

Hochschule Neubrandenburg

Bachelor-Arbeit

Exemplarische Darstellung einer
Standortanalyse für einen spezialisierten
Offshore-Hafen innerhalb des deutschen
Nordseegebietes mithilfe von GIS

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2019-0475-1

Benjamin Böhm

9. Dezember 2019

Danksagung

Hiermit möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mich während des Schreibens der Arbeit und während meines Studiums unterstützt haben. Ein besonderer Dank geht dabei an meine Betreuer, meine Kollegen und meine Familie.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken habe ich als solche kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift

Zusammenfassung

Da die Gefahr besteht, dass deutsche Häfen aufgrund von Kapazitätsproblemen weniger konkurrenzfähig werden, wird untersucht, ob ein Offshore-Hafen Abhilfe verschaffen könnte. Im Rahmen dieser Untersuchung muss allgemein festgestellt werden, wo es sinnvolle Möglichkeiten zur Errichtung eines solchen Offshore-Hafens geben könnte. Auf Basis gesetzter Bedingungen werden innerhalb dieser Arbeit Eignungskarten für den Bereich der deutschen Nordsee erstellt. Dabei werden die Bedingungen als sog. Standortfaktoren detailliert beschrieben und die Vorgehensweise bei der Ergebnisbildung dargestellt. Es werden verschiedene Ergebnisvarianten mithilfe von GIS erzeugt. Aus den erstellten Karten lässt sich feststellen, dass unter den gesetzten Bedingungen der Südosten der deutschen Nordsee, in Umgebung des Verkehrstrennungsgebietes, geeignet ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass es durchaus noch weitere geeignete Gebiete gibt. Um diese zu ermitteln, gibt es verschiedene Erweiterungsansätze dieser Standortanalyse.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einführung	8
1.1 Hintergrund der Untersuchung	8
1.2 Offshore-Bauwerke	9
1.3 Offshore-Hafen	9
1.4 Geoinformationssysteme	10
2 Generelle Methodik	11
3 Beschreibung der Standortfaktoren	15
3.1 Übersicht	15
3.2 Untersuchungsgebiet	17
3.3 Gelände & Boden	18
3.3.1 Bodenbewegung	18
3.3.2 Bodenverflüssigungspotenzial	19
3.3.3 Geländeneigung	19
3.3.4 Wassertiefe	20
3.4 Offshore-Gebiete	21
3.4.1 Offshore-Windparks	22
3.4.2 Schutzgebiete	22
3.5 Seeverkehr	23
3.5.1 Häfen	23
3.5.2 Reeden	23
3.5.3 Schiffsverkehrsdichte	24
3.5.4 Seewege	25
3.6 Landverkehr	25

3.6.1	Schienennetzanbindung	25
3.6.2	Straßenanbindung	26
4	GIS	27
4.1	Software	27
4.2	Ausgangsdaten & Datenquellen	28
4.3	Koordinatenreferenzsystem	32
4.4	Anpassung der Vektordaten	33
4.5	Erstellung von Pufferzonen	36
4.6	Umwandlung zu Rasterdaten	40
4.7	Bildung der Standortfaktoren	41
4.8	Berechnung der Ergebnisse	51
4.8.1	ohne Gewichtung	51
4.8.2	Ranking	51
4.8.3	kategorisiertes Ranking	53
5	Auswertung	55
5.1	Ergebnisbetrachtung	55
5.2	Erweiterbarkeit der Standortanalyse	60
5.3	Zusammenfassung & Ausblick	61
	Literaturverzeichnis	62
	Anhang	63

Abbildungsverzeichnis

1.1	Konzepte für ein Offshore-Containerterminal (Reise, 2004) . . .	10
2.1	Übersicht zur generellen Methodik	14
3.1	Das Untersuchungsgebiet - Deutsche Nordsee	18
4.1	Ausgangsdaten - CONTIS, DLM1000, OSM, INSPIRE	30
4.2	Ausgangsdaten - Bodenverflüssigung, Erdbebenkatalog	30
4.3	Ausgangsdaten - Bathymetrie	31
4.4	Ausgangsdaten - Schiffsverkehrsdichte	31
4.5	Basis-Gebiete für die Datenreduktion	35
4.6	Offshore-Windparks mit 500m-Sicherheitszone	37
4.7	Vereinigter Vektorlayer für alle Seewege-Daten	38
4.8	Schematische Darstellung von Pufferzonen	39
4.9	Standortfaktor der Ausschlussgebiete	42
4.10	Standortfaktor der Bodenbewegung	43
4.11	Standortfaktor des Bodenverflüssigungspotenzials	44
4.12	Standortfaktor der Neigung	45
4.13	Standortfaktor der Wassertiefe	46
4.14	Standortfaktor der Häfen	47
4.15	Standortfaktor der Schiffsverkehrsdichte (2017)	48
4.16	Standortfaktor der Reeden	49
4.17	Standortfaktor der Seewege	49
4.18	Standortfaktor der Schienennetzanbindung	50
4.19	Standortfaktor der Straßenanbindung	50
5.1	Ergebnis 1: Standarddarstellung	56
5.2	Ergebnis 1: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete	56
5.3	Ergebnis 2: Standarddarstellung	57
5.4	Ergebnis 2: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete	58
5.5	Ergebnis 3: Standarddarstellung	58
5.6	Ergebnis 3: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete	59

5.7	Ergebnis 3: Standarddarstellung ohne SVD	59
5.8	Ergebnis 3: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete ohne SVD	60
9	Erstellter Multipuffer ausgehend von den Hafenpunkten	63
10	Erstellter Multipuffer ausgehend von den Gebieten der Reeden	64
11	Erstellter Multipuffer ausgehend von den Seewegen	64
12	Erstellter Multipuffer ausgehend vom Schienennetz	65
13	Erstellter Multipuffer ausgehend von den Autobahnen	65
14	Ergebnis 1: keine Gewichtung - Standarddarstellung mit Nei- gungseinfluss	66
15	Ergebnis 2: Ranking - Standarddarstellung mit Neigungseinfluss	67
16	Ergebnis 1: kategorisiertes Ranking - Standarddarstellung mit Neigungseinfluss	68

Tabellenverzeichnis

3.1	Übersicht betrachteter Standortfaktoren	16
4.1	Übersicht benutzter Datensätze und Quellen	29
4.2	Ranking: Rangfolge und Gewichtungen	52
4.3	kategorisiertes Ranking: Rangfolge und Gewichtungen	53

Abkürzungsverzeichnis

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftzone
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BVP	Bodenverflüssigungspotenzial
EG	Endgewichtung
EGB	Erdbebengebiet-Basis
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989
GIS	Geoinformationssystem
GPDN	Geopotenzial Deutsche Nordsee
KF	Kategoriefaktor
KRS	Koordinatenreferenzsystem
OH	Offshore-Hafen
OSM	OpenStreetMap
OWP	Offshore-Windpark
SF	Standortfaktor
SVD	Schiffsverkehrsdichte
UG	Untersuchungsgebiet

UGB Untersuchungsgebiet-Basis

ULCC Ultra Large Crude Carrier

UTM Universale-Transversale-Mercator

WGS84 World Geodetic System 1984

Kapitel 1

Einführung

1.1 Hintergrund der Untersuchung

Im Laufe der Zeit hat sich herausgestellt, dass deutsche Häfen ihre Kapazitätsgrenzen erreichen und Probleme bei der Erweiterung dieser haben. Grund dafür ist oftmals Platzmangel, sei es aufgrund von bereits bebauten Grundstücken, wie es im Stadtbereich oft der Fall ist oder aufgrund von Gebieten mit besonderer Bedeutung bzw. Funktion, wie beispielsweise Naturschutzgebieten. Eine mögliche Folge davon ist, dass Wartezeiten entstehen und so der Hafen unattraktiver wird. Ebenso verliert der Hafen die Möglichkeit, sich auf neue größere Schiffe einzustellen und wird dadurch von der Konkurrenz zurückgelassen. Noch dazu kommt, dass sich die wichtigsten deutschen Häfen an der Nordsee befinden oder, wie Hamburg, über einen Fluss von dieser erreicht werden. Es handelt sich bei der Nordsee um ein flaches Schelfmeer, welche zur deutschen Küste hin zu einem Wattenmeer übergeht. Dadurch ist besonders der zunehmende Tiefgang ein Problem, welches durch Vertiefungsmaßnahmen nur teilweise und temporär behoben werden kann.

Aus diesen Gründen gibt es Überlegungen, eine Offshore-Hafen (OH) zu errichten, welcher vor allem als Transshipment-Hub fungieren soll. Prinzipiell sollen also Transportgüter zwischen großen Haupttransportschiffen und kleineren Feederschiffen verladen werden. Dies hätte zur Folge, dass Erweiterungen Offshore erfolgen würden, ohne Gebiete an Land zu verlieren und es würde das Maß der Notwendigkeit von Vertiefungen oder sogar Flussverbreiterungen verringern. Zusätzlich könnten zukünftige autonome Schiffe für die Strecken zwischen OH und gewöhnlichen Hafen verwendet werden, um die Effizienz beider zu erhöhen.

Unter diesen Gesichtspunkten stellt sich die Frage, wo ein solcher OH prinzipiell errichtet werden könnte, ohne das genaueres über seine Form bekannt

ist. Der Versuch einer solche Untersuchung wird mithilfe dieser ersten Standortanalyse unternommen.

1.2 Offshore-Bauwerke

Der Offshore-Bereich ist dabei dem Menschen nicht unbekannt. Heutzutage werden bereits verschiedene Bauwerke offshore errichtet. Die Verwendung und der Zweck dieser kann dabei ganz unterschiedlich sein. Neben den Offshore-Plattformen für die Gewinnung von Öl und Gas oder modernen Offshore-Windkraftwerken für die Stromerzeugung gibt es mittlerweile auch Offshore-Einrichtungen für Tourismus und Ähnliches. Prinzipiell lassen sie sich jedoch in drei Klassen einteilen. Offshore-Plattformen mit Fundament, schwimmende Offshore-Plattformen und künstliche Inseln.

Jede dieser Klassen hat klare Stärken und Schwächen. Eine Offshore-Plattform mit festem Fundament benötigt so recht geringe Tiefen, um Fundamentkosten in Grenzen zu halten und ist nach Errichtung nicht mehr in der Lage, bewegt zu werden. Im Austausch dafür wird eine gewisse Stabilität erreicht und der Aufbau geht vergleichsweise schnell und einfach. Eine schwimmende Plattform zeichnet sich besonders bei großen Tiefen aus, da der benötigte Schwimmkörper nur von der Masse und Form der Plattform abhängig ist und nur durch Verbindungen zum Meeresboden gesichert werden muss. Im Vergleich zu den anderen Klassen ist die künstlich Insel recht teuer und kompliziert zu errichten. Richtig gebaut kann diese aber mehr Gewicht unterstützen und wird sich auch bei starkem Seegang nicht bewegen.

Da für den OH keine Variante fest vorgeschrieben ist, müssen Kompromisse für diese Untersuchung getroffen werden, um zu verhindern, dass eine Variante direkt ausgeschlossen wird. Es wird also davon ausgegangen, dass alle drei Klassen Möglichkeiten für die Art des OH darstellen.

1.3 Offshore-Hafen

Der für die Standortanalyse betrachtete OH ist ein Offshore-Bauwerk der drei in 1.2 benannten Klassen mit dem Hauptzweck des Transshipments. Frachtschiffe müssen in der Lage sein anzulegen und ihre Transportgüter zu verladen. Zusätzlich ist das Ziel des OH einen Mehrwert für deutsche Häfen darzustellen. Es sollen keine oder nur geringe Umwege beim Anlaufen entstehen. Aus diesem Grund müssen vorhandene Verkehrswege und die Entfernung zu Häfen berücksichtigt werden. Als grundlegendes Konzept dienen die Offshore-Containerterminal von (Reise, 2004) (Abb.1.1).

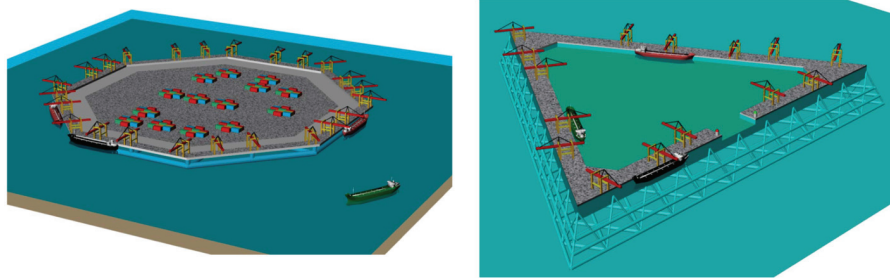


Abbildung 1.1: Konzepte für ein Offshore-Containerterminal (Reise, 2004)

1.4 Geoinformationssysteme

Als Mittel für die Durchführung der Standortanalyse wird ein Geoinformationssystem (GIS) verwendet. GIS finden in verschiedenen Bereichen Anwendung, wenn es darum geht, positionsgebundene Information zu analysieren. Da das Ziel ist, festzustellen wo es mögliche Standorte für einen OH gibt und diese darzustellen, ist GIS das Mittel der Wahl.

Kapitel 2

Generelle Methodik

Der Beginn einer Standortanalyse liegt beim Bestimmen von Bewertungsgrundlagen und begrenzenden Faktoren. Es muss erst festgestellt werden, auf welchen Daten Standortfaktoren (SFs) basieren und in welchem Ausmaß die Daten benötigt werden. Dabei ist es nicht ungewöhnlich, dass verschiedene Faktoren auch den gleichen Ausgangsdatensatz als Grundlage benutzen. Ziel soll es sein, die Eignung eines Gebiets möglichst genau darzustellen. Die Grundlage dabei sollte die notwendige Genauigkeit bilden, um mit möglichst wenig Ausgangsdaten zu arbeiten. Dies ist wichtig, weil Standortanalysen mit GIS dazu neigen, im Verlauf der Arbeit größere Datenmengen zu erstellen. Wie viel Speicherplatz Daten im Verlauf der Analyse benötigen hängt von den einzelnen Schritten selbst und den Optionen innerhalb dieser ab, sollte aber von Anfang an berücksichtigt werden.

Nachdem zumindest eine grobe Übersicht erstellt wurde, kann ermittelt werden, welche Software für die Analyse geeignet ist. Dabei spielen notwendige oder wünschenswerte Funktionen und Zusatzmodule der Software eine entscheidende Rolle. Auch ist die Frage zu klären, ob es sich um OpenSource-Software handeln soll oder großer Wert auf den Software-Support gelegt wird, der in der Regel bei kommerzieller Software ausgeprägter ist. Fallweise ist es auch notwendig, die Möglichkeit zu haben, eigene Funktionen und Tools innerhalb der Software zu entwickeln. Prinzipiell sollte dabei im Vordergrund stehen, wie einzelne SFs erstellt und daraus das Ergebnis berechnet werden kann.

Nun startet die Arbeit mit dem GIS. Den Anfang bildet das Einladen der Ausgangsdaten und das Anpassen an das Koordinatenreferenzsystem (KRS). Die Ausgangsdaten liegen in Form von Layern vor. Ein Layer ist dabei die Darstellung von Daten innerhalb des GIS in Form einer Ebene oder Schicht, welche beliebig unter oder über andere Layer gelegt werden kann. Zunächst wird ein Projekt-KRS gewählt, welches für das Untersuchungsgebiet (UG)

und Umgebung geeignet ist und Daten visuell gut darstellt. Dabei ist vor allem die Art der Projektion zu beachten und der Maßstab, der später für das Ergebnis gewünscht wird. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn das Ergebnis noch für direkte Distanzmessungen genutzt werden soll. Da viele Ausgangsdaten schon ein KRS eingestellt haben werden, kann es auch durchaus sinnvoll sein, das Projekt-KRS nach diesen zu wählen. Unabhängig davon, welches KRS für das Projekt gewählt wird, sollten alle Layer zu diesem transformiert werden. Ausnahme hierfür bilden nur Layer, die für Karten, dargestellt in einem anderen KRS, benutzt werden, beispielsweise für Übersichtskarten. In solchen Fällen ist es oft sinnvoll, den Layer zu duplizieren und einen für jedes KRS zu haben, in dem dieser dargestellt wird. Jetzt können die SFs gebildet werden. Es empfiehlt sich, dies entweder nach SF oder Vorgangsart zu strukturieren. Wird nach SF strukturiert, so wird ein einzelner SF von Grund auf gebildet. Erst nachdem das abgeschlossen wurde, wird der nächste SF betrachtet. Diese Vorgehensweise bietet sich an, wenn die Ausgangsdaten für die einzelnen SFs vom Typ her unterschiedlich sind und von Beginn an feststeht, dass unterschiedliche Funktionen genutzt werden müssen. Außerdem ist das Vorgehen übersichtlich und man kann den Fortschritt gut erkennen. Nach Vorgangsart zu strukturieren ist sinnvoll, wenn es ähnliche Ausgangsdaten für verschiedene SFs gibt oder Ausgangsdaten erst zusammengeführt werden müssen, da es in einzelnen Funktionen und Tools oft Möglichkeiten gibt alle Optionen beizubehalten und nur die Eingabedaten zu ändern. Dadurch kann an Zeit gespart und Fehler in der Optionsauswahl vermieden werden. Sollte es sehr viele SFs geben, so können auch erst Gruppen unter diesen gebildet werden, welche anschließend nach Vorgangsart durchgegangen werden. Um welche Vorgänge es sich speziell handelt, lässt sich nur für jeden SF selbst ermitteln, nachdem für diesen benötigte Ausgangsdaten vorliegen.

Grundsätzlich lässt sich jedoch die Arbeit an Layern basierend auf Vektordaten (Vektorlayer) und Layern basierend auf Rasterdaten (Rasterlayer) unterscheiden. Bei Vektorlayern handelt es sich um Punkte, Linien und Polygone. Diesen können neue Attribute oder Werte zugeordnet werden, die Geometrien selbst können mit anderen Geometrien verrechnet, z.B. geschnitten oder vereinigt, werden und es können vollkommen neue Daten schnell hinzugefügt oder erstellt werden. Ein Rasterlayer ist eine Gittermatrix begrenzten Ausmaßes, welches für jede Gitterzelle einen Wert bekommt. Mehrere Werte für eine Zelle sind nur über verschiedene Bänder möglich. Die Arbeit mit Rasterlayern zeichnet sich bei einer Standortanalyse vor allem durch Neuberechnung der Rasterwerte aus, da Rasterwerte gut die Eignung eines Bereichs darstellen können und somit auch das Ergebnis bilden. Um SF zu bilden, ist es oftmals notwendig, Vektorlayer in Rasterlayer zu konvertieren und dabei

einen bestimmten Attributwert einzubrennen, damit dieser direkt als Eignungswert benutzt werden kann oder der neu entstandene Rasterlayer als Berechnungsgrundlage für andere Rasterlayer dient. Es bietet sich dadurch an, die Arbeit an den Vektorlayern vor der Arbeit mit den Rasterlayern durchzuführen. Bei Rasterlayern ist darauf zu achten, dass die Dimensionen verschiedener Rasterlayer übereinstimmen, sollte eine gemeinsame Operation ausgeführt werden, z.B. die Addition von Rasterlayer A und Rasterlayer B. Außerdem ist es empfehlenswert, dass Rasterlayer für die endgültigen SFs die selbe Zellgröße besitzen. Dies ist nicht zwingend notwendig, kann aber bei der Eignungsbewertung helfen. Der Leerwert ist nicht unbedingt relevant, muss aber eventuell ein bzw. ausgeschaltet werden.

Um ein Ergebnis durch Rasterberechnung erstellen zu können, muss eine Formel als Berechnungsgrundlage gebildet werden. Die Kombinationen der verschiedener SFs, dargestellt durch Rasterlayer, erfolgt durch einfache Addition des Zellwertes aller beteiligten SFs und anschließende Division durch die Anzahl dieser (2.1). Bei einem gewichtetem Ergebnis wird die Formel um Faktoren ergänzt, die zuvor bestimmt wurden und vor den jeweiligen SF gesetzt wird (2.2). Ist noch eine Kategorisierung der Werte notwendig, können Formeln für einzelne Wertbereiche aufgestellt und anschließend kombiniert werden. Auf dies wird noch genauer in den Kapiteln 4.7 und 4.8 eingegangen.

$$Ergebnislayer = \frac{\sum_{i=1}^{Anzahl} SF_i}{Anzahl} \quad (2.1)$$

$$Ergebnislayer = \frac{\sum_{i=1}^{Anzahl} (Gewicht_i \cdot SF_i)}{Anzahl} \quad (2.2)$$

Abschließend muss das Berechnungsergebnis noch passend dargestellt werden. Dies erfolgt in den meisten Fällen als klassische Karte mit Legende. Das Layout dafür muss entweder neu erstellt werden oder es wird eine bereits vorhandene Vorlage benutzt. Zuvor muss der Ergebnislayer jedoch noch angepasst werden, damit dieses in der Karte in Erscheinung tritt.

Die so entstandenen Karten werden ausgewertet und dienen so als Übersicht und mögliche Bewertungsgrundlage. Es sollte hierbei jedoch darauf geachtet werden, dass die Wahl der SFs und deren Wertung entscheidend ist und so für jede Thematik allgemeine, aber auch sehr spezielle Karten erstellt werden können. Eine allgemeine Übersicht der beschriebenen Methodik ist in Abb.: 2.1 zu sehen.



