

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Universität Darmstadt



Möglichkeiten zur Nutzung der Meeresenergie entlang der spanischen Küste

Am Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt angefertigte und
beim Fachgebiet für Wasserbau und Hydraulik vorgelegte

Masterthesis

von

Paul Javier Schüle

geb. in Viernheim (Matrikelnummer 2399926)

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. B. Lehmann

Tag der Einreichung: 14. März 2019

Darmstadt, im März 2019

Master-Arbeit für Herrn Paul Javier SCHÜLE (Matr.-Nr. 2399926)

Möglichkeiten zur Nutzung der Meeresenergie entlang der spanischen Küste

Opportunities for the use of marine hydropower along the Spanish coast

Veranlassung und Thema

Die Nutzung der Energie der Weltmeere steht aktuell im Fokus einer Vielzahl von Forschungsarbeiten und Pilotprojekten. Dazu existieren vielfältige Ansätze: Wellenenergie, Gezeiten, Meeresströmung und Osmoseeffekte können als Energieträger genutzt werden, um mittels mechanischer oder chemischer Prozesse in elektrische Energie umgewandelt zu werden.

Spaniens Küste zum Mittelmeer und zum Atlantik hat eine Länge von insgesamt 4.964 km, davon sind 3.904 km Küste des spanischen Festlandes, der Rest verteilt sich auf die Inseln (vgl. Abbildung). Hierzu stellt sich die Frage, ob und wie entlang der spanischen Küsten Möglichkeiten bestehen, die Meeresenergie zu nutzen und mit welchem Energieertrag dabei zu rechnen ist.



Abbildung: Lage Spaniens und seiner Küsten. Karte: www.goruma.de

Aufgabenstellung

Im Rahmen der Masterarbeit soll Herr Schüle zunächst die bisherigen Techniken zur Nutzung der Meeresenergie darstellen. Zudem soll eine Darstellung der Gegebenheiten entlang der spanischen Küsten erfolgen.

Aufbauend darauf soll das nutzbare Energiepotenzial abgeschätzt und es sollen standortspezifisch mögliche Methoden zur Energiegewinnung dargelegt werden. Schlussendlich soll Herr Schüle Empfehlungen abgeben, ob, wo und wie sich eine Nutzung der Meeresenergie entlang der spanischen Küste lohnen könnte.

Modalitäten

Grundsätzlich gelten die Bestimmungen zu Abschlussarbeiten in der Allgemeinen Prüfungsordnung TU Darmstadt und in der Studienordnung des Fachbereiches 13. Diese Bestimmungen beziehen sich u.a. auf die Aspekte

- Betreuung und Bewertung von Abschlussarbeiten und
- besondere Regelungen bei externen Arbeiten.

Der/die Kandidat/in hat dafür selbstständig Sorge zu tragen, dass diese Bestimmungen eingehalten werden. Darüber hinaus gelten folgende Randbedingungen:

Referent	Prof. Boris Lehmann FG Wasserbau und Hydraulik Lehmann@wb.tu-darmstadt.de	Empfohlene Kenntnisse	- Hydromechanik - Wellendynamik - Wasserkraftnutzung - Energiewasserbau
Bearbeitungszeitraum	Auslösung nach Vereinbarung. Leistungszeitraum 6 Monate	Arbeitsbedingungen	Heimarbeit

Darmstadt, den 11.09.2018



Prof. Boris Lehmann

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	III
TABELLENVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
FORMELBUCHSTABENVERZEICHNIS	IX
1. EINLEITUNG	1
2. NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE	4
2.1. GEZEITENKRAFTWERKE (ENERGÍA MAREOMOTRIZ / TIDAL ENERGY)	4
2.2. MEERESSTRÖMUNGSKRAFTWERKE (ENERGÍA DE LAS CORRIENTES / OCEAN CURRENT ENERGY)	12
2.3. WELLENKRAFTWERKE (ENERGÍA UNDIMOTRIZ / WAVE ENERGY).....	17
2.4. THERMISCHE KRAFTWERKE (MAREMOTÉRMICA / OTEC).....	24
2.5. OSMOSE-KRAFTWERKE (ENERGÍA OSMÓTICA / OSMOTIC POWER).....	28
2.6. WEITERE ANSÄTZE ZUR NUTZUNG VON MEERESENERGIE	32
3. SPANIEN	34
3.1. MITTELMEERKÜSTE UND BALEARISCHE INSELN	39
3.2. ATLANTIKKÜSTE	46
3.3. KANARISCHE INSELN	52
4. RECHTLICHE GRUNDLAGEN UND FÖRDERUNGEN	56
5. POTENZIALANALYSE	62
5.1. MITTELMEERKÜSTE UND BALEARISCHE INSELN	62
5.2. ATLANTIKKÜSTE	65
5.3. KANARISCHE INSELN	70
6. STANDORTE MIT POTENZIAL ZUR NUTZUNG DER MEERESENERGIE	72
6.1. MITTELMEERKÜSTE UND BALEARISCHE INSELN	72
6.2. ATLANTIKKÜSTE	74
6.3. KANARISCHE INSELN	91
7. GEGENÜBERSTELLUNG VON POTENZIAL UND ENERGIEBEDARF	96
8. FAZIT UND AUSBLICK	98
LITERATURVERZEICHNIS	101
ANHANG	I
A.1. GÄNGIGSTE TECHNOLOGIEN ZUR NUTZUNG VON GEZEITENSTRÖMUNGEN & EUROPÄISCHE STANDORTE MIT HOHEM GEZEITENSTRÖMUNGSPOTENZIAL (AQUA-RET, 2012).....	I
A.2. GÄNGIGE TECHNOLOGIEN ZUR NUTZUNG DER WELLENKRAFT BEZOGEN AUF UNTERSCHIEDLICHE INSTALLATIONSBEREICHE (AQUA-RET, 2012).....	II
A.3. BEVÖLKERUNGSDICHTE DER EINZELNEN PROVINZEN SPANIENS IN EINWOHNER PRO KM ²	III
A.4. NATIONALPARKS, NATURPARKS, NATURRESERVATE UND NATURA 2000 SCHUTZGEBIETE SPANIENS	IV
A.5. STROMVERBRAUCH BEZOGEN AUF SEKTOREN IN PROZENT	V
A.6. STROMPRODUKTION UND STROMVERBRAUCH IN SPANIEN BEZOGEN AUF DIE AUTONOMIEN / REGIONEN SPANIENS	V

A.7. AUSSCHLIEßLICHE WIRTSCHAFTSZONEN SPANIENS UND EUROPAS	VI
A.8. LAGE DER MESSBOJEN („MAREÓGRAFO“) DES SPANISCHEN STAATES.....	VII
A.9. VERLAUF DER SEEGRENZEN UND DES SEEWEGES IN DER STRAÙE VON GIBALTAR.....	VIII
A.10. STRÖMUNGEN IM MITTELMEER.....	IX
A.11. STRÖMUNGSVERLAUF UND WASSERTIEFEN VOR DER SPANISCHEN MITTELMEERKÜSTE IM BEREICH ZWISCHEN DEN BALEARISCHEN INSELN UND DEM SPANISCHEN FESTLAND	X
A.12. WELLEN- UND WINDROSEN	XI
A.13. TEMPERATURVERLAUF AN VERSCHIEDENEN MESSBOJEN IM MITTELMEER.....	XIV
A.14. LAGE DER AUSSCHLIEßLICHEN WIRTSCHAFTSZONE (ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA) DER KANARISCHEN INSELN UND SCHEMATISCHER VERLAUF DES KANARENSTROMS	XV
A.15. STROMNETZE DER BALEARISCHEN UND KANARISCHEN INSELN.....	XVII
A.16. BERECHNUNG DES POTENZIALS IM BEREICH DER MITTELMEERKÜSTE UND DEN BALEARISCHEN INSELN BEZOGEN AUF DIE FÜNF NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE	XVIII
A.17. BERECHNUNG DES POTENZIALS IM BEREICH DER ATLANTIKKÜSTE BEZOGEN AUF DIE FÜNF NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE.....	XXIII
A.18. BERECHNUNG DES POTENZIALS IM BEREICH DER KANARISCHEN INSELN BEZOGEN AUF DIE FÜNF NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE.....	XXVIII
A.19. GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER POTENZIALE BEZOGEN AUF DIE VERSCHIEDENEN NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE xxxii	
A.20. POTENZIELLE STANDORTE ENTLANG DER MITTELMEERKÜSTE UND DER BALEARISCHEN INSELN	XXXVII
A.21. POTENZIELLE STANDORTE ENTLANG DER ATLANTIKKÜSTE.....	XXXVIII
A.22. POTENZIELLE STANDORTE IM UMGREIS DER KANARISCHEN INSELN	XLVII
EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG.....	LIV

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: VEREINFACHTE DARSTELLUNG DER GEZEITENKRÄFTE AUF DER ERDE (TITZ & WAGNER, 2007)	5
ABBILDUNG 2: GLOBALE AUSWIRKUNG DER GEZEITEN BEZOGEN AUF DEN TIDENHUB, WOBEI DER GRÖßTE TIDENHUB IN DEN DUNKELROTEN BEREICHEN VON ÜBER 13 M UND DER NIEDRIGSTE TIDENHUB IN DEN DUNKELBLAUEN BEREICHEN MIT ZWISCHEN 0 M UND 1 M AUFTRETEN. (NASA, TOPEX/POSEIDON: REVEALING HIDDEN TIDAL ENERGY, 2006)	6
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER FUNKTIONSWEISE EINES GEZEITENKRAFTWERKES (PALOMINO, 2014)	7
ABBILDUNG 4: SEA GEN, DIE ERSTE KOMMERZIELLE UNTERWASSER-STROMFABRIK IN DER MEERENGE VON STRANGFORD IN NORDIRLAND IST EINE WEITERENTWICKLUNG DES SEAFLOWS (IN BETRIEBNAHME: 2008) (SIEMENS, PICTURES OF THE FUTURE, 2010, S. 4)	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.
ABBILDUNG 5: ERSTES GEZEITENKRAFTWERK IM OFFENEN MEER VOR DER KÜSTE FRANKREICHS IN DER OPENHYDRO -BAUWEISE (WETZEL, 2012)	10
ABBILDUNG 6: HERKÖMMLICHE, DREIFLÜGELIGER SAVONIUS-ROTOR ZUR ENERGIEGEGWINNUNG AUS WIND (LINKS) UND NEPTUNE TIDAL POWER PONTOON BASIEREND AUF EINER MEHRFLÜGELIGEN SAVONIUS-TURBINE DER FIRMA NEPTUNE RENEWABLE ENERGY LTD. (RECHTS) (FAIZAN, 2012) (NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2014)	10
ABBILDUNG 7: AUSSCHNITT AUS DEM OFFIZIELLEN LAGEPLAN DER „USINE MARÉMOTRICE DE LA RANCE“ DER EDF (OBEN) UND LUFTAUFNAHME DES SPERRWERKES MIT INTEGRIERTEM SCHLEUSENB AU- UND GEZEITENKRAFTWERK (UNTEN) (EDF, 2008) (RATH, 2018)	11
ABBILDUNG 8: LAGE DER GLOBALEN, WARMEN (ROT) UND KALTEN (BLAU) MEERESSTRÖMUNGEN BZW. DER THERMOHALINEN ZIRKULATION. IN GELB WERDEN DIE KONVEKTIONSGBIETE DARGESTELLT. (WORLD OCEAN REVIEW, ANTRIEB DES KLIMAS - DIE GROßEN MEERESTRÖMUNGEN (WOR1), 2010)	12
ABBILDUNG 9: ERZIELBARE LEISTUNGEN VON MEERESSTRÖMUNGSANLAGEN IN ABHÄNGIGKEIT DES ROTORDURCHMESSERS UND DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT (BINE, ENERGIE AUS MEERESSTRÖMUNGEN, 2004)	15
ABBILDUNG 10: SEAFLOW (BARD, 2005)	16
ABBILDUNG 11: VON DER WELLENENTSTEHUNG IM TIEFWASSER BIS HIN ZUM AUFLAUFEN DER WELLE IM KÜSTENNAHEN FLACHWASSER (ECKENER, KRÖGER, & DURSTHOFF, 1981, S. 16)	18
ABBILDUNG 12: JÄHRLICHES GLOBALES POTENZIAL VON WELLENKRAFT (CORNETT, 2008, S. 6)	21
ABBILDUNG 13: FUNKTIONSPRINZIP DES LIMPET-SYSTEMS (GAILFUSS, 2018)	22
ABBILDUNG 14: „WAVEROLLER“ DER FIRMA AW-ENERGY IN EINER GEWÄSSERTIEFE VON 8 BIS 20 M (AW-ENERGY, 2018)	22
ABBILDUNG 15: ERSTES KOMMERZIELLES WELLENKRAFTWERK MIT PELAMIS –ANLAGEN VOR DER PORTUGIESISCHEN KÜSTE BEI AGUCADOURA (RESEARCHGATE, 2011)	23
ABBILDUNG 16: WELTWEITE DURCHSCHNITTLICHE TEMPERATURDIFFERENZ IN °C IN WASSERTIEFEN ZWISCHEN 20 M UND 1.000 M (NIHOUS, 2010)	24
ABBILDUNG 17: FUNKTIONSPRINZIP DES OFFENEN OTEC –SYSTEMS (KEMPENER (IRENA) & NEUMANN (IMIEU), 2014, S. 6)	25
ABBILDUNG 18: FUNKTIONSPRINZIP EINES GESCHLOSSENEN OTEC -SYSTEMS (NOAA, 2014)	26
ABBILDUNG 19: AUF LAND ERRICHTETE OTEC –ANLAGE (LINKS) UND VOR DER KÜSTE SCHWIMMENDE OTEC –ANLAGE (RECHTES) (KEMPENER (IRENA) & NEUMANN (IMIEU), 2014, S. 8)	27
ABBILDUNG 20: FUNKTIONSWEISE DES RED-VERFAHRENS AM BEISPIEL EINES EINZELNEN MEMBRANSTAPELS (VERÄNDERTE QUELLE: (VEERMAN, 2010, S. 26))	29
ABBILDUNG 21: FUNKTIONSWEISE DES PRO- VERFAHREN (FORWARDOSMOSISTECH, 2016)	30
ABBILDUNG 22: AUFBAU- UND FUNKTIONSSKIZZE EINES ENERGIESCHIFFES MIT FLETTNER-ROTOREN (STERNER M. , 2013, S. 23) ..	33
ABBILDUNG 23: ENDENERGIEVERBRAUCH DES JAHRES 2016 FÜR GESAMTSPANIEN UNTERTEILT IN ENERGIEQUELLEN IN % BEZOGEN AUF DEN GESAMTVERBRAUCH VON 85.875.000 ÖE (IDAE, 2018)	35
ABBILDUNG 24: IM JAHR 2017 INSTALLIERTE LEISTUNGEN NACH ENERGIEQUELLEN IN PROZENT (ANGELEHNT AN: (RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, SERIES ESTADÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL (SEPTIEMBRE 2018), 2018))	36
ABBILDUNG 25: STROMERZEUGUNG DES JAHRES 2017 FÜR GESAMTSPANIEN UNTERTEILT IN DIE EINZELNEN ENERGIEQUELLEN (ANGELEHNT AN (RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, SERIES ESTADÍSTICAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL (SEPTIEMBRE 2018), 2018))	37

ABBILDUNG 26: AUFTRETENDE STRÖMUNGEN IM MITTELMEER (AUFNAHME VOM 27. NOVEMBER 2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. CORRIENTES)	41
ABBILDUNG 27: MINIMALE, MITTLERE UND MAXIMALE SIGNIFIKANTE WELLENHÖHE IM BEREICH ZWISCHEN BALEARISCHEN INSELN UND SPANISCHEM FESTLAND (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. OLEAJE)	42
ABBILDUNG 28: SALZGEHALT IM MITTELMEER (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. SALINIDAD).....	44
ABBILDUNG 29: AUFTRETENDE STRÖMUNGEN IM SÜDLICHEN TEIL DES ATLANTIKS (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. CORRIENTES).....	47
ABBILDUNG 30: AUFTRETENDE STRÖMUNGEN IM NÖRDLICHEN TEIL DES ATLANTIKS (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. CORRIENTES).....	47
ABBILDUNG 31: MINIMALE, MITTLERE UND MAXIMALE SIGNIFIKANTE WELLENHÖHEN IM WESTLICHEN ATLANTIKBEREICH AN DER „BOYA DE ESTACA DE BARES“ ÜBER DEN ZEITRAUM 1996 BIS 2018 (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. OLEAJE).....	48
ABBILDUNG 32: WASSERTEMPERATUREN IM ATLANTIK VOR DEN KÜSTEN DER IBERISCHEN HALBINSEL (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. TEMPERATURA DEL AGUA)	49
ABBILDUNG 33: SALZGEHALT VOR DER ATLANTIKKÜSTE DER IBERISCHEN HALBINSEL (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. SALINIDAD).....	50
ABBILDUNG 34: AUFTRETENDE STRÖMUNGEN IM UMKREIS DER KANARISCHEN INSELN (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. CORRIENTES).....	53
ABBILDUNG 35: MINIMALE, MITTLERE UND MAXIMALE SIGNIFIKANTE WELLENHÖHEN IM NÖRDLICHEN ATLANTIKBEREICH DER KANARISCHEN INSELN AM MESSPUNKT „PUNTO SIMAR 4046018“ ÜBER DEN ZEITRAUM 1958 BIS 2018 (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. OLEAJE)	54
ABBILDUNG 36: WASSERTEMPERATUREN IM UMKREIS DER KANARISCHEN INSELN (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. TEMPERATURA DEL AGUA).....	55
ABBILDUNG 37: SALZGEHALT IM ATLANTIK IM UMKREIS DER KANARISCHEN INSELN (AUFNAHME VOM 01.12.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. SALINIDAD).....	55
ABBILDUNG 38: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER MEERESZONIERUNG GEMÄß SEERECHTSÜBEREINKOMMEN (BGR, 2009)	58
ABBILDUNG 39: DURCHSCHNITTLICHES POTENZIAL DER STRÖMUNG IN DER STRAÙE VON GIBRALTAR	63
ABBILDUNG 40: POTENZIAL DER STRÖMUNG DES NORTHERN CURRENT IN W/m^2	63
ABBILDUNG 41: WELLENPOTENZIAL IM BEREICH DER BALEARISCHEN INSELN.....	64
ABBILDUNG 42: AUS DEM TIDENHUB RESULTIERENDES POTENZIAL ENTLANG DER NÖRDLICHEN ATLANTIKKÜSTE	66
ABBILDUNG 43: POTENZIAL DER ENTLANG DER ATLANTIKKÜSTE VERLAUFENDEN STRÖMUNG	66
ABBILDUNG 44: POTENZIAL DER STRÖMUNG DURCH DIE STRAÙE VON GIBRALTAR AUF WESTLICHER SEITE	67
ABBILDUNG 45: WELLENPOTENZIAL ENTLANG DER NÖRDLICHEN ATLANTIKKÜSTE.....	67
ABBILDUNG 46: OSMOTISCHES POTENZIAL DER FLÜSSE MIT EINEM DURCHSCHNITTLICHEN ABFLUSS VON ÜBER $20 m^3/s$ AN DER NÖRDLICHEN ATLANTIKKÜSTE BEZOGEN AUF DEN JEWEILIGEN GESAMTABFLUSS.....	69
ABBILDUNG 47: WELLENPOTENZIAL AUF NÖRDLICHER UND SÜDLICHER SEITE DER KANARISCHEN INSELN	71
ABBILDUNG 48: MÜNDUNGSBEREICH DES EBRO AN DER KATALANISCHEN MITTELMEERKÜSTE. DER SALZGEHALT DES MITTELMEERS BETRÄGT IN DIESEM KÜSTENABSCHNITT ETWA 38 g/L (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. SALINIDAD). 73	
ABBILDUNG 49: ÄSTUAR AN DER GRENZE DER AUTONOMIEN GALICIENS UND ASTURIENS AN DER NÖRDLICHEN ATLANTIKKÜSTE (XUNTA DE GALICIA, 2019)	74
ABBILDUNG 50: VORRANGFLÄCHEN ZUR ENERGIEGEWINNUNG ÜBER STRÖMUNGSKRAFTWERKE (EIGENE DARSTELLUNG, BASISKARTE: (OPENSEAMAP, 2018)).....	76
ABBILDUNG 51: POTENZIELLER STANDORT EINES STRÖMUNGSKRAFTWERKES IM ÄSTUAR VON FERROL AN DER NORDWESTLICHEN ATLANTIKKÜSTE GALICIENS (AUFNAHME VOM 24.11.2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, PUERTOS DEL ESTADO, 2018, S. CORRIENTES).....	80
ABBILDUNG 52: VORRANGFLÄCHEN ZUR INSTALLATION VON WELLENKRAFTWERKEN ENTLANG DER WESTLICHEN ATLANTIKKÜSTE GALICIENS (EIGENE DARSTELLUNG, BASISKARTE: (OPENSEAMAP, 2018)).....	81

ABBILDUNG 53: VORRANGFLÄCHEN ZUR INSTALLATION VON WELLENKRAFTWERKEN ENTLANG DER ATLANTIKKÜSTE ASTURIENS UND DER NORDÖSTLICHEN ATLANTIKKÜSTE GALICIENS (EIGENE DARSTELLUNG, BASISKARTE: (OPENSEAMAP, 2018))	85
ABBILDUNG 54: VORRANGFLÄCHEN ZUR INSTALLATION VON WELLENKRAFTWERKEN ENTLANG DER ATLANTIKKÜSTE KANTABRIENS (EIGENE DARSTELLUNG, BASISKARTE: (OPENSEAMAP, 2018)).....	87
ABBILDUNG 55: VORRANGFLÄCHEN ZUR INSTALLATION VON WELLENKRAFTWERKEN ENTLANG DER ATLANTIKKÜSTE DES SPANISCHEN BASKENLANDES (EIGENE DARSTELLUNG, BASISKARTE: (OPENSEAMAP, 2018))	88
ABBILDUNG 56: ANIMATION DES KOMBINIERTEN WIND- UND STRÖMUNGSKRAFTWERKES VOR DER JAPANISCHEN KÜSTE (CBS, 2013)	100

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: BERECHNUNG DER THEORETISCHEN LEISTUNG P EINES GEZEITENKRAFTWERKES IN DAMMBAUWEISE BEZOGEN AUF EINEN QUADRATMETER FLÄCHE.....	8
TABELLE 2: SPEZIFISCHE LEISTUNG FÜR VERSCHIEDEN STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEITEN BEI KONSTANTEM QUERSCHNITT	14
TABELLE 3: DURCHSCHNITTLICHER ABFLUSS VON FLÜSSEN MIT MÜNDUNG IM ATLANTIK (> 20 m ³ /s) (GOBIERNO DE ESPAÑA, BOLETÍN HIDROLÓGICO SEMANAL - CAUDALES, 2018) (GOBIERNO DE ESPAÑA, CHCANTÁBRICO, 2018) (LA ANUNCIATA IKERKETA, 2010) (GOBIERNO DE ESPAÑA, CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS, 2015)	51
TABELLE 4: POTENZIAL DER VERSCHIEDENEN NUTZUNGSARTEN DER MEERESENERGIE ENTLANG DER SPANISCHEN KÜSTEN.....	97

Abkürzungsverzeichnis

AEM	Anionen austauschende Membran (anion exchanging membrane)
Abs.	Absatz
APPA	Asociación de Empresas de Energías Renovables (Verband der Unternehmen Erneuerbarer Energien)
Art.	Artikel
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszonen
BiMEP	Biscay Marine Energy Platform
bzw.	beziehungsweise
CEM	Kationen austauschende Membran (cation exchanging membrane)
EMEC	European Marine Energy Centre LTD
EVE	Ente Vasco de Energía
FSGK	Festlandsockelgrenzkommission
FRA	Frankreich (gemäß ISO-3166-1-Kodierliste, Alpha-3)
FWT	Floating Wind Turbines
HGÜ	Hochspannung-Gleichstrom-Übertragung
IMB	Internationale Meeresbodenbehörde
ISGH	Internationaler Seegerichtshof
LIC	Lugares de Interés Comunitarios / Orte von gemeinschaftlichem Interesse gemäß Natura 2000
MT	mechanochemische Turbine (mechanochemical turbine)
OTEC	Thermische Kraftwerke (ocean thermal energy conversion)
OWC	Oscillating Water Column
PANER	Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energien (Plan de acción nacional de energías renovables)

PRO	druckverzögerte Osmose (pressure retarded osmosis)
PRT	Portugal (gemäß ISO-3166-1-Kodierliste, Alpha-3)
RCD	Umkehrung der kapazitiven Entionisierung (reversal of the capacitive deionization)
RED	umgekehrte Elektrodialyse (reversed electro-dialysis)
SETIS	Strategic Energy Technologies Information System
SRÜ	Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen
vgl.	vergleiche
VPDU	Dampfdruckdifferenzausnutzung (Vapor pressure difference utilization process)
ZEC	Zonas Especiales de Conservación / Besondere Schutzgebiete gemäß Natura 2000
ZEPA	Zonas de Especial Protección para las Aves / Vogelschutzgebiet gemäß Natura 2000

Formelbuchstabenverzeichnis

<u>Formelbuchstabe</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bedeutung</u>
A	m ²	(durchströmte) Fläche, Querschnittsfläche, Wasseroberfläche
c	m/s	Phasen-, Ausbreitungs-, Wellengeschwindigkeit
C _P	kcal/(kg*K)	Spezifische Wärmekapazität
d	m	lokale Wassertiefe
E _{kin}	Ws	kinetische Energie
E _{pot}	Ws	potentielle Energie / Lageenergie
f _{water}	% oder 1	Verfügbarkeitsfraktion von Wasser
g	m/s ²	Erdbeschleunigung (9,81 m/s ²)
h	m	Lagehöhe
H	m	Wellenhöhe (Differenz zwischen Wellenberg und -tal)
H _s	m	Signifikante Wellenhöhe
k	1/m	Wellenzahl
K	%	Kapazitätsfaktor (= mittlere jährliche Auslastung = Jahresenergieertrag [kWh] / (Nennleistung [kW]* Jahresstunden [8.760 h]))
l	m	Breite der Wellenfront
m	kg	Masse
P	W	Leistung
P _{net}	W	Nettoleistung
Q	m ³ /s	Durchfluss
Q _{cw}	m ³ /s	Tiefenwasserdurchfluss

t_{Gezeit}	sec	Gezeitenperiode
T	sec	Wellenperiode
T_P	sec	Peakperiode
T_S	°C	Temperatur des Oberflächenwassers
ΔT	°C	Temperaturdifferenz
TGE	% oder 1	Effizienz /Wirkungsgrad des Turbogenerators
v	m/s	Fließ- / Strömungsgeschwindigkeit
v_g	m/s	Gruppengeschwindigkeit eines Wellenpaketes
V	m ³	Volumen
λ	m	Wellenlänge
ρ	kg/m ³	Dichte
δ	M	Tidenhub
η	% oder 1	Wirkungsgrad
ω	J/m ³	Exergiedichte

1. Einleitung

Weltweit aktueller denn je sind die Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung, sowohl global als auch lokal, zu spüren, ob über vermehrt auftretende Trockenperioden, extreme Niederschlagsereignisse, die zunehmende Versauerung der Ozeane oder den steigenden Meeresspiegel, welcher im Jahr 2013 die Anerkennung des Klimawandels als Asylgrund (Neuseeland) mit sich brachte (Hassol, 2017) (Fähnders, 2014). Trotz einiger Leugner der menschengemachten globalen Erderwärmung wird der Klimawandel von der Mehrheit der Wissenschaftler als eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts angesehen (BUND, 2017) (Rauchhaupt, 2015). Als Treiber der globalen Erderwärmung gelten die vom Menschen freigesetzten und in der Atmosphäre in zunehmender Konzentration vorzufindenden Treibhausgase, allen voran Kohlenstoffdioxid (CO₂). Bereits im Jahr 1992 wurde im Rahmen der UN-Klimarahmenkonvention das Ziel einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre festgelegt und im 1997 verabschiedeten Kyoto-Protokoll erstmals für die Industrieländer rechtsverbindliche Verpflichtungen zur Begrenzung und Reduzierung ihrer Treibhausgasemissionen festgeschrieben. Auch wenn es eine Vielzahl von Emissionsquellen von Treibhausgasen gibt, stellen der Energiesektor (84,9 % im Jahr 2016 in Deutschland) und der Verkehrssektor (18 % im Jahr 2016 in Deutschland), bedingt durch die Verwendung fossiler Energieträger wie Kohle und Erdöl, die größten Anteile am anthropogenen Treibhausgasausstoß dar (UBA, Emissionsquellen, 2016). Neben der effizienteren Nutzung von Energieträgern durch eine Optimierung der Technologien (Effizienzstrategie) oder der Einsparung im Energieverbrauch (Suffizienzstrategie), beispielsweise durch energetische Sanierungen, gilt die Umstellung des Energiesektors von der Nutzung fossiler Brennstoffe hin zu Erneuerbaren Energiequellen als der maßgebliche Schritt zur Minimierung des Treibhausgasausstoßes (Behrendt, Göll, & Korte, 2016) (ifeu, 2016) (Verbraucher Initiative e.V., 2016). (BMU, Internationale Klimapolitik, 2017)

Neben den fünf bekannten, nachhaltigen Energieformen Windenergie, Wasserkraft, Solarenergie, Bioenergie und Geothermie wird ebenfalls die wesentlich unbekanntere Meeresenergie zu den Erneuerbaren Energien gezählt (Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., 2018) (ENVE, 2015). Die wohl bekanntesten Formen von Energiegewinnung aus dem Meer liegt in der Nutzung von Wellen und Gezeiten (SETIS, 2013, S. 1). Jedoch bestehen neben diesen beiden Nutzungsarten noch drei weitere in Gestalt der Energiegewinnung aus Strömungen, der Differenz von Salzgehalten zwischen Süß- und Salzwasser (Osmosekraftwerke) und der Differenz von Wassertemperaturen zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser (thermisch) (Ovacen, 2017). (APPA, ¿Qué es la Energía Marina?, 2018)

Wie ihre enge Verwandte, die Wasserkraftnutzung an den Flüssen des Binnenlandes, ist die Wasserkraftnutzung aus den Meeren weit älter als die Erfindung der Dampfmaschine im frühen 18. Jahrhundert und die Erfindung der Verbrennungsmotoren Mitte des 19. Jahrhunderts (Deutsches Museum München, 2004) (GSE, 2015). Während die Wasserkraftnutzung an Flüssen in China bereits vor 5.000 Jahren und am Nil vor etwa 3.500 Jahren zur Bewässerung von Feldern eingesetzt wurde, kann die Nutzung der Meeresenergie über Gezeitenmühlen in Südfrankreich und England (Dover) auf das frühe elfte Jahrhundert datiert werden (WILO SE, 2019). Neben dem Mahlen von Getreide und Gewürzen wurden die als sehr zuverlässig geltenden und ganzjährig arbeitenden Gezeitenmühlen auch zum Antreiben von Hammer- und Sägewerken der Papier-, Holz- und Stoffindustrie eingesetzt (Spain, 2002). Wie die Windkraftnutzung und die Wasserkraftnutzung im Binnenland, verdrängte die Erfindung der Dampfmaschine zu Beginn der Industrialisierung auch die frühe Nutzung der Meeresenergie. Erst mit der Veröffentlichung der Zukunftsstudie „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome im Jahr 1972, der Atomkata-

strophe von Tschernobyl im Jahr 1986, der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung von Rio im Jahr 1992, dem Kyoto-Protokoll aus dem Jahr 1997 und spätestens nach der Atomkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 (Atomausstieg und Beginn der Energiewende in Deutschland) rückten die Erneuerbaren Energien und somit auch die Nutzung der Meeresenergie immer stärker in den Fokus (Welzer & Leggewie, 2011) (Bundespresseamt, 2019). Während bei den früheren Nutzungen der Windkraft und Wasserkraft die mechanische Energie direkt genutzt wurde, steht heute die über Generatoren gewinnbare elektrische Energie zur Einspeisung ins Stromnetz und Weiterleitung an die Abnehmer im Vordergrund (UBA, Energie aus Wasserkraft, 2014). Zwar gibt es seit der jüngsten Vergangenheit die ersten wirtschaftlich betriebenen Meeresenergiekraftwerke, trotzdem befindet sich die Nutzung der Meeresenergie zum heutigen Zeitpunkt, im Gegensatz zu den restlichen Erneuerbaren Energien, noch im Entwicklungs- und Forschungsstadium und bietet deshalb noch reichlich Entwicklungspotenzial für die Zukunft (UBA, Energiegewinnung im Meer, 2010). Eine Ausnahme stellt hier die Energiegewinnung über Gezeitenkraftwerke in Dammbauweise dar, welche zwar aufgrund ihrer Umweltauswirkungen stark umstritten ist, auf der anderen Seite jedoch mit dem in Frankreich im Jahr 1966 errichteten Gezeitenkraftwerk „Usine marémotrice de la Rance“ kommerziell genutzt wird (vgl. Kapitel 2.1). (bpb, 2016)

Alleine die Tatsache, dass 71 % der Erdoberfläche von Meeren und Ozeanen bedeckt ist, deutet das enorme Energiepotenzial der Meere an (Diercke, 2008). Angaben des World Energy Council zufolge, beläuft sich das weltweite jährliche Potenzial von Gezeitenenergie auf 1.200 TWh, von Wellenenergie auf 29.500 TWh und von thermischer Meeresenergie auf 83.340 TWh. (World Energy Council, 2016)

Bedingt durch das hohe Potenzial und der dringend benötigten Alternativen zu den fossilen Energieträgern, gewann die Meeresenergie wie auch die anderen Erneuerbaren Energien, immer weiter an politischem Interesse. So veröffentlichte unter anderem die Fachkommission für Umwelt, Klimawandel und Energie (ENVE) der Europäischen Union im Jahr 2015 eine Stellungnahme zur Entwicklung des Potenzials der Meeresenergie, räumt ihr darin einen wichtigen Beitrag zur Deckung des künftigen Energiebedarfs der Europäischen Union ein und verkündet die Aufnahme der Meeresenergienutzung als eine von fünf Prioritäten in der Strategie für blaues Wachstum. Auch erscheint das Meer als nutzbare Energiequelle in zahlreichen Veröffentlichungen europäischer Länder, unter anderem Deutschlands und Spaniens, und weckt auch bei Stromkonzernen wie Statkraft (Norwegen) und Kraftwerkentwicklern wie Siemens großes Interesse (BMWi, 6. Energieforschungsprogramm, 2014) (Statkraft, 2009) (Siemens, Pictures of the Future, 2010). Weiter wird in der Entwicklung der Meeresenergie ein großes Potenzial zur Schaffung von europaweit etwa 26.000 neuen Arbeitsplätzen bis 2020 und einer halben Million bis 2050 gesehen. (World Energy Council, 2016) (ENVE, 2015) (European Commission Asuntos Maritimos y Pesca, 2013)

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wird Spanien hinsichtlich seines Potenzials zur Nutzung der Meeresenergie betrachtet. Bereits vor über 80 Jahren veröffentlichte der deutsche Architekt Herman Sörgel seine Vision zur Trockenlegung eines Teils des Mittelmeeres mit dem Ziel der Landgewinnung und Friedenssicherung. Erreicht werden sollte diese Teiltrockenlegung des Mittelmeeres durch den Bau von Dämmen an der Straße von Gibraltar, zwischen Sizilien und Tunesien sowie den türkischen Dardanellen, welche den Zustrom aus dem Atlantik und dem Schwarzen Meer regulieren sollten. Teil der Vision war die energetische Nutzung der errichteten Dämme. Für den Damm in der Straße von Gibraltar mit ihren Strömungen in Folge des Wasseraustausches zwischen Mittelmeer und Atlantik wurde mit einer möglichen Leistung von 50.000 Megawatt (etwa 40 Atomkraftwerke) gerechnet. Heute ist diese Vision zwar wieder größtenteils in Vergessenheit geraten, der Standort der Straße von Gibraltar zur

energetischen Nutzung der Strömungen ist jedoch bezüglich der Energiebereitstellung Spaniens und Europas auch heute noch ein häufig diskutiertes Thema (GOFIMA, 2012). Bedingt dadurch, dass die Landesgrenzen des spanischen Staates, abgesehen von den Grenzen zu Frankreich im Nordosten und zu Portugal im Westen, von Meeren gebildet werden, stellt sich die Frage in wie weit das Land sich die Energiequelle Meer zukünftig zu Nutze machen kann. Seit dem Aufschwung der Erneuerbaren Energien erweiterte Spanien kontinuierlich seine installierten Leistungen in den Bereichen Windkraft und Solar- kraft und gehört heute diesbezüglich zu den führenden Ländern. Inwieweit eine solche Entwicklung auch für die Nutzung der Meeresenergie möglich ist, hängt neben den politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen, hauptsächlich vom Potenzial der vorhandenen Standorte ab, die im Folgenden analysiert werden. (Quaschnig, Weltweite installierte Windkraftleistung, 2019) (Quaschnig, Weltweit installierte Photovoltaikleistung, 2019) (Gall, 1998)

In der vorliegenden Masterarbeit werden zunächst die verschiedenen Nutzungsarten der Meeresenergie hinsichtlich ihrer Entstehung und ihrer Nutzung zur Energiegewinnung vorgestellt. Weiter werden Berechnungsansätze zum Ermitteln von Potenzialen und Leistungen von Kraftwerken diskutiert. Anschließend wird das Land Spanien hinsichtlich seines Energiebedarfs und seiner Küstengebiete in Bezug auf die Nutzung der Meeresenergie betrachtet. Nach einem Überblick der rechtlichen Rahmenbedingungen und finanziellen Fördermaßnahmen für die Meeresenergienutzung werden die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalyse dargelegt. Anhand der ermittelten Potenziale werden Standorte entlang der spanischen Küsten zur Nutzung der Meeresenergie für verschiedene Kraftwerkstypen aufgezeigt. Die über die Standorte mögliche Stromproduktion wird anschließend dem Strombedarfs Spaniens gegenübergestellt. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse zur Nutzung der Meeresenergie entlang der Küsten Spaniens im Fazit erläutert.

2. Nutzungsarten der Meeresenergie

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Nutzungsarten von Meeresenergie zunächst allgemein vorgestellt und anschließend anhand verschiedener Technikbeispiele vertieft. Bei den vorgestellten Techniken zur Nutzung der Meeresenergie handelt es sich um von Universitäten, Instituten oder in der freien Wirtschaft tätigen Betrieben bereits entwickelte Verfahren, aber auch um Verfahren, welche sich zum Zeitpunkt der Ausarbeitung dieser Masterthesis in der Forschung befinden oder als Prototypen errichtet wurden.

