



Schlussbericht

Potentiale Erneuerbarer Meeresenergie in den Meeresräumen Indonesiens WTZ Indonesien, SPICE III

Teilprojekt 6



Teilprojekt 6.1

Entwicklung eines Entscheidungshilfe-Systems zur Auswahl Ertragreicher Gebiete für Stromgewinnung aus Erneuerbarer Meeresenergie in Indonesien

Teilprojekt 6.2

Effektivität des Deutschen TS-X Synthetic Aperture Radar (SAR) zur Charakterisierung von Ressourcen und Vorauswahl geeigneter Meeresräume für die Installation von Konvertern für erneuerbare Meeresenergie in Indonesien

Kiel, Büsum, Bremen

August 2016

Danksagung

Mit Beginn des Projekts im März 2012 haben viele Wissenschaftler, Techniker unter Mitarbeit mehrerer Institutionen direkt und indirekt am erfolgreichen Ablauf der F&E Aktivitäten von ORE-12 mitgewirkt. Wichtigste Voraussetzung dafür war die gute Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern Forschungs- und Technologiezentrum der Universität Kiel (FTZ) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für die Methodik der Fernerkundung (DLR) sowie mit Firma Coastal Research & Management (CRM) auf deutscher Seite sowie RISTEK, KKP, BPPT und ITB auf indonesischer Seite.

Allen Projektbeteiligten sei für das Engagement herzlich gedankt.

Die im SPICEIII-Verbund integrierten Teilprojekte 6.1 und 6.2 wurden unter den Fördernummern 03F0646A und 03F0646B vom Bundesminister für Bildung und Forschung (BMBF) über einen Zeitraum von insgesamt 4 Jahren gefördert. Administration und Koordination oblagen dem Projektträger Jülich (PtJ), Fördergebiet System Erde, und dem Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) der Universität Bremen.

Dem Bundesministerium und den Mitwirkenden auf den Verwaltungs- und Koordinations-ebenen sei für die Unterstützung herzlich gedankt.

Verbundprojekt: WTZ Indonesien, SPICE III (ORE-12), Teilprojekt 6.1 und 6.2

Förderkennzeichen: 03F0646A (FTZ) und 03F0646B (DLR)

Projektlaufzeit: 01.03.2012 – 28.02.2016

Projektpartner:

- Prof. Dr. Roberto Mayerle (Teilprojekt 6.1), Koordination, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ), Universität Kiel, Otto-Hahn-Platz 3, D-24118 Kiel. Tel: 0431-880-3641, Fax: 0431-880-7303, Email: rmayerle@corelab.uni-kiel.de.
- Dr. Susanne Lehner, Dr. Sven Jacobsen (Teilprojekt 6.2), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Methodik der Fernerkundung, SAR-Signalverarbeitung, Bremen Flughafen, Leitung Forschungsstelle Maritime Sicherheit, Henrich-Focke-Str. 4, 28199 Bremen. Telefon 0421/ 24420-1850 und -1852, Telefax 0421/5970-2421, Email: Susanne.Lehner@dlr.de, Sven.Jacobsen@dlr.de.
- Dr. Wahyu W. Pandoe, Koordination, Technology Center for Marine Survey, The Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), BPPT 1st Bld, 18th floor, JLN MH Thamrin 8, Jakarta 10340 Indonesia. Phone: +62-21-3168813, Fax: +62-21-3108149, Email: wpandoe@webmail.bppt.go.id.

Mitarbeiter:

Dr. K.-H. Runte, MSc. K. Orhan, MSc. Qingyang Song, Dipl. Ing. W. Voigt (Techn.)

Kooperierende Partner:

- Dr. Erwandi, Indonesian Hydrodynamic Laboratory, The Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), Complex ITS Sukolilo, JLN. Hidrodinamikla, Surabaya 60112, Phone: +62-31-594 7849, Fax: +62-31-5948066, email: Erwandi@ceo.bppt.go.id.
- Dr. Poerbandono, Faculty of Earth Sciences and Technology, Institute of Technology in Bandung (ITB), Jln. Gansha 10, Bandung 40132, Indonesia. Email: poerbandono@gd.itb.ac.id.
- Dr. Gatot Pramono, Pusat Penelitian, Promosi dan Kerjasama Badan Informasi Geospasial (BIG), Jl. Raya Jakarta - Bogor KM. 46 Cibinong 16911, Indonesia, Phone +62-21-8753155, Fax. +62-21-87908988/87916647. Email: gatot@big.go.id.

Unterauftragnehmer:

- Fa. Coastal Research and Management (CRM), Dr. Peter Krost, Dr. L. Piker, Tiessenkai 12, 24159 Kiel, Germany. Phone: +49 431 0431-3645880, Fax: +49-431-364588-8, Email: crm@crm-online.de.

Berichtautoren: K.-H. Runte, R. Mayerle, K. Orhan, Q. Song, S. Jacobsen, K. Gebhardt.

Abkürzungen

WTZ	Wissenschaftlich-Technische Zusammenarbeit
RISTEK	Ministry of Research and Technology, Indonesien
KKP	Kementerian Kelautan Dan Perikanan (Ministerium für Marine Angelegenheiten und Fischerei, Indonesien)
BPPT	Agency for the Assessment and Application of Technology, Indonesien
ITB	Institute of Technology Bandung, Indonesien
DSS	Decision Support System, Entscheidungshilfe-System
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
NOAA	National Oceanic and Atmosphere Administration, USA
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler (Strömung + Seegang)
ORE	Ocean Renewable Energy
RS	Remote Sensing
SAR	Synthetic Aperture Radar
TerraSAR-X	Radarsatellit Erdbeobachtung (DLR)
TanDEM-X	Radarsatellit Erdbeobachtung (DLR)
Jason-2	2-Frequenz-Altimeter-Satellit (NASA, CNES)
ENVISAT	Umweltsatellit (ESA)

Inhaltsverzeichnis

I KURZDARSTELLUNG

1.	Aufgabenstellung	1
2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	1
3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
4.	Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde	6
5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10

II EINGEHENDE DARSTELLUNG

1.	Erzielte Ergebnisse	11
1.1	Zusammenfassung	11
1.2	Energie aus Seegang	14
1.2.1	Naturmessungen	14
1.2.2	Modellentwicklung Seegang	15
1.2.3	SAR-Verfahren Seegang	19
1.2.4	Ergebnisse Naturmessungen	25
1.2.5	Ergebnisse SAR-Erfassung Seegang	26
1.2.6	Ergebnisse Seegangs- und Energiemodellierung	30
1.2.6	Ergebnisvergleiche SAR	36
1.3	Ableitung der Bathymetrie	42
1.3.1	SAR-Verfahren Bathymetrie	42
1.3.2	SAR-Ergebnisse Bathymetrie	45
1.4	Energie aus Strömung	47
1.4.1	Naturmessungen	47
1.4.2	Modellentwicklung Strömung	49
1.4.3	SAR-Verfahren Strömung	54
1.4.4	Ergebnisse Naturmessungen	56
1.4.5	Ergebnisse SAR-Erfassung Strömung	57
1.4.6	Ergebnisse Strömungs- und Energiemodellierung	58
1.5	Strategien zur Einschätzung der Umweltgefährdung	63
1.6	Capacity Building	109
2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	111
3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	111
4.	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertung der Ergebnisse	112
5.	Bekannt gewordene Fortschritte an anderer Stellen	113
6.	Erfolge und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	113

I Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Die Forschungsaktivitäten zu den Potentialen erneuerbarer Meeresenergie in den Meeresräumen Indonesiens gliederten sich in zwei Aufgabenschwerpunkte, die in enger Zusammenarbeit zwischen deutschen und indonesischen Partnern bearbeitet wurden.

Im Fokus des ersten Schwerpunkts stand die Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems („Decision Support System“). Es zielte darauf, über geeignete Werkzeuge und Verfahren Gebiete in den Meeresräumen Indonesiens zu identifizieren, die sich zur Nutzung von Meeresenergie eignen sowie vorhandene und extrahierbare Energiemengen abzuschätzen. Die damit einhergehenden F&E-Arbeiten wurden federführend vom Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ) der Universität Kiel durchgeführt. Ferner waren ökologische Schlüsselkriterien zu finden und Bewertungsmodi zu entwickeln, mit denen die Umweltfolgen des Ausbaus und des Betriebs von Strömungskonvertern in tropischen Flachmeeren eingeschätzt werden konnten. Diese Arbeiten wurde im Unterauftrag von der im *Environmental Impact Assessment* erfahrenen Firma Coastal Research & Management (CRM) in Verantwortung des FTZ geleistet. Die Ergebnisse sind im Anhang angegliedert.

Der zweite Aufgabenschwerpunkt konzentrierte sich auf die Effektivität der deutschen Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X, über das integrierte *Synthetic Aperture Radar* und geeignete Algorithmen zur Umsetzung der Signale, Strömung und Seegang zu erfassen. Ziel war es, für Modellentwicklungen erforderliche Daten zu Richtung und Stärke von Meeresströmungen, zum Seegang und zur Bathymetrie auch aus meßtechnisch schwer erreichbaren Meeresräumen bereit zu stellen. Diese Aufgabe wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Methodik der Fernerkundung| Signalverarbeitung in Bremen übernommen.

Capacity Building erfolgte in Workshops und Trainingskursen in Deutschland und Indonesien. Hier wurde der Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen den deutschen und indonesischen Projektpartnern vertieft und gemeinsame Projektsynthesen durchgeführt.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt „Potentiale erneuerbarer Meeresenergie in den Meeresräumen Indonesiens“ gehört zu den Verbundprojekten im Bereich Meeresforschung und Geowissenschaften, die vom Bundesminister für Bildung und Forschung im Rahmen von "Science for the Protection of Indonesian Coastal Marine Ecosystems - SPICE" (Wissenschaft für den Schutz der Küstenökosysteme in Indonesien) seit 2003 gefördert werden. Grundlage der Kooperation bildet ein Aktionsplan für Angewandte Forschung und Bildung, der 2001 gemeinsam mit dem indonesischen Forschungsministerium (RISTEK) und dem Ministerium für Fischerei und

Meeresangelegenheiten (KKP) entwickelt wurde. Administrative Betreuung und Abwicklung der der SPICEIII-Verbünde oblagen Dr. S. Fretzdorff, Projektträger Jülich in Rostock, Fördergebiet System Erde. Die Koordination auf deutscher Seite lag bei Dr. C. Schultz, Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT) der Universität Bremen und auf indonesischer Seite bei Prof. Dr. Hari Eko Irianto, Ministerium für Marine Angelegenheiten und Fischerei (KKP).

Die Verbundpartner im Teilprojekt 6 waren auf deutscher Seite das *Forschungs- und Technologiezentrum Westküste (FTZ) der Universität Kiel* mit Federführung und Koordination sowie das *Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)* in Oberpfaffenhofen und Bremen. Das FTZ, repräsentiert durch Prof. Dr. Mayerle, brachte als federführende Institution und Projektkoordinator Erfahrungen in der marinen Mess- und Modellieretechnik sowie Systementwicklung und -kommunikation ein. Die Gruppe SAR Signalverarbeitung des DLR in Bremen, geführt von Dr. Lehner und Dr. Jacobsen, stellte wissenschaftliche Kompetenz in der Fernerkundung, Erfahrungen zur Signalverarbeitung und Nutzungsportale zu den Satellitensystemen zur Verfügung. Das im Unterauftrag kooperierende Unternehmen Coastal Research & Management in Kiel (CRM) trug mit Kompetenz und Ideen zum „Environmental Impact Assessment“ mariner Ökosysteme bei.

Projektpartner und -koordinator auf indonesischer Seite war Dr. Pandoe, BPPT Jakarta, dessen meeresstechnische Arbeitsgruppe auch für Betrieb und Unterhaltung des indonesischen Tsunami-Bojen-Programms verantwortlich war. Als weitere Partner kooperierten Dr. Erwandi vom Indonesian Hydrodynamic Laboratory des BPPT in Surabaya mit Erfahrungen mit kleinskaligen Strömungskonvertern und Prof. Dr. Poerbandono vom ITB der Universität Bandung, die unverzichtbare Hilfestellung bei Organisation, Zollabfertigung der Messgeräte und im Management von Daten aus indonesischen Quellen leisteten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei Projektbeginn am 1.3.2012 lag die Projektlaufzeit bei 36 Monaten. Planung und Ablauf des Vorhabens wurden in einer milestone-Planung mit jeweiligen Arbeitsschritten und Zeitfenstern dokumentiert (Tab. 1). Die Arbeiten in Teilprojekt 6.1 waren in 7 Arbeitspaketen (WP) und in Teilprojekt 6.2 in 6 Arbeitspaketen gegliedert und wechselseitig abgestimmt.

Die wichtigsten Termine und Aktivitäten in der Projektlaufzeit sind im Folgenden skizziert:

07.03.2012	Koordinationsstreifen des FTZ mit DLR, Oberpfaffenhofen
09.03.2012	Arbeitsbesprechung mit CRM zur Umweltverträglichkeitsstudie im Unterauftrag
02-12/2012	<p><u>FTZ</u>: Daten- und Kartenrecherchen (NOOA, OCEANOR, ECMWF) zu hydrodynamischen Schlüsselgrößen wie Wind, Bathymetrie, Strömung, Seegang und Wasserstände werden mit Erfolg nach Plan absolviert, Aufbau des GIS abgeschlossen, Entwicklung von ad hoc 2DH-Strömungs- und Seegangsmodellen, erste Vergleiche von Satelliten-Informationen mit Ergebnissen aus ad hoc Modellen.</p> <p><u>DLR</u>: Recherchen geeigneter Satellitenszenen und Akquisition neuer Szenen aus ausgewählten Meeresregionen, abgestimmt mit den indonesischen Projektpartnern, erfolgt. Signalprozessierung und Datenanalyse von Satellitenszenen mit Anwendung schon bestehender DLR- Algorithmen in Abstimmung mit FTZ durchgeführt.</p>
22.-23.05.2012	SPICEIII Kick-off meeting im ZMT Bremen, Vorstellung Teilprojekte, Erarbeitung des „Plan of Operation“ und „Material Transfer Agreement“ mit den indonesischen Partnern Dr. Pandoe und Dr. Erwandi (BPPT) sowie Prof. Dr. Poerbandono (ITB).
25.09.2012	Kick-off meeting in Jakarta, Vorstellung der Projekte, Detailabstimmung mit indonesischen Partnern Dr. Pandoe und Dr. Erwandi
25.09.- 03.10.2012	Erkundungsreisen mit Wissenschaftlern und Technikern des BPPT zur Südküste Java und Flores/Larantuka zur Vorbereitung der Geräteeinsätze (Wellenboje, ADCP, Log_a Level, Pegel-Diver).
01-12/2013	<p><u>FTZ</u>: Auswahlkriterien zur Eignungsanalyse von Gebieten zur Stromgewinnung aus regenerativer Meeresenergie werden in WP 3 zusammengestellt und angewendet. Technische Vorbereitung der Meßgeräte und Versand nach Jakarta. 9-monatige Verzögerungen der Zollabfertigungen, geplante Meßkampagnen (WP3) finden nicht statt. Identifizierung geeigneter Meeresregionen zur Stromgewinnung. Kapazitätsabschätzungen von Strommengen mit unkalibrierten und -verifizierten Modellen.</p> <p><u>DLR</u>: Fortsetzung Datenprozessierung und Entwicklung fortgeschrittener Algorithmen zur Erzeugung von Strömungs- und Seegangsdaten. Validierungen finden wegen der ausstehenden Naturmessungen noch nicht statt.</p>

10.5.2013	Arbeitsbesprechung mit Firma CRM zur Umweltverträglichkeitsstudie
27.9.2013	Arbeitstreffen der DLR-FTZ-Gruppen in Kiel, Analyse der Ergebnisse
11.11.2013	Detailabstimmung mit CRM zu Form und Ergebnissen der Umweltverträglichkeitsstudie
12 / 2013	Übergabe der Studie „Environmental Impact Assessment Strategies - Tidal Stream Conversion“ von CRM an FTZ
01-12/2014	<p><u>FTZ</u>: Meßkampagnen I und II (WP4) werden nach Zollfreigabe der FTZ-Meßgeräte nachgeholt, ausstehende Arbeiten in WP 3 werden erfolgreich beendet. Aufbau, Kalibrierung, Verifizierung der 2HD- und 3D-Strömungs- und Seegangsmodele abgeschlossen. Modellgestützte Kapazitätsabschätzungen für erneuerbare Meeresenergie. Protodesign der Anordnung von Strömungskonvertern in der Meeresstrasse vor Larantuka auf Flores wird fertiggestellt.</p> <p><u>DLR</u>: Ergebnisvalidierungen von Anwendungen neuentwickelter Algorithmen, weitere Szenen-Aquisitionen von den TerraSAR und TanDEM Satelliten sowie von optischer Satelliten auch zur Detektion der Seegrundbathymetrie.</p>
14.-30.05.2014	Meßkampagne I, Ausbringung der Seegangsboje in Baron/Südjava, Aufbau Pegelsystem Log_a level, Larantuka/Flores
27.-29.05.2014	<u>Workshop „Messgeräte“</u> in Larantuka: Log_a level System (Dipl. Ing. Voigt, Dr. Runte, Tech. Afian (BPPT), Ekko (BPPT), Yani (local government))
26.-29.05.2014	<u>Workshop „Coastal Information Systems“</u> Data Centre BPPT, Jakarta (Prof. Mayerle, Dr. J. Fernandez Jaramillo, Msc. Lutfianti, MSc. Pradipta (BPPT))
10.-23.09.2014	Meßkampagne II, Bergung, Auslesen Seegangsboje und Pegelsystem, Einrichtung von Pegel-Diver für quasi online-Datentransfer auf Flores
10.-11.12.2014	SPICEIII Workshop, ZMT Bremen, zum Stand der Projektergebnisse
01-12/2015	<p>FTZ: Nachholen und Fortsetzen der wegen verspäteter Naturmessungen aufgeschobenen Aktivitäten in WP 5 und 6, Validierung der Strömungs- und Seegangsmodele, Vergleich und Bewertung der Ergebnisse aus der Fernerkundung mit Naturdaten und Modellergebnissen, Aufbau des Entscheidungshilfesystems, finale Abschätzungen der potentiellen und extrahierbaren Meeresenergie.</p> <p>DLR: Anwendung und Validierung der neuentwickelten Algorithmen für Detektion von Seegang, Strömung und Bathymetrie mit Naturdaten.</p>

22.09.2015	Workshop FTZ-DLR, Institut für Methodik der Fernerkundung, Bremen, Zusammenführung und Diskussion vorläufiger Ergebnisse aus Modellen und RS
24.-30.10.2015	Auslesen und Erneuern des defekten Pegel-Diver in Larantuka/Flores
20.-21.01.2016	SPICEIII - Abschlusskonferenz, Udayana Universität, Denpasar/Bali
14.01.-15.02.2016	Training indonesischer Gastwissenschaftler in „Küsten-Modellierung und -Informationssysteme“ im FTZ Westküste (MSc. Lutfianti, BPPT, MSc. Widaryanto, BPPT).

4. Wissenschaftlich-technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Vorfeld des Projekts haben Konzepte zur Nutzung von Meeresenergie für Stromgewinnung bei den Diskussionen um Atomausstieg, Klimawandel und Meeresspiegelanstieg erheblichen Aufwind erhalten (Burman et al. (2009). Gebiete zur Installation von Strömungskonvertern, die sich meist in Meerengen und Kanälen zwischen Festland und Inseln oder in Buchten befanden, waren bereits weltweit identifiziert worden (Bedard et al. 2006, OES-IA, 2009). Im indonesischen Archipel wurde eine Nutzung regenerativer Meeresenergie-Ressourcen zur Stromversorgung weiträumig verstreut gelegener Küstenstädte und Inseln als attraktive Alternative zur Verwendung fossiler Energieträger angesehen werden (Bryden & Melville 2004, Charlier 2003). Einige Gebiete, wie die Strassen von Bali, Lombok, Alas, Larantuka, Pantar and Nusa Penida (Yuningsih et al., 2010, Erwandi, 2007) sowie die Capaculu Strasse bei den Molukken (Masduki and Lubis, 2010) waren bereits dahingehend betrachtet.

Die Auswahl geeigneter Gebiete für die Installation von Strömungskonvertern beruht auf Verfügbarkeiten extrahierbarer Energie aus Tidestromgeschwindigkeiten (Frankel 2006, Michel et al., 2007, MMS, 2006, Pearce 2005, Triton Consultants Ltd., 2002). Zur Gewinnung von Daten über Meeres(oberflächen)strömungen beschrieben Runge et al. (2004) das *Synthetic Aperture Radar (SAR) along Track Interferometry* - Verfahren. In die Betrachtungen war auch Schlüsselgrößen, wie Seegrundtopografie, Wassertiefe, Geologie des Untergrunds sowie soziale und wirtschaftliche Kriterien einzubeziehen. Modellergebnisse von (Pearce 2005, Scott 2007) zeigten, dass durch den Betrieb von Konverteranlagen Änderungen von Strömungsmustern und der Wasserqualität durch Trübung infolge Sedimentremobilisierung auftreten konnten, die für die Meeresumwelt relevant waren. Daneben konnten Probleme durch Bodenverankerung der Anlagen, durch Kolkbildung und Sedimentverluste auftreten, die das Bodenleben besonders in der Installationsphase beeinträchtigen würden. Die Effekte von Rotorblättern der Konvertern, Lärm und Vibrationen, die bei Betrieb auftreten und Meeressäuger bedrohen konnten, wurden von Michel et al. (2007) untersucht. Hagerman et al. (2006) gaben Empfehlungen für die Abstände zwischen den Konverteranlagen.

Erfahrungsschwerpunkte des FTZ liegen in der marinen Meßtechnik und bei der Entwicklung prozessbasierter hydrodynamischer Modelle (Mayerle & Zielke 2005, Escobar & Mayerle, 2008). Auf spezielle Meeresräume gezielt ausgerichtete Modelle werden auf Grundlage der Delft3D-Modellsuite von Deltares (2011) / Niederlande entwickelt und bilden zentrale Module beim Aufbau von Systemen zur Problembearbeitung und Lösungsfindung (decision support systems). Beispiele sind das nachhaltige Management von Fischfarmen in Indonesien (Mayerle et al. 2006) und von Operationen im Hafen von Paranaguà, Brasilien (Mayerle 2008) sowie ein operationelles Küsteninformationssystem Nordsee (Fernandez & Mayerle 2008).

Im Indonesienprojekt wurde das von Institut für Meereskunde entwickelte HAMSOM-Modell (Mayer et al. 2010) sowie das Global Tidal Model (Egbert & Erofeeva 2002) zur Bereitstellung der Randbedingungen an den offenen Modellrändern eingesetzt. Für den Windantrieb des Seegangmodells wurde das GME-Modell des Deutschen Wetterdienstes (Majewski & Ritter 2002), sowie die Vorhersagemodelle NWW3 (NOAAH Wave Watch 3), GFS (Global Forecast System) und ECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting) eingesetzt. Daten zur Bathymetrie waren aus GEBCO (General Bathymetric Charts of the Oceans) sowie „Admiralty Charts“ (United Kingdom Hydrographic Office) verfügbar.

In Indonesien hatte die für Wissenschaft und Technik zuständige Administration BPPT vor Projektbeginn in Zusammenarbeit mit KKP Testversuche mit einem kleinskaligen Stromgenerator durchgeführt, der durch Strömung angetrieben wurde (Erwandi, 2010). BPPT hatte bereits Forschungs- und Entwicklungsinitiativen für vertikalachsige Strömungsturbinen im *Indonesian Hydrodynamics Laboratory* in Surabaya unter der Leitung von Dr. Erwandi gestartet (Erwandi 2009). Parallel kartografischen Aufnahme von Meeresströmungen in mehreren Meeresstraßen.

Die Arbeitsgruppe Fernerkundung des DLR, geführt von Dr. S. Lehner (und Dr. S. Jacobsen als Nachfolger), befasste sich vor Projektbeginn intensiv mit neuen Detektionsmöglichkeiten von Radarsatelliten (Synthetic Aperture Radar SAR), um 2D Informationen über die Meeresoberfläche zu erhalten (Lehner et al. 2008). Besonders die hohe räumliche Auflösung und Unabhängigkeit des SAR vom Wettergeschehen machte die Technik zu einem vielversprechend Instrument der Fernerkundung. Daten und Lieferprodukte deutscher SAR-Satelliten, die zu wissenschaftlichen und kommerziellen Zwecken verwendet wurden, liegen seit etwa 2008 vor. Mit einem Repetitionszyklus von 11 Tagen überstrichen die Orbits der TerraSAR und TanDEM-Satelliten dieselbe Erdregion, die in Szenen mit variierenden Einfallswinkeln aber schon nach 3 Tagen erneut abgebildet werden konnten. Lehner et al. (1998) wies bereits darauf hin, dass die Radartechnik auch für die Detektion der

Charakteristika lokaler Winde (Ren et al. 2010), Seegang (Li et al., 2010) einschließlich Refraktion und Shoaling sowie zur Untersuchung der Unterwassertopografie erfolgreich eingesetzt werden konnte. Auch singuläre Wellen mit Höhen bis 30m konnten hoch aufgelöst abgebildet werden (Lehner et al., 2010). Zur Identifizierung von Meeresströmungen wurde SAR Along Track Interferometry (ATI) eingesetzt (Rosemeier, 2004). Ergebnisse aus SAR-Detektionen der Geschwindigkeit von Oberflächenströmungen in Schottland waren vielversprechend. Es bot sich daher an diese Radartechnik auch im Indonesienprojekt zur Identifizierung von Strömung und Seegang einzusetzen (Runge et al., 2004) und um Daten aus schwer zugänglichen indonesischen Meeresgebieten zur Kalibrierung und Verifizierung entsprechender hydrodynamischer Modelle zu erhalten.

- Bedard, R., Previsic, M., Polagye, B., Hagerman, G., and Casavant, A. (2006): North American Tidal In Stream Energy. Conversion Technology Feasibility Study. EPRI TP-008-NA. Electric Power Research Institute.
- Bryden, I. & Melville, G. (2004): Choosing and evaluating sites for tidal current development. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 218(8): 567-577.
- Burman, K. & Walker, A. (2009): Ocean Energy Technology Overview. Federal Energy Management Program (FEMP). U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. DOE/GO-102009-2823: 57pp.
- Charlier, R.H. (2003): A "sleeper" awakes: Tidal current power. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 7(6): 515-529.
- Couch, S.J. & Bryden, I.G. (2006): Tidal current energy extraction: hydrodynamic resource characteristics. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. 220(4):185-194.
- Deltares (2011): User manual Delft3D-FLOW, Simulation of multidimensional hydrodynamic and transport phenomena, including sediments. Deltares, Delft, the Netherlands.
- Egbert, G. D. and Erofeeva, S. Y. (2002): Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. Atmos. Chem. Phys. 19:183-204, doi:10.1175/1520-0426(2002)019.
- Escobar, C.A. & Mayerle, R. (2008): Procedures for improving the prediction of equilibrium grain sizes, bed forms and roughness in tidally-dominated areas. Coastal Engineering 2006. Proceedings of the 30th International Conference, San Diego CA, USA: pp 3092-3104.
- Erwandi et al. (2007), Numerical Simulation of Tidal Current of Alas Strait Using Variable Mesh, Proceeding of National Seminar on Theory and Application of Marine Technology, November 15, 2007, pp A137 –A148.
- Erwandi (2009) The Research on Vertical-Axis Marine Current Turbine in Indonesian Hydrodynamic Laboratory-Surabaya, International Symposium on Ocean Science, Technology, and Policy, World Ocean Conference, Manado May 11-15.
- Erwandi (2010), <http://www.labhidroindonesia.com/>
- Fernández, J. M. & Mayerle, R. (2008): Development of a Nowcasting Modelling System for a Study Area on the German North Sea Coast. In: Smith, J.M [ed.]: Coastal Engineering 2008: Proceedings of the 31st International Conference, Hamburg, Germany (World Scientific Publishing Company, ISBN: 9814277363).
- Fraenkel, P.L. (2006): Tidal current energy technologies. IBIS: 148, 145-151.

- Hagerman, G., Polagye, B., Bedard, R. & Previsic, M. (2006a): Methodology for Estimating Tidal Current Energy Resources and Power Production by Tidal In-Stream Energy Conversion (TISEC) Devices. EPRI-TP-001 NA Rev 3. Electric Power Research Institute.
- IOC, IHO and BODC (2003): Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas. Published on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as part of the General Bathymetric Chart of the Oceans; British Oceanographic Data Centre. Liverpool.
- Lehner, S., Schulz-Stellenfleth, J., Bruschi, S., Li, X.M. (2008): Use of TerraSAR-X Data for Oceanography, in: EUSAR 2008, 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Friedrichshafen, Germany.
- Lehner, S., Horstmann, J., Koch, W., Rosenthal, W. (1998): Mesoscale wind measurements using recalibrated ERS SAR images, in: JGR-Oceans 97JC02726 Vol. 103, No. C4, p. 7847.
- Li, X.-M, Lehner, S. and W. Rosenthal (2010): "Investigation of Ocean Surface Wave Refraction using TerraSAR-X Data", in: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 48(2), pp.830-840, DOI: 10.1109/TGRS.2009.2033177, 2010.
- Lubis, S. (2010): Road Map Penelitian dan Pengembangan Energi Arus Laut, In: Kolokium Hasil Penyelidikan Arus Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan, Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung, 14 October 2010.
- Majewski, D., Ritter, B. (2002): Das Global-Modell GME. ProMet. Volume 27. Issues 3-4. Pages 111-122.
- Masduki, A. and Lubis, S. (2010): Penelitian Arus Untuk Mendapatkan Lokasi Penempatan Peralatan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut. In: Kolokium Hasil Penyelidikan Arus Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan, Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung, 14 October 2010.
- Mayer, B., Damm, P., Pohlmann, T., Rizal, S. (2010): What is driving the ITF? An illumination of the Indonesian through-flow with a numerical nested model system. Dynamics of Atmosphere and Oceans, Issue 50, Pages 301-312.
- Mayerle, R. & Zielke, W. (2005): PROMORPH – Predictions of Medium-Scale Morphodynamics: Project Overview and Executive Summary. Die Küste 69: pp 1-24.
- Mayerle, R., Windupranata, W. & Hesse, K-J. (2006): A Decision Support System for a Sustainable Environmental Management of Marine Fish Farming. In: Yang, Y., Wu, X., Zhou, Y [eds.]: Cage Aquaculture in Asia. Proceedings of the Second International Symposium on Cage Aquaculture in Asia (Vol.2): p. 370-383.
- Mayerle, R. (2008): Decision Support Systems for Sustainable Harbour Management. In: Boldrini, E. B., Soares, C. R. & Paula, E. V. [eds]: Dragagens Portuárias no Brasil: p. 200-211.
- Michel, J., Dunagan, H., Boring, C., Healy, E., Evans, W., Dean, J.M., McGillis, A. & Hain, J. (2007): Worldwide Synthesis and Analysis of Existing Information Regarding Environmental Effects of Alternative Energy Uses on the Outer Continental Shelf. MMS OCS Report 2007-038. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service. Herndon, VA.
- MMS (Minerals Management Service) (2006): Technology White Paper on Ocean Current Energy Potential on the U.S. Outer Continental Shelf. Minerals Manag. Service Renewable Energy and Alternate Use Program, U.S. Dep. of the Interior.
- OES-IA (2009): International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems. Annual Report 2009: 112pp.

- Pearce, N. (2005): Worldwide tidal current energy developments and opportunities for Canada's Pacific coast. *International Journal of Green Energy*. 2(4): 365-386.
- Ren, Y.-Z., Lehner, S., Li, X.-M., He, M.-X. and S. Brusch (2010): Retrieval Algorithm of Sea Surface Wind Field Using X-band TerraSAR-X Data. in: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, submitted.
- Romeiser R. (2004): Mapping of tidal currents with SAR Along Track Interferometry, in: *Proceeding Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04*. p. 1156-1159
- Runge, H., Suchandt, S., Breit, H., Eineder, M., Schulz-Stellenfleth, J., Bard, J. and Romeiser, R. (2004): Mapping of tidal currents with SAR along track interferometry. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04. IEEE International*
- Scott, B.E. (2007): *A renewable engineer's essential guide to marine ecology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society, Piscataway, NJ 08855-1331, United States, Aberdeen, Scotland, United Kingdom, 4302218.
- Triton Consultants Ltd. (2002): *Green Energy Study for British Columbia. Phase 2: Mainland. Tidal Current Energy. Chapter 6: Technology Review*. Prepared for BC Hydro, Engineering.
- Yuningsih, A., Sudjono, E. H., Rachmat, B., Lubis, S. (2010): *Prospek Energi Arus Laut di Perairan Indonesia, Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Indonesia, ISBN No. 978-979-551-020-8, 2010, 52pp.*

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Mit dem Zentrum für Forschung, Förderung und Zusammenarbeit Geospatial Information Agency (Badan Informasi Geospasial, BIG) in Bogor wurden über Dr. Pramono Kontakte aufgenommen. BIG stellte höherauflösende Daten der Bathymetrie von Meereszonen in Indonesien bereit, die sich nach erstem Einschätzen zur Nutzung von Meeresenergie eignen konnten. Die Daten leisten Hilfestellungen zur Verfeinerung der GEBCO-Datensätze und damit zur verbesserten Tiefenaufklärung des Seegrunds vor Südjava. Das Institute of Technology der Universität Bandung mit Herrn Prof. Dr. Poerbandono als ehemaliger Doktorand des FTZ Westküste beteiligte sich an allen Fachdiskussionen und unterstützte die administrativen und logistischen Abläufe bei der Zollabwicklung unserer Messgeräte und bei den Messkampagnen. Das Institut für Meereskunde der Universität Hamburg (Dr. B. Mayer) war ausgesprochen behilflich mit Umgang und Lieferprodukten des HAMSON-Modells, das über die Bereitstellung der Randbedingungen unserer Strömungsmodelle an den offenen Seerändern Verwendung fand. Das SPICEIII-Teilprojekt MABICO, vertreten durch Dr. Hesse und Dr. van der Wulp, stellte freundlicherweise Pegelraten und Modellparameter aus der Sundastraße zur Unterstützung der Energieberechnungen zur Verfügung. Kontakte bestanden ferner zur Firma Voith Hydro GmbH, die im Bau von Strömungsturbinen erfahren sind.

II Eingehende Darstellung

Mit den Zuwendungen des BMBF wurden planmäßig die Kosten gedeckt für

- Personal: 1 Wissenschaftler 1/1 (Vollzeit E14) und 2 Doktoranden ½ (Teilzeit E13) über 3 Jahre. Die 1-jährige Projektverlängerung wurde mit eingeschränkten Personalmitteln abgedeckt.
- Aufträge: Firma Coastal Research & Management, Kiel, zur Erarbeitung einer Modell-Umweltverträglichkeitsstudie für den Einsatz Strömungskonvertern
- Verbrauchsmaterial verwendet bei Messkampagnen
- Gastwissenschaftler, die zu Capacity Building in Deutschland eingeladen wurden
- Reisen in Deutschland und Indonesien für Fachtreffen, workshops, Messungen
- Geräteinvestitionen: 1 Wellenmessboje + Ausstattung

1. Erzielte Ergebnisse

1.1 Zusammenfassung

Forschungsziele

Ziel des F&E-Aktivitäten in Kooperation von FTZ, DLR, CRM, BPPT, KKP und ITB war die Einschätzung der Potentiale von Meeresenergie im indonesischen Archipel. Hierzu sollte einerseits ein Entscheidungshilfesystem (=Decision Support Systems = DSS) entwickelt werden. Hintergrund dieser Entwicklung war, Gebiete in indonesischen Archipel zu identifizieren, die sich auf Grundlage einer Vorauswahl von Meeresräumen der *Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT)* und des *Ministry of Marine Affairs and Fisheries (KKP)* zur Nutzung von Strömungs- und Seegangsenergie eigneten. Abb. 1 zeigt ausgewählte Meeresräume im indonesischen Archipel, auf die sich die Untersuchungen zur Meeresenergie konzentrierten.

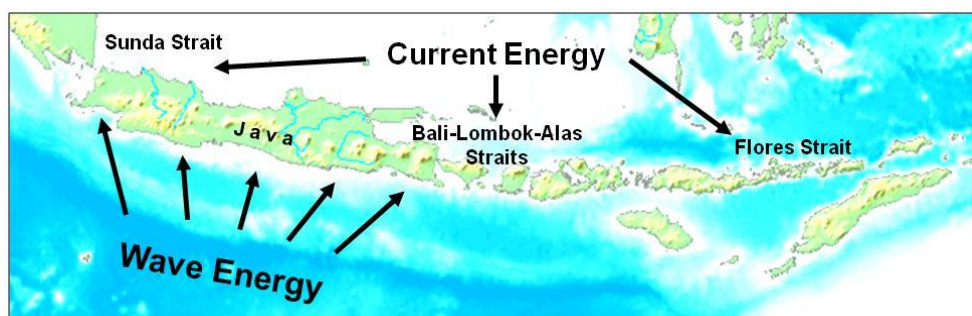


Abb. 1: Regionen zur Untersuchung der Potentiale von Meeresenergie.

Im Rahmen einer Studie der Firma CRM sollten Strategien und Kriterien erarbeitet werden, mit denen sich ökologische Auswirkungen von Strömungskonvertern bewerten lassen. Im Zuge dessen sollte ferner Fähigkeit und Effektivität der deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X untersucht werden, Strömung und Seegang in Satellitenszenen zu

erfassen und abzubilden. Die zum Erreichen der Forschungsziele erforderlichen Entwicklungen wurden von FTZ und DLR sukzessiv erarbeitet. Das Entscheidungshilfe-System versteht sich als Endprodukt einer Arbeitsfolge von in sich geschlossenen Aufgaben und Zielvorgaben, die eine klare milestone-Planung in sogenannte „Arbeitspakete“ und Arbeitsschritten erlaubt (siehe Tab. 1). Die in dieser Arbeitsfolge durchgeführten F&E-Arbeiten stützen sich auf die Ergebnisse zuvor absolvierter Arbeiten und sind andererseits für den Erfolg nachfolgender F&E-Arbeiten erforderlich. Abb. 2 zeigt das Ablaufschema von Aufgaben, die in Zwischen- und Endprodukten die Zielvorgaben des DSS erreichen.

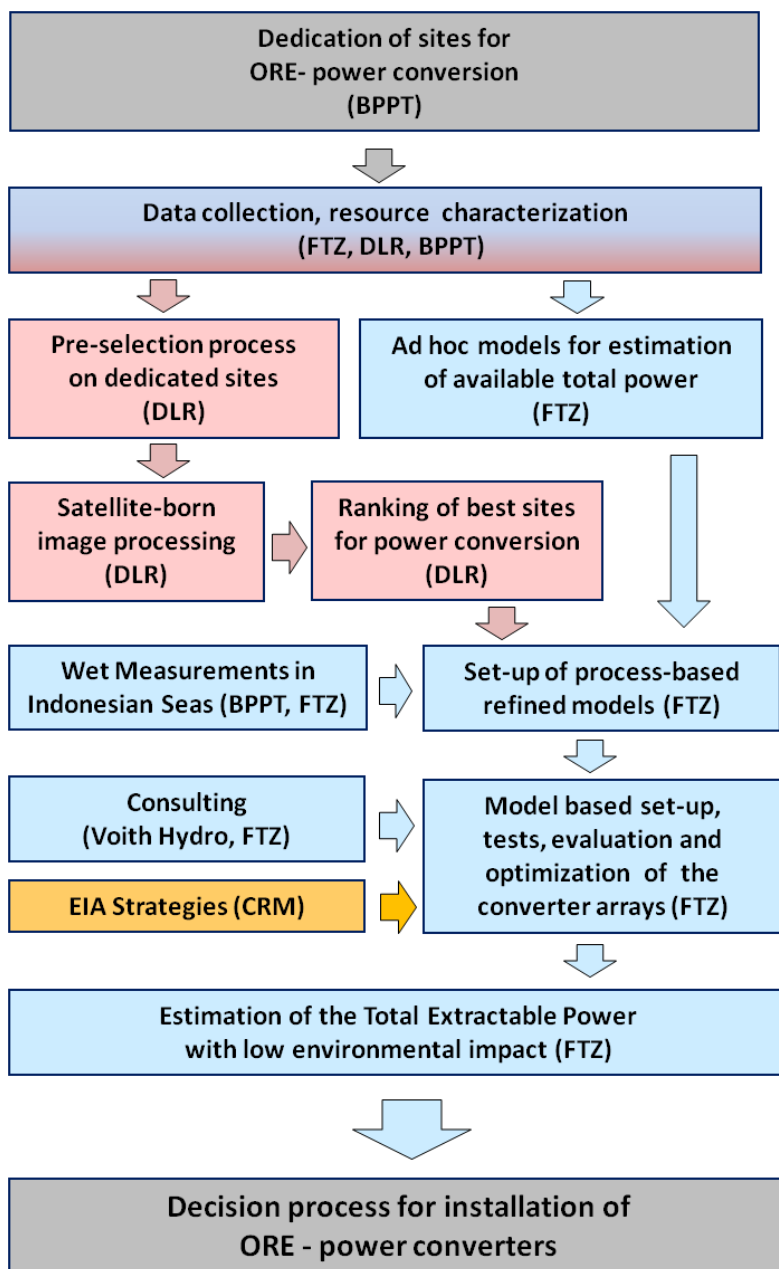


Abb. 2: Aufgabenfolge von F&E Einheiten im DSS

F & E - Ergebnisse

Es wurde planmäßig ein Entscheidungshilfe-System (DSS) unter Einbindung von Strategien entwickelt, mit denen in Meeresräumen Indonesiens geeignete Gebiete zur Nutzung von Strömungs- und Seegangsenergie identifiziert und die potentiell verfügbaren und extrahierbare Energie eingeschätzt werden können. Das System implementiert Ergebnisse hochauflösender Modelle für Strömung und Seegang, deren Randwerte von Globalmodellen für Tide, Wind, Seegang, Bathymetrie, Temperatur und Salinität und über Remote Sensing-Techniken bereitgestellt werden.