Abbildung 2.1: Übersicht zur generellen Methodik

Kapitel 3

Beschreibung der Standortfaktoren

3.1 Übersicht

SFs sind Einflussgrößen, die eine entscheidende Rolle für die Eignung eines Standortes für einen bestimmten Zweck spielen. Der Zweck ist in diesem Fall die Planung eines OH. Da es sich bei dieser Arbeit lediglich um eine exemplarische Darstellung einer Standortanalyse handelt, sind die betrachteten SFs (Tabelle: 3.1) allgemein gehalten und keinesfalls vollständig. Prinzipiell lassen sich alle SF weiter Vertiefen bzw. Ausweiten. So könnten beispielsweise die Kapazitäten der Anbindungen berücksichtigt werden oder die Klassifizierung von Schutzgebieten erfolgen. Des Weiteren gibt es noch andere Themenbereich, wie das Wetter, die hier nicht weiter untersucht wurden.

Standortfaktor	Kategorie	Wertung
Untersuchungsgebiet	Untersuchungsgebiet	Pflicht: innerhalb
Bodenbewegung	Gelände & Boden	Optimierung: gut = fern & wenig schlecht = nah & viel
Bodenverflüssigungspotenzial	Gelände & Boden	Optimierung: gut = kein schlecht = viel
Geländeneigung	Gelände & Boden	Optimierung: gut = eben schlecht = uneben

Wassertiefe	Gelände & Boden	Pflicht: min. 20m tief Optimierung: 35m Tiefe als Optimum gesetzt
Offshore-Windparks	Offshore-Gebiete	Pflicht: außerhalb
Schutzgebiete	Offshore-Gebiete	Pflicht: außerhalb
Häfen	Seeverkehr	Optimierung: gut = nah schlecht = fern
Reeden	Seeverkehr	Pflicht: außerhalb Optimierung: gut = nah schlecht = fern
Schiffsverkehrsdichte	Seeverkehr	Optimierung: gut = hoch schlecht = gering
Seewege	Seeverkehr	Pflicht: außerhalb Optimierung: gut = nah schlecht = fern
Schienennetzanbindung	Landverkehr	Optimierung: gut = nah schlecht = fern
Straßenanbindung	Landverkehr	Optimierung: gut = nah schlecht = fern

Tabelle 3.1: Übersicht betrachteter Standortfaktoren

In den nachfolgenden Kapiteln werden die in Tabelle 3.1 genannten SFs näher beschrieben und es wird auf die Wertung dieser eingegangen. Außerdem wird jeweils kurz erläutert, aus welchen Beweggründen diese Einfluss-

größen als SFs gewählt wurden. Die SFs für Neigung und Häfen stellen dabei Besonderheiten dar. Die Neigung hat sich im Verlauf der Arbeit als ungeeigneter SF herausgestellt. Häfen sind aufgrund ihrer Natur im Normalfall dem Land- und dem Seeverkehr zuzuordnen. Innerhalb dieser Arbeit werden diese zwar als Seeverkehr kategorisiert, jedoch als Landfaktor gewertet. Weiteres zu beiden SFs ist in den Kapiteln ihrer Kategorie zu finden.

3.2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (UG) bildet die Grundlage für jede Ergebnisbildung. Es handelt sich dabei um die räumlich Begrenzung des Ergebnisses. Alle Bereiche außerhalb des UG werden nicht mehr betrachtet. In dieser Standortanalyse bildet die deutsche Nordsee die relevante räumliche Eingrenzung. Unter der deutschen Nordsee sind in diesem Zusammenhang alle Hoheitsgewässer Deutschlands innerhalb der Nordsee, sowie der Nordseebereich der deutschen Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) zu verstehen (Abb.: 3.1). Begrenzt wird das UG von Süden bis Osten durch deutsche Küstenabschnitte, im Norden durch die dänischen Hoheitsgewässer und der dänischen AWZ, im Westen durch niederländische Hoheitsgewässer und der niederländischen AWZ und an der Westseite des nördlichsten Teils der deutschen AWZ durch die britische AWZ. Mit ca. 40.100km^2 ist das UG so nur knapp kleiner als das gut 41.500km^2 große Festland der Niederlande und wird aus innenpolitischer Sicht von vier Bundesländern, Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen und Niedersachsen, sowie dem Bund selbst verwaltet. Der am weitesten vom Festland entfernte Ort ist der nordwestlichste Teil des sog. „Entenschnabels“, welcher sich nochmal ungefähr 80 km nördlich und 320 km westlich, insgesamt also ca. 330 km, der Nordspitze der Insel Sylt befindet. Innerhalb des UG befinden sich die verschiedenen Nord- und Ostfriesischen Inseln, sowie die einzige Hochseeinsel der Bundesrepublik Deutschland, Helgoland, inklusive ihrer Düne. Da es sich bei dieser Standortanalyse um einen Offshore-Hafen (OH) dreht, werden diese Inseln von Anfang an ausgeschlossen. Die Möglichkeit der Realisierung des OH über eine künstliche Inseln schließt momentan die Erweiterung vorhandener Inseln ebenfalls aus.

Um das Ergebnis in diesem Gebiet später korrekt darstellen zu können, wird es im Verlauf der Arbeit noch notwendig werden, eine Untersuchungsgebiet-Basis (UGB) zu erstellen. Es handelt sich dabei um eine Zone, welche über das UG hinaus geht. Die genauen Ausmaße dieser UGB sind weniger relevant und werden, zusammen mit ihrem genaueren Zweck, erst in der Sektion 4.4 näher erläutert.

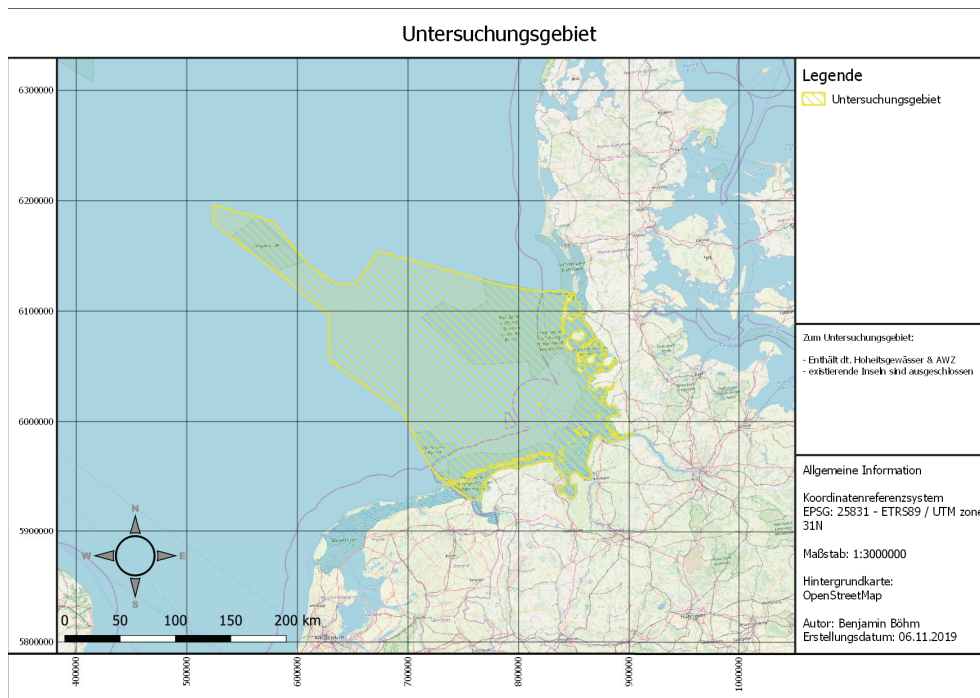


Abbildung 3.1: Das Untersuchungsgebiet - Deutsche Nordsee

3.3 Gelände & Boden

Zur Kategorie „Gelände & Boden“ werden alle SFs gezählt, die eine Aussage über Eigenschaften der Meeresoberfläche oder des unmittelbar darunter befindlichen Bodens treffen und für die Standorteignung gewichtet werden können. Alle nachfolgenden SFs dieser Kategorie sind unter gewöhnlichen Umständen sehr vom Aufbau bzw. Modell des OH abhängig. Da es aber in dieser Hinsicht noch keine genauen Vorschläge gibt, werden allgemeine Annahmen getroffen.

3.3.1 Bodenbewegung

Die Bewertung für den SF Bodenbewegung erfolgt auf Grundlage von Aufzeichnungen historischer Erdbeben und ähnelt in dieser Hinsicht potentieller seismischer Aktivität, welche für einen OH Risiko bzw. mögliche Maßnahmen für die Gefahrenabwehr und damit verbundene Kosten darstellen. Dabei müssen die Erdbeben mindestens eine Stärke von 2,0 auf der Richterskala gehabt haben, um in den Erdbebenkatalog aufgenommen zu werden. Die Eignung

wird anhand der Menge von Erdbeben innerhalb eines bestimmten Abstandes bewertet. Die Wirkung und Reichweite einzelner Erdbeben kann zwar unterschiedlich sein und ist von Stärke und Dauer abhängig, aber da diese Informationen nicht immer für Erdbeben mit möglicher Auswirkung auf das UG vorhanden sind, wird pauschal angenommen, dass Erdbeben durchschnittlicher Stärke unbedeutenden Einfluss auf Gebiete ferner 100km haben. Dadurch wird eine Eignung von 100% erreicht, wenn es keine Erdbeben über den gesamten Aufzeichnungszeitraum innerhalb von 100km vom aktuellen Standort gibt. Diese Eignung sinkt pro Erdbeben ab, bis sie bei einer Anzahl von 10 Erdbeben 0% erreicht hat. Diese Anzahl wurde aufgrund der Ausgangsdaten, zu sehen in Kapitel 4.2, festgelegt.

Die Bodenbewegung als SF stellt ein Optimierungskriterium dar und wird deshalb nach entsprechender Gewichtung in das Gesamtergebnis eingebracht. Es handelt sich hierbei um einen SF mit niedriger Priorität.

3.3.2 Bodenverflüssigungspotenzial

Bodenverflüssigung ist die Eigenschaft des Bodens, bei Druck verdrängt zu werden und so den Eindruck zu erschaffen, das dieser „wegfließt“. Das Bodenverflüssigungspotenzial (BVP) gibt an, inwiefern der Boden diese Eigenschaft besitzt. Dies ist besonders für die Möglichkeiten und Kosten der Verankerung und des Fundaments eines OH von Bedeutung.

Aus den Ausgangsdaten gehen drei Möglichkeiten hervor: ja, nein und unbekannt. Der SF wird dabei so festgelegt, dass es bei keinem BVP eine Eignung von 100% und bei vorhandenem BVP eine Eignung von 0% gibt. Bei einer unbekannten Lage, wird davon ausgegangen, dass BVP vorhanden ist und somit eine Eignung von 0% vorliegt.

Insgesamt wirkt der SF des BVP als Optimierungsfaktor und wird so gewichtet in das Endergebnis eingebracht. Gebiete mit einer Eignung von 0% werden ebenfalls normal in die Berechnung eingebracht und nicht ausgeschlossen. Dieser SF besitzt eine mittlere Priorität.

3.3.3 Geländeneigung

Als ein aus den bathymetrischen Daten berechneter SF, ist die Geländeneigung vor allem für den Bau und die generelle Stabilität interessant. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass geringe bzw. keine Neigung immer zu bevorzugen ist, da Kosten bei Fundament oder Verankerung geringer sind und die Stabilität i.d.R. größer ist, als es bei extremen Neigungswinkeln der Fall wäre. Da sich das UG in einem recht ebenen, flachen Schelfmeer, der Nordsee, befindet, wird die maximal zulässige Neigung auf einen strengen

Winkelwert von 20° gesetzt. Eine Neigung von 0° bildet das Optimum. Dadurch sinkt also die Eignung des Gebiets pro Grad um 5%. Es ist dabei zu beachten, dass ein OH mit großer Wahrscheinlichkeit auch in Gebieten mit höheren Neigungswinkeln errichtet werden könnte, der maximale berechnete Neigungswinkel innerhalb des UG aber bei ca. $5,6^\circ$ liegt und nur durch die strenge Bewertung ein sinnvoller SF erstellt werden kann.

Die Geländeneigung wird als reiner Optimierungsfaktor gesehen, sodass unabhängig der Eignungswerte dieses SF eine Gewichtung angebracht wird. Aufgrund des geringen Einflusses der Neigung wird diesem SF die geringste Priorität zugeordnet.

3.3.4 Wassertiefe

Der SF der Wassertiefe stellt die Gebietseignung aufgrund von festgelegten Grenzwerten für die Tiefe des immer vorhandenen Wassers dar. Dabei wird vereinfacht angenommen, dass die Tiefe aus den vorliegenden bathymetrischen Daten der niedrigst möglichen Wassertiefe, also dem extremen Springniedrigwasser, entspricht und damit eine wetter- und zeitenunabhängige Darstellung der Wassertiefe ist.

Da im Mittelpunkt für die potenzielle Verwendung eines OH der Transshipment-Prozess, also das Umladen von Transportgütern zwischen Schiffen, stehen soll, ist es von enormer Bedeutung, dass selbst größte Schiffe den OH anlaufen können. Vollbeladene Containerschiffe können dabei durchaus einen Tiefgang von ca. 16m erreichen, Supertanker, sog. Ultra Large Crude Carrier (ULCC) bis zu 24,5m. Außerdem können diese Tiefgänge noch um dynamische Werte aufgrund der Bewegung im Wasser erhöht werden. Damit zumindest die größten Containerschiffe den OH vollbeladen erreichen können, wird für den SF eine Mindesttiefe von 20m festgelegt.

Weil es aber bei einer Wassertiefe von unter 25m schwierig bzw. unmöglich ist, mit vollbeladenen ULCCs anzulegen und zukünftige Entwicklungen im Bereich des Tiefgangs problematisch sein könnten, kann für diese Bereiche keine Standorteignung durch Wassertiefe von 100% angenommen werden. Um extreme zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen und die Möglichkeit für Unterwasseroperationen ausgehend vom OH nicht auszuschließen, wird eine optimale Wassertiefe von 35m angenommen. Dadurch sollte es selbst bei ungewöhnlichen Bedingungen genügen Spielraum geben. Zwischen 20m und 35m wird ein weiterer Grenzwert für 25m gesetzt, um aktuelle und zukünftige Entwicklungen etwas differenziert zu betrachten. Dabei entspricht eine Wassertiefe von 25m einer Eignung von 75%. Dementsprechend fällt die Eignung zwischen 20m und 25m schneller ab, als im Bereich von 25m bis 35m. Bei Wassertiefen von über 35m, wird davon ausgegangen, dass diese keine

weiteren positiven oder negativen Auswirkungen auf Schifffahrten hat. Somit kann also für die reine Schifffahrt eine Eignung von 100% beibehalten werden. Nun ist aber zu beachten, dass durchaus auch die Möglichkeit des Baus des OH mithilfe von Fundamenten betrachtet wird. Da diese mit zunehmender Wassertiefe i.d.R. teuer und schwieriger realisierbar sind, sinkt die Standorteignung ab einer Tiefe von 35m wieder. Um dabei aber zu verhindern, dass Gebiete als ungeeignet betrachtet werden, weil sie zu tief sind, obwohl die Art der Realisierung des OH nicht feststeht, wird die Reduzierung der Eignung bei einer Wassertiefe von 50m maximiert. Die so reduzierte Standorteignung von 75% wird dementsprechend für Tiefen über 50m beibehalten, wobei die Maximaltiefe im UG bei 67m liegt.

Dieser SF wirkt für die Mindesttiefe von 20m als Ausschlusskriterium und für größere Tiefen als Optimierungskriterium. Das heißt, dass Gebiete mit einer Wassertiefe von unter 20m unabhängig anderer SFs für das Endergebnis eine Eignung von 0% aufweisen werden. Alle anderen Gebiete fließen laut jeweiliger Gewichtung in die Gesamteignung ein. Wassertiefen außerhalb des UG haben keine Auswirkung auf den SF oder das Ergebnis. Aufgrund der Wichtigkeit des Einflusses der Wassertiefe auf den OH wird diesem SF die höchste Priorität zugeordnet und dadurch im weiteren Verlauf die größte Gewichtung.

3.4 Offshore-Gebiete

Offshore-Gebiete sind planerische Festlegungen und formelle Abgrenzungen von Zonen innerhalb des UG, welche für andere Zwecke bereits heute oder zukünftig mit Sicherheit verwendet werden. Es gibt jedoch in der Regel keine strengen physischen oder sichtbaren Grenzen dieser Gebiete und sie existieren so nur auf Karten oder Plänen. Für einen OH bzw. dessen Planung sind solche Festlegungen jedoch bindend. Die Standorteignung innerhalb dieser Offshore-Gebiete durch andere SF ist dementsprechend abhängig von der Art des Offshore-Gebietes, sodass diese Art selbst zum SF wird. Unter die Kategorie der Offshore-Gebiete fallen in dieser Standortanalyse einzig Offshore-Windparks (OWPs) und verschiedene Schutzgebiete, allen voran Naturschutzgebiete. Es handelt sich dabei lediglich um Beispiele existierender Offshore-Gebiete. Es ist zu beachten, dass in dieser Arbeit nicht alle Arten von Offshore-Gebieten berücksichtigt wurden. Ebenso kann nicht von Vollständigkeit der Gebiete der berücksichtigten Typen ausgegangen werden. Bei den als SF aufgenommen Arten von Offshore-Gebieten handelt es sich OWPs und Schutzgebiete verschiedener Klassifizierungen, in den meisten Fällen Naturschutzgebiete und Nationalparks.

3.4.1 Offshore-Windparks

Es handelt sich bei OWPs um Zonen, in denen Offshore-Windkraftwerke und zusätzlich benötigte Offshore-Plattformen errichtet werden. Diese OWPs verhalten sich für die Planung eines OH wie bebaute Grundstücke, auf denen der Bau eines solchen ohne Weiteres nicht möglich ist. Zusätzlich ist für die allgemeine Schifffahrt ein Sicherheitsabstand von 500m einzuhalten. Aus den benannten Gründen wird die Eignung der Gebiete, die als OWP klassifiziert sind, sowie aller Gebiete innerhalb eines Abstands von 500m zu diesen, auf null gesetzt. Der SF der OWPs erhält damit also eine ausschließende Wirkung und negiert jegliche andere Eignung innerhalb dieser Offshore-Gebiete. Die Größe und Form der OWPs kann dabei unterschiedlich sein, ist aber innerhalb des UG gezeichnet durch eine Clusterbildung von einfach gehalten geometrischen Formen, wobei einzelne Formen eine Fläche von $3km^2$ bis $64km^2$ besitzen. Größere Abstände zwischen diesen entstehen oft aufgrund von freigehaltenen Seewegen und Schutzgebieten.

3.4.2 Schutzgebiete

Innerhalb des UG gibt es verschiedene Arten von sog. Schutzgebieten. Dabei handelt es sich u.A. um Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete und Nationalparks. Alle sind jedoch generell ungeeignet für einen OH, da die Schutzregelungen innerhalb dieser immer zu Zusatzmaßnahmen beim Bau und im Betrieb führen oder einen OH prinzipiell verbieten könnten. Die genauen Regelungen hängen jedoch jeweils vom Gebiet selbst ab. Um Schutzgebiete dennoch als SF einzubringen, wird auch für diese Art von Offshore-Gebieten, wie bei den OWPs, die Eignung auf null gesetzt. Der genaue Typ der Schutzgebiete spielt bei dieser Betrachtung dann keine Rolle mehr. Schutzgebiete innerhalb des UG gehen in der Regel von der Küste aus und belegen große Teile dieser. Oftmals ist das Wattenmeer dabei von entscheidender Bedeutung. Weitere Schutzgebiete sind um Helgoland zu finden oder bilden, wie das Sylter-Außenriff, weiträumige Flachwasser- Rückzugsgebiete für Meeressäuger wie den Schweinswal. Da es sich in den meisten Fällen um flache bis mäßig-flache Zonen handelt und eine Mindesttiefe von 20m für den OH sinnvoll erscheint, ist eine geringe Standorteignung abzusehen. Dies macht die Untersuchung der tatsächlichen Schutzmaßnahmen innerhalb der einzelnen Gebiete für diese Arbeit irrelevant.

3.5 Seeverkehr

Unter die Kategorie „Seeverkehr“ fallen alle SFs, die aufgrund direkter Aussagen über Schiffe auf See oder deren Anlaufpunkte und Wege einen Ort bewerten. Dabei steht die Berufsschifffahrt im Vordergrund, da der OH vor allem für diese ein Ziel darstellen soll. Diese SFs sind weniger vom tatsächlichen Aufbau des OH abhängig als von zukünftigen Entwicklungen in der Seefahrt selbst. Autonome Schiffe und veränderte Routen oder Hafenkapazitäten sind dabei von besonderer Bedeutung.

3.5.1 Häfen

Häfen werden in Bezug auf den OH vor allem als Landverbindungsmöglichkeit gesehen. Kleinere Feederschiffe oder mögliche autonome Shuttle sollen hierbei für den Transport vom gewöhnlichen Hafen zum OH verwendet werden, sodass dort ein Transshipment auf größere Schiffe erfolgen kann. Besonders für die Anfangsphase der autonomen Schifffahrt wären dabei geringere Distanzen zu bevorzugen. Auch für gewöhnliche Feeder ist eine geringe Distanz zu bevorzugen, da Treibstoffkosten eingespart werden können, was die Attraktivität der Transportroute über den OH erhöht. Zusätzlich ist die Versorgung des OH selbst bei geringeren Distanzen günstiger.