2.1. Gezeitenkraftwerke (Energía mareomotriz / Tidal energy)

Bei Gezeitenkraftwerken handelt es sich um eine Wasserkraftwerksform zur Nutzung der Meeresenergie, welche sich die Wechselwirkung zwischen den Gezeiten (Ebbe und Flut) und den daraus resultierenden Strömungen zu Nutzen macht. Neben den Gravitationswirkungen von Sonne und Mond auf die Erde werden die Gezeiten zusätzlich auch durch die Neigung der Erdachse, die Neigung der Erdumlaufbahn zur Bahn des Mondes sowie die Geografie der Erde beeinflusst (Titz & Wagner, 2007). Die Europäische Kommission schätzt das weltweite Potenzial der Gezeiten im Rahmen des „Strategic Energy Technologies Information System“ (SETIS) auf etwa 1.200 TWh pro Jahr geschätzt (SETIS, 2013). (Ovacen, 2017)

Das Grundphänomen der Gezeitenbildung stellt die auf die Erde wirkende Gravitationskraft des Mondes dar, welche an der gesamten Materie des Planeten zieht. Da mit zunehmendem Abstand die Gravitationskraft des Mondes nachlässt, entstehen Gezeiten. Es entstehen zwei sogenannte Flutberge, einer auf der mondzugewandten Seite der Erde und ein zweiter auf der mondabgewendeten Seite. Der Flutberg der mondzugewandten Seite entsteht durch die vom Mond ausgeübte Gravitationskraft, welche größer ist als die Gravitationskraft im Erdmittelpunkt und das Wasser des Ozeans der Gravitationskraft des Mondes wesentlich stärker folgt als die Erdkruste. Auf der gegenüberliegenden Seite der Erde werden die wirkenden Gravitationskräfte des Mondes und des Erdmittelpunktes von den wirkenden Fliehkräften aus der Drehung des Erde-Mond-Systems überlagert und dominiert, weshalb sich dort das Wasser in entgegengesetzter Richtung des Mondes bewegt und dort ebenfalls einen Flutberg bildet (Brühl D.-I., 2017, S. 23 ff.). Die nachfolgende Abbildung 1 stellt die aus den Kräftedifferenzen zwischen den Anziehungskräften des Mondes und der des Erdmittelpunktes resultierenden Gezeitenkräfte auf der Erde in roten Pfeilen dar. (Titz & Wagner, 2007) (Palomino D., 2017)

Das Wasser in den, durch blaue Pfeile markierten Bereichen zwischen den zwei Flutbergen, wird in Richtung der Flutbereiche gezogen, wodurch in diesen Bereichen Niedrigwasser, bzw. Ebbe auftritt (vgl. Abbildung 1). Die Differenz zwischen dem höchsten Pegelstand bei Flut und dem niedrigsten Pegelstand bei Ebbe wird als Tidenhub bezeichnet. (Titz & Wagner, 2007)

(Boothroyd, 1978, S. 287) (Salem State University, 2000). Abbildung 2 verdeutlicht die global auftretenden Unterschiede im Tidenhub, wobei der größte Tidenhub von 13 m und größer in dunkelrot und der niedrigste bis zu einem Meter in dunkelblau dargestellt wird. (NASA, TOPEX/Poseidon: Revealing Hidden Tidal Energy, 2006). (Dick, 2012) (Titz & Wagner, 2007) (Salzmann, 2009)

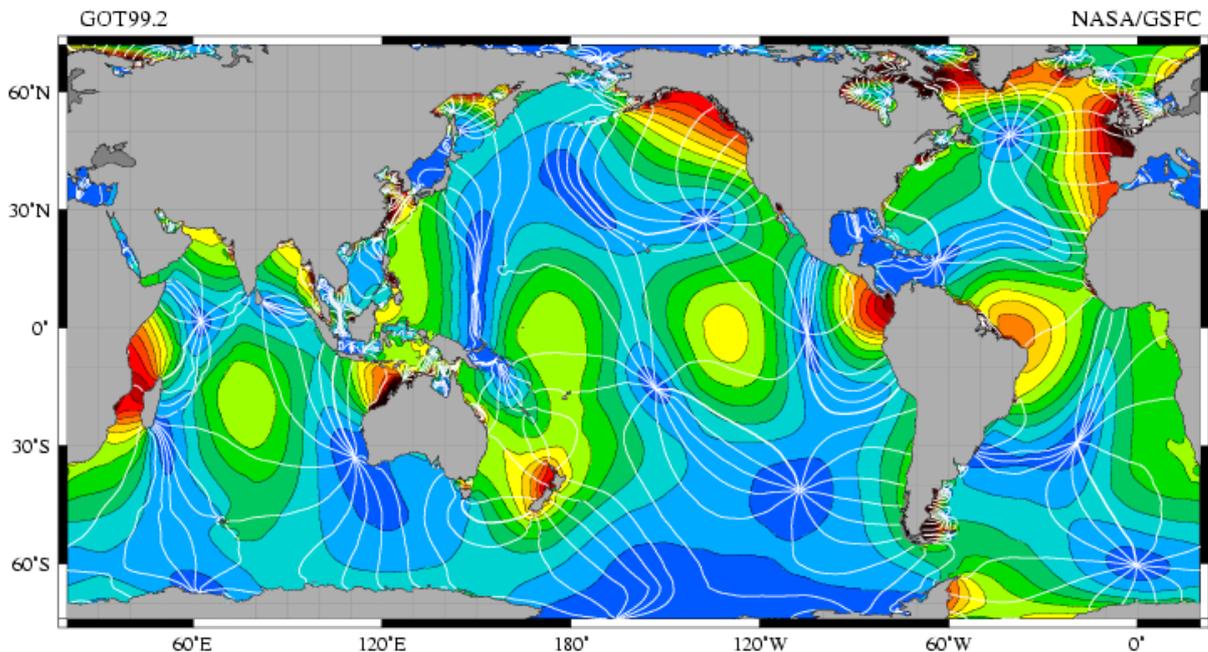


Abbildung 2: globale Auswirkung der Gezeiten bezogen auf den Tidenhub, wobei der größte Tidenhub in den dunkelroten Bereichen von über 13 m und der niedrigste Tidenhub in den dunkelblauen Bereichen mit zwischen 0 m und 1 m auftreten. (NASA, TOPEX/Poseidon: Revealing Hidden Tidal Energy, 2006)

Eine weitere Rolle bei der Auftrittshäufigkeit der Gezeiten spielt die Erddrehung. Innerhalb eines Monats wandert der Mond (und somit auch die beiden Flutberge) einmal um die Erde, während sich die Erde einmal pro Tag um ihre eigene Rotationsachse (somit auch einmal unter den beiden Flutbergen hindurch) dreht. Aus diesem Grund erreicht jeder Ort auf der Erdoberfläche an einem Tag beide der beiden Flutberge, wodurch zweimal täglich, im Abstand von etwa 12,5 Stunden Flut auftritt. Durch das Auftreten der Flut im Abstand von etwa 12,5 Stunden verändern sich die täglichen Flutzeitpunkte von Tag zu Tag. Durch den regelmäßigen Wechsel der Gezeiten, etwa alle sechs Stunden, und dem damit verbundenen regelmäßigen Wechsel der Fließrichtung, ist eine Tageslaufzeit von Gezeitenkraftwerken von bis zu 20 Stunden möglich, welche zusätzlich verlässlicher ist als die von Windkraft- oder Solaranlagen (Siemens, Turn the tides into energy, 2012) (National Oceanography Centre, 2018) (Lossau, 1996). (Salzmann, 2009)

Die bekannteste, älteste und meist erforschte Form von Gezeitenkraftwerken der heutigen Zeit sind Sperr- oder Querbauwerke mit integrierten Turbinen (Dammbauweise), welche in Buchten und Flussmündungen gebaut werden und somit den Bereich hinter dem Sperrbauwerk vom offenen Meer abschneiden. Bei Flut drückt das Wasser vom offenen Meer durch die im Sperrbauwerk integrierten Turbinen. Die kinetische Strömungsenergie treibt dabei die Turbine an, sodass über diese über die Verbindung der Turbine mit einem Generator in elektrische Energie umgewandelt wird. Tritt Ebbe ein, wird das Wasser aus dem abgesperrten Raum durch die Turbinen zurück ins offene Meer gezogen und erzeugt

ebenfalls elektrische Energie. Abbildung 3 stellt die Funktionsweise eines Gezeitenkraftwerkes schematisch dar. Bei den in Gezeitenkraftwerken in Dammbauweise eingesetzten Turbinen handelt es sich in den meisten Fällen um Kaplan-turbinen, welche in beidseitiger Richtung arbeiten und einen Wirkungsgrad η von bis zu 90 % aufweisen können (Sommerwerk, 2016). Limitierender Faktor für die Errichtung einer solchen Anlage ist der Tidenhub, welche nicht kleiner als fünf Meter (im macrotidalen Bereich) sein sollte, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten (Ovacen, 2017) (Energías Renovables, 2008). Im Vergleich zu Wasserkraftanlagen in Flüssen, entspricht bei Gezeitenkraftwerken in Dammbauweise der Tidenhub der Fallhöhe (Bard, 2005, S. 5). Wie auch bei der herkömmlichen Wasserkraftnutzung in Flüssen, hat auch die Nutzung der Gezeitenkraft in Dammbauweise negative Auswirkungen auf die ansässige Umwelt und deren Ökosysteme (European Commission Maritime Affairs and Fisheries, 2012). Einige Beispiele solcher negativen Auswirkungen auf die Umwelt können unter anderem die nicht vorhandene Passierbarkeit, bzw. ökologische Durchgängigkeit für Meeres- und Flusslebewesen aller Art, der Eingriff in die Natur während des Baus der Anlage oder die Versandung und im schlimmsten Fall Verlandung des abgesperrten Raumes sein (Mager, 2000). (Palomino D. , 2017)

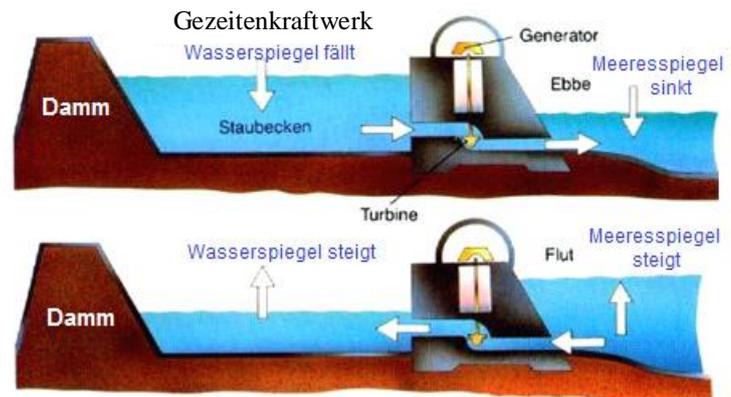


Abbildung 3: schematische Darstellung der Funktionsweise eines Gezeitenkraftwerkes (Palomino, 2014)

Die potenzielle Energie, welche in einem Gezeitenkraftwerk in Dammbauweise gespeichert werden kann, lässt sich über Gleichung 1 ermitteln, wobei h die Höhe des Wasserspiegels im abgesperrten Gezeitenkraftwerk über dem normalen Wasserspiegel ist (Hering, Martin, & Stohrer, 2012, S. 67). Die Masse m des Wassers ergibt sich aus der Multiplikation der Dichte ρ und des Volumens V . Das Volumen des abgesperrten Bereiches wird über die Multiplikation der Wasserfläche A mit der Höhe h ermittelt. (Holler, 2018)

$$E_{pot} = mgh = \rho Vgh = \rho Agh^2 \quad (1)$$

Da sich nicht die gesamte Masse m des Wassers in der Höhe h befindet, sondern ihr Körperschwerpunkt mittig liegt, wird h zu $h/2$. Weiter korrespondiert die maximale Füllhöhe h des abgesperrten Beckens mit dem auftretenden Tidenhub δ . Somit ergibt sich Gleichung 2 zur Ermittlung der im abgesperrten Bereich des Gezeitenkraftwerkes gespeicherten potenziellen Energie in Abhängigkeit des Tidenhubs.

$$E_{pot} = \rho gA \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad (2)$$

Die theoretische Leistung P eines Gezeitenkraftwerks kann über Gleichung 3 ermittelt werden. (AZTI tecnia, 2012, S. 86)

$$P = \frac{4\rho g A \left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{t_{\text{Gezeit}}} \quad (3)$$

Durch das Wiederkehren der Flut im Abstand von 12,42 Stunden ergibt sich eine Gezeitenperiode t_{Gezeit} von etwa 44.700 s. Wird neben der Gezeitenperiode eine Dichte des Salzwassers von etwa 1025 kg/m^3 , sowie die Erdbeschleunigung g von $9,81 \text{ m/s}^2$ angenommen, ergibt sich die theoretische Leistung P in Abhängigkeit des auftretenden Tidenhubes δ in Metern und der Fläche A in Quadratkilometern über Gleichung 4 in Megawatt (MW). (AZTI tecnia, 2012, S. 86) (Holler, 2018)

$$P = 0,90 \times A \times \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad (4)$$

Tabelle 1 führt die theoretischen Leistungen nach Gleichung 3, bzw. Gleichung 4 bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter und eine Gezeitenperiode t_{Gezeit} von zwölf Stunden und etwa 25 Minuten (44.700 s) für unterschiedlichen Tidenhub auf. Hierbei wird von einer Dichte des Salzwassers bei 25°C von $\rho_{\text{sw}} = 1025 \text{ kg/m}^3$ und einer Erdbeschleunigung g von $9,81 \text{ m/s}^2$ ausgegangen.

Tabelle 1: Berechnung der theoretischen Leistung P eines Gezeitenkraftwerkes in Dammbauweise bezogen auf einen Quadratmeter Fläche

Tidenhub δ [m]	1	2	3	4	5	10	14
theoretische Leistung P pro m^2 [MW]	2,25E-07	8,99E-07	2,02E-06	3,59E-06	5,62E-06	2,25E-05	4,41E-05
theoretische Leistung P pro m^2 [W]	0,23	0,89	2,02	3,59	5,62	22,50	44,10

Zur besseren Einordnung der berechneten Leistungen bei unterschiedlichem Tidenhub werden die Ergebnisse mit den Erträgen aus Windkraftanlagen verglichen. Hierfür wird angenommen, dass die Windräder des Vergleichswindparks unter Berücksichtigung der Abstände zwischen den einzelnen Windrädern so eng wie möglich zusammenstehen. So können auf großen Flächen mit vielen Windrädern Erträge von drei Watt pro Quadratmeter und bei sehr guten Standorten wie bei Offshore-Windparks bis zu fünf Watt pro Quadratmeter Windparkfläche erzielt werden. Dies bedeutet, dass, unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Gezeitenkraftwerkes von maximal 90 % ein Tidenhub von etwa drei Metern benötigt wird um vergleichbare Erträge zu erzielen. (Holler, 2018)

Da der Bau von Dammbauwerken einen großen Eingriff in die Natur bzw. die Umwelt darstellt, wird seit den 1990er Jahren verstärkt an anderen Systemen zur Ausnutzung der Tideenergie geforscht, welche nicht auf ein Dammbauwerk angewiesen sind (Graw, 2001). Gefunden wurde eine Alternative in der

Nutzung von den aus den Gezeiten entstehenden Meeresströmungen über am Meeresgrund befestigten Turbinen und Rotoren. Ähnlich wie bei Windkraftanlagen nutzen die Gezeitenturbinen den an ihren Schaufeln durch die Strömung entstehenden Widerstand zur Umwandlung der kinetischen Strömungsenergie des Gezeitenstroms in eine Kreisbewegung (mechanische Energie) und letztendlich in Strom (BWE, 2018). Allerdings ist die Stromgewinnung über Gezeitenturbinen, bedingt durch die etwa 1000-fach höhere Dichte von Salzwasser ($\rho_{sw} = 1025 \text{ kg/m}^3$ bei 25°C und einem Salzgehalt von 3,5%) gegenüber der von Luft ($\rho_L = 1,18 \text{ kg/m}^3$ bei 25°C) und einer etwa 800-fach größeren Energiedichte als die des Windes, wesentlich effektiver als über Windkraftanlagen. Dies ermöglicht eine wirtschaftliche Nutzung von Gezeitenturbinen zur Stromerzeugung bei Fließgeschwindigkeiten von etwa einem Meter pro Sekunde (National Academy of Sciences, 2013, S. 49) (Siemens, Pictures of the Future, 2010) (König & Lipp, 2007). Bei Anlagen zur Energiegewinnung aus Gezeitenströmungen handelt es sich baulich gesehen um den Typ von Anlagen, welcher auch bei Meeresströmungskraftwerken zum Einsatz kommt (vgl. Kapitel 2.2 Meeresströmungskraftwerke (Energía de las corrientes / Ocean Current Energy)). Jedoch ist beim Einsatz dieser Strömungskraftwerke zur Energiegewinnung aus Gezeitenströmungen der beidseitige Betrieb, also Energiegewinnung sowohl bei Ebbe als auch bei Flut, gegeben, welcher beim Einsatz in Meeresströmungen nicht benötigt wird. Da es sich bei beiden Varianten um Kraftwerke zur Gewinnung von Energie aus Strömungen handelt, lässt sich das Potenzial über den gleichen Weg ermitteln. Dieser ist dem nachfolgenden Kapitel 2.2 zum Thema Meeresströmungskraftwerke (Energía de las corrientes / Ocean Current Energy) zu entnehmen. Einsatzorte dieser Art Gezeitenkraftwerke sind sowohl von Gezeiten geprägte Meerengen (vgl. Abbildung 4), Ausgänge von Buchten und Flussmündungen, als auch gezeitenströmungsgeprägten Stellen im offenen Meer (vgl. Abbildung 5). Potenzielle europäische Standorte für die Anwendung solcher Gezeitenströmungsanlagen sind in Anhang A.1. dargestellt. (Alternative Energy Tutorials, 2010) (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wie viel Strom steckt in der Meeresströmung?, 2010)

Sowohl die in Abbildung 4 als auch in Abbildung 5 dargestellten Turbinen- bzw. Anlagentypen weisen wie Windkraftanlagen einen Wirkungsgrad η von 40 bis 60 % auf, wobei er realistisch gesehen, nach heutigem Stand der Technik wohl eher im Bereich knapp über 40 % liegt und die 60 % den theoretischen Wirkungsgrad darstellen (Burton, Jenkins, Bossanyi, & Sharpe, 2001). Im Gegensatz zu Windkraftanlagen spielt das Gewicht der Komponenten der Strömungskraftwerke allerdings eine wesentlich untergeordnetere Rolle als bei der Windkraft. Auf Grund der größeren Dichteverhältnisse im Wasser ist die Belastbarkeit der Rotoren hinsichtlich der Biegemomente, sowie die Auslegung des Rotorprofils zur Kavitationsvermeidung von Bedeutung. (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004)



Abbildung 4: SeaGen, die erste kommerzielle Unterwasser-Stromfabrik in der Meerenge von Strangford in Nordirland ist eine Weiterentwicklung des SeaFlows (in Betriebnahme: 2008) (Siemens, Pictures of the Future, 2010, S. 4)



Abbildung 5: erstes Gezeitenkraftwerk im offenen Meer vor der Küste Frankreichs in der OpenHydro -Bauweise (Wetzels, 2012)

Bei den zur Energiegewinnung aus Gezeitenströmungen verwendeten Turbinen wird in zwei Arten unterschieden, den Horizontalachsen- und Vertikalachsen-Turbinen, welche sich durch ihre Ausrichtung zum Meeresboden unterscheiden. Bei Turbinen mit horizontaler Achse handelt es sich um mehrflügelige Turbinen, welche je nach Ausführung Windkraftanlagen ähneln können (vgl. Abbildung 4) oder in einem festen Gehäuse sitzen (vgl. Abbildung 5). Trotz des Vorteils von über die Wasseroberfläche abheb- baren Getrieben und elektrische Maschinen zur Wartung und Reparatur kommen Turbinen mit vertikaler Achse deutlich seltener zum Einsatz in Gezeitenkraftwerken als Turbinen mit horizontaler Achse. Bei- spiele für Turbinen mit vertikaler Achse sind der Savonius-Rotor, der Darrieus-Rotor, der Banki-Cross- flow-Rotor oder die Gorlov helical Turbine (SETIS, 2013). In Abbildung 6 wird links eine einfache Form des Savonius-Rotors bzw. der Savonius-Turbine mit lediglich drei Flügeln und rechts das „Neptune Tidal Power Pontoon“, welches als Turbine eine vier auf vier Meter große, mehrflügelige Savonius- Turbine verwendet, dargestellt. Vorgestellt wurde diese Anlage im Jahr 2007 und sollte bei geringen Herstellungskosten einen Wirkungsgrad η von etwa 60 % aufweisen (Energyprofi GmbH, 2010). (Alternative Energy Tutorials, 2010)

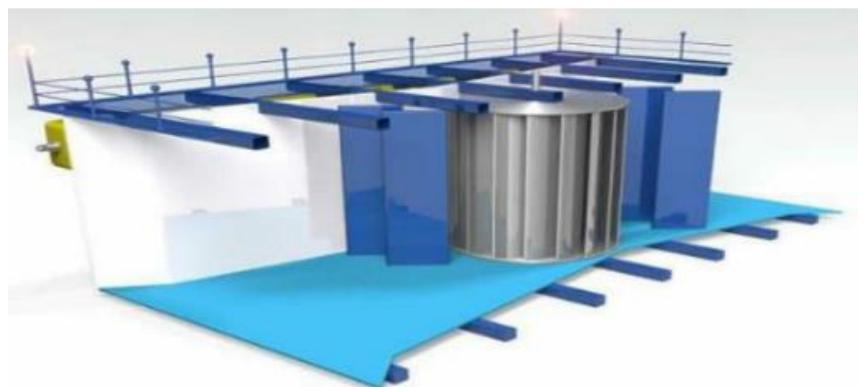
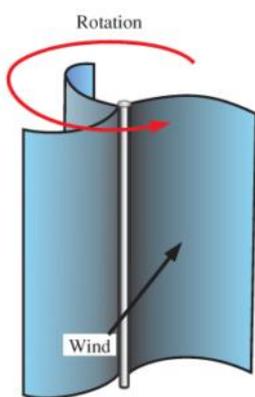


Abbildung 6: herkömmliche, dreiflügeliger Savonius-Rotor zur Energiegewinnung aus Wind (links) und Neptune Tidal Power Pontoon basierend auf einer mehrflügeligen Savonius-Turbine der Firma Neptune Renewable Energy Ltd. (rechts) (Faizan, 2012) (National Renewable Energy Laboratory, 2014)

Das größte europäische und bis 2011 weltweit größte Gezeitenkraftwerk in Dammbauweise ist das im Nordwesten Frankreichs liegende Kraftwerk „Usine marémotrice de la Rance“, welches bereits 1966 fertiggestellt wurde und im darauffolgenden Jahr Strom einspeiste. Das für das Gezeitenkraftwerk errichtete Absperrbauwerk weist eine Länge von knapp 750 m auf. Es beinhaltet ein 65 m breites Schleusenbauwerk für die Schifffahrt (20.000 Schiffe pro Jahr), eine 390 m lange, betonierte Staumauer mit integriertem Maschinenhaus für 24 Turbinen, einem 163 m langem Staudamm und einem aus sechs Abschnitten bestehenden, 115m langen bewegliches Sperrwerk zur Regulierung des Tidendurchflusses. Die über das Sperrbauwerk vom Atlantik abgesperrte Flussmündung der Rance besitzt eine Fläche von etwa 22 km² und ein Volumen von 184.000.000 m³ Wasser. Der Wirkungsgrad der Kaplan turbinen liegt bei knapp 90 %. Über die 24 Kaplan-Rohrturbinen mit horizontaler Welle und einem Rotordurchmesser von 5,35 m kann bei einem maximalen Durchfluss von 275 m³/s und einer maximalen Drehzahl von 260 Umdrehungen pro Minute eine elektrische Leistung von bis zu 10 MW (insgesamt 240 MW) erzeugt werden. Dies reicht zur Versorgung einer Stadt mit 330.000 Einwohner. Der Tidenhub am Gezeitenkraftwerk „La Rance“ übersteigt des Öfteren 12 m und kann als Maximum 13,50 m erreichen (Energyprofi GmbH, 2010). Bei maximalem Tidenhub strömen täglich etwa 720 Mio. m³ Wasser durch das Kraftwerk. Bis zu seinem 30-jährigen Jubiläum im Jahr 1996 lief das Gezeitenkraftwerk ohne größere Pannen 160.000 Stunden (im Durchschnitt knapp 14 Stunden pro Tag) und produzierte während diesem Zeitraum etwa 16 Milliarden kWh Strom (Energyprofi GmbH, 2010). Unter Berücksichtigung der Investitionskosten von 400 Millionen DM für das Gezeitenkraftwerk La Rance, ergeben sich die Stromgestehungskosten zu etwa zehn Cent pro kWh (Graw, 2001) (Reiche, 2005, S. 185). Zum Vergleich belaufen sich die Stromgestehungskosten von Steinkohle in Deutschland auf zwischen sieben und elf Cent pro kWh (Agora Energiewende, 2015, S. 20). (EDF, 2008) (Sommerwerk, 2016)



Abbildung 7: Ausschnitt aus dem offiziellen Lageplan der „Usine marémotrice de la Rance“ der EDF (oben) und Luftaufnahme des Sperrwerkes mit integriertem Schleusenbau- und Gezeitenkraftwerk (unten) (EDF, 2008) (Rath, 2018)

Anhang A.1. stellt die gängigsten Technologien zur Nutzung der durch Gezeiten verursachten Strömungen da.

2.2. Meeresströmungskraftwerke (Energía de las corrientes / Ocean Current Energy)

Bei Meeresströmungskraftwerken handelt es sich um Wasserkraftwerke, welche aus den natürlich auftretenden Strömungen in Meeren und Ozeanen Strom generieren. Grundsätzlich handelt es sich um die gleiche Technologie, wie sie auch bei der Nutzung von Gezeitenströmungen zum Einsatz kommt, mit dem Unterschied, dass sie beim Einsatz für Meeresströmungen der Ozeanzirkulation lediglich in eine Strömungsrichtung betrieben werden müssen. Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, wird hierfür eine Turbine in der Strömung platziert, welche über die Rotation der Turbine Strom erzeugt. Ähnlich wie bei der Nutzung der Windkraft hat auch die Nutzung der Meeresströmungen zur Energiegewinnung schon seit längerer Zeit das Interesse vieler Forscher und Entwickler geweckt (National Academy of Sciences, 2013, S. 48 ff.). Bei Meeresströmungen, die ihren Ursprung nicht in Gezeiten haben, handelt es sich sowohl um den horizontalen als auch vertikalen Transport von Wassermassen in den Meeren und Ozeanen. Grund für ihr Vorkommen sind, neben Winden, die aus der Erdrotation resultierenden Corioliskräfte, sowie unterschiedliche Wasserdichten infolge variierender Salzgehalte oder Temperaturen im Meerwasser. Abbildung 8 zeigt die global auftretenden Meeresströmungen. Dieser globale Wassermassenaustausch wird auch thermohaline Zirkulation oder umgangssprachlich globales Förderband genannt und stellt einen maßgebenden Einflussfaktor auf das Klima verschiedener Regionen des Planeten dar. Unterschieden wird bei den Strömungen der thermohalinen Zirkulation zwischen warmen, oberflächennahen Meeresströmungen, welche in Abbildung 8 in rot dargestellt sind, und kalten Meeresströmungen (blau), welche durchaus in Tiefen von zwei bis drei Kilometern liegen können. In Gelb sind die in den Polarkreisen befindlichen Konvektionsgebiete dargestellt, in denen warme Meeresströmungen abkühlen und in die Tiefe absinken. Der etwas dunklere Blauton an einigen Stellen der Ozeane in Abbildung 8 kennzeichnet Regionen mit hohem Salzgehalt, während die weiß dargestellten Ozeanflächen einen nied-

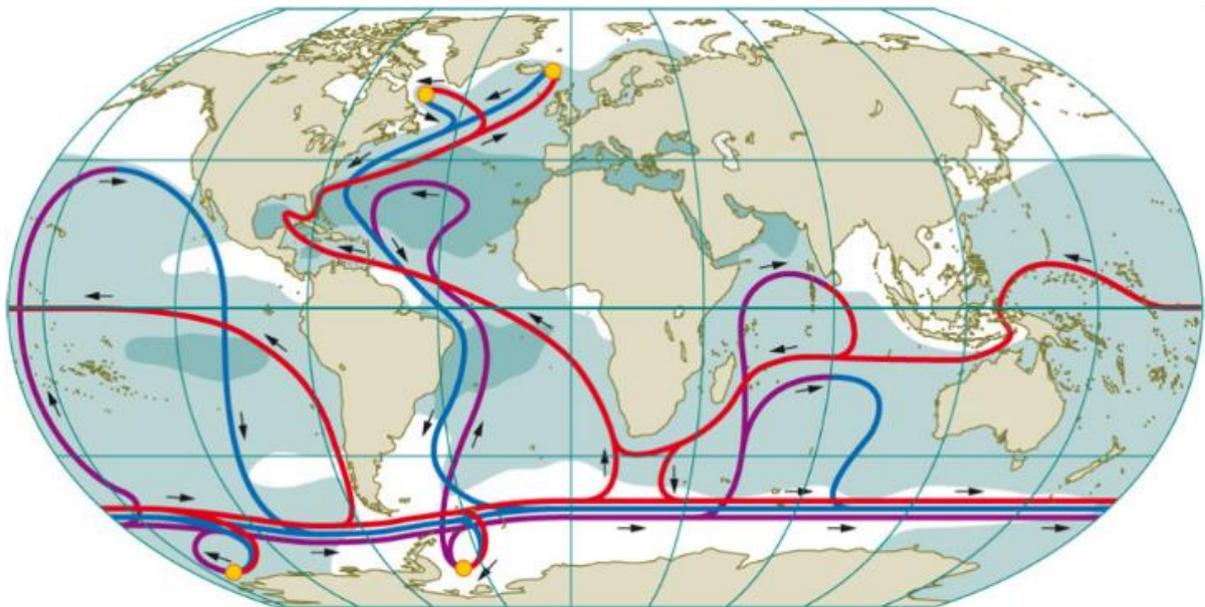


Abbildung 8: Lage der globalen, warmen (rot) und kalten (blau) Meeresströmungen bzw. der thermohalinen Zirkulation. In Gelb werden die Konvektionsgebiete dargestellt. (World Ocean Review, Antrieb des Klimas – die großen Meereströmungen (Wor1), 2010)

rigeren Salzgehalt aufweisen. Die besonders salzhaltigen Regionen der Ozeane befinden sich hauptsächlich in den Bereichen der warmen Subtropen, wo sie aus einer hohen Verdunstung resultieren. Die am Kreislauf der thermohalinen Zirkulation beteiligten und bewegten Wassermassen belaufen sich auf etwa 400.000 km³ und entsprechen etwa einem Drittel des gesamten Wassers der Ozeane. (World Ocean Review, Antrieb des Klimas - die großen Meereströmungen (Wor1), 2010) (RAO, 2015)

Beispiel einer Meeresströmung ist der im Kreislauf der thermohalinen Zirkulation integrierte Golfstrom, welcher Bestandteil des nordatlantischen Strömungssystems ist und auch als Wärmepumpe Nordeuropas bezeichnet wird. Bedingt durch seinen Verlauf von der Karibik bis vor die Küsten Neufundlands, einer Breite von 50 bis 150 km und einer Tiefe von mehreren hundert Metern ist der Golfstrom eine der größten Meeresströmungen des Planeten. Er transportiert pro Sekunde bis zu 100 Millionen Kubikmeter Wasser Richtung Europa mit einer durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit von 6 km/h bzw. 1,66 m/s. An manchen Stellen erreicht der Golfstrom Fließgeschwindigkeiten von etwa zwei Metern pro Sekunde. In der Karibik beträgt die durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Wassertemperatur bis zu 30 °C, welche zwar bis zum Konvektionsgebiet des Golfstromes vor Neufundland auf etwa 20 °C abnimmt, somit aber für das milde Klima Nordeuropas sorgt. (Kehse, 2008)

Die kinetische Energie einer Meeresströmung berechnet sich, wie jede andere Wasserströmung über die kinetische Energie, wie in Gleichung 5 dargestellt (Graw, 2001).

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \frac{m}{t} v^2 = \frac{1}{2} \frac{\rho V}{t} v^2 = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \quad (5)$$

Hierbei ist die pro Zeiteinheit t mit der Geschwindigkeit v bewegte Masse m für die Leistung der Strömung entscheidend. Für die bewegte Masse m pro Zeiteinheit t gilt die in Gleichung 6 dargestellte Beziehung. (Graw, 2001)

$$\frac{m}{t} = \rho \frac{V}{t} = \rho Q = \rho A v \quad (6)$$

Über die Multiplikation der Fließgeschwindigkeit mit dem bekannten Querschnitt A kann die Masse berechnet werden. Endgültig ergibt sich die Leistung einer freien Strömung bzw. Meeresströmung gemäß Gleichung 7 (Graw, 2001) (AZTI tecnia, 2012, S. 87).

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (7)$$

Unter Berücksichtigung der Lanchester-Betz-Grenze (Lanchester-Betz-Gesetz) verändert sich Gleichung 7 für die Berechnung der theoretischen Leistung einer einzelnen, in eine Meeresströmung der

Strömungsgeschwindigkeit v , getauchten Turbine mit der Querschnittsfläche A zu Gleichung 8 (National Academy of Sciences, 2013, S. 48). Das Lanchester-Betz-Gesetz bezieht sich in seiner ursprünglichen Formulierung aus den 1920er Jahren auf die maximale aus einer Windkraftanlage gewinnbaren Nutzleistung. Demnach sind maximal etwa 60 % der mechanischen Leistung des Windes an den Rotorflächen einer Windkraftanlage in nutzbare Leistung umwandelbar. Dies ist ebenfalls auf in Strömungen eingetauchte Turbinen übertragbar. (Betz, 1926)

$$P_T = 0,3 \rho A v^3 \quad (8)$$

Bei einer Strömungsgeschwindigkeit v von zwei Metern pro Sekunde, einer Querschnittsfläche A von 1000 m^2 und einer Wasserdichte von 1025 kg/m^3 ergibt sich eine berechnete Leistung von $2,4 \text{ MW}$ (National Academy of Sciences, 2013, S. 48).

Da die Strömungsgeschwindigkeit v in Gleichung 7 und Gleichung 8 in der dritten Potenz eingeht, ist das Potenzial, bzw. die Leistung P dort sinnvollerweise und vorrangig auszunutzen, wo besonders große Strömungsgeschwindigkeiten auftreten. In der nachfolgenden Tabelle 2 werden für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten v , wie sie sowohl bei konstanten Meeresströmungen als auch bei Gezeitenströmungen auftreten können, die spezifische Leistung in W/m^2 , gemäß Gleichung 7, bezogen auf eine Querschnittsfläche von einem Quadratmeter dargestellt. Hierbei wird als maximale auftretende Strömungsgeschwindigkeit v , die der Bay of Fundy / Kanada von 4 m/s angenommen. Die Dichte ρ geht mit 1025 kg/m^3 für Salzwasser mit einem Salzgehalt von $3,5 \%$ in Gleichung 7 ein. Tabelle 2 veranschaulicht die nach Gleichung 7 bestehenden Potenziale bezogen auf eine durchströmte Querschnittsfläche von einem Quadratmeter für verschiedene Strömungsgeschwindigkeiten. Eine wirtschaftliche Nutzung einer Strömung ist ab einem Potenzial von 200 W/m^2 möglich, was einer Strömungsgeschwindigkeit von $0,7 \text{ m/s}$ entspricht (GOFIMA, 2012, S. 35).

Tabelle 2: spezifische Leistung für verschieden Strömungsgeschwindigkeiten bei konstantem Querschnitt

Strömungsgeschwindigkeit v [m/s]	0,1	0,5	1,0	2	3	4
Leistung P [W/m^2]	0,51	64,06	512,5	4100	13837,5	32800

Abbildung 9 veranschaulicht die über Meeresströmungskraftwerke erzielbaren Leistungen in Abhängigkeit des Rotordurchmessers und der Strömungsgeschwindigkeit, wie sie sowohl bei Gezeitenströmungen, als auch bei Gezeiten unabhängigen Meeresströmungen erzielt werden können. Der Leistungsbereich der im weiteren Verlauf dieses Kapitel vorgestellten SeaFlow –Anlage und aus ihr resultierenden Weiterentwicklungen wie der SeaGen –Anlage aus Kapitel 2.1 ist in Abbildung 9 orange eingefärbt. (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004)

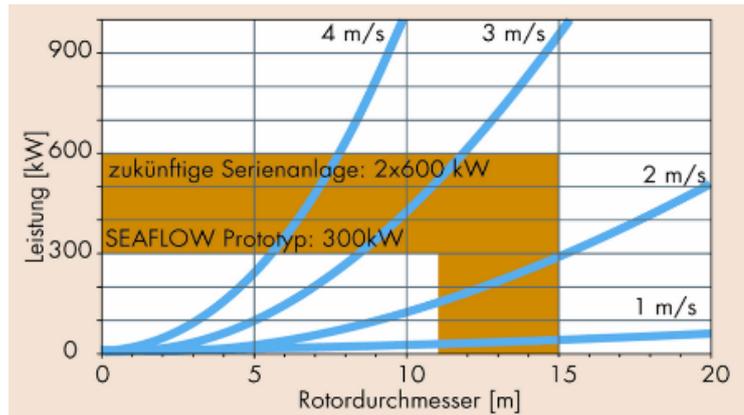


Abbildung 9: Erzielbare Leistungen von Meeresströmungsanlagen in Abhängigkeit des Rotordurchmessers und der Strömungsgeschwindigkeit (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004)

Da die Dichte von Salzwasser etwa 1000 mal größer ist als die von Luft, kann über eine Meeresströmung mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 1 m/s theoretisch die gleiche Leistung erbracht werden, wie mit einer Windkraftanlage mit gleicher Querschnittsfläche bei einer Windgeschwindigkeit von etwa neun Metern pro Sekunde. (Siemens, Pictures of the Future, 2010) (National Academy of Sciences, 2013, S. 49) (GOFIMA, 2012)

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Meeresströmungskraftwerken einschließlich Gezeitenströmungskraftwerken wie in Kapitel 2.1 beschrieben, können die Stromgestehungskosten bei einer Serienproduktion von Meeresströmungskraftwerken bei etwa fünf bis zehn Cent pro kWh liegen (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004). Ähnlich wie bei Offshore-Windkraftanlagen ist die Gründung über ein festes Fundament bis in eine Wassertiefe von maximal 80 m möglich. Für Standorte größerer Wassertiefen kommen schwimmende Fundamente, welche über Seile am Meeresgrund verankert werden zum Einsatz. Für Strömungskraftwerke, wie auch für die in Kapitel 2.3 beschriebene Wellenkraftwerke, ist auch eine direkte Verankerung des Kraftwerks (selbstschwimmend) über Seile am Meeresgrund möglich. Zur Minimierung der Installations- und Wartungskosten sollten Strömungskraftwerke in geringen bis mittleren Wassertiefen von bis zu 30 m errichtet werden (Heuck, Dettmann, & Schulz, 2013, S. 50). (BMWi, Fundamente und Gründungsstrukturen, 2018)

Zur Anwendung kommen bei Meeresströmungskraftwerken, wie bereits erwähnt, die identischen, bis ähnlichen Anlagentypen wie bei der Nutzung in Gezeitenströmungskraftwerken. Neben den Openhydro –Turbinen (vgl. Kapitel 2.1 Abbildung 5) kommen vor allem Windkraftanlagen ähnliche Techniken zum Einsatz, wie das SeaFlow (vgl. Abbildung 10). Hierbei handelt es sich, ähnlich wie bei dem in Abbildung 4 dargestellten Gezeitenströmungskraftwerk SeaGen um einen zweiflügeligen Rotor von elf Metern Durchmesser, welcher sich im Betrieb unter der Wasseroberfläche befindet und von der auftretenden Strömung in Rotation gebracht wird. Der Durchmesser eines solchen Strömungskraftwerkes kann allerdings auch größer gewählt sein und beträgt bei zur Zeit größten bestehenden Testlangen bis zu 20 m. Verankert ist das Kraftwerk am Meeresboden in einer Tiefe von 30 m, während sich am anderen Ende über der Wasseroberfläche eine Plattform für Wartungsarbeiten befindet, bis zu der der Rotor aus dem Wasser heraus angehoben werden kann. Durch die langsame Drehung des Rotors von lediglich 15 Umdrehungen pro Minute gibt es nur geringe Auswirkungen auf den Bestand und den Lebensraum von am Standort ansässigen Lebewesen (BINE, BINE Informationsdienst, 2004). Der von der Universität

Kassel geplante Prototyp weist eine Nennleistung von 300 kW bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,7 m/s auf und wurde in der Straße von Bristol vor der Küste von Cornwall im Südwesten Englands errichtet. Zwar handelt es sich bei der SeaFlow-Anlage um ein Kraftwerk zum Nutzen der Gezeitenströmung, die Technologie könnte aber auch in dieser Form bei anderen Meeresströmungen eingesetzt werden. Abbildung 10 zeigt das Strömungskraftwerk SeaFlow, welches einen Wirkungsgrad von etwa 40 % aufweist. Zwar wird in verschiedener Literatur ein möglicher Wirkungsgrad von zwischen 40 % und 60 % angegeben, jedoch liegt er nach heutigem Stand der Technik auch für die effektivsten Strömungskraftwerke im Bereich der 40 % (GOFIMA, 2012, S. 3) (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004). Hinsichtlich der verwendeten Rotoren kann anstatt eines zweiflügeligen Rotors auch ein dreiflügeliger eingesetzt werden, wie es beispielsweise bei dem „Blue Concept“ vor der norwegischen Küste der Fall ist. Unterschied zum SeaFlow ist zusätzlich, dass die Anlage komplett im Wasser versenkt ist und somit für den Betrachter keine optische Beeinträchtigung aufweist. Vom Aussehen erinnern diese Anlagen noch stärker an Windkraftanlagen auf dem Land. (Bard, 2005) (BINE, Energie aus Meeresströmungen, 2004) (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wie viel Strom steckt in der Meeresströmung?, 2010)



Abbildung 10: SeaFlow (Bard, 2005)

2.3. Wellenkraftwerke (Energía undimotriz / Wave energy)

Bei Wellenkraftwerken handelt es sich um eine Form von Wasserkraftwerken, welche die Energie der Meereswellen zur Gewinnung von elektrischem Strom nutzen. Im Gegensatz zu den Gezeitenkraftwerken wird nicht der Tidenhub zur Energiegewinnung ausgenutzt, sondern die Energiedifferenz der kontinuierlichen Wellenbewegungen. (Ovacen, 2017)

Das weltweite Potenzial von Wellenenergie wird vom World Energy Council auf etwa 29.500 TWh pro Jahr geschätzt, wobei Asien mit 6.200 TWh pro Jahr gefolgt von Australien, Neuseeland und die Pazifischen Inseln mit 5.600 TWh pro Jahr das größte Potenzial aufweisen. Für West- und Nordeuropa wird das Potenzial der Wellenenergie auf 2.800 TWh und für das Mittelmeer und die Atlantischen Archipelen (Kanaren, Kapverden & Azoren) auf 1.300 TWh pro Jahr geschätzt. (World Energy Council, 2016, S. 7 f.)

