

## Detektion künstlicher maritimer Objekte in TerraSAR-X-Bildern

Schlussbericht Fraunhofer IOSB  
zum Verbundvorhaben DeMarine Sicherheit  
– Teilprojekt DEKO – Teilbereich Fraunhofer IOSB

### **Projektleitung:**

Günter Saur

Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Abteilung Autonome Systeme  
und Maschinensehen ASM

### **Autoren** (alphabetische Reihenfolge):

Günter Saur  
Michael Teutsch  
Boris Wagner

Förderkennzchn.: 50EE0807  
Laufzeit: 01.04.2008 – 31.03.2011  
Berichtsnr.: 10758

Verteiler: 4 x DLR Raumfahrt-Agentur  
1 x TIB Hannover (ohne Anlagen)  
2 x Fraunhofer IOSB

Datum: Erstellung: 30. September 2011  
Revision: 12. Dezember 2011

41 Seiten, darin enthalten  
22 Abbildungen und  
3 Tabellen sowie  
4 separate Anlagen

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis . . . . .	ii
Tabellenverzeichnis . . . . .	iii
<b>1 Kurze Darstellung . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgabenstellung . . . . .	1
1.2 Voraussetzung des Vorhabens . . . . .	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens . . . . .	3
1.4 Ausgehender wissenschaftlich-technischer Stand . . . . .	4
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen . . . . .	5
<b>2 Eingehende Darstellung . . . . .</b>	<b>6</b>
2.1 Verwendung und erzielte Ergebnisse für AP230c . . . . .	6
2.1.1 Konzepterstellung . . . . .	6
2.1.2 Bildbeschaffung und -aufbereitung . . . . .	10
2.1.3 Referenz- und Hintergrunddaten . . . . .	11
2.1.4 Detektion und Filterung . . . . .	17
2.1.5 Objektsegmentierung und Parameterschätzung . . . . .	20
2.1.6 Klassifikation . . . . .	22
2.1.7 Extraktion von Schiffswellen . . . . .	25
2.1.8 Auswertung von vollpolarimetrischen TerraSAR-X-Bildern . . . . .	27
2.1.9 Verfahrensketten und Ergebnisdarstellung . . . . .	28
2.1.10 Exemplarische Anwendungsfälle . . . . .	31
2.2 Zahlenmäßiger Nachweis . . . . .	36
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit . . . . .	36
2.4 Nutzen und Verwertbarkeit . . . . .	36
2.5 Anderweitiger Fortschritt . . . . .	36
2.6 Veröffentlichungen . . . . .	37
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>39</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	IOSB-Ansatz zur anwendungsspezifischen Optimierung von Auswerteverfahren. . . . .	8
2	Datenflüsse und Verarbeitungskomponenten für die IOSB-Auswertekette. . . . .	9
3	Extraktion einer Landmaske. . . . .	13
4	ENC-Seekartendarstellung der Ostsee vor der Kieler Förde. . . . .	14
5	Wesermündung in TerraSAR-X-Aufnahmen, überlagert mit ENC-Seekarten (links) und Rasterkarten DGK5 (rechts) sowie optischen Luftbildern. . . . .	15
6	ENC-Objekte in TerraSAR-X-Aufnahmen: . . . . .	16
7	Unsegmentierte Schiffssignatur in Falschfarben (links) und mit dem SAR-Screener extrahierte Einzelreflexe (rechts). . . . .	18
8	TerraSAR-X-Ausschnitt eines Hafenbeckens mit extrahierten und selektierten experimentellen “SAR screening“-Ergebnissen . . . . .	18
9	Grauerthistogramm der Schiffspixel (rot) und der Wasserpixel (blau). . . . .	19
10	Bildfilterung: Original (rechts), binarisiertes ungefiltertes Bild (Mitte) mit Überstrahlungen, gefiltertes Bild (rechts). . . . .	20
11	Beispiele von segmentierten Schiffen mit Parameterbestimmung (Rechteck), Falschfarbsignatur und Intensitätsprofil . . . . .	21
12	Beispiele der Objektsegmentierung mit dem statistischen Ansatz. . . . .	23
13	Konzept zur Objektklassifikation. . . . .	23
14	Beispiele zur Objektklassifikation. . . . .	25
15	Modell der Wellensignatur im SAR-Bild. . . . .	26
16	Schiff mit Wellen im Originalbild. . . . .	26
17	Beispiel einer Schiffssignatur in den Kanälen 1, 4, 5, 6, 7 und 8 von Tabelle 2	28
18	Darstellung der Detektionsergebnisse (Detail) im Browser. . . . .	29
19	Darstellung der Detektionsereignisse (Übersicht) im Browser (links) und Diagramm zur Detektions-Evaluierung (rechts). . . . .	30
20	Szene Ärmelkana mit Detektionen und AIS-Daten. . . . .	32
21	Hafenszene Visuell-optisch (links), TerraSAR-X HS in 2 Bildern mit Fleckextraktionen (Mitte links und Mitte rechts) und Veränderungsentdeckung (rechts). . . . .	34
22	Szene Maracaibo in der Übersicht (links) und Veränderungsentdeckung im Ausschnitt von 2 TerraSAR-X-Aufnahmen (rechts). . . . .	34

## Tabellenverzeichnis

1	Absolute Konfusionsmatrix für die Klassifikationsevaluation. . . . .	24
2	Bildebenen für die polarimetrischen Untersuchungen. . . . .	27
3	Exemplarisches Ergebnisprotokoll einer TerraSAR-X-SM-Auswertung mit Evaluierung der Detektion (links) und Rechenzeitangaben (rechts). . . . .	30

---

**Zuwendungsempfänger:** Fraunhofer IOSB Karlsruhe  
**Förderkennzeichen:** 50 EE 0807  
**Vorhabensbezeichnung:** VP DeMarine-Sicherheit, TP DEKO  
**Laufzeit des Vorhabens:** 01.04.2008 – 31.03.2011  
**Berichtszeitraum:** 01.04.2008 – 31.03.2011

---

## 1 Kurze Darstellung

Das vorliegende Dokument enthält den Schlussbericht des von der DLR-Raumfahrt-Agentur mit Mitteln des BMWi geförderten Zuwendungsvorhabens DeMarine-Sicherheit, Teilprojekt DEKO (Detektion von künstlichen Objekten), Teilbereich Fraunhofer IOSB, Förderkennzeichen 50 EF 0807.

Im Teilprojekt DEKO von DeMarine-Sicherheit haben drei Partner gemeinschaftlich gearbeitet:

- Astrium Space Transportation in Bremen (Leitung des Teilsprojektes DEKO), siehe *Estable et al. 2011* [1],
- Astrium GEO-Information Services in Friedrichshafen (zu Projektbeginn firmierend unter dem Namen Infoterra GmbH), siehe *Knabe & Teufel 2011* [2] und
- Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB in Karlsruhe (zu Projektbeginn firmierend unter dem Namen Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB).

Der vorliegende Bericht beinhaltet den Verwendungsnachweis des Anteils von Fraunhofer IOSB im Teilprojekt DEKO von DeMarine-Sicherheit. Die Gliederung des Berichtes ist gemäß den Vorgaben der Nebenbestimmungen für Zuwendungen des BMBF und des BMWi auf Kostenbasis NKBF98, Anlage 2, Stand April 2006 abgefasst.

## 1.1 Aufgabenstellung

Moderne Fernerkundungssatelliten mit hochauflösenden Radarsensoren mit synthetischer Apertur (SAR<sup>1</sup>) ermöglichen die Beobachtung fast aller Orte der Erde unabhängig von Tageszeit und Wetter. Die SAR-Satelliten RADARSAT-2 (Kanada), COSMO-SkyMed (Italien) und TerraSAR-X (Deutschland) wurden alle im Jahr 2007 gestartet und eröffnen neue Wege der Erdbeobachtung in zuvor satellitenbasiert nicht verfügbaren Auflösungen und SAR-Parametrierungen.

Methoden zur automatischen Entdeckung und Erkennung von künstlichen Objekten auf dem Wasser basieren darauf, dass im SAR-Bild die eher sporadisch auftretenden Objekte als helle Flecken auf der dunkleren, meist homogen texturierten Wasseroberfläche erscheinen. Dabei weisen metallene Objekte eine stärkere Radar-Rückstreuung auf ebenso wie Bereiche mit Wellenschlag am Objekt-Wasser-Übergang. Schließlich kann bei hoher Bodenauflösung die Form und ggf. die Innenstruktur großer, flächig abgebildeter Objekte im SAR-Bild interpretiert werden.

Hierauf aufbauende technische Lösungen zur maritimen Überwachung bieten viele Perspektiven, etwa die Sicherung von Schiffrouten, der Schutz von Fischereizonen, die Lokalisierung nach Havarien oder die Veränderungsanalyse von ortsfesten Installationen wie z.B. Seezeichen oder Plattformen. Aus anderen Quellen verfügbare Information, etwa aus den Positionsmeldesystemen AIS<sup>2</sup> oder VMS<sup>3</sup> (welche beide kooperatives Verhalten der Schiffsbesatzungen voraussetzen) oder sensorische Information von Küstenradaren kann durch SAR-basierte Fernerkundung geprüft und verifiziert werden. Für potentielle Nutzer (Reedereien, Hafenbetreiber, Versicherungen, Behörden, Polizei, Notfalldienste usw.) ist dabei wesentlich, wie detailliert, zuverlässig und wie schnell verfügbar die so gewonnene Beobachtungsinformation ist, aber auch welche Kosten und welcher technische Aufwand damit verbunden ist.

Das Teilprojekt DEKO<sup>4</sup> des Verbundvorhabens DeMarine-Sicherheit hat zum Ziel, die Machbarkeit und Automatisierbarkeit der Auswertung von Satellitenbildern zu untersuchen und damit die technologische Basis für die Entwicklung und den Betrieb von maritimen Informationsdiensten zu prüfen. Gegenstand ist Entwicklung, Optimierung und Validierung entsprechender automatischer Verfahren zur Satellitenbildauswertung, die konzeptionelle Gestaltung zukünftiger Meldesysteme (down stream services) und, zusammen mit dem Gesamtverbund DeMarine-Sicherheit, die Kontaktierung und Befragung potentieller Nutzer und Interessenten.

Das Teilprojekt DEKO wurde gemeinschaftlich bearbeitet durch Astrium Space Transportation (Leitung), Astrium GEO-Information Services (Infoterra) und Fraunhofer IOSB. Die Aufgabenstellung für Fraunhofer IOSB innerhalb dieses Projektes war durch den Arbeitspunkt "SAR-basierte Erkennungsverfahren" festgelegt und bestand in der Entwicklung entsprechender

---

1 SAR = "synthetic aperture radar", bildgebendes Radar mit synthetischer Apertur.

2 AIS = "Automatic Identification System", Funksystem, das durch den Austausch von Navigations- und anderen Daten die Sicherheit und die Lenkung des Schiffsverkehrs verbessert, verpflichtend für Schiffe über 500 BRZ.

3 VMS = "Vessel Monitoring System", Funkmeldesystem für den kommerziellen Fischfang.

4 DEKO = "Detektion künstlicher Objekte".

Auswerteverfahren sowie deren Untersuchung und Anwendung auf Bilder des deutschen Radar-Fernerkundungssatelliten TerraSAR-X.

Im vorliegenden Schlussbericht wird ausschließlich über die Arbeiten und Ergebnisse des Fraunhofer IOSB zugeordneten Arbeitspakets berichtet. Für die Gesamtübersicht über DEKO und über das Verbundprojekt DeMarine-Sicherheit wird auf die entsprechenden Berichte der Projektpartner verwiesen.

## 1.2 Voraussetzung des Vorhabens

Fraunhofer IOSB besitzt umfangreiche langjährige Erfahrung im Bereich Bildauswertung, Satellitenfernerkundung, Verarbeitung und Interpretation von SAR-Bildern, Klassifikation und Objekterkennung. Schwerpunkte bei Fraunhofer IOSB sind einerseits methodische Entwicklungen zur automatischen Auswertung von Einzelbildern, Bildfolgen und multispektraler oder multiparametrischer Bildstapel als auch Applikationen für Auswertestationen und Industrie. Darstellung und Einhalten aktueller Protokolle und Standards (z.B. OGC-Richtlinien) sichern die Anbindung an Server-/Client-Systeme auch in heterogener Umgebung oder an Geo-Informationssysteme (GIS), auch für z.B. interaktive Nutzung.

Grundvoraussetzung für die Arbeiten ist die Verfügbarkeit der Eingangsdaten. Dies betrifft zum einen die TerraSAR-X-Bilder. Diese sollten zeitnah zur Entwicklung in verschiedenen relevanten Szenenparametern (z.B. Orte, Schiffsbelegung, Wetter) und Sensorparametern (z.B. Modus, Inzidenzwinkel, Polarisation) bereitstehen.

Zum anderen sind für die Verfahrensentwicklung weitere Hintergrunddaten erforderlich, etwa Kartendaten mit Landmasse, Küstenlinie und ortsfesten Objekten auf See (z.B. Seezeichen oder Plattformen), Wetterdaten, und Schiffs katalog (ggf. AIS-Daten). Wichtig für Verfahrensanpassung und -optimierung sind schließlich gelabelte Trainingsdaten sowie Anforderungsprofile potentieller Nutzer (beispielsweise zur Risikominimierung durch Abwägung der Fehlertypen Falschalarme und Nicht-Detektionen).

Im Rahmen des relativ kleinen Projektvolumens von Fraunhofer IOSB (im Vergleich zu den anderen Partnern in DeMarine-Sicherheit) können die Ergebnisse nur dann effizient erarbeitet werden, wenn eine entsprechende Beschaffung und Aufbereitung dieser Daten gemeinschaftlich mit den Partnern in DeMarine-Sicherheit erfolgt.

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Gegenüber dem im Förderantrag dargestellten Projektverlauf begann das Projekt DeMarine-Sicherheit mit etwa zwei Monaten Verspätung. Das Projekt wurde kostenneutral verlängert, so dass die Laufzeit insgesamt unverändert blieb.

Von Fraunhofer IOSB wurde nach DEKO-Projektplan (siehe *Estable et al. 2011* [1]) als einziger Arbeitspunkt AP320-c "SAR-basierte Erkennungsverfahren" bearbeitet. Diese Arbeiten

und der damit verbundene Mittelabfluss sollten Ende 2009 weitgehend abgeschlossen sein.

Die Beschaffung und Verteilung von TerraSAR-X-Bildern an die Projektpartner von DeMarine-Sicherheit sollte durch das Nutzerbüro und die Fachkoordination erfolgen. TerraSAR-X-Daten wurden erstmals im November 2008 (aus anderen DLR TSX-proposals) verteilt, erste Archiv-Daten aus dem TSX-proposal DeMarine-Sicherheit im April 2009 und erste von DEKO spezifizierte und neu aufgenommene Bilder im September 2009. Zur Behebung dieser Engpässe wurden kurzfristig auch einige weitere TerraSAR-X-Bilder vom DEKO-Projektpartner Infoterra für DEKO-internen Gebrauch zur Verfügung gestellt.

Zur Erweiterung der Untersuchungen wurden im Rahmen der Projektarbeiten drei proposals von Fraunhofer IOSB bei der DLR eingereicht und nach Genehmigung teilweise bearbeitet:

- Erstellung eines proposal "A0-DRA-2010" für Daten der "TSX dual receive antenna campaign" (DRA). Es handelt sich um vollpolarimetrische (Quadpol) und along-track interferometrische (ATI) StripMap Bilder von maritimen Szenen, welche im April und Mai 2010 aufgenommen wurden.
- Erstellung eines "TSX general proposal" für Standard-TerraSAR-X-Bildprodukte, um das bestehende, ausgeschöpfte Kontingent von Nutzerbüro/Fachkoordination für DEKO zu erweitern. Der Antrag von Fraunhofer IOSB wurde von der DLR genehmigt, es wurden Bilder bestellt, bezogen und ausgewertet.
- Erstellung eines proposal "PRE-OPERATIONAL-AO" für die interferometrische Auswertung der Daten der TanDEM-X-Mission. Dieses proposal wurde im Juli 2011 genehmigt.

Für das 2. Halbjahr 2009 wurde eine über die ursprüngliche Planung hinausgehende Aufstockung des Projektbudgets gewährt. Dadurch konnten die Arbeiten zur Betrachtung von Eingangsdaten für die Auswerteverfahren erweitert werden: Es wurden elektronische Seekarten der Wesermündung (ENC) vom Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) beschafft und für die Analyse verwendet. Ebenso wurde damit auch die Auswertung von AIS-Daten und weiterer Hintergrunddaten ermöglicht.

Im Rahmen der Projektarbeiten wurden die erzielten Ergebnisse mit den DEKO-Projektpartnern zeitnah ausgetauscht.

Verfahrensergebnisse für 3 exemplarische Bilder wurden den DeMarine-Partnern außerhalb DEKO am Rande des TSX Science Team Meeting im Februar 2011 vorgestellt und übergeben. Verfahrensergebnisse samt zugehörigen AIS-Daten von Projektpartnern außerhalb DEKO hat Fraunhofer IOSB jedoch nicht erhalten und auch nicht ausgewertet.

Im Rahmen des Teilprojekts DEKO erfolgten regelmäßige Telekonferenzen und Treffen, u.a. bei den Projekttreffen und Nutzerworkshops. Von Fraunhofer IOSB wurden insgesamt 7 Halbjahresberichte erstellt. Damit wurden alle Vorgaben wie geplant eingehalten.



## 1.4 Ausgehender wissenschaftlich-technischer Stand

Verfahren zur automatischen Entdeckung von Schiffen oder künstlichen maritimen Objekten in SAR-Bildern wurden bereits in vielen wissenschaftlichen Arbeiten beschrieben. Allerdings bezogen sich diese zum Zeitpunkt des Projektbeginns fast ausschließlich auf gering- bis mittelauflösende satellitengetragene SAR-Sensoren mit nur einer Polarisationskombination. Wenige Arbeiten beschreiben Verfahren für flugzeuggetragene SAR-Sensoren höherer Auflösung. Deren Ergebnisse sind jedoch nur eingeschränkt auf Satelliten-SAR übertragbar (unruhigere Sensorplattform, Bilddaten sind nicht verfügbar, daher sind Ergebnisse nur bedingt verifizierbar).

Verfügbare Daten von hochauflösende SAR-Satelliten mit teils multipolarimetrischem oder interferometrischem Betrieb gibt es erst seit kurzer Zeit (z.B. von TerraSAR-X, RADARSAT-2, COSMO-SkyMed), daher wurden entsprechende Studien erst im Laufe des Berichtszeitraums publik.