Daten für die Modellentwicklungen wurden aus Naturmessungen mit Pegelsystemen und Seegangsboje gewonnen. Modellergebnisse und Evaluationskriterien wurden angewandt, um geeignete Meeresgebiete zu identifizieren und hier die potentielle und die über Konverter extrahierbare Meeresenergie abzuschätzen. Modelltests unter Implementierung variabler Rotoren-Durchmesser von Strömungsturbinen wurden an mehreren Standorten durchgeführt, um die Ausbeuten an Meeresenergie zu optimieren. Aufgrund seiner Struktur ist das Entscheidungshilfe-System befähigt, als Instrument zur Einschätzungen von Energiepotentialen auch in Meeresregionen global eingesetzt zu werden.

Die Gebiete im indonesischen Archipel mit nutzbarem Strömungspotential konzentrieren sich auf Meeresstraßen, wie Sunda, Bali, Badung, Lombok, Alas, Flores und Boling. Nach den Schätzungen summieren sich hier verfügbare Energiepotentiale auf etwa 6000 MW, womit frühere Annahmen klar übertroffen wurden. Die mittlere Seegangsenergie entlang der Südküste Javas liegt gemäß Modellierungen bei 21 KW/m/Jahr. Diese Energie wird in nur geringem Umfang durch lokalen Seegang erzeugt, der mit ca. 0,5KW/m/Jahr zu Buche schlägt, sondern hauptsächlich durch Dünungswellen aus dem Indischen Ozean an die Südküste Javas herangebracht.

Vergleiche mit Bojendaten zeigen, dass die Erfassung von Welleneigenschaften durch Radarsatelliten vor Java recht erfolgreich war. Die Ableitung der Bathymetrie im Küstenvorfeld durch Änderungen der Eigenschaften auflaufender Wellen war über SAR in Küstenabschnitten mit flacher abfallendem Meeresboden erfolgreich. Auch aufgrund ungünstiger Orbits und Abstände der Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X im Äquatorbereich war die Detektion von Strömung in den Testgebieten eher schwierig zu bewerkstelligen. Sie bedarf weiterer Forschung und Algorithmen-Entwicklung.

1.2 Energie aus Seegang

1.2.1 Naturmessungen

Datenrecherchen in Literatur und Datenbanken sowie Sichtung der Unterlagen der indonesischem Meeresraumplanung führten zur Erkenntnis, dass

- a) Hydrografische Daten in vorausgewählten Meeresräumen weitestgehend fehlten
- b) Methoden- und Systementwicklungen sinnvollerweise zunächst für Schlüsselregionen stattfinden sollten, um erstere dann auf andere Meeresregionen anzuwenden.
- c) Hydrografische Meßkampagnen erforderlich und vorzubereiten waren

Erkundungsreisen von FTZ- und BPPT-Wissenschaftlern in 2012 kamen zu Ergebnis, dass zur Untersuchung der Potentiale aus Seegangsenergie die Südküste von Java als Schlüsselregion besonders geeignet war, da sie dem Indischen Ozean offen ausgesetzt ist und entsprechende Energieerträge zu erwarten waren. Auswahlkriterien waren Zugänglichkeit der Küste, Sicherheit, Wassertiefen, Gezeitendynamik, Wellenhöhen, Eigentumsverhältnisse und bestehende Nutzungen. FTZ und BPPT entschieden sich gemeinsam für die Ausbringung einer Seegangsboje im Küstenvorfeld von Baron (Abb. 3). . Zuvor erfolgten detaillierte Bathymetrie-Vermessungen, um geeignete Wassertiefen und Bodenbeschaffenheiten für Boje und Verankerung zu erkunden sowie eine Abstimmung des Auslegeorts mit lokalen Behörden, um die Küstenfischerei durch die Boje nicht zu gefährden.



Abb. 3: Auslegeposition der Seegangsboje vor Baron, Süd-Java, Indischer Ozean. „SAR“ kennzeichnet Gebiete, für welche Radaranalysen des Seegangs vorgestellt werden.

Bedingt durch die Zeitverzögerungen wurde die Boje, Typ Directional Wave Rider, Firma Datawell, am 22. Mai 2014, 5:00 UTC, auf 08°08'9,8"S und 110°32'50,1"E in etwa 25m Wassertiefe verankert (Abb. 4). Die Messdaten über signifikante und maximale Wellenhöhe, -periode und -richtung wurden online in die Datenzentralen im FTZ Büsum und im BPPT Jakarta übertragen. Erforderliche Empfangs- und Softwareeinstellungen waren zuvor von

FTZ-Wissenschaftlern erfolgt. BPPT integrierte die Seegangsboje „Baron“ temporär in sein indonesisches Meeresüberwachungsnetzwerk und machte die Daten im www zugänglich.

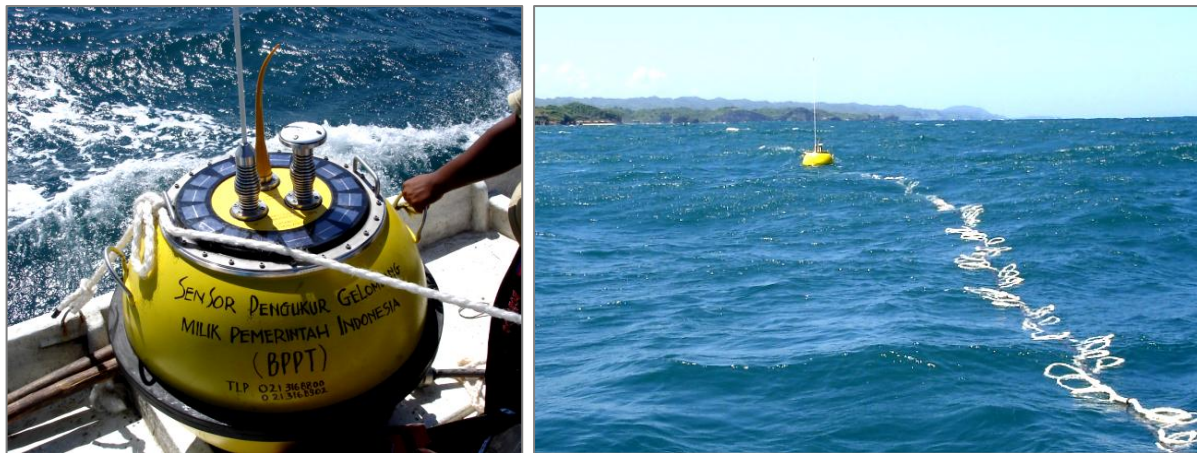


Abb. 4: Seegangsboje unmittelbar vor und während der Ausbringung und Verankerung.

Die Seegangsboje arbeitete mit behördlicher Genehmigung problemlos und planmäßig etwa 3 Monate im Betrieb und wurde im Zuge der Meßkampagne II im September 2014 geborgen.

1.2.2 Modellentwicklung Seegang

Die zur Entwicklung des numerischen Seegangmodells verwendeten Datenressourcen sind als Übersicht in Abb. 5 zusammengestellt.

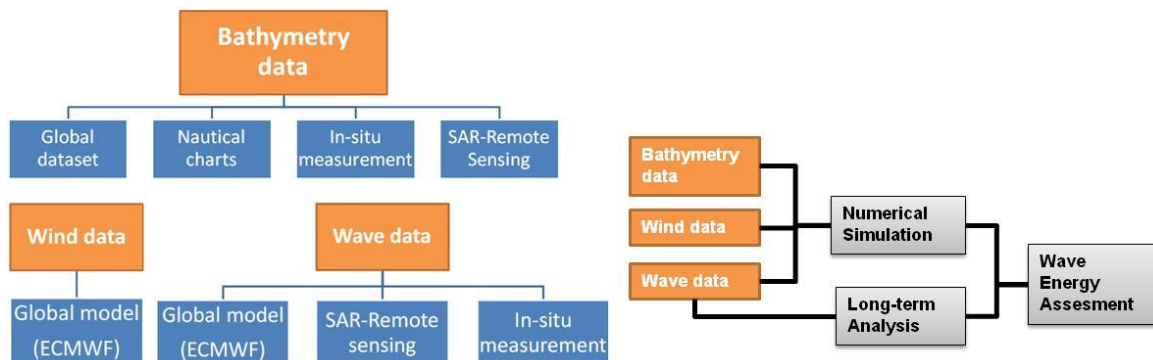


Abb. 5: Datenressourcen und Verwendung zur Abschätzung der Seegangsenergie

Das in ORE-12 entwickelte Seegangmodell „CWM“ (Coastal Wave Model) basiert auf dem spektralen SWAN-Modell (Holthuijsen et al. 2002). Sein unstrukturiertes Gitternetz umfasst den indonesischen Archipel zwischen 102.5°-124°E und 12°-4°S Die Gitterauflösung steigt von 14km an den offenen Seerändern bis 200m zur Südküste Javas an. An den offenen Seegrenzen des Modellgebietes wurden Wind- und Seegangsdaten der Globalmodelle NWW3 (Seegang, NOAAH wave watch 3, Auflösung 0,5 x 0,5°), GFS (Wind, Global Forecast System, Auflösung 0,5 x 0,5°) und ECMWF (Seegang + Wind, European Center for Medium

range Weather Forecasting, Auflösung $0,5 \times 0,5^\circ$) verwendet, und auch lokaler Wind wurde berücksichtigt. Seegangsdaten beruhen auf dem ERA-Interim dataset 2013/11 - 2014/10, Winddaten basieren auf dem ERA-Interim dataset 2013/11 - 2014/10. In Abb. 6 sind die Modellgitternetze des ERA-Interim (ECMWF) und des entwickelten CWM-Modells aufgeführt.

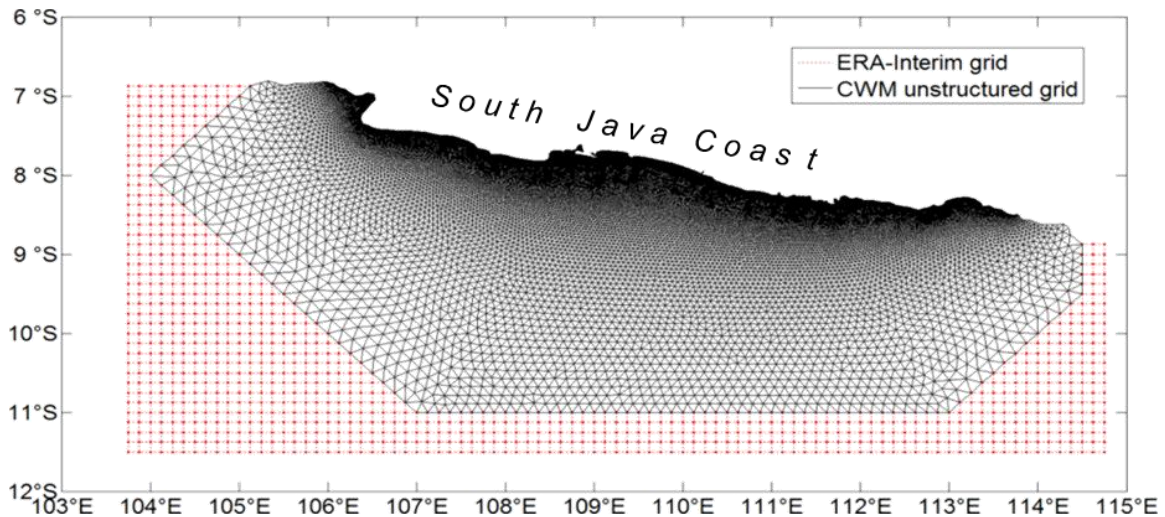


Abb. 6: Gitternetze des ERA-Interim (ECMWF-Modell) und des Seegangsmodells CMW.

Die Validierung des Seegangsmodells erfolgte mit Seegangszeitreihen der Seegangsboje Mai-September 2014, die Punkt-Informationen darstellten, und mit Altimeter-Daten des *Jason-2* Satelliten aus dessen Zugbahnen am 4.7. und 7.7.2014 als Track-Information. Der Orbit des 2008 gestarteten Satelliten hat eine Höhe von 1340km Höhe und eine Neigung von 66° . *Jason-2* ist mit einem 2-Frequenz-Altimeter zur Detektion der Höhe des Seegangs versehen. In Abb. 7 sind Position der Boje, *Jason-2* Tracks sowie die Bathymetrie im Modellgebiet angegeben.

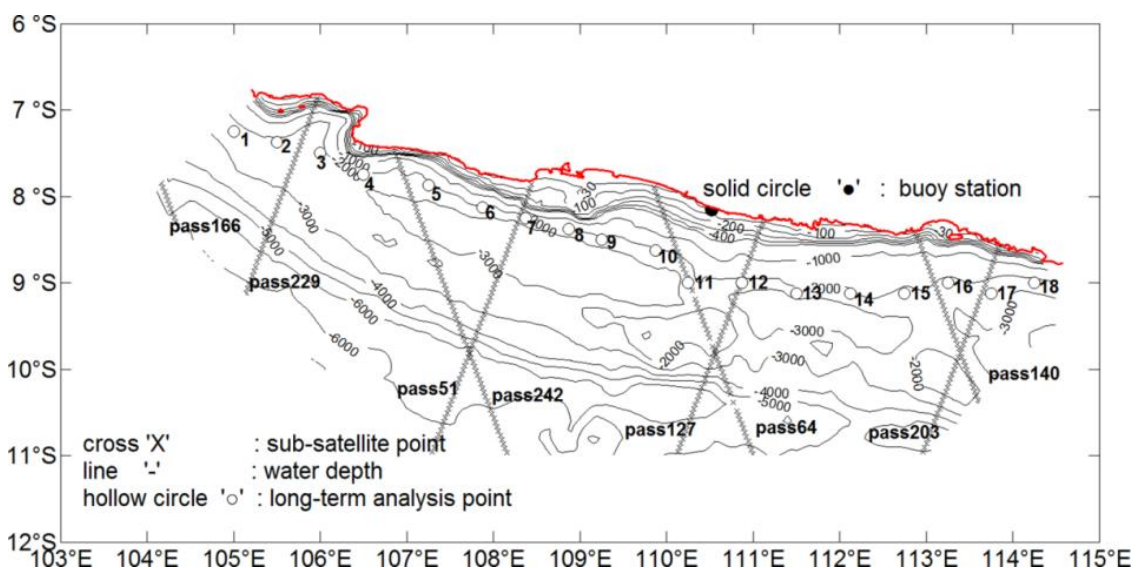


Abb. 7: Positionen von Boje und *Jason-2*-Tracks sowie Bathymetrie im Modellgebiet.

Die Spaltung des Wellenspektrums in winderzeugten Seegang (lokal) und in Dünung (fern) erfolgte nach Ansätzen von Pierson-Moskowitz mit

$$\beta \frac{U_z}{c_p} \cos(\theta - \psi) > 1$$

und Komen et al. (1984) mit

$$f_{PM} = 0.13 \frac{g}{U_{10}}$$

Die Validierung des Modells erfolgte zunächst mit den Bojendaten 1.6. - 30.8.2014. In Abb. 8 sind die Ergebnisse zusammengestellt. Abb. 8a und 8b zeigen Mess- und Modelldaten zur signifikanten Wellenhöhe H_s und zur mittleren Wellenperiode T_{m01} . In Abb. 8c und 8d sind H_s der Dünung ($H_{s_{swell}}$) und H_s erzeugt durch lokalen Wind ($H_{s_{wind}}$) gegenüber gestellt. Neben den guten Übereinstimmungen zeigen Abb. 8c und 8d die hohe Bedeutung der Dünung $H_{s_{swell}}$ für die Seegangsenergie entlang der Südküste Javas, gegen welche der Seegang aus lokalem Wind $H_{s_{wind}}$ klar zurücktritt.

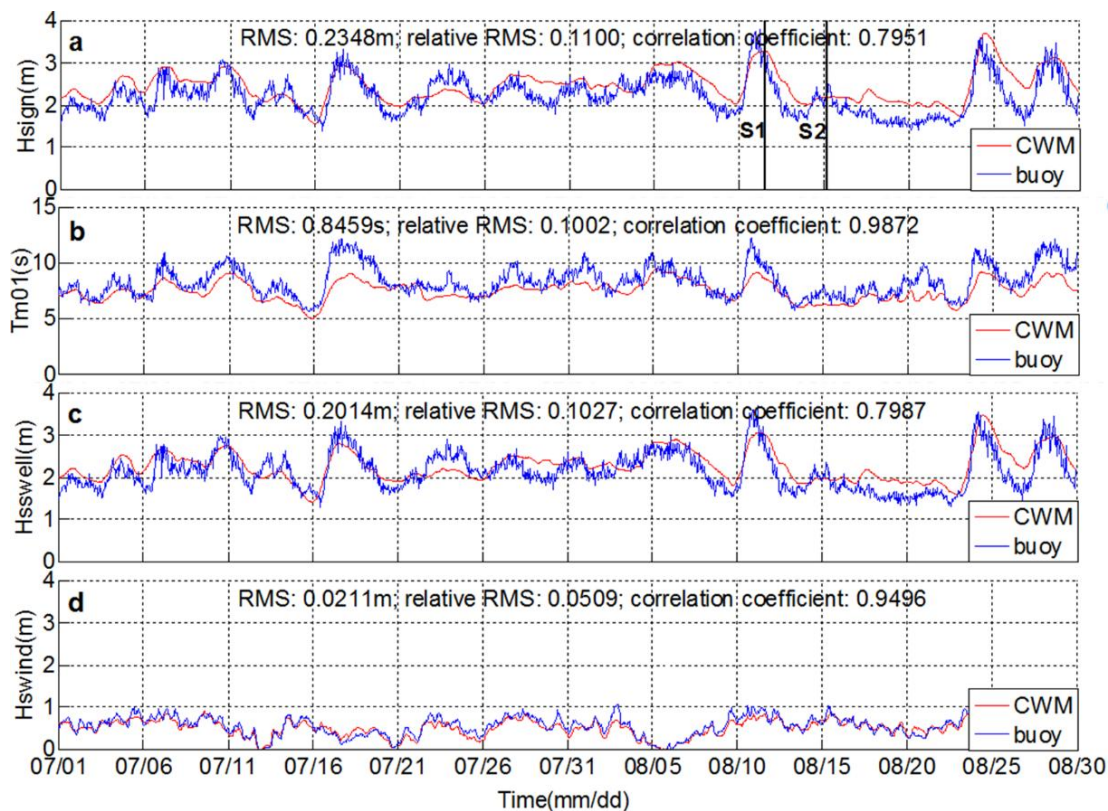


Abb. 8: Zeitreihen der modellierten (CWM) und gemessenen (buoy) Seegangsgrößen H_s , T_{m01} , $H_{s_{swell}}$ (H_s Dünung) und $H_{s_{wind}}$ (H_s durch lokalen Wind).

Die Validierungsergebnisse für CWM vs. Altimeter-Daten von *Jason-2* sind für H_s in Abb. 9 aufgetragen. Mit $r=0,93$ ist die Korrelation während der Trockenzeit (5/2014-10/2014) besser als in der Regenzeit (11/2013-04/2014). Die Unterschiede liegen im meist $< 0,5m$.

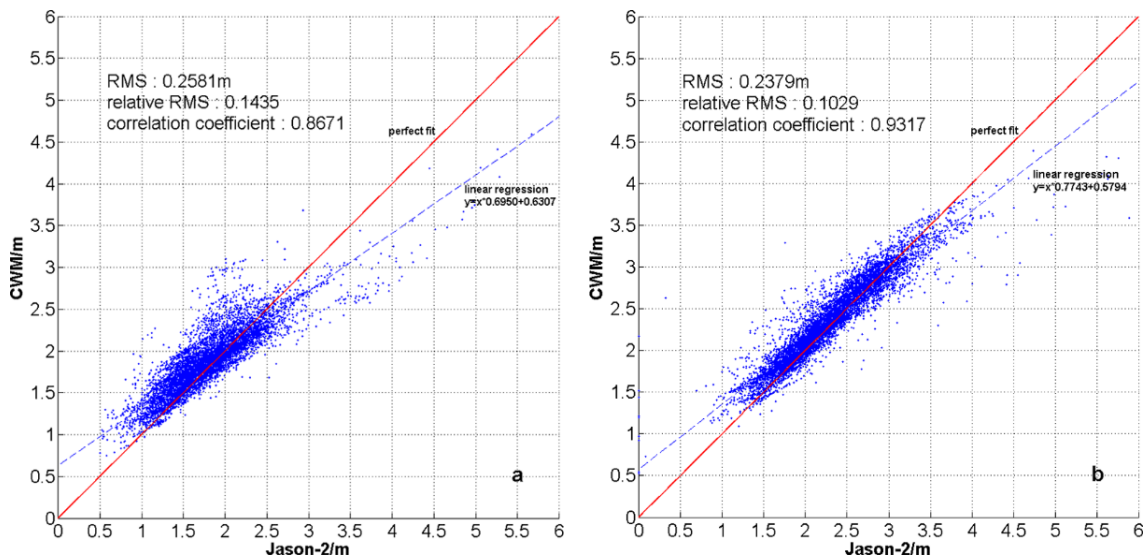


Abb. 9: Verifizierung SWAN-Modell. Modellierte Wellenhöhen H_s aus CWM gegen Altimeter-Satelliten Jason-2. Korrelation in Regenzeit (links) und Trockenzeit (rechts).

Die hohe Bedeutung der Dünung aus dem Indischen Ozean für die Seegangenergie in Südjava wird ebenso durch die Seegangsspektren in Abb. 10 verdeutlicht, wobei Abb. 10a und 10b die gemessenen und Abb. 10c und 10d die modellierten Spektren wiedergibt. Bei mittlerem und sehr starkem Seegang, exemplarisch gezeigt für die Situation am 11.8.2014, 12:00 UTC, dominiert Dünung das Wellenklima.

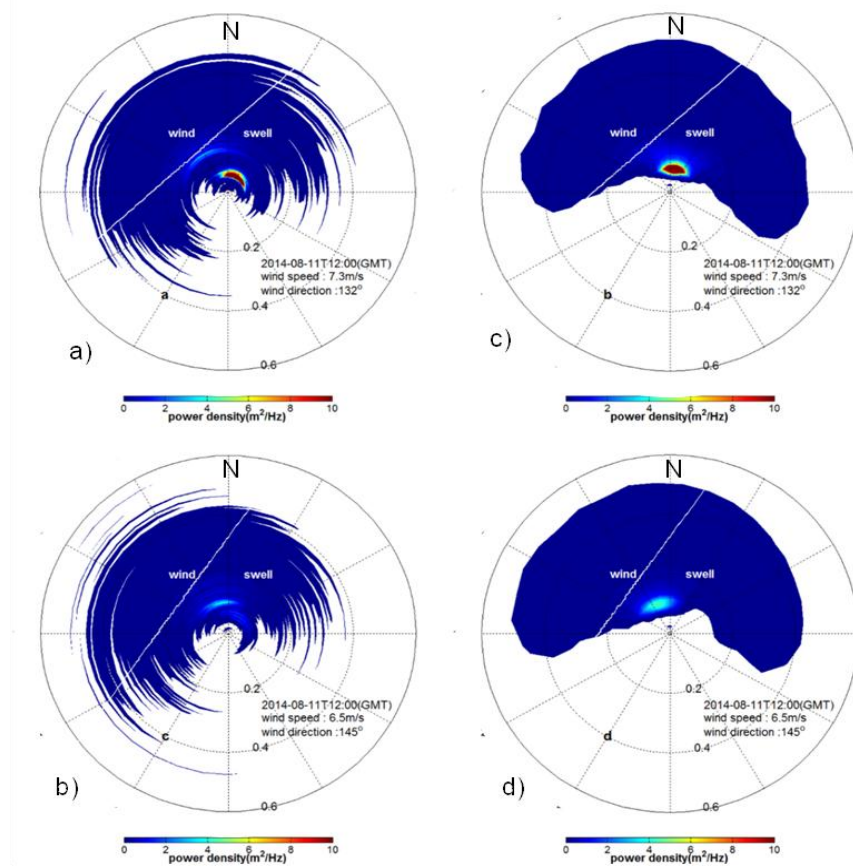


Abb. 10: Gemessene (a, b) und modellierte (c, d) Spektren von Wind und Seegang

Nach erfolgreichem Abschluss der Modellentwicklungen wurde die Seegangenergie P angenähert über die Beziehung

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_S^2 T_{m01}$$

ρ = Wasserdichte, g = Schwerebeschleunigung Erde $9,81\text{m/s}^2$, H_S = signifikante Wellenhöhe, T_{m01} = mittlere Wellenperiode.

1.2.3 SAR-Verfahren Seegang

Ein Radar mit synthetischer Apertur kann Informationen über den Wind durch Vermessen der Rauigkeit der Meeresoberfläche extrahieren, indem die Bildintensität mittels einer GMF (Geophysikalische Model Funktion) in Windgeschwindigkeit umgerechnet wird. Je rauer die Meeresoberfläche, die ein hohe Intensität der Radarrückstreuung nach sich zieht, desto höher die Windgeschwindigkeit u . Die Rückstreuintensität ist auch vom Einfallswinkel θ des Signals und der Orientierung der Kapillarwellen in Bezug auf die Flugrichtung des Satelliten abhängig. Basierend auf Methoden für C-Band SAR Satelliten (z.B. ASAR ENVISAT) wurde für das X-Band der lineare XMOD Algorithmus entwickelt:

$$\sigma_0(u, \theta, \varphi) = x_0 + x_1 u + x_2 \sin(\theta) + x_3 \cos(2\varphi)$$

σ_0 = normalisierte Radarrückstreuquerschnitt (NRCS), φ = Winkel zwischen Windrichtung und SAR-Blickrichtung, θ = Radarwellen-Einfallswinkel. Die Koeffizienten x_i mit $i = [0,3]$ wurden unter Verwendung von Bojendaten des US-Amerikanischen National Data Buoy Center (NDBC) empirisch angepasst. Die lokale Windrichtung wird mittels Ausrichtung der Strukturen auf der Meeresoberfläche, die durch turbulente Wirbel der Luftströmung an der Grenzschicht in der Windrichtung erzeugt werden, abgeleitet. Zusätzlich weisen die Windschatten neben der Küste auf die Richtung ablandiger Winde hin. In Abwesenheit entsprechender Oberflächenmerkmale kann ein meteorologisches Modell die Windrichtung liefern.

Verbesserte SAR-Detektion

Zu Projektbeginn schon bestehende Algorithmen zur Ableitung von Windfeldern und Seegang wurden vor allem zu Anwendung im Küstenvorfeld weiter verbessert, weil hier starke räumliche Variationen von Wind- und Seegang auftreten. Die Funktionalität des Windprozessors wurde auf neue Datenprodukte, wie den Wide-ScanSAR Modus von TS-X und den Interferometric Wide Swath Mode von Sentinel1A, erweitert. Damit öffnen sich Möglichkeiten, für den Windantrieb von Seegangsmodellen neben DWD-Daten auch hochauflösende von Satelliten detektierte Windfelder zu verwenden. Einschränkend ist zu beachten, dass die Pixelauflösung der TS-X Wide-ScanSAR Aufnahmen lediglich für die

Erfassung besonders langwelliger Seegänge geeignet ist. Auch Veränderungen des Seegangs etwa zur Detektion der Bathymetrie können weniger genau erfasst werden. Bei Sentinel1A findet durch die Orbit- und Sensorparameter eine stärkere Unterdrückung kurzer Wellen als bei TS-X durch nichtlineare Abbildungseffekte statt.

Aufgrund der verspäteten Verfügbarkeit von Naturdaten des Seegangs vor Baron, Südjava, wurden zur Prüfung der Ergebnisse der Verbesserungen zunächst Radaraufnahmen aus der Deutschen Bucht kompensiert, weil neben hochaufgelösten DWD-Modelldaten auch Bojen-Messdaten zur Verfügung standen. Im Zuge dessen wurde die empirische Geophysikalische Modellfunktion (GMF) zur Bestimmung der signifikanten Wellenhöhe aus SAR Bildern speziell an Küstengewässer angepasst. Dabei wurden die Koeffizienten der GMF Terme mit einem Testdatensatz angefügt, so dass der Algorithmus die Messungen bestmöglich reproduzierte. Im Vergleich zur XWAVE-2 GMF wurde weitere Terme hinzugefügt, um den besonderen Verhältnissen in Küstengewässern Rechnung zu tragen.

Der verbesserte Algorithmus XWAVE-C unterstützt TS-X-Daten mit sowohl HH- als auch VV-Polarisation. Er kommt, im Gegensatz zu anderen verbreiteten Methoden, ohne Nutzung weiterer Datenquellen aus (z.B. sogenannte „First Guess“ aus Modellvorhersage), um H_s zu berechnen. Die Modellfunktion verbindet integrierte Bildspektralenergie, spektrale Parameter sowie lokale Windinformation aus dem analysierten Subscene mit Wellenhöhe H_s

$$H_s^{XWAVE-C} = a_1 \sqrt{B_1 E_{IS} \tan(\theta)} + a_2 B_2 + a_3 B_3 + a_4 B_4 + a_5 B_5$$

a_1 - a_5 = empirische Konstanten, B_1 - B_5 = Funktionen der spektralen Parameter, E_{IS} = spektrale Energie, integriert im Wellenzahlbereich k für $k_{min} < k < k_{max}$ aus dem Wellenzahlspektrum $IS(k_x, k_y)$, welches durch FFT aus Intensitätswerten der untersuchten Subscene gerechnet wird:

$$E_{IS} = \int_{k_{x,min}}^{k_{x,max}} \int_{k_{y,min}}^{k_{y,max}} IS(k_x, k_y) dk_y dk_x$$

Der Integrationsbereich wird begrenzt, um die Auswirkungen der Windstreifen (erzeugt durch die Turbulenz in der Grenzschicht) und den sogenannten „cut-off“-Effekt in der SAR-Abbildung von kurzen Windoberflächenwellen zu minimieren. Die Werte werden daher auf $L_{min} = 30m$ und $L_{max} = 600m$ (bzw. $k_{max} = 0.2$ und $k_{min} = 0.01$) gesetzt. Die ersten zwei Terme der Gleichung sind positive Beiträge zur Wellenhöhe und die letzten drei sind negative Korrekturen für Fehler unterschiedlicher Herkunft. Die Funktion B_1 enthält die Skalierung der gesamten Spektralenergie E_{IS} durch das Rauschverhältnis in zwei Bereichen des Spektrums.

Der zweite Term $a_2 B_2$ repräsentiert die Windeinwirkung und enthält die Windgeschwindigkeit U_{10} in der analysierten Subscene, die mit dem XMOD-2 SAR-Windalgorithmus bestimmt wird. Die Terme $a_3 B_3$ und $a_4 B_4$ sind bzw. Korrekturen für die Auswirkungen von einerseits

kurzen Verstärkungen des Bildes durch Wellenbrechung und andererseits langwelligen Windstreifen Strukturen im SAR-Bild. Solche Strukturen führen zu einer spektralen Peaks, welche nicht direkt mit dem Seegang verbunden sind.

Der letzte Term $a_5 B_5$ ist eine Korrektur für spektrale Beiträge durch extra lange Strukturen, wie Schiffswellen, Strömungskanten oder Sandbänke. Für weitere Details zur Methodik sei auf Pleskachevsky et. al., (2016) verwiesen.

Wie oben erwähnt wurde der SAR-Seegangsalgorithmus wurde mit Bojendaten aus der Nordsee angepasst. Nicht durch Seegang erzeugte Signaturen im SAR-Bild, wie Schiffe, Windanlagen oder Bojen, Strömungskanten und brechende Wellen sowie Windböen und Fronten, wurden ausgefiltert. Nach der Analyse erfolgte zusätzlich eine Kontrolle. Die mathematischen Funktionen, die Datenfilterung, die Kontrolle, die Steuerung und die Ausgabe wurden in dem automatischen Seegangsprozessor-Programm, Sea State Processor (SSP), zusammengefügt. Diese Verfahren wurde im Rahmens des Projekts neu ge“tuned“. Eine vollautomatische Version des Seegangsprozessors SSP für eine Rasteranalyse der Satellitenszenen wurde entwickelt und zur Bereitstellung eines operationellen Services an der DLR Empfangsstation in Neustrelitz ausgeliefert. SSP errechnet die signifikante Wellenhöhe mit einer Abweichung von 25cm (RMSE) und einer Streuung (Scatter-Index SI) von 20% im Vergleich zu den Bojenmessungen in der Deutschen Bucht (Kollokation +/-30min in der Zeit, Umkreis bis zu 5km).

Verbesserte Datenausbeute

Durch Erhöhung der räumlichen Auflösung durch Verkleinerung des Analysefensters und Re-sampling der Bilddaten aus SAR-Szenen wurde eine deutliche Verbesserung der Datenausbeute erreicht. Abb. 11 veranschaulicht die Veränderungen durch die Erhöhung der Auflösung. Durch diese Veränderungen können auch Bereiche nahe der Küstenlinie besser untersucht werden können.

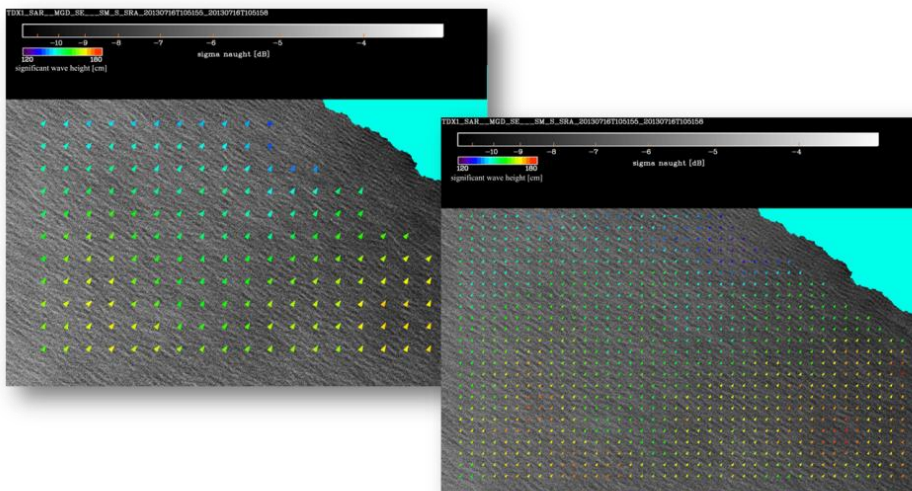


Abb. 11: Verbesserung der Bildauflösung über das Verkleinern des Analysenfensters.

Filter gegen Bildkontamination

Gerade im Küstenbereich treten häufig starke, aber lokal begrenzte Signale von Schiffen, offshore Konstruktionen, o.ä. auf. Um diese von der spektralen Analyse auszuschließen, werden Filter eingesetzt. Sie reagieren darauf, dass sich Störobjekte durch eine hohe Radar-Rückstreuung von ihrer Umgebung abheben. Lokale „Bildverunreinigungen“ können bei Verkleinerung des Analysefensters das Spektrum noch stärker verfälschen als bei der Verarbeitung größerer Subszenen. In Abb. 12 sind exemplarisch einige Effekte von Störobjekten bei Spektralanalyse dargestellt.

Erweiterung der Windfeldbestimmung

Im Rahmen der Verbesserung des Windprozessors wurde die Windfeldbestimmung für den Wide-ScanSAR Modus von TS-X entwickelt, sowie den Interferometric Wide Swath Mode von Sentinel 1A und anhand von Beispielen in der Nordsee erprobt. Abb. 13 und 14 zeigen Windfelder über der deutschen Bucht in verschiedenen graphischen Aufbereitungen, die aus einer Wide-ScanSAR Szene von TS-X bzw. einer Interferometric Wide Swath Mode Aufnahme von Sentinel 1A ermittelt wurden.

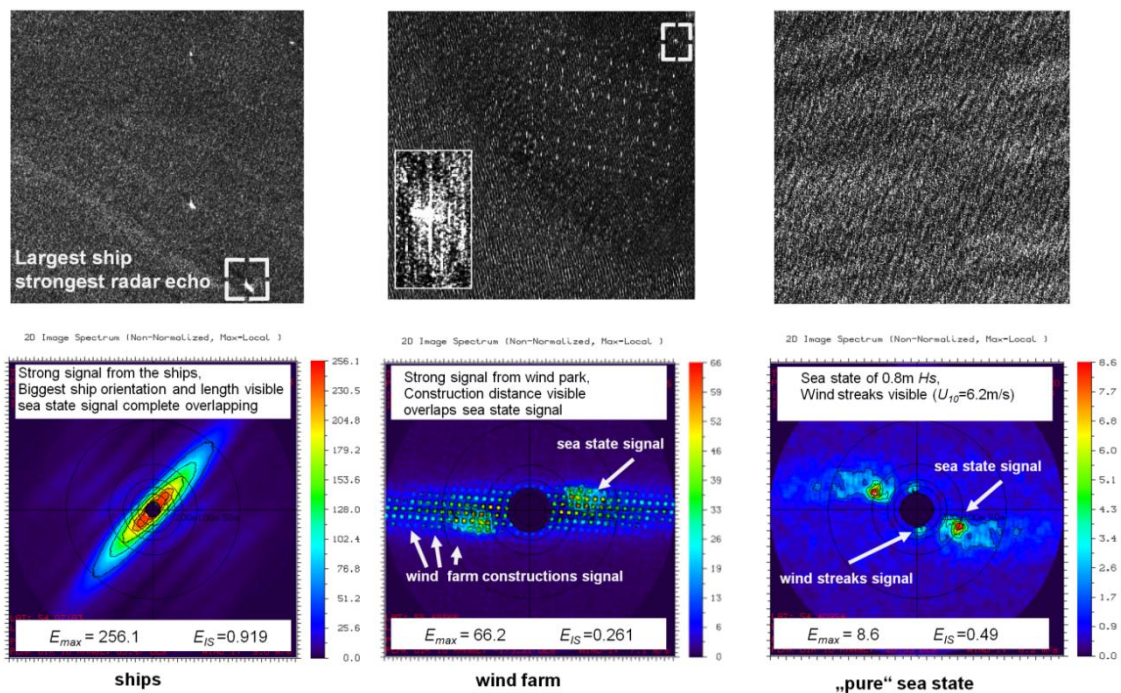


Abb. 12: Vergleich des Einflusses von Störfaktoren wie Schiffe und Windparks auf die Spektralanalyse vor und nach Filteranwendung. Aus Pleskachevsky et al.(2016).

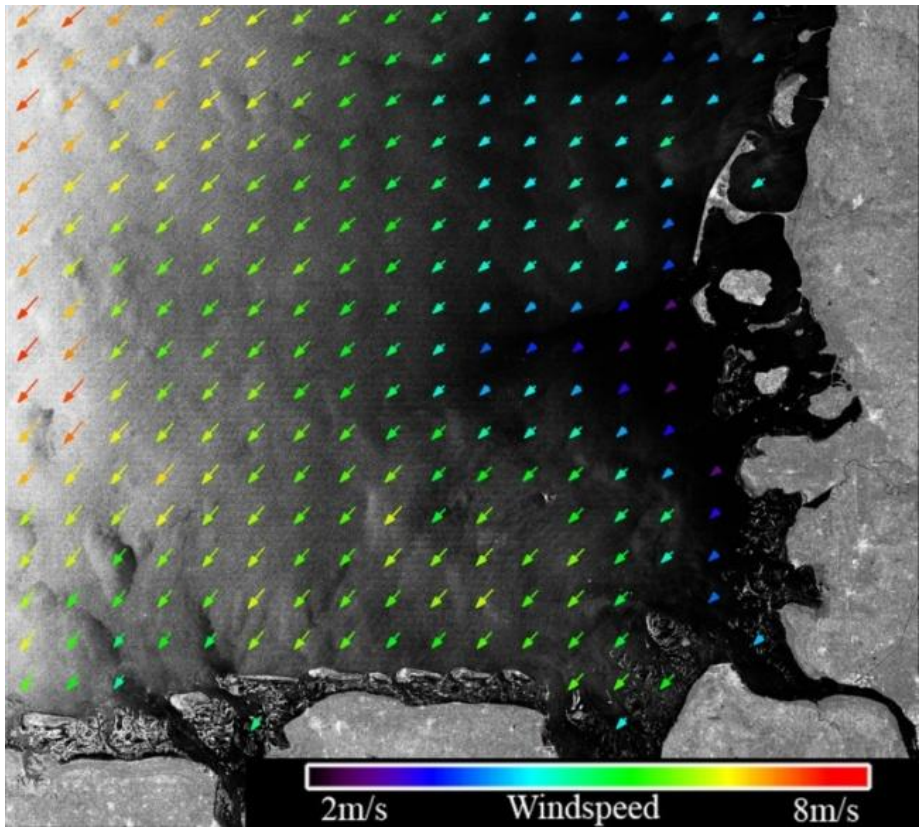


Abb. 13: Windfeld abgeleitet aus einer Wide-Scan SAR Szene der Deutschen Bucht.

