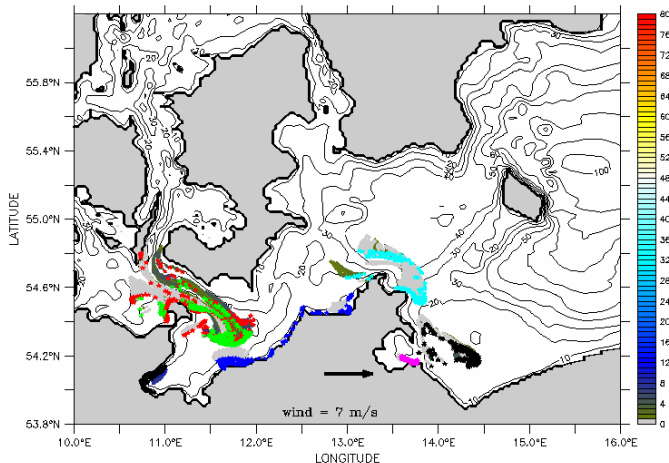
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 01-JUL-1900 21:00

SIBIK Windexperiment EENWW



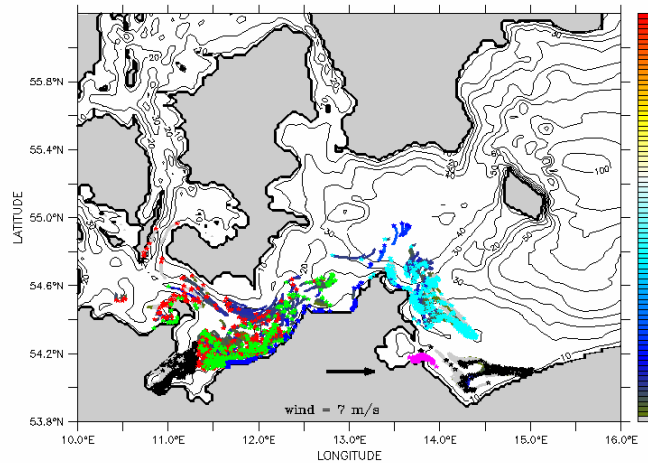
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 02-JUL-1900 18:00

SIBIK Windexperiment EENWW



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 04-JUL-1900 18:00

SIBIK Windexperiment EENWW



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

EENWW

Oder, ähnlich wie EESWW

E nach NW entlang Usedom
W zurück nach SE und an polnische Küste (Region 10)

Peene,

E in GB hinein
W geschlossene Wolke vor Peenemündung, später nach W hinaus dann SE

Saßnitz,

E Richtung NW bis östlich Darsser Schwelle, Wirbel bei Änderung
W nach SE wieder Richtung PB

Strelasund,

E nach NW bis Höhe Rerik
W an Küste Rerik bis Arkona (Regionen 3-5, vorrangig Region 3)

Warnow, Kühlungsborn,

E nach W um den Tiefenbereich der Meckl. Bucht und durch Fehmarnbelt in Gr. Belt

W zurück bis vor die Küste zwischen Rerik und Darßer Ort (ca. 10m-Isobathe)

Trave,

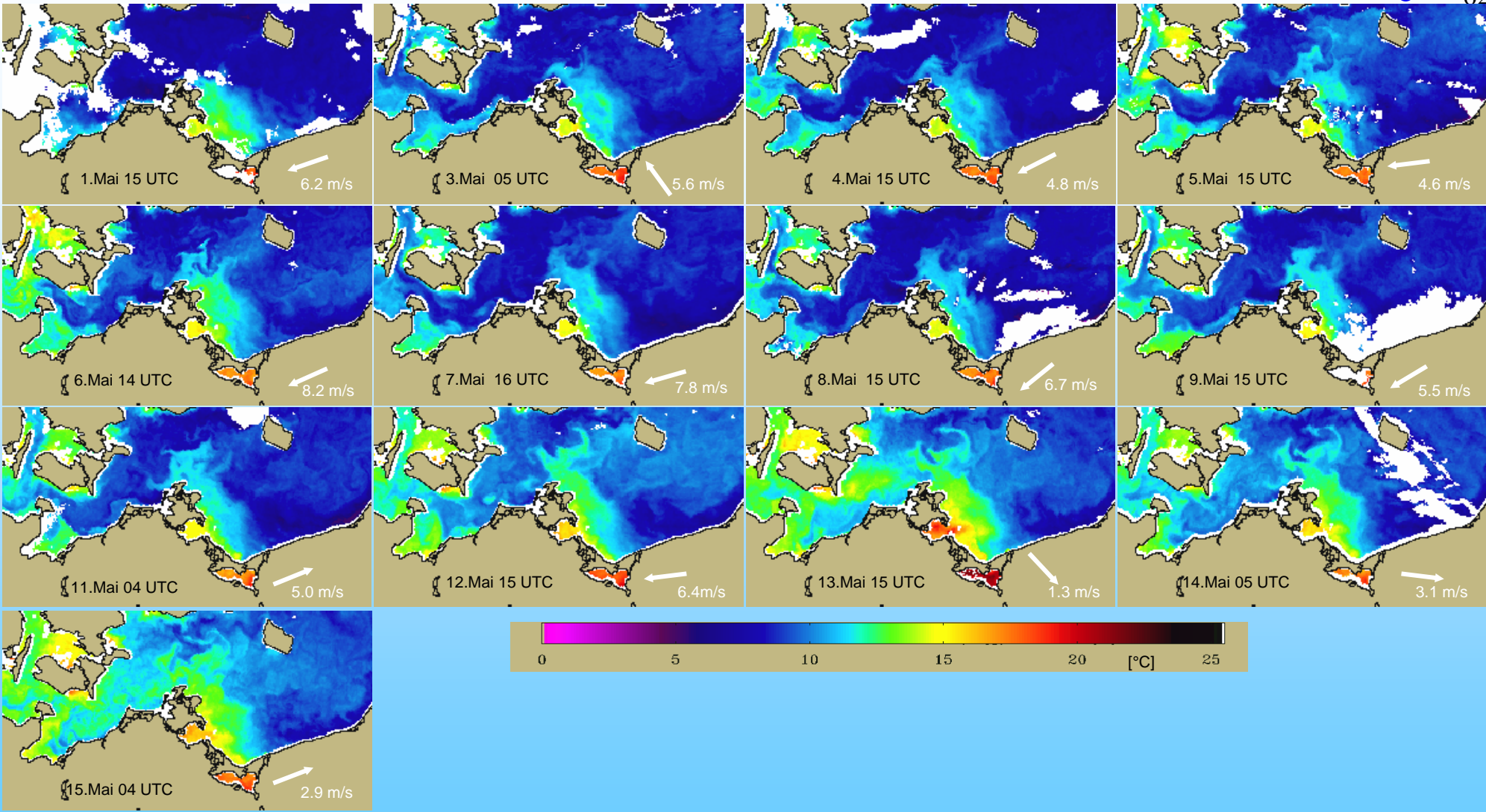
E nach W innere Bucht alles zusammen
W erste 3 Tage stark an holsteinsche Küste (Region 1), dann Ablösung nach NE in offene See

2.2.2 Ost-Süd-West ESW

2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

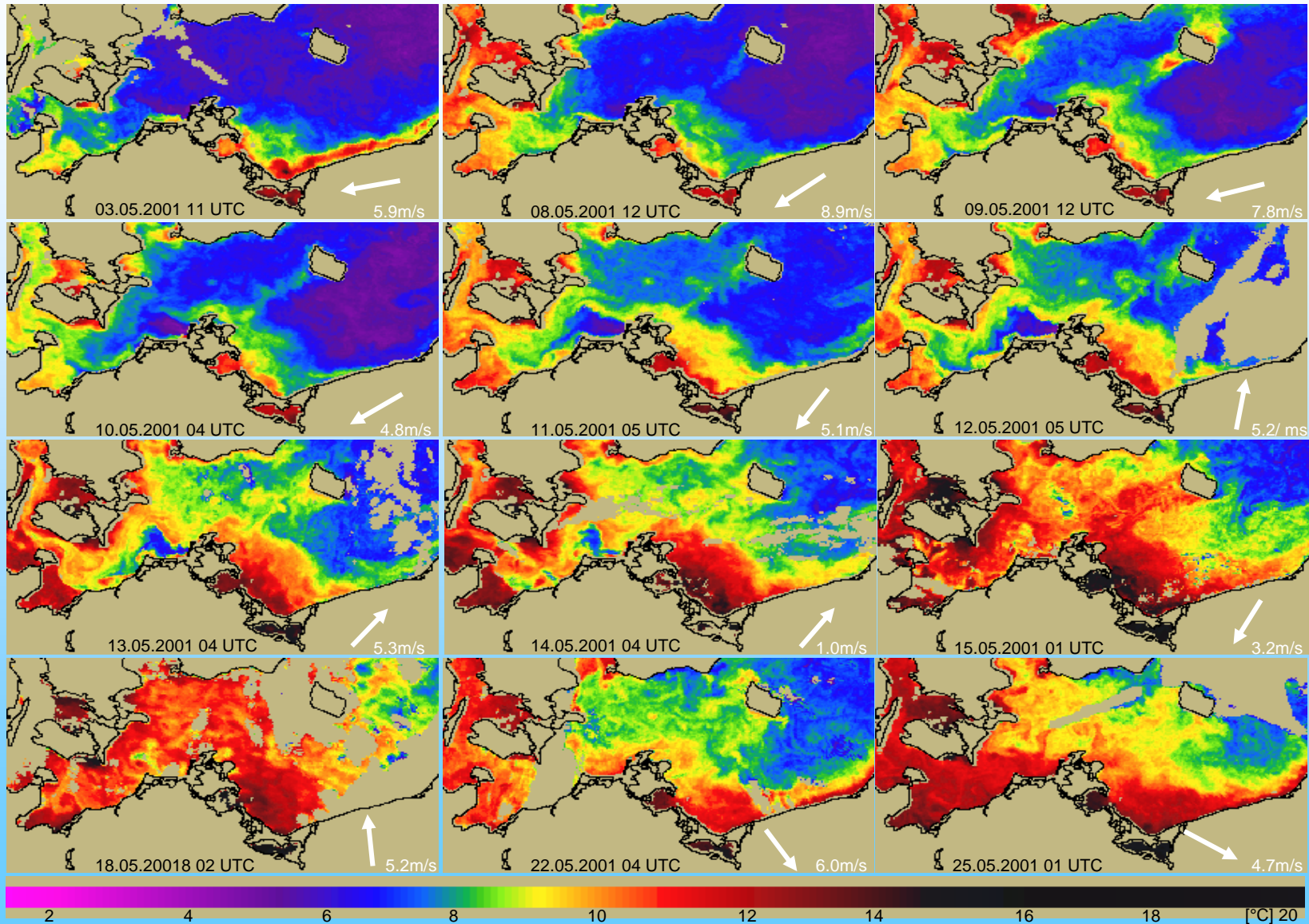


2.2.2 Ost-Süd-West (ESW)



2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

2.2.2 Ost-Süd-West (ESW)

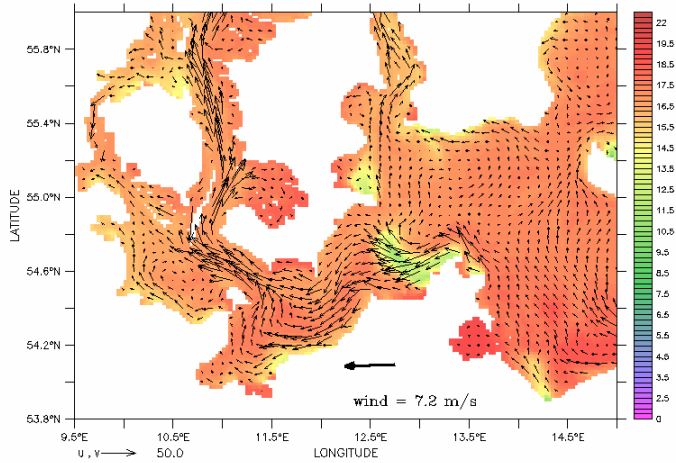


2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen Temperatur, Strömung



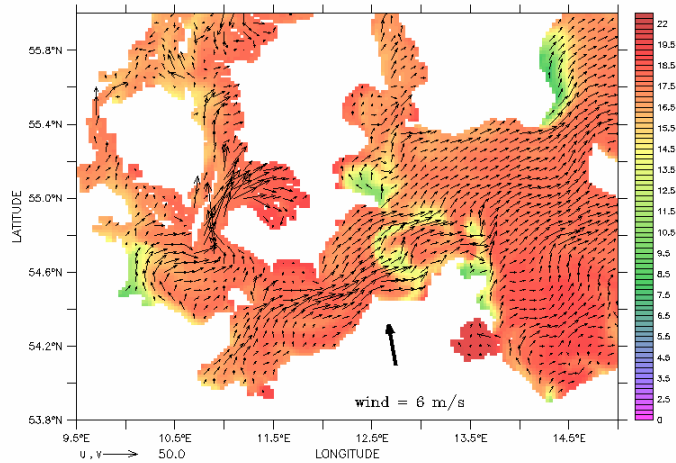
ESW

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 28-JUN-1900 17:58
DATA SET: bsea_ESW.nc



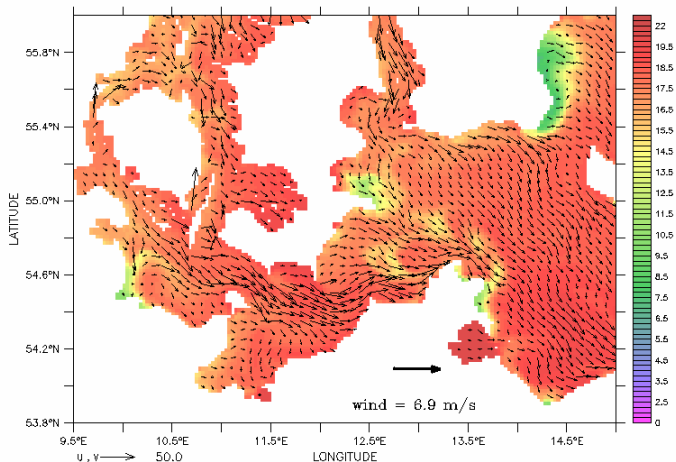
potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 03-JUL-1900 11:58
DATA SET: bsea_ESW.nc



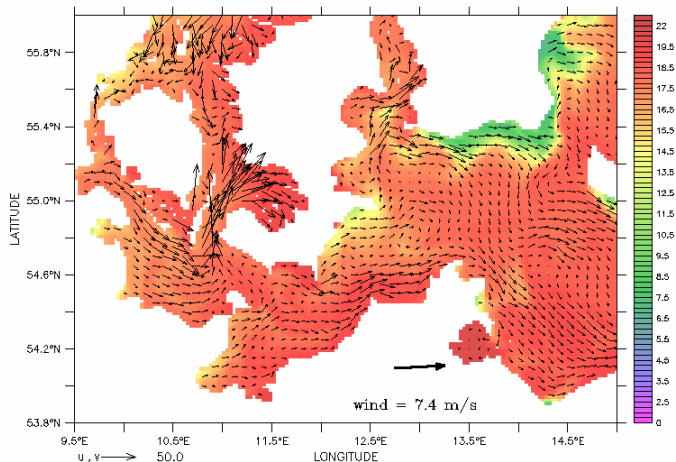
potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 05-JUL-1900 11:58
DATA SET: bsea_ESW.nc



potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 09-JUL-1900 05:58
DATA SET: bsea_ESW.nc



potential temperature (deg C)

Temperatur, Strömung

11, 30, 38, 53

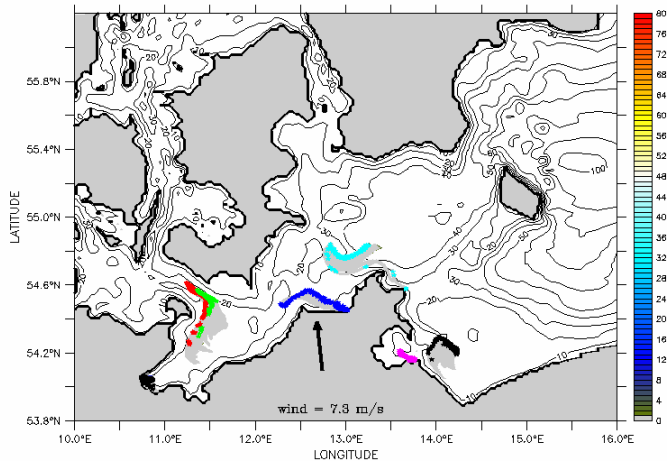
2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen



2.2.2 Ost-Süd-West (ESW)

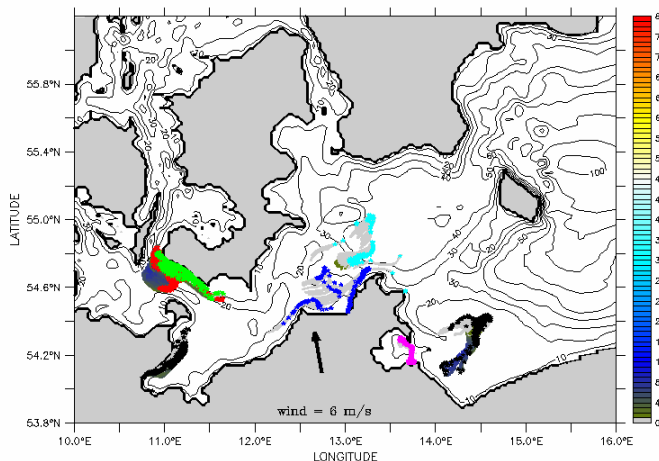
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment ESW



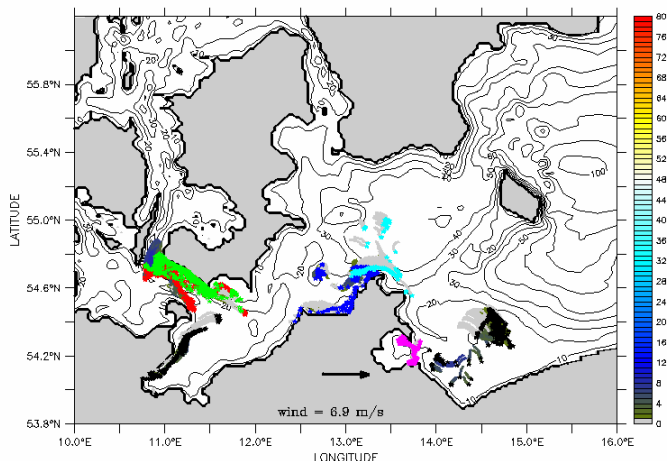
Starttiefe 0-2 m / Driferverteilung am 29-JUN-1900 18:00

SIBIK Windexperiment ESW



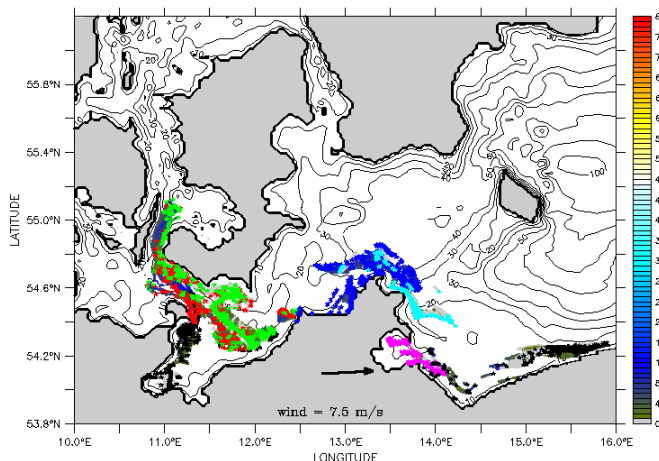
Starttiefe 0-2 m / Driferverteilung am 03-JUL-1900 12:00

SIBIK Windexperiment ESW



Starttiefe 0-2 m / Driferverteilung am 05-JUL-1900 12:00

SIBIK Windexperiment ESW



Starttiefe 0-2 m / Driferverteilung am 10-JUL-1900 00:00

ESW (Bilder 15, 30, 38, 56)

Oder,

E nach NW entlang Usedom

S nach ENE

W nach SE in Richtung polnische Küste

Peene,

E in GB hinein

S nach N teils in Gr. Bodden teils hinaus,
Küstenkontakt Mönchgut (Region 7)

W teils in den GB, teils SE vor Usedom

Saßnitz,

W Richtung NW bis östlich Darßer Schwelle

S bei Windwechsel Wirbel über Darßer
Schwelle

E nach SE wieder Richtung Saßnitz

Strelasund,

E nach NW bis Höhe Warnemünde

S vor Darß leicht nach N

W an die Nordküste des Darss bis Arkona
(Regionen 6 und 7)

Warnow, Kühlungsborn,

E nach W um den Tiefenbereich der MB

S durch Fehmarnbelt bis Gr. Belt

W zurück bis vor die Küste Rerik bis Darsser
Ort (ca. 20m-Isobathe)

Trave,

E nach W innere Bucht alles zusammen

S entlang der Küste bis Fehmarn

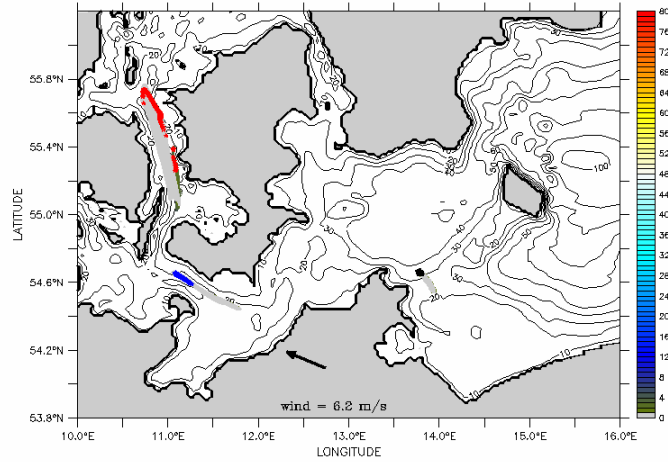
W Ablösung von holsteinscher Küste, die
nördlichsten Drifter mit Einstromband

Richtung W



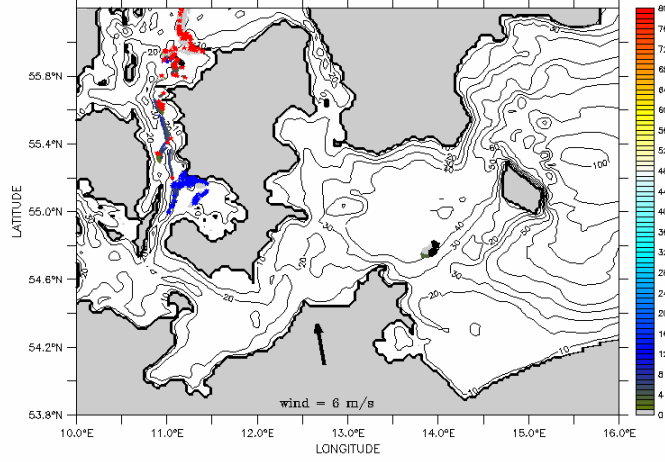
Drifter offene See

SIBIK Windexperiment ESW



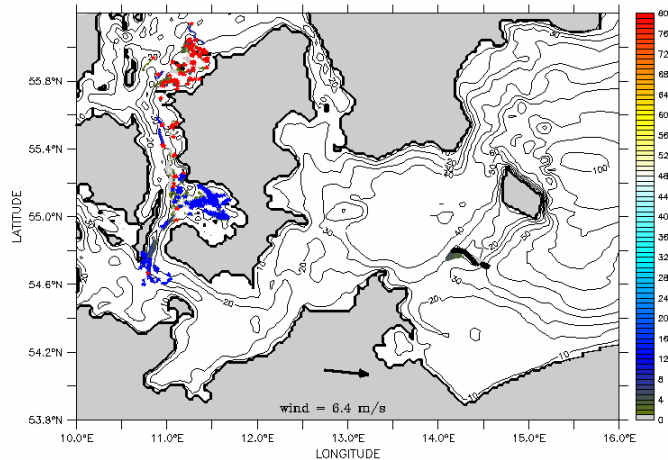
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 29–JUN–1900 00:00

SIBIK Windexperiment ESW



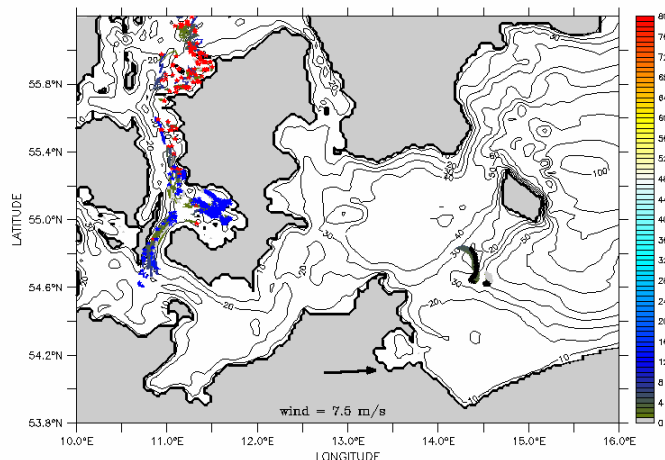
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 03–JUL–1900 12:00

SIBIK Windexperiment ESW



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 08–JUL–1900 00:00

SIBIK Windexperiment ESW



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 10–JUL–1900 00:00

ESW (Bilder 12, 30, 48, 56)

Fehmarnbelt

E bis in Kattegatt

S kaum Drift, Dispersion in Richtung

Seeland

W kaum Rückstrom, fast alle Drifter

bleiben an Insel Seeland „gefangen“

Kadettrinne

E Ausstrom bis Höhe Langeland

S Ekmandrift in Richtung

Smalandsfarvandet

W teilweise zurück in Fehmarnbelt, ca.

2/3 zirkulieren im Smalandsfarvandet

Saßnitzrinne

E nach NW in südliche Arkonasee

S Ekmandrift nach E weiter in die offene

See

W Auseinanderziehen nach SE

2.2. Typische Muster bei Windrichtungsänderungen

2.2.2 Ost-Süd-West (ESW)

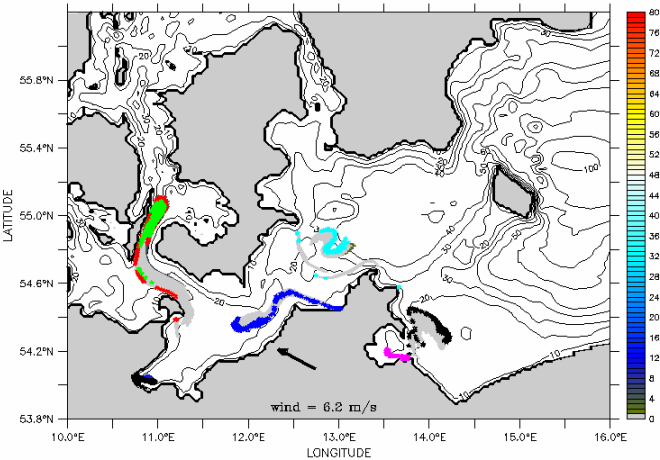
EESWW



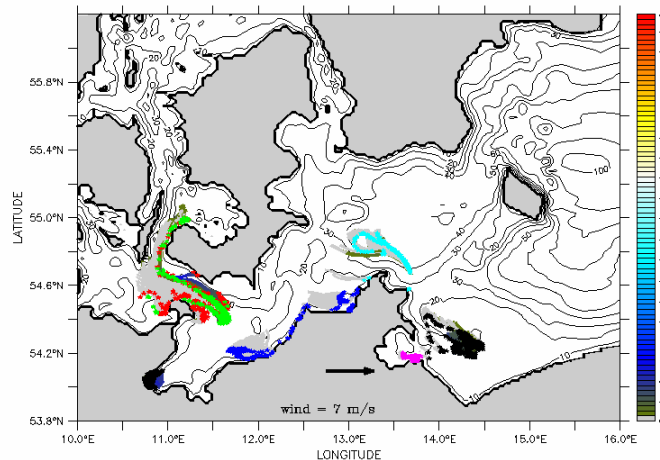
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment EESWW

SIBIK Windexperiment EESWW



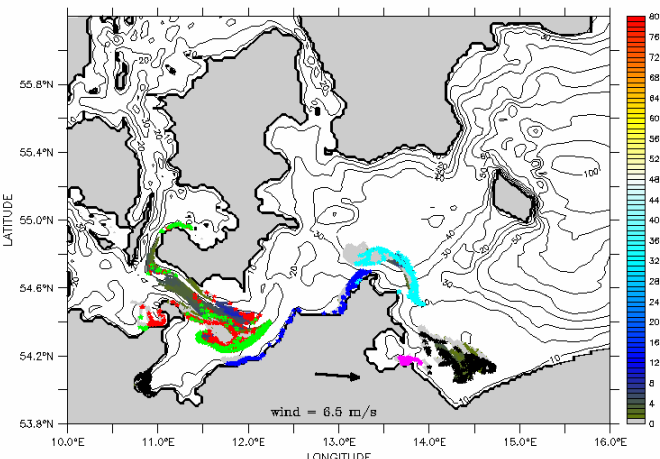
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 01–JUL–1900 12:00



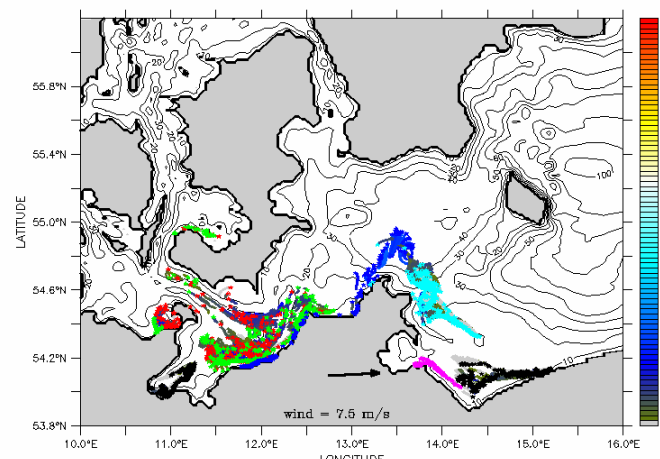
Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 04–JUL–1900 00:00

SIBIK Windexperiment EESWW

SIBIK Windexperiment EESWW



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 06–JUL–1900 00:00



Starttiefe 0–2 m / Driftverteilung am 10–JUL–1900 00:00

EESWW (Bilder 22, 32, 40, 56)

Oder,

E nach NW entlang Usedom

W zurück nach SE an polnische Küste

Peene,

E in Gr. Bodden hinein

W erst geschlossene Wolke vor Peeneündung,
nach 3 Tagen W längs Usedom nach SE

Saßnitz,

W Richtung NW bis östlich Darßer Schwelle

S bei Drehung auf Süd Wirbel auf Darßer

Schwelle

E nach SE Richtung Saßnitz Richtung PB in

offener See

Strelasund,

E nach NW bis Höhe Rerik

W mit Drehung auf Westwind an Küste von

Rerik bis Arkona (Regionen 3, 4 und 6)

Warnow, Kühlungsborn,

E nach W um den Tiefenbereich der MB

S durch Fehmarnbelt bis Gr. Belt

W zurück mit Einstrom bis vor Küste von M-V.

(ca. 10m-Isobathe)

Trave,

E nach W in innere Bucht, am Ende der

Ostlage beginnende Ablösung von Küste

(Region 1)

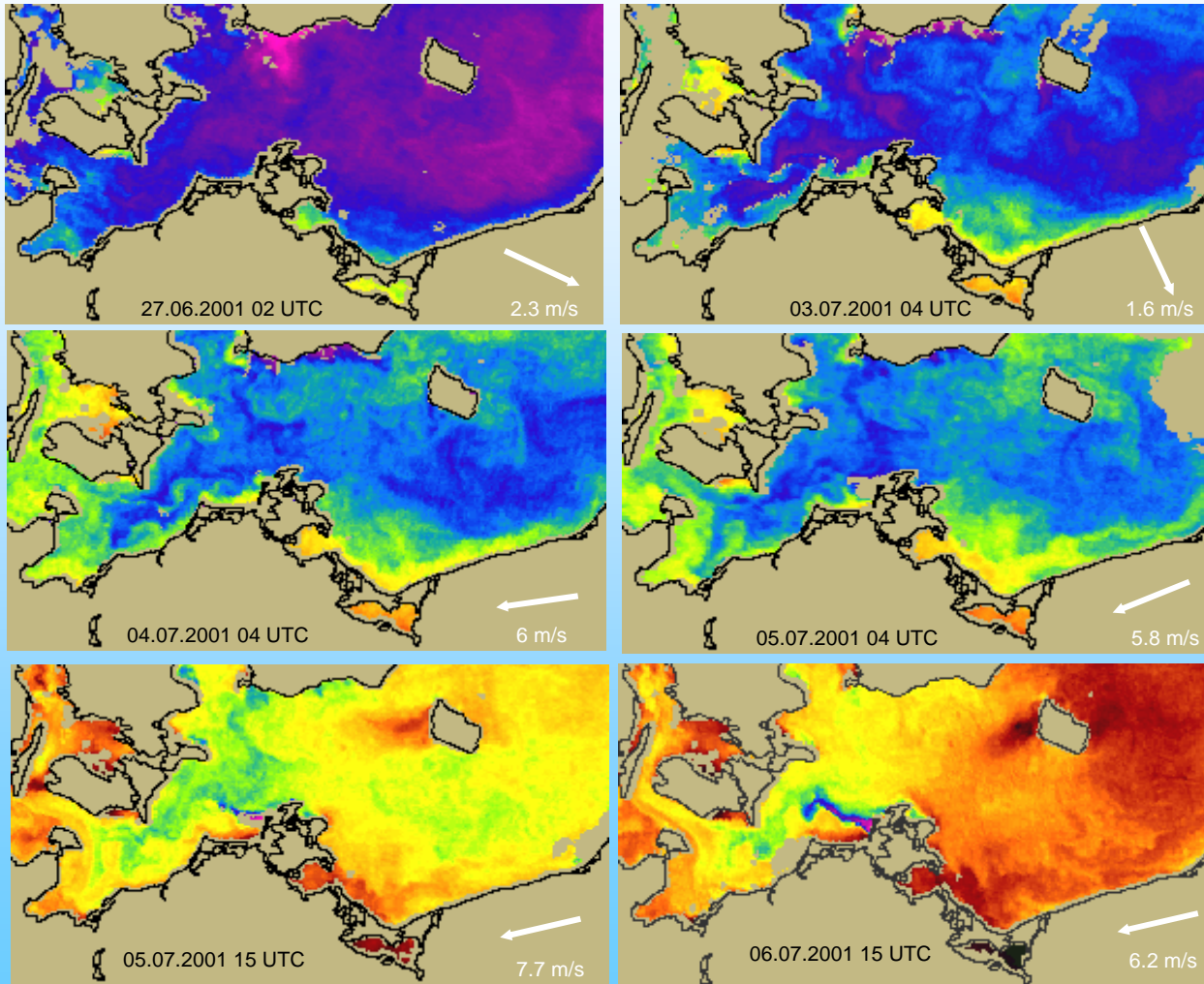
W zurück in innere Bucht, nach 3 Tagen

Westwind Ablösung von Küste und Drift nach

NE

2.2.3 West-Nord-Ost WNE

2.2.3 West-Nord-Ost (WNE)



**Westwindphase im Juni, Anfang
 Juli 2001, Übergang Nord nach Ost**

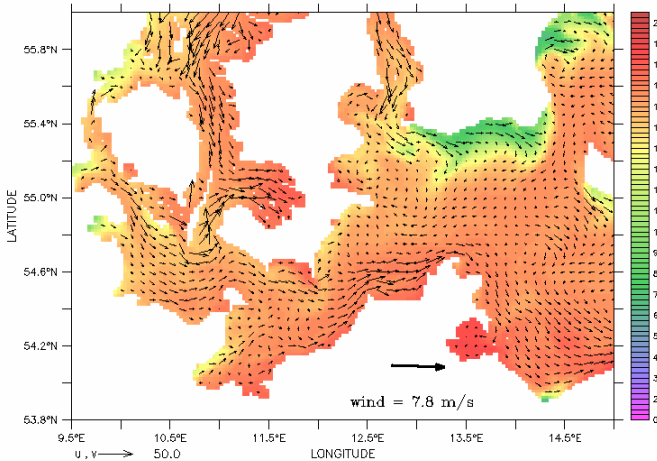




Temperatur, Strömung

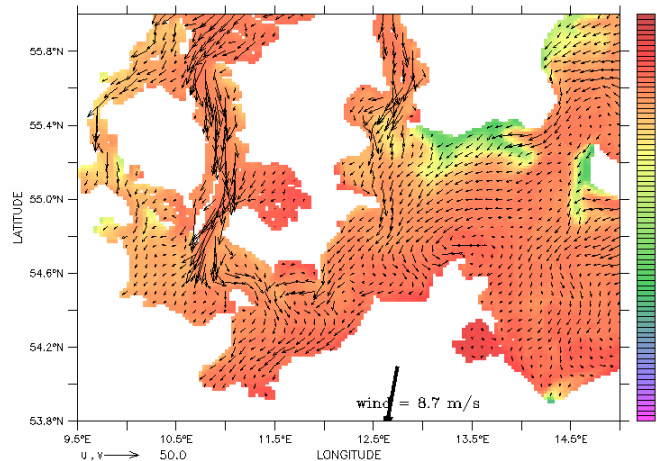
12, 24, 39, 56

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 28-JUN-1900 23:58
DATA SET: bsea_WNE.nc



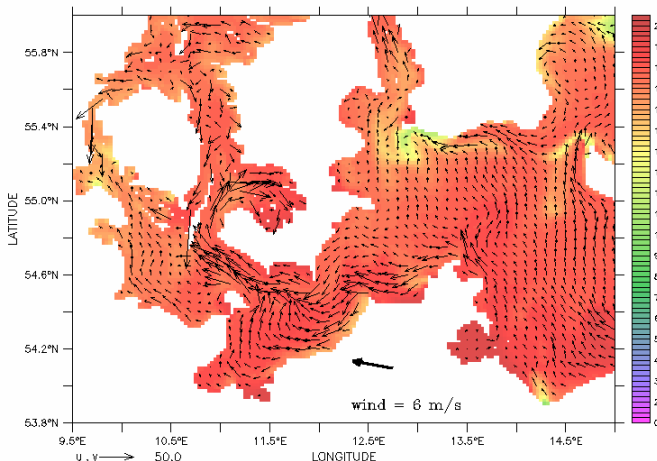
potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 01-JUL-1900 23:58
DATA SET: bsea_WNE.nc



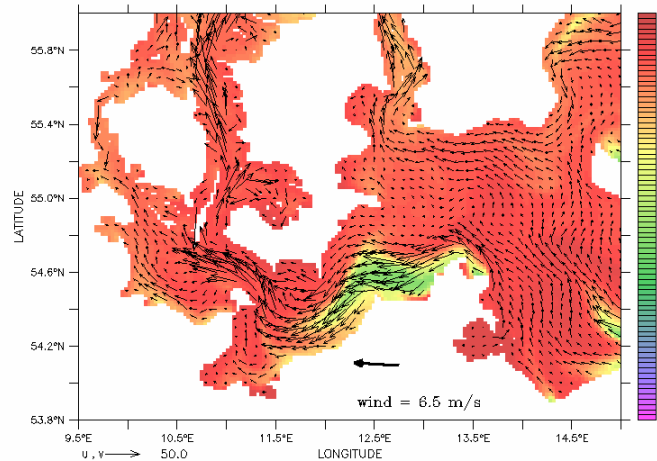
potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 05-JUL-1900 17:58
DATA SET: bsea_WNE.nc



potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 09-JUL-1900 23:58
DATA SET: bsea_WNE.nc



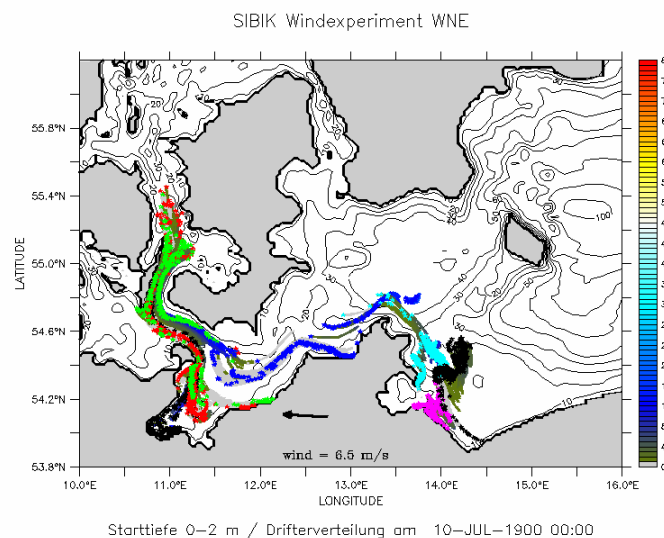
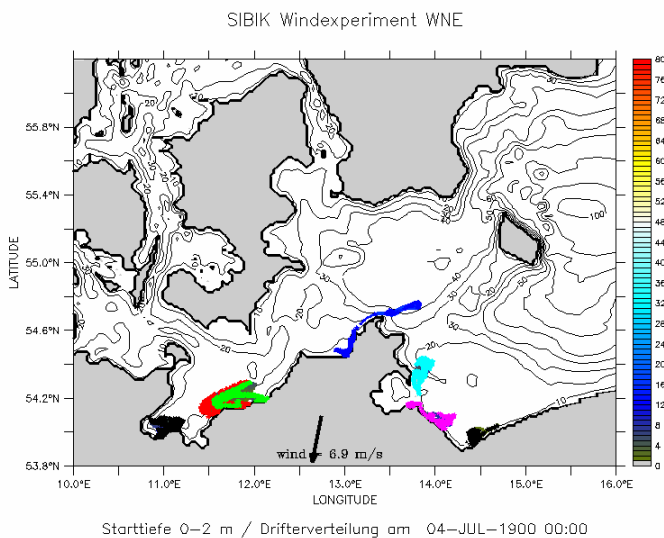
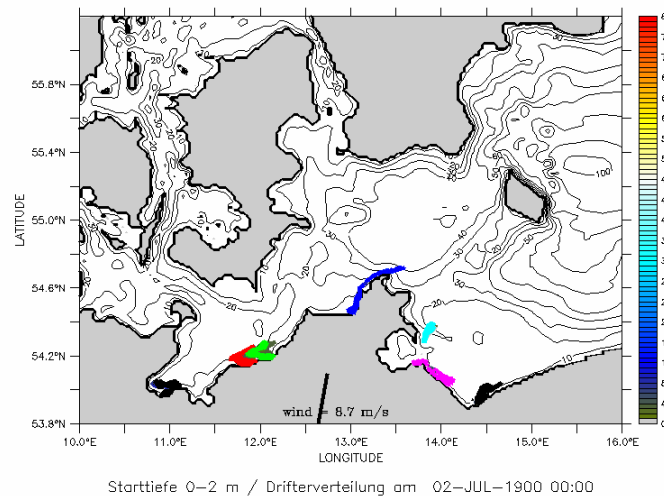
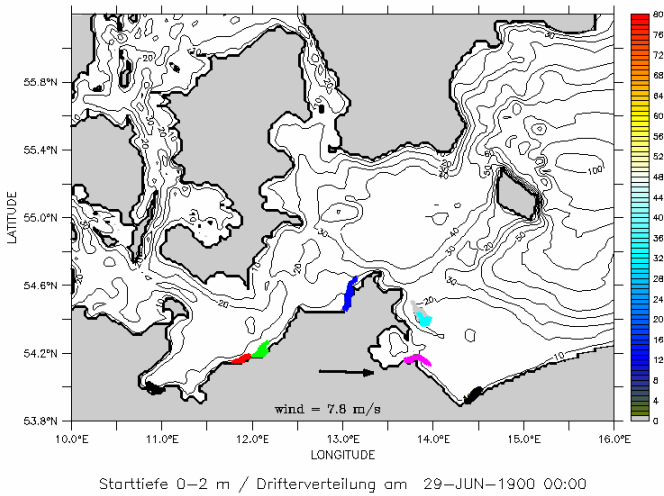
potential temperature (deg C)