Dementsprechend bildet sich die Eignung dieses SF auf Basis der Distanz zu existierenden Häfen, die für die Berufsschifffahrt von Bedeutung sind. Dabei besteht eine 100% Eignung, wenn ein gewöhnlicher Hafen in unmittelbarer Umgebung ist und keine Eignung, sollte der nächstliegende Hafen in weiter Entfernung liegen. Genaue Wertangaben sind dabei in Kapitel 4.7 zu finden. Es handelt sich hierbei um einen reinen Optimierungsfaktor mit mittlerer Priorität.

3.5.2 Reeden

Dieser SF könnte auch in die Kategorie der Offshore-Gebiete passen, da es sich um festgelegte Gebiete ohne physische Grenzen handelt. Reeden sind Ankerplätze außerhalb des Hafens, die von Schiffen genutzt werden, um auf einen Liegeplatz im Hafen zu warten oder weil aus sonstigen Gründen der Hafen nicht angelaufen wird. Gebiete, die als Reeden markiert sind, sorgen für Flexibilität und Ausweichmöglichkeiten, sollten sie sich in der Nähe zum Hafen befinden. Prinzipiell trifft das auch auf den OH zu.

Ähnlich wie für den vorhergehenden SF kann gesagt werden, dass die Eignung in der nahen Umgebung der Reeden 100% erreicht, während sie in der Ferne gegen 0% geht. Diese Ferne wird dabei für diesen SF auf 200km gelegt.

Ein großer Unterschied zum SF Häfen besteht darin, dass es sich nicht um reines Optimierungskriterium handelt. Während die Eignung aufgrund der Distanz gleich behandelt, also normal gewichtet wird, stellt das eigentliche Gebiet der Reeden ein Ausschlussgebiet dar, wie es bei den SFs der Kategorie Offshore-Gebiete auch der Fall war. Unabhängig anderer SFs ist die Gesamteignung innerhalb der Reeden deshalb immer 0%. Dem Optimierungsteil, also der Distanz zu den Reeden, wird eine mittlere Priorität bei der Gewichtung zugeordnet.

3.5.3 Schiffsverkehrsdichte

Für einen OH kann es sinnvoll sein, sich in einem gut befahrenen Gebiet zu befinden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass der OH angefahren wird, weil dieser entweder zufällig auf dem geplanten Weg liegt oder sich ein notwendiger Hafenbesuch spontan ergibt. Zusätzlich könnte sich dadurch die Hürde senken, die Routen generell über den OH zu legen, da Umwege gehalten werden. Prinzipiell gilt dabei also, dass ein viel befahrenes Gebiet vorteilhaft ist.

Die Bewertungsgrundlage bildet dabei die Schiffsverkehrsdichte. Diese ist als die durchschnittliche Anzahl der Schiffe pro km^2 pro Tag definiert (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2018). Da es sehr verschiedene Werte der Schiffsverkehrsdichte innerhalb des UG gibt, werden für die Bewertung dieser verschiedene Wertbereiche durch Grenzwerte festgelegt. Eine hohe und für die Bewertung optimale Schiffsverkehrsdichte wird bei Werten ab 10 definiert. In diesem Fall ist die Eignung 100%. Bei Werten von 5 bis 10 handelt es sich noch immer um nahezu optimale Verhältnisse, wodurch selbst bei einer Anzahl von 5 Schiffen pro km^2 pro Tag noch eine Eignung von 90% besteht. Bei einem noch mäßig befahren Gebiet mit einer Anzahl von 3 Schiffen pro km^2 pro Tag wird eine Wertung von 75% festgelegt. Die Grenze für ein wenig befahrenes und damit eher ungeeignetes Gebiet wird bei einer Anzahl von 1 und einer Bewertung von 50% gesetzt. 0% Eignung wird lediglich bei einer Schiffsverkehrsdichte von null, also nicht vorhandenen Daten erreicht. Eine Anzahl unter 1 könnte sich dieser jedoch nähern. Die genaue Formel für diese Klassifizierung befindet sich in Sektion 4.7.

Diesem Optimierungsfaktor wird eine mittel-hohe Priorität gegeben, da die Schiffsverkehrsdichte die Attraktivität des OH für Unternehmen und damit letztendlich die Realisierbarkeit beeinflussen kann.

3.5.4 Seewege

Ähnlich wie eine hohe Schiffsverkehrsdichte können vorhandene Seewege die Attraktivität des OH erhöhen. Dabei geht es jedoch weniger darum wo Schiffe tatsächlich fahren, sondern wo es geplante Bereiche für den Seeverkehr gibt. Es erscheint sinnvoll, einen OH, welcher als ein Hub für den Seeverkehr dient, direkt an geplante Seewege angrenzen zu lassen oder zumindest in der Nähe zu positionieren. Dies kann zum Einen dafür sorgen, dass Verkehrsplanungsmaßnahmen vereinfacht werden und zum Anderen, dass es einfacher wird, Transportrouten über den OH zu legen und diesen mit anzulaufen.

Bei diesem SF wird wieder die Distanz zum Objekt betrachtet. Dies geschieht prinzipiell auf dem gleichen Weg wie beim SF „Reeden“. In der Nähe befindliche Gebiete haben eine Eignung von 100%, während in einer Entfernung von 200km 0% erreicht wird.

Auch für die Seewege gilt, dass diese selbst nicht mehr für den Standort des OH in Frage kommen und ausgeschlossen werden müssen. Dementsprechend ist das Gebiet ein Ausschlussfaktor, aber die Distanz zu diesen ein Optimierungsfaktor. Dabei erhält die Distanz zu Seewegen die zweithöchste Priorität.

3.6 Landverkehr

Die SFs des Landverkehrs bestehen aus Objekten der Landinfrastruktur, die über ihr Potenzial für den Landtransfer von Transportgütern mithilfe von neuen Häfen oder möglichen Shuttlepunkten bewertet werden. Dabei wird generell davon ausgegangen, dass die Distanz das entscheidende Kriterium ist und es keine Restriktionen für den Bau oder die Erweiterung der Infrastruktur gibt. Bei dieser ersten Standortanalyse werden ebenfalls Verkehrskapazitäten, Endziele und damit in Verbindung stehende Routen oder andere Fragen der Verkehrsplanung und des Verkehrsmanagements vernachlässigt. Das heißt, dass die Wertung der Infrastruktur des Landverkehrs einzig durch die Distanz zum OH entsteht.

3.6.1 Schienennetzanbindung

Als intermodale Verkehrshubs bieten viele große Häfen eine Möglichkeit des Warenübergangs zwischen Zügen und Schiffen. Dies ist oftmals sogar notwendig, da mit den Schienenfahrzeugen mehr Güter auf einmal transportiert werden können, als mit anderen Landfahrzeugen. Auch für einen OH wäre in dieser Hinsicht eine Anbindung an das Schienennetz wünschenswert, je-

doch ist die direkte Methode mithilfe einer Brücke oder eines Tunnels eher unrealistisch. Dennoch könnte eine vorhandene Gleisstrecke über einen speziell ausgerichteten neuen Hafen angebunden werden. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn sich der OH in der Nähe befindet.

Wie schon zuvor beschrieben, wird die Distanz die Bewertungsgrundlage sein. Dabei wird es bei diesem SF eine Eignung von 100% bis 0%, ausgehend von einer Entfernung von 1km bis 200km, geben.

Da die Anbindung mit großer Wahrscheinlichkeit nur über den Umweg eines Transferpunktes realisierbar ist, handelt es sich bei diesem SF um einen Optimierungsfaktor mit geringerer Priorität.

3.6.2 Straßenanbindung

Bei der Straßenanbindung verhält es sich sehr ähnlich wie bei der Schienennetzanbindung. Auch hier wird die Distanz zum OH prinzipiell als einziges Kriterium für die Eignung gesehen und es wird davon ausgegangen, dass Wasser-Land-Transferpunkte neu errichtet werden. Es werden jedoch nicht alle Straßen betrachtet. Für Verkehrshubs wie Häfen sind Straßen mit großen Kapazitäten relevant. Um Analysen der Straßenkapazität oder des Trafficflows zu vermeiden, wird davon ausgegangen, dass einzig Autobahnen bzw. Motorways dieser Anfrage gerecht werden.

Die Eignung erfolgt auch hier von 100% zu 0% bei Distanzen von 1km bis 200km.

Als Optimierungsfaktor wird der Straßenanbindung eine gleiche, geringe Priorität wie der Schienennetzanbindung zugewiesen.

Kapitel 4

GIS

4.1 Software

Die Auswahl der passenden GIS- oder Hilfssoftware sollte unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren passieren und ist essenziell für den Erfolg der Standortanalyse. Der Wichtigste ist dabei, ob und auf welchem Weg es möglich ist, das Ziel mit der Software zu erreichen. Vereinfacht wird die Wahl, sollte der Anwender schon auf ein bestimmtes GIS spezialisiert sein oder er Erfahrungen mit mancher Software gemacht haben. Auch kann der Support des Anbieters oder die Möglichkeit zur Erstellung eigener Werkzeuge eine Rolle spielen. Ebenso ist es gut möglich, dass man , z.B. aufgrund von vorhandenen Verträgen, von Beginn an nur eingeschränkte Auswahlmöglichkeiten hat.

Grundsätzlich boten sich zwei GIS aufgrund von eigenen Erfahrungen an. Das erste war ArcGIS von Esri, welches unter verschiedenen Lizenzen erworben werden kann. Es bietet unzählige Tools geeignet für Standortanalysen, professionellen Support und Möglichkeiten, das GIS für den jeweiligen Zweck spezialisieren zu lassen. Das zweite war QGIS, welches das führende Open-Source-Desktop-GIS ist. QGIS integriert dabei leicht andere Software & Services und zeichnet sich vor allem durch Plug-Ins aus, welche von anderen Nutzern veröffentlicht wurden. Ebenso können mit den nötigen Kenntnissen leicht eigene Erweiterungen erstellt werden.

Letztendlich wurde QGIS gewählt, da die genaue Vorgehensweise mit diesem schon bekannt war und es sich um eine OpenSource-Software handelt. Außerdem ist zu beachten, dass es aufgrund der exemplarischen Natur der Arbeit unwahrscheinlich ist, die Vorzüge von ArcGIS voll auszunutzen.

Für die Standortanalyse wurde so QGIS 3.8 Zanzibar genutzt. Zusätzlich zu den Kern-Erweiterungen „Geometrieprüfung“ und „Geoverarbeitung“, welche

von Anfang an verfügbar und nicht deinstallierbar sind, wurden die folgenden Erweiterungen installiert und genutzt: „MultiDistanceBuffer“, zum leichten Erstellen von mehrfachen Pufferzonen (siehe Kapitel 4.5), „QuickMapService“, um eine Hintergrundkarte einzubinden, und „QuickOSM“, als Download-Service für OpenStreetMap (OSM)-Daten.

4.2 Ausgangsdaten & Datenquellen

Für eine Standortanalyse sind immer Ausgangsdaten notwendig. Diese werden dann im Verlauf der Arbeit so verändert, ergänzt und kombiniert, dass sich die Standorteignung für den jeweiligen Zweck darstellen lässt. Da sich das Ergebnis aus den Standortfaktoren (SFs) bildet, sind die Ausgangsdaten letztendlich die Grundlage dieser. Dementsprechend muss zuerst festgestellt werden, welche Daten überhaupt notwendig und inwiefern solche Daten verfügbar sind. Passende Datensätze lassen sich oftmals bei Firmen oder Behörden finden und können bei diesen erworben werden. Viele Daten werden auch frei zur Verfügung gestellt. In speziellen Fällen kann es jedoch auch notwendig sein, Daten selbst aufnehmen zu müssen.

Prinzipiell werden die meisten Daten in einem Vektorformat, beispielsweise Shape-Dateien, oder in einem Rasterformat, beispielsweise GeoTiff, vorliegen. Es kann aber auch vorkommen, dass einfache Koordinatenlisten die Grundlage bilden und aus diesen erst eine passende Datei erstellt werden muss.

Die in dieser Arbeit verwendeten Ausgangsdatensätze liegen ohne Ausnahme in Vektorformaten vor und konnten ohne zusätzliche Veränderungen direkt im GIS benutzt werden. Die Daten wurden dabei von den einzelnen Institutionen frei zum Download zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht, für welche SFs die Datensätze benutzt wurden, liefert Tabelle 4.1. Eine kurze Beschreibung der einzelnen Quellen ist im Anschluss zu finden.

Datensatz	Standortfaktor	Datenquelle
Bathymetrie	Neigung Wassertiefe	GPDN
Bodenverflüssigung	Bodenverflüssigungs- potenzial	GPDN
CONTIS	Offshore-Windparks Reeden	BSH
Deutscher Erdbeben- katalog (GERSEIS)	Bodenbewegung	BGR

Digitales Landschaftsmodell 1: 1.000.000 (DLM1000)	Schienennetzanbindung Schutzgebiete Seewege Straßenanbindung	BKG
INSPIRE Water Transportation Network	Häfen Seewege	BSH
boundary protected_area	Schutzgebiete	OSM (QuickOSM)
Schiffsverkehrsdichte 2017	Schiffsverkehrsdichte	BSH

Tabelle 4.1: Übersicht benutzter Datensätze und Quellen

BGR Es handelt sich bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) um eine Einrichtung der Bundesregierung mit dem Zweck, diese in geowissenschaftlichen Fragen zu beraten. Sie gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und bildet den nationalen geologischen Dienst Deutschlands (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, o. J.).

Die BGR bildet die Datenquellen für den in dieser Arbeit verwendeten deutschen Erdbebenkatalog: GERSEIS, ©BGR, Neustrelitz, 2019.

BKG Als Dienstleister des Bundes für topographische Grundlagedaten, Kartographie und geodätischen Referenzsystemen stellt das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) zahlreiche Geoinformationen zur Verfügung (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2019).

Unter diesen befindet sich auch das Digitale Landschaftsmodell 1 : 1 000 000, welches den Ausgangspunkt für vier SFs bildet: DLM1000, ©GeoBasis-DE / BKG, Neustrelitz, 2019.

BSH Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist eine Bundesoberbehörde, welche sich mit meeresbezogenen Aufgaben, wie Vermessung im deutschen Seegebiet, Vorhersage von Gezeiten und die Herausgabe von amtlichen Seekarten, beschäftigt. Als solche ist sie auch für die Raumplanung in der deutschen AWZ zuständig und befasst sich viel mit dem Offshore-Bereich (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, o. J.).

Vom GeoSeaPortal, dem Geodatenportal des BSH, kommen der CONTIS-Datensatz, der INSPIRE-Datensatz für Water Transport Network und die

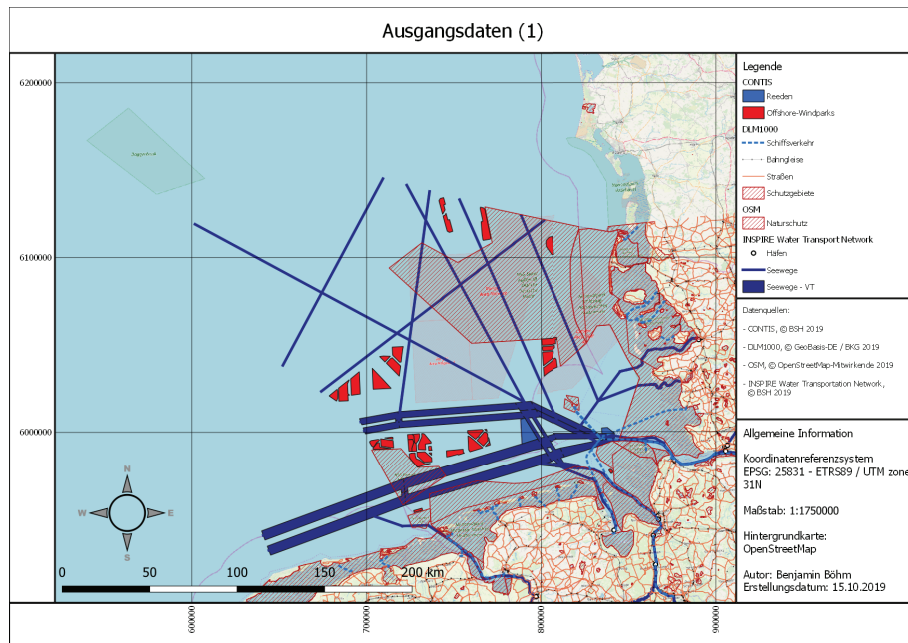


Abbildung 4.1: Ausgangsdaten - CONTIS, DLM1000, OSM, INSPIRE

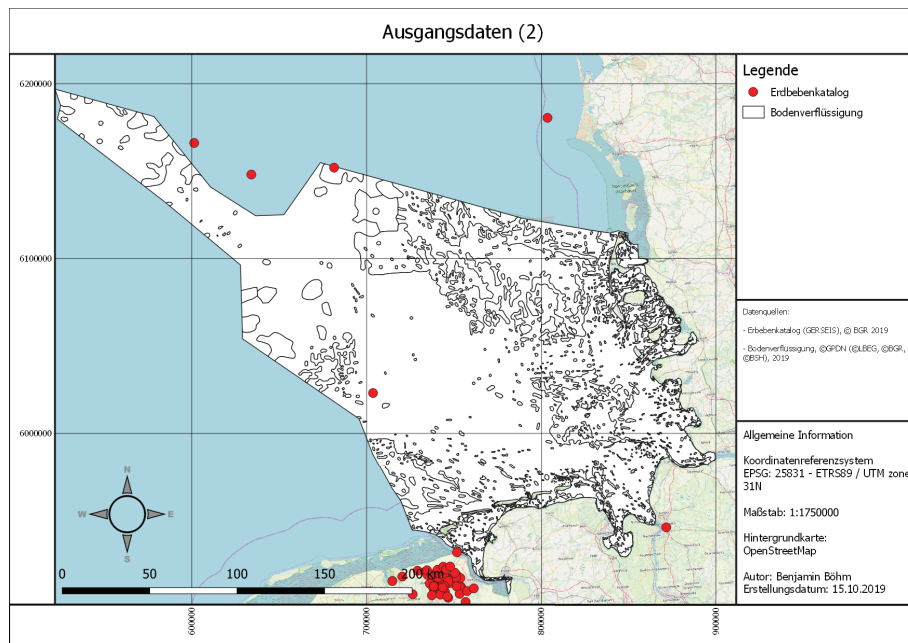


Abbildung 4.2: Ausgangsdaten - Bodenverflüssigung, Erdbebenkatalog

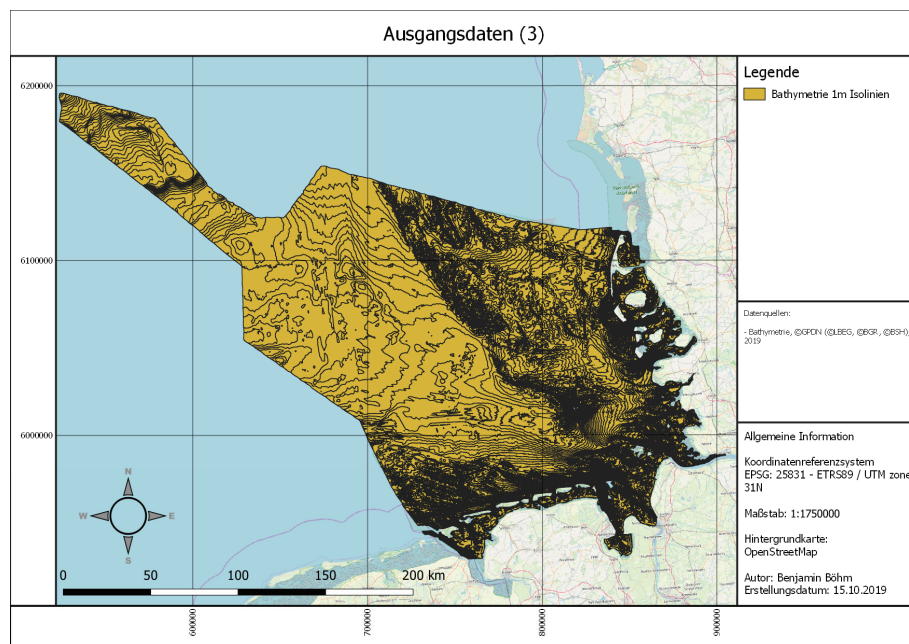


Abbildung 4.3: Ausgangsdaten - Bathymetrie

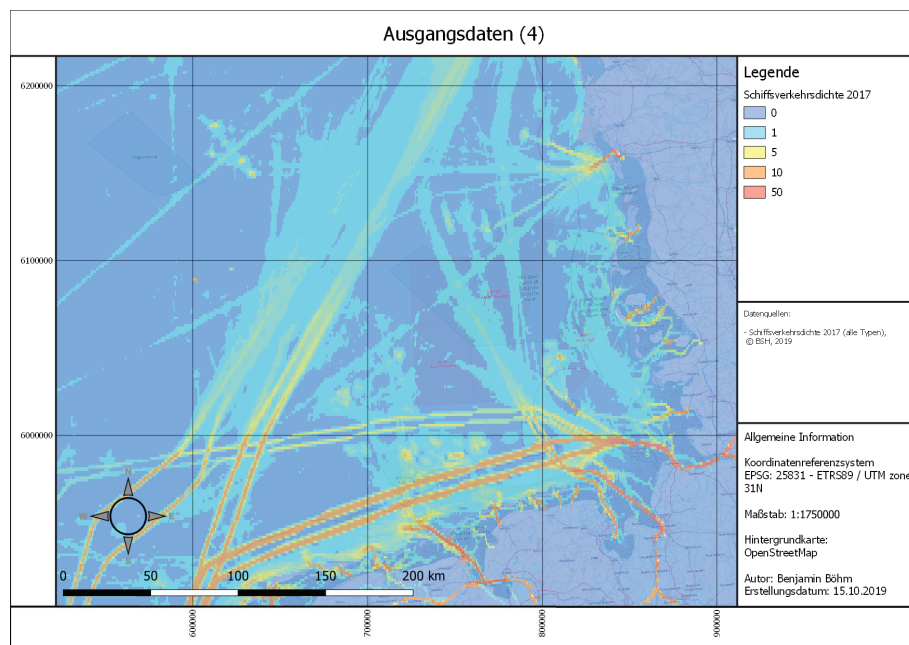


Abbildung 4.4: Ausgangsdaten - Schiffsverkehrsdichte

Schiffsverkehrsdichte für alle Schiffstypen aus dem Jahr 2017: CONTIS; INSPIRE WTN; Schiffsverkehrsdichte_2017, ©BSH, Neustrelitz, 2019.