Eine ältere, sehr umfassende Übersicht ist in *Crisp 2004* [3] zu finden. Eine gemeinsame Zusammenstellung der DEKO-Projektpartner ist in *Estable et al. 2009* [4] enthalten.

In der zu Projektbeginn aktuellen Arbeit von *Vachon & Wolfe 2007* [5] wird die Evaluierung von Schiffssignaturen beschrieben, wobei EnviSAT-ASAR-Bilder zu Grunde lagen, welche nicht so hoch aufgelöst sind wie TerraSAR-X StripMap. Die Analyse beschränkt sich auf Detektion und die Ableitung der Objektproportionen in Form von Länge und Breite. Polarimetrische SAR-Bilder werden in *Margarit & Mallorqui 2008* [6] für die modellbasierte Erkennung von Schiffen benutzt. Ebenfalls polarimetrische Daten verwenden *Schuler 2008* [7] zur Auswertung der Ozeanoberfläche.

Die Erstellung einer Übersicht über Verfahren und Systeme war ein expliziter Arbeitspunkt innerhalb DEKO, welcher von Infoterra bearbeitet wurde, siehe dazu den entsprechenden Abschnitt in deren Schlussbericht, *Knabe & Teufel 2011* [2].

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine Zusammenarbeit mit anderen wissenschaftlichen Einrichtungen außer mit den Projektpartnern hat nicht stattgefunden.

Eine direkte Zusammenarbeit von Fraunhofer IOSB mit möglichen Nutzern hat nicht stattgefunden. Diese war in dem rein algorithmisch geprägten Arbeitspunkt AP230c nicht vorgesehen.

## 2 Eingehende Darstellung

Auch die Gliederung für dieses Kapitel ist gemäß den Vorgaben der Nebenbestimmungen für Zuwendungen des BMBF und des BMWi auf Kostenbasis NKBF98, Anlage 2, Stand April 2006 abgefasst.

### 2.1 Verwendung und erzielte Ergebnisse für AP230c

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse eingehend erläutert. Von Fraunhofer IOSB wurde nach DEKO-Projektplan als einziger Arbeitspunkt AP320-c "SAR-basierte Erkennungsverfahren" bearbeitet.

#### 2.1.1 Konzepterstellung

Am Anfang der Arbeiten stand die Erstellung eines Konzeptes auf der Basis des aktuellen wissenschaftlich-technischen Standes und der am IOSB verfügbaren Erfahrungen und Werkzeuge zur SAR-Bildauswertung und Objekterkennung.

##### a) Literatursichtung

Als Informationsquelle ist an erster Stelle der Übersichtsartikel von *Crisp 2004* [3] zu nennen, welcher Arbeiten über Schiffsdetektion in SAR-Bildern für ältere satelliten- und flugzeuggetragene Sensoren zusammenstellt. Nach seiner Strukturierung sind die publizierten Verfahren grundsätzlich in folgenden sequentiell ablaufende Komponenten aufzuteilen:

1. Landmaskierung (Preprocessing)
2. Detektion (Screening)
3. Diskriminierung
4. Analyse und Klassifizierung

Diese Aufteilung findet sich allgemein bei ATR<sup>5</sup>-Verfahren (siehe auch *Jäger et al. 2004* [8]), wo große Datenmengen schnell durchsucht werden müssen und daher das Erkennungsverfahren in zwei Teile aufgeteilt wird: Zum einen das Screening-Verfahren (schnelle Verarbeitung, hoher Datendurchsatz, jedoch mit tolerierten Falschalarmen, Aufwand proportional zur

---

5 ATR = Automatic Target Recognition

durchsuchten Bildfläche) und zum anderen die Diskriminierung und Signaturanalyse (Reduktion der Falschalarme, Ableitung von Objektparametern, Aufwand ist proportional zur Anzahl der Objektkandidaten). Weiter geht Crisp auf die spezifischen Verhältnisse maritimer Szenen ein sowie auf unterschiedliche Verfahrensansätze für die genannten Verfahrensstufen.

In der zu Projektbeginn aktuellen Arbeit von *Vachon & Wolfe 2007* [5] wird die Evaluierung von Schiffssignaturen beschrieben, wobei EnviSAT-ASAR-Bilder zugrunde lagen, welche nicht so hoch aufgelöst sind wie TerraSAR-X StripMap. Die Analyse beschränkt sich auf Detektion und die Ableitung der Objektproportionen in Form von Länge und Breite.

Polarimetrische SAR-Bilder werden in *Margarite & Mallorqui 2008* [6] für die modellbasierte Erkennung von Schiffen benutzt. Ebenfalls polarimetrische Daten verwenden *Schuler et al. 2008* [7] zur Auswertung der Ozeanoberfläche.

Der wissenschaftlich-technische Stand wird auch in Kapitel 1.4 behandelt, für eine ausführlichere Darstellung wird auf die entsprechenden Arbeiten von Infoterra verwiesen, siehe *Knabe & Teufel 2011* [2]. Zur Konzeption und Entwicklung von Verfahren muss der Rahmen allerdings etwas weiter gesteckt werden als auf reine Schiffsdetektion und -erkennung. Es wurden daher auch verschiedene Ansätze für ATR in SAR und deren Evaluierung und Optimierung gesichtet (siehe etwa *Klausmann et al. 1999* [9] oder *Jäger et al. 2004* [8]).

#### **b) Fraunhofer IOSB-Ansatz zur Verfahrensoptimierung und -evaluierung**

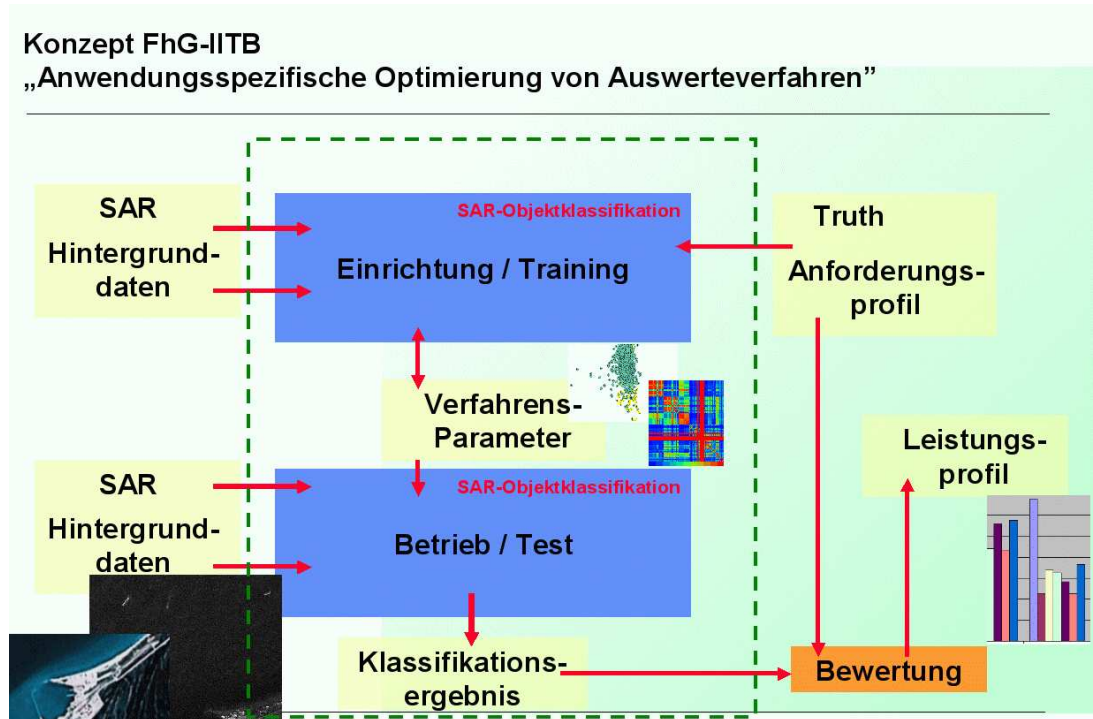
Frühere Arbeiten von Fraunhofer IOSB zu ATR und SAR-Auswertung sind u.a. in *Heinze 2007* [10] dargestellt. Weitere Arbeiten zur SAR-Auswertung und zur Evaluierung sind in *Jäger et al. 2004* [8] beschrieben. Die Methodik der Verfahrensbewertung am Fraunhofer IOSB findet sich in *Klausmann et al. 1999* [9].

Der Ansatz beruht im Kern aus einer Screening-Komponente und einem trainierbarem Klassifikator, welcher in einer Einrichtungsphase mit "ground truth"-Daten trainiert und in einer Betriebsphase angewendet wird. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil einer anwendungsspezifischen Optimierung der Verfahren für unterschiedliche Randbedingungen. Die Übertragung auf die vorliegende Aufgabenstellung ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.

In die Algorithmik zur SAR-Auswertung fließen diverse Hintergrunddaten ein:

1. Aufnahme-, Prozessierungs- und ggf. Vorverarbeitungsparameter der TerraSAR-X-Bilder,
2. Referenzsignaturen der zu entdeckenden bzw. zu erkennenden Objekte sowie Umgebungssignaturen,
3. Kartierungen ortsfester Objekte (im Küsten- oder küstennahen Bereich) aus Vektorkarten oder aus Auswertungen optischer Bilder (nicht notwendig zeitnah), Vorwissen über die Szene (z.B. Verlauf von Schifffahrtsstraßen) usw.

Die Anpassung und Optimierung des Verfahrens erfolgt in einer "Einrichtungsphase". Hier liegt ein für das definierte Anwendungsszenario spezifischer Trainingsdatensatz zugrunde. Für die Einrichtung sind folgende weiteren Eingangsdaten notwendig:



**Abbildung 1:** IOSB-Ansatz zur anwendungsspezifischen Optimierung von Auswerteverfahren.

1. “ground truth”-Daten als Vektorkartierung der Soll-Ergebnisse und
2. Anforderungsprofile der Nutzer (z.B. Gewichtung möglicher Fehlertypen wie Falschalarme und Nicht-Detektionen).

Die Anwendung des Verfahrens und dessen Evaluierung erfolgt in der “Betriebsphase”. Dem Evaluierungsschritt liegt eine Testmenge zugrunde, welche sich aus Test-Inputdaten und den entsprechenden “ground truth”-Daten zusammensetzt. Aus dem Vergleich der Auswerteergebnisse mit den “ground truth”-Daten resultiert ein Leistungsprofil des Verfahrens. Aus diesem kann schließlich auch eine Bewertungsaussage abgeleitet werden.

In Anwendungen, wo keine vollständige Automatisierung der Auswertung bis zur Entscheidungsfindung möglich oder gewünscht ist (wie beispielsweise in der Medizin), spielt der interagierende Auswerter eine wichtige Rolle. Auch bei der vorgesehenen Anwendung kann eine Berücksichtigung menschlicher Entscheidungsprozesse auf der Basis von automatisch erzeugter Bildauswertungsergebnisse und deren visueller Präsentation erfolgen. Entsprechende Arbeiten des IOSB zur Integration von Ergebnissen einer automatischen SAR-Auswertung in einen interaktiven Auswerteaufbau sind in *Berger et al. 2004* [11] dargestellt.

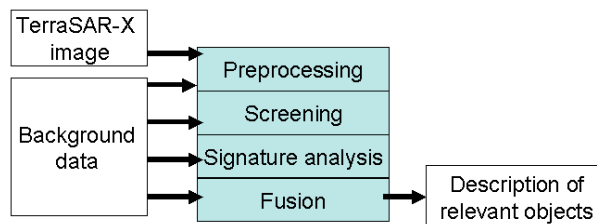
### c) Konzept

Basierend auf den vorigen Ausführungen wurde ein Konzept entwickelt für den Aufbau einer Verarbeitungskette bestehend aus folgenden Stufen:

1. Aufbereitung Bilddaten: TerraSAR-X SC, SM, SL, HS, GMD, SSC (Preprocessing)
2. Aufbereitung Hintergrunddaten: Landmaskierung, ortsfeste Objekte, Randbedingungen (z.B. Wetter)
3. Detektion: Screening
4. Signaturanalyse: Segmentierung, Parameterschätzung
5. Klassifizierung: Merkmalsextraktion und Klassifikation

Der von *Crisp 2004* [3] genannte Diskriminierungsschritt kann sowohl innerhalb der Signaturanalyse als auch bei der Klassifizierung stattfinden, indem für nicht als Objekt zu detektierende Signaturtypen eigene Klassen definiert werden.

In Abbildung 2 sind die Komponenten und die Datenflüsse schematisch dargestellt.



**Abbildung 2:** Datenflüsse und Verarbeitungskomponenten für die IOSB-Auswertekette.

Technisch wurden die Verfahrenskomponenten als Programmpakete realisiert, der jeweilige Datentransfer erfolgt über Dateien, wobei nach Möglichkeit Standard-Formate verwendet wurden, um alternative Verfahren oder Diagnose-/Visualisierungswerkzeuge anbinden zu können.

Es ist besonders zu erwähnen, dass die Komponenten zwar zeitlich sequentiell ablaufen, aber jede Komponente wieder auf die Originaldaten zurückgreifen und diese für ihre Zwecke selbst filtern oder anderweitig verarbeiten kann, je nach Erfordernissen und verfügbaren Zeit- und Rechenressourcen.

Als Basis für die Datenauswahl und den Entwicklungsschwerpunkt wurde für das Vorgehen im Projekt gemeinsam mit den DEKO-Projektpartnern zwei Untersuchungsszenarien definiert:

- **Szenario U1:**  
offene See, weiträumiger Szenenbereich, mittlere/niedrige TSX-Auflösung

- **Szenario U2:**

Küste, Hafengebiet, kleinräumiger Szenenbereich, hohe TSX-Auflösung

Das Ziel ist, mittels der Szenarien eine strukturierte Vorgehensweise bei der Datendefinition zu erhalten und entsprechende TSX-Datensätze zusammenzustellen.

### 2.1.2 Bildbeschaffung und -aufbereitung

Die TerraSAR-X-Bilder wurden prinzipiell über die DEKO-Projektleitung Astrium von der DeMarine-Fachkoordination Gauss GmbH bezogen. Dies betraf zunächst die Bilder der DLR-proposals, welche vorab vom DLR IMF freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden, sowie die TerraSAR-X Archiv-Daten aus dem proposal von DeMarine-Sicherheit. Im September 2009 konnten schließlich auch eigens für DeMarine-Sicherheit aufgenommene Bilder bezogen und bearbeitet werden.

Zur Behebung der anfänglichen Engpässe bei der Verfügbarkeit von TerraSAR-X-Bildern wurden auch vom DEKO-Projektpartner Infoterra einige Daten zum DEKO-internen Gebrauch bereitgestellt. Zum Ende der Projektlaufzeit wurden schließlich von Fraunhofer IOSB zur Erweiterung der Untersuchungen proposals bei der DLR eingereicht und nach Genehmigung teilweise innerhalb der Projektlaufzeit bearbeitet.

Die TerraSAR-X-Datensätze lagen in allen Fällen nach dem DLR-Produkt-Standard<sup>6</sup> vor. Dieser setzt sich aus Bilddaten selbst (im geotiff oder cosar-Format,) den Bild-Metadaten, bestehende aus Sensor-, Aufnahme- und Prozessierungsparametern (Dateien im xml-Format), sowie aus weiteren Annotationsdateien zur Illustration (Quicklook, Kartenausschnitte) zusammen. Für die Konvertierung der komplexwertigen SSC-Produkte<sup>7</sup> wurden für die Bildtypen SM<sup>8</sup>, SL<sup>9</sup> und HS<sup>10</sup> eigene Konversionsroutinen programmiert, und die konvertierten Bilder wurden innerhalb DEKO weitergegeben.

Insgesamt ist die Ausgabe der Daten mit Dokumentation und Annotation durch die DLR sehr positiv zu bewerten und bestens geeignet für automatisierte Verarbeitungsabläufe.

Eine tabellarische Zusammenstellung der gemeinsam in DEKO verwendeten TerraSAR-X-Bilder ist im Bericht von Astrium [1] zu finden.

---

6 siehe Internetseite der DLR sss.dlr.de mit den TSX-Produktbeschreibungen "standard product description" und "experimental product description".

7 SSC ist das SAR-Prozessierungsprodukt "single look slant range complex".

8 SM = StripMap-Modus von TerraSAR-X, mittelauflösend

9 SL = SpotLight-Modus von TerraSAR-X, hochauflösend

10 HS = HighResolutionSpotlight-Modus von TerraSAR-X, höchstauflösend

### 2.1.3 Referenz- und Hintergrunddaten

In die automatischen Verfahren zur SAR-Auswertung fließen neben den eigentlichen Bilddaten weitere Hintergrunddaten ein:

1. Bild-Metadaten, bestehend aus Sensor-, Aufnahme-, Prozessierungsparameter der TerraSAR-X-Bilder. Diese sind im o.g. DLR-Datensatz bereits enthalten.
2. Stationäre Szenenparameter: Kartierungen ortsfester Objekte (im Küsten- oder küstennahen Bereich) aus Vektorkarten oder aus Auswertungen optischer Bilder (nicht notwendig zeitnah), Vorwissen über die Szene (z.B. Landmaske, Verlauf von Schifffahrtsstraßen) usw.
3. Zeitlich veränderliche Szenenparameter
4. Referenzsignaturen der zu entdeckenden und zu erkennenden Objekte sowie Umgebungsignaturen,
5. Kartierungen ortsfester Objekte (im Küsten- oder küstennahen Bereich) aus Vektorkarten oder aus Auswertungen optischer Bilder (nicht notwendig zeitnah), Vorwissen über die Szene (z.B. Landmaske, Verlauf von Schifffahrtsstraßen) usw.

Informationen über die Bildparameter sind dem DLR-Datensatz direkt in maschinenlesbarer Form zu entnehmen. Für die weiter genannten Daten wurden im Rahmen der Projektarbeiten entsprechende Informationen recherchiert, zum Teil passend für die Szenen und Bilddaten beschafft und untersucht.

#### a) Landmaske

Detaillierte und lagerichtige Landmasken sind notwendig zum Ausblenden von Bildbereichen, da (1) dort keine echten Schiffsdetektionen zu erwarten sind und da (2) die stärkere Radarrückstreuung von Land die Grauwertstatistik und damit die Detektionsleistung in angrenzenden Bildbereichen störend beeinflusst. Zur Gewinnung der Landmaske gibt es folgende Möglichkeiten:

**Vektorkarten:** Es gibt eine Reihe von Datenquellen, von denen die Küstenlinien als Vektordaten frei über das Internet bezogen werden können, beispielsweise die WVS<sup>11</sup> oder die GSHHS<sup>12</sup>. Die NGA-Daten sind aus optischen Satellitenbildern abgeleitet und basieren auf einer Bildauflösung von ca. 30 Metern und weisen im lokalen Einzelfall (z.B. in Tidenbereichen) große Ungenauigkeiten auf.