2.2.3 West-Nord-Ost (WNE)

Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment WNE



WNE (Bilder 12, 24, 32, 56)

Oder,

W an Küste nach NE (Region 10)
 N geschlossene Wolke die kaum verdriftet
 E vollständige Ablösung nach N

Peene,

W längs Usedom nach SE
 N treibt an die Küste von Usedom (Region 9)
 E südlicher Teile nach N

Saßnitz,

W nach SE in offene See
 N treibt in Richtung Küste
 E erreicht Küste von Mönchgut (Region 7), dann Drift nach Norden

Strelasund,

W entlang Küste von Hiddensee bis Arkona (Region 6)

N teilweise Ablösung bei Arkona in Richtung NE
 E weitgehende Ablösung von Küste und Drift mit dem Ausstromband nach W

Warnow, Kühlungsborn

W an Küste nach E (Region 3)
 N beginnende Ablösung von Küste und Ekmandrift nach W
 E überwiegende Ablösung und starke Verdriftung im Ausstrom bis in Großen Belt

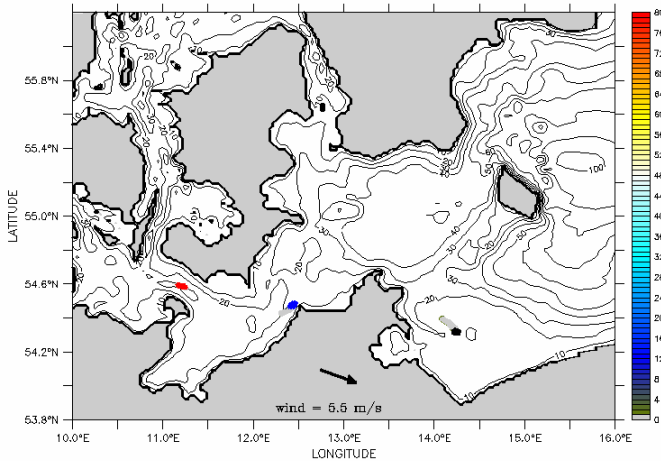
Trave,

W bleibt als geschlossene Wolken liegen
 N nach W in offene Lübecker Bucht
 E ca. Hälfte der Drifter in innere Bucht, restliche mit Ausstrom nach N bis Gr. Belt



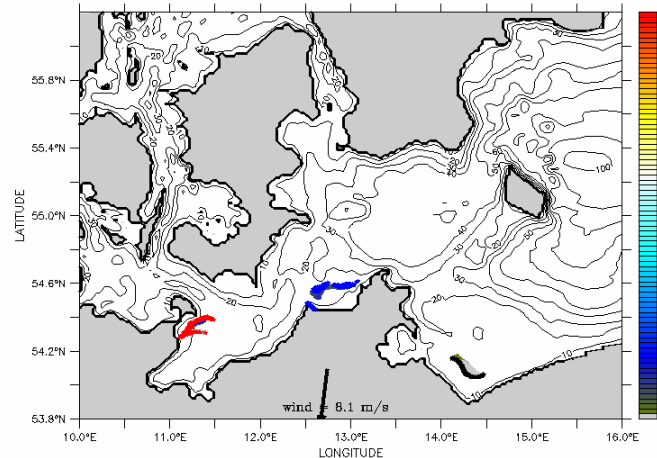
Drifter offene See

SIBIK Windexperiment WNE



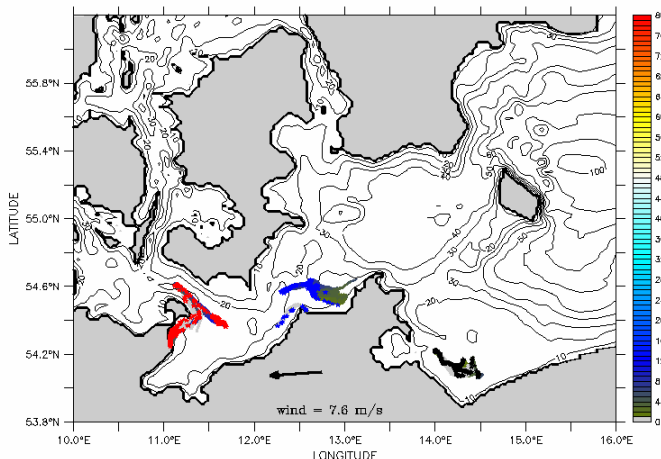
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 28-JUN-1900 00:00

SIBIK Windexperiment WNE



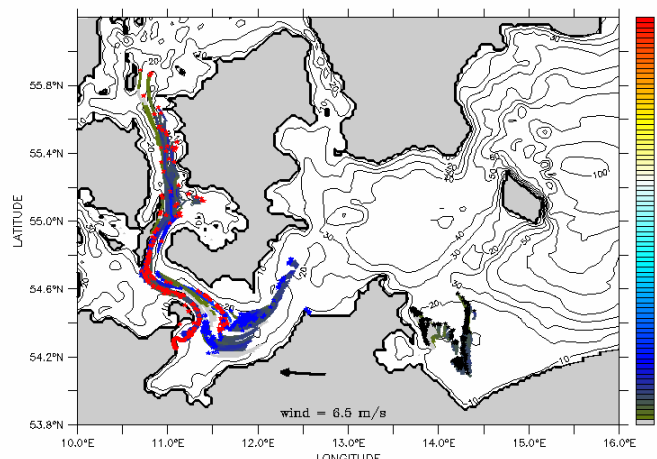
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 03-JUL-1900 12:00

SIBIK Windexperiment WNE



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 06-JUL-1900 00:00

SIBIK Windexperiment WNE



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

WNE (Bilder 8, 30, 40, 56)

Fehmarnbelt

W nach 3 Tagen Westwind nur schwach nach SE verdriftet
N Ekmandrift an die Küste südlich Fehmarn

E Wirbel südlich Fehmarn dann mit Auström in den Gr. Belt

Kadettrinne

W als geschlossene Wolke bis vor Darßer Ort
N ein Teil an die Küste gedrückt

(Region 5), ca. 3/4 als gestreckte Wolke nach NE

E im Ausstromband verteilt bis in Mecklenburger Bucht, auch Teilchen vor Darßer Ort lösen sich wieder ab

Saßnitzrinne

W als geschlossene Wolke nach SE in Pommernbucht

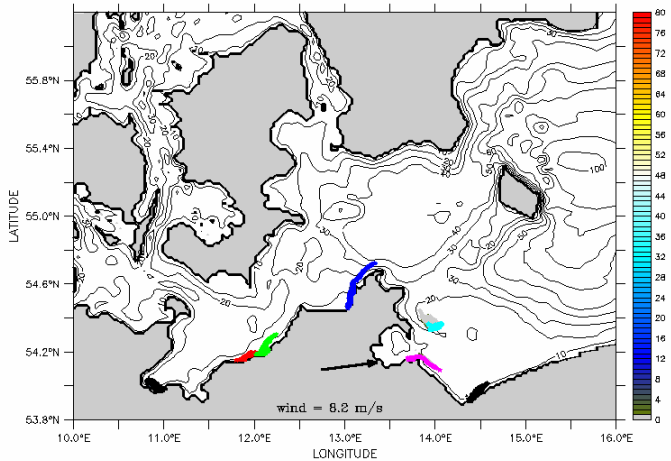
N Auseinanderziehen und Versetzen in Richtung Usedom

E Ekmandrift nach N, weitere Dispersion



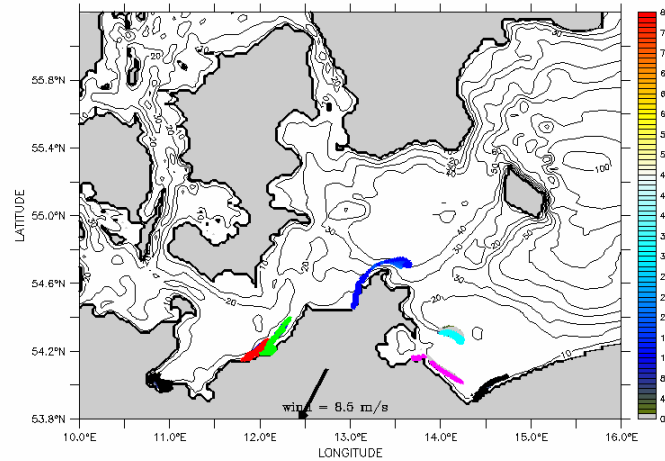
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment WWNEE



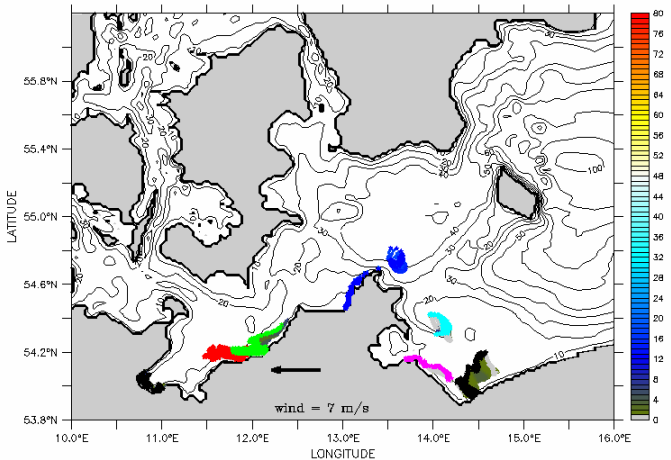
Starttiefe 0–2 m / Driferverteilung am 30–JUN–1900 00:00

SIBIK Windexperiment WWNEE



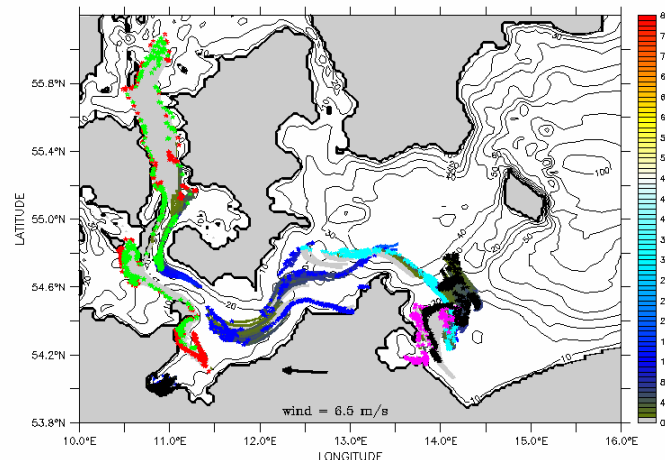
Starttiefe 0–2 m / Driferverteilung am 02–JUL–1900 00:00

SIBIK Windexperiment WWNEE



Starttiefe 0–2 m / Driferverteilung am 04–JUL–1900 00:00

SIBIK Windexperiment WWNEE



Starttiefe 0–2 m / Driferverteilung am 10–JUL–1900 00:00

WWNEE (Bilder 16, 24, 32, 56)

Oder,

W nach E längs Ostküste Usedom (Region 10), bei Windwechsel keine Drift

E vollständig nach NW in offene See

Peene,

W langsam nach SE, kurzer Windwechsel ohne Effekt

E südliche Drifter nach N bis an Küste

Mönchgut (Region), aus Peenemündung in Gr. Bodden

Saßnitz,

W nach SE in offener See

E nach 2 Tagen Ostwind starke Drift nach NW bis Darßer Schwelle

Strelasund,

W Ausbreitung an Küste Hiddensee (Region 6), Ablösung Höhe Dornbusch

E nördlichen Teile lösen sich nach W,

Südteil wie typische Ostfahne

Warnow, Kühlungsborn

W an Küste (Region 3) langsam nach E, nach 4 Tagen beginnende Ablösung nach NE

E nach 4 Tagen Ostwind vollständige Ablösung und starke Verdriftung bis ins südliche Kattegatt

Trave,

W nach NW in innerer Lübecker Bucht

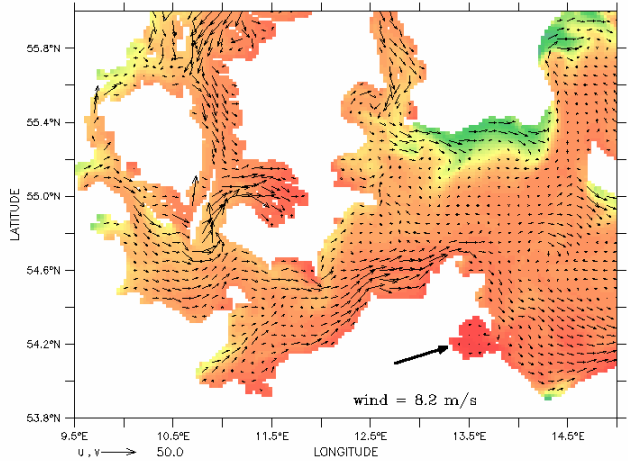
E leichte Drift nach NE, bleibt aber innerhalb der Bucht

2.2.4 West-Süd-Ost WSE



DEPTH (m) : 1.5
TIME : 28-JUN-1900 23:58

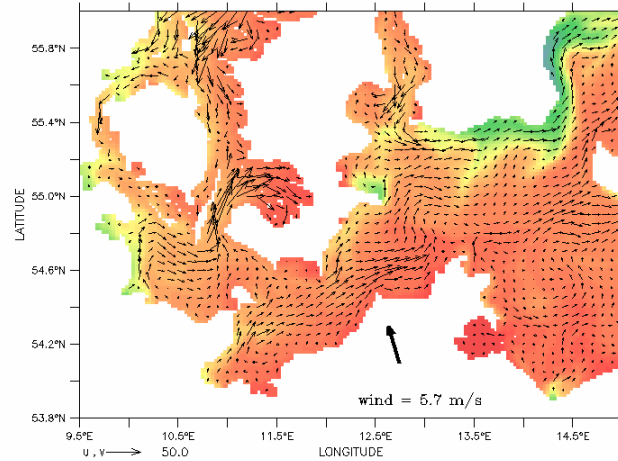
DATA SET: bsea_WSE.nc



potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 01-JUL-1900 23:58

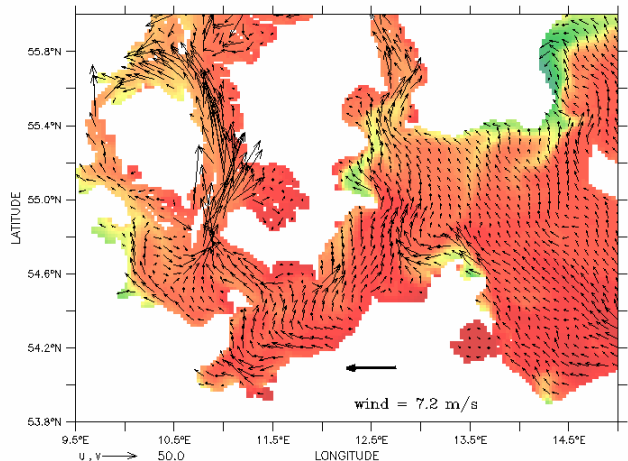
DATA SET: bsea_WSE.nc



potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 05-JUL-1900 11:58

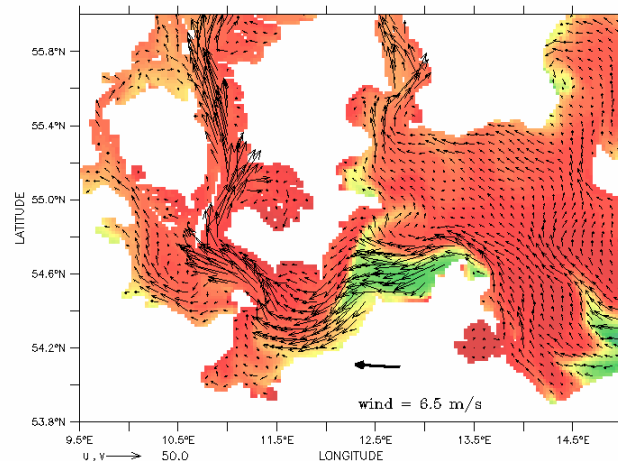
DATA SET: bsea_WSE.nc



potential temperature (deg C)

DEPTH (m) : 1.5
TIME : 09-JUL-1900 23:58

DATA SET: bsea_WSE.nc



potential temperature (deg C)

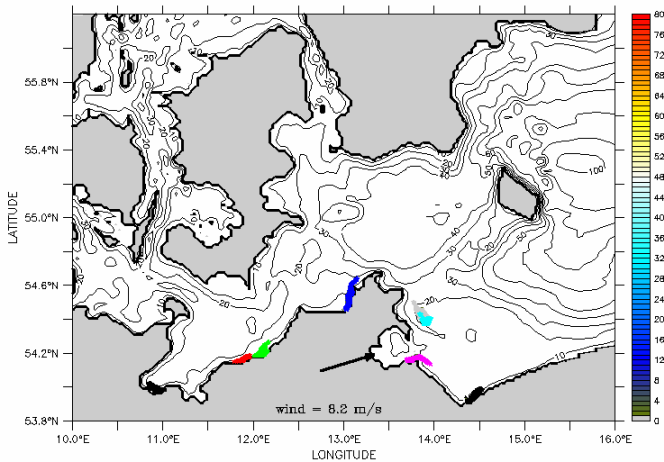
Temperatur, Strömung

12, 24, 38,56



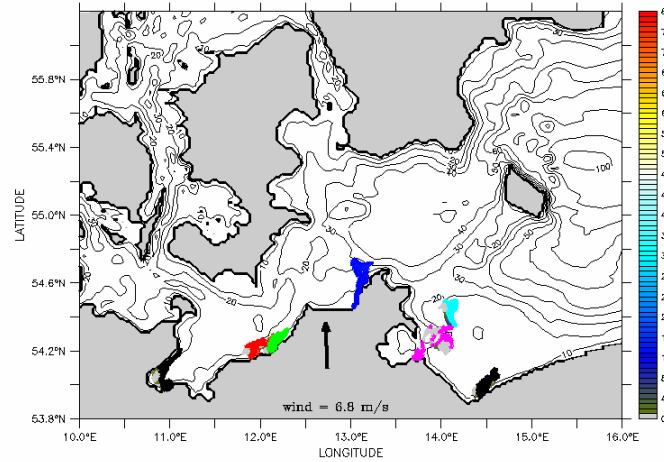
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment WSE



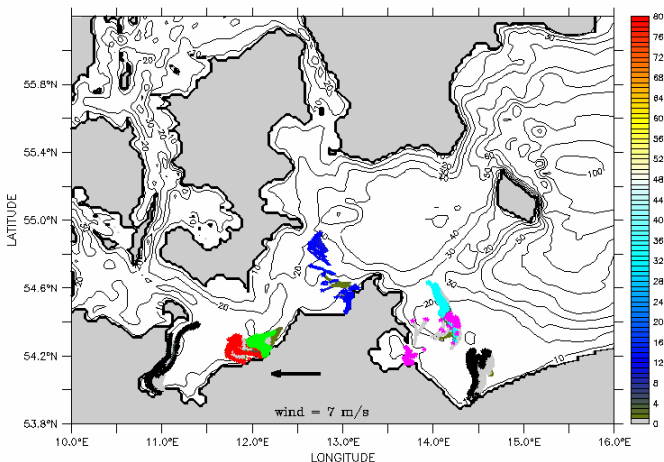
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 29-JUN-1900 00:00

SIBIK Windexperiment WSE



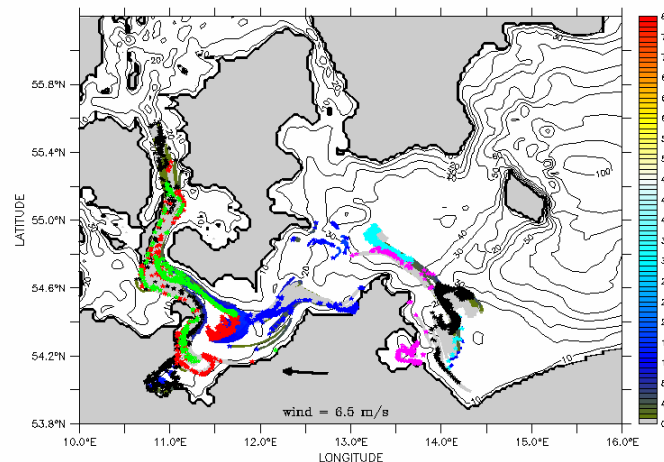
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 02-JUL-1900 12:00

SIBIK Windexperiment WSE



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 05-JUL-1900 00:00

SIBIK Windexperiment WSE



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

WSE (Bilder 12, 26, 36, 56)

Oder,

W nach E an Ostküste Usedom (Region 10)

S Ablösung nach N

E vollständige Ablösung, Drift nach NW

Peene,

W nach SE vor Usedom

S Drifter vor Usedom treiben nach NE, Wolke vor Peenemündung stagniert

E abgelöste Wolke nach NW in Arkonasee, Drifter aus Peene in den GB bis Südpard

Saßnitz,

W nach SE

S schwache Drift nach N

E nach NW bis vor Darßer Schwelle

Strelasund,

W längs Hiddensee (Region 6)

S teils Ablösung Richtung N,

E Drifter vor Hiddensee ins Ausstromband nach W, nördliche Drifter in Wirbel südlich vom Moen

Warnow, Kühlungsborn

W langsam an Küste (Region 3) nach E,

S als geschlossene Wolke nach N

E Ablösung nach W, Aufspaltung in 3 Gruppen (vor Fehmarn, im Austrom in Großen Belt, Wirbel in westlicher Mecklenburger Bucht)

Trave,

W langsame Drift an Küste nach NW

S Ekmandrift nach E in offene Bucht

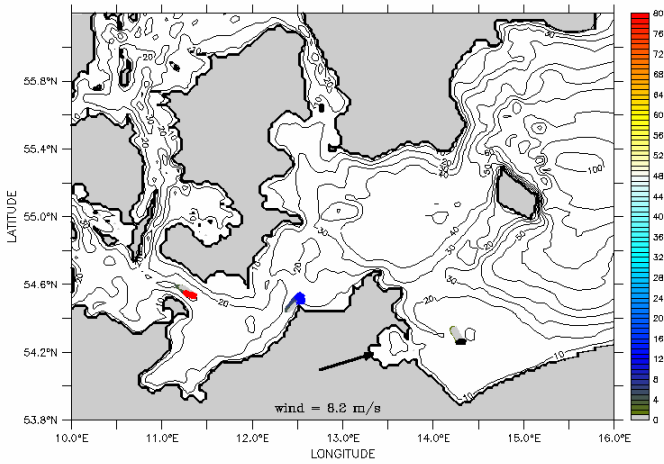
E Aufspaltung in 2 ca. gleiche Gruppen, eine an die gesamte Küste von Holstein (Region 1), die andere mit Ausstrom bis weit in Großen Belt



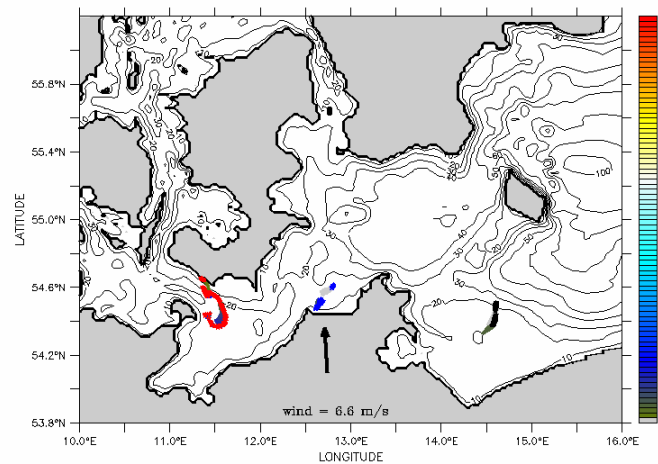
Drifter offene See

SIBIK Windexperiment WSE

SIBIK Windexperiment WSE



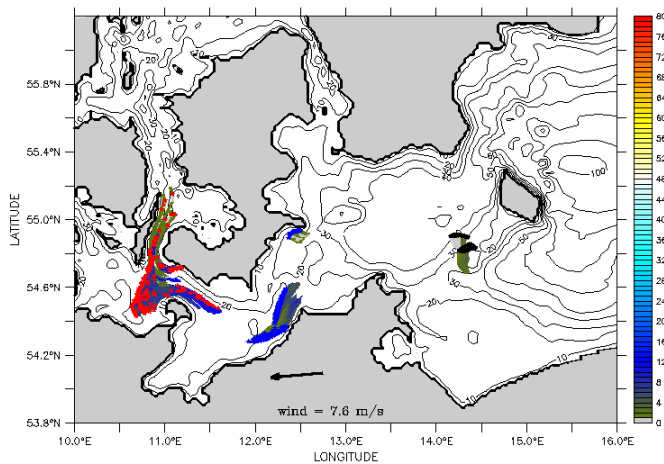
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 29-JUN-1900 00:00



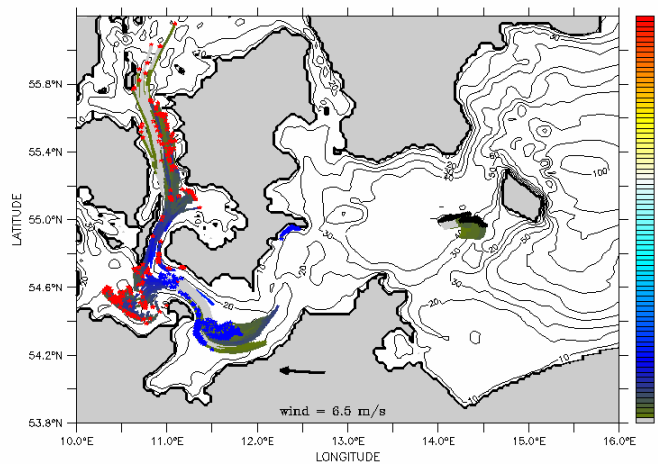
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 03-JUL-1900 00:00

SIBIK Windexperiment WSE

SIBIK Windexperiment WSE



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 08-JUL-1900 00:00



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

WSE (Bilder 12, 28, 48, 56)

Fehmarnbelt

W nach 3 Tagen Westwind nur schwach nach SE verdriftet
 S ringförmiges Auseinanderziehen vor Fehmarn und Lolland
 E alle Drifter vom Ausstrom erfasst (in Gr. Belt), ca. die Hälfte strömt westlich Fehmarn in die Kieler Bucht (Ausstromband zum Kleinen Belt)

Kadettrinne

W Wolke bis vor Darßer Ort
 S Südwind verhindert Kontakt mit Küste, Teile bleiben vor Darßer Ort liegen, Abspaltung einer kleinen Wolke, die nach N verdriftet
 E Wolke vor Darßer Ort geht mit Ausstrom längs Fischland, durch südliche Meckl. Bucht bis Fehmarnbelt, nördliche Wolke erreicht nach 3 Tagen Ostküste von Moen

Saßnitzrinne

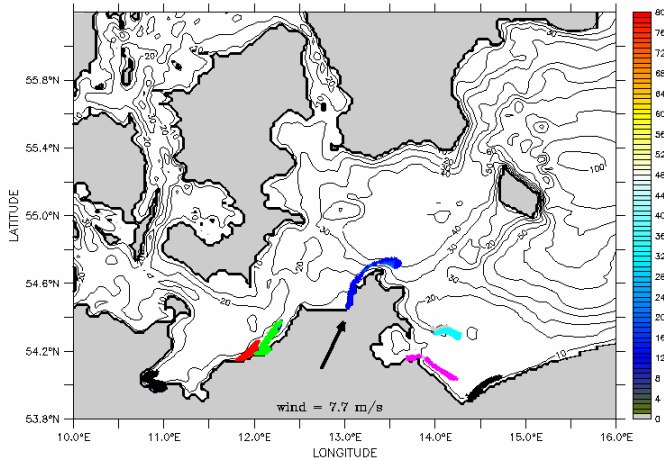
W als Wolke nach SE bis Höhe Oderbank
 S nach NE
 E nach NW nördliche Arkonasee



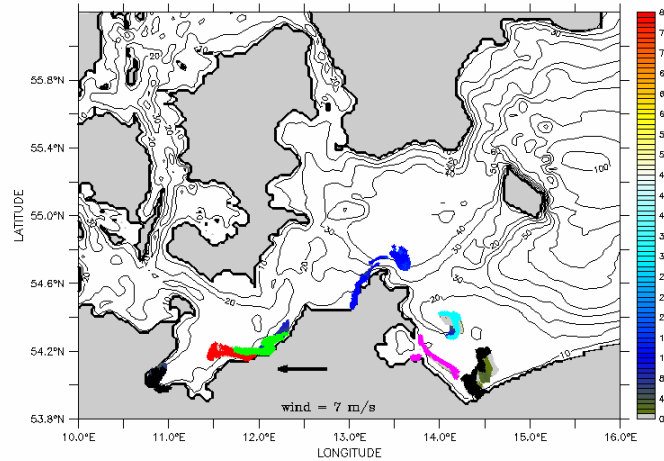
Drifter Küstenquellen

SIBIK Windexperiment WWSEE

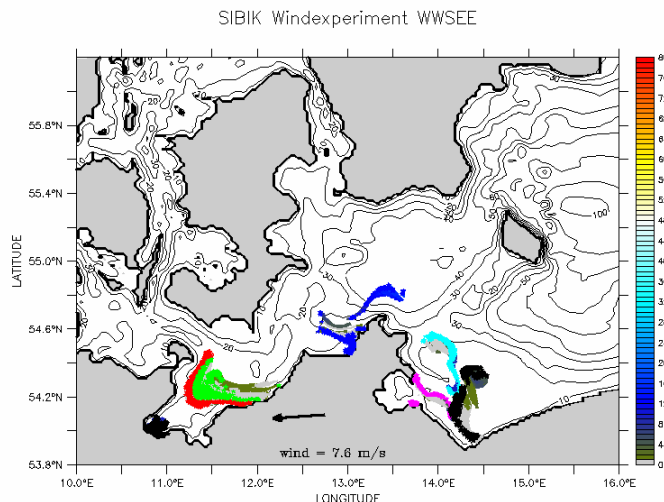
SIBIK Windexperiment WWSEE



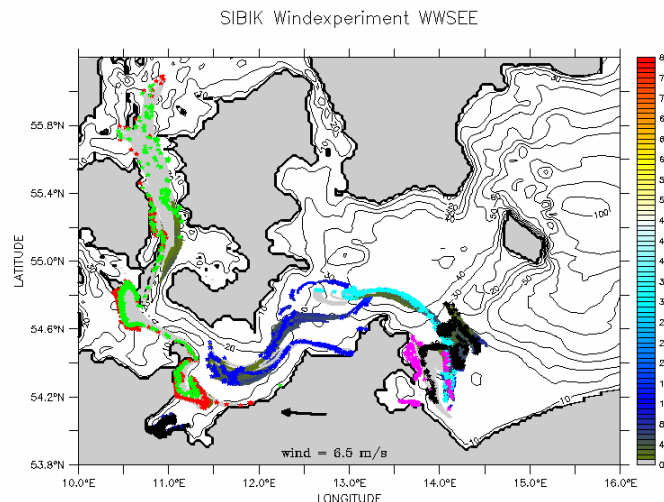
Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 01-JUL-1900 18:00



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 04-JUL-1900 00:00



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 06-JUL-1900 00:00



Starttiefe 0-2 m / Driftverteilung am 10-JUL-1900 00:00

WWSEE (Bilder 23, 32, 40, 56)

Oder.

W langsam längs Ostusedom nach NE (Region 10), Stagnation bei Windwechsel
E Drift nach NE, nach 3.5 Tagen vollständige Ablösung von der Küste

Peene.

W vor Usedom nach SE, mit Windwechsel Abtrennung von Peenewolke
E Drifter aus Peene in den Gr. B, abgespaltene nach NE, teilweise an Küste Ostrügen (Reg. 7)

Saßnitz.

W geschlossene Wolke nach SE in offene See
E Großteil nach NW, einige nach S

Strelasund.

W entlang Hiddensee (Region 6) über Arkona hinaus, Stagnation bei Windwechsel
E Abspaltung der nördlichen Drifter, beide Gruppen gehen mit Ausstrom nach W, nördlichste Teilchen wieder vom Wirbel vor Moen erfasst

Warnow, Kühlungsborn

W geschlossene Wolken an Küste (Region 3) langsam nach NE, beginnende Ablösung
E Ablösung nach W, nur ca. ein Drittel der Drifter rezirkuliert in südwestl. Meckl. Bucht, andere mit Ausstrom bis südliches Kattegatt,

Trave.

W langsame Drift an Küste nach NW
E anfangs bis an holsteinsche Küste (Region 1), am Ende der Ostwindlage wieder Ablösung nach NE

3. Dynamische Muster im Oderhaff



3. Dynamische Muster im Oderhaff

3. Dynamische Muster im Oderhaff

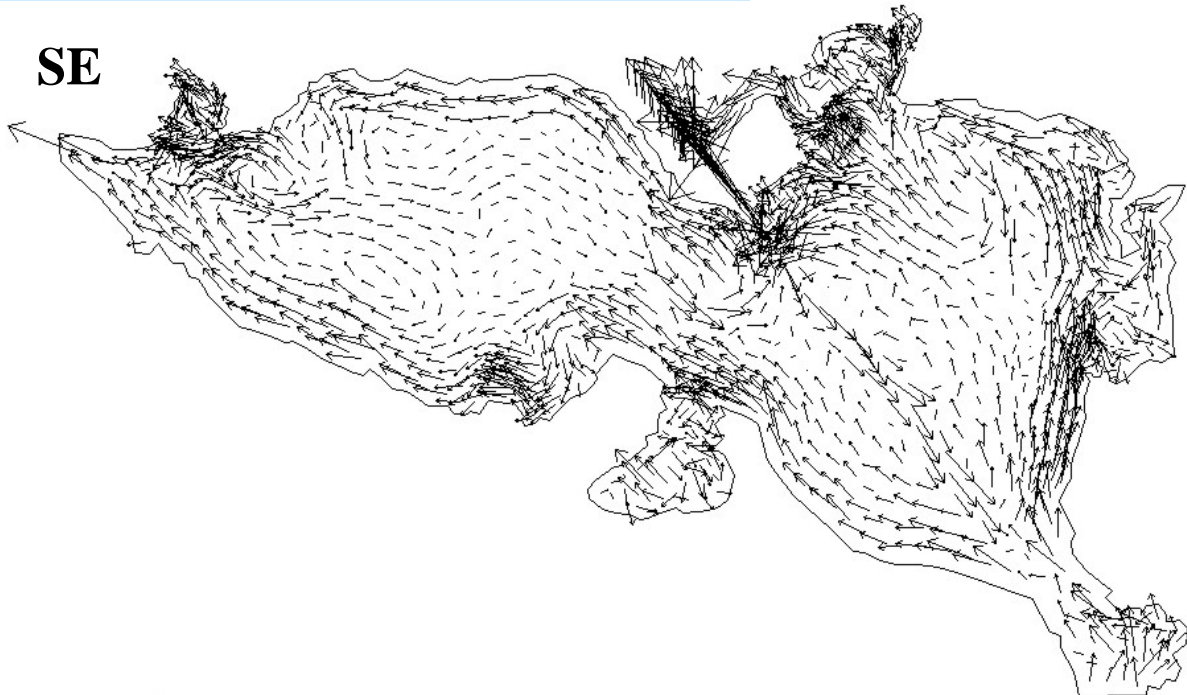
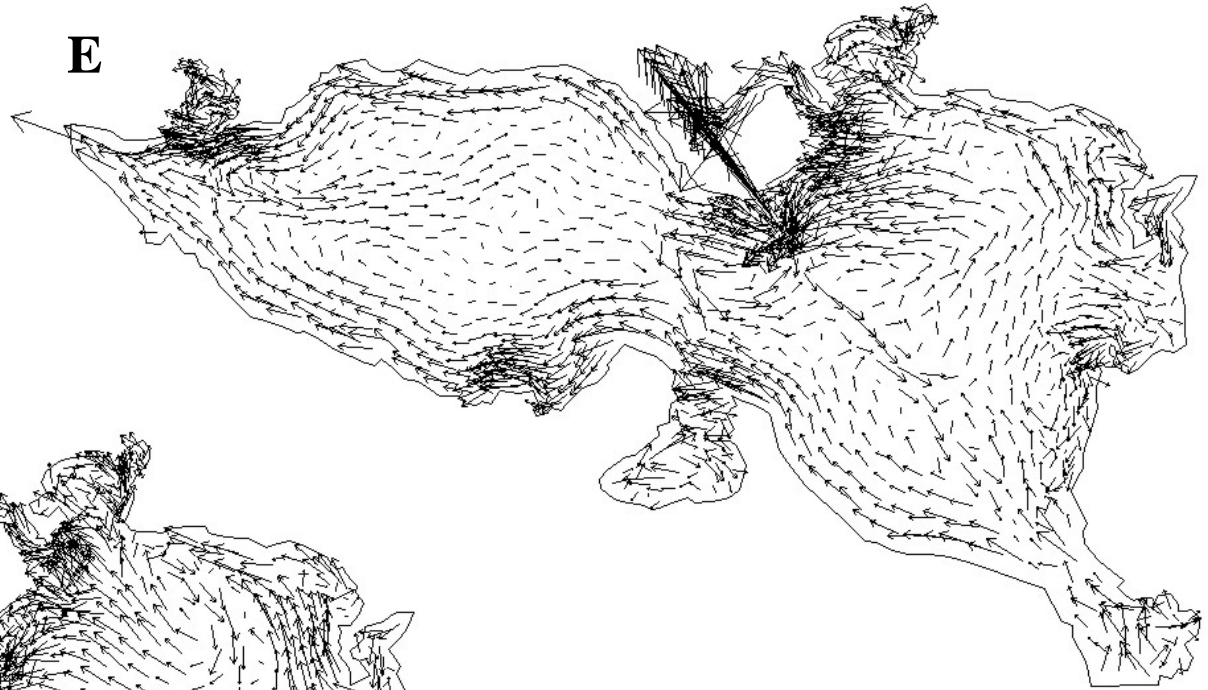
3.1 Typisches Strömungsmuster für Nord und Nordost Wind (4 m/s)



Velocity scale: 5 cm/s

3. Dynamische Muster im Oderhaff

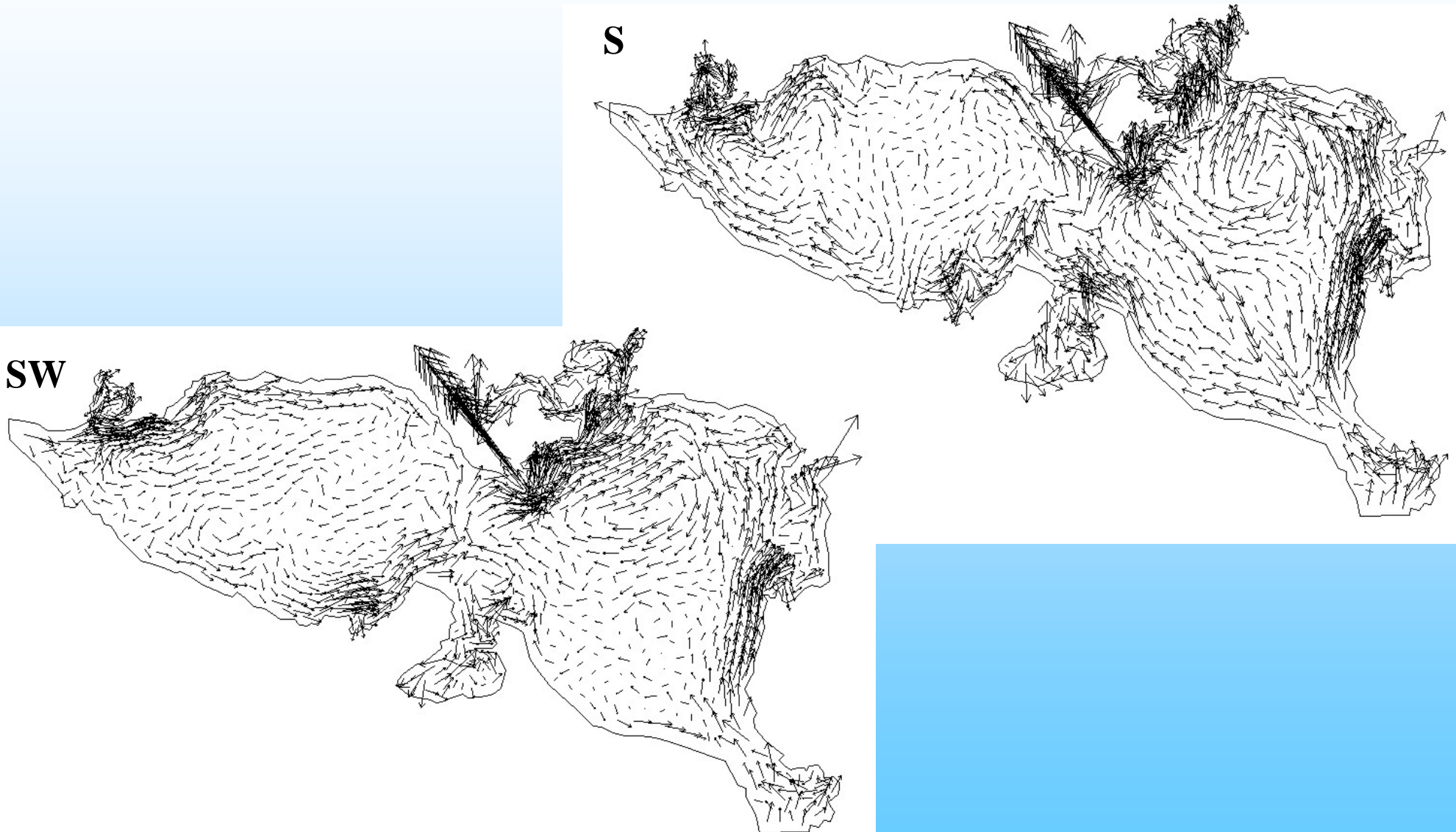
3.1 Typisches Strömungsmuster für Ost und Südost Wind (4 m/s)