Unterschieden wird zwischen kurzen, mittleren und langen Wellen. Während kurze und mittlere Wellen nahezu ausschließlich durch wasseroberflächennahe Winde erzeugt werden, sind lange Wellen das Resultat der Gezeiten. Neben den Gezeiten können aber auch Ereignisse wie wetterbedingte Luftdruckunterschiede oder Erdbeben zur Entstehung von langen Wellen führen, wie es bei Tsunamis der Fall ist. (K.-U. Graw, 2002, S. 82 ff.)

Die Haupteinflussfaktoren der Wellenbildung und deren Formgebung sind neben der Windgeschwindigkeit, der Dauer des Windes, der Windangriffsfläche auf der Wasseroberfläche auch die Wassertiefe und die Wellenlänge (Matthöfer, 1976, S. 70). Auf dem offenen Meer folgen Wellen immer der Windrichtung, während sie an der Küste parallel zum Ufer verlaufen. Der Grund hierfür liegt im Zusammenspiel zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle und vorherrschender Wassertiefe. Wird die Wassertiefe geringer als die halbe Wellenlänge, kommt es bedingt durch die Reibung zum Abbremsen der Welle. Wird angenommen, dass die Welle sich mit der Windrichtung schräg zur Uferlinie fortbewegt, wird sie beim Erreichen der kritischen Wassertiefe von weniger als der halben Wellenlänge an der einen Seite der Welle abgebremst, während der Rest die ursprüngliche Geschwindigkeit beibehält und sich die Welle somit parallel zum Ufer dreht. Da Wellen überwiegend in tiefen Gewässern mit hohen Windintensitäten gebildet werden, sind die Wellen mit der meisten Energie in äquatorfernen Regionen des offenen Meeres zwischen dem 30. und 60. Breitengrad der nördlichen, also auch der südlichen Welt halbkugel zu finden. Durch die Reibung des Windes an der Wasseroberfläche werden die oberflächennahen Wasserteilchen beschleunigt, wodurch die Meeresoberfläche sich zu kräuseln beginnt. Meereswellen gleichen dabei die vom Wind durch Luftturbulenzen verursachten Druckunterschiede im meeresoberflächennahen Bereich aus. In einer positiven Rückkoppelung zwischen unebener Meeresoberfläche und Wind entstehen noch größere Druckunterschiede, wodurch die Wellenhöhe weiter ansteigt, bis diese Wechselwirkung von der Gewichtskraft der Wellenmasse beendet wird. Vom Ort der Wellenentstehung breiten sich diese fächerförmig überwiegend in derselben Richtung der antreibenden Kraft, des Windes, aus (Eckener, Kröger, & Dursthoff, 1981, S. 16). (Neumann, 1949, S. 187 ff.) (K.-U. Graw, 2002, S. 83) (Kamp, 2014)

Nachdem die Meereswellen bis zu mehrere tausend Kilometer ohne große Energieverluste über dem offenen Ozean, dem Tiefwasser, zurückgelegt haben können, gelangen sie irgendwann in flachere Meeresregionen, wie beispielsweise an Küsten. Mit abnehmender Tiefe des Gewässers sinkt sowohl die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, als auch deren Länge, wodurch die Welle „aufgestaut“ wird und die Welle an Höhe gewinnt. Dieses „Aufstauen“ wird in der sogenannten Refraktionszone durch den reibungsbedingten Energieverlust beim Kontakt der Welle mit dem Meeresboden hervorgerufen

(Deutscher Wetterdienst, 2015). Unterschreitet schließlich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle einen bestimmten Wert, überrollen die Wellenberge die Wellentäler und es kommt zum Brechen der Welle. Beim Brechen der Welle entstehen kleinere, schäumende Wellen, welche Brandung genannt werden, weshalb sich dieser Bereich Brecher- und Brandungszone nennt. Diese kann sowohl durch im flachen Wasser liegende Sandbänke also auch durch oberflächennahe Riffe gekennzeichnet sein. In der Wellenauflaufzone verliert die Welle beim Auflaufen auf beispielsweise einen Strand schließlich so stark an Energie, dass sie durch die Erdanziehungskraft zurückgezogen wird. Abbildung 11 veranschaulicht die eben beschriebenen Zonen der Wellenbildung und des Auflaufens der Welle in küstennahen Flachwasserzonen. (K.-U. Graw, 2002, S. 83) (Eckener, Kröger, & Dursthoff, 1981)

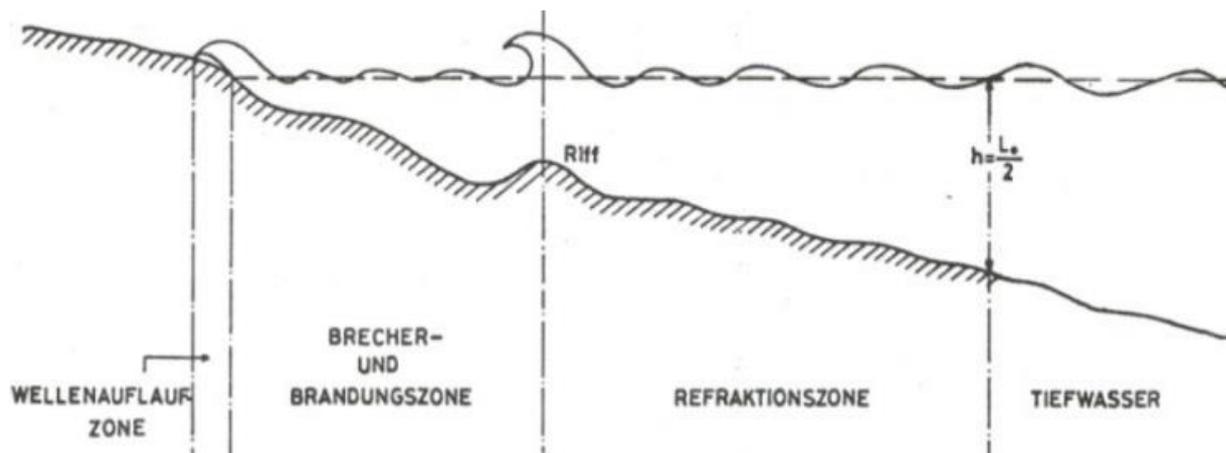


Abbildung 11: Von der Wellenentstehung im Tiefwasser bis hin zum Auflaufen der Welle im küstennahen Flachwasser (Eckener, Kröger, & Dursthoff, 1981, S. 16)

Vereinfacht kann das Wellenprofil, welches in der Natur einer Trochoide oder Zykloide (periodisch wiederkehrende Wellenbewegung mit breiteren Wellentälern als Wellenbergen) entspricht, als sinusförmig angenommen werden. Bei einem solchen sinusförmigen Wellenquerschnitt entspricht c der Phasengeschwindigkeit, also der Wellengeschwindigkeit, λ der Wellenlänge von Wellenberg zu Wellenberg bzw. von Wellental zu Wellental und H der Wellenhöhe als Differenz zwischen Wellenberg und Wellental. (Vogel, 1993, S. 93) (Fricke & Borst, 1979)

Unter Berücksichtigung dieser Annahmen lässt sich die in Meereswellen enthaltene Energie gemäß Gleichung 9 in potentielle und kinetische Energie aufteilen (Brühl D.-I., 2017) (Hering, Martin, & Stohrer, 2012, S. 67).

$$E = E_{pot} + E_{kin} \quad (9)$$

Hierbei stellt die potentielle Energie den Teil der Energie einer Welle, bzw. einer Meereswelle dar, welcher durch den Druckunterschied zwischen Wellenberg und Wellental, also der Wasserspiegelauslenkung hervorgerufen wird (Matthöfer, 1976, S. 70) (Brühl D.-I., 2017, S. 88). Die potentielle Energie einer Meereswelle lässt sich gemäß Gleichung 10 bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter berechnen, wobei H die Wellenhöhe als Differenz zwischen höchstem Punkt des Wellenberges und tiefsten Punkt des Wellentales ist (Brühl D.-I., 2017, S. 89).

$$E_{pot} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \quad (10)$$

Die kinetische Energie einer Welle resultiert aus der orbitalen Bewegung der Welle bzw. der Orbitalgeschwindigkeit ihrer Wasserpartikel. Zur Ermittlung der kinetischen Energie ist die Beschreibung der Welle durch eine phasenverschobene Kreisbewegung in die Wellenbewegungsrichtung notwendig. Dies geschieht in Hinblick auf ein Wasserteilchen, welches die Welle durchläuft. Die Geschwindigkeit v des Wasserteilchens, ist zunächst unabhängig von der Phasengeschwindigkeit c mit der sich die Welle ausbreitet. Aus der Betrachtung der potentiellen Energie einer Welle ergibt sich, dass Wasserteilchen, welche sich auf dem Wasserberg befinden eine höhere potentielle Energie aufweisen, als jene in Wellentälern. Hieraus folgt, dass beim Hinablaufen der Wasserteilchen die potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt wird und somit die Geschwindigkeit von Wasserteilchen in Wellentälern höher ist als die der Wasserteilchen auf dem Wellenberg. Die kinetische Energie einer Meereswelle bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter lässt sich gemäß Gleichung 11 berechnen. (Matthöfer, 1976, S. 70) (Brühl D.-I. , 2017, S. 88 f.) (Büsching, 2002)

$$E_{kin} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \quad (11)$$

Bei der Betrachtung der potentiellen und der kinetischen Energie und der zuletzt beschriebenen Tatsache der Energieumwandlung von potentieller zu kinetischer Energie wird ersichtlich, dass die gesamte Wellenenergie bezogen auf einen Quadratmeter Fläche [J/m^2] sich aus gleichen Anteilen potentieller und kinetischer Energie zusammensetzt und sich gemäß Gleichung 12 berechnen lässt. Soll die gesamte Welle erfasst werden, muss die Fläche der Welle als Wellenlänge mal Wellenbreite angenommen werden. (Brühl D.-I. , 2017, S. 88 ff.) (Büsching, 2002)

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (12)$$

Die Leistung P einer Meereswelle bezogen auf eine Wellenbreite von einem Meter ergibt sich aus Gleichung 13. (Cornett, 2008, S. 2)

$$P = \frac{1}{8} \rho g H^2 v_g \quad (13)$$

Hierbei geht, anders als bei Gleichung 12 zur Berechnung der Energie einer Welle, die Gruppengeschwindigkeit v_g , also die Geschwindigkeit, mit der sich ein Wellenpaket fortbewegt, in die Rechnung ein (Cornett, 2008, S. 2). Diese ist gemäß Gleichung 14 definiert, wobei d die lokale Wassertiefe, T die

Wellenperiode, also der zeitliche Abstand zwischen zwei Wellenbergen, c die Phasengeschwindigkeit ($c = \lambda T$), und k die Wellenzahl ($k = 2\pi / \lambda$) ist (Cornett, 2008, S. 2).

$$v_g = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sin(2kd)} \right) \frac{\lambda}{T} \quad (14)$$

In Flachwasser mit Wassertiefen, welche kleiner sind als die halbe Wellenlänge ($d < \lambda/2$) besteht für die Berechnung der Wellenlänge der Zusammenhang gemäß Gleichung 15 (Cornett, 2008, S. 2).

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \left(\tanh \left[\left(\frac{4\pi^2 d}{gT^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \right)^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Die Leistung einer Welle im tiefen Wasser ($d > \lambda/2$) bezogen auf eine Breite von einem Meter kann gemäß Gleichung 16 ermittelt werden (Cornett, 2008, S. 2).

$$P = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T \quad (16)$$

Zur Ermittlung der Leistung der gesamten Wellenfront müssen die Ausmaße bzw. die Breite l der Welle zusätzlich berücksichtigt werden.

Die Leistung einer Welle beim Brechen lässt sich gemäß Gleichung 17 berechnen, wobei l die Breite der Wellenfront darstellt. Der in die Gleichung eingehende Vorfaktor ergibt sich aus der Zusammenfassung empirischer Konstanten. (Fricke & Borst, 1979, S. 85)

$$P = 3060 \frac{kg}{s^3 m^2} \times \left(\frac{H}{2} \right)^2 \times \sqrt{\lambda} \times l \quad (17)$$

Abbildung 12 zeigt die jährliche globale Leistung in kW/m von Wellenkraft. Während das auf der nördlichen Halbkugel bestehende Potenzial hauptsächlich in den Wintermonaten (Dezember, Januar, Februar) besteht, resultiert das Potenzial der Südhalbkugel ebenfalls hauptsächlich aus der Zeit der dortigen Wintermonate (Juni, Juli, August) (Cornett, 2008, S. 6 f.)

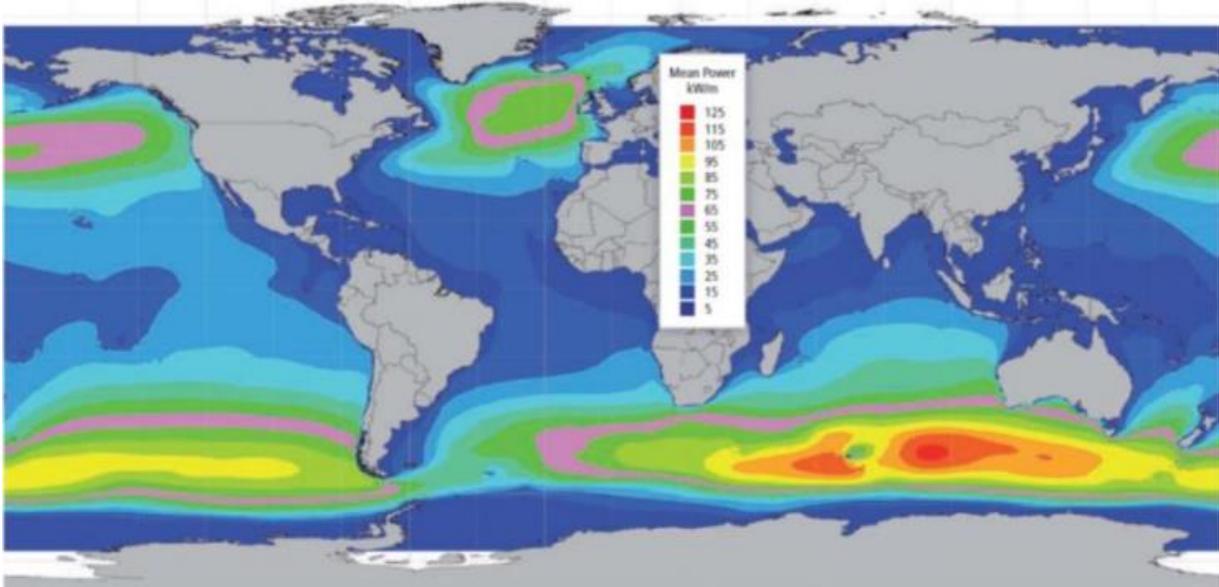


Abbildung 12: jährliches globales Potenzial von Wellenkraft (Cornett, 2008, S. 6)

In der Praxis des Küsteningenieurwesens wird die Wellenhöhe als signifikante Wellenhöhe H_s angegeben und beispielsweise zur Dimensionierung von Küstenschutzbauwerken verwendet. Statistisch stellt die signifikante Wellenhöhe das arithmetische Mittel aus dem höchsten Drittel der über einen Zeitraum in einem Gebiet auftretenden Wellen dar. Dies bedeutet, dass die durchschnittliche Wellenhöhe unterhalb der signifikanten Wellenhöhe liegt. Die Wellenperiode T gibt die Zeit in Sekunden an, welche für das Durchlaufen eines festen Ortes zweier aufeinanderfolgenden Wellenmaxima benötigt wird. Die Peakperiode T_P hingegen ist die Wellenperiode mit der höchsten Energie bezogen auf die signifikante Wellenhöhe H_s . Da die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Bojen und Messstellen lediglich die signifikanten Wellenhöhen H_s , sowie die Peakperioden T_P und nicht die mittlere Wellenhöhe und die mittlere Wellenperiode ausgeben (vgl. Kapitel 3), ist davon auszugehen, dass das in Kapitel 5 berechnete Potenzial etwas geringer ausfallen muss. (Mangor, 2004, S. 294 ff.) (Mittendorf, Nguyen, & Zielke, 2004) (Wahl, Mudersbach, Gröschel, & Jensen, 2012) (Zanke, 2012, S. 238)

Aufgrund der Zusammensetzung der Wellenenergie aus potentieller und kinetischer Energie, so wie den unterschiedlichen Auftrittsorten (vgl. Abbildung 11) ist der Einsatzort, sowie die Ausführung von Wellenkraftwerken sehr vielseitig. Bis zum Jahr 2013 wurden bereits an die 170 verschiedene Typen von Wellenkraftwerken entwickelt, von denen jedoch lediglich 20 % den ausgereiften Prototypenstatus erreichten. Da ein einzelnes Wellenkraftwerk eine Kapazität von etwa 70 kW bis hin zu einigen Megawatt erreichen kann, wird die Zukunft von Wellenkraftwerken, wie bei Windkraftanlagen, darin gesehen, eine Vielzahl von Anlagen zu einem Kraftwerkspark bzw. einer Kraftwerksfarm zusammenzufassen. (SETIS, 2013, S. 2)

Hinsichtlich der Einsatzortes wird in Wellenkraftwerken an der Küstenlinie (shoreline devices), küstennahe Wellenkraftwerke (near-shore devices) und Wellenkraftwerke im offenen Meer (offshore devices) unterschieden. (SETIS, 2013, S. 2)

Unter Wellenkraftwerken an der Küstenlinie werden Anlagen bezeichnet welche, wie der Name bereits andeutet, an bzw. entlang der Küstenlinie errichtet sind. Dadurch dass diese Anlagen zur Stromproduktion keine größeren Wassertiefen und lange Kabel für den Stromtransport benötigen, sind sie in ihrer

Installation bzw. Bau und Unterhaltung, kostengünstiger als Anlagen vor der Küstenlinie oder im offenen Meer. (SETIS, 2013, S. 2) (World Energy Council, 2016, S. 14)

Ein Beispiel für die an der Küstenlinie errichteten Anlagen ist das System Limpet („Land Installed Marine Powered Energy Transformer“), welches nach dem Prinzip der schwingenden Wassersäule (OWC = Oscillating Water Column) funktioniert (vgl. Abbildung 13). Baulich gesehen handelt es sich bei diesen Anlagen um einen von der Umgebung abgeschlossenen Raum, welcher etwa

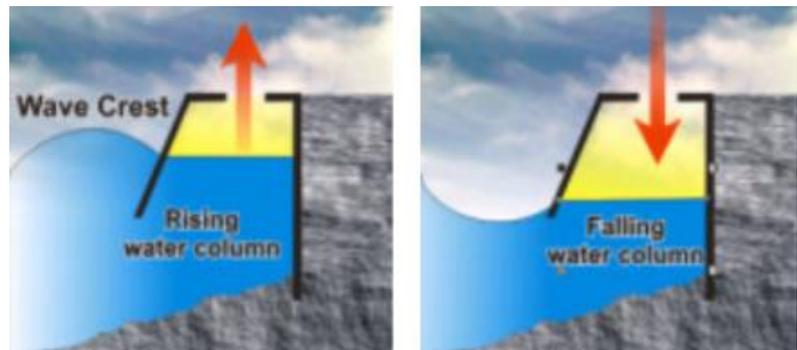


Abbildung 13: Funktionsprinzip des Limpet-Systems (Gailfuss, 2018)

2,5 m unterhalb der Wasseroberfläche geöffnet ist und Wasser einlässt. Nach oben ist der Innenraum des Bauwerks an eine Turbine gekoppelt, welche den Luftaustausch mit der Umgebung ermöglicht. Jede Welle drückt das Wasser in das Bauwerk und somit die im Bauwerk befindliche Luft durch die Turbinen nach draußen. Bei einem Wellental wird das Wasser wieder aus dem Bauwerk gezogen und die Luft strömt durch die Turbinen wieder in das Bauwerk ein. Im Jahr 2008 wurde das erste kommerzielle Wellenkraftwerk mit der OWC-Technologie von der Firma Voith Hydro AG im nordspanischen Mutriku gebaut und in Betrieb genommen. Bei dem eigentlichen Kraftwerk handelt es sich um 16 in die Hafemole von Mutriku eingebaute Wellsturbinen mit einer Nennleistung von 300 kW, was zur Versorgung von etwa 250 Haushalten reicht. (Voith GmbH & Co. KGaA, 2007) (Gailfuss, 2018)

Anlagen in Küstennähe können sich in einer Entfernung von bis zu 500 m vor der Küstenlinie befinden und in Wassertiefen zwischen 20 und 25 m installiert sein. Auf Grund der relativ kleinen Entfernung zur Küste bieten auch diese Anlagen hinsichtlich des Baus und Unterhaltungsaufwandes Vorteile gegenüber Anlagen im offenen Meer. Im Gegensatz zu den Anlagen an der Küstenlinie kann bei Anlagen im küstennahen Bereich eine größere Wellenenergie zur Stromgewinnung genutzt werden. (SETIS, 2013, S. 2) (World Energy Council, 2016, S. 14)

Eine der neusten Entwicklungen, welche in diesem Bereich eingesetzt werden können, ist der sogenannte „WaveRoller“, welcher im Jahr 2013, nach mehrjähriger Testphase, zum ersten Mal kommerziell vor der bretonischen Küste installiert wurde (vgl. Abbildung 14). Installiert wird die Anlage in Gewässertiefen zwischen 8 m und 20 m mit Verankerungen im Meeresgrund und verschwindet, je nach zeitabhängigem Meeresspiegel, vollständig oder teilweise im Wasser. Inspiriert ist die Anlage von einem schwingenden Türblatt, welches von Unterwasserwellen bewegt wird. Durch die Bewegung betätigt



Abbildung 14: „WaveRoller“ der Firma AW-Energy in einer Gewässertiefe von 8 bis 20 m (AW-Energy, 2018)

Hochdruckpumpen leiten Hydrauliköl in einen an einen Generator gekoppelten Motor. Zur Verhinderung von Umweltverunreinigungen ist der Hydraulikkreislauf hermetisch abgeschlossen. Ein einzelner „WaveRoller“ weist, je nach Wellenstärke eine Leistung zwischen 350 kW und 1000 kW, bei einem Wirkungsgrad von 25 % bis maximal 50 % auf. Die Anlage kann sowohl einzeln genutzt werden, als auch in Kraftwerksparks installiert werden. (AW-Energy, 2018)

Offshore-Wellenkraftwerke befinden sich in einer Entfernung von über 500 m vor der Küstenlinie in Wassertiefen von mehr als 25 m. Bedingt durch ihre Lage nutzen sie die Wellen mit der größten Energie auf dem offenen Meer. Charakteristisch für die neuesten Generationen und Designs von Offshore-Wellenkraftanlagen sind verhältnismäßig kleine Geräte, welche in einem Wellenkraftpark eine hohe Leistung liefern. (SETIS, 2013, S. 2) (World Energy Council, 2016, S. 14)

Beispiel eines Offshore-Wellenkraftwerk ist die von Ocean Power Delivery Ltd. entwickelte und vom European Marine Energy Centre getestete Pelamis –Anlage, welche auf Grund ihres Aussehens auch Seeschlange genannt wird (vgl. Abbildung 15). Der erste Prototyp des an der Meeresoberfläche schwimmenden Körpers ging im Jahr 2004 vor der schottischen Küste in Betrieb. Im Jahr 2008 ging im Norden Portugals das erste kommerzielle Wellenkraftwerk in Form dreier



Abbildung 15: erstes kommerzielles Wellenkraftwerk mit Pelamis –Anlagen vor der portugiesischen Küste bei Agucadoura (ResearchGate, 2011)

Pelamis –Anlagen mit einer Leistung von 2,25 MW (55 kW/m) ans Netz (0,75 MW pro Anlage), was etwa 8 GWh pro Jahr entspricht und den durchschnittlichen Strombedarf von etwa 1.500 Haushalten decken soll. Die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe H_s im Bereich der installierten Anlagen beträgt etwa 2,3 m und weist eine durchschnittliche Peakperiode T_P von etwa zehn Sekunden auf („Punto SIMAR 1044064“; Zeitraum: 1958 bis 2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje). Zur Erweiterung des Parks in einer zweiten Phase sind 28 weitere Pelamis –Anlagen geplant, sodass die Leistung auf 22,5 MW anwächst, was die Stromversorgung von 15.000 Haushalten decken könnte und jährlich rund 60.000 Tonnen CO₂-Emissionen einsparen würde. Die Investitionskosten für die drei Anlagen beliefen sich auf etwa acht Millionen Euro. Bei den Pelamis –Anlagen handelt es sich um zylindrische Rohrsegmente mit einem Durchmesser von 3,5 m und einer Länge von 120 m, welche über Scharniergelenke miteinander verbunden sind. Mit der in den Wellenbewegungen enthaltenen Energie werden über das Bewegen der Scharniergelenke Hydraulikkolben angetrieben, welche Hochdrucköl zu Hydraulikmotoren pumpen, die ein elektrohydraulisches Stromerzeugungssystem antreiben. Über ein einziges Meereskabel, welches mehrere Anlagen miteinander verknüpft, wird der Strom schließlich an Land geleitet. Die Pelamis –Anlage weist einen Wirkungsgrad η von zwischen 70 % und 80 % auf (Raj, 2012). Über ein Verankerungssystem wird die Pelamis –Anlage an ihrer festgelegten Position gehalten, welche sich optimalerweise zwischen fünf und zehn Kilometern vor der Küste befinden und Wassertiefen von zwischen 50 m und 60 m aufweisen. Diese Standorte gewährleisten das Ausnutzen der großen Wellen, halten jedoch die Kosten für das Verlegen langer Seekabel und aufwändiger Verankerungssysteme in Grenzen. (Bard, 2005, S. 9) (Power-Tecnology, 2009)

Anhang A.2. gibt eine Übersicht über die meist verbreiteten Techniken zur Energiegewinnung aus Wellen, bezogen auf Einsatzorte an der Küstenlinie, im küstennahen Bereich und im offenen Meer.

2.4. Thermische Kraftwerke (Maremotérmica / OTEC)

Thermische Kraftwerke, oder in Englisch ocean thermal energy conversion (OTEC), nutzen, zum Antrieb einer elektrischen Turbine den Temperaturunterschied zwischen den kühlen Tiefengewässern und den von der Sonneneinstrahlung erwärmten Oberflächengewässern in Meeren oder Ozeanen. (European Commission Maritime Affairs and Fisheries, 2012)

Bereits in den 1970er Jahren wurde das Konzept der thermischen Kraftwerke entwickelt, allerdings erst seit Beginn des Jahrtausends in konkreten Projekten aktiv verfolgt. Da es für ein effektives Arbeiten von thermischen Kraftwerken einer Temperaturdifferenz von mindestens 20 °C bedarf, ist die örtliche Lage für die Nutzung thermischer Kraftwerke auf die äquatornahen, tropischen Regionen beschränkt. Abbildung 16 zeigt die weltweite in den Meeren bzw. Ozeanen auftretende Temperaturdifferenzen zwischen warmem Oberflächenwasser und den kühleren Tiefengewässern. (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 5)

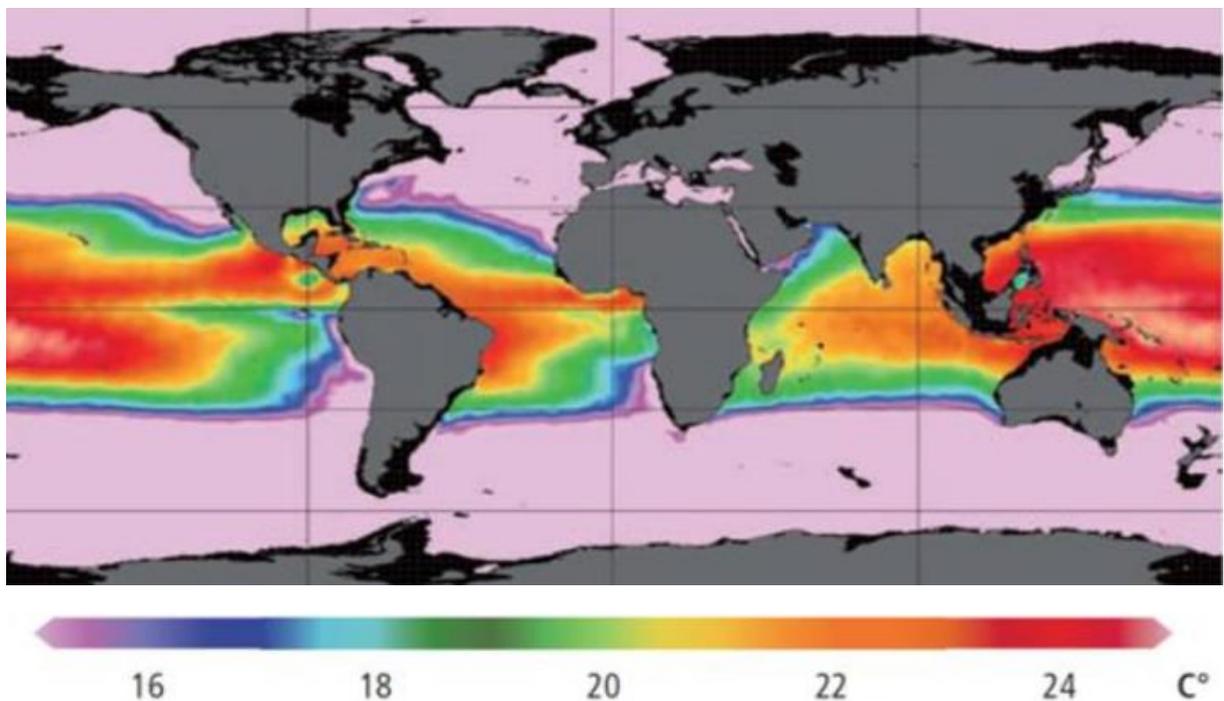


Abbildung 16: Weltweite durchschnittliche Temperaturdifferenz in °C in Wassertiefen zwischen 20 m und 1.000 m (Nihous, 2010)

Vorteil der OTEC –Anlagen ist die kontinuierliche Bereitstellung von Strom sowie die Möglichkeit, Kühlleistung bereitzustellen ohne elektrische Leistung zu verbrauchen. Aus diesen Gründen konzentriert sich die Mehrheit der realisierten Projekte auf tropische Inseln unter Ausnutzung der Mehrfachnutzungsmöglichkeit von thermalen Kraftwerken zur Stromerzeugung sowie zur Klimatisierung bzw. Kühlung. Trotz des niedrigen Wirkungsgrades von thermischen Kraftwerken von lediglich 7 % im Maximum ($\eta = 4 \% \text{ bis } 7 \%$) ist eine Realisierung solcher Anlagen wirtschaftlich. Die für die Förderung des Tiefenwassers anfallenden Energieverluste liegen bei etwa 20 % bis 30 %. Thermale Kraftwerke weisen mit 90 % bis 95 % einen der höchsten Kapazitätsfaktoren K aller weltweiten Energiequellen auf. Im Vergleich hierzu weist die Windkraft lediglich einen Kapazitätsfaktor zwischen 15 % bis 50%, die Photovoltaik sogar nur zwischen 15 % und 25 % auf (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,

2006, S. 6). Der Kapazitätsfaktor K ergibt sich aus dem Jahresenergieertrag in kWh dividiert mit dem Produkt aus Nennleistung des Kraftwerkes in Kilowatt und den 8.760 Jahresstunden und dient der Einordnung und dem Vergleich von Standorten und Kraftwerken (Gebhardt, 2018). Das jährliche Potenzial wird auf 83.340 TWh geschätzt und stellt somit etwa 90 % des globalen Meeresenergiepotenzials dar (SETIS, 2013). (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 5) (Graw & Kaltschmitt, Nutzung der Energie des Meeres, 2013, S. 886 ff.)

Für günstige Standpunkte von OTEC –Anlagen kann anhand von lokalen Daten die Leistungsdichte in $W/(m^3/s)$ anhand Gleichung 18 ermittelt werden. Neben den Meerwassertemperaturen an der Oberfläche T_s und der Temperaturdifferenz ΔT , gehen die durchschnittliche Dichte des Meerwassers ρ , die spezifische Wärmekapazität des Meerwassers C_p (0,93 kcal/(kg*K) bei 25 °C und Atmosphärendruck), die Effizienz des verwendeten Turbogenerators und die Pumpverluste PL in die Gleichung ein. Q_{cw} stellt den Tiefenwasserdurchfluss und P_{net} die Nettoleistung dar. (Marine and Hydrokinetic Energy Technology Assessment Committee, 2013, S. 58) (Bauer, Benenson, & Westfall, 1999)

$$\frac{P_{net}}{Q_{cw}} = \frac{\rho \times C_p \times TGE \times (\Delta T)^2 (1 - PL)}{8(273 + T_s)} \quad (18)$$

Thermische Kraftwerke bzw. OTEC –Anlagen lassen sich in offene, geschlossene und hybride Anlagentypen unterteilen. (World Energy Council, 2016, S. 20)

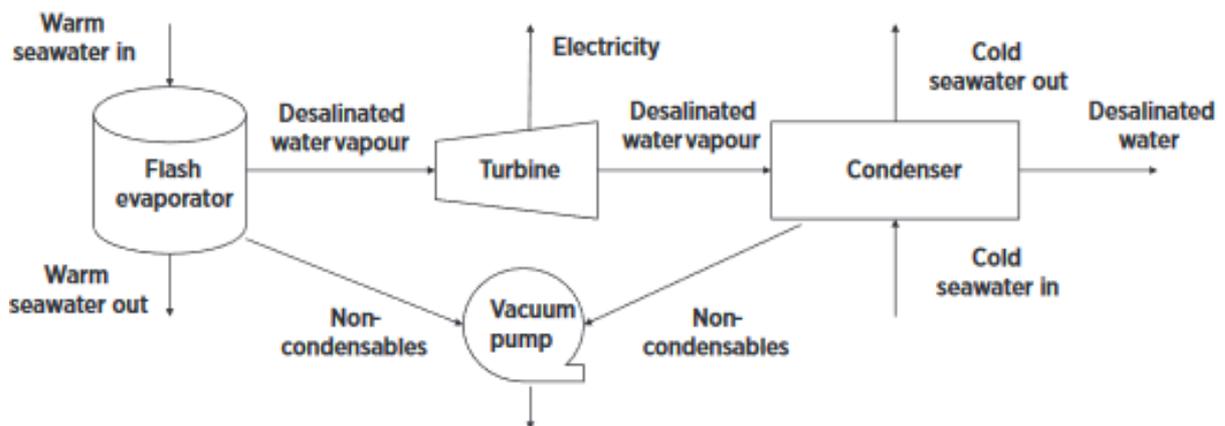


Abbildung 17: Funktionsprinzip des offenen OTEC –Systems (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 6)

In offenen OTEC –Anlagen (vgl. Abbildung 17) wird das wärmere Oberflächenwasser in eine Umgebung mit sehr niedrigem Druck geleitet, wo es schnell verdampft. Mit dem dort entstandenen Wasserdampf wird eine Turbine betrieben, welche letztlich elektrischen Strom liefert. Zum Schließen des Kreislaufes wird der Wasserdampf nach dem Durchlaufen der Turbine mit dem kalten Meerwasser aus der Tiefe kondensiert. Zusätzlich entsteht beim offenen System entsalztes Wasser, durch die Kondensation des Wasserdampfes, analog zu Meerwasserentsalzungsanlagen, welches beispielsweise der Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft oder Industrie zugeführt werden kann. (World Energy Council, 2016, S. 20 ff.)

Bei geschlossenen OTEC –Anlagen (vgl. Abbildung 18) wird über das warme Oberflächenwasser, welches etwa 25° C warm ist, ein Arbeitsmedium mit einem sehr viel niedrigeren Siedepunkt als Wasser über einen Wärmetauscher verdampft. Als Arbeitsmedium kann sowohl Propan, Chlorfluorkohlenwasserstoff (FCKW) oder Ammoniak genutzt werden. Wie bei den offenen Systemen wird mit dem aufsteigenden Dampf unter Verwendung einer Turbine und einem Generator elektrischer Strom erzeugt. Nachdem der Dampf des Arbeitsmediums die Turbine durchlaufen hat, kondensiert er an einem weiteren Wärmetauscher, welcher mit dem kalten Meerwasser von etwa 5° C aus Tiefen von zwischen 800 m bis 1000 m des Meeres gekühlt wird (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 3). Zum Schließen des Kreislaufs wird das kondensierte Arbeitsmedium zurück zum ersten Wärmetauscher gepumpt, wo der Kreislauf von neuem beginnt. Systeme des geschlossenen Kreislaufes weisen zwar eine höhere Effizienz bzw. einen höheren Wirkungsgrad auf als offene OTEC –Anlagen, sind aber häufiger kleiner, da für das Arbeitsmedium ein höherer Druck benötigt wird. Bei Anlagen von 100 MW Leistung wird eine Kaltwasserleitung von etwa 10 m Durchmesser benötigt, was Ingenieurtechnisch eine anspruchsvolle Herausforderung darstellt. (World Energy Council, 2016, S. 20) (NOAA, 2014)

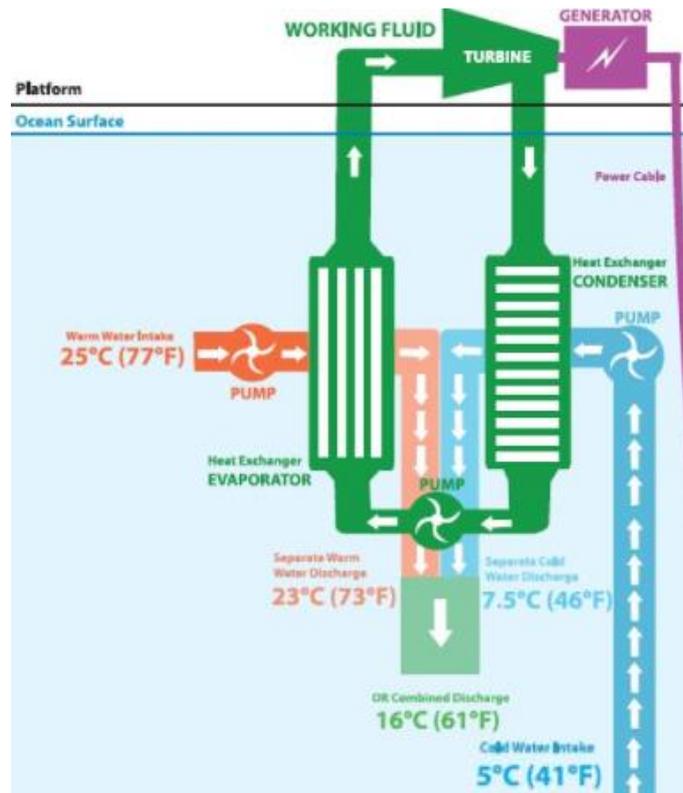


Abbildung 18: Funktionsprinzip eines geschlossenen OTEC –Systems (NOAA, 2014)

Hybride OTEC –Anlagen stellen eine Kombination zwischen der geschlossenen und der offenen Technik dar. Zunächst wird im geschlossenen System mit dem wärmeren Oberflächenwasser Strom über das Verdampfen eines Arbeitsmediums erzeugt. Anschließend wird das warme Meerwasser in einem offenen System verdampft, durch eine Turbine geleitet und anschließend mit kaltem Wasser kondensiert. Durch die Kombination der beiden Systeme können sowohl die Vorteile des offenen, als auch die des geschlossenen Systems genutzt werden und die Effektivität der Anlage gesteigert werden. (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 7)

Alle drei Varianten können sowohl auf dem Land (onshore), als auch auf dem Meer (offshore) in Form von schwimmenden Plattformen errichtet werden. Die Installation einer OTEC –Anlage auf dem Land weist neben den höheren Installationskosten für die zu legende Verrohrung auch einen höheren Flächenbedarf an Land auf. Letzteres entfällt für schwimmende Anlagen. Allerdings sind die Bau- und Wartungskosten schwimmender Anlagen höher, als für Anlagen auf Land. Grund hierfür ist unter anderem der Bedarf an langen Netzkabeln, über die der produzierte Strom an Land befördert wird. Abbildung 19 zeigt die beiden Möglichkeiten zur Errichtung von OTEC –Anlagen. (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 7 f.)