GPDN Bekannt als Geopotenzial Deutsche Nordsee (GPDN), hat sich das Verbundprojekt zwischen Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), BGR und BSH das Ziel gesetzt, die Geologie des gesamten deutschen Nordsee-Sektors zu erfassen. Für diesen Zweck sind im Zeitraum von 2009 bis 2013 viele Geo-Basisinformationen erfasst worden, welche so auf den Projekt-Seiten zur Verfügung gestellt werden (Geopotenzial Deutsche Nordsee, o. J.).

Von den dort zu sehenden Datensätzen werden hier Bathymetrie und BVP weiter verwendet: Bathymetrie & Bodenverflüssigung, ©GPDN(©LBEG, ©BGR, ©BSH), Neustrelitz, 2019.

OSM OSM, ein sehr bekanntes 2004 gegründetes Projekt, sammelt weltweit alle Daten, die für gewöhnlich auf Karten zu sehen sind. Ziel ist es, eine freie Weltkarte zu erschaffen (OpenStreetMap, o. J.).

Über das QGIS-Werkzeug „QuickOSM“ wird ein Datensatz für Schutzgebiete eingeladen: boundary protected_area, ©OSM, Neustrelitz, 2019.

Zusätzlich wird als Hintergrundkarte der WebMapService von OSM benutzt.

4.3 Koordinatenreferenzsystem

Das Koordinatenreferenzsystem (KRS) bildet den Bezug für Positionsangaben und definiert die Art der Projektion von Daten innerhalb des GIS. Der gleiche reale Ort kann unterschiedliche Koordinaten in verschiedenen KRS haben, gleichzeitig können gleiche Koordinaten unterschiedlicher KRS in Realität verschiedene Orte darstellen. Die Art der Projektion gibt dabei die reine Darstellung der Daten auf einer zweidimensionalen Ebene an, wie es bei Karten der Fall ist, da Daten immer in einer dreidimensionalen Ebene, wie der Erdoberfläche, aufgenommen werden. Es wird dadurch zwingend notwendig, das KRS aller Daten, die zur Erstellung der gleichen Karte verwendet werden, gleichzusetzen.

Die in dieser Standortanalyse verwendeten Ausgangsdatsätze sind, wie im Regelfall, bereits einem KRS zugeordnet. Dieses unterscheidet sich jedoch für die einzelnen Datensätze aufgrund von Eigenschaften und Datenquellen und muss dementsprechend angepasst werden. Das Projekt-KRS bildet dafür die Grundlage. Es handelt sich dabei um ein KRS, welches für das gesamte Projekt vom Benutzer festgelegt wird. Um ein passendes KRS zu

bestimmen, muss zuvor ermittelt werden, in welcher Region sich das Ergebnis befinden wird und welcher Maßstab geeignet ist. Zusätzlich können noch weitere spezielle Eigenschaften hinzukommen, die ein KRS für bestimmte Zwecke besonders geeignet macht. Es kann dabei auch durchaus vorkommen, dass es unterschiedliche geeignete KRS gibt. In diesem Fall kann prinzipiell frei gewählt werden, wobei die Wahl von bekannteren KRS bevorzugt werden sollte.

Das deutsche Nordseegebiet, wie es als Untersuchungsgebiet (UG) in 3.2 beschrieben wurde, bildet das Areal, für welches das Ergebnis, also die Standortegnung für einen Offshore-Hafen (OH), visualisiert werden soll. Aufgrund der Gebietseigenschaften eignen sich am besten das Europäische Terrestrisches Referenzsystem 1989 (ETRS89) oder das World Geodetic System 1984 (WGS84) als Koordinatenbezug. Rein deutsche Bezugssysteme sind aufgrund von Lage und Ausmaße des Gebiets eher ungeeignet. Da das ETRS89 den Standard auf europäischer Ebene bildet und das WGS84 für weltweite Zwecke ausgelegt ist, wird das ETRS89 gewählt. Nachdem der Koordinatenbezug feststeht, kann die Projektionsart bestimmt werden. Um das gesamte Ergebnis problemlos in einer einzelnen Karten darstellen zu können, wird ein Maßstab von 1:1.750.000 benötigt. Bei solchen Maßstäben eignet sich die Universale-Transversale-Mercator (UTM)-Projektion. Dafür ist es jedoch noch notwendig, die UTM-Zone zu ermitteln, welche einzig von der Lage des Darzustellenden abhängt. Das UG befindet sich vollständig in den Zonen 31N und 32N. Da es bei dieser Standortanalyse nicht notwendig ist, exakte Messungen an der Ergebniskarte durchzuführen und das Ziel der Darstellung ein allgemeiner Überblick ist, kann eine der beiden Zonen für das Gesamtgebiet gewählt werden. Es ist aber zu beachten, dass es bei der UTM-Abbildung am Zonenrand immer zu leichten Verzerrungen kommt. Dies ist besonders der Fall, wenn sich das Gebiet auf eine angrenzende Zone erstreckt und trotz dessen in einer Karte dargestellt werden soll. Eine korrekte Darstellung mithilfe der UTM-Projektion würde eine Karte für jede der beiden Zonen und damit zwei Ergebniskarten erfordern. Darauf wird in dieser Arbeit verzichtet. Letztendlich wurde das KRS mit dem European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG)-Code 25831 , also ETRS89 / UTM-Zone 31N gewählt.

4.4 Anpassung der Vektordaten

Alle Ausgangsdaten müssen, nachdem die grundlegende Frage des KRS geklärt ist, an die Situation angepasst werden. Das heißt, dass alle Datensätze, die auch nur zum Teil in die gleiche Karte eingebracht werden, zum identischen KRS transformiert werden müssen. Dies erfolgt durch die Neuzuwei-

sung des KRS in den Eigenschaften des jeweiligen GIS-Layers. Einem Layer kann dabei genau ein KRS zugeordnet werden. Es können aber aus dem gleichen Datensatz beliebig viele Layer erstellt werden, sodass es möglich ist, diesen in mehreren KRS abzubilden. Bei der Transformation ist zu beachten, dass es für den selben Vorgang verschiedene Transformationsformeln geben kann. Es wurden für alle Transformationen die Standardformel, also die aktuellste bzw. gebräuchlichste, verwendet, welche als solche vom GIS auch hervorgehoben wurde. Die so transformierten Ausgangsdaten sind in den Abbildungen 4.1 bis 4.4 zu sehen.

Da einige Datensätze über das UG weit hinaus gehen, ist es sinnvoll, diese um nicht Notwendiges zu reduzieren. Dadurch wird aktueller und zukünftiger Speicherplatz gespart und die benötigte Rechenzeit für die nachfolgenden Schritte gesenkt. Als notwendig wird dabei alles angesehen, was innerhalb des UG liegt oder bedeutende Wirkung auf dieses von außerhalb zeigt. Um dies möglich zu machen, muss zunächst ein Gebiet festgelegt werden, welches größer als das UG ist und dieses beinhaltet. Die genauen Ausmaße sind dabei irrelevant, sollten aber den Einfluss zu erstellender SFs berücksichtigen. Das so erstellte Gebiet zur Eingrenzung der Datenmenge wird als Untersuchungsgebiet-Basis (UGB) bezeichnet (Abb.: 4.5). Aufgrund der Form des UG und der zu erstellenden Ergebniskarte, welche eine rechteckige Form besitzen wird, variieren die Abstände zum UG zwischen ca. 20 km im Nordwesten und 90 km im Südosten. Es ist durchaus denkbar, mehrere UGBs zu erstellen, um zwischen weitreichenden und kleinräumigen SF zu unterscheiden oder eine individuelle Untersuchung des Einflussbereichs eines einzelnen SF zu berücksichtigen. Für diese Standortanalyse wird eine UGB als ausreichend angesehen. Die einzige Ausnahme bildet der SF „Bodenbewegung“, also letztendlich der Erdbebenkatalog. Aufgrund der potenziell weitreichenden Auswirkung von Erdbeben wird ein weiteres Gebiet, Erdbebengebiet-Basis (EGB), erstellt (Abb.: 4.5). Nachdem alle Ausgangsdatsätze auf die UGB bzw. EGB zugeschnitten wurden, müssen manche Datensätze noch direkt verändert werden, bevor Pufferzonen erstellt werden können. Anfang hierfür bildet der Punkt-Layer Häfen (Abb.: 4.1). In diesem werden bedeutende Hafenstädte grob mit einem Punkt markiert. Aufgrund der Bedeutung und Lage, sowie der offensichtlich höheren Schiffsverkehrsdichte (Abb.: 4.4) in der Umgebung und auf Strecken von und nach Esbjerg (Esberg), wurde diese dänische Stadt als Hafenpunkt hinzugefügt. Ebenso wurde ein Hafenpunkt für die Stadt Emden erstellt. In beiden Fällen wurde ein willkürlicher Punkt innerhalb der Stadt gewählt, da sich die anderen vorgegebenen Hafenpunkte weder direkt am Hafen noch in der Stadtmitte befinden und so eine exakte Position beider bedeutungslos machen. Zusätzlich ist diese Genauigkeit in dem Ergebnismaßstab (1:1.750.000) für den gewähl-

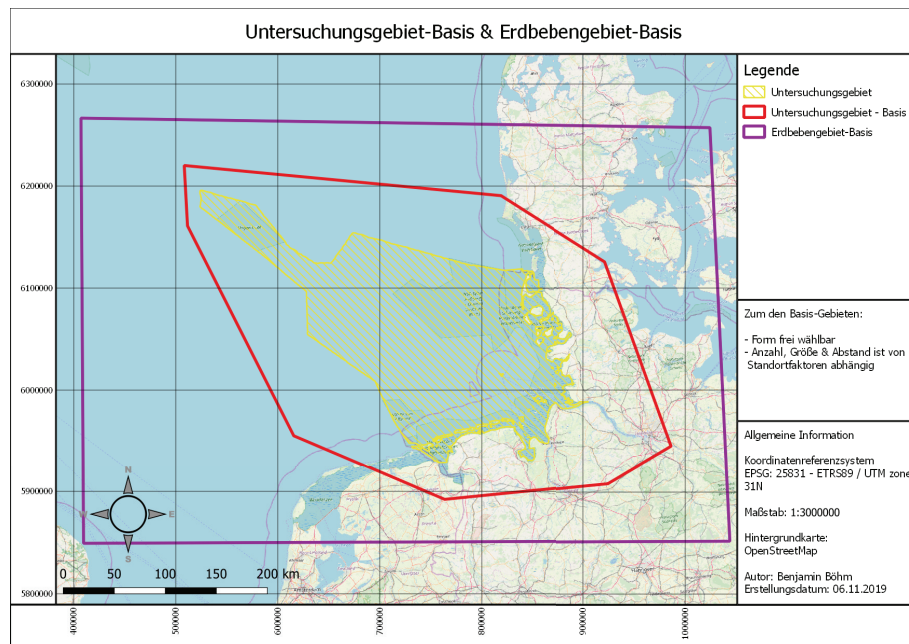


Abbildung 4.5: Basis-Gebiete für die Datenreduktion

ten Zweck des SF ausreichend. Einträge in die Attributtabelle des Layers sind für beiden neuen Punkte, mit Ausnahme der Objekt-ID, optional. Einträge wie Stadtnamen sind für die weitere Betrachtung nicht notwendig. Von Bedeutung ist lediglich die allgemeine Position und das Wissen, dass es sich um ein Hafenobjekt handelt.

Neben den Hafenpunkten müssen auch Veränderungen an dem Straßen-Layer erfolgen, damit ein sinnvoller SF für die Straßennetzanbindung gebildet werden kann. Straßen sollen dabei das Potenzial für neue Hafenstrukturen an Land darstellen, wodurch nur Straßen mit großer Kapazität von Interesse sind. Um eine ausführliche Analyse der Straßenkapazität zu vermeiden, wird vereinfacht angenommen, dass nur Straßen von Typ Autobahn bzw. Motorway dieser Kapazitätsanforderung gerecht werden. Das heißt, dass diese Typen von allen Straßen ausgewählt und extrahiert werden müssen. Der Straßentyp ist bei diesen Ausgangsdaten als Attribut indirekt angeben, sodass über die Attributtabelle eine einfache Auswahl-Abfrage (4.1) durchgeführt werden muss.

$$\text{"BEZ" like '%A%' OR "BEMERKUNG" = 'motorway'} \quad (4.1)$$

Es werden mit dieser Abfrage alle Objekte des aktuellen Layers, also alle Straßen, durchsucht und es wird überprüft, ob der Wert im Feld für „BEZ“

dem Ausdruck „%A%“ ähnelt oder der Wert im Feld „BEMERKUNG“ identisch mit „motorway“ ist. „%A%“ steht dabei für eine beliebige Anzahl und Art von Zeichen, gefolgt von einem „A“, gefolgt von einer beliebigen Anzahl und Art von Zeichen, also jeder Ausdruck, der ein großes „A“ enthält. So können klassische Autobahnbezeichnungen, wie „A3“ oder „E31#A61“, erkannt werden. Da aber nicht alle Straßen eine eingetragene Bezeichnung haben, wird zusätzlich noch die Bemerkung auf „motorway“ berücksichtigt. Stimmt eins der beiden Statements überein, wird das Objekt ausgewählt. Alle ausgewählten Objekte können exportiert und neu eingeladen werden, wodurch diese im Anschluss separat vom gesamten Straßennetz zur Verfügung stehen. Zwei weitere noch zu verändernden Layer stellen Teile des Verkehrstrennungsgebiets in der deutschen Bucht dar. In beiden Fällen handelt es sich um Polygonflächen und mit Ausnahme von potenziellen Ungenauigkeiten überlappen sie sich nicht. Aufgrund der Tatsache, dass neben der Fläche und Lage weitere Attribute keine Rollen für die Bildung von SFs spielen, ist es naheliegend beide einfach zu kombinieren. Diese Kombination wird über das Geoverarbeitungswerkzeug „Vereinigung“ durchgeführt. Anschließend können die vielen einzelnen Objekte zu einem Objekt zusammengeführt werden, was den Vorteil hat, dass innere Grenzen zwischen Verkehrstrennungsgebiet und Verkehrstrennungsgebiet gelöscht werden. Dieser Prozess wird „Auflösung“ genannt.

Zum Abschluss muss noch das BVP vorbereitet werden, da in der zugehörigen Attributtabelle die Eigenschaft, ob BVP vorhanden ist, nur mit Buchstaben für „ja“, „nein“ und „keine Angabe“ gekennzeichnet ist. Für die spätere Arbeit dürfen aber ausschließlich Zahlen vorhanden sein. Dementsprechend wird eine neue Spalte in der Tabelle erstellt, welche ihre Felder automatisch auf Grundlage der Buchstaben berechnen lässt. Bei „ja“ und „keine Angabe“ wird eine 0 eingetragen und bei „nein“ eine 1, sodass direkt eine Eignung von 0% oder 100% abgeleitet werden kann.

Das Ergebnis dieser ersten Anpassung ist nun, dass alle Ausgangsdaten mit ihren dazugehörigen Layern im KRS des Projektes sind, die Hafenpunkte passend erweitert wurden, einzig Autobahnen vom Straßennetz noch relevant sind, das Verkehrstrennungsgebiet durch ein einzelnes Polygon bzw. Multi-Polygon gebildet wird und das BVP Zahlen als Bewertungsgrundlage in der Attributtabelle enthält.

4.5 Erstellung von Pufferzonen

Nachdem die Vektorlayer passend vorbereitet wurden, ist es nun möglich Pufferzonen zu erstellen. Es handelt sich dabei um Gebiete, die sich vom Objekt

aus, also von Punkten, Linien oder Flächen, bis zu einem festgelegten Abstand erstrecken (Abb.: 4.8). Dieser Abstand ist dabei auf allen Seiten des Objektes gleich groß. Es werden insgesamt drei gewöhnliche Pufferzonen für Vektorlayer erstellt. Den Anfang bilden die OWPs aus dem CONTIS-Datensatz. Wie schon in 3.4 erwähnt, muss für diese ein Sicherheitsabstand von 500m beachtet werden, welcher sich perfekt durch Puffer darstellen lässt (Abb.: 4.6). Realisiert wird das Ganze über das QGIS-Geoverarbeitungswerkzeug

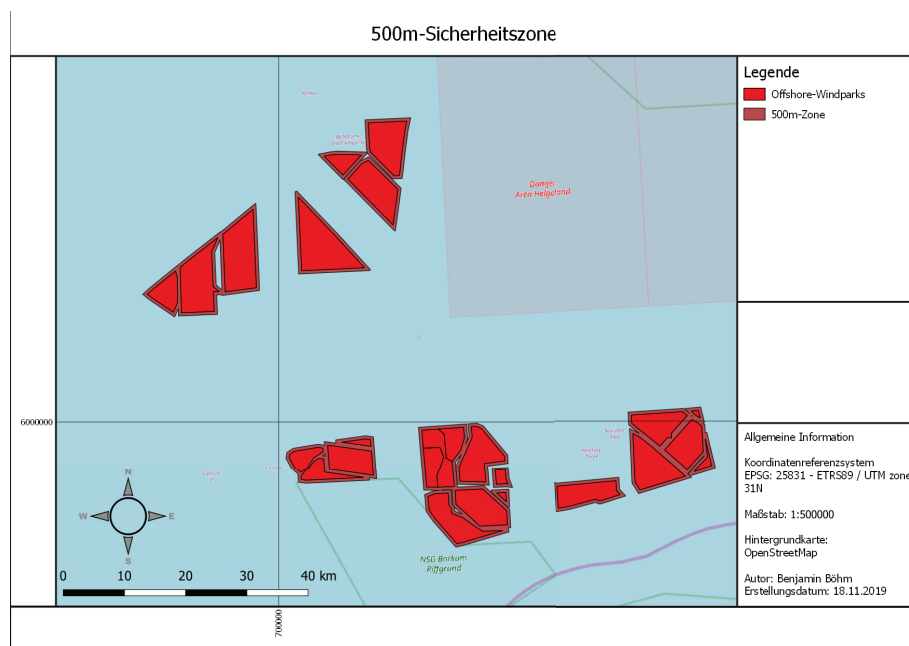


Abbildung 4.6: Offshore-Windparks mit 500m-Sicherheitszone

„Puffer“. Dafür muss nur der gewünschte Layer eingestellt und der passende Abstand eingetragen werden. Wichtig ist es dabei, auf die Einheit zu achten, da diese in vielen Werkzeugen vom KRS übernommen wird. Oftmals kann die Einheit jedoch auch manuell eingestellt werden. Dieser Prozess wird noch für zwei weitere Vektorlayer wiederholt. Bei beiden handelt es sich um Seewege. Einmal kommen die Seewege dabei aus den DLM1000-Daten, welche etablierte Fährverbindungen darstellen und das andere Mal stammen sie aus den INSPIRE Water Transport Network. Die Zweiteren sind dabei eher geplante Korridore für den Schiffsverkehr. Beide sind vorerst nur als Linien dargestellt und haben deshalb keine vorgegebene Breite. Um für diese Ausschlussflächen zu erstellen, sind die Pufferzonen notwendig. Der Abstand für dabei für die Fährverbindungen auf 500m gelegt, was eine Gesamtbreite von 1000m ergibt, da der Puffer auf allen Seiten gleich angebracht wird. Für die

Schiffskorridore der INSPIRE-Daten werden 1000m pro Seite angebracht, da davon ausgegangen werden kann, dass dort sehr viel größere Schiffe unterwegs sind. Das Verkehrstrennungsgebiet, welches sich ebenfalls unter den INSPIRE-Daten befindet, bekommt jedoch keine zusätzlichen Pufferzonen, da es schon als Fläche dargestellt ist. Anschließend werden alle Vektorlayer, die Seewege darstellen, vereinigt und aufgelöst, sodass es nur noch einen relevanten Layer dafür gibt (Abb.: 4.7).