Velocity scale: 5 cm/s

3. Dynamische Muster im Oderhaff

3.1 Typisches Strömungsmuster für Süd und Südwest Wind (4 m/s)

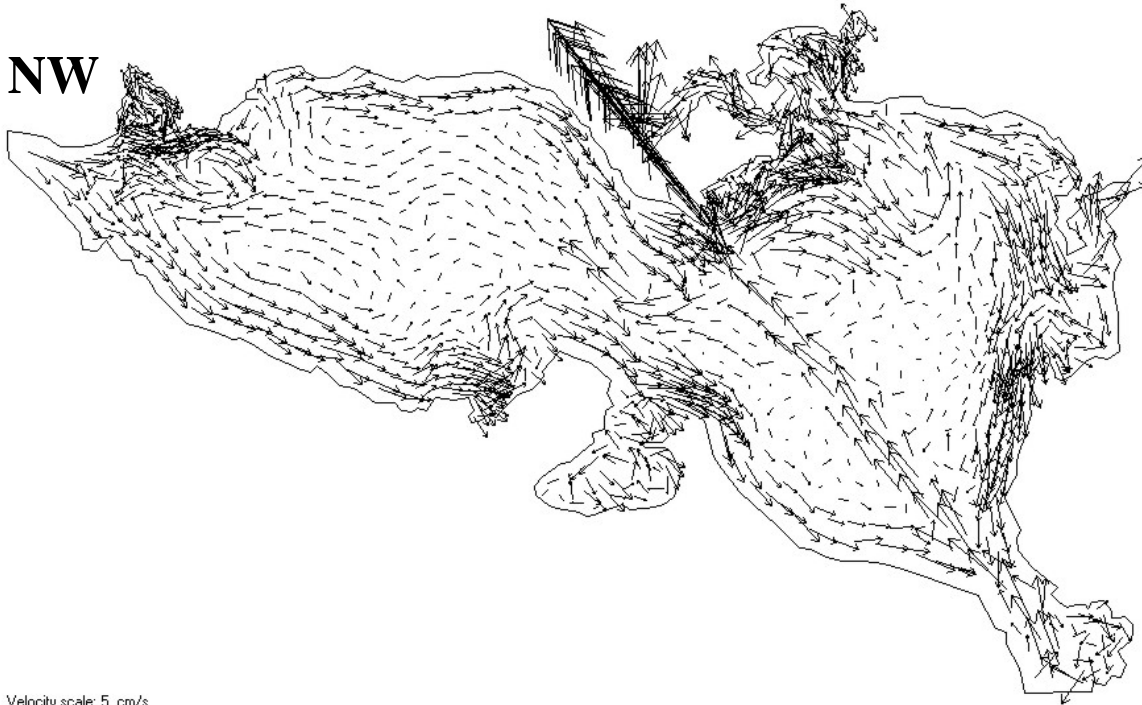
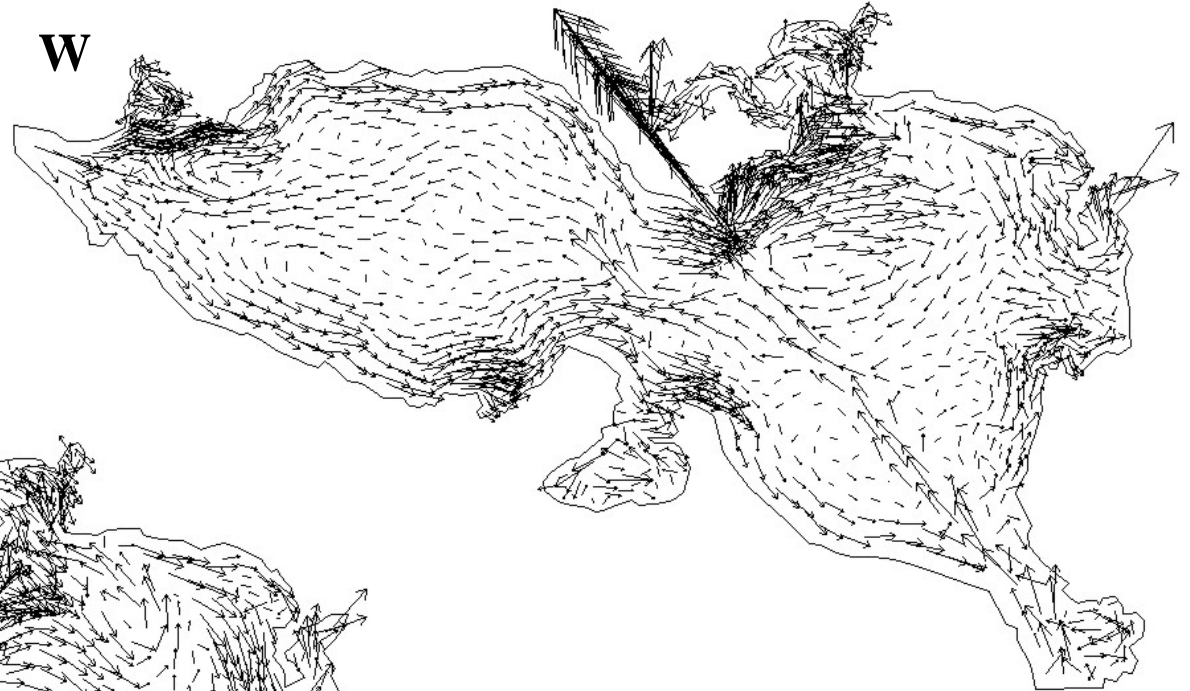


Velocity scale: 5 cm/s

3. Dynamische Muster im Oderhaff



3.1 Typisches Strömungsmuster für West und Nordwest Wind (4 m/s)



Velocity scale: 5 cm/s

3. Dynamische Muster im Oderhaff



3.1 Typisches Strömungsmuster für West und Nordwest Wind (4 m/s)

Das Strömungsfeld zeigt ein typisches Muster mit relativ hohen vertikal gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten analog zur Windrichtung. In zentralen Bereichen zeigt sich im Mittel eine Kompensationsströmung gegen den Wind. Dies ist ein Mittelungseffekt, der aus einer dem Wind folgenden Oberflächenströmung und einer starken Gegenströmung nahe dem Gewässergrund resultiert.

Unmittelbar an der Küste bilden sich zahlreiche kleine und relativ instabile Wirbel, die einen Austausch zwischen Schilfgürtel und Freiwasser begünstigen, sich in den Simulationen aufgrund der räumlichen Auflösung aber nicht abbilden.

Im Haff zeigen sich an zahlreichen Stellen große horizontale Wirbel, die als Fallen für driftendes Material, wie Phytoplankton, wirken können und räumliche Heterogenitäten der Stoffkonzentrationen begünstigen.

Die großen Wirbel bleiben auch bei Windrichtungswechseln erhalten und ändern lediglich ihre Form und Lage. Sind also persistent und begünstigen dadurch anhaltende räumliche Heterogenitäten der Stoff- und Organismenverteilungen. Monitoringstationen sollten nicht in diesen Wirbeln liegen.

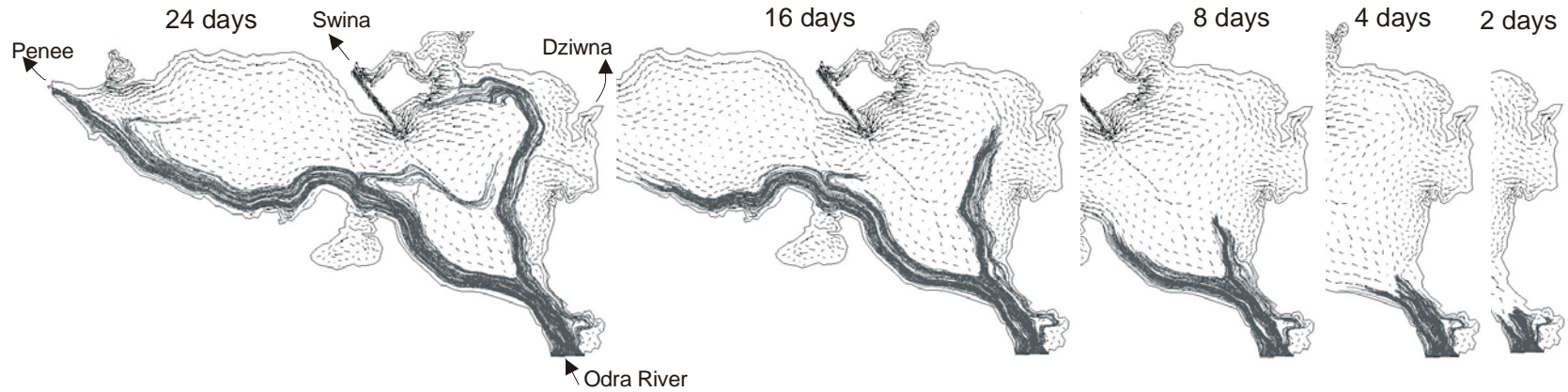
Der Transport von Oderwasser direkt in die Ostsee wird durch nördliche und südwestliche Winde begünstigt. Speziell bei südlichen und westlichen Winden erreichen weitaus größere Oderwassermengen das Kleine Haff.

Die Wind- und Strömungssituation hat somit erhebliche Bedeutung für die während des Monitorings gemessenen Konzentrationen und muss bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden.

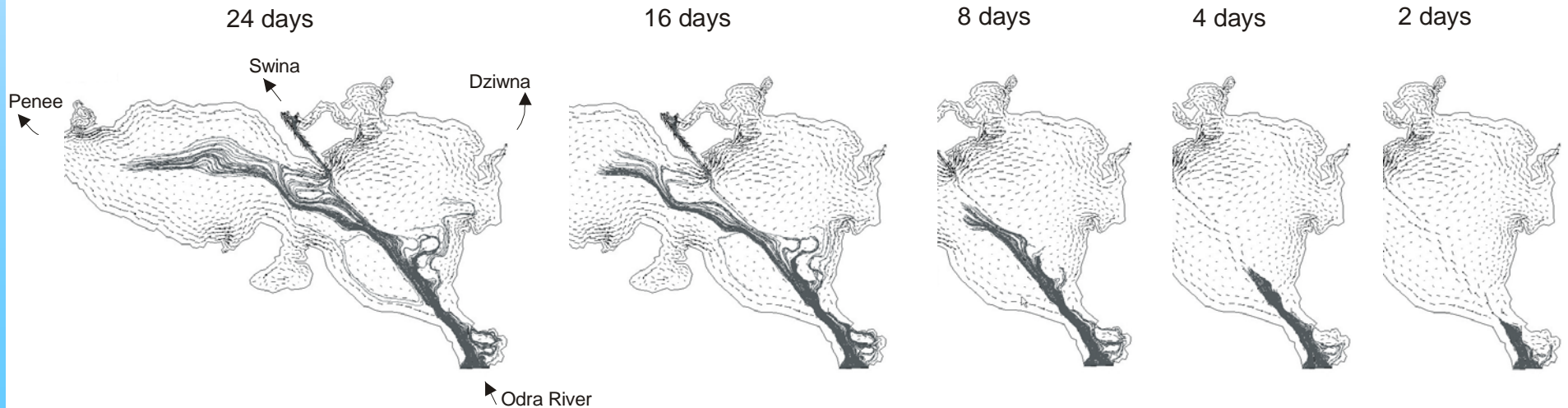
3.2 Partikeltransport im Oderhaff

3.2 Partikeltransport im Oderhaff bei Ost- und Westwind

East Wind

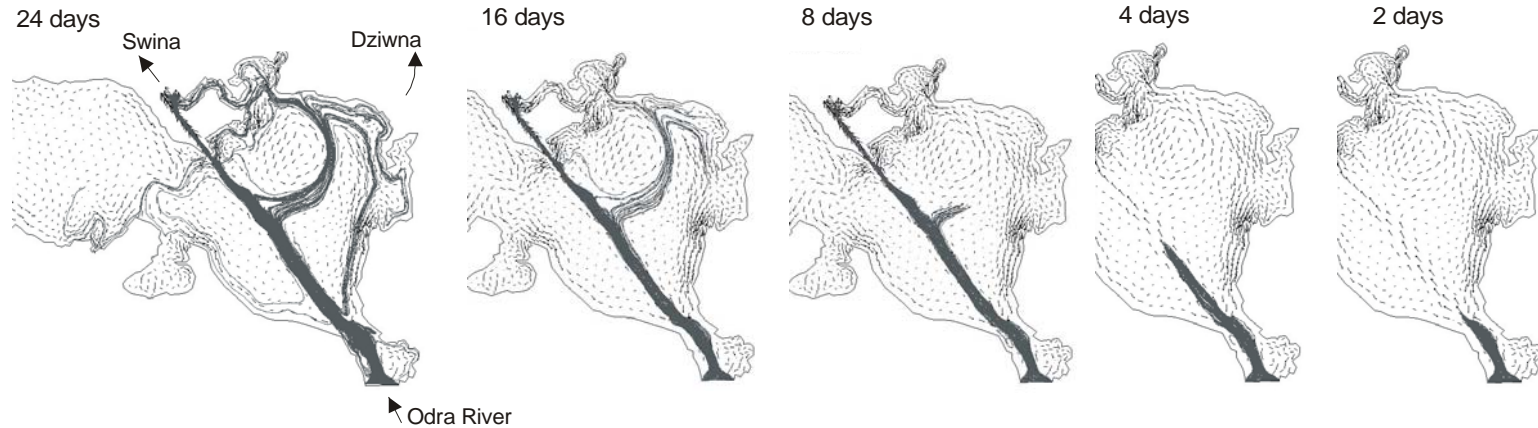


West Wind

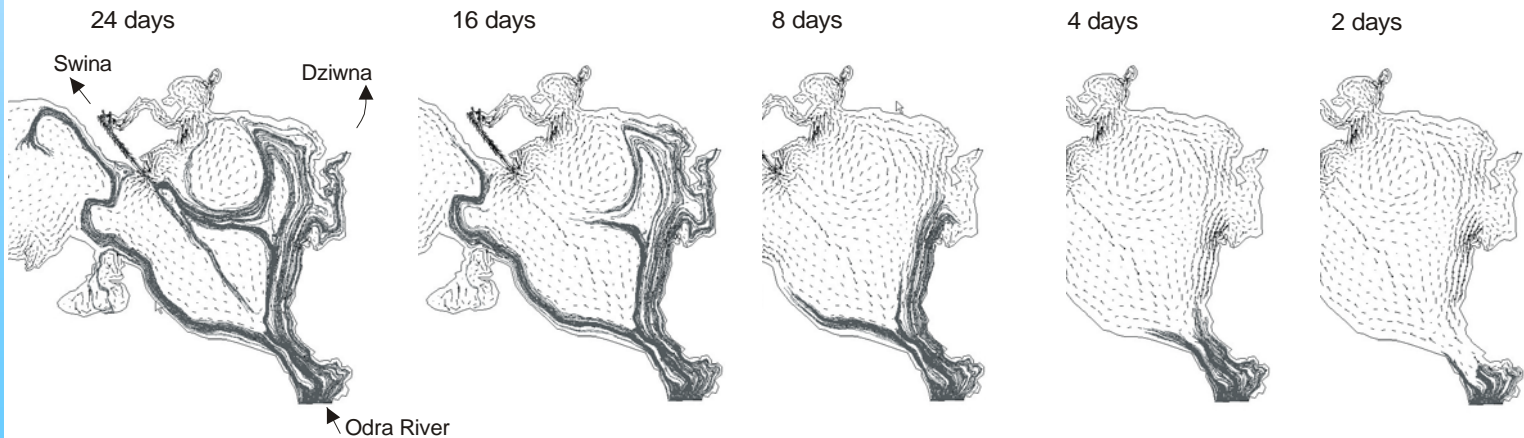


3.2 Partikeltransport im Oderhaff bei Nord- und Südwind

North Wind



South Wind



- Ostwind:** Der Partikeleintrag durch die Oder spaltet sich unmittelbar im Mündungsbereich in zwei Transportbänder. Der Haupttransport erfolgt entlang der Südküste bis ins Kleine Haff. In Bereich des Übergangsbereiches spaltet sich ein Zweig ab, der zurück ins Große Haff transportiert wird. Das zweite Band propagiert in Richtung Zentrum des Großen Haffs
- Westwind:** Die Partikel werden zentral in einem schmalen Band entlang der Fahrrinne und dann weiter in das zentrale Kleine Haff mit dem Gegenstrom transportiert
- Nordwind:** Die Partikel breiten sich im engen Band wieder zentral mit dem Gegenstrom entlang der Fahrrinne aus und verlassen teilweise direkt durch den Swine Kanal das Haff. Ein Zweig spaltet sich im zentralen Teil des großen Haffs ab und wird nach NE entlang der Bodentopographie transportiert. An der Küste spaltet sich das Band in zwei Teile auf. Der erste Teil strömt entlang der Nordküste und verlässt über die Swine das Haff. Der zweite propagiert entlang der Küste nach Süden in Richtung Odermündung.
- Südwind:** Durch den zentralen Gegenstrom teilen sich die Partikel bereits im Mündungsgebiet auf und propagieren entlang der Küsten nach Norden und nach Westen. Nach dem Übergang ins Kleine Haff werden sie durch den nordwärts gerichteten Küstenstrom dort an die Nordküste gedrückt und breiten sich weiter westwärts aus.

- Griffies, S.M., R. C. Pacanowski, M. Schmidt and V. Balaji, "Tracer Conservation with an Explicit Free Surface Method for z-Coordinate Ocean Models", *Monthly Weather Review*, 2001, vol. 129, p. 1081-1098.
- Pacanowski, R. C., and S. M. Griffies, "MOM 3.0 Manual", Technical Report, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton (USA), 2000, 668 pp.
- Pastuszak, M., H. Siegel, S. Sitek, M. Gerth, G. Tschersich, A. Grelowski: Impact of water temperature on nutrient concentrations in the Oder estuary in 1996-1998, *Deutsch. Hydrogr. Z.*, 51, 4, 1999, 423-439.
- Pohl, C., U. Hennings, I. Peterson, H. Siegel: Trace Metal Budget, transport, modification and sink in the transition area between the Oder and Peene rivers and the southern Pomeranian Bight. *Marine pollution Bulletin*, Vol. 36, No 8, 598-616, 1998
- Schernewski, G., V. Podsetchine, H. Siegel, T. Huttula: Instruments for Water Quality Management and Research in Coastal Zones: Flow and Transport Simulations Across Spatial Scales: Period boil, Vol 102, Supplement 1, 2000, 65-75.
- Schernewski, G., T. Neumann, V. Podsetchine and H. Siegel (2001): Spatial impact of the river Oder plume on water quality and seaside summer tourism at the south-western Baltic coast. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 204, 2001, 143-155.
- Schmidt, M., T. Seifert, H. U. Lass and W. Fennel, "Patterns of Salt Propagation in the Southwestern Baltic Sea", *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 1998, Heft 50, Nr. 4, S. 345-364.
- Siegel, H., Gerth, M., Rudloff, R., Tschersich, G., 1994. Dynamical features in the western Baltic Sea investigated by NOAA- AVHRR- Data. *Dt. Hydrogr. Z.*, 3, 191-209.
- Siegel, H., M. Gerth, T. Schmidt: Waterexchange in the Pomeranian Bight investigated by satellite data and shipborne measurements. *Continental Shelf Research*, Vol.16, No.14, 1996, 1793-1817.
- Siegel, H., Matthäus, W., Bruhn, R., Nausch, G., Neumann, Th., Pohl, Chr.: The exceptional Oder flood in summer 1997- Distribution patterns of the Oder discharge in the Pomeranian Bight, *DHZ*, V. 50, N. 2/3, 1998, 145-167
- Siegel, H., and M. Gerth: Distribution Patterns of Oder Discharge in the Pomeranian Bight during the Exceptional Flood in Summer 1997, *Proceedings of Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, San Diego, California, 5-7 October 1998, 481-485, 1998
- Siegel, H., M. Gerth, T. Neumann, R. Doerffer: Case studies on phytoplankton blooms in coastal and open waters of the Baltic Sea using Coastal Zone Colour Scanner data. *Int. J. Rem. Sens.*, Vol. 20, No.7, (1999), 1249-1264

- Siegel, H., M. Gerth and A. Mutzke: Dynamics of the Oder River Plume in the Southern Baltic Sea - Satellite data and Numerical Modelling. *Cont. Shelf Res.*, 18 (1999), 1143-1159.
- Siegel, H., M. Gerth, R. Tiesel and G. Tschersich: Seasonal and interannual variations in satellite derived Sea Surface Temperature of the Baltic Sea in the 1990's, *Deutsch. Hydrogr. Z.*, Vol.. 51(1999), H. 4, 407-422.
- Siegel, H., M. Gerth: The exceptional summer 1997 in the Baltic Sea – The warmest August, the Oder flood, and phytoplankton blooms. In *Satellites, Oceanography and Society*, Ed. D. Halpern, Elsevier Oceanography Series, 2000, 239-254.
- Siegel, H., M. Gerth: Satellite based studies of the 1997 Oder flood event in the Southern Baltic Sea. *Remote Sens. Environ.*, 73:207-217 (2000)
- Siegel, H., M. Gerth, T. Ohde (2002): Remote Sensing Applications in Coastal Zone Management. Schernewski, G. & U. Schiewer (Eds.): *Baltic coastal ecosystems: Structure, function and coastal zone management*. CEEDES Series, Springer Verlag, 279-292.
- Siegel, H. 2002. Anwendung von Satellitendaten in der Ostseeforschung. *DGM-Mitteilungen*, Nr. 2-3/02, 13-17.
- Siegel, H., M. Gerth and T. Ohde (2003). Dynamical features along the German Baltic Sea coast - Contribution to the coastal monitoring. *Proceedings of the Conference "Oceans from Space Venice 2000"*, 9-13 October 2000, Venice (Italy), in press
- Siegel, H., T. Ohde, M. Gerth, 2003: Coastal discharges and phytoplankton blooms in the Baltic Sea investigated using SeaWiFS data. *Deep Sea Research II*, submitted
- Siegel, H., M. Gerth (2003). Development of Sea Surface Temperature in the Baltic Sea in 2002. *HELCOM Indicator Report*, submitted
- Witt, G., Siegel, H.,: The consequences of the Oder flood 1997 on the distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in the Oder River Estuary. *Dt. Hydrogr. Z.*, 1999.

Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Projekt:

SIBIK

Satellitengestütztes

Interpretations- und Bewertungsinstrument

für das

Küstenmonitoring des Landes Mecklenburg-Vorpommern

Schlussbericht

Teil II

Fördereinrichtung: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie MV

Förderkennzeichen: 50 EE 0112

Zuwendungsempfänger: Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW)

Vorhabensbezeichnung: SIBIK

Laufzeit des Vorhabens: 1.6.2001 - 31.5.2003

Redaktion: H. Siegel (Koordinator)

Autoren: H. Siegel, T. Seifert, G. Schernewski, M. Gerth,
T. Ohde, V. Podsetchine, J. Reißmann, I. Tejakusuma

Inhalt

1. ZUSAMMENFASSUNG	4
2. ARBEITSPROGRAMM	4
3. DATENBASIS	6
4. GENERELLE HYDROGRAPHISCHE SITUATION DER WESTLICHEN OSTSEE	7
5. SYSTEMATISIERUNG DER WINDREGISTRIERUNG VON ARKONA	8
5.1 WINDSTATISTIKEN ARKONA 1980-1992.....	8
5.2 WINDSTATISTIK ARKONA 1992-2000.....	8
5.2.1 Datenbasis	8
5.2.2 Ergebnisse	9
5.3 GENERELLE AUSWIRKUNGEN DER DOMINIERENDEN WINDLAGEN.....	11
5.4 WINDGESCHICHTE FÜR SPEZIELLE ZEITPUNKTE	12
6. SYSTEMATISIERUNG DER NOAA- KARTEN DER WASSEROBERFLÄCHENTEMPERATUR .	14
6.1 DATENGRUNDLAGE UND VERFAHRENSWEISE.....	14
6.2 ZUSAMMENFASSUNG DER MERKMALE VON OBERFLÄCHENMUSTERN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WINDRICHTUNG	16
6.2.1 NORD-OST-Wind	16
6.2.2 OST-Wind.....	17
6.2.3 SÜD-OST Wind	18
6.2.4 SÜD-Wind	18
6.2.5 SÜD-WEST-Wind	18
6.2.6 WEST- Wind.....	19
6.2.6 WEST- Wind.....	20
6.2.7 NORD-WEST-Wind	20
6.2.8 NORD-Wind	21
6.3 WINDRICHTUNGSWECHSEL.....	21
6.3.1 Nord nach Ost	21
6.3.2 Ost über Nord nach West	22
6.3.3 Ost über Süd nach West	23
6.3.4 West über Nord nach Ost	23
6.3.4 West über Nord nach Ost	24
7. SATELLITENDATEN HOHER RÄUMLICHER AUFLÖSUNG	25
8. MODELLSIMULATIONEN	27
8.1 DREIDIMENSIONALE MODELLSIMULATIONEN IN DER WESTLICHEN OSTSEE	27
8.1.1 Die Modellkonfiguration.....	27
8.1.2 Die realitätsnahe Simulation ERA40	29
8.1.4 Generelle Ergebnisse der Modellsimulationen.....	32
8.1.5 Vergleich mit Satellitendaten	35
8.2 MODELLSIMULATIONEN IM ODERHAFF.....	36
8.2 MODELLSIMULATIONEN IM ODERHAFF.....	37
8.2.1 Modellkonfiguration und Simulationen	37
8.2.2 Vergleich mit Satellitendaten	38
8.2.3 Generelle Ergebnisse der Modellsimulationen.....	38
9. ZUSAMMENFASSUNG REGIONALER BESONDERHEITEN FÜR VERSCHIEDENE WINDSITUATIONEN	38
9.1 ODERHAFF	38
9.2 SWINE UND DZIWNA.....	39
9.3 GREIFWALDER BODDEN	39
9.4 POMMERNBUCHT BIS RÜGEN	40
9.5 HIDDENSEE - DARß	41

9.6 WARNOWMÜNDUNG	42
9.7 MECKLENBURGER UND LÜBECKER BUCHT.....	42
9.8 BEEINFLUSSUNG EXPONIERTER KÜSTENABSCHNITTE DURCH CYANOBACTERIEN	44
10. VERGLEICH VON LUNG-MESSUNGEN MIT SATELLITENBILDERN.....	45
11. VERGLEICH REGIONALER BESONDERHEITEN IN DEN DYNAMISCHEN STRUKTUREN MIT DEN POSITIONEN DER MONITORINGSTATIONEN DES LUNG.....	48
11.1. EINORDNUNG DER LUNG STATIONEN IM ODERHAFF.....	49
11.2 EINORDNUNG DER STATIONEN ENTLANG DER AUßENKÜSTE MV	50
12. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	51
13. NUTZUNGSHINWEISE ZUM SIBIK	52
14. LITERATUR	53

1. Zusammenfassung

Ziel dieses Projektes war die Erarbeitung eines praxisorientierten „Satellitengestützten Interpretations- und Bewertungsinstrumentes für das Küstenmonitoring (SIBIK)“ unter Einbeziehung numerischer Simulationen dynamischer Prozesse. Das Instrument besteht aus einem Katalog, der neben einer Einführung mit Nutzungshinweisen, eine Beschreibung der Datenbasis und Modelle, sowie eine systematisierte Beschreibung der Prozesse enthält, die bei unterschiedlichen Windrichtungen und deren Änderungen an der Küste ablaufen. Der ausführliche wissenschaftliche Bericht beschreibt im Detail die Besonderheiten, die bei unterschiedlichen Windrichtungen auftreten können. Es werden Messungen mit Satellitendaten und Modellsimulationen verglichen und die Lage der LUNG-Monitoringstationen zu den regionalen Besonderheiten diskutiert. Dadurch unterstützt das Instrument zunächst die Interpretation und Bewertung der vom LUNG (MV) gewonnenen Messdaten. In der Folge kann es aber auch zur Optimierung der Programme (Einsparung bzw. Verlagerung von Messstationen), Strategien und Methoden des Monitorings beitragen. Es liefert zusätzlich in Katastrophenfällen und bei außergewöhnlichen Gefahrensituationen, wie Unfällen mit erhöhtem Eintrag an Schad- und Nährstoffen sowie Bakterien und Viren, eine kurzfristige Vorhersagemöglichkeit von Gefährdungspotentialen für bestimmte Küstenabschnitte.

2. Arbeitsprogramm

Das Land Mecklenburg-Vorpommern (MV) ist im Norden durch die buchtenreiche Ostseeküste begrenzt, deren Küstenlinie sich unter Berücksichtigung der Inseln und Boddengewässer auf eine Länge von ca. 1500 km erstreckt. Die Küstenregion ist ein Areal, in dem natürliche und antropogene Einflüsse zusammentreffen. Verschiedene Flüsse münden in diesem Gebiet, einschließlich des größten Süßwassereinstroms der westlichen Ostsee (Oder) und im Einflussbereich der Flüsse, in den Mündungsgebieten sowie im küstennahen Bereich befinden sich größere Städte wie Szczecin, Stralsund, Rostock, Wismar und Lübeck. Da der Zustand der Küstengewässer unmittelbar in das Leben der Küstenregion wie z. B. durch die wachsende wirtschaftliche Bedeutung des Tourismus eingreift, wird vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) des Landes Mecklenburg-Vorpommern ein Monitoringprogramm zur Erfassung, Dokumentation und Bewertung des Umweltzustandes durchgeführt. In diesem Rahmen werden bei monatlichen Messungen auf einer begrenzten Anzahl fester Stationen (Abb. 1) in den inneren und äußeren Küstengewässern von MV hydrographische, biologische und chemische Zustandsvariablen wie Wassertemperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Nährstoffe, Spurenmetalle, Pestizide, Chlorophyll und Phytoplankton erfasst. Die Ergebnisse werden regelmäßig in Küstengewässerberichten zusammengefasst und Bundes- und Landesbehörden (STAUN, BSH, LANU, BfG) sowie Wirtschafts- und Forschungseinrichtungen (ADAC, IOW, Uni Rostock, Uni Greifswald) zur Verfügung gestellt.

In küstennahen Bereichen wird der Wasseraustausch durch den lokalen Wind dominiert und unterliegt dadurch einer hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität. Die auf den Monitoringfahrten durchgeführten Punktmessungen erfassen den Ist-Zustand, gestatten aber nur begrenzte Aussagen zu den aktuell ablaufenden Prozessen, was insbesondere die Bewertung und Interpretation gemessener Zustandsvariablen erschwert und eine Vorhersage in Katastrophenfällen unmöglich macht.

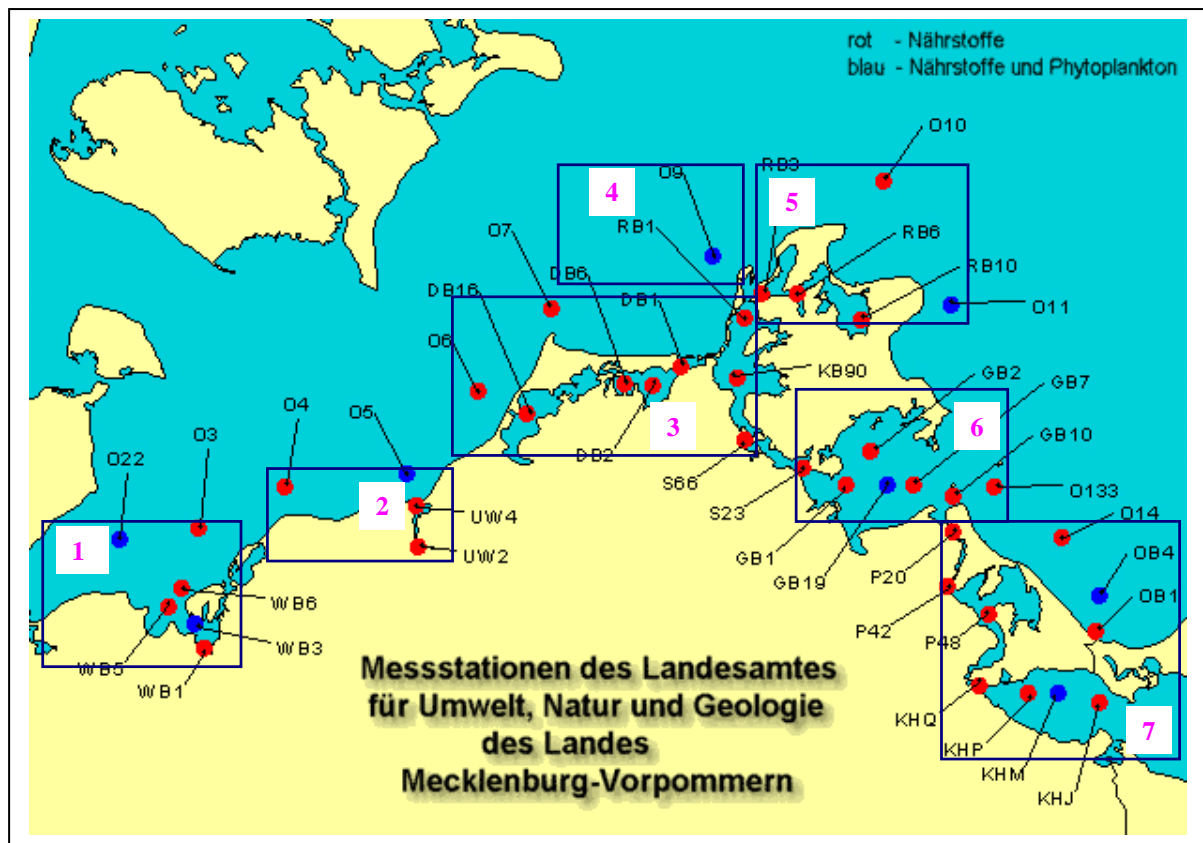


Abb. 1: Stationskarte des LUNG- Monitoring Programms

Ziel dieses Projektes war die Erarbeitung eines praxisorientierten „Satellitengestützten Interpretations- und Bewertungsinstrumentes für das Küstenmonitoring (SIBIK)“ unter Einbeziehung numerischer Simulationen dynamischer Prozesse. Das Instrument dient zunächst zur Unterstützung der Interpretation und Bewertung vom LUNG (MV) gewonnener Messdaten. In der Folge wird es aber auch zur Optimierung des Messprogrammes, Strategien und Methoden des Monitorings beitragen. In Katastrophenfällen und bei außergewöhnlichen Gefahrensituationen liefert es eine kurzfristige Vorhersagemöglichkeit von Gefährdungspotentialen für bestimmte Küstenabschnitte.

Grundlage sind Kenntnisse über die engen Beziehungen zwischen den Verteilungsmustern verschiedener Wassermassen und den meteorologischen Bedingungen, die das Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) in umfangreichen satellitengestützten Prozessstudien in den letzten 10 Jahren in ausgewählten Gebieten der westlichen Ostsee erarbeitet hat. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verteilungsmuster und die Inhaltsstoffzusammensetzung hoch variabel sind, Zeitskalen von wenigen Stunden haben und durch den lokalen Wind dominiert sind. Dadurch ist es möglich, dass eine feste Messposition innerhalb weniger Stunden durch unterschiedliche dynamische Regime beeinflusst wird. Um die Prozesse zu verstehen, die typische Muster erzeugen und Veränderungen in der Hydrographie bewirken, wurden numerische Modellierungen der Zirkulationsprozesse in der westlichen Ostsee und im Oderhaff, dem wichtigsten inneren Küstengewässer des Landes MV, in die Auswertung einbezogen.

Das zu erarbeitende Instrument sollte aus einem Katalog von Satellitenszenen bestehen, der einerseits die typischen Verteilungsmuster für die dominierenden Windrichtungen zeigt, aber

auch die Reaktion des Seegebietes auf Windrichtungsänderungen verdeutlicht, wobei alle Übergänge zwischen den Hauptwindrichtungen berücksichtigt werden. Die Konzentration auf Daten der Wasseroberflächentemperatur (SST) erfolgte aufgrund der hohen Wiederholrate, der sich dadurch ergebenden Datendichte und der im IOW vorhandenen Datenbasis, die alle Szenen der Ostsee seit 1990 umfasst. Die Einbeziehung von Satellitendaten im sichtbaren Spektralbereich sollte die Wasserinhaltsstoffe in den verschiedenen Wassermassen erfassen. Räumlich hochaufgelöste Satellitendaten waren zur besseren Erfassung der Vermischungsprozesse im Oderhaff und im küstennahen Bereich vorgesehen. Die Reaktionen des Küstenwassers auf Änderungen in der Windanregung werden durch Simulationen mit Zirkulationsmodellen unterlegt, um anhand von Animationen die Prozesse zu verstehen, die Änderungen in den Verteilungsmustern erzeugen.

Anhand von konkreten Demonstrationsbeispielen auf der Grundlage von Messdaten des LUNG und entsprechender zeitlich hochaufgelöster Karten der Wasseroberflächentemperatur, z. B. während des Oderhochwassers und aktueller Situationen, wird der Endnutzer befähigt, das Instrument optimal anzuwenden. Es soll dem Praxispartner ermöglichen, die Vorzüge der Fernerkundung durch ihren synoptischen Charakter unabhängig von aktuellen Satellitenszenen und ohne zusätzlichen personellen Aufwand (Bedingung des LUNG) zu nutzen, um das Küstenmonitoring in seiner Aussagekraft zu verbessern, zu optimieren und Vorhersagen zu unterstützen.

3. Datenbasis

Für die Bearbeitung des Projektes wurden folgende Datenquellen verwendet:

- NOAA- AVHRR Wasseroberflächentemperatur
(SST, Sea Surface Temperature 1990-2002)
- SeaWiFS- ausgewählte Daten 1998- 2002
- Landsat 7 ETM, Landsat 5 TM
- MERIS
- IRS- 1C WiFS, Liss-III, PAN
- LUNG In situ Daten
- Winddaten Arkona 1980-1992, 1992-2000
- Winddaten Darßer Schwelle
- Durchflussregistrierungen IOW
- Modellsimulationen westliche Ostsee (MOM-3)
- Modellsimulationen Oderhaff (FEMFLOW)

Karten der Wasseroberflächentemperatur abgeleitet aus NOAA Wettersatellitendaten der Jahre 1996-2002 wurden für die automatische Ableitung typischer Muster für die 8 Hauptwindrichtungen verwendet. Die erarbeitete Software für die automatische Abarbeitung wird in Abschnitt 6. ausführlich beschrieben. Für die Untersuchung von Szenarien wurden auch alte Daten ab 1990 einbezogen. Karten der Wasserinhaltsstoffe, abgeleitet aus SeaWiFS Daten, wurden für die Verfolgung des Stofftransportes und der Entwicklung von Planktonblüten herangezogen. Räumlich hochaufgelöste Daten wurden zur Untersuchung regionaler Besonderheiten im Oderhaff und in einzelnen Küstenabschnitten eingesetzt. Anhand der Winddaten der Station Arkona wurde die Windstatistik, die für den Zeitraum 1980-1992 durchgeführt wurde, für den Zeitraum 1992-2000 fortgesetzt.

4. Generelle hydrographische Situation der westlichen Ostsee

Die westliche Ostsee ist mit der Darßer Schwelle eine Schlüsselregion für den Wasseraustausch zwischen Ostsee und Nordsee, weil ca. 75% der aus- bzw. einströmenden Wassermassen diesen Querschnitt passieren. Wegen der geringen Wassertiefe von maximal 18 m bildet die Darßer Schwelle insbesondere ein Hindernis für das Einströmen salz- und sauerstoffreichen Bodenwassers, das entscheidend für die Belüftung der Tiefenbecken der Ostsee ist. Deshalb werden seit den 1970-iger Jahren an einer festen Station Langzeitmessungen des Salzgehaltes, der Temperatur und der Strömung des Wassers aufgezeichnet. Die Station liegt auf dem ostseeseitigen Abhang der Darßer Schwelle auf der Position 54°42' Nord und 12°42' Ost. Eine erste Auswertung der mit mechanischen Strömungsmessern durchgeführten Messungen erfolgte durch Francke (1983). Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf die Langzeitregistrierungen, die seit Sommer 1994 mit akustischen Profilströmungsmessern (ADCP) und Seacat-Sensoren für Temperatur und Salzgehalt in den Tiefen 7m, 12m, 17m und 19.5m laufen, siehe Lass u. a. (1997). Die Station wurde auch in das deutsche MARNET einbezogen.