Abbildung 19: Auf Land errichtete OTEC -Anlage (links) und vor der Küste schwimmende OTEC -Anlage (rechtes) (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 8)

Für die Bereiche außerhalb der tropischen Zonen sind thermische Kraftwerke jedoch keinesfalls ausgeschlossen, solange eine Temperaturdifferenz von 20 °C vorhanden ist. So bestehen bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts Pläne eines Eiskraftwerkes bzw. Polarkraftwerkes des Physikers Dr. Barjot. Das Verfahren des Polarkraftwerkes funktioniert invers zu dem der OTEC -Anlagen. Ausgenutzt wird der Temperaturunterschied zwischen der Luft an den Polen, welche mindestens -22 °C beträgt und dem Wasser unterhalb der Eisschicht von 2 bis 3 °C . Als Arbeitsmedium wird Butan eingesetzt, welches einen Siedepunkt von $-0,5\text{ °C}$ aufweist. Über einen Wärmetauscher, welcher mit dem von unter der Eisschicht stammenden, wärmeren Wasser betrieben wird, wird das Butan verdampft. Der Dampf kann über eine Turbine elektrisch genutzt werden, bevor er an einem zweiten Wärmetauscher, welcher von der Umgebungsluft gekühlt wird, kondensiert und dem Kreislauf erneut zur Verfügung steht. Der Wirkungsgrad eines solchen Polarkraftwerkes liegt etwa bei 4 %. Wie schon bei den OTEC -Verfahren beschränkt sich der Einsatzort auf bestimmte Regionen, in diesem Fall auf die polarnahen Bereiche. (Energyprofi.com, 2015)

Die bis zum heutigen Zeitpunkt weltweit größte OTEC -Anlage befindet sich auf Hawaii in Kailua-Kona (Makai Ocean Engineering's ocean thermal energy conversion power plant). Im Jahr 2015 wurde die 100 kW -Anlage an das amerikanische Stromnetz angeschlossen und versorgt seitdem etwa 120 Haushalte 24 Stunden pro Tag mit Strom über ein geschlossenes OTEC -System. In Südchina, auf den Hainan Inseln, ist 2017 ein 10 MW Pilotprojekt fertiggestellt worden, welches in den kommenden Jahren getestet wird und neue Erkenntnisse zur Ausführung und Umsetzung der Technik liefern soll. (POWER-Technology, 2016) (Power-Technology, 2018) (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014, S. 38)

2.5. Osmose-Kraftwerke (Energía osmótica / Osmotic Power)

Bei Osmose-Kraftwerken handelt es sich um Anlagen, welche den Konzentrationsunterschied des Salzes zwischen Salz- und Süßwasser zur Gewinnung von Strom nutzt. Auf Grund des Bedarfs von Süßwasser als auch von Salzwasser ist der Einsatzort von Osmose-Kraftwerken stark eingeschränkt und kommt somit hauptsächlich an Orten zur Anwendung, an denen ein Fluss in ein Meer oder einen Ozean mündet. Bereits im Jahr 1977 wurde das weltweite Potenzial der Osmose-Technik auf 2,6 TW geschätzt (Wick & Schmitt, 1977).(SETIS, 2013, S. 1)

Je größer die Differenz der Salzgehalte zwischen Süßwasser und Salzwasser aus dem Meer umso effektiver kann die Osmose-Technik eingesetzt werden. Während das in den Osmose-Kraftwerken bezogene Süßwasser aus Flüssen einen Salzgehalt von etwa einem Gramm pro Liter aufweist, variiert der Salzgehalt des Meerwassers je nach Meer zwischen 25 g und 45 g pro Liter (Salz-Kontor, 2009). Während der Salzgehalt des Atlantiks 3,5 %, also 35 g/L beträgt, weist das Mittelmeer einen etwas höheren Salzgehalt von 3,8 % auf, was 38 g/L entspricht (Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, 2016) (Salz247, 2014). Bedingt sind diese Unterschiede hauptsächlich von der auf einem Meer oder Ozean stattfindende Verdunstung und den Süßwasserzuflüssen. Das Wasser des Mittelmeeres ist deshalb salziger als das des Atlantiks, weil der Austausch von Wasser, bzw. die Zufuhr von Frischwasser zum Ausgleich der Verdunstung lediglich über die nur 14 km breite Straße von Gibraltar oder den in das Mittelmeer mündenden Flüsse stattfinden kann (Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, 2016). (Veerman, 2010)

Die theoretische Leistung, bzw. das Potenzial, welche ausgehend von der Differenz der Salzgradienten genutzt werden kann, lässt sich gemäß Gleichung 19 berechnen, wobei angenommen wird, dass für den Ablauf der Technik ein ausreichend großes Vorkommen an Salzwasser vorliegt und die theoretische Leistung somit von dem vorhandenen Süßwasser, bzw. Flusswasser abhängig ist. Der Exergiegehalt ω wird hier mit $2,5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$ angenommen, während der vorhandene Volumenstrom des Flusswassers in m^3/s in die Berechnung eingeht. Das globale Potenzial kann über Gleichung 19 und unter Einbeziehung eines weltweiten Abflusses der Flüsse von $1,13 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ zu 2,8 TW ermittelt werden und liegt somit relativ nah an der Abschätzung des Jahres 1977 (Kuleszo, 2008) (Wick & Schmitt, 1977). (Veerman, 2010, S. 10 f.)

$$P_{theo} = \omega \times Q_{river} \quad (19)$$

Die Netto-Leistung, also die tatsächliche Leistung eines Osmose-Kraftwerkes errechnet sich gemäß Gleichung 20, wobei sich der externe Wirkungsgrad $\eta_{external}$ auf den Strombedarf für den Transport von Meer- und Flusswasser zum Osmose-Kraftwerk und den Vorfiltrationsprozesses bezieht. f_{water} stellt die Verfügbarkeitsfraktion von Wasser dar, welche von den lokalen Gegebenheiten, wie beispielsweise für die Schifffahrt benötigtes Wasser im Fluss definiert wird. Dieser Faktor kann jedoch für Abschätzungen des Potenzials vernachlässigt werden. Der interne Wirkungsgrad $\eta_{internal}$ stellt den Wirkungsgrad des eigentlichen Kraftwerks dar, welcher bei etwa 25 % bis 30 % liegt (Energyprofi, 2014). (Veerman, 2010, S. 11)

$$P_{netto} = f_{water} \times \eta_{external} \times \eta_{internal} \times P_{theo} \quad (20)$$

Für die Anwendung in Osmose-Kraftwerken stehen mehrere unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Neben den zwei meist erforschten und entwickelten Methoden der umgekehrten Elektrodialyse (reversed electro-dialysis = RED) und der druckverzögerten Osmose (pressure retarded osmosis = PRO), eignen sich ebenfalls die Verfahren der Dampfdruckdifferenzausnutzung (Vapor pressure difference utilization process = VPDU), die mechanochemische Turbine (mechanochemical turbine = MT) und die Umkehrung der kapazitiven Entionisierung (reversal of the capacitive deionization = RCD) für die Verwendung in Osmose-Kraftwerken. (Veerman, 2010)

Im Folgenden werden die zwei Methoden der RED und der PRO detaillierter vorgestellt, während die Funktionsweise der anderen drei Methoden nur knapp dargelegt wird.

- Bei der umgekehrten Elektrodialyse (RED) wird Süßwasser und Salzwasser durch alternierende Kationen- und Anionenaustauschmembranen geführt, welche die beiden Wasserströme mit unterschiedlichem Salzgehalt voneinander trennen. Hierbei kommen zwei unterschiedliche Membranen zum Einsatz. Zum einen, für positive Ionen durchlässige, also eine Kationen austauschende Membran (cation exchanging membrane = CEM), zum anderen eine für negative Ionen, also eine Anionen austauschende Membran (anion exchanging membrane = AEM). Durch die Kationen austauschende Membran CEM können Na^+ -Ionen aus dem Salzwasser in das Flusswasser übergehen, während Cl^- -Ionen durch die Anionen austauschenden Membranen AEM in entgegengesetzter Richtung vom Salzwasser zum Süßwasser diffundieren. So entsteht ein Ionenstrom, welcher an den außenliegenden Elektroden über Redoxreaktionen in einen Elektronenstrom umgewandelt wird. Abbildung 20 veranschaulicht die Funktionsweise des RED- Verfahrens anhand eines einzelnen Membranstapels. (Veerman, 2010, S. 20f. & 26 ff.)

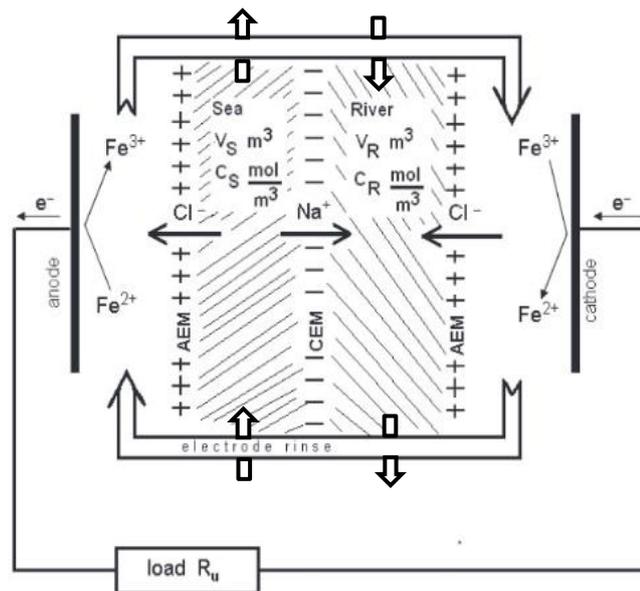


Abbildung 20: Funktionsweise des RED-Verfahrens am Beispiel eines einzelnen Membranstapels (veränderte Quelle: (Veerman, 2010, S. 26))

- Bei der druckverzögerten Osmose (PRO) wird Salz- und Süßwasser durch eine semipermeable Membran getrennt. Diese Membran stellt für Salz eine undurchlässige Schicht dar, während sie Wasser hindurchdiffundieren lässt. Über den hieraus resultierenden kontinuierlichen Übergang von Wasser aus der Seite der Membran mit der geringeren Salzkonzentration auf die Seite mit der höheren Salzkonzentration wird eine Druckerhöhung herbeigeführt. Unter Verwendung einer Turbine kann der entstandene Druck abgelassen werden und zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt werden. In Abbildung 21 ist die Funktionsweise eines Osmose-Kraftwerkes im PRO- Verfahren dargestellt, wobei das zuströmende Salzwasser blau und das zuströmende Süßwasser grün gefärbt dargestellt werden. (Fraunhofer IGB, 2018)

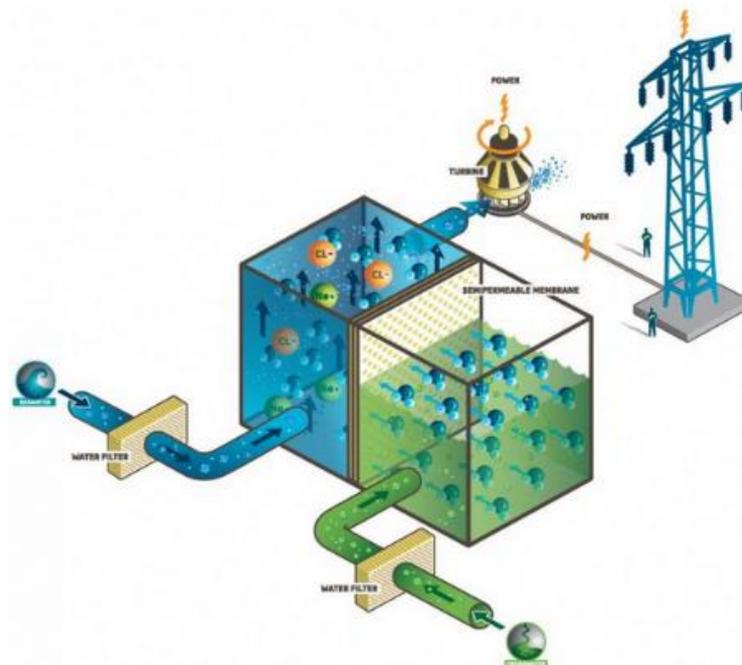


Abbildung 21: Funktionsweise des PRO- Verfahren (ForwardOsmosisTech, 2016)

- Das Verfahren der Dampfdruckdifferenzenausnutzung (VDPU) ist die Umkehrung der Vakuumdestillation. Hierbei wird die Eigenschaft des mit steigendem Salzgehalt abnehmenden Dampfdruckes von Wasser zur Energiegewinnung genutzt. Wie bei den beiden vorausgegangenen Verfahren wird Salz- und Süßwasser voneinander getrennt gehalten, im Fall der Dampfdruckdifferenzenausnutzung durch eine Kupferplatte, wodurch lediglich die Dampfphasen beider Wasserströme miteinander in Kontakt stehen. Ist dies der Fall, kommt es zu einem Wasserdampfstrom von der Süßwasserseite zur Salzwasserseite, welcher mit Turbinen zur Energiegewinnung genutzt werden kann. Die dabei entstehende Kondensationswärme wird über die Kupferplatte zurück in die Verdampfungsgefäße geleitet. Wirtschaftlich betrachtet ist diese Technik noch nicht einzusetzen, da die Aufrechterhaltung des Vakuums für einen andauernden Prozess, die für den Phasentransfer benötigten großen Verdampfungsflächen, so wie die benötigten Spezialturbinen für große Dampfmenngen mit geringem Druckunterschied hohe Investitionskosten verursachen. (Veerman, 2010, S. 21)

-
- Bei der mechanochemischen Turbine (MT) wird die Kontraktion von Kollagenfasern in einer Salzlösung und anschließende Expansion der Fasern in Süßwasser zur Energiegewinnung genutzt. Eine hierfür entwickelte "Kontraktionsturbine" wurde bereits im Jahr 1970 vorgestellt (Sussman & Katchalsky, 1970). Allerdings scheint eine Anwendung dieses Verfahrens zur Erzeugung größerer Strommengen im Megawattbereich nur schwer realisierbar zu sein. (Veerman, 2010, S. 21)
 - Bei der Umkehrung der kapazitiven Deionisation (RCD) werden Aktivkohleelektroden abwechselnd in Salz und Süßwasser getaucht. Beim Eintauchen der Elektroden in Salzwasser werden sie mit Ionen geladen, bei Eintauchen in Süßwasser entladen, woraus ein Energiegewinn resultiert. Das Problem dieser Technik wird durch die Elektrodenverschmutzung dargestellt, welche einen großen Wartungsaufwand nach sich zieht. (Veerman, 2010, S. 21)

Das erste Osmose-Kraftwerk ging 2009 als Prototyp mit einer Membranfläche von 2.000 m² bei Hurum in Norwegen, am südlichen Ausläufer des Oslofjordes in Betrieb. Betrieben wird es im PRO –Verfahren vom staatlichen norwegischen Energiekonzern Statkraft und erreicht eine elektrische Leistung von drei Watt pro Quadratmeter Membran. Eine wirtschaftliche Nutzung der Technik soll ab einer elektrischen Leistung von fünf Watt pro Quadratmeter Membran erreicht werden. Langfristig gesehen will der Energiekonzern etwa zehn Prozent des norwegischen Strombedarfs über Osmosekraftwerke decken (Balzter, 2008, S. 20). Als nächsten Schritt der Entwicklung und Nutzung von Osmosekraftwerken plante der staatliche Energiekonzern ein 25 MW-Osmosekraftwerk mit einer Membranfläche von fünf Millionen Quadratmetern, stoppte dieses Vorhaben im Jahr 2013 allerdings auf Grund mangelnder Wettbewerbsfähigkeit der Energiegewinnung (Statkraft news, 2013). Der erfolgreichen Umsetzung eines solchen Projektes steht die Problematik einer wirtschaftlichen Membran gegenüber. Bis zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit wurde noch keine effiziente, robuste und kostengünstige Membran entwickelt. Zwar wurde im Jahr 2016 eine leistungsfähige Membran im Labor entwickelt, konnte allerdings noch nicht in einen, für ein Osmosekraftwerk benötigten Maßstab umgesetzt werden (Bensch, 2016). (Energietisch Lübeck, 2010) (Statkraft, 2009)

2.6. Weitere Ansätze zur Nutzung von Meeresenergie

Neben den fünf bekannten Formen der Meeresenergienutzung, welche in den vorangegangenen Kapiteln behandelt wurden, existieren weitere Ansätze zur Energiegewinnung im bzw. auf dem Meer. Bei diesen Ansätzen wird nicht direkt das Meer bzw. der Ozean als Energiequelle genutzt, sondern vielmehr seine enormen Flächen, welche etwa 71 % der Erdoberfläche einnehmen (Leipner, 2015). Somit können mit der Nutzung der Meeres- bzw. Ozeanflächen Nutzungskonflikte zwischen dem Flächenbedarf für die Energieproduktion und beispielsweise der Landwirtschaft, dem Wohnraum oder der Industrie umgangen werden.

Beispiel hierfür ist die Nutzung der Wasserfläche für die Installation von den Offshore-Windparks, wie er bereits seit mehreren Jahren in Deutschland (erster kommerzieller Offshore-Windpark 2009) aber auch weltweit vorangetrieben wird. Neben der Umgehung von Nutzungskonflikten auf dem Land, stellen die großen Wasserflächen der Meere zudem einen geeigneteren Standort hinsichtlich höherer und konstanterer Windgeschwindigkeiten dar. Hieraus resultiert ein höherer und stetiger Stromertrag als bei Onshore-Windkraftanlagen. Nachteil der Offshore-Windparks sind die erhöhten Investitionskosten infolge des benötigten Netzausbaus und der schwierigeren Installation der Anlagen im Meer. (Knoll, 2012)

Wie bereits bei der Windkraft kann die Wasserfläche der Meere für die Installation von Solarparks genutzt werden und so ebenfalls Nutzungskonflikte umgangen werden. Im Jahr 2016 lösten Ingenieure der TU Wien das Problem der Anfälligkeit von auf dem Wasser errichteten Solarparks gegenüber hohen Wellen. Problem war das durch die Wellenbewegung bedingte Zerbrechen der flachen, unflexiblen Solarplatten. Die neue Technik besteht aus mehreren, einzelnen Auftriebskörpern, welche wie nach unten geöffnete Fässer aus weichem, flexiblem Material aussehen. Die im oberen Bereich des Luftkörpers enthaltene Luft wirken wie Stoßdämpfer, was ein ruhiges Schweben über der Wasseroberfläche ermöglicht. Durch die Lage auf dem Meer kann außerdem die Effizienz der Solarparks, durch die dauerhafte Kühlung, welche über das Meerwasser geleistet werden kann, gesteigert werden. (Grosch, 2016)

Die Gewinnung von Kraftstoff aus Algen stellt eine weitere Form der Energiegewinnung da, bei der das Meer eine maßgebende Rolle spielt. Aufgrund der stetig ansteigenden Kraftstoffpreise gewinnen Biokraftstoffe an Interesse. Auch Algen, welche sich von CO₂ ernähren, sind für einen solchen Einsatz gut geeignet. Anders als bei den meisten Pflanzen wie Raps oder Getreide, welche auf dem Land zur Biokraftstoffgewinnung angepflanzt werden, stehen Algen nicht im Nutzungskonflikt mit Grundnahrungsmitteln. Besonders geeignet für die Produktion von Bio-Diesel sind Braunalgen, welche einen hohen Zuckergehalt aufweisen. Große Aquafarmen, in denen diese Algen gezüchtet werden sind zudem ökologisch verträglich. Nachteil der Energiegewinnung aus Algen sind die aktuell noch hohen Produktionskosten, da bis zum heutigen Standpunkt Algen nur sehr wenig genutzt werden, beispielsweise in Sushi oder Kosmetikartikeln. Der hohe Preis macht die Produktion von Kraftstoffen aus Algen gegenüber der Erdölproduktion zum heutigen Zeitpunkt unerschwinglich, was sich jedoch mit weiter steigenden Kraftstoffpreisen ändern könnte. (Draeger, 2012) (Zerbel, 2012)

Ein weiterer Ansatz, bei dem die Fläche des Meeres genutzt wird, sind die sogenannten Energieschiffe, welche durch Wind angetrieben werden und so das große, ungenutzte Windpotenzial auf dem Meer zur Kraftstoffgewinnung nutzen. Sie werden durch ein installiertes Segelsystem fortbewegt, wobei eine am Schiffsrumpf befestigte Turbine das bei der Fortbewegung des Schiffes durch die Turbine strömende Wasser zur Stromgewinnung nutzt. Da die so gewonnene



Abbildung 22: Aufbau- und Funktionskizze eines Energieschiffes mit Flettner-Rotoren (Sterner M. , 2013, S. 23)

Elektroenergie nicht über Kabel an Land geleitet werden kann, wird sie durch eine elektrochemische Umwandlung in eine speicherbare Energieform überführt. So kann beispielsweise über das Power-to-Gas-Verfahren Wasserstoff, Methan oder Methanol als Energieträger erzeugt werden. Der größte Vorteil gegenüber stationären Offshore-Windparks ist, dass das Schiff dem Wind folgt und so unabhängiger gegenüber Schwankungen der Windintensität ist. Hierbei kommen unterschiedliche Segelsysteme zum Einsatz. Neben einem großen Kite-Segel, welches an der Spitze des Schiffes montiert ist, können auch die aus dem Segelsport bekannten Segelformen, oder Flettner-Rotoren zum Einsatz kommen. Abbildung 22 veranschaulicht den Aufbau und das Funktionsprinzip eines solchen Energieschiffes welches als Segelsystem Flettner-Rotoren verwendet. (Sterner & Raith, 2012) (Sterner M. , 2013)

Im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit wird der Fokus auf die fünf wichtigsten Formen der Meeresenergie, die in Kapitel 2.1 bis Kapitel 2.5 beschrieben wurden, gelegt. Die in diesem Kapitel beschriebenen Formen der Energiegewinnung gehen nicht weiter in die Potenzialberechnungen ein.

3. Spanien

Im folgenden Kapitel der vorliegenden Masterarbeit wird das südeuropäische Land Spanien zunächst allgemein vorgestellt. Anschließend wird es hinsichtlich seiner Küsten in die Mittelmeerküste mit Balearen, die Atlantikküste und die Kanarischen Inseln aufgeteilt und die jeweiligen Gegebenheiten in Hinblick auf die Nutzung von Meeresenergie detailliert dargestellt.

Das Land Spanien liegt im Süden Europas auf der Iberischen Halbinsel zwischen 36° und $43,5^\circ$ nördlicher Breite und 9° westlicher und 3° östlicher Länge. Im Nordosten grenzt das Land entlang der Pyrenäen an Frankreich und dem Kleinstaat Andorra, im Westen an Portugal. Im Süden, an der Straße von Gibraltar umschließt Spanien von der Landseite das zum vereinigten Königreich gehörende Gibraltar. An dieser Stelle trennt die Iberische Halbinsel und somit Europa lediglich 14,4 km vom afrikanischen Kontinent (Uni Gießen, 2002, S. 18). Während im Norden und Nordwesten die Landesgrenze durch den Atlantik gegeben ist, grenzt Spanien im Süden an das Mittelmeer und ab Gibraltar bis hin zur portugiesisch-spanischen Grenze an den Atlantik. Neben den zwei, auf der nordafrikanischen Seite des Mittelmeeres gelegenen Städte Melilla und Ceuta, gehören die im Mittelmeer gelegenen Balearen, sowie die im Atlantik befindlichen Kanaren zum spanischen Staatsgebiet. Insgesamt hat das Staatsgebiet eine Fläche von 505.990 km² (Statistisches Bundesamt, 2018). Die zu Spanien gehörende Ausschließliche Wirtschaftszone, bzw. Seeflächen belaufen sich auf insgesamt 1.640.000 km², was etwa der dreifachen Fläche des Festlandes entspricht (vgl. Anhang A.7.) (Ministerio de Economía y Competitividad, 2016) (Suárez de Vivero J. , 2010). Madrid, die Hauptstadt Spaniens, liegt im Zentrum des spanischen Staates und zählt mit knapp sieben Millionen Einwohnern zu den größten Städten Europas (Ayuntamiento de Madrid, 2018). Im Jahr 2018 hat Spanien insgesamt 46,66 Millionen Einwohner (eurostat, Bevölkerung am 1. Januar, 2018). In den vergangenen zehn Jahren hielt sich die Einwohnerzahl konstant bei knapp über 46 Millionen Einwohnern, bis 2030 soll sie auf leicht über 47 Millionen ansteigen (Statista, 2018). Bezogen auf die Gesamtfläche ergibt sich somit eine Bevölkerungsdichte von 92 Einwohner pro Quadratkilometer. Allerdings ist die Bevölkerung auf Grund einer hohen Landflucht sehr ungleichmäßig verteilt. Besonders in den wirtschaftlich stärkeren Regionen, entlang der Küsten, besonders der Mittelmeerküste, auf den Balearischen und Kanarischen Inseln, sowie den großen Städten kommt es zu einer Ballung der Bevölkerung (Gobierno de España, España hoy, 2002). Anhang A.3. verdeutlicht anhand einer Karte die Bevölkerungsverteilung in Spanien. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) je Einwohner liegt mit 25.100 Euro unter dem Durchschnitt der EU-Staaten (EU-28) mit 30.000 Euro und deutlich unter dem deutschen BIP je Einwohner von 39.600 Euro (Stand 2017) (eurostat, Bruttoinlandsprodukt zu Marktpreisen, 2018). (Deutsche Handelskammer für Spanien, 2018, S. 5)

Klimatisch ist Spanien ein sehr vielseitiges Land, das in fünf verschiedene Klimazonen eingeteilt werden kann. Im Zentrum Spaniens herrscht ozeanisch-kontinentales Klima mit großen Temperaturunterschieden zwischen Tag und Nacht, einem Jahresniederschlag von unter 300 mm und Wintern mit Temperaturen von durchschnittlich unter drei Grad. Die Durchschnittstemperaturen schwanken zwischen acht Grad im Januar und 31 Grad im Juli, wobei die Temperaturen im Sommer meist höher sind als die in Küstennähe. Die im Norden und Nordwesten liegenden Regionen entlang des Atlantiks weisen ein ozeanisches Klima auf mit milden Sommern und milden Winter (Durchschnittstemperatur 17 °C) und einem Jahresniederschlag von etwa 1.000 mm. Entlang der Südküste herrscht, mit Ausnahme der Provinzen Almeria, Murcia und Alicante, Mittelmeerklima mit milden Wintern und sehr heißen Sommern von durchschnittlich über 30 °C und geringen Niederschlägen, wobei diese in Richtung Süden immer

geringer ausfallen. Die drei Mittelmeerprovinzen Almeria, Murcia und Alicante hingegen liegen in Trockenzonen mit extrem aridem Klima mit hohen Temperaturen und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 18 °C. Diese Region weist an die 3.000 Sonnenstunden pro Jahr auf. (Montes, 2015)

In den 1980-iger Jahren wurde in Spanien mit der Ausweisung von Naturschutzgebieten begonnen und bis zum heutigen Zeitpunkt fortgesetzt. Die im Süden Spaniens liegende Autonome Region Andalusien weist mit Naturschutzgebieten von knapp 18 % ihrer Fläche den höchsten Prozentsatz des Landes auf. Naturschutzgebiete lassen sich in die drei Schutzstufen Nationalpark (Parque Nacional), Naturpark (Parque Natural) und Naturreservat (Paraje Natural, Reserva Natural) unterteilen, wobei die Schutzbedürftigkeit gemäß der Aufzählung abnimmt. Sie sind für die Nutzung menschlicher Aktivitäten stark eingeschränkt (genauer ist Kapitel 4 zu entnehmen). Die Lage der National- und Naturparks kann dem Anhang A.4. entnommen werden. (Ministerio de Fomento, 2016)

Während Deutschland seine Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 auf 74,05 % im Jahr 2016 senken konnte, stiegen die Treibhausgasemissionen von Spanien auf 116,43 % im Jahr 2016 gegenüber dem Basisjahr 1990 an (eurostat, Emission von Treibhausgasen, Basisjahr 1990, 2018).

Seit 2009 verfolgt die spanische Regierung mit der „Estrategia de Economía Sostenible“ über das verantwortliche Institut für Industrie, Energie und Tourismus (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo / MINETAD) eine Energiepolitik im Sinne der Nachhaltigkeit. Hierbei wird das Hauptaugenmerk auf die Nutzung und Energieeffizienz von erneuerbaren Energien, der energetischen Sanierung öffentlicher Gebäude, sowie der Förderung von Elektrofahrzeugen gelegt. Allerdings wird im Rahmen der „Estrategia de Economía Sostenible“ ebenfalls an Subventionierungen des spanischen Kohleabbaus festgehalten, was zumindest aus klimatischer Sicht im Gegensatz zum Nachhaltigkeitsgedanken steht. Genauere Angaben zu Gesetzen und deren Umsetzung in den vergangenen Jahren ist dem folgenden Kapitel 4 zu entnehmen. (Gobierno de España, Estrategia para la economía sostenible, 2009)

Hinsichtlich des Energieverbrauchs in Spanien stellt der Verbrauch von Strom lediglich rund 30 % des gesamten Endenergieverbrauchs von 85.875.000 ÖE (Öleinheit / englisch: toe = tonne of oil equivalent) dar, wobei erneuerbare Energien lediglich 6,3 % einnehmen (Stand: 2016). Im Vergleich zum Vorjahr ist neben dem um 2,3 % gestiegenen Endenergieverbrauch, ebenfalls der Anteil an erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch um 1,6 % gestiegen. Der größte Anteil mit 52,6 % entfällt auf Erdöl, welches auf Grund geringer eigener Ressourcen zum größten Teil importiert wird. Dieser wird hauptsächlich im Sektor Verkehr be-

nötigt. Ebenfalls das mit 16,2 % am Endenergieverbrauch beteiligte Erdgas wird annähernd zu 100 % importiert. Hieraus ergibt sich eine große Abhängigkeit des Landes hinsichtlich der Energiebereitstellung und somit eine der größten Herausforderungen der spanischen Energiepolitik zur Minimierung der

ENDENERGIEVERBRAUCH SPANIENS IM JAHR 2016; GESAMT 85.875.000 ÖE [%]

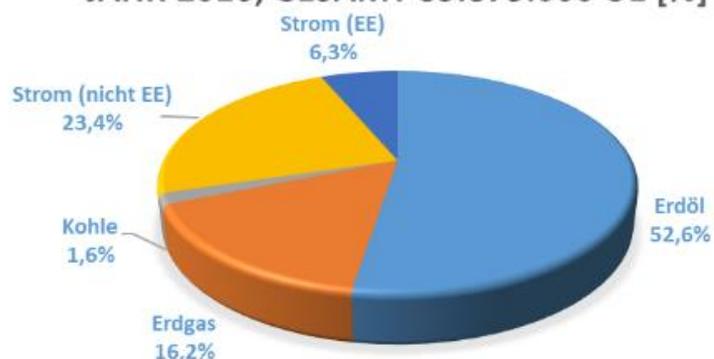


Abbildung 23: Endenergieverbrauch des Jahres 2016 für Gesamtspanien unterteilt in Energiequellen in % bezogen auf den Gesamtverbrauch von 85.875.000 ÖE (IDAE, 2018)

Abhängigkeit und Förderung heimischer, vor allem erneuerbarer Energiequellen (Deutsche Handelskammer für Spanien, 2018, S. 32). Da die Meeresenergie in den Bereich der Strombereitstellung fällt, wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit der Fokus auf den Stromsektor gelegt. (IDAE, 2018)

Im Jahr 2017 lag der gesamte Stromverbrauch Spaniens bei 268.163 GWh, wobei die Verluste beim Stromtransport und der Stromverteilung bei 26.939 GWh lagen. Im Vergleich zum Vorjahr stellt dies eine Steigerung des spanischen Stromverbrauchs von 1,1 % dar (2016: 265.127 GWh). Einer im Rahmen des Desertec-Projekts durchgeführten Prognose (Trans-CSP-Studie) des spanischen Stromverbrauchs zufolge soll dieser bis im Jahr 2050 auf etwa 320.100 GWh ansteigen (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Trsans-CSP - Final Report Annex 1: Country Data, 2006, S. A-2). Der spanische Stromverbrauch wird hauptsächlich von drei Sektoren, der Industrie mit 33 %, dem Dienstleistungssektor mit 31 % und den Haushalten mit 30 % geleistet, während die Sektoren Transport, hauptsächlich Schienenverkehr, drei Prozent und die Landwirtschaft zwei Prozent des spanischen Stromverbrauchs ausmachen (International Energy Agency, 2015). Verglichen mit dem europäischen Durchschnitt der Zusammensetzung des Stromverbrauchs weicht der spanische Stromverbrauch lediglich im geringen Prozentbereich ab (International Energy Agency, 2015). In Anhang A.5. wird die Verteilung des Stromverbrauchs auf Sektoren graphisch dargestellt und der europäischen Verteilung des Stromverbrauchs auf die verschiedenen Sektoren gegenübergestellt. (Statista, Stromverbrauch Spanien, 2018)

Im Jahr 2017 betrug die in gesamt Spanien, inklusive der Balearen und Kanaren, sowie der überseeischen Städte in Afrika, installierte Leistung zur Stromerzeugung 104.517 MW (unesa, balance energético 2017 y perspectivas 2018, 2018, S. 6). Hiervon entfallen etwa 95 %, also 99.311 MW installierte Leistung auf das spanische Festland (RED Eléctrica de España, Estadísticas - Potencia eléctrica instalada, 2017). Vor dem Hintergrund einer enormen Überkapazität an Anlagen zur Stromerzeugung, werden von Erneuerbaren-Energien-Verbänden seit längerem die von der spanischen Regierung verlängerten Laufzeiten veralteter Kohle- und Atomkraftwerke kritisiert

INSTALLIERTE LEISTUNG IM JAHR 2017 NACH ENERGIEQUELLEN [%]



Abbildung 24: im Jahr 2017 installierte Leistungen nach Energiequellen in Prozent (angelehnt an: (RED Eléctrica de España, Series estadísticas del sistema eléctrico español (septiembre 2018), 2018))

(Deutsche Handelskammer für Spanien, 2018, S. 30). Lediglich 40 % der installierten Anlagen zur Stromerzeugung, was einer installierten Leistung von 41.381 MW entspricht, kamen im Jahr 2017 zum Einsatz. Die installierten Leistungen unterteilt in Energiequellen in Gesamtspanien werden in Abbildung 24 prozentual dargestellt. Trotz der enormen Kapazitäten zur Stromerzeugung, ist das Land auf Stromimporte angewiesen. So wurden im Jahr 2017 262.665 GWh Strom auf eigenem Staatsgebiet erzeugt und 9.160 GWh importiert (unesa, balance energético 2017 y perspectivas 2018, 2018, S. 3). Die Energieabhängigkeit Spaniens, infolge eingeführter Energieträger wie Öl, Gas und Kohle, liegt

bei 71,9 % und somit etwa 18 % höher als die des europäischen Durchschnitts (53,6 %). Die Stromproduktion des Landes setzt sich aus 33 % erneuerbaren Energiequellen und 67 % nicht erneuerbarer Energiequellen zusammen. Mehr als die Hälfte der erneuerbaren Energieproduktion wird von der Windkraft (18 %) gedeckt, während Wasserkraft (8 %), Photovoltaik (3 %), Solarthermie (2 %) und andere erneuerbare Energiequellen wie Biomasse, Biogas und Geothermie (2 %) jeweils relativ geringe Anteile an der Stromproduktion haben. Bei den nicht erneuerbaren Energiequellen stellen die Atomkraft mit 21 % gefolgt von Kohle mit 17 %, Gas-Dampf-Kraftwerken mit 14 % und der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) mit 11 % die größten Anteile der spanischen Stromproduktion dar. Auf Erdöl und Erdgas entfallen lediglich 3 % und auf die Abfallverwertung 1 %. Im Vergleich hat Deutschland bei einer Stromerzeugung von 654.800 GWh im Jahr 2017 einen Anteil von 33,3 % erneuerbarer Energien (BMWi, 2018). Abbildung 25 stellt die Stromerzeugung des gesamten spanischen Staates aufgeteilt auf die einzelnen Energiequellen für das Jahr 2017 prozentual dar. (RED Eléctrica de España, Series estadísticas del sistema eléctrico español (septiembre 2018), 2018))

STROMERZEUGUNG IM JAHR 2017 IN GESAMTSPANIEN NACH ENERGIEQUELLEN

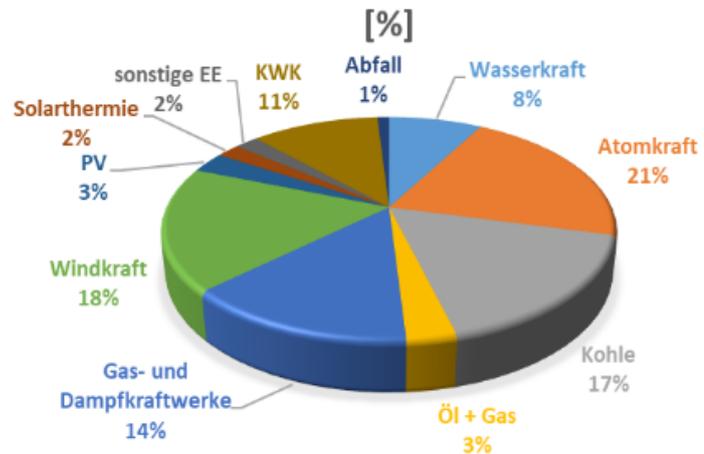


Abbildung 25: Stromerzeugung des Jahres 2017 für Gesamtspanien unterteilt in die einzelnen Energiequellen (angelehnt an (RED Eléctrica de España, Series estadísticas del sistema eléctrico español (septiembre 2018), 2018))

Abbildung 25 stellt die Stromerzeugung des gesamten spanischen Staates aufgeteilt auf die einzelnen Energiequellen für das Jahr 2017 prozentual dar. (RED Eléctrica de España, Series estadísticas del sistema eléctrico español (septiembre 2018), 2018))

Anhang A.6. stellt die Stromproduktion und den Stromverbrauch verteilt auf die Autonomen / Regionen Spaniens gegenüber.

Im Jahr 2015 betrug der durchschnittliche Stromverbrauch eines spanischen 3-Personenhaushaltes 3.487 kWh im Jahr (Gobierno de España, Consumos del Sector Residencial en España, 2015). -Im Vergleich liegt der durchschnittliche Stromverbrauch eines deutschen 3-Personen-Haushaltes bei etwa 3.600 kWh im Jahr und der eines 4-Personen-Haushaltes bei etwa 4.200 kWh (Stromspiegel, 2017) (BMU, Kurzinformation Elektromobilität bzgl. Strom- und Ressourcenbedarf, 2015, S. 9).

Europaweit weist Spanien im Jahr 2017 mit 23,0 Cent pro kWh den fünfthöchsten Strompreis auf und liegt etwa zweieinhalb Cent über dem europäischen Durchschnitt von 20,4 Cent/kWh. Seit 2010 ist er, ausgehend von 19 Cent/kWh, auf den Höchstwert von 24 Cent/kWh in den Jahren 2014 und 2015 angestiegen und hat sich anschließend bei 23 Cent/kWh eingependelt. Zum Vergleich lag der Strompreis in Deutschland im Jahr 2010 bei 24 Cent/kWh und ist bis 2017 auf 30,5 Cent/kWh angestiegen. Während der deutsche Strompreis in den vergangenen zehn Jahren um 39 % anstieg, belief sich der Zuwachs des spanischen Strompreises auf 47 % im gleichen Zeitraum. Grund für die hohen Stromkosten des Endverbrauchers in Deutschland sind die anfallenden Steuern und Abgaben, welche im Jahr 2018 insgesamt 54,2 % (Stromsteuer 7,0 %, Konzessionsabgabe 5,7 %, KWK-Umlage 1,4 %, EEG-Umlage 23,6 %, §19 Umlage 1,4 %, Umsatzsteuer 16,0 %) des Strompreises ausmachen (BDEW, 2018) (Heidjann, 2018). In Spanien hingegen liegt der Anteil der auf den Strompreis anfallenden Steuern und Abgaben bei 21 % (eurostat, Energiepreisstatistik, 2017).