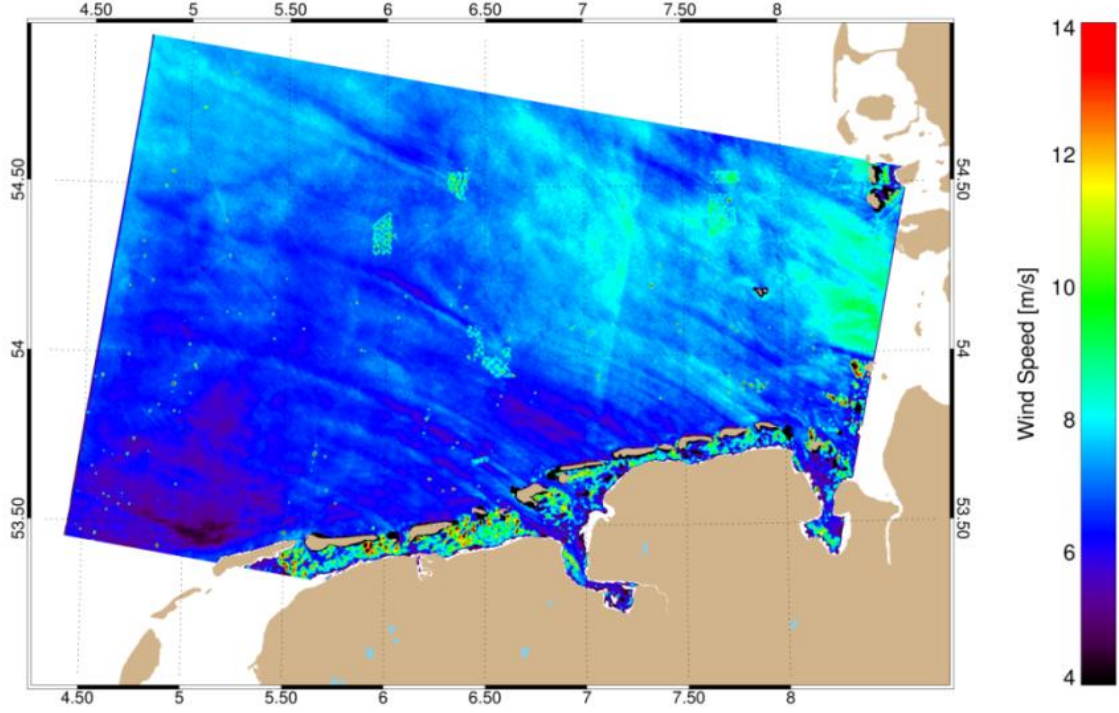


Abb. 14: Windverteilung aus Aufnahme von Sentinel1A im Interferometric Wide Swath Mode.

In Abb. 15 sind die Peak-Wellenlängen im Küstenmodell CWAM und der Stripmap-Aufnahme von TS-X am 24.12.2013 wiedergegeben Gebhardt et al. (2015).

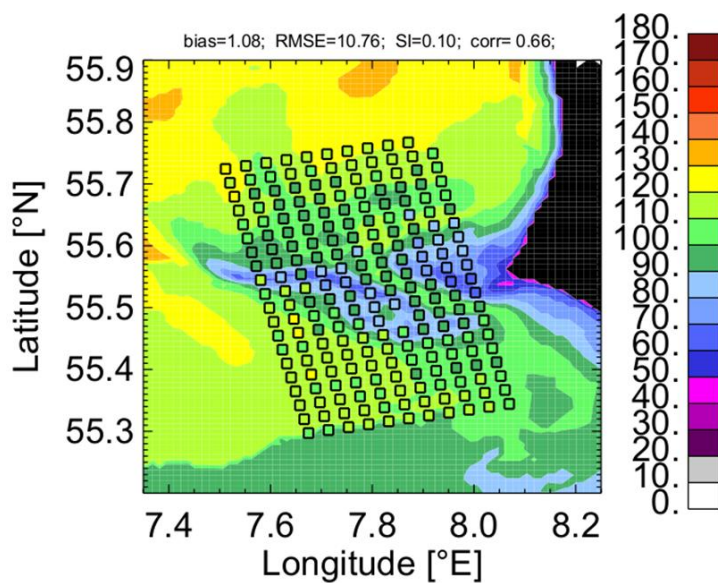


Abb. 15: Peak-Wellenlängen im Küstenmodell CWAM und TS-X am 24.Dez 2013.

Der Vergleich von Punkten aus TS-X/TD-X Messungen mit dem Küsten-Seegangmodell CWAM des DWD (Farbkontouren) und Bojenmessungen wird in Abb. 16 gezeigt.

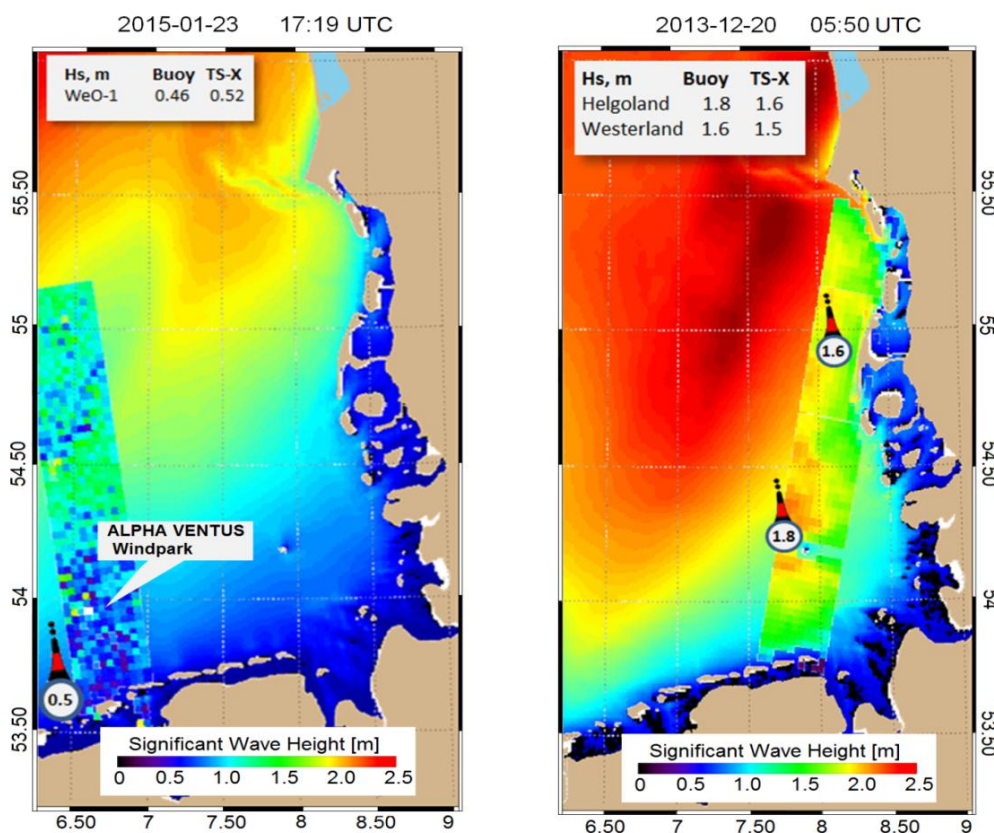


Abb. 16: Vergleich TS-X/TD-X (Punkte), CWAM des DWD (Farbkontouren) und Bojendaten. Links für schwächeren, rechts für stärkeren Seegang (Pleskachevsky et al. 2016).

1.2.4 Ergebnisse Naturmessungen

Vom 22.5. bis 15.9.2014 zeichnete die Seegangsboje vor Baron die Schlüsselgrößen H_s , T_{m01} und Wellenlaufrichtung auf. Seltene Störungen traten auf, wenn die GPS-Sendeantenne bei starkem Seegang kurzzeitig in die See eintauchte. In Abb. 17 sind exemplarisch für das Zeitfenster 1.6.- 30.8.2014 die Aufzeichnungen der wichtigsten Seegangsgrößen wiedergegeben.

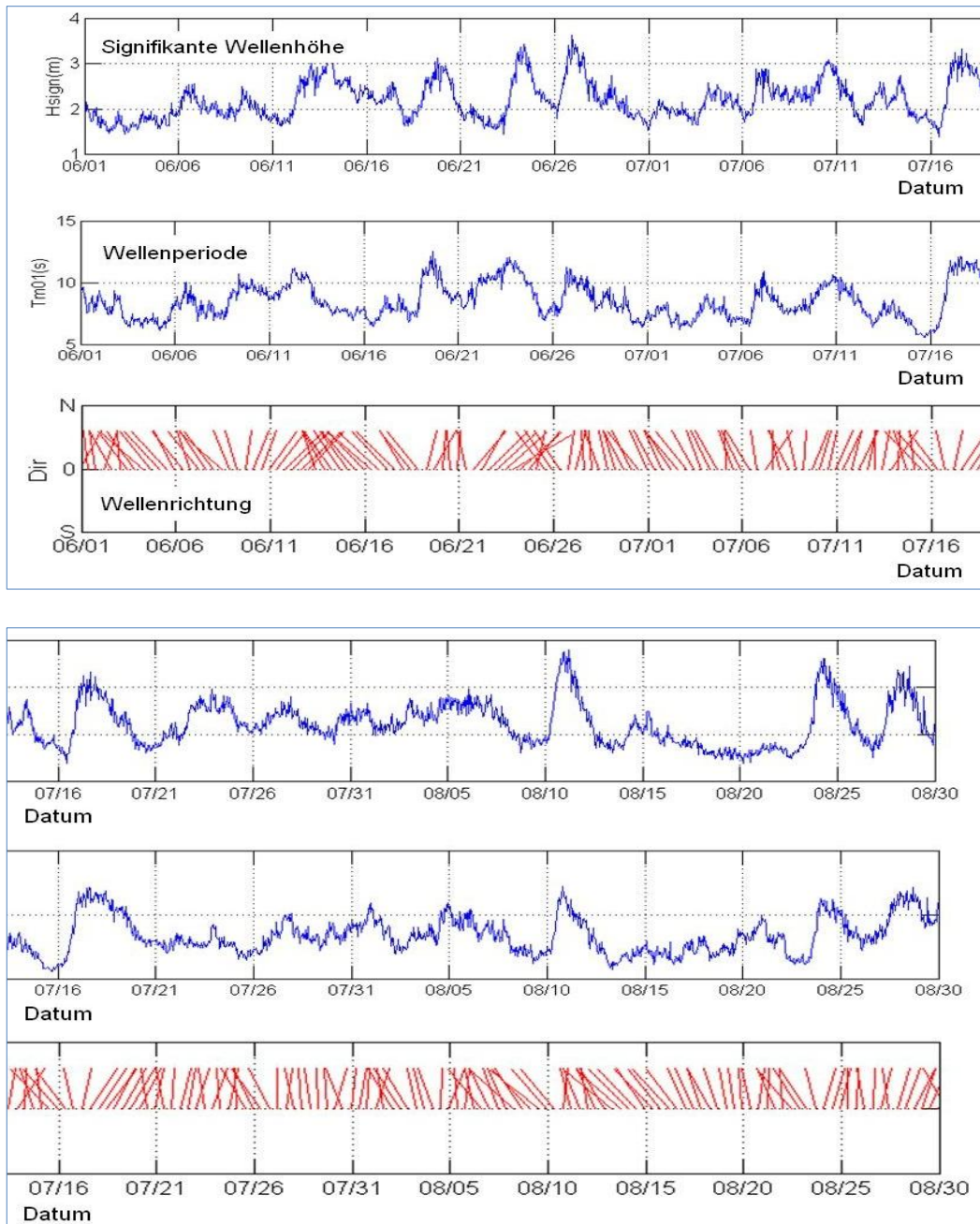


Abb. 17: Zeitreihen von Seegangsgrößen, registriert von der Seegangsboje Baron, Südküste Java, Zeitfenster 1.6. - 30.8.2014.

Die Bojendaten zeigen, dass vor dem Auslegeort Baron im Beobachtungszeitraum signifikante Wellenhöhen von 2-3m, mit Spitzen von > 3,5m erreicht werden. Mittlere Perioden liegen zwischen 5 und 10m, Periodenmaxima > 10m fallen weitgehend auf Maxima von Wellenhöhen. Langen Wellenperioden ließen vermuten, dass das Wellenklima maßgeblich von Fernwellen (Dünung) aus dem Indischen Ozean geprägt ist.

1.2.5 Ergebnisse SAR-Erfassung Seegang

Nach Informationen des BPPT über die Vorauswahl von Untersuchungsgebieten für Seegangsenergie wurden von DLR im 1. Untersuchungsjahr (2012) SAR-TX Szenen von der Südküste Java akquiriert, um mit bereits entwickelten Algorithmen erste Informationen zum Seegang offshore des Küstenabschnitts 107,6°-108,5° E zu erhalten. Zu diesem Zeitpunkt waren noch keine Bojendaten verfügbar. In Abb. 18 ist beispielhaft die Auswertung einer SAR-Szene vom 17.7.2012 westlich des Santolo Beach bei 107°40,5' für Seegang wiedergegeben. Der über vorhandene Algorithmen umgerechneten SAR-Reflexionen geben einen Seegang mit Hs-Wellenhöhen von etwa 1-2m wieder. Die Windfelder in 10m Höhe und die signifikante Wellenhöhe aus den SAR-Szenen wurden mittels der geophysikalischen Model-Funktionen XMOD2 und XWAVE bestimmt.

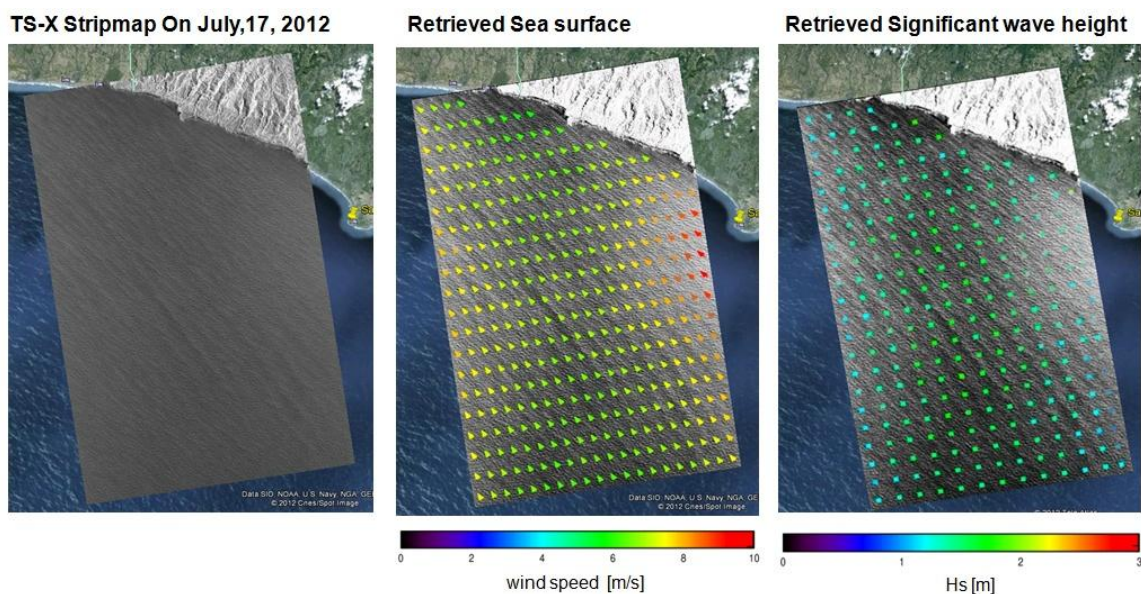


Abb. 18: Erste Tests zur SAR-Detektion des Seegangs westlich Santolo Beach, Südjava.

In Abb. 19 (Google Earth) sind die ins Bild eingefügte Boje, Refraktionen des Seegangs in Küstennähe und die Ausbildung einer Strömungskante zu erkennen. Diese Phänomene beeinflussen den lokalen Seegang an der Bojenposition, zu dem Unterschiede zum Seegang weiter von der Küste entfernt oder auf offener See auftreten. Die analysierten TerraSAR-X Subszenen überdecken bei langen Wellen einen Bereich von 2x2km. Diese Größe ist notwendig zur Erfassung einer ausreichenden Anzahl von Wellenzügen und zur Spektralanalyse. Die Küste sollte hier nicht über 3% der Fläche der Subszenen überschreiten. Daher

ist es nicht möglich, Wellenhöhen aus SAR Bildern direkt an der Boje-Position abzuleiten. Dazu man verwendet die nächstgelegene Subszene in Wellenrichtungsausbreitung.

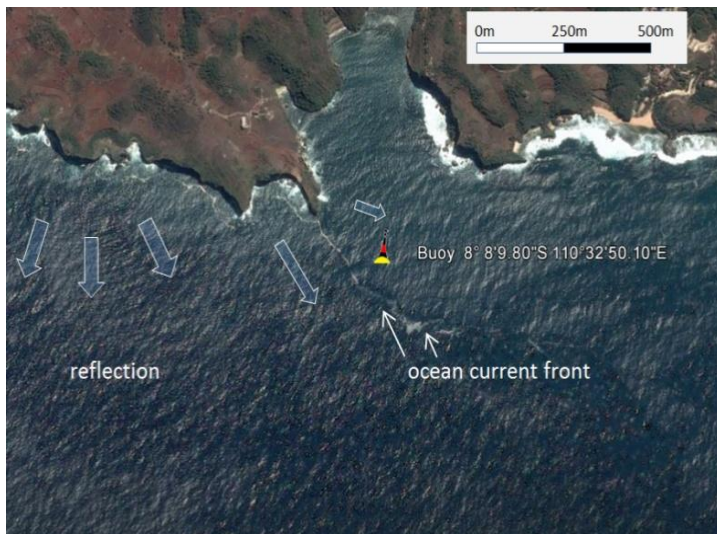


Abb. 19: Optisches Satellitenbild (Google Earth) der Küste vor Baron mit Boje. Eine Strömungskante (front) teilt den Bereich, in dem Refraktion des Seegangs auftreten.

Abb. 20 zeigt eine TerraSAR-X Szene mit Boje-Position am 29.04.2014, 22:22 UTC (Bild links). In einer Subszene ist die Ausbreitung der langen Dünung zur Küste mit Peak-Wellenlängen um 297m sowie eine leichte Windsee als ein Kreuz-System zu erkennen (Bildmitte). Die Wellenhöhe, sichtbar im Spektrum Bild rechts, liegt im SAR Bild bei 1,7m.

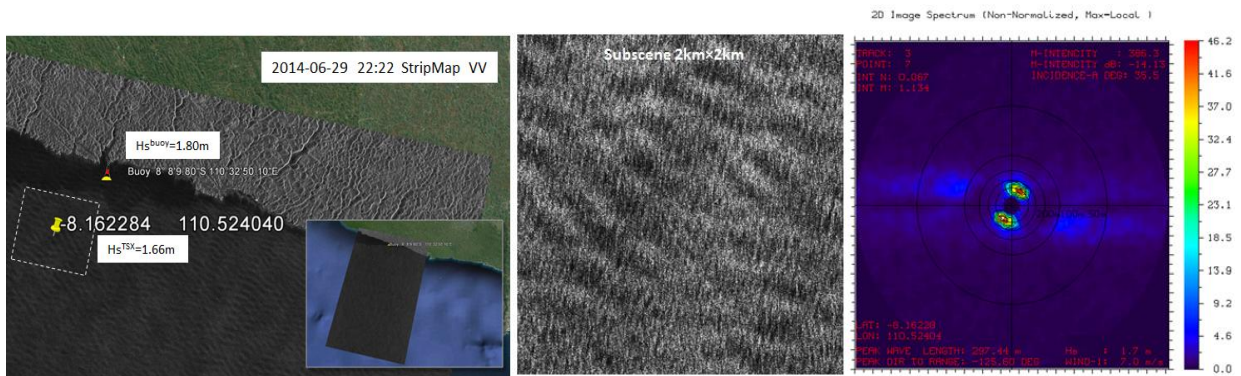


Abb. 20: TerraSAR-X Szene mit der Boje-Position vom 29.04.2014, 22:22 UTC (links). Dünung mit leichter Windsee vergrößert (Mitte). Seegangsspektrum (rechts).

Die räumliche Verteilung von Wellenhöhen und Wellenlängen des Seegangs aus SAR-Szenen, aufgenommen am 29.6.2014 und 27.8.2014 ist exemplarisch für die Südküste bei Baron in Abb. 21 dargestellt. Die Wellenlängen variieren offshore zwischen 300 und 350m und verkürzen sich erwartungsgemäß erst in unmittelbarer Küstennähe.

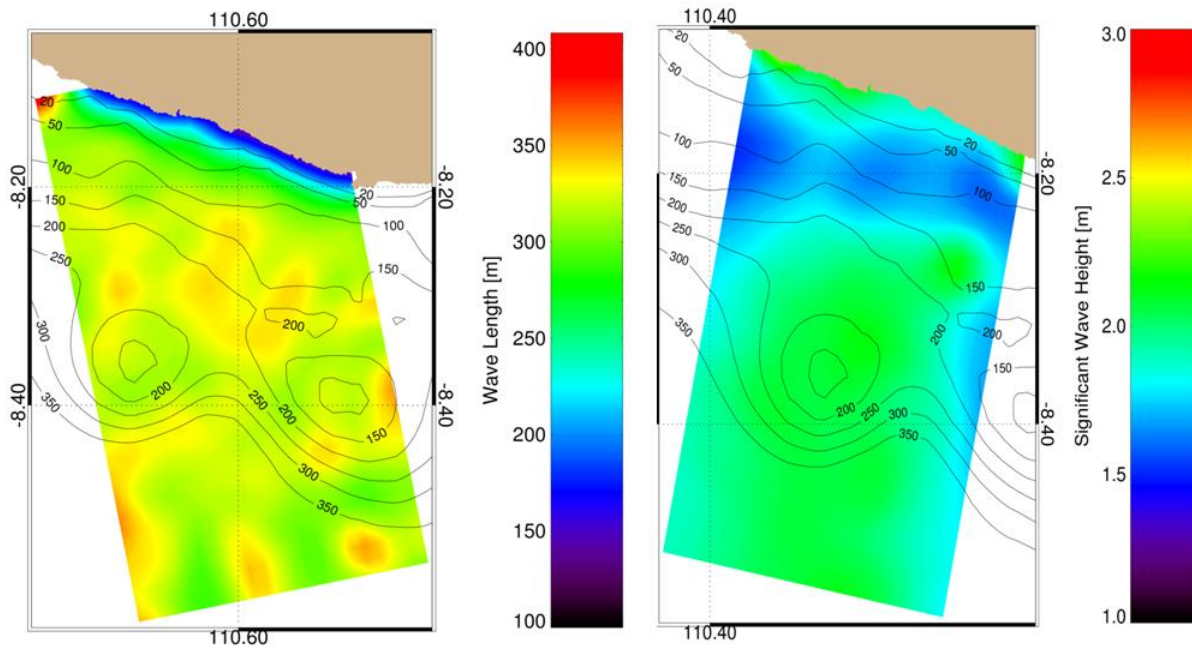


Abb. 21 : Exemplarische Ableitung von Wellenlängen und Wellenhöhen des Seegangs aus SAR-Szenen vom 27.8.14 und am 29.6.14 (zur Lage vgl. Abb. 2).

Pleskachevsky, A., Lehner, S., Heege, T., and Mott, C. (2011): Synergy and fusion of optical and synthetic aperture radar satellite data for underwater topography estimation in coastal areas, *Ocean Dynamics*, 61

Gebhardt, C., Pleskachevsky, A., Rosenthal, W., Lehner, S., Hoffmann, P., Kieser, J., and Bruns, T. (2015): Comparing wavelengths simulated by the coastal wave model CWAM and TerraSAR-X satellite data, *Ocean Modelling*, 40, 967-973, doi: 10.1016/j.ocemod.2015.10.003.

Pleskachevsky, A., Lehner, S., Hoffmann, P., Kieser, J., Bruns, T., Lindenthal, A., Janssen, F., und Behrens, A. (2015): Satellite-based radar measurements for validation of high-resolution sea state forecast models in German Bight, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-7 (W3), Seiten 983-990, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-983-2015.

Pleskachevsky, A., Rosenthal, W., und Lehner, S. (2016): Meteo-Marine Parameters for Highly Variable Environment in Coastal Regions from Satellite Radar Images, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, im Druck.

Suchandt, S., Runge, H. (2014): High-Resolution Surface Current Mapping Using TanDEM-X ATI. In: *EUSAR 2014 – 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Seiten 1310-1313. VDE Verlag GmbH Berlin, Offenbach, Germany. EUSAR 2014, 03.-05. Jun. 2014, Berlin, Deutschland. ISBN 978-3-8007-3607-2. ISSN 2197-4403

Jacobsen, S., Lehner, S., Pleskachevsky, A., Miguel, B., Rosenthal, W., Mayerle, R. (2014): Analysis of the spatial variability of meteo-marine parameters: An opportunity in assessing ocean renewable energy potential with high resolution spaceborne

SAR. In: Proceedings of the 2014 IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium and 35th Canadian Symposium on Remote Sensing, Seite 1. IEEE Xplore. IGARSS 2014, 13. - 18. Jul. 2014, Québec, Kanada. ISBN 978-1-4799-5774-3.

Jacobsen, S., Lehner, S., Bruck, M., Gies, T., Pleskachevsky, A., Rosenthal, W., Bruns, T. (2014): Investigation of coastal wave fields variations with TerraSAR-X. In: Geophysical Research Abstracts, 16, Seite 1. EGU 2014, 27 April – 02 May 2014, Vienna, Austria. Volltext nicht online.

1.2.6 Ergebnisse Seegangs- und Energiemodellierung

Nach der Entwicklung des CWM erfolgten die Seegangs- und Energieberechnungen über lange und mittlere Zeitskalen. Für langzeitige Betrachtungen wurden aus einem 8 Jahres-Modelldatensatz zum Seegang (Mai 2004 - April 2013) entlang der Südküste Javas 18 Bezugspunkte entlang der 2000m Tiefenlinie verteilt (Abb. 22) und wellenenergetisch für die Südküste als repräsentativ betrachtet.

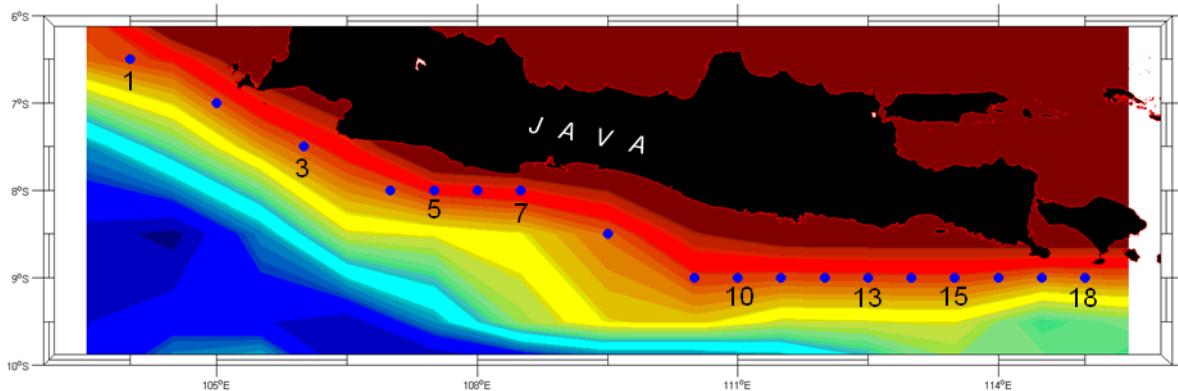


Abb. 22: Verteilung von Bemessungspunkte 1-18 zur Abschätzung von H_s , T_{m01} und P aus dem Modell CWM.

Die Modellergebnisse die jährlich gemittelten Wellenhöhen H_s , Wellenperioden T_{m01} und Wellenenergie P sind in Tab 2 zusammengefasst. Im Bemessungszeitraum 2004 – 14 (10 Jahre) liegen Wellenhöhen entlang der Südküste bei $H_s = 2,04\text{m}$ und die Perioden bei 10,69. Im Mittel liegt H_s in Trockenzeiten um etwa 20% höher als in Regenzeiten. Variationen der Seegangshöhe im Bemessungszeitraum sind wenig ausgeprägt, die H_s -Werte liegen bei max. 2,13m und min bei 1,89m.

Die über 10 Jahre gemittelte Seegangsenergie entlang der gesamt Südküste von Java ergibt einen Wert von 22kW/m. Sie überschreitet damit den für die meisten Konverteranlagen wirtschaftlich erforderlichen Minimalwert von 20kW/m. Den mittleren Seegangshöhen entsprechend sind die Variationen der mittleren Seegangsenergie im Bemessungszeitraum wenig ausgeprägt. Aufgrund der quadratischen Beziehungen zwischen H_s und P wäre die Energieausbeute in Trockenzeiten mit 27,34kW/m um mehr als 35% ergiebiger als in Regenzeiten (17,38kW/m).

Bei Betrachtung der räumlichen Variationen von H_s und T_{m01} zwischen den Bemessungspunkten (Tab. 3) zeigen sich bei den Wellenhöhen entlang der Südküste Javas im Zeitraum 2004-14 keine als Tendenz interpretierbare Besonderheiten. Den höchsten Seegang mit $H_s=2,14\text{m}$ schätzt das Modell im Seegebiet etwa 150km Ostsüdost vor Baron. Offshore Baron selbst liegt $H_s = 2,02\text{m}$. Dagegen steigen die Wellenperioden tendenziell von Ost nach West an und erreichen mit $T_{m01}= 11,14\text{s}$ ihren höchsten Wert.

Tab. 2: Jährlich gemittelte Hs, Tm01 und P entlang der Südküste Javas.

Year / season	Hs (m)			Tm01 (s)			Power P (kW/m)		
	annual	dry	rainy	annual	dry	rainy	annual	dry	rainy
2004-2005	2.08	2.29	1.87	11.04	11.20	10.88	23.52	28.93	18.73
2005-2006	2.13	2.33	1.93	10.93	11.09	10.78	24.50	29.70	19.85
2006-2007	2.08	2.33	1.83	10.82	11.08	10.55	22.97	29.55	17.34
2007-2008	2.10	2.28	1.91	10.61	10.79	10.43	22.94	27.70	18.69
2008-2009	2.05	2.25	1.85	10.69	10.96	10.42	22.07	27.31	17.49
2009-2010	1.89	2.14	1.64	10.56	10.78	10.33	18.55	24.27	13.67
2010-2011	1.98	2.13	1.84	10.28	10.57	9.99	19.94	23.61	16.65
2011-2012	2.02	2.19	1.85	10.43	10.56	10.30	20.96	24.93	17.38
2012-2013	2.07	2.28	1.85	10.77	10.91	10.63	22.66	27.98	17.95
2013-2014	2.04	2.34	1.74	10.81	10.93	10.69	22.19	29.43	16.03
Mean 10 years	2.04	2.26	1.83	10.69	10.89	10.50	22.03	27.34	17.38

Tab. 3: Räumliche, jährlich gemittelte Wellenhöhe, Wellenperiode und Wellenenergie an den Bemessungspunkten an der Südküste Javas.

Reference Points	Hs (m)			Tm01(s)			Power (kW/m)		
season	annual	dry	rainy	annual	dry	rainy	annual	dry	rainy
1	2.03	2.26	1.81	10.33	10.54	10.13	21.08	26.58	16.31
2	1.97	2.19	1.75	10.33	10.53	10.13	19.78	24.84	15.38
3	2.13	2.39	1.87	10.23	10.31	10.15	22.9	29.05	17.53
4	2.13	2.39	1.87	10.23	10.31	10.15	22.9	29.05	17.53
5	2.06	2.28	1.85	10.58	10.78	10.38	22.22	27.66	17.47
6	2.02	2.22	1.82	10.65	10.89	10.42	21.44	26.55	16.97
7	2.01	2.21	1.81	10.68	10.92	10.45	21.19	26.21	16.8
8	2.00	2.21	1.8	10.69	10.9	10.49	21.19	26.25	16.76
9	2.02	2.23	1.81	10.68	10.87	10.5	21.43	26.58	16.92
10	2.01	2.22	1.8	10.69	10.86	10.52	21.37	26.47	16.9
11	2.14	2.37	1.91	10.58	10.7	10.46	23.89	29.72	18.77
12	2.12	2.34	1.89	10.68	10.81	10.54	23.62	29.28	18.63
13	2.10	2.32	1.89	10.76	10.91	10.6	23.46	28.98	18.6
14	2.08	2.28	1.87	10.84	11.03	10.65	23.07	28.39	18.39
15	2.04	2.24	1.85	10.94	11.17	10.71	22.57	27.66	18.09
16	2.00	2.19	1.82	11.07	11.35	10.8	21.96	26.8	17.7
17	1.97	2.15	1.79	11.06	11.33	10.79	21.29	25.97	17.17
18	1.91	2.08	1.74	11.14	11.42	10.86	20.15	24.52	16.3

Zur Verdeutlichung der saisonalen Variationen von Hs, Tm01 und P innerhalb eines Jahres, wurde exemplarisch das Jahr 2013-14 innerhalb des Projektzeitraums gewählt. Für einen der Südküste Javas vorgelagerten Meeresstreifen von 30 nautischen Meilen wurden CWM-Simulationen für einen Bemessungszeitraum von jeweils 30 Tagen durchgeführt. Die Modellergebnisse für Hs sind in Abb. 23, für Tm01 in Abb.24 und für Power P in Abb. 25 wiedergegeben.

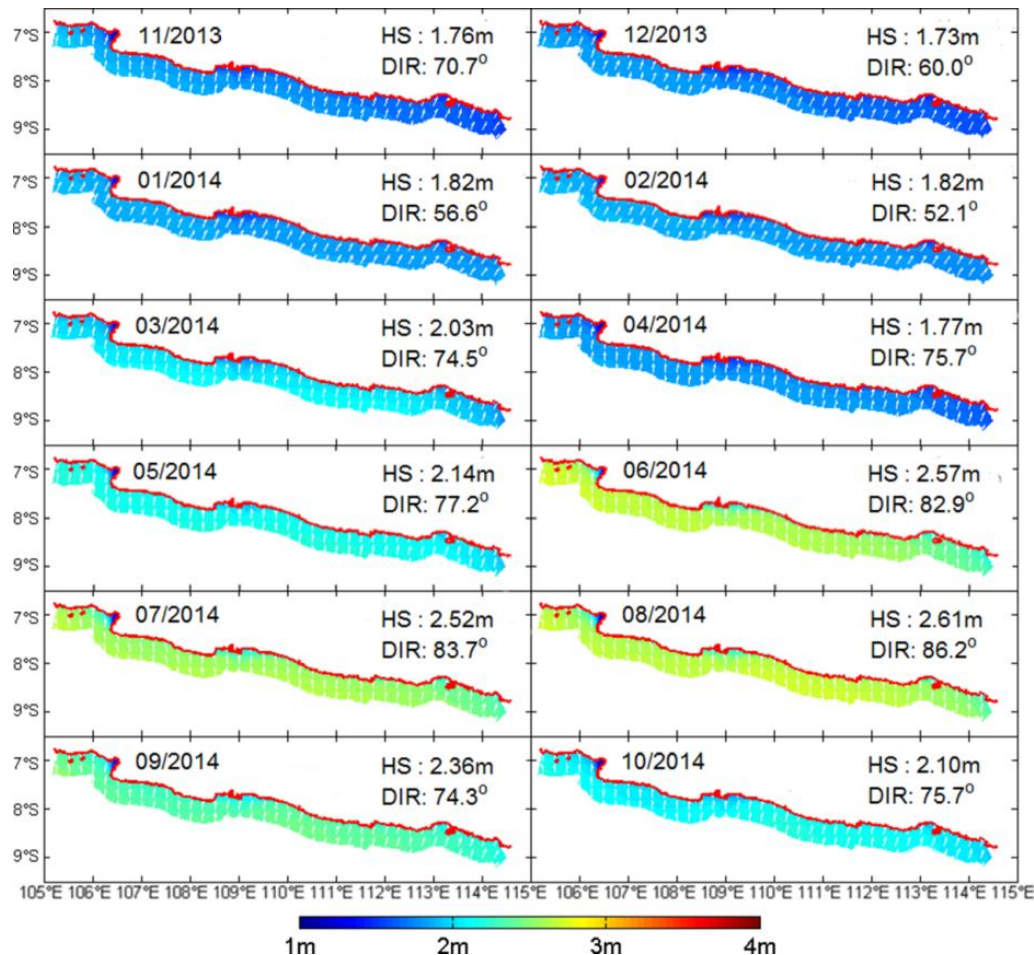


Abb. 23: Saisonale Variation der monatlich gemittelten Hs entlang der Südküste Javas. DIR gibt die mittlere Richtung des Seegangs an. Gemäß SWAN-Koordinatensystem ist E = 0°. Die fortlaufende Grad-Einteilung erfolgt gegen den Uhrzeigersinn.

Die monatlichen Veränderungen von Hs (Abb. 23) fallen in den Monaten November bis April/Mai 2014 mit 1,76m - 2,03m eher moderat aus. Danach steigen die Wellenhöhen während der Trockenzeit von Mai bis Oktober mit Variationen zwischen 2,14m bis 2,61m an. Ausprägungen von Unterschieden entlang der Südküste sind unauffällig. Bei den mittleren Wellenperioden (Abb. 24) sind saisonale Unterschiede von Regenzeit und Trockenheit zwar sichtbar, aber weniger ausgeprägt als bei Hs. Das Modell simuliert relativ niedrige Perioden bei 6,5s für Oktober und November und lange Perioden bei 8,5s für Mai und Juni. In den anderen Monaten treten intermediäre Perioden auf. Tendenziell sind auch bei den Monatsbetrachtungen die Wellenperioden im Ostteil der Südküste länger als im Westen.

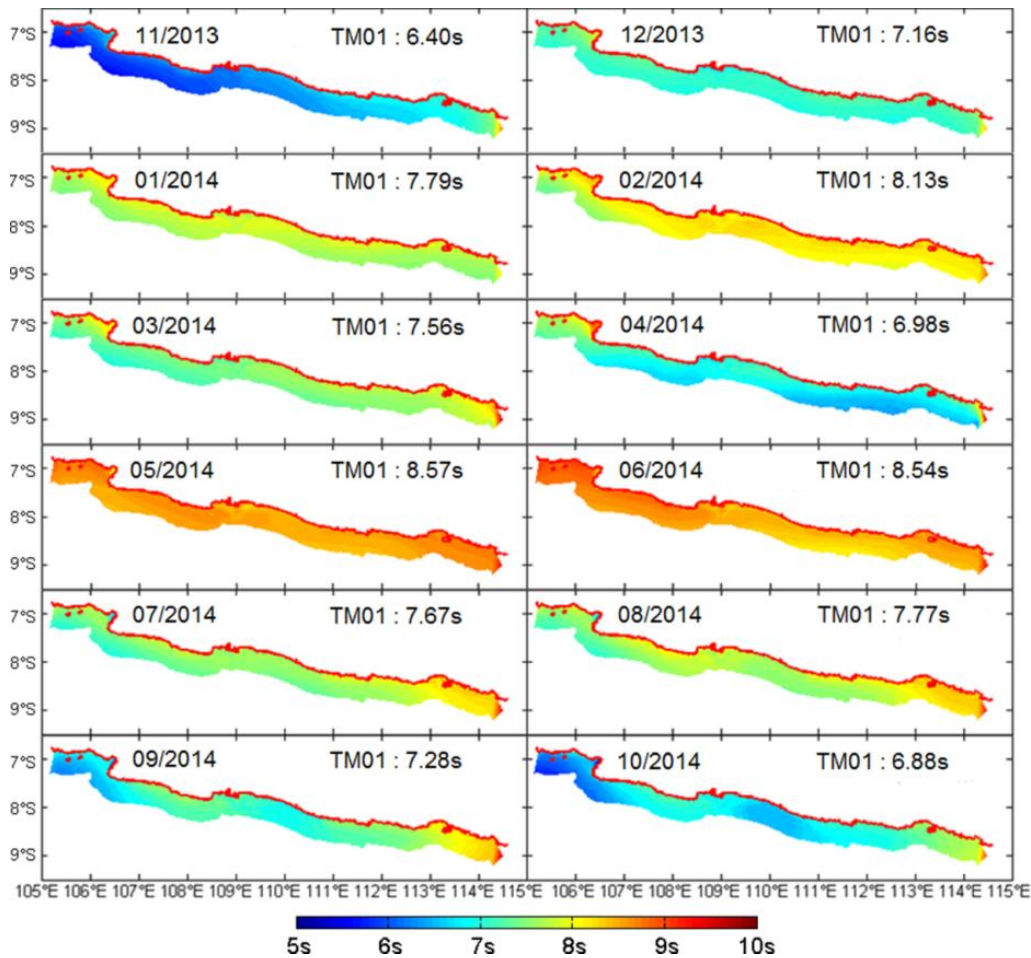


Abb. 24: Saisonale Variation der monatlich gemittelten Tm01 entlang der Südküste Javas.

Die monatlichen Veränderungen der Seegangsennergie in Abb. 25 zeigen erwartungsgemäß Parallelen zur Entwicklung der Wellenhöhen in der Trocken und Regenzeit. Im Zeitfenster 11/2013 bis 4/2014 und 10/2014 lagen die modellierte mittlere Seegangsennergie entlang der Südküste bei 12-18,5 Kw/m. Von 05/2014 bis 09/2014 treten Energiewerte zwischen 23 und 32,5 kw/m auf. Regionale Unterschiede entlang der Südküste erscheinen nicht systematisch verteilt. Wie aus dem Winkel „TDIR“ erkennbar ist, hat Dünung aus SW den größten Anteil am Energieaufkommen. Bei den TDIR-Angaben liegt gemäß Konvention im SWAN-Koordinatensystem E bei 0° und N bei 90° (und nicht bei 0°). Schwache lokale Winde mit Geschwindigkeiten von 3-5m/s tragen über das Jahr mit lediglich 1kW/m zum monatlichen Energieaufkommen bei und spielen eine nur untergeordnete Rolle für die Energiebemessung.