Die Hydrografie im Bereich der Darßer Schwelle ist durch die stark gegliederte Boden- und Küstentopografie und verschiedene antreibende Kräfte geprägt, die auf unterschiedlichen Zeitskalen wirken. Durch andauernde Windlagen werden im Verlauf von einigen zehn Tagen großräumige Wasserstandsunterschiede zwischen der Ostsee und dem Kattegatt aufgebaut. Sowohl das Aufstauen, als auch das Zurückfluten des Windstaus führen zu Strömungen mit einigen 10 bis 100 cm/s, die über Tage anhalten können, aber auch kurzzeitige Umstellungen im Stromfeld innerhalb weniger Stunden bewirken können. Dabei wird annähernd die gesamte Wassersäule erfasst (barotrope Strömung). Aufgrund der flachen Bathymetrie sind Stromfeld und Schichtung jedoch auch stark vom lokalen Wind beeinflusst, der mit der Wetterlage innerhalb von Stunden bis zu einigen Tagen wechselt. Ein langzeitiges Stromsignal entsteht durch den Abfluss des von den Flüssen in die Ostsee eingetragenen überschüssigen Süßwassers. Alle diese Faktoren wirken ständig mit unterschiedlicher Stärke und Andauer zusammen. Deshalb findet man keine persistenten Strömungen und Schichtungen, sondern das gesamte Seegebiet der westlichen Ostsee ist von Umstellungs- und Anpassungsprozessen an die wechselnden Anregungen geprägt, Fennel und Sturm (1992). Daraus ergeben sich folgende Charakteristika:

- Stabile Mittelwerte ergeben sich erst für Zeiträume von ca. 2 bis 3 Jahren und zeigen einen Ausstrom von ca. 2000 km³/Jahr mit einem Salzgehalt von ca. 9.4 psu, der überwiegend in der Oberflächenschicht bis zu 15m Tiefe stattfindet. In den darunterliegenden Schichten überwiegt der Einstrom von salzreichem Bodenwassers, ca. 1500 km³/Jahr mit 12.7 psu. Die Differenz von ca. 500 km³/Jahr entspricht dem Eintrag von Süßwasser durch Flüsse.
- Die mittleren Stromgeschwindigkeiten betragen ca. 20 cm/s in der Oberflächenschicht und 17 bis 13 cm/s über Grund (Einfluss der Bodenreibung).
- Charakteristisch ist, dass die Momentanwerte der Strömung und des Salzgehaltes stark von den Mittelwerten abweichen und eine große räumliche und zeitliche Variation aufweisen. Die hohe Variabilität wird insbesondere durch die schnell wechselnden meteorologischen Bedingungen (typische Wetterlagen dauern 2 bis 5 Tage) bewirkt.
- Es werden Maximalwerte der Strömung von 80 bis 100 cm/s an der Oberfläche und 50 cm/s in 19m Tiefe beobachtet. Der Salzgehalt variiert zwischen 7 und 18 psu an der Oberfläche und 7 bis 25 psu im Tiefenwasser.
- Die Strömung weist an der Messstation eine deutliche Richtungsverteilung auf. Im Oberflächenwasser erfolgt der Ausstrom überwiegend in westliche Richtungen, während

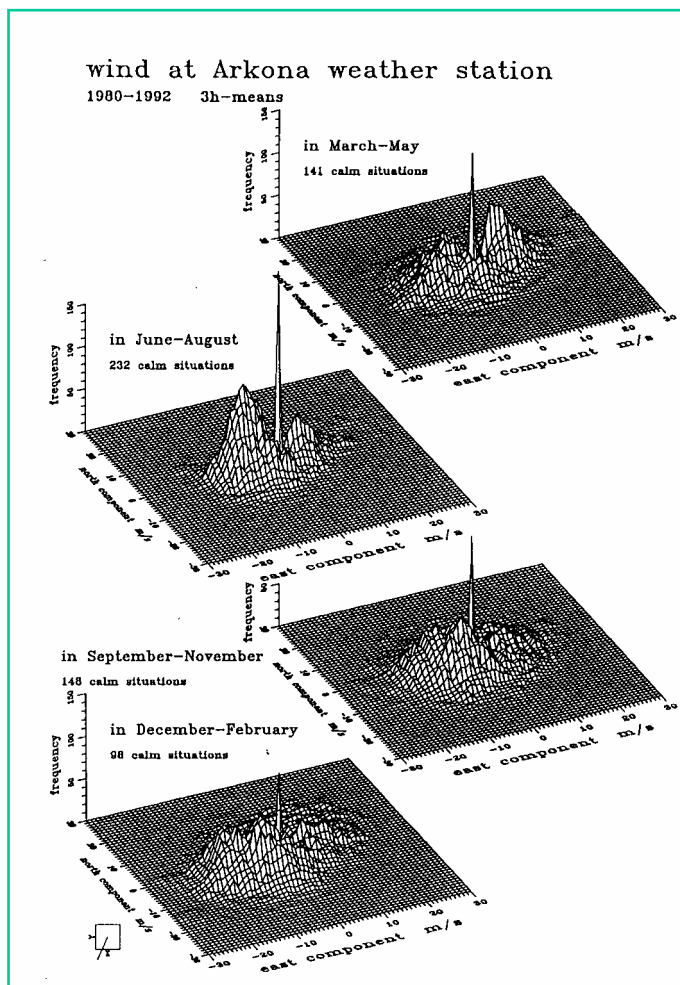
der Einstrom nach Westen gerichtet ist. Die Tiefenströmung ist durch das Bodenprofil und durch den kanalförmigen Küstenverlauf bestimmt: Einstrom setzt nach Nordosten, Ausstrom nach Südwesten. In allen Wassertiefen treten aber auch stärkere Stromereignisse auf, die von diesen Vorzugsrichtungen abweichen.

- Eine Spektralanalyse der gemessenen Stromkomponenten zeigt, dass neben der halbtägigen Gezeit auch Strömungszillationen mit Perioden von ca. 24h und 30h signifikant sind, die nach Wübbler und Krauss (1979) zu Beckenschwingungen in der Ostsee korrespondieren. Fluktuationen mit Perioden von ca. 50h entsprechen der o. g. Zeitskala für Änderungen im Windfeld.
- Auch die Schichtung des Wasserkörpers ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Im Sommer liegt infolge des Jahresganges der Temperatur und im Mittel schwächerer Windstärken meist eine Dichtesprungschicht zwischen 12m bis 15m vor, während im Herbst und Winter die Wassersäule durch Abkühlung und starke Windereignisse häufig vollständig durchmischt wird. Es treten jedoch auch im Frühjahr/Sommer Phasen mit Durchmischung und im Herbst/Winter Schichtung auf.

5. Systematisierung der Windregistrierung von Arkona

5.1 Windstatistiken Arkona 1980-1992

Im Rahmen der Untersuchungen zu den Haupttransportrichtungen der Oderfracht in der Pommernbucht (Projekte ODER, TRUMP) wurde eine statistische Analyse für die



Windregistrierung von Arkona durchgeführt (Abb. 2). Es standen die 3-Stunden- Mittelwerte der Jahre 1980-1992 zur Verfügung. Die Analysen für die vier Jahreszeiten haben gezeigt, dass Ost- und Westwinde dominant sind. Im Frühjahr hatten Ostwinde die größte Häufigkeit, wogegen im Sommer, Herbst und Winter Westwinde dominant waren. Das Ostwindmaximum liegt im Frühjahr bei $4-7 \text{ ms}^{-1}$ und das Westwindmaximum im Sommer bei $7-8 \text{ ms}^{-1}$. Im Herbst und im Winter sind die Maxima nicht klar ausgeprägt. Sie sind verbreitert und liegen mehr im Bereich der südwestlichen Winde.

5.2 Windstatistik Arkona 1992-2000

5.2.1 Datenbasis

Im Rahmen des Projektes SIBIK wurde die Windstatistik die für die Jahre 1980-1992 vorliegt

Abb. 2: Windstatistik 1980-1992

weitergeführt. Aufgrund der Unterschiede in den Abtastungen wurde nicht das gleiche Analyseverfahren verwendet. Die Winddaten der Station Arkona, die der DWD bereitstellt, liegen für den Zeitraum vom 1.1.1992 bis zum 31.12.2000 als Stundenmittelwert der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit vor. Die Windrichtung ist beginnend bei 0° in Schritten von 10° aufgelöst, die Windgeschwindigkeit beginnend bei 0 in Schritten von 0.1 ms⁻¹.

5.2.2 Ergebnisse

a) Statistik der Einzelmessungen

Die Einzelmessungen des Windes wurden zunächst anhand von zweidimensionalen normierten Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung und der Windgeschwindigkeiten für die 4 Jahreszeiten untersucht. Die Windrichtung ist entsprechend der Messauflösung und die Windgeschwindigkeit in Schritten von 1ms⁻¹ unterteilt.

Die Häufigkeitsverteilungen der Einzelmessungen zu den vier betrachteten Quartalen weisen mit östlichen und westlichen Winden zwei Hauptwindrichtungen auf (Abb. 3). Dabei sind die Ostwinde zu allen Jahreszeiten in Bereich von 75° bis 105° in Vergleich zu den Westwinden stark gebündelt. Bei den Westwinden herrschen dagegen im Frühjahr (März bis Mai) und Sommer (Juni bis August) Richtungen zwischen 235° und 325° mit einem zu nördlichen Richtungen verschobenen Hauptmaximum bei etwa 290° vor. Im Herbst (September bis November) und Winter (Dezember bis Februar) drehen die Westwinde auf südwestliche Richtungen zwischen 175° und 255° mit einem Hauptmaximum bei etwa 230°. Die häufigsten Windgeschwindigkeiten haben für Ost- und Westwinde Werte von etwa 5 ms⁻¹. Im Verlauf des Jahres nimmt die Häufigkeit der Ostwinde vom Frühling bis zum Winter ab. Die Westwinde sind im Sommer am häufigsten.

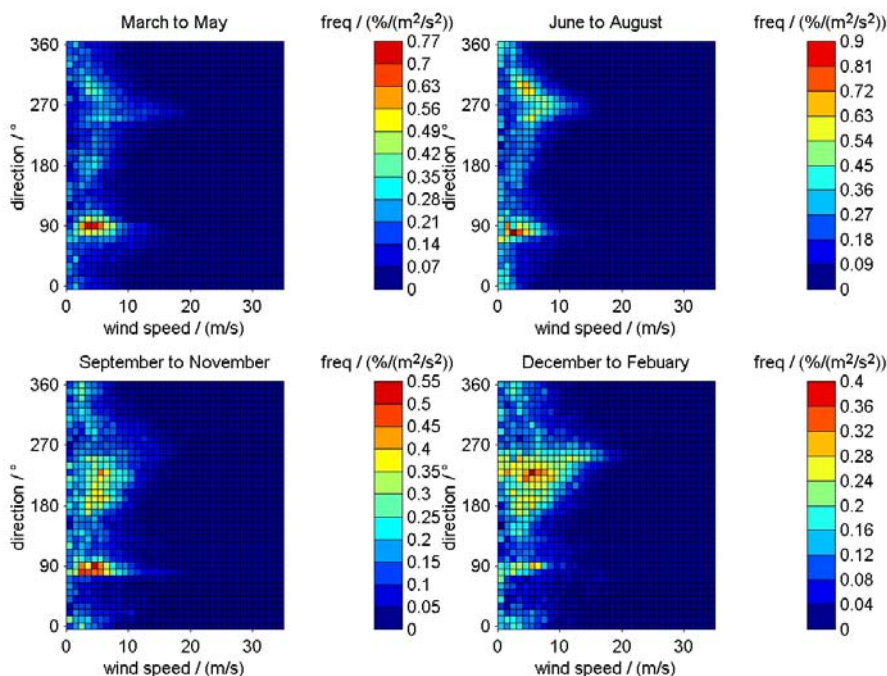


Abb. 3: Windstatistik 1992-2000

b) Statistik von Windsituationen

Unter a) wurden die Stundenmittelwerte des Windes als unabhängige Einzelmessungen betrachtet. Hier sollen aus den Einzelmessungen im Unterschied dazu zusammenhängende Zeiträume gleicher Windrichtungen (Windsituationen) konstruiert und untersucht werden. Dazu wird die Windrose in vier Sektoren von jeweils 90° unterteilt, die um die Himmelsrichtungen Ost, Süd, West und Nord zentriert sind. Diese Unterteilung wird durch die unter a) gefundenen Hauptwindrichtungen gerechtfertigt. Die windstillen Situationen werden gesondert betrachtet.

Durch ein kurzzeitiges Drehen des Windes kann eine Windsituation in mehrere kurze Abschnitte unterteilt werden. Um diesen Effekt zu unterdrücken bzw. seine Auswirkung auf die betrachteten statistischen Größen abzuschätzen, werden neben dem Ausgangsdatensatz der Stundenmittelwerte Datensätze untersucht, die mit Hilfe gleitender Mittelung des Windvektors über Intervalle unterschiedlicher Länge gefiltert wurden. Um die maximalen Mittelungslängen zu bestimmen wurde eine Funktion bestimmt, deren Eigenschaften ähnlich der einer Autokorrelationsfunktion sind. Es ergab sich ein typisches Zeitintervall von 12 Stunden. Dies entspricht zufällig etwa der Trägheitsperiode in der Ostsee, die ein Maß für die Anpassungszeiten der Strömungen in der Ostsee an den äußeren Antrieb durch den Wind darstellt. Für die Betrachtungen wurden neben der ungefilterten Zeitreihe der Stundenmittelwerte drei Datensätze untersucht, die mit Hilfe von gleitender Mittelung über Intervalle von 4, 8 und 12 Stunden gefiltert wurden.

Aus den resultierenden Zeitreihen werden, wie eingangs erläutert, Windsituationen zu den vier Himmelsrichtungen Ost, Süd, West und Nord als zusammenhängende Zeiträume entsprechender Windrichtung bestimmt. Außerdem werden windstille Situationen gesondert betrachtet. Jeweils für alle Windsituationen zusammen und in die fünf Klassen unterteilt werden ihre Anzahl, ihre mittlere und ihre maximale Dauer bestimmt (Abb. 4).

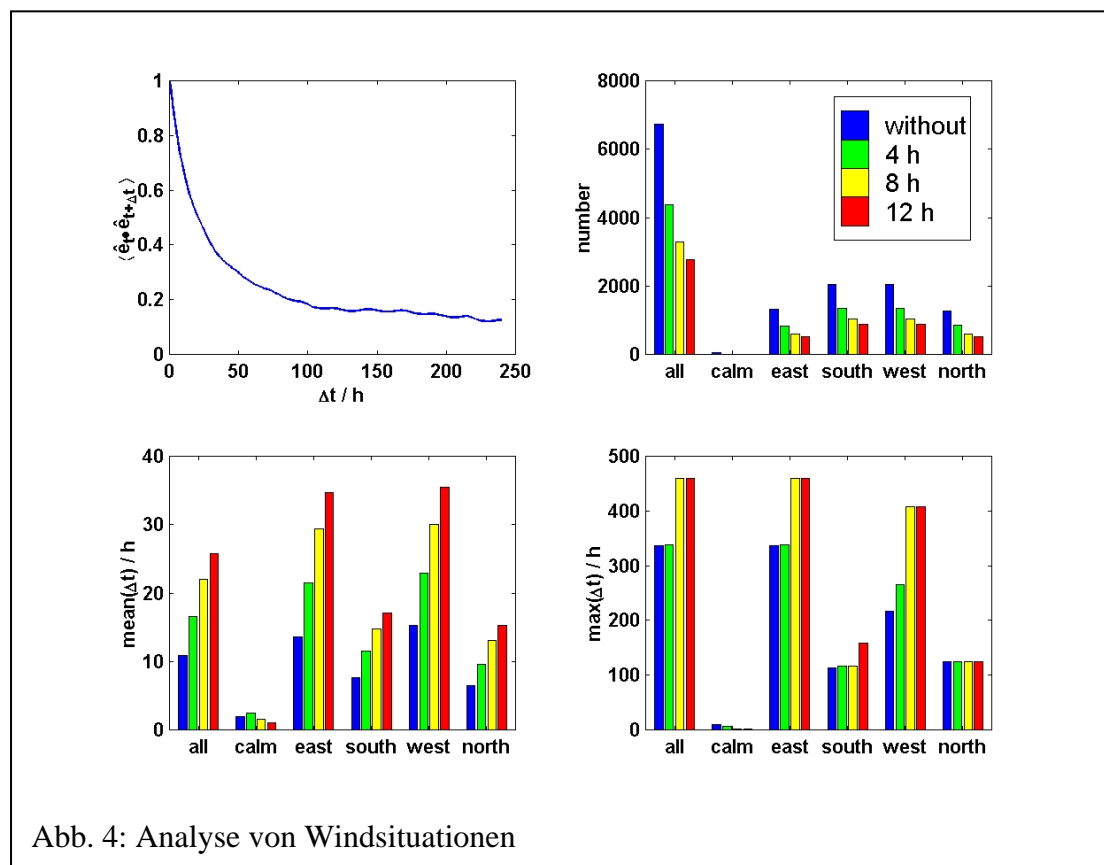


Abb. 4: Analyse von Windsituationen

Unabhängig vom Mittelungsintervall sind die häufigsten Windsituationen Süd- und Westwindsituationen, die etwa gleich häufig auftreten. Während noch gut halb so viele Ost- und Nordwindsituationen auftreten, ist die Anzahl der windstillen Situationen gegenüber allen anderen Situationen zu vernachlässigen. Die Anzahl der Windsituationen nimmt erwartungsgemäß mit der Länge des Mittelungsintervalls ab. Diese Ergebnisse stehen nicht im Widerspruch zu den Ergebnissen aus a), die als Hauptwindrichtungen Ost und West ausgewiesen haben, da bei der Anzahl der verschiedenen Windsituationen ihre Dauer unberücksichtigt bleibt.

Die mittlere Dauer der Windsituationen ist für Ost- und Westwindsituationen am längsten. Sie sind unabhängig vom Mittelungsintervall etwa gleich lang. Dasselbe gilt für Süd- und Nordwindsituationen, die im Mittel etwa halb so lange andauern. Die Dauer der windstillen Situationen ist dagegen deutlich kürzer. Im Gegensatz zu den übrigen vier Situationen nimmt ihre mittlere Dauer als Folge der gleitenden Mittelung des Windvektors mit der Länge des Mittelungsintervalls ab, da Mittelwerte mit einem für windstille Situationen hinreichend kleinen Betrag der Windgeschwindigkeit wegen des kleinen dazu gehörigen Phasenraumes relativ unwahrscheinlich und somit verhältnismäßig selten sind. Die Zunahme der mittleren Dauer der anderen Windsituationen für die vier Himmelsrichtungen entspricht der Erwartung, dass die Filterung der Datensätze das zufällige Zertrennen von Windsituationen durch kurzzeitig über die Sektorgrenzen drehenden Wind unterdrückt. Das Produkt aus Anzahl der Windsituationen und ihrer mittleren Dauer liefert abgesehen von der Unterteilung des Datensatzes nach Jahreszeiten, die hier nicht vorgenommen wurde, im dieselben Ergebnisse wie in a). In der Übereinstimmung damit ist auch hier Westwind die vorherrschende Windrichtung.

Die maximalen Dauern der Windsituationen liefern im Wesentlichen dieselben Ergebnisse wie die mittleren. Die längsten Windsituationen finden sich für Ost- und Westwind. Sie haben je nach Mittelungsintervall mit Dauern von bis zu über 400 Stunden oder gut 16 Tagen durchaus realistische Werte. Auch die mit etwa 100 Stunden deutlich kürzeren maximalen Dauern der Süd- und Nordwindsituationen sind realistisch, da dies bevorzugt die Richtungen sind, über die der Wind lediglich von einer in die andere Hauptwindrichtung dreht. Die minimale Dauer einer Windsituation beträgt in allen Fällen eine Stunde. Dies ist bei der Definition der Windsituationen mit festen Sektorgrenzen auch bei den gefilterten Datensätzen noch zu erwarten.

5.3 Generelle Auswirkungen der dominierenden Windlagen

Die Winduntersuchungen ergaben, dass die westliche Ostsee ein hochvariables Gebiet hinsichtlich der Windanregung mit Zeitskalen $<12\text{h}$ – max. 400h (16 Tage) ist. Die Zeitskala für zusammenhängende Windereignisse ist ca. 12h was in der Größenordnung der Trägheitsperiode von ca. 13h für dieses Gebiet liegt. Die Windrichtungen mit den längsten zusammenhängenden Windsituationen waren Ost und West. Bezüglich der Anzahl aller Windereignisse waren West und Süd vorherrschend, d.h. der Wind dreht häufig über Süd.

Die abgeleiteten dominierenden Windrichtungen (Ost und West) verlaufen parallel zu weiten Teilen der Küste MV. Auf der nördlichen Hemisphäre erzeugen östliche Winde an einer südlich gelegenen Küste (MV) durch die Corioliskraft einen seewärtigen Ekmantransport des Oberflächenwassers. Aufgrund des Massenausgleichs quillt Tiefenwasser auf, das im Sommer an niedrigeren Temperaturen gut zu erkennen ist und im Winter wärmer als das Oberflächenwasser sein kann. Bei westlichen Winden wird das Oberflächenwasser in Richtung Küste MV transportiert. Bei lang anhaltenden Winden kann sich wie z. B. entlang

der polnischen Küste ein Küstenstrahlstrom herausbilden, der dort das Oderwasser bis in die Gdansker Bucht transportiert.

5.4 Windgeschichte für spezielle Zeitpunkte

Die Auswertung von Winddaten ist im hochdynamischen Küstenbereich von besonderer Wichtigkeit. Das betrifft insbesondere auch die Einzelszenen der räumlich hochaufgelösten Daten bzw. Zeitserien wichtiger Phasen guter Satellitenszenen. Für die Auswertung der Daten hinsichtlich der dynamischen Prozesse ist in den meisten Fällen die Kenntnis der Windgeschichte notwendig. Um den Wind für einen bestimmten Zeitraum automatisch aus der vorhandenen Datenbasis (Arkona, DWD) zu extrahieren, wurde ein Matlab-Programm erstellt, das es ermöglicht, für jedes beliebige Datum aus den Jahren 1992-2002 einen Zeitraum vorzugeben, der dann graphisch dargestellt wird. Weiterhin werden statistische Größen berechnet, die auf einem Datenblatt ausgegeben werden. Man kann das grafisch dargestellte Intervall vor und nach dem Zeitpunkt t_0 sowie das Zeitintervall für die statistische Auswertung angeben. Im Beispiel in Abb. 5 vom 11.07.1999 $t_0=10\text{UTC}$ werden Zeitreihen von Windgeschwindigkeit und -richtung sowie den Nord- und Ostkomponenten des Windvektors über den Zeitraum $t_0 - 48\text{h}$ bis $t_0 + 12\text{h}$ dargestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Größen werden über die letzten 24h berechnet. Außerdem werden die statistischen Größen für die erste und zweite Hälfte des Intervalls bestimmt, um Änderungen bzw. Tendenzen im Wind durch wenige Größen zu beschreiben. Im gezeigten Beispiel liegen nur geringfügige Änderungen vor. Die Charakterisierung des Windantriebs durch das erstellte Datenblatt wurde im zu erstellenden Beispielkatalog übernommen.

Wind an der Wetterstation Arkona (DWD)

$t_0 = 11. \text{ Juli } 1999 \quad 10:00 \text{ (UTC)}$

24h-Mittelwerte über $[t_0 - 23 \text{ h}, t_0]$ (n = 24)

$V = (9.4 \pm 2.4) \text{ m/s}$ $\mathcal{R} = 80.4^\circ \pm 8.1^\circ$ **(Ost)**
 $u = (-9.2 \pm 2.4) \text{ m/s}$ $v = (-1.7 \pm 1.4) \text{ m/s}$
 $V(u,v) = (9.4 \pm 2.3) \text{ m/s}$ $\mathcal{R}(u,v) = 79.6^\circ \pm 14.2^\circ$ **(Ost)**

12h-Mittelwerte über $[t_0 - 23 \text{ h}, t_0 - 11.5 \text{ h}]$ (n = 12)

$V = (11.4 \pm 1.9) \text{ m/s}$ $\mathcal{R} = 75.8^\circ \pm 6.7^\circ$ **(Ostnordost)**
 $u = (-11.0 \pm 2.0) \text{ m/s}$ $v = (-2.7 \pm 1.1) \text{ m/s}$
 $V(u,v) = (11.4 \pm 1.9) \text{ m/s}$ $\mathcal{R}(u,v) = 76.3^\circ \pm 9.8^\circ$ **(Ostnordost)**

12h-Mittelwerte über $[t_0 - 11.5 \text{ h}, t_0]$ (n = 12)

$V = (7.5 \pm 0.7) \text{ m/s}$ $\mathcal{R} = 85.0^\circ \pm 6.7^\circ$ **(Ost)**
 $u = (-7.4 \pm 0.6) \text{ m/s}$ $v = (-0.7 \pm 1.0) \text{ m/s}$
 $V(u,v) = (7.4 \pm 0.6) \text{ m/s}$ $\mathcal{R}(u,v) = 84.7^\circ \pm 4.5^\circ$ **(Ost)**

61h-Zeitreihen über $[t_0 - 48 \text{ h}, t_0 + 12 \text{ h}]$ (n = 61)

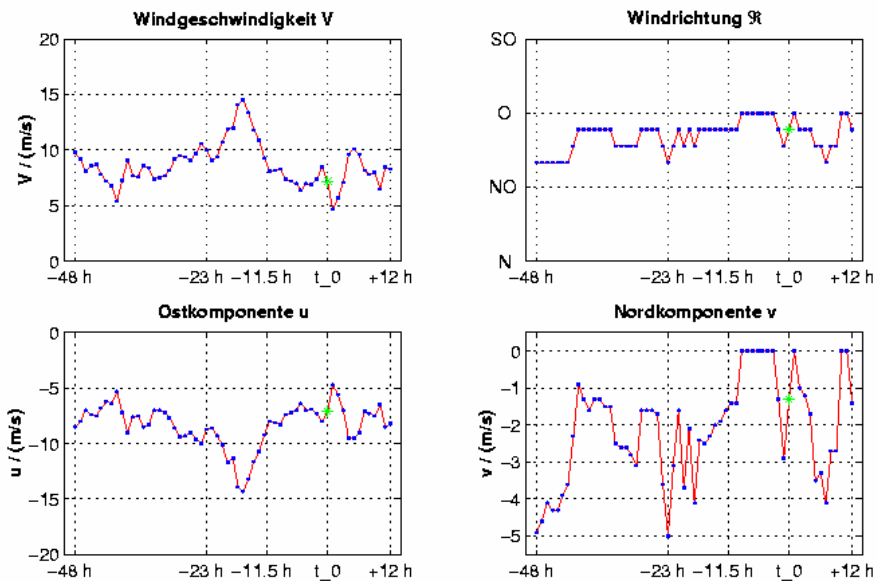


Abb. 5: Beispiel für ein Ausgabeblatt des Programms zur Extraktion von Winddaten aus den Jahren 1992-2002

6. Systematisierung der NOAA- Karten der Wasseroberflächentemperatur

Bisherige Untersuchungen der Abhängigkeit der Oberflächentemperaturmuster von der meteorologischen Situation haben speziell für die Pommernbucht eine Beschreibung der Transportrichtungen des Oberflächenwassers und die Identifikation der Akkumulationsgebiete für Oderfrachten in Relation zum Windereignis ermöglicht. Ziel der vorliegenden Projektarbeit war die Ausdehnung dieser Charakteristiken auf die gesamte Küste von Mecklenburg-Vorpommern.

Aus der langjährigen Beobachtung der Ostsee mittels Satelliten sind hohe Variabilitäten in den Oberflächentemperaturmustern bekannt, die besonders im südlichen Teil des Seegebietes zu erheblichen Gradienten an den Küsten führen können (Abb. 6). Diese Temperaturmuster sind das Ergebnis der sich ausbildenden Strömungsverhältnisse, angetrieben durch den globalen wie den lokalen Wind. Mit den zur Verfügung stehenden Daten wurde die Wirkung des lokalen Windes auf die Muster der Wasseroberflächentemperatur untersucht.

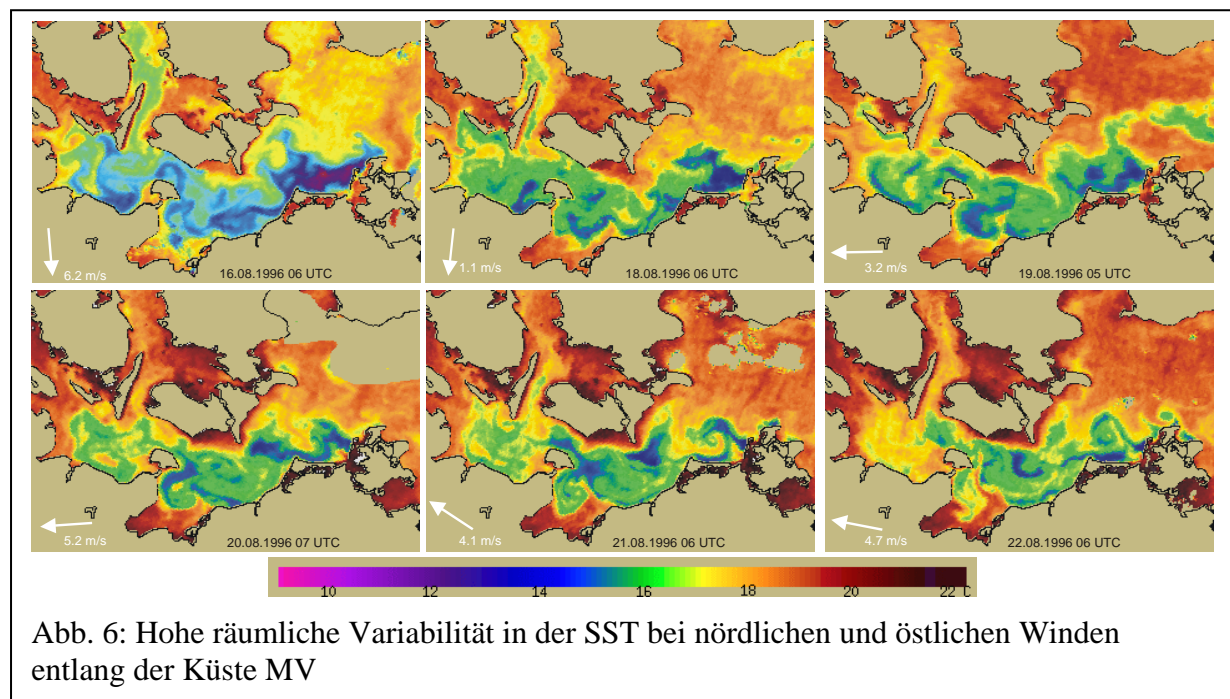


Abb. 6: Hohe räumliche Variabilität in der SST bei nördlichen und östlichen Winden entlang der Küste MV

6.1 Datengrundlage und Verfahrensweise

Auf der Grundlage von Stundenmitteln der Windrichtung und -geschwindigkeit von der MARNET Station Darßer Schwellen wurde für den Zeitraum 1996 – 2001 jeweils die Dauer der Windsituationen der 8 Hauptwindrichtungen jeweils im Jahresverlauf ermittelt. Die für diesen Zeitraum vorliegenden mehrmals (3-7) täglichen Überflüge der NOAA – Satelliten wurden dem Stundenmittel des Windes vom Messmast gegenübergestellt und die Zuordnung des Windes zur NOAA-Szene vorgenommen.

Daraufhin konnte eine Zusammenstellung aller Satellitenszenen des jeweiligen Jahres entsprechend der Windrichtungen erfolgen. Um die Oberflächentemperaturmuster sehr gut sichtbar zu machen, besitzen die Satellitenszenen keinen einheitlichen Farbkeil. Für jede

Szene wurden das SST- Minimum und Maximum der Wasserpixel bestimmt und diesem Bereich ein Farbkeil zugeordnet. Diese Tatsache ist bei der Betrachtung von Beispielen für die jeweilige Situation zu berücksichtigen. Dagegen erfolgte die Darstellung von Zeitserien unter Verwendung eines einheitlichen Farbkeils für die jeweilige Serie.

Eine andere Sichtweise ergibt die Sortierung der NOAA-Szenen ebenfalls nach Windrichtung, aber nach Dauer des Windes und das für alle Jahre übergreifend. Diese Verfahrensweise verspricht unabhängig vom Beobachtungsjahr die Einstellung der resultierenden Muster in Relation zur Winddauer bei Minimierung des Einflusses der Vorgeschichte auf die Oberflächenmuster. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass eine geringe Stundenzahl auch bei einem einmaligen Übertreten der Sektorengrenze der Windrichtung entstehen kann, so dass sich die generelle Windsituation nicht geändert haben muss. Deshalb können in einigen Fällen auch Satellitenszenen mit geringer Andauer der jeweiligen Windsituation zur Beschreibung typischer Muster herangezogen werden.

Das insgesamt bearbeitete Datenmaterial der NOAA-Szenen für den Zeitraum von 1996 – 2001 umfasste etwa 1800 Szenen pro Jahr. Die automatische Zuordnung von Satelliten- und Winddaten wurde durch eine speziell erarbeitete Software in IDL (UNIX) realisiert. Die Abb.7 zeigt die Übersicht der Programmabarbeitung, zusammengefasst für die Sortierung nach zeitlichem Verlauf und für die Systematisierung nach Anzahl der Stunden, die eine Windrichtung vorherrschte.

Da Wind- und Satellitendaten mit unterschiedlichen Namens- und Zeitkonventionen vorlagen, erfolgte zunächst die Überführung in ein einheitliches Format. Anschließend konnte jeder NOAA- Szene die aktuelle Windrichtung und –geschwindigkeit zugeordnet werden. Die erzeugten Bildausschnitte der westlichen Ostsee sind mit Datum, Windrichtungspfeil, Windgeschwindigkeit und Stundenzahl der vorherrschenden Windrichtung versehen.

Damit ergibt sich für jedes Jahr im Zeitraum 1996 –2001 eine Zusammenstellung der NOAA-Szenen, geordnet nach den 8 Hauptwindrichtungen. Dabei sollten die Oberflächenmuster einmal unter Betrachtung der zeitlichen Entwicklung während der Dauer einer Windsituation

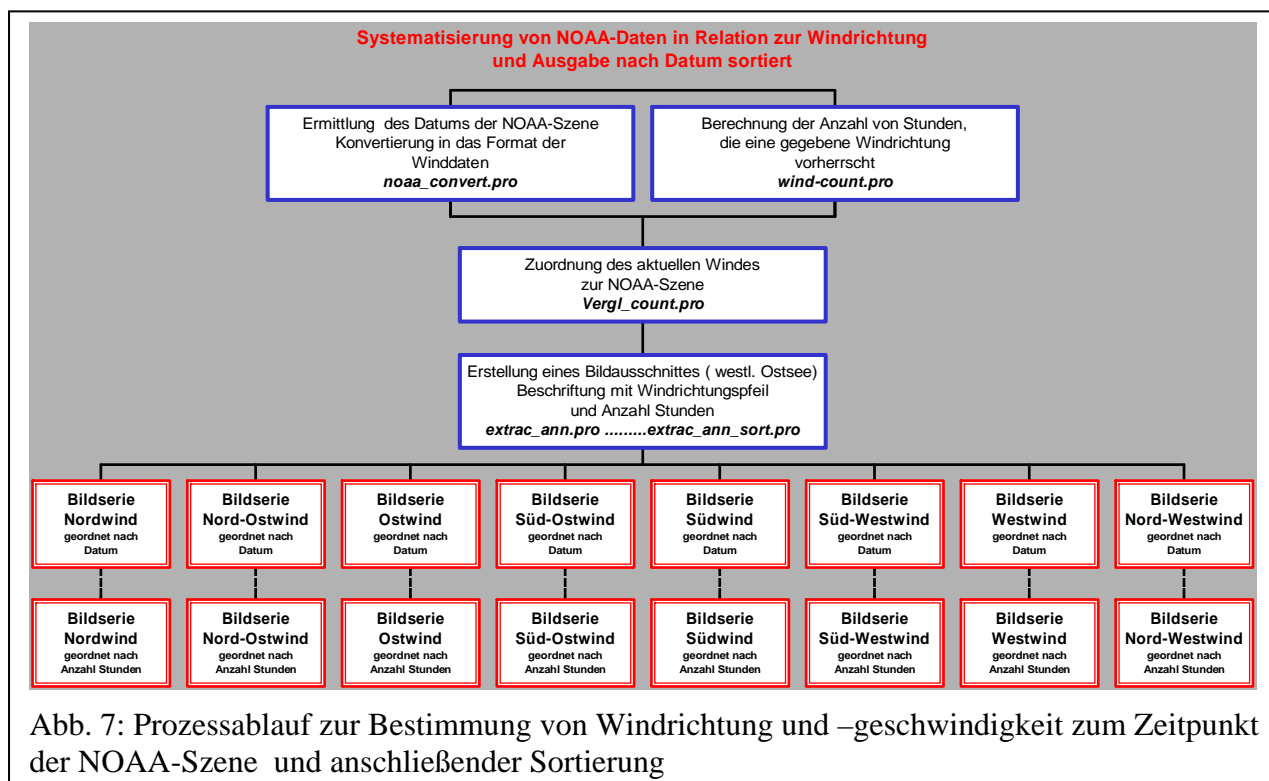


Abb. 7: Prozessablauf zur Bestimmung von Windrichtung und –geschwindigkeit zum Zeitpunkt der NOAA-Szene und anschließender Sortierung

und zum anderen unter Minimierung der Vorgeschichte studiert werden. Die letztendlich entstandene Datenmenge ist gegenüber der Ausgangsdatenmenge stark reduziert, da nur ca. 20% der Satellitenszenen aufgrund von Wolkenbedeckung für die Untersuchungen verwendbar waren. Aus diesem Grunde war es schwierig, für wolkenreiche Situationen, die mit nördlichen, westlichen und auch südlichen Winden verbunden sind, eine ausreichende Charakterisierung der SST- Muster vorzunehmen.

6.2 Zusammenfassung der Merkmale von Oberflächenmustern in Abhängigkeit von der Windrichtung

Zur Beschreibung der Muster der Oberflächentemperatur wurden die Ergebnisse beider Systematisierungsmethoden kombiniert. Die Auswertung erfolgte in enger Verbindung zur Geschichte des Windes. Die nachfolgende Beschreibung hebt die markanten Temperaturmuster der westlichen Ostsee hervor.

6.2.1 NORD-OST-Wind

Während NO-Windphasen läuft der Wind parallel zur polnischen Küste, so dass Auftrieb entstehen kann. Das im Sommer kalte Auftriebswasser wird in Richtung Arkonabecken transportiert. Das warme Wasser der Oderbucht wird an der Usedomküste gehalten und bei längerer Dauer bis nördlich Rügen transportiert. Vor Hiddensee bildet sich ein Auftriebsfilament heraus. Das ausströmende Kaltwasser passiert nur den nördlichen Teil der

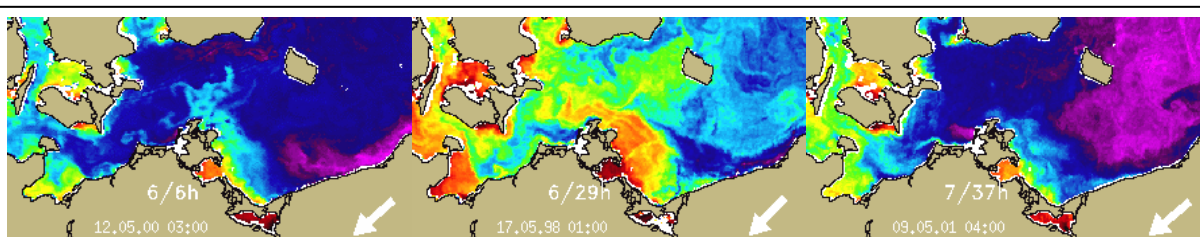


Abb. 8: Beispiele für Oberflächenmuster der SST bei Nord-Ost –Wind

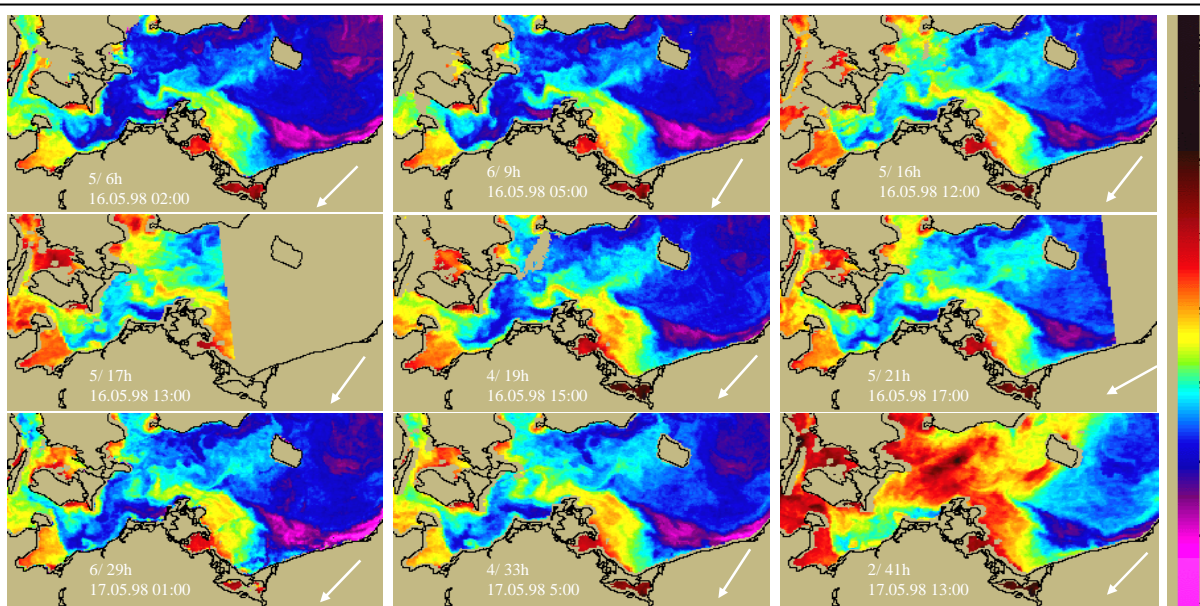


Abb. 9: Zeitliche Entwicklung der SST- Muster bei Nord-Ost Wind im Mai 1998

Mecklenburger Bucht, ohne in die Lübecker Bucht zu gelangen. Dadurch entsteht am Ausgang der Mecklenburger Bucht eine thermische Front. Das kalte Wasser des Hiddenseeauftriebs lagert sich nicht an der Küste des Darß an. Auf seinem mäandrierenden Weg aus der Ostsee beeinflusst das kalte Wasser den Bereich der Küste vor Warnemünde nicht, so dass dort wärmeres Wasser vorgelagert ist.