Nach aktuellem Stand gibt es spanienweit fünf technische Entwicklungszentren, welche sich mit dem Thema Meeresenergie befassen, vier an der nördlichen Atlantikküste und eins auf den Kanarischen Inseln nord-östlich von Gran Canaria. Das westlichste Entwicklungszentrum an der Atlantikküste ist die Biscay Marine Energy Platform (BiMEP) in der Nähe der Stadt Bilbao. Hierbei handelt es sich um ein 5,3 km² großes Areal in einer Entfernung von etwa 1,7 km vor der Küste. Dieses wird als Testgelände für Wellen- und Windkraftwerke mit einer installierten Leistung von insgesamt 20 MW genutzt und ermöglicht das Testen und Entwickeln von Prototypen auf dem offenen Meer mit Wassertiefen zwischen 50 m und 90 m (BiMEP, 2018) (UK government departments, 2010, S. 68). In der Region Kantabrien an der Atlantikküste befinden sich zwei Testgelände, zum einen das von der Regionalregierung Kantabriens geförderte Testgelände für Wellenkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 1,5 MW bei Santoña und zum anderen das 4800 ha große Testgelände für Wellenkraftwerke und schwimmende Windkraftwerke (FWT) mit einer Gesamtleistung von etwa 16 MW bei Ubiarco. Diese beiden Testgelände werden durch die Regionalregierung und den spanischen Staat gefördert, und von dem Environmental Hydraulics Institute "IHCantabria" der Universität Kantabrien betrieben und genutzt (IH Cantabria, 2018) (UK government departments, 2010, S. 84) (aquaret, 2010). Das Vierte Entwicklungszentrum an der spanischen Atlantikküste „Estación Experimental Offshore“ liegt in der Region Asturien und legt den Schwerpunkt auf die Speicherung und den Transport von Meeresenergie, so wie die Minderung der von auf bzw. im Meer installierten Kraftwerken ausgehenden Umwelteinwirkungen und die Auswirkungen des Klimawandels auf die Küste und das Meer Asturiens. Betrieben wird das Testgelände von dem technologischen Konsortium der Energie Asturiens (Consortio tecnológico de la energía de Asturias) und der Universität Oviedo (Consortio tecnológico de la energía de Asturias, 2013). Die Plataforma oceánica Canaria-Plocan (Oceanic Platform of the Canary Islands – Plocan) nord-östlich der Insel Gran Canaria bietet Kunden die Möglichkeit zum Testen von Wellen- und Windkraftprototypen auf einem 40 km² Areal im Offshore-Bereich etwa 2000 m vor der Küste in Wassertiefen zwischen 30 m und 1000 m mit einer Gesamtleistung von 15 MW (Gobierno de España, The Oceanic Platform of the Canary Islands installed in the test site of the Consortium, 2016) (UK government departments, 2010, S. 69). (APPA, 2013) (SOWFIA, 2012)

Neben den fünf technischen Entwicklungszentren ging in Nordspanien, in der Stadt Mutriku im Jahr 2011, das weltweit erste kommerzielle Wellenkraftwerk mit mehreren Turbinen mit OWC-Technologie ans Stromnetz. Bei dem im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Projekt, welches von der Energieagentur Ente Vasco de Energía (EVE) umgesetzt wurde, handelt es sich um ein Schutzbauwerk vor starken Stürmen der örtlichen Hafenanlage mit 16 integrierten Wells-Luft-Turbinen mit je 18,5 kW. Über die gesamte Anlage von 296 kW, welche bis in eine Wassertiefe von zehn Metern reicht, werden jährlich etwa 600.000 kWh elektrischen Strom erzeugt, mit dem etwa 250 Haushalte versorgt werden können. Das in den dortigen Wellen enthaltene Potenzial variiert je nach Jahreszeit zwischen 4,8 kW/m im Sommer und 18 kW/m im Winter stark. Jährlich werden durch das Wellenkraftwerk etwa 600 Tonnen CO₂-Emissionen eingespart. Das Investment für die Wellenkraftanlage von Mutriku belief sich auf 6,4 Millionen Euro. Trotz des kommerziellen Betriebes handelt es sich bei dieser Anlage um einen Prototypen, welcher neben der Stromerzeugung zu Forschungs- und Entwicklungszwecken genutzt wird. (EVE, 2018) (UK government departments, 2010, S. 80)

Im Folgenden wird das Land Spanien in drei Gebiete unterteilt und diese hinsichtlich ihrer, für die Nutzung der verschiedenen Formen der Meeresenergie wichtigen Eigenschaften beschrieben. Die Unterteilung orientiert sich hauptsächlich an den angrenzenden Meeren und gliedert sich in die Mittelmeerküste mit den Balearischen Inseln, der Atlantikküste und die Kanarischen Inseln. Für jedes der drei Gebiete wird zunächst auf die Abgrenzung des spanischen Hoheitsgebietes bzw. der Ausschließlichen Wirtschaftszone des Landes, der vorhandenen Schifffahrtswege und weitere Besonderheiten eingegangen.

Anschließend werden die auftretenden Gezeiten, Strömungen, Wellen, Wassertemperaturen und Salzgehalte in den jeweiligen Gebieten dargelegt, welche anhand von im spanischen Hoheitsgebiet verteilten Bojen („Mareógrafo“) des spanischen Staates ermittelt wurden (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018). Die Lage der Messbojen kann dem Anhang A.8. entnommen werden.

3.1. Mittelmeerküste und Balearische Inseln

Die spanische Mittelmeerküste erstreckt sich von der französisch-spanischen Grenze über 1.670 km bis nach Gibraltar, wo das Mittelmeer an den Atlantik grenzt (Instituto Nacional de Estadística, 1985). Des Weiteren gehören die Küsten der Balearischen Inseln Mallorca, Menorca, Ibiza und Formentera mit einer Küstenlänge von 910 km zur Mittelmeerregion (Instituto Nacional de Estadística, 1985). Die Ausschließliche Wirtschaftszone Spaniens im Mittelmeer beläuft sich auf eine Fläche von etwa 200.000 km² (vgl. Anhang A.7.) (Ministerio de Economía y Competitividad, 2016). Durch die Zugehörigkeit Gibaltars zum Vereinigten Königreich und wegen der geringen Breite der Straße von Gibraltar bzw. der geringen Distanz zur marokkanischen Landesgrenze, stellt sich der Grenzverlauf an dieser Stelle kompliziert dar und ist durch Sonderregelungen vereinbart (Suárez de Vivero J. L., 2009). Bis heute und vor allem aktuell führt dies in punkto Brexit zu Problemen und Auseinandersetzungen, beispielsweise in der Fischerei (Suárez de Vivero J. L., 2009) (Der Spiegel, 2018). Die Seegrenze zwischen Spanien und Marokko verläuft in etwa mittig durch die Straße von Gibraltar und knickt innerhalb des Mittelmeeres bis zu der auf afrikanischem Festland liegenden Stadt Ceuta Richtung Süden ab. Die Gewässer um die Halbinsel von Gibraltar sind in einem Abstand von drei Seemeilen (etwa 5,5 km) vom spanischen Hoheitsgebiet ausgenommen. Der genaue Verlauf der Seegrenzen in der Straße von Gibraltar kann dem Anhang A.9. entnommen werden. Des Weiteren verläuft neben den lokalen Schifffahrtswegen beispielsweise von Fähren, der Seeweg zwischen Atlantik und Mittelmeer etwa mittig durch die Straße von Gibraltar (vgl. Anhang A.9.). Von Gibraltar aus verläuft der Schifffahrtsweg bis auf die Höhe der andalusischen Provinzhauptstadt Almeria parallel zum spanischen Festland, etwa 60 km vor der Küste innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone Spaniens, bevor er sich weiter aufspaltet. Für Schiffe, welche einen der spanischen Häfen zwischen Almeria und der französisch-spanischen Grenze anlaufen, verläuft der Schifffahrtsweg weiterhin parallel, im Abstand von etwa 60 km, zur Küste, während Schiffe mit Zielen außerhalb Spaniens die Ausschließliche Wirtschaftszone Spaniens auf dem Schifffahrtsweg Richtung Osten verlassen. Auf die weiteren Schifffahrtswege von Frachtschiffen, Personenschiffen oder Fischereifloten, welche die Ausschließliche Wirtschaftszone Spaniens im Mittelmeer passieren oder einen der spanischen Mittelmeerhäfen anlaufen wird im Folgenden nicht weiter eingegangen. Überschneidungen potentieller Standorte mit Schifffahrtswegen werden in Kapitel 6 beleuchtet. Gleiches gilt für Nationalparks, Naturschutzgebiete, etc., in der Region des Mittelmeeres, welche Überschneidungen mit potenziellen Standorten der Meeresenergienutzung aufweisen. (OpenSeaMap, 2018) (MarineTraffic, 2018)

Die Balearischen Inseln sind seit 2011 über ein Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-Seekabel (HGÜ-Seekabel) an das Stromnetz des spanischen Festlandes angeschlossen. Dieses verläuft mit einer Betriebsspannung von 250 kV von Sagunto bei Valencia über 244 km nach Santa Ponça an der mallorquinischen Westküste. Über das Seekabel, welches hauptsächlich zum Ausgleichen von Spitzenlasten

dienen soll, werden etwa 400 MW auf die Balearischen Inseln übertragen. Der über das Seekabel übertragene Strom reicht, um maximal 25 % des Energiebedarfs Mallorcas zu decken. Ausgehend von Mallorca sind die Inseln Menorca im Nordosten und die Inseln Ibiza und Formentera im Südwesten über 132 kV- Seekabel an das Stromnetz der Hauptinsel angebunden. Das Stromnetz der Balearischen Inseln kann dem Anhang A.15. entnommen werden. Die Stromversorgung der Inseln basiert auf mehreren auf den Inseln Mallorca, Menorca und Ibiza verteilten Kraftwerken. Bei diesen Kraftwerken handelt es sich hauptsächlich um Gas- und Dampf-Kombikraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, ein kombiniertes Kohle-Ölkraftwerk und mehrere Solar- und Windkraftwerke. Der Stromverbrauch der Balearischen Inseln stieg um 3,8 % im Vergleich zum Vorjahr auf 5.964.112 MWh im Jahr 2017. Etwa 76 % des Stromverbrauchs entfallen auf Mallorca (4.533.262 MWh), acht Prozent auf Menorca (478.488 MWh) und 16 % auf Ibiza und Formentera (952.362 MWh) (Europa Press, 2018) (Govern de les Illes Balears, 2014). Im Jahr 2016 stellten die erneuerbaren Energien lediglich zwei Prozent der balearischen Stromproduktion dar, was die Balearischen Inseln Schlusslicht Spaniens beim Thema erneuerbare Energien macht. Langfristig soll, besonders durch den Ausbau der Solarenergie, der Anteil der erneuerbaren Energien bis 2020 auf zehn Prozent und bis 2050 auf 100 % ausgebaut werden. Zur Reduktion des CO₂- und Feinstaubausstoßes sollen bis 2020 die alten Kohle- und Ölkraftwerke auf Mallorca und Menorca vom Netz genommen und durch moderne Erdgaskraftwerke und erneuerbare Energien ersetzt werden. (ultimahora.es, 2017) (CETE, 2018) (RED Eléctrica de España, Red de transporte balear, 2018) (RED Eléctrica de España, Demanda balear en tiempo real, 2018)

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben sind die Gezeiten in kleinen Meeren, wie dem Mittelmeer, wesentlich schwächer ausgeprägt, als beispielsweise im Atlantik oder dem Pazifik. Der Tidenhub im Mittelmeerbereich fällt gering aus, lediglich in der Region um die Straße von Gibraltar ist er, bedingt durch den Wasseraustausch, bzw. dem Einfluss des Atlantiks, stärker ausgeprägt. Der östliche Bereich der Ausschließlichen Wirtschaftszone weist einen durchschnittlichen Tidenhub von 22 cm auf. Stellvertretend hierfür können die Bojen "Mareógrafo de Barcelona 2" mit einem durchschnittlichen Tidenhub von 22 cm (Zeitraum: 1993 bis 2017), „Mareógrafo de Mahon“ (Menorca) mit 22 cm (Zeitraum: 2009 bis 2017), „Mareógrafo de Alcudia“ (Mallorca) mit 24 cm (Zeitraum: 2009 bis 2017) und „Mareógrafo de Tarragona“ mit 20 cm (Zeitraum: 2011 bis 2017) herangezogen werden. Im Bereich zwischen Valencia und dem Naturpark Cabo de Gata bei Almeria nimmt der durchschnittliche Tidenhub bis auf 16 cm ab. Hier können die Bojen "Mareógrafo de Gandia“ mit einem durchschnittlichen Tidenhub von 18 cm (Zeitraum: 2007 bis 2017), „Mareógrafo de Ibiza 2“ mit 16 cm (Zeitraum: 2003 bis 2017), „Mareógrafo de Formentera“ mit 16 cm (Zeitraum: 2009 bis 2017) und „Mareógrafo de Carboneras“ mit 15 cm (Zeitraum: 2013 bis 2017) stellvertretend betrachtet werden. Anschließend steigt der durchschnittliche Tidenhub, ausgehend von Almeria bis nach Algeciras in der Straße von Gibraltar, kontinuierlich von 23 cm („Mareógrafo de Almeria“; Zeitraum 2006 bis 2017) über 36 cm („Mareógrafo de Motril 2“; Zeitraum 2005 bis 2017) und 54 cm („Mareógrafo de Malaga 3“; Zeitraum 1993 bis 2017) bis auf 72 cm („Mareógrafo de Algeciras“; Zeitraum 2009 bis 2017) an. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. nivel del mar)

Das Mittelmeer ist über die Straße von Gibraltar an den Atlantik angebunden und steht mit diesem, bedingt durch die Gezeiten, unterschiedlichen Salzgehalten und einem nicht ausgeglichenen Verhältnis zwischen Verdunstung und Süßwasserzufluss des Mittelmeeres in ständigem Wasseraustausch (vgl. Kapitel 2.2). Der grobe Verlauf der Oberflächen- und Tiefenströmungen im Mittelmeer kann dem Anhang A.10. entnommen werden. Da die Straße von Gibraltar die einzige Zuflussmöglichkeit des Mittelmeeres darstellt und das im Mittelmeer verdunstende Wasser von den geringen Niederschlagsmengen in den Mittelmeerregionen und den in das Mittelmeer mündenden Flüssen lediglich zu einem Drittel ausgeglichen werden, tritt an der Meerenge eine permanente Strömung auf (Helmholtz-

Zentrum für Ozeanforschung, 2016) (IFM GEOMAR, 2001). Bedingt durch die Geographie der Straße von Gibraltar mit einer geringen Breite und der Unterwassertopographie, wonach der Bereich der Straße von Gibraltar eine Schwelle mit einer geringen Wassertiefe von maximal 350 m darstellt, kommt es in diesem Bereich zu starken Strömungen von bis zu drei Knoten (1,54 m/s) (GOFIMA, 2012, S. 5). (OpenSeaMap, 2018) (Colin Thomas, 2013) (Alcaidesa Marina, 2018). Die permanente Strömung von Atlantik ins Mittelmeer (Strömungsrichtung Osten) verläuft oberflächennah, bis in eine Tiefe von 150 m mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,85 m/s und transportiert somit pro Sekunde etwa eine Millionen Kubikmeter Atlantikwasser Richtung Mittelmeer (Colin Thomas, 2013). An der engsten

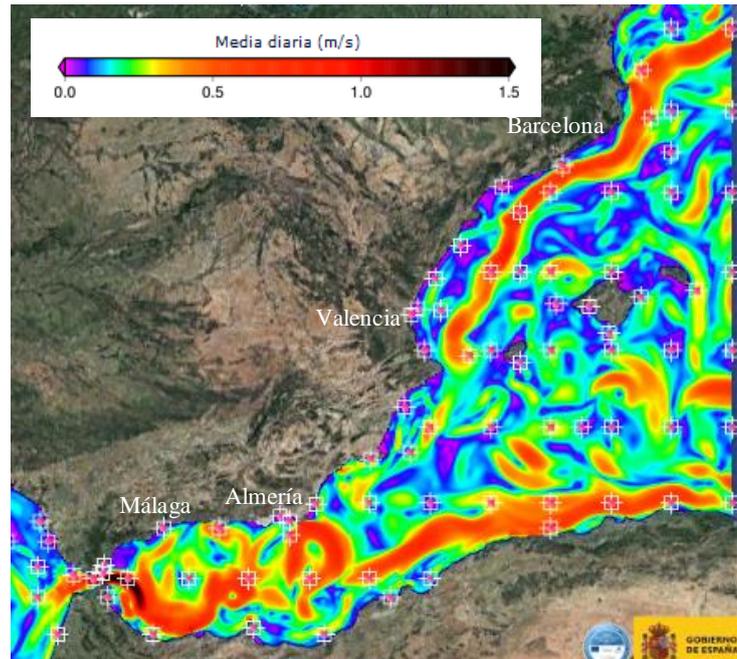


Abbildung 26: auftretende Strömungen im Mittelmeer (Aufnahme vom 27. November 2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

Stelle der Meerenge beträgt die Strömung etwa einen Meter pro Sekunde (Colin Thomas, 2013). Bedingt durch den höheren Salzgehalt des Mittelmeerwassers, auf den im weiteren Verlauf dieses Kapitels detaillierter eingegangen wird, verläuft eine entgegengesetzte Strömung (Strömungsrichtung Westen) unterhalb von 150 m Wassertiefe bis zum Meeresboden Richtung Atlantik (IFM GEOMAR, 2001) (Colin Thomas, 2013). In Abhängigkeit der Gezeiten der Atlantikseite steigen die Strömungsgeschwindigkeiten bei Flut bzw. zu den Springzeiten bis auf 1,54 m/s an, wobei sie über einen Zeitraum von sechs Stunden pro Tag über einen Meter pro Sekunde betragen (Colin Thomas, 2013). Über einen Zeitraum von 12 bis 13 Stunden pro Tag liegen die Strömungsgeschwindigkeiten über 0,5 m/s. Die Darstellung der Strömungsverhältnisse in der Straße von Gibraltar kann dem Anhang A.20. entnommen werden. Die Einschätzung eines nutzbaren Potentials hinsichtlich Strömungen in der Straße von Gibraltar ist bereits im Rahmen des Aqua-RET Projektes der Europäischen Kommission veröffentlicht worden (vgl. Anhang A.1. unten) (Aqua-RET, 2012). Nachdem die Strömung die Meerenge passiert hat, weist sie keinen konstanten Strömungsverlauf auf, sondern bildet mehrere aufeinander folgende großflächige Wirbel, welche in ihrer Lage und Anzahl (bis zu vier) variieren. Auf der Höhe von Almeria gehen diese in eine konstant ostwärts verlaufende Strömung mit einer Strömungsgeschwindigkeit von bis zu einem Meter pro Sekunde vor der afrikanischen Küste bis in 200 m Tiefe über (OceanCare, 2009). Dieser Strömungsverlauf kann Abbildung 26 und Anhang A.10. entnommen werden. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

Eine weitere, konstant auftretende Strömung, welche als Northern Current oder auch als Liguro-Provenzal-Strom und Catalan-Strom bekannt ist, verläuft aus Richtung Frankreich kommend, parallel zur spanischen Küste bis auf die Höhe zwischen Valencia und Ibiza, wo er an Strömungsgeschwindigkeit verliert (vgl. Abbildung 26) (OceanCare, 2009). Sie weist, je nach Lage, eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von zwischen 0,4 m/s (vor Valencia) und 0,6 m/s (vor der französisch-spani-

schen Grenze) auf, welche in ihrer Intensität und Strömungsrichtung nur gering variiert („Boya de Valencia“; Zeitraum 2005 bis 2018)(„Punto SIMAR 2130146 “; vor der französisch-spanischen Grenze; 1958 bis 2018). Ihr Verlauf orientiert sich am Verlauf der Topografie des Meeresbodens und folgt einer Schwelle, an der die Wassertiefe vor der spanischen Küste von etwa 100 m auf bis zu 1000 m abfällt. Dieser Zusammenhang kann dem Anhang A.11. entnommen werden. Die Strömung weist eine Breite von knapp 20 km auf und liegt in einer Tiefe zwischen 200 und 500 m (OceanCare, 2009). Zwischen Barcelona und Tarragona verläuft sie mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s in geringer Entfernung von etwa sieben Kilometern zur Küstenlinie („Boya de Tarragona“; Zeitraum 2004 bis 2018). (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

Des Weiteren treten im restlichen spanischen Mittelmeergebiet lediglich temporär Strömungen von bis zu einem Meter pro Sekunde auf. Allerdings variieren diese bezogen auf den Auftrittsort und die Strömungsrichtung stark und sind deshalb für die Nutzung durch Strömungskraftwerke zu vernachlässigen. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

Im gesamten spanischen Mittelmeerraum beträgt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe H_s etwa 0,8 m auf dem offenen Meer („Punto SIMAR 2036072 „, vor Málaga; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 2108126 „, vor Tarragona; Zeitraum: 1958 bis 2018). In den küstennahen Bereichen beträgt sie etwa 0,5 m („Boya Costera de Valencia II“; Zeitraum: 2005 bis 2013)(„Boya de Málaga“; Zeitraum: 1985 bis 2018). Dabei variiert die signifikante Wellenhöhe zwischen minimaler durchschnittlicher signifikanten Wellenhöhe von 0,2 m im offenen Meer und 0,1 m im küstennahen Bereich und maximaler durchschnittlicher signifikanten Wellenhöhe von 2,8 m im offenen Meer und 1,5 m im küstennahen

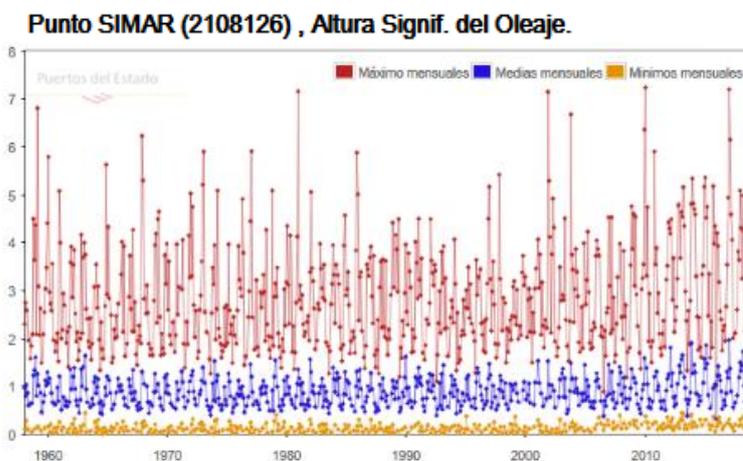


Abbildung 27: minimale, mittlere und maximale signifikante Wellenhöhe im Bereich zwischen Balearischen Inseln und spanischem Festland (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje)

auf. Im küstennahen Bereich südöstlich und östlich der Balearischen Inseln liegt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe bei 0,8 m. Grund für die höhere Wellenintensität ist eine etwas höhere Windintensität, welche eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 6,5 m/s aufweist („Boya de Mahón“ vor Menorca; Zeitraum: 1993 bis 2018) („Punto SIMAR 2120096“ südlich von Mallorca; Zeitraum: 1958 bis 2018). Die Wassertiefe des offenen Meeres südlich und südöstlich der Balearischen Inseln beträgt bis zu 2.500 m (OpenSeaMap, 2018). Der restliche Bereich des spanischen Mittelmeerraums zwischen den Balearischen Inseln und dem spanischen Festland und vor der andalusischen Küste weist Wassertiefen von weniger als 2000 m auf (OpenSeaMap, 2018). Die in diesen Mittelmeerregionen auftretenden durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten liegen bei fünf Metern pro Sekunde („Boya de

Bereich stark. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit liegt im Mittelmeerbereich flächendeckend bei etwa sechs Metern pro Sekunde. Für die Messungen der Windgeschwindigkeiten wurden die gleichen Messpunkte und – boyen verwendet, wie für die Ermittlung der signifikanten Wellenhöhen. Der Mittelmeerbereich südöstlich und östlich der Balearischen Inseln weist mit einer maximalen durchschnittlichen signifikanten Wellenhöhe von 3,4 m, sowie einer durchschnittlichen signifikanten Wellenhöhe von 1,3 m eine etwas höhere Wellenintensität

Tarragona“; Zeitraum: 2004 bis 2018) („Boya de Valencia“; Zeitraum: 2005 bis 2018) („Boya de Cabo de Gata“; Zeitraum: 1993 bis 2018). Die Wellenlänge im gesamten Mittelmeerraum liegt bei maximal 50 m (Martí, 2004). Abbildung 27 stellt exemplarisch die minimalen, mittleren und maximalen signifikanten Wellenhöhen im Mittelmeerbereich am Messpunkt 2108126 südlich von Tarragona zwischen den Balearischen Inseln und dem spanischen Festland im Zeitraum 1958 bis 2018 dar. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. viento) (OpenSeaMap, 2018)

Die durchschnittliche Peakperiode T_P des spanischen Mittelmeerraumes liegt, bezogen auf die signifikante Wellenhöhe von 0,8 m bei 4,2 s und im küstennahen Bereich mit einer signifikanten Wellenhöhe von 0,5 m bei vier Sekunden („Punto SIMAR 2108126 „ vor Tarragona; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 2036072 „ vor Málaga; Zeitraum: 1958 bis 2018) und für die signifikante Wellenhöhe von 1,3 m südöstlich und östlich der Balearischen Inseln bei 4,9 Sekunden („Boya de Mahón“ vor Menorca; Zeitraum: 1993 bis 2018) („Punto SIMAR 2120096“ südlich von Mallorca; Zeitraum: 1958 bis 2018). (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje) (Wahl, Mudersbach, Gröschel, & Jensen, 2012, S. 7)

Der Zusammenhang zwischen Wind und Wellen, bzw. Windrichtung und Wellenrichtung auf dem offenen Meer kann anhand von Wind- und Wellenrosen dargelegt werden. Diese sind, exemplarisch anhand der Messstation „Punto SIMAR 2048072“ (Zeitraum: 1958 bis 2018), im Anhang A.12. dargestellt. Der Messpunkt befindet sich etwa 100 km südwestlich der andalusischen Provinzhauptstadt Almería und etwa fünf Kilometer nördlich der zu Spanien gehörenden Insel Alborán (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje & viento) (OpenSeaMap, 2018).

Im gesamten spanischen Mittelmeerraum variieren die durchschnittlichen Wassertemperaturen, abhängig von den Jahreszeiten, zwischen maximal 27 °C im Sommer und 13 °C im Winter. Stellvertretend können die „Boya de Dragonera“ an der östlichen Spitze Mallorcas (Sommer: 27 °C, Winter: 13,5 °C; Zeitraum: 2006 bis 2018), die „Boya de Tarragona“ (Sommer: 27 °C, Winter: 13 °C; Zeitraum: 2004 bis 2018), so wie die „Boya de Cabo de Gata“ bei Almería (Sommer: 26 °C, Winter: 13 °C; Zeitraum: 1998 bis 2018) aufgeführt werden. Im Bereich zwischen Almería und der Straße von Gibraltar nimmt die jahreszeitlich bedingte Wassertemperaturschwankung gegenüber dem restlichen spanischen Mittelmeerraum leicht ab und liegt im Sommer bei durchschnittlich 23°C und im Winter bei durchschnittlich 15 °C. Bedingt wird diese geringere Temperaturdifferenz durch den Wasseraustausch über die Straße von Gibraltar, welcher im Sommer durch das im Vergleich zum Mittelmeerwasser, kältere Atlantikwasser und im Winter durch das wärmere Atlantikwasser aus Richtung der Kanarischen Inseln gespeist wird. Stellvertretend für die in diesem Bereich auftretenden Wassertemperaturen sind die „Boya de Málaga“ (Sommer: 24 °C, Winter: 14 °C; Zeitraum: 2010 bis 2018) und die „Boya de Ceuta“ (Sommer: 22 °C, Winter: 16 °C; Zeitraum: 1985 bis 2018). Das Tiefenwasser des Mittelmeers weist eine Temperatur im Bereich zwischen 12,8 und 13,6 °C auf und entspricht somit in etwa der mittleren Lufttemperatur im Winter (Geodatenmanufaktur, 2016) (Willmann & Egli-Broz, 2010, S. 106). Somit ergibt sich im Sommer eine Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser von maximal etwa 13 °C, während im Winter kaum eine Temperaturdifferenz auftritt. In Anlage A.13. Temperaturverlauf an verschiedenen Messbojen sind die durchschnittlichen Wassertemperaturen anhand verschiedener Messbojen graphisch dargestellt. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. temperatura del agua)

Der durchschnittliche Salzgehalt des Mittelmeeres liegt bei 3,8 %, also etwa 38 g/L und ist somit im Vergleich zum Atlantik mit durchschnittlich 3,5 % Salzgehalt wesentlich salzhaltiger. Dies rührt daher, dass die Verdunstung des Mittelmeeres größer ist als die Menge an zuströmendem Süßwasser. Der Salzgehalt im Mittelmeer nimmt bedingt durch den großen Zufluss des weniger salzhaltigen Atlantikwassers tendenziell von Westen nach Osten zu. Somit besteht ein Zusammenhang zwischen den weiter oben im Kapitel beschriebenen auftretenden Strömungen und der Verteilung der unterschiedlichen Salzgehalte (vgl. Abbildung 26 und Abbildung 28). Ausgehend von der Straße von Gibraltar im Westen, wo der Salzgehalt bei durchschnittlich 36,4 g/L („Boya de Alborán“ Zeitraum: 1997

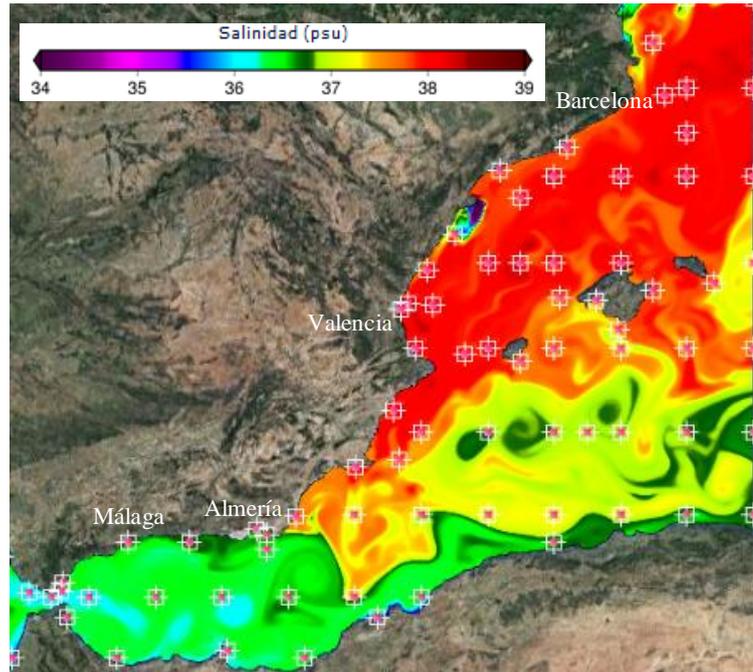


Abbildung 28: Salzgehalt im Mittelmeer (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

bis 2006) liegt, steigt er bis auf die Höhe von Almeria nur leicht auf 36,5 g/L an. Mit dem weiteren Verlauf der Strömung vor der afrikanischen Küste bleibt ebenfalls der für das gesamte Mittelmeer vergleichsweise niedrige Salzgehalt in diesem Bereich bestehen. Im Bereich zwischen den Balearischen Inseln und dem spanischen Festland wird das salzhaltigere Wasser aus den östlich gelegenen Mittelmeerbereichen westwärts transportiert und weist hier einen Salzgehalt von durchschnittlich 38,1 g/L („Boya de Tarragona“ Zeitraum: 2004 bis 2018) („Boya de Valencia“ Zeitraum: 2005 bis 2018) auf. Im Zwischenbereich dieser beiden Regionen, bzw. südlich und südwestlich der Balearischen Inseln kommt es zur Vermischung des in westliche Richtung strömenden, salzhaltigeren Mittelmeerwasser mit dem in östliche Richtung strömenden, weniger salzhaltigerem Atlantikwasser. In diesem Bereich liegt der durchschnittliche Salzgehalt bei 37,4 g/L, schwankt jedoch je nach Strömungsverhältnissen zwischen 36,8 g/L und 37,7 g/L („Boya de Cabo de Palos“ Zeitraum: 2006 bis 2018). Südlich der Stadt Tarragona im Nord-Osten Spaniens mündet der Ebro, der zweitlängste Fluss der Iberischen Halbinsel im Naturpark „Parc Natural del Delta de l'Ebre“ in das Mittelmeer, wo er durch die Durchmischung des Meerwassers mit dem zuströmenden Flusswasser für niedrigere Salzkonzentrationen sorgt (vgl. Abbildung 28). In der etwa 30 km vor der Mündung gelegenen Stadt Tortosa beträgt der Abfluss des Ebro durchschnittlich etwa 330 m³/s mit einem Salzgehalt von etwa einem Gramm pro Liter (Gobierno de España, Boletín Hidrológico Semanal - Caudales, 2018) (Gobierno de España, Sistema Bajo Ebro, 2010) (Alberto Giménez & Aragüés Lafarga, 1986). Weitere Flüsse entlang der Mittelmeerküste treten durch die hohe Verdunstung und geringe Niederschläge nur temporär auf, oder weisen nur einen sehr geringen Abfluss auf, sodass sie im Weiteren nicht berücksichtigt werden. Beispiel hierfür ist der Río Segura, welcher etwa 80 km vor seiner Mündung in das Mittelmeer einen Abfluss von 26,3 m³/s aufweist. Bedingt durch die Wasserentnahme für die Landwirtschaft nimmt der Abfluss ins Mittelmeer in der Nähe der Hauptstadt Murcia der gleichnamigen Region auf einen Kubikmeter pro Sekunde ab. Ähnlich verhält es sich mit dem Fluss Júcar, welcher im Landesinneren streckenweise einen durchschnittlichen Abfluss von bis zu 50 m³/s aufweist und von mehreren Stauseen aufgestaut wird. Etwa 30 km südlich der Stadt

Valencia mündet der Júcar mit einem durchschnittlichen Abfluss von sechs Kubikmetern pro Sekunde ins Mittelmeer (Estacion 8049: Río Júcar en Cullera). (Gobierno de España, Caudales ambientales Río Segura, 2017) (Gobierno de España, Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar, 2015) (Gobierno de España, Hidrología del Júcar, 2010) (Gobierno de España, Centro de Estudios Hidrográficos, 2015) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

3.2. Atlantikküste

Die Atlantikküste erstreckt sich von der französisch-spanischen Grenze im Nord-Osten über 1.064 km bis zur spanisch-portugiesischen Grenze im Westen und von Gibraltar über 303 km bis zur spanisch-portugiesischen Grenze im Süden (Instituto Nacional de Estadística, 1985). Insgesamt hat sie eine Länge von 1.376 km (Instituto Nacional de Estadística, 1985). Die zugehörige Ausschließliche Wirtschaftszone des nördlichen Teils des Atlantiks hat eine Fläche von etwa 740.000 km² und besitzt somit eine fast eineinhalb mal so große Fläche wie das gesamte spanische Festland (Ministerio de Economía y Competitividad, 2016). Während sie im Norden an die Ausschließliche Wirtschaftszone Frankreichs und im Westen an die Portugals grenzt, ist sie im restlichen Bereich bis auf die 200-Seemeilen-Zone (vgl. Kapitel 4) ausgeweitet. Die Fläche der Ausschließlichen Wirtschaftszone Spaniens am südlichen Atlantik hat etwa eine Fläche von 50.000 km² und schließt nach Westen an die Ausschließlichen Wirtschaftszone Portugals an. Im Osten geht sie bei der Straße von Gibraltar in den bereits im vorangegangenen Kapitel 3.1 beschriebenen Teil des Mittelmeers über, wo neben den aneinander liegenden Grenzen Spaniens und Marokkos ein viel befahrener Seeweg besteht (vgl. Anhang A.9.). Die Lage der Ausschließlichen Wirtschaftszone im Atlantik ist dem Anhang A.7. zu entnehmen. Der bereits angesprochene Seeweg durch die Straße von Gibraltar verläuft weiter durch die Ausschließliche Wirtschaftszone Spaniens im südlichen Teil des Atlantiks bis zur, auf portugiesischem Staatsgebiet liegenden, südwestlichen Spitze der Iberischen Halbinsel und des Europäischen Festlandes, wo sie nach Norden, parallel zur portugiesische Küste abknickt. Nach dem Passieren der portugiesischen Küste verläuft der Seeweg parallel zur spanischen Küsten in einer Entfernung von etwa 30 km zur Küstenlinie bis zur nord-westlichen Spitze der Iberischen Halbinsel, wo dieser durch den Golf von Biskaya weiter Richtung Ärmelkanal führt. An der Westseite der Iberischen Halbinsel orientiert sich der Seeweg am Festlandsockel, welcher in etwa 200 m Wassertiefe den Übergang zu tieferen Gewässern darstellt (SRÜ, 1982) Art.76). Besonders vor den Städten Vigo, A Coruña, Gijón, Santander, Bilbao und Donostia-San Sebastián herrscht, bedingt durch die dort ansässigen Häfen, ein erhöhtes Verkehrsaufkommen, welches bei der Standortwahl zum Einsatz von Meeresenergie zu berücksichtigen gilt. Ebenfalls zu berücksichtigen sind die an der Atlantikküste Spaniens liegenden National-, Naturparks, so wie andere Schutzgebiete, auf welche im Fall von Überschneidungen mit potenziellen Standorten in Kapitel 6 eingegangen wird. (OpenSeaMap, 2018) (MarineTraffic, 2018)

Besonders im südlichen Teil des Atlantikgebietes variiert der Tidenhub, bedingt durch den Einfluss des Mittelmeeres, stark. Während er auf der Atlantikseite der Straße von Gibraltar durchschnittlich 93 cm („Mareografo de Tarifa“; Zeitraum 2009 bis 2017) aufweist, beträgt der Tidenhub kurz vor der etwa 180 km Luftlinie entfernten spanisch-portugiesischen Grenze durchschnittlich 2,28 m („Mareografo de Huelva 5“; Zeitraum 1996 bis 2017). Im nördlichen Teil des spanischen Atlantiks fällt die Variation des Tidenhubes entlang des Küstenverlaufes wesentlich schwächer aus. Grundlegend ist jedoch ein kontinuierlicher Anstieg des Tidenhubes ausgehend von der spanisch-portugiesischen Grenze im Westen entlang der spanischen Küste hin zur französisch-spanischen Grenze zu beobachten. Während der Tidenhub etwa 50 km entfernt von der spanisch-portugiesischen Grenze, in der Nähe der spanischen Stadt Vigo, durchschnittlich 2,40 m („Mareografo de Marin“; Zeitraum 2009 bis 2017) beträgt, liegt er bei A Coruña durchschnittlich bei 2,60 m („Mareografo de Ferrol 1“ und „Mareografo de Ferrol 2“; Zeitraum 2006 bis 2017). Weiter entlang der spanischen Atlantikküste Richtung Osten beträgt der Tidenhub bei Gijón durchschnittlich 2,77 m („Mareografo de Gijón 2“; Zeitraum 1995 bis 2017) und bei Bilbao, etwa 100 km vor der französisch-spanischen Grenze, durchschnittlich 3,05 m („Mareografo de Bilbao 3“; Zeitraum 1993 bis 2017). (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. nivel del mar)

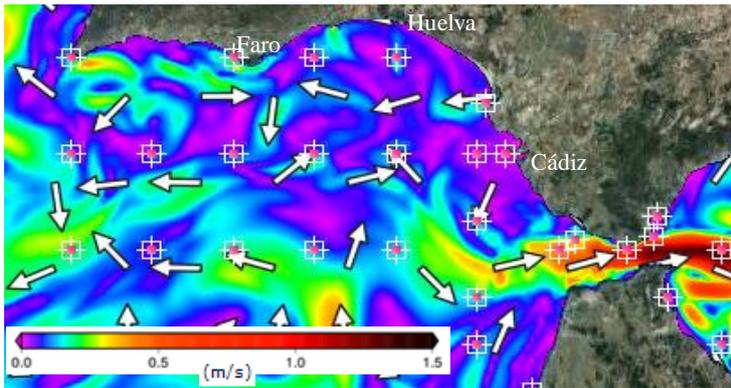


Abbildung 29: auftretende Strömungen im südlichen Teil des Atlantiks (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

diesem Bereich bei 0,7 m/s und ist somit etwas schwächer als die in und auf der östlichen Mittelmeerseite der Meerenge (vgl. Kapitel 3.1). Im küstennahen Bereich des Golfes von Cádiz liegen die durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeiten bei 0,15 m/s und variieren in ihrer Strömungsrichtung bedingt durch die auftretenden Gezeiten stark („Boya de Golfo de Cádiz“; Zeitraum: 1996 bis 2018). Teilweise bilden sich, wie auch auf der Mittelmeerseite, großflächige Wirbel, welche in ihrer Strömungsintensität jedoch wesentlich schwächer sind. Die im südlichen Teil des Atlantiks auftretenden Strömungen sind in Abbildung 29 dargestellt. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes) (OpenSeaMap, 2018)

