

Studie zum Thema Radarabschattung

in Relation zur Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt gemäß STN des WSA Ostsee
vom 15.07.2024

insbesondere mit den dortigen Verweisen auf den Seiten 5 und 6 in Form von
Auswertungen und Schlussfolgerungen hinsichtlich recherchierter Offshore WEA und
damit verbundener Radarabschattungen.

Diese Schlussfolgerungen werden in Relation zur VTS-Verkehrsbeobachtung im Bereich
nördlich des Planungsgebietes des OWP „Gennaker“ (GEN) gesetzt.



Erstellt durch:

Schiffahrtsinstitut Warnemünde e.V.

An der Hochschule Wismar

Richard-Wagner-Str. 31

D – 18119 Rostock



Verantwortlicher:

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Müller-Demuth, Kpt.

Datum:

01.11.2024

Inhalt

1	Veranlassung	4
2	Extrakt	8
3	Einleitung	10
4	Beschreibung mariner Radargeräte und deren Wirkprinzipien	12
4.1	Nutz- und Störinformationen eines Radarbildes	12
4.2	Radarabschattungen auf See	14
4.3	Fehlechos.....	14
4.4	Einfluss von wechselnden Wetterbedingungen.....	16
4.5	Reichweite des Radars	18
5	VTS-Radarsysteme	19
5.1	Funktionale Anforderungen für eine technische VTS-Ausrüstung	19
5.2	Produktanforderungen für VTS-Ausrüstung	20
5.3	Produktanforderungen für Radar-Systeme.....	20
5.4	Produktanforderungen für AIS-Ausrüstung	22
5.5	Beispiele für Radargeräte	22
5.5.1	Radar Beispiel 1 - das SCANTER 4002 X-BAND Radar	23
5.5.2	Radar Beispiel 2 - das SCANTER 5000 Radar	24
5.5.3	Radar Beispiel 3 - Kelvin Hughes Mk11 SharpEye™ Radar.....	25
6	Optische Schatteneffekte hinter Windturbinen	26
7	Elektromagnetische Schatteneffekte hinter Windturbinen	30
7.1	Beispiel für Schatteneffekte hinter Turbinen.....	33
7.2	Untersuchungen am OWP „NYSTED“	35
7.3	Einschätzung zu Elektromagnetischen Schatteneffekten hinter Windturbinen.....	39
8	Das Tracken von Fahrzeugen mittels Radars in der Nähe von Windparks	41
9	Automatic Shipborn Identification System (AIS) integriert im Landradar	44
9.1	Technische Funktionsweise von AIS integriert im Landradar	44
9.2	Vorschriften zur Nutzung von AIS in der Berufsschifffahrt	47
9.3	Beispiel für eine kombinierte Nutzung von AIS und Radar	47
10	Relation OWP Gennaker – Landradarstation “Darßer-Ort”	50
11	Antennen Diversity für das Gebiet nördlich des OWP GEN.....	53
12	Fazit.....	55

13	Ausblick VDES – die nächste Generation von AIS	57
----	--	----

1 Veranlassung

Die OWP Gennaker GmbH besitzt seit dem 15.05.2019 eine BlmSchG-Genehmigung nach §4 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BlmSchG) zur Errichtung und zum Betrieb des OWP GEN im Wind-Vorranggebiet „Darß“. Diese umfasst 103 OWEA (Offshore Windenergieanlagen), 2 baugleiche USP (Umspannplattformen) sowie die parkinternen Seekabel. Die Genehmigung basiert auf der zum Planungszeitpunkt größtmöglichen Turbine Siemens Wind Power SWT-8.0-154 mit einer Nennleistung von max. 8,4 MW. Der Turbinentyp stand damals an der Schwelle zur Markteinführung.

Durch unverschuldete Verzögerungen und Umsetzungshemmnisse war die Verfügbarkeit dieses Anlagentyps zum geplanten Errichtungszeitpunkt nicht mehr gewährleistet. Daher musste die Trägerin des Vorhabens (TdV) für die im Mai 2019 erteilte Genehmigung mit Antrag vom 28.06.2022 ein Änderungsverfahren gem. §16 BlmSchG (wesentliche Änderung) für die weiterentwickelte Turbinenversion, hier die SG 167-DD, durchführen. Die Änderungsgenehmigung für das modifizierte Konzept ist im März 2024 erteilt worden.

Im Verlaufe sich zuspitzender multipler Krisen im Winter 2022 / 2023 nahmen generelle, d.h. auch internationale Marktverwerfungen, Inflation und krisenbedingte Engpässe stark zu. Die Folge war ein signifikanter Kosten- und Zinsanstieg, der sich entsprechend negativ auf die globalen Erzeugungs- und Lieferketten auswirkte, darunter auch auf die Offshore-Windindustrie und das Projekt „Gennaker“. Da sich bei hohen Vorverpflichtungen parallel die Inbetriebnahme erneut um ein weiteres Jahr verzögern sollte, musste nun der Einsatz der modifizierten OWEA erneut geprüft werden. Nach Herstellerangaben sollte der nächste Typenwechsel etwa ab Q1 2026 erfolgen. Mit der Verschiebung der Inbetriebnahme von 2026 auf 2027 ging unabhängig davon ein weiterer Kostenanstieg einher.

Infolgedessen ist eine erneute Umplanung des Vorhabens erfolgt, die eine zeitliche Verschiebung der Inbetriebnahme im Jahr 2028 vorsieht. Aufgrund der Systematik im BlmSchG ist ein erneutes Genehmigungsverfahren unvermeidbar.

Die aktualisierte Planung des Vorhabens OWP GEN umfasst nun die Errichtung und den Betrieb von 63 WEA (Windenergieanlagen) der 15 MW-Leistungsklasse sowie der windparkinternen Verkabelung. Mit der jetzt aktualisierten Planung wird eine Nettofläche von 44,3 km² beansprucht (ca. 24NM²). Die Fläche für Windkraftanlagen wurde weiter reduziert (vgl. Abbildung 1).

Ein Genehmigungsantrag wurde im April 2024 gestellt.

Das WSA Ostsee ist im Rahmen der Behördenbeteiligung durch die Genehmigungsbehörde, das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt (StALU) angehört worden. Unter Punkt 4 der Stellungnahme (STN) des WSA Ostsee wird die folgende Behauptung aufgestellt:

„Der Windpark Gennaker wird jedoch Abschattungen und Fehlechos der geplanten Radarstation Darßer Ort im Bereich nördlich des Windparks verursachen“.

Darauf basierend definiert das WSA Ostsee Ableitungen, Maßnahmen und Forderungen, wie die Installation einer Radaranlage auf der Plattform durch den OWP GEN.

Auszug aus der STN des WSA Ostsee vom 15.07.2024 mit den Seiten 5 und 6:

3. Wiederholend möchte ich die geltenden Regelwerke der WSV benennen, die als Referenzdokumente festzulegen sind bzw. bereits in der Begründung unter 2.4 festgelegt worden oder anzupassen sind:
- „Richtlinie Offshore-Anlagen“ - zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs, WSV / GDWS, Version 3.1 mit Stand 01. Juli 2021
 - „WSV-Rahmenvorgaben Kennzeichnung Offshore-Anlagen“, Version 3.0 vom 01.07.2019
 - Empfehlungen der International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA). Maßgeblich in Bezug auf die Kennzeichnung von Offshore-Anlagen sind derzeit:
 - Recommendation R0139 (O-139) – The Marking of Man-made structures; (Dezember 2021)
 - Guideline G1162 – The Marking of offshore Man-made Structures; (Dezember 2021)
 - Recommendation R0126 – The Use of the Automatic Identification System (AIS) in Marine Aids to Navigation (AtoN) service; (Dezember 2021)
 - Recommendation R0110 - Rhythmic characters of lights on Marine Aids to Navigation (AtoN); (Juni 2021)
4. Wiederholend verweise ich auf folgende Forderung der WSV, die im Genehmigungsbescheid als Nebenbestimmung mit aufzunehmen ist sowie die Ergänzungen:
- Die WSV / das WSA Ostsee beabsichtigt aus Gründen der Abwehr von Gefahren für die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs im Rahmen der Maritimen Verkehrssicherung die Errichtung einer Radarüberwachung zum Schifffahrtsweg „Kadetrinne“ am Standort Darßer Ort. Die Radarüberwachung wird u.a. auch für die erforderlichen Regelungen zur Verkehrswegeführung und der Einrichtung eines Verkehrstrennungsgebietes infolge der Errichtung und des Betriebes des OWP Gennaker (siehe aufschiebende Bedingung der Nebenbestimmung 3.1.1.1 im Genehmigungsbescheid) benötigt.
- Der Windpark Gennaker wird jedoch Abschattungen und Fehlechos der geplanten Radarstation Darßer Ort im Bereich nördlich des Windparks verursachen.
- Die verursachten Abschattungen müssen durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden. Als geeignete Maßnahme erscheint die Installation einer Radaranlage auf einer der Umspannplattformen durch den TdV bzw. Betreiber des Windparks. Die Live-Radardaten sind dem WSA Ostsee in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen. Hierzu bedarf es Abstimmungen und ggf. vertraglicher Regelungen mit der WSV / dem WSA Ostsee.

6. Die Angaben „WSA Stralsund“ und „Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Stralsund“ sind durch „WSA Ostsee“ bzw. „Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Ostsee“ zu ersetzen. Dies gilt auch für die Antragsunterlagen des TdV.
7. Die Angabe der E-Mail-Adresse „wsa-stralsund@wsv.bund.de“ ist durch „wsa-ostsee@wsv.bund.de“ zu ersetzen. Dies gilt auch für die Antragsunterlagen des TdV.
8. Die Angabe „Wasser- und Schifffahrtsverwaltung“ bzw. „Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)“ sind zu ersetzen in „Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung“ bzw. „Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV)“.
9. Die Angabe „Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt“ bzw. „GDWS“ ist ohne Zusatz zur Dienststelle / Außenstelle zu führen. Dies gilt auch für die Antragsunterlagen des TdV.

Die vorliegende Untersuchung wurde aufgrund der o.g. STN der WSA Ostsee vom 15.07.2024 durch die OWP Gennaker GmbH beauftragt. Sie ist auf der Basis von Recherchen und praktischen Messergebnissen zur Radarzielerkennung und -verfolgung von Seefahrzeugen entstanden. Aus dem Zustand der nachfolgend beschriebenen Lage zur Genehmigung des OWP GEN einerseits und der STN des WSA Ostsee vom 15.07.2024 andererseits wird gemäß Aufgabenstellung der gegenwärtige und zukünftige technische Stand zur Seeraumüberwachung (Lagebild) analysiert und bewertet.

Im Zusammenhang mit dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Seeraumbeobachtung alle natürlichen und technischen Fähigkeiten als Begriff zusammenfasst. Die Seeraumüberwachung dagegen besteht aus dem Prozess einer zweckbestimmten Überwachung eines definierten Seegebietes durch qualifiziertes Personal, gegebenen Vorschriften und Regularien und das Anwenden der Mittel der Seeraumbeobachtung. D.h. die Begrifflichkeit wird hier so verwendet, dass die Seeraumbeobachtung eine Untermenge der Seeraumüberwachung ist.

In diesem Zusammenhang wird untersucht, inwieweit eine zukünftige Radarstation auf der Position Darßer Ort umfänglich als technische Infrastruktur für die Seeraumbeobachtung in der Kadetrinne und dem sich östlich anschließenden Schifffahrtsweg genutzt werden kann und inwieweit die Annahme von Abschattungen und Fehlechos durch den Windpark bestätigt werden kann, bzw. ein Ausmaß erreichen, die eine Kompensation erfordern. In Relation dazu wird untersucht, ob eine Radaranlage auf einer der Umspannplattformen des OWP GEN generell eine geeignete Maßnahme zur Kompensation vermeintlicher Abschattungen darstellt.

Dazu beschäftigt sich die im Folgenden erarbeitete Studie mit den aktiven und passiven Verkehrssystemen, Vorschriften, Regelungen und dem nautischen Standard der landseitigen Seeraumbeobachtung. Besonders eingegangen wird auf die technischen Hilfsmittel zur Seeraumüberwachung. Wechselwirkungen zwischen zukünftig zur Anwendung kommender technischer Systeme und dem OWP GEN werden analysiert.

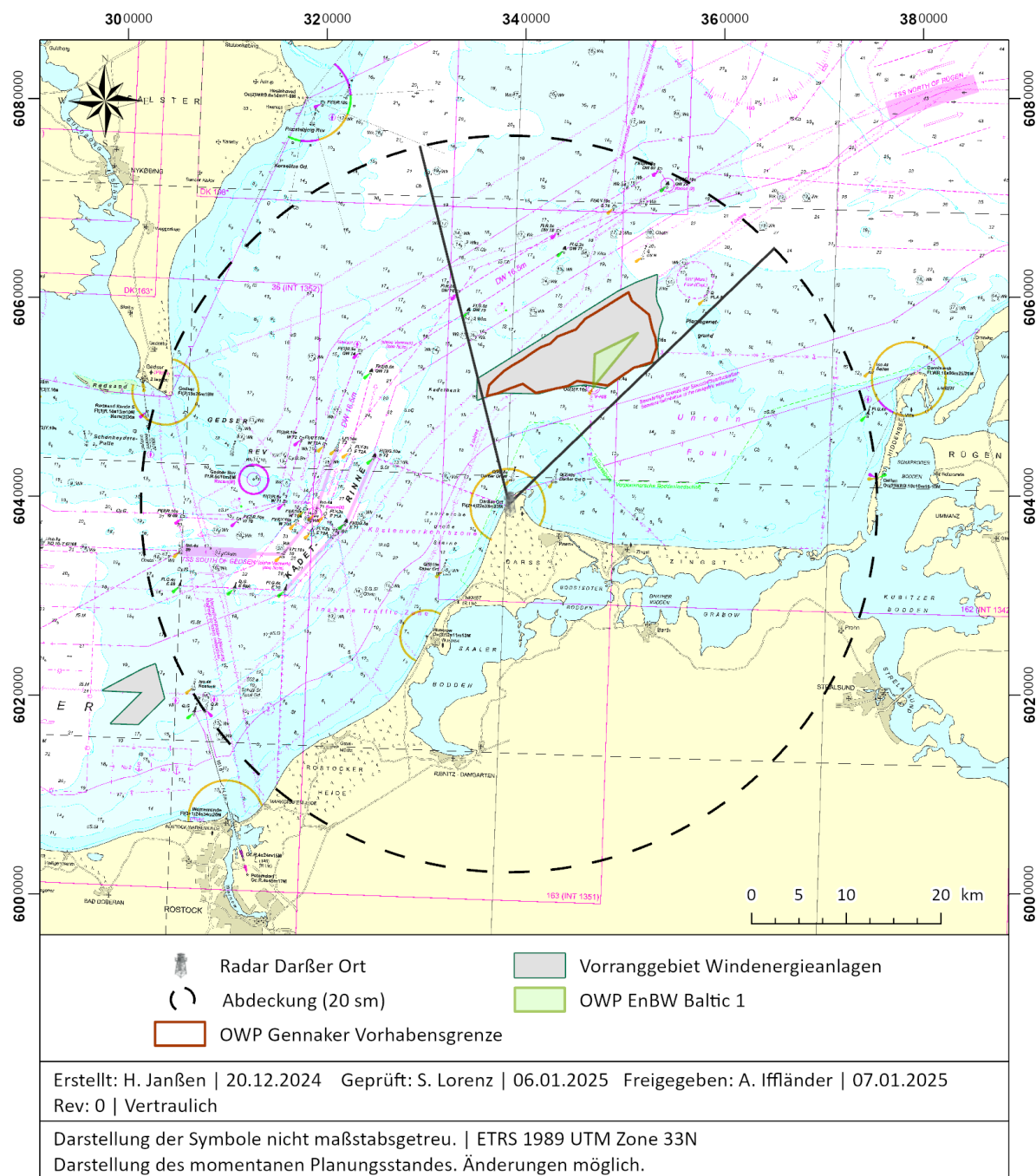


Abbildung 1: Verortung Vorhabenfläche OWP GEN (Quelle AG, für die Navigation nicht geeignet)

2 Extrakt

Mit dem Erstellen dieser Studie wurden folgende Voraussetzungen und Annahmen getroffen:

- Der Offshore Windpark Gennaker (OWP GEN) mit seiner derzeitigen Planungsvariante von 63 WEA's ist erbaut.
- Die einzelnen Anlagen sind unsymmetrisch platziert.
- Ein Radar zu Zwecken der VTS-Aufgaben auf der Position „Darßer Ort“ ist installiert.
- Aktive und passive Verkehrssicherungssysteme sind in Nutzung und entsprechen dem gegenwärtigen technischen und organisatorischen Stand.

Es wird festgestellt, dass für die genannten Rahmenbedingungen keine Beeinträchtigungen hinsichtlich der Fähigkeit einer Seeraumbeobachtung durch die WEA's zu erwarten ist. Eine Radarbeobachtung der Schifffahrt ist mit einem VTS-Radar kontinuierlich möglich. Für das Erfassen der Schifffahrt im Bereich der Kadetrinne und dem sich anschließenden Schifffahrtsweg in östliche Richtung stellen die am nördlichen Rand des OWP's stehenden WEA's keine Beeinträchtigungen dar.

Eine zusätzliche/alleinige Platzierung eines Radarsensors auf einer der beiden Umspannplattformen des zukünftigen OWP GEN ist nicht notwendig.

Begründung:

Vom zukünftigen Standort eines auf dem Darßer Ort positionierten Radarsensors betrachtet, liegt der sich an die Kadetrinne anschließende nordöstliche Schifffahrtsweg hinter dem OWP GEN. Bei einer solchen Konstellation lässt sich der Bereich dieses Hauptschifffahrtsweges weiterhin ungehindert radartechnisch beobachten. Der geringste Abstand zwischen OWP und Radarstandort überschreitet in allen Bereichen 6 Nautische Meilen, welcher als erwartbarer Störungsbereich eines Radarsensors gilt. Damit liegt der OWP GEN grundsätzlich nicht im angenommenen Störungsbereich und ist damit ohne Belang für die radargestützte Seeraumbeobachtung vom Standort Darßer Ort aus.

Durch den Windpark selbst sind Schattenbildungen anzunehmen, resultierend aus der abgestrahlten Antennenenergie des Radars und deren Ausbreitungstörung durch die WEA. Bei einem gegebenen Abstand des Radarsensors zur WEA entsteht dahinter ein diffuser Schattenwurf, der außerhalb des OWP keine Beeinträchtigung der Radarsichtigkeit bewirkt. Dort wird wieder dieselbe Feldstärke der Sendeenergie wie am Ort der jeweiligen WEA erreicht. Ursache hierfür sind die Arbeitsfrequenzen der genutzten maritimen Radarsysteme. Diese liegen im Frequenzbereich zwischen der Schall- und der Lichtfrequenz. Vereinfacht gesagt, kann man um die Ecke hören, aber nicht sehen. Deshalb haben die Radarwellen die Eigenschaft, partiell um Hindernisse herum zu wandern. Eine Zielbeobachtung ist somit – mit Ausnahme innerhalb einer kurzen Zone mit der Breite des Einzelbauwerkes selbst – uneingeschränkt möglich. Durch den Abstand des geplanten Radarstandortes Darßer Ort von der Begrenzung des geplanten OWP GEN sind Fehlechos (Clutter) durch die OWP-Bauwerke nicht zu erwarten.

Die Anordnung der Windenergieanlagen innerhalb des OWP GEN vermeidet grundsätzlich ein sich überlappendes Auftreten eventueller Schatteneffekte bei der Sendeenergieausbreitung des Radars zur Beobachtung des Schifffahrtsweges.

Entsprechend den internationalen Empfehlungen für VTS-Radaranlagen gem. der International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) sind solche Küstenradare einzusetzen, die außerhalb von OWPs keine Störwirkungen und innerhalb eines OWPs lediglich eine geringe Erzeugung von Schatteneffekten durch WEAs hervorrufen. Diese Empfehlungen sind für alle eingesetzten Radarsensoren im Küstenbereich zum Zweck der Seeraumüberwachung einzuhalten.

Weiterhin gehört zum Standard der Lagebilderzeugung in VTS-Systemen das sensortechnisch alternativ wirkende AIS (Automatic Identification System). Diese Information ist im Radarbild integriert und dient zusätzlich der Entdeckung, Verfolgung und Ortung der Schiffe.

Die Ergebnisse beruhen auf recherchierten vergangenen Untersuchungen.

3 Einleitung

Im Zusammenhang mit der Positionierung von Radarsensoren in Bezug auf zukünftige OWP-Bauten und der ungehinderten Beobachtung der Seefahrzeuge im Sinne von Sicherheit und Leichtigkeit der Berufsschifffahrt sei die Entwicklung der technischen Infrastruktur dazu kurz umrissen. Mitte der Neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts wurde in Europa die Verkehrsüberwachung der Seegebiete wesentlich qualifiziert. Aus den vorhandenen Möglichkeiten der Hafenüberwachung heraus entwickelten sich zusätzliche Infrastrukturen für das Beobachten des Küstenverkehrs. Standards zu Inhalt, Form und Integration zukünftiger VTS-Systeme (Vessel Traffic Service) waren gemeinschaftlich zu finden. Das 4. Rahmenprogramm in Forschung und Entwicklung der EU zum Anfang der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts half dabei wesentlich. Beim Ordnen der Prozeduren, Aufgabenbereiche und dem Postulieren technischer Anforderungen war die IALA als Organisation federführend. Sie wurde ursprünglich zur internationalen Kooperation der Seezeichenverwaltungen 1957 gegründet. Mit erweiterten Anforderungen bezüglich des Etablierens von VTS-Systemen entlang der Küsten erhielt die Organisation ein zusätzliches Aufgabenfeld. Als technische Basis der Seeraumüberwachung im Sinne von VTS war das Radar das Mittel der Wahl. Die Bereiche der Kadetrinne und Darß werden derzeit durch die beiden Radarsensoren in Warnemünde und Dranske abgedeckt. Im Zuge der Fortführung des Verkehrssicherungskonzeptes Deutsche Küste ist die technische Erneuerung ausgeschrieben und teilweise beauftragt. Zweck der Anlage ist eine bessere Überwachung des Seeverkehrs in dieser Küstenregion.