6.2.2 OST-Wind

Die Windstatistik hat deutlich gemacht, dass Ostwindphasen von längerer Dauer und meistens mit Schönwetterperioden verbunden sind, so dass sehr anschauliche Zeitreihen von Satellitendaten existieren. Eines der markantesten Ereignisse bei NO und Ostwind ist die quasistationäre Auftriebsfahne bei Hiddensee. Da das Auftriebswasser aus Tiefen unmittelbar oberhalb der Haloklinen des Arkonabeckens stammt, hat es im Mai Temperaturen von etwa 5-8°. Maximale gemessene Gradienten zum umgebenden Wasser können 10-12 K betragen. Wenn Auftrieb stattfindet, werden die kalten Wassermassen mit der Oberflächenströmung bis über den Fehmarnbelt aus der Ostsee hinaus transportiert. Dabei wird meistens nur der nördliche Teil der Mecklenburger Bucht erfasst und die Lübecker Bucht ist unbeeinflusst. Ein Vergleich des Zeitraumes von östlichen Winden im Juli/August 1999 mit den Modellergebnissen zeigt das Stromband, welches das Auftriebswasser aus der Ostsee transportiert.

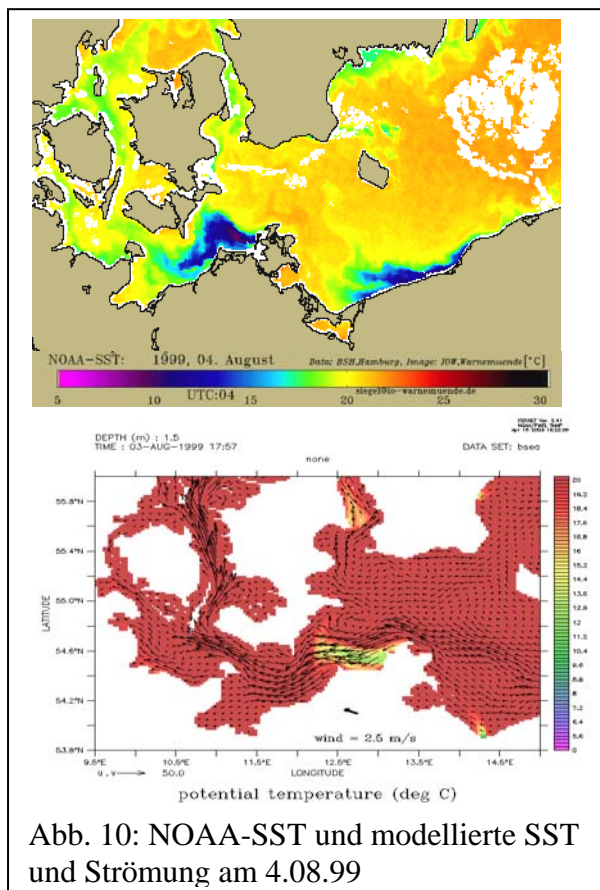


Abb. 10: NOAA-SST und modellierte SST und Strömung am 4.08.99

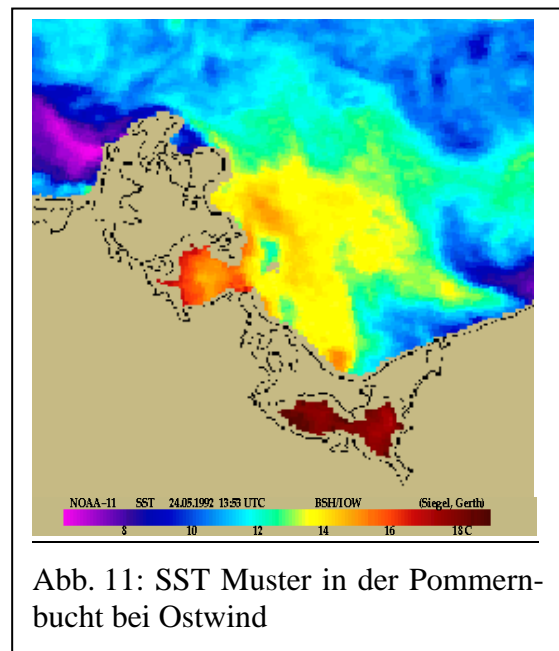


Abb. 11: SST Muster in der Pommernbucht bei Ostwind

In der Pommernbucht werden Oderausstrom und Buchtenwasser an der deutschen Küste gehalten und in nördliche Richtung transportiert, um dann an der Nordspitze Rügens in Richtung Nordwest bis in die zentrale Arkonasee abzudriften. In Abb. 6 wird an der NOAA-Serie vom August 1996 die mögliche hohe Variabilität im Oberflächentemperaturregime an der Küste MV deutlich. Innerhalb einer lang anhaltenden Ostwindsituation hat der vom 16.-18.8. vorherrschende Nordwind das kalte Auftriebswasser bei seinem Weg aus der Ostsee in südliche Richtung in die Mecklenburger Bucht hinein gedrückt. Mit erneutem Einsetzen des

Ostwindes ist der größte Teil der Bucht wieder mit Wasser um die 20°C gefüllt. Die thermische Front stößt in Höhe Buk auf die Küste. Sie trennt 20°C warmes Buchtenwasser vom 16 °C kalten Wasser, das aus dem Auftriebsereignis resultiert (Abb. 10).

Durch lang anhaltenden Ostwind wird der Wasserstand im Greifswalder Bodden stark erhöht, wodurch die Peene nicht mehr in den Greifswalder Bodden, sondern nach Norden abfließt. Auftrieb entsteht an der Nordküste der Greifswalder Oie und an der Südküste der Tromper Wiek. Aus dem Strelasund wird Greifswalder Bodden Wasser herausgedrückt (Abb.11).

6.2.3 SÜD-OST Wind

In den Sommermonaten sind süd-östliche Winde häufig im Zuge einer Ostwindsituation zu beobachten. Demzufolge wirken sie unterstützend auf die bereits existierenden Ostwindmuster der SST. So wird z.B. das kalte Auftriebswasser an der polnischen Küste verstärkt in Richtung offene Ostsee transportiert. In den Wintermonaten konnten länger anhaltende südöstliche Windlagen beobachtet werden. Im Dezember 1997 (Abb. 12) herrschte über mehrere Tage Wind aus Süd-Ost vor, der auch größere Windgeschwindigkeiten mit sich brachte. Das aufgrund der geringeren Tiefe schneller ausgekühlte Wasser der Pommernbucht wurde aus der Bucht hinausgedrückt und in Richtung Arkonabecken getrieben. In tieferen Gebieten wird das Wasser am Tage weiter durchmischt und hat daher auch im Oberflächenwasser eine höhere Temperatur. Sehr gut paust sich hier die 20m Isobathe durch, die den Rand des flachen Gebietes darstellt.

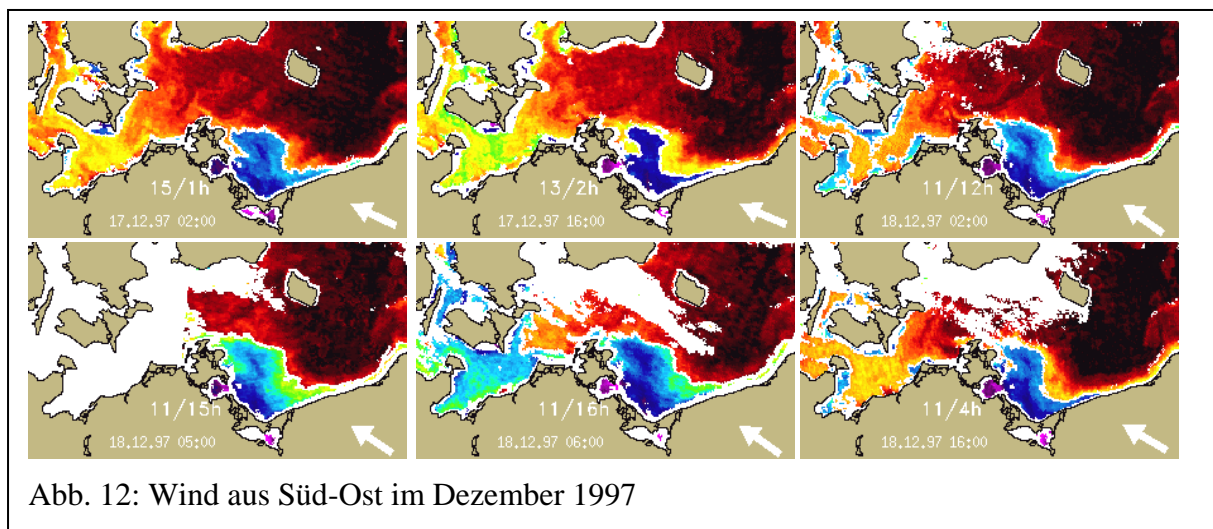


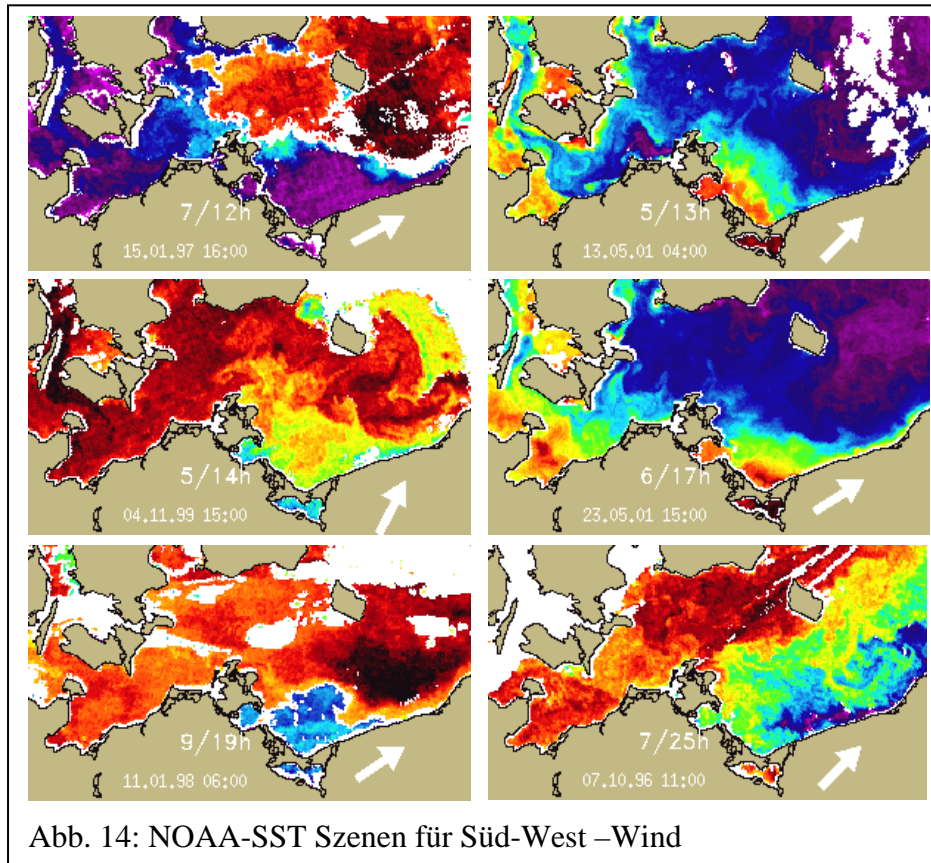
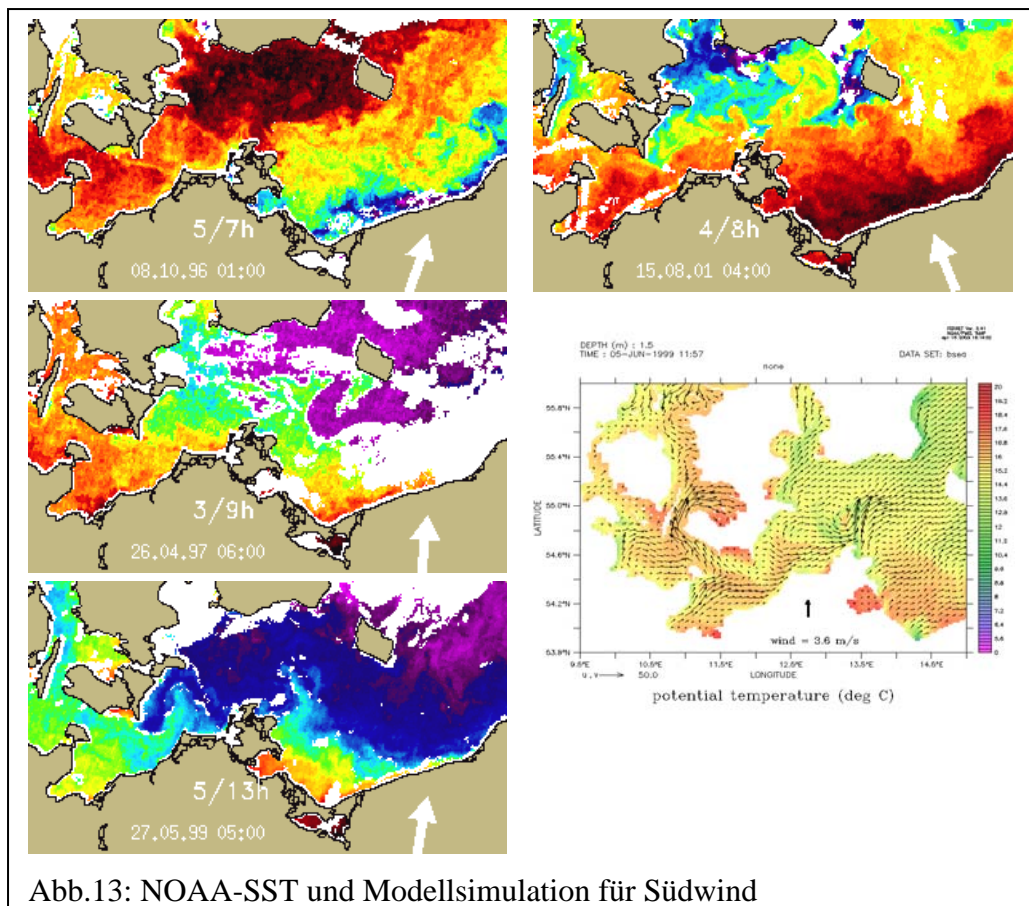
Abb. 12: Wind aus Süd-Ost im Dezember 1997

6.2.4 SÜD-Wind

Das gesamte Pommernbuchtwasser breitet sich nach Norden bis in die Arkonasee aus. Bis zur Darßer Schwelle ist die Mecklenburger Bucht mit Wasser ähnlicher Temperatur gefüllt. Allen Szenen ist gemeinsam, dass in Höhe der Darßer Schwelle wärmeres Wasser der südlichen Ostsee von kälterem Wasser der Arkonasee (im Sommer umgekehrt) getrennt wird (Abb.13).

6.2.5 SÜD-WEST-Wind

Der Greifswalder Boddenausstrom ist nach Nordosten gerichtet. Eine vorhandene Ausstromblase der Oder wird nach Osten transportiert. Bei vorangegangener Ostwindlage wird das Auftriebsfilament an der polnischen Küste nach Norden und NO gestreckt. Die Satellitenszenen vom 13.05.2001 und 11.01.1998 zeigen die Verlagerung des Pommernbuchtwassers in nordöstliche Richtung (Abb. 14).



6.2.6 WEST- Wind

Westwindsituationen sind meist begleitet von wolkenreichem Wetter, demzufolge ist es schwieriger als z.B. bei Ostwind, gute Satellitenbildserien zu finden, die die SST- Verteilung darstellen. Beispiele sind in Abb. 15 zusammengestellt. Der während der Ostwindperioden entstehende Auftrieb wird innerhalb kurzer Zeit zerstört. Die nach mehreren Stunden andauerndem Westwind gefundenen Oberflächentemperaturmuster sind in der Mecklenburger Bucht charakterisiert durch einen im Satellitenbild vom 03.05.1999 gut zu beobachtenden Wirbel. Die Modellszene vom gleichen Zeitpunkt verdeutlicht sehr anschaulich die zyklonale Bewegung in der Bucht. Die Lübecker Bucht wird von diesem Strömungsmuster nicht erfasst. Im Falle einer vorangegangenen Ostwindsituation werden die dabei entstandenen Auftriebsmuster rasch zerstört. Der Oderzustrom in der Pommernbucht und das Greifswalder Bodden-Wasser werden in Richtung Osten transportiert. An der polnischen Küste entsteht nach lang anhaltendem Westwind ein Warm- (20.07.1996, Sommer) bzw. Kaltwasserband (22.02.1997, Winter).

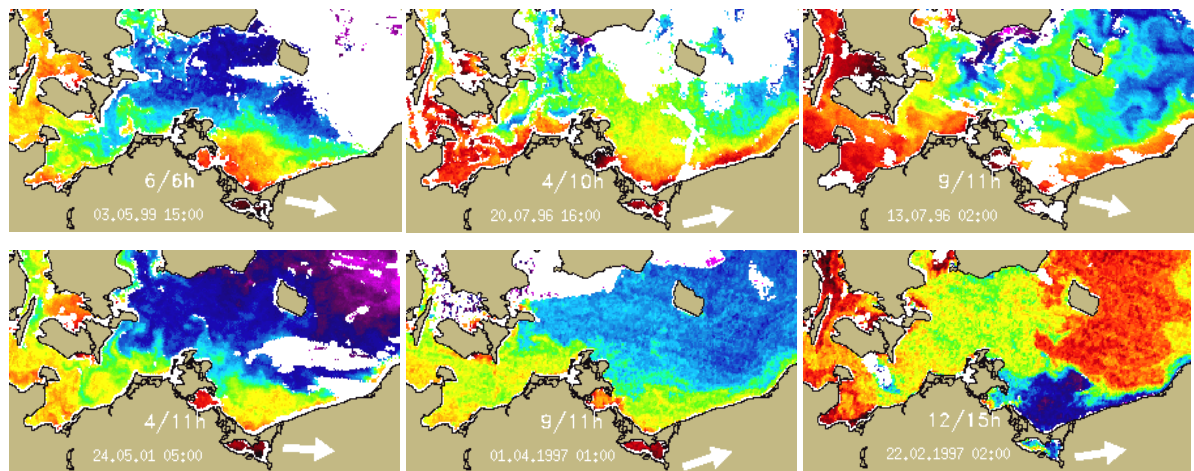


Abb. 15: SST-Muster innerhalb von Westwindsituationen

6.2.7 NORD-WEST-Wind

Nordwestlagen sind meist wolkenreich, so dass nur eine geringe Zahl guter Satellitenzenen verfügbar ist.

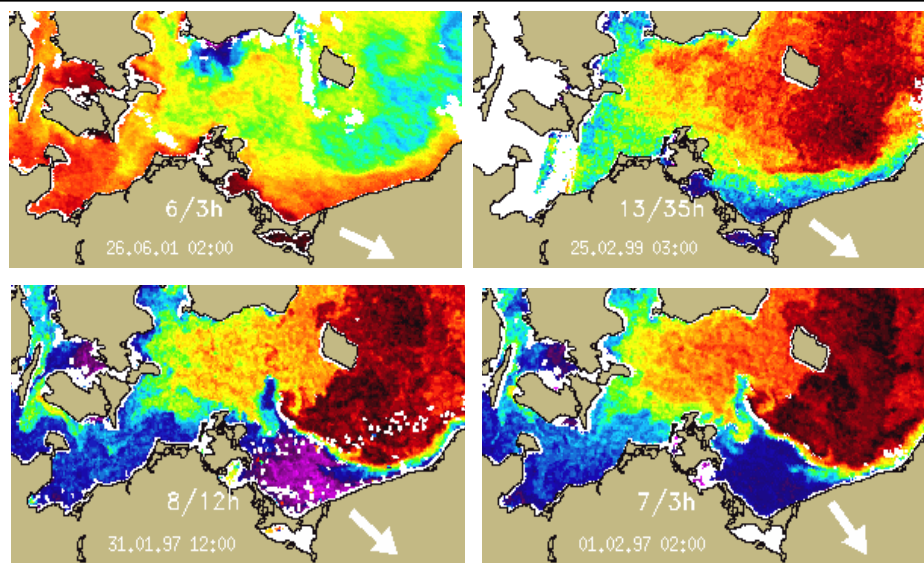


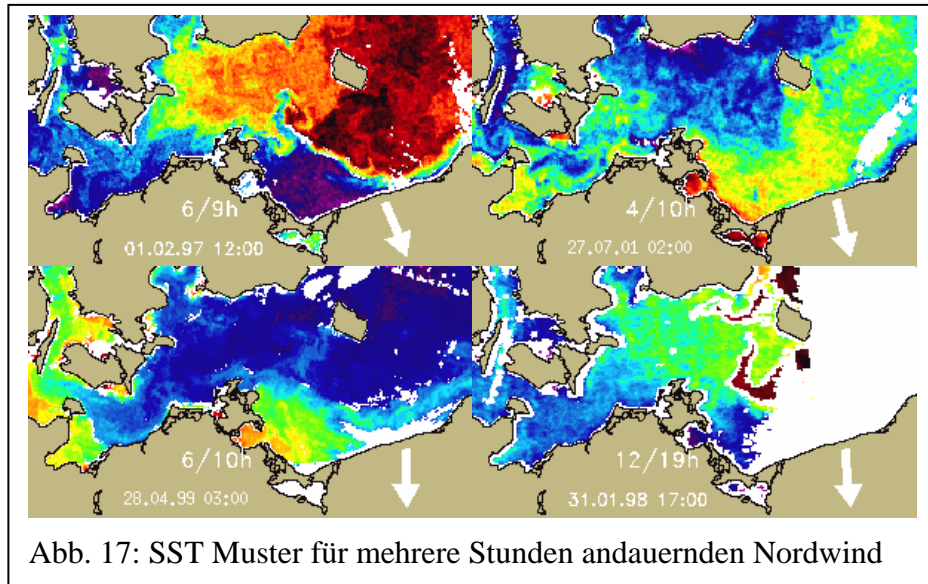
Abb.16: Beispiele für Warm- bzw. Kaltwasserband

Die Wirkung von nordwestlichen Winden ist ähnlich der von Westwind (Abb. 16). Der Auftrieb aus Ostwindperioden wird innerhalb kurzer Zeit zerstört. Dreht der Wind innerhalb einer Westwindsituation auf Nordwest, bleiben

die Westwindmuster bestehen. Der Greifswalder Boddenausstrom fließt entlang der Usedomküste nach Süden ab. An der mecklenburgischen Küste lagert besonders warmes (Sommer) bzw. kaltes (Winter) Wasser

6.2.8 NORD-Wind

Bei Nordwind sind nur selten gute Satellitenbilder vorhanden, hauptsächlich im Zusammenhang mit einer Westwindsituation und Drehung von Ost über Nord nach West. Das Oberflächenwasser der Arkonasee wird in Richtung Mecklenburger Bucht und Pommernbucht transportiert (Abb. 17). Der Greifswalder Boddenausstrom setzt nach Süden.



Bei vorangegangener Ostwindphase (August 1996, Abb. 6) wird der Hiddenseeauftrieb an die Küste und Teile des Kaltwasserausstroms bis in die Mecklenburger Bucht gedrückt. Der Nordwind stoppt oder reduziert den Oderausstrom.

Abb. 17: SST Muster für mehrere Stunden andauernden Nordwind

6.3 Windrichtungswechsel

6.3.1 Nord nach Ost

Am Beispiel des August 1996 kann ein Windrichtungswechsel von Nord nach Ost verfolgt werden (Abb. 18). Seit 6.08. herrschte Ostwind vor, der dann vom 14.-17. in Nordwind

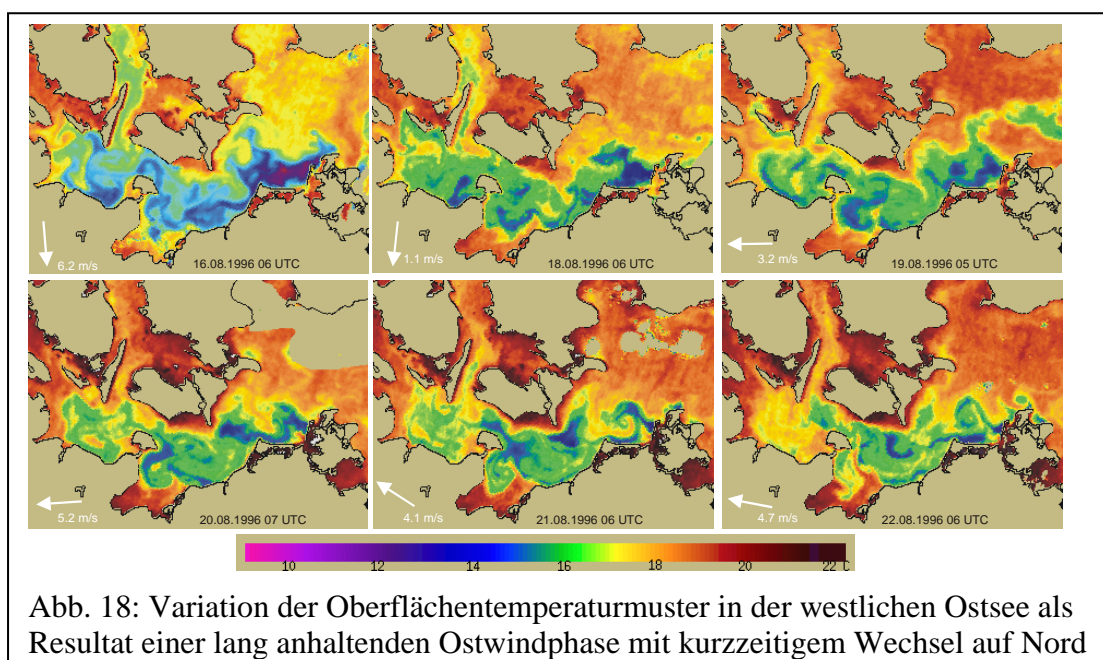
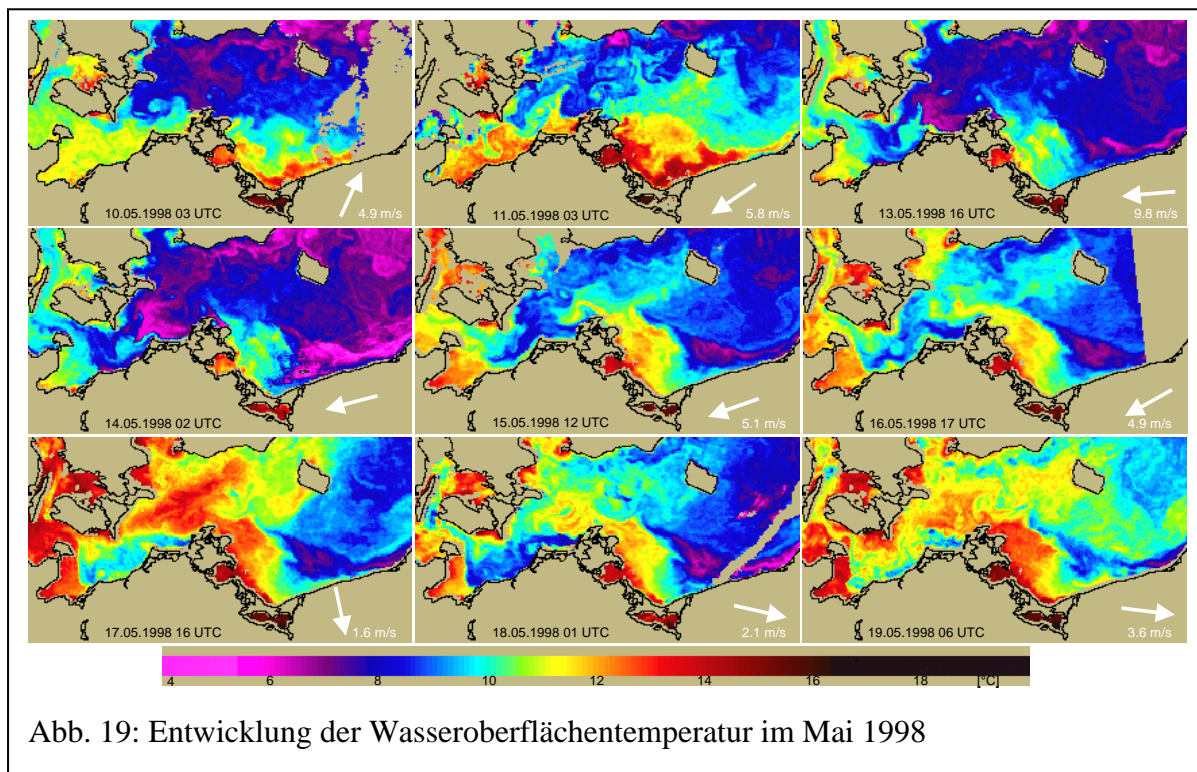


Abb. 18: Variation der Oberflächentemperaturmuster in der westlichen Ostsee als Resultat einer lang anhaltenden Ostwindphase mit kurzzeitigem Wechsel auf Nord

umschlug. Die Strukturen des ausströmenden kalten Wassers werden durch die nördlichen Winde verwischt. Am 16.08. erkennt man, wie in die Mecklenburger Bucht kaltes Wasser, das aus dem Auftrieb vor Hiddensee stammt, hineingedrückt wird. Nach dem erneuten Einsetzen der östlichen Winde baut sich zunächst die Front zwischen dem ausströmenden kalten Wasser und dem Lübecker Buchtwasser auf. Der sich bildende zyklonale Wirbel drängt Teile des warmen Wassers der Lübecker Bucht an die Küste vor Wismar bis nach Kühlungsborn und bildet dort eine Temperaturfront mit einem Gradienten von etwa 3 K.

6.3.2 Ost über Nord nach West

Der Mai 1998 ist ein Beispiel für Windwechsel von Ost über Nord nach West (Abb. 19). Seit dem 3.05. herrscht anfangs Nordwest, dann Westwind vor, der dann im Laufe des 10.05. über Südost, Nord nach Ost dreht. Die Ostwindperiode geht bis 16.05. und am 17.05. dreht der Wind über Nord nach West. Ab 18. Mai beginnt dann eine neue Westwindperiode. Aus den Satellitenbildern ist ersichtlich, dass Anfang Mai an der gesamten Mecklenburgischen Küste Wasser einheitlicher Temperatur vorhanden ist. Zu erkennen ist ein zyklonaler Wirbel in der Bucht. Mit Einsetzen des Ostwindes ändert sich die Situation in diesem Seegebiet, da die Lübecker Bucht von dem ausströmenden kalten, bei Hiddensee entstandenen Auftriebswasser, unbeeinflusst bleibt, entsteht eine Temperaturfront, die in Höhe Wismarer Bucht an die Küste grenzt. Mit Einsetzen des Westwindes werden die Auftriebsstrukturen zerstört.



Ab Anfang Mai 2000 ist eine lange Ostwindphase mit Auftrieb vor Hiddensee und Ausstrom aus der Ostsee zu beobachten (Abb. 20). Der Ausstrom des Kaltwasserauftriebs vor Hiddensee erzeugt eine thermische Front, die Höhe Buk auf die Küste trifft und die die Mecklenburger Bucht abtrennt. Um den 11. Mai erfolgt ein Wechsel auf West, wobei sich sehr schnell die Front in der Mecklenburger Bucht auflöst, der Greifswalder Boddenausstrom ist sehr gut zu sehen, der ab 13. Mai in Richtung Osten transportiert wird. Eine SeaWiFS

Serie dieses Zeitraumes belegt den Stofftransport in der Warmwasserfahne aus der Pommernbucht (siehe Katalog).

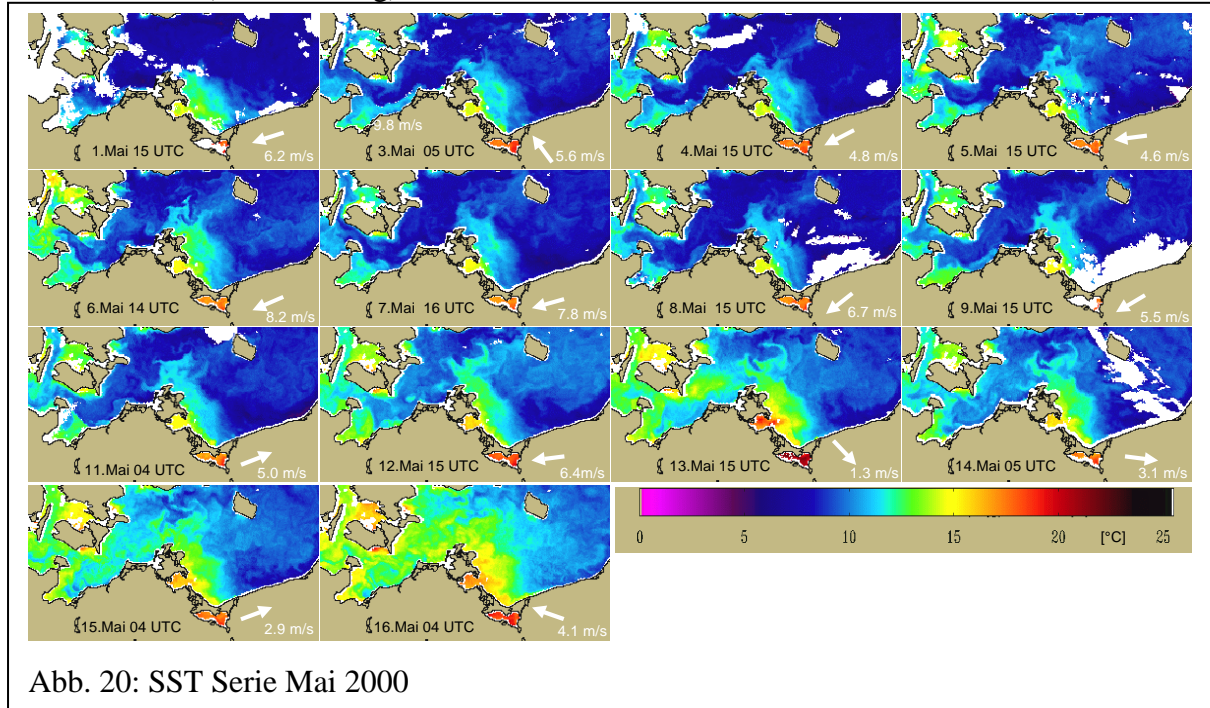


Abb. 20: SST Serie Mai 2000

6.3.3 Ost über Süd nach West

Anfang Mai 2001 beginnt nach Südwestwind im April eine Ostwindphase vom 8.-11. Mai, in deren Verlauf sich Auftrieb bei Hiddensee herausbildet (Abb. 21). Das ausströmende kalte Wasser bildet eine Front in der Mecklenburger Bucht. Besonders am 8. und 9. Mai driftet, das warme Wasser, das vor dem Darß lagert, in Richtung Westen. Der Oderaustrom propagiert entlang der deutschen Usedom Küste. Der am 12. Mai einsetzende Wind aus zunächst südwestlichen Richtungen zerstört allmählich das Auftriebsmuster.

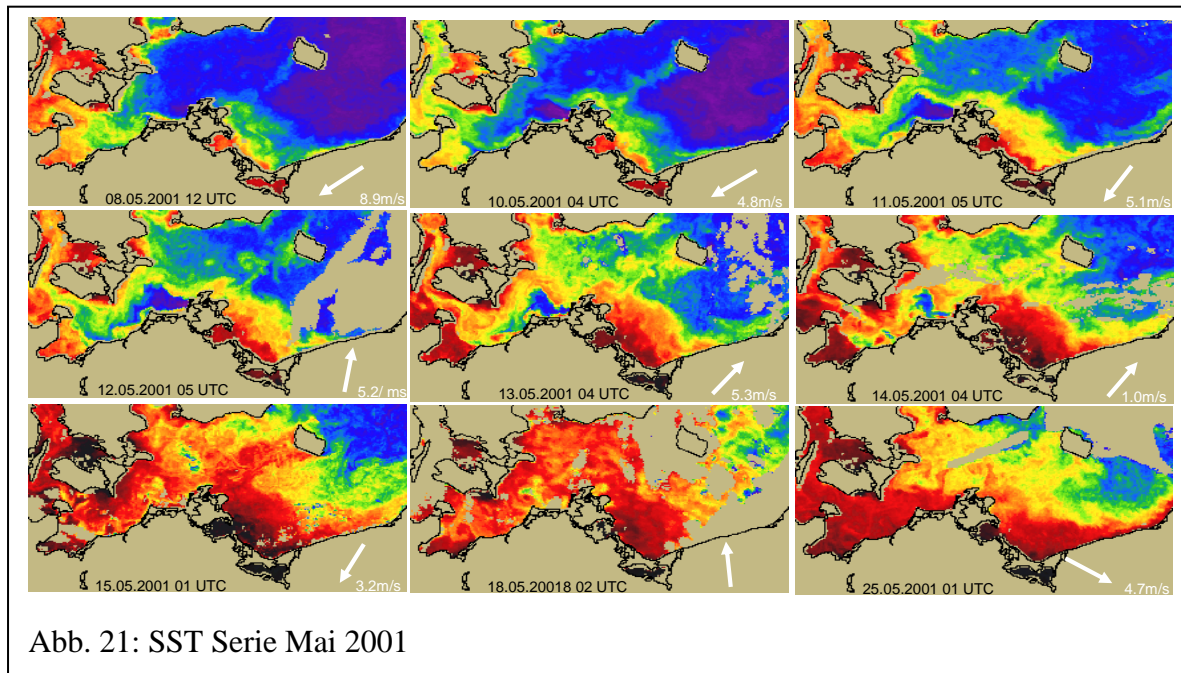


Abb. 21: SST Serie Mai 2001

6.3.4 West über Nord nach Ost

Im Juni/ Juli 2001 wurde ein gutes Beispiel für Windwechsel von West über Nord nach Ost gefunden (Abb. 22). Im Juni gab es nur West- und Nordwind mit sehr wolkenreichem Wetter, wodurch nur selten verwendbare Satellitenbilder aufgenommen wurden. Ende Juni entwickelte sich während des Westwindes ein Transportband warmen Wassers entlang der polnischen Küste. Der Greifswalder Boddenausstrom fließt entlang der Usedomküste. An der mecklenburgischen Küste lagert besonders warmes Wasser. Im Laufe des 3.07. dreht der Wind über Nord und es setzt für 5 Tage mäßiger Ostwind ein. Bereits am 5.07. deuten sich im Satellitenbild die Auftriebszellen vor der polnischen Küste an, so dass das Warmwasserband aufgelöst wird. Vor Hiddensee ist der Kern des Auftriebswassers bereits zu erkennen.

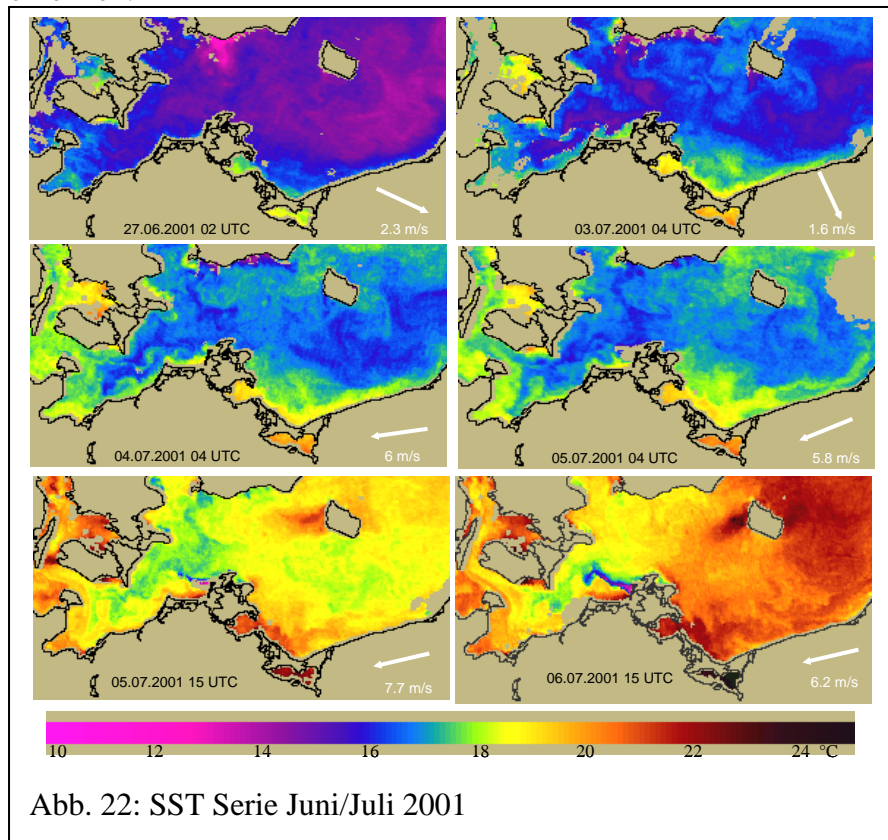


Abb. 22: SST Serie Juni/Juli 2001

7. Satellitendaten hoher räumlicher Auflösung

Für die Untersuchung kleinräumiger regionaler Besonderheiten von dynamischen Strukturen wurden vorrangig aktuelle Daten des kommerziellen Satelliten Landsat 7 ETM genutzt. Die Landsatdaten wurden gegenüber den Daten des Indischen Satelliten IRS-1C-LISS-III aus finanziellen Gründen favorisiert, da sie ansonsten ähnliche räumliche und spektrale Auflösungen haben. Außerdem beinhaltet der Landsat Datensatz zusätzliche Temperaturinformationen, die im Bereich hoher Temperaturgradienten besonders wichtig wurden. Durch die Aufnahmegeometrie und die hohe räumliche Auflösung von 30m ergeben sich Schwadbreiten von 200km und Wiederholraten von 16 Tagen. Dadurch ist die Zahl verfügbarer Szenen gegenüber Satelliten mit täglichen Aufnahmen stark reduziert. Hinzu kommt außerdem die hohe Wolkenbedeckung, die die Zahl verwendbarer Datensätze weiter reduziert. Deshalb wurden aus dem Datenkatalog des Distributors EURIMAGE die wolkenfreien Landsat-7-Szenen ausgewählt und durch intensive Vergleiche mit NOAA-SST Daten und SeaWiFS Chlorophyll Daten sowie den aktuellen Windsituationen auf ihre Eignung für unsere Aufgabenstellung überprüft. Für jede Windlage war es kompliziert Daten zu finden, da diese ja häufig mit Wolkenbedeckung einhergehen. In der Tab. 1 sind die 14 Szenen mit Datum und Windlage der vergangenen 12 Stunden zusammengestellt. Die Küste MV wird durch 3 benachbarte Überflüge erfasst, wobei benachbarte Szenen eine 50%ige Überlappung haben. Der erfasste Küstenabschnitt ist in der 2. Spalte angegeben.