---

11 WVS = "World Vector Shoreline" der NGA (National Geospatial-Intelligence Agency der USA) als Weiterentwicklung des "Prototype Global Shoreline Data (Satellite Derived High Water Line Data)", siehe [dnc.nga.mil/DNCSiteContent/StaticFiles/P/shoreline\\_data.doc](http://dnc.nga.mil/DNCSiteContent/StaticFiles/P/shoreline_data.doc).

12 GSHHS = "Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database" der NOAA Shoreline Website [shoreline.noaa.gov](http://shoreline.noaa.gov) (NOAA = "National Oceanic and Atmospheric Administration" der USA) zu beziehen von [www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast](http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/coast)

Prinzipiell erfordern Vektordaten einen Aufbereitungsschritt, um die Landmasse im Bild zu markieren. Dies kann nur dann vollautomatisch erfolgen, wenn auch die Vektordaten entsprechend topologisch konsistent sind, und die Landmasse lückenlos umrandet und klar zwischen Wasserfläche und Landmasse trennt.

**Rasterkarten:** Rasterkarten stellen eine Alternative zu Vektorkarten dar. Mit diesen ist die Markierung der Landfläche für die Bildauswertung technisch einfacher handhabbar. Wie bei Vektorkarten gibt es eine Reihe freier und kommerzieller Datenquellen. Für die Projektarbeiten wurde der SRTM-Datensatz<sup>13</sup> verwendet, welcher die weltweite Landmasse im Bereich 60° Süd bis 60° Nord abdeckt. Im Erzeugungsprozess des SRTM-Datenproduktes sind nicht nur Radar-Messdaten, sondern auch vorgegebene Küstenlinien (u.a. die NOAA-Daten s.o.) eingeflossen. Der entsprechende Wasserlinienverlauf ist in Abbildung 3 für die Beispiele Ärmelkanal und Hafengebiet Singapur dargestellt. Weitere Verwendung fanden im Projekt für die deutschen Küstengebiete (Bereich Wesermündung) die DGK5<sup>14</sup> sowie Orthophotos (Hafengebiet Bremerhaven).

**Extraktion aus Bilddaten:** Die automatische Extraktion der Küstenlinie aus dem aktuellen TerraSAR-X-Bild bietet den Vorteil der Anpassung an aktuelle Gegebenheiten, beispielsweise Neubebauung, Überflutung oder variierende Tidenstände. Es wurde ein Ansatz verfolgt, bei dem zusammenhängende Flächen starker Rückstreuung markiert und morphologisch geglättet wurden, siehe *Gabel 2009* [12]. Abbildung 3 zeigt ein entsprechendes Beispiel für die automatische Wasser-/Landsegmentierung im Hafenbereich von Gibraltar. Generell kann ein solcher Vorverarbeitungsschritt die nachfolgenden Detektionsverfahren unterstützen, indem nicht kartierte Landflächen (z.B. trocken fallende Tidengebiete) oder andere Bereiche starker Rückstreuung (z.B. Hagelzellen) eingegrenzt werden.

Für genaue und zuverlässige Gewinnung der Küstenlinien aus Bildern ist jedoch statt eines Einzelbildes eher eine Zeitreihe ko-registrierter Aufnahmen zu empfehlen, welche ein gewisses Spektrum an Wetterverhältnissen (Wasser-See-Kontrast ist bei Windstille am günstigsten), Wasserständen, Hafenbelegungen usw. beinhalten.

**Manuelle Markierung:** Für räumlich begrenzte Szenen ist schließlich auch die interaktive Erstellung der Landmaske eine praktikable Lösung, insbesondere auch für Untersuchungszwecke. Dies kann mit einem entsprechenden Annotationstool vor dem Hintergrund entsprechende aktueller Bilder oder verschiedener Karten erfolgen.

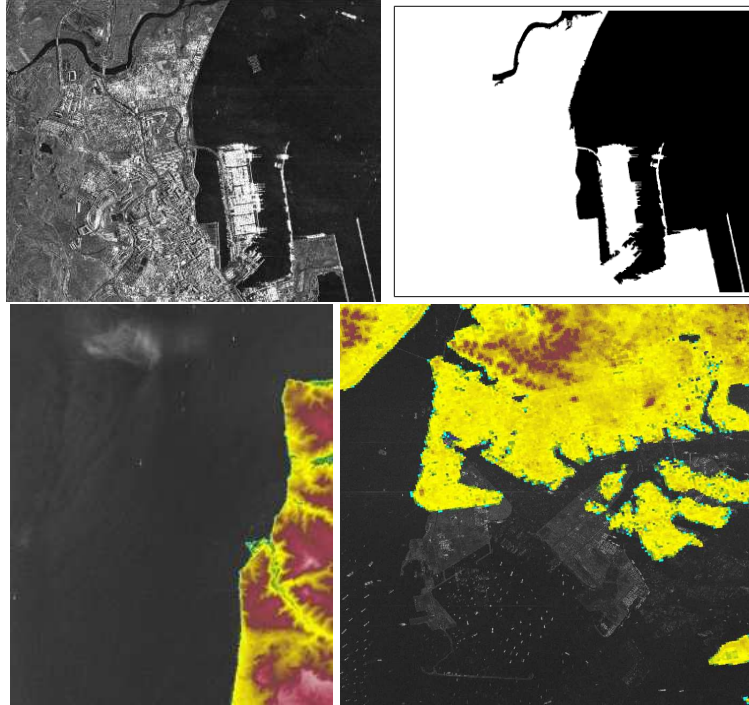
Die Nutzung von Karten erfordert die Betrachtung der Genauigkeit der Geokodierung von TerraSAR-X-Bildern. Unter Verwendung der Meta-Daten weisen die TerraSAR-X-Daten für die Prozessierungseinstellung "Rapid Orbit" Fehler von weniger als 20 Meter auf. Im Fall "Scientific Orbit" liegen sie im Rahmen des Pixelrasters. Für den Fall "Predicted Orbit" im Near-Real-Time-Betrieb NRT) sind allerdings nach Angaben der DLR Ablagen von mehreren 100 Meter möglich.

---

13 SRTM = "Shuttle Radar Topography Mission", Weltraum-Mission der NASA im Februar 2000, bei der mit dem Sensor SIR-C interferometrische Radarmessungen durchgeführt, zu einem fast globalen Höhenmodell der Landmasse verrechnet und in einer Auflösung von 3x3 Bogensekunden als "public domain"-Daten auf der Seite <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> zur Verfügung gestellt werden.

14 DGK5 = Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5000





**Abbildung 3:** Extraktion einer Landmaske.

TerraSAR-X Originalausschnitt Gibraltar (oben links) und automatisch extrahierte Binärmaske (oben rechts, w eiß: Land, schwarz: Wasser, Abb. aus [12]). Unten TSX-Ausschnitte mit Landmasken, die aus den SRTM-Daten abgeleitet wurden, Links Kanal bei Boulogne s.M., Höhen über Meeressniveau sind eingefärbt. Rechts Hafen von Singapur, große Bereiche des Hafens sind nicht als Land markiert.

Für diese Fälle sind entsprechend breite Pufferzonen an der Landmaske vorzusehen. Die Kombination einer kartierten Küstenlinie und der aus dem Bild geschätzten Wasserlinie bietet ein automatisches Verfahren die Möglichkeit, die ungenaue Geokodierung der TerraSAR-X-Bilder im NRT-Fall zu korrigieren: Mit einem linienbasierten Ansatz und robusten Schätzverfahren kann eine bildbasierte, automatische Feinreferenzierung durchgeführt werden, siehe *Saur & Krüger 2004* [13]).

#### **b) Kartierte Objekte in elektronischen Seekarten - ENC**

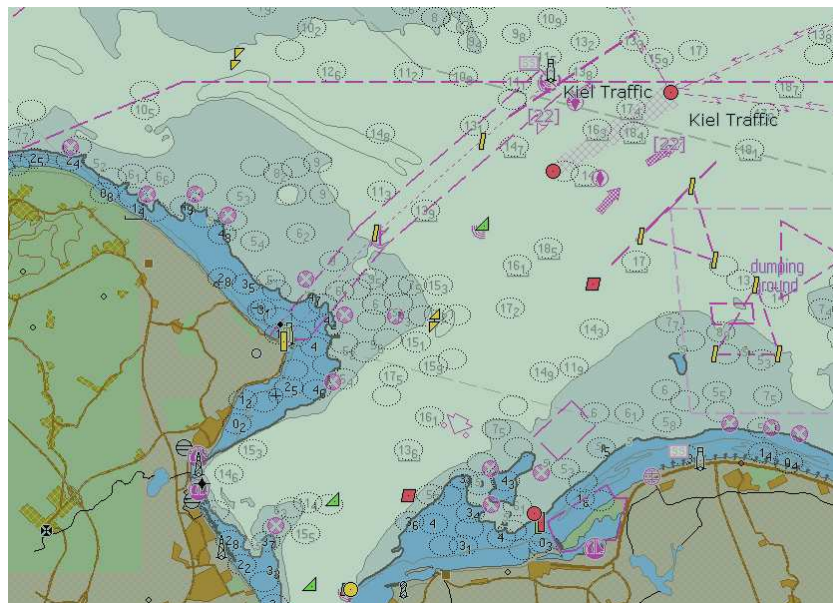
Sind für Landmaken höhere Genauigkeiten (Lagegenauigkeit, Detailliertheit) erforderlich, beispielsweise in Hafenbereichen, so sind qualifizierte Karten zu verwenden, etwa die offiziellen amtlichen elektronischen Seekarten ENC<sup>15</sup>. Diese Seekarten enthalten neben der Küstenli-

---

<sup>15</sup> ENC = "Electronic Navigational Chart" sind Seekarten nach dem offiziellen Standard der IHO (International Hydrographic Organization) und IMO (International Maritime Organisation), siehe [en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_navigational\\_chart](http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_navigational_chart)

nie auch weitere Informationen über Wasserstraßen, Untiefen oder Hafenanlagen. Insbesondere die kartierten, ortsfesten Objekte auf See (Signalbojen, Plattformen usw.) stellen eine Referenz der im TerraSAR-X-Bild zu erwartenden Hintergrundstruktur dar. Eine Aufgabenstellung besteht darin, diese Information nutzbringend für die Szenenanalyse in Gewässern mit dichtem Schiffsverkehr zu nutzen.

Zur Untersuchung dieser Aufgabenstellung wurden digitale Seekarten vom Typ ENC (Electronic Navigation Chart) gewählt, welche auch in der kommerziellen Schifffahrt eingesetzt werden. Beschafft wurden die Daten für das Deutsche Hoheitsgebiet vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Kosten für Beschaffung und Nutzungsrechte für des Projekt DeMarine wurden aus der Mittelaufstockung entnommen.



**Abbildung 4:** ENC-Seekartendarstellung der Ostsee vor der Kieler Förde.

Die ENC umfasst einen umfangreichen Datenbestand, sowohl an Land, im Küsten- und Hafenbereich und auch auf dem offenen Wasser, siehe Abbildung 4. Aus diesem Datenbestand wurden folgenden Kategorien zur weiteren Betrachtung ausgewählt:

**Küstenlinie:** Damit soll das auszuwertende TerraSAR-X-Bild auf den Wasserbereich genauer eingegrenzt werden.

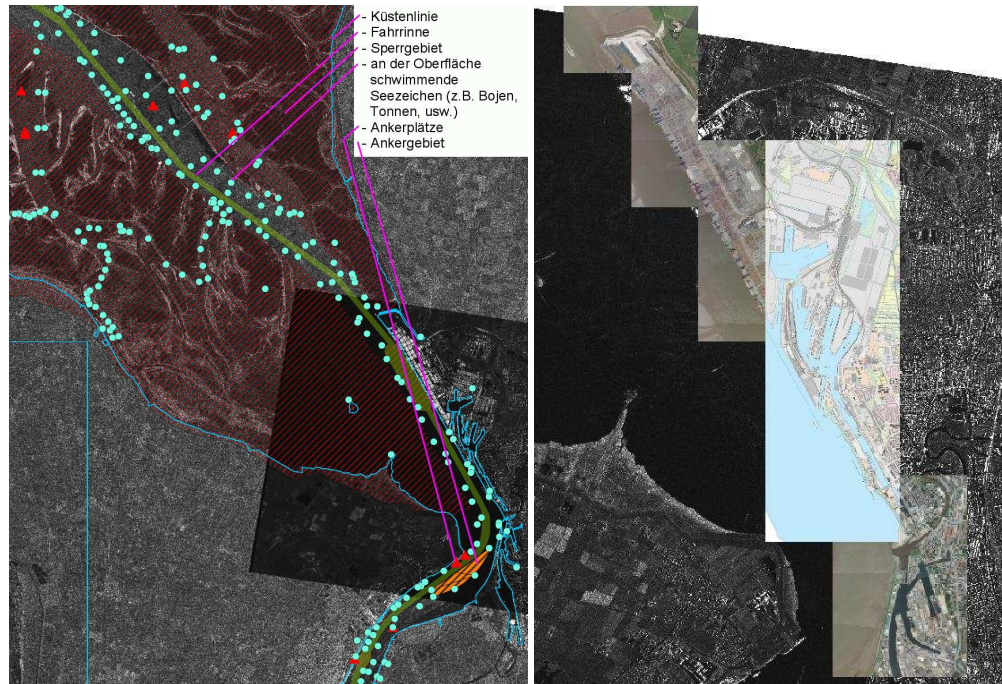
**Fahrrinne:** Dort sind in Fahrt befindliche Schiffe zu erwarten.

**Sperrgebiete:** Dort dürfen sich keine nicht-autorisierten Schiffe aufhalten.

**Seezeichen:** Soweit an der Wasseroberfläche sichtbar, können diese als ortsfeste Verwechslungsobjekte bei der Interpretation berücksichtigt werden.

**Ankergebiete und Ankerplätze:** Dort sind vor Anker liegende Schiffe zu erwarten.

Diese Datentypen werden nachfolgend für das Beispiel Bremerhaven illustriert.



**Abbildung 5:** Wesermündung in TerraSAR-X-Aufnahmen, überlagert mit ENC-Seekarten (links) und Rasterkarten DGK5 (rechts) sowie optischen Luftbildern.

In Abbildung 5 ist eine TerraSAR-X-Übersicht von Bremerhaven mit den oben angesprochenen ENC-Daten überlagert.

In Abbildung 6 ist das Radarecho eines Schiffes zu sehen, welches, bedingt durch den Dopplereffekt, aus der Fahrrinne heraus versetzt zu sein scheint. Ebenfalls ist in der oberen rechten Ecke des Detailausschnittes der Leuchtturm Robbenplate zu sehen. Einmal als ENC-Punktsymbol und leicht nach Norden versetzt dazu sein Radarecho.

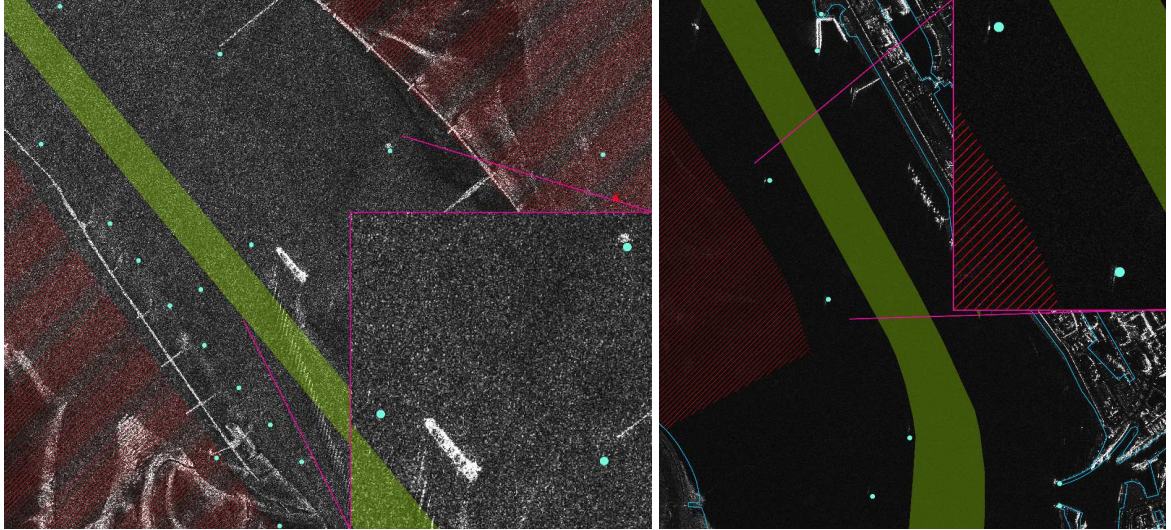
In Abbildung 6 ist ebenfalls eine Detailansicht des Hafengebiets von Bremerhaven zu sehen. Hier erkennt man die Fahrwasserbetonung (durch Markierungstonnen) mit ihren Radarechos und ENC-Punktsymbolen.

### c) Optische Bilder

Für das Untersuchungsszenario (U2) wurden Orthophotos aus optischen Luftbildaufnahmen und Ausschnitte der Deutschen Grundkarte DGK5 vom Hafengebiet Bremerhaven beschafft. Lieferant war das Vermessungs- und Katasteramt Bremerhaven. Kosten für Beschaffung und Nutzungsrechte für des Projekt DeMarine wurden aus der Mittelaufstockung entnommen.

Eine Übersicht über die Daten und deren Abdeckung zeigt Abbildung 5. In den optischen Bildern sind viele Schiffe in hoher Auflösung zu sehen, jeweils an den für den Schiffstypischen Liegeplätzen. Auch ortsfeste Objekte im und am Wasser (Bojen, Pfähle, Kräne





**Abbildung 6:** ENC-Objekte in TerraSAR-X-Aufnahmen:  
Links: Radarecho eines Schiffes und Leuchtturm "Robbenplate". Rechts: Betonung des Fahrwassers (mit Markierungstonnen) sowohl als Radarecho als auch via ENC ersichtlich.

usw.), die im SAR-Bild Verwechslungsobjekte für Boote und Schiffe sein können, sind gut zu sehen und zu lokalisieren. Deren Auswertung ist Gegenstand weiterer Arbeiten. Gegenüber den im Internet frei zugänglichen Daten hat dieses Material den Vorteil der für DeMarine-Zwecke geklärten Nutzungsrechte.