Zusammen mit diesen Entwicklungen entstanden die Empfehlungen und Verordnungen der IALA u.a. zu Mindestanforderungen für Küstenradare. Dabei ist zu konstatieren, dass die technischen Anforderungen für Küstenradare aus einer realen Machbarkeit abgeleitet und nicht frei definiert wurden. Offshore Windparks wurden mitberücksichtigt. Diese pragmatische Vorgehensweise setzte sich bei der Einführung des Automatic Identification System (AIS) fort. Letztlich wurde dieses System am 6. Dezember 2000 von der Internationalen Seeschifffahrts-Organisation (IMO) als verbindlicher Standard angenommen. Dieser Standard deckt sowohl das Abbilden der AIS-Ziele in der ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) als auch deren Integration im Radar ab.

Durch den Austausch von Navigations- und anderen Schiffsdaten konnte die Sicherheit und die Leichtigkeit des Schiffsverkehrs wesentlich verbessert werden. Gegenwärtig sind alle Fahrzeuge größer 300 bzw. 500 BRZ der Berufsschifffahrt verpflichtend mit dem AIS ausgerüstet.

In jene Entwicklungsphase von neuen Navigationssystemen hinein, begann das Installieren von Offshore Windparks (OWP) als neue Herausforderung für die Seeschifffahrt durch einen weiteren Mitbenutzer der Ressource Meeresoberfläche. Dänemark war einer der ersten Staaten, welcher in seinem Küstenvorfeld OWPs errichtete. Dadurch war sofort die Frage nach einer möglichen Beeinträchtigung durch Offshore-Bauwerke der See- und Luftraumüberwachung mittels Radars dominant.

Für die hier anstehende Fragestellung werden aus der Schar der damaligen Untersuchungen repräsentative Ergebnisse vorgestellt, diskutiert und bewertet. Die Aktualität dieser Ergebnisse ist weiterhin gegeben. Die Gesetzmäßigkeiten in der Hochfrequenztechnik haben sich in diesem Bereich nicht verändert. Für zivile Landradarstation kommen weiterhin die gleichen Antennen (Schlitzstrahler) mit Pulsradaren zur Anwendung. Dagegen haben sich die digitale Bildauswertung und Filtertechnik wesentlich verbessert.

Gegenwärtig durchläuft das AIS-System als kostengünstige Alternative oder Doppelung zur Radarzielauswertung an Land wieder organisatorisch federführend durch die IALA eine Qualifikation für eine zukünftig drastische Verbesserung von Sicherheit und Leichtigkeit in der Seeschifffahrt, technisch angestoßen durch die schwedische Saab AB.

In dem nachstehenden Bericht soll es vorrangig um die Frage gehen, ob nach Errichtung des OWP GEN mit Einschränkungen der eingesetzten Technik, zur Seeraumbeobachtung vom Standort Darßer Ort, im umliegenden Küstenbereich zu rechnen ist.

4 Beschreibung mariner Radargeräte und deren Wirkprinzipien

In diesem Kapitel soll das Prinzip der Entstehung eines Radarbildes dargestellt werden, um die vorgenommenen Auswertungen der Schattenwirkungen von WEA besser verstehen zu können.

„Radar“ ist eine Abkürzung der englischen Bezeichnung Radio Detecting And Ranging. Dieses technische Gerät besteht üblicherweise aus den Komponenten Sender, Antenne und Empfänger sowie aus einer Auswerte- und Anzeigeneinheit. Mittels hochfrequenter Strahlung sollen fremde Objekte entdeckt und deren Entfernung und Richtung bestimmt werden. Dies erfolgt über Laufzeitmessungen von Radarimpulsen. Die horizontale Bündelung des Radarstrahls erlaubt eine Richtungsmessung. Vom Zeitpunkt des Aussendens breitet sich der Impuls so lange aus, bis es zu einer Reflektion kommt und die restliche Energie wieder von der Antenne empfangen wird. Die halbe Laufzeit des Impulses ergibt dann die Distanz zum Objekt. Reflektiert werden Seefahrzeuge, Bauwerke auf dem Wasser, Küstenlinien, Tonnen, feste Seezeichen, Wellen, Wellenberge, Eiskanten, Niederschlag und Fremdradarstrahlung.

In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Nutz- und Störinformationen auf einem Radarbild kurz erklärt. Daran anschließend werden einzelne Störungen in der Radarbildanzeige erläutert. Mit der Entwicklung des Radars in den dreißiger Jahren des letzten Jahrhunderts in Großbritannien und Deutschland (Funkmesstechnik) sind durch die historisch lange Zeit die Beschreibungen der Parameter, Störungen und anderer Effekte in der Wortwahl heute nicht einheitlich beschrieben. Sie wird hier in Anlehnung der jeweiligen Literaturquellen benutzt. Hauptsächlich wird bei der Erläuterung der Radarstörungen und anderer Parameter die Wortwahl der IALA reflektiert.

4.1 Nutz- und Störinformationen eines Radarbildes

Alle Anzeigen im Radarbild werden generell in Nutz- und Störinformationen unterteilt. Dies obliegt dem Interesse des Beobachters.

Ein Beispiel wird in Abbildung 2 dargestellt: Der Anzeigebereich ist auf einen 6NM Radius eingestellt. Deutlich sind **Seegangsreflexe** bis zu einer Entfernung von ca. 4NM um die Sendeantenne herum zu sehen. Für eine eventuelle Verkehrsüberwachung wäre dieser Bereich nicht auswertbar. Gleichfalls sieht man in dieser Abbildung eine **Abschattung** der Radarabstrahlung hervorgerufen durch den achteren Bereich des Schiffes (Aufbauten, Schornstein). Effekte von Fremdradarstörungen sind als sichelförmige Aufhellungen im unteren Teil des Bildes zu sehen.

Der Anzeigeprozessor, vorstellbar als Block zwischen dem Radarempfänger und dem Anzeigeteil, unterdrückt ungewollte Empfangssignale. Das Justieren kann sowohl automatisch als auch durch den Nutzer erfolgen.

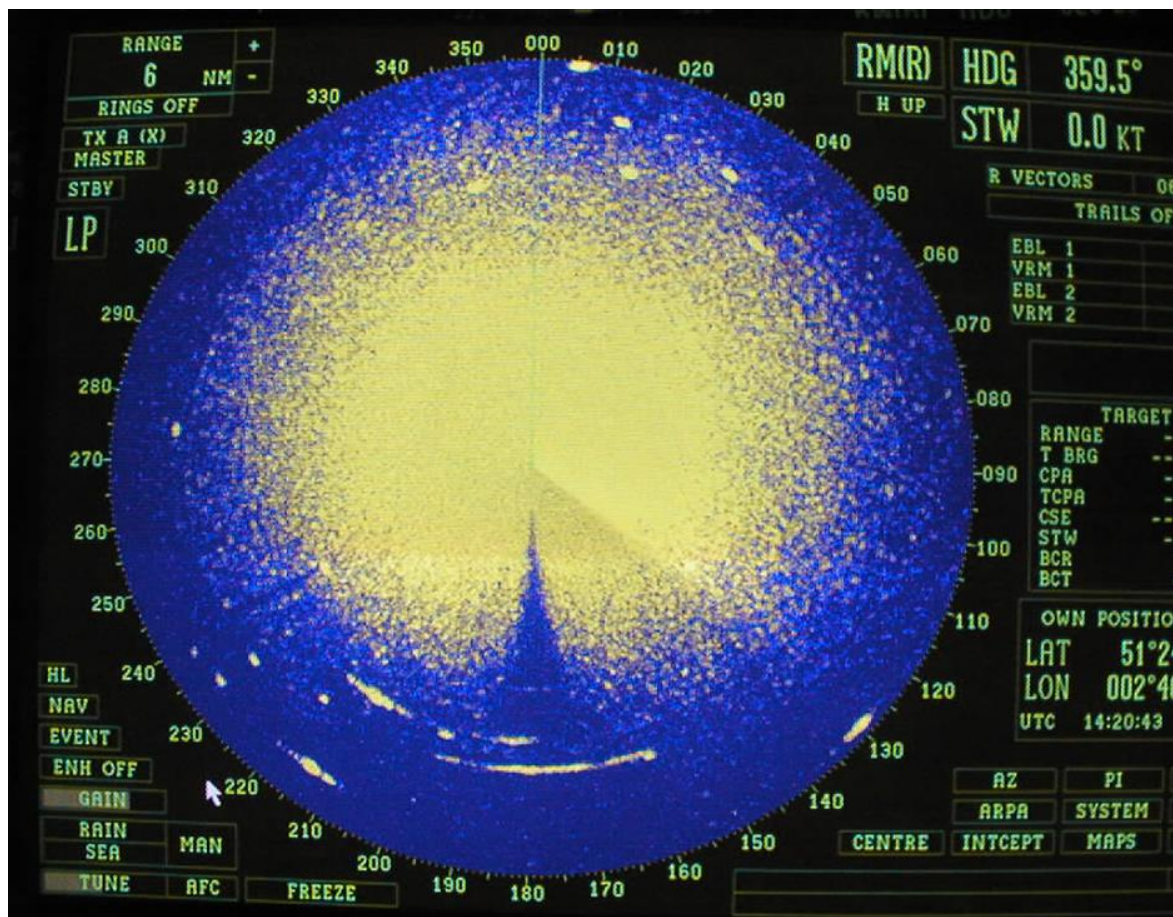


Abbildung 2: Bord-RadARBild mit ausgeprägten Seegangechos im 6NM Anzeigebereich [// 1]

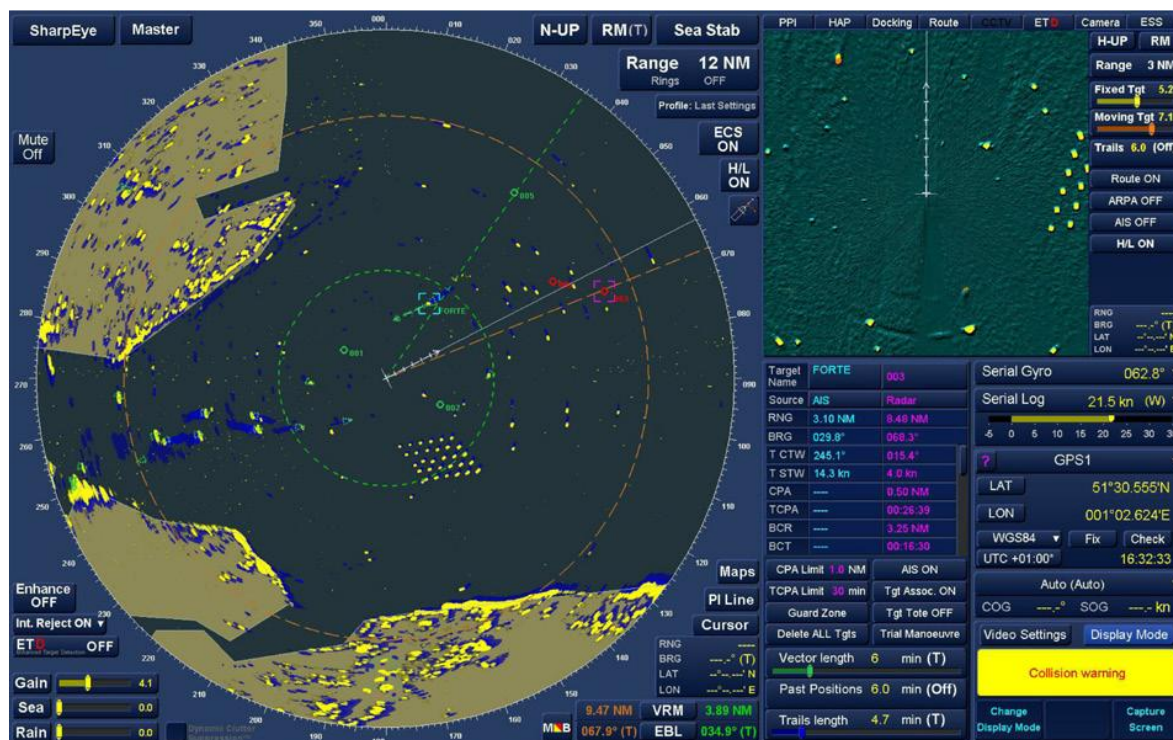


Abbildung 3: Radardarstellung im Bereich von 12NM von einem Schiff aus [// 2]

In der Abbildung 3 ist beispielhaft ein Radarbild im Bereich von 12NM dargestellt. **Seegangs- und Regenfilter** sind ausgestellt. Die Unterdrückung von **Fremdradarstörungen** ist eingeschaltet (Int. Reject ON).

4.2 Radarabschattungen auf See

Profile oberhalb der Wasseroberfläche bilden mit ihrer Dimension und in Abhängigkeit ihrer Rückstrahleigenschaften in Richtung der sich ausbreitenden Sendeenergie des Radars Abschattungen aus. Hinter derartigen Profilen angeordnete weitere Profile werden nicht mehr vollständig oder gar nicht reflektiert, wenn sie sich in der Abschattung des ersten Profils befinden. Ein Beispiel für eine Radarabschattung wird in Abbildung 2 dargestellt. Der Schornstein bildet mit seiner unmittelbaren Nähe zur Radarantenne einen vollständigen Schatten aus. Dort ist keine weitere Radaranzeige gegeben. Zu erkennen ist, dass der Schatten in seiner Breite nicht größer als der Schornstein selbst ist.

In Bezug auf den Windpark sind die Radarschatten nicht breiter als der Turmdurchmesser oder das Fundament. Wie sich der Radarschatten hinter einer WEA verhält wird später ausführlich beschrieben.

4.3 Fehlechos

„**Falsche Echos**“ sind ein weiterer Bereich von Störungen. Sie entstehen durch das Vorhandensein von großen reflektierenden Strukturen und Oberflächenreflektionen und treten z.B. auf, wenn sich Radar und Ziel sehr dicht beieinander befinden (Abbildung 4 und Abbildung 5).

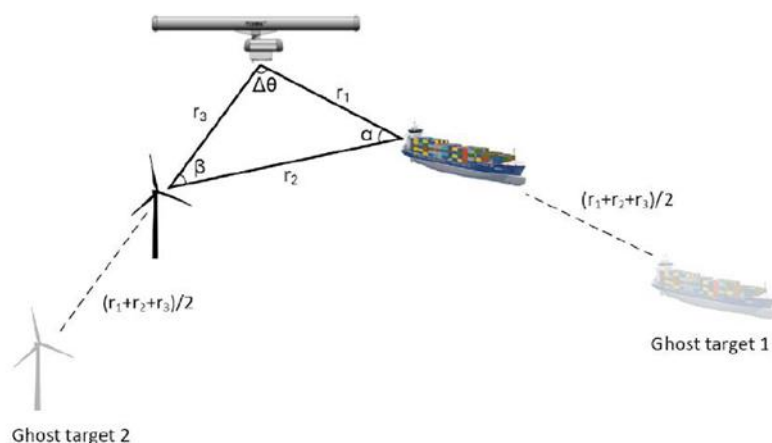


Abbildung 4: Aufbau von Fehlechos

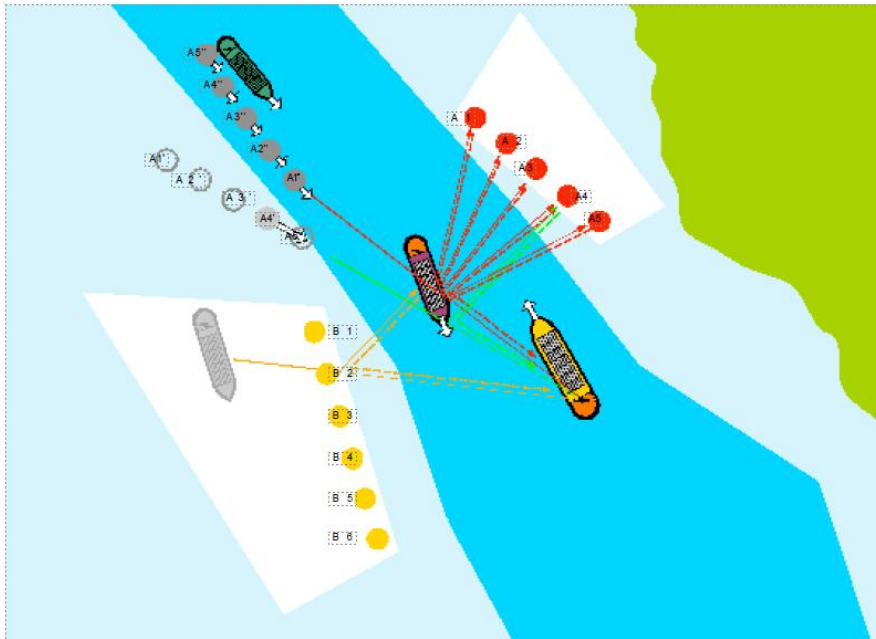


Abbildung 5: Visualisierung von Fehlechos

Die beiden letzten Abbildungen zeigen schematisch den Effekt der Mehrfachechos. Auf dem Radarbild stellen sich diese Effekte gemäß Abbildung 6 dar.

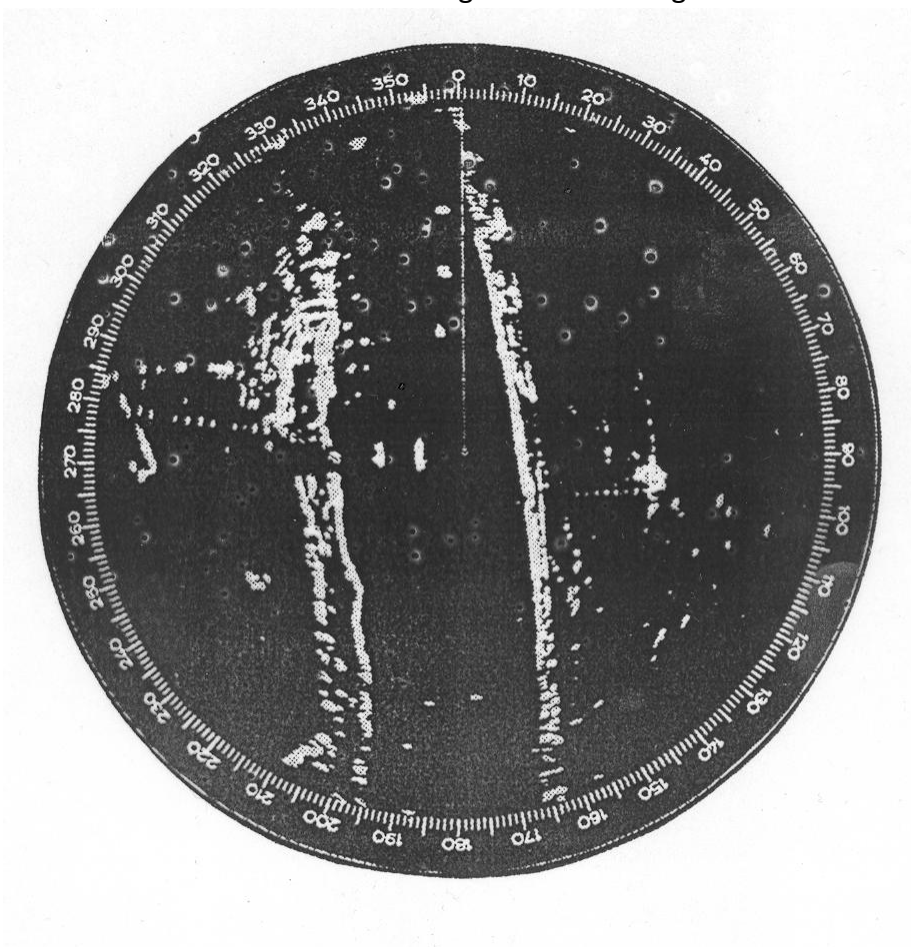


Abbildung 6: Mehrfachechos an der linken Seite des nach oben fahrendem Fahrzeug

Diese ungewollten **Mehrfachechos** (Multipath) können auch durch Nebenzipfel der Sendekeule in der Nähe der Radarantenne entstehen. Wie ist dies gemeint? Die Antenne bündelt die abgestrahlte Energie horizontal als auch vertikal zur Oberfläche des Wassers. Dabei verändert sich der abgestrahlte Impuls in seiner Querausdehnung bis die Energie durch Reflexionen und Absorption aufgebraucht ist. Die durch die Antenne ausprägende Form wird als Sendekeule bezeichnet (Abbildung 7). Die Streuungen durch die Nebenzipfel der Antenne können weitere Störechos im Zusammenhang mit der Struktur und den Reflexionseigenschaften der unmittelbaren Umgebung hervorrufen.