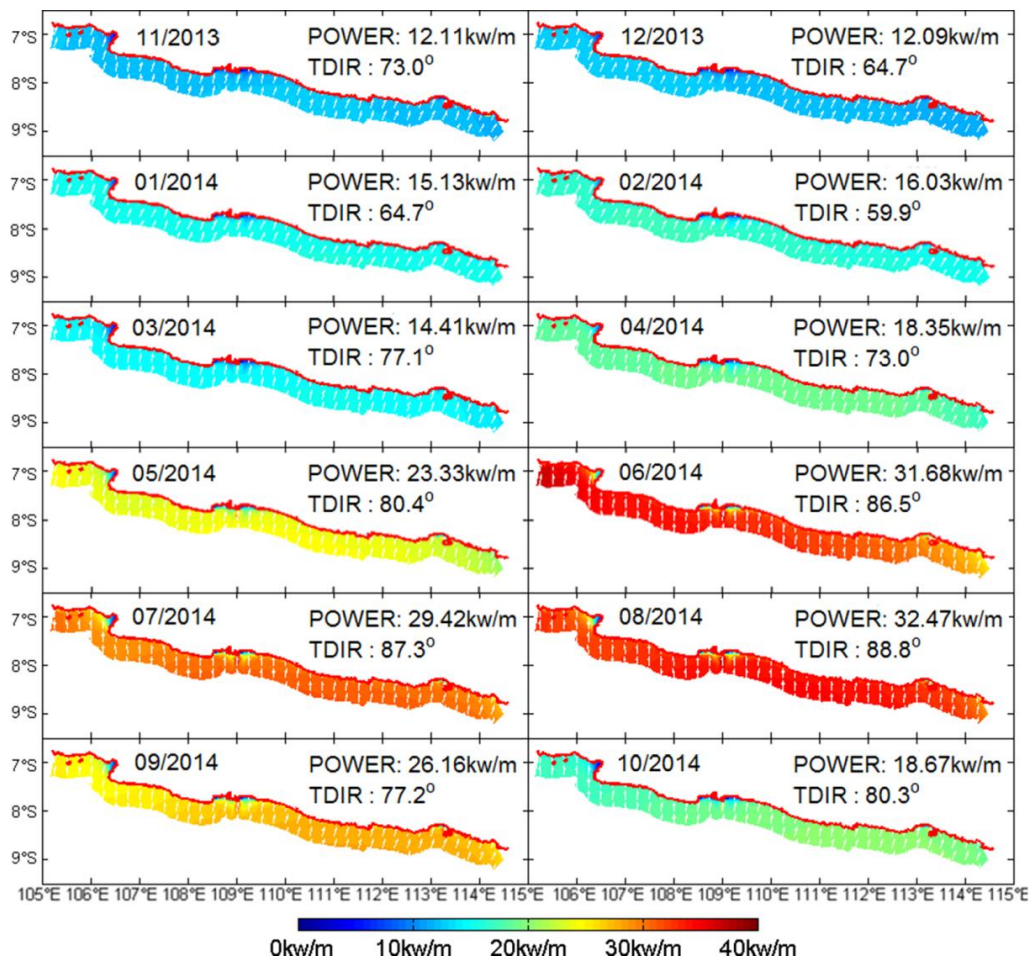


Abb. 25: Saisonale Variation der monatlich gemittelten Seegangsenergie entlang der Südküste Javas. TDIR ist die mittlere Richtung des Power-Transports. Gemäß SWAN-Koordinatensystem ist E = 0°. Die fortlaufende Grad-Einteilung erfolgt gegen den Uhrzeigersinn.

Die Auswahl geeigneter Gebiet zur Gewinnung von Seegangsenergie durch Konverter-Farmen ist ein Funktion aus vorherrschenden Energieverhältnissen, technischen Machbarkeiten zur Gewinnung der Energie, ökonomischer Nutzen und Umweltverträglichkeit. Für das Screening geeigneter Gebiete entlang der Küste werden folgende Eignungskriterien vorgeschlagen:

- Jährliches Aufkommen an Seegangsenergie soll 20kW/m übersteigen
- Installation von Konverter-Farmen in Wassertiefen 30m – 200m
- Küstenentfernung weniger als 12 nautische Meilen (Nobre 2009, Falcao 2010)

Abb. 26 zeigt die Ergebnisse von Energieberechnungen aus CWM-Simulationen unter Anwendung der angegebenen Filterkriterien. Entlang der Südküste Javas zeichnen sich Regionen mit unterschiedlichen Energieintensitäten ab, die sich für die Installation von Konverteranlagen eignen. Vielversprechende Küstenzonen befinden sich im Zentralabschnitt von Java, die mit den Bezeichnungen „A“ und „B“ versehen sind. Gemäß voraus gegangener

Energiebetrachtungen eignen sich die westlichen Abschnitte der Südküste Javas weniger zur Energiegewinnung, weil die von Dünung schwächer ausgeprägt ist und die Wellenenergie unter 20mW/m abfällt. Obwohl im östlichen Küstenabschnitt die Energiewerte höher liegen, fallen die Wassertiefen offshore rasch unter 200m ab. Der Aufwand zur Verankerung von Konvertern am Seegrund wird schwieriger und kostspieliger, so dass sich, gemäß Eignungskriterien, diese Zonen zur Energiegewinnung wenig eignen, obwohl das Energieaufkommen dort akzeptabel ist.

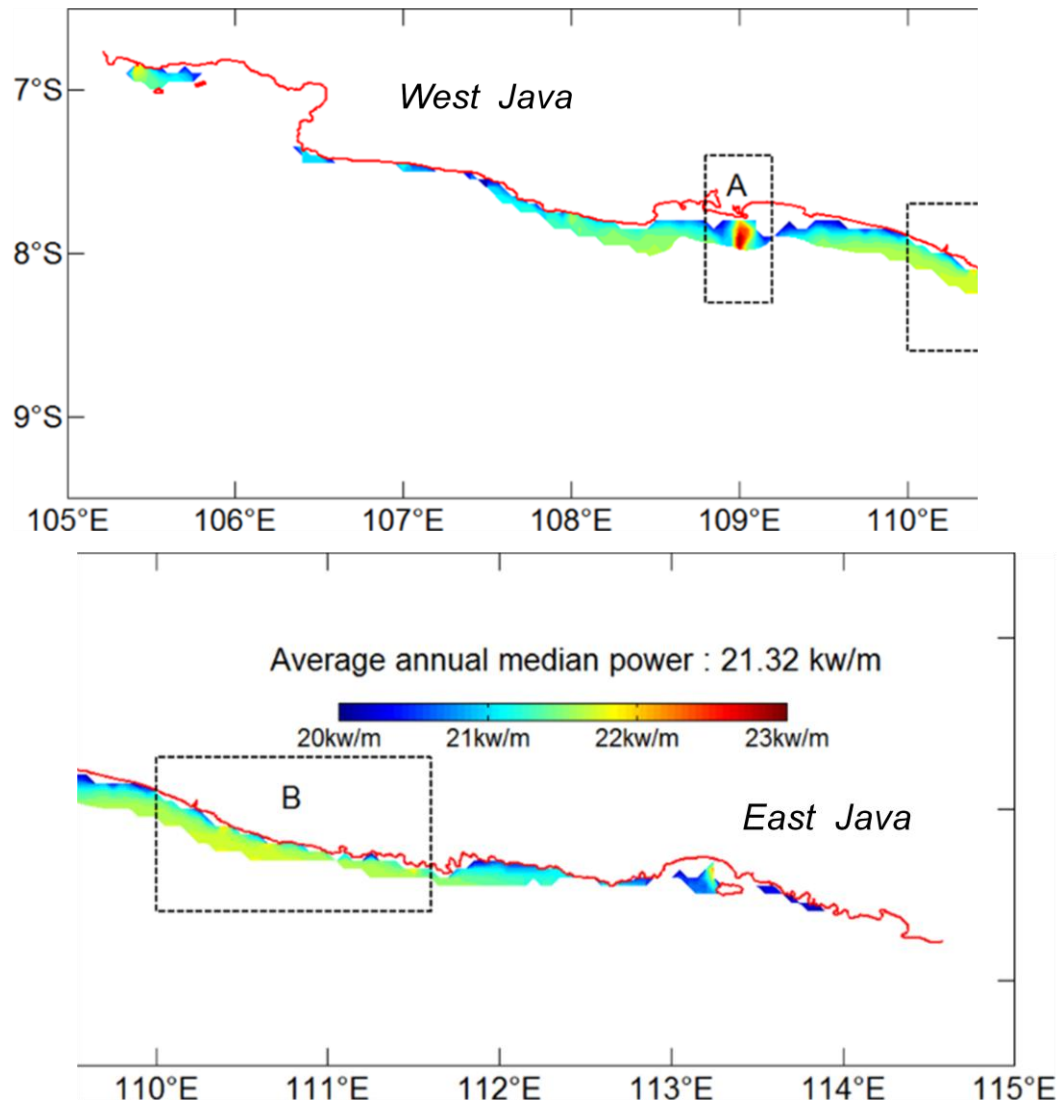


Abb. 26: Zur Gewinnung von Seegangsenergie geeignete Meereszonen entlang der Südküste von Java, gemäß o.a. Eignungskriterien Energiepotential, Wassertiefe und Küstenentfernung.

Die zentralen Regionen der Südküste von Java sind vor dem Hintergrund der angewandten Kriterien zur Energiegewinnung aus Seegang geeignet. Die Hauptenergie wird aus dem Indischen Ozean durch Dünung in das Küstenmeer Javas eingetragen, während lokale Winde wellenenergetisch mit 0,5KW/m/Jahr eine nur geringe Rolle spielen. Diese sehr

unterschiedliche Gewichtung der Bedeutung lokaler Windwellen und Dünung für Seegangenergie unterscheidet die Südküste Javas z.B. von der Südküste Westaustraliens. Hier besitzt Seegang, der von lokalen Winden erzeugt wird, ein jährliches Energiepotential von 21Kw/m. Dünung schlägt dagegen mit 18kW/m zu Buche. An der Südküste Islands liegen die Energiewerte aus Windwellen bei 22 kW/m und aus Dünung bei lediglich 7 kW/m.

1.2.6 Ergebnisvergleiche SAR

Vergleich SAR-Analysen mit Naturmessungen

Für den Zeitraum der aktiven Bojenmessungen (Mai-Oktober 2014) wurden alle TerraSAR-X und TanDEM-X Aufnahmen bestellt. Aus dem bestellten Kontingent wurden 11 Aufnahmen erfolgreich aufgenommen. Alle aufgenommenen kollozierten Szenen wurden prozessiert und die Ergebnisse mit den Messdaten der Boje verglichen. Für den Vergleich wurden jeweils Sub-Szenen mit dem Zentrum möglichst nahe der Bojen Position analysiert. Die minimale Distanz beträgt hierbei 1.1km. Die Distanz bei den ersten Messterminen ist wesentlich größer, da hier die genaue endgültige Bojenposition noch nicht bekannt war. Die zeitliche Differenz für die Vergleiche ist maximal 13 Minuten.

Die Wellenhöhen aus TerraSAR-X Szenen und Wave-Rider Buoy Messungen werden in Tab. 4 gegenübergestellt und Abb. 27 graphisch dargestellt. Unterschiede in den Messungen können neben den Messungenauigkeiten der beiden verschiedenen Verfahren auch andere systematische Ursachen haben. So können durch die Bojenposition verhältnismäßig nahe der Küste Reflexions- und Refraktionseffekte auf den Seegang den Seegang lokal verändern. Zudem kann die größere Nähe zur Küste und damit geringere Tiefe im Vergleich zum Messpunkt der SAR Methode, zu größeren Wellenhöhen führen.

Ein ähnlicher Effekt kann durch die Wechselwirkung des Seegangs mit küstennahen Strömungen auftreten. Die Voraussetzung für eine verlässliche Ableitung der Wellenhöhen aus TS-X Szenen ist ein ausreichender lokaler Wind: bei schwachen Wind wird die Wasseroberfläche nicht genügend durch Kapillarwellen aufgeraut. Dies ist jedoch für eine ausreichende Radarreflektion nötig und damit Bedingung um lange Ozeanwellen im SAR-Bild sichtbar zu machen. Eine zusätzliche Abhängigkeit entsteht durch die Beobachtungsgeometrie. Je flacher der Satellit die Szene beleuchtet, desto geringer die Rückstreuung. Daher ist bei flachen Einfallswinkeln die minimal nötige Windgeschwindigkeit größer. Für eine zuverlässige Windableitung sollte der Einfallswinkel im Bereich von $20^\circ < \alpha < 45^\circ$ liegen, und eine minimale Windgeschwindigkeit von $> 3\text{m/s}$ vorliegen. Aus diesem Grund können die Ergebnisse am 2014-06-02 nicht als verlässlich betrachtet werden und werden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Tab. 4: Signifikante Wellenhöhe H_s aus SAR-basierter Auswertung und Messboje. Die jeweilige Entfernung der TS-X Subszene zur Bojenposition ist angegeben.

TerraSAR-X Szene Date, time, Modi, Polarisation	Wave rider, time	Distanz, km	Wave height H_s TerraSAR-X XWAVE_C, m	wave-rider			TerraSAR-X	
				Wave height H_s , m	tm01(s), sec	P-DIR, °	Einfalls- winkel IA, °	f. g. Wind XMOD, m/s
2014-05-25, 11:00 SM VV	11:00	23.8	1.15	1.65	11.10	81.76	45.3	7.4
2014_06_01, 22:30 SM HH	22:30	73.8	1.36	1.77	8.84	89.86	20.2	9.1
2014_06_02, 22:13 SL VV	22:00	1,1	0.38	1.64	8.28	99.09	51.3	7.2
2014_06_11, 10:52 SM VV	11:00	2.03	1.03	1.60	9.02	71.20	28.4	2.3
2014_06_29, 22:22 SM VV	22:30	2.9	1.67	1.81	8.09	94.38	35.5	7
2014_07_19, 11:00 SL VV	11:00	1.05	1.05	2.22	9.96	76.79	46.9	5.7
2014_07_27, 22:13 SL VV	22:00	1.9	2.36	2.41	9.09	91.08	51.4	9
2014_08_12, 22:22 SM VV	22:30	4.5	1.49	1.83	6.98	102.31	35.3	9.8
2014_08_16, 10:52 SM VV	11:00	2.9	1.55	1.99	6.31	105.89	28.4	8.5
2014_08_27, 10:52 SM VV	11:00	2.9	1.31	2.27	9.33	93.23	28.4	6.2
1014_09_07, 10:52 SM VV	11:00	2.9	1.57	1.44	6.57	113.00	28.4	8.2

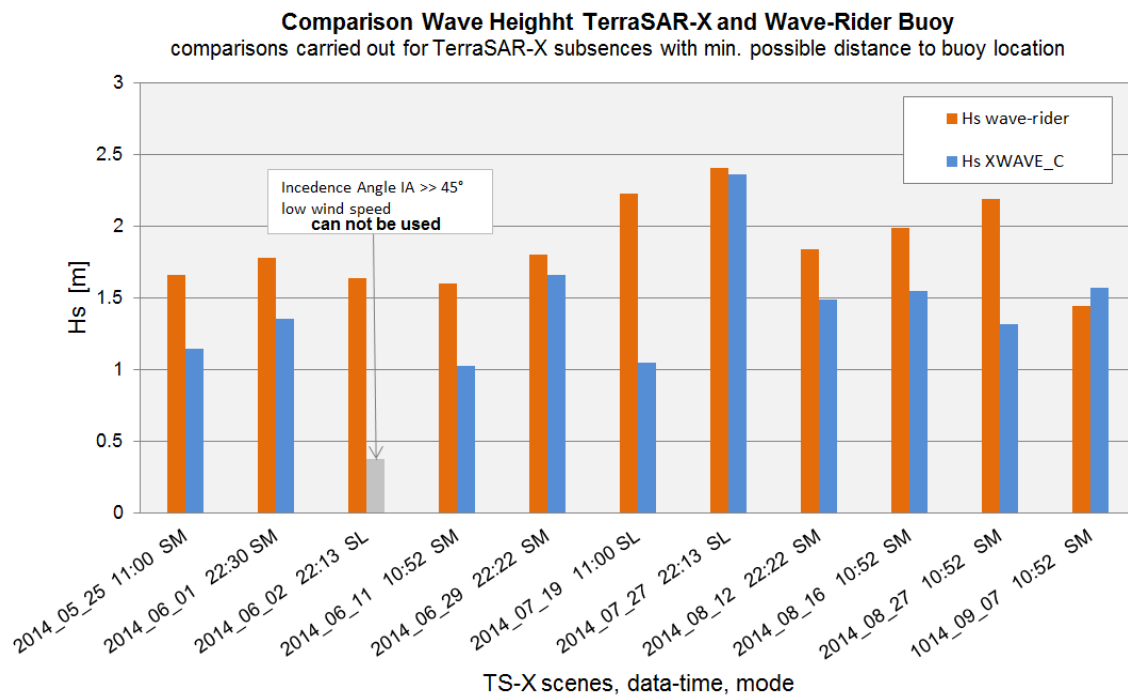


Abb. 27: Signifikante Wellenhöhe H_s aus SAR-basierter Detektion und Bojenmessung.

Die Bojendaten zeigen systematisch höhere Werte. Dies kann unter Umständen durch die bereits erwähnten Effekte wie Reflexion und Refraktion der Wellen von der Küste oder die Interaktion mit den küstennahen Strömungen erklärt werden. Die mit diesen Phänomenen verbundene lokale Wellenaufteilung an der Bojenposition wäre ein plausibler Grund für die beobachteten Unterschiede. Die starke Unterschätzung der Wellenhöhe durch TS-X am 2014-06-02 ist möglicherweise durch das Zusammenspiel von einem sehr flachen Einfallswinkel und der verhältnismäßig geringen Windgeschwindigkeit zurückzuführen.

Vergleich SAR-Analysen mit Modellierung

Mit ENVISAT-Satellitendaten aus 2006 und 2007 über signifikante Wellenhöhen H_s and mittlere Wellenperioden, die DLR in 2013 zur Verfügung stellte, wurde erste Vergleiche zwischen nicht kalibrierten ad hoc Modellen und SAR-Daten durch geführt. Mit dem Seegangmodell wurden vom 1.6. bis 1.7. 2006 hindcast-Simulationen durchgeführt. Innerhalb der Satellitenzugbahnen wurden Beobachtungspunkte für Vergleiche Modell-SAR festgelegt. Als Vergleichsgrundlage wurden 3 Modellierungen mit veränderten settings durchgeführt, um die Effekte zu untersuchen und die settings zu optimieren.

- a) Simulation unter Ausschluss eines linearen Anwachsens der Windstärke
- b) Simulation mit linearem Anwachsen der Windstärke
- c) Simulation mit Glättung des Meeresbodens durch Ausschluss kleinerer Inseln ohne lineares Anwachsens der Windstärke

Untersuchungen und Vergleiche mit vor Ort gemessenen Seegangsdaten konnten in 2013 noch nicht erfolgen, da die Seegangsboje vor Baron noch nicht auslegt war. Für setting a) und c) liegt der RMS-Fehler (root mean squared) bei 0,68 bzw. 0,64. Eine Eliminierung von kleinen Inseln aus der Auswertung bewirkt eine geringe Verringerung des Fehlers. Insgesamt sind (ad hoc) modellierte H_s in der Java See vor allem bei kleineren H_s weitgehend niedriger, als der Satellit sie detektiert.

Für setting c) und b) verursacht ein linearer Anstieg der Windstärke im Modell gegenüber SAR eine Erhöhung des Seegangs im Indischen Ozean (Abb. 17). Der RMS Modell-SAR ist höher als bei den settings a) und c) liegt bei 0,8. Es ist zu vermuten, dass die von Inselgruppen gesäumte Java See im Vergleich zum offenen Indischen Ozean unterschiedliche hydrodynamische Environments aufweisen. Die Ergebnisse des Vergleichs zeigen, dass die Radar- und Modelldaten im Indischen Ozean, für dessen Küsten die Wellenenergie geprüft werden sollen, in der unkalibrierten ad hoc Version des Seegangmodells bereits korrelierbare Zusammenhänge aufweisen. In der Java See treten stärkere Differenzen zwischen Radar und Modell auf.

Nach der Gewinnung von Bojendaten in 2014 und Validierung des Seegangmodells CWM wurden für Vergleiche SAR-Subszenen mit einer möglichst kurzen Distanz zu einem Modellgitterpunkt analysiert. Für Vergleiche zwischen SAR-basierten Welleninformationen mit Bojendaten und Modellwerten wurden jeweils unterschiedliche Subszenen herangezogen. Die Ergebnisse vor Baron in Abb. 28 sind dafür ein Beispiel. Die Vergleichsergebnisse sind in der Tab. 5 aufgelistet und in Abb. 29 zusammenfassend dargestellt. Im Allgemeinen weisen die Modellergebnisse einen höheren Hs-Seegang als SAR aus mit Bias von etwa 1m.

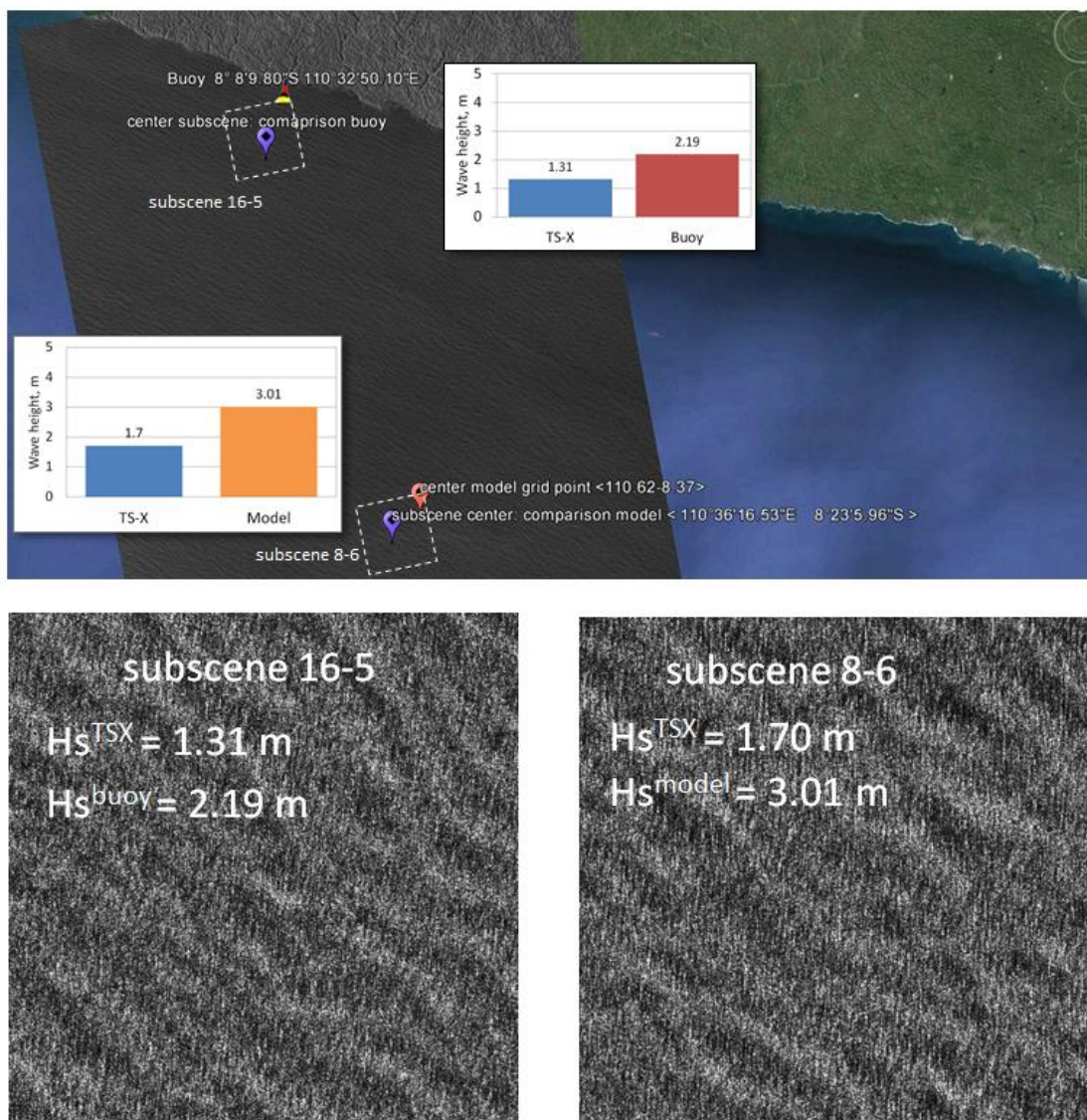


Abb. 28: Ergebnis einer exemplarischen Gegenüberstellung von Hs-Wellenhöhen aus TerraSAR-X Szenen, Bojenmessung und Modell.

Tab. 5: Vergleich von Hs aus SAR-Analysen und Modell CWM. Zur Orientierung sind die gemessenen Bojenwerte ab Mai 2014 mit aufgeführt.

Scene date	Wave Model			Wave Height TerraSAR-X, m	Wave Height Buoy, m
	lon	lat	wave height, m		
20090912	107.62	-7.62	3.99	-	-
20090913	107.62	-7.68	3.62	-	-
20110731	107.50	-7.68	2.77	2.06	-
20111011	108.82	-7.87	2.31	0.94	-
20111022	109.00	-7.87	1.57	-	-
20120114	108.93	-7.87	1.71	-	-
20120125	108.50	-7.87	2.96	2.22	-
20120129	108.25	-8.00	2.58	-	-
20120209	109.25	-7.87	1.38	-	-
20120420	106.50	-7.57	3.35	1.58	-
20120518	107.75	-8.25	2.43	1.59	-
20120518	107.68	-7.82	2.31	1.66	-
20120713	107.68	-7.82	2.37	1.65	-
20120717	107.50	-7.75	2.85	1.67	-
20121021	108.18	-7.87	1.90	0.72	-
20121024	108.32	-7.87	1.86	0.60	-
20130615	110.18	-8.00	1.84	0.51	-
20130618	110.32	-8.07	2.63	-	--
20130626	110.00	-7.93	3.24	0.47	-
20130705	110.37	-8.25	1.63	1.80	-
20130716	110.32	-8.18	2.51	1.56	-
20140525	110.18	-8.12	2.83	1.35	1.65
20140601	109.82	-8.12	2.23	1.65	1.77
20140602	110.57	-8.18	2.29	-	1.64
20140611	110.62	-8.37	2.30	1.48	1.60
20140629	110.50	-8.37	2.64	1.96	1.80
20140719	110.57	-8.18	2.27	0.90	2.22
20140727	110.53	-8.18	3.01	1.69	2.41
20140812	110.50	-8.37	2.34	1.50	1.83
20140816	110.62	-8.37	2.41	1.69	1.99
20140827	110.62	-8.37	3.80	1.48	2.19
20140907	110.62	-8.37	2.11	1.48	1.44

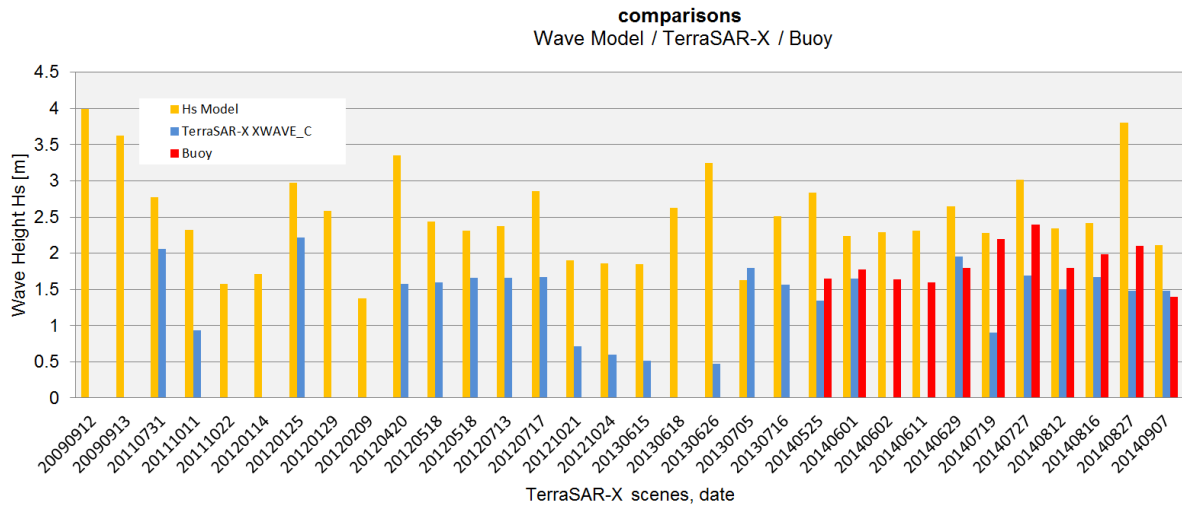


Abb. 29. Vergleich von Hs-Wellenhöhen aus SAR-Szenen und Modell. Die Bojendaten sind zur Orientierung dargestellt.

1.3 Ableitung der Bathymetrie

1.3.1 SAR-Verfahren Bathymetrie

Die Verwendung von Fernerkundungsdaten erlaubt eine flächendeckende Untersuchung der Seegangeigenschaften. Die Merkmale des Seegangs ändern sich, sobald die Wellen in geringere Wassertiefen laufen und Bodenkontakt haben. Die Refraktion und Dispersion von langem Seegang im Flachwasser ist also direkt mit der Wassertiefe verbunden. Die Effekte ermöglichen über die Analyse der Änderung von Wellenrichtung und Wellenlänge Schlussfolgerungen auf die Bathymetrie. In hochaufgelösten TS-X Bildern sind diese Wellen und ihre Refraktion an der Küste gut erkennbar und können als Wellentrajektorien oder „Wellentracks“ nachverfolgt werden (Pleskachevsky et al. 2011).

Eine Methode zur Wellenverfolgung im SAR Bild wurde im DLR entwickelt und in operationelle Software implementiert. Sie erstellt Wellentrajektorien mit Hilfe der FFT (Fast-Fourier-Transformation) und erlaubt es ein Profil der Wassertiefe entlang eines Wellentracks auszurechnen. Nach dem Einlesen des Datensatzes werden Koordinaten der Start-Punkte für die Berechnung der Wellentracks eingegeben (auch graphisch-interaktiv). Für jeden dieser ausgewählten Punkte wird eine Umgebung von ca. 1kmx1km Größe als Subszene extrahiert und die Radarrückstreuung mit Hilfe der FFT spektral analysiert.

Nach der Berechnung des Bildspektrums werden die mittlere Seegangsrichtung und Wellenlänge aus den detektierten Maxima abgeleitet. Mittels einer Schätzung der Wellenperiode (diese Information kann von Regionalen Seegangsmoellen, von Seegangsmessungen oder aus anderen Quellen implementiert werden) wird die entsprechende Tiefe mit Hilfe der Dispersionsrelation bestimmt. Sie stellt einen Zusammenhang zwischen Kreisfrequenz, Wellenlänge und Tiefe her, wobei die Annahmen der linearen Seegangstheorie zu Anwendung kommen.

Nachdem die Seegangparameter in einem Punkt errechnet sind, erfolgt die Verschiebung des Analyseausschnitts in Seegangsrichtung. Der Bereich für die FFT wird in Richtung der Wellen um eine Wellenlänge (oder einen festen Wert) im SAR-Bild verschoben und erneut das Bildspektrum für den neuen Bildausschnitt berechnet. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis die Küste erreicht ist (sind im Ausschnitt für die FFT Bildpunkte enthalten, die auf Land liegen, kann das Spektrum verfälscht werden). Ein Beispiel für eine TerraSAR-X Aufnahme über Port-Phillip, Australien mit drei Image-Spektren und einem Schema des Algorithmus sind in Abb. 30 und Abb. 31 dargestellt.

Die Werte für Peakwellenlänge und -richtung werden aus den Koordinaten der lokalen Maxima in Wellenzahlraum abgeleitet:

$$L_p = \frac{2\pi}{\sqrt{k_{px}^2 + k_{py}^2}}, \quad \theta_p = \arctan\left(\frac{k_{py}}{k_{px}}\right)$$

L_p ist die Peakwellenlänge, θ_p ist Peakwellenrichtung relativ zur Flugrichtung des Satelliten (positive x-Achse), k_{px} und k_{py} sind die Koordinaten des Peaks in Wellenzahlraum. Die Wassertiefenableitung basiert auf der linearen Dispersionsrelation für die Ozean-Gravitationswellen in Bezug auf die Wassertiefe d :

$$d(L_p, \omega_p) = \frac{L_p}{2\pi} \operatorname{atanh}\left(\frac{\omega_p^2 L_p}{2\pi g}\right)$$

ω_p ist die Kreisfrequenz ($\omega_p = 2\pi / T_p$, mit der Peakperiode T_p).

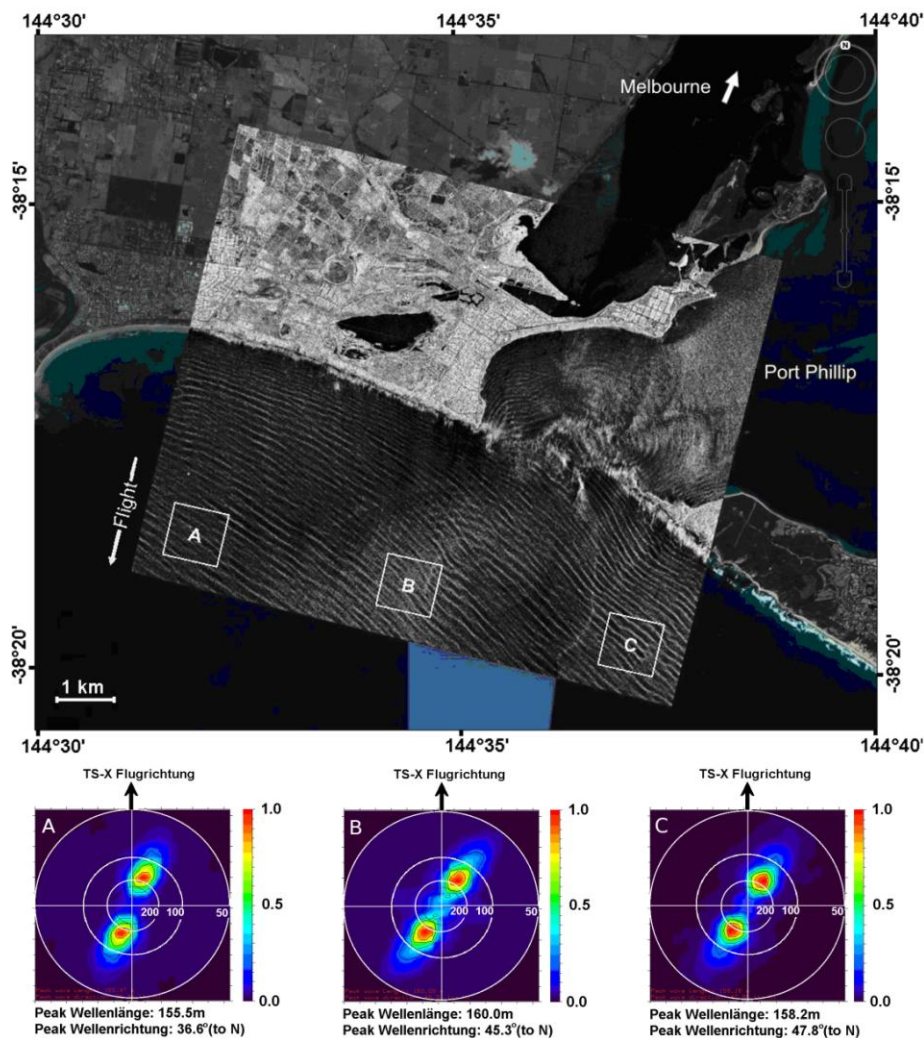


Abb. 30: TerraSAR-X Spotlight Bild vom 17. März 2008 über dem Eingang von Port Phillip, Australien. Hintergrundbild: © Google Earth (oben).

Die langen Dünungswellen, die an die Küste kommen, sind in Abb. 28 gut erkennbar. Für die FFT-Boxen A, B, C sind in der unteren Bildhälfte die normalisierten Bildspektren gezeigt.

Diese Analysen liefern Informationen über die Richtung und Länge der Wellen (Die Kreise indizieren die Wellenlängen, farbkodiert ist die Intensität, die den Seegang beschreibt). Dadurch das bei der FFT Analysis die Richtung des Seeganges nicht als „coming from“ oder „going to“ definiert werden kann, wird das Spektrum symmetrisch für diese +/- 180° Richtungen dargestellt. Unter der Annahme, dass sich die Wellen in Richtung Küste ausbreiten, kann die Richtung aus den Spektren abgeleitet werden.

Der Algorithmus für Wellen-Tracking (Abb. 29) beruht auf der Fast Fourier Transformation (FFT) für ein Sub-Image, das ein 2D-Bildspektrum im Wellenzahlraum ergibt. Der Peak im 2D-Spektrum zeigt die Peak- Wellenlänge und Richtung des Seeganges in der Szene. Der Start-Punkt für einen Wellen Track wird über dem offenen Meer (innerhalb der TSX Szene) ausgewählt.

Nach der Berechnung der Peak Wellenlänge und Richtung wird die nächste Sub-Szene in Richtung Küste untersucht. Im Falle einer Kreuzseesituation mit mehreren unabhängigen Seegangssystemen muss der Algorithmus unterschiedliche Peaks des Spektrums unterscheiden können. Dazu wurden Filter für typische Wellenlängenintervalle für verschiedene Seegangssysteme eingebaut. Der Vorgang wird solange wiederholt, bis die Eckpunkte der FFT-Box die Küstenlinie (oder das Gebiet mit Wellenbrechen und Wellenreflexion, wo die Lineare Dispersionsrelation nicht angewendet werden kann) erreichen (a). Ein Beispiel für Wellentrack-Erzeugung (b).

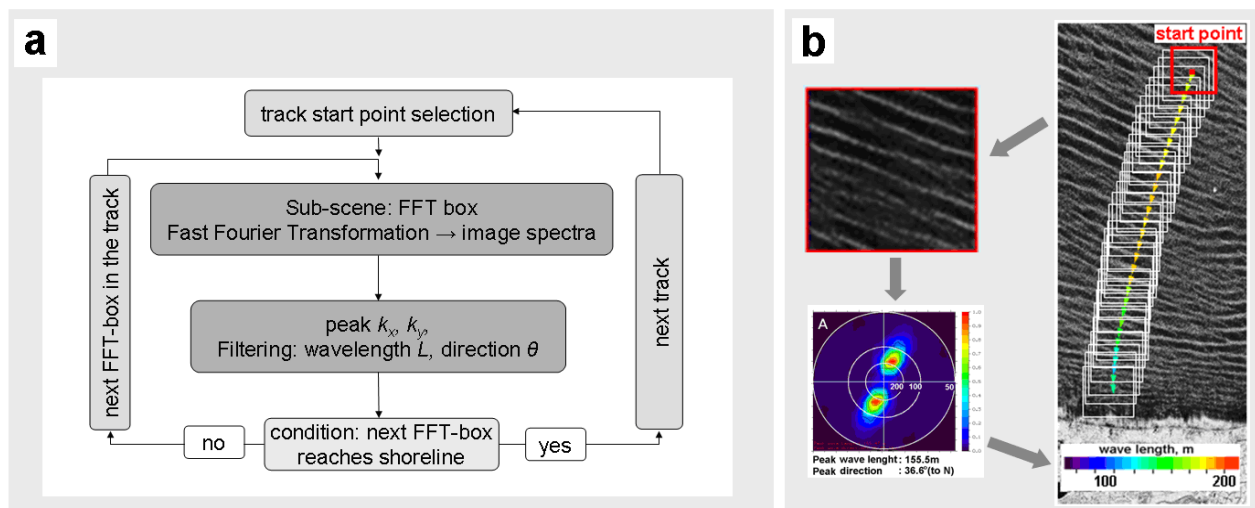


Abb. 31: Algorithmus für Wellen-Tracking.

1.3.2 SAR-Ergebnisse Bathymetrie

Ein Beispiel für die Effektivität des Wellen-Tracking ist die Entwicklung der Bathymetrie für den Küstenabschnitt Santolo Beach bei $107^{\circ}40,5'$ aus einer SAR-Szene von 25.8.2012 (Abb. 32). Die linke Darstellung zeigt, wie sich die Wellen in Richtung Küste von ursprünglich 250m Länge infolge Bodenkontakts zunehmend verkürzen. In der rechten Darstellung wird über den Algorithmus von Pleskachevsky et al. (2011) die Bathymetrie wiedergegeben.