#### **d) AIS-Daten**

AIS-Daten vermitteln Informationen über Schiffe in Fahrt und sind sehr nützlich für Entwicklung, Training und Evaluierung von Schiffsdetektions- und -erkennungsverfahren. Allerdings ist erforderlich, dass die AIS-Signale der abgebildeten Schiffe zeitnah zur Aufnahme empfangen und bezogen werden können. Für Untersuchungszwecke wurden verschiedene Dienste recherchiert, die diese Daten von Betreibern von Empfangsstationen sammeln, aufbereiten und über das Internet zur Verfügung stellen. Es handelt sich dabei teils um kommerzielle Dienste, teils können die Daten auch kostenlos bezogen werden, dann aber degradiert oder zeitversetzt<sup>16</sup>.

Für einige Neuaufnahmen von TerraSAR-X-Bildern der Untersuchungsszenarien (U1) Ärmelkanal und (U2) Bremerhaven wurden terrestrische AIS-Daten bezogen. Für ausgewählte Bilder vermittelte die Fachkoordination von DeMarine-Sicherheit gegen Projektende einige AIS-Daten von Betreibern von Empfangsstationen.

---

<sup>16</sup> Beispiele für AIS-Dienste im Internet sind <http://www.vesseltracker.com>, <http://www.marinetraffic.com> und <http://www.aislive.com/>

### e) Annotationen

Zur Verfahrensoptimierung und -bewertung ist eine vollständige Erfassung der realen Objekte (Schiffe) und der Verwechslungsobjekte (z.B. schiffsähnliche Radarechos, Bojen oder Störungen) in den TerraSAR-X-Bildern unbedingt erforderlich. Da AIS und auch Karten insgesamt unvollständig sind und andererseits aber nicht-kartierte Objekte oder Störungen in den Bildern objektähnliche Radarechos produzieren und schließlich auch kartierte Objekte manchmal nicht in den Bildern sichtbar sind, wird eine entsprechende visuelle Erfassung durch interaktive Annotation durchgeführt. Diese "sensed truth" enthält die visuell wahrnehmbaren Objektproportionen und den Objekttyp. Auf der Basis dieser Annotationen erfolgt beispielsweise die Erzeugung der Trainings- und Testmengen für die in der Verfahrenskette verwendeten Klassifikatoren.

#### 2.1.4 Detektion und Filterung

Die Detektion ist der entscheidende Schritt, um in großen Datenmengen die gesuchten Objekte zu finden. Erforderlich ist eine hohe Effizienz bzgl. Datendurchsatz und andererseits eine hohe Sensitivität für die relevanten Objekte, d.h. eine hohe Detektionsrate. Eine mit der Detektion kombinierte Filterung reduziert die Falschalarme. Wird die Detektionsentscheidung einer nachfolgenden Signaturanalyse oder Klassifikation überlassen, wird diese Vor-Detektion auch als "Screening" bezeichnet. Für die Projektarbeiten wurden zwei Ansätze verfolgt: Zum einen die Anpassung des SAR-Screeners von Fraunhofer IOSB an die Aufgabenstellung und zum anderen die Entwicklung eines neuen Detektions- und Filterverfahrens für konvexe, schiffsähnliche Objekte auf dem Wasser.

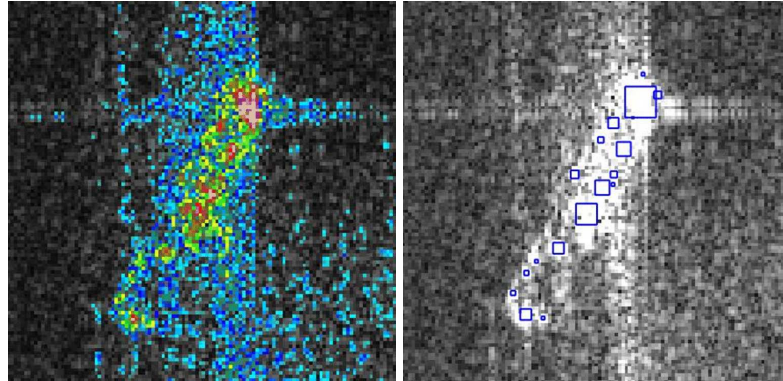
#### a) SAR-Screener

Die Basis des SAR-Screeners von Fraunhofer IOSB (siehe *Heinze et al. 2007* [10] und *Jäger et al. 2004* [8]) ist eine "moving window"-Technik, ein nichtlinearer Rang-Operator gefolgt von einer Ballungsanalyse und einer anschließenden Filterung. Das Ziel dabei ist, einzelne eng umgrenzte Radar-Reflexe zu finden und zu Reflexgruppen zusammenzufassen. Im Gegensatz zu vielen Hot-Spot-Detektoren oder CFAR-Ansätzen wird nicht eine einfache, lokal adaptive Schwelle angewendet, sondern Form und Ausdehnung der Reflexe und die Struktur der Reflexgruppen mit erfasst. Damit gelingt es, metallische Objekte in SAR-Bildern auch bei heller, stark verrauschter Umgebung zu finden.

Dieses Verfahren wurde für die TerraSAR-X-Bilder angepasst, zum einen zur Entdeckung von Schiffen, zum anderen zur Markierung von Objekten auf der Wasseroberfläche wie etwa Bojen oder Plattformen.

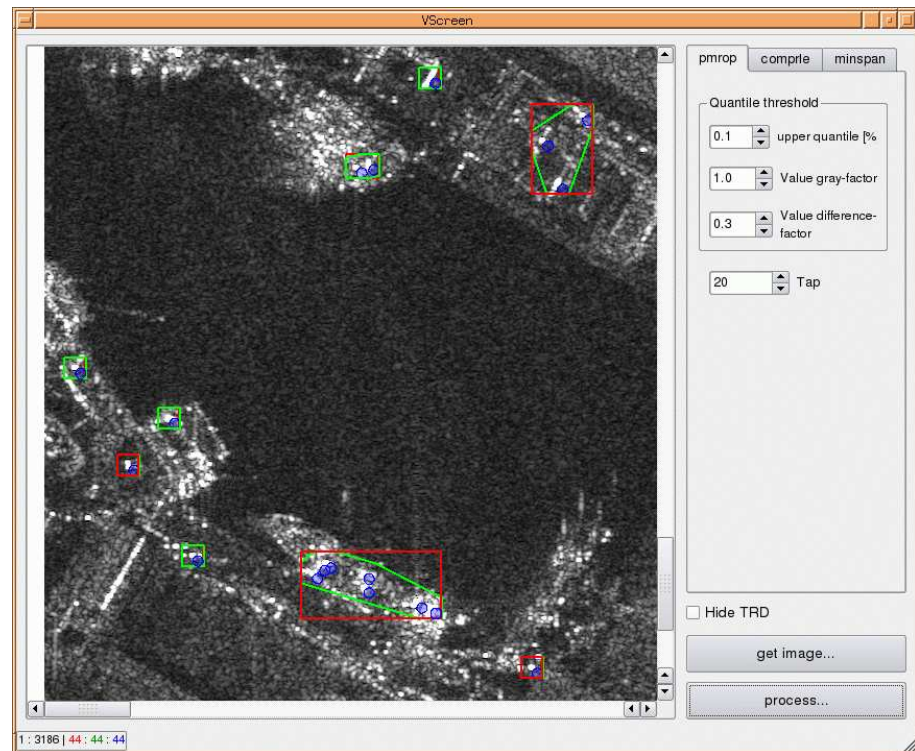
Abbildung 7 zeigt die aus der Schiffssignatur extrahierten Einzelreflexe verschiedener Stärken und Größen. Die Anordnung dieser Reflexe kann ggf. direkt zur Ableitung von Teilen der Objektstruktur verwendet werden, oder der Ort dieser „auffälligen Struktur“ wird als Objektkandidat an nachfolgende Auswertestufen übergeben .

Die Extraktionen in Abbildung 8 stellen stärkere Reflexe mit entsprechender Gruppierung dar. Diese sind sowohl auf den dort liegenden Schiffen als auch auf dem Hafengelände zu finden.



**Abbildung 7:** Unsegmentierte Schiffssignatur in Falschfarben (links) und mit dem SAR-Screener extrahierte Einzelreflexe (rechts).

Die resultierenden Reflexgruppen stellen zunächst Detektionskandidaten dar, die in weiteren Prüfungen, beispielsweise Signaturanalyse (siehe Abschnitt 2.1.5) oder Klassifikation (siehe Abschnitt 2.1.6) weiter analysiert und als Detektionsereignis oder erkanntes Objekt klassifiziert werden. Diese Nachfolgestufen nutzen neben dem Resultat der Reflexextraktion, vor allem die Original-SAR-Daten im Bereich der Signatur.



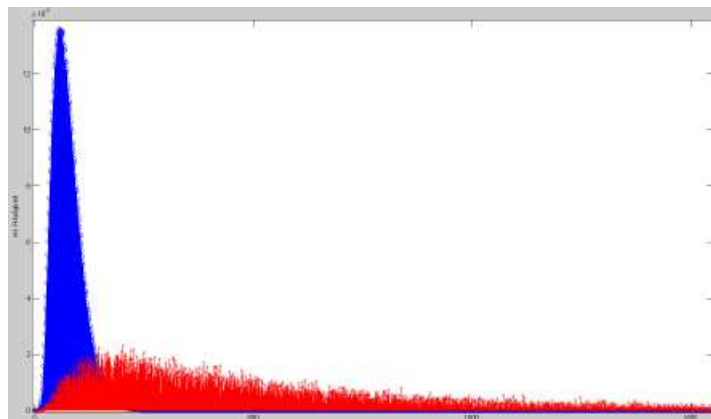
**Abbildung 8:** TerraSAR-X-Ausschnitt eines Hafenbeckens mit extrahierten und selektierten experimentellen "SAR screening"-Ergebnissen

Eine alternative nachfolgende Verarbeitungskomponente ist die Veränderungsanalyse. Hierfür werden direkt die Detektionskandidaten in örtlicher Nachbarschaft für zwei oder mehr Bilder hinsichtlich eines relevanten Änderungsereignisses untersucht. Beispiele sind die Analyse der Landobjekte in Abbildung 8. Ergänzende Beispiele sind in Abschnitt 2.1.10 beschrieben.

### b) Schiffsdetektion mit Konvex-Filter

Speziell für die Schiffsdetektion in TerraSAR-X-Bildern wurde ein neues Verfahren entwickelt, das Filterung und Detektion von Objekten, die bestimmte Kriterien bzgl. ihrer Form und Struktur erfüllen, in einem einzigen Schritt durchführt. Weiterführende, über die nachfolgende Darstellung hinausgehende Einzelheiten des Ansatzes sind in *Gabel 2009* [12] zu finden.

Der Grundgedanke vieler Schiffsdetektoren in SAR-Bildern entspricht dem Prinzip eines "Hot Spot"-Detektors: Es wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Grauwertverteilung im Objektinnern sich von der Verteilung des Hintergrundes unterscheidet (siehe Abbildung 9, entnommen aus [12]). Je nach Statistik der Verteilungen und deren geschätzter Parameter sind die Schwellen für CFAR-Detektoren oder anderen adaptiven Schwellen zu setzen, siehe *Crisp 2004* [3].

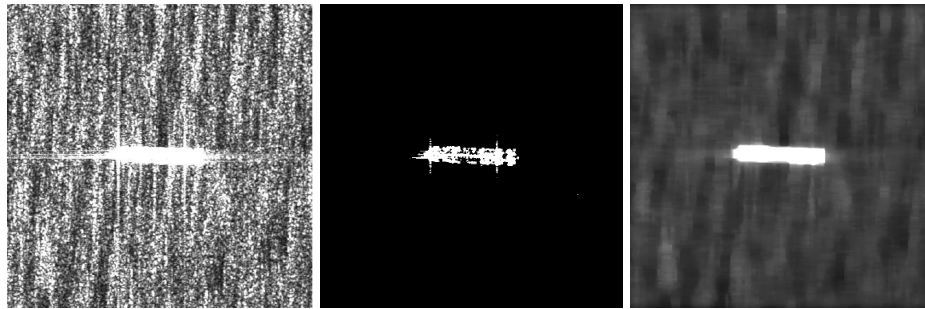


**Abbildung 9:** Grauerthistogramm der Schiffspixel (rot) und der Wasserpixel (blau).

Für unsere Anwendungen im Fall des Untersuchungsszenarien U1 und U2 mit mindestens 3 Meter Pixelauflösung weisen die erwarteten Schiffssignaturen eine gewisse Mindestgröße auf, so dass eine Struktur in der Umrandung und ggf. auch im Objektinnern beobachtet werden kann. Schiffe zeichnen sich durch die Konvexität ihrer Rümpfe aus, und auch die Signatur ist entweder als ganzes konvex oder setzt sich aus konvexen, untereinander abgrenzbaren Teilen zusammen. Nicht-konvexe Objektsignaturen kommen meist durch Überstrahlungen der Radarreflexe zustande.

Es liegt also nahe, für Objektformen ein Konvexitätsmaß zu definieren und verschiedene Filter hinsichtlich ihrer Fähigkeit zu untersuchen, dieses Maß zu optimieren. Ein im Sinne der Anwendung optimales Filter wird also z.B. Überstrahlungen unterdrücken und den konvexen Objektkern erhalten. Weitere Optimierungskriterien sind Störunterdrückung (Überstrahlungen), Formerhaltung und geringe Rechenzeit. Für die Vorverarbeitung wurden mehrere der

untersuchten und ausgewählten Filterfunktionen angewendet und zusammen mit dem Originalbild als mehrkanaliger Bildstapel (eventuell unterabtastet) dem Detektor zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 10:** Bildfilterung: Original (links), binarisiertes ungefiltertes Bild (Mitte) mit Überstrahlungen, gefiltertes Bild (rechts).

In Abbildung 10 ist das Beispiel einer Schiffssignatur mit Überstrahlungen zu sehen. Die Anwendung von Schwellen auf das ungefilterte Bild führt zu Artefakten der Objektform und der Innenstruktur. Die Anwendung eines der ausgewählten Filter ergibt eine konvexe Objektform, unterdrückt Störungen und glättet die Ränder. Die zu beobachtende Verschmierung der Innenstruktur ist kein Nachteil, da vom Filterbild lediglich die Objektfläche und vom Originalbild aber der Objekthalt übernommen wird.

### 2.1.5 Objektsegmentierung und Parameterschätzung

Das Ziel der Objektsegmentierung ist es, das Objekt möglichst genau vom Hintergrund zu trennen und dabei gleichzeitig Rauscheffekte und Artefakte wie Speckle und Überstrahlungen zu unterdrücken. Des Weiteren wird eine Orientierungsschätzung realisiert, die ebenfalls eine hohe Robustheit gegen Rauschen aufweisen soll, um ungenaue Schätzungen zu vermeiden. Eine erfolgreiche Objektsegmentierung unterstützt die nachfolgende Objektklassifikation, denn weniger Hintergrund erhöht die Generalisierfähigkeit des Klassifikators nach dem Training. Außerdem ermöglicht eine gute Orientierungsschätzung eine Rotationskompensation des Objekts, was eine Art Ansichtsnormierung für die Klassifikation und damit auch eine stärkere Generalisierung bewirkt. Mit Hilfe des Sensormodells kann mit diesen Ergebnissen direkt eine Parameterschätzung für jedes Objekt vorgenommen werden, in der die Ausmaße in Metern sowie die Orientierung in Grad bezogen auf die Bildausrichtung berechnet wird. Zwei verschiedene Verfahrensketten wurden implementiert, wobei die erste auf einem geometrischen Ansatz und die zweite auf einem statistischem basiert.

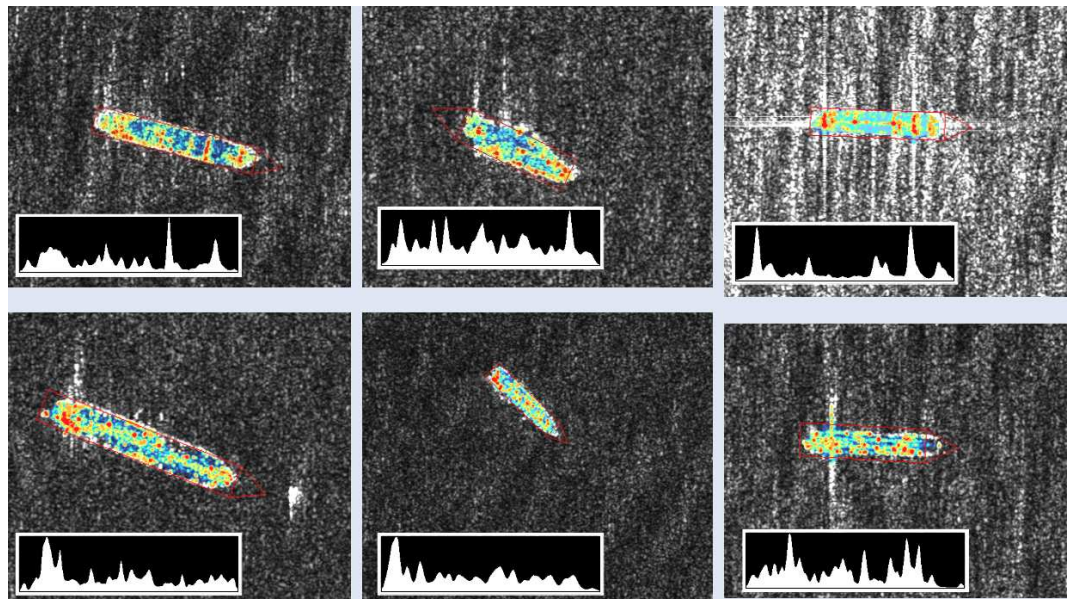
#### a) Geometrischer Ansatz

Die zuvor beschriebene Detektion beinhaltet eine Bildfilterung, welche bereits die Objektbereiche gegenüber dem Hintergrund hervorhebt. Diese Filterung wird lokal iteriert, und anschließend wird auf der Basis der Verteilung von Intensität und Standardabweichung eine Segmentierung in Objekt- (Schiff) und Hintergrundbereich (Wasser, Clutter) durchgeführt. Kleinere benachbarte Segmente werden gruppiert und als ein Verbundobjekt beschrieben.



Für die resultierenden Objektbereiche werden die (Flächen-) Trägheitsachsen aus den Hauptkomponenten der 2. zentralen Momente berechnet (principal component analysis PCA) und daraus Länge, Breite und Ausrichtung des Objekts abgeleitet.