Datum	Ausschnitt	Windlage
11.07.1999	Ostteil	Ost
03.08.1999	zentral	Ostnordost
11.09.1999	Westteil	Ostsüdost
13.09.1999	Ostteil	Ostsüdost
15.10.1999	Ostteil	Nordnordost
08.05.2000	Westteil	Ostnordost
14.08.2000	Ostteil	Ostsüdost
01.10.2000	Ostteil	Ost
11.05.2001	Westteil	Südwest
13.05.2001	Ostteil	Nordost
15.08.2001	Westteil	Südsüdost
27.03.2002	Westteil	West
29.03.2002	Ostteil	West
03.09.2002	Westteil	Ostsüdost

Tab. 1: Aufnahmedatum, Ausschnitt und Windlage der beschafften Landsat-7-ETM Daten

11.07.1999 unter Berücksichtigung des Winddatenblattes in Abb. 5 ableiten. Vorwiegend östliche Winde um 7-10m/s und einem Maximum um 15m/s ca. 16 h vor dem Aufnahmetermin erzeugen folgende Strukturen, wobei Gelbtöne hohe Schwebstoffkonzentrationen und Blautöne klareres Wasser bedeuten. Ost-West-Unterschiede im Oder-Haff lassen auf altes Wasser im Westteil schließen. Das frische Oderwasser im Ostteil dringt an der Südküste nach Westen, wie es schon für die Oderflut beschrieben und modelliert worden ist. Das Oderwasser propagiert aus der Swine entlang der Küste von Usedom nordwestwärts. Der pulsierende Ausstrom wird durch die frischen Ausstromblasen belegt. Der Ausstrom der Dziwna breitet sich nordwestwärts von der Küste weg in die offene

Für die vorhandenen Szenen wurden RGB-Übersichtsbilder in reduzierter räumlicher Auflösung erzeugt. Zur besseren Visualisierung von Strukturen im Wasser wurden Falschfarbendarstellungen aus den RGB's gewonnen. Ein Beispiel vom 11.7.1999 von der Pommernbucht ist in Abb. 23 dargestellt. Für jede Szene sind ausgewählte Ausschnitte der wichtigsten Küstenabschnitte mit voller räumlicher Auflösung produziert worden. Die Windsituation zu jeder Szene wird mit Hilfe des Datenblattes in Abb. 5 charakterisiert. Gleichzeitig wurden zu jeder Szene die beobachteten Phänomene und regionalen Besonderheiten zusammengestellt.

Folgende wissenschaftliche Aussagen lassen sich aus dem Beispiel vom

Pommernbucht aus. Ost-West-Unterschiede sind auch im Greifswalder Bodden vorhanden. Das alte Boddenwasser wird in das Innere gedrückt. Der Auftrieb an der Südküste zeigt geringere Schwebstoffkonzentrationen und trennt das Peenewasser ab, das in diesem Fall nach Nordwesten transportiert wird. Das Wasser der inneren Pommernbucht erreicht die Prorer Wieck. An der Halbinsel Jasmund wird Kreide oder Mergel erodiert. Das erodierte Material wird nach Norden und nach Süden transportiert. Im Süden wird es entlang der Mole von Saßnitz geführt und im Norden entlang der offenen Grenze der Tromper Wieck. Der Ekman Transport und der dadurch an der Südküste induzierte Auftrieb führen die Schwebstofffahne außen an der Wieck vorbei.

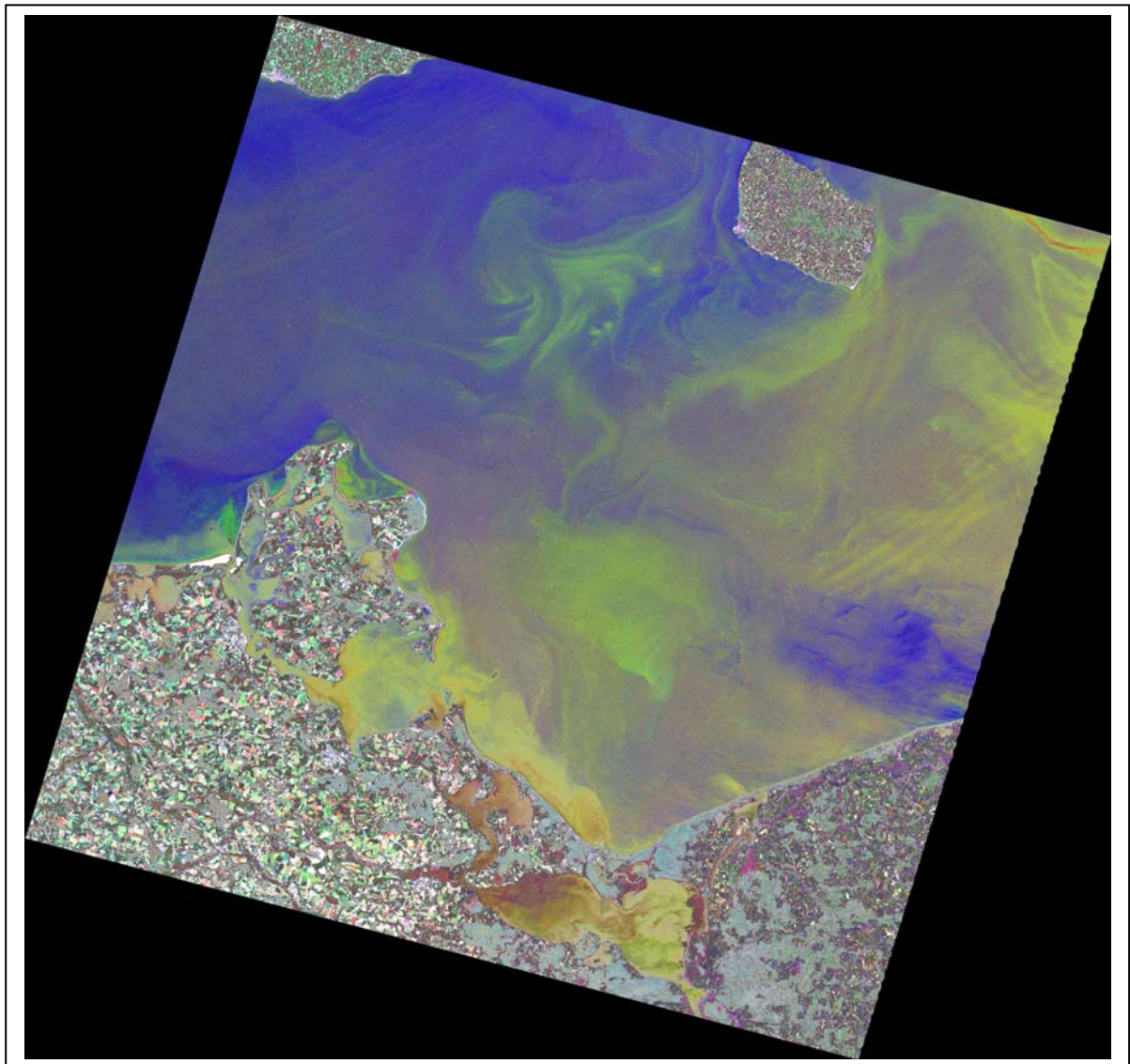


Abb. 23: Landsat-7 ETM Szene vom 11.7.1999. RGB Falschfarbendarstellung der Pommernbucht

8. Modellsimulationen

Die Modellsimulationen der westlichen Ostsee und des Oderhaffs, die im Rahmen unseres Projektes SIBIK Verwendung fanden, wurden mit zwei verschiedenen Modellen durchgeführt, die in anderen Projekten entwickelt und in diesem Rahmen weiterentwickelt worden sind. Zur Bearbeitung der anstehenden Fragestellungen wurden einerseits vorhandene Simulationen analysiert und gezielte Simulationen von Szenarien durchgeführt, die auf die Projektziele angepasst worden sind. Die Projektkonfigurationen und die generellen Ergebnisse sind in den folgenden Abschnitten dargestellt. Systematisierte Ergebnisse für die entsprechenden Windsituationen sind im Katalog zusammengefasst und durch Animationen anschaulich unterlegt.

8.1 Dreidimensionale Modellsimulationen in der westlichen Ostsee

Die Grundlage für Modellsimulationen der Ostsee ist das 3-dimensionale Zirkulationsmodell MOM, das im IOW seit längerer Zeit betrieben wird. Es ist eine Implementierung des Basis-Codes MOM 3.0, Pacanowski und Griffies (2000), mit vielen IOW-Erweiterungen für Anwendungen in der Ostsee. Das Modell hat eine freie Wasseroberfläche und verwendet ein konsistentes, tracererhaltendes Verfahren für die Einbeziehung von Frischwasserflüssen, Griffies u. a. (2001). Für die horizontale und die vertikale Vermischung werden moderne Parametrisierungen bereitgestellt.

Für die Aufgabenstellung im Rahmen von SIBIK musste eine möglichst hohe horizontale Auflösung verwendet werden. Bisher wurden Modelle mit einer maximalen Auflösung in der westlichen Ostsee von ca. 2 km gerechnet. Im Rahmen von Untersuchungen in verschiedenen Projekten konnte gezeigt werden, dass Modellsimulationen mit dieser Auflösung die wesentlichen dynamischen Muster in der Beltsee im Vergleich zu Beobachtungen gut reproduzieren (Schmidt u. a., 1998). Wegen der hohen Rechenlast umfassen die hochaufgelösten Simulationen in der Regel Prozessstudien über Zeiträume von wenigen Wochen. Für SIBIK wurden 2 spezielle Modellexperimente durchgeführt:

- ERA40: Eine Simulation mit realistischen meteorologischen Antrieben und
- WINDEXP: Eine Serie von Simulationen mit idealisierten Windlagen, die den Hauptwindrichtungen über der westlichen Ostsee entsprechen.

8.1.1 Die Modellkonfiguration

Das hochauflösende Ostseemodell des IOW umfasst das Gebiet 8°20' bis 30°18' östlicher Länge und 53°52' bis 66°9' nördlicher Breite, d. h. die gesamte Ostsee einschließlich Kattegat bis in den Skagerrak. Dabei wird das Gebiet 9°20' bis 15°22' östlicher Länge und 53°52' bis 56°22' nördlicher Breite mit einem gleichmäßigen Raster von 2 Minuten in der Länge und 1 Minute in der Breite, das sind ca. 1 Seemeile bzw. 2 km, aufgelöst. Nach Osten und Norden vergrößert sich das Modellgitter gleitend bis zu einer 9-fach geringeren Auflösung von ca. 9 Seemeilen bzw. 17 km, so dass alle aktiven, im Wasser liegenden Gitterzellen maximal ein Seitenverhältnis von 1:3 aufweisen. In westliche Richtung geht die Vergrößerung nur bis zu 3 Seemeilen bzw. 5.5 km. Die Abb. 24 verdeutlicht die horizontale Modellgeometrie durch ein Netz, das je 10*10 Gitterzellen umfasst.

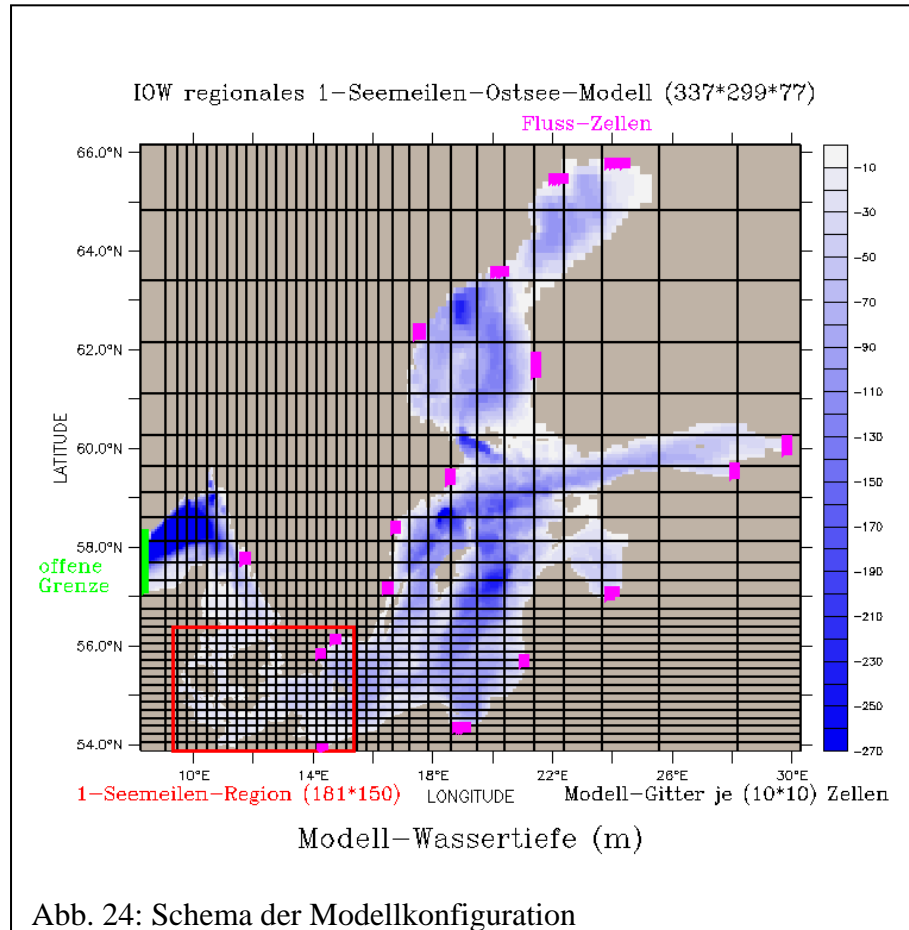
Vertikal wird der Wasserkörper durch 77 Schichten aufgelöst. Bis zu einer Tiefe von 27 m sind die Wasserschichten je 1.5 m dick, um die Schichtung und insbesondere die Schwellen in der westlichen Ostsee gut aufzulösen. Eine Ausnahme sind die beiden Schichten an der Wasseroberfläche mit 2.6 m bzw. 1.8 m. Damit ist sichergestellt, dass sich die Dicke der

Oberflächenschicht bei Schwankungen des Modellpegels von ± 1 m nur bis maximal ± 40 % verändert. Die Schichtdicke wächst bis zu einer Wassertiefe von 113 m gleitend auf 5 m an und bleibt dann konstant bis zur Maximaltiefe von 268 m, die ausreicht, um alle tiefen Becken der Ostsee abzubilden. Nur im Landsortief, das bis 459 m reicht, wird ein Wasservolumen von ca. 10 km^3 vernachlässigt.

Insgesamt umfasst das Modell ($337 \times 299 \times 77$) Gitterzellen und stellt damit eine Rechenlast dar, die nur noch auf modernen Höchstleistungsrechnern zu bearbeiten ist. Die Modellsimulationen wurden im HLRN (Hochleistungsrechenzentrum Nord) in Berlin und Hannover realisiert. Die notwendige Rechenzeit von ca. 200 NPL (CPU-Stunden parallel auf 32 Prozessoren) wurde von Mitarbeitern des IOW beim HLRN eingeworben.

Das Modell wird durch die Vorgabe meteorologischer Felder wie Wind, Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Einstrahlung und Bewölkung angetrieben, die von dem Modul „atmos“ nach Standardverfahren aus der Literatur in Wärme- und Impulsflüsse umgerechnet werden. Eine weitere Antriebsfunktion ist der Zustrom von Süßwasser. Die wichtigste Süßwasserquelle sind die Flüsse, die im Mittel ca. $15000 \text{ m}^3/\text{s}$ eintragen. Das Modell erhält diese Zufuhr in den Mündungsgebieten der 15 größten Flüsse (Abb. 24), in Form von Monatsmittelwerten nach Bergström und Carlsson (1994). Dadurch wird der Jahresgang der Flusseinträge berücksichtigt. (Niederschläge wurden nicht einbezogen, da dafür keine Wetterdaten verfügbar waren. Da sich Niederschlag und Verdunstung nahezu kompensieren, ist dieser Beitrag im Vergleich zu Flusszufuhr sehr klein.)

Im Skagerrak hat das Modell eine offene Grenze zur Nordsee (Abb. 24). Dort müssen Temperatur, Salzgehalt und Wasserstand vorgeschrieben werden. Für die Anbindung von Temperatur und Salzgehalt, werden die Monatsmittelwerte des klimatologischen Datensatzes von Janssen u. a. (1999) verwendet. Als Wasserstand wurde der um 4 Stunden zeitverschobene Pegel von Kungsvik vorgeschrieben.



8.1.2 Die realitätsnahe Simulation ERA40

Für eine realitätsnahe Simulation ist es erforderlich, neben den Antriebsfunktionen auch einen Anfangszustand für die Modellfelder vorzugeben, der der Wirklichkeit nahe kommt. Messdaten sind nur für bestimmte Zeitfenster verfügbar und reichen nur, um Teile des Modellgebietes auszufüllen.

Die Startfelder für die Modellsimulation wurden aus den Messdaten der IOW Terminfahrt im Mai 1999 erzeugt (Abb. 25). Die eingerahmten Gebiete wurden mit den Messdaten von Temperatur und Salzgehalt gefüllt, die Stationspositionen sind gekennzeichnet. Im restlichen Modellgebiet wurde der Monatsmittelwert für Mai aus der Klimatologie von Janssen u. a. (1999) eingesetzt. Für den Anfangswasserstand wurde als Näherung ($35\text{-}S_{\text{lokal}}$) in cm verwendet. Damit wird der Anstieg des Wasserstandes in der Ostsee relativ zur Nordsee mit einem Salzgehalt von ca. 35 grob berücksichtigt. S_{lokal} bezeichnet den vertikal gemittelten Salzgehalt innerhalb des Modellgebietes.

Als meteorologische Antriebe wurden Felder für Wind, Luftdruck, Lufttemperatur, Bewölkung und Taupunkttemperatur aus dem ERA40 Projekt des ECMWF (European Centre for Mid-range Weather Forecast) verwendet. Das sind Daten aus einem Wettervorhersagemodell mit einer relativ groben Auflösung von ca. 1.1° in Länge und Breite, die jedoch den Vorteil bieten, dass sie durch eine Reanalyseprozedur mit Messdaten abgeglichen worden sind.

Das Jahr 1999 wurde als Simulationsperiode ausgewählt, weil für diesen Zeitraum sowohl Antriebsdaten als auch eine große Anzahl von Satellitenszenen verfügbar sind. Die Simulation wurde am 01.05.1999 gestartet und lief dann in Zeitscheiben von je 14 Tagen bis zum 25.12.1999. (Jede Zeitscheibe entspricht einem Modelllauf von ca. 4 Stunden Rechenzeit mit 32 Prozessoren im HLRN.)

Die ersten 14 Tage wurden mit festgehaltenen Temperatur- und Salzfeldern mehrfach gerechnet, damit sich Wasserstand und Strömung im Modell an die Antriebe anpassen können. Demnach startet der eigentliche Simulationszeitraum am 15.05.1999.

Die Einteilung in Zeitscheiben von je 14 Tagen ergibt 16 Perioden, in denen die Verteilung von Substanzen aus lokalen Quellen unter verschiedenen Wetterbedingungen dargestellt werden kann. Dazu wurden im Modell von ausgewählten Positionen (Abb. 26), Driftteilchen mitgeführt, die in jedem Modellzeitschritt der aktuellen Strömung folgen. Die Drifter werden am Beginn jeder Zeitscheibe neu gestartet und verdeutlichen damit die Verdriftung innerhalb von je 2 Wochen. Dabei muss eine möglichst große Zahl von Teilchen betrachtet werden, weil aufgrund der nichtlinearen Kopplungen in den Bewegungsgleichungen Drifter aus sehr naheliegenden Positionen im Laufe der Zeit weit auseinander laufen können. Insgesamt wurden an den 7 küstennahen Stationen, die im Wesentlichen Flusseinmündungen entsprechen, 13500 Drifter gestartet. Dabei werden in jeder Modellbox im Abstand von 0.5 m in der Wassertiefe je 100 Teilchen gesetzt. Für die Auswertung wurden jeweils die 500 Drifter aus dem oberflächennahen Bereich von 0 bis 2 m visualisiert.

Desweiteren wurden für die Auswertung die folgenden Modelldaten abgespeichert:

- ◆ Mittelwerte über 1 Tag für die zweidimensionalen Felder (z. B. Wasserstand und Wärme Flüsse) bzw. über je 2 Tage für die dreidimensionalen Felder (Temperatur, Salzgehalt und Stromkomponenten) für alle Gitterpunkte.
- ◆ Momentanwerte aller Modellfelder im hochaufgelösten Gebiet der westlichen Ostsee (sog. snapshots) im Abstand von je 6 Stunden Modellzeit.
- ◆ Die Positionen der Driftteilchen alle 3 Stunden.

Diese Daten erfordern gepackt ca. 7.5 Gbytes Plattenspeicher, für die Auswertung mit ungepackten Feldern sind mindestens 20 Gbytes erforderlich.

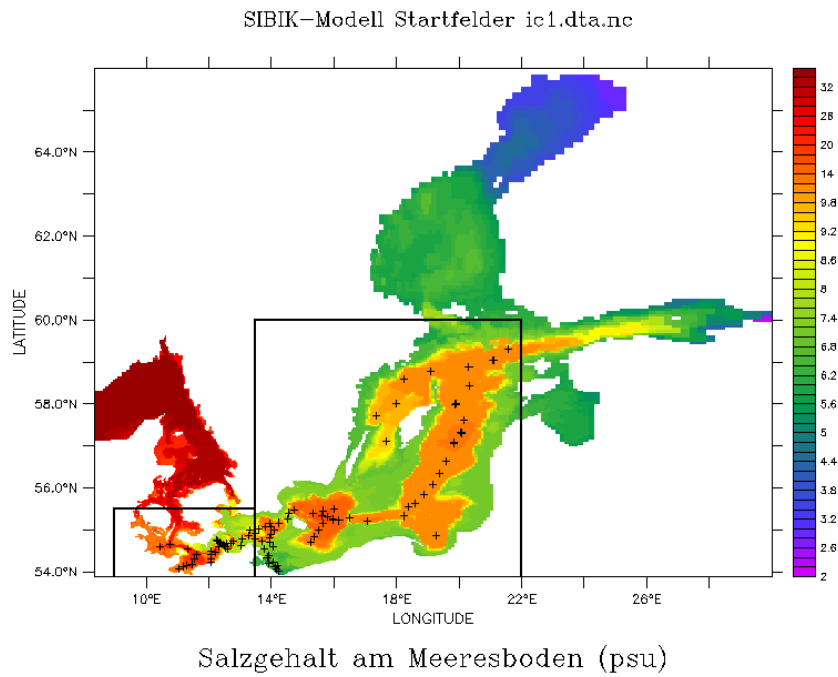
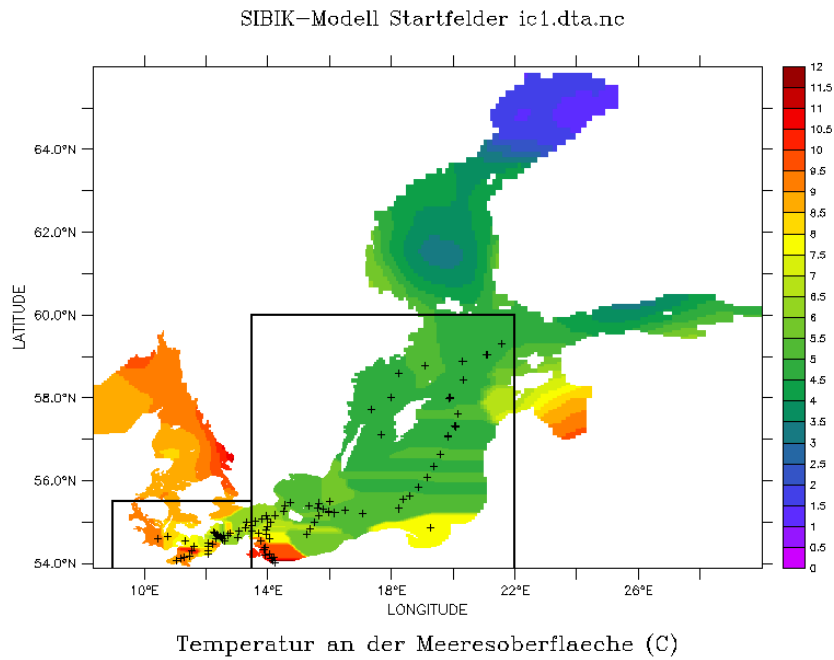
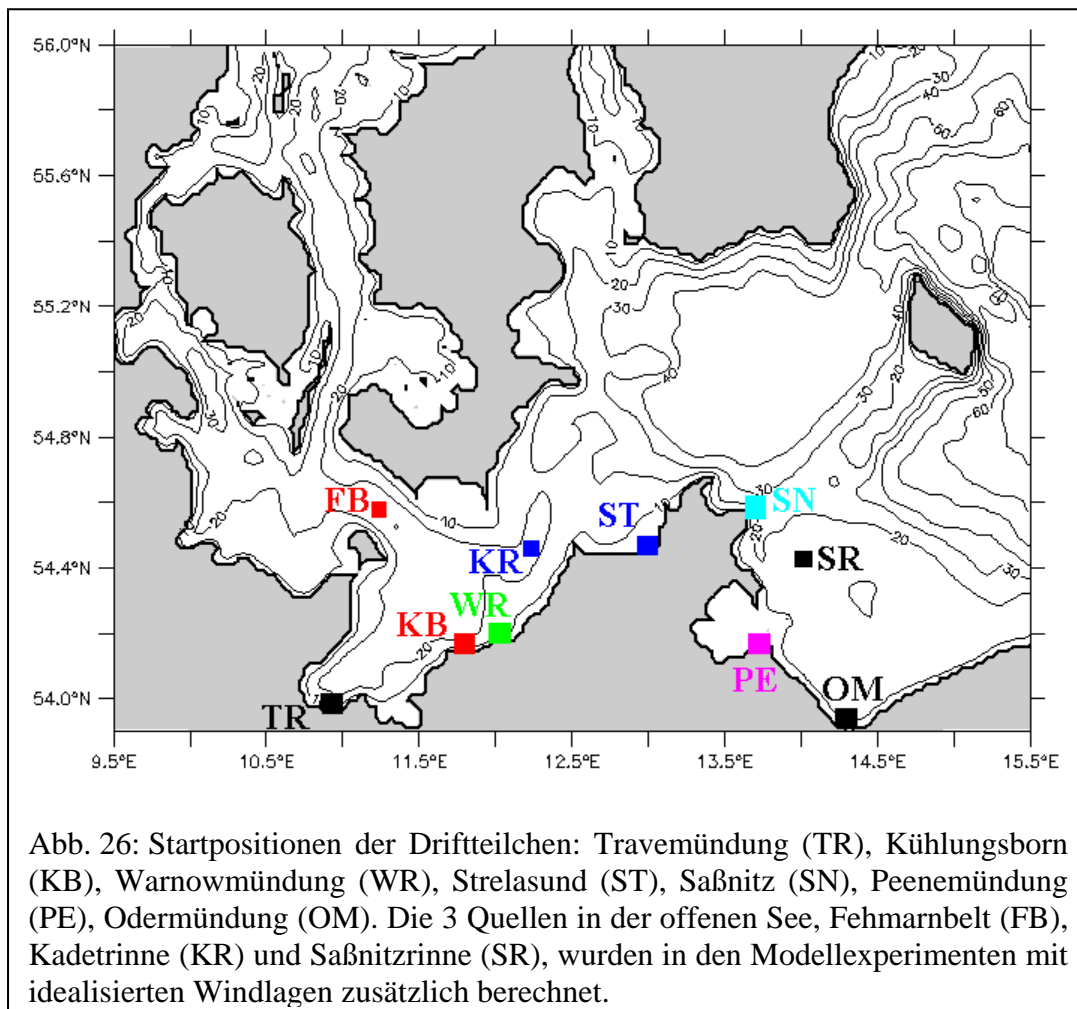


Abb. 25: Die Startfelder für Temperatur und Salzgehalt. Im eingerahmten Bereich wurden Messwerte (+) von der IOW Terminfahrt im Mai 1999 ausgebreitet.

8.1.3 Modellexperimente mit idealisierten Windlagen

Da bei realistischen Antrieben nur selten „reine“ Windlagen auftreten, stellen die simulierten Verteilungsmuster immer eine „Mischung“ dar, die von verschiedenen Windrichtungen und Windstärken geprägt sind. Deshalb wurden Modellexperimente mit idealisierten Windlagen durchgeführt, die es gestatten, für eine bestimmte Abfolge von Windrichtungen die typische Charakteristik der Verteilungsmuster abzuleiten.

Dafür wurde eine Serie von 8 Modellläufen durchgeführt, die einen Wechsel von Ostwind auf Westwind und umgekehrt simulieren, wobei der Wind entweder über Nord oder über Süd dreht. Der Wechsel der Windrichtung erfolgt jeweils innerhalb eines Tages, wobei in 4 Simulationen eine 4 Tage andauernde Zwischenwindlage aus Nord bzw. Süd angenommen wird (Tab. 2). Wie auch in den realitätsnahen Simulationen, wurden die vorgegebenen konstanten Winde von 7 m/s durch die Modelloption `random_wind` mit kurzzeitigen Fluktuationen von im Mittel ± 2 m/s überlagert. Diese Fluktuationen sind erforderlich, um eine bessere Vermischung in der Deckschicht zu erhalten. Alle anderen Antriebe sind identisch mit dem ERA40-Experiment.



Als Zeitraum wurde die Zeitscheibe vom 26.06. bis 10.07. ausgewählt, die sich in der realitätsnahen Simulation durch relativ schwache Winde von ca. 5 m/s auszeichnet, wobei im Zeitraum vom 01.07. bis 06.07., bei ständig wechselnden Windrichtungen zwischen Nordwest und Südost, kein ausgeprägter Einstrom oder Ausstrom stattfindet. Dabei wurde

die Modellzeit auf das Jahr 1900 gesetzt, um darauf hinzuweisen, dass es sich nicht um eine realitätsbezogene Simulationen handelt.

Die Zahl der Driftteilchen wurde durch 3 zusätzliche Quellen auf ca. 20000 erhöht. Diese Startpositionen liegen in der offenen See im Fehmarnbelt, in der Kadetrinne und östlich von Rügen (Abb. 25).

Tab. 2: Idealisierte Windlagen

a) Abfolge von 3 Windlagen

Akronym	1. Windlage	Windwechsel	2. Windlage	Windwechsel	3. Windlage
ENW	3 Tage Ostwind	1 Tag auf Nord	4 Tage Nordwind	1 Tag auf West	5 Tage Westwind
ESW	3 Tage Ostwind	1 Tag auf Süd	4 Tage Südwind	1 Tag auf West	5 Tage Westwind
WNE	3 Tage Westwind	1 Tag auf Nord	4 Tage Nordwind	1 Tag auf Ost	5 Tage Ostwind
WSE	3 Tage Westwind	1 Tag auf Süd	4 Tage Südwind	1 Tag auf Ost	5 Tage Ostwind
Modellzeit	26.06.-29.06.	29.06.	30.06.-04.07.	04.07.	05.07.-10.07.

b) schneller Wechsel zwischen Ost- und Westwind

Akronym	1. Windlage	Windwechsel	2. Windlage
EENWW	5.5 Tage Ostwind	1 Tag über Nord	7.5 Tage Westwind
EESWW	5.5 Tage Ostwind	1 Tag über Süd	7.5 Tage Westwind
WWNEE	5.5 Tage Westwind	1 Tag über Nord	7.5 Tage Ostwind
WWSEE	5.5 Tage Westwind	1 Tag über Süd	7.5 Tage Ostwind
Modellzeit	26.06.-01.07.	01.07.-02.07.	02.07.-10.07

Die Asymmetrie in der Andauer der Ost- bzw. Westwindlagen ist auf einen Fehler im Modellkalender zurückzuführen, der das Jahr 1900 als Schaltjahr behandelt und deshalb die Zeitmarken der vorgegebenen Winde auf einen Tag früher verschoben hat.

8.1.4 Generelle Ergebnisse der Modellsimulationen

Ein direkter Vergleich der Modellfelder, die Mittelwerte für Gitterzellen von ca. 2*2 km² Fläche und Schichtdicken von 1.5 bis 5 m darstellen, mit Punktmessungen an Stationen oder von Schiffen ergibt typischerweise ein Bild wie in Abb. 27, die die Strömung an der Messposition auf der Darßer Schwelle zeigt. Es gibt viele Abweichungen in den Details, aber die Abfolge von Ausstrom (blau), Einstrom (gelb-rot) und die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Stromgeschwindigkeiten wird gut wiedergegeben.

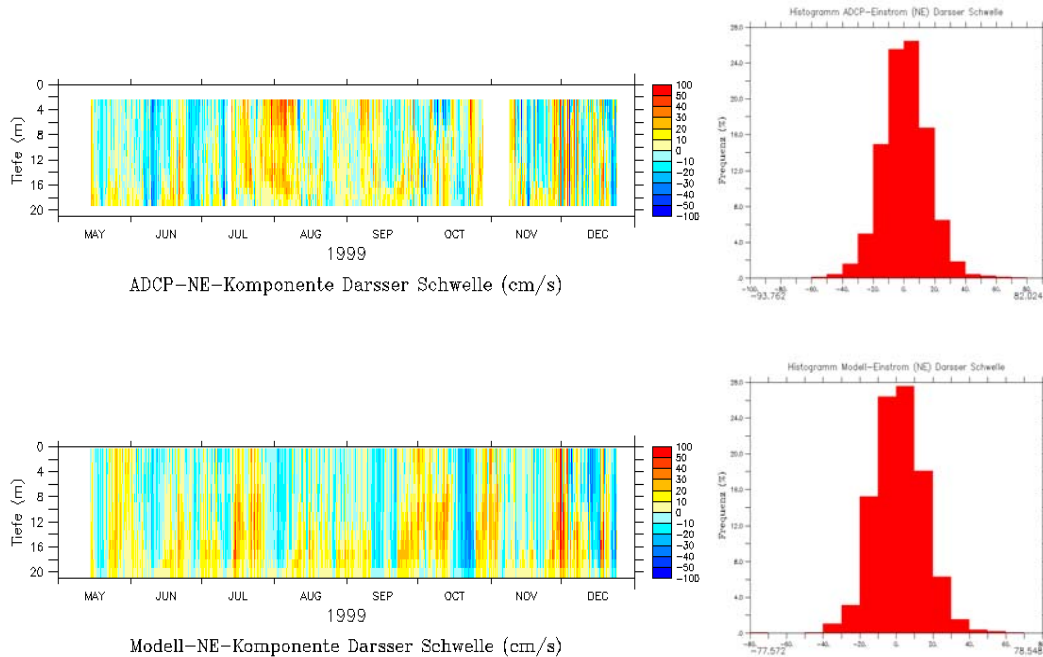


Abb. 27: Gemessener und modellierter Ausstrom (blau) bzw. Einstrom (rot-gelb) an der Darßer Schwelle. Links das Vertikalprofil der auf Nordostrichtung projizierten Strömung, rechts die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Stromgeschwindigkeiten.

Eine detaillierte Diskussion von Modellergebnissen erfolgt weiter unten im Vergleich mit Satellitendaten und im Rahmen des SIBIK-Katalogs. Deshalb werden hier nur kurz einige generelle Gesichtspunkte zusammengestellt.

Die realitätsnahe Simulation mit ERA40-Antrieben zeigt:

- Die Modellsimulation reproduziert in Abhängigkeit von den vorgegebenen Antriebsfeldern weitgehend die beobachteten Strömungsmuster. Die großräumige Wasserstandsdifferenz zwischen Nord- und Ostsee und die damit zusammenhängenden Wassertransporte durch Belte und Sund werden richtig wiedergegeben.
- Eine Reihe der vom Modell simulierten Auftriebsereignisse können durch Satellitenbilder belegt werden. Dabei zeigt sich, dass sowohl die Auftriebszellen, als auch die Andauer und die Verteilungsmuster der Kaltwasserfahnen übereinstimmen.
- Auch die durch Messungen und vor allem durch Satellitenaufnahmen nachgewiesenen kurzlebigen (transienten) Wirbel, die insbesondere bei der Umstellung von Windlagen auftreten, werden vom Modell aufgelöst.
- Das Modell ist deshalb geeignet, die Verdriftung von Schwebteilchen zu beschreiben.
- Die Herausbildung der saisonalen thermischen Sprungschicht wird in der Beltsee gut wiedergegeben, wobei eine Tendenz zu leicht überhöhten Wasseroberflächentemperaturen im Sommer besteht.
- Das impulsartige Einströmen salzreichen Bodenwassers über die Darßer Schwelle und die Drogden Schwelle wird vom Modell zwar in wesentlichen Zügen (Auftreten und Andauer) reproduziert. Das Bodenwasser erscheint jedoch an den Schwellen mit zu geringen Salzgehalten. Das Problem besteht darin, dass die zur Zeit im Modell verfügbaren Schemata zur Simulation der vertikalen Vermischung es nicht erlauben,

gleichzeitig die variable durchmischte Deckschicht und eine bodennahen Salzschiicht korrekt zu beschreiben. Außerdem weisen alle Modelle, die mit festen Wasserschichten arbeiten, eine numerische Vermischung beim Überströmen von Schwellen auf.

Zusammenfassung für die Simulationen mit idealisierten Windlagen

- Bei anhaltenden (länger als ca. 2 Tage) Ost- bzw. Westwindlagen sind die Strömungsmuster und die Drifterverteilungen vom Aus- bzw. Einstrom dominiert, der sich als breites Stromband von Arkona bis in den Großen Belt erstreckt. Vor Lolland und Moen und in der Lübecker Bucht, die meist abgeschattet ist, bilden sich neben dem Stromband zeitweise Rezirkulationszellen (WSE, WWSEE). Die Pommersche Bucht ist bei Ostwind durch eine nordwestliche und bei Westwind durch eine südöstliche Strömung bestimmt, das zeigen die Drifter aus der Quelle Saßnitzrinne (SR).
- Bei schnellem Wechsel zwischen Ost- und Westwind (und umgekehrt) spielt es keine Rolle, ob der Wind über Nord oder Süd dreht. Aufgrund der kurzen Einwirkzeit der Zwischenwindlage weisen die Strömungsmuster und die Drifterverteilungen nur geringfügige Unterschiede auf.
- Die regionale Verteilung der Küstenabschnitte, die durch antreibende Drifter beeinträchtigt werden können, hängt wesentlich davon ab, ob diese bei einer Ost- oder Westwindlage freigesetzt werden.
 - ◆ Freisetzung bei Ostwind: Drifter aus Quellen in der Mecklenburger Bucht (KB, WR, FB, KR) werden vom Ausstrom erfaßt und weit in den Großen Belt transportiert. Beim folgenden Einstrom besteht nur ein geringes Risiko, dass Drifter bis an die Küste zurückgetragen werden (KB bei ENW, WR bei EESWW). Die Quellen vor Rügen und in der Oderbucht (SN, PE, OM, SR) verdriften überwiegend in die offene See. Besonders bei einer Zwischenlage aus Nord besteht jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass Teilchen zwischen Arkona und Usedom an die Küste gespült werden.
 - ◆ Freisetzung bei Westwind: Durch den westwärts gerichteten Einstrom werden Emissionen aus Küstenquellen (TR, KB, WR, ST) als geschlossene Wolken über Tage längs der Küste verdriftet. Erst bei Ausstrom lösen sich die Drifter zum großen Teil von der Küste ab. Bei Nordwind oder lang anhaltendem Westwind erreichen Drifter aus der Kadetrinne die Nordküste des Darß.
- Aufgrund der Stromabschattung der Lübecker Bucht verbleiben Emissionen aus der Quelle Travemündung (TR) bei allen Windlagen zum großen Teil innerhalb der Bucht und können die angrenzende Küste erreichen.
- Eine Sonderstellung nimmt auch die Quelle Strelasund (SR) ein, für die sich in allen Fallbeispielen Küstenkontakte ergeben. Bei einer Freisetzung während Ostwind gelangen Drifter bis vor die Wismarbuch und bis Arkona und können alle dazwischenliegenden Küstenabschnitte erreichen (Regionen 2 bis 6). Bei Emissionen während einer Westwindlage werden Drifter aus dieser Quelle nur an die Küste von Hiddensee bis Nordrügen (Region 6) getragen.
- Aufgrund des flachen Meeresbodens bildet ein Teil der Drifter in der Peenemündung (Quelle PE) stets eine lokale Wolke (plume). Emissionen bei Westwind tragen Teilchen in den Greifswalder Bodden und an die Ostküste Rügens (Regionen 7 und 8). Starten die Teilchen bei Westwind, gefolgt von Nordwind (WNE), dann werden große Teile der Küste von Usedom erreicht (Region 9). Bei anhaltendem Westwind erfolgt die Drift vor Usedom, der folgende Ostwind (WWNEE, WWSEE) trägt die Teilchen dann an die Küste von Ostrügen (Region 7).

8.1.5 Vergleich mit Satellitendaten

Ergebnisse der realitätsnahen Modellsimulationen vom 1.05.1999 bis 25.12.1999 wurden genutzt, um Vergleiche mit Satellitendaten der Wasseroberflächentemperatur durchzuführen um die Reproduzierbarkeit der Prozesse und dynamischen Muster zu testen. Im folgenden sind zwei ausgewählte Beispiele dargestellt, die die gute Übereinstimmung verdeutlichen. Weitere Gegenüberstellungen befinden sich im Katalog, wo die verschiedenen Muster bei den Hauptwindrichtungen systematisiert sind.