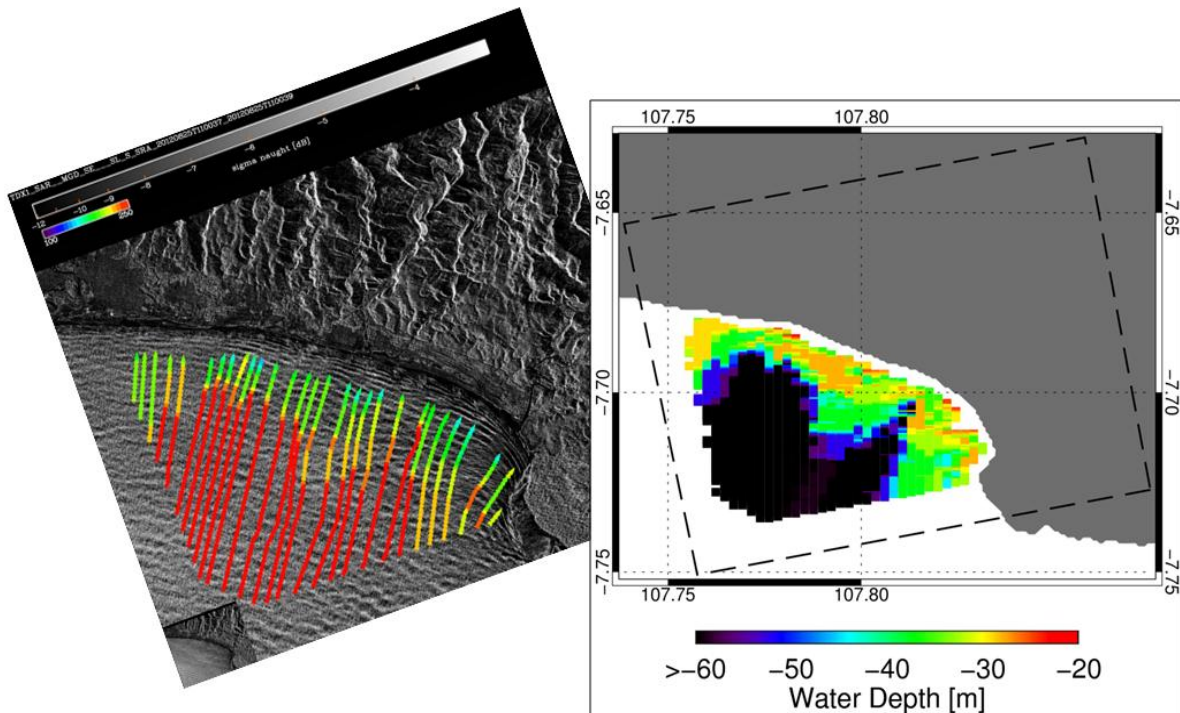


Abb. 32: Entwicklung der Bathymetrie aus SAR-Szenen über die Verkürzung von Wellen.

Die Herausforderung für die Ableitung der Bathymetrie aus SAR-Szenen besteht vor allem in der besonderen Beschaffenheit der Indonesischen Küste. Sichtbarer Einfluss der Unterwassertopographie auf die Wellenlänge ist ab Tiefen geringer als $1/3$ der Wellenlänge zu erwarten. Bei einer Wellenlänge von 300m ist das oben beschriebene Verfahren also auf Tiefenbereiche < 100 m anwendbar. Die Wellensysteme können zudem nicht bis direkt an die Küstenlinie untersucht werden, da das Verfahren auf Subszene angewendet wird, die weder Land noch Brandungsbereiche enthalten sollten. So ergibt sich eine ungefähre minimale Distanz zur Küste von ca. 2,5 km.

Der Südküste Javas ist geologisch der Sunda-Graben vorgelagert mit Wassertiefen bis 7500m. Bei genauer Untersuchung der GEBCO-Unterwassertopographie zeigt sich, dass der Meeresboden erst sehr kurz vor der Südküste Javas steil ansteigt. Hieraus folgt, dass mit diesen beiden Randbedingungen für Tiefe und Ufernähe in weiten Bereichen der Südküste Javas nur ein sehr schmaler Streifen zur SAR-Ableitung der Bathymetrie über den Seegang

geeignet ist. Alternative Verfahren wurden bereits beschrieben, aber noch nicht umfassend genug getestet um in dieser Analyse verlässlich eingesetzt zu werden. Für den entsprechenden Bereich wurden TS-X Archivaufnahmen beschafft und ausgewertet. Ein Beispiel für die erfolgreiche Anwendung der Analyse verglichen mit der GEBCO-Bathymetrie ist in Abb. 33 dargestellt. Die Ausbuchtung der 80m-Tiefenlinie in GEBCO wird auch in der SAR-erzeugten Tiefenkarte erkennbar. Ebensoleses gilt für eine Ausbuchtung am Meeresboden im rechten Bildbereich. Da die räumliche Auflösung der grobskaligen GEBCO-Bathymetrie wesentlich geringer ist, als die SAR-Auflösung, sind von SAR erkannte kleinskalige Tiefenvariationen weder bestätigt noch widerlegt werden. Quantitative Vergleiche sind dadurch kaum möglich. Unter den oben vorgestellten Voraussetzungen ist das SAR-Verfahrens zur Ableitung der Bathymetrie im Küstenvorfeld also durchaus erfolgversprechend. Durch das Zusammentreffen ungünstiger topografischer Verhältnisse an der Südküste Javas ist das SAR-Verfahren zur Detektion der Bathymetrie lediglich für bestimmte Küstenabschnitte anwendbar. Ansätze in alternativen, verbesserten Verfahren sind vielversprechend. Hier ist zu erwarten, dass bei Fortsetzung der Weiterentwicklungen die Einschränkung der Anwendbarkeit von SAR-Verfahren zurückgehen werden.

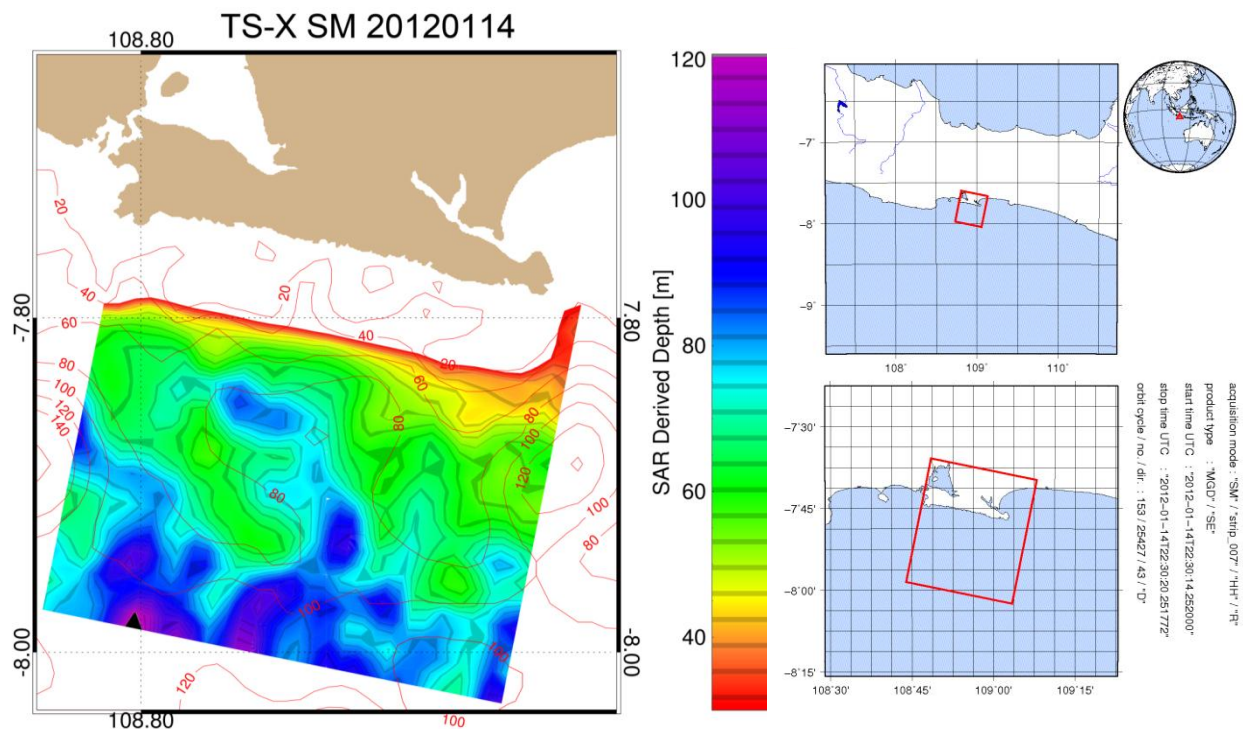


Abb. 33: Gegenüberstellung Bathymetrie erzeugt mit SAR-Verfahren (Farbkodierung) und der GEBCO-Bathymetrie (rote Isolinien).

1.4 Energie aus Strömungen

1.4.1 Naturmessungen

Wie schon bei den Untersuchungen der Seegangsverhältnisse offensichtlich wurde, ergab sich aus den Recherchen zur Datenlage über die Strömungsverhältnisse im indonesischen Archipel die Notwendigkeit, zusätzliche Naturmessungen durchzuführen. Bei den verzweigten Meerestrassen zwischen den Inseln Flores-Adonara-Solor-Lembata grenzt die *Flores Strait* (wegen der anliegenden Stadt *Larantuka* auch als *Larantuka Strait* bezeichnet) unmittelbar an die Flores See (Abb. 34). Sie wurde als Fokusregion zur Entwicklung von Strategien zur Gebietsauswahl und Energieabschätzung ausgewählt mit dem Ziel, hier erfolgreich entwickelte Modellansätze und Bemessungsverfahren auf die anderen Straits anzuwenden. Als weiteres Ergebnis der Erkundungsreisen 2012 erwies sich von 8 untersuchten Standorten im Seegebiet um die Larantuka Strasse auf Flores der stillgelegte Oil Port der Firma PERTAMINA (Abb. 35) gemäß Auswahlkriterien als bestgeeignete Lokalität für Installation und Betrieb eines Pegelsystems *Log_a Level* der Firma General Acoustics, Kiel.



Abb. 34: Meeresstraßen zwischen den Inseln Flores-Adonara-Solor-Lembata. Standorte von Messgeräten südlich Larantuka.

Die Entscheidung für automatische Zeitreihenmessungen von Tidewasserständen anstelle von Direktmessungen der Strömung basierte auf einheitlichen Einschätzungen von FTZ und BPPT, dass ADCP-Messungen in der Flores Strait aufgrund extrem hoher Tidestromgeschwindigkeiten bis über 3 m/s nur mit hoher Risikoakzeptanz möglich gewesen wären und daher Alternativen zu bevorzugen waren.

Das im Oil Port installierte automatische Meßsystem bestand aus Solarpanel zur Energieversorgung, Wind-, Druck- und Temperatursensoren und 3 Ultraschallsendern / -empfängern mit einer Messfrequenz von 5 Hz zur Erfassung der oszillierenden Tidewasserstände. Die Geräteinstallation erfolgte vom 25.-26.5.2014. Die Zeitreihen wurden

über Modem und GPRS in Echtzeit in die Datenzentralen des BPPT in Jakarta und des FTZ in Buisum gesendet. Abb. 35 zeigt das System in der Aufbauphase.

Aufgrund unerwarteter Reaktivierungen des stillgelegten Ölhafens durch PERTAMINA wurde FTZ nach 3-monatigem Messbetrieb benachrichtigt, das Pegelsystem aus Sicherheitsgründen wieder zu deinstallieren. Dies erfolgte am 16.-17.8.2014. Wegen fehlender Alternativen zur Installation des Systems an anderen Orten, wurde am 18.9.2014 ein „Tauchpegel“ (Typ Cera Diver, Eijkelkamp Soil & Water, NL) in etwa 5m Wassertiefe im Ferry Port Larantuka (Abb. 36) installiert. Das Gerät registrierte in Messintervallen von 5 min Tidewasserstände und Temperatur. Die Datenübertragung bis 07/2015 erfolgte mit einem GDT-Modem (Global Data Transmitter) von Eijkelkamp Soil & Water, NL (Abb. 5) täglich um 3:00 UTC via Mobilfunknetz in die Datenzentralen des BPPT und FTZ.



Abb. 35: Pier der Ölfirma PERTAMINA, Zusammenbau und Aufrichten des Pegelsystems.



Abb. 36: Ferry Port Larantuka, Installation von Tauchpegel (Cera Diver) und Modem.

Daten aus Naturmessungen zur Oszillation der Tidewasserstände zwecks Kalibrierung und Verifizierung jeweiliger Strömungsmodelle standen aus folgenden Gebieten zur Verfügung:

Jakarta Bucht	01.10.2012 bis 01.06.2013 (Cera Diver, Teilprojekt MABICO)
Bali, Celukan Bawang	01.05.2008 bis 31.12.2008 (Cera Diver, SPICE II, Aquakultur)
Larantuka	01.06.2014 bis 01.09.2014 (Log_a level)
Larantuka	01.10.2014 bis 28.2.2016 (Cera Diver)

1.4.2 Modellentwicklung Strömung

Die im Zuge der Abschätzung der Energiepotentiale aus Meeresströmungen auftretenden Daten- und Informationsströme werden aus dem Ablaufdiagramm Abb. 37 ersichtlich. Hier gehören F&E Aktivitäten zu Naturmessungen und Modellentwicklung zu den zentralen Einheiten, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

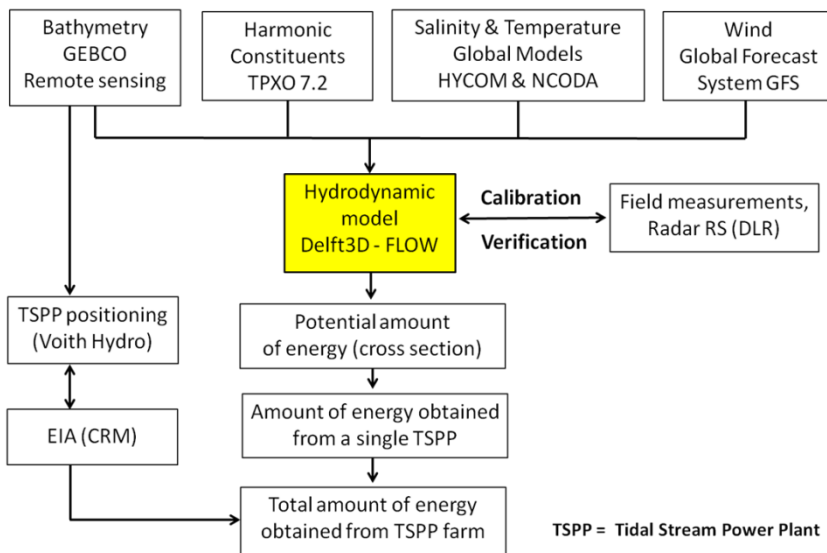


Abb. 37: Daten- und Informationsströme zur Abschätzung der Strömungsenergie.

Aufgrund der Vorauswahl von Meeresräumen und Vereinbarungen mit dem Projektpartner BPPT wurden Strömungsmodelle (3D) für die Straits Sunda, Bali, Badung, Lombok, Alas, Flores, Lewotobi, Solor, Boling, und Lamakera (Abb. 38).



Abb. 38: Vorauswahl von Meeresräumen zur Untersuchung von Strömungsenergie.

Die Meeresstrassen schaffen Verbindungen zwischen Indischem Ozean und Sawu See im Süden und Java See, Bali See und Flores See im Norden. Die Längen der Straits variieren von 3 bis 75km in der Länge und 650m-30km in der engsten Weite. Der Tidenhub liegt zwischen 1m und 3m, maximale Strömungsgeschwindigkeiten bei Springtide überschreiten 4m/s. Wasser- und Wärmeaustausch zwischen Indischem Ozean und Pazifik erfolgen über den „Indonesian Throughflow“ (ITF), ein kleinerer ITF-Anteil erfolgt durch die Lombok Strait (Mayer et Damm, 2012). Die Strömungsverhältnisse in der Sundastrasse werden ebenfalls durch Süßwasser-Zuflüsse beeinflusst (Gordon 2005).

Die zur Einschätzung der Strömungsenergie erforderlichen Strömungsmodelle für die observierten Meeresstraßen wurde auf Grundlage des Delft3D Modellsystems /Deltares, Niederlande, als 3D-Versionen mit 5 Schichten entwickelt. Modellgitter wurden mit einer Auflösung von horizontal 20m (höchstauflösend) und vertikal 3m erzeugt. Gitternetz und Nesting für die Fokusregion *Flores Strait* sind in Abb. 39 aufgeführt.

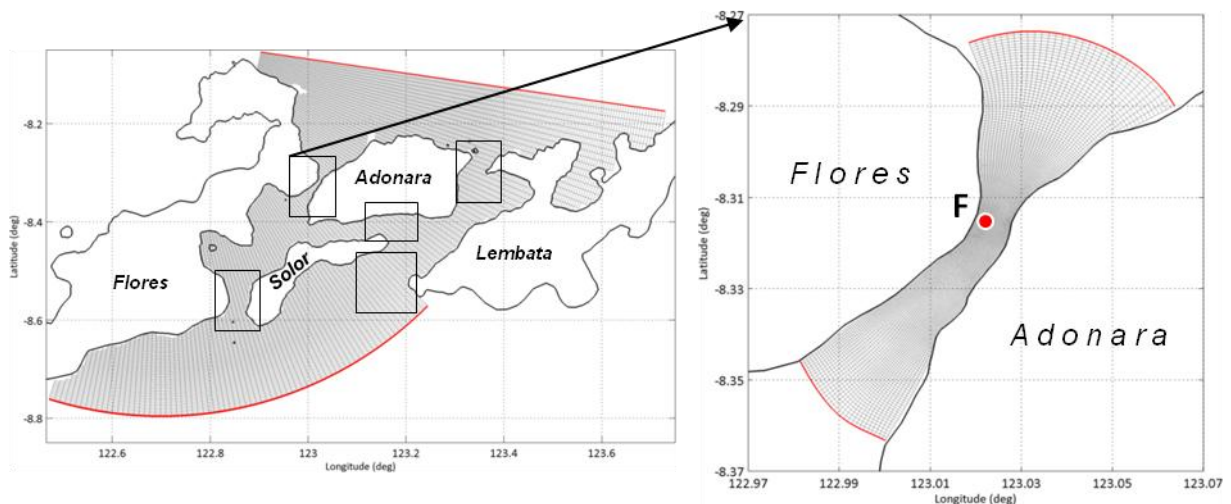


Abb. 39: Gitternetze der Modellgebiete auf Flores und darin „genestete“ *Flores Strait* mit Modell-Observationspunkt F.

Die zur Verfügung stehenden Daten zur Bathymetrie beruhen auf Echolotpeilungen, global verfügbare SRTM15_PLUS Seegrundtopografie von Altimeter-Satelliten und schiffsgestützten Echolotdaten.

Der Tideantrieb basiert auf TPXO Indian Ocean Atlas (1/12° regional model) und es wurden 11 harmonische Partialtiden M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1, M4, MS4 und MN4 betrachtet.

Zur Bestimmung der Höhe der Meeresoberfläche, Salinität und Temperatur an den offenen Seegrenzen aller Modelle wurden das HAMSOM-Modell (Hamburg Shelf Ocean Model) verwendet. Es wurde als 3D Modell (freie Oberfläche baroklin, hydrodynamisch) am Institut für Meereskunde der Universität Hamburg entwickelt.

Die meteorologischen Randwerte lieferte das Global Forecast System des NOAA National Climatic Data Center. Bewölkung, Lufttemperatur, Atmosphärendruck, relative Luftfeuchtigkeit und Wind (E und N Richtungen) wurden in die Modellentwicklungen einbezogen.

In Abb. 40 sind die entwickelten Modellgitter für die relevanten Strömungsmodelle aufgeführt, die an den offenen Seegrenzen von globalen Modellen flankiert sind.

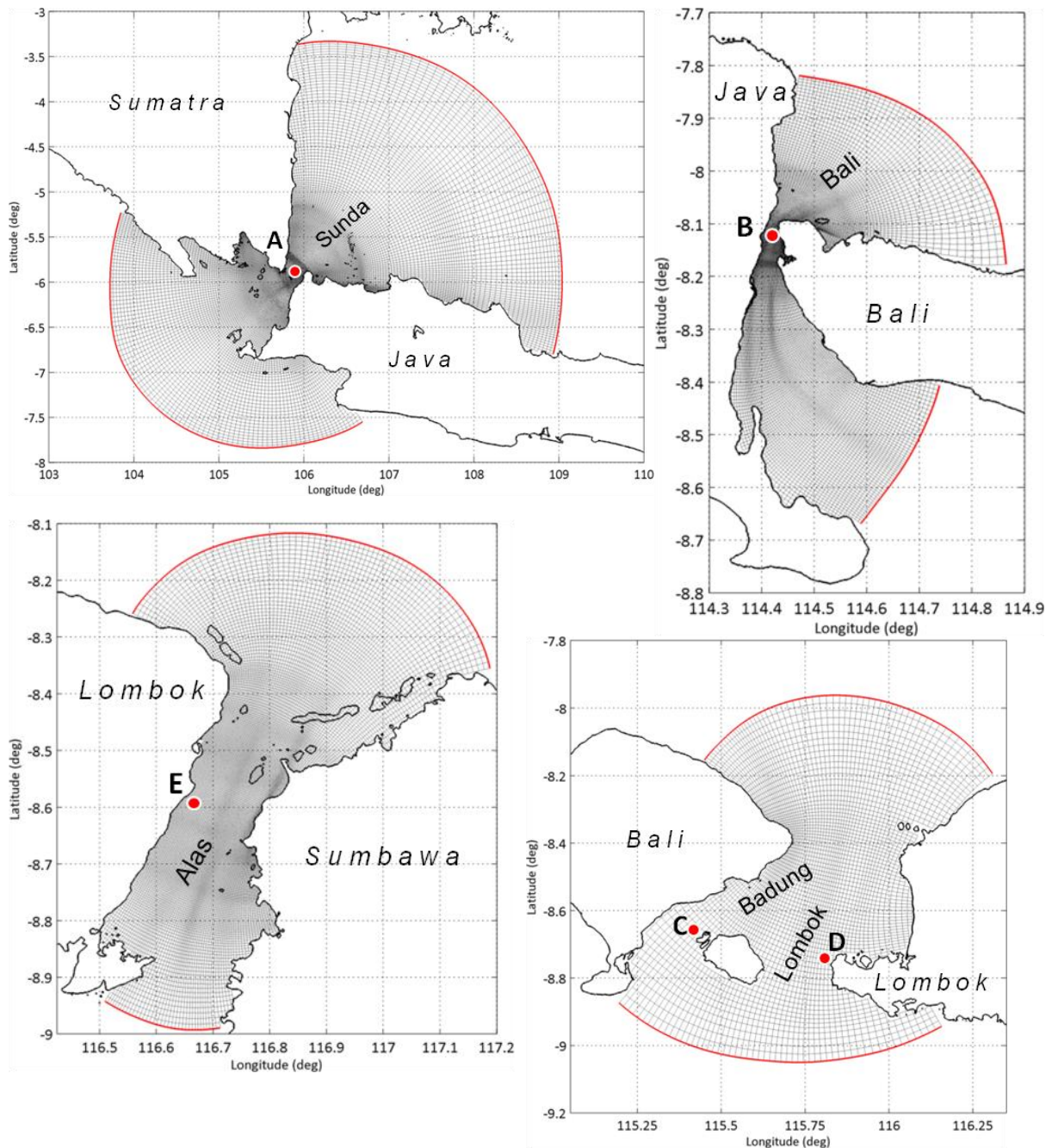


Abb. 40: Modellgitter Sunda, Bali, Alas, Badung, Lombok, Straits, Observationspunkte A-D.

Als Ergebnis der Modellvalidierung für das Model *Flores Strait* gibt Abb. 41 exemplarisch die Tidekurven aus Zeitreihenmessungen im Oil Port Larantuka für Juli 2014, sowie die modellierten Tidekurven wieder. Während für die Phase eine sehr gute Überdeckung erreicht ist, werden für die Amplitude die gemessenen Wasserstände vom Modell etwas überschätzt.

Vor dem Hintergrund der topografischen Unsicherheiten durch die verhältnismäßige grobe Auflösung sind die Ergebnisse sehr positiv zu bewerten. Die Validierung der Modelle, in deren Modellgebiet Pegeldaten verfügbar waren, ergaben sehr gute Übereinstimmungen.

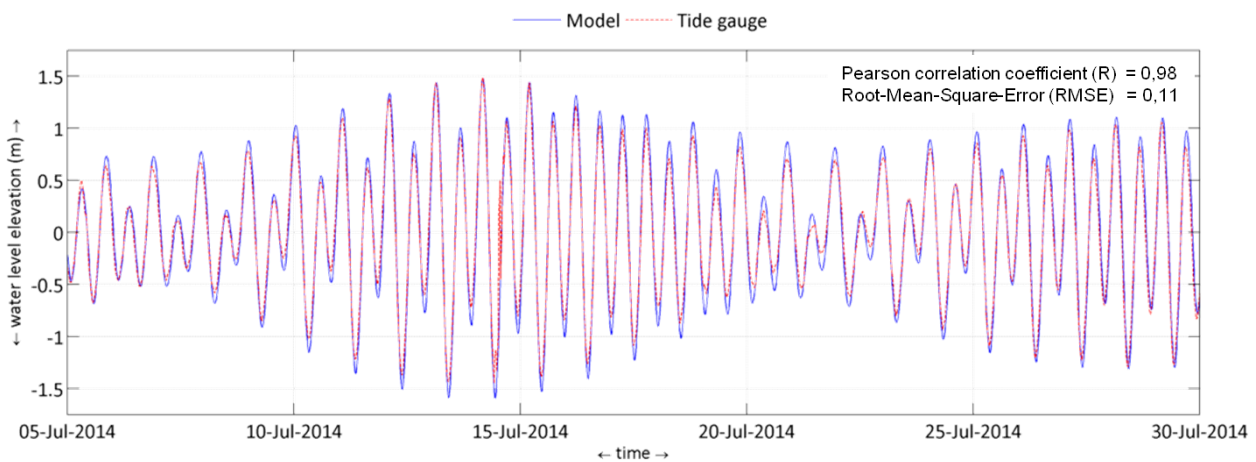


Abb. 41: Vergleich gemessene und simulierter Tidekurven für Juli 2014 im Oil Port Larantuka, Modellgebiet Flores Strait.

Die Eignung von Gebieten zur Nutzung von Strömungsenergie durch Strömungskonverter-Anlagen hängt von den jeweiligen Auswahlkriterien für Eignung, geforderte Energiemenge und sozio-ökonomischen Kriterien ab (Defne 2011). In Projekt wurden Auswahlkriterien auf physikalisch-ökologischer Ebene angewandt. Auf Grund ihrer marktbeherrschenden Position werden horizontalachsige Strömungsturbinen betrachtet, die starke bidirektionale Strömungen nutzen können.

Die oberen 5 Tiefenmeter der betrachteten Meeresgebieten wurden aus den Energiebetrachtungen eliminiert, um Konflikte mit Nutzern dieses Wasserkörpers sowie Schäden an Konvertern durch Turbulenzen, Wellendruck oder Treibgut zu vermeiden (EMEC 2009). Strömungskonverter wurden im Modell so konfiguriert, dass die Turbinen oberhalb der sogenannten „low-speed benthic boundary layer“ operierten, die gewöhnlich etwa 10% der Wassertiefe bei Niedrigstwasser ausmacht (EPRI 2006).

Vor dem Hintergrund dieser Tiefenbeschränkungen im Wasserkörper wurde die Mindestwassertiefe für einen Rotor mit einem Durchmesser von 1,5m mit 7,5m gesetzt. Die

eigentliche Berechnung mittleren kinetischen Energiedichte der Strömung erfolgte über den Ansatz

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3$$

P = Strömungsenergie bezogen auf die Durchflussfläche [kW/m²], ρ = Dichte des Meerwassers [kg/m³], U = Strömungsgeschwindigkeit [m/s].

Das Starten von Strömungskonvertern erfordert in der Regel eine „cut-in“ Geschwindigkeit, die je nach Konverter-Design zwischen 0,5m und 1m/s liegen kann (EPRI 2006).

Vor diesem Hintergrund wurden Meeresgebiete

- mit mittlerer kinetischer Energiedichte der Strömung von mehr als 0,5 kW/m² (entsprechend einer Stromgeschwindigkeit von 1m/s)
- mit Meeresflächen > 0,5km²
- mit Wassertiefen > 7,5m

als Energie-„hotspots“ und zur Installation von Strömungskonvertern als geeignet definiert.

Stärker als die potentiell verfügbare Energie ist aus wirtschaftlicher Sicht die aus einem Strömungsfeld tatsächlich extrahierbare Energie die wichtigere Größe. Zur deren Abschätzung wurde bei Strömungsturbinen die Strömungsgeschwindigkeit auf Höhe der Rotornarbe herangezogen, Nenngeschwindigkeiten und Effekte der Strömungsschleppe der Turbinen wurden nicht einbezogen. Der von einer Turbine erzeugte elektrische Strom wurde abgeschätzt über die Beziehung

$$P_{electric} = A_{turbine} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_{hub}^3 \cdot \eta_{turbine} \cdot \eta_{ptake-off} \quad (2)$$

$A_{turbine}$ = vom Rotor überstrichene Fläche [m²], U_{hub} = Strömungsgeschwindigkeitswert an der Turbinennarbe [m/s]. $\eta_{turbine} = 45\%$ = Effizienz der Turbine, kinetische Energie aus der Strömung zu extrahieren, $\eta_{ptake-off}$ = Effizienz der Stromaufnahme mit

$$\eta_{ptake-off} = \eta_{drivetrain} \cdot \eta_{generator} \cdot \eta_{pcon}$$

$\eta_{drivetrain} = 96\%$ = Effizienz, mit der die extrahierte Strömungsenergie beim Stromgenerator angeliefert wird, $\eta_{generator} = 95\%$ = Effizienz mit der mechanische Energieeintrag zum Stromgenerator in elektrischen Strom transferiert wird, $\eta_{pcon} = 98\%$ = Effizienz, mit welcher der produzierte elektrische Strom umgewandelt wird, um in Stromphase und Stromspannung den Anforderungen an den Einspeisepunkten des lokalen Stromnetz nachzukommen (EPRI

2006). Die Analysen zeigen, dass die identifizierten Energie-hotspots dazu geeignet wären, Strömungsturbinen mit Rotordurchmessern von 1,5m bis 20m zu installieren.

In Abb. 42 sind Beispiele für Stromausbeute aufgeführt, die bei vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeiten für verschiedene Rotordurchmesser von 5m - 20m erzielt werden könnten.

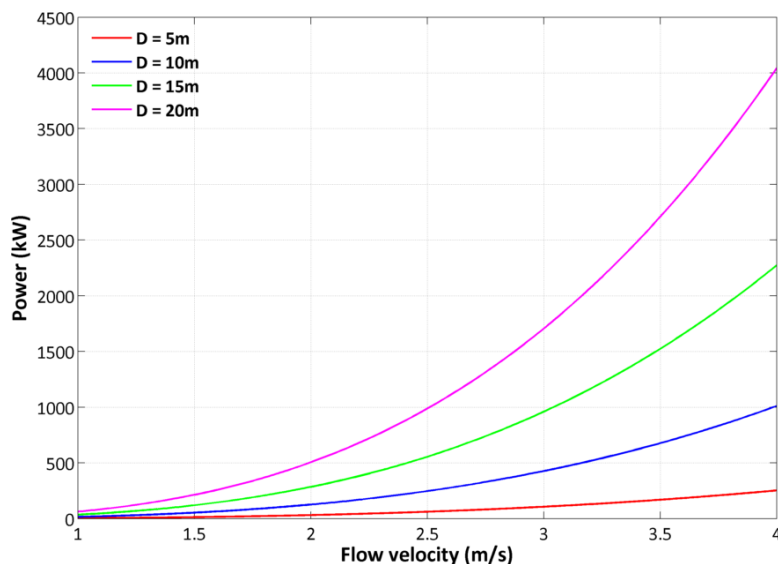


Abb. 42: Geschätzte Stromausbeute bei verschiedenen Rotordurchmessern der Strömungsturbinen in Abhängigkeit zur Strömungsgeschwindigkeit

1.4.3 SAR-Verfahren Strömung

Für die Validierung der Ergebnisse der numerischen Strömungsmodelle wurden seitens des DLR Verfahren zur Strömungsbestimmung auf Basis von Radar Satellitendaten erprobt. Eine bereits erfolgreich angewendete Methode ist die Along-Track-Interferometrie (ATI). Hierzu fliegen die zwei Zwillingssatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X in einer Formation in geringem Abstand hintereinander her und nehmen die Meeresoberfläche aus leicht unterschiedlichen Blickwinkeln auf. Die aufgenommenen Daten werden interferometrisch ausgewertet und auf diese Weise können Bewegungen der Meeresoberfläche erkannt und quantifiziert werden. Erste Eignungstest der Region Larantuka für dieses Verfahren lieferten allerdings unbefriedigende Ergebnisse. Hauptursache ist die Orbitgeometrie der beiden beteiligten Satelliten. In Äquatornähe erwies sich die Entfernung zwischen den beiden Satelliten bei der gegenwärtigen Orbit-Konstellation als zu groß, um die nötige Kohärenz beider Datensätze zu gewährleisten (Suchandt et al.). Hierdurch sind die Ergebnisse der ATI Auswertung in niedrigen Breiten nicht zuverlässig. Es wurde daher an einem alternativen Verfahren auf Basis der Daten von Einzelsatelliten gearbeitet. Abb. 43 zeigt als Beispiel eine SAR-Aufnahme der Larantuka-Straße. DLR teste mit den Radarsatelliten TerraSAR-X und

TandDEM-X das „Along-Track-Interferometry“ (ATI)-Verfahren und dadurch erzielter räumlicher Radaraufnahmen, um Strömungsgeschwindigkeiten in der Strasse von Larantuka zu detektieren. Beide Satelliten bewegen sich in ihren polaren Orbits parallel zueinander und, je nach Breite, in mehr oder weniger geringer Entfernung zueinander. Abb. 7 zeigte exemplarisch eine Radaraufnahme der Strasse von Larantuka.

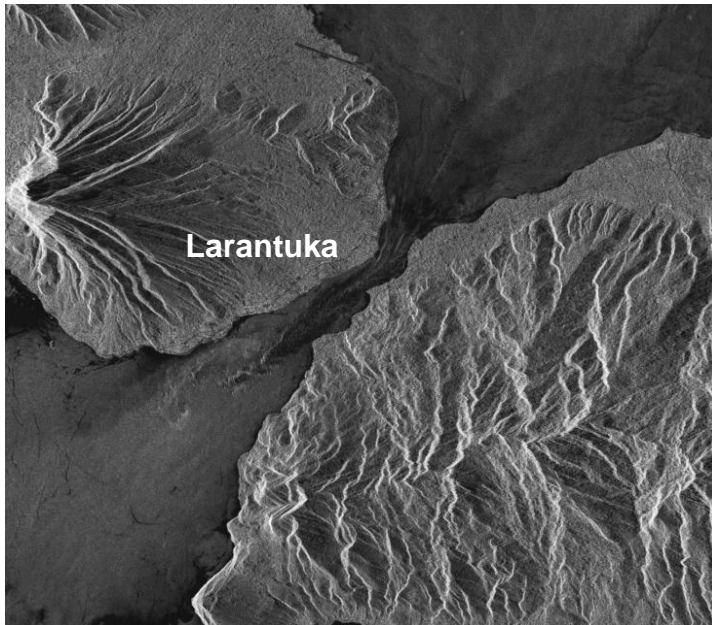


Abb. 43: „Along-Track-Interferometry“ zur Untersuchung von Strömungen in der Strasse von Larantuka. Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X vom 20. Jan 2015.

1.4.4 Ergebnisse Naturmessungen

Die Naturmessungen konzentrierten sich auf das Modellgebiet Laratuka Strait und erfolgten im alten Oil Port der Firma PERTAMINA sowie nach der Deinstallation des Log_a levels im Fährhafen von Larantuka-Kupang (Abb. 44). Der Pegel wurde in einer Wassertiefe von 5m installiert und gibt die tidalen Oszillation des Wasserstands wieder. Die gewonnenen Daten wurden zur Kalibrierung und Verifizierung des Strömungsmodells Flores Strait verwendet.



Abb. 44: Pegelposition im Fahrhafen Larantuka-Kupang.

Abb. 45 zeigt exemplarisch die Tide-Oszillationen vom 20.9.- 2.11.2014. Bei Springtide liegt der maximale Tidehub im Zeitfenster bei 3,2m, bei Nipptide bei etwa 0,5m. Die Phasendifferenz von solarer und lunarer Amplitude resultiert in zeitweise stärkeren und schwächeren Oszillationen aufeinander folgender der Flut- und Ebbwasserstände. Die Trendlinie identifiziert den (saisonalen) Anstieg der Wasserstände durch Überlagerungen weiterer Partialtiden.

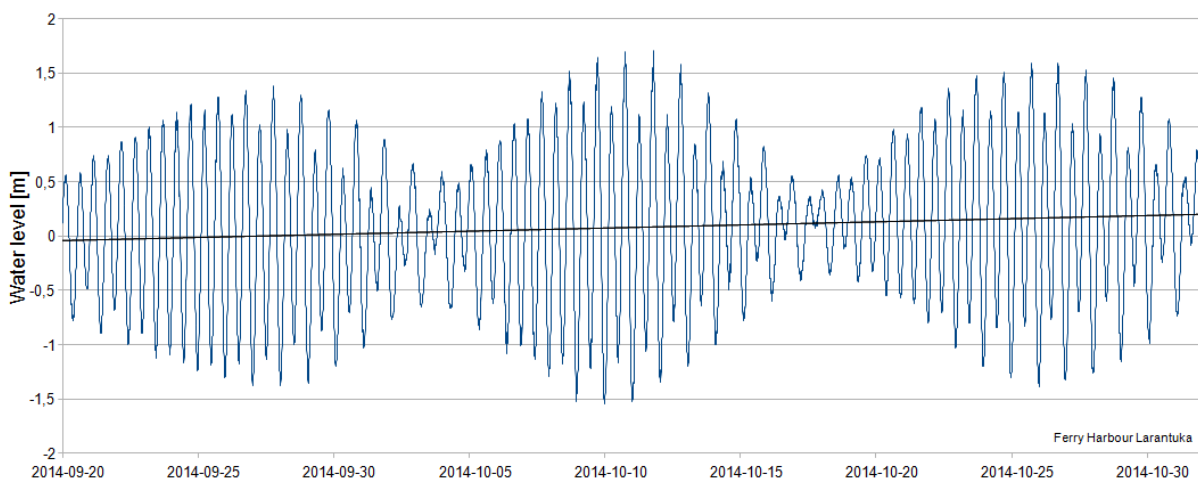


Abb. 45: Tide-Oszillationen im Fahrhafen Larantuka-Kupang aus Pegelmessungen.

1.4.5 Ergebnisse SAR-Erfassung Strömung

1.4.5 Ergebnisse Strömungs- und Energiemodellierung

Zur Übersicht der Strömungsverhältnisse in den Untersuchungsgebieten sind in Abb. 46 modellierten Strömungsgeschwindigkeiten exemplarisch für den Zeitraum 01.04.2012 bis 30.04.2012 wiedergegeben. Die Geschwindigkeiten wurden an Beobachtungspunkten im Gitternetz der jeweiligen Strömungsmodelle extrahiert, die in Abb. 39 mit F und in Abb. 40 mit A, B, C, D und E angegeben sind. Die Geschwindigkeitsdarstellung in Abb. 44 erstreckt sich über einen Spring-Nipptide-Zyklus und zeigt ausgeprägte Unterschiede. In den Straits Flores und Bali verlaufen die Tidestromgeschwindigkeiten in ihren Spitzen sehr gleichförmig und erreichen, je nach Tidephase 1 - 4m/s bzw. 1-3m/s. Wesentlich breitere Strömungsquerschnitte in der Sundastrasse verringern die Tidestromgeschwindigkeiten auf 1-2m/s. Höhere, aber eher ungleichförmig ausgeprägte Strömungsbedingungen sind mit 1-3m/s, in den Spitzen bis ca. 3,8/s in der Alas Strasse anzutreffen. In den Lombok und Badung Straits erreicht der Tidestrom Geschwindigkeiten bis 3m/s bzw. bis 2m/s.