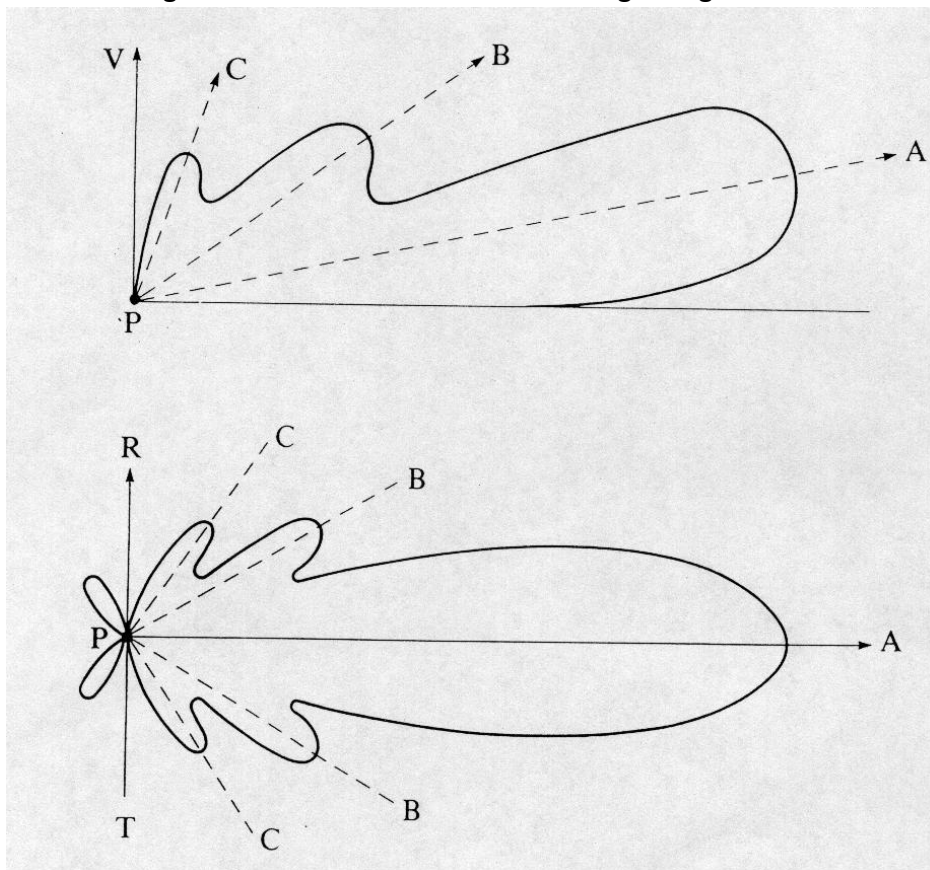


Abbildung 7: Seiten- und Queransicht einer Sendekeule mit der Hauptkeule A und den Nebenzipfeln (C, B) ausgehend von Ort (P) der Antenne

4.4 Einfluss von wechselnden Wetterbedingungen

Wechselnde Wetterbedingungen sind für die Überdeckungsreichweite des Radars zu berücksichtigen (Refraktion, Sub-Refraktion). Bei guten optischen Sichtverhältnissen ist die Radarabdeckung ebenfalls groß und bei schlechten optischen Bedingungen gilt für das Radar die Umkehrung.

Niederschlag beeinflusst wesentlich die Radar Überdeckung eines VTS-Systems. Die Absorption der Sendeenergie durch die Niederschlagspartikel wird wesentlich mit von der Sendefrequenz bestimmt. Scharfe Regenfronten erschweren besonders das „Hineinschauen“ in das Regengebiet mittels Radar.

Üblich sind zwei Frequenzbänder für zivile Schiffsradare:

F- Band	λ [cm]	f [GHz]	Eigenschaft
X	3,2	9,375	Sind besser zu bündeln => feinere Auflösung
S	10,0	3,00	Durchdringen die Atmosphäre besser

Hat man die Möglichkeit des Umschaltens vom X-Band auf das S-Band, wird Radarzielentdeckung bei Niederschlag verbessert.

Es werden Filter für die manuelle Bedienung am Sichtgerät (Abbildung 3 links unten – „Rain“) oder automatische Filter angeboten. Die IALA beschreibt folgende Forderungen an VTS-Radarsysteme hinsichtlich der Reduktion von Störanzeigen und Rauschen [// 3, S.26]

CLUTTER AND NOISE REDUCTION/MANAGEMENT

Appropriate clutter reduction or clutter management should be available to meet the performance requirements.

This will typically include:

- *White noise suppression* (Unterdrücken des „weißen Rauschens“)
- *Interference rejection* (Ausblenden von Störungen durch Fremdradar)
- *Sea and rain clutter processing* (Minimierung von Seegangs- und Regenstörungen)
- *Adaptation to varying propagation conditions.* (Anpassung der Bilddarstellung an unterschiedliche Bedingungen)

The features should preferably be automatic.

Die Stör- und Rauschreduktion erfolgt im Wesentlichen bei der Installation eines Küstenradars. Nachjustierungen und eine Veränderung der Einstellungen, wie beispielsweise am Bordradar notwendig, entfallen hier.

4.5 Reichweite des Radars

Die **Reichweite** der Radarüberdeckung ist in einer Radargleichung definiert. Es werden u.a. die Parameter Frequenz, Sende- und Empfangsleistung, das Antennendesign, die Reflexionseigenschaften des Zieles und die Antennenhöhe in Relation zum Beobachtungsgebiet berücksichtigt.

Die maximale Reichweite ist dadurch gekennzeichnet, dass gegenüber der optischen Sicht die schon genannte Sendekeule ein klein wenig der Erdkrümmung folgt und eventuell Ziele hinter dem Horizont entdeckt werden können. Voraussetzung ist eine angemessene Sendeleistung und die Abstimmung verschiedener technischer Parameter der Impulsbehandlung sowie die Rückstrahleigenschaften des Zieles.

Die theoretische Reichweite ergibt sich annäherungsweise aus der Wurzel von Antennenhöhe und Zielhöhe.

Mit einem Faktor multipliziert erhält man die maximale Reichweite in Nautischen Meilen (NM):

$$e \text{ [NM]} = 2,23 * (\sqrt{\text{Antennenhöhe[m]}} + \sqrt{\text{Zielhöhe[m]}})$$

Läuft die Zielhöhe gegen Null, reduziert sich die theoretische Entfernungsmessung auf:

$$e \text{ [NM]} = 1,22 * \sqrt{\text{Antennenhöhe[m]}}.$$

Dieser Maximalwert wird weiter durch die Rückstrahleigenschaften des Radarziels beeinflusst. Mit einer Mindestreichweite von 30NM wird beispielhaft ein Küstenradar angeboten [// 5]. Für die Luftraumüberwachung werden sogar 45NM angegeben ("The instrumented range of the SCANTER 4002 air coverage is up to 45NM and the radar system can be configured with different antenna systems, e.g. 15ft or 18ft, depending on the requirements").

Generell kann festgestellt werden: umso weiter ein Objekt von der Antenne entfernt ist, desto schwieriger ist es aufgrund von Signalverlusten z.B. durch Umwelteinflüsse dieses zu erfassen.

5 VTS-Radarsysteme

Generell werden die Eigenschaften von VTS-Radarsystemen (siehe Kapitel 5.5) von der IALA spezifiziert und empfohlen [// 6]. Sie enthalten für die vorgenommene Untersuchung folgende wesentliche Unterpunkte zu Radarsystemen:

IALA guidelines related to the establishment of the functional and performance requirements [// 7 IALA Recommendation G1111 ESTABLISHING FUNCTIONAL AND PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR VTS SYSTEMS AND EQUIPMENT]

a G1111 Establishing Functional and Performance Requirements for VTS Systems (Funktionale Beschreibung der Anforderungen für eine technische VTS-Ausrüstung)

b G1111-1 Producing Requirements for the Core VTS System (Produktanforderungen für hauptsächliche Ausrüstung von VTS-Systemen)

d G1111-3 Producing Requirements for RADAR Systems (Produktanforderungen für Radar-Systeme)

e G1111-4 Producing Requirements for AIS (Produktanforderungen für AIS-Ausrüstung)

Anwendungseigenschaften werden dagegen bei der Installation des Radars berücksichtigt. Was, wo und in welcher Umgebung und geografischer Ausdehnung beobachtet werden soll, wird mit der technischen Spezifikation für die konkrete Installation abgedeckt. Dieser Prozess zum konkreten Aufbauen, Einrichten und Justieren eines Küstenradars ist von den IALA-Empfehlungen nicht abgedeckt oder vorgegeben und muss vom Nutzer entschieden werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die IALA-Empfehlungen kurz beschrieben.

5.1 Funktionale Anforderungen für eine technische VTS-Ausrüstung

Die Beschreibung der funktionalen Anforderungen und Ausrüstungen als auch der operationellen Anforderungen können in verschiedene Gruppen unterteilt werden:

- Kommunikation
- Lagebewertung
- Aufzeichnung und Wiedergabe
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.

Diese Gruppen müssen die Sprach- und Datenkommunikation, die Funktionalität des VTS-Centers mit seinen Sensoren und den Betrieb sicherstellen. Weiter muss das Aufzeichnen von Sprache und Daten und deren Wiedergabe einschließlich der Analyse vergangener Verkehrsabläufe möglich sein.

Die Sprachkommunikationsabdeckung, die Sensorreichweite und die Kommunikationsnetzwerkstruktur müssen definiert sein. Dazu gehört das Berücksichtigen von Redundanzen der technischen Systeme. Diese Anforderungen stützen sich auf die verwendeten Systeme im nächsten Punkt.

5.2 Produktanforderungen für VTS-Ausrüstung

Für ein VTS sind Geräte und Systeme für die Lageerfassung, die Lagedarstellung, deren Auswertung und das Dirigieren des Verkehrsablaufes vorzuhalten. Das eingesetzte Radar, die Kommunikationsgeräte extern und intern, das AIS, Umweltmesssysteme (Wind, Pegel, Strömung, Wind) und Funkpeiler (UKW) sind wesentliche technische Geräte in diesem Zusammenhang. Ein geeignetes Navigationsinformationssystem (ECDIS) ist vorzuhalten.

5.3 Produktanforderungen für Radar-Systeme

Bei den Produktanforderungen für Radar-Systeme wird sich in diesem Gliederungspunkt auf den Annex 5 (S.28ff) in [// 3] bezogen. Die in der folgenden Tabelle 1 vorgeschlagenen Parameter dienen als Beispiel für eine Konfiguration eines VTS-Radarsystems.

Tabelle 1: Beispielkonfiguration für ein VTS-Radar

System type	S1	S2	X1	X2	X3	Ku1	Ku2
Frequency Band	S	S	X	X	X	Ku	Ku
Radar signal processing	Simple	Medium	Simple	Medium	Advanced	Medium	Advanced
- Corresponding Pfa prior to processing	1.00E-08	1.00E-05	1.00E-08	1.00E-05	1.00E-04	1.00E-05	1.00E-04
- Corresponding Pd for good tracking	90%	80%	90%	80%	70%	80%	70%
Antenna Gain [dB]	25	29	32	35	38	32	36
- Antenna Horizontal Beamwidth [degrees]	2	1.25	0.6	0.45	0.36	0.5	0.3
- Antenna Vertical Beamwidth [degrees]	30	20	20	15	10	20	12
Pulse radar specific							
Peak power [KW]	30	30	10	25	50		
Pulse length [ns]	Optimised to the individual operational area						
Pulse compression radar specific							
Peak power [W]	50	200	10	50	200	20	200
Equivalent peak pulse power [KW]	50	250	10	50	250	25	250
Compressed pulse length [ns]				50			
All assumed to have 3 dB one way transmission losses and an overall noise figure of 3 dB							

Antenna Heights (metres ASL)	Sea States (Douglas scale)	Precipitation (mm/hour)
20	1	clear
40	3	4
80	5	10
200		20

Der Radarhorizont für einzelne Antennenhöhen und Höhen der Ziele wird in der nachfolgenden Tabelle 2 ausgewiesen. Diese Tabelle korrespondiert mit der Zieltypentabelle der IALA. Diese wiederum ist für die Qualitätsbewertung der Radaranlagen definiert worden. Das Vermögen der Zielentdeckung ist das wesentliche Merkmal einer Radaranlage.

Tabelle 2: Radarhorizont für Antennenhöhen und Zielhöhen

Target range [Nautical Miles]		Target Height [metres]						
		1	2	3	5	8	12	18
Antenna Height [m]	20	12.0	12.9	13.6	14.8	16.1	17.5	19.2
	40	16.1	17.0	17.7	18.8	20.1	21.5	23.2
	80	21.9	22.8	23.5	24.6	25.9	27.3	29.0
	200	33.3	34.2	34.9	36.0	37.3	38.7	40.4

Ausgewiesen wird in der folgenden Tabelle 3 die Minimumentfernung als Funktion der Antennen Charakteristik (Halber vertikaler Öffnungswinkel (look down angle) und der Antennenhöhe).

Tabelle 3: Beziehung zwischen minimaler Zielentfernung und Antennenhöhe

Ranges at sea level [metres]		Antenna height [m]			
		20	40	80	200
look down angle [°]	10	113	227	454	1134
	20	55	110	220	549
	30	35	69	139	346
	40	24	48	95	238

Für ein VTS-Radar werden technische und bauliche Kompensationsmaßnahmen durch die IALA empfohlen, um die nachfolgend aufgeführten Beeinträchtigungen bei der Zielentdeckung zu vermeiden:

MULTIPATH EFFECTS, Reflections from large objects, Probability of detection and false alarm rate (Annex 5 (S.28ff) in [// 3]).

Dies bedeutet, dass Fehlechos durch diese Funktion entweder automatisch während des Betriebes oder durch Justierung während der Inbetriebnahme kompensiert werden.

Es kann festgestellt werden, dass die Anforderungen an VTS-Radare durch übliche Bordradare (siehe Abbildung 2) nicht erfüllt werden. Dies ist baulich allein durch die verwendeten Antennengrößen der Landradare gegeben (18ft – 21ft). Qualitativ bewirken Antennen dieser Größenordnung gegenüber Bordradaren mit üblichen 8ft (X-Band) und 12ft (S-Band) Antennen eine wesentlich stärkere azimutale Bündelung der Sendekule von 0,8° hin zu 0,45° bezüglich der seitlichen Ablenkung zur idealen Richtung der Antenne. Die azimutale Verzerrung der reflektierenden Ziele wird also verringert.

Drei wesentliche Beispiele europäischer Hersteller für Küstenradare seien nachfolgend in Kapitel 5.5 gelistet.

5.4 Produktanforderungen für AIS-Ausrüstung

Die Ausführungen in diesem Gliederungspunkt beziehen sich auf die IALA GUIDELINE G1111-4 [// 4].

Die physischen Bestandteile der VTS-Ausrüstung in einer Verkehrszentrale sollen sein:

- die AIS Basisstation - AIS base station
- der AIS-Empfänger - AIS receiver
- eine Anzahl von AIS Relais Geräten - AIS repeater
- ein Vorhalten von virtuellen Seezeichen - AIS Marine Aid to Navigation (AtoN).

Folgende Funktionen soll das AIS in einer Verkehrszentrale abdecken:

- Automatischer Empfang von statischen und dynamischen Daten, gesendet von den mit AIS ausgerüsteten Fahrzeugen.
- Das AIS soll das Monitoren und Zielverfolgen von Fahrzeugen erlauben.
- Ein Datenaustausch zwischen Verkehrszentrale und Fahrzeug muss möglich sein (ähnlich einer SMS).
- AIS basierte Navigationshilfsmittel wie virtuelle Seezeichen müssen gemanagt werden können.
- Das AIS muss die Bereitstellung von Position und Identifikation in der Lagedarstellung des VTS erlauben.
- Manövrierdaten als auch reisebezogene Daten des Schiffes müssen im VTS gespeichert werden können.

Besondere Unterstützung muss das AIS für die Lagedarstellung des VTS geben können.

Dabei ist die Funktion der Zielverfolgung von Fahrzeugen im VTS-Gebiet eine besondere Herausforderung. Neben dem Radar ist hier eine weitere unabhängige Technologie zur Positionsentdeckung und Positionsverfolgung als Redundanz im VTS nutzbar.

Da diese Technologie gerade eine wesentliche Innovation erfährt wird diese Technologie in dieser Studie noch einmal aufgegriffen.

5.5 Beispiele für Radargeräte

Generalisierend kann zwischen Schiffsradarsystemen und fest aufgestellten Landradarsystemen qualitativ unterschieden werden. Die wesentlichen Qualitätsunterschiede und der Vorteil eines Landradarsystems ergeben sich durch eine frequenztechnisch vorteilhafte Wahl des Standortes. Die Antennenhöhe kann relativ frei gewählt werden. Die Dimensionierung der Antenne kann gemäß der Aufgabenstellung im VTS-Gebiet größer gewählt werden als an Bord. Weiter ergeben sich Standortvorteile für die Pflege und Wartung einschließlich der Datenfernübertragung. Nach einer vorgenommenen Recherche sind für die Studie zwei Systeme für die Seeraumüberwachung und eins für die Luftraumüberwachung ausgewählt worden. Sie sind repräsentativ für den europäischen Markt.

Zu den ausgewählten und nachfolgend vorgestellten Produktbeispielen ist festzustellen, dass sie IALA konform einschließlich der Vorgaben zu Radarschatten sind. In der IALA G111-3 Producing Requirements for Radar [// 3, S.51/52] heißt es:

A.11.1. SHADOWING EFFECTS

Radar detection may be blocked by shadowing effects that, to the extent possible, should be avoided.

- *Targets being hidden by larger targets or other obstructions.*
- *Masking of small targets by the effects of range and time side lobes.*

These effects can be minimized by the appropriate siting of radars and selection of equipment with low side lobes.

Zusammenfassend für die folgenden Produktbeispiele kann festgestellt werden, dass von der IALA das Thema „Abschattung“ mit nur wenig Aufwand gegenüber anderen Empfehlungen für den Bereich „VTS-Radar“ abgehandelt wird. Den entsprechenden Herstellern wird anempfohlen durch eine Konfiguration der technischen und baulichen Parameter Nebenzipfel in der Ausprägung der Sendekeule gering zu halten und für den Radarsensor eine geeignete Position (Antennenhöhe, gehöriger Abstand) zu den schattenerzeugenden Objekten (in diesem Fall gegenüber dem OWP GEN) zu finden. Diese Aussage favorisiert z.B. einen Standort des Radarsensors am Darßer Ort in Relation zu den Positionen der WEA's des OWP GEN. Denn Fehlechos im interessierenden Beobachtungsbereich sind verstärkt durch die Errichtung eines Radars auf der Umspannplattform des OWPs zu erwarten. Dagegen sind bei Errichtung des Radarsensors auf dem Darßer Ort im interessierenden Beobachtungsbereich weniger Fehlechos zu erwarten. Mit Blick auf die von der WSV als potenzielle Beeinträchtigung vermuteten Fehlechos würde ein Radarstandort am OWP GEN also zu keiner Verbesserung, sondern zu einer Verschlechterung der Situation führen.

Warum in diesen Zusammenhängen in Radarabschattungen keine spezielle Herausforderung gesehen werden, soll ab Kapitel 6 und 7 verdeutlicht werden.

5.5.1 Radar Beispiel 1 - das SCANTER 4002 X-BAND Radar

In der Zeit der sich entwickelnden Technologien der erneuerbaren Energien steht das SCANTER 4002 [// 5] für eine Luftraumüberwachung in einem Radius von 45NM. Es kann mit 15ft oder 18ft Antennen entsprechend den Anforderungen ausgerüstet werden. Das System beinhaltet das Entdecken und Tracken von schon kleinen Zielen sowohl in einem OWP als auch dahinter ohne Zunahme der Falschalarmrate.

5.5.2 Radar Beispiel 2 - das SCANTER 5000 Radar

Speziell für die Seeraumüberwachung ist das SCANTER 5000 [// 5] ausgelegt. Das Scanter 5000 Radar erfüllt alle IALA-Anforderungen in diesem Zusammenhang. Dabei liegen die Qualitätsmerkmale dieses Radarsystems weit über den Empfehlungen der IALA. Die Spezifikation des Systems ist wie folgt beschrieben:

Weight 77 kg, h x w x d 990 mm x 497 mm x 305 mm

Type Solid State power amplifier

Frequency 9.0 GHz to 9.2 and 9.225 to 9.5 GHz

Sector Transmission up to 16 sectors

Sampling 14 bit IF @ 400 MHz

Dynamic range >140 dB overall

Noise figure <2.5 dB

Emitter 50 W and 350 W peak, - 10 W and 70W average (at 20% duty cycle)*

Profile settings 16

Min. detection range 30 m

BITE measurements

Mit der besonderen "Terma Line Array" erhält man nach Angaben des Herstellers eine sehr hohe Auflösung, eine geringe Ausdehnung der Nebenzipfel (side-lobes), eine hohe Verstärkung und geringe Wartungskosten.

Das Radar entspricht dem Stand der Technik und die durch die IALA definierten Anforderungen.

5.5.3 Radar Beispiel 3 - Kelvin Hughes Mk11 SharpEye™ Radar

Das Kelvin Hughes Mk11 SharpEye entspricht dem gegenwärtigen Stand der Technik. Als Pulse Doppler Radar ist es für die Navigation und Lagebewertung geeignet [// 2].

Die Kelvin Hughes Mk11 SharpEye Radar Technologie entspricht den Herausforderungen der Marine, der Küstenüberwachung und Grenzschutzbehörden. Das Standard Navigationsdisplay dieser Serie genügt den neuesten IMO Radar Performance Standards. Das integrierte Radardisplay ist Teil eines komplett redundanten Netzwerksystems und konform den IEC-Standards (MSC.192(79) / IEC62388 Ed.2).

Specification			
		I band (X band)	E/F band (S band)
Transceiver	Solid state coherent upmast sensor		
	Peak RF power	Up to 300W	Up to 200W
	Power amplifier technology	GaN	LDMOS
	Pulse lengths	0.1µs - 100µs	0.1µs - 100µs
	Reliability	Up to 150,000 hrs MTBF	Up to 150,000 hrs MTBF
Signal Processor	Pulse compression with Doppler processing		
	Clutter discrimination	Up to 16 filters	Up to 32 filters
	Automatic, adaptive clutter suppression	Standard	Standard
	Sectorised transmission/processing modes	Optional	Optional

Ausgewählte Eigenschaften:

- Ermittlung von Schiffsbewegungsdaten,
- Ausgabe von AIS-Zielinformationen,
- Routenverfolgung,
- Dynamische Unterdrückung von Störechos,
- ARPA (Automatic Radar Plotting Aid),
- Automatische generierte Zonen zur Akquisition von Zielen,
- Routen Anzeige mit einer Indikation des Cross Track Fehlers,
- ARPA/AIS Kontakt Korrelation und
- ein Entscheidungsfindungstool, welches die Sicherheit und Leichtigkeit auf See weiter verbessert.

6 Optische Schatteneffekte hinter Windturbinen

Schatteneffekte sind ein Phänomen unseres täglichen Lebens. Objekte auf dem Land oder auf dem Wasser bilden durch die Sonnenstrahlung Schatten ab (siehe Abbildung 8).