Das erste Beispiel vom Mai 1999 zeigt die Bildung einer zyklonalen Wirbelstruktur in der Mecklenburger Bucht nach mehrtägiger Westwindphase und einer Drehung des Windes auf schwache nördliche Winde am 3.05.1999 (Abb. 28). Der Wirbel ist sowohl in der NOAA-SST als auch in der modellierten Strömung und Temperatur zu erkennen.

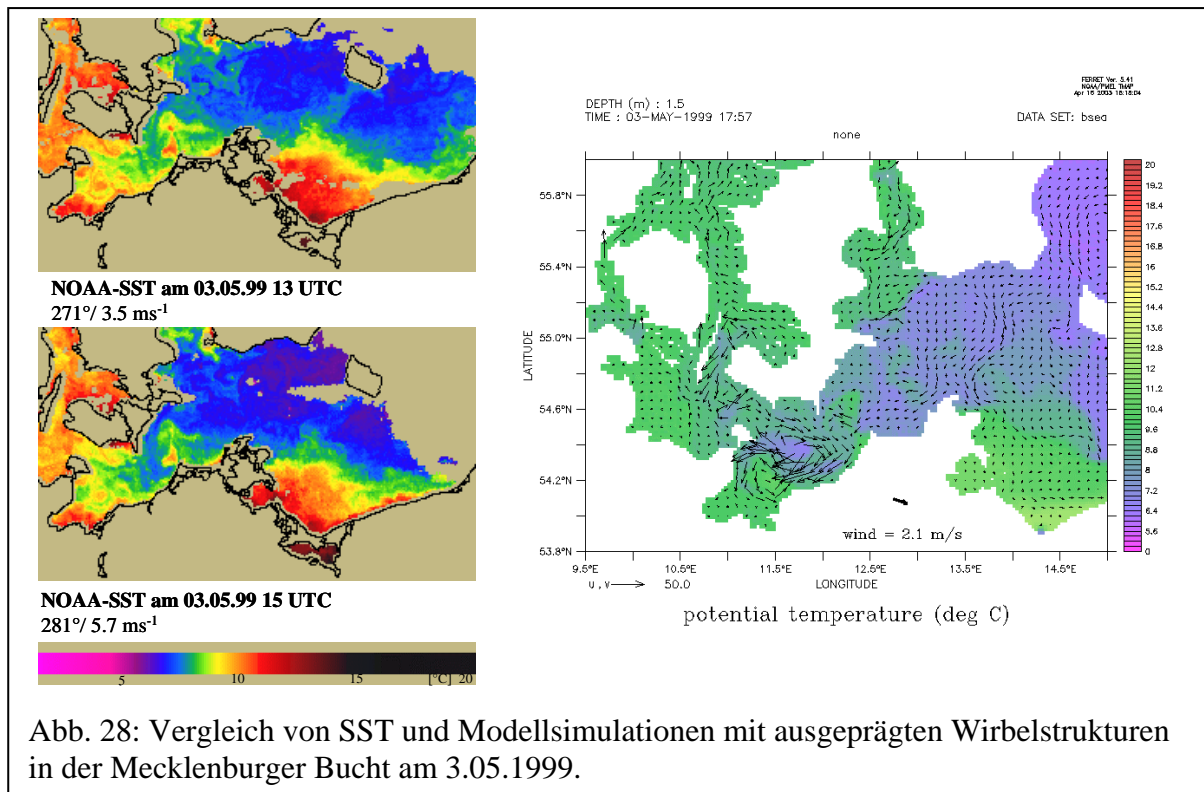


Abb. 28: Vergleich von SST und Modellsimulationen mit ausgeprägten Wirbelstrukturen in der Mecklenburger Bucht am 3.05.1999.

Zeitreihen der NOAA-SST und der modellierten Temperatur und Strömung vom Juli/August 1999 sind in den Abbildungen 29 und 30 dargestellt, die die Herausbildung des Auftriebs vor Hiddensee verdeutlicht. Der gewählte Zeitraum ist durch vorherrschende östliche Winde nach einer Westwindphase charakterisiert. Am Ende dreht der Wind wieder auf West. Zu Beginn der Ostwindphase ist die Temperaturverteilung in der westlichen Ostsee ziemlich homogen. Erste Andeutungen des Auftriebs vor Hiddensee sind bereits am 30.07. zu erkennen. Bereits am 1.08. hat sich das Filament deutlich herausgebildet. Der Höhepunkt des Ereignisses ist am 4. und 5.8. erreicht, wo im Kern des Filaments Temperaturen um 10°C (SST) vorhanden sind und das kalte Auftriebswasser mit dem Ausstrom bis über den Fehmarnbelt transportiert ist und die Ostsee verlässt. Im Vergleich zum Arkonaseewasser mit Temperaturen über 20°C ergibt sich ein Gradient von mehr als 10K. Die modellierten Temperaturen weisen am 4.08. ähnliche Unterschiede und Absolutwerte auf.

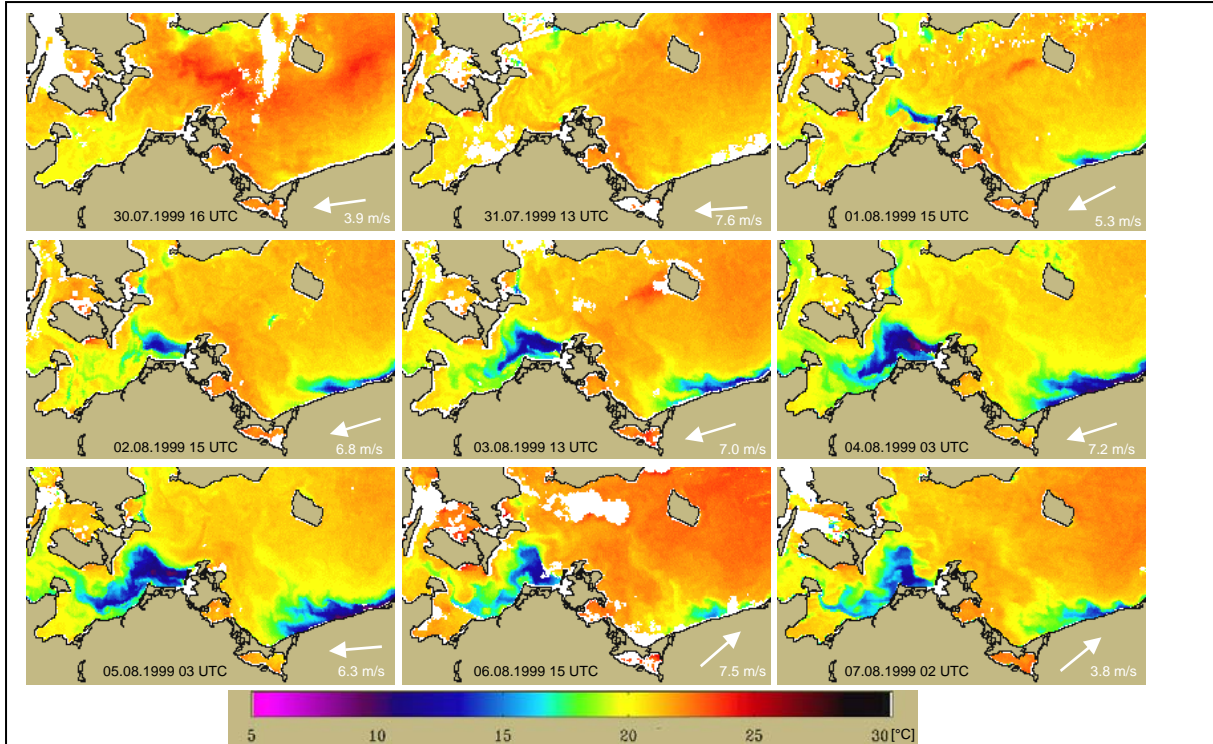


Abb. 29: Beobachtete SST-Muster zu den Ergebnissen der Modellierung in Abb. 30

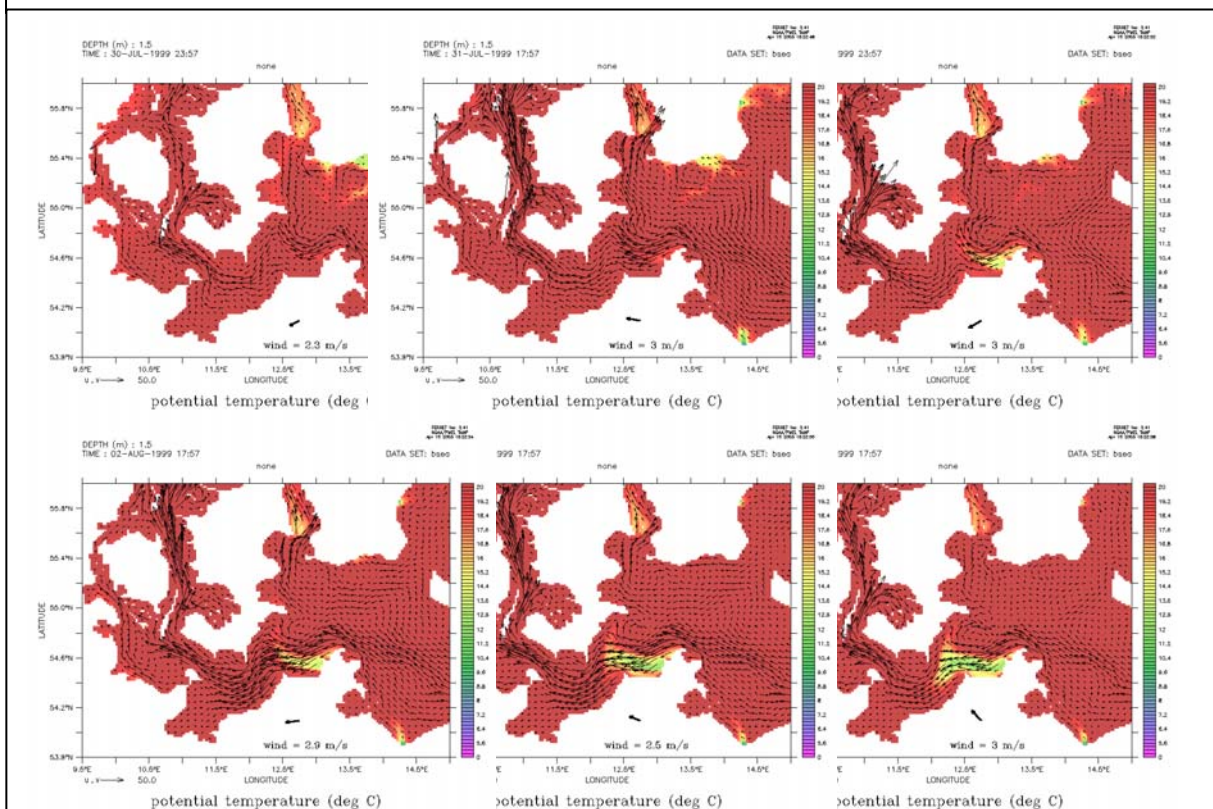


Abb. 30: Modellergebnisse für einen Zeitraum im August 1999 während einer Ostwindphase

8.2 Modellsimulationen im Oderhaff

8.2.1 Modellkonfiguration und Simulationen

Im Oderhaff wurde ein 2D-Strömungsmodell angewendet. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind Mittelwerte von der Oberfläche bis zum Gewässergrund. Die durchgeführten Validationsmessungen der Strömung stimmen sehr gut mit den berechneten Werten überein. Das gilt sowohl für die Richtung als auch für die Strömungsgeschwindigkeit. In einem relativ flachen Gewässer ohne vertikale Wasserschichtung, wie dem Haff ist das 2D-Modell sehr gut geeignet. Die räumliche Auflösung des Modells ist für die einfache Morphometrie des Haffs ausreichend. Wesentliche Wirbel und Strukturen werden gut aufgelöst (100-600m). Bei küstennahen Strömungen spielen Windabschattungseffekte durch die Ufervegetation eine erhebliche Rolle. Diese Effekte kann das Modell berücksichtigen. Wird das dem Modell zugrund gelegte Windfeld der Realität nicht angepasst, also beispielsweise ein konstanter Wind für das gesamte Haff angenommen, so treten deutliche Diskrepanzen zwischen Simulationen und Messungen auf. Das Windfeld wurde entsprechend interpoliert.

Das Strömungsfeld zeigt ein typisches Muster mit relativ hohen vertikal gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten analog zur Windrichtung. In zentralen Bereichen zeigt sich im Mittel eine Kompensationsströmung gegen den Wind. Dies ist ein Mittelungseffekt, der aus einer dem Wind folgenden Oberflächenströmung und einer starken Gegenströmung nahe dem Gewässergrund resultiert. Unmittelbar an der Küste bilden sich zahlreiche kleine und relativ instabile Wirbel, die einen Austausch zwischen Schilfgürtel und Freiwasser begünstigen, sich in den Simulationen aufgrund der räumlichen Auflösung aber nicht abbilden. Im Haff zeigen sich an zahlreichen Stellen große horizontale Wirbel, die als Fallen für driftendes Material, wie Phytoplankton, wirken können und räumliche Heterogenitäten der Stoffkonzentrationen begünstigen, z. B. Nordwesten. Die großen Wirbel bleiben auch bei Windrichtungswechseln erhalten und ändern lediglich ihre Form und Lage. Sind also persistent und begünstigen dadurch anhaltende räumlich Heterogenitäten der Stoff- und Organismenverteilungen. Die Wirbel im Nordwesten mit hoher Trübung aufgrund ihrer Stabilität und Planktonentwicklung im Inneren konnten während der Oderflut anhand von räumlich hochauflösenden Satellitendaten beobachtet werden (Abb. 31).

Monitoringstationen sollten nicht in diesen Wirbeln liegen, wenn man einen mittleren Zustand erfassen möchte.

Der Transport von Oderwasser direkt in die Ostsee wird durch nördliche bis nordwestliche Winde begünstigt. Speziell bei südlichen bis süd-westlichen Winden erreichen weitaus größere Oderwassermengen, mit ihrer hohen Nährstofffracht das Kleine Haff. Die Wind- und Strömungssituation hat somit erhebliche Bedeutung für die während des Monitorings gemessenen Konzentrationen und erleichtert die Interpretation von Daten.

Die Resuspension von Sediment spielt eine wesentliche Rolle im Haff und beeinflusst verschiedene Messgrößen. In weiteren Modellanwendungen soll deshalb durch Ankopplung eines Sedimentmoduls der räumliche Transport von resuspendiertem Sediment berücksichtigt werden.

Schwerpunkt im Rahmen von SIBIK war die systematische Untersuchung des Einflusses verschiedenen Windrichtungen auf die Strömung im Haff. Die Ergebnisse sind im Katalog für die 8 Hauptwindrichtungen detailliert dargestellt. Der Implementierung eines Particle-Tracking Moduls gestattete differenzierte Analysen räumlicher Strömungsstrukturen und Veränderungen. Der Partikeltransport ist für die 4 Hauptwindrichtungen in verschiedenen Zeitscheiben im Katalog ausführlich diskutiert.

8.2.2 Vergleich mit Satellitendaten

Ein Vergleich der Modellsimulationen mit Satellitendaten ist in Abb. 31 für ein Beispiel der Oderhochwasserperiode im August 1997 dargestellt. Die Verteilung der Trübung abgeleitet aus einer IRS-LISS-III Szene zeigt hohe Werte und somit hohe Schwebstoffkonzentrationen speziell im westlichen Teil und im großen Haff. Im Kleinen Haff resultieren die höheren Konzentrationen aus der geringen Beeinflussung durch das frische Oderwasser, das von Süden in die zentralen Bereiche des Oderhaffs vordringt. Bei den östlichen bis südöstlichen Winden erfolgt der Transport entlang der Küsten insbesondere der Südküste. Die höchsten Konzentrationen waren in dem Wirbel in der Nordostecke zu verzeichnen, in dem das alte Haffwasser sehr stark produziert wurde. In einer strömungsarmen Divergenzzone im Großen Haff sammeln sich Blaualgen an der Wasseroberfläche.

8.2.3 Generelle Ergebnisse der Modellsimulationen

Bei der Simulation im Oderhaff wurden folgende wesentliche Ergebnisse erzielt:

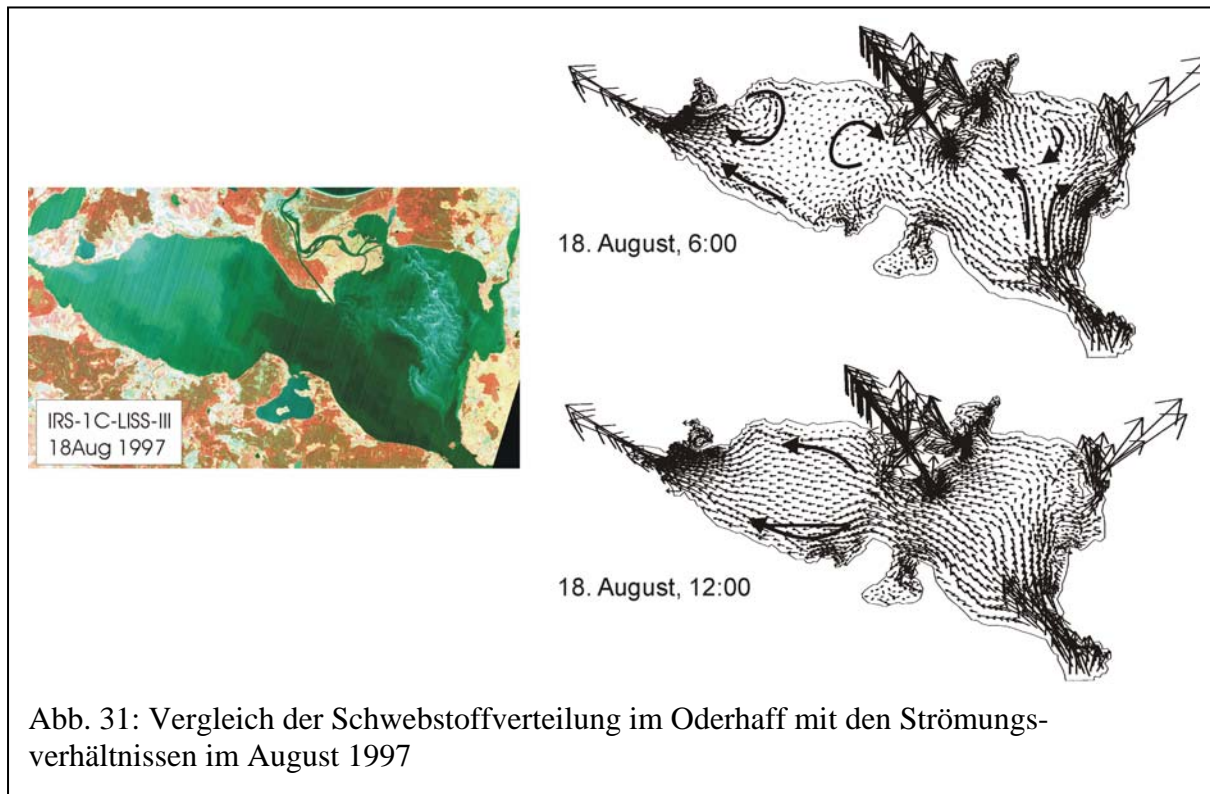
- Die Strömungssituation während der Oderflut wurde simuliert und mit Satellitenbildern verglichen. Es ergibt sich eine gute Übereinstimmung der Muster.
- Es gibt charakteristische Strömungsverhältnisse für die 8 Hauptwindrichtungen
- Das Particle-Tracking-Modul wurde für verschiedene Strömungssituationen mit dem besser angepassten Strömungsmodell genutzt. Ein erster Einsatz war die verbesserte Analyse des Transportes von Coli-Bakterien im Oderhaff und eine modifizierte Gefahrenabschätzung durch die Emission ungeklärter Abwässer der Stadt Stettin. (Schernewski et al., 2002)

9. Zusammenfassung regionaler Besonderheiten für verschiedene Windsituationen

Die Erarbeitung regionaler Besonderheiten der dynamischen Muster und Prozesse in verschiedenen Küstenabschnitten MV konzentrierte sich auf die dominierenden Windrichtungen Ost und West. Durch die Daten mit hoher räumlicher Auflösung lassen sich detaillierte Strukturen darstellen, die bei den NOAA- Daten mit einer Auflösung von 1 km x 1 km andeutungsweise oder nicht sichtbar werden. Allerdings ist der Datenumfang natürlich wesentlich kleiner und deshalb werden auch hier zusätzlich NOAA und SeaWiFS Daten sowie Schiffsmessungen einbezogen. Die Zusammenfassung der Besonderheiten wird in den folgenden Abschnitten regional differenziert vorgenommen.

9.1 Oderhaff

Im Oderhaff haben die Modellsimulationen gezeigt, dass die Transporte vorrangig entlang der Küste entsprechend der dominierenden Windrichtung erfolgt und eine Gegenströmung vertikal integriert im zentralen Bereich stattfindet. Außerdem entstehen ziemlich stabile Wirbelstrukturen hoher Produktivität, wie aus der Szene vom 18.8.1997 und parallelen Modellsimulationen im Nordwestteil ersichtlich wird (Abb. 31). Bei den östlichen Winden erfolgt der Transport ins Kleine Haff entlang der Nord- und Südküste.



9.2 Swine und Dziwna

Der Ausstrom des Oderwassers durch die Swine erfolgt pulsierend durch Wasserstandsschwankungen. Bei Nordwind und hohem Wasserstand wird er gestoppt. Bei Ostwind wird das Oderwasser nordwestlich entlang der Usedomküste transportiert, wie aus NOAA Daten abgeleitet worden ist. Das Beispiel in Abb. 32 zeigt eine frische Blase von Haffwasser vor der Mündung. Bei Westwind entsteht ein Transportband entlang der polnischen Küste, das bis in die Gdansker Bucht reichen kann.



Abb. 32: Landsat-7-ETM (Ausschnitt): Oder Fahne mit pulsierendem Ausstrom breitet sich entlang der Küste von Usedom aus

9.3 Greifwalder Bodden

Bei Ostwind fließt das Wasser der Peene in den Greifwalder Bodden hinein. Ist aber bei lang anhaltenden Ostwinden der Wasserstand im Greifwalder Bodden stark

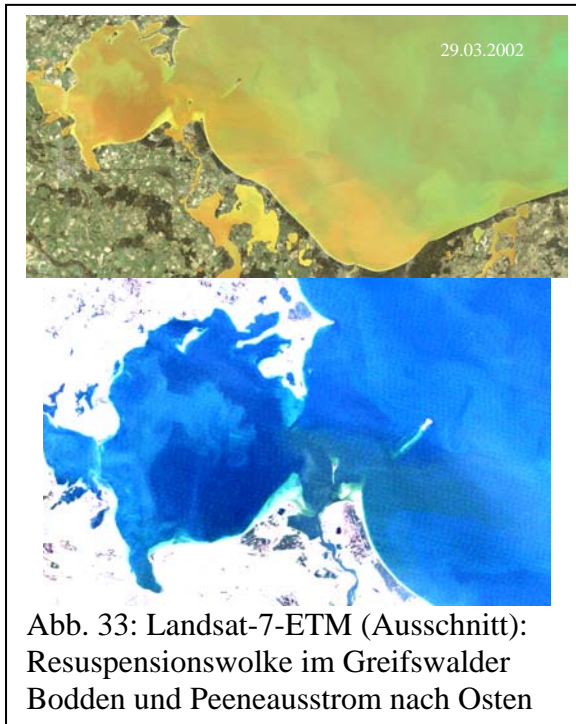


Abb. 33: Landsat-7-ETM (Ausschnitt): Resuspensionswolke im Greifswalder Bodden und Peeneausstrom nach Osten

angestiegen, fließt die Peene nicht mehr in den Bodden sondern nach Norden ab. Bei Westwind wird das Peenewasser nach Osten in die Pommernbucht transportiert, wie das Beispiel vom 29.03.2002 zeigt. Außerdem wird resuspendiertes Material in einer Pilzstruktur in den zentralen Bodden geführt (Abb. 33).

9.4 Pommernbucht bis Rügen

Im Bereich der Pommernbucht treten neben den Prozessen, die von der unmittelbaren Swinemündung sowie am Ausgang des Greifswalder Bodden registriert werden, speziell bei Ostwind besondere Strukturen und Prozessen auf. Bei lang anhaltenden Ostlagen wird das Pommernbuchtwasser bis in die zentrale Arkonasee transportiert. Die in der Abb. 34 gezeigten Verteilungen der

Temperatur und der Chlorophyllkonzentration und die Messungen in der zentralen Arkonasee zeigen das eindrucksvoll.

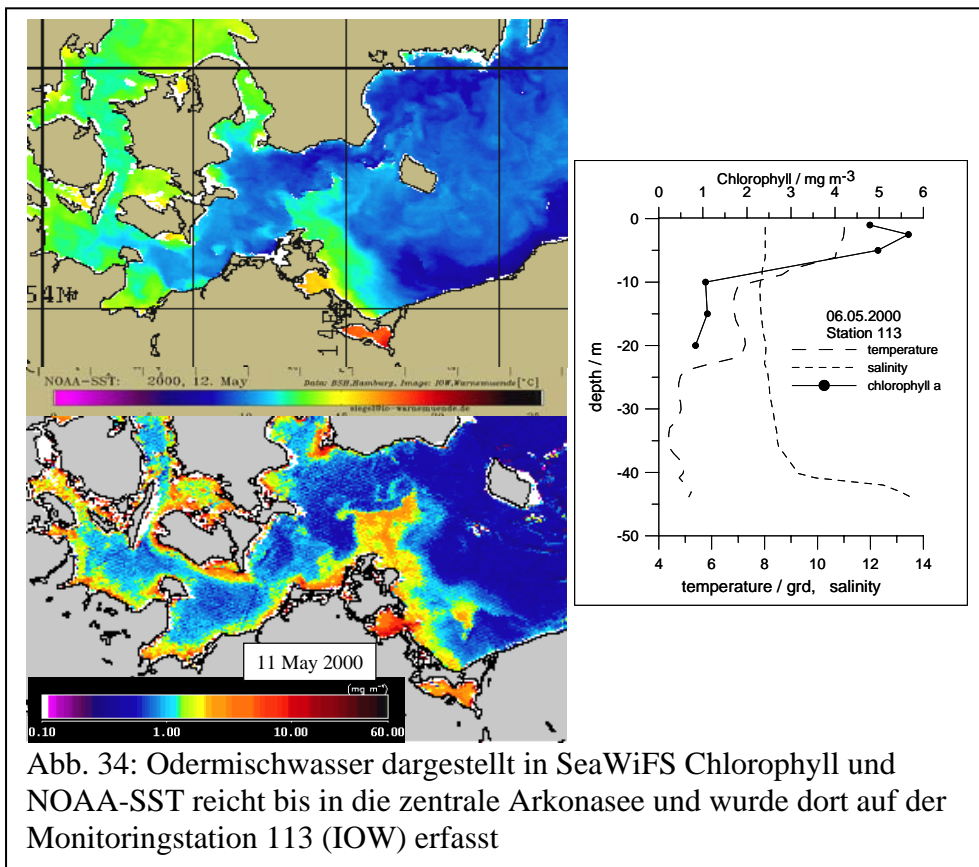


Abb. 34: Odermischwasser dargestellt in SeaWiFS Chlorophyll und NOAA-SST reicht bis in die zentrale Arkonasee und wurde dort auf der Monitoringstation 113 (IOW) erfasst

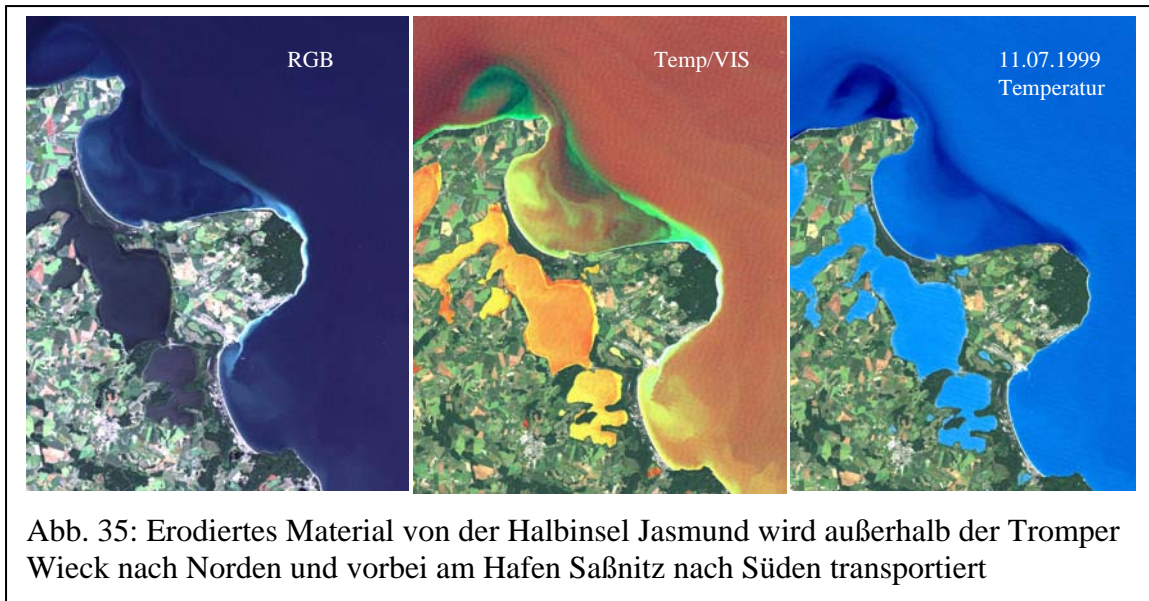


Abb. 35: Erodierendes Material von der Halbinsel Jasmund wird außerhalb der Tromper Wieck nach Norden und vorbei am Hafen Saßnitz nach Süden transportiert

Wie schon in Abb. 11, gezeigt entstehen bei Ostwind Auftriebsphänomene an der Nordküste der Greifswalder Oie sowie an den Nordküsten von Jasmund in der Tromper Wieck und von Arkona. Der Auftrieb von Jasmund führt erodiertes Material außerhalb der Tromper Wieck nach Norden, was in der Abb. 35 in Kombination von Temperatur und sichtbaren Kanälen deutlich wird.

9.5 Hiddensee - Darß

Das Gebiet vor Hiddensee und dem Darß ist ein Gebiet intensiven Auftriebs, der wie bereits beschrieben, im Sommer kalt und im Winter warm im Vergleich zur Umgebung ist. Das Auftriebswasser kann mäandrierend die Ostsee über den Fehmarn Belt verlassen.

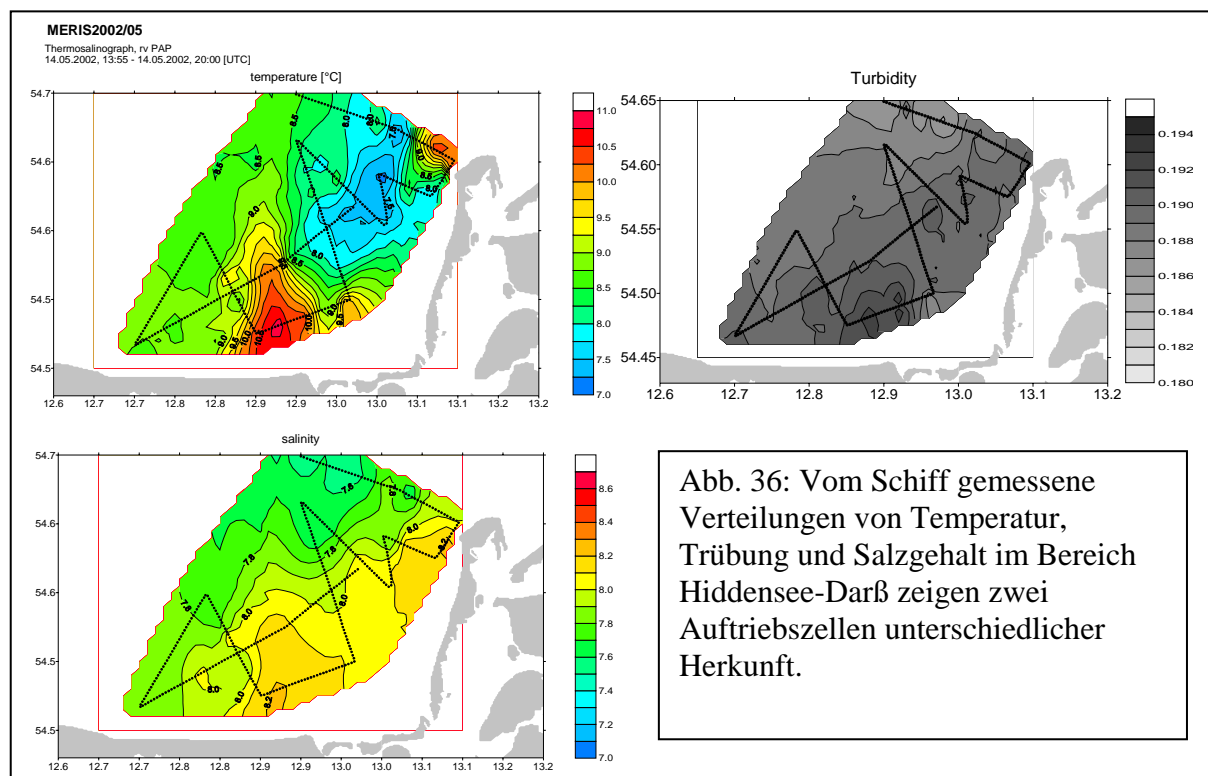


Abb. 36: Vom Schiff gemessene Verteilungen von Temperatur, Trübung und Salzgehalt im Bereich Hiddensee-Darß zeigen zwei Auftriebszellen unterschiedlicher Herkunft.

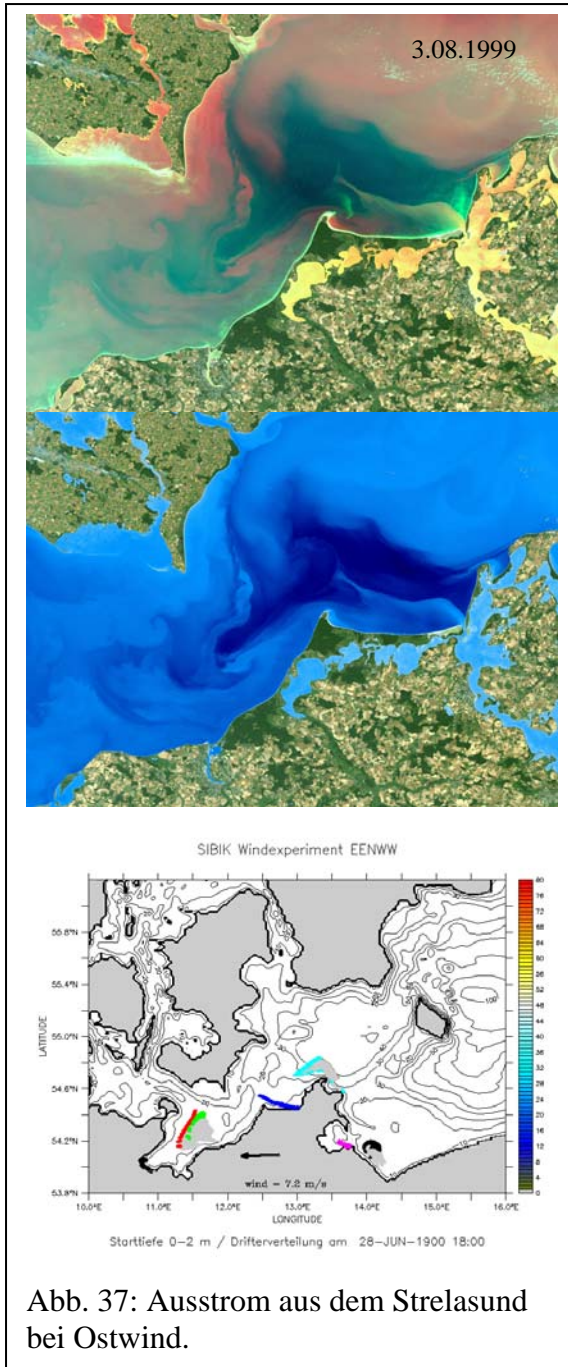


Abb. 37: Ausstrom aus dem Strelasund bei Ostwind.

Bei Ostwind finden sowohl vor Hiddensee wie vor dem Darss Auftriebsprozesse statt, wobei aber das Wasser aus ganz unterschiedlichen Gebieten stammen kann. Das klare, kalte und salzreiche Wasser vor Hiddensee stammt wie bereits beschrieben aus dem Zwischenwasser der Arkonasee und das salzreiche, warme und trübere Auftriebswasser vor dem Darß aus der Tiefe im Bereich der Darßer Schwelle (Abb. 36).

Bei lang anhaltenden Ostwinden wird durch den Strelasund Greifswalder Bodden Wasser gedrückt, in einem schalen Band nach Nordwesten transportiert, das auch sehr gut die Modellsimulationen mit einer Tracerquelle in diesem Gebiet zeigen (Abb. 37). Bei Westwind ist der Ausstrom nicht unterbunden, sondern propagiert entlang der Außenküste von Hiddensee nach Norden.

9.6 Warnowmündung

Die Warnow kann vom Satelliten sowohl in der Temperatur als auch in den Trübungseigenschaften nicht von der Umgebung unterschieden werden. Anhand von Schiffsmessungen und visuellen Beobachtungen bei Eisdrift kann abgeleitet werden, dass bei Ostwind das Warnow-Wasser durch Ekman Transport und den induzierten Auftrieb nach NW fließt und dadurch nicht den Warnemünder Weststrand erreichen kann. Bei Westwind fließt das Wasser in Richtung Osten.

9.7 Mecklenburger und Lübecker Bucht

Bei Ostwind ist die Lübecker Bucht teilweise vom Austausch abgeschnitten. Bei starkem Ausstromregime aus der Ostsee entsteht eine thermische Front in der Mecklenburger Bucht, was sowohl in Satellitendaten verschiedener Auflösung und in Modellsimulationen zu sehen ist. Die Temperaturfront geht von Kühlungsborn bis Fehmarn. Die flache Wismarbucher heizt sich bei geringem Austausch in Schwachwindphasen auf (Abb. 38).

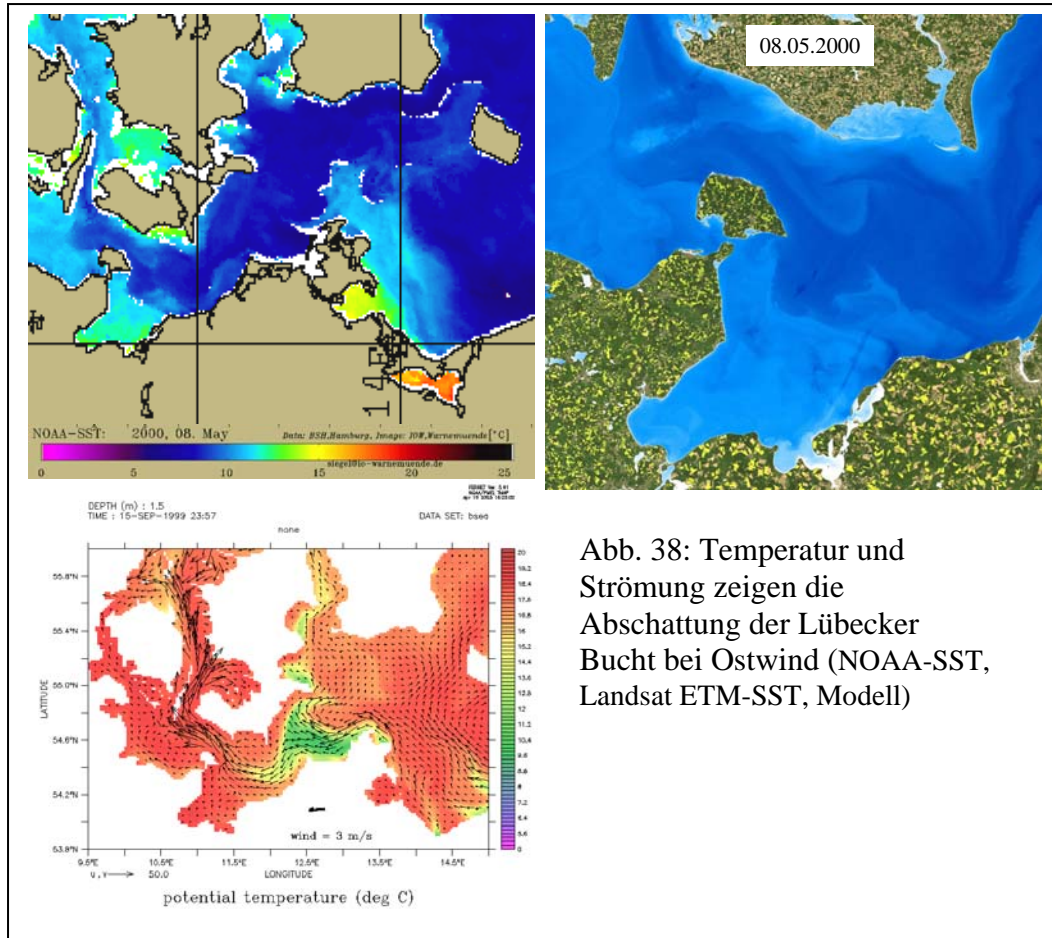


Abb. 38: Temperatur und Strömung zeigen die Abschattung der Lübecker Bucht bei Ostwind (NOAA-SST, Landsat ETM-SST, Modell)

Bei Westwind wird das Lübecker Bucht Wasser entlang der Küste Richtung Osten transportiert und bei Nord- und Südwind kann ein Austausch erfolgen. Besondere Muster treten in Schwachwindsituationen bei Winddrehungen auf. Es entstehen Wirbel, die sowohl in Schiffsmessungen wie auch in den Satellitendaten sichtbar sind (Abb. 39).