Mittels der Geokodierung des TerraSAR-X-Datensatzes können die Objektparameter aus den Bild- in die Weltkoordinaten transformiert werden. Es resultieren die geographische Position sowie die physikalischen Längen und Breiten der Objekte. Beispiele für segmentierte Schiffe mit farbig hervorgehobener Signatur werden in Abbildung 11 dargestellt. Die geschätzten Objektparameter werden in Form eines momentengleichen Rechtecks überlagert. Weitere Einzelheiten zu diesem Ansatz sind in *Gabel 2009* [12] zu finden.



**Abbildung 11:** Beispiele von segmentierten Schiffen mit Parameterbestimmung (Rechteck), Falschfarbsignatur und Intensitätsprofil

Einen interessanten Aspekt zeigen die Grauwertprofile der Signaturen in Abbildung 11. Diese entstehen durch Akkumulieren der Intensitäten längs der kleinen Halbachse und Auftragen des Verlaufs längs der großen Halbachse. Das Objektende mit dem größeren Wert der akkumulierten Intensitäten wird als Heck des Schiffs angenommen. Man erhält mit diesem Diagramm einen visuellen Eindruck von der Reflexionsverteilung längs des Schiffs und Hinweise auf Objektstrukturen, beispielsweise reflexarme glatte Abdeckungen bei Tankern oder langperiodische Strukturen bei Schüttgutfrachtern.

Der beschriebene geometrische Ansatz ergibt meist eine erste gute Näherung für die Objektproportionen. Allerdings sind einige Einschränkungen zu nennen:

- Die PCA-basierte Parameterbestimmung ist empfindlich gegenüber Fehlern der Objektsegmentierung. Beispielsweise führen Überstrahlungen in Azimut- oder Range-Richtung, welche durch die Segmentierung nicht vollständig unterdrückt werden konnten, zu Abweichungen der Richtung und einer Überschätzung der Objektabmessungen.
- Die 3-dimensionale Objektgeometrie wird nicht berücksichtigt. Ist beispielsweise der

Rumpf in Azimut-Richtung ausgerichtet, so führt ein hoher Brückenaufbau bei der SAR-Schrägabbildung zu einer Ausbeulung der Signaturfläche und verfälscht damit die Rechteckapproximation.

- Weitere Effekte betreffen die Winkelabhängigkeit der SAR-Reflexion, die Bewegung des Wassers am Schiffsrand sowie den Radar-Schatten.

Um diese Einschränkungen zu einem gewissen Teil zu bewältigen, wurde ein zweiter, statistischer Ansatz verfolgt.

## b) Statistischer Ansatz

Beim statistischen Ansatz sollen neben den normal verrauschten Objektbeispielen vor allem auch stärker verrauschte Beispiele betrachtet werden, um das Potential für höhere Robustheit zu untersuchen. Dazu wurde eine statistische Strukturanalyse implementiert basierend auf *Local Binary Pattern* (LBP) [14, 15] und *Gradientenrichtungshistogramme* (HOG) [16]. Als Struktur werden hier klar sichtbare Ecken und Kanten bezeichnet im Gegensatz zur eher unstrukturierten Erscheinung von Rauschen, Überstrahlung, Verschmiereffekten oder Doppeldeutigkeiten (ambiguities). Durch die Anwendung eines speziell dafür entwickelten LBP-Filters, das lokale Pixelzusammenhänge analysiert und nur bestimmte Muster wie Ecken und Kanten hervorhebt, können Rauscheffekte wirksam unterdrückt werden. Damit kann eine *Region of Interest* (ROI) erzeugt werden, in der klare Struktur vorhanden ist und somit ein rauscharmes Gradientenrichtungshistogramm erstellt wird. Es sind zwei Maxima zu erwarten, die gerade den langen Seitenkanten eines Schiffes entsprechen. Selbst wenn nur eines vorliegt, da das andere zu stark verrauscht ist, kann die Orientierung dennoch korrekt geschätzt werden, was das Verfahren robuster macht als die gängigen Ansätze mit Hough-Transformation oder PCA.

Für die Bestimmung der Objektausmaße wird zunächst das LBP-Filter mit anderer Parametrierung angewandt um feinere Strukturen hervorzuheben. Mit Zeilen- und Spaltenhistogrammen werden robust die Dimensionen der ROI bestimmt, die den Objektausmaßen im Bild entsprechen. Über die *Ground Sampling Distance* (GSD) des Sensormodells können Längenangaben in Metern erzeugt werden. Evaluiert wurden gemessene Objektorientierung und Objektlänge gegenüber einer "sensed truth", die dem Labeling-Prozess entstammt. Insgesamt 756 Detektionen in 17 verschiedenen TerraSAR-X-Bildern wurden für die Evaluation prozessiert. Dabei wurden Fehlermediane von  $5.2^\circ$  in der Orientierungs- sowie  $19.6\text{ m}$  in der Längenschätzung erreicht. Einige Beispiele sind in Abbildung 12 zu sehen.

Eine detailliertere Beschreibung der Verfahren ist den dazu verfassten Veröffentlichungen [17, 18] zu entnehmen. Ein weiteres Verfahren zur Objektsegmentierung basierend auf *Relativer Konnektivität* wurde ebenfalls getestet und veröffentlicht [19]. Jedoch erwies sich das hier beschriebene Verfahren als robuster gegenüber starkem Rauschen.

### 2.1.6 Klassifikation

Die Klassifikation stützt sich auf die Ergebnisse der Objektsegmentierung und dient zur Unterscheidung verschiedener Klassen wie *Clutter*, *Nichtschiff* oder diverser Schiffstypen. Dazu wurde ein Klassifikationskonzept benutzt, angepasst und erweitert, das bereits in anderen

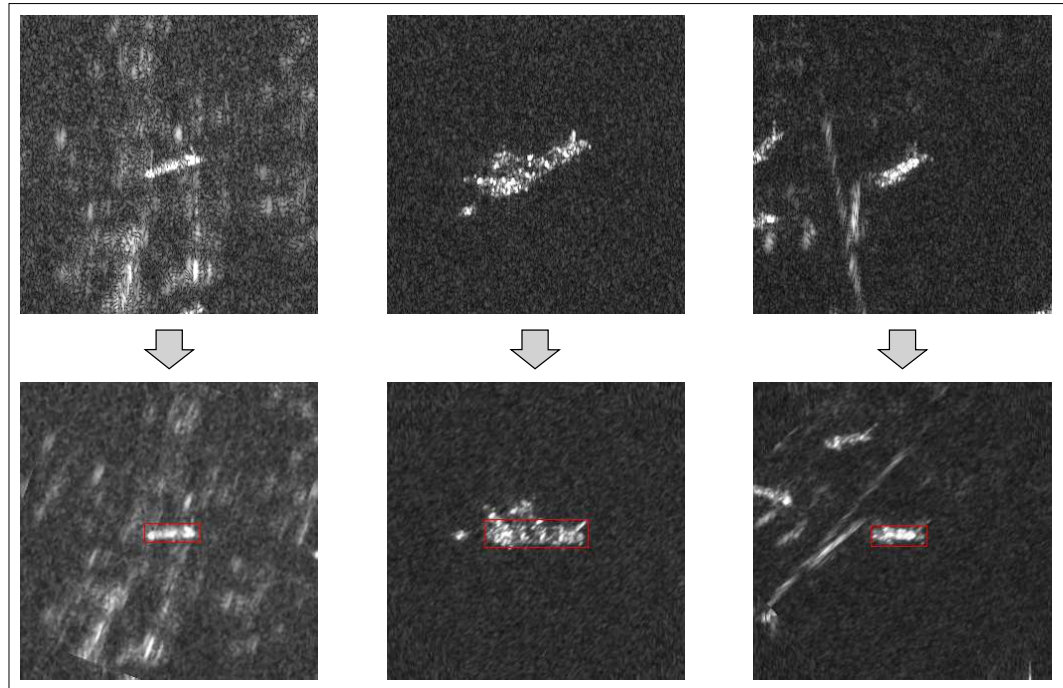


Abbildung 12: Beispiele der Objektsegmentierung mit dem statistischen Ansatz.

Anwendungen gute Ergebnisse lieferte [20, 21]. Dieses Konzept ist in Abbildung 13 dargestellt.

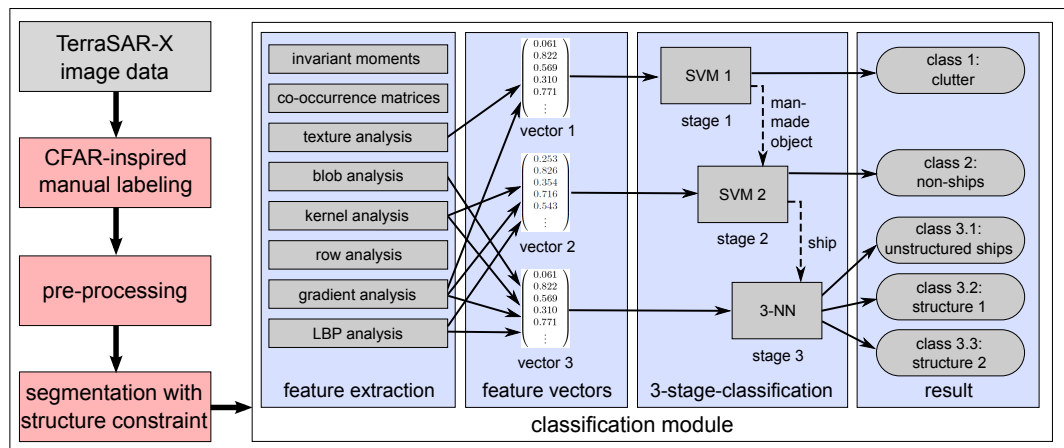


Abbildung 13: Konzept zur Objektklassifikation.

Nach manuellem Labeling, Vorverarbeitung und Objektsegmentierung folgen im Klassifikationsmodul die Merkmalsanalyse sowie die drei-stufige Klassifikation mit *Support Vector Machines* (SVM) und *k-Nearest Neighbor* (k-NN) Klassifikatoren. Dazu wurde eine Datenmenge von 543 Detektionen mit erfolgter Objektsegmentierung in 362 Trainings- und 181 Testbeispiele aufgeteilt. Beim Labeling wurden jedes Beispiel in eine von fünf Klassen eingeteilt:

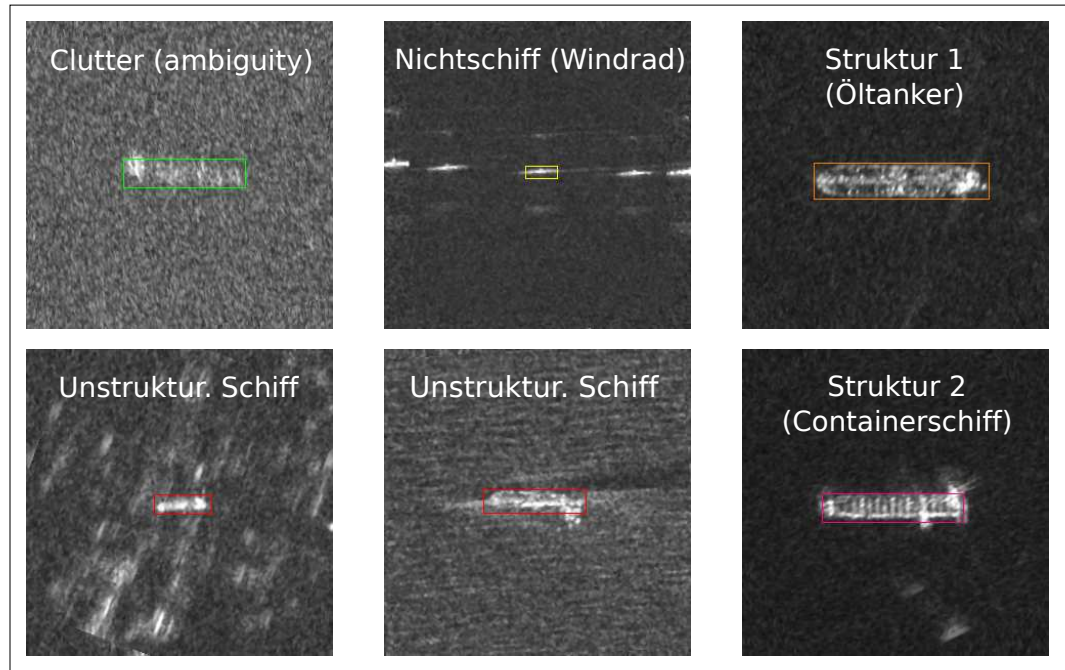
**Tabelle 1:** Absolute Konfusionsmatrix für die Klassifikationsevaluation.

	Clutter	Nichtschiff	Schiff	Struktur 1	Struktur 2
Clutter <sub>SVM</sub>	14	2	1	0	0
Nichtschiff <sub>SVM</sub>	0	26	2	0	0
Schiff <sub>3NN</sub>	3	8	102	9	2
Struktur 1 <sub>3NN</sub>	0	0	3	5	1
Struktur 2 <sub>3NN</sub>	0	0	1	0	2
	17	36	125	14	5

Clutter, Nichtschiff, unstrukturiertes Schiff, Schiffsstruktur 1 (Öltanker) und Schiffsstruktur 2 (Containerschiff oder Schüttguttransporter). Während einer Trainingsphase wurden zunächst für jedes Trainingsbeispiel 980 verschiedene Bildverarbeitungsmerkmale berechnet, die in acht Merkmalsunterklassen eingeteilt sind wie beispielsweise Texturanalyse oder Invariante Momente. Eine datengetriebene automatische Merkmalsbewertung und -selektion wurde angewandt, um für jede Klassifikationsstufe die beste Merkmalsuntermenge zu finden und diese als Deskriptor zu definieren. Dabei wird zur Bewertung für jedes Merkmal nach einer Normierung die Separabilität zwischen den gesuchten Klassen ermittelt. Je höher die Separabilität desto besser eignet sich das betrachtete Merkmal für die Klassifikation. Mit der *Sequential Forward Selection* (SFS) wird auf Basis der Separabilität eine Merkmalsselektion durchgeführt, die aus den 980 Merkmalen eine kleine Untermenge mit maximierter Gesamtseparabilität aussucht. Das Ergebnis ist eine spezielle Merkmalsuntermenge (Deskriptor) mit höchster Separabilität für die gegebene Klassifikationsaufgabe in jeder Klassifikationsstufe.

Zur Klassifikation wurden mehrere Stufen eingeführt, um das Fünfklassenproblem in mehrere Zweiklassenprobleme zu unterteilen. Klassifikatoren und insbesondere SVMs erhalten dadurch eine höhere Generalisierfähigkeit sowie bessere Klassifikationsergebnisse. Aus Mangel an Beispieldaten wurde in der letzten Stufe ein Dreiklassenproblem betrachtet und mit einem 3-NN Klassifikator gelöst. Die Klassifikatoren wurden einzeln mit Hilfe der 362 Trainingsbeispiele trainiert und zu einer Kaskade zusammengesetzt: In der ersten Stufe werden Clutter und menschengemachte Objekte getrennt. Liegt Clutter vor, stoppt die Kaskade direkt und die beiden anderen Stufen sind obsolet. Für menschengemachte Objekte unterscheidet eine weitere SVM Schiffe und Nichtschiffe wie Plattformen, Bojen, Buhnen oder Windräder. Im Falle eines Nichtschiffs ist die letzte Stufe obsolet. Für Schiffe entscheidet der 3-NN Klassifikator, ob Schiffsstruktur 1, Schiffsstruktur 2 oder ein unstrukturiertes Schiff, also ein Schiff mit nicht eindeutig erkennbarer Innenstruktur, vorliegt.

In der Testphase wurden die 181 Testbeispiele klassifiziert und mit den Labels der "sensed truth" verglichen. Das Ergebnis ist als Konfusionsmatrix in Tabelle 1 dargestellt. Die relativ schlechten Klassifikationsergebnisse der beiden Schiffsstrukturklassen erklären sich aus dem Mangel an Beispielen. Hier besteht weiterer Testbedarf. Auf alle Testbeispiele bezogen ergeben sich pro einzelne Klassifikatorstufe Raten für korrekte Klassifikation von 96.68 % für die SVM in Stufe 1, 93.29 % für die SVM in Stufe 2 und 91.45 % für den 3-NN in Stufe 3. Für die ganze Klassifikatorkaskade wurden 80.66 % korrekte Klassifikationen erzielt. Einige Beispiele für korrekte Klassifikationen sind in Abbildung 14 zu sehen.



**Abbildung 14:** Beispiele zur Objektklassifikation.

Ein erster derartiger Ansatz [22] zur Trennung von nur drei Klassen mit Clutter, Nichtschiffen und Schiffen lieferte vielversprechende Ergebnisse, die in der folgenden und hier beschriebenen Arbeit [17] verfeinert wurden. Im Anschluss wurde dieses Konzept auch für vollpolarmetrische Bilder des TerraSAR-X erweitert [18], was in Unterkapitel 2.1.8 beschrieben wird.

### 2.1.7 Extraktion von Schiffswellen

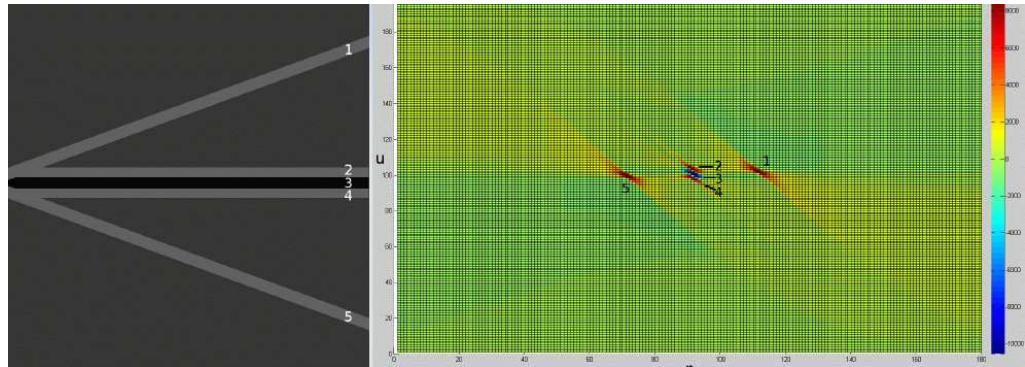
Schiffe in Fahrt erzeugen mit Bugwelle (V-förmig) und Heckwelle (lineare Spur der Wasserwirbelung am Heck) ein charakteristisches Wellenmuster auf dem Meer. Dieses Muster prägt sich im SAR-Bild als Form von hellen und dunklen Streifen aus, welche automatisch extrahiert werden können. Entwicklungen und Untersuchungen hierzu wurden in der Arbeit *Gabel 2009* [12] durchgeführt und werden daher nur knapp wiedergegeben.