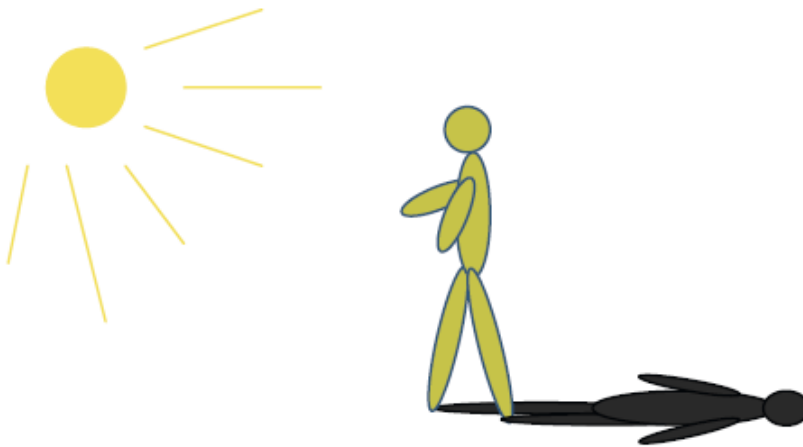


Abbildung 8: Der Schattenwurf einer im Sonnenlicht stehenden Person [// 8]

Das sichtbare Licht von der Sonne hat eine Wellenlänge im Bereich $\lambda = 400 - 800 \text{ nm}$ wohingegen die physische Dimension (D) von den uns umgebenden Objekten typischerweise im Meterbereich angegeben wird. Mit anderen Worten, die Wellenlänge des einfallenden Sonnenlichts ist um ein Wesentliches kleiner als die Größe der schattenwerfenden Objekte $\lambda \ll D$. In so einem Fall hat der Schatten hinter einem Objekt eine klar definierte Grenze: innerhalb der Grenze ist es vollständig dunkel und außerhalb ist kein Schatten vorhanden (vgl. // 8, Seite 10).

Folgt man diesem Ansatz bei der Betrachtung der Schatteneffekte von Windturbinen wird der Schatten allein nach den Gesetzen der Optik betrachtet. Das Phänomen der Abschattungen und deren Wirkungen auf die Zielentdeckung wird damit transparent abgebildet.

In Abbildung 9 wird die teilweise Abschattung eines Schiffes durch die Windkraftanlage dargestellt. Diese Darstellung basiert auf einer 5 MW Turbine (Höhe Turm 70m) in der Geometrie von Turm, Gondel und Rotorblätter. Bei den Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Turbinen generell 7km bis 25km vom Radarsensor entfernt platziert sind [// 10, S. 1715 ff]. Das Schattenprofil einer einzelnen Windturbine wird mit einer Breite von 4m bis 20m beispielhaft angegeben. Es wird deutlich, dass ein passierendes Fahrzeug (Berufsschiffahrt) von diesem Schattenwurf nur zu einem geringen Teil temporär überdeckt wird, vorausgesetzt es passiert die WEA nah genug und innerhalb der 500m Sicherheitszone. Ein vollständiges Ausblenden dieses Fahrzeuges als Radarziel wird durch den Schatten nicht bewirkt.

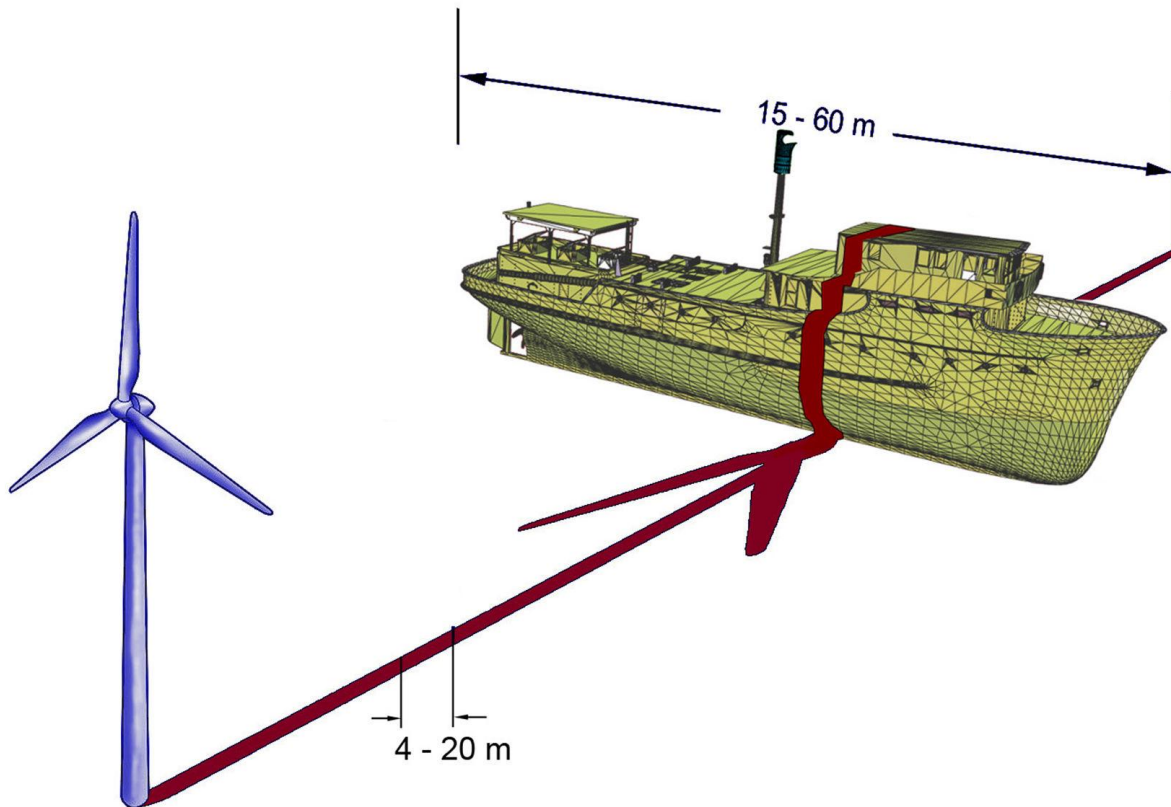


Abbildung 9: Teilweise optische Abschattung eines Fahrzeuges durch eine Windturbine [// 10, S. 1715]

In der Abbildung 10 wird das optische Schattenprofil für eine Anzahl von Turbinen (OWP) mit einer teilweisen Überlappung der optischen Schatten einzelner Turbinen dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass geometrische Muster der OWP-Struktur solche eventuell möglichen Effekte einer Überlappung der Schatten hervorrufen können, wie in diesem Bild die dritte Turbinenreihe von links zeigt. Ob eine Überlappung einzelner optischer Schatten erfolgt, ist vom Windparklayout abhängig. Vorrangig tritt dieses Phänomen auf, wenn die WEA's in einem gleichmäßigen Muster angeordnet sind.

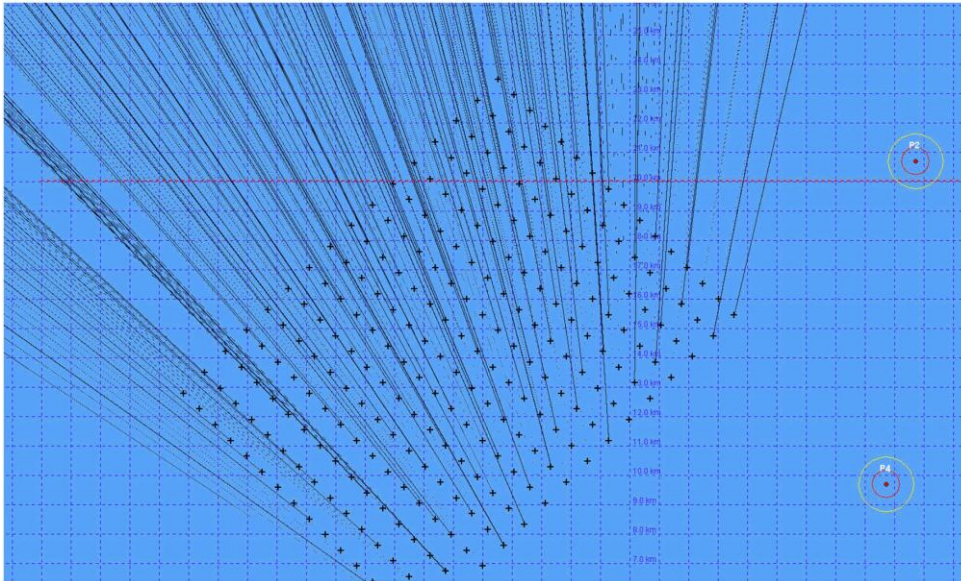


Abbildung 10: Von einem OWP theoretisch hervorgerufene **optische** Schattenbildung [// 10]

Mit dieser Betrachtung ist eine prinzipielle Einordnung des interessierenden Schattenwurfs vorgenommen. Es ist zu berücksichtigen, dass bei einem Ignorieren der Diffraction elektromagnetischer Strahlung die optische Schattenbetrachtung nach Abbildung 10 sehr pessimistisch ist. Im Frequenzbereich der Radarstrahlung findet der Schattenwurf so nicht statt. Vielmehr kommt es zu einem teilweisen „Umwandern“ des Hindernisses (Monopfahl) durch die Radarstrahlung (Diffraction).

Weiter kommt hinzu, dass das Windparklayout für den OWP GEN ertragsoptimiert ausgelegt ist, d.h. es folgt, anders als beim bereits realisierten OWP Baltic 1, keinem Muster, sondern der OWP GEN ist im Rahmen einer ungeordneten Platzierung um diesen Bestandspark herum projiziert. Bislang waren 103 WEA geplant und genehmigt. Durch die Umplanung kann die Anlagenzahl auf 63 WEA reduziert werden. Damit erhöhen sich die Abstände der WEA zueinander (vgl. Abbildung 11). Effekte von Überlappungen können somit nicht auftreten.

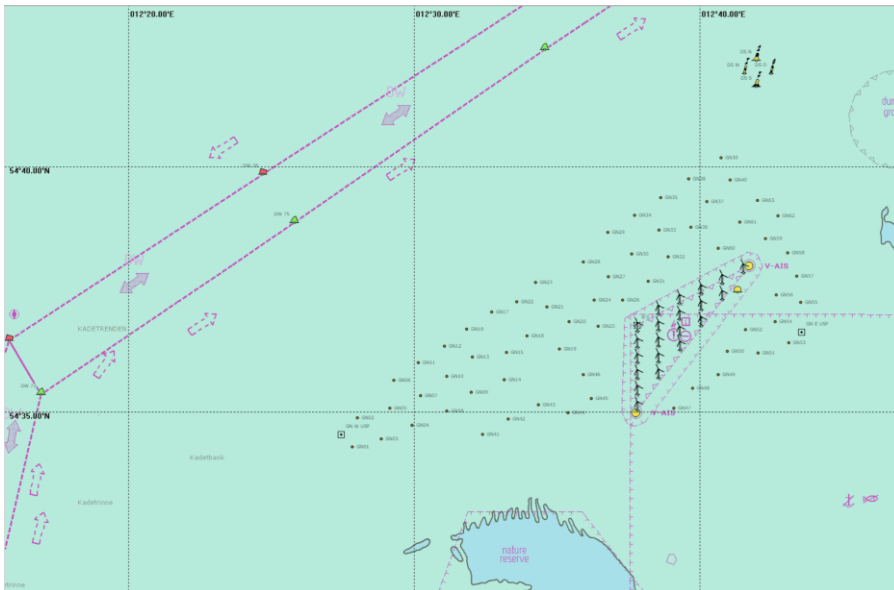


Abbildung 11: Anordnung der WEA-Positionen nach WGS84 des geplanten OWP GEN in der ECDIS

In unmittelbarer Nähe von Sendeanenne und Hindernis sind die Schatteneffekte von Licht und Ausbreitung der Sendeenergie noch vergleichbar. Bei einer Entfernung des Radars (Darßer Ort) von mehr als 10km zu einer Windturbine (OWP GEN) ist die radartechnische Sichtbarkeit eines Fahrzeuges nach optischen Gesichtspunkten hingegen nicht mehr gegeben. Das Abschatten der Radar-Sendeenergie erfolgt nur in geringem Maße (vgl. [// 10, S. 1716]). Elektromagnetische Abschattungseffekte hinter Windturbinen werden im folgenden Kapitel thematisiert.

7 Elektromagnetische Schatteneffekte hinter Windturbinen

Die elektromagnetischen Wellen eines Radars werden im Zentimeter- bis Meterbereich abgestrahlt. Windturbinen haben physikalische Dimensionen im Meterbereich (D). Somit ist das Verhältnis zwischen diesen beiden Größen λ und D ähnlich ($\lambda \sim D$). Der Schatten hinter der Turbine ist somit nicht komplett dunkel. Er weist keine scharf definierte Grenze auf. Der Grund dafür ist, dass die Wellen um den runden Pfahl gebeugt werden. Sie dringen in die optische Schattenregion ein (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13).

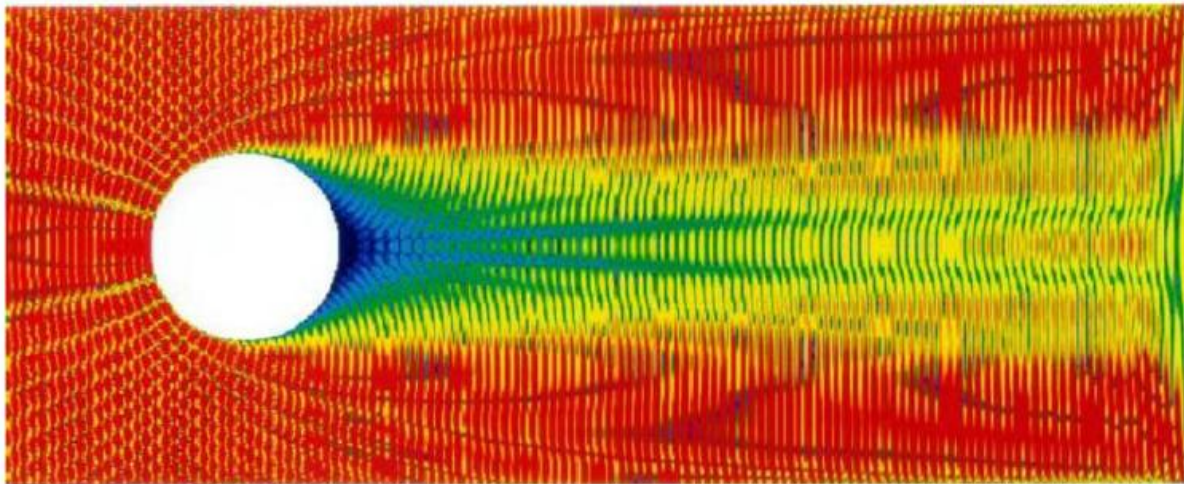


Abbildung 12: Schattenwurf einer elektromagnetischen Welle hinter einem Zylinder [// 8, S. 11]

Der Schattenwurf hinter einem Zylinder hat die gleiche Dimension in der Wellenlänge, wie die Wellenlänge einer ankommenden elektromagnetischen Welle (vgl. Abbildung 12).

Die Windturbine besitzt eine geometrisch komplexe Umhüllende. Verschiedene Teile tragen unterschiedlich stark zum Schatteneffekt bei. Um Kalkulationen zu vereinfachen sei angenommen, dass der Turm die Hauptquelle des Schattens darstellt. Die Anteile der Turbine und der Rotorblätter sollen hier vernachlässigt werden (Turbinenhöhe > Höhe Radarantenne, Störungen durch Rotorblätter eventuell bei Luftzielen). Der Turm kann als unendlich langer Zylinder modelliert werden. Dieses Modell wird nachfolgend verwendet.

Da die Charakteristik der Schattenphänomene stark von der Wellenlänge der Ausstrahlung abhängen, wurde aus dem Spektrum der hier gemachten Untersuchungen [// 8] die Frequenz für ein X-Band Radar ausgewählt, da es ein wesentliches Arbeitsband für Küstenradare zur Seeraumbeobachtung ist.

Deutlich ist in der Abbildung 13 hervorgehoben, dass der Schattenwurf in horizontaler Richtung hinter der Windturbine stark abfällt.

Graphisch ist die Reduktion der Echostärke bis 1000m hinter einer Windturbine in der Abbildung 14 dargestellt.

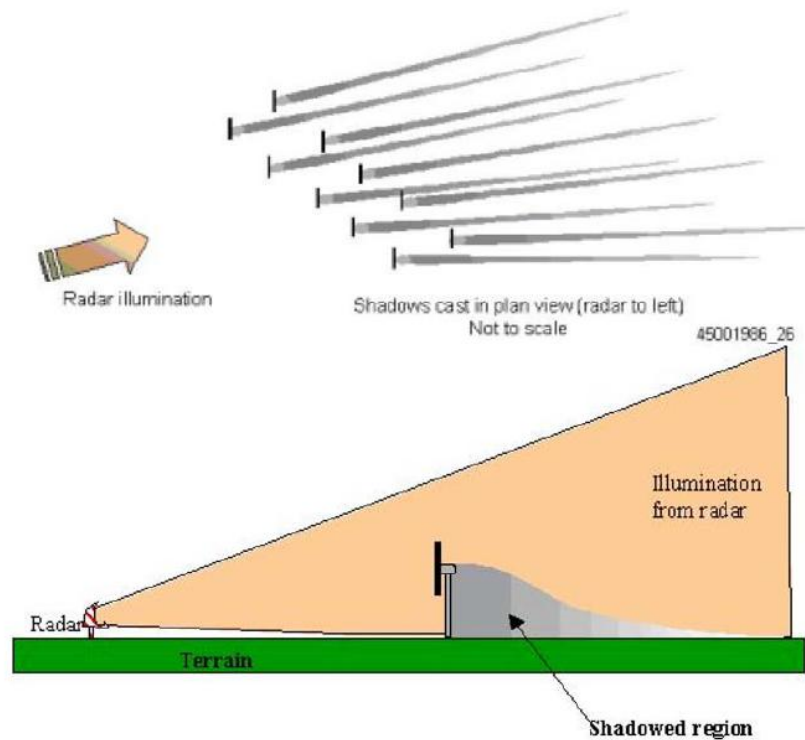


Abbildung 13: Elektromagnetische Schattenwurf hinter einer Windturbine, nicht maßstabsgerecht [//7, S. 11]

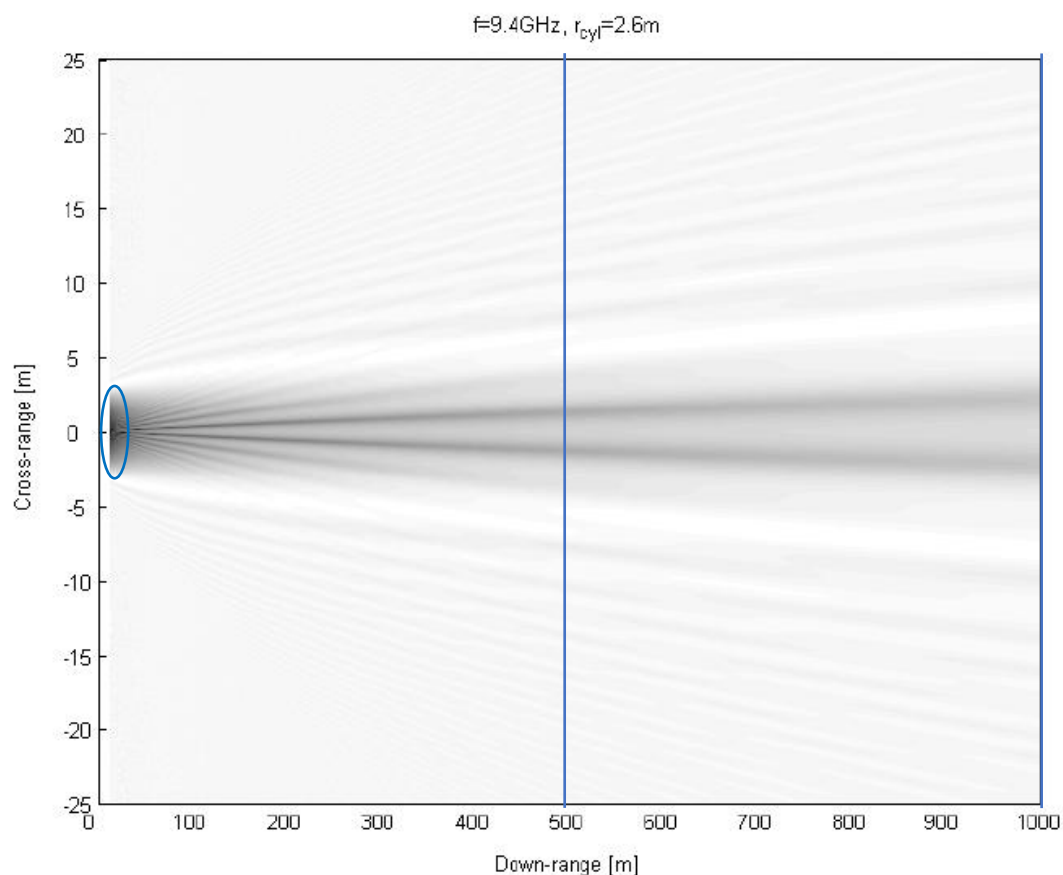


Abbildung 14: Reduktion der Echostärke hinter dem Zylindermodell mit einem Radius von 2,6m bei 9,4 GHz. Der Bereich -105 dBs (schwarz) bis 4 dBs (weiß) [// 8, S. 19]

Die Bildhelligkeit (weiß) in Abbildung 14 entspricht der Feldintensität der Sendeenergie vom Radar kommend am Ort der Windturbine. Die dunklen Einfärbungen stellen eine Verminderung der Feldintensität dar. Allein die schwarzen Flecken hinter der Windturbine im markierten Oval haben eine Schattenwirkung, vergleichbar mit optischen Schatten. Dieser schwarze Schatten hinter dem Zylinder nimmt bei steigender Frequenz zu. Er wird gleichzeitig schmaler und schwächer bei zunehmender Distanz [// 8, S.55]. Außerhalb der Schattenregion zerfällt das elektrische Feld schnell mit viel kleineren Amplituden, die bei größer werdender Distanz abnehmen.