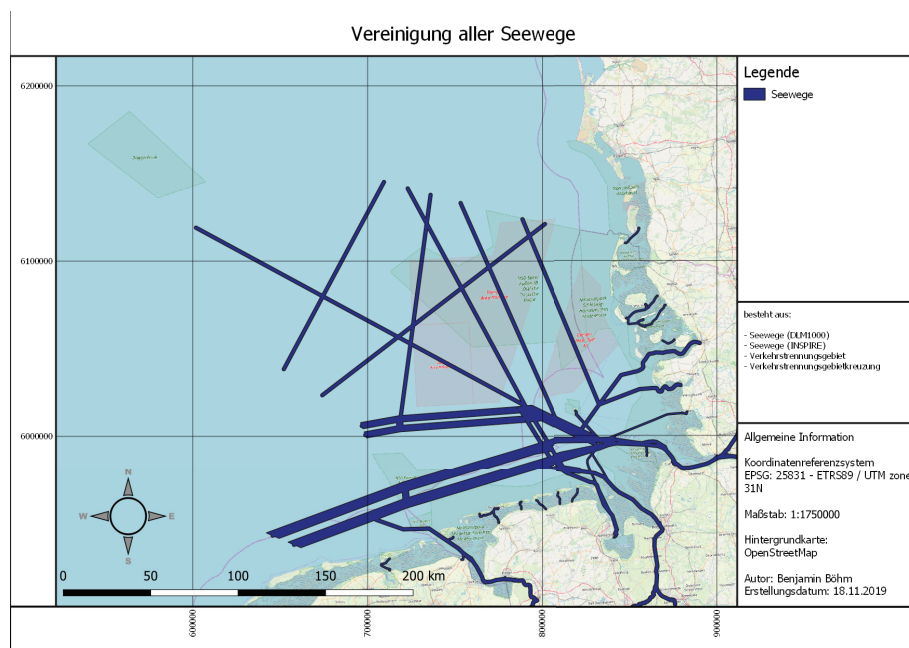


Abbildung 4.7: Vereinigter Vektorlayer für alle Seewege-Daten

Für alle SFs, dessen Bewertungsgrundlage die Distanz des OH zum Objekt ist, müssen zusätzlich Entfernungsstufen berechnet werden, welche im späteren Verlauf eine Eignungszuweisung ermöglichen. Dafür müssen viele weitere Puffer in einem iterativen Prozess erstellt werden. Das Prinzip dabei ist, dass ein Objekt einen Puffer mit fixem Abstand bekommt, dieser erstellte Puffer als neues Objekt gesehen wird und anschließend selbst einen Puffer mit dem gleichen Abstand bekommt. Anstatt dies mit dem gewöhnlichen Puffer-Werkzeug durchzuführen, kann der Prozess mit der QGIS-Erweiterung „MultiDistanceBuffer“ vereinfacht werden. In dieser können der Abstand und die Anzahl der Puffer für einen Layer eingeben und alle in einem Durchgang erstellt werden. Dieses Tool wird so für die folgenden Vektorobjekte benutzt: Häfen (Anhang 9), Reeden (Anhang 10), Seewege (Anhang 11), Bahngleise (Anhang 12), Straßen (Anhang 13). Der Abstand der einzelnen Puffer wird



Abbildung 4.8: Schematische Darstellung von Pufferzonen

dabei auf 1000m festgelegt und die Anzahl der Iterationen auf 200. Dies ermöglicht bei dem Ergebnismaßstab von 1: 1.750.000 ein Vermeiden der Stufenwirkung und einen natürlich wirkenden Übergang, ohne dass die Rechenzeit zu lang wird. Der letzte Puffer liegt so zwischen 199km und 200km vom Objekt entfernt. Ab diese Entfernung wurde für die SFs auch eine Eignung von 0% festgelegt (Kapitel 3). Alle so erstellten Puffer, die auf dem Abstand vom selben Objekt beruhen, werden Multipuffer genannt (Abb.: 4.8).

Für Reeden, Bahngleise und Straßen ergibt sich das Problem, dass durch die Maximaldistanz von 199km bzw. 200km nicht das gesamte UG durch den Multipuffer überdeckt ist. Dies wird dadurch gelöst, dass ein neues Polygon für die Restfläche erstellt und anschließend mit dem Puffer der Maximaldistanz, also dem, der den Bereich von 199km bis 200km darstellt, vereinigt und aufgelöst wurde. Dabei erfolgt die Erstellung des neuen Polygons mithilfe einer manuellen Zeichnung, welche im Anschluss am UG und dem aktuellen Multipuffer geschnitten wird. Durch dieses Vorgehen werden kleinste Lücken oder Überlappungen vermieden.

Einzige Ausnahme beim Erstellen von Multipuffern bilden Häfen. Hier werden anstelle von 200 Iterationen 400 verwendet, sodass das gesamte UG problemlos überdeckt wird. Dies soll hervorheben, dass der Einflussbereich von

Häfen weiter reicht, als der von z.B. Straßen, welche wahrscheinlich neue Häfen als Transferpunkte benötigen würden.

Nachdem benötigte Puffer bzw. Multipuffer gebildet wurden, können alle Flächen vereinigt und aufgelöst werden, die Ausschlussgebiete darstellen. So entsteht eine einzige Fläche für Reeden, OWPs inklusive 500m-Zone, Schutzgebiete und Seewege. Dabei ist aber immer nur die Fläche des Objektes selbst gemeint und nicht die erstellten Multipuffer.

4.6 Umwandlung zu Rasterdaten

Vektor- und Rasterdaten unterscheiden sich in der Hinsicht, dass Vektordaten bestimmen, ob sich etwas an einem Ort oder in einem Bereich befindet, während Rasterdaten für einzelne Bereiche Werte angeben. Da das Ziel dieser Analyse eine Darstellung der Standorteignung ist, empfiehlt es sich, diese über Rasterwerte darzustellen. Aufgrund der Tatsache, dass alle Ausgangsdaten in Vektorform vorgelegen haben und aus der bisherigen Arbeit nur Vektorlayer als vorläufiges Ergebnis hervorgegangen sind, wird es nun notwendig, diese Layer in Raster umzuwandeln. Bei der Umwandlung ist darauf zu achten, dass die Grundeinstellungen, vor allem Rasterdimensionen, gleich gehalten werden, denn es wird noch zu Kombinationen verschiedener Rasterlayer kommen. Verschiedene Einstellungen könnten zu Berechnungsfehlern führen oder die Kombination an sich unmöglich machen. Es wird die Konvertierungsmethode „Rastern“ gewählt, welche standardmäßig zur Verfügung steht.

Generell wird für alle Umwandlungen festgelegt, dass die Ausdehnung der Raster dem Vektorlayer der Bathymetrie entspricht, was dem kleinstmöglichen Rechteck gleichkommt, welches den Bathymetrie-Layer, wie er aktuell dargestellt wird, beinhaltet. Zusätzlich wird die Zellengröße des Rasters immer auf 100m x 100m gelegt. Durch diese Zellengröße kann beim vorliegenden Maßstab vermieden werden, dass der Zellenübergang zu sehen ist. Optional ist es, den Leerwert aller Raster gleich zu setzen. Dies kann den Vorteil haben, Wertverwechslungen zu vermeiden und kurze, runde Leerwerte einzustellen. Aus diesem Grunde wird der Leerwert hier generell auf -100 gesetzt. Das Einzige, was bei den verschiedenen Konvertierungen unterschiedlich eingestellt werden muss, ist der zugrundeliegende Vektorlayer und der einzubrennende Pixelwert.

Konvertiert werden so die Vektorlayer für Bathymetrie und BVP, die Multipuffer der Häfen, Seewege, Reeden, Bahngleise und Straßen, sowie die zusammengeführten Ausschlussgebiete. Bei der Bathymetrie wird einfach die in der Attributtabelle des Layers bereits vorhandenen Teufe als Pixelwert eingebrannt.

Beim BVP wird der vorbereitete Wert benutzt. Für alle Multipuffer kann jeweils die Distanz eingebrannt werden, wobei einheitlich entweder die innere oder äußere Distanz gewählt werden sollte. Beim Layer für Ausschlussgebiete wird ein fester Pixelwert von „0“ gesetzt, weil es hierbei nur interessiert, ob eine Zelle innerhalb der Ausschlussgebiete liegt oder außerhalb dieser.

Nach diesen Konvertierungen befindet sich aber noch immer ein benötigter Layer im Vektorformat: Der angepasste Erdbebenkatalog. Aufgrund der in Sektion 3.3 beschriebenen Wertung, bietet sich eine andere Option für diesen an. Abstand in Verbindung mit Menge lässt sich oft, wie in diesem Fall, gut durch eine Heatmap darstellen. Dabei wird ein Radius von 100km eingestellt, in welchem die Anzahl der Erdbeben ermittelt wird, sowie eine Zellengröße von 100m x 100m. Auf eine zusätzliche Gewichtung, beispielsweise aufgrund von Stärke auf der Richterskala, wird verzichtet, da die Datengrundlage dafür zu inkonsistent ist. Bei der resultierenden Heatmap handelt es sich um einen Rasterlayer.

4.7 Bildung der Standortfaktoren

Um aus den vorhandenen Rasterlayern echte Layer für SFs zu machen, so dass diese für die Ergebnisberechnung genutzt werden können, müssen diese noch weiter angepasst werden. Dabei geht es darum, aus den aktuellen Pixelwerten, die auf Feldwerten basieren oder manuell gesetzt wurden, neue Pixelwerte zu berechnen. Diese Berechnung beruht auf der Beschreibung der einzelnen SFs und soll Werte zwischen 0 und 1 ergeben. Die Werte sollen dabei die Eignung der Zelle für den OH auf Basis des einzelnen Faktors darstellen. Die meisten Neuberechnungen von Pixelwerten werden mithilfe des QGIS-Werkzeugs „Rasterrechner“ durchgeführt. In diesen müssen nur die passenden Statements für die Berechnung und die Layerausdehnung eingegeben werden. Die Layerausdehnung entspricht dabei immer der Ausdehnung der bereits erstellten Raster und basiert demnach auch auf der Ausdehnung des Vektorlayers der Bathymetrie. Ein „@“ gefolgt von einer Zahl innerhalb der Berechnungsformeln symbolisiert die Bandnummer des vorangestellten Rasterlayers.

Standortfaktor Ausschlussgebiete Ausgangsraster für die Bildung des SF für Ausschlussgebiete sind der zuvor zusammengeführte und konvertierte Layer der Ausschlussgebiete und der Rasterlayer für Bathymetrie, welcher in „Wassertiefe“ umbenannt wurde. Da sich immer nur eine Eignung von 0% oder 100% ergeben kann, abhängig davon, ob die aktuelle Zelle innerhalb des Ausschlussgebietes (0%) oder außerhalb (100%) liegt, müssen keine

Vorberechnungen durchgeführt werden. Jede Rasterzelle bekommt durch die Formel 4.2 immer dann den Wert 1, wenn sie sich außerhalb der Ausschlussgebiete befindet und gleichzeitig die Wassertiefe mindestens 20m ist. Dabei ist zu beachten, dass im Rasterlayer „Ausschlussgebiete“ die OWPs mit Sicherheitszone, die Schutzgebiete, Reeden und Seewege enthalten sind und mit dem Wert „0“ dargestellt werden. Das Ergebnis dieser Berechnung ist eingefärbt in Abb.: 4.9 zu sehen.

$$("Ausschlussgebiete@1" \neq 0) \text{ AND } ("Wassertiefe@1" \geq 20) \quad (4.2)$$

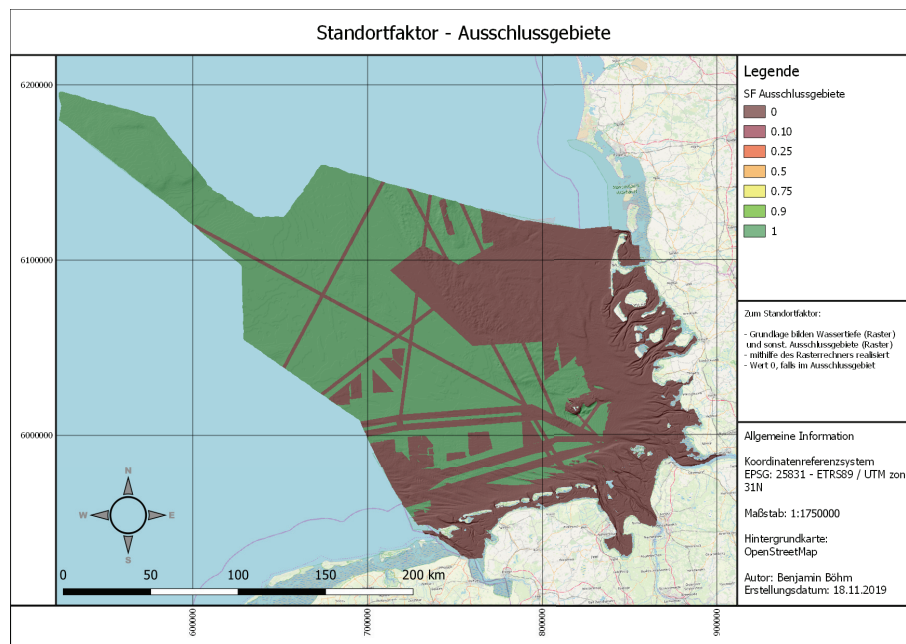


Abbildung 4.9: Standortfaktor der Ausschlussgebiete

Standortfaktor Bodenbewegung Der Beschreibung zufolge (Sektion 3.3), muss die Anzahl zwischen 0 und 10 in der Erdbeben-Heatmap einer Eignung von 100% bis 0% im SF entsprechen. Da eine Anzahl von 0 Erdbeben nur durch den Leerwert von -100 innerhalb der Heatmap angegeben ist, muss dieser Wert einer Eignung von 100% entsprechen. Ebenso gilt, dass es bei mehr als 10 Erdbeben eine Eignung von 0% gibt. Diese Umrechnung wird mithilfe der Formel 4.4 realisiert. Dabei ist „x“ mit „Erdbeben EG - Heatmap@1“, also dem Zellenwert aus dem ersten Band der Erdbeben-Heatmap,

zu ersetzen. „+“ bedeutet die Kombination von Statements und ist nicht mit der Addition von Zahlen gleichzusetzen, sodass diese Formel besagt: Ist der Zellenwert kleiner als 0, dann ist die Ergebniszeile 1 (100%), da die Aussage wahr ist. Ist der Zellenwert größer oder gleich 0 und zur gleichen Zeit kleiner als 10, wird die zweite Aussage wahr und damit 1. Dadurch wird im Anschluss der Zellenwert direkt in den Ergebniswert umgerechnet. Die passende Umrechnungskomponenten (4.3) wurde zuvor aus dem vorhandenen und gewünschten Wertebereich durch Umstellung ermittelt. Der so erstellte SF ist in 4.10 zu sehen.

$$\frac{(x - 10)}{-10} \quad (4.3)$$

$$(x < 0) + \left[(x \geq 0 \text{ AND } x < 10) * \frac{(x - 10)}{-10} \right] \quad (4.4)$$

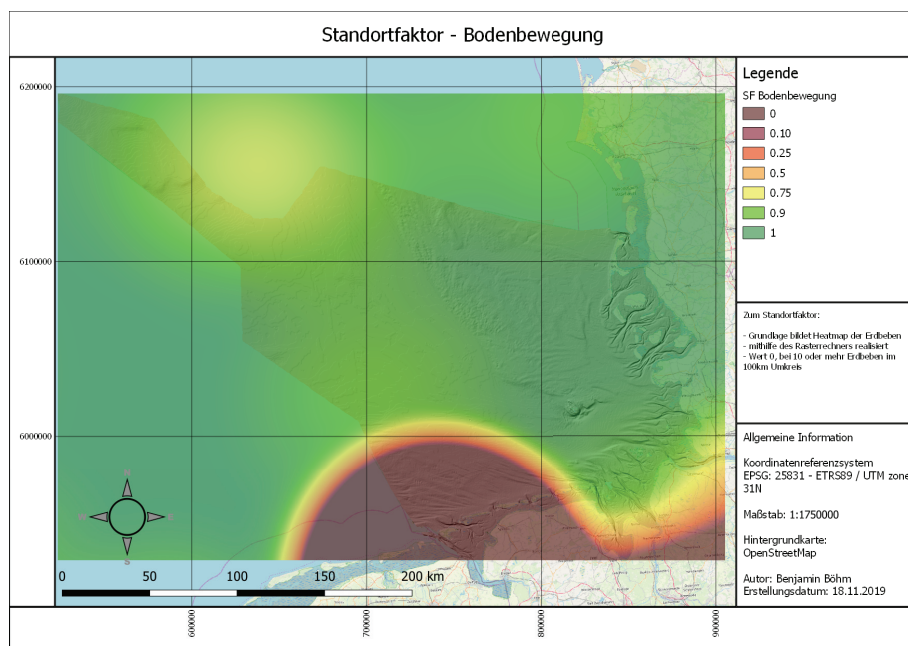


Abbildung 4.10: Standortfaktor der Bodenbewegung

Standortfaktor Bodenverflüssigungspotenzial Das Vorgehen beim BVP ist ein wenig anders. Hier werden die Zellwerte einfach auf das passende gesetzt. Dabei hilft das Rasteranalysewerkzeug „Neuklassifizieren nach Tabelle“. In diesem werden für Wertbereiche feste Werte vergeben. So wird direkt

eine Eignung von 100% und für 0% festgelegt. Dies ist möglich, weil der SF nur auf einen einzelnen Ausgangslayer basiert und keine weitere Berechnung durchgeführt werden muss. Die Darstellung erfolgt in Grafik 4.11.

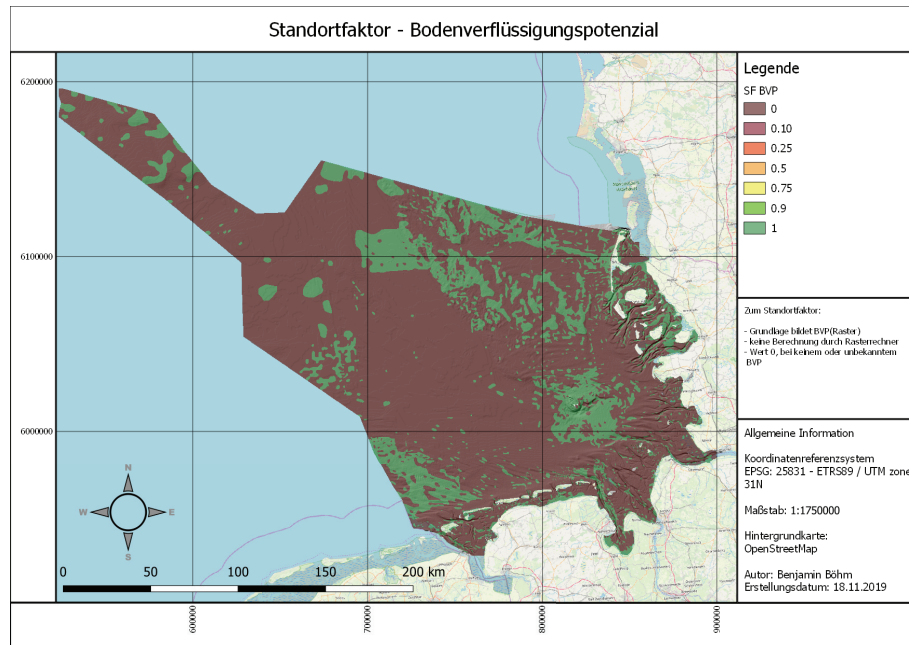


Abbildung 4.11: Standortfaktor des Bodenverflüssigungspotenzials

Standortfaktor Geländeneigung Ausgangspunkt ist der Rasterlayer für die Bathymetrie. Die Zellenwerte von diesem werden mithilfe des Rasterrechners mit -1 multipliziert, da momentan die Tiefe als Wert angegeben ist und die Höhe benötigt wird. Anschließend kann das Rasteranalysewerkzeug „Neigung“ benutzt werden, um eben diese generieren zu lassen. Dabei werden keine weiteren Optionen eingestellt und auch nicht die Seitenverhältnisse geändert. Resultat ist der Neigungslayer in Rasterform. Im gleichen Zuge wird auch die Schummerung mit dem Werkzeug „Schummerung“ erstellt, welche eine 3D-Wirkung der Höhendaten erzeugt. Diese wird in verschiedenen Karten, i.d.R. Ergebniskarten oder SFs, für eine bessere visuelle Wirkung in den Hintergrund gelegt. Mithilfe der passenden Formel (4.5) im Rasterrechner wird nun die Eignung laut Beschreibung des Standortfaktors (Sektion 3.3) im erstellten Layer dargestellt (Abb.: ??). Es war dabei nicht notwendig, bestimmte Wertebereiche festzulegen, weil sich alle vorhanden Neigungswerte

im passenden Bereich, zwischen 0 und 20, befunden haben.