Im nördlichen Teil des Atlantiks verläuft eine am Festlandssockel der Iberischen Halbinsel orientierte Strömung parallel zum spanischen Festland. Sie reicht von der spanisch-portugiesischen Grenze zwischen Porto und Vigo annähernd unterbrechungsfrei mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s bis an die nördliche Spitze der Iberischen Halbinsel und mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,4 m/s weiter entlang der Küste bis vor Gijón („Boya de Villano-Sisargas“; Zeitraum: 1998 bis 2018) („Boya de Cabo de Peñas“; Zeitraum: 1998 bis 2018). Diese Strömung, welche im Bereich des Atlantiks mit einer Wassertiefe zwischen 100 m und 200 m im Abstand von drei bis zehn Kilometern vor der Küstenlinie verläuft, strömt konstant in nördliche bzw. östliche Richtung und variiert in ihrer Strömungsgeschwindigkeit teils stark zwischen 0,3 m/s und 1,1 m/s. Der Maximalwert von 1,1 m/s wird jedoch nur zum Zeitpunkt der Springtiden erreicht, ansonsten liegt er etwa bei 0,8 m/s bis 0,9 m/s. Dieser Atlantikbereich wurde bereits im Rahmen des Aqua-RET Projektes der Europäischen Kommission als Standort mit Potential hinsichtlich Strömung ermittelt (vgl. Anhang A.1. unten) (Aqua-RET, 2012). Von Gijón aus nimmt sie Richtung Bilbao auf einer Strecke

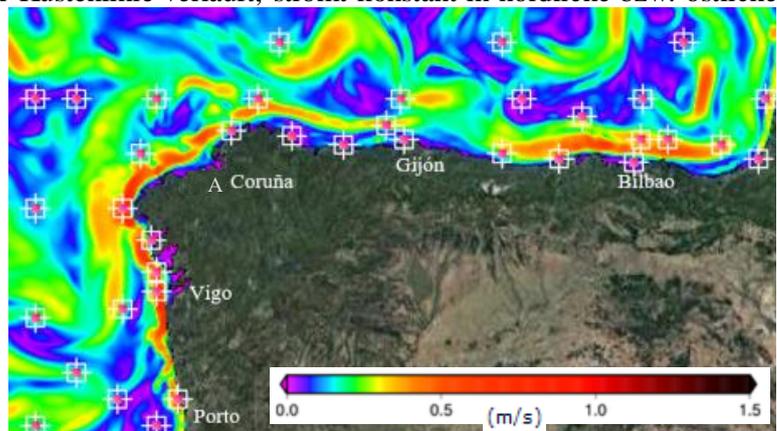


Abbildung 30: auftretende Strömungen im nördlichen Teil des Atlantiks (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

von etwa 80 km in ihrer Strömungsintensität ab und liegt in diesem Bereich durchschnittlich bei 0,15 m/s. Anschließend steigt die Strömungsintensität bis zur französisch-spanischen Grenze wieder an und weist eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s auf („Boya de Bilbao-Vizcaya“; Zeitraum: 1990 bis 2018). Auch in diesem Bereich ist sie am Festlandsockel der Iberischen Halbinsel orientiert, wo die Wassertiefe zwischen 100 m und 200 m liegt. Der Verlauf der an der nord-westlichen Atlantikküste befindlichen Strömung ist in Abbildung 30 dargestellt. Im restlichen Bereich der Ausschließlichen Wirtschaftszone des Atlantiks (nördlicher Bereich) treten Strömungen mit Geschwindigkeiten von über 0,5 m/s temporär auf und variieren bezogen auf ihre Lage und Intensität stark. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes) (OpenSeaMap, 2018)

Hinsichtlich der auftretenden Wellengrößen lässt sich der spanische Atlantikbereich in drei Gebiete unterteilen. Der südliche Bereich des Atlantiks, auf der östlichen Seite der Straße von Gibraltar, weist eine durchschnittliche signifikante Wellenhöhe H_s von 1,3 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode T_p von 4,9 Sekunden auf offener See auf („Boya de Golfo de Cádiz“; Zeitraum: 1996 bis 2018). Die Wellenlänge in diesem Bereich variiert zwischen 50 m und maximal 75 m. Im küstennahen Flachwasserbereich des Golfes von Cádiz liegt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe bei 0,5 m mit einer Peakperiode von vier Sekunden („Boya Costera de Cádiz“; Zeitraum: 1983 bis 2014) („Punto SIMAR 5029023“ südlich von Huelva; Zeitraum: 1958 bis 2018). Diese geringe signifikante Wellenhöhe im küstennahen Bereich des Golfes von Cádiz ist bedingt durch flach auslaufende Strände, so dass die Wassertiefe über eine Strecke von 30 km bis auf eine Tiefe von 100 m abfällt (OpenSeaMap, 2018). Im westlichen Atlantikbereich, zwischen der spanisch-portugiesischen Grenze und der Grenze der Autonomen Galicien und Asturien, liegt die signifikante Wellenhöhe bei 2,2 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von zehn Sekunden („Boya de Cabo Silleiro“ südwestlich von Vigo; Zeitraum: 1998 bis 2018) („Boya de Estaca de Bares“ an der nordwestlichen Spitze der Iberischen Halbinsel; Zeitraum: 1996 bis 2018). Die maximale signifikante Wellenhöhe liegt in diesem Bereich bei durchschnittlich sechs Metern und in den extremsten Jahren bei 12,5 m (2008, 2009 und 2014). Die auftretenden Wellenlängen liegen im Bereich zwischen 75 m und 100 m. Im küstennahen Bereich fällt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe bedingt durch geringere Wassertiefen auf 1,5 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von 5,2 s ab („Boya Costera de Silleiro“ südwestlich von Vigo; Zeitraum: 1991 bis

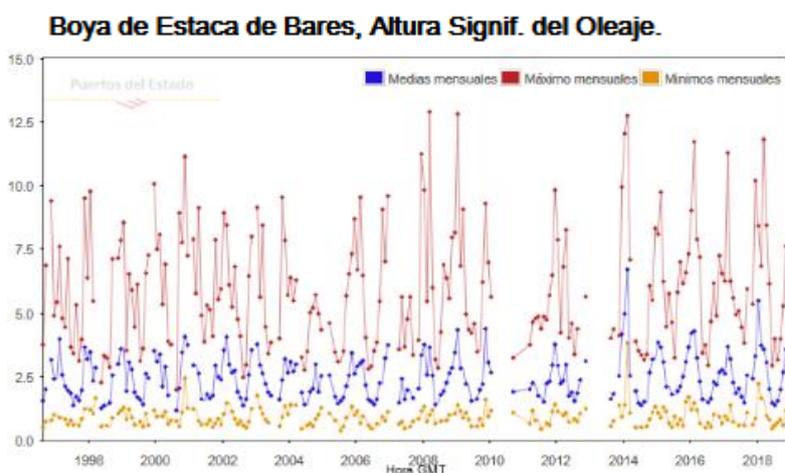


Abbildung 31: minimale, mittlere und maximale signifikante Wellenhöhen im westlichen Atlantikbereich an der „Boya de Estaca de Bares“ über den Zeitraum 1996 bis 2018 (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje)

2006) („Punto SIMAR 3028036“ südlich von Ferrol; Zeitraum: 1958 bis 2018) (OpenSeaMap, 2018). Abbildung 31 stellt exemplarisch die minimalen, mittleren und maximalen signifikante Wellenhöhen im westlichen Atlantikbereich dar. Im Bereich zwischen der Autonomiegrenze Galiciens und Asturiens bis zur französisch-spanischen Grenze nimmt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe leicht ab und liegt mit 1,9 m knapp unter zwei Metern. Die zugehörige durchschnittliche Peakperiode beträgt acht Sekunden („Boya de Cabo de Peñas“ nordwestlich von Gijón; Zeitraum: 1998 bis 2018)

(„Boya de Bilbao-Viscaya“; Zeitraum: 1990 bis 2018). Die auftretenden Wellen weisen entlang der nördlichen Atlantikküste eine Wellenlänge von etwa 75 m auf. Im küstennahen Bereich beträgt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe 1,3 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von knapp fünf Sekunden („Boya Costera de Bilbao II“; Zeitraum: 2004 bis 2018) („Punto SIMAR 3127034“ westlich von Santander; Zeitraum: 1958 bis 2018). Auch im Atlantik kann der Zusammenhang zwischen Windrichtung und Wellenrichtung anhand von Wind- und Wellenrosen nachgewiesen werden. Für den Messpunkt „Punto SIMAR 1038066“, etwa 150 vor der Küstenstadt Vigo an der Westküste sind diese exemplarisch für den gesamten Atlantikbereich dem Anhang A.12. zu entnehmen. Auffallend ist, dass im Gegensatz zum Mittelmeer, das westlich bis nordwestlich liegende offene Meer neben dem Wind einen großen Einfluss auf die am Messpunkt auftretende Wellenrichtung hat. Der Einfluss des offenen Meeres auf die Wellenrichtung kann durch den Verlauf des Kanarenstroms, als Nebenarm des Golfstroms begründet werden. Dieser verläuft aus nordwestlicher Richtung kommend als oberflächennahe warme Meeresströmung zunächst auf die Iberische Halbinsel zu und hat somit Auswirkung auf die Wellenrichtung im nordwestlichen Atlantikbereich. Anschließend kühlt er ab und fließt als Tiefenströmung Richtung Süden entlang der Westküste der Iberischen Halbinsel. Im folgenden Kapitel 3.3 wird genauer auf den Kanarenstrom eingegangen. Der Verlauf des Kanarenstroms vor der spanischen Atlantikküste kann dem Anhang A.14. entnommen werden. (Schmitt, 2013) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje) (Marti, 2004)

Die durchschnittlichen Wassertemperaturen im Atlantik sinken von Süden nach Norden kontinuierlich von 20,4 °C („Boya de Golfo de Cádiz“; Zeitraum: 1996 bis 2018) auf 15,3 °C („Boya de Estaca de Bares“; Zeitraum: 1996 bis 2018) ab (vgl. Abbildung 32). Die Wassertemperaturen an der Atlantikküste weisen wie auch im Mittelmeer (vgl. Kapitel 3.1) jahrzeitliche Schwankungen auf und variieren im Süden zwischen 24,8 °C in den Sommermonaten und 16,0 °C in den Wintermonaten („Boya de Golfo de Cádiz“; Zeitraum: 1996 bis 2018). Im Norden variieren sie zwischen 19,6 °C im Sommer und 12,4 °C im Winter („Boya de Estaca de Bares“; Zeitraum: 1996 bis 2018) („Boya de Cabo Silleiro“; Zeitraum: 1998 bis 2018). Bedingt durch die entlang der Westküste der Iberischen Halbinsel auftretende Strömung kommt es entlang der Küste zum Transport von wärmerem Wasser aus südlicheren Bereichen. Abbildung 32 stellt die im Atlantik auftretenden Wassertemperaturen dar. Wird eine Wassertemperatur von etwa 5 °C in Tiefen unterhalb von 800 m angenommen ergibt sich im Süden des Atlantiks, im Golf von Cádiz eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von etwa 15 °C und im Norden des Atlantiks eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von etwa 10 °C (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014). (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. Temperatura del agua)

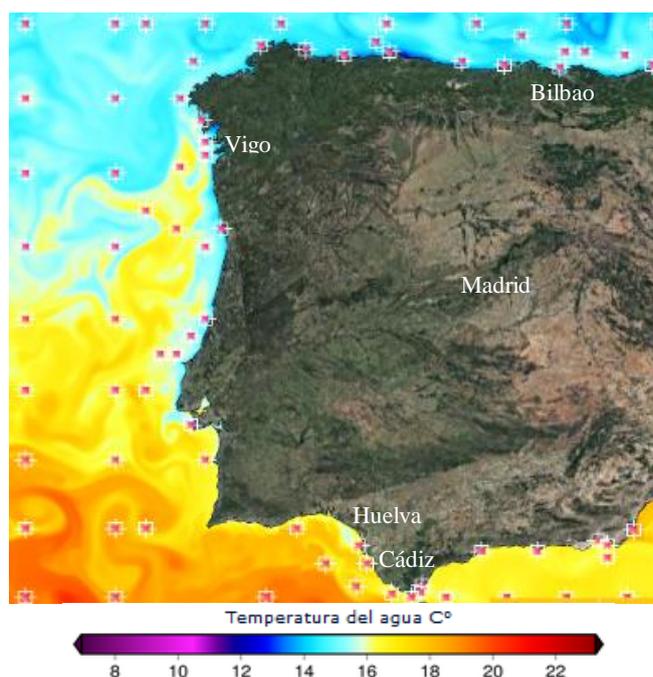


Abbildung 32: Wassertemperaturen im Atlantik vor den Küsten der Iberischen Halbinsel (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. Temperatura del agua)

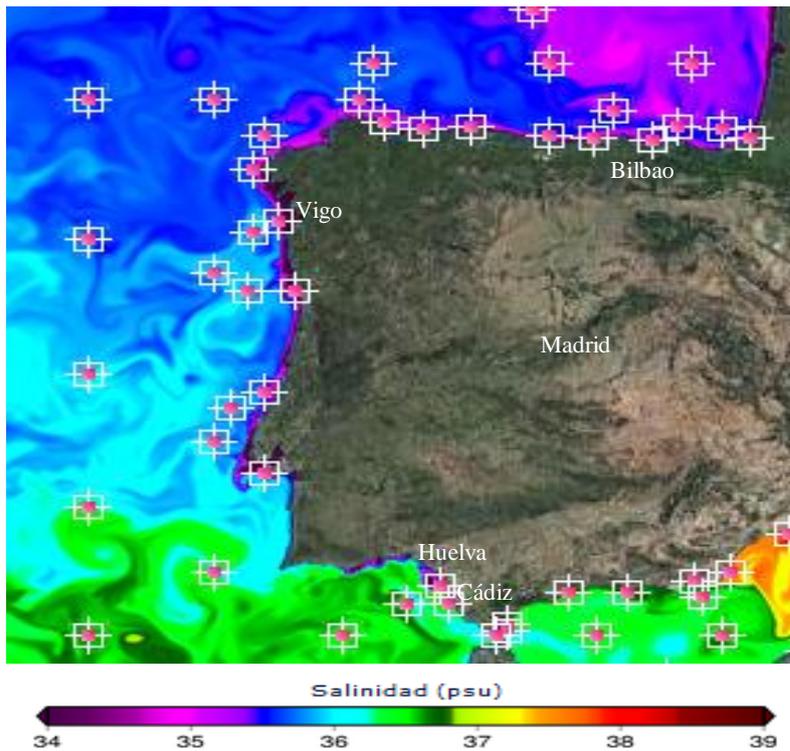


Abbildung 33: Salzgehalt vor der Atlantikküste der Iberischen Halbinsel (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

restlichen Atlantik vor der Küstenlinie mit 35,5 g/L („Boya de Cabo Silleiro“; Zeitraum: 1998 bis 2018). Dies ist besonders im nördlichen und südlichen Küstenbereich der Stadt Vigo, entlang der Küste westlich der Stadt Gijón, sowie entlang der Küste von Santander bis San Sebastián zu beobachten, wo Flüsse hauptsächlich in trichterförmigen Buchten in den Atlantik münden. Bedingt durch die, in diesem Kapitel bereits beschriebene Strömung entlang der Küste, bildet sich ein küstennaher Bereich, bzw. ein Fahne geringeren Salzgehaltes. Mit zunehmendem Abstand zur Küste steigt der Salzgehalt an. Im südlichen Bereich des Atlantiks münden lediglich die beiden größeren Flüsse Guadalquivir und Odiel, deren Auswirkung auf den Salzgehalt im Mündungsbereich im Golf von Cádiz in Abbildung 33 zwischen den Städten Huelva und Cádiz zu erkennen ist. Anzumerken ist bei beiden Flüssen, dass sie im Mündungsbereich in einem Nationalpark (Doñana) bzw. in einem nationalen Schutzgebiet verlaufen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die größten in den Atlantik mündenden Flüsse und deren Abfluss entlang der spanischen Atlantikküste. Hierbei werden nur Flüsse mit einem durchschnittlichen Abfluss von mehr als 20 m³/s gelistet (Gobierno de España, Boletín Hidrológico Semanal - Caudales, 2018) (Gobierno de España, chcantábrico, 2018) (La Anunciata Ikerketa, 2010) (Gobierno de España, Centro de estudios Hidrográficos, 2015). Der Salzgehalt der Flüsse kann mit etwa einem Gramm pro Liter angenommen werden (Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, 2016). (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

Der durchschnittliche Salzgehalt des Atlantiks liegt bei 3,5 %, was 35 g/L entspricht (Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, 2016). Entlang der Atlantikküste variiert der Salzgehalt zwischen 36,6 g/L (dunkelgrün) vor der Straße von Gibraltar („Boya de Golfo de Cádiz“; Zeitraum: 1996 bis 2018) und 34,9 g/L (lila) an der französisch-spanischen Grenze („Boya de Bilbao-Vizcaya“; Zeitraum: 1990 bis 2018). Grundsätzlich ist ein Abfallen der Salzkonzentration von Süden nach Norden zu beobachten (vgl. Abbildung 33). Bedingt durch eine Vielzahl an in den Atlantik mündenden Flüssen bildet sich entlang der spanischen, nördlichen Atlantikküste eine schmale Zone in der der Salzgehalt mit durchschnittlich 32,4 g/L („Lat 42.29° N, Lon 8.92° O“) niedriger liegt als im

Tabelle 3: durchschnittlicher Abfluss von Flüssen mit Mündung im Atlantik ($> 20 \text{ m}^3/\text{s}$)
 (Gobierno de España, Boletín Hidrológico Semanal - Caudales, 2018)
 (Gobierno de España, chcantábrico, 2018) (La Anunciata Ikerketa, 2010)
 (Gobierno de España, Centro de estudios Hidrográficos, 2015)

Fluss	Region / nächste Stadt	Abfluss [m ³ /s]
Guadalquivir	Andalusien / Sanlúcar de Barrameda (Nationalpark Doñana)	102,97
Río Navia	Asturien / Navia	62,85
Río Ulla	Galicien / Catoira	59,99
Río Nalón	Asturien / San Juan de la Arena, Flughafen von Asturien	55,18
Ría del Nervión	Baskenland / Bilbao	29,14
Oria	Baskenland / Orio	26,3
Bidasoa	Baskenland / Irun (Grenzfluss zu Frankreich)	24,7
Río Eo	Asturien / Vegadeo	20,11

3.3. Kanarische Inseln

Die Kanarischen Inseln bestehen aus den sieben Hauptinseln Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria, Tenerife, La Gomera, La Palma und El Hierro mit einer Gesamtfläche von 7.447 km² (Oceana, 2010). Die Küste weist eine Länge von 1.136 km auf (Instituto Nacional de Estadística, 1985). Die Ausschließliche Wirtschaftszone Spaniens im Umkreis der Kanarischen Inseln hat eine Fläche von 650.000 km² und sind somit größer als das gesamte spanische Festland (Ministerio de Economía y Competitividad, 2016). Die Lage der Kanarischen Inseln sowie das zugehörige spanische Hoheitsgebiet ist dem Anhang A.7. und detaillierter dem Anhang A.14. zu entnehmen. Mit insgesamt etwa 2,1 Millionen Einwohner stellen die Kanarischen Inseln lediglich 4,5 % der spanischen Bevölkerung, wobei sich die Bevölkerung hauptsächlich auf die beiden Inseln Teneriffa (900.000 Einwohner) und Gran Canaria (850.000 Einwohner) verteilt (Statista, Population of the Spanish autonomous community of the Canary Islands in 2018, by island, 2018). Zwei Seewege verlaufen zwischen den Kanarischen Inseln, einmal zwischen Gran Canaria und Teneriffa und einmal zwischen Gran Canaria und Fuerteventura hindurch und stellen eine Verbindung zwischen Europa und Mittel- bzw. Südamerika, sowie Südafrika bzw. der Umfahrung des afrikanischen Kontinentes dar (OpenSeaMap, 2018) (MarineTraffic, 2018).

Für die Inselgruppe der Kanarischen Insel besteht bis zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit kein zusammenhängendes Stromnetz. Jede Insel verfügt über ihr eigenes Stromnetz mit einer Stromspannung von 220 Volt Wechselstrom, welches von der jeweiligen Insel verwaltet und mit Strom gespeist wird. Lediglich die Stromnetze der Inseln Fuerteventura und Lanzarote, sowie Teneriffa und La Gomera, sind über Seekabel miteinander verbunden. Das Stromnetz der Kanarischen Inseln kann dem Anhang A.15. entnommen werden. Der größte Teil des Gesamtenergiebedarfs wird vom Sektor des Luft-, Land- und Seetransports (52 %) bezogen. Die elektrische Energie der Kanarischen Inseln macht 20,6 % des Gesamtenergiebedarfs aus und belief sich im Jahr 2016 auf etwa 9.213 GWh. Sie wird hauptsächlich über Erdölkraftwerke (92,4 %) bereitgestellt. Erneuerbare Energien machen lediglich 7,6 % der elektrischen Energiegewinnung aus und setzen sich hauptsächlich aus Windkraft (4,4 %) und Photovoltaik (3,0 %) zusammen (Stand 2016). 100 Prozent der im Jahr 2017 installierten erneuerbaren Energien wurden auf den Kanarischen Inseln errichtet, wodurch der Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromversorgung im Jahr 2018 auf 13 % anstieg (Fluye canarias, 2018). Langfristig wird eine hundertprozentige Strombereitstellung über erneuerbare Energiequellen bis 2050 angestrebt, welche in einer Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (im Auftrag von Greenpeace) als möglich und wirtschaftlich angesehen wird (Energy [R]evolution Szenario). Bis 2025 soll die Hälfte des Stromverbrauchs über erneuerbare Energiequellen bereitgestellt werden. Wie auch auf den Balearischen Inseln wird das Hauptaugenmerk beim Ausbau der erneuerbaren Energien auch auf den Kanarischen Inseln auf Windkraft und Photovoltaik gelegt. (Gobierno de Canarias, Anuario energético de Canarias, 2016) (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Kanarische Inseln: Strom aus erneuerbaren Energien zu 100 Prozent möglich und wirtschaftlich, 2015) (RED Eléctrica de España, Sistema eléctrico canario, 2016) (Gobierno de Canarias, PECAN 2006-2015, 2010) (Klapproth, 2011)

Bedingt durch die geographische Lage der Kanarischen Inseln im Meer mit großen Wassertiefen und auf bis zu 3000 m innerhalb von etwa 20 km steil abfallendem Meeresgrund, fallen die Gezeiten hier wesentlich schwächer aus, als an der Atlantikküste des spanischen Festlandes (OpenSeaMap, 2018). Bei den beiden westlich, am nächsten zur offenen See gelegenen Inseln La Palma und El Hierro, sowie bei La Gomera und Tenerife beträgt der durchschnittliche Tidenhub etwa 1,30 m („Mareografo de La Palma“; Zeitraum 2006 bis 2018) („Mareografo de El Hierro 2“; Zeitraum 2004 bis 2017) („Mareografo

de Gomera“; Zeitraum 2006 bis 2017) („Mareografo de Granadilla“; Zeitraum 2004 bis 2012). In östliche Richtung nimmt der durchschnittliche Tidenhub kontinuierlich zu. Auf der östlichen Seite der Insel Gran Canaria, sowie an den Westküsten der Inseln Fuerteventura und Lanzarote weist der Tidenhub einen durchschnittlichen Wert von 1,50 m auf („Mareografo de Arinaga-G. Canaria“; Zeitraum 2004 bis 2011) („Mareografo de Las Palmas 2“; Zeitraum 2004 bis 2016). An den beiden östlichen Inseln Fuerteventura („Mareografo de Fuerteventura 2“; Zeitraum 2004 bis 2017) und Lanzarote („Mareografo de Lanzarote-Arrecife“; Zeitraum 2008 bis 2017) beträgt der Tidenhub auf der Afrika zugewandten Seite mit Wassertiefen von bis zu 1000 m durchschnittlich 1,82 m. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. nivel del mar)

Das milde, mediterrane Klima verdanken die Kanarischen Inseln dem Kanarenstrom, einer kalten, im Tiefenwasser verlaufenden Meeresströmung, welche einen Nebenarm des Golfstromes bildet und aus Richtung Europa im Nordosten der Inselgruppe Richtung Äquator im Süden die Inselgruppe durchströmt. Der Kanarenstrom weist eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,2 m/s auf (CORDIS / SEOS, 2010). Im Strömungsschatten, südlich der Inseln bilden sich Verwirbelungen, welche am Meeresgrund abgelagerte Nährstoffe in oberflächennahe Gewässerschichten spülen. Diese Verwirbelungen variieren in ihrer Lage

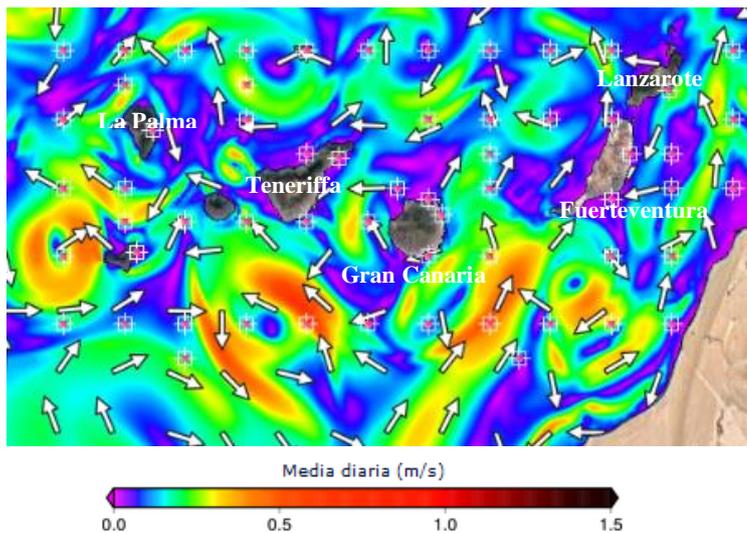


Abbildung 34: auftretende Strömungen im Umkreis der Kanarischen Inseln (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

und Intensität und können punktuell Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 0,6 m/s aufweisen („Lat 27.25° N, Lon 16.50°O“). In den Bereichen zwischen den Inseln variieren die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,1 m/s und 0,3 m/s („Lat 28.25° N, Lon 15.00°O“) („Lat 28.75° N, Lon 17.00°O“). Abbildung 34 zeigt die auftretenden Strömungen im Atlantikbereich der Kanarischen Inseln. Der schematische Verlauf des Kanarenstroms als Nebenarm des Golfstroms und im Bereich der Kanarischen Inseln kann dem Anhang A.14. entnommen werden. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

Hinsichtlich der auftretenden Wellenhöhen kann der Atlantikbereich im Umkreis der Kanarischen Inseln in einen nördlichen Teilbereich und einen südlichen Teilbereich unterteilt werden. Die Grenze der beiden Teilbereiche verläuft von der nordwestlichsten Insel La Palma über Teneriffa, Gran Canaria und Fuerteventura Richtung Westen. Der Bereich südwestlich der Inseln Fuerteventura und Lanzarote kann ebenfalls dem südlichen Teilbereich zugeordnet werden. Allerdings stellt diese fiktive Grenze keinen Sprung zwischen den beiden auftretenden Wellenhöhen dar, sondern einen fließenden Übergang. Der nördliche Teilbereich weist eine durchschnittliche signifikante Wellenhöhe von 1,85 m auf mit einer durchschnittlichen Peakperiode von 7,5 s („Punto SIMAR 4008020“ nördlich von La Palma; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 1018013“ nördlich von Gran Canaria; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4052018“ nordwestlich von Fuerteventura; Zeitraum: 1958 bis 2018). Die Wellenlänge nördlich der Kanarischen Inseln beträgt maximal 75 m (Marti, 2004). Im küstennahen Bereich nördlich der Inseln

Punto SIMAR (4046018) , Altura Signif. del Oleaje.

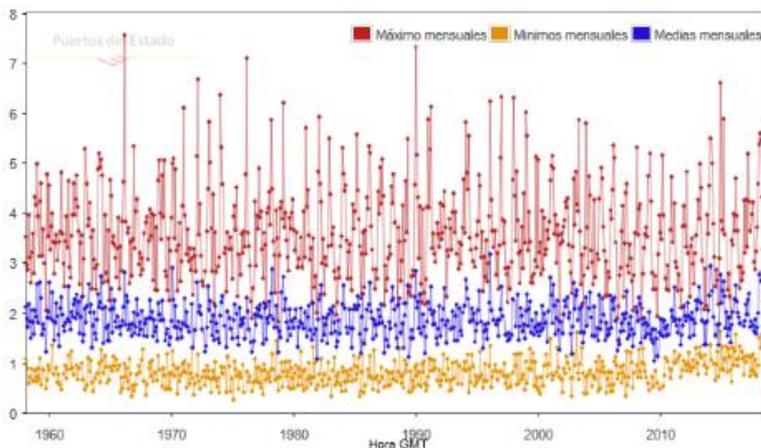


Abbildung 35: minimale, mittlere und maximale signifikante Wellenhöhen im nördlichen Atlantikbereich der Kanarischen Inseln am Messpunkt „Punto SIMAR 4046018“ über den Zeitraum 1958 bis 2018 (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje)

La Gomera; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4020004“ südlich von Teneriffa; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4062016“ westlich von Fuerteventura; Zeitraum: 1958 bis 2018). Die auftretenden Wellen weisen eine Wellenlänge von etwa 50 m auf (Marti, 2004). Im küstennahen Bereich nimmt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe auf 0,6 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von vier Sekunden ab („Punto SIMAR 4005005“ Südküste von El Hierro; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 413053033“ Südküste von Teneriffa; Zeitraum: 2012 bis 2018) („Punto SIMAR 4052011“ Westküste von Fuerteventura; Zeitraum: 1958 bis 2018). Der Zusammenhang zwischen Windrichtung und Wellenrichtung kann anhand von Wind- und Wellenrosen auch im Umkreis der Kanarischen Inseln nachgewiesen werden. Dem Anhang A.12. können diese für den Messpunkt „Punto SIMAR 4040020“ nördlich von Gran Canaria entnommen werden. Bei den im Raum der Kanarischen Inseln auftretenden Winden handelt es sich um den Passatwind (Nordost-Passat) der Nordhalbkugel, welcher mit einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von sechs Metern pro Sekunde aus nördlicher, bis nordöstlicher Richtung weht („Punto SIMAR 4008022“ nördlich von La Palma; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4056026“ nordwestlich von Lanzarote; Zeitraum: 1958 bis 2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. viento). Die Windrichtung stimmt neben der vorherrschenden Wellenrichtung ebenfalls mit der Strömungsrichtung des Kanarenstroms überein (vgl. Anhang A.14.). Grund für die wesentlich niedrigeren Wellen auf der südlichen bzw. westlichen Seite der Kanarischen Inseln ist der Schutz dieses Atlantikbereichs durch die Inseln vor den auftretenden Winden und der Strömung des Kanarenstroms. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje)

Bedingt durch die südliche Lage der Kanarischen Inseln auf der nördlichen Halbkugel weist der Atlantik in diesem Bereich ganzjährig annähernd konstante Wassertemperaturen auf. Im Durchschnitt liegen diese bei 22,2 °C und variieren im Jahr zwischen 19,0 °C und 25,5 °C („Boya de Tenerife Sur“; Zeitraum: 1998 bis 2018) („Boya de Gran Canaria“; Zeitraum: 1997 bis 2018). Wie bereits im Atlantikbereich um die Iberische Halbinsel, ist auch bei den Kanarischen Inseln eine Abnahme der Wassertemperatur von Süden nach Norden zu erkennen, allerdings fällt sie hier wesentlich geringer aus, als in der zum spanischen Festland anschließenden Ausschließlichen Wirtschaftszone im Atlantik. In den Wassertiefen unterhalb von 100 m, welche im Umkreis der Kanarischen Inseln, bedingt durch einen steil

liegt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe bei 1,2 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von 4,8 s („Punto SIMAR 4008019“ Nordküste von La Palma; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4028016“ Nordküste von Teneriffa; Zeitraum: 1958 bis 2018) („Punto SIMAR 4052014“ Westküste von Fuerteventura; Zeitraum: 1958 bis 2018). Im Teilbereich südlich der Kanarischen Inseln und südwestlich der Inseln Lanzarote und Fuerteventura liegt die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe bei 1,3 m mit einer durchschnittlichen Peakperiode von fünf Sekunden („Punto SIMAR 4016004“ südwestlich von

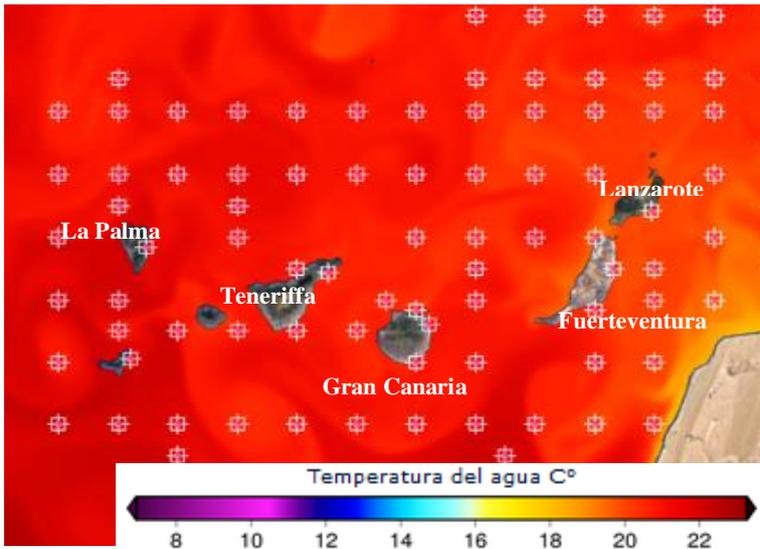


Abbildung 36: Wassertemperaturen im Umkreis der Kanarischen Inseln (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. Temperatura del agua)

Der Salzgehalt im Bereich der Kanarischen Inseln liegt mit 36,9 g/L im Westen der Inseln und dem Abfallen auf 36,5 g/L im Osten bzw. Nordosten über dem durchschnittlichen Salzgehalt des Atlantiks. Im Bereich zwischen den Inseln kommt es zur Durchmischung der beiden durchschnittlichen Salzgehalte im Westen und Nordosten, wodurch er in diesem Bereich durchschnittlich bei 37,7 g/L liegt („Boya de Gran Canaria“; Zeitraum: 1997 bis 2018) („Boya de Tenerife Sur“; Zeitraum: 1998 bis 2018). Auf den Kanarischen Inseln gibt es bedingt durch die relativ geringen Flächen der Inseln keine größeren Flüsse. Abbildung 37 zeigt den Salzgehalt im Umkreis der Kanarischen Inseln. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

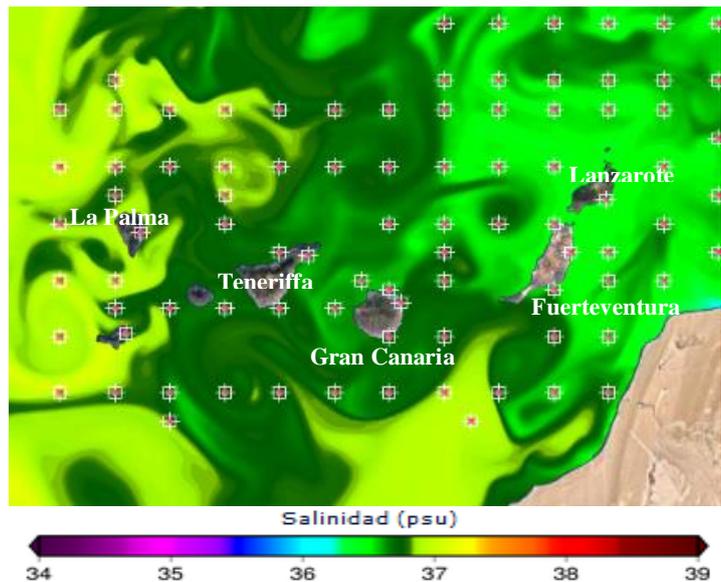


Abbildung 37: Salzgehalt im Atlantik im Umkreis der Kanarischen Inseln (Aufnahme vom 01.12.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

abfallenden Meeresgrund, meist innerhalb von etwa einem bis drei Kilometern vor der Küste aufzufinden sind, beträgt die Wassertemperatur unter 10 °C (Gobierno de Canarias, Nuestro Mar Canario, 2006, S. 17). In einer Wassertiefe ab etwa 800 m liegt die Wassertemperatur bei etwa 5 °C (Kempener (IRENA) & Neumann (IMIEU), 2014). Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von etwa 17 °C, welche in den Sommermonaten bei etwa 20 °C und den Wintermonaten bei etwa 14 °C liegt. (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. Temperatura del agua)

4. Rechtliche Grundlagen und Förderungen

Das folgende Kapitel gibt eine Übersicht über die rechtlichen Grundlagen bezüglich der Nutzung der Meere zur Energiegewinnung aus den unterschiedlichen Nutzungsarten der Meeresenergie. Des Weiteren wird auf Fördermaßnahmen für erneuerbare Energien der Europäischen Union und des Landes Spaniens eingegangen.