Die Ordinaten (blaue Linien) für 500m und 1000m Abstand hinter dem Monopfahl dieser Abbildung 14 sind mit ihrer detaillierten Reduktion der Echostärke wie folgt abgebildet (siehe Abbildung 15).

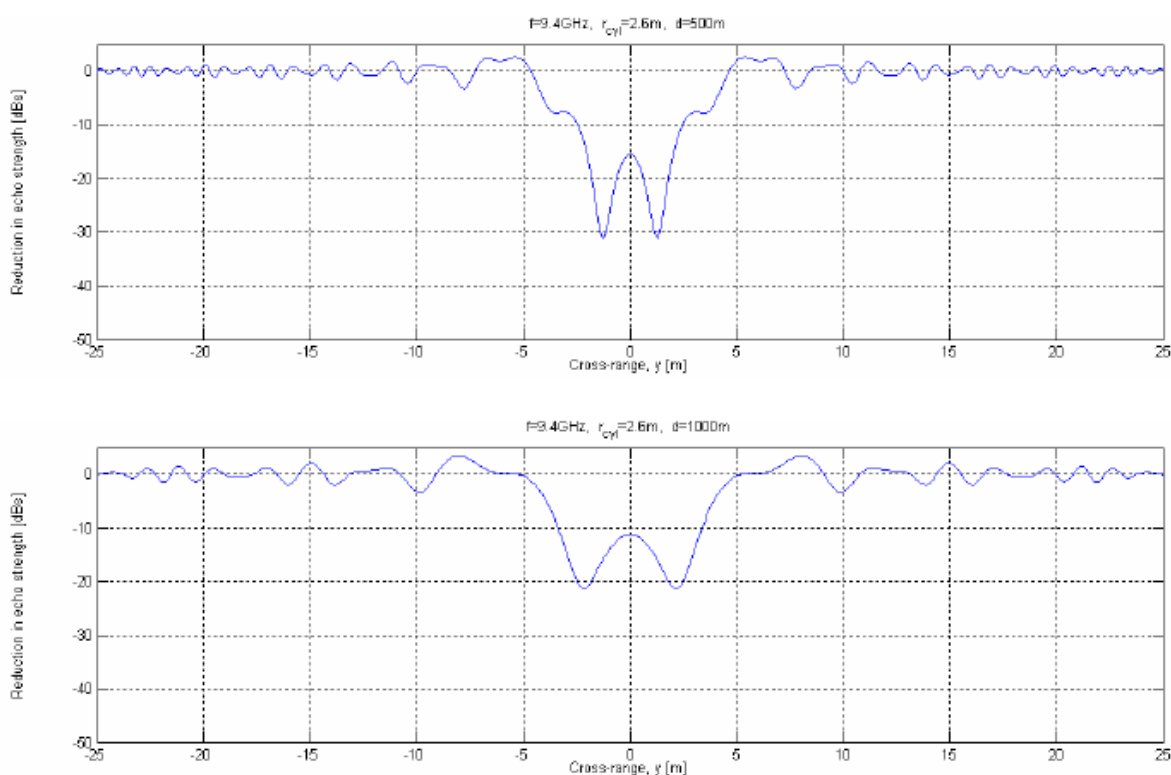


Abbildung 15: Abschattung bei der Reduktion der Echostärke in 500m und 1000m hinter dem Zylindermodell mit Radius 2,6m bei 9,4 GHz [// 8, S. 22-23]

Bei einer Frequenz von 9 GHz (X-Band) in einer Distanz von 500m hinter dem Zylinder (WEA) ist der Schatten 5m breit und -32 dBV/m intensiv (**dBV/m** beschreibt die Spannungsgröße in Dezibel referenziert auf 1Volt pro Meter als Angabe der elektrischen Feldintensität).

Erhöht sich die Distanz auf 1000m erhöht sich auch die Schattenbreite auf 8m und die Intensität vermindert sich auf -22 dBV/m.

Erhöht sich die Distanz weiter auf 10 000m verbreitert sich der Schatten auf 30m und die Schattentiefe flacht weiter auf -2 dBV/m ab.

Es kann festgestellt werden, dass eine Radarbeobachtung nach diesen Untersuchungen [// 8] nur unmittelbar hinter einer Windturbine aus der Sicht des Radarstandortes nicht sichtbar ist, vorausgesetzt die Ausdehnung des Fahrzeuges (Länge oder Breite) übersteigt nicht den Durchmesser der jeweiligen WEA.

Generell ist die Qualität der Zielentdeckung eines Radars nicht sehr stark an die Schattenbildung gekoppelt. Die Zielentdeckung auf See kann ein wenig beeinträchtigt sein, wenn das Radar sich sehr nah an der Windturbine befindet oder ein zu entdeckendes Ziel sich sehr dicht hinter der Turbine befindet und dort auch verbleibt. Letztlich würde bei einem schmalen Schatten und einem sehr kleinen Boot die Möglichkeit bestehen, dass dieses hinter der Windturbine nicht entdeckt wird [// 8, S. 58]. Größere Ziele würden nur teilweise vom Schatten überdeckt und damit trotzdem entdeckt werden. Bei mehreren Windturbinen in der Umgebung ist der Effekt von N Turbinen immer geringer als N mal der Effekt einer einzelnen Turbine. Es gibt also keine gegenseitige Beeinflussung der Turbinen. Allein bei einer Anordnung der Windturbinen hintereinander, was beim geplanten Windpark Gennaker wegen seiner bewusst ungeordneten Platzierung nicht der Fall ist, kann ein kumulativer Blockierungseffekt auftreten. Dieser Effekt produziert breitere aber weniger tiefe Schatten (ca. 10m tief). Die Zieldetektion wird aber auch dadurch nicht signifikant beeinflusst, ausgenommen kleinster Fahrzeuge [// 8, S.58].

7.1 Beispiel für Schatteneffekte hinter Turbinen

Im Kapitel 6 „Optische Schatteneffekte hinter Windturbinen“ wurde der optische Ansatz zur Schattenwirkung der Windturbinen beschrieben. Mit dem Wechsel auf das Verhalten der elektromagnetischen Wellen eines Küstenradars für die Seeraumbeobachtung konnten die Effekte der Abschattungen an einem OWP detaillierter dargestellt werden (siehe Kapitel 5). Im Vergleich zur obigen Abbildung 10 ist nachfolgend dieser Windpark als Radarbild aufgezeigt (siehe Abbildung 16).

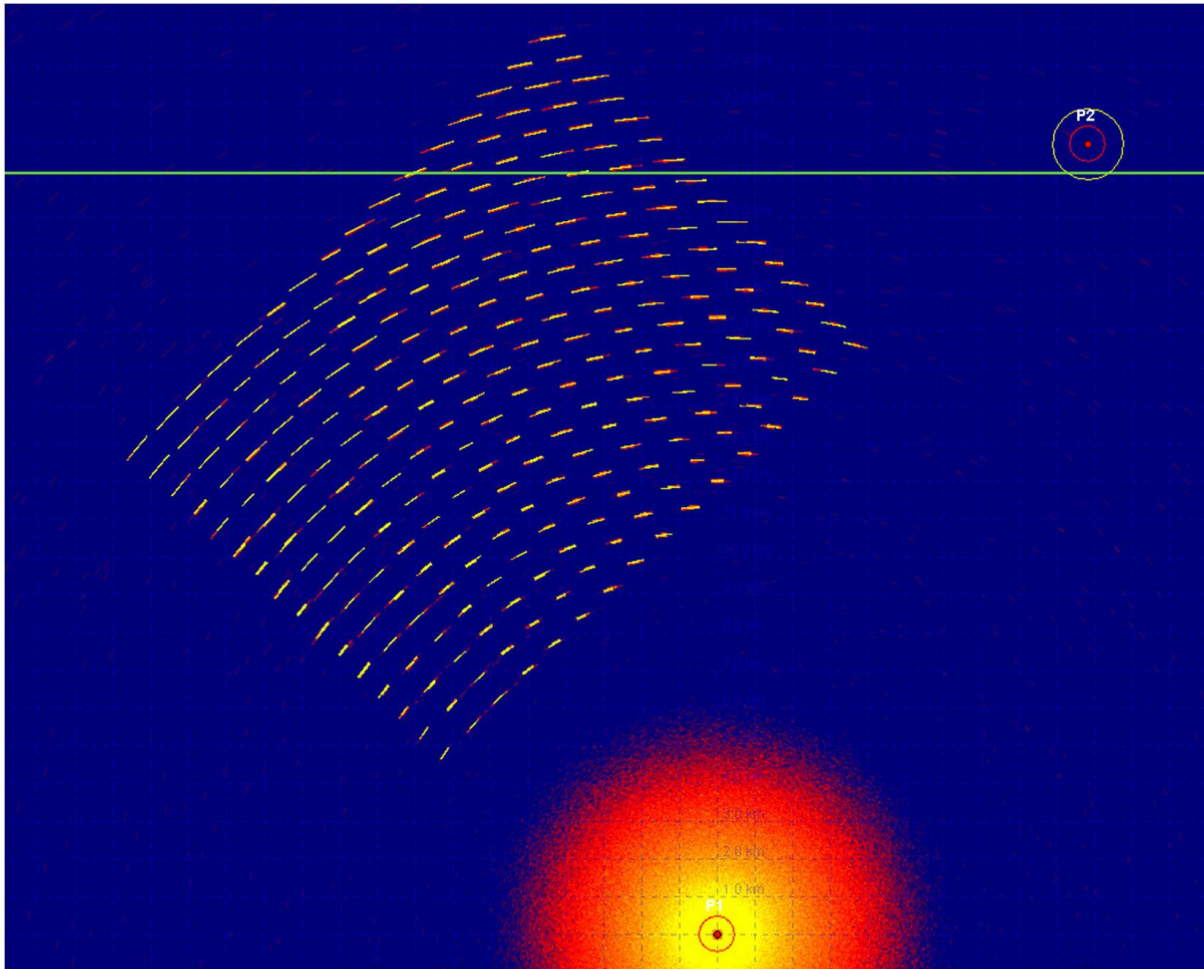


Abbildung 16: Anzeige der Radarechos von einem OWP bei einer Positionierung der Radarantenne auf einer der Konverter Plattform des Parks (roter Punkt im Gitternetz) [// 10]

In der Abbildung 16 ist ein OWP mit seinem symmetrisch angeordnetem Turbinenfeld und den zwei Umspannplattformen abgebildet. Auf der südlichen Plattform ist das Beobachtungsradar installiert. Die dichteste Turbine des OWP ist ca. 9,9km von Radarsensor entfernt. Die Störungen durch die Mehrfachechos des Bauwerkes (Plattform) überdecken einen Bereich von 5km radial um die Antenne herum. Sie sind durch einen gelb/orangen/roten Punkthaufen abgebildet. Das Bild ähnelt der Abbildung 2 mit den Störungen des Seegangs und der Mehrfachechos von Fahrzeugen im 6NM Range. Diese permanente Störung durch das Bauwerk in der Abbildung 16 ist durchaus anspruchsvoller zu kompensieren als das Rauschen in Abbildung 2.

An der sichelförmigen Darstellung der Turbinen als Radarecho ist einerseits der Schatteneffekt der elektromagnetischen Wellen am Turm beteiligt, andererseits muss hier noch, wie im Kapitel 5 „VTS-Radarsysteme“ schon einmal genannt, auf die azimutale Verzerrung in Abhängigkeit des Öffnungswinkels der Radarantenne verwiesen werden. Mit größerer Dimension der Antenne (Schlitzstrahler) verringert sich die azimutale Auflösung und die in der Abbildung 16 dargestellten Sicheln verkleinern sich. Die Ausprägung der Sichelform gibt keinen Aufschluss über die Breite einer eventuell vorhandenen Abschattung.

7.2 Untersuchungen am OWP „NYSTED“

Der OWP „Nysted“ war mit einer der ersten Windparks im direkten Küstenvorfeld eines Landes. Zusammen mit anderen entstehenden Bauwerken assoziierte der Windpark verkehrstechnische Fragestellungen. Ist so ein Windpark eine Störung für die Seeschifffahrt? Wird die Radarsichtigkeit durch die Offshore Bauwerke eingeschränkt (vgl. Abbildung 17)? Werden Verkehrswege gefährdet? Dazu wurde z.B. eine Untersuchung der Fa. RAMBOLL vorgenommen [// 11].

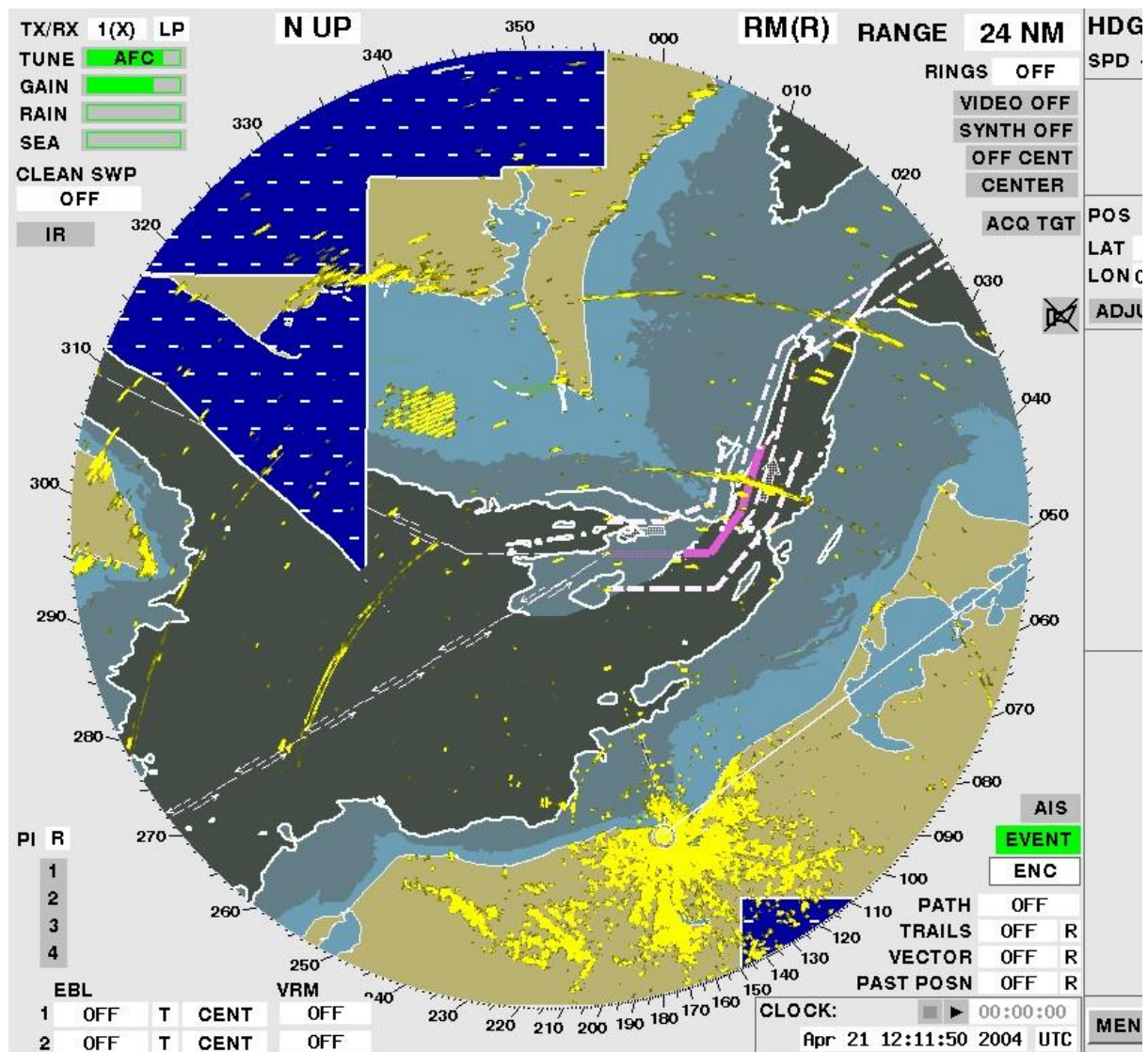


Abbildung 17: Der Windpark „Nysted“ in einem Radarbild eines X-Band Bordradars mit einer 8ft Antenne im Range 24NM dezentriert

Danach befindet sich der OWP „Nysted“ an der Südküste der dänischen Insel Lolland, etwa 10km südlich vom Ort Nysted bzw. 10km westlich von Gedser (vgl. Abbildung 18). Damit befindet sich der OWP am nördlichen Rand des Seeweges (T-Route) zwischen der Kadetrinne

und dem Fehmarnbelt. Der Abstand zur Mittellinie der T-Route beträgt 4,3NM. Der OWP besteht aus 72 Windenergieanlagen, die in einem 8x9 Raster aufgestellt wurden. Der OWP wurde im Jahr 2003 errichtet.

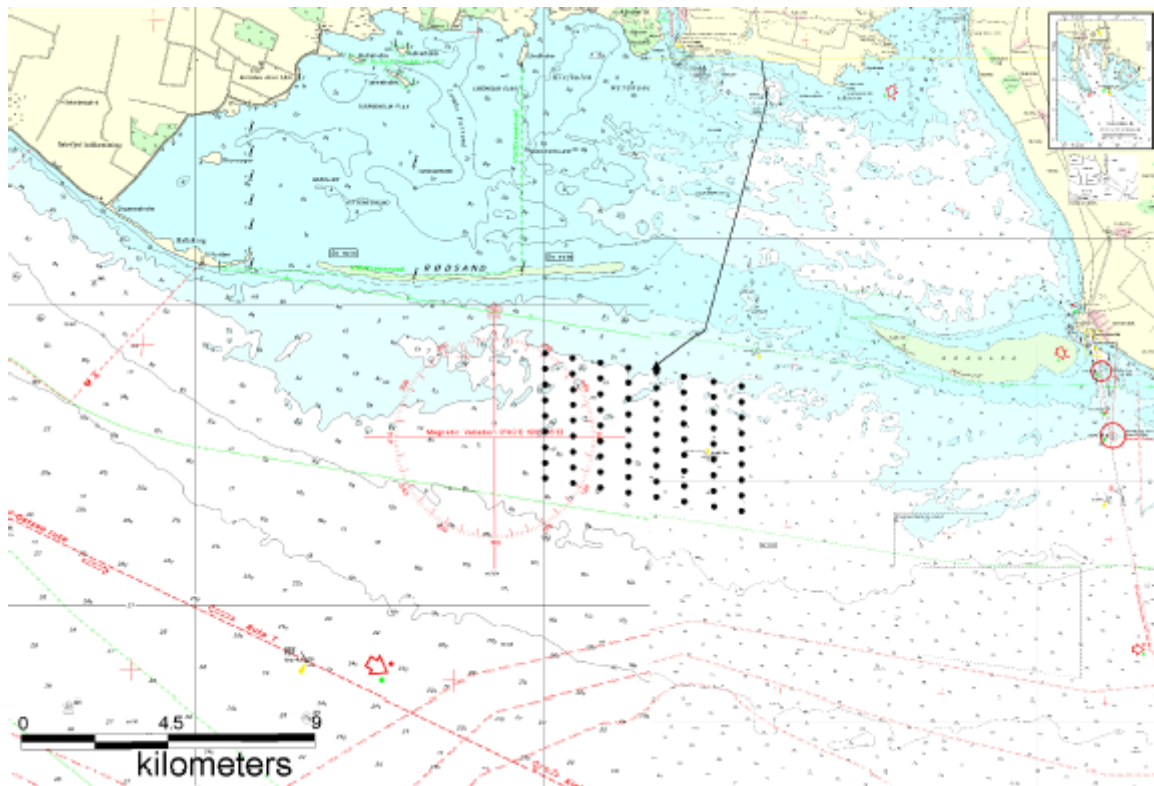


Abbildung 18: Seekartendarstellung mit dem OWP „Nysted“ [// 11]

Es wurden in den Voruntersuchungen [// 11] in diesem Zusammenhang keine Beeinträchtigung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt auf der T-Route prognostiziert. Dies ist besonders bemerkenswert, als das der gesamte ostgehende Verkehr der Ostsee inklusive der tiefgehenden Fahrzeuge diesen Weg zwischen OWP und der Trennlinie nutzt. Für die Fragestellung der Sichtbarkeit von Fahrzeugen im und am Windpark „Nysted“ mittels Radars wurde vom BSH im Jahr 2004 eine ausführliche Untersuchung vorgenommen [// 12]. Verwendet wurden für die Radarmessungen ein X-Band und ein S-Band Radar (6ft und 12ft Antennen).

Untersucht wurde die Fragestellung der Sichtbarkeit von sehr kleinen Fahrzeugen mit einem Schlauchboot als Testfahrzeug innerhalb des OWP bei erwarteten Blindsektoren (Radarschatten). Das Boot war mit einem in der Sportbootschifffahrt üblichen Radarreflektor ausgerüstet. Der Reflektor hatte eine effektive Echofläche von 10m². Ergebnisse dieser Untersuchung des BSH wurden mit Relevanz auf die Sichtbarkeit der Berufsschifffahrt bei einer landseitigen Radarbeobachtung mit einem dazwischen liegenden OWP GEN ausgewählt (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18).

In der Abbildung 19 ist der Windpark sowie links vom OWP ein Punkt, das Testschlauchboot, zu erkennen.

Die Position des Testfahrzeuges ist eindeutig hinter einer Reihe von 5 Bauwerken außerhalb des OWP dicht an einem sechsten Bauwerk zu sehen. Aufgrund der Rasteranordnung der WEA wäre eine kumulative Überlagerung der Abschattungen der linke fast in Peilung zum Testschlauchboot stehenden WEA zu erwarten gewesen. Dies ist aber nicht beobachtet worden. Stattdessen ist das Echo des Bootes in unmittelbarer Nähe der sechsten Anlage auf dem Radarbild gut zu erkennen.