Die durch die Wellen verursachten Streifenmuster im SAR-Bild entsprechen nach Transformation in die Radon-Domäne den dortigen lokalen Maxima (helle Streifen) und Minima (dunkle Streifen). Abbildung 15 zeigt ein entsprechendes Diagramm (entnommen aus [12]).

Die Heckwelle (die mittlere dunkle Linie) wurde in den vorliegenden TerraSAR-X-Bildern an 140 von 297 sichtbar vorhandenen Schiffen beobachtet. Dabei handelt es sich überwiegend um Bilder hoher Auflösung (SpotLight SL und HS sowie StripMap SM mit hohem Inzidenzwinkel).

Für diese Beispiele konnte jeweils eine automatische Detektion der Heckwelle durchgeführt werden. Basis hierfür ist die erfolgte Schiffsdetektion, um mit Ort und Richtung genügend Vor-



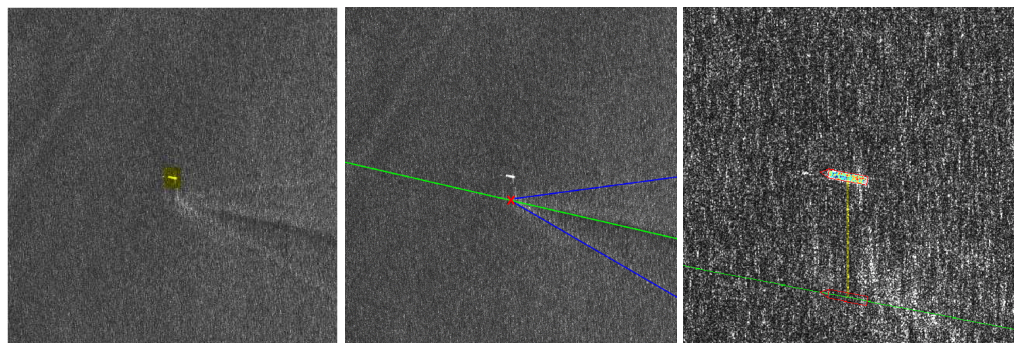


**Abbildung 15:** Modell der Wellensignatur im SAR-Bild.

Links mit hellen und dunklen Streifen. Den Streifen entsprechen den lokalen Minima und Maxima des Radon-transformierten Bildsignals (rechts). Abb. aus [12].

wissen in die Suche nach Heckwellen einzubringen, damit die Auswertung auf einen kleinen Bildbereich beschränkt damit in kurzer Rechenzeit bearbeitet werden kann.

Abbildung 16 illustriert ein entsprechendes Beispiel. Weitere Beispiele sind im Abschnitt 2.1.9 zu finden.



**Abbildung 16:** Schiff mit Wellen im Originalbild.

Links: Schiff für Verfahren ausmaskiert, Darstellung halbtransparent gelb. Mitte: Strahl der der Heckwelle und V-förmige Bugwelle. Rechts: Vergrößerter Bildausschnitt mit Schiff und Azimut-Versatz. Abb. aus [12].

Objekte in Bewegung werden im SAR-Bild in Azimut-Richtung verschoben. Die Schiffssignatur liegt daher nicht auf der strahlförmigen Heckwellenlinie. Aus dem Azimut-Versatz von Heckwellenlinie und Schiffssignatur kann unter Berücksichtigung der Orbitparameter (Satellitenentfernung und -geschwindigkeit) den Abbildungsparametern (Inzidenzwinkel) und den Szenenparametern (Schiffskurs) die Geschwindigkeit des Schiffs ermittelt werden.

Darüberhinaus ermöglicht die Heckwellenlinie im Falle einer geradlinigen Schiffsbewegung und der Abwesenheit von starken Winden eine genauere Schätzung des Kurses als über die Ausrichtung der Schiffssignatur.

Ein günstiger Nebeneffekt der Heckwellendetektion ist eine Verfestigung der Detektionshy-

pothese: Es gibt Beispiele von Schiffen mit schwacher Radar-Rückstreuung und deutlicher Heckwelle. Weiter lassen sich Störobjekte (z.B. Azimut-Mehrdeutigkeiten) unterdrücken, da sie keine Heckwellen produzieren.

### 2.1.8 Auswertung von vollpolarimetrischen TerraSAR-X-Bildern

Im Rahmen des proposal “A0-DRA-2010” für Daten der “TSX dual receive antenna campaign” (DRA) konnten für die Projektarbeiten vollpolarimetrische (Quadpol) TerraSAR-X Stripmap Bilder bezogen werden. In der Kampagne im April und Mai 2010 wurden von der DLR Daten aufgenommen, analysiert (siehe *Schwerdt et al. 2010* [23]) und der Wissenschaftlergemeinschaft im Rahmen des Science Service Systems (siehe [sss.terrasar-x.dlr.de](http://sss.terrasar-x.dlr.de)) zur Verfügung gestellt. Für die Projektarbeiten wurden von Fraunhofer IOSB einige Datensätze aus maritimen Szenen ausgewählt und bestellt.

Die Verfahren zur Auswertung wurden modifiziert und erweitert, um auch voll-polarimetrische SAR-Daten auszuwerten. Hierzu wurde zunächst die ikonische Verarbeitung angepasst, indem die Kanäle um Polarisationszerlegungen erweitert wurden.

Die 4 linearen Polarisationskanäle des Sensors werden mit  $HH$ ,  $HV$ ,  $VH$  und  $VV$  bezeichnet, wobei  $H$  für horizontale und  $V$  für vertikale Polarisation steht, und der erste Buchstabe die Sende- und der zweite die Empfangspolarisation angibt. Diese Symbole werden auch für die korrespondierenden Signale verwendet und die vollpolarimetrische Streumatrix kann dann wie folgt beschrieben werden:

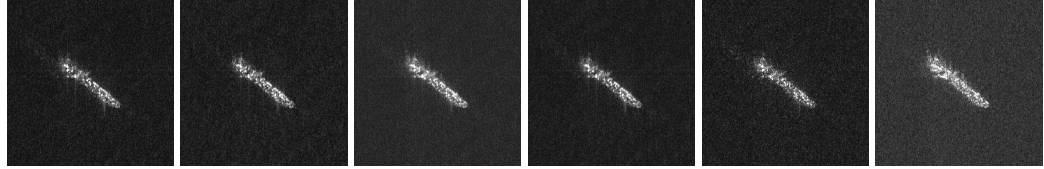
$$[S] = \begin{bmatrix} HH & HV \\ VH & VV \end{bmatrix}$$

Die Polarisierungen wurden um 4 zusätzliche Kanäle erweitert, die Gesamtenergie (total power) und die 3 Kanäle der Pauli-Zerlegung, siehe Tabelle 17. Da im zugrunde liegenden monostatischen Fall die Polarisierungen  $HV$  und  $VH$  identisch sein sollen, es aber in der Praxis nicht sind, wurden leichte Modifikationen der Zerlegungen eingeführt, welche auch unterschiedliche crosspolare Kanäle berücksichtigen.

**Tabelle 2:** Bildebenen für die polarimetrischen Untersuchungen.

no.	plane formation	indication
1	$ HH $	1st copolar image plane
2	$ HV $	2nd copolar image plane
3	$ VH $	1st crosspolar image plane
4	$ VV $	2nd crosspolar image plane
5	$ HH ^2 +  HV ^2 +  VH ^2 +  VV ^2$	total power
6	$ HH + VV $	Pauli decomposition / odd scatterer
7	$ HH - VV $	Pauli decomposition / even scatterer
8	$ HV  +  VH $	Pauli decomposition / volume scatterer

In Abbildung 17 sind die erzeugten Kanäle für ein Schiffsbeispiel illustriert. Nur 6 der 8 Kanäle sind abgebildet, da in  $VH$ ,  $HV$  und  $VH + HV$  visuell keine Unterschiede zu erkennen sind.



**Abbildung 17:** Beispiel einer Schiffssignatur in den Kanälen 1, 4, 5, 6, 7 und 8 von Tabelle 2

Es ist zu beobachten, dass (1) Kanal 5 (total power) den besten Objekt-zu-Hintergrund-Kontrast aufweist, aber das Objektinnere unscharf erscheint, dass (2) die Kanäle *HH* und *VV* etwas weniger kontrastreich sind und dass (3)  $|HV| + |VH|$  erwartungsgemäß den geringsten Kontrast hat. Zur Darstellung wurden die Einzelkanäle mittels einheitlicher, fester Quantile skaliert.

Von der weiteren Auswertekette wurden die Segmentierung, die Merkmalextraktion und die Klassifikation an die mehrkanaligen Eingabebilder angepasst.

Das Klassifikationsverfahren wurde für eine vergleichende Untersuchung von Quadpol-Aufnahmen aus der TSX-DRA-Kampagne genutzt. Hierbei wurden sowohl die vier Einzelpolarisationen untereinander als auch diese mit der vollpolarimetrischen Kombination verglichen. Basis sind Merkmale der Einzelkanäle sowie der Pauli-Zerlegung der komplexwertigen Einzelpolarisationen.

Für die cross-polaren Kanäle ergab sich im Vergleich zu den co-polaren eine gute Unterscheidbarkeit von Clutter und realen Objekten. Die Formbestimmung war aber im vollpolarimetrischen Fall am besten, im co-polaren Fall geringfügig schlechter und im crosspolaren Fall häufig sehr schlecht aufgrund des dort vorhandenen größeren Rauschanteils und des damit verbundenen ungünstigeren Objekt-Hintergrundkontrastes. Die Klassentrennung war für co-polare Einzelpolarisationen am besten.

Allerdings ist mit den durchgeführten Untersuchungen das Potential polarimetrischer SAR-Auswertung nicht ausgeschöpft. Es ist zu untersuchen, wieweit sich durch alternative Zerlegungen der Polarisationskomponenten die Resultate für die vollpolarimetrischen Bilder verbessern lassen.

Diese Untersuchungen fanden allerdings außerhalb des Berichtszeitraums statt. Daher wird auf die Publikation *Teutsch & Saur 2011a* [18] verwiesen, wo die erhaltenen Ergebnisse dargestellt sind.

### 2.1.9 Verfahrensketten und Ergebnisdarstellung

Die beschriebenen Verfahrenskomponenten wurden für Untersuchungszwecke zu drei unterschiedlichen Verarbeitungsketten zusammengefügt:

**CHAIN1:** SAR-Screener zur Extraktion und Gruppierung von Reflexmustern. Optionale Komponente zur Change-Detection ortsfester Objekte in mehreren Aufnahmen.

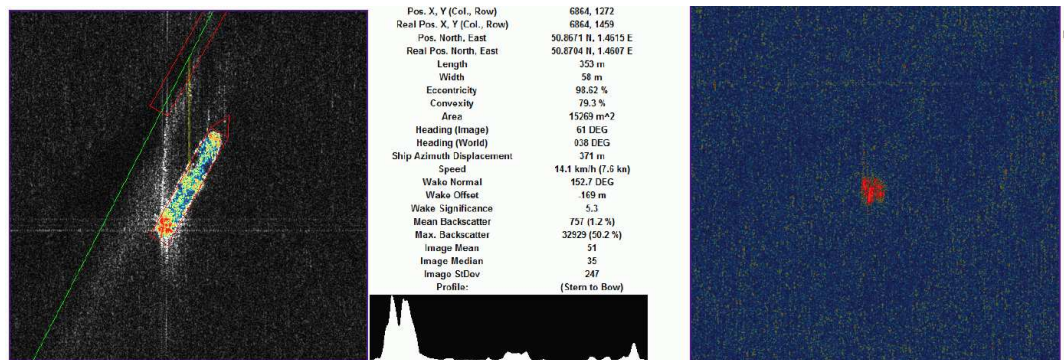


**CHAIN2:** Schiffsdetektion und Signaturanalyse sowie Detektion von Schiffswellen Sämtliche Komponenten dieser Kette sind in MATLAB implementiert und basieren auf den Arbeiten von *Gabel 2009* [12].

**CHAIN3:** Klassifikation von SAR-Chips mit Komponenten zur Segmentierung, Parameterschätzung, Klassifikator-Training und Klassifikation.

In den Verfahrensketten sind einige Komponenten vorhanden, welche jeweils die gleiche Funktion in unterschiedlicher algorithmischer Ausprägung enthalten, etwa Detektion in CHAIN1 und CHAIN2 sowie die Segmentierung und Parameterbestimmung in CHAIN2 und CHAIN3. CHAIN3 enthält keinen Detektionsschritt. Sie erfordert aber für das Training als Eingabe entsprechende "ground truth"-Daten. Dies gilt speziell auch für das Einlernen von Verwechslungsobjekten wie Nicht-Schiffe und Clutter. Diese Referenzdaten für das Training müssen meist von Hand durch Annotation erstellt werden.

Alle Verarbeitungsketten nutzen gemeinsame Ein- und Ausgabeschnittstellen, so dass die Vor- und Nachverarbeitung der Bilddaten in gleicher Weise erfolgen kann. Die Vorverarbeitung betrifft die Formatierung der komplexwertigen SSC-Bilddaten, die Ausmaskierung von Landflächen, die Übertragung von externen Objekten von ihrer geographischen Lage in die Bildkoordinaten usw. Die Nachverarbeitung beinhaltet die Berücksichtigung nicht-lokaler Zusammenhänge, beispielsweise die Ausblendung von Azimut- oder Range-Mehrdeutigkeiten, die Übertragung der Ergebnisse von Bild in geographische Koordinaten, die Ergebnisausgabe in Standardformaten sowie spezielle Aufbereitungen zur Ergebnisdarstellung.

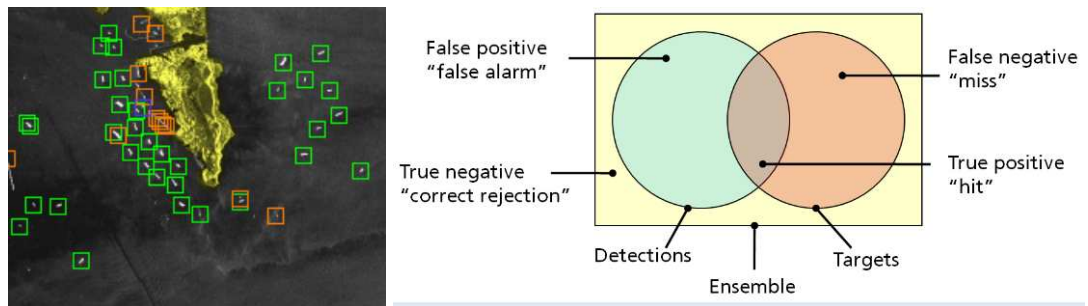


**Abbildung 18:** Darstellung der Detektionsergebnisse (Detail) im Browser. Als html-Seite ausgegebene und verlinkte Information mit TSX-Chip (links), segmentierte Schiffssignatur in Falschfarben, extrahierte Objektmaße (rotes Rechteck) und extrahierte Heckwelle (grüne Linie). In der Mitte numerische Kennwerte und Intensitätsprofil und rechts der Bezug zu einer Azimut-Mehrdeutigkeit.

Detektionsergebnisse werden in verschiedenen Formaten ausgegeben: als Textdatei, kml (für googleearth) und html (für Browser), sowie bei Bedarf über Konverter als Standard-Vektordatenformat (z.B. esri Shape file). Neben dem eigentlichen Detektionsergebnis, den Positionskordinaten, enthält jeder Detektionsdatensatz zusätzlich die geschätzten Objektparameter und sowie in Bildform die Schiffssignatur, deren Längsprofil und ggf. ein Umgebungsbild mit extrahierten Linien der Heckwelle.

Abbildung 18 zeigt eine Darstellung der Ergebnisse im Browserfenster. Über Links an den geographischen Positionen der Schiffsdetektionen im Übersichtsbild (in Abbildung 19 links) können die entsprechenden Detailinformationen abgerufen werden.

Die Verfahrenskette CHAIN2 konnte in einem Gesamtdurchlauf direkt auf insgesamt 26 TerraSAR-X-Bilder angewendet werden.



**Abbildung 19:** Darstellung der Detektionsergebnisse (Übersicht) im Browser (links) und Diagramm zur Detektions-Evaluierung (rechts).

**Tabelle 3:** Exemplarisches Ergebnisprotokoll einer TerraSAR-X-SM-Auswertung mit Evaluierung der Detektion (links) und Rechenzeitangaben (rechts).

			<b>XML Processing</b>	3 s	0.1 m	1 %
			<b>Image Loading</b>	97 s	1.6 m	19 %
<b>Found Ships</b>	53	100 %	<b>Sea/Land Segmentation</b>	0 s	0.0 m	0 %
<b>Missed Ships</b>	0	0 %	<b>Ship Detection</b>	105 s	1.7 m	21 %
<b>False Alarms</b>	4	8 %	<b>Wake Detection</b>	201 s	3.3 m	40 %
<b>Total Ships</b>	57		<b>Output</b>	89 s	1.5 m	18 %
<b>Total Errors</b>	4	7 %	<b>Misc.</b>	12 s	0.2 m	2 %
			<b>Overall</b>	506 s	8.4 m	100 %
			<b>Throughput</b>	4.6 MB/s	276 MB/m	16.2 GB/h

Tabelle 3 rechts zeigt beispielhaft ein Ergebnisprotokoll für eines der 26 ausgewerteten TSX-Bilder vom Typ SM. Die Gesamtauswertungszeit (bezogen auf MATLAB2009 und Standard-PC-Hardware) beträgt weniger als 10 Minuten, wobei die eigentliche Detektion hier nur 20% der Rechenzeit davon einnimmt und eine externe Landmaske verwendet wurde. Die Detektion der Heckwelle benötigt ca. 40%, sie ist aber unabhängig von der Bildgröße und wird von der Anzahl der detektierten Schiffe bestimmt. Insgesamt ist das Verfahren mit einer Laufzeit von 2 Minuten für die reine Detektion geeignet für den Einsatz in NRT-Anwendungen. Zudem bietet die vorliegende MATLAB-Implementierung noch Raum für Rechenzeitoptimierung.

Tabelle 3 links zeigt das zugehörige Evaluierungsergebnis. Die "ground truth"-Referenzdaten wurden mangels AIS von Hand erstellt. Das Programm gibt eine auf das jeweilige Bild bezogene Statistik über die verschiedenen Fehlertypen (siehe Abbildung 19 rechts) aus. Die numerischen Ergebnisse sind hier exemplarisch zu sehen, signifikante Evaluierungsergebnisse erfordern entsprechende umfangreiche Studien, welche nicht Teil des Projekt-Arbeitspunktes

waren.