$$\frac{\text{"Neigung@1"} - 20}{-20} \quad (4.5)$$

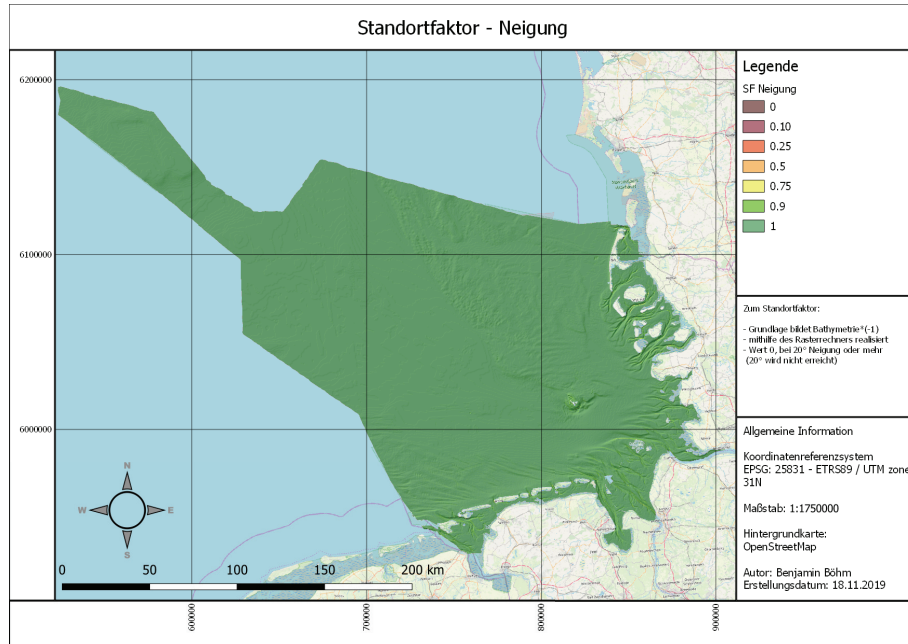


Abbildung 4.12: Standortfaktor der Neigung

Standortfaktor Wassertiefe Auch für den SF der Wassertiefe (Abb.: 4.13) wird grundsätzlich die Bathymetrie benötigt. Diese kann auch direkt umgerechnet werden, jedoch ist die Berechnungsformel (4.10) etwas komplexer, da verschiedene Wertebereiche abgebildet werden müssen. Prinzipiell wird in den Teilformel 4.6 bis 4.9 immer geprüft, ob sich x in dem speziellen Intervall befindet und bei einer wahren Aussage mit der passenden Umrechnungskomponenten verrechnet. Anstelle von „ x “ muss jeweils „Wassertiefe@1“ gesetzt werden. Die Umrechnungskomponenten der Teilformeln ergeben sich aus der Beschreibung in Sektion 3.3.

$$(x \geq 20 \text{ AND } x < 25) * \frac{x - 10}{20} \quad (4.6)$$

$$(x \geq 25 \text{ AND } x < 35) * \frac{x + 5}{40} \quad (4.7)$$

$$(x \geq 35 \text{ AND } x < 50) * \frac{x - 95}{-60} \quad (4.8)$$

$$(x \geq 50) * 0,75 \quad (4.9)$$

$$\text{Formel 4.6} + \text{Formel 4.7} + \text{Formel 4.8} + \text{Formel 4.9} \quad (4.10)$$

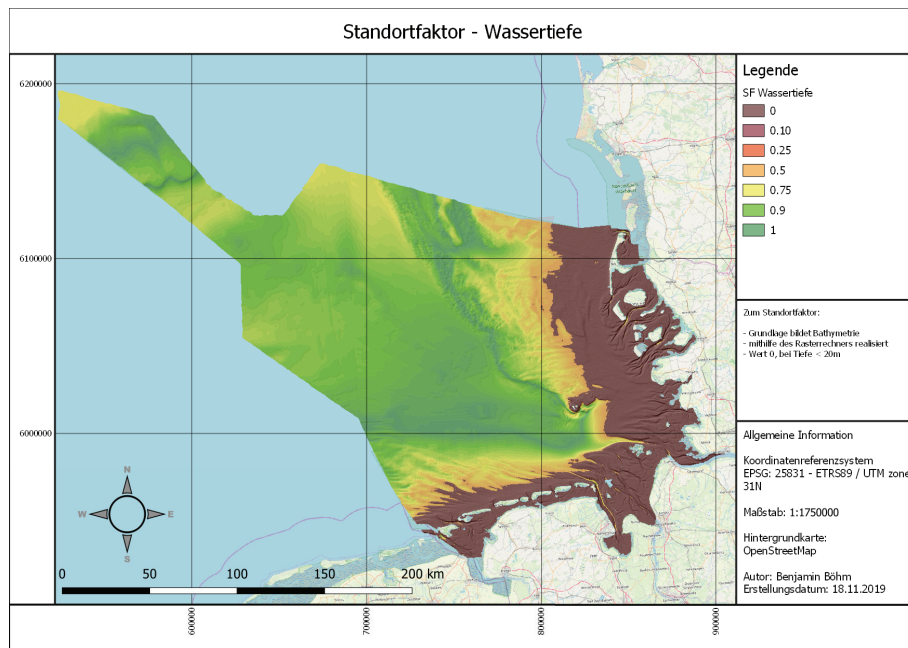


Abbildung 4.13: Standortfaktor der Wassertiefe

Standortfaktor Häfen Ausgehend vom Rasterlayer, welcher die Distanz zu Häfen widerspiegelt, werden für die Bildung dieses SF (Abb.: 4.14) den Distanzen zwischen der Minimalen und Maximalen einfach Werte zwischen 0 und 1 zugeordnet (Formel 4.11). Dabei handelt es sich bei der maximalen Distanz um „327.000m“ und bei der minimalen Distanz um „1.000m“. Auch hier wird durch „x“ der Zellenwert des Ausgangsrasters dargestellt.

$$\frac{x - 327000}{-326000} \quad (4.11)$$

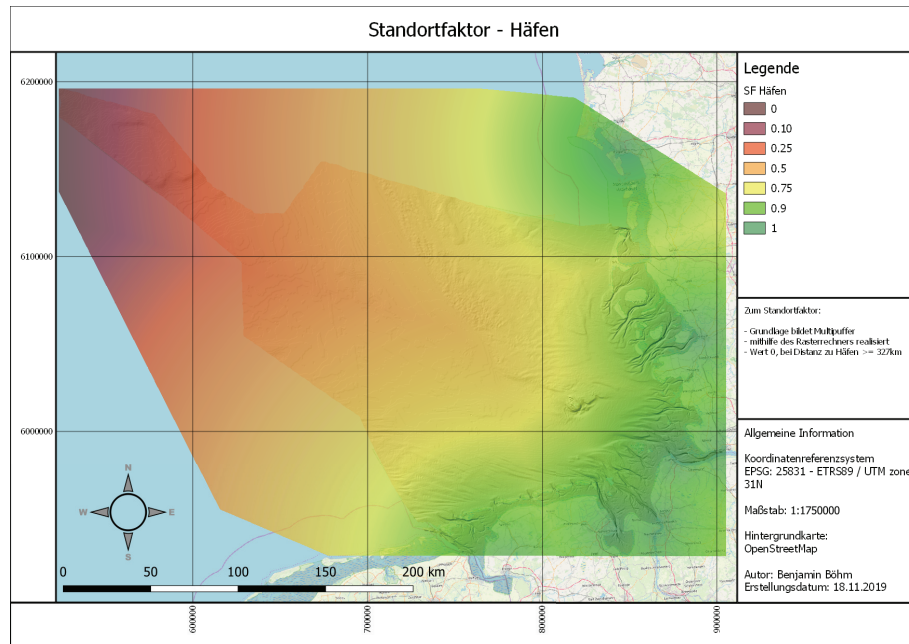


Abbildung 4.14: Standortfaktor der Häfen

Standortfaktor Schiffsverkehrsdichte Die Bildung des SF Schiffsverkehrsdichte (Abb.:4.15) erfordert die Klassifizierung des Ausgangsrasters, so dass die in Kapitel 3.5 beschriebenen Wertebereiche umgesetzt werden können. Ähnlich wie bei der Wassertiefe sind so verschiedene Unterformeln notwendig (Formel 4.12 bis 4.16), die dann in einer Gesamtformel mithilfe des Operators „+“ verbunden werden (Formel 4.17).

$$(x < 1) * \frac{x}{2} \quad (4.12)$$

$$(x \geq 1 \text{ AND } x < 3) * \frac{x + 3}{8} \quad (4.13)$$

$$(x \geq 3 \text{ AND } x < 5) * \frac{x + 7}{40} \quad (4.14)$$

$$(x \geq 5 \text{ AND } x < 10) * \frac{x + 40}{50} \quad (4.15)$$

$$(x \geq 10) \quad (4.16)$$

$$\text{Formel 4.12} + \text{Formel 4.13} + \text{Formel 4.14} + \text{Formel 4.15} + \text{Formel 4.16} \quad (4.17)$$

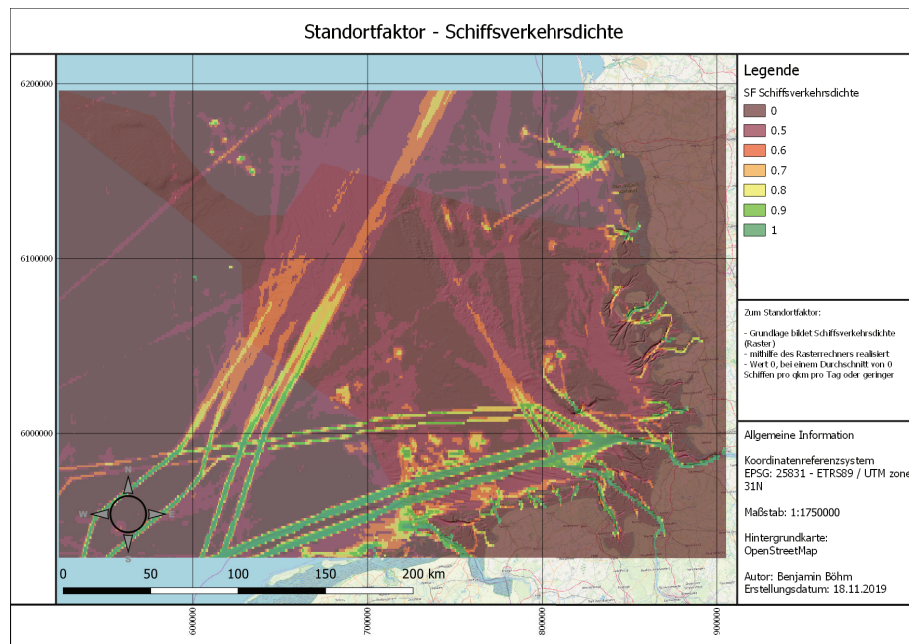


Abbildung 4.15: Standortfaktor der Schiffsverkehrsdichte (2017)

Standortfaktoren Reeden, Seewege, Schienennetzanbindung & Straßenanbindung Die SFs dieses Absatzes sind zusammengefasst worden, da die Bildung dieser identisch ist. Bei allen wird wieder der Rasterrechner benutzt und die Zellenwerte der Ausgangslayer werden durch eine einfache Umrechnung auf den Wertebereich von 0 bis 1 angepasst (Formel 4.18). Der Wertebereich der verschiedenen Ausgangslayer ist immer identische und stellt Distanzen zwischen 1.000m und 200.000m dar. Es muss nur dafür gesorgt werden, dass der Ausgangslayer immer dem passenden Rasterlayer entspricht, wodurch sich „x“ in den einzelnen Fällen ändert. Die erstellten SFs sind in Abb.: 4.16 bis 4.19 zu sehen.

$$\frac{x - 200000}{-199000} \quad (4.18)$$

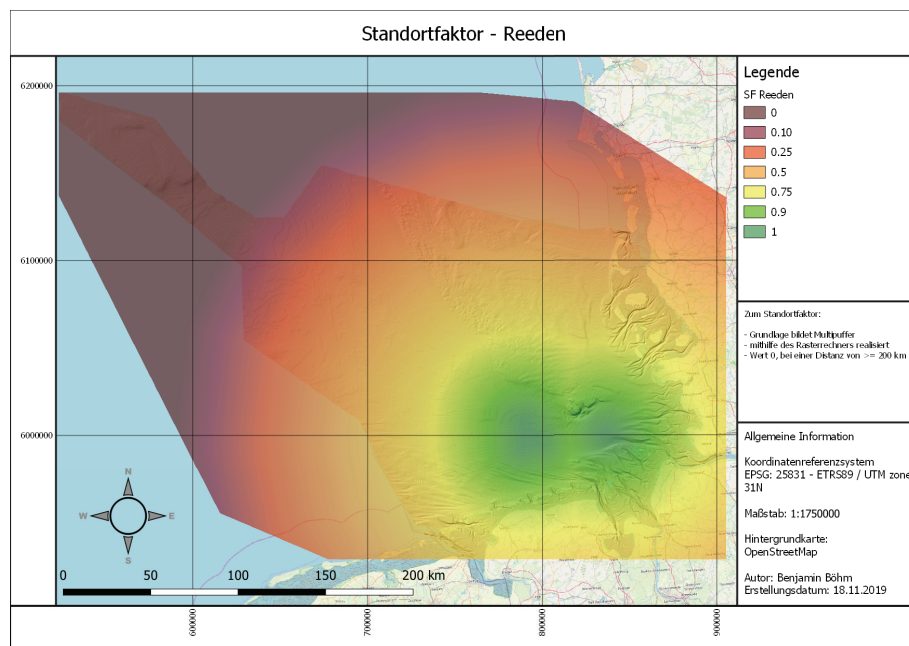


Abbildung 4.16: Standortfaktor der Reeden

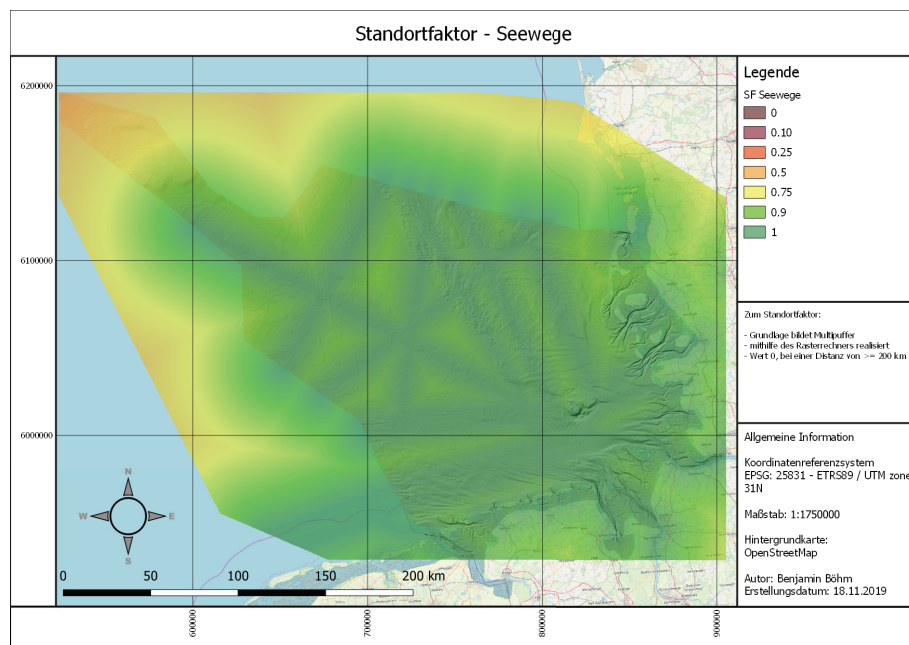


Abbildung 4.17: Standortfaktor der Seewege

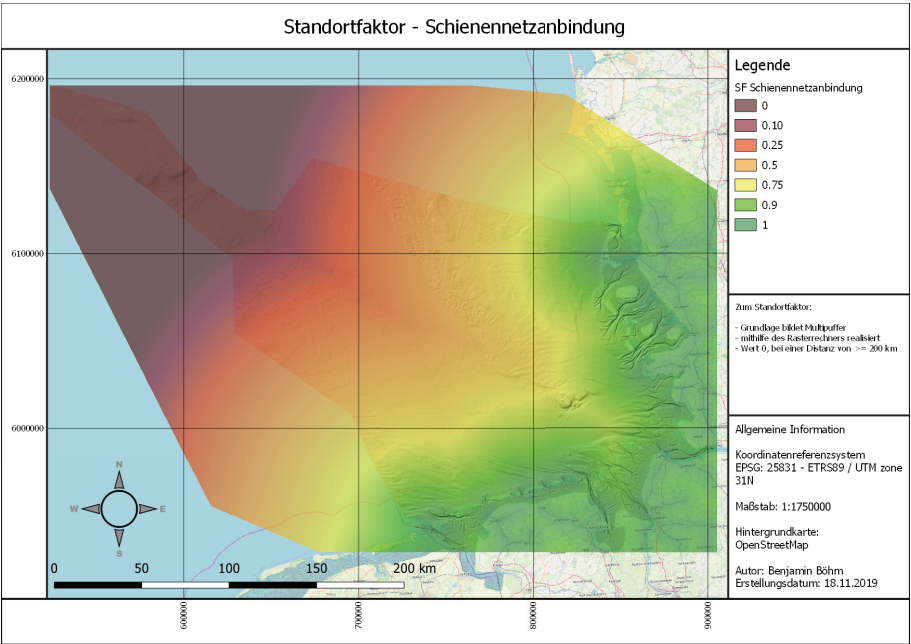


Abbildung 4.18: Standortfaktor der Schienennetzanbindung

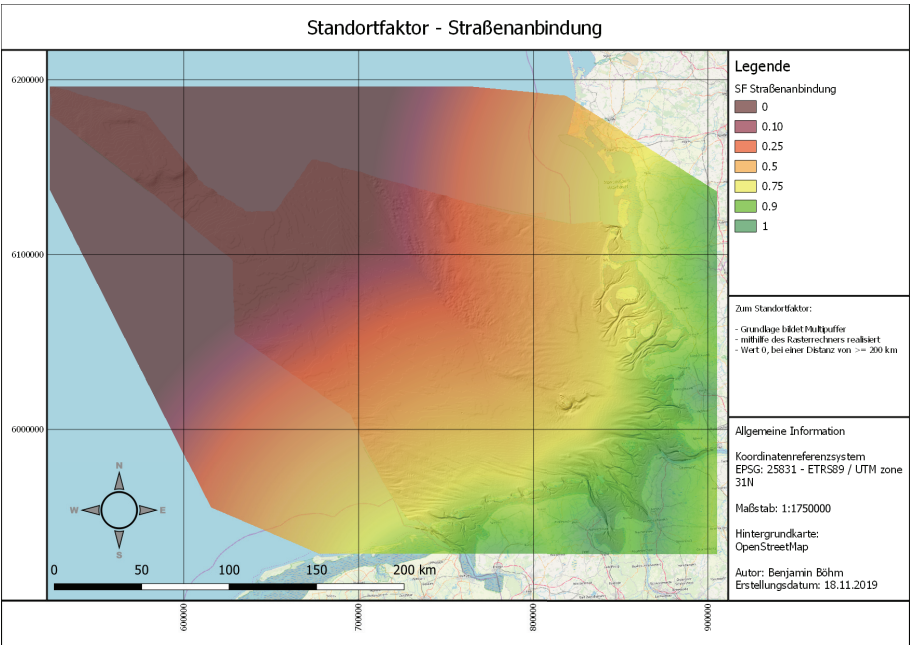


Abbildung 4.19: Standortfaktor der Straßenanbindung

4.8 Berechnung der Ergebnisse

Nachdem alle SFs erstellt wurden, können nun Ergebnisse für die Standorteignung eines OH berechnet werden. Dafür werden in dieser Arbeit drei Varianten dargestellt. Alle Varianten benutzen den Rasterrechner für die Kombination der SFs. Jede dieser Varianten wird dabei einmal unter Berücksichtigung der Ausschlussgebiete und einmal ohne Berücksichtigung dieser gebildet, um auch Veränderungen der Ergebnisse zwischen den Varianten innerhalb der Ausschlussgebiete sehen zu können. Die Ergebnisse werden prinzipiell ohne den Einfluss des SF Neigung berechnet, da dieser als ungeeignet betrachtet wird. Unterschiede zum Ergebnis mit Neigungseinfluss (Anhang 14 bis 16) sind minimal.

4.8.1 ohne Gewichtung

Die einfachste Variante der Ergebnisbildung ist die Kombination aller SFs ohne jegliche Gewichtung. Alle SFs gehen also zum selben Teil und unverändert in das Ergebnis ein. Da dabei die Eignungswerte einfach aufaddiert werden, muss zum Schluss durch die Gesamtanzahl der SFs geteilt werden, damit im Ergebnis die Eignung zwischen 0 und 1 dargestellt wird. Die Reihenfolge der einzelnen SF spielt dabei keine Rolle und kann beliebig gewählt werden. Es ergibt sich so die Formel 4.19 bei unberücksichtigten Ausschlussgebieten (Abb. 5.2) und 4.20 bei Berücksichtigten (Abb. 5.1). „ SF_i “ kann dabei die SFs Bodenbewegung, BVP, Wassertiefe, Häfen, Reeden, Schiffsverkehrsdichte, Seewege, Schienennetzanbindung und Straßenanbindung darstellen. Die Neigung wird, wie zuvor erwähnt, nicht berücksichtigt und Ausschlussgebiete stellen einen besonderen SF dar, welcher nicht in „ SF_i “ mit einbezogen wird.

$$Ergebnisl = \frac{\sum_{i=1}^9 SF_i}{9} \quad (4.19)$$

$$Ergebnis = (SF \text{ Ausschluss} \neq 0) \cdot \frac{\sum_{i=1}^9 SF_i}{9} \quad (4.20)$$

4.8.2 Ranking

Beim Ranking geht es darum, aufgrund einer gebildeten Reihenfolge Gewichtungen zu verteilen und so die Wirkung von einzelnen SFs zu verstärken

oder zu vermindern. Grundlage für eine solche Reihenfolge bilden die gesetzten Prioritäten, welche in den Beschreibungen der SFs zu finden sind. Aus dem Rang wird mithilfe der Formel 4.21 die Gewichtung berechnet. Eine Übersicht für Rangfolge und Gewichtung ist in Tabelle 4.2 zu finden.

$$\text{Gewicht} = \text{Anzahl} - \text{Rang} + 1 \quad (4.21)$$

Standortfaktor	Rang	Gewicht
Wassertiefe	1	9
Seewege	2	8
Schiffsverkehrsdichte	3	7
Häfen	4	6
BVP	5	5
Reeden	6	4
Schienennetzanbindung	7	3
Straßenanbindung	7	3
Erdbeben	9	1

Tabelle 4.2: Ranking: Rangfolge und Gewichtungen

Um die neuen Gewichtungen einzubringen, müssen die Formeln 4.19 und 4.20 angepasst werden. Es gibt dabei jeweils an zwei Stellen Veränderungen. Zum einen wird der Wert des SF nun mit dem Gewicht multipliziert und zum anderen wird durch die Summe aller Gewichte geteilt, anstatt der Anzahl aller SFs. Es bilden sich die Formeln 4.22 und 4.23. Mithilfe dieser neuen Formeln können die Ergebnisse des Rankings berechnet werden (Abb. 5.4 und Abb. 5.3).

$$\text{Ergebnis} = \frac{\sum_{i=1}^9 (\text{Gewicht}_i \cdot \text{SF}_i)}{\sum_{i=1}^9 \text{Gewicht}_i} \quad (4.22)$$

$$\text{Ergebnis} = (\text{SF Ausschluss} \neq 0) \cdot \frac{\sum_{i=1}^9 (\text{Gewicht}_i \cdot \text{SF}_i)}{\sum_{i=1}^9 \text{Gewicht}_i} \quad (4.23)$$

4.8.3 kategorisiertes Ranking

Das kategorisierte Ranking unterscheidet sich vom normalen Ranking durch einen Kategoriefaktor (KF), welcher die Gewichtung beeinflusst. Grundsätzlich werden die SFs dabei in zwei Kategorien eingeteilt: Land und Wasser. Ziel soll es sein, den Einfluss der Entfernung zum Land zu reduzieren. Um das zu erreichen, wird der KF für „Land“ auf 1 gesetzt und der für „Wasser“ auf 2. Das bedeutet, dass die Gewichtung für SFs der Kategorie „Land“ unverändert bleibt, während sich die Gewichtung aller SFs der Kategorie „Wasser“ verdoppelt. Die Rangfolge des normalen Rankings wird beibehalten. Die neuen Endgewichtungen (EGs) sind in Tabelle 4.3 abgebildet.