Abbildung 19: Vom Radar akquiriertes Ziel hinter einer Anzahl von Offshore Bauwerken [// 12, S.8]

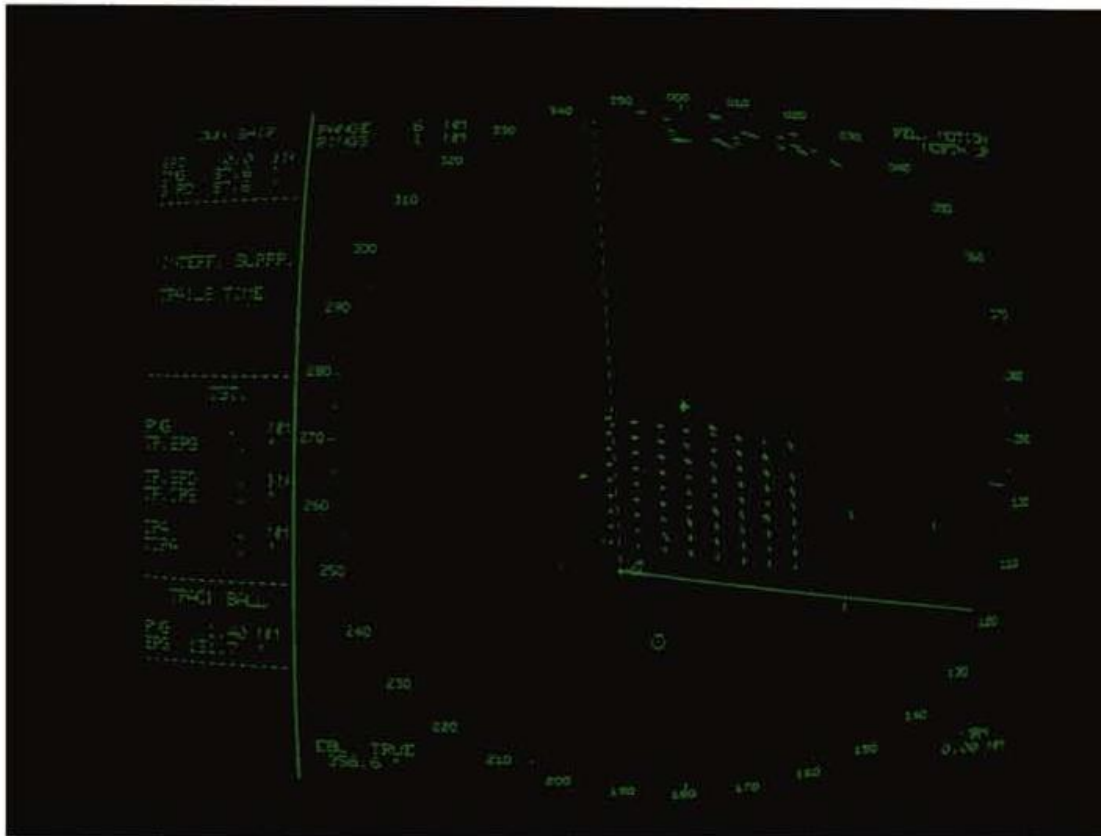


Abbildung 20: Radarerfassung von einem kleinen Ziel dicht hinter einer OWP mit 9 Ebenen von eventuell störend wirkenden Bauwerken [// 12, S.8].

In Abbildung 20 wurde das Szenario für die Versuchsanordnung leicht abgewandelt. Von der Position des Radars aus betrachtet, befindet sich das Schlauchboot nun hinter dem Windpark. Hinter neun Reihen von WEA ist das Testfahrzeug ohne Einschränkung oder erkennbare Schatteneinwirkungen gut zu erkennen. Die Entfernung des Fahrzeuges zur nächstgelegenen WEA entspricht dem Abstand zwischen den Bauwerken. Die Radarzielentdeckung bei einem zwischen Sensor und Ziel befindlichen OWP ist bereits mit einem einfachen Bordradar damaliger Fabrikation sichergestellt.

Die anstehende Fragestellung einer möglichen Abschattung eines Seegebietes hinter einem OWP aus der Position des Radarsensors gesehen, wird in der BSH-Studie beantwortet. Bei den Sichtbarkeitsuntersuchungen eines Schlauchbootes mit einem einfachen Bordradar aus dem Jahre 2004 war diese ohne Einschränkung hinter dem Windpark gegeben.

In der Zusammenfassung des BSH-Berichtes unter Punkt 6 [// 12, S.13] heißt es:

Eine sichere Erfassung kleinerer Ziele (Testschlauchboot) kann aus zwei Gründen nicht sichergestellt werden:

- a. *Detektion mit dem Radar ist nicht jederzeit möglich*
- b. *Die Zieldarstellung ist u.U. so schwach, dass diese vom Bediener nicht wahrgenommen wird.*

Diese Aussagen sind in den Ergebnissen der Untersuchung angeführt worden, wurden jedoch bei den Feldversuchen des BSH nicht beobachtet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, im Falle einer nicht ausreichenden Reflexion eines Bootes oder eines sehr schlecht reflektierenden Ziels oder einer direkten Positionierung an einer WEA kann es Verluste in der Zieldetektion geben.

Im Rahmen der bisher dargestellten Ergebnisse wird eine wichtige Unterscheidung der Radarverarbeitung noch nicht betrachtet.

In allen bisher abgehandelten Punkten dieser Studie wird allein die Zielentdeckung gemäß Kapitel 4 „Beschreibung mariner Radargeräte und deren Wirkprinzipien“ behandelt. Neben der Entdeckung und Einmessung eines Ziels mit Richtung und Abstand bietet die moderne Radartechnik zusätzlich die Möglichkeit der **Radarzielverfolgung**. Diese Komponente war zur Zeit der Begriffsdefinition „RADAR“ noch nicht Stand der Technik und fand somit keinen Eingang in die Begriffsbildung. In den Untersuchungen am OWP „Nysted“ wurde die Radarzielverfolgung bereits mit einbezogen. Vor diesem Hintergrund kommt das BSH in seinem Bericht zu folgender Aussage [// 12, S.11]:

Bei beweglichen Objekten ist nicht damit zu rechnen, dass diese dauerhaft ausgelöscht werden.

Gemeint ist damit, dass bei einer vorgenommenen Zielverfolgung kein Zielverlust zu verzeichnen ist. Diese Funktionalität des Radars hat einen wesentlichen Einfluss auf eine weitere Reduktion möglicher Schattenwirkungen von Offshore Bauwerken für Ziele im und „hinter“ OWPs. Deshalb soll das Prinzip der Zielverfolgung (Tracken) und der damit verbundenen besseren Sichtbarkeit von Radarzielen in den Kapiteln 8 und 9 näher erläutert werden.

7.3 Einschätzung zu Elektromagnetischen Schatteneffekten hinter Windturbinen

Gemäß der betrachteten Untersuchung der Norweger wird dort folgende Zusammenfassung gegeben [// 8, S.59]:

„Es gibt gegenwärtig ein zu beachtendes Interesse an Quellen der erneuerbaren Energien, und eine große Anzahl von Onshore und Offshore Windparks sind gegenwärtig in der Planung oder werden entwickelt, beides in Norwegen und verschiedenen anderen Ländern. In Abhängigkeit der von der lokalen Gegebenheit, kann die Entwicklung eines Windparks in einzelnen Gebieten einen Konflikt mit verschiedenen Nutzern von Radartechnik hervorrufen. Dabei sind Effekte der Einschränkung der Performanz von bereits vorhandener Infrastruktur wie Radar- oder Telekommunikationssysteme gemeint. Ein potenzielles Problem ist dabei der elektromagnetische Schatteneffekt hinter Windturbinen, welcher in diesem Report untersucht wurde. Wind Turbinen können als unendlich lange Zylinder mit einem Radius des maximalen Monopfahldurchmessers modelliert werden. Berechnungen haben gezeigt, dass es einen

Schatten hinter den Turbinen gibt. Er ist über 10m breit, dicht an der Turbine aber nicht sehr tief. Bei niedrigeren Frequenzen (100 MHz) ist der Schatten breiter und flacher; 28m breit und -3 dBV/m tief in einer Distanz von 100m hinter der Windturbine. Bei höheren Frequenzen (15 GHz) ist der Schatten dichter und tiefer; 7m breit und -19 dBV/m tief in einer Distanz von 100m hinter der Windturbine. Der Schatten nimmt zu in der Weite und reduziert sich in der Tiefe bei zunehmendem Abstand hinter der Windturbine. Bei Distanzen größer 10km ist der Schatten weniger als -3 dBV/m für alle relevanten Frequenzen.

Verschiedene Windturbinen in einer Reihe parallel zum Sendestrahle des Radars können einen nahen aber tieferen Schatten bilden. Der Winkel zwischen Peilstrahl und der Linie der hintereinanderstehenden Windturbinen hat dabei einen Einfluss. Es ergibt sich der Trend eines breiteren, aber weniger tieferen Schattens bei zunehmendem Winkel.

Das Vermögen eines Radars in der Zielentdeckung wird nicht signifikant beeinflusst durch Schatteneffekte, ausgenommen für kleine Ziele in der Nähe der Turbine.“

8 Das Tracken von Fahrzeugen mittels Radars in der Nähe von Windparks

In Zusammenhang mit dem Ansatz einer VTS-Radaranlage auf der Position Darßer Ort und die dann vorhandenen Bauwerke des OWP GEN war die Frage aufgeworfen worden, ob der Transitverkehrsweg von der Position des Radarsensors hinter dem OWP umfänglich und störungsfrei beobachtet werden kann. Aus der bisherigen Betrachtung der alleinigen Zieldetektion als Funktion des Radars und der Spezifik von OWP-Radarschatten kann dies als positiv beantwortet werden. Hinzu kommt jetzt neben dem Entdecken von Radarzielen das uneingeschränkte Tracken des Verkehrs mittels Radars unter der gegebenen Platzierung des OWPs GEN und dem Radarsensor „Darßer Ort“.

Die Zielentdeckung und die Zielverfolgung stellen technische Funktionen in VTS-Radaranlagen dar. Neben der Zielentdeckung im Kontext zu OWPs ist die Zielverfolgung ein weiteres Hilfsmittel im „Vessel Traffic Service“ der Verkehrszentralen.

Dazu ist ein kleiner Exkurs in die Digitalisierung der Radartechnik notwendig. Zu den bisher genannten Komponenten des Radars kommt ein Zielverfolgungsprozessor (Tracker) hinzu. Der Tracker produziert eine Spur des akquirierten Objektes. D.h. das detektierte Ziel bewegt sich auf dem Radarbildschirm mit dem dazugehörigen Geschwindigkeitsvektor und einer Vergangenheitsspur. Für den Trackprozess wird ein digitalisiertes Abbild des Rohradars erstellt. Die bei einer Antennenumdrehung gemessenen Reflexionen werden entsprechend ihrer Richtung in die Spalten und entsprechend ihres Abstandes in die Zeilen einer Matrix überführt. Bei einer Dimensionierung von 4096 Spalten bedeutet dies einen $0,08789^\circ$ großen Sektor pro Spalte (360° Antennenumdrehung / 4096). Die Zeilen der Matrix bilden den eingestellten Range ab, z.B. eine Zeile entspricht 0,0468NM bei einem eingestellten Range von 24NM und einer Dimensionierung von 512 Zeilen.

Daraus ergibt sich als Basis der digitalen Radarzielverarbeitung eine Matrix mit $4.096 \times 512 = 2.097.152$ Zellen (Pixel). Bei jeder Antennenumdrehung (z.B. 3s) wird die Matrix neu gefüllt; im einfachen Fall mit den Werten „0“ oder „1“. Die 1 steht für eine registrierte Reflexion. Nun hat diese Matrix noch eine dritte Dimension, die Tiefe. Es werden üblicherweise neun oder 16 Schichten dimensioniert. Gemäß eines Schieberegisters wird nach jeder Antennenumdrehung der vorhandene Matrixinhalt der obersten Ebene jeweils eine Ebene tiefer geschoben, bevor die oberste Ebene durch die Radarabtastung der Umgebung neu beschrieben wird. Für jede der 2.097.152 Zellen entsteht so ein Vergangenheitsstapel mit Nullen oder Einsen. Nach neun Umdrehungen beinhaltet jeder Stapel die Vergangenheitswerte mit einem Zeitumfang von $3s \times 9 = 27s$. Bei Speichern mit der Aufzeichnung von 16 Antennenumdrehungen würde so eine Vergangenheit von $3s \times 16 = 48s$ entstehen.

Der Prozess des eigentlichen Trackens basiert auf dieser permanent stattfindenden Matrixauswertung im Zielverfolgungsprozessor. Programmtechnisch werden alle Zellen mit ihrem neun bzw. 16 Ebenen tiefen Vergangenheitsstapel daraufhin ausgewertet, ob sie in dieser Zeitschlepe (27s bzw. 48s) überwiegend mit 1 belegt waren. Gleichzeitig wird geprüft, ob diese 1 Belegung auch für benachbarte Zellen zutraf. In so einem Fall wird der erkannte Zellenverbund als Ziel deklariert, ein Schwerpunkt (x, y) dieses Pixelhaufens bestimmt und

seine Koordinatenänderung in der Matrix als Kurs und Geschwindigkeit zur Anzeige gebracht (Track). Durch die Auswertung der empfangenen Radarechos über einen Zeitbereich von den genannten 27s bis zu 48s bei einer neun bzw. 16 Schichten tiefen Matrix ist die Möglichkeit eines Zielverlustes bei einer kurzzeitigen Abschattung eines Radarziels wesentlich unwahrscheinlicher als bei einer reinen Zieldetektion (vgl. auch Abbildung 9). Dazu definiert die IALA wie folgt:

Target tracking is often part of the core VTS system but may also be integrated in the radar sensor processing. Refer to IALA G1111-1 [// 6] for guidance on the subject.

Mit dieser technischen Eigenschaft einer Zielerkennung und zusätzlichen Zielverfolgung wird festgestellt, dass ein VTS-Radar zum einen Ziele in unbegrenzter Zahl und andere für die Schifffahrt relevante Strukturen, also statische Objekte, abbilden kann. Andererseits ist eine Zielverfolgung eines einmal entdeckten Objektes möglich. Aus der Zielverfolgung lassen sich die Bewegungsrichtung und der Betrag der Geschwindigkeit ermitteln. Dagegen wird noch einmal darauf verwiesen, dass eine Zielidentifikation wie beispielsweise der Name oder der Typ des Schiffes nicht möglich ist [// 6, S.10]:

2.3.4. RADAR

Radar can accurately detect and track objects and their movements without requiring any transmission signal from the object itself, unlike sensors such as RDF or AIS. It is important to note that radar does not identify an object. Radar data may include both dynamic and static objects, including but not limited to vessels, navigation aids, islands, bridges, offshore structures, and coastlines. Radar data may be presented directly as radar video or can be processed to get additional information like object speed.

Zusammenfassend sei festgestellt, dass Abschattungen von OWP in ihrer Umgebung die Radartechnik (Kapitel 3 bis 5) in der Zieldetektion oder Zielverfolgung nicht beeinträchtigen. Diese Aussage steht für einen „Single Sensor“, also der Auswertung allein der Messungen eines Pulsradargerätes.

Stand der Technik bei Küstenradaren als auch Bordradaren ist dagegen die Nutzung weiterer Sensoren für das Gewinnen von zuverlässigen präzisen Zielinformationen mit Hilfe von Radartechnik. Angelehnt an den Stand der technischen Entwicklung beschreibt die IALA die Datenfusion für Küstenradare [// 7, S. 19]:

4.1.1. SECTION DEFINITIONS

For general terms used throughout this section refer to IEEE Std 686-2017 [14]. IEEE Standard Radar Definitions

....

Data Fusion

In the tracking context, data fusion is the combining of observation updates from more than one sensor to create one track based on all available sensor information.

Hiermit reflektiert die IALA den abgeschlossenen technischen Prozess, dass das Schiffsradar inklusive des VTS-Radars mit dem AIS-Sensor fusioniert ist. Für eine detaillierte Erklärung besonders in Bezug auf die Konstellation Landradar – OWP soll auf das AIS-Prinzip und deren Datenfusion mit dem Radar eingegangen werden.

9 Automatic Shipborn Identification System (AIS) integriert im Landradar

9.1 Technische Funktionsweise von AIS integriert im Landradar

Die AIS-Idee beinhaltet folgendes Konzept:

- Übertragung/Senden der eigenen Schiffsdaten via VHF an alle anderen mit einem AIS-Empfänger ausgerüsteten Schiffe, Flugzeuge und Landstationen (VTS),
- Empfang von Informationen via VHF von anderen gleichartig (Senden/Empfangen) ausgerüsteten Schiffen, Flugzeugen und Landstationen direkt oder über Repeater-Stationen,
- Nutzung einer automatischen Organisationsmethode für die Übertragung,
- Nutzung der Satellitentechnik inklusive moderner Datenkommunikationstechnik und
- Verwendung eines zellularen Konzeptes für eine effektive Nutzung von Frequenzen.

Damit haben sich die Anwendungsfälle als VTS-Tool, zur Kollisionsverhütung und als Schiffsmeldesystem für das AIS-System entwickelt (siehe Abbildung 21).

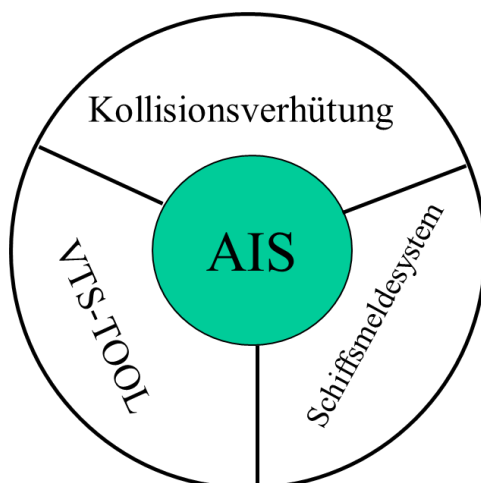


Abbildung 21: Anwendungen von AIS in der Seeschifffahrt

Umgesetzt wird dieses Konzept gemäß dem Schema in Abbildung 22. Das AIS-System besteht aus drei Komponenten: GPS-Receiver, Comm. Processor und VHF Data radio. Der GPS-Receiver ist für die Synchronisation zuständig, er übermittelt Daten zu Position, Geschwindigkeit und Kurs. Der Comm. Processor stellt die Verbindung zwischen GPS-Receiver und VHF-Sendeinheit her, in dem zu sendende Informationen „verpackt“ und empfangene Daten „entpackt“ werden, um in den Systemen verarbeitet zu werden und auf den Bildschirmen angezeigt zu werden. Über den VHF Data Radio werden die Daten gesendet und empfangen. Mit dem Senden und Empfangen im VHF-Frequenzbereich ist eine quasi optische Reichweite gegeben. Wie beim UKW-Radioempfänger sind Abschattungen üblicherweise in Innenräumen oder einer Umhüllenden im Sinne eines faradayschen Käfigs festzustellen. Damit ist bei dieser Technologie ein komplett anders gelagertes Verhalten hinsichtlich elektromagnetischer Abschattungen gegenüber dem bisher fokussierten Radar gegeben.

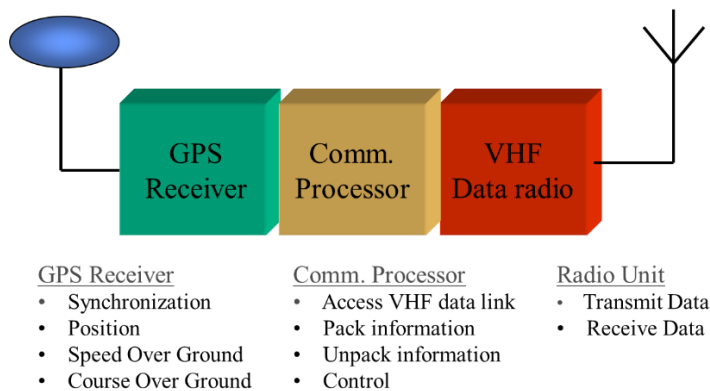


Abbildung 22: Die Systemkomponenten von AIS

Die Arbeitsweise des Systems beinhaltet eine automatische und kontinuierliche Übertragung der Schiffsdaten wie:

- Dynamische Daten,
- Statische Daten,
- Reiseabhängige Daten,
- Sicherheitsmeldungen.

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt eine Gegenüberstellung wesentlicher Nutzungseigenschaften von Radar- und AIS-Systemen für die Seeraumüberwachung im Sinne von VTS

Radar (passives System; nicht - kooperatives Tracking)	AIS (aktives System; kooperatives Tracking)
• praktisch alle (reflektierenden) Objekte sind sichtbar	• nur mit AIS-Transpondern ausgerüstete Objekte sind sichtbar
• Küstenlinien und andere feste und schwimmende Objekte sind sichtbar	• Küstenlinien sind nicht sichtbar, feste und schwimmende Seezeichen sind nur sichtbar, wenn mit Transponder bestückt
• aufgrund von Abschattungen, Clutter und anderen Störungen ist die vollständige Abdeckung nicht immer gewährleistet	• alle AIS - Objekte im gesamten Abdeckungsbereich werden erfaßt
• Beschränkungen durch ungünstige Witterungsbedingungen	• praktisch keine Beschränkungen
• unbegrenzte Anzahl von Zielen	• Zielanzahl ist beschränkt
• hohe Update Rate für alle Ziele	• Update Rate abhängig von Geschwindigkeit und Manövrierzustand
• hohe Gerätekosten	• geringere Gerätekosten

Weitere Unterschiede im Vergleich von AIS und Radar sind:

1. Eine höhere Positionsgenauigkeit bei AIS (mit DGPS),
2. Geringere Verzögerungen bei der Anzeige der AIS-Position sowie bei Kursänderungen,

3. Zusätzliche Schiffsinformationen durch AIS, die vom Radar nicht oder nur sehr aufwendig erhältlich sind, wie beispielsweise Schiffsname, Heading, Kurs über Grund (COG), Fahrt über Grund (SOG), Drehrate (ROT) oder der Navigationsstatus.