Von Verfahrensseite aus ist eine optimierte Detektionsleistung am besten durch einen trainierten Klassifikator Schiff/Nichtschiff zu erreichen, welcher in der Verfahrenskette CHAIN3 integriert ist. Entsprechende Evaluierungen wurden bereits in Abschnitt 2.1.6 angesprochen. Kombinierte Auswertung und Evaluierung von CHAIN2 und CHAIN3 zusammen mit der Erstellung systematischer Testdaten (Benchmarking) wäre als Fortführung der Arbeiten und Teil eines Demonstrationsprototyps zu empfehlen.

Die beschriebenen Ergebnisdarstellungen wurden an die DEKO-Projektpartner weitergegeben. Drei ausgewählte Datensätze wurden auch an die anderen Projektpartner von DeMarine-Sicherheit übergeben und auch potentiellen Nutzern bei entsprechenden Treffen an einem Posterstand auf einem Laptop gezeigt und diskutiert.

#### **2.1.10 Exemplarische Anwendungsfälle**

Hauptaufgabe von Fraunhofer IOSB im Projekt war die reine Verfahrensentwicklung für SAR-Bilder. Zur Illustration der Verfahren und als Anregung für Projektbereiche, die näher zu künftigen Anwendungen und zu potentiellen Nutzern stehen, wurden die folgenden Beispiele zusammengestellt.

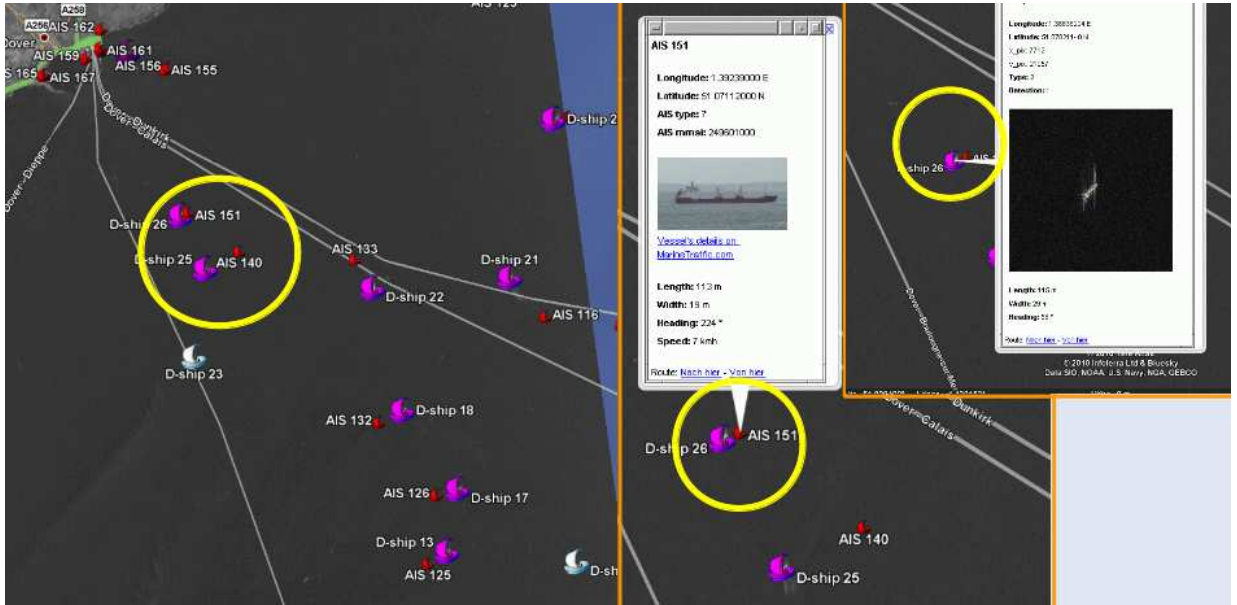
##### **a) Überwachung von Schifffahrtsstraßen**

Schifffahrtsstraßen wie beispielsweise die Straße von Gibraltar, der Ärmelkanal oder der Große Belt eignen sich als Testgebiete für "Ship Monitoring". Für den dort herrschenden dichten und vielfältigen Schiffsverkehr (Tanker, Container- und Schüttgutfrachter, Fähren, Fischkutter usw.) gibt es aufgrund der Küstennähe und der Verkehrssicherungseinrichtungen entsprechende in Situ-Information (z. B. Terrestrisches AIS), mit der sich die durch Erdbeobachtung gewonnene Information verifizieren lässt. Ein solches Untersuchungsszenario mag zwar weniger praxisrelevant sein, da für Schifffahrtsstraßen kein zusätzlicher Informationsbedarf besteht. Andererseits weisen z.B. für die Fischereiüberwachung praxisrelevante Gebiete weitab der Küste zum einen nur sporadischen Schiffsverkehr auf und zum anderen ist meist nur spärliche, ungesicherte Referenzinformation verfügbar. Für eine Evaluierung von Verfahren ist daher die Wahl eines geeigneten Untersuchungsszenarios der erste Schritt in einer Testreihe.

Das Untersuchungsszenario U1 wurde in Abschnitt 2.1.1 charakterisiert durch offene See, weiträumigen Szenenbereich und mittlere/niedrige TSX-Auflösung. Hierfür wurden etwa 20 TerraSAR-X StripMap-Bilder ausgewählt, teils Archivaufnahmen, teils Neuaufnahmen im Bereich Calais/Dover. Leider waren nur für zwei Neuaufnahmen AIS-Daten verfügbar. Durch Anwendung einer Landmaske wurde die Auswertung auf die reine Meeresfläche beschränkt.

Auf die Datensätze wurde die Verfahrenskette CHAIN2 angewendet (siehe Abschnitt 2.1.9). Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse des Verfahrens, dargestellt in googleearth. Für das bearbeitete TerraSAR-X-SM-Bild liegen auch AIS-Daten vor, welche zusammen mit den Verfahrensergebnissen für einen Ausschnitt um den Hafen Dover angezeigt werden.

Mit den Detektions- und AIS-Icons sind die entsprechenden Objektinformationen verlinkt, die-



**Abbildung 20:** Szene Ärmelkana mit Detektionen und AIS-Daten.

se können durch Mausklick abgerufen werden. Für das gewählte Beispielschiff entsprechen sich die Abmessungen aus Detektion und AIS sehr gut.

Für die wenigen zeitgleichen TerraSAR-X und AIS-Aufnahmen war bereits visuell eine geringe Entsprechung zu beobachten: es gibt viele Schiffe ohne passende AIS-Daten und auch einige AIS-Daten ohne entsprechende Schiffe. Neben fehlerhaften oder nicht erfolgten AIS-Meldungen werden hier vermutlich auch Artefakte aus der Datenhaltung bei den AIS-Dienstleistern beobachtet. Eine mögliche Lösung wäre ein Tracking der AIS-Daten mit zeitlicher Filterung sowie die Fusion aus unterschiedlichen Quellen mit verschiedenen AIS-Empfangsstationen. Aus Aufwandgründen wurde dieser Weg jedoch nicht weiter verfolgt: Für die Evaluierung, insbesondere für die Verfahrenskette CHAIN3, wurden daher interaktiv erstellte Referenzdaten verwendet.

Wie bereits erwähnt, sind die verarbeiteten Szenen als Datenpakete zur Demonstrationen aufbereitet, zur Visualisierung im Webbrowser oder in googleearth, alle Ergebnisdetails sind durch Links abrufbar, es wird eine Evaluationsstatistik ausgegeben für interaktiv vorgegebene Referenzdaten und schließlich wird die jeweils benötigte Rechenzeit angegeben, welche für die Detektion in einem Gebiet von 30x50km zwischen zwei und vier Minuten beträgt. Damit ist das Verfahren auch für Near-Real-Time-Anwendungen (NRT) geeignet, insbesondere da die MATLAB-Implementierung von CHAIN2 noch Optimierungspotential bietet.

Aus den gemachten Erfahrungen mit dem Untersuchungsszenario U1 ergaben sich folgende offene Punkte:

- Referenzdaten guter Qualität sind notwendig, insbesondere für die Evaluierung von Objektproportionen und Schiffstypen. Diese Referenzdaten zu gewinnen und zu verifizieren stellt einen nicht unerheblichen Aufwand dar.

- Kleinere Schiffe sind im TerraSAR-X-Bild auch visuell schwer von Störungen und von anderen Objekten (z.B. Bojen) zu unterscheiden. Neben der Detektion und Analyse stellt sich in diesem Fall auch die Aufgabe einer angemessenen Evaluierung: Was ist in den Sensordaten beobachtbar, was ist davon signifikant?
- Widrige Wetterverhältnisse (Wind, Wellen, Eis) wurden im Untersuchungsszenario U1 bewusst ausgespart. Daher standen auch keine entsprechenden Bilddaten zur Verfügung.

Die hier dargestellten Verfahren haben das Potential, für die mit diesen Punkten verbundenen Aufgabenstellungen weiterentwickelt zu werden.

#### **b) Analyse von Hafenszenen**

Hafenszenen mit Hafenbecken und angrenzendem offenem Wasser sind aus folgenden Gründen zweckmäßige Untersuchungsgebiete:

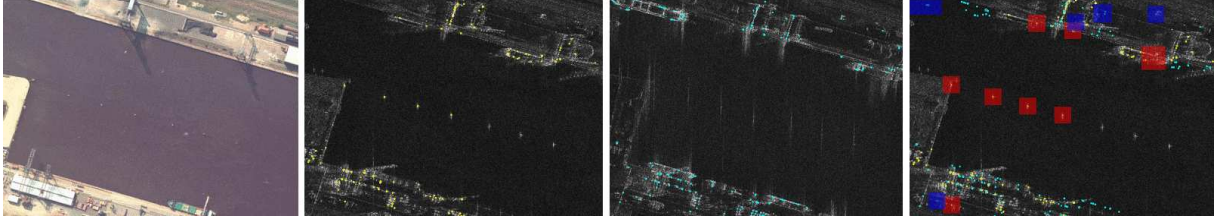
- Viele Arten von Schiffen sind im Hafengebiet anzutreffen, insbesondere auch kleinere Schiffe und Boote.
- Typ und Identität der Schiffe können einfach und zuverlässig festgestellt werden: Die Liegeplätze bestimmen ggf. bereits den Schiffstyp (z.B. bei Öltankern oder Frachtern an den entsprechenden Umschlagplätzen, Passagierschiffe und Fähren an den entsprechenden Gates).
- Die Schiffe kehren an ihren Liegeplatz meist wieder zurück und können in mehreren Bildaufnahmen beobachtet werden.
- Die Referenzdaten können direkt im Hafengebiet, soweit zugänglich, aufgenommen werden.
- Es gibt eine Menge von ortsfesten weiteren Objekten im Wasser (z. B. Bojen, Tonnen, Bühnen, Dalben), deren SAR-Signaturen (ruhend, bewegt, Interaktion mit Wasser) bei unterschiedlichen Wind- und Wellenverhältnissen beobachtet werden können.

Nachteilig ist die Nähe der einzelnen Objekte zueinander und die verwinkelte Objektstruktur der Hafenanlagen, so dass sich Objektsignaturen überlagern und durch Mehrfachreflexionen gegenseitig beeinflussen können.

Das Untersuchungsszenario U2 aus Abschnitt 2.1.1 zur Beschaffung von TerraSAR-X-Daten wurde charakterisiert durch Küstenbereich, Hafengebiet, kleinräumiger Szenenbereich und hohe Bildauflösung. Für die deutschen Nordseehäfen Bremerhaven und Emden wurden entsprechende TerraSAR-X-Aufnahmen vom Typ HighResolution SpotLight in DEKO beschafft. Auf Basis des "TSX General Proposal" konnten zusätzliche Archivbilder der Windfarm AlphaVentus vor der deutschen Nordseeinsel Borkum und des Ölfördergebiets im Golf von Maracaibo in Venezuela für Untersuchungen bezogen werden.

Das Ziel der Arbeiten zum Szenario U2 bestand in der Untersuchung der Reflexionsmuster und Signaturen in mehreren TerraSAR-X-Aufnahmen jeweils einer Szene.



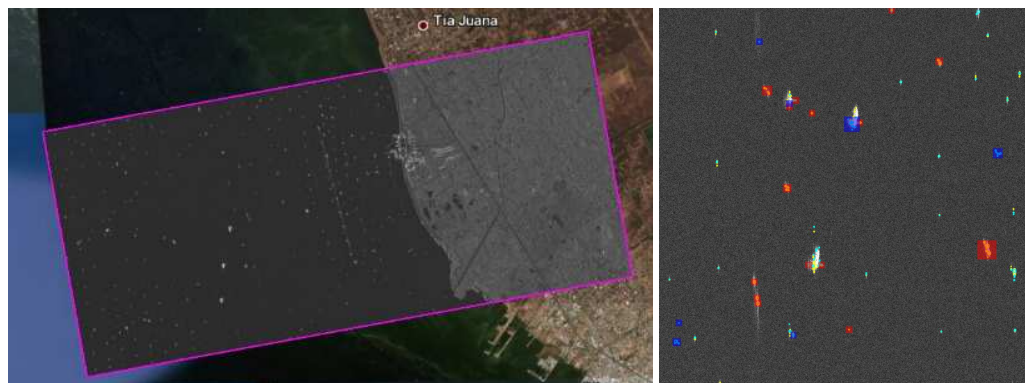


**Abbildung 21:** Hafenszene Visuell-optisch (links), TerraSAR-X HS in 2 Bildern mit Fleckextraktionen (Mitte links und Mitte rechts) und Veränderungsentdeckung (rechts).

Abbildung 21 zeigt ein Hafenbecken in einem optischen Bild und in zwei TSX-HS Bildern in SlantRange-Projektion mit einer Bodenauflösung bzw. GSD (ground sampling distance) von 0.7 bis 1.0 Meter. Den TSX-Bildern sind extrahierte Radarreflexe aus CHAIN1 für eine vorgegebene Parametrierung überlagert. Beide Bilder sind bereits hinreichend koregistriert, so dass die Reflexe in einem der Bilder übereinander gelegt werden können. Das Verfahren zur Veränderungsentdeckung in CHAIN1 markiert die als verändert erkannten Reflexgruppen der beiden Bilder je nach Typ blau (1. Bild stärker) und rot (2. Bild stärker).

Im linken Bild erscheinen die in der Mitte des Hafenbeckens aufgereihten Objekte (Markierungsbojen oder Dalben, d.h. verankerte Pfähle) hell und deutlich, die drei linken davon werden als Reflexe markiert, im rechten Bild sind die Reflexionen in range-Richtung (vertikal) verschmiert. Vermutlich handelt es sich um Bewegungsunschärfe der durch Wind oder Wellen bewegten Bojen. Andererseits erscheint die Wasserfläche in beiden Bildern in gleicher Weise dunkel und glatt, was auf nur sehr geringe Unterschiede in den Witterungsverhältnissen hindeutet.

Der mit gleichen Parametern auf das rechte Bild angewendete Reflexextraktor liefert aufgrund der andersartigen Reflexe keine Antwort und erwartungsgemäß werden die entsprechenden Änderungen rot markiert. In dem an der Kaimauer liegenden Schiff (vermutlich ein Kohlefrachter) und auf dem Hafengelände mit fahrbarem Kran sind weitere Änderungen entsprechend rot oder blau markiert.



**Abbildung 22:** Szene Maracaibo in der Übersicht (links) und Veränderungsentdeckung im Ausschnitt von 2 TerraSAR-X-Aufnahmen (rechts).

Als weiteres Beispiel zeigt Abbildung 22 Ölfördereinrichtungen im Golf von Maracaibo, Venezuela. Es handelt sich um zwei TSX-HS-Aufnahmen im Abstand von 11 Tagen und identischen Aufnahmeparametern, d.h. ein interferometrisches Paar in repeat-pass-Konstellation. Auf den Objektstrukturen war keine Kohärenz zu beobachten, daher wurde auch hier die Kette CHAIN1 zur inkohärenten Veränderungsentdeckung angewendet.

## 2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der zahlenmäßigen Nachweis der angefallenen Kosten ist den kaufmännischen Unterlagen (Zahlungsanforderungen und Nachkalkulation) im Anhang zu entnehmen.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit

Die Durchführung der Arbeit war notwendig, da es bisher noch keine publizierten, verlässlichen und direkt auf TerraSAR-X-Bilder übertragbaren Studien zur Schiffsdetektion und -erkennung gab, siehe auch die entsprechenden Ausführungen im Abschnitt "Ausgehender wissenschaftlich-technischer Stand" in Kapitel 1.

Der Aufwand für die angefallenen Arbeiten zur Programmierung und Untersuchung war der Aufgabenstellung und dem erzielten Ergebnis angemessen: Zum einen konnte die Frage der Machbarkeit prinzipiell positiv beantwortet werden zum anderen bilden die prototypischen Implementierungen eine mögliche Basis für zielgerichtete Entwicklungen von Applikationsprogrammen zur Integration in zukünftige Dienste. Darüber hinaus konnten mit den erarbeiteten Untersuchungsergebnissen sechs wissenschaftliche Beiträge verfasst und auf Fachkongressen präsentiert werden.

## 2.4 Nutzen und Verwertbarkeit

Die erzielten Ergebnisse können wie folgt genutzt werden:

**technisch:** Die durchgeführten Untersuchungen liefern eine prinzipielle Machbarkeitsaussage für die konzipierten maritimen Downstream-Dienste. Damit und mit den entwickelten Algorithmen sowie deren programmtechnischer Realisierung ist die Basis gelegt für den Aufbau eines Demonstrators zur Präsentation und Validierung der Funktionen. Durch Betrachtung eines weiteren Spektrums an Datenmaterial kann das Verfahren an weitere Anforderungen aus der Praxis (Robustheit, Wetter, Schiffsklassen usw.) angepasst werden.

**algorithmisch:** Die entwickelten Verarbeitungsmodule lassen sich in ihrer Kombination erweitern und auf erweiterte Eingangsdaten anwenden. Dieses Prinzip wurde beispielsweise bei der Untersuchung der Quadpol-TSX-Daten angewendet. Mit relativ geringen Entwicklungs- und Implementierungsaufwand erschließen sich somit Anwendungsgebiete für entsprechende Untersuchungen, sowohl im maritimen Umfeld als auch im Landbereich (z.B. change detection).

Es wird weiter auf die entsprechende Abschnitte des Verwertungsplans verwiesen, welcher im Anhang "Erfolgskontrollbericht" zu finden ist.