Im Jahr 1982 wurde das heute geltende Seerechtsübereinkommen (SRÜ, bzw. UNCLOS, United Nations Convention on the Law of the Sea) der Vereinten Nationen unterzeichnet und trat 1994 als Ergänzung des Übereinkommens zur Durchführung der Regelungen zum Meeresbergbau aus demselben Jahr in Kraft. Das Seerechtsübereinkommen regelt die Abgrenzung verschiedener Meereszonen, sowie deren Nutzung und bildet somit die Rechtsgrundlage für die Abgrenzung von Territorialgebieten, Ressourcennutzung und den Umweltschutz in den Meeren (SRÜ, 1982). Unterzeichnet wurde das Seerechtsübereinkommen von 167 Staaten, wobei die Vereinigten Staaten von Amerika als einziger der großen Industriestaaten nicht unterschrieben. Jedoch gelten die im Seerechtsübereinkommen festgelegten Bestimmungen auch für die Vereinten Staaten von Amerika als Völkergewohnheitsrecht. Beim Völkergewohnheitsrecht handelt es sich um eine Form ungeschriebenen Völkerrechts, welches durch eine übereinstimmende gemeinsame Rechtsüberzeugung entsteht und nach Art. 38 Abs. 1 des Statuts des Internationalen Gerichtshofes eine Rechtsquelle des Völkerrechts darstellt (Giegerich, 2017) (Bleckmann, 1977). Verstöße gegen das Völkergewohnheitsrecht können am Internationalen Gerichtshof in Den Haag (Niederlande) eingeklagt werden. Mit dem Inkrafttreten des Seerechtsübereinkommens wurden die Institutionen Festlandssockelgrenzkommission (FSGK, Commission on the Limits of the Continental Shelf, CLCS), Internationale Meeresbodenbehörde (IMB, International Seabed Authority, ISA) und der Internationale Seegerichtshof (ISGH, International Tribunal for the Law of the Sea, ITLOS) ins Leben gerufen. Während die Aufgabe des FSGK die Festlegung der Festlandssockelgrenzen ist, überwacht und organisiert das IMB die Ressourcennutzung jenseits der 350 Seemeilengrenze (vgl. Abbildung 38). Der ISGH stellt eine unabhängige juristische Institution mit Sitz in Hamburg dar, welche gerichtlich über Konflikte und Unklarheiten des Seerechtsübereinkommens entscheidet. (UBA, 2014)

Die Zonierung des Meeres gemäß des Seerechtsübereinkommens in verschiedene Rechtszonen orientiert sich an der Basislinie des jeweiligen Küstenstaates. Die Basislinie eines Staates wird vom jeweiligen Küstenstaat festgelegt und orientiert sich an der Niedrigwasserlinie entlang der Küste (normale Basislinie gemäß Art. 5 SRÜ). Weist eine Küste tief ins Landesinnere einschneidende Buchten und Flussmündungen auf, oder besitzt vorgelagerte Inselketten, wird die Basislinie nach der Methode der geraden Basislinie gemäß Art. 7 SRÜ ermittelt. Hierbei werden Punkte der normalen Basislinie geradlinig miteinander verbunden, wobei nach Art. 7 Abs. 3 SRÜ ihr Verlauf nicht erheblich von der allgemeinen Richtung der Küste abweichen darf. Die Küstenlinie hingegen stellt die Grenze zwischen Land bzw. Festland und Meer dar und ist an der mittleren Hochwassergrenze orientiert. Der Bereich zwischen Basislinie und Küstenlinie, also landwärts der Basislinie, wird gemäß Art. 8 SRÜ als Innere Gewässer bezeichnet und zählen somit zum Staatsgebiet des jeweiligen Staates. Seewärts der Basislinie schließt sich das Küstenmeer an. Hierbei handelt es sich gemäß Art. 3 SRÜ um einen zwölf Seemeilen breiten Meeresstreifen (12 Seemeilen = 22,224 km), in dem, einschließlich des zugehörigen Luftraumes, der jeweilige Küstenstaat gemäß Art. 2 SRÜ volle Souveränität besitzt. Dieser Meeresstreifen wird auch als Hoheitsgewässer oder Territorialgewässer eines Staates bezeichnet. Seine seewärtige Grenze (Art. 4 SRÜ) stellt die Seezollgrenze des jeweiligen Küstenstaates dar. An das Küstenmeer schließt sich ein

weiterer zwölf Seemeilen breiter Meeresstreifen an, welcher gemäß Art. 33 SRÜ als Anschlusszone benannt ist. Diese darf sich nicht weiter als 24 Seemeilen über die Basislinie hinaus erstrecken (Art. 33 Abs. 2 SRÜ) und dient der Durchführung der erforderlichen Kontrollen zur Verhinderung und Ahndung von Verstößen gegen Gesetze und Vorschriften innerhalb des Hoheitsgebietes und gegen seine Zoll- und Finanzgrenzen, sowie gegen Einreise- und Gesundheitsgesetze (Art. 33 Abs. 1 SRÜ). (SRÜ, 1982) (UBA, 2014)

Die Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) bezeichnet gemäß Art. 55 SRÜ das Meeresgebiet seewärts des Küstenmeeres. Im englischen ist sie unter der Bezeichnung Exclusive Economic Zone (EEZ) und im spanischen unter *Zona económica exclusiva* (ZEE) bekannt. Küstenmeer und Ausschließliche Wirtschaftszone dürfen zusammen, bezogen auf die Basislinie, 200 Seemeilen (370,4 km) nicht überschreiten. Innerhalb dieser Zone sind dem Küstenstaat gemäß Art. 56 SRÜ souveräne Rechte zur Erforschung und Ausbeutung, Erhaltung und Bewirtschaftung der lebenden und nichtlebenden Ressourcen, sowie zur Tätigkeiten der Energieerzeugung aus Wasser, Strömung und Wind vorbehalten. Im Rahmen seiner souveränen Rechte innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone ist der Küstenstaat im Fall der Nutzung des Meeresgebietes, beispielsweise zur Errichtung einer Offshore-Windkraftanlage, zum Naturschutz und der Bewahrung der Meeresumwelt verpflichtet. Für alle anderen Staaten gelten innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone eines fremden Landes gemäß Art. 58 und Art. 87 SRÜ die Freiheiten der Hohen See. Auf diese wird im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit eingegangen. (SRÜ, 1982) (UBA, 2014)

Der Festlandssockel eines Küstenstaates stellt gemäß Art. 76 SRÜ den Meeresbereich seewärts des Küstenmeeres dar, dessen Meeresuntergrund eine Verlängerung des Landesgebietes bis zur äußeren Kante des Festlandrandes oder bis zu einer Entfernung von 200 Seemeilen (370,4 km) bezogen auf die Basislinie darstellt. Letzteres kommt dann zum Tragen, wenn die äußere Kante des Festlandrandes eine geringere Entfernung als 200 Seemeilen aufweist. Gemäß Art. 77 SRÜ besitzt der jeweilige Küstenstaat souveräne Rechte zur Erforschung und Ausbeutung der natürlichen Ressourcen im Meeresgebiet des Festlandssockels. Andere Staaten dürfen ohne die Zustimmung des Küstenstaates den Festlandssockel weder erforschen noch ausbeuten. Jedoch wird ihnen das Recht zum Verlegen unterseeischer Kabel und Rohrleitungen nach Art. 79 SRÜ zugesprochen. Kann ein Küstenstaat beweisen, dass die geologische Struktur des Festlandssockels eine Erweiterung seiner Landmasse darstellt, ist eine Erweiterung gemäß Art. 76 SRÜ auf bis zu 350 Seemeilen (648,2 km) bezogen auf die Basislinie des Küstenstaates möglich. (SRÜ, 1982) (UBA, 2014)

Grenzen nicht die Ausschließlichen Wirtschaftszonen oder Küstenmeere zweier Küstenstaaten aneinander, schließt an den Festlandssockel bzw. die Ausschließliche Wirtschaftszone die Hohe See an. Gemäß Art. 86 SRÜ umfasst diese alle Teile des Meeres, welche nicht zur Ausschließlichen Wirtschaftszone, dem Küstenmeer oder den inneren Gewässern eines Küstenstaates gehören. Für die Meeresgebiete der Hohen See steht gemäß Art. 89 SRÜ keinem Staat der Anspruch der Souveränität zu. (SRÜ, 1982)

In Abbildung 38 sind die beschriebenen Zonen eines Meeresgebietes gemäß Seerechtsübereinkommen schematisch dargestellt. Die Lage der Ausschließlichen Wirtschaftszone Spaniens, wie auch die der verschiedenen Europäischen Küstenstaaten ist dem Anhang A.7. zu entnehmen.

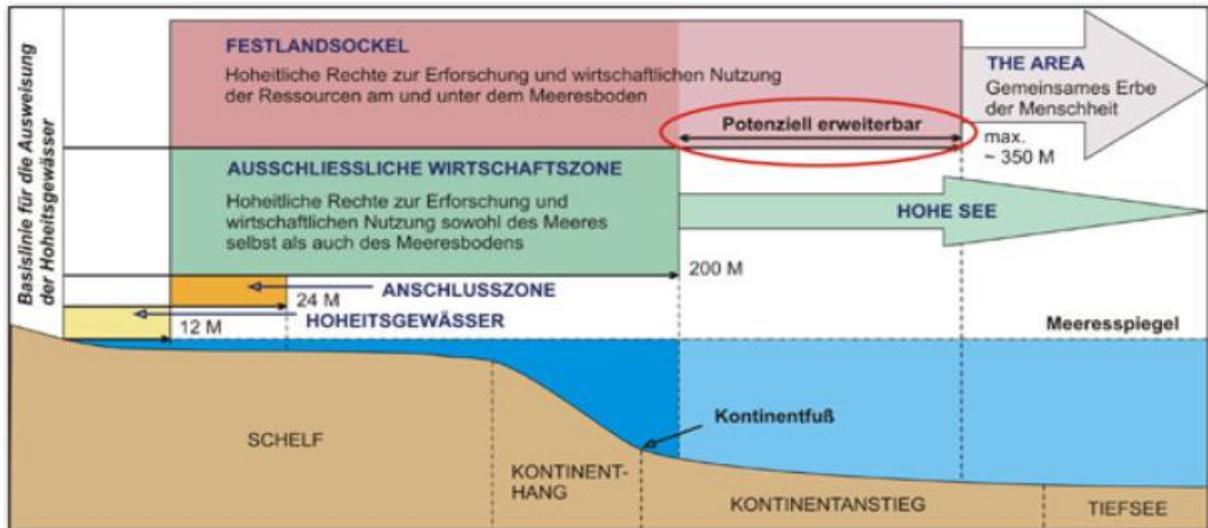


Abbildung 38: schematische Darstellung der Meereszonierung gemäß Seerechtsübereinkommen (BGR, 2009)

Auf spanischem Staatsgebiet sind die Bestimmung, der Schutz, die Nutzung sowie die Behördenzuständigkeit in Bezug auf die Küsten des Staates im spanischen Küstenschutzgesetz (Ley 22/1988, auch bekannt als Ley de Costas) geregelt (vgl. Art. 1 Ley 22/1988). Erlassen wurde das Gesetz im Jahr 1988 zur Verhinderung einer unkontrollierten Bebauung des Küstenstreifens. Gemäß Art. 3 Ley 22/1988 wird der Küstenbereich in drei Zonen unterteilt. Die erste Schutzzone wird „zona marítima terrestre“ genannt und umschließt das Meeresufer. Sie stellt den Bereich im Küstenstreifen von der Küstenlinie bis zu dem Ort, der von den größten, bei Sturm auftretenden Wellen erreicht wird dar (etwa 20 m). In dieser Zone befindlicher Privatbesitz von Häusern oder Grundstücken wurde enteignet und den Besitzern ein Nutzungsrecht von 60 Jahren eingeräumt. Die allgemeine Nutzung des Meeresufers ist nur mit behördlicher Erlaubnis und für einen begrenzten Zeitraum zulässig. Im Jahr 2013 wurde das spanische Küstenschutzgesetz, und damit das Verfahren zur Enteignung, auf Drängen der Europäischen Union geändert bzw. durch die Ley 2/2013 modifiziert und sieht seitdem Entschädigungszahlungen für die bereits enteigneten Grundstückseigentümer vor. Die zweite Schutzzone schließt an die vorherige auf der landwärtigen Seite an und erstreckt sich gemäß Art. 23 Ley 22/1988 über eine Breite von maximal 200 m und 20 m im städtischen Bereich. In dieser Schutzzone ist eine Bebauung unzulässig, allerdings genießen Gebäude, welche vor Inkrafttreten des Gesetzes bereits errichtet waren Bestandsschutz. Im Rahmen der Gesetzesänderung bzw. -modifizierung im Jahr 2013 erstreckt sich diese Zone ortsübergreifend auf 20 m. Für die ersten sechs Meter der zweiten Schutzzone wird der Öffentlichkeit gemäß Art. 27 Ley 22/1988 ein Wegerecht zur Sicherstellung der Zugänglichkeit des Meeresufers eingeräumt. Die dritte Schutzzone wird „zona de influencia“, Einflussnamezone genannt und erstreckt sich gemäß Art. 30 Ley 22/1988 über eine Breite von 500 m im Anschluss an die zweite Schutzzone. Bauen ist in dieser Schutzzone mit Beschränkungen zulässig. Hauptsächlich betroffen durch das spanische Küstenschutzgesetz sind private Grund- und Hausbesitzer. Allerdings sollte es auch bei der Planung und dem Bau von Anlagen für die Meeresenergiegewinnung und deren Anschluss an das Stromnetz berücksichtigt und geprüft werden. (Ley de Costas, 1988) (Ley 2/2013, 2013) (Martinez Salinas, 2012)

Weiter sollte im Rahmen der Planung und des Baus von Anlagen der Meeresenergiegewinnung das spanische Baurecht („Ley de Ordenación Urbanística“), sowie die autonomienübergreifende Bauordnung des spanischen Staates („Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación“) berücksichtigt werden. Das Baurecht ist, wie in Deutschland länderspezifisch, bzw. autonomienspezifisch geregelt. In Galicien

nennt es sich beispielsweise „Ley 9/2002 de Ordenación Urbanística y protección del medio rural de Galicia“ und „Ley 2/2016 del suelo de Galicia“, in Andalusien „Ley 7/2002 de Ordenación Urbanística de Andalucía“. (Ley 38/1999, 1999) (Ley 9/2002, 2002) (Ley 2/2016, 2016) (Ley 7/2002, 2002)

Innerhalb der Europäischen Union besteht mit der Natura 2000 seit 1992 ein europaweit zusammenhängendes Netz von Schutzgebieten, welche den Schutz gefährdeter wildlebender heimischer Pflanzen- und Tierarten und deren natürlichen Lebensräume zum Ziel hat. Die Natura 2000 Schutzgebiete beruhen auf der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) der Europäischen Union (Richtlinie 92/43/EWG). Gebiete von gemeinschaftlichem Interesse im Sinn des Naturschutzes werden im Spanischen mit LIC (Lugares de Interés Comunitarios) abgekürzt. Erfüllen diese die Anforderungen der FFH-Richtlinie, gehen sie in Schutzgebiete gemäß Natura 2000 über, welche im Spanischen als „Zonas Especiales de Conservación“ (ZEC) bezeichnet werden. Zusätzlich werden die gemäß der europäischen Vogelschutzrichtlinie (Richtlinie 79/409/EWG) ausgewiesenen Schutzgebiete (spanisch: ZEPA) in das Natura 2000 Netz integriert. Europaweit stellte das Natura 2000 -Netz im Jahr 2016 mit über 27.000 Schutzgebieten und etwa 20 % der EU-Fläche das weltweit größte grenzübergreifende Netz von Schutzgebieten dar. Im Jahr 2016 besaß Spanien 1.863 ausgewiesene Natura 2000 Schutzgebiete, welche etwa 27 % der spanischen Landfläche und neun Prozent der spanischen Meeresfläche in Anspruch nehmen und ist damit europaweit führend. Die spanischen Natura 2000 Schutzgebiete können dem Anhang A.4. entnommen werden. Die Nutzung der Natura 2000 Schutzgebiete ist für die Nutzung durch den Menschen nicht ausgeschlossen. Ein Bewirtschaften dieser Schutzgebiete ist möglich und teilweise, wie im Fall der norddeutschen Heidelandschaft, sogar erwünscht, sofern dies den betreffende Lebensräume und ihre Arten nicht beeinträchtigt. Zur Abwägung einer menschlichen Nutzung der Schutzgebiete stellt Art. 6 der FFH-Richtlinie das Instrument der FFH-Verträglichkeitsprüfung zur Verfügung. Wird hier eine Verträglichkeit des geplanten Vorhabens bzw. der geplanten Nutzung nachgewiesen, darf dies innerhalb des Schutzgebietes aus- bzw. durchgeführt werden. Soll eine Tätigkeit trotz Auswirkungen auf die im Schutzgebiet ansässige Flora und Fauna durchgeführt werden, müssen Schadensbegrenzungsmaßnahmen ergriffen werden. Sind trotz Schadensbegrenzungsmaßnahmen erhebliche Beeinträchtigungen der Natura 2000 Ziele zu erwarten, ist die geplante Tätigkeit unzulässig, es sei denn es gibt keine geeigneten Alternativen und ein öffentliches Interesse, welches höherwertig erscheint als der Schutz gemäß Natura 2000. Jeder Mitgliedsstaat ist gemäß Art. 17 der FFH-Richtlinie dazu verpflichtet, im Abstand von sechs Jahren der Europäischen Kommission einen nationalen Bericht zum Stand der Umsetzung in der Ausschließlichen Wirtschaftszone des jeweiligen Staates vorzulegen. (92/43/EWG, 1992) (79/409/EWG, 1979) (BMU, 2016) (Gobierno de España, Los espacios protegidos Natura 2000 en España, 2017) (WWF, 2016) (agrodigital.com, 2017)

Auf nationaler Ebene wird zwischen Nationalparks (Parques Nacionales) Naturparks (Parques Naturales) und Regionalparks (Parques Regionales) unterschieden. Diese sind in die Schutzgebiete der Natura 2000 integriert, jedoch separat im spanischen Recht verankert und dementsprechend ebenfalls hinsichtlich der spanischen Rechtsprechung zu betrachten. Der Nationalpark stellt das Schutzgebiet mit der höchsten Kategorie der Schutzbedürftigkeit dar. Sein gesetzlicher Rahmen liegt im Gesetz des Nationalparkverbundes („Ley 5/2007 de la Red de Parques Nacionales“) und dem Nationalparkgesetz („Ley 30/2014 de Parques Nacionales“). Nach Art. 4 Ley 30/2014 de Parques Nacionales stellt ein Nationalpark einen Naturraum von hohem natürlichen und kulturellen Wert dar, welcher durch menschliche Aktivitäten kaum verändert werden darf. Aufgrund seines außergewöhnlichen Wertes, seines repräsentativen Charakters und der einzigartigen Flora, Fauna und geomorphologischen Formationen ist das Schutzgebiet eines Nationalparks von allgemeinem Interesse der Nation und repräsentativ für das spanische Naturerbe. Ein Naturpark stellt ein Schutzgebiet dar, welches einen Naturraum mit besonders biologisch oder landschaftlich schützenswerten Merkmalen umfasst. Ziel ist es die Flora und Fauna des

unter Schutz gestellten Gebietes zu erhalten. Mit Regionalparks werden Naturräume mit erhöhtem natürlichem und touristischem Wert auf regionaler Ebene ausgeschrieben. (Ley 5/2007, 2007) (Ley 30/2014, 2014) (García Tamayo, 2017)

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, Richtlinie 2000/60/EG) stellt den rechtlichen Rahmen der europäischen Wasser-Politik dar und soll eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung gewährleisten. Für Oberflächengewässer, wie beispielsweise Flüsse, soll gemäß Art. 2 Abs. 18 EU-WRRL ein guter ökologischer und chemischer Zustand erreicht werden. Hierbei beinhaltet der ökologisch gute Zustand neben der Zusammensetzung und der Qualität der Lebensgemeinschaft im Wasser auch physikalisch-chemische Komponenten wie Temperatur, Salzgehalt, etc. und hydromorphologische Eigenschaften wie Strömungen und Wasservolumen. Ähnlich wie im deutschen Wasserhaushaltsgesetz (vgl. Art. 33 WHG) wird auch in der spanischen Gesetzgebung in Art. 3 Real Decreto 907/2007 Reglamento de la Planificación Hidrológica (Verordnung) eine Mindestwasserführung, bzw. ein Mindestabfluss zur Gewährleistung des Bestandes der Ökosysteme und seiner Bewohner vorgeschrieben (WHG, 2009) (Real Decreto 907/2007, 2007). Im Jahr 2016 wurde diese Verordnung durch das Real Decreto 638/2016 Reglamento del Dominio Público Hidráulico modifiziert, welches in Art. 49 auf den zu gewährleistenden Mindestabfluss von Oberflächengewässern eingeht (Real Decreto 638/2016, 2016). Zum ersten Mal wurde der Mindestabfluss in der spanischen Gesetzgebung im Jahr 2001 in Art. 26 Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional definiert und besteht bis zum heutigen Zeitpunkt (Ley 10/2001, 2001). Zur Bestimmung des benötigten Mindestabflusses bedarf es einer ökologischen Studie des jeweiligen Flusses. Da diese nicht im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit durchgeführt wurde, wird das Potenzial in Kapitel 5 hinsichtlich einer osmotischen Nutzung für den Gesamtabfluss, sowie 50 % und 20 % des Gesamtabflusses angegeben. Besonders bei der Planung von Osmose-Kraftwerken, welche das Flusswasser, bzw. den Abfluss zur Energiegewinnung verwenden sind diese rechtlichen Vorgaben zu berücksichtigen. (BMU, Die Wasserrahmenrichtlinie, 2010) (Richtlinie 2000/60EG, 2000)

Neben den beschriebenen Schutzgebieten stellen Schifffahrtswege einen weiteren limitierenden Faktor für die Planung und Umsetzung von Meeresenergieprojekten dar. Die rechtliche Lage der Schifffahrt, bzw. der Schifffahrtswege ist von internationalen Regelungen, wie dem Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen aus dem Jahr 1982 vorgegeben. Gemäß Art. 58 SRÜ und Art. 87 SRÜ ist die Freiheit der Schifffahrt sowohl auf Hoher See als auch in den Ausschließlichen Wirtschaftszonen von Küstenstaaten garantiert. Zusätzlich sind die Schifffahrtswege gemäß Art. 60 Abs. 7 SRÜ von künstlichen Inseln, Anlagen, Bauwerken inklusive ihrer Sicherheitszonen freizuhalten. Die Wichtigkeit der internationalen Schifffahrtswege, spiegelt sich ebenfalls in der in der Richtlinie 2014/89/EU zur maritimen Raumplanung der Europäischen Union wieder. Diese schreibt allen EU-Ländern vor, für ihre jeweiligen Meeresbereiche bzw. Ausschließliche Wirtschaftszone Raumplanungen durchzuführen. Hierbei setzt die Gebietsfestlegung der Schifffahrt den völkerrechtlichen Grundsatz des Vorrangs der Schifffahrt vor anderen Nutzungen. Somit bilden die Hauptschifffahrtsrouten bzw. Hauptschifffahrtswege das Grundgerüst der maritimen Raumplanung. Des Weiteren sind grenzüberschreitende Abstimmungen zur Sicherstellung der Kompatibilität der Raumordnungspläne der einzelnen Nachbarstaaten verpflichtend. (ARL, 2013, S. 66 f.) (SRÜ, 1982) (BGBl., 2009) (BMI, 2018) (2014/89/EU, 2014)

Mit dem Plan Español de Energías Renovables (PER) 2011-2020 stellte die spanische Regierung die Fortsetzung des PER 2005-2010 zur Entwicklung und dem weiteren Ausbau von Erneuerbaren Energien im aktuellen Zeitfenster bereit und kommt somit der europäischen Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen nach. Diese sieht vor, den Anteil der Erneuerbaren Energiequellen am Bruttoendverbrauch der Europäischen Union auf 20 % zu steigern, sowie den Anteil

der Erneuerbaren Energiequellen im Energieverbrauch des Verkehrssektors auf mindestens zehn Prozent bis zum Jahr 2020 auszubauen. Basierend auf der europäischen Richtlinie ist jeder EU-Mitgliedsstaat weiter aufgefordert, einen Nationalen Aktionsplan für erneuerbare Energien (Plan de acción nacional de energías renovables - PANER) zu entwickeln, welcher bestehende und geplante Maßnahmen, Instrumente und politische Maßnahmen zur Unterstützung des Ausbaus erneuerbarer Energien aufzeigt (BMWi, EU-Richtlinie für erneuerbare Energien, 2012). Unter Berücksichtigung des EU-Gesamtziels liegt der Anteil Deutschlands bei einem verbindlichen Ziel von 18 %, in Spanien bei 20 % (BMWi, Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie, 2014). Neben Programmen zur Förderung von Projekten zur Senkung des CO₂- Ausstoßes, sowie verschiedenen Förderprogrammen für Projekte energetischer Sanierung und Verbesserungen der Energieeffizienz sieht die spanische Regierung drei Programme zur Förderung erneuerbarer Energien vor. Hierbei handelt es sich um die Förderprogramme BIOMCASA II (Biomasse), SOLCASA (Solarthermie) und GEOTCASA (Geothermie), welche Finanzierungsprogramme für größere gewerbliche Anlagen darstellen und eine Finanzierung von bis zu 80 % der Investitionssumme vorsehen (Antragssumme zwischen 350.000 und 3 Mio. € pro Anlage) (AHK, 2018). Explizite Fördermaßnahmen hinsichtlich des Ausbaus der Energiegewinnung aus Meeresenergie werden nicht genannt. (2009/28/EG, 2009) (Gobierno de España, Plan de energías renovables 2011-2020, 2011) (Gobierno de España, Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011-2020, 2010)

Meeresenergieprojekte, hauptsächlich Wellen- und Gezeitenkraftwerke, werden von der Europäischen Union über das 2003 gegründete European Marine Energy Centre LTD (EMEC) gefördert. Das auf den Orkney-Inseln in Großbritannien ansässige Zentrum ermöglicht das Testen und Auswerten von Prototypen. Im aktuellen Zeitraum läuft über die EMEC ein Programm mit einer Laufzeit von 2016 bis 2019 zur Förderung von Offshore-Technologien für Erneuerbare Energien. Das FORESEA (Funding Ocean Renewable Energy through Strategic European Action) stellt ein Förderprogramm mit einem Budget von 10,75 Millionen Euro (6,45 Mio. € aus EU-Fördermitteln) im Rahmen des ebenfalls von der Europäischen Union geförderten Interreg North-West Europe Programms dar (EMEC, FORESEA, 2016). Bedingt durch die relativ kurzen Laufzeiten der Fördermaßnahmen wird auf diese im Weiteren nicht weiter eingegangen. Allerdings sollten bei der konkreten Planung zur Umsetzung eines Kraftwerks im Bereich der Meeresenergie die zum Zeitpunkt der Umsetzung laufenden Förderprogramme der Europäischen Union oder auch des jeweiligen Staates hinsichtlich einer möglichen Inanspruchnahme überprüft werden. (EMEC, International Projects, 2018)

5. Potenzialanalyse

Im folgenden Kapitel der vorliegenden Masterarbeit wird das ermittelte Potenzial hinsichtlich Meeresenergie an den, in Kapitel 3 beschriebenen Küsten Spaniens, sowie das Vorgehen zur Ermittlung dargelegt. Für die drei Bereiche der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone „Mittelmeerküste und Balearische Inseln“, „Atlantikküste“ und „Kanarische Inseln“ wird die Potenzialanalyse durchgeführt und die Ergebnisse bezogen auf eine Flächen- bzw. Volumeneinheit dargelegt. Die durchgeführten Berechnungen sind dem Anhang A.16. bis A.18. zu entnehmen. Zur besseren Übersicht werden in Anhang A.19. die ermittelten Potenziale der fünf Nutzungsarten der Meeresenergie anhand von Karten veranschaulicht. Im den folgenden Kapiteln werden die Lage der im Text dargelegten Potenziale anhand von Detailkarten aufgeführt. Die Berechnungen wurden gemäß den angegebenen Gleichungen durchgeführt und sind dem Anhang A.16. zu entnehmen. Hierfür wurden die in Kapitel 3.1 beschriebenen Gegebenheiten in die Berechnungen einbezogen.

5.1. Mittelmeerküste und Balearische Inseln

Zunächst wird das aus den Gezeiten resultierende Potenzial im Bereich der Mittelmeerküste und der Balearischen Inseln ermittelt. Hierfür wird der auftretende Tidenhub der einzelnen Teilbereiche genutzt. Die aus den Gezeiten resultierenden Strömungen werden im Rahmen der Potenzialanalyse der Meeresströmungen erfasst. Im östlichen Bereich des spanischen Mittelmeerraums (Küste vor Barcelona, nordöstliche Seite der Balearischen Inseln) beträgt der durchschnittliche Tidenhub 22 cm. Über Gleichung 3, bzw. Gleichung 4, ergibt sich ein Potenzial von 0,01 W bezogen auf eine Fläche von einem Quadratmeter. Im Mittelmeerbereich zwischen Valencia und dem Naturpark Cabo de Gata in der andalusischen Provinz Almeria nimmt der durchschnittliche Tidenhub auf 16 cm ab. Somit verringert sich das aus dem Tidenhub resultierende Potenzial für diesen Bereich auf 0,006 W/m². Ab dem Naturpark Cabo de Gata steigt der Tidenhub und somit ebenfalls das Potenzial Richtung Westen kontinuierlich an. Bei der Stadt Almería liegt der durchschnittliche Tidenhub mit 23 cm auf einem ähnlichen Niveau wie im östlichen Mittelmeer und weist ein Potenzial von knapp 0,01 W/m² auf. Über Motril mit durchschnittlich 36 cm Tidenhub und einem Potenzial von etwa 0,03 W/m² und Málaga mit 54 cm Tidenhub (Potenzial von 0,07 W/m²) steigt der Tidenhub auf der östlichen Seite der Straße von Gibraltar bei Algeciras auf 72 cm an. Das hieraus resultierende Potenzial liegt bei 0,12 W/m². Mit einem maximalen Tidenhub von 72 cm liegt der Mittelmeerbereich weit entfernt von den in Kapitel 2.1 genannten fünf Metern zur wirtschaftlichen Nutzung des Tidenhubs in einem Gezeitenkraftwerk in Dammbauweise. Für eine theoretische Leistung von einem Megawatt bedarf es selbst für den maximalen Tidenhub von 72 cm einer Fläche A von 8,58 km², welche vom umgebenden Meer abgegrenzt werden könnte. Somit kommt eine Nutzung des Tidenhubs im Mittelmeer nicht in Frage.

Das aus Meeresströmungen resultierende Potenzial des Mittelmeerbereiches wird anhand der beiden konstant auftretenden Strömungen, bei Gibraltar und die des Northern Current, vor dem spanischen

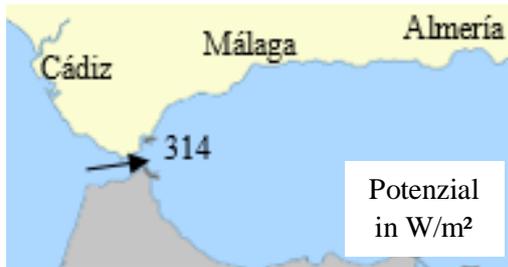


Abbildung 39: durchschnittliches Potenzial der Strömung in der Straße von Gibraltar

Festland, ermittelt. Für die in der Straße von Gibraltar auftretende durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 0,85 m/s ergibt sich gemäß Gleichung 7 ein Potenzial von etwa 314 W bezogen auf eine durchströmte Querschnittsfläche von einem Quadratmeter. Allerdings variiert die Strömungsgeschwindigkeit in der Meerenge in Abhängigkeit der Gezeiten teils stark. Über einen Zeitraum von sechs Stunden pro Tag, betragen die Strömungsgeschwindigkeiten einen Meter pro Sekunde und im Spitzenfall bis zu 1,54 m/s. Hieraus ergibt sich über sechs Stunden pro Tag ein Potenzial zwischen 512,5 W (für 1,0 m/s) und

1871,8 W (bei einer maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 1,54 m/s) bezogen auf eine durchströmte Querschnittsfläche von einem Quadratmeter. In weiteren sechs bis sieben Stunden weist die Meerenge eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/s bis maximal einem Meter pro Sekunde auf. Hieraus ergibt sich für diesen Zeitraum ein Potenzial zwischen 64 W und maximal 512,5 W je durchströmten Quadratmeter Fläche. In den restlichen elf bis zwölf Stunden pro Tag beträgt die Strömungsgeschwindigkeit weniger als einen halben Meter pro Sekunde, wodurch sich ein Potenzial von unter 64 W pro durchströmtem Quadratmeter ergibt. Das Potenzial in der Straße von Gibraltar für die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 0,85 m/s wird in Abbildung 39 dargestellt. Auch im weiteren Verlauf der Strömung durch das Mittelmeer bis vor die Küste der andalusischen Provinzhauptstadt Almeria treten zeitlich relativ konstante Strömungen von 0,5 m/s bis maximal einem Meter pro Sekunde auf. Hieraus ergibt sich gemäß Gleichung 7 ein Potenzial zwischen 64 W und 512,5 W pro durchströmtem Quadratmeter Fläche. Bedingt durch die Ausprägung der Strömung in großflächigen Wirbeln, welche in ihrer Anzahl und Position variieren, ist das in diesem Bereich des Mittelmeeres bestehende Potenzial nur schwer nutzbar.

Der Northern Current vor der spanischen Festlandküste, von der französisch-spanischen Grenze bis vor die Stadt Valencia variiert je nach Standort zwischen einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,4 m/s bei Valencia und 0,6 m/s im Bereich vor der französisch-spanischen Grenze. Hieraus ergibt sich ein Potenzial von etwa 33 W pro durchströmter Querschnittsfläche von einem Quadratmeter im Bereich vor Valencia. Für die Strömung im Bereich der französisch-spanischen Grenze liegt das Potenzial bei etwa 110 W pro Quadratmeter durchströmter Fläche. Vor der Stadt Barcelona, wo der Northern Current in einer geringen Entfernung von etwa sieben Kilometern vor der Küste verläuft, ergibt sich bei der dortigen durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von einem halben Meter pro Sekunde ein Potenzial von etwa 64 W/m². Unter Einbeziehung der Graphik aus Abbildung 9 in Kapitel 2.2 wird deutlich, dass bei den auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten des Northern Current das Errichten eines Meeresströmungskraftwerkes nach dem heutigen Stand der Technik nicht wirtschaftlich ist. Derzeit ist eine wirtschaftliche Nutzung erst ab einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,7 m/s (200 W/m²) möglich, welche in keinem Punkt des



Abbildung 40: Potenzial der Strömung des Northern Current in W/m²

Northern Current entlang der spanischen Mittelmeerküste erreicht wird. Abbildung 40 veranschaulicht das Potenzial des Northern Current an verschiedenen Standpunkten der Strömung.

Hinsichtlich der auftretenden Wellen stellt der Mittelmeerraum, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, eine recht einheitliche Wellenintensität mit einer durchschnittlichen signifikanten Wellenhöhe von 0,8 m und einer durchschnittlichen Peakperiode von 4,2 s dar. Lediglich der Bereich südöstlich der Balearischen Inseln weist mit einer durchschnittlichen signifikanten Wellenhöhe von 1,3 m und einer durchschnittlichen Peakperiode von 4,9 s ein höheres Wellenaufkommen auf. Da die Wellenlänge λ maximal 50 m aufweist, ergibt sich über den Zusammenhang $d > \lambda/2$, dass die Wellen ab einer Wassertiefe d von 25 m keinen Kontakt zum Meeresgrund besitzen und sich somit im Tiefenwasser befinden. Über Gleichung 16 wird das aus den Wellen im südöstlich bis östlich der Balearischen Inseln gelegenen Bereich resultierende Potenzial auf im Durchschnitt 8,13 kW/m (kW bezogen auf eine Wellenbreite von einem Meter) berechnet. Für den restlichen Bereich des spanischen Mittelmeerraumes ergibt sich ein durchschnittliches Potenzial von 2,64 kW/m. Abbildung 41 veranschaulicht das aus den auftretenden Wellen resultierende Potenzial im Mittelmeerraum der Balearischen Inseln. Ein ähnliches Potenzial der Wellen im Mittelmeer wurde im Jahr 2012 von dem baskischen Technologiezentrum AZTI publiziert. Demnach

weist der südöstliche bis östliche Mittelmeerbereich der Balearischen Inseln ein Potenzial von 7,5 kW/m auf, während der restliche Bereich des spanischen Mittelmeeres zwischen 1,8 kW/m bei Gibraltar und der französisch-spanischen Grenze und 3,5 kW/m bei der andalusischen Provinzhauptstadt Almeria variiert. Ebenfalls die vom Verband der Unternehmen Erneuerbarer Energien (APPA - Asociación de Empresas de Energías Renovables) im Jahr 2013 publizierten Potenziale für Wellen im Mittelmeerraum der Balearischen Inseln liegen in einem ähnlichen Bereich wie die im Rahmen der vorliegenden Arbeit berechneten Werte. Für die südöstliche und östliche Mittelmeerfläche der Balearischen Inseln liegt das angegebene Potenzial demnach zwischen sechs und zehn Kilowattstunden pro Meter Wellenbreite. (AZTI tecnalía, 2012, S. 88) (APPA, 2013, S. 12)



Abbildung 41: Wellenpotenzial im Bereich der Balearischen Inseln

Die Wassertemperaturen des spanischen Mittelmeerraumes sind tendenziell von der Straße von Gibraltar Richtung Osten leicht steigend. Da sich diese lokale Variation der Temperaturen jedoch im geringen Gradbereich (maximal ein bis zwei Grad) befindet, werden für die Berechnung des Potenzials der thermischen Nutzung die durchschnittlichen Temperaturen des gesamten spanischen Mittelmeerraumes verwendet. Bedingt durch die starken jahreszeitlichen Schwankungen der Oberflächentemperaturen von durchschnittlich 26,5 °C im Sommer und 13 °C im Winter ergeben sich stark variierende, jahreszeitenabhängige Temperaturdifferenzen. Durch die ganzjährig konstante Temperatur des kalten Tiefenwassers zwischen 12,8 °C und 13,8 °C ergibt sich eine Temperaturdifferenz im Sommer von etwa 13 °C, während im Winter eine geringe bis keine Temperaturdifferenz vorhanden ist (vgl. Kapitel 3.1). Somit besteht im Winter kein thermisch nutzbares Potenzial. In den Sommermonaten ergibt sich ein Potenzial gemäß Gleichung 18, bezogen auf einen Kubikmeter, von etwa 67 W/m³. Hierbei wird von einer Dichte des Salzwassers von etwa 1025 kg/m³ und einer spezifischen Wärmekapazität von 0,93 kcal/(kg*K) ausgegangen. Unter Berücksichtigung eines sehr geringen Wirkungsgrades zwischen vier und sieben Prozent (hier Annahme: 5 %) und Pumpverlusten von etwa 30 % verkleinert sich das Potenzial während der Sommermonate auf knapp zwei W/m³. Bedingt durch die starken jahreszeitlichen Schwankungen

der Oberflächenwassertemperaturen und eine Temperaturdifferenz, die auch in ihrem Maximum deutlich unterhalb der in Kapitel 3.1 erwähnten 20 °C liegt, ist das Potenzial des Mittelmeerraumes hinsichtlich einer thermischen Nutzung zu vernachlässigen.

Das aus der Osmose, bzw. der Ausnutzung der Differenz des Salzgehaltes resultierende Potenzial ergibt sich für den Bereich der Mittelmeerküste und der Balearischen Inseln lediglich aus dem Süßwasserabfluss des Flusses Ebro. Wie in Kapitel 3.1 beträgt der durchschnittliche Abfluss des Ebro etwa 30 km vor der Mündung 330 m³/s. unter Verwendung von Gleichung 19 ergibt sich somit ein Potenzial von 825 MW. Soll jedoch eine Mindestwasserführung gemäß Art. 49 Real Decreto 638/2016 und Art. 26 Ley 10/2001 im Fluss gewährleistet sein, ist die Nutzung des gesamten Abflusses nicht realisierbar (vgl. Kapitel 4). Besonders für den Fluss Ebro, welcher in einem als Naturpark (Parc Natural del Delta de l'Ebre) deklarierten Delta mündet, reduziert sich die mögliche zu entnehmende Süßwassermenge. Des Weiteren ist es als Vogelschutzgebiet (ZEPA) Teil des Natura 2000 Netzes (vgl. Anhang A.4.). Zur genauen Feststellung einer möglichen Entnahmemenge, bei der das Ökosystem des Ebro nicht nachhaltig beeinträchtigt wird, bedarf es einer ökologischen Untersuchung des Flusses samt seiner Ökosysteme. Da dies nicht im Rahmen der vorliegenden Masterthesis durchgeführt wurde, wird das resultierende Potenzial für die Süßwasserentnahmemengen aus dem Fluss von 50, 20 und zehn Prozent des Gesamtabflusses dargelegt. Bei einem Süßwasservolumen von 50 Prozent des Gesamtabflusses (165 m³/s) ergibt sich nach Gleichung 19 ein Potenzial von 412,5 MW. Bei 20 Prozent (66 m³/s) ergibt sich das Potenzial zu 165 MW und bei zehn Prozent (33 m³/s) zu 82,5 MW.

5.2. Atlantikküste

Im Folgenden wird das bestehende Potenzial bezüglich der fünf, in Kapitel 2 behandelten, Nutzungsarten der Meeresenergie für den Bereich der Atlantikküste dargestellt. Die durchgeführten Berechnungen wurden unter Einbeziehung der in Kapitel 3.2 dargelegten Gegebenheiten durchgeführt und sind dem Anhang A.17. zu entnehmen.

Hinsichtlich des auftretenden Tidenhubes und des daraus resultierenden Potenzials unterscheidet sich der südliche Teilbereich der Atlantikküste stark vom nördlichen Teilbereich. Auf westlicher Seite der Straße von Gibraltar beträgt der Tidenhub 93 cm. Über Gleichung 3, bzw. Gleichung 4 für eine Gezeitenperiode von zwölf Stunden und 25 Minuten, ergibt sich ein Potenzial von 0,19 W/m². Bis zur spanisch-portugiesischen Grenze im Südwesten der Iberischen Halbinsel steigt der durchschnittliche Tidenhub kontinuierlich auf 2,28 m an. Hierfür ergibt sich ein Potenzial von 1,17 W/m². Für ein Potenzial von einem Megawatt wäre für den minimalen Tidenhub im Bereich der Straße von Gibraltar eine Fläche von 5,14 km² nötig, während die Fläche im Bereich der spanisch-portugiesischen Grenze 0,86 km² betragen müsste. Wie bereits im Mittelmeerraum ist der Tidenhub des südlichen Teilbereichs der spanischen Atlantikküste weit entfernt von den, in Kapitel 2.1 genannten, fünf Metern für eine wirtschaftliche Nutzung.