Standortfaktor	Rang	Gewicht	KF	EG
Wassertiefe	1	9	2	18
Seewege	2	8	2	16
Schiffsverkehrsdichte	3	7	2	14
Häfen	4	6	1	6
BVP	5	5	2	10
Reeden	6	4	2	8
Schienennetzanbindung	7	3	1	3
Straßenanbindung	7	3	1	3
Erdbeben	9	1	2	2

Tabelle 4.3: kategorisiertes Ranking: Rangfolge und Gewichtungen

Die Berechnung der Ergebnisse des kategorisierten Rankings (Abb. 5.6 und 5.5) erfolgt mithilfe der Formeln des normalen Rankings, wobei das Gewicht mit dem EG ersetzt werden muss (Formeln 4.24 und 4.25).

$$Ergebnis = \frac{\sum_{i=1}^9 (EG_i \cdot SF_i)}{\sum_{i=1}^9 EG_i} \quad (4.24)$$

$$Ergebnis = (SF \text{ Ausschluss} \neq 0) \cdot \frac{\sum_{i=1}^9 (EG_i \cdot SF_i)}{\sum_{i=1}^9 EG_i} \quad (4.25)$$

Zusätzlich werden mithilfe dieser Variante der Ergebnisberechnung zwei weitere Ergebnisse erstellt, welche die Schiffsverkehrsdichte (SVD) als SF ausschließen (Abb. 5.8 und 5.7). Dabei werden die EGs aller anderen SFs beibehalten und es ändert sich nur die Summer aller EGs und die Anzahl der SFs. Diese Anzahl ändert sich durch Ausschluss der SVD von 9 auf 8, was sich innerhalb der Summenbildung widerspiegelt (Formeln 4.26 und 4.27). Grund für diese besondere Betrachtung ist die unregelmäßige Verteilung der SVD im UG und ihr hoher Zusammenhang mit Seewegen. Es entsteht der Eindruck einer verstärkten Wertung der Seewege, was in den zusätzlichen Ergebnissen durch den Ausschluss der SVD verhindert wird.

$$Ergebnis = \frac{\sum_{i=1}^8 (EG_i \cdot SF_i)}{\sum_{i=1}^8 EG_i} \quad (4.26)$$

$$Ergebnis = (SF \text{ Ausschluss} \neq 0) \cdot \frac{\sum_{i=1}^8 (EG_i \cdot SF_i)}{\sum_{i=1}^8 EG_i} \quad (4.27)$$

Kapitel 5

Auswertung

5.1 Ergebnisbetrachtung

Bevor auf die verschiedenen Ergebnisse direkt eingegangen wird, lassen sich allgemeine Aussagen zu Auffälligkeiten treffen, die in allen Ergebnissen vorhanden sind. Ein sich nicht veränderndes Merkmal stellen dabei die Ausschlussgebiete da, denn ihre Wertung liegt immer bei 0 und ihre Form wird beibehalten, sofern es sich um die Standarddarstellungen der Ergebnisse handelt. Sie belegen den gesamten küstennahen Bereich und zusätzlich große Flächen im Süden und Nordosten des UG. Innerhalb dieser Bereiche wird es nicht ohne weiteres möglich bzw. zweckmäßig sein, einen OH zu errichten oder zu betreiben. Eine zweite Auffälligkeit bildet das Gebiet südlich von Helgoland im Südosten des UG. In jedem der erstellten Ergebnisse ist dort eine Standorteignung von ca. 0,9 vorzufinden, was eine nahezu perfekte Eignung für den OH bezogen auf die verwendeten SFs darstellt. Ebenso ist in allen Ergebnissen erkennbar, dass die Standorteignung mit zunehmender Entfernung zur Küste stetig abnimmt. Dies ist vor allem auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Entfernung zu landbasierter Infrastruktur als Grundlage für mehrere SFs fungiert. Generell ist zu beobachten, dass die Unterschiede zwischen den Ergebnisvarianten zwar sichtbar, aber eher gering sind. Die Ergebnisse des Rankings (Abb. 5.3 und 5.4) unterscheiden sich von denen ohne Gewichtung (Abb. 5.1 und 5.2) dadurch, dass vor allem im südlichen Bereich der AWZ, zwischen den Verkehrstrennungsgebieten, durch das Ranking eine bessere Standorteignung dargestellt wird als bei den Ergebnissen ohne Gewichtung. Es ist ebenso zu beobachten, dass die Standorteignung zum Nordwesten des UG hin weniger stark abnimmt, als es zuvor der Fall war. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die SFs für Schienennetzanbindung und Straßenanbindung eine geringe Gewichtung haben. Gleiches gilt für den

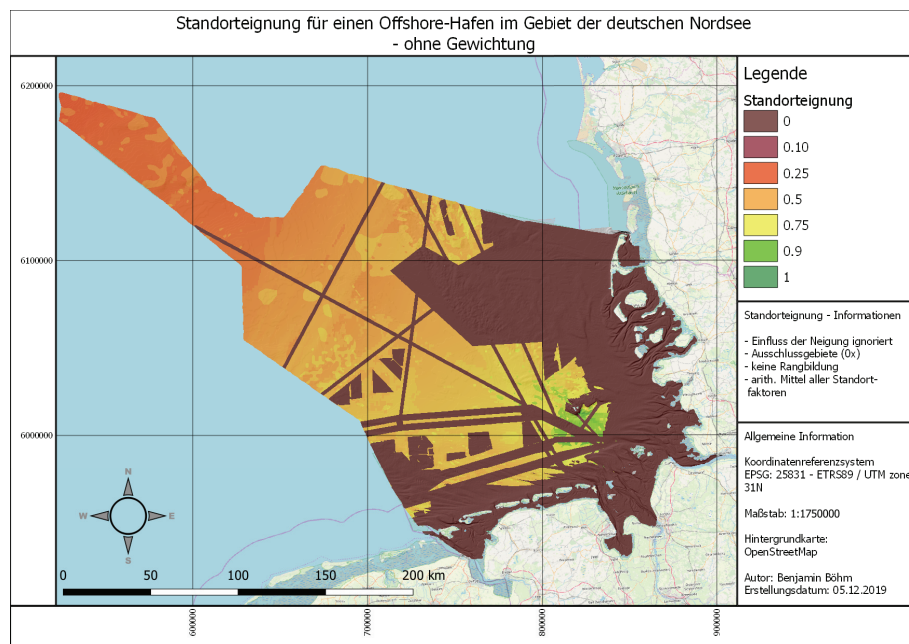


Abbildung 5.1: Ergebnis 1: Standarddarstellung

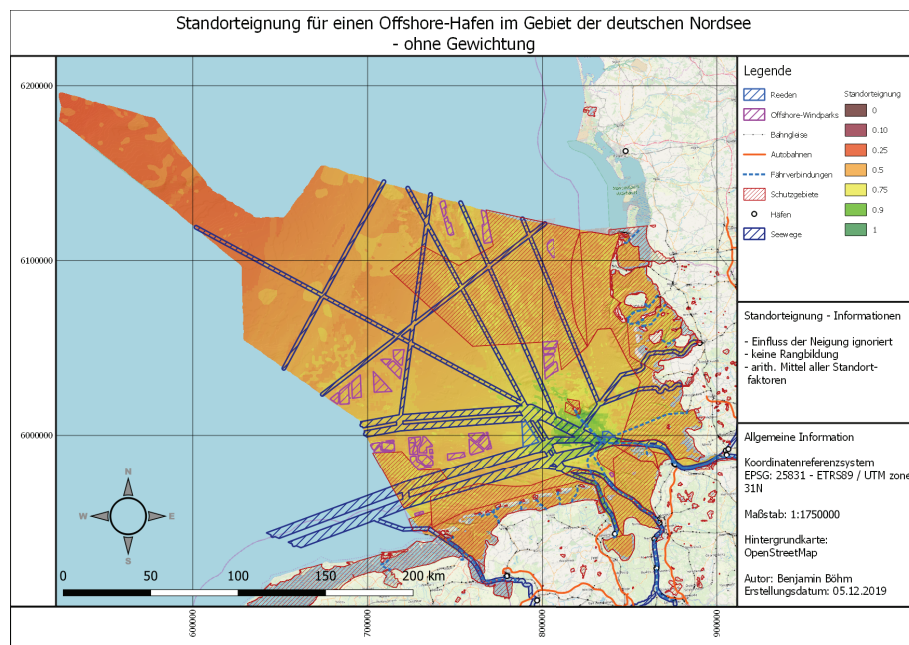


Abbildung 5.2: Ergebnis 1: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete

SF Bodenbewegung, wodurch sich die erhöhte Eignung im Süden erklären lässt, da es südwestlich von Emden einen Erdbeben-Hotspot gibt, welcher nun geringeren Einfluss auf die Standorteignung besitzt. Durch das kate-

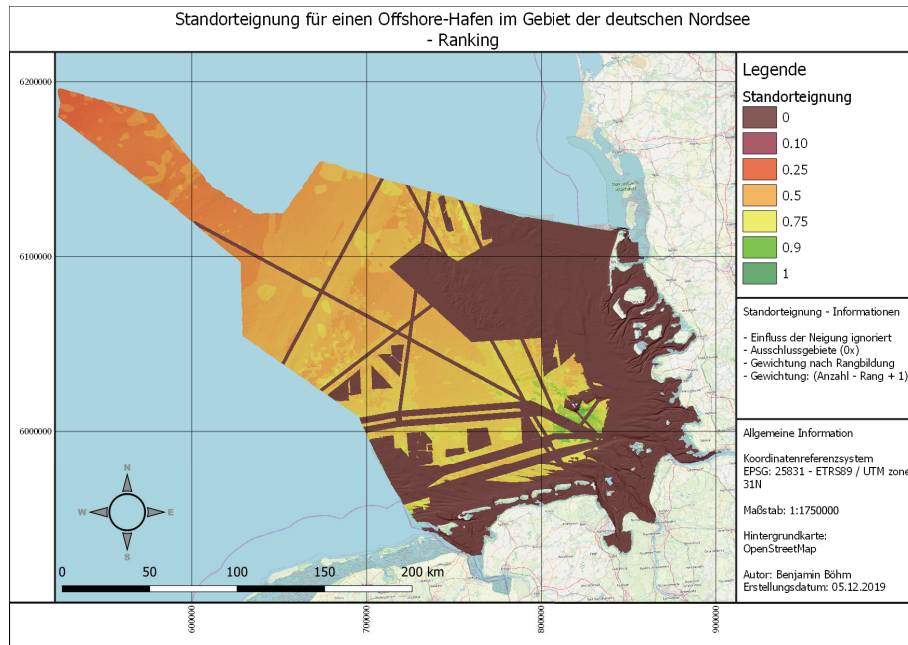


Abbildung 5.3: Ergebnis 2: Standarddarstellung

gorisierte Ranking werden Ergebnisse berechnet, die nahezu identisch mit denen des Rankings sind. Bei genauer Betrachtung kann aber ein geringer Unterschied im Nordwesten der AWZ beobachtet werden. Die Eignungswerte sind bei der kategorisierten Version leicht besser.

Große Unterschiede gibt es bei der Version ohne SVD (Abb. 5.7 bzw. 5.8). Es ist sehr deutlich zu erkennen, dass es hohe Eignungswerte nicht nur im Südosten des UG gibt, sondern auch zentral an der Nord- und Westgrenze der AWZ. Ebenso ist zu sehen, dass das Zentrum des UG mit Werten um 0.75 durchaus als potenzieller Standort betrachtet werden kann.

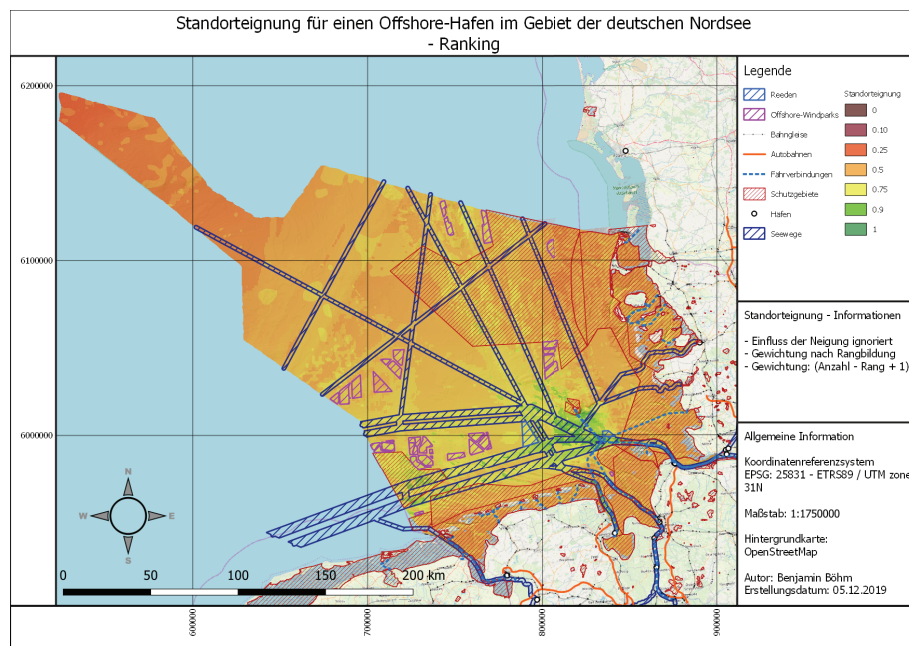


Abbildung 5.4: Ergebnis 2: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete

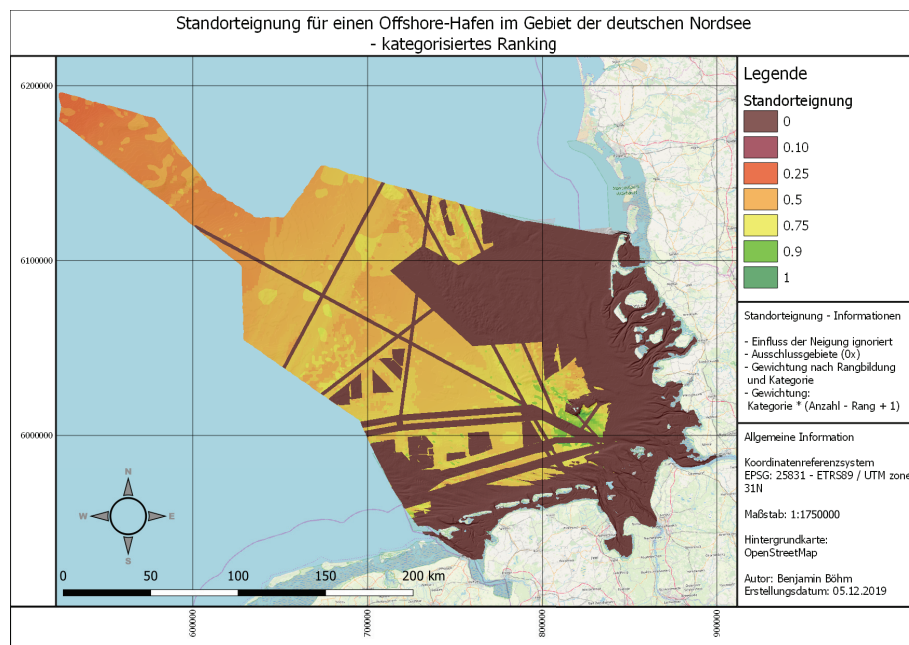


Abbildung 5.5: Ergebnis 3: Standarddarstellung

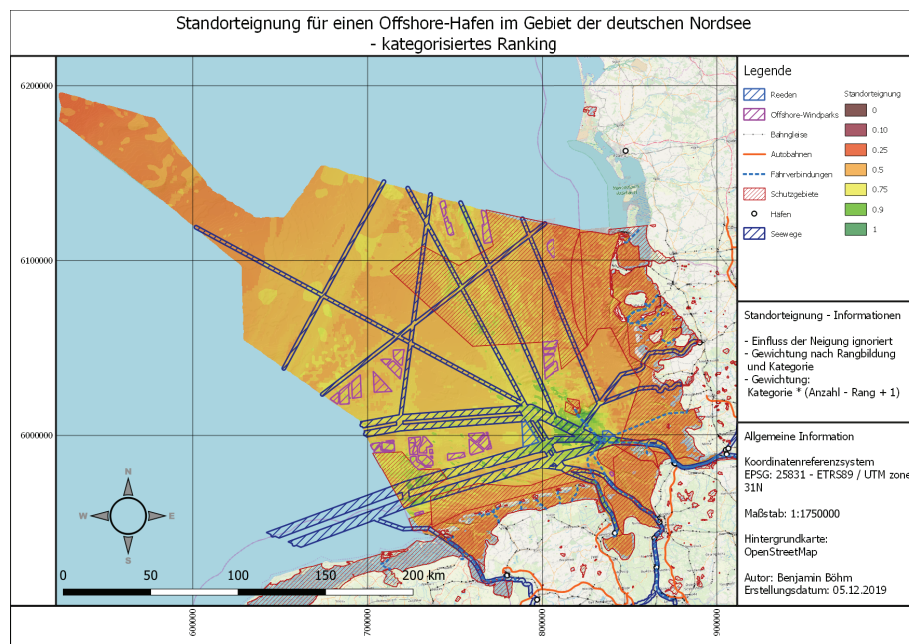


Abbildung 5.6: Ergebnis 3: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete

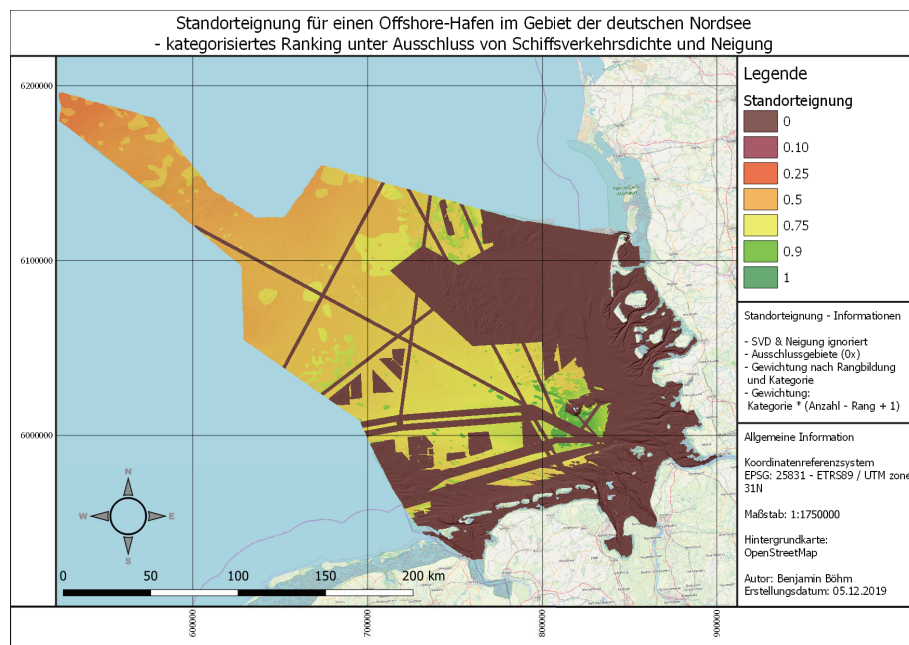


Abbildung 5.7: Ergebnis 3: Standarddarstellung ohne SVD

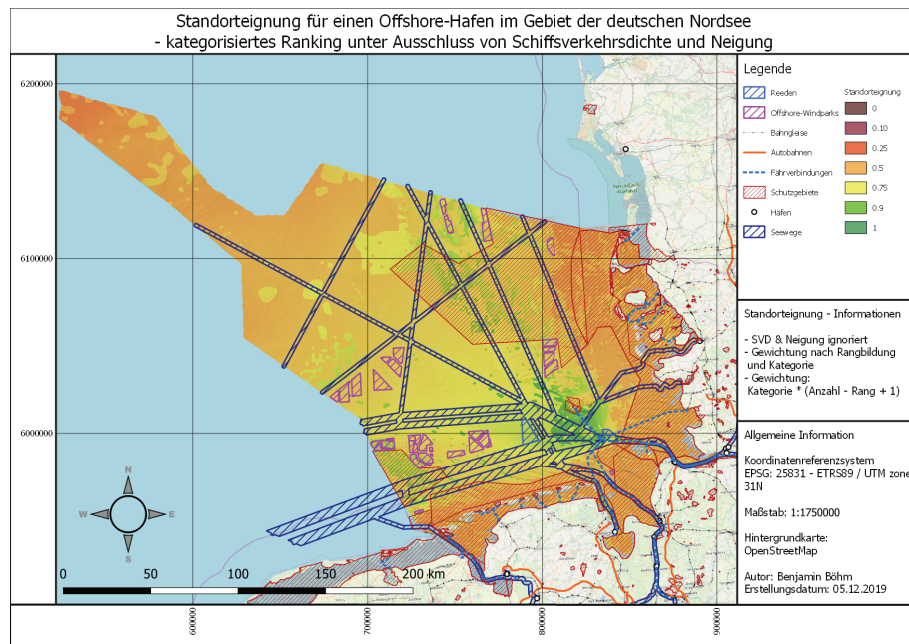


Abbildung 5.8: Ergebnis 3: Innere Darstellung der Ausschlussgebiete ohne SVD

5.2 Erweiterbarkeit der Standortanalyse

Diese Standortanalyse kann prinzipiell noch sehr weit vertieft werden und stellt nur einen ersten allgemeinen Ansatz dar. So könnten vorhandene SFs genauer betrachtet oder verfeinert und neue SFs gefunden werden. Einzelne Aspekte, wie der des Verkehrs, sind hier nur auf einfachste Weise durch festgelegte Wege angerissen worden und andere Aspekte, wie das Wetter, wurden vernachlässigt. Bei einem genauen Hafenkonzept könnten sich ebenso andere Bedingungen, beispielsweise anhand der benötigten oder maximalen Wassertiefe ergeben. Ebenso ist es denkbar, dass sich Synergien zwischen vorhandenen Offshore-Einrichtungen wie OWPs finden lassen, wodurch diese eine positive Einflussgröße darstellen könnten. Neben veränderten SFs lässt sich die Art der Berechnung ebenfalls anpassen. Die verwendeten Methoden stellen Beispiele dar, die für diesen Ansatz geeignet waren, müssen aber nicht immer zur passenden Lösung führen. Es handelt sich letztendlich um einen ersten Versuch, mögliche Standorte für einen OH innerhalb der deutschen Nordsee zu finden.