## 2.5 Anderweitiger Fortschritt

Ausgehend vom wissenschaftlich-technischen Stand zu Beginn des Projektes (siehe Abschnitt 1.4) wurden die neuen Veröffentlichungen bis zum Ende des Mittelflusses Anfang 2010 verfolgt.

In diesem Zeitraum gab es keine wesentlichen neuen Erkenntnisse, die die Planung und den Fortschritt der Arbeiten beeinflusst haben. Einige Referenzen sind in den projekteigenen Veröffentlichungen (siehe nachfolgenden Abschnitt) und auch in den Veröffentlichungen des Schwester-Teilprojektes ShipDetec von DeMarine-Sicherheit, siehe *Brusch et al. 2011* [24] angegeben.

Auch nach Ende des Mittelflusses wurden die Publikationen weiter verfolgt, Insbesondere für polarimetrische (Dual- und Quadpol) und interferometrische SAR-Daten sind in diesem Zeitraum eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden. Insbesondere sind die Arbeiten von *Margarit et al. 2009* [25]. und *Crisp et al. 2010* [26]. zu nennen.

Nach Abschluss des Projektes wurden eine ganze Reihe von Arbeiten veröffentlicht, welche sich mit der Schiffsdetektion und teilweise auch Klassifikation von Schiffen in polarimetrischen SAR-Bildern befassen. Stellvertretend werden hier mit *B.Wang et al. 2011* [27], *Wang 2011* [28], *Marino 2011* [29] und *Paladini 2011* [30] interessante Arbeiten genannt, welche auf den von den Autoren besuchten Tagungen präsentiert wurden.

## 2.6 Veröffentlichungen

Gemeinsam mit den DEKO-Projektpartnern wurden auf wissenschaftlichen Fachkongressen folgende Beiträge veröffentlicht:

*Estable et al. 2009* [4]

Estable, S., Teufel, F., Petersen, L., Knabe, S., Saur, G., and Ullmann, T., "Detection and Classification of Offshore Artificial Objects in TerraSAR-X Images: First Outcomes of the DeMarine-DEKO project," in [*Proceedings of IEEE OCEANS 2009, Bremen, Germany*], (May 2009),

*Saur et al. 2011* [31]

Saur, G., Estable, S., Zielinski, K., Knabe, S., Teutsch, M., and Gabel, M., "Detection and Classification of man-made Offshore Objects in TerraSAR-X and RapidEye Imagery: Selected Results of the DeMarine-DEKO Project," in [*Proceedings of IEEE OCEANS 2011, Santander, Spain*], (June 2011),

Beide Beiträge wurden mündlich als Vortrag präsentiert, ersterer durch Astrium, letztgenannter durch Fraunhofer IOSB.

Vor Fraunhofer IOSB wurden auf wissenschaftlichen Fachkongressen folgende Beiträge veröffentlicht:

*Saur & Teutsch 2010* [22]

Saur, G. and Teutsch, M., "SAR signature analysis for TerraSAR-X-based ship monitoring," in [*Proceedings of SPIE Vol. 7830, Toulouse, France*], (Sept. 2010),

*Teutsch & Schamm 2010* [19]

Teutsch, M. and Schamm, T., "Fast line and object segmentation in noisy and cluttered environments using relative connectivity," in [*Proceedings of IPCV 2011, Las Vegas, USA*], (June 2011),

*Teutsch & Saur 2011* [17]

Teutsch, M. and Saur, G., "Segmentation and Classification of Man-made Maritime Objects in TerraSAR-X Images," in [*Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada*], (July 2011),

*Teutsch & Saur 2011a* [18]

Teutsch, M. and Saur, G., "Comparison of using single- or multi-polarimetric TerraSAR-X images for segmentation and classification of man-made maritime objects," in [*Proceedings of SPIE Vol. 8180, Prague, Czech Republic*], (Sept. 2011),

Der erstgenannte war mit einer Posterpräsentation, die drei weiteren waren mit je einem mündlichen Vortrag von Fraunhofer IOSB verbunden. Diese Beiträge beinhalteten teilweise neben den DeMarine-Inhalten auch weitere wissenschaftliche Ergebnisse, welche außerhalb des hier beschriebenen Projektes erarbeitet wurden.

Darüber hinaus war Fraunhofer IOSB in Form von Beiträgen und Zuarbeit sowie teilweise durch persönliche Anwesenheit für Veröffentlichungen und Präsentationen des Verbundes DeMarine-Sicherheit tätig. Dies betraf beispielsweise

- den Webauftritt von DeMarine-Sicherheit, siehe [www.demarine-sicherheit.de](http://www.demarine-sicherheit.de),
- den Tätigkeitsbericht DeMarine-Sicherheit mit Beitrag Fraunhofer IOSB vom August 2009, siehe [www.demarine-sicherheit.de/downloads/demarinetaetigkeitsberichtendversion2010.pdf](http://www.demarine-sicherheit.de/downloads/demarinetaetigkeitsberichtendversion2010.pdf),
- die DeMarine-Nutzer-Workshops 2009 und 2010 sowie
- die DeMarine-Poster auf den TerraSAR-X Science Team Meetings der DLR 2008 und 2011 (siehe [sss.terrasar-x.dlr.de/](http://sss.terrasar-x.dlr.de/)), auf dem GMES-Nutzer-Forum 2010 in Berlin und auf dem AIS-Symposium 2010 in Bremen.

Zusammen mit den DEKO-Partnern wurden schließlich für die CEON gGmbH Bremen Beiträge für deren Webauftritt und für eine Informationsbroschüre erstellt, siehe [www.ceon-bremen.de/Maritime\\_Safety\\_and\\_Security](http://www.ceon-bremen.de/Maritime_Safety_and_Security).

## Literatur

- [1] Estable, S., Zielinski, K., and Vranka, M., "Abschlussbericht zum DeMarine-Sicherheit / DEKO Teilprojekt Astrium," in [ASTRIUM GmbH], (Sept. 2011).
- [2] Knabe, S. and Teufel, F., "Erdbeobachtungsbasierte Detektion von künstlichen maritimen Objekten: Dienstkonzepte und Stand der Forschung und Technik, DeMarine DEKO Teilbericht Astrium GEO-INformation Services / Infoterra GmbH," in [Astrium GEO-Information Services / Infoterra GmbH], (Sept. 2011).
- [3] Crisp, D. J., "The State-of-the-Art Ship Detection in Synthetic Aperture Radar Imagery." Australian Government, Information Sciences Laboratory, Edinburgh, South Australia, DSTO-RR-0272 (May 2004).
- [4] Estable, S., Teufel, F., Petersen, L., Knabe, S., Saur, G., and Ullmann, T., "Detection and Classification of Offshore Artificial Objects in TerraSAR-X Images: First Outcomes of the DeMarine-DEKO project," in [Proceedings of IEEE OCEANS 2009, Bremen, Germany], 1 –8 (May 2009).
- [5] Vachon, P. W., English, R. A., and Wolfe, J., "Ship signatures in synthetic aperture radar imagery," in [Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS 2007], 1393–1396 (July 2007).
- [6] Margarit, G. and Mallorqui, J. J., "Scattering-based model of the sar signatures of complex targets for classification applications," (May 2008).
- [7] Schuler, D., Lee, J., and Kasilingann, D., "Polarimetric sar techniques for remote sensing of the ocean surface," in [Image Processing for Remote Sensing], C.H. C., ed., Taylor & Francis (2008).
- [8] Jäger, U., Meier-Herburger, H., Stahl, C., Heinze, N., and Willersinn, D., "IR and SAR automatic target detection benchmarks," in [SPIE-Symposium Automatic target recognition XIV], (Apr. 2004).
- [9] Klausmann, P., Fries, S., Willersinn, D., Stilla, U., and Thönnessen, U., "Application-oriented assessment of computer vision algorithms," in [Handbook of computer vision and applications. Vol.3. Systems and applications], (1999).
- [10] Heinze, N., Edrich, M., Saur, G., and Krüger, W., "Image exploitation for MiSAR," in [SPIE-Symposium Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery XIV], (Apr. 2007).
- [11] Berger, A., Eck, R., Heinze, N., and Peinsipp-Byma: S, E., "Integration of automatic detection algorithms into interactive image interpretation," in [8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics SCI2004], (July 2004).
- [12] Gabel, M., [Untersuchung von Schiffssignaturen in TerraSAR-X-Bildern], Diplomarbeit KIT Karlsruhe and Fraunhofer IOSB Karlsruhe, Germany (Dec. 2009).
- [13] Saur, G. and Krüger, W., "Fine-geocoding of SAR using robust map-to-image registration," in [European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)], (2004).

- [14] Mäenpää, T., [*The Local Binary Pattern Approach to Texture Analysis - Extensions and Applications*], Dissertation, University of Oulu, Finland (Aug. 2003).
- [15] Ojala, T., Pietikäinen, M., and Mäenpää, T., “Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **24**, 971–987 (July 2002).
- [16] Korn, A., “Toward a Symbolic Representation of Intensity Changes in Images,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **10**(5), 610–625 (1988).
- [17] Teutsch, M. and Saur, G., “Segmentation and Classification of Man-made Maritime Objects in TerraSAR-X Images,” in [*Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada*], (July 2011).
- [18] Teutsch, M. and Saur, G., “Comparison of using single- or multi-polarimetric TerraSAR-X images for segmentation and classification of man-made maritime objects ,” in [*Proceedings of SPIE Vol. 8180*], (Sept. 2011).
- [19] Teutsch, M. and Schamm, T., “Fast line and object segmentation in noisy and cluttered environments using relative connectivity,” in [*IPCV 2011 Las Vegas, USA*], (June 2011).
- [20] Teutsch, M. and Krüger, W., “Classification of small boats in infrared images for maritime surveillance,” in [*Proceedings of the 2nd NURC International WaterSide Security Conference (WSS)*], (Nov. 2010).
- [21] Teutsch, M., Krüger, W., and Heinze, N., “Detection and classification of moving objects from UAVs with optical sensors,” in [*Proceedings of SPIE Vol. 8050*], (Apr. 2011).
- [22] Saur, G. and Teutsch, M., “SAR signature analysis for TerraSAR-X-based ship monitoring,” in [*Proceedings of SPIE Vol. 7830, Toulouse, France*], (Sept. 2010).
- [23] Schwerdt, M., Schrank, D., Bachmann, M., Schulz, C., Döring, B., and Hueso Gonzales, J., “TerraSAR-X Re-Calibration and Dual Receive Antenna Campaigns performed in 2009,” in [*European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*], (May 2010).
- [24] Bruschi, S., Lehner, S., Fritz, T., Soccorsi, M., Soloviev, A., and van Schie, B., “Ship Surveillance With TerraSAR-X,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **49**, 1092–1103 (Mar. 2011).
- [25] Margarit, G., Mallorqui, J., Fortuny-Guasch, J., and Lopez-Martinez, C., “Exploitation of Ship Scattering in Polarimetric SAR for an Improved Classification Under High Clutter Conditions,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **47**, 1224–1235 (Apr. 2009).
- [26] Crisp, D. and Keevers, T., “Comparison of ship detectors for polarimetric SAR imagery,” in [*Proceedings of IEEE OCEANS 2010, Sydney, Australia*], (May 2010).
- [27] Wang, B., Chapron, B., Mercier, G., Garello, R., and He, M.-X., “Polarimetric Characteristics of Ships on RADARSAT-2 Data,” in [*Proceedings of IEEE OCEANS 2011, Santander, Spain*], (June 2011).
- [28] Wang, C., “Ship Detection after Removal of Ambiguities by Using PolSAR Images,” in [*2011 International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping (M2RSM)*], (Jan. 2011).

- [29] Marino, A. and Walker, N., “Ship Detection with Quad Polarimetric TerraSAR-X Data: an Adaptive Notch Filter,” in [*Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Vancouver, Canada*], (July 2011).
- [30] Paladini, R., Martorella, M., and Berizzi, F., “Classification of Man-Made Targets via Invariant Coherency-Matrix Eigenvector Decomposition of Polarimetric SAR/ISAR Images,” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **49**, 3022–3034 (Aug. 2011).
- [31] Saur, G., Estable, S., Zielinski, K., Knabe, S., Teutsch, M., and Gabel, M., “Detection and classification of man-made offshore objects in TerraSAR-X and RapidEye imagery: Selected results of the DeMarine-DEKO project,” in [*Proceedings of IEEE OCEANS 2011, Santander, Spain*], 1 –10 (june 2011).

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Schlussbericht
3. Titel  Detektion künstlicher maritimer Objekte in TerraSAR-X-Bildern - Schlussbericht Fraunhofer IOSB zum Verbundvorhaben DeMarine-Sicherheit - Teilprojekt DEKO - Teilbereich Fraunhofer IOSB	
4. Autoren  Saur, Günter Teutsch, Michael Wagner, Boris	5. Abschlussdatum des Vorhabens März 2011
	6. Veröffentlichungsdatum September 2011 / Dezember 2011
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institutionen  Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB Fraunhoferstraße 1 76131 Karlsruhe	9. Ber. Nr. Durchführende Institution 10758
	10. Förderkennzeichen 50 EE 0807
	11. Seitenzahl 41
12. Fördernde Institutionen Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Königswinterer Straße 522-524 53227 Bonn  Im Auftrag von: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 31
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 10
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Neue hochauflösende Radarsatelliten wie TerraSAR-X beobachten die Erde auch in küstenfernen Regionen der Weltmeere unabhängig von Wetter und Tageszeit. Sie ermöglichen damit, im Radarbild sichtbare Objekte wie z.B. Schiffe zu entdecken, zu überwachen oder sogar zu erkennen. Auf dieser Basis realisierte technische Lösungen besitzen das Potential, aktuellen und künftigen Herausforderungen zu begegnen, welche u.a. durch die zunehmende Globalisierung bedingt sind, wie etwa Verkehrssicherheit bei dichtem Schiffsverkehr und Eindämmung von illegaler Fischerei, Schmuggel oder Piraterie. Das Teilprojekt DEKO des Verbundvorhabens DeMarine-Sicherheit hat zum Ziel, die Machbarkeit und Automatisierbarkeit der Auswertung von Satellitenbildern zu untersuchen und damit die technologische Basis für die Entwicklung und den Betrieb von maritimen Diensten zu prüfen. Für diese Untersuchungen hat Fraunhofer IOSB Verfahren zur Detektion und Klassifikation von Schiffen und anderen künstlichen maritimen Objekten in TerraSAR-X-Bildern entwickelt. Es konnten Schiffe und andere Objekte auf offener See und in Küsten- oder Hafennähe extrahiert werden, wobei auch eine Landmaske verwendet werden kann. Spezielle Segmentierungsverfahren schätzen aus der Radarsignatur geometrische Kenngrößen wie Position, Länge, Breite und Ausrichtung. Für Schiffe in Fahrt wurde die Heckwelle extrahiert und die Information über Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und korrigierte Position abgeleitet. Ein trainierter Klassifikator unterscheidet die Klassen Clutter (Signalstörungen), Nicht-Schiffe (Windkraftanlagen, Plattformen, usw.) und Schiffe sowie verschiedene Strukturtypen innerhalb der Schiffsklasse in ca. 80% der Fälle korrekt. Weiter wurden die voll-polarimetrischen Aufnahmen aus der TSX-DRA-Kampagne der DLR auf ihr Potential zur Verfahrensverbesserung untersucht. Insgesamt wurden die prinzipielle Machbarkeit der automatischen Detektion und der Ableitung von Objektparametern sowie die Eignung für Near-Real-Time-Anwendungen (NRT) nachgewiesen. Wie zuverlässig diese Ergebnisse auch unter widrigen Bedingungen erzielt werden können (z.B. bei Sturm, Eis, Signalstörungen) und welche Verfahrenserweiterungen hierfür erforderlich sind, kann in Nachfolgestudien mit entsprechenden Benchmarks und Referenzanwendungen ermittelt werden.	
19. Schlagwörter TerraSAR-X, SAR, Polarimetrie, Schiffsdetektion, Segmentierung, Klassifikation, Klassifikatortraining, Objektentdeckung, Landmaskierung, Parameterschätzung, Heckwelle, maritim, DeMarine, DEKO, Sicherheit, Überwachung.	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Project final report
3. title  Detection of man-made maritime objects in TerraSAR-X imagery - Final report of Fraunhofer IOSB as contribution to joint project DeMarine security – subproject DEKO	
4. author(s) (family name, first name(s))  Saur, Günter Teutsch, Michael Wagner, Boris	5. end of project March 2011
	6. publication date September 2011 / December 2011
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address)  Fraunhofer Institute of Optronics, System Technology and Image Exploitation IOSB Fraunhoferstr. 1 76131 Karlsruhe	9. originator's report no. 10758
	10. reference no. 50 EE 0807
	11. no. of pages 41
12. sponsoring agency (name, address) Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Königswinterer Straße 522-524 53227 Bonn  On behalf of: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 31
	14. no. of tables
	15. no. of figures
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Today's high resolution SAR satellites such as TerraSAR-X remotely sense the ocean during all weather and daylight conditions and hence have large potential for detection, surveillance, or even recognition of man-made objects on the ocean's surface. Automatic approaches to meet these tasks can help facing new challenges, which come along with increasing globalization, such as transport safety in dense shipping traffic or curtailing illegal fishery, smuggling, or piracy. The subproject DEKO of the joint research project DeMarine Security aims to investigate the feasibility of automatic surveillance based on satellite images. The technical base for development and operation of maritime surveillance applications is to be established. Therefore, Fraunhofer IOSB has developed algorithms for detection and classification of ships and other man-made objects in TerraSAR-X images. Ships and suchlike objects on the open sea and in coastal or harbor areas were extracted. An optional landmark can support this process. Geometric parameters such as length, width, and orientation are estimated using customized object segmentation approaches. The ships' wakes were detected in order to gain additional information about position, heading, and velocity. A trained classifier separated the classes clutter, non-ship (wind turbines, groins, platforms, etc.), and ship as well as different ship structure classes with around 80% correct classifications. Furthermore, the potential of improving the approaches using quad-polarimetric images of DLR's TSX-DRA-campaign was analyzed. In conclusion, the basic feasibility of automatic detection and classification, the successful estimation of object parameters, and the capability for Near-Real-Time-applications (NRT) were demonstrated. The robustness of these algorithms in presence of adverse conditions such as storms, ice, or signal noise as well as the necessity for enhancements of the approaches in such cases are to be determined in follow-up studies with appropriate benchmarks and reference applications.	
19. keywords TerraSAR-X, SAR, polarimetry, ship detection, segmentation, classification, trained classifier, ATR, land masking, parameter estimation, ship wake, maritime, security, safety, surveillance, monitoring	
20. publisher	21. price