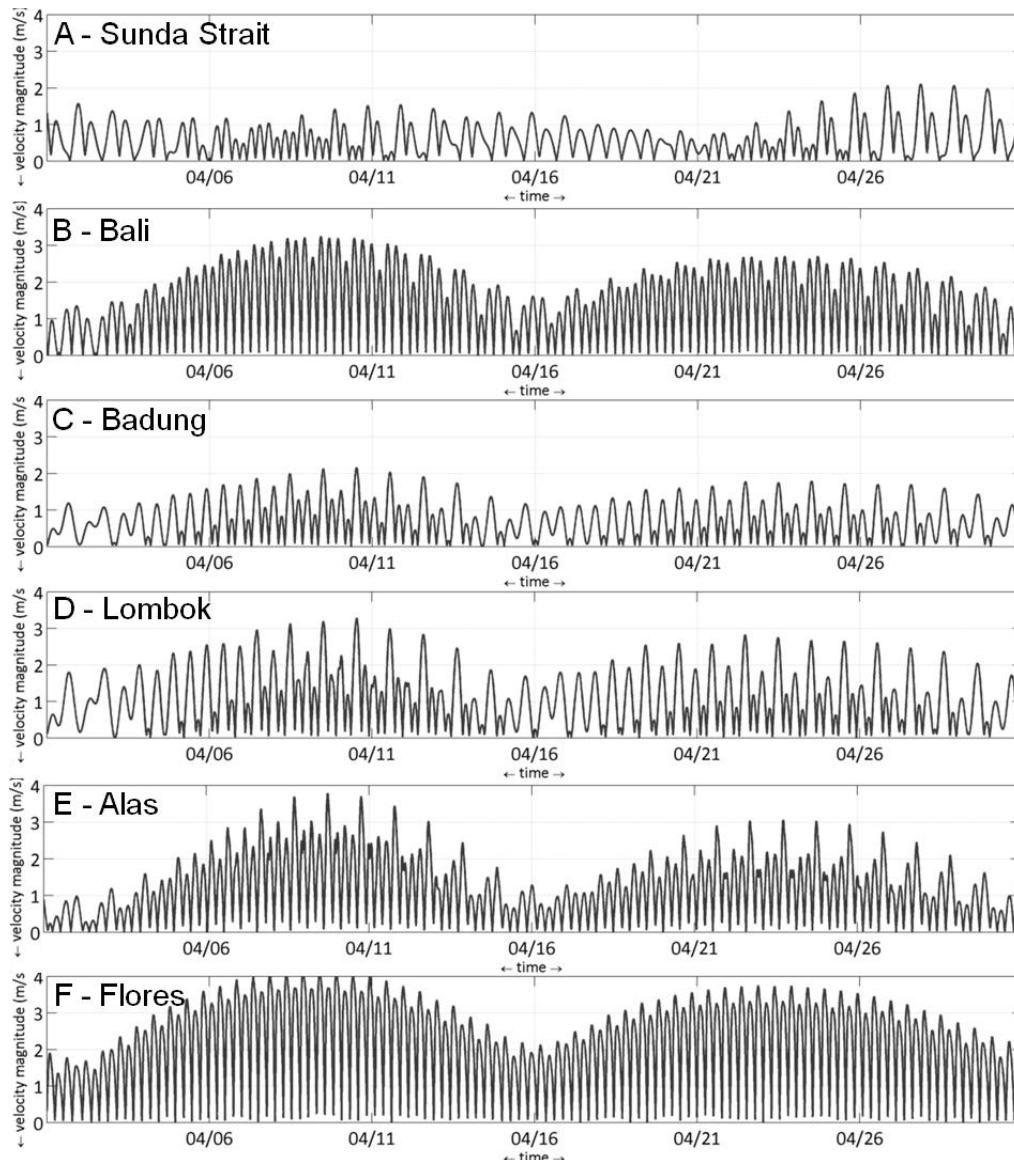


Abb. 46: Modellierte Strömungsverhältnisse an Modell-Beobachtungspunkten.

Mit Blick auf die definierten Eignungskriterien für Meeresgebiete hinsichtlich der erforderlichen mittleren kinetischen Energiedichten, Meeresfläche und Wassertiefen sind exemplarisch für die Flores Strait die Zonen markiert, die sich für eine Energiegewinnung mit Strömungsturbinen mit verschiedenen Rotordurchmessern eignen würden (Abb. 47a). Die räumliche Variation der sich aus dieser Verteilung ergebenden Stromausbeute und deren regionale Variation wird aus der Grafik Abb. 47b ersichtlich.

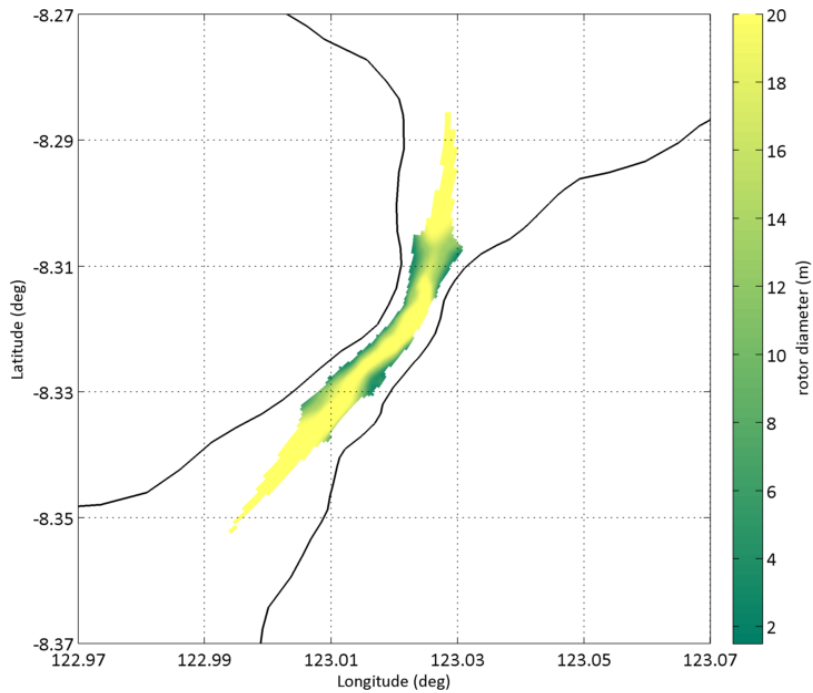


Abb. 47a: Flores Strait, Turbinen-Rotordurchmesser in m für eine optimale Stromausbeute.

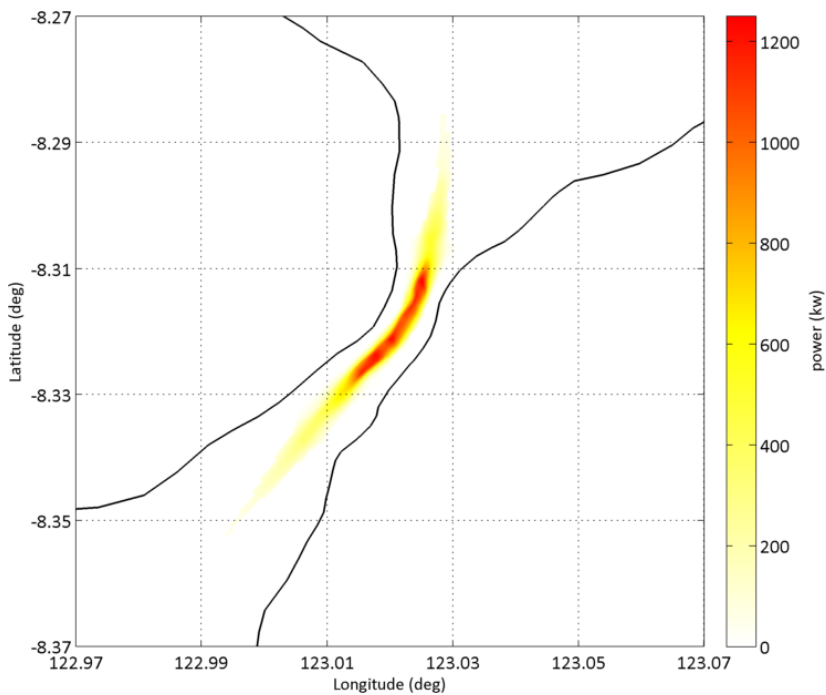


Abb. 47b: Eignungsgebiet Flores Strait, Angabe der mittleren extrahierbaren Energie in kW.

In Abb. 48 sind die Eignungsgebiete zur Nutzung der Strömungsenergie (Energie-hotspots) in den Straits ausgewiesen. Den Spitzenplatz im Energie-Ranking nimmt Flores Strait ein.

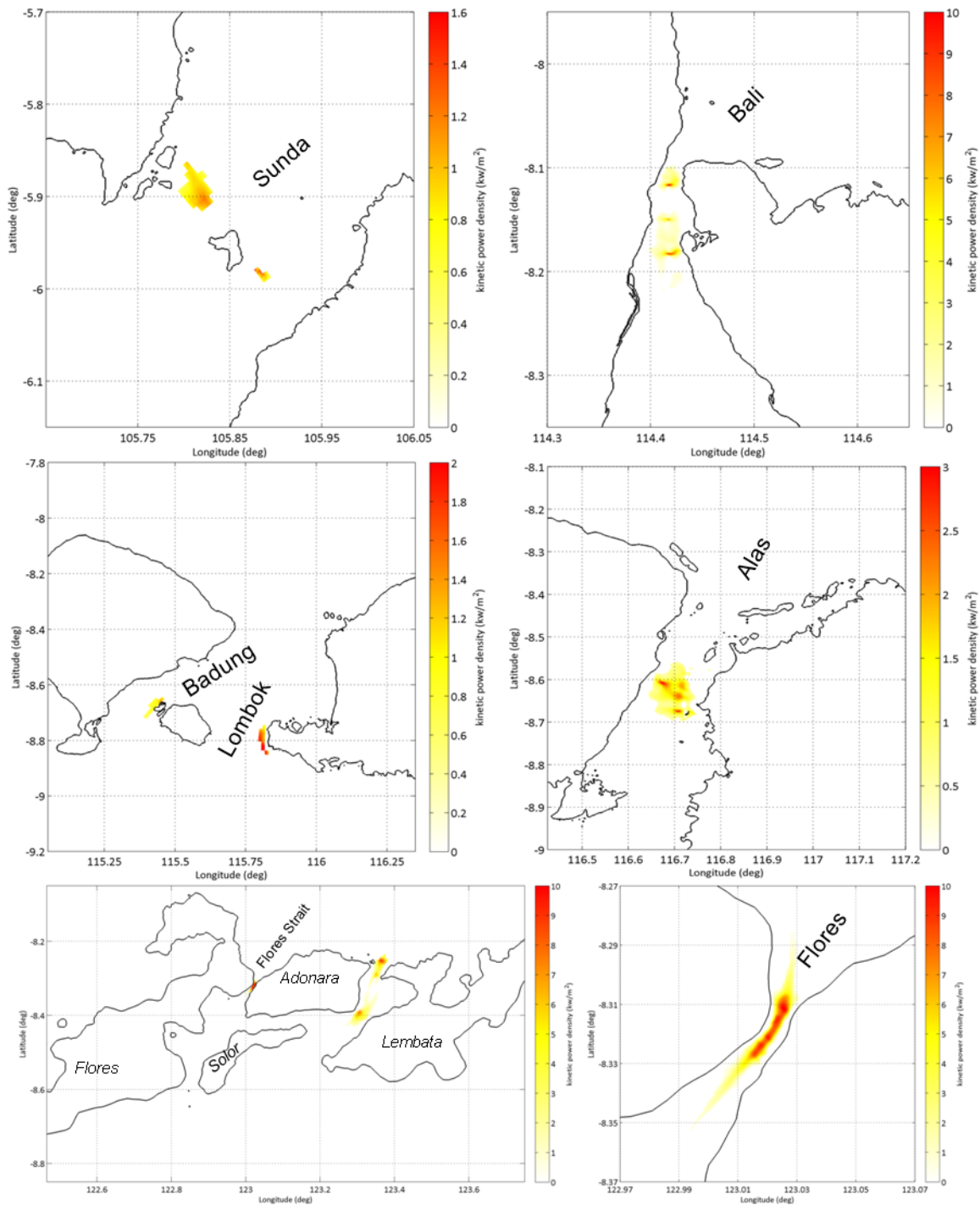


Abb. 48: Ausgewiesene Eignungsgebiete für die Nutzung von Strömungsenergie mit Angabe der kinetischen Energiedichten in kw/m^2 (Skalierungen variieren).

Tab. 6 fasst die wichtigsten Kennwerte und Ergebnisse über die Abschätzungen zur Energieerzeugung aus Strömungsenergie in den untersuchten Gebieten zusammen. Die Abschätzung der totalen extrahierbaren Energie bezieht sich auf die Anzahl von

Strömungsturbinen, die aufgrund der topografischen Struktur des Querschnitts und der Strömungsverhältnisse in den Energie- „hotspots“ der getesteten Gebieten maximal möglich wäre. Die Berechnung erfolgte unter Zugrundelegung des mittleren Rotordurchmessers und bei einer optimalen Konverter-Anordnung. Sollten künftig in einem Turbinenfeld genauere Informationen über den Größe und Einfluss von „wakes“ (Schraubenwasser) hinter den Strömungsturbinen verfügbar sein, sind die Ergebnisse entsprechend anzupassen.

Tab. 6: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Abschätzung der Strömungsenergie und extrahierbarer Stromausbeute.

			Cut-in velocity = 1.0 m/s		Cut-in velocity = 0.5 m/s	
Strait	Max kinetic power density (kW/m ²)	Max extractable power by a turbine (kW)	Suitable area (km ²)	Total extractable power (MW)	Suitable area (km ²)	Total extractable power (MW)
Sunda	1.56	165	11	107	145	335
Bali	14.75	1459	23	462	104	1045
Badung	1.52	161	28	238	162	551
Lombok	2.36	236	53	754	114	865
Alas	3.07	396	104	1261	403	2258
Lamakera	-	-	-	-	-	-
Boling	3.49	430	36	593	106	736
Solor	-	-	-	-	-	-
Lewotobi	-	-	-	-	-	-
Flores	10.20	1250	3	199	6	299

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird ersichtlich, dass die Energieausbeute in den untersuchten Meeresgebieten starken Schwankungen unterworfen sein kann. Modellprognosen zu den höchsten Strömungsgeschwindigkeiten erreichen 3-4m/s mit einem Energieaufkommen von lokal mehr als 10kW/m². Im Ranking der extrahierbaren Energie je Turbine schneidet die Bali und Flores Strait am besten ab. Alas Strait hat das insgesamt größte nutzbare Strömungspotential, weil die Energie-„hotspots“ eine insgesamt große Fläche aufweisen. Gemäß Eignungskriterien weisen die Straits Lamakera, Solor und Lewatobi keine geeigneten Gebiete zur Nutzung von Meeresenergie auf.

Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass frühere Schätzungen über verfügbare Energiemengen in den Meeresstrassen Indonesiens in Höhe von etwa 4.800 MW mit großer Wahrscheinlichkeit zu niedrig sind. Allein in den untersuchten Straits liegen die modellierten extrahierbaren Energiepotentiale bei mehr als 6.000 MW.

- EPRI, Electric Power Research Institute (2006): Methodology for Estimating Tidal Current Energy Resources and Power Production by Tidal In-Stream Energy Conversion (TISEC) Devices, USA.
- EMEC, the European Marine Energy Center Ltd. (2009): Assessment of Tidal Energy Resource, UK.
- Gordon, A. (2005): Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow, *Oceanography*, vol. 18, pp. 14-27.
- Ray, R.D., Egbert, G.D. & Erofeeva, S. (2005): A Brief Overview of Tides in the Indonesian Seas, *Oceanography*, vol. 18, pp. 74-79.
- Defne, Z., Haas, K.A., Fritz, H.M. (2011): GIS based multi-criteria assessment of tidal stream power potential: A case study for Georgia, USA, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, ELSEVIER, vol. 15, pp. 2310-2321.
- Mayer, B. & Damm, P.E. (2012): The Makassar Strait Throughflow and its Jet. *Journal of Geophysical Research*, vol. 117, C07020.

1.5 Strategien zur Einschätzung der Umweltgefährdung

Bei den vorgestellten Ergebnissen standen die Entwicklung von Strategien zur Auswahl geeigneter Meeresgebiete für die Stromgewinnung aus erneuerbarer Meeresenergie und die Einschätzung der verfügbaren und extrahierbaren Potentiale im Vordergrund. In der Praxis sind in den Eignungsgebieten für Meeresenergie aber auch konkurrierende Nutzerinteressen, wie Tourismus, Fischerei oder Seefahrt sowie Umweltaspekte und sozio-ökonomische Kriterien einzubeziehen. Schritte in diese Richtung wurden in einer Auftragsstudie der Firma CRM entwickelt, die sich auf Strategien zur Einschätzung der Umweltverträglichkeit von Stromkonverter-Anlagen im indonesischen Archipel konzentrierte.

Die Überlegungen stützen sich auf das „DPSIR-Modell“ (DDriving Forces-Pressures-State-Impact-Responses), das zur Charakterisierung von Interaktionen zwischen Gesellschaft und Umwelt entwickelt wurde. Das Konzept findet bei der *European Environmental Agency (EEA)* und im *United Nations Environment Program (UNEP)* Anwendung und wurde von CRM zur Bewertung von Störeffekten durch Strömungskonverter-Anlagen konfiguriert. Komponenten des DPSIR-Modells sind

- **Treibende Kräfte:** Gesellschaftliche Prozesse die den Druck auf die Umwelt auszuüben.
- **Belastungen:** Resultierende Umweltbelastungen
- **Zustand:** Zustand eines Umweltkompartments, das belastet wird.
- **Auswirkung:** Wirkung der Belastungen auf die Umwelt
- **Reaktion:** Gesellschaftliche Reaktion auf die Umweltbelastung

Mit Zielrichtung Umwelteffekte von Konverteranlagen wird der Zustand des Ökosystems mit seinen spezifischen Sensitivitäten von Organismen oder Habitaten, die einen speziellen Druck ausgesetzt werden, analysiert.

Als „Treibende Kraft“ wird hier der Bedarf nach elektrischer Energie aufgefasst und die Entscheidung, Strömungsenergie als Energiequelle zu nutzen. Planungen für Konverteranlagen sind Folgen der technischen Möglichkeiten und des Wissens um geeignete Gebiete zur Stromgewinnung. Die Anlagen führen zu „Belastungen“ in der Umweltumgebung, wobei das Ausmaß der Belastung auch eine Funktion von Umfang und Design der Anlagen sind. Belastungsterme sind Landflächenverbrauch (Kabelanbindung), Seeflächenverbrauch (Konverter), Barriere-Effekte der Anlagen, Unterwasserschall, Überwasserschall, störende Unruhe, Licht, Lumineszenz, Sedimentation, Emission toxischer Stoffgruppen. Der „Zustand“ wird mit dem Vorhandensein und der Sensitivität von Habitaten

und Spezies gleichgesetzt. Vor dem Hintergrund der enormen Artendiversität in den Untersuchungsgebieten, konzentrierte sich die Strategieentwicklung zur Erhaltung der Handhabbar- und Übersichtlichkeit charakteristische Habitats und Spezies in tropischen Flachmeeren:

- Mangroven
- Korallenriffe
- Seegraswiesen
- Strandzonen
- Küsten-Feuchtgebiete

sowie

- Strandbrüter Meeresschildkröte und Maleo
- Großwale
- Kleinwale
- Dugong (Seekuh)
- Große Wanderfischarten

Das ökologische Evaluationssystem beruht auf qualitativen und quantitativen Einschätzungen, die politische und administrative Entscheidungsfindungen ermöglicht. Eine Planung kann im Evaluationsprozess entweder abgelehnt oder mit oder ohne ökologische Ausgleichsmaßnahmen akzeptiert werden. Der erste Schritt ist eine Vor-Evaluation. Sie ermöglicht eine rasche Beurteilung der Umwelteffekte auf Grundlage von Konstruktionsdetails der Konverteranlagen und erfordert lediglich geringes Wissen über die Hydrografie und Biologie im jeweiligen Meeresgebiet. Kommt man hiernach zu dem Schluss, dass das Projekt nach ökologischen Kriterien nicht akzeptable ist, ist die Planung zu modifizieren oder abzulehnen. Ist das Projekt akzeptabel, wird als zweiter Schritt die Bewertung der Umweltverträglichkeit. Hier wird eine detaillierte Evaluation durchgeführt, die eine solide Grundlage von Daten zu den ökologischen Bedingungen im Zielgebiet vor Beginn des Anlagenbaus erfordert.

Zur Nachverfolgung der Einzelabläufe in der Entscheidungsstruktur, die mit Excel-Applikationen übersichtlich gesteuert werden können, wird auf die anschließende CRM-Studie verwiesen. Sie wurde mit lediglich adaptiven Formatänderungen in den Abschlussbericht integriert.

Environmental Impact Assessment Strategies – Tidal Stream Conversion

Coastal Research & Management, Kiel

Peter Krost, unter Mitarbeit von Barbara Willing und Martina Mühl

1 Introduction

1.1 The technology of TSPPs

The concept of Tidal Stream Power Plants (TSPPs) is based upon the idea to use the kinetic energy of tidal currents and transfer it into electricity. It is a form of „renewable“ energy (i. e. energy sources powered by solar or geothermal sources), which operates – similarly to a wind generator – by moving a generator by the water flow. The density of water is about 800 times higher than of air, which means that a generator can produce electricity with relatively low current velocities as compared with wind speed. Yet, a TSPP requires a tidal current speed of at least 1 m s^{-1} , and Indonesia seems to be a very suitable region for the installation of this technique.

1.1.1 Energy potential

There is a huge **energy potential in tidal currents**.

The **theoretical potential** is the potential which is physically available; it accounts for approx. 1400 TWh/y (Tannenhauer 2009)

The **technical potential** describes the extract of the theoretical potential and thus of the maximum quantity of energy that can be gained using the available technical means

The **practical potential** is the extract of the technical potential with regard to external constraints, e.g. competitions in the usage, environmental sensitivity, societal aspects

The **economic potential** translates the latter to technical limits and external constraints such as economic drawbacks and competing in the electricity market.

1.1.2 Types of TSPPs

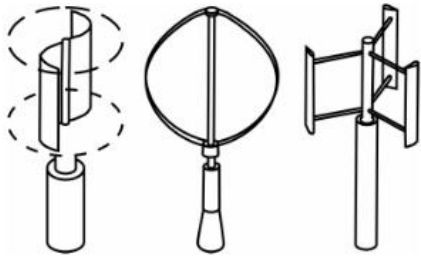
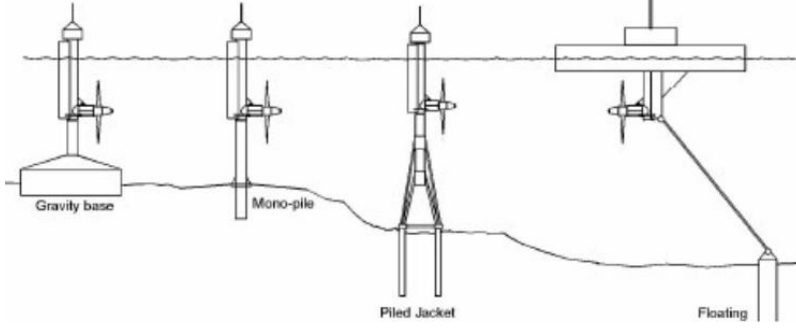
<p>Vertical axis turbine</p> <p>Examples: Blue Energy Turbine; Gorlov Helical Turbine</p>	 <p>(1)</p>
<p>Horizontal axis turbine (turbines are similar to modern wind turbines)</p> <p>Examples: Open Hydro Turbine; Seaflow, Seagen; The Blue Concept</p>	 <p>(2)</p>
<p>Oscillating hydrofoils (working like a fish's tail; the hydrofoils are forced up and down by the stream flow)</p> <p>Example: Stingray; Pulse Stream</p>	

Fig. 1: Principles of Tidal Stream Power Plants. From Grabbe et al.

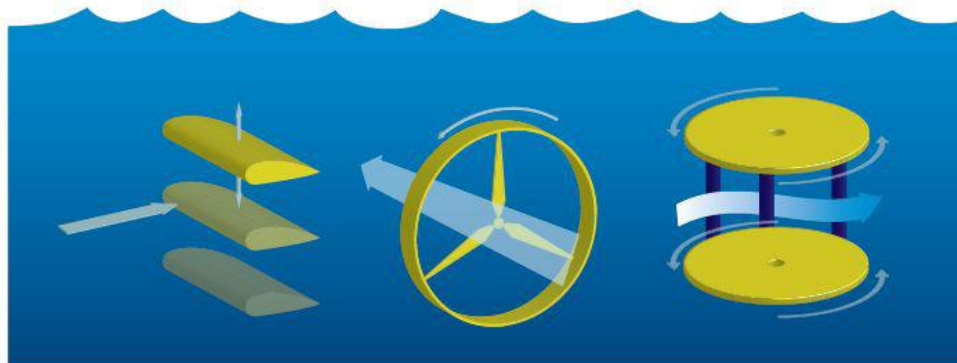


Fig. 2: Principles of Tidal Stream Power Plant rotors.
<http://www.dpenergy.com/information/tidal.html>

1.1.3 Potential ecological impacts of TSPPs

Despite the fact that TSPPs represent a renewable energy conversion technique, there is quite some potential for ecological concern: TSPPs are rather large structures built within a potentially sensitive and vulnerable environment. The specific environmental risks of TSPPs are the spatial requirement, emissions in form of exhaust gas, waste water, light and noise. In addition, construction and maintenance add environmental stress to the ambient nature. These considerations will be structured and analyzed following the DPSIR approach (chapter 2).

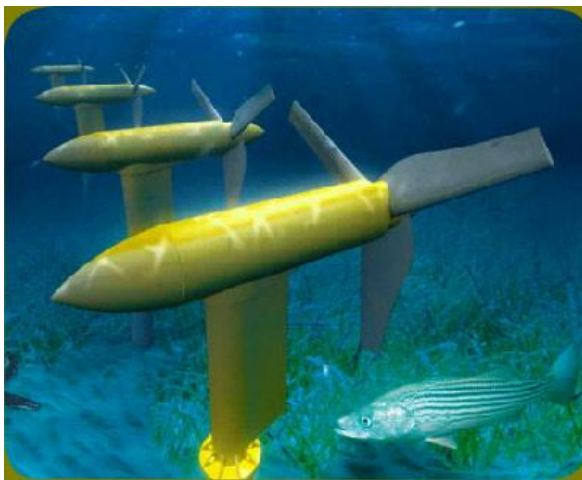


Fig 3: Artists view of a verdant type tidal stream power plant

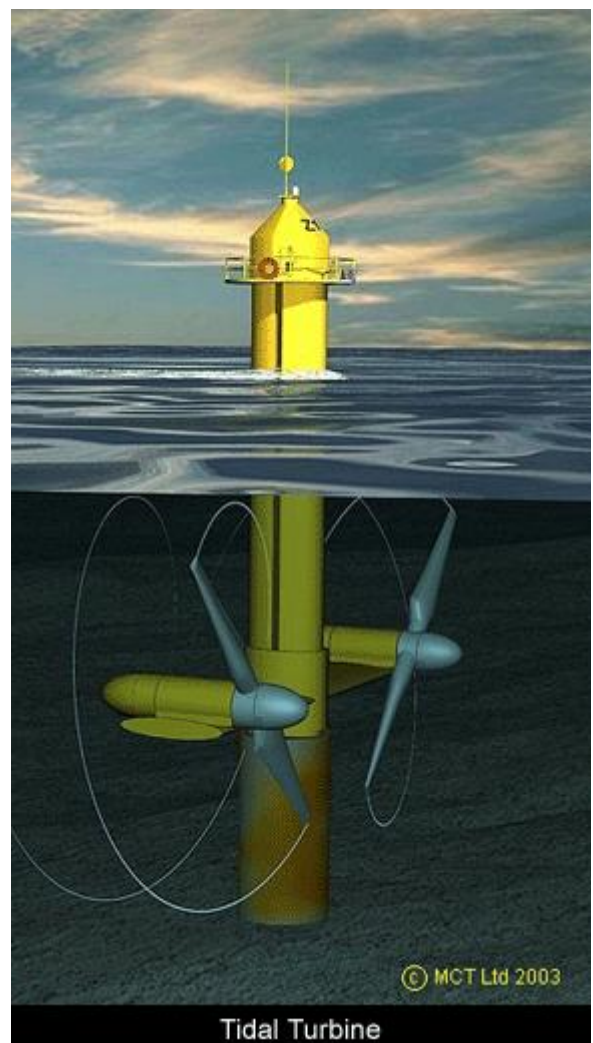


Fig. 4: Artists view of a tidal stream power plant

To date not many environmental impact studies on effects of TSPPs are available. The following is an analysis of the data collected during the environmental monitoring program, which has provided the following key findings (SeaGen Environmental Monitoring Programme 2011, Final Report)

- No major impacts on marine mammals have been detected across the 3 years of post-installation monitoring.
- Porpoise activity declined during installation; however there have been no long term changes in abundance of either seals or porpoises which can be attributed to the presence or operation of the device.
- A few of the metrics monitored were naturally highly variable and therefore comparisons between phases lacked suitable statistical power to confidently rule out undetected changes – this was particularly the case for gray seals and porpoise sighting rates from the shore based visual observation. However, given the wide ranging nature of these species it is unlikely that any changes at this spatial scale would have a significant effect at the population level.
- Seals and porpoises regularly transit past the operating turbine, clearly demonstrating a lack of any barrier effect.
- The only changes observed after three years of operation of the device have been relatively small scale changes in the behavior and distribution of seals and harbor porpoises, suggestive of a degree of local avoidance of the device.
- Overall the seals transited at a relatively higher rate during periods of slack tide, indicating avoidance but also this slack water window when the turbine is not operating or is moving very slowly, ensures that there is always an opportunity for transit past the turbine.
- This avoidance reduces the risk of any direct interactions with the moving rotors and suggests that both seals and porpoises have the capacity to adjust their distributions at local scales in response to a potential hazard.
- The benthic ecology was monitored using diver survey. The data collection and analysis are robust in determining that the changes observed appear to be gradual and in line with natural variation. Colonisation of the device since its installation has replaced the community lost at the device foundations during construction.
- Changes to tidal flow were measured using Acoustic Doppler Current Profiling (ADCP). The data showed no evidence of significant change to the ambient velocity or flow direction within the Lough, subsequent to the installation of the turbine. The findings show that it is unlikely that marine traffic between Strangford town and Portaferry has been affected. The wake which can be observed on the water surface is not propagated into the water column which may explain the absence of any significant changes to the benthic ecology.
- Although not a key feature of the EMP, bird data was collected in combination with the

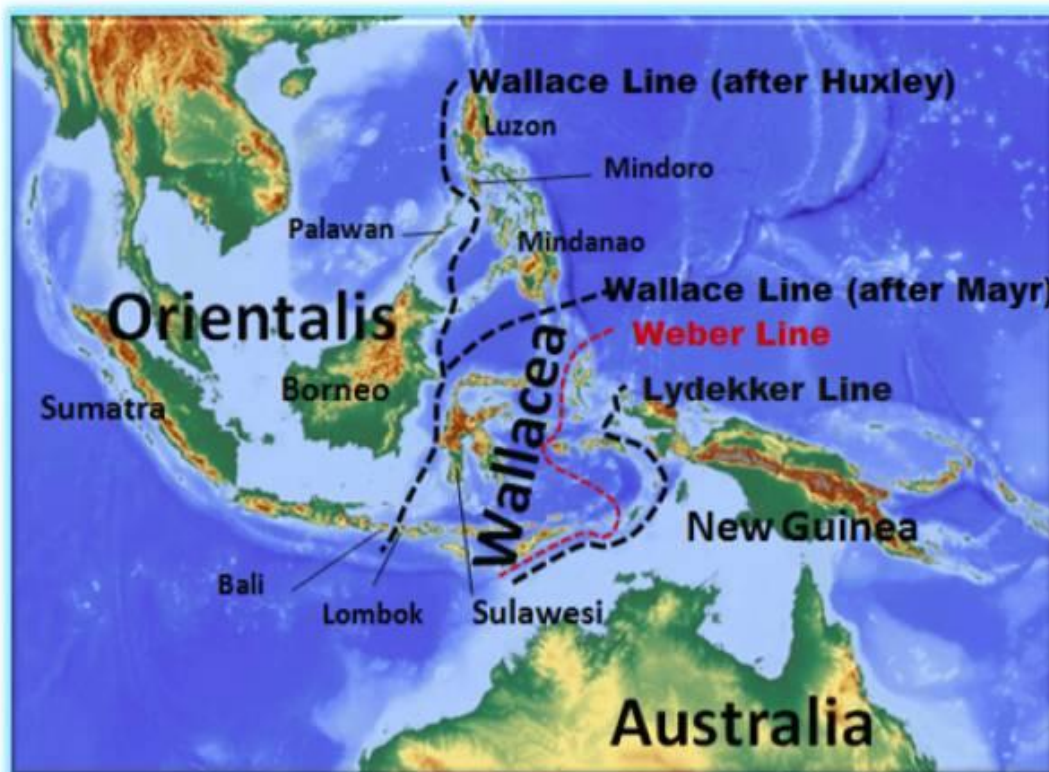
shore based marine mammal surveys. The data showed that, while some fine scale displacement of birds had been recorded in the immediate vicinity of the device, the overall numbers in the Narrows remained stable.

1.2 Ecological and biogeographical conditions

As pointed out before, Indonesia with its high tidal elevations combined with a multitude of straits and sounds seems to be a very suitable region for installation of TSPPs. Indonesia is a country with an enormous coastline (depending on different estimates between 80,000 and 200,000 km) around a total of approx. 17,000 islands.

The population is approx. 240. Mio, with an estimated annual growth rate of 1,04%.

In addition, Indonesia is an economically emerging country. The economy has shown a rather steady growth of ~ 5% per year in the past decade. This growth is accompanied by a large and growing demand for electricity. Remote areas and isolated islands require a local



*Fig. 5: Wallacea, region between Wallace line and Lydekker line, an area of particularly high diversity.
From wikipedia*

generation of electricity, which adds another rational to the installation of TSPPs.

Indonesia is a tropical country, situated between 6° North and 11° South. Moreover,

Indonesia is one of the hot spots of diversity, on land as well as in the marine environment. A biodiversity hotspot is a biogeographic region with a significant reservoir of biodiversity that is under threat from humans (wikipedia). An explanation for this high biodiversity can be found in the overlap of two major biogeographic regions, Asia and Australia, forming an ecotone region called "Wallacea". According to Conservation International, Wallacea is home to over 10,000 plant species, of which approximately 1500 (15%) are endemic and to 1142 terrestrial vertebrate species of which 529 (46%) are endemic.

Endemism means, that a species is unique and locally restricted to a defined region. Consequently, a threat within this limited area results in a threat to the existence of the species as a whole.

The following table gives an overview of the species diversity in this region, and the degree of endemism.

Tab. 1: Number and degree of endemism of terrestrial species of Indonesia. From <http://www.conservation.org>

Taxonomic Group	No. of Species	Endemic Species	Percent Endemism
Terrestrial plants	10000	1500	15.0
Mammals	222	127	57.2
Birds	647	262	40.5
Reptiles	222	99	44.6
Amphibians	48	33	68.8
Freshwater Fishes	250	50	20.0

The following figure shows that a large part of Indonesian territory overlaps with the so called "coral triangle". The Coral Triangle is regarded as the global epicenter of marine biodiversity. The situation in the seas. Next to approx. 3,000 species of marine fish and 7 (=100%) of global marine turtle species, the coral triangle is home to 605 coral species which is more than 75% of all corals worldwide, and of 2228 species of coral fish representing 37% of global coral fish diversity.



Fig. 6: The coral triangle. From wikipedia

In conclusion we can state that Indonesia represents a very large and ecologically extremely valuable region, facts, that need to be taken into account for an appropriate site selection process.

1.3 Methods

The site selection procedure involves several steps of which the environmental impact assessment is one. In order to define suitable sites for TSPPs next to the environmental side also the technical suitability (water depth, current velocity), the economy (proximity to consumers, cost / benefit) as well as the societal aspects (impact on social structures) have to be assessed.

Only if the feasibility within all categories is provided, a TSPP will have a chance of realization.

Of course, the various feasibility studies will in practice be performed parallel and iteratively, and not – as suggested in the scheme – serially.

In the following we will focus on the environmental aspect only. We follow the DPSI approach, a well established model for the characterization of environmental pressure and protection strategies. This model has been employed by the European Environmental Agency (EEA) and the United Nations Environment Program (UNEP).

DPSIR is a causal framework for describing the interactions between society and the

environment. The components of this model are:

1. **Driving forces** processes of public life with the potential to impose pressure on the environment (e. g. economy, industry etc.)
2. **Pressures** are the resulting stress factors, for example emissions.
3. **State** of an environmental compartment which is exposed to the pressures.
4. **Impacts**: specific effects of stress on environmental compartments
5. **Responses**: Societal reaction on environmental stress, such as research, improvements and regulations.

In the here proposed system, we define the state by the specific sensitivity of a habitat or organism, which is directly exposed to the particular pressure – and which we consider to be indicative (see below).

2 The DPSIR approach

2.1 Driving force

The driving force is the need for electric energy and the decision to use tidal current energy as source. Planning of TSPPs will be triggered by technological possibilities and hydrographic suitability. We thus assume the plans of TSPPs as a given prerequisite for the environmental evaluation.

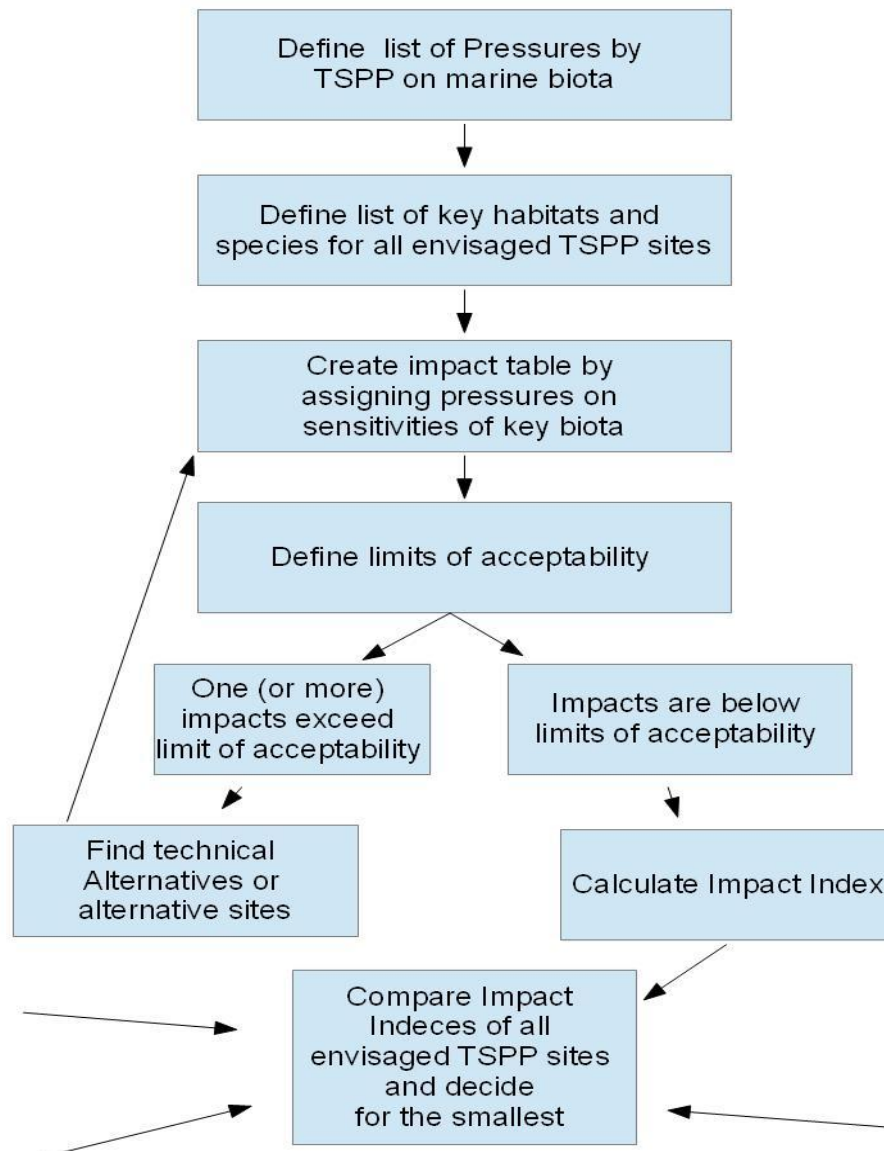


Fig. 7: Scheme of impact evaluation following the DPSIR approach

2.2 Pressures

TSPPs exhibit pressures on the surrounding environment. It is the idea of this study to design a system in order to evaluate the extent of the impact – and thus the acceptability of this technique for a given environment.

In order to adjust the evaluation process to the planned facility information as detailed as possible on design, size etc. of TSPP is required. The following is a generic list of pressures which derive from TSPPs. The extent of each pressure is dependent from the specific design.

Consumption of terrestrial area

TSPPs require a certain amount of space on land which is particularly relevant in the case of occurrence of endangered coastal plants and for nesting birds and turtles. Any loss of natural habitat is negative for the inhabiting organisms and is a measure for the evaluation of the extent of an ecological impact.

Consumption of marine area

Available seafloor space can be a limited resource (e. g. mating places for turtles, seagrass meadows as feeding areas for marine mammals and turtles). Any loss of natural habitat is negative for the inhabiting organisms and is a measure for the evaluation of the extent of an ecological impact.

Barrier effect of the construction

TSPPs represent a physical structure with potential harm to organisms and/or functions, for example by collisions, or barrier effects which can disturb migrating organisms. The effects are directly dependent of the size and the design of the structure itself, and with the extent of decrease in cross section of sounds or straits.

Barrier effects are particularly relevant for migratory species, for large ones more than for small ones.

Underwater Noise

TSPPs create noise, which is of potential harm for underwater (e.g. whales) and terrestrial organisms. Underwater noise is predominantly a problem for marine mammals (whales) which have extremely sensitive acoustic organs. Measurements of noise emitted by TSPPs are around 70 dB in 20 m distance which is rather loud but probably not destructive for whale ears. But further knowledge is required. The decrease of noise pressure is given as a function of distance according to the following equation: $\text{Noise}_{\text{DISTANCE}} \text{ (dB)} = \text{Noise}_{\text{ORIGIN}} \text{ (dB)} - (16 \text{ Distance (m)} * 6)$.

It should be mentioned here, that the noise pressure in dB in water and air are not comparable, due to the different density of water and air. For a comparison of noise intensity in water, approx. 62 dB need to be subtracted from the measurements of noise pressure.