Folgende Eigenschaften machen bei der Beobachtung des Schiffsverkehrs für VTS das AIS-System wertvoll:

- Automatische und sichere Identifikation von Schiffen
- Automatische Anzeige der Fahrzeugidentität sowie statische und reisebezogene Daten auf dem VTS-Display
- Wesentliche Informationen zur Bewertung der aktuellen Verkehrslage: Rate of Turn (ROT), Lage, Schiffsdimension, Wegpunkte und Zielinformation (Bestimmungshafen)
- Die Art der Ladung sowie die Tiefgänge sind bekannt.
- Probleme wie bei Radarsystemen – Abschattungen, Target Swapping und Sea Clutter - existieren bei AIS nicht.
- AIS-Targets können i.a. von Positionen empfangen werden, von denen das Radarsignal nicht mehr erreichbar ist (Long-Range-Tracking, Fahrwasserkrümmungen, hinter Inseln).
- Vermeidung von Zielvertauschungen beim dichten Passieren von anderen Objekten
- Zielverfolgung mit erhöhten Update-Raten insbesondere von schnellen Hafenfähren, Vermeidung von Zielverlusten und mehrfacher Zielakquirierung
- Strategische Verkehrskoordinierung aufgrund der AIS-Reichweite und der verfügbaren Daten (WP, ETA, Ziel)
- Senden von Text Messages an ein spezielles, an eine bestimmte Gruppe oder an alle Fahrzeuge
- Echtzeit Tracking und Identifikation
- Erhöhung der Updateraten im Vergleich zu Radar
- Zusätzliche Informationen wie Drehgeschwindigkeit, Heading, Kurs u. Geschwindigkeit über Grund in Echtzeit
- Erfassen von Schiffen hinter Inseln und Flussbiegungen
- Automatische Anzeige von umfassenden Schiffsdaten durch die Verbindung zur Schiffsdatenbank
- Effizientes Flottenmanagement zwischen Lotsen, Behörden- und Einsatzfahrzeugen, Schleppern und anderen Hafenschiffen
- Austausch von Textnachrichten (silent communication).

9.2 Vorschriften zur Nutzung von AIS in der Berufsschifffahrt

Das Nutzen der AIS-Technologie ist in der Berufsschifffahrt Stand der Technik seit spätestens 2004. Zur Anzeige werden die Informationen mit Hilfe des Radars gebracht. Eine separate Anzeige der Daten auf einem extra Keyboard ist möglich. Mit dem Seeklarmachen der Brücke wird das System spätestens in Betrieb genommen. Es wird allerdings auch häufig in den Hafendurchlaufzeiten der Schiffe in Betrieb gelassen. Eine Übersicht über den Einführungsverpflichtungen gibt Abbildung 23.

Datum	Betroffene Fahrzeugkategorien
01.07.2002	alle für den internationalen Verkehr bestimmten Schiffsneubauten ab 300 GT und alle nicht für die internationale Fahrt bestimmten Neubauschiffe ab 500 GT sowie alle Passagierschiffe unabhängig von ihrer Größe
01.07.2003	alle in Dienst befindlichen Passagier- und Tankschiffe (ohne eine Beschränkung hinsichtlich Größe oder Fahrtbereich)
01.07.2004	alle anderen in Dienst befindlichen Schiffe ≥ 50.000 GT
01.07.2004 bzw. 31.12.04	alle anderen in Dienst befindlichen Schiffe ≥ 300 GT

Abbildung 23: Einführung von AIS in der Berufsschifffahrt

9.3 Beispiel für eine kombinierte Nutzung von AIS und Radar

Die heutigen Radaranzeigen erlauben bereits, auch gemäß IALA-Vorgaben, eine Fusion der mittels Radarsensoren erfassten Daten sowie der mittels AIS empfangenen Daten. Durch einstellbare Filter in der Radar-Software können unterschiedliche Darstellungen durch den Nutzer ausgewählt werden. In der Abbildung 24 ist die alleinige Anzeige der AIS-Daten im Radar dargestellt.

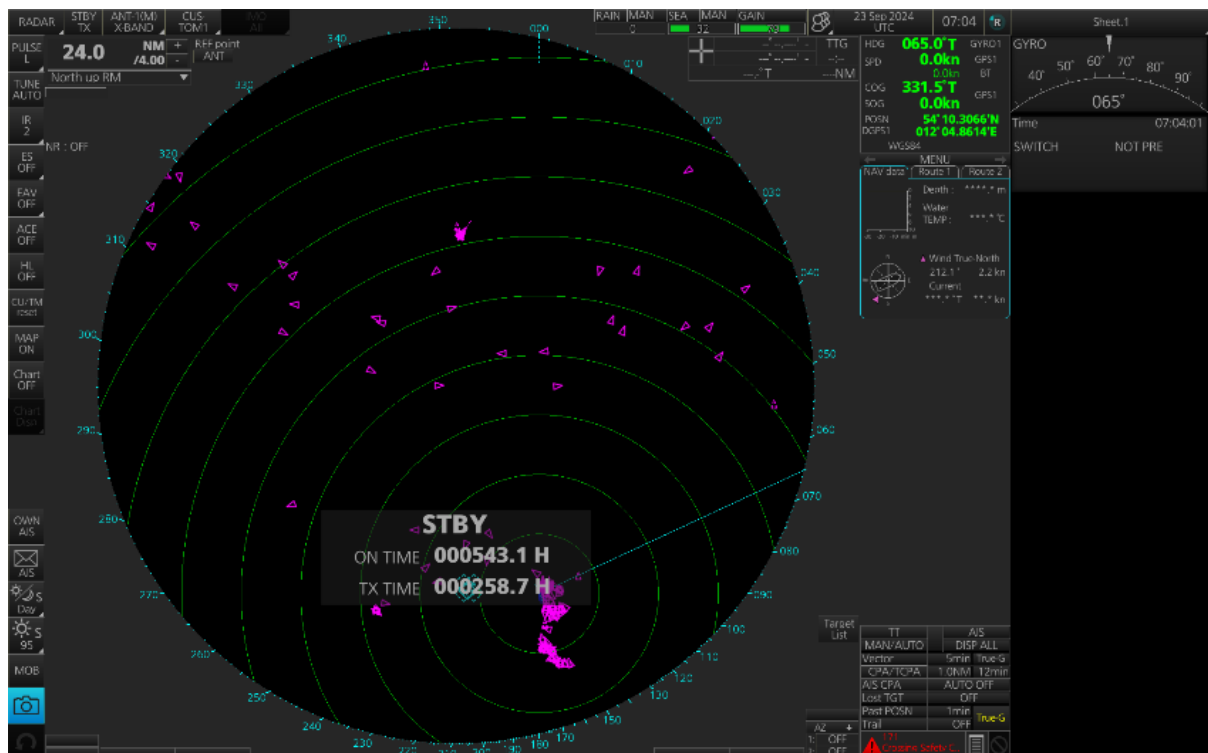


Abbildung 24: Anzeige von alleinigen AIS-Zielen im Radar

In der Abbildung 25 erfolgt eine Fusion der mittels Radarsensor erfassten Radartracks sowie der AIS-Daten. Der Nutzer kann den Informationsursprung farblich erkennen. An den Schiffspositionen sind gelb die Radarechos und in lila die AIS-Daten gemeinsam angezeigt. Es ist erkennbar, dass sich Radar- und AIS-Positionen überlagern.

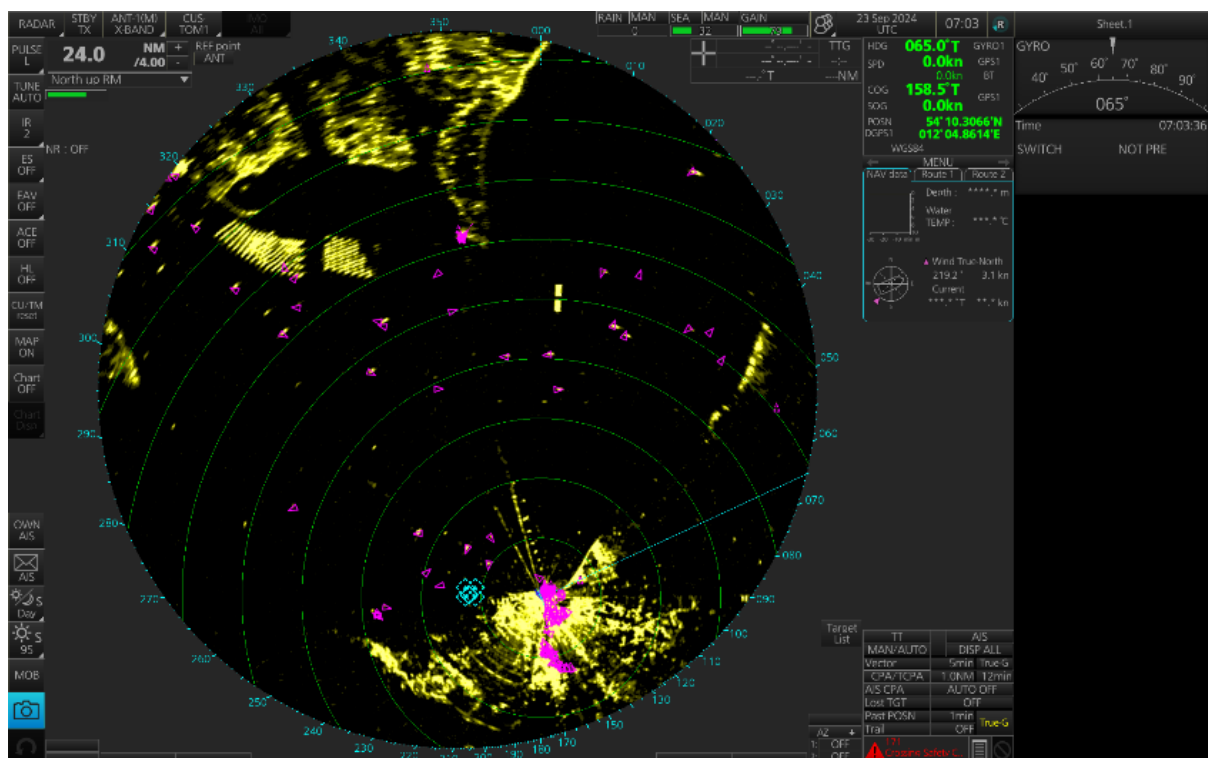


Abbildung 25: Anzeige von Radarechos und integrierten AIS-Zielen im selben Seegebiet und gleicher Radareinstellung wie in der vorherigen Abbildung 24

Durch die gemeinsame Nutzung von AIS und Radar können deren beider Mängel gegenseitig kompensiert und die Qualität der Target-Informationen in Bezug auf Target-Erkennung, Target-Tracking, Bestimmung von CPA/TCPA, Heading etc. durch geeignete Datenfusion und Darstellung verbessert werden. Bei einer Fokussierung auf das Beobachten/Tracken der Berufsschifffahrt im VTSS hinsichtlich Sicherheit und Leichtigkeit dominieren die Eigenschaften des AIS gegenüber dem Radar als „Single Sensor“.

Nach den Richtlinien der IALA [// 7, S. 11] gibt es zu den Vorteilen dieser Datenfusion folgende Aussagen:

2.3.5. AIS

The Automatic Identification System (AIS) currently provides details of ship position, its identity, and some supporting information to the VTS centre. In addition to navigation functions of AIS the system also supports the transmission of additional data via application specific messages. AIS has been successfully implemented across the globe. In high density shipping areas, the allocated frequencies (i.e., AIS1, AIS2) risk becoming overloaded. Effort is ongoing to remediate this risk by allocating additional frequencies and by re-design of the system to provide more bandwidth.

To enable automatic vessel identification, consideration should be given to the inclusion of AIS data in the data fusion process.

10 Relation OWP Gennaker – Landradarstation „Darßer-Ort“

Der OWP Gennaker mit seiner Abgrenzung des Marinen Vorranggebietes für Windenergieanlagen mit seinem inkludierten Areal der Vorhabenfläche ist in der Abbildung 1 aufgeführt. Gegenwärtig ist am VTS Rostock Radartechnik zur Observation des Seegebietes installiert. Rund 45km (24NM) weiter nord-östlich an der Position „Darßer Ort“ ist ein zukünftiges Landradar (Range ca. 30NM) für die VTS-Nutzung geplant. Von dort beträgt der Abstand zur Südflanke des OWP Gennaker ca. 6,3NM. Ein Sektor von ca. 64° würde den OWP Gennaker überstreichen (vgl. Abbildung 1). In der Abbildung 26 ist rot umrandet, parallel zur zu Nordgrenze des OWP GEN der Verlauf des Tiefwasserweges (DW 16,5) zu sehen. Die südliche Grenze dieses Schifffahrtsweges verläuft in ca. 4,1NM entfernt zum zukünftigen OWP GEN. Die beiden schwarzen Peillinien in der Abbildung 26 schließen den Sektor einer zukünftigen Radarbeobachtung ein, der hinter dem geplanten OWP GEN liegt. In diesem Beobachtungsbereich für den Seeraum ist die Prozedur der Zielerfassung (Akquisition Target) für die passierenden Fahrzeuge bereits abgeschlossen, und der Prozess der Zielverfolgung (Tracken) ist der Dominierende in der Radarzielverarbeitung. Ein zusätzlicher Gewinn für die Qualität der Radarzielbeobachtung ist damit gegeben. Eine Zieldeduktion ist messtechnisch störanfälliger als eine Zielverfolgung.

Basierend auf der bestehenden (Änderungs-)Genehmigung ist eine Verlängerung des Verkehrstrennungsgebiets „South of Gedser“ bis zur Tonne „DW79“ vorgesehen. Sofern die Verlängerung des Verkehrstrennungsgebiets nicht bis zum Baubeginn umgesetzt werden kann, regelt die bestehende (Änderungs-)Genehmigung für den OWP GEN, dass dann eine seeverkehrsrechtliche Regelung des Schiffsverkehrs in Anlehnung an Regel 10 (d) KVR erlassen werden soll. Diese geplanten Maßnahmen würden die obigen Aussagen zur Radarbeobachtung „hinter“ dem OWP GEN nicht beeinflussen.

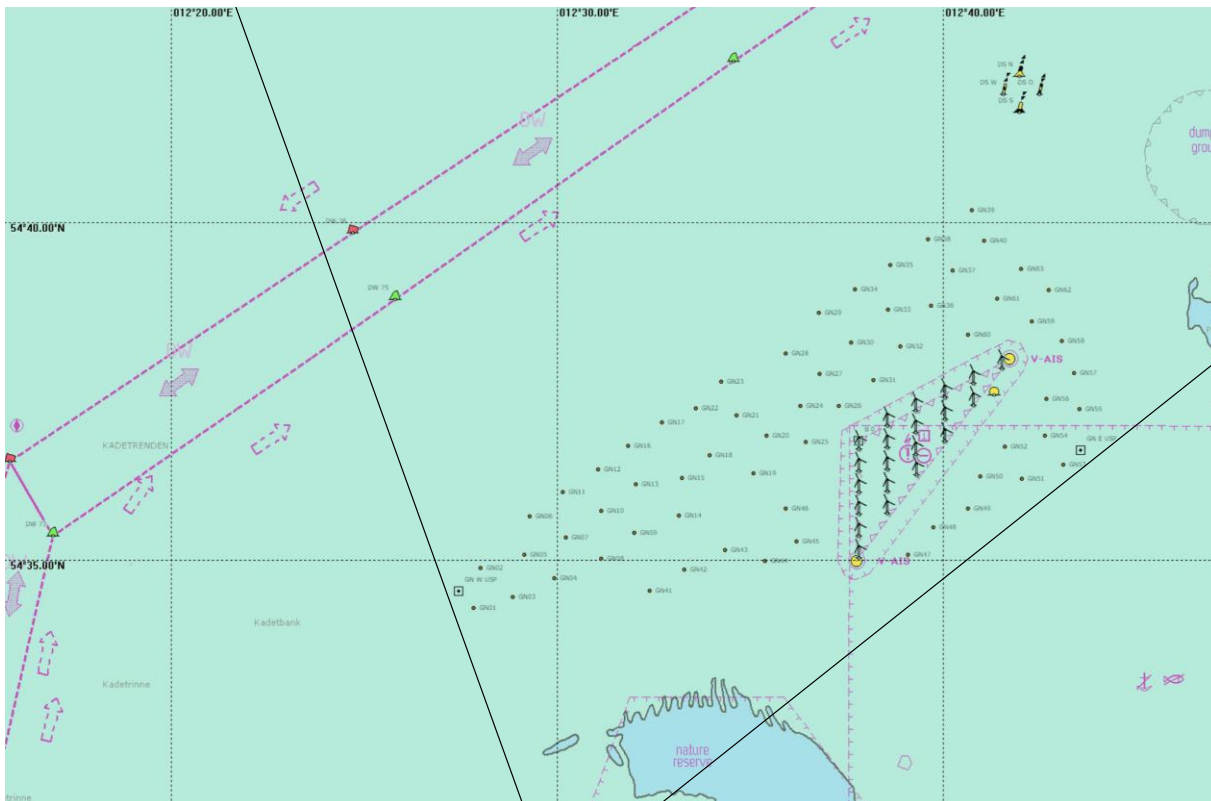


Abbildung 26: Radarstrahlungsfächer eines angenommenen VTS-Radars „Darßer Ort“ in Richtung des OWP GEN

Ausgehend von einer Radarinstallation am Darßer Ort, würden Radarstörungen im nahen Bereich bis ca. 6NM (vgl. auch Abbildung 2 und Abbildung 16) mit den Bauten des OWP nicht korrelieren. Die Ausführungen insbesondere der Kapitel 6 und 7 haben verdeutlicht, dass es Abschattungseffekte durch die Errichtung des OWP GEN geben wird, diese jedoch nur in unmittelbarer Nähe der Offshore Bauwerke auftreten werden. Beim Tracken der erfassten Radarziele ist kein „Lost Target“ Fehler zu erwarten. Die Berufsschifffahrt bleibt kontinuierlich beobachtbar. Es ist zu erwarten, dass lediglich kleinere Boote ohne AIS mit Abmessungen kleiner als die Durchmesser der Monopfähle – überwiegend aus dem Freizeitbereich – möglicherweise temporär durch den OWP GEN abgeschattet werden könnten. Dazu müssten die Ziele dichter als ca. 20m hinter einer WEA im OWP GEN passieren bzw. dort verweilen.

Durch die vorgeschriebene Nutzung von AIS durch die Berufsschifffahrt und die technischen Möglichkeiten der Datenfusion zwischen Radar- und AIS-Systemen kann die durchgängige und unterbrechungsfreie Verkehrsüberwachung der Berufsschifffahrt weiter verstärkt werden.

Insofern sind mögliche Abschattungseffekte eines Radars am Darßer Ort in einem Sektor von 64° in Richtung des Schifffahrtsweges DW 16,5 von den OWP-Bauten möglich, jedoch gering und negative Auswirkungen auf die Verkehrsüberwachung sind nicht anzunehmen.

Darüber hinaus hätte eine Installation eines Radars auf einer Plattform im OWP GEN, wie in der STN des WSA Ostsee vom 15.07.2024 aufgeführt, sogar negative Auswirkungen auf eine Verkehrsüberwachung des zukünftigen Verkehrstrennungsgebiets. Denn im unmittelbaren Umfeld des Radars bis zu einer Entfernung von 6NM ist mit Störungen durch das Installationsobjekt „Plattform“ zu rechnen. Die Stahlkonstruktion der Plattform lässt eine Zunahme an Fehlechos erwarten.

Da sich das zukünftige Verkehrstrennungsgebiet aber unmittelbar nördlich des OWP GEN befindet bzw. das Radar bei Installation auf der westlichen Plattform lediglich ca. 5NM vom Verkehrstrennungsgebiet entfernt ist, würde sich der Nutzen eines solchen Radars bereits durch die empfangstechnischen Bedingungen einschränken. Im Betrieb auftretende bauliche Veränderungen auf den Umspannplattformen im Zuge der Anpassung an den Stand der Technik würden den Empfang des Radars dort zudem immer wieder aufs Neue beeinträchtigen. Die Zugriffszeiten für Reparaturen bei Ausfällen des Radars auf einer Plattform wäre schließlich auch deutlich länger gegenüber einem Standort an Land.

Zwischen beiden hypothetisch betrachteten alternativen Standorten eines VTS-Radars auf den Positionen Darßer Ort und OWP GEN ist für die beabsichtigte Seeraumbeobachtung das Radar einzig auf der Position Darßer Ort zu bevorzugen.

11 Antennen Diversity für das Gebiet nördlich des OWP GEN

An der deutschen Küste wurden in der Vergangenheit zusätzliche Standorte für Landradare diskutiert. Eine Idee für die Ostsee war das Installieren eines Weitbereichsradars an der Position des Leuchtturms Staberhuk im Südosten der Insel Fehmarn. Entstanden sind in dieser Zeit letztlich die Radarabdeckungen Jade, Weser, Elbe, Deutsche Bucht und Ostsee. Erweiterungen und Neubauten von VTS-Centern wurden vorgenommen (Brunsbüttel, Cuxhaven, Warnemünde). Auf den Revieren Elbe, Weser und Jade wurden die Radarketten so installiert, dass ein Überlappen der Radarsichtbereich gegeben ist und bei Ausfall einer Radarstation dieser Revierabschnitt von den benachbarten Stationen mit überdeckt werden kann.

Hypothetisch soll die Umgebung des OWP GEN hinsichtlich einer vollständigen und kumulativen Abdeckung des Seegebietes mittels Radars betrachtet werden. Dazu müssten in Ergänzung zum VTS-Radar Warnemünde und dem zukünftigen VTS-Radar „Darßer Ort“ weitere lokal verteilte Standorte ausgesucht werden. Eine Möglichkeit wird beispielhaft in Abbildung 27 dargestellt. Es wird ein Entfernungskreis mit einem Radius von 30NM von möglichen Radarstandorten abgetragen. Das vorhandene Radar Warnemünde ist mit der Farbe Orange gekennzeichnet. Mit der angenommenen Reichweite von 30NM wird das Seegebiet der Kadetrinne vollständig abgedeckt. Eine Sensorerweiterung mit Standort „Darßer Ort“ würde das grün umhüllende Gebiet überdecken. Um das Prinzip der Radarbildüberlagerung weiter auszuschöpfen, wären zwei weitere Sensoren an den Positionen Gedser und Dornbusch (beide Türkei) potenziell zu betrachten. Damit wäre die Basis für ein vollständiges Lagebild durch Integration verschiedener sich überlappender Einzelbilder gegeben. Diese Technik der Integration von Sensoren wird u.a. als „Radar Video Merging“ (RVM) [// 13] bezeichnet.