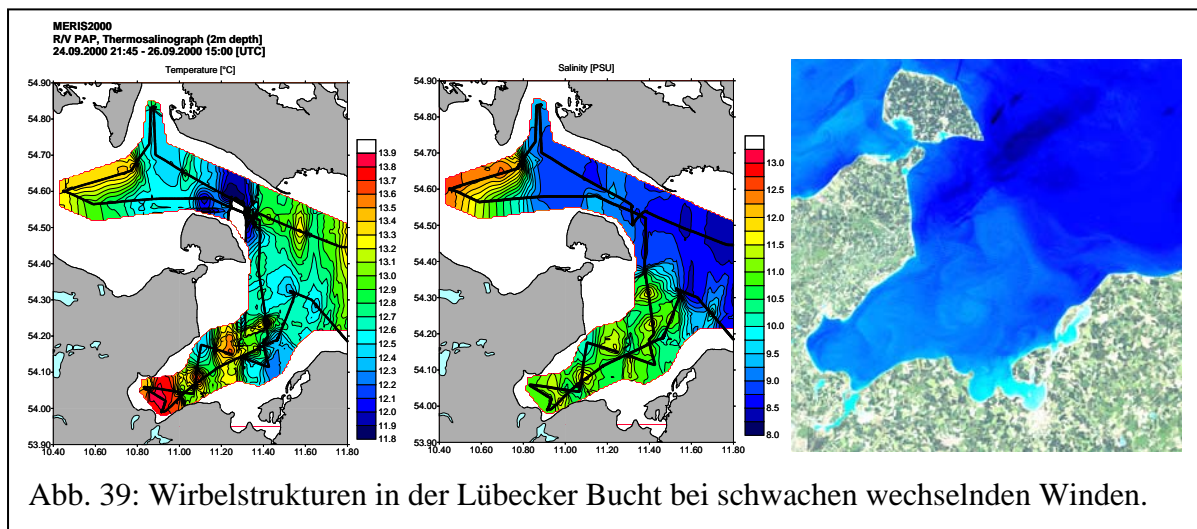
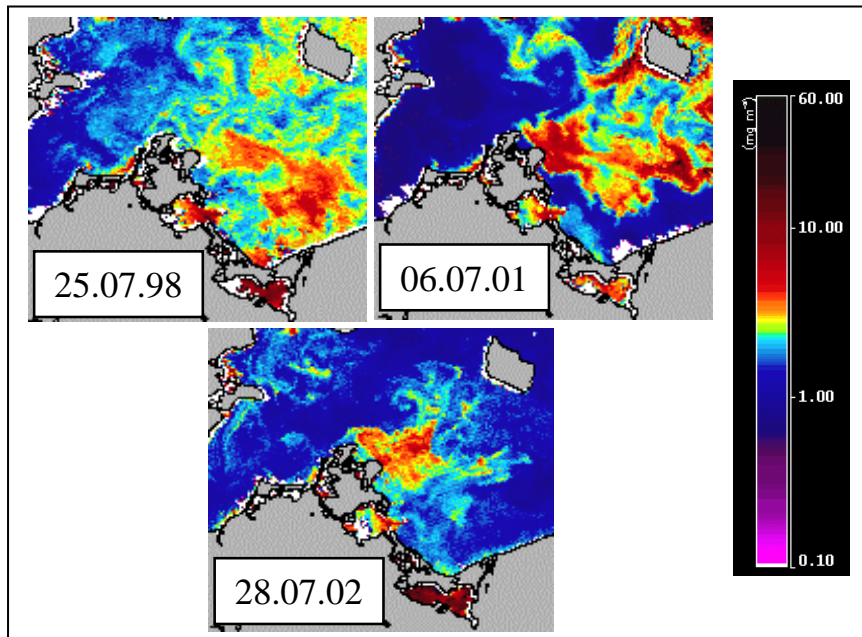


Abb. 39: Wirbelstrukturen in der Lübecker Bucht bei schwachen wechselnden Winden.

9.8 Beeinflussung exponierter Küstenabschnitte durch Cyanobakterien

Eine Besonderheit, die gerade im Sommer der letzten Jahre auftrat, war die Beeinflussung unserer Küsten durch Cyanobakterien (Blaualgen). Die Abb. 40 zeigt das speziell in den Jahren 1998, 2001 und 2002 am intensivsten beeinflusste Gebiet der Küste nordöstlich von Rügen.



Rügen.

Abb. 40: Verteilung der Cyanobakterien in der westlichen Ostsee

10. Vergleich von LUNG-Messungen mit Satellitenbildern

Vergleiche von LUNG Messungen mit Satellitendaten wurden in verschiedenen Küstenabschnitten durchgeführt. Einige ausgewählte Beispiele werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

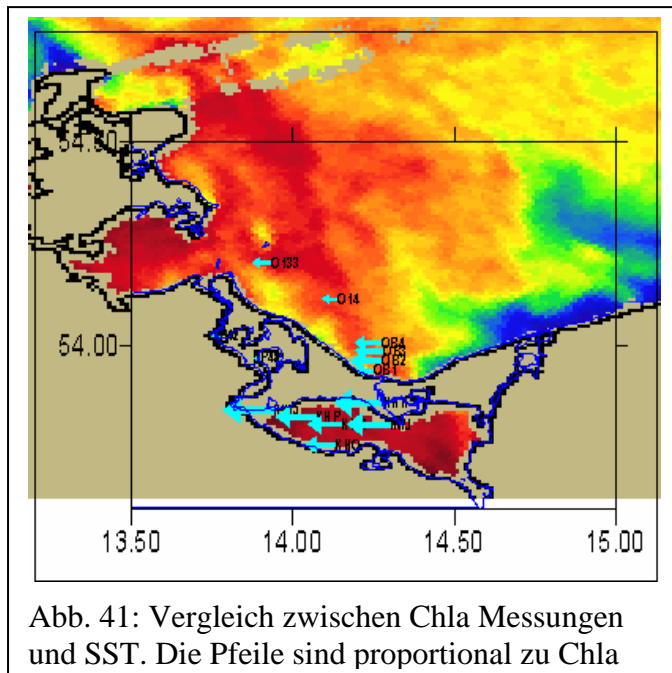


Abb. 41: Vergleich zwischen Chla Messungen und SST. Die Pfeile sind proportional zu Chla

Als erstes Beispiel ist in Abb. 41 eine NOAA-Aufnahme vom 12.08.97 in Kombination mit den Messungen des LUNG im Zeitraum der Oderflut dargestellt. Die höheren Chlorophyllkonzentrationen auf den Stationen OB2-OB4 resultieren aus dem Oderaustrom. Die Station OB1 liegt in einer Auftriebszelle, wodurch die Konzentration gegenüber der Umgebung erniedrigt war.

Die folgenden Beispiele zeigen Vergleiche zwischen der SST und LUNG Messungen in der Pommernbucht. Es werden Ausstromblasen in unterschiedlicher Weise erfasst.

Tab. 3: Vergleich der Inhaltsstoffvariationsbreite in der Oder Plume, Pommernbucht und Ostsee

	Oder plume	Bight	Baltic
Salinity (PSU)	3-6.5	7-8	7-9
Seston (mg dm ⁻³)	8-10	4-5	2-4
chl _a +phae (mg m ⁻³)	10-30	2-5	1-3
Gelbstoff (mg dm ⁻³)	4-6	2-3	1-2
Secchi depth (m)	1.0-3.5	4-7	8-11
Euphotic depth (m)	3-7	10-14	12-22
λR_{max} (nm)	580	540-560	520-550

Messungen des IOW in der Pommernbucht haben gezeigt, daß die pulsierend austretenden Flußwasserblasen mit einem sehr niedrigen Salzgehalt sich vertikal bis in eine Tiefe von 5-7 m erstrecken. Eine Charakterisierung der Flusswasser-

blase wurde in Tabelle 3 im Vergleich mit dem Mischwasser der Pommernbucht und dem Wasser der offenen Ostsee vorgenommen.

Am 28.04.1999 wurde auf den Stationen OB1-OB4 in der Pommernbucht ein Ausstromereignis während einer Monitoringfahrt des LUNG erfasst (Abb. 42). Dafür sprechen die gemessenen geringen Salzgehalte und die hohen Chlorophyllkonzentrationen. Das Satellitenbild zeigt am 29.04.1999 um 15 UTC eine frische Flusswasserzufuhr im Gebiet der Oderbuchtstationen OB1-OB3. Der Einfluss der Oder erstreckt sich bis zur Station O14, wobei auf OB4 und O14 Wasser eines früheren Ausstroms zu liegen scheint. Die SST-Muster resultieren noch aus der Ostwindsituation mit Windgeschwindigkeiten um 8m/s, die vom 24.04.- 27.04. vorhanden war. Die im Laufe des 28.04. einsetzenden nordwestlichen Winde verteilen das an die Usedomküste gedrückte Buchtwasser. Der Greifswalder Boddenausstrom wird in Richtung Südwest transportiert.

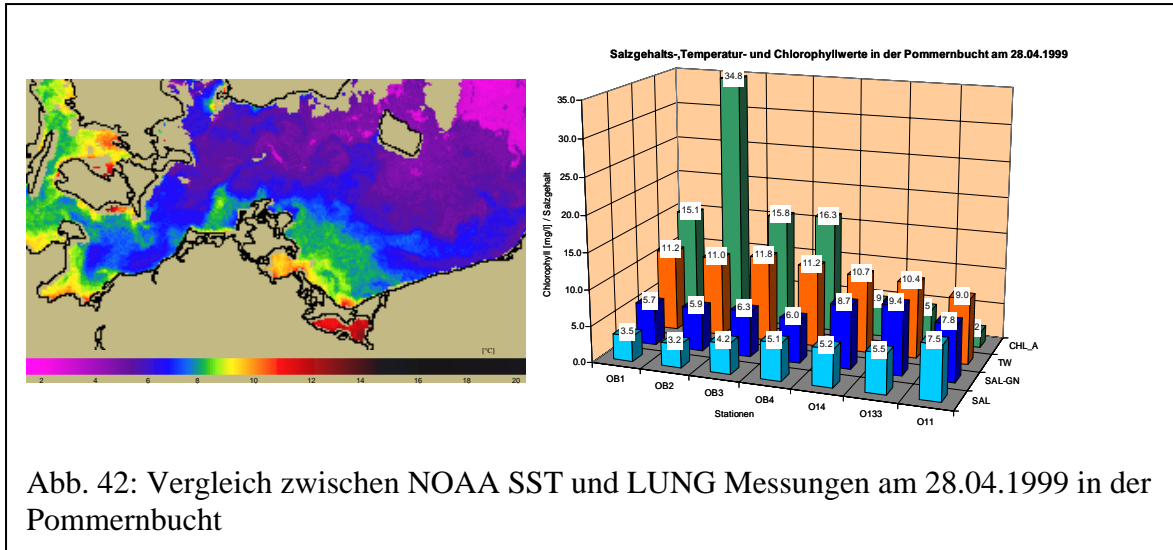


Abb. 42: Vergleich zwischen NOAA SST und LUNG Messungen am 28.04.1999 in der Pommernbucht

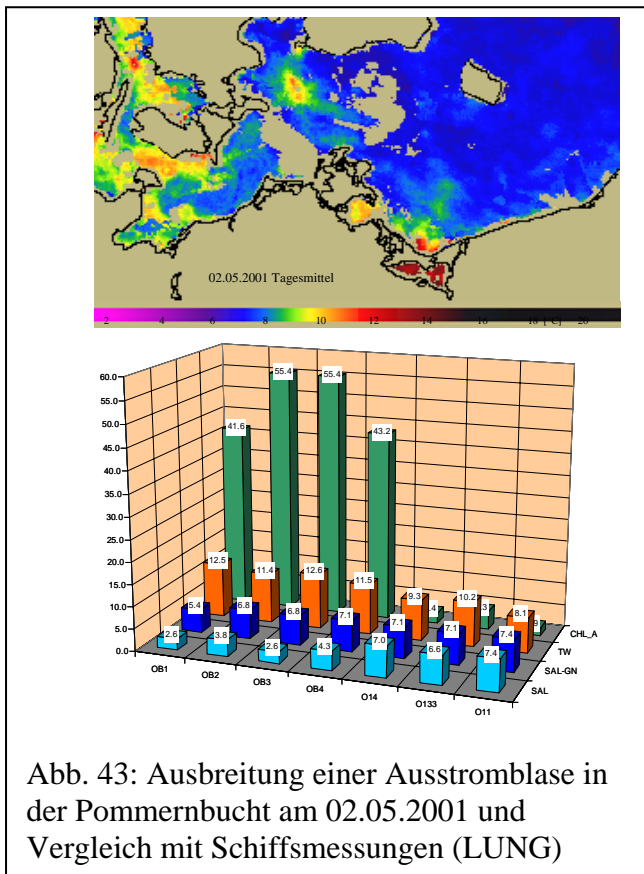


Abb. 43: Ausbreitung einer Ausstromblase in der Pommernbucht am 02.05.2001 und Vergleich mit Schiffsmessungen (LUNG)

Ein weiterer Vergleich liegt für den Mai 2001 vor (Abb. 43). Am 2.05.2001 zeigen die Messungen eindeutig eine frische Ausstromblase aus der Swinemündung. Auf den Stationen OB1 bis OB4 wurden sehr niedrige Salzgehalt von 2.5 bis 4.3 gefunden. In dieser Blase lagen die Chlorophyll Konzentrationen zwischen 40 und 55 mg/m³. Auf der Station O14 war eindeutig Ostseewasser vermessen worden mit Salzgehalt um 7 und Chlorophyll Konzentrationen < 5 mg/m³. Auch auf dem Satellitenbild ist die frische Ausstromblase am 2.5.2001 zu erkennen und der starke Gradient nach Norden zwischen den Stationen OB4 und OB14 zu erkennen.

Im April 2002 herrschte bis zum 20. des Monats eine lang anhaltende Ostwindphase. Es war ein Auftrieb vor Hiddensee zu beobachten, dessen kaltes Wasser über den Fehmarnbelt aus der Ostsee hinaus transportiert wurde. Die im Laufe des 21.04. einsetzenden

westlichen Winde mit Geschwindigkeiten unter 5m/s haben die typischen Ostwindstrukturen noch nicht vollständig auflösen können. In der Pommernbucht wird nach der Ostwindphase das Oderwasser, das sich entlang der Küste Usedom befand, seewärts aufgefächert (Abb. 44). Dadurch waren die Stationen OB1-OB14 entlang der Usedomküste durch Oderwasser beeinflusst, was in den niedrigen Salzgehalten und hohen Chlorophyllkonzentrationen zu erkennen ist.

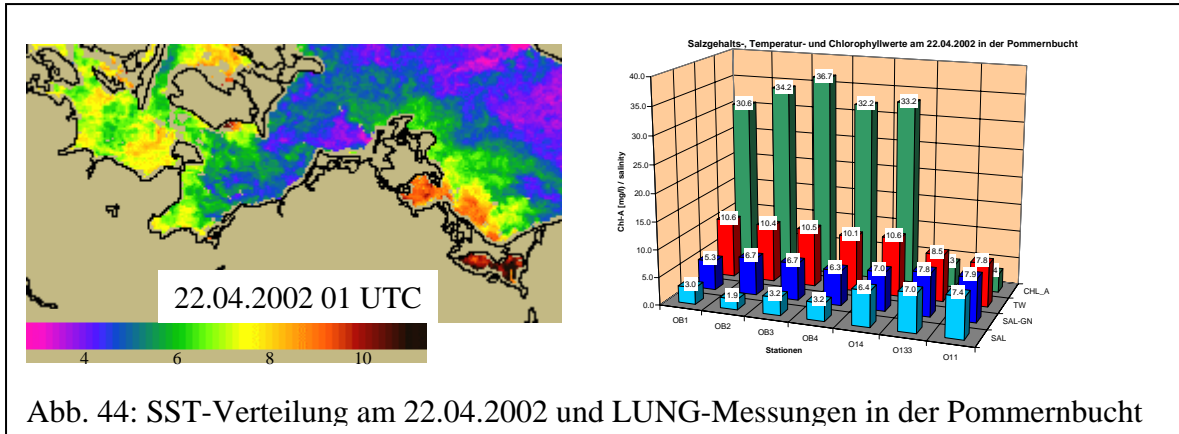


Abb. 44: SST-Verteilung am 22.04.2002 und LUNG-Messungen in der Pommernbucht

11. Vergleich regionaler Besonderheiten in den dynamischen Strukturen mit den Positionen der Monitoringstationen des LUNG

Die Untersuchungen und Systematisierungen im Katalog geben einen Eindruck von den raum-zeitlich sehr variablen dynamischen Strukturen an der Küste MV. Das Monitoring der Küstengewässer unseres Landes soll sicherlich zunächst den allgemeinen Zustand des Wasserkörpers erfassen, aber gleichzeitig auch mögliche besondere Ergebnisse zum Messzeitpunkt erklären können, die durch regionale Besonderheiten, hervorgerufen durch eine bestimmte meteorologische Situation, entstehen. Gerade hier sollen die Ergebnisse

dieses Projektes das LUNG bei der Interpretation der Messergebnisse unterstützen.

Bei einem Vergleich von dynamischen Strukturen mit Messpositionen eines Monitoringprogramms spielen die Messstrategie und die zu erfassenden Bedingungen und Besonderheiten eine entscheidende Rolle. Beim Monitoring des IOW ist klar, dass auch Aussagen über die durch das Oderwasser beeinflussten Gebiete und über den Verbleib des Materials von Wichtigkeit sind. Deshalb wurde auch aufgrund dieser Untersuchungen eine Ergänzung des Programms bei lang anhaltenden Ostwinden zur Erfassung des Odermischwassers bis in die Arkonasee vorgenommen.

Im Folgenden soll an einigen Beispielen gezeigt werden, welchen hydrographischen Situationen einige Messstationen des LUNG in Abhängigkeit von der Windsituation ausgesetzt sein können. Dazu wurden einige Aspekte aus den erarbeiteten regionalen Besonderheiten zusammengestellt und mit den Monitoringstationen des LUNG verglichen. In Abb. 45 ist eine Karte der LUNG Stationen und der Verteilung der Wasseroberflächentemperatur für eine Ost- und eine Westwindlage gegenübergestellt.

Die Stationen im Kleinen Haff auf der deutschen Seite des

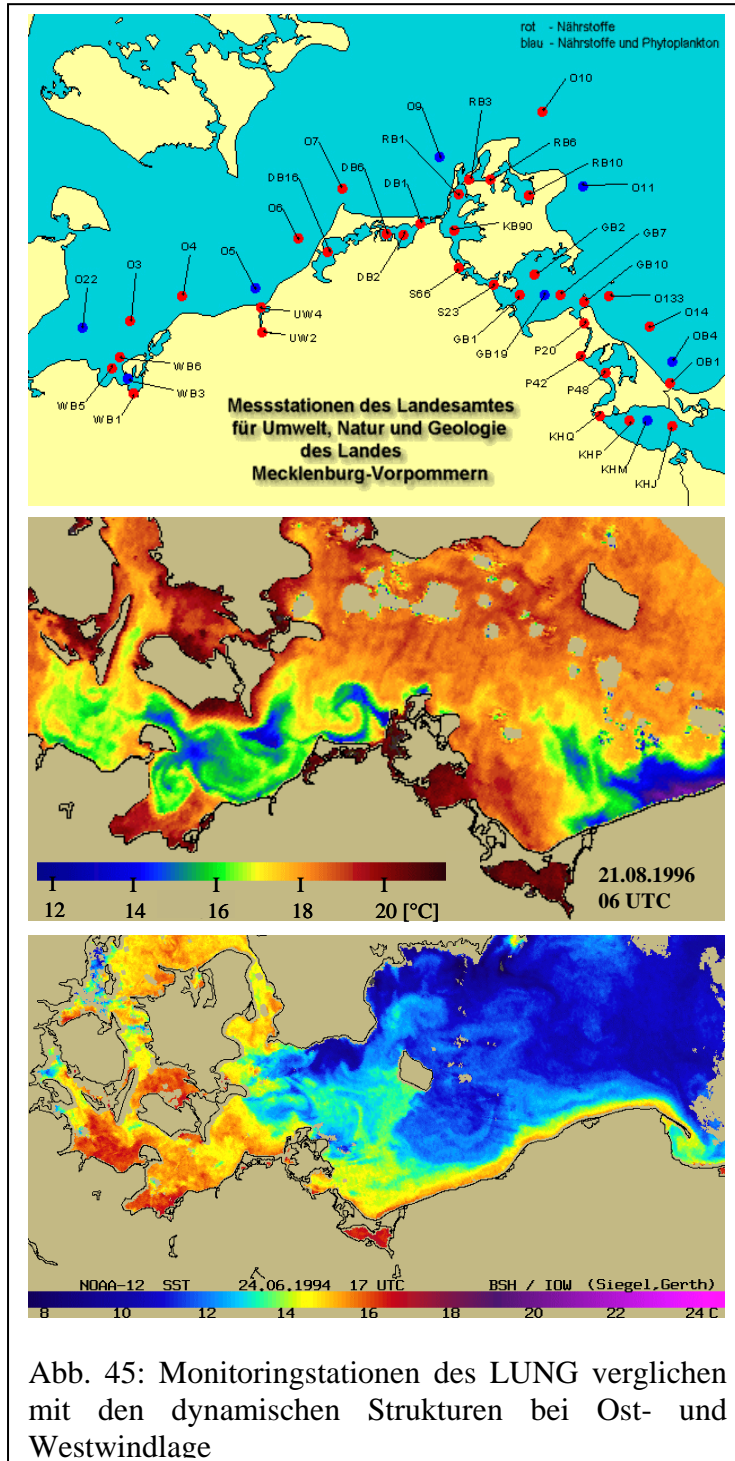


Abb. 45: Monitoringstationen des LUNG verglichen mit den dynamischen Strukturen bei Ost- und Westwindlage

Oderhaffs erfassen nicht das frische Oderwasser, da der Transport im Wesentlichen im Ostteil (Großes Haff) stattfindet. Die Vermischung zwischen beiden Teilen erfolgt zunächst entlang der Nord- und Südküste. Die LUNG Stationen erfassen insbesondere den Ost-West Gradient im alten, unvermischten Haffwasser.

Der Austritt des Oderwassers aus dem Haff durch die Swine wird erfasst. Der weitere Transport bei Westwind ist nicht zu verfolgen, da das Wasser entlang der polnischen Küste transportiert wird und somit den deutschen Zuständigkeitsbereich verlässt. Bei Ostwind geht der Transport oft direkt entlang der Küste, aber für die meisten Fälle sollte er erfasst werden. Der Gradient im Greifswalder Bodden und der Ausstrom aus dem Peenestrom werden erfasst. Der Austritt aus dem Greifswalder Bodden kann nur bei Westwind verfolgt werden. Bei Ostwind erfolgt der beschriebene Abfluss des Peenewasser häufig nach Norden um das Nordperd, wo sich keine Station befindet. Bei lang anhaltenden Ostwinden kann die nördliche Ausbreitung des Odermischwassers auf den Stationen O11 und O10 vermessen werden. Dieses Gebiet unterliegt auch dem Einfluss von Cyanobakterien (Abb. 40). Zumindest die Station O11 liegt im Einflussbereich der hohen Oberflächenakkumulationen in den letzten Jahren. Die Stationen O9 und O7 liegen in den meisten Fällen nicht im Einflussgebiet des Auftriebs vor Hiddensee und des Ausstroms durch den Strelasund. Die Station O5 wird wahrscheinlich kaum vom Warnowausstrom passiert.

11.1. Einordnung der LUNG Stationen im Oderhaff

In den folgenden Abschnitten wird die Lage der Monitoringstationen des LUNG in Bezug auf dynamische Strukturen im Küstenbereich MV im Detail diskutiert.

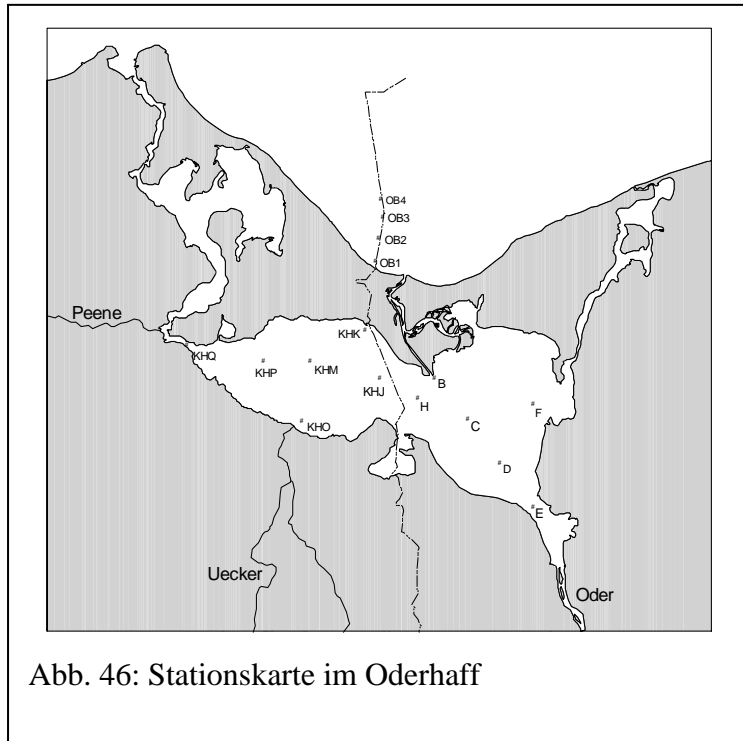


Abb. 46: Stationskarte im Oderhaff

KHJ, KHK, KHM, KHO, KHP, KHQ (Abb. 46)

- Sind sehr gut verteilt
- Erfassen den mittleren Zustand und den Einstrom des Oderwassers an Nord- und Südküste
- Im Grossen Haff fehlt eine Station im Norden, Station D scheint nicht unbedingt notwendig

11.2 Einordnung der Stationen entlang der Außenküste MV

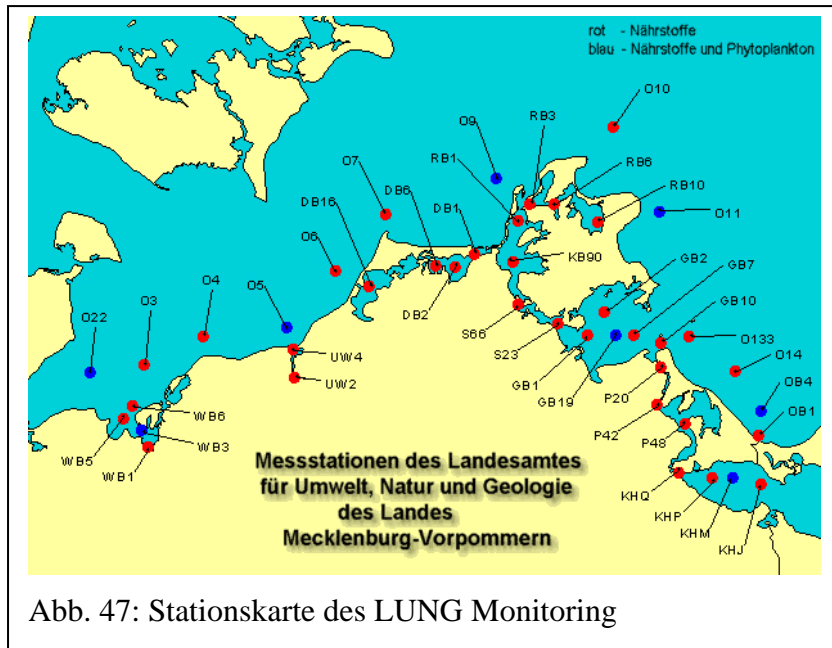


Abb. 47: Stationskarte des LUNG Monitoring

OB1 –OB 4 (Abb. 47)

- Untereinander stark korreliert
- hoch variabel, Salzgehalte 2.5- 8 PSU
- S, E: Ausstrom der Swine: Verdünnungseffekt mit zunehmender Entfernung zur Mündung
- teilweise nur OB1 und OB2 beeinflusst
- durch pulsierenden Ausstrom Plume bei z.B. OB2 (6.08.2001)
- SW, W, NW: beeinflusst durch Pommernbuchtwasser

OB 14, O133

- Salinität zwischen 5 und 9 PSU
- PB Mischwasser
- S, E: teilweise korreliert mit OB1-OB4
- Swineausstrom reicht nur bis O14 oder auch bis O133
- W, WSW: Peeneausstrom erreicht O 133 und teilweise O14

GB

Geringste Variationen auf inneren Stationen (GB1 und GB2). Hohe Variabilität durch Einfluss der Peene

- E - Peene reicht bis zum Zentrum GB19, fließt zeitweise nach N, dann nur bei GB 10 messbar
- E - Nordteil kann durch PB Wasser höhere Salinität haben
- W – anhaltend, kann komplett durchmischt sein und bis O133 und O14 reichen
- Schwebstoffwolken, erodiert an der Westküste GB, können bis ins Zentrum transportiert werden

O11, O10

Repräsentieren Arkonaseewasser mit 8-9 PSU, Cyanobakterienblüten

- E - lang anhaltend: Einfluss durch Pommernbuchtwasser (7-8 PSU, Oder, GB) oder kurz danach, wenn Durchmischung erfolgt April und Mai 2001
- Können auch durch Einstrom aus Belt beeinflusst sein
- Erfassen nicht die küstennahen Prozesse, wie Auftrieb Arkona, Tromper Wieck und Prorer Wieck sowie Ausstrom Peene und GB nach Norden vorbei am Nordperd

O9, O7

O9 repräsentiert mehr das Arkonaseewasser mit 8-10 PSU (N,W)

- Nordrand des Hiddenseeauftriebs
- O7 auf der Darsser Schwelle, beeinflusst durch Arkonasee und bei Einstromphasen durch Wasser aus Übergangsgebiet
- Beide Stationen liegen außerhalb des Kerns des Auftriebs
- O7 kann durch den Ausstrom Darss Hiddensee beeinflusst sein
- Bei Nord- und Westwind sind O3-O9 durch Wasser aus der offenen See beeinflusst
Problematisch bei Havariefall in den zentralen Bereichen, da das Wasser aus diesen Gebieten an die Küste gedrückt wird

O6, O5, O4

O4 Grenze zum dynamisch abgetrennten Gebiet der südliche MB und LB bei Ostwind korreliert stark mit O3 und O22 Ausnahme Südwind Tiefenwasser höheren Salzgehaltes treibt auf

O5, O6 korreliert, Unterschiede bei Einstromlage

O3, O22

Übergang südliche MB, LB

Hoch korreliert,

lang anhaltender Westwind, Auftrieb an O22 -> höherer Salzgehalt

12. Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die erarbeitete Windstatistik für 1992-2000 zeigt, dass die Windrichtungen mit den längsten zusammenhängenden Windsituationen Ost und West waren, die dominierende Zahl aller Windereignisse West und Süd, d.h. der Wind weht überwiegend aus westlichen und östlichen Richtungen und dreht häufig über Süd.
- Eine Beschreibung der Prozesse in Abhängigkeit vom lokalen Wind liegt anhand von NOAA Wettersatellitendaten (Satellitenbildkatalog) vor. Für die Zuordnung der typischen Muster zu den Windrichtungen wurde eine automatische Abarbeitung erstellt. Hieraus ergaben sich neue Erkenntnisse über die Verteilungsmuster an der Küste MV und regionale Besonderheiten.
- Aus hochaufgelösten Satellitendaten wurden Detailinformationen zu regionalen Besonderheiten in einzelnen Küstenabschnitten abgeleitet, speziell um Rügen mit Erosionen an der Halbinsel Jasmund, Ausstrom aus dem Strelasund zwischen Darß und Hiddensee, sowie zeitweilige Auftreten von Wirbelstrukturen in der Lübecker Bucht.
- Die maximale Ausdehnung des Odermischwassers kann sich bei lang anhaltenden östlichen Winden bis in die zentrale Arkonasee erstrecken, was anhand von SST und Chl_a Karten belegt wurde. Dieses Ergebnis hatte unmittelbare Auswirkungen auf das Monitoringprogramm des IOW.

- Der Vergleich mit Satellitendaten zeigt, dass mit dem hochaufgelösten, dreidimensionalen IOW-Ostseemodell und realistischen Antrieben die beobachteten dynamischen Strukturen in der westlichen Ostsee (Ein- und Ausstrom, Küstenauftrieb mit Ablösung von Filamenten in die offene See, Wirbelmuster) gut reproduziert werden.
- Modellexperimente mit idealisierten Windlagen (Wechsel zwischen Ost- und Westwind über Nord oder Süd) zeigen, dass oberflächennah freigesetzte Teilchen bei Ostwind in die offene See verdriften. Erfolgt die Freisetzung bei Westwind, oder schlägt der Wind über Nord um, dann können Drifter an die Küste von MV getrieben werden.
- Animation der modellierten Wasseroberflächentemperatur, der Strömung sowie des Partikeltransports in der westlichen Ostsee sind im Katalog übersichtlich in Zeitscheiben dargestellt und mit Videos verknüpft.
- Karten der Strömung und des Partikeltransports im Oderhaffs als Ergebnisse von Modellsimulationen mit FEMFLOW sind im Katalog zusammengestellt. Sie zeigen typische Transporte entlang der Küsten und in Abhängigkeit von der Windrichtung sind die jeweiligen zum Wind parallelen Küstenabschnitte betroffen. Außerdem treten stabile Wirbel auf, wie z. B. im Nordwestteil des Kleinen Haffs.
- Eine Einschätzung der Positionen der Monitoringstationen wurde für jeden Küstenabschnitt in Relation zu den typischen Mustern und dynamischen Prozessen vorgenommen. Die Wahl der Stationen hängt natürlich von den Fragestellungen ab. Es werden als Beispiele bei lang anhaltendem Ostwind der Ausstrom aus dem Strelasund zwischen Hiddensee und Darß sowie der Abfluss der Peene nach Norden aus dem Greifswalder Bodden vorbei am Nordperd nicht erfasst.
- Es konnte die Übertragbarkeit der Erfahrungen aus der Pommerschen Bucht auf die gesamte Küste von MV nachgewiesen werden.
- Daraus ergibt sich auch eine Übertragbarkeit der Methodik auf andere Küstenabschnitte der Ostsee insbesondere auf Flussmündungsgebiete. Interesse liegt aus anderen Ländern (Polen, Litauen und Lettland) vor.

13. Nutzungshinweise zum SIBIK

Bei der Nutzung des SIBIK zur Interpretation von Messdaten im Küstenbereich MV (LUNG) kann in folgender Weise verfahren werden:

1. Windrichtungsverlauf im Untersuchungszeitraum ermitteln

Aktueller Wind der MARNET Stationen der Ostsee (einschließlich IOW) ist verfügbar auf der BSH Webseite

http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/MARNET-Messnetz_Ostsee_gross.jsp

2. Auswahl der Katalogseite für die ermittelte Windrichtung bzw. Windsituation

Vom Inhaltsverzeichnis des Katalogs aus kann man über den entsprechenden Gliederungspunkt direkt die gewünschten Abschnitte erreichen.
Konstanter Wind oder Windrichtungsänderungen

Die Betrachtungen für eine jeweilige Windrichtung enthalten Abbildungen zu den aus Satellitendaten erstellten SST-Mustern, Auszüge aus Modellsimulationen und eine

Beschreibung der markantesten Merkmale, die an den Küstenabschnitten von MV auftreten können.

Die dargestellten Modellergebnisse zur Veranschaulichung der Strömungsmuster bei Windrichtungsänderungen sind unterlegt mit Videovorführungen, die mit Mausklick auf die Schaltfläche gestartet werden können.

Anhand der SST, der Strömung und der Tracerexperimente sind die Einflussbereiche der verschiedenen Stationen abzuleiten

3. Direkter Zugriff auf alle Videos der Modellsimulationen

Direkter Zugriff auf alle Videos der Modellsimulationen von der Seite der Nutzungshinweise im Katalog

Man hat direkten Zugriff auf die Übersicht alle verfügbaren Videos der realitätsnahen und experimentellen Simulationen mit Link zum Abspielen

14. Literatur

Die Literatur umfasst in dieser Zusammenstellung, die im Text referierten Publikationen, aber auch Veröffentlichungen der Projektbearbeiter, die mit dem Thema des Projektes im Zusammenhang stehen.

ECMWF: The ERA40 project, European Union Fifth Framework Programme in Energy, Environment and Sustainable Development, contract EVK2-CT-1999-00027.

Fennel, W., M. Sturm: „Dynamics of the western Baltic“, Jour. Marine Systems, 3, 1992, 183-205.

Francke, E.: „Ergebnisse langzeitiger Strömungsmessungen in der Deckschicht des Seegebietes der Darßer Schwelle“, Beitr. Meereskunde, Heft 48, 1983, 23-45.

Griffies, S.M., R. C. Pacanowski, M. Schmidt and V. Balaji: Tracer Conservation with an Explicit Free Surface Method for z-Coordinate Ocean Models. Monthly Weather Review, 2001, vol. 129, p. 1081-1098.

Janssen, F., C. Schrumm, J. O. Backhaus: A climatological dataset of temperature and salinity for the North Sea and the Baltic Sea. Dt. Hydrogr. Z., Suppl. 9, 1999, 245 pp.

Lass, H.-U., T. Seifert, W. Matthäus, T. Heene: Untersuchung des Wasseraustauschs und des Salztransports im Bereich der Darßer Schwelle. Abschlußbericht, Inst. Ostseeforschung Warnemünde, 1997, 28 Seiten, 34 Abbildungen.

Pacanowski, R. C., and S. M. Griffies: MOM 3.0 Manual. Technical Report, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton (USA), 2000, 668 pp.

Pastuszak, M., H. Siegel, S. Sitek, M. Gerth, G. Tschersich, A. Grelowski: Impact of water temperature on nutrient concentrations in the Oder estuary in 1996-1998, Deutsch. Hydrogr. Z., 51, 4, 1999, 423-439.

Schernewski, G., V. Podsetchine, H. Siegel, T. Huttula: Instruments for Water Quality Management and Research in Coastal Zones: Flow and Transport Simulations Across Spatial Scales: Period boil, Vol 102, Supplement 1, 2000, 65-75.

Schernewski, G., T. Neumann, V. Podsetchine and H. Siegel (2001): Spatial impact of the river Oder plume on water quality and seaside summer tourism at the south-western Baltic coast. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 204, 2001, 143-155.

Schernewski, G., T. Huttula, W.-D. Jülich, V. Podsetchin & I. Tejakusuma (2002): Water quality problems in Baltic coastal waters: The Odra river as a source of human pathogenic

- viruses. Proceedings of the International Conference ‘Sustainable Management of Transboundary Waters in Europe’, UNECE, 21 – 24 April 2002, Miedzyzdroje, Poland, 341-345.
- Schmidt, M., T. Seifert, H. U. Lass and W. Fennel, "Patterns of Salt Propagation in the Southwestern Baltic Sea", *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 1998, Heft 50, Nr. 4, S. 345-364.
- Siegel, H., Gerth, M., Rudloff, R., Tschersich, G., 1994. Dynamical features in the western Baltic Sea investigated by NOAA- AVHRR- Data. *Dt. Hydrogr. Z.*, 3, 191-209.
- Siegel, H., M. Gerth, T. Schmidt: Waterexchange in the Pomeranian Bight investigated by satellite data and shipborne measurements. *Continental Shelf Research*, Vol.16, No.14, 1996, 1793-1817.
- Siegel, H., Matthäus, W., Bruhn, R., Nausch, G., Neumann, Th., Pohl, Chr.: The exceptional Oder flood in summer 1997- Distribution patterns of the Oder discharge in the Pomeranian Bight, *DHZ*, V. 50, N. 2/3, 1998, 145-167
- Siegel, H., and M. Gerth: Distribution Patterns of Oder Discharge in the Pomeranian Bight during the Exceptional Flood in Summer 1997, *Proceedings of Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, San Diego, California, 5-7 October 1998, 481-485, 1998
- Siegel, H., M. Gerth, T. Neumann, R. Doerffer: Case studies on phytoplankton blooms in coastal and open waters of the Baltic Sea using Coastal Zone Colour Scanner data. *Int. J. Rem. Sens.*, Vol. 20, No.7, (1999), 1249-1264
- Siegel, H., M. Gerth and A. Mutzke: Dynamics of the Oder River Plume in the Southern Baltic Sea - Satellite data and Numerical Modelling. *Cont. Shelf Res.*, 18 (1999), 1143-1159.
- Siegel, H., M. Gerth, R. Tiesel and G. Tschersich: Seasonal and interannual variations in satellite derived Sea Surface Temperature of the Baltic Sea in the 1990's, *Deutsch. Hydrogr. Z.*, Vol.. 51(1999), H. 4, 407-422.
- Siegel, H., M. Gerth: The exceptional summer 1997 in the Baltic Sea – The warmest August, the Oder flood, and phytoplankton blooms. In *Satellites, Oceanography and Society*, Ed. D. Halpern, Elsevier Oceanography Series, 2000, 239-254.
- Siegel, H., M. Gerth: Satellite based studies of the 1997 Oder flood event in the Southern Baltic Sea. *Remote Sens. Environ.*, 73:207-217 (2000)
- Siegel, H., M. Gerth, T. Ohde (2002): Remote Sensing Applications in Coastal Zone Management. Schernewski, G. & U. Schiewer (Eds.): *Baltic coastal ecosystems: Structure, function and coastal zone management*. CEEDES Series, Springer Verlag, 279-292.
- Siegel, H. 2002. Anwendung von Satellitendaten in der Ostseeforschung. *DGM-Mitteilungen*, Nr. 2-3/02, 13-17.
- Siegel, H., M. Gerth and T. Ohde (2003). Dynamical features along the German Baltic Sea coast - Contribution to the coastal monitoring. *Proceedings of the Conference “Oceans from Space Venice 2000”*, 9-13 October 2000, Venice (Italy), in press
- Siegel, H., T. Ohde, M. Gerth, 2003: Coastal discharges and phytoplankton blooms in the Baltic Sea investigated using SeaWiFS data. *Deep Sea Research II*, submitted
- Siegel, H., M. Gerth (2003). Development of Sea Surface Temperature in the Baltic Sea in 2002. *HELCOM Indicator Report*, submitted
- Witt, G., Siegel, H.,: The consequences of the Oder flood 1997 on the distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs) in the Oder River Estuary. *Dt. Hydrogr. Z.*, 1999.
- Wüßner, Ch., W. Krauss: „The two-dimensional seiches of the Baltic Sea“, *Oceanologica Acta*, vol. 2, No. 4, 1979, 435-446.