Light

Human activities, and in particular industrial activities are connected with the emission of light. This aspect is of crucial importance for marine turtles and for migratory birds and all other species that orient themselves and navigate according to light.

We distinguish between luminance and luminous intensity.

Luminance L is a photometric measure of the light intensity per unit area. It describes the amount of light that passes through (or is emitted from) a particular area, within a given angle. The SI unit for luminance is candela per square meter (cd m^{-2}).

The luminance decreases with the inverse square of the distance.

As opposed to luminance, the **luminous intensity I_v** does not vary (decrease) with distance in a non-absorbing media (such as air). This means, an object has always the same brightness, however, the angle of observation (and thus the perceived size of the object) decreases with distance. The SI unit for luminous intensity is candela (cd).

A result of this concept anti-dazzle sheds are mandatory in order to protect turtle nests and other light sensitive objects from disorientation by artificial light sources (such as electric bulbs).

Noise and unrest above water

The activity connected to the operation of an industrial facility requires a certain amount of human presence (maintenance, improvements, controls etc.) People will probably drive around in boats for control, maintenance and repair purposes; there will be diving, ship movements etc. This unrest imposes an additional impact for the environment, particularly for shy animals.

From whale watching in New Zealand there is information on fugitive behavior of whales. New Zealand Marine Mammals Protection Regulations 1992 suggest not to approach closer than 50 m to any whale for small boats and not approach closer than 300 m to any whale with vessels with 3 or more people on board. These numbers are used as proxies for estimates of thresholds in the evaluation system (chapter 4).

Sedimentation

The principal idea of TSPPs is to extract kinetic energy from currents, which necessarily results in a decrease of current velocity. Lower current velocities can result in changing sedimentation patterns of suspended material, which might be of importance to organisms

(filter feeders) and biotopes (coral reefs).

We assume that the increase in sedimentation is negatively and linearly dependent on decrease in current velocity.

$$\text{Sed}_{\text{AP}} = \text{Sed}_{\text{BP}} * \text{CV}_{\text{BP}} / (\text{CV}_{\text{BP}} - \text{CV}_{\text{AP}})$$

with:

SED_{BP} : Sedimentation before passage through TSPP

SED_{AP} : Sedimentation after passage through TSPP

CV_{BP} : Current velocity before passage through TSPP

CV_{AP} : Current velocity after passage through TSPP

Emission of alien substances

Although neither intrinsic nor intentional, a spill of alien substances will inevitably occur.

Among these substances are:

- Antifouling agents
- Oil and lubricants
- Gasoline
- Particulates
- Exhaust gas and aerosols
- Waste

The emissions are not specific for TSPPs, and can be treated similar to comparable coastal installations, such as other types of power plants or industrial facilities. All possible precautionary measures have to be taken to minimize the spill, such as containers for liquid waste, bins for solid waste, proper maintenance of engines and information, training and education of staff.

2.3 State

The state in DPSIR refers to the ecological compartment which is subject to the stress exhibited by the driver. The state in this context is equivalent to the presence and sensitivity of ecological units. These units are habitats and species.

In the light of the overwhelming biodiversity of the study region (see above) we have to focus on few focus species and habitats for a practical ecological assessment.

The ecological requirements of focus species cover those of many other species, aiming at the conservation of other species under the „umbrella“ of better known and identifiable species.

Focus habitats are habitats with a significant ecological function. Focus species are indicators for environmental deterioration. We decided to use the internationally recognized list of endangered species provided by the International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) as base.

Of course, there is a certain quantum of overlap, as focus species can be inhabitants of focus biotopes. We therefore refer to focus species in that case, that the species is not obligatorily attached to one habitat type. These species are regarded as migratory species.

2.3.1 Habitats

As for focus **habitats** we decided to focus on the following, according to the comprehensive book by Tomascik et al. (1997). These are the focus habitats and will be discussed in more detail below.

- Mangroves
- Coral reefs
- Seagrass
- Beaches
- Coastal Wetlands

Mangroves

Mangroves are various types of trees up to medium height and shrubs that grow in saline coastal sediment habitats in the tropics and subtropics. Between 1992 and today, an approximate 50% loss of mangroves has been ascertained, mainly as a consequence to the installation of ponds for the shrimp production.

Mangroves form a natural protection against Tsunamis. The significance of mangroves can be derived from the fact that $\frac{3}{4}$ of commercially important fish need mangroves as breeding area.

There is a variety of different species of mangroves according to water depth, current exposition etc.

Mangroves require air temperature above 20 – 24°C. They need protected, intertidal coastlines as seedlings of most species need sheltered conditions to root; once established plants can withstand storms, waves and currents. In addition, Mangroves need currents for the dispersal of seeds. Therefore, the patterns of current velocities are crucial to the occurrence, settling and dispersal of mangroves.

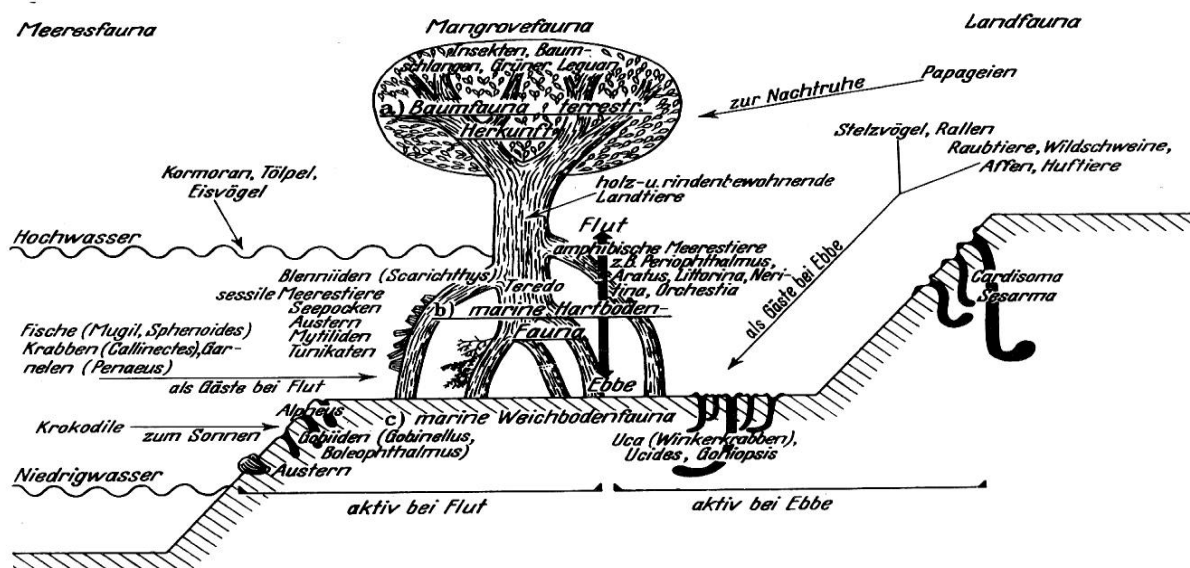


Fig. 8: Scheme of mangrove biocoenosis. From a classic paper on mangrove ecology (Gerlach 1958)

Ecological significance of mangroves is enormous, both in the marine and in the terrestrial environment. Figure 8 will give a glimpse of the interconnections of species associated with mangrove trees.

Coral Reefs

Coral reefs occur in warm waters where winter temperatures do not drop below 20°C. Corals inhabit coastal areas forming large reefs which are home to an overwhelming diversity of marine life. Coral reefs occupy less than 0.1% of the world's ocean surface, but they provide habitat for 25% of all marine species (Spalding et al. 2001). The Raja Ampat Islands in the West Papua province offer the highest known marine diversity (Doubilet 2007). Coral reefs are threatened by climate change, acidification, harmful fishing methods (blast or cyanide fishing), urban and agricultural runoff and water organic and inorganic pollution. Overfishing and excess nutrient supply from onshore can enable algae to outcompete and kill the coral (Glynn 1990). It is assumed that 60 % of the world's coral reefs are in danger due to human activities.

Coral reefs have a vast ecologic and economic value which is well known and does not require additional justification. They protect shorelines by absorbing wave energy. Many small islands would not exist without their protecting reefs. About six million tons of fish are taken yearly from coral reefs.

Restoration of coral reefs requires long periods of time. First promising attempts have been

made in aquaculture of corals and artificial restoration (Horoszowski-Fridman 2011, Sabater & Yap 2004) which means there may be hope for damaged coral reefs.

Nevertheless, first priority has to be the protection of existing coral reefs in a good ecological state.

Seagrass beds

Seagrass is a flowering plant which grows in marine, fully saline environments. There are 58 known species. Seagrass beds cover shallow soft bottoms and are important breeding areas for fish and feeding areas for marine reptiles and mammals, such as turtles and Dugongs. Seagrass beds resemble terrestrial grasslands and form extensive “meadows”, which can be monospecific and dominated by one or few species (e. g. *Zostera marina* in the North Atlantic) or especially in tropical regions more diverse with up to thirteen species. Seagrass beds with their high rate of primary production provide shelter and habitat for hundreds of associated species, for example juvenile fish, epiphytic and free-living macroalgae, mollusks, and several species of worms and nematods.

Seagrass traps sediment by slowing down water movement which benefits coral reefs by reducing sediment loads in the water. Roots and rhizomes stabilize the seabed protecting it against erosion. Seagrass meadows account for 15 % of the ocean’s total carbon storage and hold twice as much carbon dioxide per hectare as rain forests.

The Green sea turtle and the Dugong are the only species living nearly exclusively on seagrass, the turtles acting as grazing animals cutting the seagrass short in lush areas while the Dugongs are feeding from areas with sparse vegetations. They ingest the whole plant including roots and rhizomes plowing furrows through the seagrass meadows. At the same time Dugongs are highly specific and feed only on low-fibre high-nitrogen seagrass such as *Halophila* and *Halodule* (Lawler et al. 2002) changing the species composition in their feeding grounds.

Major threats of seagrass meadows are eutrophication by urban and agricultural runoff, mechanical destruction of habitat, and overfishing.

Coastal Wetlands

Coastal wetlands are characterized by salt or brackish water regime and include swamps, salt marshes and pocosins. Mangroves belong to the coastal wetlands too but are regarded separately above. Wetlands have a number of environmental roles, principally water purification, flood control, shoreline stabilization and storm protection. They are also considered the most diverse of all ecosystems, providing habitat to a wide range of plant and

animal species.

The main conservation benefit these systems have against storms and tidal waves is the ability to reduce the speed and height of waves and floodwaters. Furthermore they storage nutrients, trap sediments and remove toxic substances from the water.

Major threats to coastal wetlands are eutrophication, introduction of alien species and land loss through aquaculture especially shrimp farming industry.

2.3.2 Species

The IUCN red list accounts for 6979 species living in Indonesia. This number is roughly underestimated because e.g. all mollusks are missing in the list. In order to condense this enormous number of species to a manageable selection we concentrated on marine and coastal species of the IUCN red list categories critically endangered (CR), endangered (EN) and vulnerable (VU) ignoring extinct species as well as the categories of lesser concern.

IUCN red list (<http://www.iucnredlist.org>), search criteria:

Location:	Indonesia
Species Group:	Mammals Birds Fish Reptiles
IUCN Red List Category:	Critically endangered (CR) Endangered (EN) Vulnerable (VU)
Type of habitat:	Marine neritic Marine intertidal Marine coastal Wetlands
Threat:	all
Result:	167 species (Dec. 2013)

This selection contains many non-migratory species bound to a specific habitat. We assume that they are sufficiently represented along with the focus habitats. Among the migratory species we identified groups of focus species which are characterized by being sensitive to specific pressures imposed by TSPPs. For example are all species of sea turtles sensitive against light emissions and unrest during their nesting season and can be regarded together. Larger whales like blue whale, sperm whale or fin whale are sensitive against loud low frequency sounds whereas smaller whales like porpoises or dolphins are sensitive against

higher frequencies. In this way the total number of potentially affected species can be condensed to five species groups with similar sensitivities.

Species groups:

- “Beach-breeders” - Sea turtles and Maleo
- Large Whales
- Small Whales
- Dugong
- Large migratory fish species

Tab. 2: Relevance of pressures to species groups (X = factor is relevant, O = factor is of no or low relevance, - = no data available)

	Beach-breeders	Large whales	Small whales	Dugong	Migratory fishes
Consumption of terrestrial area	X	O	O	O	O
Consumption of marine area	X	O	X	X	X
Barrier	X	-	X	X	X
Underwater Noise	-	X	X	-	-
Light: luminance / radiation	X	-	-	-	-
Noise and unrest above water	X	X	X	-	-
Sedimentation	X	O	-	X	X
Pollution	-	-	-	-	-

2.3.2.1 „Beach-breeders“: Sea Turtles and Maleo

This species group includes the sea turtles as well as the Maleo, a bird species using sun warmed sand along beaches for breeding.

The Maleo (*Macrocephalon maleo*) is endemic to the island of Sulawesi living mainly in forests. The birds need open sandy areas in the neighbourhood of forests for breeding. The eggs are laid in deep holes in the sand and incubated by solar or volcanic heating. After hatching the young birds take shelter in the forest. Since 1972, the Maleo is protected by the

Indonesian government. Nevertheless the species is evaluated as endangered by the IUCN Red List.

Four out of seven species of sea turtles are found in Indonesia where they all are protected by the government. All sea turtles are highly migratory species and inhabit a wide range of habitats. The Leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*) and the Olive Ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) live in the open ocean feeding mainly on jelly fish and visiting coastal waters only for breeding, whereas the other species inhabit also coastal habitats. Green sea turtles (*Chelonia mydas*) are mostly herbivorous and prefer lush seagrass beds as feeding sites. The Hawksbill sea turtles (*Eretmochelys imbricata*) are primarily found in coral reefs feeding on sponges but they expand even into mangrove swamps.

They all lay their eggs on beaches mostly during the night. Most of the females come ashore individually but for the Ridley sea turtles which come together as a group for nesting up to three times a year. Their optical sense is not well adapted to night vision on land, so that they are easily irritated by artificial light on land. Like the hatchlings later on, they head to the light of the moonlit ocean after nesting or hatching respectively. Artificial light may prevent adults as well as hatchlings from reaching the water.

The individuals often migrate lifelong between the very same nesting beaches and feeding sites. From the leatherbacks it is known, that they do not necessarily return to their hatching beaches and may choose other beaches within the region. They need beaches with shallow approach angles and soft sand because of their soft shells and plastrons which are easily damaged by hard rocks.

Along the nesting beaches there should be high vegetation such as dark forest in order to provide shelter for the maleo hatchlings and to prevent the turtles from heading in the false direction after nesting.

Consumption of terrestrial area

All beaches which are actually or potentially visited by nesting adults are crucial for the protection of sea turtles and of the Maleo and have to be investigated. Important nesting areas for the green sea turtle are the uninhabited islands of the Derawan-Archipelago (Sangalaki, Samama, Bilang-Bilangan, Mataha, Belambangan and Sambit). The beaches of Papua Barat are nesting areas of the pacific leatherback population. For the Olive Ridley sea turtles Indonesia provides only nesting grounds of minor priority. Nevertheless the integrity of those beaches is important for the protection of the whole species.

The beaches should not be destroyed, damaged or in other ways degraded, for example by the storage of construction material. We suggest a distance of 5 km between TSPPs and nesting beaches. High vegetation on land is important as a light shade and should remain untouched.

Consumption of marine area

Coral reefs and seagrass beds are feeding areas for the sea turtles especially for Green Turtles and Hawksbill Turtles.

Barrier

No data are known about the turtle's abilities of sensing and avoiding TSPPs but we estimate a reduction of 30 % from the total width is acceptable.

Underwater Noise

Sea turtles are not known for their acoustic sensitivity. For reasons of precaution the noisy parts of the construction phase should be performed outside the breeding season of turtles.

Light: luminance and intensity of radiation

Areas which have to be illuminated at night should be sheltered by light shades or high vegetation. Alternatively white light can be replaced by red or amber LED light which is invisible to sea turtles. It should always be considered that hatchlings as well as adult females always find their way to the ocean by crawling towards the brightest horizon.

Noise and unrest above water

Disturbance by noise, light, and unrest along the beach during the night may prevent the female turtles from approaching the beach for breeding and should be avoided. The breeding areas of the Maleo should be protected from disturbance during the breeding season.

Sedimentation

Coral reefs and Seagrass beds are potentially influenced by a modified sedimentation regime and should be regarded as potential feeding areas for Green Turtles and Hawksbill Turtles.

Pollution

Pollution of the construction site with packaging and other plastic material has to be avoided because many turtles die from intestinal blockage following the ingestion of plastic bags which resemble their jellyfish prey. Chemical pollution with mechanical fluids or antifouling etc. has to be minimized by arranging a proper maintenance of the technical installations.

2.3.2.2 Large whales

This species group includes Blue whale (*Balaenoptera musculus*), Sperm Whale (*Physeter macrocephalus*) and Fin Whale (*Balaenoptera physalus*).

All these species are usually found in deep off shore waters. In regions where the continental shelf is small and drops quickly to depth 300 m and more the whales may be seen closer to the coast. Thus there is no overlapping between their habitats and areas suitable for TSPPs. Nevertheless we identified two pressures to be potentially problematic: underwater noise, noise and unrest above water. Two more pressures may be relevant but adequate data is missing: barrier effect and pollution.

The details of whale communication are rather well investigated. Blue whales produce loud, long, low frequency sounds that are regionally distinctive leading to “acoustic populations” (Samaran et al. 2013). In the oceans around Indonesia possibly occurs the subspecies *B. m. breviceuda*, known as Pygmy blue whale with a maximum length of 24 m instead of 30 m. Pygmy blue whales appear to communicate by more complex sounds than other populations or subspecies. Generally, blue whales produce sounds at a frequency of 10 to 40 Hz with a source level between 155 and 188 decibel (Cummings & Thompson 1971, Richardsen et al. 1995). They can hear each other over distances up to 1,600 km.

Barrier

Satellite tracking (Double et al. 2012) suggests that parts of the Antarctic population of blue whales migrate to the Indonesian Banda and Molucca Sea to calve and breed. Little is known about blue whale and other large whale migration issues, but it is supposed that they follow individual migrating routes. These routes may lead through areas potentially suitable for the construction of TSPPs. Hence the assessment area has to be investigated regarding potential migration routes or breeding areas of large whales.

Underwater Noise

Underwater noise affects the communication between whales because it drowns out their vocalizations (Melcon et al. 2012) and reduces their hearing up to deafening. Blue whales stop producing foraging D calls once a mid frequency sonar is activated, even though the sonar frequency range (1-8 kHz) far exceeds their sound production range (25-100 Hz) (Melcon et al. 2012).

Loud, low frequency noise is expected at the utmost during the construction phase of TSPPs where the drilling of fundamental piles accounts for a lower noise level than percussive piling. Robinson & Lepper (2013) negate an influence of radiated noise during operation and construction phase of TSPPs on marine receptors. Since the noise radiation depends on the

type of TSPP it should be regarded precautionary. Techniques for reducing underwater noise during the construction phase should be applied such as bubble curtains (“Blasenvorhang”, Pehlke et al. 2013).

Noise and unrest above water

Noise and unrest is due to impose fugitive behavior of whales disturbing them in breeding, foraging or migrating. New Zealand Marine Mammals Protection Regulations 1992 suggest not to approach closer than 50 m to any whale for small boats and not approach closer than 300 m to any whale with vessels with 3 or more people on board.

2.3.2.3 Small Whales

The Small Whales species group includes dolphins and porpoises. In the IUCN redlist there are two species listed as vulnerable (VU): the Finless Porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) and the Irrawaddy Dolphin (*Orcaella brevirostris*) whose Indonesian population is evaluated as critically endangered.

The Irrawaddy dolphin is a euryhaline species found in brackish water near sea coasts, in estuaries, river mouths and rivers. In Indonesia it is restricted to a 420 km stretch of the freshwater Mahakam River on East Kalimantan Island. The Semayang National Park has been proposed as an Irrawaddy dolphin sanctuary (Kreb 2007).

The Indo-pacific finless porpoises stay in shallow waters up to 50 m deep, close to the shore, in waters with soft or sandy seabeds or in estuaries and mangrove swamps. They typically swim just beneath the surface of the water and roll to one side when surfacing to breath. This movement disturbs the water surface so gently that they are often overlooked (Jefferson & Hung 2004). The finless porpoises produce both high frequency clicking sounds, and longer, low frequency tones, the latter perhaps rather for communication than echolocation (Wang 1996). The clicks are narrow-band, with peaks of over 100 kHz (Kamminga et al. 1996). The primary danger to this species is environmental degradation.

Consumption of marine area

Environmental degradation being the primary danger to these species Coastal wetland areas, estuaries and river mouths should be protected against degradation because they are main habitats for dolphins and porpoises which are primarily threatened by the loss of habitats.

Barrier

The barrier effect may prevent the whales from migration. Additionally there is the danger of collision of small whales with submerged parts of TSPPs.

Underwater Noise

Studies concerning underwater noise of TSPPs (Robinson & Lepper 2013) suggest that only the noise during the construction phase of power plants is due to harm marine mammals. Operational noise of TSPPs normally does not exceed the ambient noise level. In contrary the noise level is not high enough to warn marine mammals so that there is the risk of collisions of whales with the submerged parts of the TSPPs. It is currently unknown if there is indeed a risk of injuries in a regularity to be of ecological concern. So this topic should be part of the monitoring program. If there is a risk of whale-turbine collisions, acoustic warning equipment could be installed (Wilson & Carter 2013).

Noise and unrest above water

Finless porpoises in some areas seem to be shy of boats. Noise and unrest is due to impose fugitive behavior ousting them from their habitats.

Sedimentation

A change in sedimentation regime may change the status of coastal wetlands and mangroves as habitat for small whales.

Pollution

Chemical pollution with mechanical fluids or antifouling etc. has to be minimized by arranging a proper maintenance of the technical installations.

2.3.2.4 Dugong

Dugongs (*Dugong dugon*) are found in shallow coastal waters of 5 m to 30 m depth. They feed exclusively on seagrass ingesting the whole plant including roots and rhizomes (Lawler et al. 2002). Areas with sparse seagrass vegetation seem to be preferred to lush areas. Highly selective the dugongs often collect seagrass species with high nitrogen and low fiber content. In search for food, dugongs are able to move over long distances (several hundred km) but they may also stay within a certain range their entire life or come back to certain places after long movements.

Consumption of marine area

The construction site of TSPP may affect the dugong's migrating routes or foraging areas. So it has to be investigated if Dugongs are permanent or temporary present in the study area.

Barrier

The barrier effect may disturb the dugong's migrating routes or foraging areas. So it has to be investigated if Dugongs are permanent or temporary present in the study area.

Underwater Noise

No data are available about the effect of underwater noise on Dugongs, so this may be a topic of a monitoring scheme.

Noise and unrest above water

Noise and unrest is due to impose fugitive behavior of dugongs disturbing them in foraging and ousting them from important foraging areas.

Sedimentation

A change in sedimentation regime may change the extent and quality of seagrass beds as foraging sites for the Dugong.

2.3.2.5 Large migratory fish species

This species group is the largest group and contains sharks, rays, guitarfishes, the Whale shark and other large fish species.

Larger fish species are mainly endangered by high fishing pressure. Most of the species are not or low affected by tidal stream energy devices. They may be influenced in their migratory behavior by blockage of their migrating routes between hunting areas, and several species of shallow coastal waters are threatened by habitat loss.

Several ray species tend to be found in shallow coastal waters and are threatened by habitat loss, such as the reef manta ray (*Manta alfredi*), Hurtle's whipray (*Himantura hortlei*), Reticulate whipray (*Himantura uarnak*), Leopard whipray (*Himantura leopard*) and Tubemouth whipray (*Himantura lobistoma*).

Among the shark species the Great hammerhead (*Sphyrna mokkaran*), the Tawny nurse shark (*Nebrius ferrugineus*), the Sicklefins lemon shark (*Negaprion acutidens*) and the Whale shark (*Rhinocodon typus*) are permanently or temporarily found in coastal habitats and threatened by habitat loss.

Consumption of marine area

Since those species living in coastal habitats are among other threats endangered by habitat loss, the consumption of marine area is a threat as long as potential habitats for these species are concerned.

Barrier

The barrier effect may disturb migrating routes or cut the species off their hunting areas.

Noise and unrest above water

Noise and unrest above water may have an ousting effect on larger fish species

Sedimentation

Coral reefs, seagrass beds and mangroves which are potentially influenced by a modified sediment regime are feeding areas for some species.

2.4 Weight factors

Habitats are key components within the environment. In order to assign an appropriate value to these components, weight factors can be applied. In our system we only apply the ecological status, and we will shortly discuss why.

The following table gives an overview over potential factors to be considered:

Tab. 3: Weight factors in ecological evaluation

Species diversity	frequently discussed in the context of ecosystem stability and production. A high diversity means many species, and in this sense a habitat can be considered more valuable than another habitat with less species.
Flow of material	addresses the importance of an ecological component with regard to its significance in turnover processes of the ecosystem.
Threat	state of endangering due to anthropogenic pressures. This aspect is implicitly encompassed in our evaluation system, by the choice of species and habitats
Ecological Status	Degree of divergence of a habitat from its original (natural) quality. We think that this factor is the only one to be numerically reflected in the system.
Resilience	capacity of an ecosystem to respond to a perturbation or disturbance without changing its structure. Resilience is performed by 1) resistance to damage (i.e. withstanding the impact without displacement from present state) and/or 2) regeneration (recovery potential to return to original state in relatively short time).
Vulnerability	Difficulty in coping with ecological stress.

The ecological status is the only factor that weights we define a weight factor which is derived from the sum of key characteristics of the particular habitat.

2.5 Impacts

The impact describes the stress which the above described pressures impose on the ecological unit(s). The table below shows the most prominent impacts of a TSPP on the relevant biota (habitats and species) in a generalized way:

Tab. 4: Impact are the consequence of pressures on ecological sensitivity. Main factors

Impact	Habitats					Migratory species				
	Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Beds	Beaches	Wetlands	Turtles (birds)	Big whales	Small whales	Dugong	Big predators (Sharks, rays)
Consumption of terrestrial area	Habitat loss			Loss of beach for nesting	Habitat loss	Loss of nesting-beaches				
Consumption of marine area	Habitat loss	Habitat loss	Habitat loss			Loss of feeding and mating area		Loss of feeding areas	Loss of feeding areas	Loss of feeding areas
Barrier						Disturbance of migration	Disturbance of migration	Disturbance of migration	Disturbance of migration	Disturbance of migration
Underwater noise							Disorientation, Disturbance of communication, ear damage	Disorientation, ear damage		
Light						Disorientation of females and hatchlings				
Noise/Unrest above water						Scaring and ousting	Scaring and ousting	Scaring and ousting	Scaring and ousting	Scaring and ousting
Sedimentation		Clogging of filtering organisms	sediment coverage of plants			Loss of feeding areas		Disorientation	Loss of feeding areas	Loss of feeding areas
Emmissions		Intoxification (filter feeders)				intestinal blockage				

2.5.1 Evaluation system

The ecological evaluation systems provides a qualitative and quantitative evaluation which allows political and administrative decisions about the planned project. The decisions can either be a rejection or an approval of the plan, or it will stipulate ecological improvements. In

order to avoid inappropriate efforts and expenses, the evaluation will be performed in two steps.

The first step, the pre-assessment step, allows the fast evaluation of the environmental impact on the base of construction details of the planned facility and limited knowledge about the hydrographic regime and the biology of the affected region. This pre-assessment can be performed within few months, provided that sufficient data (technical and biological data) is available

If the initial evaluation comes to the conclusion that the project is ecologically unacceptable, the planning needs to be modified – or even completely relinquished. In case the initial evaluation is positive, the process enters the second step: the environmental impact assessment (EIA). The EIA is a detailed evaluation which will yield a solid base line data of the ecological conditions of the region before the onset of construction activities. The EIA will be performed on the base of specific knowledge after an ecological assessment of the affected region.

In order to quantify the evaluation, two values were assigned for each impact and each biological component (where applicable):

- a lower, **innocuous**, threshold below which the impact is negligible – generally when the impact is below the ambient level of disturbance, the
- and an upper threshold above which the impact is unacceptable - the **prohibitive** threshold.

By assigning a **prohibitive** threshold of one (or several) impacts leads to rejection of the construction of the TSPP in the planned manner. (“One out =all out”). In this case, technical alterations must be developed and solutions must be found as for example light sheds in order to protect nesting beaches from headlights and other sources of irritation for turtles.

If impact remains below the innocuous level for all impacts and biota, there is no environmental concern; the TSPP can be constructed as planned.

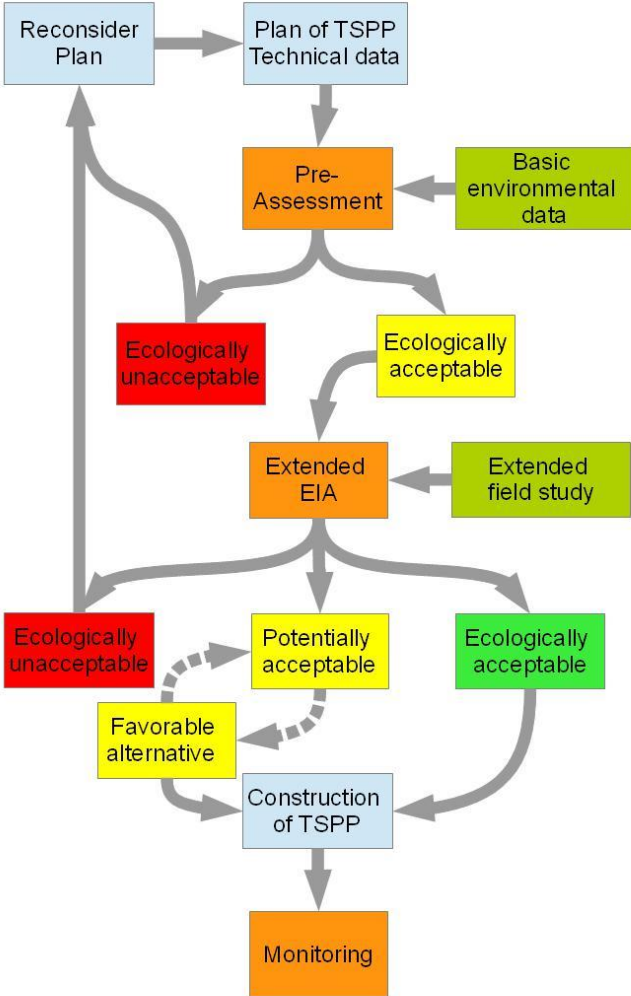


Fig. 9: Flow diagram of environmental assessments

In an intermediate state the evaluation system will generate a numerical score. On this base, a site comparison can be performed and the site with least ecological impact can be identified.

The following table shows the thresholds. The values refer to literature values, or, where not available, are based upon plausible assumptions. The scoring can ameliorated according to better information and knowledge.

Tab. 5: Table of unacceptability

Impact	Habitats					Migratory species				
	Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	Wetlands	Turtles (birds)	Big whales	Small whales	Dugong	Big predators (Sharks, rays)
Consumption of terrestrial area (m²)										
Innoxious <	0	-	-	0	0	0	-	-	-	-
Prohibitive >	10000	-	-	0	5000	0	-	-	-	-
Consumption of marine area (m²)										
Innoxious <	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Prohibitive >	10000	1000	1000	-	-	-	-	-	-	-
Barrier (%)										
Innoxious <	25%	25%	25%	25%	25%	25%	10%	10%	25%	25%
Prohibitive >	50%	50%	50%	50%	50%	50%	30%	30%	30%	>30%
Barrier (m)										
Innoxious <	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	1000,0	500,0	500,0	500,0
Prohibitive >	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	250,0	500,0	300,0	300,0	300,0
Underwater noise (dB)										
Innoxious <	75	75	75	75	75	75	60	60	75	75
Prohibitive >	100	100	190	100	180	190	180	180	190	190
Light (lux)										
Innoxious <	1	1	1	0,25	1	0,05	0,25	0,25	0,25	1,25
Prohibitive >	5	5	5	0,5	5	0,1	1	1	1	2
Light Blend										
innocuous	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
prohibitive	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Noise/Unrest above water, distance (m)										
Innoxious >	500	1000	500	1000	1000	1000	300	500	500	500
Prohibitive <	200	250	100	500	500	250	50	200	200	200
Sedimentation (mm a⁻¹)										
Innoxious <	100	25	15	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	10	n.r.	n.r.
Prohibitive >	275	55	30	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	25	n.r.	n.r.
Emissions										
innocuous	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
prohibitive	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

In order to compare the ecological quality and sensitivity of several alternative sites, the evaluation system takes into account **i)** the relative distance of a pressure from the unacceptable state, **ii)** the frequency of focus habitats and species, and **iii)** their specific weight factors.

2.6 Response

The societal response will be based on the evaluation table. Following responses are possible:

1. Cancellation of the whole project, or selection of another site with less ecological impact
2. Amelioration measures, such as light sheds for turtles, underwater protection measures for migrating animals, noise reduction, nature protection areas, etc.
3. Compensation measures, i. e. nature protection activities in adjacent areas
4. Environmental Impact Assessment (EIA) see chapter 3

2.6.1 Cancellation and/or new site selection

In case, irreparable collisions with valuable natural components are foreseen, the whole project has to be reconsidered. Possibly, a completely new search for appropriate sites will be required, or the original planning has to be substantially modified and re-submitted.

2.6.2 Amelioration measures – ecological optimization

There is no doubt that all best practice measures have to be installed, such as noise minimization, anti-dazzle sheds, a sewage drainage system, waste removal etc.

2.6.3 Compensation measures

In case of ecological incompatibilities, technical solution we feel that additional compensation activities can be applied in order to compensate for ecological stress. In general: distance and time between impact and compensate should be as minor as possible. The compensation should be as closely related to the impact as possible.

In some cases there might not be an adequate compensate possible. In that case, ecological improvements in greater distance and/or other targets can be applied.

A selection of potential compensation measures for coastal environments is listed below

- Waste removal system for settlements in vicinity
- sewage treatment for settlements in vicinity
- Installation and safeguarding nature reserves
- Protection of turtle beaches against destruction by wild pig, by electric fences or similar means

3 Environmental impact assessment

Regarding possible impacts of TSPPs on the marine environment, various risks have to be identified for the construction, operation and decommissioning phase.

The environmental impact scheme shall match the technical and scientific state of the art.

Yet, it has to be applicable in terms of available expertise, a reasonable time frame and financial budget.

3.1 Assessment area

The size of the assessment area depends on the size of the project area – and thus on the areal requirement of the planned project. The assessment area should extend the project area by at least 3 km in all directions.

Within the assessment area the **project area** shall be distinguished from a **reference area**.

The project area shall be close to the impact source, i.e. the underwater turbines, but far enough to allow safe survey by researchers (divers!). The project area has to be large enough to allow survey of relevant habitat patterns,

Reference areas will be used for comparison and documentation of environmental changes, particularly in the context of the environmental monitoring program (chapter 4.4.5)

The size of the reference area should correspond to that of the project area. The reference area should have the same habitat patterns as the project area. If such conditions do not exist in a single reference area, the reference area may be composed of several smaller areas whose habitat patterns, in combination, correspond to that of the construction area.

The individual sub-areas should be as close together as possible.

The reference area should be in the vicinity of the project area, but far enough to be free of the impacts created by the construction. The minimum distance between project and reference area should be 1 km.

3.2 Quality assurance and management

For a proper evaluation, the collected data must be correct and comparable!

Staff taking part in the surveys must have adequate qualification and expertise. Names of observers must be documented on survey forms.

Internationally approved standards shall be applied in the sampling program.

3.3 Assessment scheme

The assessment scheme is organized according to the different phases. For practical reasons, the time allocation of each step should reflect the risk of rejection of the project, in order to avoid timely assessments of plans with unclear or even improbable outcome.

Steps 1 – 3 represent an environmental impact assessment, step 5 the monitoring program.

Tab.6: Time requirements for environmental assessments

		Time requirement
1 Analysis of technical details of planned TSPP		Approx. 1 Month
	Definition of proposed area	
	Adaptation impact list	
2 Pre-Assessment of proposed site		Approx. 1 Month
	Characterization of site	
	Identification of focus habitats	
	Gathering information from locals	
	Evaluation	
	Report	
3 Environmental Impact Assessment		1 Year
	Definition of EIA details based on pre-assessment	
	Mapping of habitats	
	Identification of focus species	
	Evaluation	
	Report	
	Suggestion for improvements	
4 Monitoring during construction phase		Continuously during construction
	Definition of dominant impacts based on EIA	
	Definition of indicators and descriptors	1 Month
	Definition of Monitoring Strategy, Establishment of study and reference area	
	Continuous monitoring during construction period	
5 Monitoring during operation phase		quaterannually, possibly decreasing
	Definition of indicators and descriptors	
	Establishment of study and reference area (if different than above)	
	Regressive monitoring plan	

3.3.1 Technical details

Application paperwork must be complete in order to satisfactorily answer all required questions regarding the pressures (see chapter 2.2) of the planned operation. These include

- Plans and maps of proposed site and of alternative sites
- Areal requirements, both on land and in the water, including safety zones, infrastructural requirements (roads, rails, cables, pipes etc.) in tables and site plans
- Type and size of underwater installations. Diameter of propellers, rotation speed
- Calculated change in current velocity before /after passage through propeller
- Technical details of electricity production. Electrical power output
- Number of employees.
- Safety management
- Emissions of exhaust gas, waste water etc.
- Planned environmental installations, such as underwater fences, fish guides etc.

3.3.2 Pre-Assessment

Immediately after perusal of the application details, a basic assessment of the environmental conditions of the planned site(s) has to be performed. Incentives of this step are

- a) acquisition of ecological survey
- b) timely exclusion of environmental unacceptable proposals
- c) definition of an assessment strategy for gaining environmental data, such as frequency of sampling, position of sampling stations, methods of sampling water and/or sediments, methods of analysis of the samples taken to measure the determinants.

This basic survey should be performed relatively fast. It will focus on the occurrence of focus habitats and will collect as much data as possible on focus species. Means of data acquisition are photo-documentation, interview with locals, particularly fishermen, and specific sampling.

3.3.3 Environmental Impact Assessment

The environmental impact assessment (EIA) will provide the complete ecological baseline data set. Sampling and data acquisition before will cover two years of before the start of the construction of the planned facility, which will allow to acquire all relevant data in all seasons. (sedimentation, current velocity, etc.).

This survey includes

- Site characterization (supplementing basic study)
 - Photographs of site
 - Photographs of coastal type
 - Description of coastal use

- Fisheries
- Water column quality
 - Current velocity
 - Temperature patterns
 - Salinity
 - Dissolved oxygen
 - Turbidity
 - Chlorophyll a
 - Nutrients (ammonia, nitrates, nitrites and phosphates),
- Sediment quality
 - sedimentation
 - Bottom topography
 - Sediment type / granulometry
 - Organic matter
 - Redox potential
 - Free sulphide
 - Bacterial mats
 - Pollutants (heavy metals, PACs, PCBs, etc.)
- Benthos quality
 - Species diversity
 - Abundance
 - Seagrass beds
- Sea mammals, birds and reptiles

3.3.4 Assessment during installation

Specific impacts are intrinsic to the installation phase of new industrial facilities. Although they occur only for a limited time, the following aspects need to be taken into consideration and documented:

- Visual and acoustic stress
- Molestations by machinery and vehicles
- Loss of habitats (e. g. resting and feeding areas) due to construction activities
- Emissions of pollutant substances during construction
- Turbidity of water due to sediment disturbance during foundation installation, cable laying and anchoring of vessels and machinery on seabed

3.3.5 Assessment during the Operation phase (monitoring)

- Visual impact and annoyance due to noise emission of turbines during operation
- Vibration
- Additional electric and magnetic fields
- Land use by the required infrastructure (foundations, cables, roads etc.)
- Potential discharge of pollutants (oils, greases)
- changed sediment distribution and dynamics
- Changed current patterns
- Barrier effect on fauna (blocking of paths between different resting and/or feeding areas)
- Disturbances (e. g. birds, long term loss of resting and feeding areas)
- Impacts of maintenance and repair operations

Monitoring is a continuous or iterative process of data acquisition, following a previously defined scheme.

We here propose a feedback-monitoring, which will not only document impacts and damage to the environment, but which also plays a role in prevention of damage to the environment.