5.3 Zusammenfassung & Ausblick

Grundlegend wurde festgestellt, dass ein großer Bereich innerhalb des UG bereits benutzt wird und dementsprechend als potenzieller Standort für einen OH nicht in Frage kommt. Dies ist besonders dann der Fall, wenn man sich der deutschen Küste nähert. Es handelt sich in den meisten Fällen um Schutzgebiete, OWPs und Verkehrsflächen. Freie Offshore-Flächen sind zum Großteil im Zentrum und im Nordwesten des UG zu finden. Der Nordwesten ist dabei auch eher ungeeignet für einen OH. Grund dafür ist die Entfernung zum Land und der damit verbundene potenzielle Umweg für Schiffe. Im freien Zentrum gibt es je nach Ergebnisvariante mittelmäßig bis gute Eignungswerte, i.d.R. zwischen 0.6 und 0.7. Diese Flächen könnten genauer untersucht werden, wenn es nähere Informationen zum OH selbst oder seiner Spezialisierung gibt. Gleiches gilt für Bereiche in Nähe des Verkehrstrennungsgebietes und weiträumig um Helgoland.

Im nächste Schritt könnte untersucht werden, inwiefern eine konkrete Spezialisierung für einen OH innerhalb der hervorgehobenen Gebiete zu Eignungsveränderungen führt oder welchen Einfluss das Wetter hat.

Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. (2019). *Über das BKG - Aufgaben und Organisation*. Zugriff am 15.11.2019 auf <https://www.bkg.bund.de>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. (o. J.). *Das BSH - Wir über uns*. Zugriff am 15.11.2019 auf <https://www.bsh.de>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. (2018). *AIS Schiffsverkehrsdichte*. Zugriff am 15.11.2019 auf https://gdiwiki.bsh.de/wiki/index.php/AIS_Schiffsverkehrsdichte
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (o. J.). *Die BGR - Aufgaben und Themenfelder*. Zugriff am 15.11.2019 auf <https://www.bgr.bund.de>
- Geopotenzial Deutsche Nordsee. (o. J.). *Über das Projekt*. Zugriff am 15.11.2019 auf <https://www.gpdn.de>
- OpenStreetMap. (o. J.). *OpenStreetMap - FAQ: Was ist OpenStreetMap?* Zugriff am 15.11.2019 auf <https://www.openstreetmap.de>
- Reise, S. (2004). *Offshore-Containerterminals als Transshipment-Hub - dargestellt am Beispiel der Deutschen Bucht* (Unveröffentlichte Dissertation). Technische Universität Dresden.

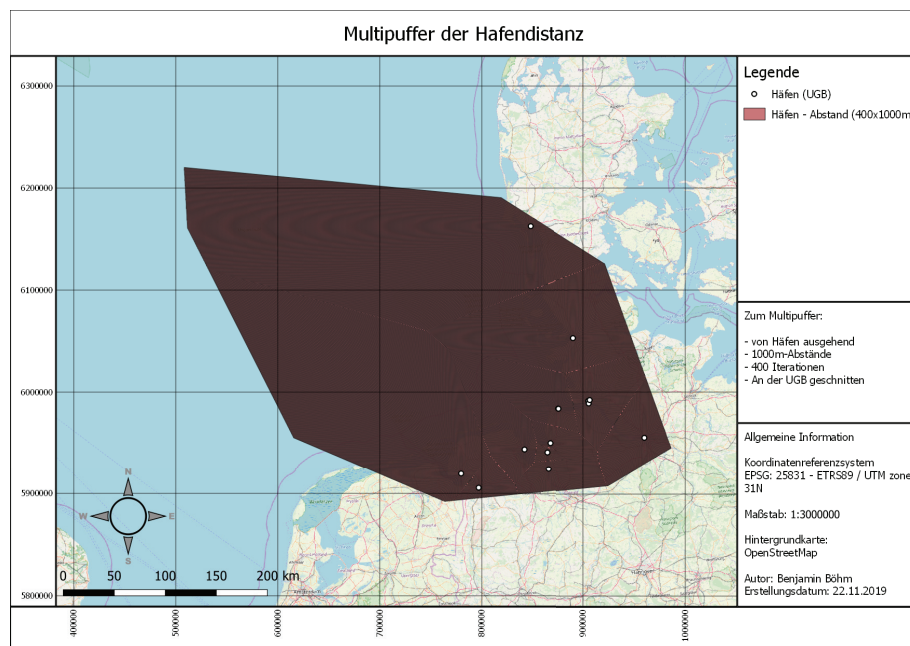


Abbildung 9: Erstellter Multipuffer ausgehend von den Hafenpunkten

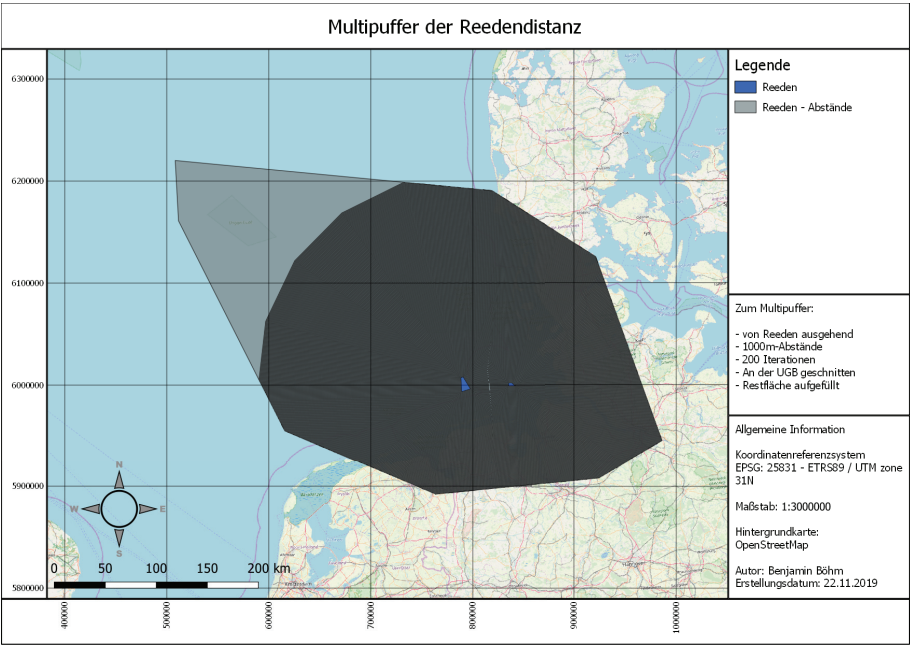


Abbildung 10: Erstellter Multipuffer ausgehend von den Gebieten der Reeden

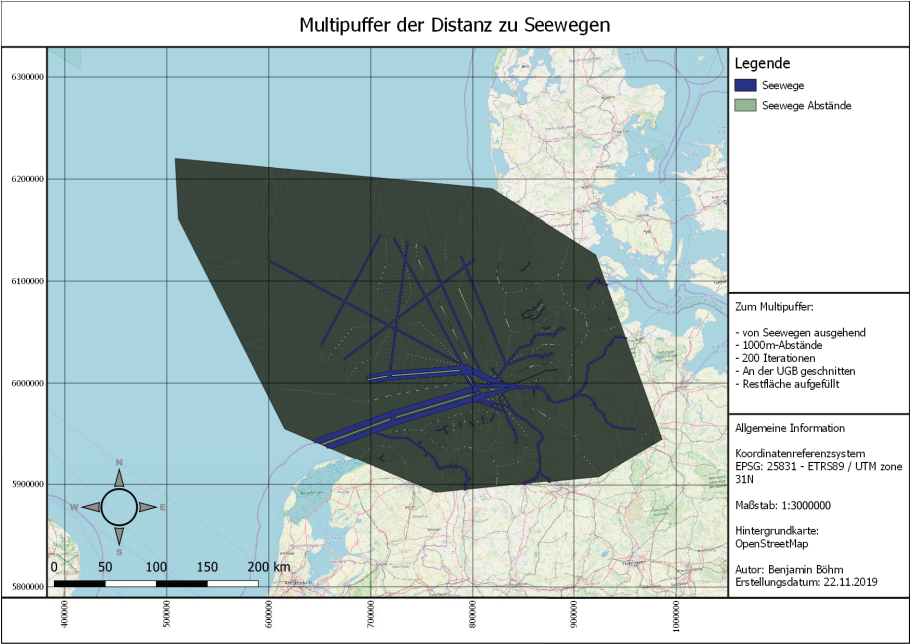


Abbildung 11: Erstellter Multipuffer ausgehend von den Seewegen

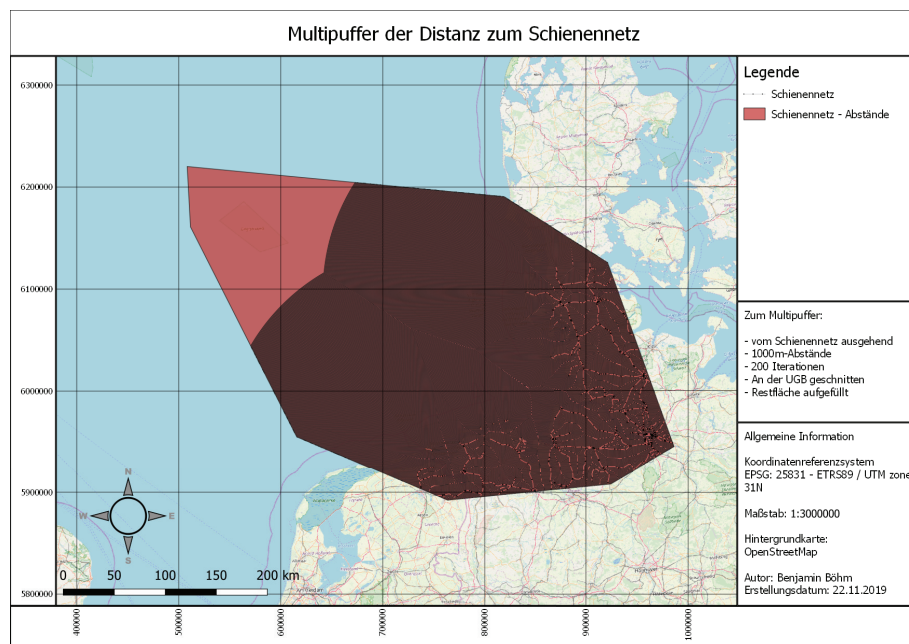


Abbildung 12: Erstellter Multipuffer ausgehend vom Schienennetz

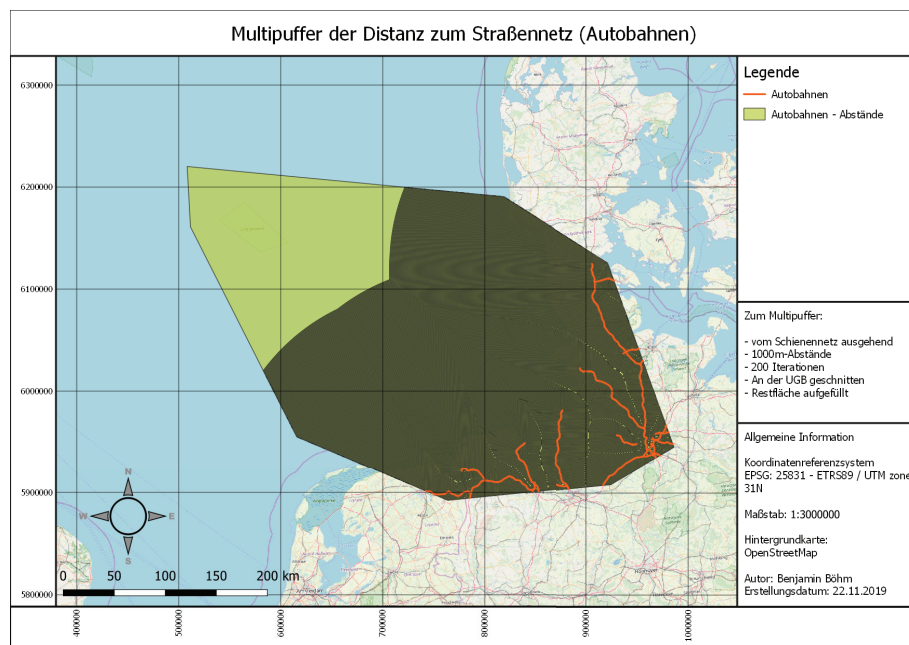


Abbildung 13: Erstellter Multipuffer ausgehend von den Autobahnen

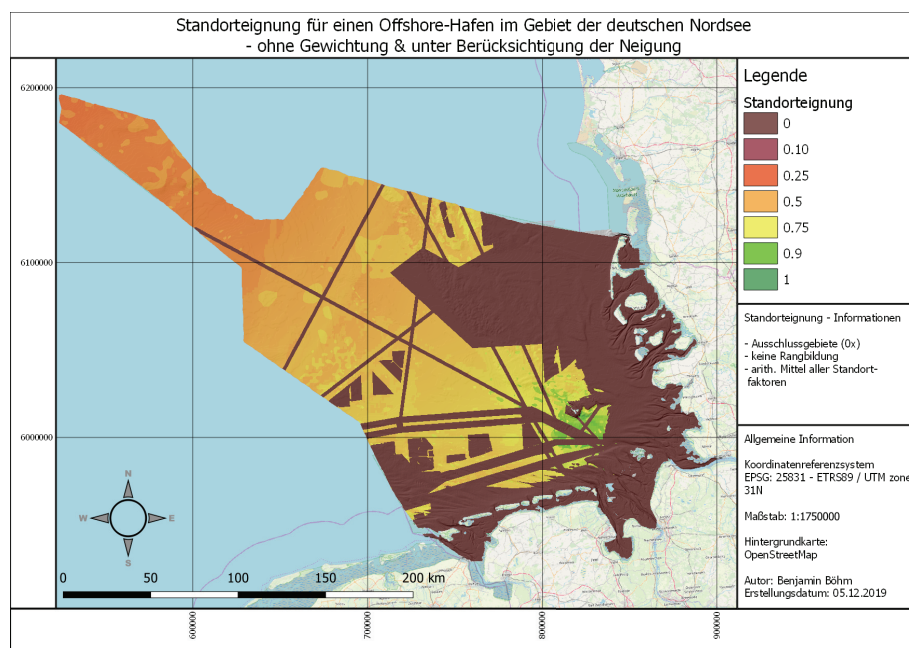


Abbildung 14: Ergebnis 1: keine Gewichtung - Standarddarstellung mit Neigungseinfluss

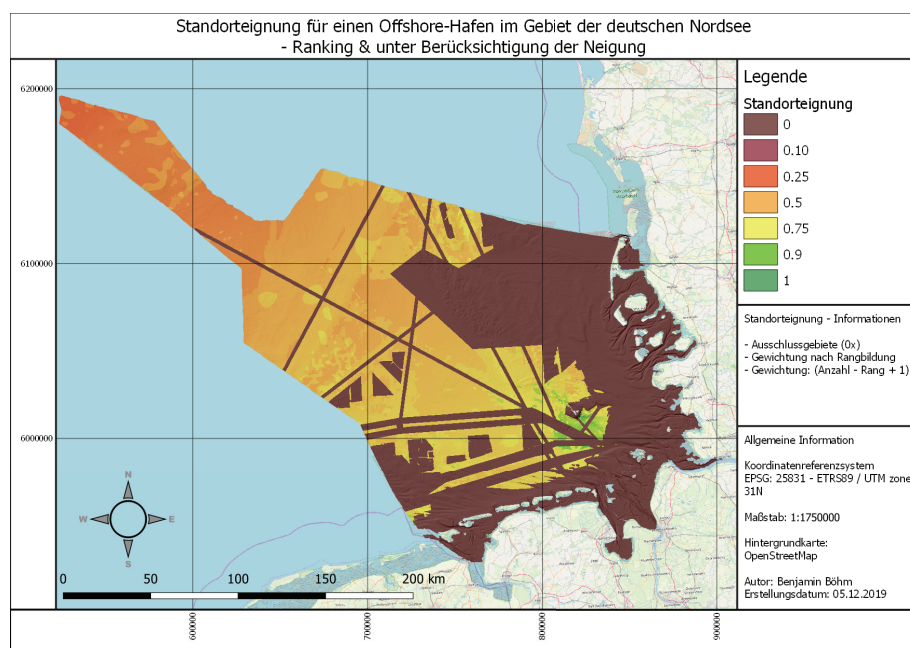


Abbildung 15: Ergebnis 2: Ranking - Standarddarstellung mit Neigungseinfluss

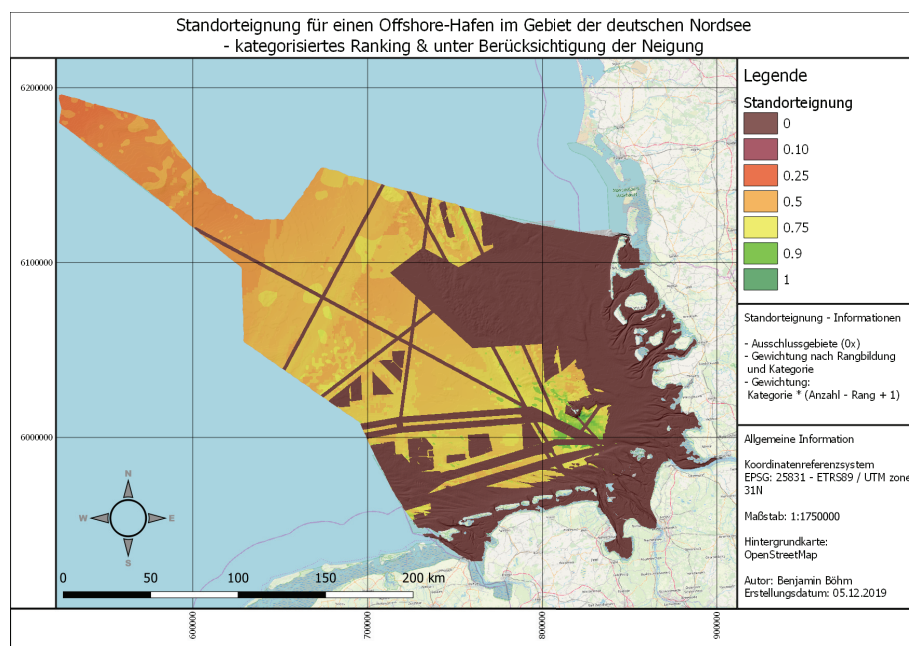


Abbildung 16: Ergebnis 1: kategorisiertes Ranking - Standarddarstellung mit Neigungseinfluss