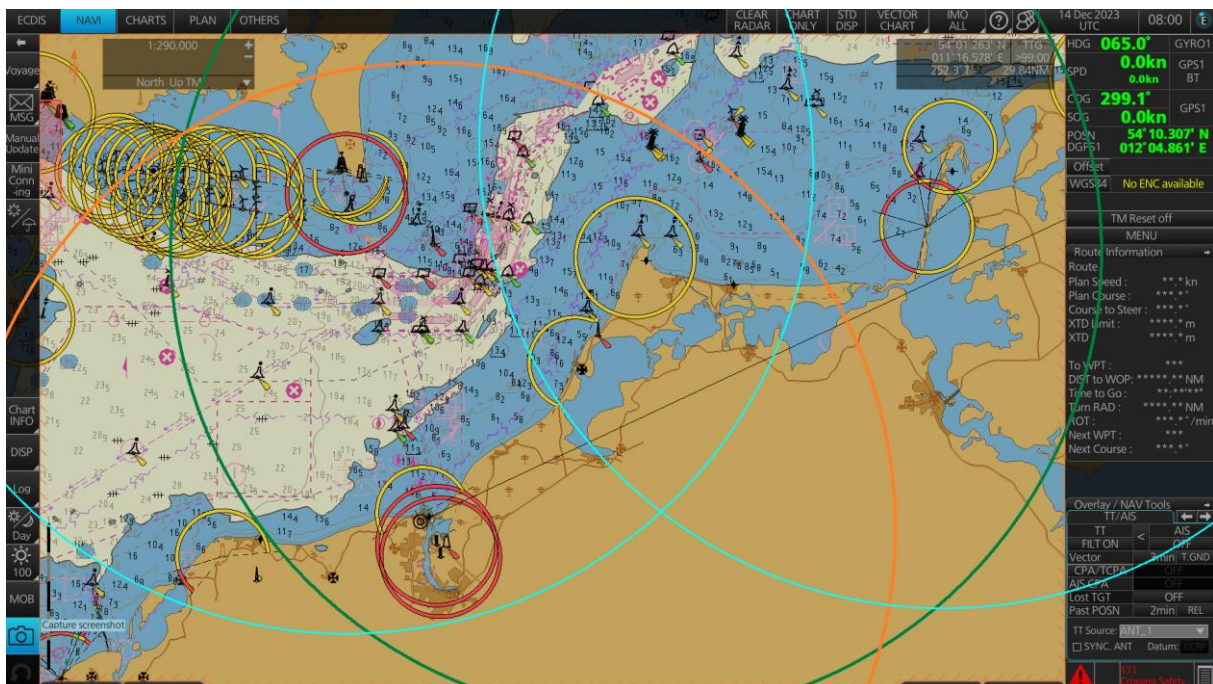


Abbildung 27: VTS Radar Rostock (orange) und hypothetische Landradarstationen „Darßer Ort“ (grün), „Gedser“ (türkis) und „Dornbusch“ (türkis) mit einem Range von jeweils 30NM in einer ECDIS

Die neue Funktion schafft hier eine Verbesserung. Herkömmliche Video Merging Verfahren schneiden Segmente aus und setzen sie dann anschließend wieder zusammen. Das hier patentierte Verfahren „Virtual Receiver“ ist eine Technologie, die ein „Mergen“ ohne Qualitätsverluste, ohne Interfering Effekte mit Clutter-Unterdrückung erlaubt. Das Radar Video Merging Verfahren (RVM) wertet mehrere Antennen aus und kombiniert sie zu einem optimierten Radarbild. Störungen werden weitgehend eliminiert, da die Ziele radartechnisch von mehreren Seiten „beleuchtet“ werden. Es erlaubt eine großräumige Verkehrsüberwachung, wie zum Beispiel den Bereich Kadetrinne und angrenzende Schifffahrtswege. Bei Sensorausfällen sind Redundanzen vorhanden.

Dieses Merging-Verfahren erlaubt den Einsatz sowohl auf stationären Schiffen als auch in Kontrollräumen. Erweiterte Verkehrsüberwachungsfunktionen wie zum Beispiel der Datenaustausch mit Serviceschiffen wäre möglich.

12 Fazit

In Zusammenhang mit dem Entstehen von OWPs Anfang der Jahrtausendwende wurden weltweit Untersuchungen hinsichtlich der Absorption oder Abschattungen für die Radarsichtigkeit von Flugobjekten und Seefahrzeugen vorgenommen. Diese waren sowohl von militärischem als auch von zivilem Interesse für die Sicherheit der Luft- und Seefahrt. Im Ergebnis dieser gehäuft vorgenommenen Untersuchungen wurde allgemein von einer unwesentlichen Beeinträchtigung in diesem Aspekt durch OWP-Bauwerke ausgegangen. Diesbezügliche wesentliche Aussagen wurden in der hier ausgearbeiteten Studie aufgegriffen. Diese Beurteilung hat sich durch den voranschreitenden Offshore Windenergieausbau nicht verändert. Im Gegenteil, die Weiterentwicklung der Technik durch Redundanz und Fusion verschiedener Systeme – (mehrfach-) Radar und AIS – führen dazu, dass Mängel des einen Systems durch die Möglichkeiten des anderen Systems ausgeglichen und grundsätzlich eine neue Qualität der Seeraumbeobachtung vorliegt.

Für die **Relation OWP GEN – Radarsensor „Darßer Ort“ – Radarschatten** können folgenden Aussagen getroffen werden:

- Die Zielentdeckung von Fahrzeugen im Bereich des Schifffahrtsweges Kadetrinne/DW16,5 ist für ein Radar gemäß den aufgezeigten Beispielen aus der Produktfamilie der FA. Hensoldt (siehe Kapitel 5.5.1 bis 5.5.3) ohne Behinderung durch Schatteneffekte und Clutter des OWP GEN gewährleistet.
- Mögliche Schatteneffekte des OWP GEN beeinträchtigen die Radarzielentdeckung „hinter“ einer WEA im Bereich weniger hundert Meter und betreffen nur Ziele, die kleiner dem Pfahldurchmesser sind. Potenzielle Radarschatten betreffen damit allein die Sicherheitszone des OWP. Die Sicherheitszone ist jedoch für einen großen Teil der Schifffahrt bei Zugrundelegung aktueller OWP-Befahrensregelungen gesperrt.
- Die lokale asymmetrische Anordnung der Bauwerke im OWP GEN verhindern eine kumulative Wirkung von möglichen Radarabschattungen.
- Durch die Entfernung des geplanten Radarstandortes zum OWP GEN stellen auftretende typische Störanzeigen (u.a. Fehlechos/Clutter) im Radar gemäß den Abbildung 3 und Abbildung 16 keine Beeinträchtigung der Zielentdeckung auf dem fokussierten Schifffahrtsweg dar, da sie lediglich im Bereich von ca. 6NM verstärkt auftreten.
- Ein „Diversity Betrieb“ mehrerer Landradarstandorte vergrößert den Beobachtungsbereich und die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Seezielen.
- Die Funktion der Track-Verfolgung als Standard in den vorgestellten Radarsystemen macht den Zielverlust durch Schattenwirkungen nahezu unmöglich.
- Die Funktion der AIS-Integration in den beispielhaft genannten Radarsystemen erhöht den Bereich der Zielentdeckung über die Radarreichweite hinaus. Die Zielverfolgung kann kontinuierlich in Redundanz zum eigentlichen Radarecho durchgeführt werden. Eine Abschattung im Radarkernschatten unmittelbar an einem Offshore Bauwerk ist durch den dualen Ansatz der Zielerkennung nicht gegeben.

Die Annahme und Vermutung der durch den OWP verursachten Abschattungen und Fehlechos / Clutter in der Stellungnahme der GDWS vom 15.07.2024 kann nicht bestätigt werden. Das bedeutet, der OWP GEN beeinträchtigt in seiner Planung, Lokalisation und Dimensionierung seiner Bauwerke in keiner Weise die Beobachtungsqualität eines Radarsensors gemäß der ausgewählten Produktbeispiele an der Position Darßer Ort für die Kadetrinne mit dem sich ostwärts anschließenden Schifffahrtsweg bzw. zukünftigen Verkehrstrennungsgebietes.

Die Realisierung der Forderung der Installation einer Radaranlage auf einer Plattform des OWP als Kompensation der vermuteten Abschattungen gemäß Stellungnahme der GDWS vom 15.07.2024 führt zu folgenden Herausforderungen:

- Typische Störanzeigen (u.a. Fehlechos / Clutter) im Radar gemäß den Abbildung 3 und Abbildung 16 würden zu einer Beeinträchtigung der Zielentdeckung auf dem fokussierten Schifffahrtsweg führen, da diese im Bereich von ca. 6NM verstärkt auftreten.
- Eine Zunahme von Fehlechos ist aufgrund der Stahlkonstruktion der Plattform zu erwarten.
- Der Track Fehler „Target Sweep“ tritt bei nahen Zielechos häufig auf (statt des Fahrzeuges wird z.B. die Heckwelle mit getrackt).
- Im Betrieb auftretende bauliche Veränderungen auf den Umspannplattformen im Zuge der Anpassung an den Stand der Technik würden den Empfang des Radars dort immer wieder beeinträchtigen.
- Die Zugriffszeiten für Reparaturen bei Ausfällen des Radars auf einer Plattform wäre deutlich länger gegenüber einem Standort an Land.

Damit wird deutlich, dass die Installation eines Radars auf der Plattform des OWP GEN eine Radarerfassung der Kadetrinne mit dem sich ostwärts anschließenden Schifffahrtsweg bzw. zukünftigen Verkehrstrennungsgebietes gegenüber einer Beobachtung von Land aus nicht verbessern würde. Parallel zu den sich vollziehenden Verbesserungen in der Radartechnik ist besonders für das Beobachten der Berufsschifffahrt die sich schnell mit Innovationen entwickelnde AIS-Technik zu berücksichtigen. Da die Radartechnik auch diese zukünftig neue Qualität von AIS beinhalten wird, sind funktechnische Abschattungen bei der Seeraumbeobachtung weiter in der Wertigkeit von nur geringfügiger Bedeutung.

Zusammenfassend der o.g. Erläuterungen wird geschlussfolgert, dass sich durch die Errichtung des OWP GEN keine wesentlichen Auswirkungen auf die geplante Radarüberwachung vom Darßer Ort aus ergeben. Somit sind keine Einschränkungen in Bezug auf die verkehrstechnischen Überwachungsaufgaben zu erwarten.

13 Ausblick VDES – die nächste Generation von AIS

Nach mehr als fünf Jahren Entwicklung und Standardisierung wurde 2017 eine neue Produktpalette eines VDES (VHF Data Exchange System) durch die Fa. Saab AB auf den Markt gebracht [// 14].

VDES-Dienste nutzen zusätzlich die Maritime Satelliten Kommunikation neben der bekannten terrestrischen Ausbreitung von AIS. Der VDES-Standard wird für den Schiff – Schiff und Schiff – Land Datenaustausch dominierend sein. Weitere neue Eigenschaften des Systems sind die erhöhte Datensicherheit, die verbesserte Übertragungsstabilität (Robustheit) durch terrestrische (VDE-T) und satellitengestützte Übertragung (VDE-SAT) über eine praktisch unbegrenzte Reichweite. Eine Integration von 5G und einer damit verbundenen höheren Datenrate beim Informationsaustausch ist möglich. Dadurch wird das Problem der Kapazitätseinschränkungen durch hohe Verkehrskonzentrationen behoben.

Eine wesentliche Verbesserung erfährt die Schifffahrt durch das Vorhalten und gegenseitigem Mitteilen der zukünftigen Route eines jeweiligen Fahrzeuges in der VDES-Technologie. Gegenüber der Vektorinformation (Kurs und Fahrt) wird mit dieser geplanten Weg-Zeit Information die Kollisionsgefahr schon zeitlich lange im Voraus erkannt [// 15].

Diese Informationen werden dann ebenfalls in den Verkehrszentralen zur Verfügung stehen. Eventuelle Track-Empfehlungen können dann erstmalig begründet gegeben werden. Die Einführung dieser Technik in den Zentralen würde damit wesentlich zur weiteren Verbesserung von Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt beitragen. Gleichzeitig würden energetisch aufwendige Schiffsmanöver zur Kollisionsverhütung vermieden werden. Diese Optimierung der Tracks würde direkt eine Reduktion der Emission und des Treibstoffverbrauches durch die Arbeit der Verkehrszentralen implizieren.

Es kann festgestellt werden, dass sich diese integrierte Kommunikations- und Navigationstechnologie in die „landseitige“ rasante Entwicklung der Digitalisierung einpasst und einer ihrer Bestandteile sein wird. Durch die in diesem Zusammenhang bereits weltweit existierende Infrastruktur und die im Wandel befindliche Brückenausrüstung besteht hier eine relativ einfache und effiziente Möglichkeit für den „Vessel Traffic Service“ daran zu partizipieren.

Die damit in Verbindung stehenden Zwänge einer weiteren Qualifikation des **Vessel Traffic Services** ergeben sich aus internationalen Forderungen wie der IALA als auch der IMO im Allgemeinen. Wesentlich für den Schiffsverkehr entlang des Planungsgebietes „Gennaker“ ist die Ausführung der IALA „*USE OF DECISION SUPPORT TOOLS FOR VTS PERSONNEL*“ (Edition 2.0, December 2021, urn:mrn:iala:pub:g1110:ed2.0) und „*G1110 USE OF DECISION SUPPORT TOOLS FOR VTS PERSONNEL*“ (Edition 2.1 January 2022, urn:mrn:iala:pub:g1110:ed2.1)

mit Ergänzungen zu Notfallkonzepten und Technologien:

“According to IMO Resolution A.1158(32) 0, a vessel traffic service (VTS) means a service implemented by a Government with the capability to interact with vessel traffic and respond to developing situations within a VTS area to improve the safety and efficiency of navigation,

contribute to the safety of life at sea and support the protection of the environment. Decision support tools (DST) are used to help enhance situational awareness and the decision-making process of VTS personnel by providing analysis and insight to developing or emergency situations, in real time, near real time and for long-term planning. Due to the perpetually evolving nature of VTS related concepts and technologies, consideration should be given to the continual development and refinement of DSTs as appropriate to meet future needs."

Die Anforderungen an Tools zur Entscheidungsunterstützung in Echtzeit, nahe einer Echtzeit oder für **Vorausplanungen** sind wie folgt von der IALA gelistet:

- *"provide alerts and indicators (audible and / or visible);*
- *reduce the workload;*
- *enhance efficiency;*
- *be accurate and in real time;*
- *be configurable with local VTS operational procedures;*
- *facilitate the result-oriented decision making by VTS personnel in accordance with the purpose of the VTS;*
- *use the available data to predict future situations;*
- *comply with IALA Recommendation R0125 "The use and presentation of Symbolology at a VTS Centre"; and*
- *have recording capability."*

Diese Liste der Herausforderungen zu den **Vorausplanungen** sind ohne das vorab beschriebene VDES-System nicht zu realisieren.

Technische und organisatorische Verbesserungen sind bordseitig bereits vorhanden, wenn sie den Panama Kanal passieren müssen bzw. sind zukünftig zu erwarten. Der vollständigen Prozesse der weltweiten Umstellung auf die VDES-Technologie soll bis spätestens 2040 abgeschlossen sein. Sie erlauben es, das Fahrzeug landseitig mit wesentlich höherer Präzision zu tracken. Diese an Bord sich weiter ausbreitende navigatorisch-technische Erweiterung hat seinen Ursprung durch eine Verfügung der Panama-Kanal-Behörde mit der Aussage:

„Effective October 1, 2023, all vessels with a beam of 109 feet or more transiting the Panama Canal will be required to have a fix (non portable) piloting unit with Real Time Kinematics (RTK) for submeter accuracy. This measure is expected to improve the efficiency of the waterway by eliminating the delays associated with the installation of portable piloting units (PPU)“ [/ 16].

Weiter wird das zukünftige Gebiet des OWP GEN innerhalb einer RTK-Abdeckung liegen (vgl. Abbildung 28). Nach Angaben des DLR Neustrelitz [/ 17] wird alternativ zu GNSS vom DLR in der Ostsee das Testfeld R-Mode-Baltic entwickelt.

„Seit 2022 ist es operativ einsetzbar. Weltweit ist es das erste System, mit dem Informationen zur Entfernungsmessung auf Basis von Mittelwellensignalen des maritimen GNSS-

Korrekturdatendienstes gesendet werden. Damit werden Schiffe im sensiblen Küstenbereich künftig auch unabhängig von GNSS navigieren können.“

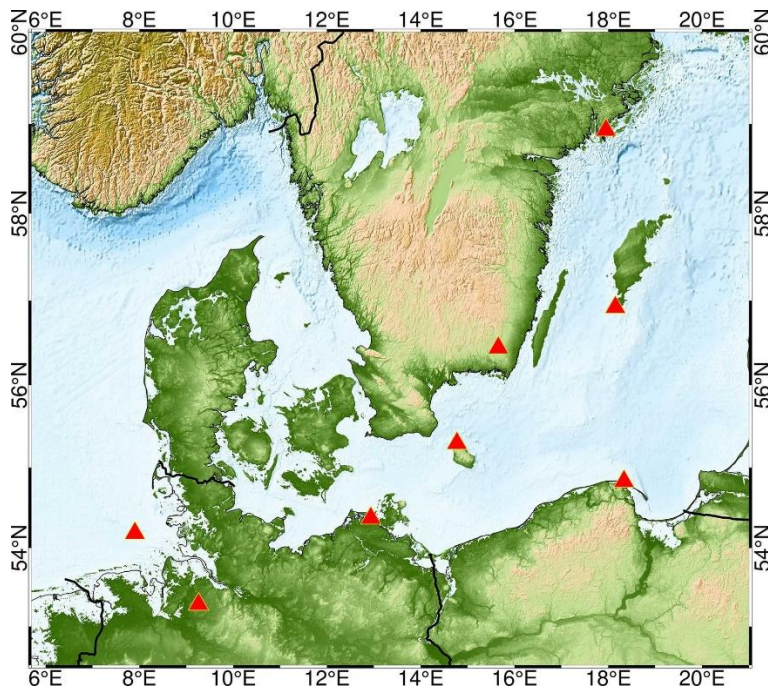


Abbildung 28: Alternative zu GNSS in der Ostsee: das Testfeld R-Mode-Baltic ([// 17])

Diese technischen Neuerungen erhöhen die Möglichkeiten der GDWS, risikomindernde Maßnahmen in der Umgebung des Planungsgebietes zu verbessern, ohne dass eine Radarinstallation auf der Plattform des OWP GEN erforderlich ist.

Quellen:

- // 1 *Principles of Radar - Schulungsmaterial, Northrop Grumman 2010*
- // 2 *Kelvin Hughes Mk11 SharpEye™, Naval Radar Sensor, HENSOLDT UK Voltage, Mollison Avenue, Enfield EN3 7XQ, United Kingdom T: +44 (0)1992 805 200, www.uk.hensoldt.net*
- // 3 *IALA Guideline G1111-3 Producing Requirements for Radar: Functions, Performance and Radar Specific Acceptance Edition 1.0 urn:mrn:iala:pub:g1111-3:ed1.0*
- // 4 *PRODUCING REQUIREMENTS FOR AIS Edition 1.0, December 2022, urn:mrn:iala:pub:g1111-4:ed1.0 EQUIPMENT*
- // 5 *COASTAL SURVEILLANCE AND VTS, SCANTER 5000/4002 RADAR SERIES, TERMA Group, Werbebroschüre, COASTAL SURVEILLANCE AND VTS*
- // 6 *IALA Recommendation R0128 VTS SYSTEMS AND EQUIPMENT, Edition 5.0, December 2022, urn:mrn:iala:pub:r0128:ed5.0*
- // 7 *IALA Recommendation G1111 ESTABLISHING FUNCTIONAL AND PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR VTS SYSTEMS AND EQUIPMENT Edition 2.0, December 2022, urn: mrn:iala:pub:g1111:ed2.0G1111-1*
- // 8 *FFI RAPPORT ELECTROMAGNETIC SHADOW EFFECTS BEHIND WIND TURBINES HØYE Gudrun FFI/RAPPORT-2007/00842 FORSVARETS VORSKNINGSINSTITUTT Norwegian Defence Research Establishment P O Box 25, NO-2027 Kjeller, Norway*
- // 9 *A. Frye and B. D. Bloch (2003): Final Report: Effect of obstacles on HF-supported guidance systems, Follow-up study, EADS Deutschland GmbH*
- // 10 *Laith Danoon, Waleed Al-Mashhadani, Anthony Brown: Modelling the impact of offshore wind farms on safety radars onboard oil and gas Platforms. School of Electrical and Electronic Engineering, The University of Manchester, Manchester, UK. 2017, ISSN 1751-8725*
- // 11 *SEAS, Skibskollisioner ved Rødsand, RAMBOLL, Juni 2000*
- // 12 *Dipl.-Ing. V. Arnim: Radaruntersuchungen am Windpark Nysted Havmøllepark, Dänemark. BSH, 17.03.2004*
- // 13 *Andreas Lentfer, Dipl.-Wirtschafts-Ing., Kapt. AG, VDKS, AFRIN, IFSMA, CIRM: Integrierte Navigationssysteme für Offshore-Windpark-Serviceschiffe. Direktor Geschäftsentwicklung, Raytheon Anschütz GmbH, Mai 2015 www.anschuetz.com/radar-nx*
- // 14 *Roger Johansson: VDES - Next Generation AIS. www.saab.com/newsroom/stories/2019/december/vdes---next-generation-ais*
- // 15 *<https://info.alen.space/advantages-of-vdes-vs-ais-in-maritime-satellite-communications>*
- // 16 *Panama Canal Authority, Vice Presidency for Operations: Advisory to Shipping No. A-32-2022, 05.10.2022*
- // 17 *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt <https://www.dlr.de> › aktuelles › nachrichten › 2022/02*