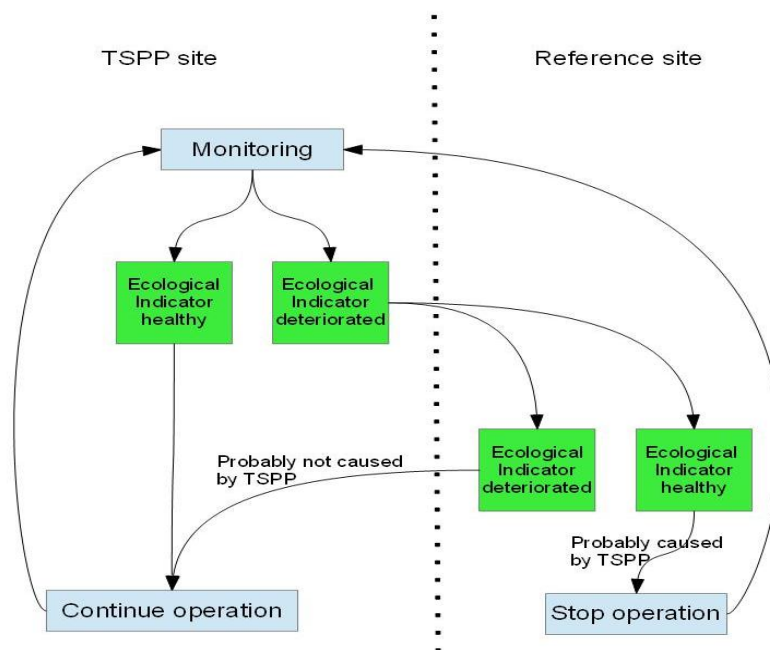


Fig. 10: Scheme of proposed feedback monitoring. Assessment of the reference site will give evidence of the role of TSPP in the case of environmental deterioration

Indicators for the monitoring are the state of the focus habitats and focus species (see chapter 3.3). The indicators should be present and of comparable state in the study as well as in the reference area. The frequency of monitoring should not be less than twice 2 per

year. For the sake of practicality, the number of indicators should be about 5, of which at least two should refer to the state of habitats. Examples:

- Size and density of seagrass,
- mangrove erosion,
- occurrence of dolphins
- number of coral species in a particular area.
- Number of observed coral fish in a certain area per time unit

In case of deterioration of one or several indicators at the study site, the reference site will be visited in order to distinguish between local and larger scale effects.

If the particular indicator in reference area is undamaged, an effect of TSSP can not be excluded. The reason for deterioration needs to be clarified and the impact removed until next monitoring date.

3.3.6 Assessment during decommissioning

The decommissioning phase imposes an impact on the environment which is similar to the installation phase.

3.4 Data computation

The automated system will be used in the pre-assessment and in the environmental impact assessment. For pre-assessment, primarily data on habitats will be used. Additionally locally available knowledge (e.g. from fishermen etc.) can also be added.

Tab.7: Data input sheet for automated evaluation system

Technical data of planned TSSP	
Decrease of Cross section (m)	
Noise at turbine(s) (dB) default: 130 dB	
Estimated light emission. Default: 1000 Lumen	
Antidazzle installed	
Best practice measures for prevention of emissions, sewage treatment and waste management	
Hydroprahical regime in region	
Natural current velocity (m/s)	
Current velocity decrease due to TSSP (m/s)	
Natural sedimentation (mm/a)	
Natural Cross section (m)	
Biology	

		Habitats					Endangered migratory Species				
		Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	Wet-lands	Turtles	Large Whales	Small Whales	Dugong	Large Predators
Area required	Land (ha)										
Area required	Sea (ha)										
Distance to habitat or sighting											
Ecological Status (5=excellent; 1=bad)											
Weight											

The system will generate an output in the form of either “modify planning”, or “proceed with EIA” (see chapter 2.5.1).

In the latter case, a full data set provided by a full Environmental Impact Assessment (see chapter 3.3.3) will be employed and fed into the system again.

4 Case studies

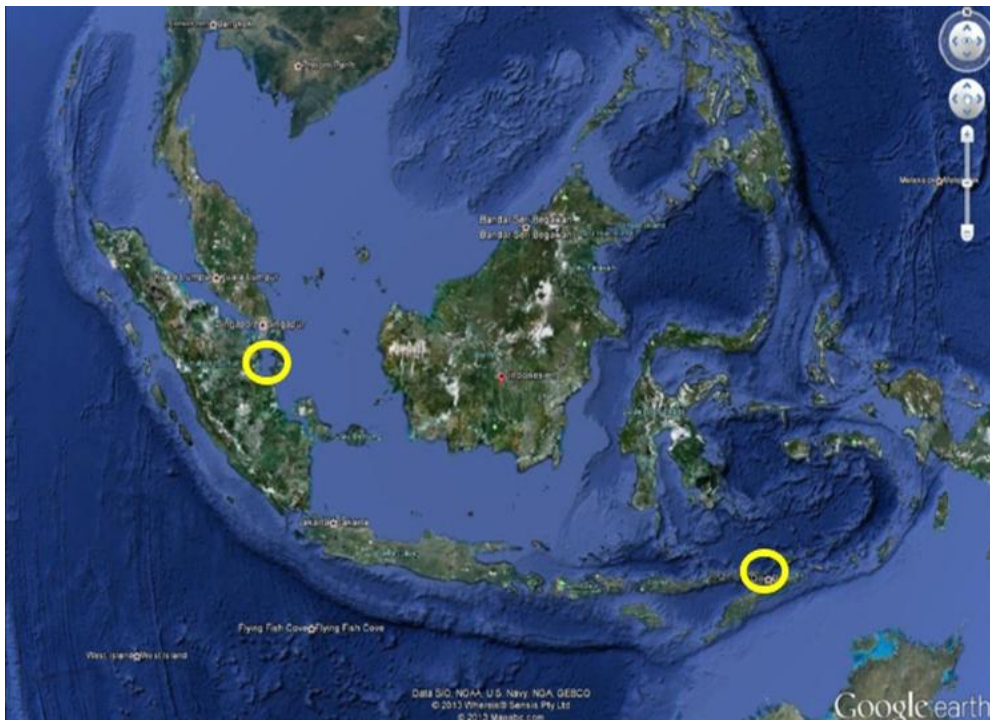


Fig. 11: Areas of case studies: Pulau Serai in Riau Archipelago (left) and Larantuka, East Flores (right)

The following figure shows locations which are presently in the focus for further investigation for suitability for TSP installation. Presently, there is only little quantitative data available.

We apply our impact assessment on two of these sites, which are supplemented by semi-fictive, however plausible, baseline data.



Fig. 12: Larantuka sound , with habitats

4.1 Larantuka

The following example will explain this step. We assume the existence of mangroves, seagrass beds and two endangered species, the scalloped hammerhead (shark) and the green turtle.

We further assume that a TSPP is planned at the most narrow part of the Larantuka Sound, and will be placed near the village at the western side.

As mangroves are to be found only at the other side of the sound, in a distance of more than 500m, we do not consider mangroves to be threatened. We assume seagrass beds to be destroyed by 5%,

The decrease in cross section is 15%. Nesting beaches for green turtles are about 4 km away. The sedimentation was calculated to increase by 5%. (Position of mangroves and corals estimated on the base of google earth).

The following table shows the input data used for the Larantuka evaluation.

Tab.8: Data input for Larantuka evaluation

Input data sheet																																																																			
Technical data																																																																			
Decrease of Cross section (m)	50																																																																		
Noise at turbine(s) (dB) default: 130 dB	130																																																																		
Light emission, Default: 1000 Lumen	1000																																																																		
Antidazzle installed	yes																																																																		
Best practice measures for prevention of emissions, sewage treat	yes																																																																		
Hydrographical regime																																																																			
Natural current velocity (m/s)	2,5																																																																		
Current velocity decrease due to T SPP (m/s)	0,5																																																																		
Natural sedimentation (mm/a)	5																																																																		
Natural Cross section (m) muss > 0 sein	650																																																																		
Biology	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Habitats</th> <th colspan="5">Endangered migratory Species</th> </tr> <tr> <th>Mangroves</th> <th>Coral Reefs</th> <th>Seagrass Meadows</th> <th>Beach</th> <th>wetlands</th> <th>Turtles</th> <th>Large Whales</th> <th>Small Cetacea</th> <th>Dugong</th> <th>Large Predators</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Area required (land) (m²)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Area required (sea) (m²)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>500</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Distance to Habitat or sighting (m)</td> <td>650</td> <td>300</td> <td>100</td> <td>4000</td> <td>0</td> <td>4000</td> <td></td> <td>200</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ecological Status (5=excellent; 4=good; 3=medium; 2=poor; 1=bad)</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Weight</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Habitats	Endangered migratory Species					Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	wetlands	Turtles	Large Whales	Small Cetacea	Dugong	Large Predators	Area required (land) (m²)	0	0	0	0	0					Area required (sea) (m²)	0	0	500	0	0					Distance to Habitat or sighting (m)	650	300	100	4000	0	4000		200		Ecological Status (5=excellent; 4=good; 3=medium; 2=poor; 1=bad)	2	1	3	3	3	1	1	1	1	Weight	2	1	3	3	3	1	1	1	1
	Habitats	Endangered migratory Species																																																																	
	Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	wetlands	Turtles	Large Whales	Small Cetacea	Dugong	Large Predators																																																									
	Area required (land) (m²)	0	0	0	0	0																																																													
	Area required (sea) (m²)	0	0	500	0	0																																																													
	Distance to Habitat or sighting (m)	650	300	100	4000	0	4000		200																																																										
Ecological Status (5=excellent; 4=good; 3=medium; 2=poor; 1=bad)	2	1	3	3	3	1	1	1	1																																																										
Weight	2	1	3	3	3	1	1	1	1																																																										

Based on these input data, the system generated the following output:

Tab.9: Data output Larantuka

Output sheet		Legend:									
General statement		Proceed to EIA									
		prohib Prohibitive innox innoxious n.a. not applicable									
Condensed Summary	Referenz Value										
	3,69		0,98	1,63						1,08	
	6,96	go	0,98	4,89	go	go				1,08	
Summary											
Terrestrial areal consumption		innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Marine areal consumption		innox	innox	0,5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Barrier relative		innox	innox	innox	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.
Barrier absolut		innox	innox	innox	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.
Underwater Noise		innox	0,05	0,13	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	0,08	n.a.
Light Beleuchtungsstärke (illuminance), entfernungsabhängig		innox	innox	innox	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.
Light luminance (Leuchtdichte, nichtentfernungsbabhängig!!)		innox	innox	innox	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.
Noise and unrest above water		innox	0,93	1	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	1	n.a.
Sedimentation		innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emission of Antifouling and polluting substances		innox	innox	innox	innox	n.a.	innox	n.a.	n.a.	innox	n.a.

The general statement is to go on with EIA. However, seagrass and corals are affected. In the case of corals, the impact is relatively low as the corals in the vicinity of the settlement are (supposedly) in bad environmental status, with a weight factor of only 1. On this base, different sites in the region can be checked, and the best ecologically option can be chosen.

4.2 Pulau Serai

The small island Siuliung is situated in the Riau archipelago of Indonesia south of Bintan island; several fish farms are located at the southern coast of this little island, which were subject to assessments in the scope of the German-Indonesian project SPICE (Science for the Protection of Indonesian Coastal Ecosystems). Basic environmental data of this area were obtained during two research periods in 2005 and 2006, which are used in order to test the applicability of the evaluation system.

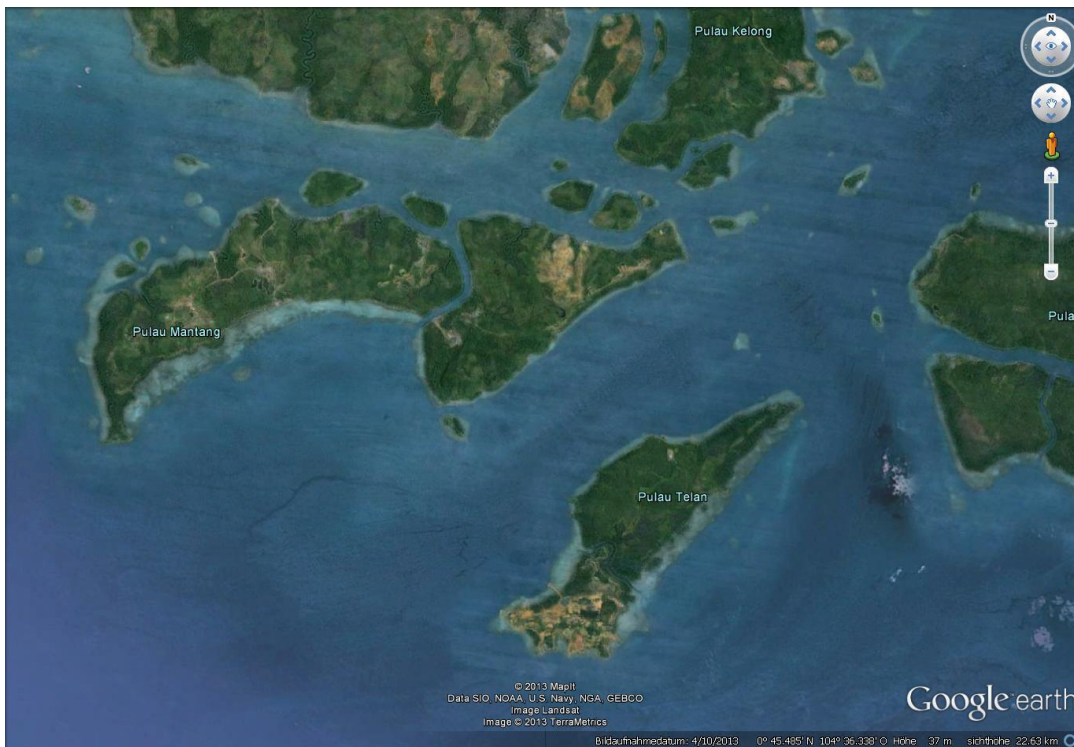


Fig. 13: Pulau Serai

Currents occur in a diurnal pattern with velocities up to 65 cm s⁻¹ (measured in a water depth of approx. 10 m) in connection with rising and falling tides; the average tide had a height of about 100 cm, a tidal cycle (two high tides and two low tides) takes about 25 hours.

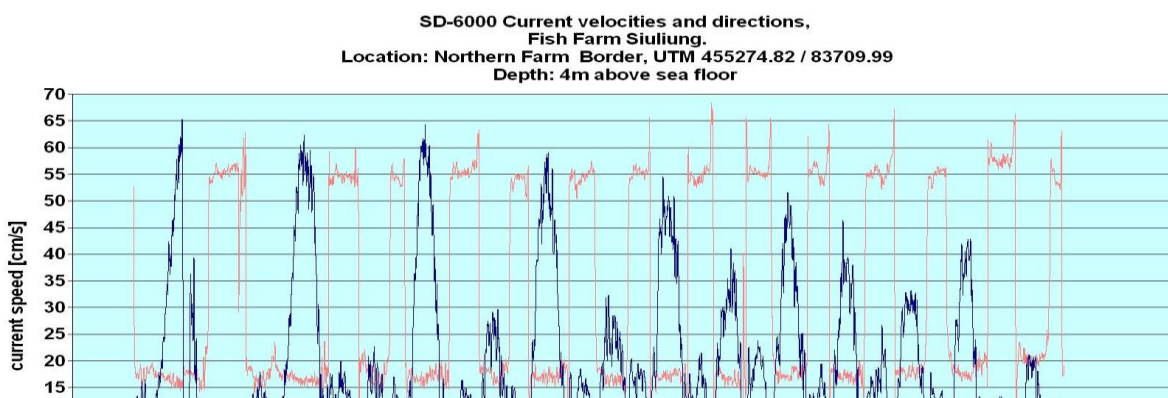


Fig. 14: Current speed and direction from Pulau Seari, Riau Archipelago, Indonesia. Data from Krost & Runte 2006, unpubl.

The bathymetry in the study area is characterised by a channel system and coastal flats, stabilized by coral reefs. The flats have a water depth between 1 and 3 meters. Most of the settlements and also the fish farms are constructed in these shallow areas. The flats stretch about 50 to 300 meters from the coast into the sea and end in an extremely sharp slope descending from 3 meters to 11 - 13 meters water depth. Maximum water depth found in the study area was 16 m. There were no seagrass meadows. The sediment consists of a thick grey layer of pure clay, found in the vast majority of the stations, which is usually covered by a fluffy and silty sediment surface of several cm thickness (Runte, pers. comm.).

Most of the coastline behind the tidal flat is covered by mangroves. Coral reefs are in 1,5 km resp. 3 km distance, near the coast of Pulau Siulung and Pulau Mantang.

No marine mammals and reptiles (except for sea snakes and crocodiles) have been ascertained. There is a moderate unrest resulting from the work on a fish farm, and from local fishermen.

In addition, we assume that migratory predators pass through the channel, however distant from the settlement at the southern side of the sound, approx. 200 m from the planned TSPP.

The **general statement** is to proceed to the EIA, indicating that there is no prohibitive factor in the planning. However, a reference value of 3 (unweighed, resp. 5.7 weighed) **in the condensed summary** indicates that there is some ecological concern. A closer look (**summary** table) reveals that light and noise and unrest impact the Mangrove and seagrass community, as well as large predators, while no problems are anticipated with distant coral reefs and beaches.

The reference values of different sites can be compared and the optimal site be found.

Tab.10: Data input for Pulau Serai evaluation

Input data sheet										
Technical data										
Decrease of Cross section (m)	50									
Noise at turbine(s) (dB) default: 130 dB	130									
Light emission. Default: 1000 Lumen	1000									
Antidazzle installed	yes									
Best practice measures for prevention of emissions, sewage tre:	yes									
Hydrographical regime										
Natural current velocity (m/s)	0,65									
Current velocity decrease due to TSPP (m/s)	0,5									
Natural sedimentation (mm/a)	5									
Natural Cross section (m) muss > 0 sein	240									
Biology	Habitats					Endangered migratory Species				
	Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	wetlands	Turtles	Large Whales	Small Cetacea	Dugong	Large Predators
	Area required (land) (m²)	500	0	0	0	0				
	Area required (sea) (m²)	0	0	0	0	0				
	Distance to Habitat or sighting (m)	200	1500	500	1500	0				200
	Ecological Status (5=excellent; 4=good; 3=medium; 2=poor; 1=t-)	2	1	3	3	3	1	1	1	1
Weight	2	1	3	3	3	1	1	1	1	1

The system generates the following output:

Tab.11: Data output Pulau Serai

Output sheet										
General statement						prohib	Prohibitive			
Proceed to EIA						innox	innoxious			
						n.a.	not applicable			
Condensed Summary	Habitats					Endangered migratory Species				
	Mangroves	Coral Reefs	Seagrass Meadows	Beach	wetlands	Turtles	Large Whales	Small Cetacea	Dugong	Large Predators
	Referenz Value									
	3	1,13	0,79							1,08
5,7	2,26	2,36							1,08	
		go		go						
Summary										
Terrestrial areal consumption	0,05	n.a.	n.a.	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Marine areal consumption	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Barrier relative	innox	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	innox
Barrier absolut	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Underwater Noise	0,08	innox	0,01	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,08
Light Beleuchtungsstärke (illuminance), entfernungsabhängig	innox	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	innox
Light luminance (Leuchtdichte, nicht entfernungsabhängig!)	innox	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	innox
Noise and unrest above water	1	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1
Sedimentation	innox	innox	0,78	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Emission of Antifouling and polluting substances	innox	innox	innox	innox	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	innox

5 Literature

- Bard, J.; Caselitz, P.; Giebhardt, J.; Peter, M. 2004: Erste Meereströmungsturbinen-Pilotanlage vor der englischen Küste – 1 Jahr Betriebserfahrungen. Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik 2004
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg 2007: Standard investigation of the impacts of off-shore wind turbines on the marine environment (StuK3)
- Cummings, W. C.; Thompson, P. O. 1971: Underwater sounds from the blue whale *Balaenoptera musculus*. Journal of the Acoustical Society of America 50 (4): 1193-1198.
- Doubilet, D. 2007: In far eastern Indonesia, the Raja Ampat islands embrace a phenomenal coral wilderness. National Geographic, 2007(9).
- Double, M. C.; Jenner, K. C. S.; Jenner, M.-N.; Ball, I.; Laverick, S.; Gales, N.: Satellite tracking of pygmy blue whales (*Balaenoptera musculus brevicauda*) off Western Australia. Australian Marine Mammal Centre. Final report, May 2012.
- Duarte, C.; Marbà, N.; Santos, R.; 2004: What may cause loss of seagrasses? In: European seagrasses: an introduction to monitoring and management (*Jens Borum, Carlos M. Duarte, Dorte Krause-Jensen and Tina M. Greve Eds.*), *The M&MS project, 95 pp.*
- European Commission, Directorate general for Research and Innovation 2005: SEAFLOW, world's first pilot project for the exploitation of marine currents at a commercial scale 39 pp.
- Fisheries and Oceans Canada 2004: Review of Scientific Information on Impacts of Seismic Sound on Fish, Invertebrates, Marine Turtles and Marine Mammals. Habitat Status Report 2004/002
- Gerlach SA (1958); Die Mangroveregion tropischer Küsten als Lebensraum. Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere 46 : 636-730
- Glynn, P. W. 1990: Coral Reefs. In: Dubinsky, Z. (ed): Ecosystems of the world. Elsevier Science, New York.
- Grabbe, Marten; Lundin, Urban; Leijon, Mats: Ocean Energy. Report University Uppsala, Sweden, 21 pp.
- Horoszowski-Fridman, Y. B.; Izhaki, I.; Rinkevich, B. 2011: Engineering of coral reef larval supply through transplantation of nursery-farmed gravid colonies. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 399 (2): 162-166.
- IUCN, International Union for Conservation of Nature. <http://www.iucnredlist.org/>
- Jefferson, T. A.; Hung, S. K. 2004: *Neophocaena phocaenoides*. Mammalian Species

746: 1-12.

- Kamminga, C. et al. 1996: Investigations on cetacean sonar. XI: Intrinsic comparison of the wave shapes of some members of the Phocoenidae family. *Aquatic Mammals* 22 (1): 45-56.
- Kamrowski, R. L.; Limpus, C.; Moloney, J.; Hamann, M. 2012: Coastal Light pollution and marine turtles: assessing the magnitude of the problem. *Endangered Species Research* Vol 19: 85-98
- Krebs, D. 2007: Protecting the Mahakam Lakes in East Kalimantan, Indonesia through integrated/participatory spatial planning and management. 1st Wetland Link International. Asia Symposium January 24-26, 2007 at the Hong Kong Wetland Park, Hong Kong. Conservation Foundation for Rare Aquatic Species of Indonesia.
- Lawler, I.; Marsh, H.; McDonald, B.; Stokes, T. 2002: Dugongs in the Great Barrier Reef: Current state of knowledge. Cooperative Research Center for The Great Barrier Reef World Heritage Area, Queensland.
- Marine Current Turbines 2011: SeaGen Environmental Monitoring Programme, Final Report
- McKenzie, L. 2007: Relationships between seagrass communities and sediment properties along the Queensland coast. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, Cairns, 25 pp.
- Melcon, M. L.; Cummins, A. J.; Kerosky, S. M.; Roche, L. K.; Wiggins, S. M. et al. 2012: Blue Whales Respond to Anthropogenic Noise. *PLoS One* 7(2): e32681. doi: 10.1371/journal.pone.0032681.
- Ott, J. 1996: *Meereskunde*. UTB, Stuttgart, 2. A. 424 pp.
- Pehlke, H.; Nehls, G.; Bellmann, M.; Gerke, P., Diederichs, A.; Oldeland, J.; Grunau, C.; Witte, S.; Rose, A. 2013: Entwicklung und Erprobung des Großen Blasenschleiers zur Minderung der Hydroschallemissionen bei Offshore-Rammarbeiten. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, 243 pp.
- Richardson, W. J.; Greene, C. R.; Malme, C. I.; Thomson, D. H. 1995: *Marine mammals and noise*. Academic Press, Inc., San Diego.
- Robinson, S. P.; Lepper, P. A. 2013: Scoping study: Review of current knowledge of underwater noise emissions from wave and tidal stream energy devices. The Crown Estate, 75 pp.
- Krost, P; Runte, K 2006: Current patterns at a fish farm in the Riau Archipelago, Indonesia. Unpubl. Report, SPICE I, Science for the Protection of Indonesian Coastal Ecosystems.
- Sabater, M. G.; Yap, H. T. 2004: Long-term effects of induced mineral accretion on

growth, survival, and corallite properties of *Porites cylindrical* Dana. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 311 (2): 355-374.

- Samaran, F.; Stafford, K. M.; Branch, T. A.; Gedamke, J.; Royer, J.-Y. et al. 2013: Seasonal and Geographic Variation of Southern Blue Whale Subspecies in the Indian Ocean. *PLoS ONE* 8(8): e71561. doi:10.1371/journal.pone.0071561.
- Spalding, M.; Ravilious, C.; Green, E. 2001: *World Atlas of Coral Reefs*. University of California Press and UNEP/WCMC, Berkeley, California.
- Tannenhauer, S.; *Wellenenergy und ihre Nutzung*, Masterarbeit, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld, 2009
- Thomas P. Lloyd, T. P.; Turnock, S. R. 2011: Modeling techniques for underwater noise generated by tidal turbines in shallow waters. *Proceedings of the 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, June 19-24, 2011, Rotterdam, The Netherlands.
- Tomascik, T.; Mah, A. J.; Nontji, A.; Moosa, M. K. 1997: *The Ecology of the Indonesian Seas Part One. The Ecology of Indonesia Series Vol. VII.*
- Tomascik, T.; Mah, A. J.; Nontji, A.; Moosa, M. K. 1997: *The Ecology of the Indonesian Seas Part Two. The Ecology of Indonesia Series Vol. VIII.*
- Wang, D. 1996: A preliminary study on sound and acoustic behavior of the Yangtze River finless porpoise, *Neophocaena phocaenoides*. *Acta Hydrobiologica Sinica* 20 (2): 127-133.
- Wilson, B.; Carter, C. 2013: *The use of acoustic devices to warn marine mammals of tidal-stream energy devices*. Report prepared for Marine Scotland, Scottish Government, 36 pp.

- **Websites:**
- <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wallace-Linie&oldid=124228530>
- <http://www.conservation.org>
- <http://www.eusustel.be/public/documents/publ/WP/WP3/WP3%20report%20-%20Marine%20Currents%20and%20Wave.pdf>
- <http://www.dpenergy.com/information/tidal.html>

1.6 Capacity Building

Auf indonesischer Seite waren Wissenschaftler und Techniker des BPPT in die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten involviert. Ziel der Trainings- und Fortbildungsaktivitäten im „Capacity Building“ war es, beide Mitarbeiter-Gruppen mit Erfahrung und Wissen vertraut zu machen, das für den Einzelnen jeweilig von Nutzen war und auch im Projektinteresse stand. In Gesprächen mit den Partnern wurde zunächst aufgeklärt, auf welchem Ausbildungs- und Erfahrungsniveau die Mitarbeiter sich befanden und welches Know How möglichst nachhaltig vermittelt werden konnte. Es wurden Themen vereinbart, die zu einer Weiterqualifikation führen sollten. Bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern auf indonesischer Seite handelte es sich um ausgebildete Ozeanographen mit MSc -Graduierung. Diese waren im Projekt nicht als Doktoranden involviert, also nicht mit eigenständigen Aufgaben an den F&E-Arbeiten beteiligt, sondern waren gemäß im Auftrag der BPPT-Projektpartner stärker forschungsunterstützend tätig. Für diese Mitarbeiter erfolgte eine themenfokussierte Weiterbildung, die darauf ausgerichtet war, die Komplexitäten eines „Decision Support System“ als Projektziel zu verstehen, die Einzelkomponenten in Aufbau und Funktionalität kennenzulernen und die erforderlichen Schritte in F&E nachzuvollziehen. Als Themen wurden Funktionalität und Kommunikation von Messgeräten, Datenprozessierung, Einführung in die numerischer Modelle und Datenprozessierung gewählt. Allen Beteiligten war klar, dass eine fundierte Ausbildung, welche die Teilnehmer zu eigenständigen Modell- und Systementwicklungen hätte befähigen können, lediglich im Rahmen einer PhD-Ausbildung in Deutschland zu realisieren war. Beim Training technischer Mitarbeiter sollte es darauf ankommen, Ziele der Messprogramme zu verstehen, die Funktionsweise der eingesetzten Geräte kennen zu lernen, und Wartungsoperationen möglichst selbständig durchzuführen.

Das erste Training fand im Mai 2014 statt, also zu einem Zeitpunkt, an dem die Zollfreigabe von Messgeräten in Jakarta gerade erfolgt war. In dieser Phase befanden sich 3 deutsche Wissenschaftler und 1 Techniker zur Installation der Messgeräte in Baron und Larantuka sowie zur Einrichtung der Kommunikationsschnittstellen in der Datenzentrale des BPPT in Jakarta.

Besprechungen über technische Details, Vorbereitungen und Installation des automatischen Pegelsystems Log-a level in Larantuka, Flores, wurden in Kooperation mit den Technikern Afian Kasharjanto, Ekko Hadiredja vom Indonesian Hydrodynamic Laboratory (BPPT) in Surabaya, Yani Niron der Administration Larantuka sowie Dr. K.-H. Runte und Dipl. Ing. W. Voigt auf deutscher Seite durchgeführt. Das Training konzentrierte sich auf die Ultraschallsensorik am Auslegearm, Sensoren für Wind, Luftdruck, Temperatur, GPS-System die Energieversorgung (Batterie, Solarpanel), Kommunikation innerhalb des Systems und Datenübertragung des Systems in die Datenzentralen FTZ Büsum/Kiel und

BPPT Jakarta. Die Techniker wurden befähigt, Aufbau, Mechanik und Datenwege im Pegelsystem zu verstehen und einfache Fehlerdiagnosen bei Ausfall der Messgeräte (außerhalb der Mess- und Sende-Elektronik) zu stellen (Abb. 49). Der Zusammenbau der Einzelkomponenten des Systems zum Pegeltower erfolgte unter Anleitung gemeinsam.



Abb. 49: Trainingseinheit Pegelsystem Larantuka, Flores

Parallel zum Systemaufbau in Larantuka waren Dr. J. Fernandez, die Ozeanografinnen Indah Lutfyati und Tara Pradipta sowie der System-Administrator Danny Hermawan in der BPPT-Datenzentrale in Jakarta damit befasst, die port- und firewall-Einstellung und Software-Installationen für die Datenkommunikation mit der Seegangsboje vor der Südküste Javas bei Baron und dem Pegelsystem Larantuka im BPPT-System zu bewerkstelligen. Dr. Fernandez erläuterte die Software und trainierte die schrittweise Initialisierung des Systems W@VES21 zur Kommunikation zwischen Datenzentrum und wave rider Boje, um ein selbständiges Management der laufenden Meßsysteme durch die indonesischen Mitarbeiter sicherzustellen. Im Ergebnis kam es im Zuge der Ausbringungszeit der Seegangsboje vor Baron keine Kommunikationsprobleme innerhalb der BPPT-Datenzentrale, so dass sich das Datenmanagement bei den Naturmessungen erfolgreich vollzog.

Ein intensives Training wurden den BPPT-Wissenschaftlern Indrah Lutfyati und Afif Widaryanto bei ihrem 4-wöchigem Gastaufenthalt an der Universität Kiel vom 14.1. bis 15.2.2016 zuteil. Inhalt und Ausrichtung deckte sich weitgehend mit den Wünschen der Gastwissenschaftler, die Prozessierung der Messdaten bis zur Modellentwicklung zu verstehen und eigenständig zu vollziehen. In der ersten Woche wurden die Gäste von Dr. J. Fernandez in der Datenzentrale der FTZ-Arbeitsgruppe CORELAB betreut. Als Beispiel für eine „Tidal Analysis“ wurden die mehrmonatig aufgezeichneten Wasserstand-Oszillationen an den Pegelstandorten Oil Port Pertamina und Ferry Harbour Larantuka verwendet und einer Hauptkomponenten-Analyse unterzogen.

In der 2. bis 4. Woche wurde die Betreuung von MSc. Ing. K. Orhan übernommen. Die Gastwissenschaftler wurden einem intensiven Training und Übungen zum Aufbau eines Strömungsmodells für die Meeresstrassen Sape und Alor östlich von Flores unterzogen.

Themen waren Modell-Theorie, Einführung und Umgang mit dem Delft3D-Modellsystem, Aufbau und Prüfung von Modellgittern (Abb. 50), Rolle und Rekrutierung der Randwerte aus Globalmodellen, Implementierung von Messgrößen, Besprechung von default settings, Modellkalibrierung, Ergebnis- und Fehlerdiskussion.

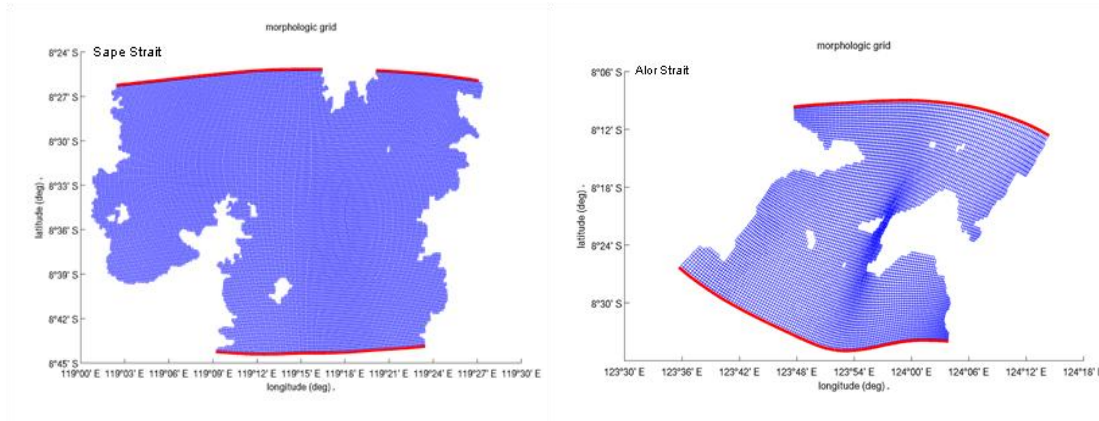


Abb. 50: Entwickelte Modell-Gitternetze für die Sape und Alor Straits.

Neben dem Training fanden Besuche des Forschungszentrums Westküste in Büsum sowie Besichtigungen von Deich, Küstenschutzanlagen, Salzwiesen und Watten (witterungsbedingt keine Wattwanderungen) statt. Bei Abschluss des Trainings bekundeten beide Gastwissenschaftler Anerkennung und starkes Interesse an einer Fortsetzung der Zusammenarbeit.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis zur Verwendung der Fördermittel ist dem PtJ von den zuständigen Verwaltungsstellen der Universität Kiel bereits zugegangen.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die F&E–Arbeiten mit ihrer breiten Auffächerung fachlicher Tätigkeiten bei Modellentwicklung, Gerätetechnik und Projektmanagement erforderte den Einsatz von Wissenschaftler und Doktoranden, die durch den technischen Support von Technikern des Forschungszentrums in Büsum in Indonesien flankiert wurden. Meßkampagnen, Kontroll- und Wartungsarbeiten sowie Trainingskurse (Capacity Building) erforderten einen logistisch-personellen Aufwand, der durch die beteiligten Wissenschaftlern und Technikern mit Erfolg abgedeckt wurde. Die personellen Aufwendungen waren somit notwendig und den Zielsetzungen angemessen.

Das Fehlen von Datenbeständen über Strömung, Seegang, Wasserstände und begleitende Parameter wurden in Arbeitstreffen mit den indonesischen Partnern im Zuge der

Anbahnungsreisen bestätigt. Die Situation machte die Beschaffung und Installation eines Log_a Levels und einer Seegangsboje erforderlich, um essentielle Daten zur Entwicklung leistungsfähiger Strömungs- und Seegangsmodelle zu gewinnen. Die Arbeitsaufwendungen zum Transport, Betrieb und Rückführung der Messgeräte war notwendig und angemessen, um den Erfolg des Projekts abzusichern.

Eben Solches gilt für die Vergabe des F&E-Unterauftrags an die Firma CRM zur Entwicklung von Strategien für die Bewertung der Umweltgefährdungen durch Konverteranlagen. Die Erfahrung in tropischen Flachmeeren und Kompetenz der Firma im Sektor Environmental Impact Assessment hat im Ergebnis zu einem praktikablen Werkzeug zur Einschätzung der Umweltgefahren geführt, die als Grundlage zur Entwicklung von Regularien für Genehmigungsverfahren für Konverter-Installationen geeignet erscheinen.

4. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertung der Ergebnisse

Die Entwicklung von Strategien zur Auswahl von Nutzungsgebieten für Meeresenergie und deren Energieabschätzung im indonesischen Archipel sowie deren Umsetzung zu konkreten Projektergebnissen lassen sich in Küstenplanungen umsetzen. Diese sind erforderlich, um bei künftigen Küstennutzungen in Konkurrenz stehende Aktivitäten wie Fischerei, Aquakultur, Tourismus, Schifffahrtswege u.a. raumplanerisch von Eignungsgebieten für Meeresenergie abzugrenzen, sofern diese Räume nicht gemeinsam genutzt werden können.

Aus den Projektergebnissen bildet sich ab, dass die zur Nutzung von Meeresenergie geeigneten Gebiete, insbesondere bei Tidenströmungen, ein höheres Energiepotential aufweisen, als bislang vermutet. Für Planungen des künftigen Energieverbrauchs heutiger Wirtschaftszentren oder künftiger Industrie- und Ballungsräume sind die Daten wirtschaftspolitisch von Interesse. Die Modellschätzungen über extrahierbare Energie und Stromerträge ermöglichen Investoren Umfang, Risiken und Renditen von Investitionen in moderne Strom-Konverter einzuschätzen. Die Ergebnisse sind geeignet, um bei einem zu erwartenden Wiederanstieg der globalen Energiepreise Investitionen auslösen, von denen auch deutsche Firmen mit Erfahrung in Turbinentechnik und Anlagenbau profitieren können. Auf der anderen Seite stehen erste Strategien zur Verfügung, um die Umweltbelastungen von Installation und Betrieb der Konverteranlagen besser einzuschätzen, daraus Regularien für künftige Genehmigungsverfahren zu entwickeln und damit die Nutzung von Meeresenergie in Indonesien umweltschonend zu gestalten.

Wissenschaftlich gesehen haben die Ergebnisse eine Wissens- und Erfahrungsmehrung über hydrodynamisch-ökologische Prozesse in tropischen Flachmeeren, verbesserte

Techniken von Datenassimilation von online Messdaten und Modelkopplung, sowie verbesserte Algorithmen zur Abschätzung hydrodynamischer Größen und Bathymetrie durch Radarsatelliten hervor gebracht. Die entwickelten Strategien zur modellgestützten Einschätzung der Meeresenergie sind nicht an Indonesien gebunden, sondern sind auf Meeresräume weltweit anzuwenden. Entsprechendes gilt für die Abschätzung von Strömung, Wind, Seegang und Bathymetrie durch SAR, sofern Küstenstruktur, Orbits und Satellitenkonfiguration dazu geeignet sind.

Die von FTZ und BPPT auslegte Seegangsboje wurde temporär in das indonesische Meeresüberwachungsnetzwerk aufgenommen. Die Daten wurden unter <http://bpptbuoy.info> für alle Nutzer zugänglich gemacht. Auch die Fischerei in den Fanggründen vor Baron profitierte von den Daten, da sie vor schweren Seegang gewarnt wurden.

In die Forschungsaktivitäten integrierte Workshops und Trainingskurse, insbesondere der 4-wöchige Studienaufenthalt von Gastwissenschaftlern des BPPT im Forschungszentrum Büsum und an der Universität Kiel im Januar 2016, haben zu einer Wissenserweiterung der indonesischen Partner über Online-Datentransfer, Datenassimilation, Tide-Analyse (in Uni Kiel), Modell- und Gerätetechnik (in FTZ Büsum) geführt, die sie zu selbständigen Analysen von Pegel- und Modelldaten und die Bedienung bestimmter Messgeräten befähigen. Damit wurden auch Grundlagen für weitergehende gemeinsame Aktivitäten zwischen FTZ und BPPT auch im Rahmen künftiger Zusammenarbeit auf PhD-Ebene gelegt.

5. Bekannt gewordene Fortschritte an anderer Stellen

Die Forschung über Strömungsverhältnisse und Topografie in der Flores Strait sind von BPPT fortgesetzt worden. Von weiteren über das bearbeitete Thema hinausgehende Fortschritten in Indonesien ist nicht bekannt geworden.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Gebhardt, C., Pleskachevsky, A., Rosenthal, W., Lehner, S., Hoffmann, P., Kieser, J., and Bruns, T. (2015): Comparing wavelengths simulated by the coastal wave model CWAM and TerraSAR-X satellite data, *Ocean Modelling*, 40, 967-973, doi: 10.1016/j.ocemod.2015.10.003.

Orhan, K., Mayerle, R., Pandoe, W.W. (2015): Assessment of energy production potential from tidal stream currents in Indonesia, *Energy Procedia*, ELSEVIER, vol. 76: pp 7-16.

Orhan, K. (2015): Strategies for the Use of Tidal Stream Currents for Power Generation Proceedings EGU General Assembly 2015, 12 - 17 April 2015, Vienna.

- Orhan, K., Mayerle, R., Narayanan, R. & Pandoe, W.W. (2016): Investigation of the energy potential from tidal stream currents in Indonesia. Proceedings 35th ICCE 2016, Istanbul.
- Orhan, K. (2016) Strategies for the Tidal Stream Resource Assessment ECC 2016, 12 - 14 October 2016, Hamburg (Waiting to be accepted)
- Orhan, K. (2016): Assessment of Power Potential of Tidal Currents and Impacts of Power Extraction on Flow Speeds in Indonesia 2016. AGU Fall Meeting, 12 - 16 December 2016, San Francisco (Waiting to be accepted)
- Pleskachevsky, A., Lehner, S., Hoffmann, P., Kieser, J., Bruns, T., Lindenthal, A., Janssen, F., und Behrens, A. (2015): Satellite-based radar measurements for validation of high-resolution sea state forecast models in German Bight, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-7 (W3), Seiten 983-990, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-983-2015.
- Pleskachevsky, A., Rosenthal, W., und Lehner, S. (2016): Meteo-Marine Parameters for Highly Variable Environment in Coastal Regions from Satellite Radar Images, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, im Druck.
- Song, Q. (2016): Assessment of Wave Energy Potential along the South Soast of Java Island, in Vorbereitung.