Der nördliche Teilbereich der spanischen Atlantikküste weist, ausgehend von der spanisch-portugiesischen Grenze, einen kontinuierlichen Anstieg des Tidenhubes bis zur französisch-spanischen Grenze im Nordosten der Iberischen Halbinsel auf. Bei der Stadt Vigo, etwa 40 km nördlich der spanisch-portugiesischen Grenze, liegt der durchschnittliche Tidenhub bei 2,40 m. Über Gleichung 3 ergibt sich ein

Potenzial von $1,30 \text{ W/m}^2$. Bei einem durchschnittlichen Tidenhub von $2,40 \text{ m}$ ist eine vom Meer separierte Fläche von knapp $0,77 \text{ km}^2$ für ein Potenzial von einem Megawatt nötig. Bei der Stadt A Coruña, 140 km nördlich von Vigo, beträgt der durchschnittliche Tidenhub $2,60 \text{ m}$. Aus diesem Tidenhub resultiert ein Potenzial von etwa $1,52 \text{ W/m}^2$. Für ein Potenzial von einem Megawatt ist in diesem Bereich der Atlantikküste eine Fläche von $0,66 \text{ km}^2$ nötig. An der Atlantikküste bei der Stadt Gijón in Asturien steigt der durchschnittliche Tidenhub weiter bis auf $2,77 \text{ m}$ an und weist somit ein Potenzial von $1,73 \text{ W/m}^2$ auf. Die für ein Megawatt benötigte Fläche sinkt auf knapp $0,58 \text{ km}^2$. Die baskische Atlantikküste weist mit einem durchschnittlichen Tidenhub von $3,05 \text{ m}$ den Maximalwert Spaniens auf. Dementsprechend liegt das größte Potenzial, welches aus dem Tidenhub resultiert, vor der baskischen Atlantikküste im Golf von Biskaya. Das Potenzial in diesem Bereich beläuft sich gemäß Gleichung 3 auf etwa $2,09 \text{ W/m}^2$. Die vom offenen Meer abgegrenzte Fläche mit einem Potenzial von einem Megawatt müsste in diesem Küstenabschnitt $0,48 \text{ km}^2$ betragen. Abbildung 42 verdeutlicht den Anstieg des aus dem Tidenhub resultierenden Potenzials entlang der nördlichen Atlantikküste. Wie auch im vorherig beschriebenen südlichen Teilbereich der spanischen Atlantikküste liegt der durchschnittliche Tidenhub deutlich unterhalb der fünf Meter für eine wirtschaftliche Nutzung des Tidenhubs in einem Gezeitenkraftwerk.



Abbildung 42: aus dem Tidenhub resultierendes Potenzial entlang der nördlichen Atlantikküste

Im Bereich des spanischen Atlantiks verläuft die auftretende Strömung entlang der Küstenlinie mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von $0,5 \text{ m/s}$ entlang der Westküste Galiciens und Teilen der kantabrischen und baskischen Atlantikküste. Hierfür ergibt sich ein Potenzial von etwa 64 W pro Quadratmeter durchströmter Querschnittsfläche. Da die Strömungsintensität entlang der Atlantikküste teils stark zwischen $0,3 \text{ m/s}$ und $0,8 \text{ m/s}$ bis $0,9 \text{ m/s}$ und zu den Springtiden bis zu $1,1 \text{ m/s}$ variiert, verändert sich auch das Potenzial der Strömung. Während des Auftretens der Strömungsgeschwindigkeit von $0,3 \text{ m/s}$ beträgt das Potenzial der Strömung knapp 14 W/m^2 . Bei den maximal auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten von $0,8 \text{ m/s}$ bis $0,9 \text{ m/s}$ beträgt das Potenzial 262 W/m^2 , bzw. 373 W/m^2 und während den bei Springtide auftretenden maximalen Strömungsgeschwindigkeiten von $1,1 \text{ m/s}$ beträgt es 682 W/m^2 . Zwischen der nördlichen Spitze der Iberischen Halbinsel im Norden Galiciens und der Stadt Gijón nimmt die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit entlang der Küste auf $0,4 \text{ m/s}$ ab. Für diesen Abschnitt der Strömung ergibt sich ein Potenzial von 32 W/m^2 . Entlang der Küste zwischen



Abbildung 43: Potenzial der entlang der Atlantikküste verlaufenden Strömung

Gijón und Santander liegt die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit bei $0,15 \text{ m/s}$. Für diesen Küstenbereich liegt das aus der Strömung resultierende Potenzial bei $1,8 \text{ W/m}^2$. Das entlang der nördlichen Atlantikküste bestehende Potenzial der auftretenden Strömung wird in Abbildung 43 dargestellt. Im restlichen Bereich der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone des nördlichen Atlantiks treten keine örtlich und zeitlich

konstanten Strömungen auf. Somit besteht für die restliche Atlantikfläche vor der Nordküste des spanischen Festlandes kein über Strömungskraftwerke verwertbares Potenzial.



Abbildung 44: Potenzial der Strömung durch die Straße von Gibraltar auf westlicher Seite

Im südlichen Teilbereich des spanischen Atlantiks, tritt, wie auch im Mittelmeerraum (vgl. Kapitel 5.1), eine konstant widerkehrende Strömung im Bereich der Straße von Gibraltar auf. Im westlich der Meerenge gelegenen Bereich, beträgt die Strömung im trichterförmigen Zufluss der Straße von Gibraltar eine durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit von 0,7 m/s. Hieraus ergibt sich ein durchschnittliches Potenzial von 175 W/m². Über einen Zeitraum von zwölf bis 13 Stunden weist die Strömung eine Fließgeschwindigkeit von über 0,5 m/s auf und im maximalen Fall bis zu einem Meter pro Sekunde. Während dieses Zeitfensters variiert das Potenzial der Strömung zwischen 64 W/m² und 512 W/m². Das im westlichen trichterförmigen Zuflussbereich der Meerenge bestehende Potenzial der Meeresströmung wird in Abbildung 44 veranschaulicht.

Hinsichtlich der entlang der spanischen Atlantikküste auftretenden Wellen lässt sich der Atlantikbereich in drei Teilbereiche ähnlichen Wellenaufkommens untergliedern. Der südliche Teilbereich an der andalusischen Küste auf westlicher Seite der Straße von Gibraltar stellt den Atlantikbereich mit den geringsten Wellenhöhen und dem geringsten Potenzial aus Wellen dar. Die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe beträgt hier 1,3 m. Die durchschnittliche Peakperiode liegt bei 4,9 s. Da sich die auftretenden Wellen ab einer Wassertiefe d zwischen 37,5 m und 50 m im Tiefenwasser befinden, wird das Potenzial im Folgenden für Tiefenwasser ermittelt. Mit Gleichung 16 ergibt sich hieraus ein durchschnittliches Potenzial von 8,13 kW/m. Der zweite Teilbereich stellt die West- bzw. Nordwestküste Spaniens, nördlich der spanisch-portugiesischen Landesgrenze dar. Dieser Bereich entspricht der an die Küste der Autonomen Region Galicien grenzenden Meeresfläche. Auf Grund des rauen Seegangs und der schwierigen Bedingungen für die Seefahrt trägt der Küstenabschnitt südwestlich der Stadt A Coruña den Namen Costa da Morte (Death Coast). Die durchschnittliche signifikante Wellenhöhe vor der galizischen Atlantikküste beträgt 2,2 m und stellt somit sowohl den Bereich mit den größten Wellen der Atlantikküste, als auch gesamt Spaniens dar. Die durchschnittliche Peakperiode beträgt zehn Sekunden. Über Gleichung 16 ergibt sich ein Wellenpotenzial entlang der galizischen Atlantikküste von durchschnittlich 47,49 kW/m. Das Meeresgebiet von der Autonomiegrenze zwischen Galicien und Asturien an der nördlichen Atlantikküste bis zur französisch-spanischen Landesgrenze östlich von San Sebastián stellt den dritten Teilbereich dar. Mit einer durchschnittlichen signifikanten Wellen-



Abbildung 45: Wellenpotenzial entlang der nördlichen Atlantikküste

höhe von 1,9 m fallen die Wellen in diesem Atlantikabschnitt etwas geringer aus als an der Küste Galiciens. Die durchschnittliche Peakperiode beträgt acht Sekunden. Das Potenzial der auftretenden Wellen beträgt hier im Durchschnitt 28,34 kW/m. Das Potenzial der Wellen entlang der nördlichen Atlantikküste des spanischen Festlandes ist der Abbildung 45 zu entnehmen. Mit einem Wellenpotenzial von etwa 50 kW/m für den Atlantikabschnitt der Costa da Morte in Galicien publizierte der ehemalige Professor Iglesias Rodriguez der Universität von A Coruña (seit 2012 Professor im Küsteningenieurwesen an der University of Plymouth/UK) im Jahr 2009 ähnliche Werte, wie die der vorliegenden Arbeit (University of Plymouth, 2019). Eine Abschätzung des Potenzials anhand des Globalen Wellenatlas

KNMI/ERA-40 aus dem Jahr 2004 gibt für die portugiesische und galizische Atlantikküste ein Potenzial von 40 kW/m und für die nördliche Atlantikküste bis zur französisch-spanischen Landesgrenze ein Wellenpotenzial von 26 kW/m an (Caires, Sterl, Komen, & Swail, 2004). Die vom baskischen Technologiezentrum AZTI veröffentlichte Studie gibt das Potenzial hinsichtlich Wellen für den südlichen Teilbereich des Atlantiks mit sechs Watt pro Meter Wellenbreite, den Abschnitt der Atlantikküste Galiciens mit etwa 30 kW/m und den Atlantikbereich zwischen Asturien und der französisch-spanischen Landesgrenze mit etwa 22 kW/m an (AZTI tecnalia, 2012, S. 88). (Iglesias & Carballo, 2009)

Wie bereits im Bereich der Mittelmeerküste und der Balearischen Inseln ist auch im Bereich der Atlantikküste des spanischen Festlandes die Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt. Der Bereich der Atlantikküste wird in den südlichen Teilbereich (westlich der Straße von Gibraltar) und den nördlichen Teilbereich unterteilt. Für den südlichen Teilbereich ergibt sich in den Sommermonaten nach Gleichung 18 ein Potenzial von etwa 156 W/m³. Für eine OTEC-Anlage mit einem Wirkungsgrad von fünf Prozent und Pumpverlusten von 30 % ergibt sich somit ein Potenzial von 5,5 W/m³. In den Wintermonaten beläuft sich das Potenzial im südlichen Bereich auf knapp 50 W/m³. Über eine OTEC-Anlage wären 1,75 W/m³ möglich. Das durchschnittliche Potenzial des südlichen Bereichs liegt in etwa 103 W/m³, was für eine OTEC-Anlage eine Leistung von 3,62 W/m³ bedeuten würde. Der nördliche Teilbereich weist geringere Temperaturen und somit auch ein geringeres Potenzial auf als der südliche Teilbereich. In den Sommermonaten liegt das Potenzial bei etwa 86 W/m³ und im Winter bei etwa 22 W/m³. Eine OTEC-Anlage in diesem Bereich könnte in den Sommermonaten etwa 3 W/m³ und in den Wintermonaten 0,8 W/m³ leisten. Das durchschnittliche Potenzial des nördlichen Atlantikbereichs beläuft sich auf etwa 55 W/m³. Die in einer OTEC-Anlage zu erreichende Leistung liegt somit bei 1,92 W/m³. Allerdings werden in der Potenzialberechnung, bezogen auf ein Jahr, lediglich die Oberflächentemperaturen im Winter und Sommer berücksichtigt, wodurch diese bei einer genaueren Betrachtung und Berücksichtigung der Oberflächentemperaturen im Frühling und Herbst ein etwas höheres durchschnittliches Potenzial ergeben kann. Dies ändert jedoch nichts daran, dass die thermische Nutzung des Atlantiks vor dem spanischen Festland auf Grund der jahreszeitlichen Schwankungen und der zu geringen Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser (im maximalen Punkt kleiner 20 °C), wie auch im Bereich der Mittelmeerküsten und der Balearischen Inseln nicht wirtschaftlich ist.

Zur Ausnutzung der Differenz der Salzgehalte zwischen Meer- und Süßwasser stehen entlang der Atlantikküste acht Flüsse mit einem Abfluss von über 20 m³/s zur Verfügung (vgl. Kapitel 3.2). Hiervon befindet sich einer, der Guadalquivir, im südlichen Teilbereich der spanischen Atlantikküste. Er weist mit etwa 103 m³/s den größten Abfluss der Atlantikküste auf. Gemäß Gleichung 19 ergibt sich für den gesamten Süßwasserabfluss des Guadalquivirs ein Potenzial von etwa 257 MW. Unter Berücksichtigung des geforderten Mindestabflusses ergibt sich für die Hälfte des Gesamtabflusses (51,5 m³/s) ein Potenzial von etwa 128 MW und für 20 % des Gesamtabflusses etwa 51 MW. Die weiteren sieben Flüsse verteilen sich auf die Autonomen Baskenland (Ría del Nervión, Oria, Bidasoa), Asturien (Río Navia, Río Nalón, Río Eo) und auf Galicien (Río Ulla). Für die drei Flüsse im Baskenland ergibt sich ein Gesamtabfluss von etwa 80 m³/s und ein gesamtes Potenzial von knapp 200 MW ($Q_{50\%} = 100 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 100 \text{ MW}$; $Q_{20\%} = 40 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 40 \text{ MW}$). Der Gesamtabfluss von 80 m³/s der Autonomie Baskenland verteilt sich mit etwa 29 m³/s auf Ría del Nervión, mit 26 m³/s auf Oria und mit 24,7 m³/s auf Bidasoa. Somit ergibt sich das Potenzial der einzelnen Flüsse des Baskenlandes für den jeweiligen Gesamtabfluss zu 73 MW (Ría del Nervión), 66 MW (Oria) und 62 MW (Bidasoa). Der Gesamtabfluss über die drei größten Flüsse der Autonomie Asturien beläuft sich auf insgesamt 138 m³/s und weist gemäß Gleichung 19 ein Potenzial von 345 MW auf. Für 50 % und 20 % des Gesamtabflusses ergibt sich dementsprechend ein Potenzial von 172 MW, bzw. 69 MW. Bezogen auf die drei Flüsse ergibt sich für den Río

Navia ein Potenzial von 157 MW bei einem Gesamtabfluss von etwa $63 \text{ m}^3/\text{s}$, 78 MW bei 50 % und 31 MW bei 20 % des Gesamtabflusses. Für den Río Nalón ergibt sich ein Potenzial von 137 MW für einen Gesamtabfluss von etwa $55 \text{ m}^3/\text{s}$. Für 50 % und 20 % des Abflusses



Abbildung 46: osmotisches Potenzial der Flüsse mit einem durchschnittlichen Abfluss von über $20 \text{ m}^3/\text{s}$ an der nördlichen Atlantikküste bezogen auf den jeweiligen Gesamtabfluss

des Río Nalón ergibt sich ein Potenzial von knapp 69 MW, bzw. 27 MW. Für den kleinsten Fluss Asturiens (Río Eo) ergibt sich bei einem Gesamtabfluss von etwa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ein Potenzial von 50 MW. Für die Hälfte des Abflusses und ein Fünftel des Abflusses ergibt sich das Potenzial jeweils zu 25 MW, bzw. 10 MW. Die Autonomie Galiciens am nord-westlichen Eck der Iberischen Halbinsel weist ein Potenzial knapp 150 MW bei einem Abfluss von knapp $60 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Das Potenzial Galiciens resultiert aus dem Fluss Río Ulla. Für 50 % und 20 % des Abflusses ergibt sich ein Potenzial von 75 MW, bzw. 30 MW. Das gesamte Potenzial der spanischen Atlantikküste beläuft sich für den Gesamtabfluss von etwa $380 \text{ m}^3/\text{s}$ auf knapp 950 MW, bei 50 %igem Abfluss ($190 \text{ m}^3/\text{s}$) auf 475 MW und bei 20 %igem Abfluss auf 190 MW.

5.3. Kanarische Inseln

Im Folgenden wird das bestehende Potenzial hinsichtlich der fünf, in Kapitel 2 behandelten, Nutzungsarten der Meeresenergie für den Bereich der Kanarischen Inseln dargestellt. Zur Berechnung der Potenziale wurden die in Kapitel 3.3 dargelegten Gegebenheiten verwendet. Die Berechnungen sind dem Anhang A.18. zu entnehmen.

Im Bereich der Kanarischen Inseln steigt der durchschnittlich auftretende Tidenhub von den westlich gelegenen Inseln La Palma und El Hierro kontinuierlich Richtung Osten an. Bei den beiden westlichsten Inseln, sowie den Inseln La Gomera und Teneriffa beträgt der durchschnittliche Tidenhub knapp 1,30 m. Nach Gleichung 3, bzw. Gleichung 4 für eine Gezeitenperiode von zwölf Stunden und 25 Minuten, ergibt sich in diesem Bereich der Kanarischen Inseln ein Potenzial von 0,38 W/m². Für ein Potenzial von einem Megawatt einer abgesperrten Wasserfläche ist ein Gebiet von 2,63 km² nötig. Bei der zentral in der Inselgruppe gelegenen Hauptstadtinsel Gran Canaria, sowie den Westküsten der Inseln Fuerteventura und Lanzarote beläuft sich der durchschnittliche Tidenhub auf 1,50 m. Das aus dem Tidenhub resultierende Potenzial beträgt 0,51 Watt pro Quadratmeter Fläche. Für ein Potenzial von einem Megawatt bedarf es im Umkreis von Gran Canaria einer Fläche von 1,98 km². Auf der östlichen, Afrika zugewandten Seite der Inseln Fuerteventura und Lanzarote wird mit einem durchschnittlichen Tidenhub von 1,82 m der Maximalwert der Kanarischen Inseln erreicht. Gemäß Gleichung 3 ergibt sich ein Potenzial von 0,75 Watt pro Quadratmeter entlang der Ostküsten der beiden Inseln. Die für ein Potenzial von einem Megawatt benötigte Fläche sinkt im Vergleich zum restlichen Meeresraum der Kanarischen Inseln auf 1,34 km². Wie bereits im Mittelmeerraum und entlang der Atlantikküste des spanischen Festlandes, liegt der bei den Kanarischen Inseln auftretende durchschnittliche Tidenhub an jedem Punkt deutlich unterhalb der in Kapitel 2.1 für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Gezeitenkraftwerks geforderten fünf Metern. Unter diesem Aspekt ist die Nutzung der Meeresenergie aus dem von den Gezeiten bedingtem Tidenhub für den Bereich der Kanarischen Inseln ebenfalls unwirtschaftlich.

Der Kanarenstrom weist mit 0,2 m/s eine sehr geringe Strömungsgeschwindigkeit im Bereich nördlich und zwischen den Kanarischen Inseln auf. Über Gleichung 7 errechnet sich für diesen Bereich ein Potenzial von 4,1 W/m². Für eine energetische Nutzung kommt die Strömung des Kanarenstroms, trotz des konstanten Auftretens, auf Grund ihrer zu geringen Strömungsgeschwindigkeit nicht in Frage. Im nördlichen Bereich der Kanarischen Inseln treten Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 0,6 m/s auf. Für die maximal auftretende Strömungsgeschwindigkeit ergibt sich nach Gleichung 7 ein Potenzial von knapp 110 W/m². Die meiste Zeit liegt die Strömungsgeschwindigkeit auch in diesem Bereich bei etwa 0,2 m/s bis 0,3 m/s, wodurch sich ein Potenzial zwischen 4,1 W/m² und knapp 14 W/m² ergibt. Allerdings variieren die Strömungsverhältnisse auf der nördlichen Seite der Kanarischen Inseln sowohl temporär, lokal (Ausprägung als großflächige Wasserwirbel), als auch in ihrer Strömungsrichtung stark und sind somit ebenfalls unwirtschaftlich für die energetische Nutzung in einem Strömungskraftwerk.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben lässt sich der Atlantikbereich im Umkreis der Kanarischen Inseln hinsichtlich der auftretenden Wellen in einen nördlichen Teilbereich und einen südlichen Teilbereich unterteilen. Ersterer weist mit einer durchschnittlichen signifikanten Wellenhöhe von 1,85 m die größeren Wellenhöhen auf. Die durchschnittliche Peakperiode beträgt 7,5 s. Über Gleichung 16 ergibt sich somit aus den Wellen ein Potenzial von 25,29 kW/m. Der Teilbereich auf der südlichen Seite der Inselgruppe, zu dem ebenfalls der westliche der Inseln Fuerteventura und Lanzarote befindliche Atlantikbereich gezählt wird, weist durch seine, von den Inseln vor Winden und somit auch Wellen geschützten Lage, eine durchschnittliche signifikante Wellenhöhe von 1,3 m auf. Die durchschnittliche Peakperiode beträgt auf

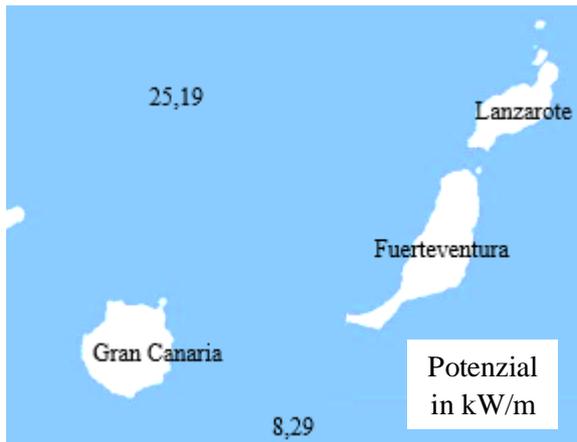


Abbildung 47: Wellenpotenzial auf nördlicher und südlicher Seite der Kanarischen Inseln

Abschätzung des Potenzials anhand des Globalen Wellenatlas KNMI/ERA-40 aus dem Jahr 2004 weist der nördlichen Seite der Kanarischen Inseln ein Potenzial von 24 kW/m aus. Das baskische Technologiezentrum AZTI gibt in ihrer Studie aus dem Jahr 2012 für den Standort an der südlichen Spitze Teneriffas (südlichen Bereich) ein Potenzial von 2,6 kW/m und im Bereich zwischen den Inseln Teneriffa und Gran Canaria von 11,3 kW/m an. (APPA, 2013) (Caires, Sterl, Komen, & Swail, 2004) (AZTI tecnalía, 2012, S. 88)

Das höchste Potential hinsichtlich der Nutzung thermischer Energie in der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone weist der Bereich rund um die Kanarischen Inseln auf. Die Temperaturen des Oberflächenwassers sind auf Grund der näheren Lage zum Äquator wesentlich schwächeren Schwankungen ausgesetzt als das Oberflächenwasser der Mittelmeerregion und der Atlantikregion des spanischen Festlandes. Das Tiefenwasser weist eine Temperatur von etwa 5 °C auf. Für die Sommermonate beläuft sich das Potenzial gemäß Gleichung 18 bei einer durchschnittlichen Temperatur des Oberflächenwassers von 25,5 °C auf etwa 167 W/m³. Unter Berücksichtigung des geringen Wirkungsgrades und der Pumpverluste ist eine Leistung von 5,87 W/m³ möglich. In den Wintermonaten liegt die durchschnittliche Temperatur des Oberflächenwassers bei 19 °C, woraus sich eine Leistung von knapp 80 W/m³ ergibt. Über eine OTEC-Anlage wäre eine Leistung von 2,8 W/m³ möglich. Durchschnittlich liegt die Temperatur des Oberflächenwassers im Bereich der Kanarischen Inseln bei 22,2 °C. Somit ergibt sich im Durchschnitt ein Potenzial von 119 W/m³. Für eine OTEC-Anlage nach dem heutigen Stand der Technik ist demnach eine Leistung von etwa 4,2 W/m³ möglich. Wie auch in den beiden anderen Bereichen der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone liegt die durchschnittliche Temperaturdifferenz mit 17,2 °C unterhalb von 20 °C und ist somit nach heutigem Stand der Technik nicht für eine wirtschaftliche Nutzung von thermischen Kraftwerken geeignet. Grundsätzlich weist der südliche Bereich der Kanarischen Inseln ein etwas höheres Potenzial auf als der nördliche Bereich und ist somit bei einer Verbesserung der Wirksamkeit (wirtschaftlich bereits bei geringeren Temperaturdifferenzen) von OTEC-Anlagen in der Zukunft zu favorisieren.

Auf den Kanarischen Inseln besteht auf Grund der nicht vorhandenen Süßwasserabflüsse über Flüsse kein Potenzial zur Ausnutzung der Differenz des Salzgehaltes zwischen Salz- und Süßwasser.

6. Standorte mit Potenzial zur Nutzung der Meeresenergie

Das folgende Kapitel gibt konkrete Vorschläge für Standorte in den drei Meeresbereichen der Mittelmeerküste und Balearischen Inseln, der spanischen Atlantikküste, sowie im Bereich der Kanarischen Inseln, an denen Techniken der verschiedenen Nutzungsarten von Meeresenergie zur Energiegewinnung zum Einsatz kommen können. Für die jeweiligen Standorte werden weiter die mögliche Leistung eines Kraftwerks, sowie die über das Kraftwerk zu versorgenden Haushalte (3-Personen-Haushalte) angegeben. Die durchgeführten Berechnungen der einzelnen Standorte sind den Anhängen A.20. bis A.22 zu entnehmen. Eine Wirtschaftlichkeitsüberprüfung der verschiedenen potenziellen Standorte wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, jedoch werden die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebene Kriterien für eine wirtschaftliche Nutzung der Standorte berücksichtigt.

Da der Tidenhub entlang der spanischen Küsten flächendeckend unter fünf Metern liegt, ist der Bau eines Gezeitenkraftwerkes in Dammbauweise aus wirtschaftlicher Sicht nicht zu empfehlen. Für Ästuare oder Buchten, welche eine große Fläche und eine verhältnismäßig schmale Öffnung zum offenen Meer aufweisen, wird im Folgenden jedoch trotzdem das mögliche Potenzial eines Gezeitenkraftwerks ermittelt und dargestellt. Weiter werden für die verschiedenen Standorte einschränkende Faktoren, wie Schiffsverkehr, Schutzgebiete, etc. aufgeführt. Abschließend werden die einzelnen Standorte vom Autor hinsichtlich einer Umsetzung betrachtet und gegebenenfalls empfohlen.

6.1. Mittelmeerküste und Balearische Inseln

Im Folgenden werden die Standorte zur Nutzung der Meeresenergie entlang der spanischen Mittelmeerküste und der Balearischen Inseln aufgeführt. Der Standort in der Straße von Gibraltar wird auf Grund seiner zur Nutzung der Meeresenergie geeigneten Flächen in und westlich der Meerenge in Kapitel 6.2 behandelt.

- **Osmosekraftwerk Ebro (Katalonien)**

Der Mündungsbereich des Flusses Ebro an der katalanischen Mittelmeerküste stellt einen möglichen Standort zur Energiegewinnung über ein Osmosekraftwerk dar. Da nicht bekannt ist, wie viel Flusswasser zum Erhalt des Mindestabflusses im Fluss verbleiben muss und wie viel Wasser für eine osmotische Nutzung entnommen werden kann, bzw. darf, wird im Folgenden der prozentuale Anteil des für ein 25 MW- Osmosekraftwerk benötigten Wassers bezogen auf den Gesamtabfluss ermittelt. Die Leistung von 25 MW wird gewählt, da das größte Projekt eines Osmosekraftwerkes der letzten Jahre eine solche Dimension aufwies (vgl. Kapitel 2.5). Somit dient dieser Wert lediglich als Orientierungspunkt und ist bei einer genaueren Untersuchung des Flussgebietes veränderbar. Für die Berechnung wird von einem gesamten Wirkungsgrad (η_{internal} & η_{external}) des Osmosekraftwerkes von 25 % ausgegangen. Über Gleichung 20 ergibt sich für eine Nettoleistung von 25 MW eine benötigte

theoretische Leistung von 100 MW. Der für die theoretische Leistung benötigte Durchfluss des Osmosekraftwerkes beläuft sich über Gleichung 19 auf $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies entspricht etwa zwölf Prozent des Gesamtabflusses des Ebro. Ein Osmosekraftwerk mit einer Leistung von 10 MW würde hingegen nur etwa fünf Prozent ($16 \text{ m}^3/\text{s}$) des Abflusses des Ebro benötigen. Wird für beide Fälle eine Betriebsdauer von 24 Stunden pro Tag angenommen, ergibt sich für das 25 MW Osmosekraftwerk eine jährliche Stromproduktion von 219.000 MWh. Bei einem Strombedarf eines spanischen 3-Personen-Haushaltes von etwa 3.500 kWh könnten somit etwa 60.000 solcher Haushalte versorgt werden (Gobierno de España, Consumos del Sector Residencial en España, 2015).

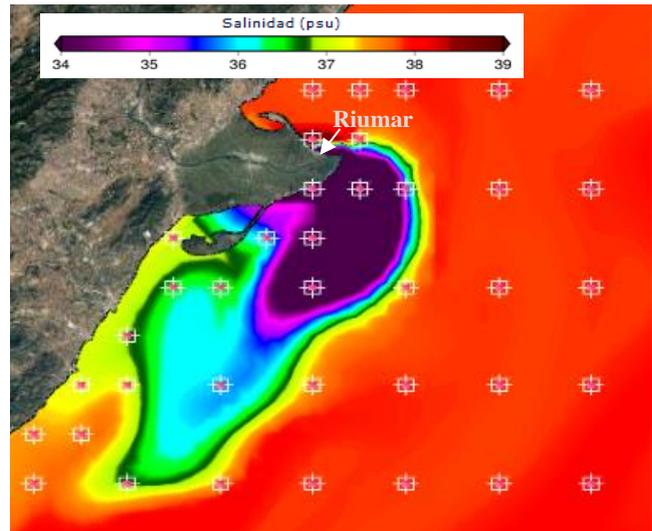


Abbildung 48: Mündungsbereich des Ebro an der katalanischen Mittelmeerküste. Der Salzgehalt des Mittelmeers beträgt in diesem Küstenabschnitt etwa 38 g/L (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. salinidad)

Bedingt durch die Annahme eines wesentlich höheren jährlichen Stromverbrauchs in den nördlichen Ländern (norwegische Haushalte etwa 15.000 kWh, schwedische Haushalte etwa 9.000 kWh (Stand 2003)), unterscheidet sich die Anzahl der über das Kraftwerk versorgten Haushalte deutlich von den Angaben des norwegischen Energieversorgers (30.000 Haushalte) (VDEW, 2006). Die benötigte Membranfläche eines solchen Osmosekraftwerkes liegt in etwa bei fünf Millionen Quadratmetern und verursacht somit einen großen Flächenbedarf, welcher mit dem Flächenbedarf eines Fußballstadions zu vergleichen ist (Statkraft news, 2013). Die Stromproduktion eines 10 MW Osmosekraftwerkes beläuft sich, bei selber Annahme, auf 87.600 MWh. Dies könnte knapp 25.000 spanische 3-Personen-Haushalte mit Strom versorgen. Da das Mittelmeer im Umkreis und vor allem nördlich des Mündungsbereiches eine Salzkonzentration von 38 g/L aufweist, ist die Differenz der Salzgehalte mit knapp 37 g/L an keinem anderen spanischen Fluss so groß wie am Ebro (Salzgehalt etwa 1 g/L). Neben diesem Vorteil, begünstigt ebenfalls die nur sehr geringe Auswirkung der Gezeiten mit einem durchschnittlichen Tidenhub von knapp 20 cm den Standort der Ebromündung. Bedingt durch die geringen Schwankungen des Meeresspiegels, ist von einer recht kurzen Brackwasserzone auszugehen, wodurch die Entfernung des Meeres zum Beginn der Süßwasserzone im Fluss wesentlich geringer ausfällt als beispielsweise am Atlantik (BAW, 2014). Da der gesamte Küstenstreifen des Mündungsdeltas über eine durchschnittliche Breite von etwa zwei Kilometern als Naturpark ausgeschrieben ist, wird die Standortsuche leicht eingeschränkt und ein größerer Pumpaufwand für das benötigte Salzwasser verursacht. Die Flächen landeinwärts des Naturparks entlang des Flusses werden hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt, wodurch ausreichend Spielraum zur Findung eines geeigneten Standortes besteht. Ein möglicher Standort wäre der Bereich südwestlich des Ortes Riumar an der östlichen Spitze des Deltas. Da zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit die Membrantechnik noch keine wirtschaftliche Nutzung eines großen Osmosekraftwerkes ermöglicht (vgl. Kapitel 2.5), stellt der Standort am Mündungsbereich des Flusses Ebro einen potentiellen Standort dar, welcher bei einer Weiterentwicklung der Membrantechnik für die Energiegewinnung interessant werden kann. Die letztlich mögliche zu entnehmende Süßwassermenge ist dann über ökologische Gutachten und Studien zu bestimmen.

6.2. Atlantikküste

Nachfolgend werden die Standorte an der Atlantikküste des spanischen Festlandes aufgeführt, die für eine Nutzung der Meeresenergie zur Stromversorgung in Frage kommen.

- **Gezeitenkraftwerk Ría del Eo (Galicien/Asturien)**



Abbildung 49: Ästuar an der Grenze der Autonomen Galiciens und Asturiens an der nördlichen Atlantikküste (Xunta de Galicia, 2019)

Die Flussmündung des Río Eo an der nördlichen Atlantikküste, die den Grenzverlauf zwischen den Autonomen Galiciens und Asturiens markiert, weist ein Potenzial zur Energiegewinnung über ein Gezeitenkraftwerk in Dammbauweise auf. Der durchschnittliche Tidenhub der Region beträgt 2,77 m, wodurch sich ein Potenzial von 1,73 W/m² ergibt (vgl. Kapitel 5.2). Etwa 1,5 km vor der Mündung ins offene Meer wird der

Ästuar an seiner schmalsten Stelle von einer knapp 500 m breiten Brücke der Autobahn A8 überquert. Die landeinwärts befindliche Fläche des Ästuars bis zu dieser Brücke beträgt etwa 9,2 km². Unter Einbeziehung des durchschnittlichen Tidenhubs ergibt sich für die gesamte Fläche ein Potenzial von 15,92 MW. Bei einem Wirkungsgrad von etwa 90 % der im Sperrbauwerk eingesetzten Turbinen ergibt sich eine Leistung eines, an dieser Stelle errichteten Gezeitenkraftwerks von etwa 14 MW. Wird ein täglicher Betrieb von zwölf Stunden an allen Tagen des Jahres angesetzt (zum Vergleich Gezeitenkraftwerk La Rance: etwa 14 h/d, vgl. Kapitel 2.1) können im Jahr maximal 62740 MWh Strom bei voller Auslastung der Anlage erzeugt werden. Wird ein durchschnittlicher Stromverbrauch eines spanischen 3-Personen-Haushalts von etwa 3.500 kWh/a zugrunde gelegt, könnten etwas mehr als 17.500 solcher Haushalte mit Strom versorgt werden. Wegen des im Ästuar angesiedelten Sport- und Fischereihafens müsste das Sperrbauwerk mit einem Schleusenbauwerk ergänzt werden. Dies würde die Investitionskosten einer solchen Anlage steigern. Des Weiteren ist mit einem Transport von Sedimenten des Flusses Eo zu rechnen, die sich im ohnehin schon relativ flachen Ästuar (maximal 20 m) ablagern würden (OpenSeaMap, 2018). Für eine langfristig effektive Nutzung müssten abgelagerte Sedimente aus dem Becken in regelmäßigen Zeitabständen entfernt werden, was zusätzliche Betriebskosten verursacht. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass dieser Standort zwar ein nicht zu vernachlässigendes Potenzial der Gezeitenutzung aufweist, jedoch für eine wirtschaftliche Nutzung eines Gezeitenkraftwerks nicht in Frage kommt. Weiter stellt ein solches Bauwerk einen großen Eingriff in die Natur und eine erhebliche Beeinflussung der örtlichen Ökosysteme dar. Aus diesen Gründen erscheint der Bau eines Gezeitenkraftwerkes am Ästuar des Flusses Eo nicht empfehlenswert. Mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,15 m/s und im Maximum von 0,4 m/s weist der Mündungsbereich keine ausreichende Strömung für eine wirtschaftliche Nutzung eines Strömungswerkes auf (Gobierno de España,

Puertos del Estado, 2018, S. corrientes). Abbildung 49 zeigt den Mündungsbereich des Fluss Eo, welcher die Grenze zwischen den Autonomen Galicien (rechts) und Asturien (links) bildet. Im Vordergrund überquert die beschriebene Autobahnbrücke den Mündungsbereich.

- **Gezeitenkraftwerk Bahía de Santander (Kantabrien)**

Ein weiterer möglicher Standort zur Nutzung der Gezeiten ist die Bucht von Santander. Sie weist mit 22 km² ungefähr die gleiche Größe auf wie die des Gezeitenkraftwerks La Rance in Frankreich. Allerdings beträgt der durchschnittliche Tidenhub bei Santander lediglich 3,05 m. Das aus dem Tidenhub resultierende Potenzial liegt bei 2,09 W/m². Somit ergibt sich für die gesamte Bucht von Santander ein Potenzial von knapp 46 MW. Würde dieser Bereich durch ein Gezeitenkraftwerk in Dammbauweise vom offenen Meer abgegrenzt werden, wäre eine Leistung von etwa 41 MW möglich. Hierfür wird ein Wirkungsgrad der verwendeten Turbinen von 90 % angenommen. Wird eine Betriebsdauer von zwölf Stunden am Tag angesetzt, könnten, bei voller Auslastung des Kraftwerks, jährlich 181.253 MWh Strom erzeugt werden. Bezogen auf den durchschnittlichen Strombedarf eines spanischen 3-Personen-Haushaltes von 3.500 kWh könnten etwa 51.000 solcher Haushalte versorgt werden. Mit einem Potenzial von 40 MW für die Bucht von Santander publizierte das Technologiezentrum AZTI im Jahr 2012 einen ähnlichen Wert (AZTI tecnalia, 2012, S. 86). Vorteil eines Kraftwerks an diesem Standort ist die geringe Distanz und der damit verbundene geringe Energieverlust beim Stromtransport, da sich die Stadt Santander mit etwa 175.000 Einwohnern (Stand 2018) direkt an der Bucht von Santander befindet (Ayuntamiento de Santander, 2018). Weiter weist sie mit mehreren Sport-, Fischerei-, Industriehäfen, sowie einem Flughafen und einem Hafen für den Personenverkehr mehrere infrastrukturelle Anlagen mit kontinuierlichem Strombedarf auf (Gobierno de España, Puerto de Santander, 2019). Bedingt durch den regen Schiffsverkehr zu den Häfen und der Größe der zu erwartenden Schiffe (Kreuzfahrtschiffe & Frachter) ist ein Bau eines Gezeitenkraftwerks in Dammbauweise nicht möglich. Bedingt durch die hohen zu erwartenden Investitionskosten und dem relativ geringen Tidenhub von weniger als fünf Metern ist von keiner wirtschaftlichen Nutzung eines Gezeitenkraftwerks in der Bucht von Santander auszugehen. Des Weiteren ist der Zugang der Bucht zum Atlantik als ZEC (vgl. Kapitel 4) Teil des Natura 2000 Netzes, was einer Genehmigung eines solchen Vorhabens, bedingt durch den großen Eingriff in die Natur im Weg stehen und erschweren würde (Gobierno de España, ZEC Dunas del Puntal y Estuario del Miera, 2017). Da die durch die Gezeiten verursachten Strömungen mit 0,1 m/s im Durchschnitt und 0,3 m/s im Maximum recht niedrig ausfallen, ist der Betrieb eines Strömungskraftwerkes ebenfalls nicht wirtschaftlich (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes).

- **Strömungskraftwerke Straße von Gibraltar (Andalusien)**

Die Straße von Gibraltar weist in der gesamten Ausschließlichen Wirtschaftszone des spanischen Staates das größte Potenzial aus einer Meeresströmung auf. Erste Überlegungen und Pläne zur Nutzung der Meeresenergie in der Straße von Gibraltar entstanden im Rahmen des Atlantropa-Projektes, einer Vision des deutschen Architekten Sörgel aus den späten 1920er Jahren zur Land- und Stromgewinnung. Demnach sollte das Mittelmeer über Staudämme bei der Straße von Gibraltar und am Marmarameer vom kontinuierlichen Zustrom des Atlantiks und des Schwarzen Meeres abgeschnitten werden. Beide Staudämme sollten weiterhin kontrolliert, aber vermindert Wasser in den Mittelmeerraum leiten und dabei über Wasserkraftwerke Strom generieren. Für den Hauptstaudamm bei Gibraltar rechnete man damals mit einer Leistung von 50.000 Megawatt, was zum heutigen Zeitpunkt etwa 40 Atomkraftwerken entspricht. Unter anderem wegen des hohen Ansehens der Atomkraft in der damaligen Zeit verschwand diese Vision in den 50er Jahren nach dem Tod Sörgels von der Bildfläche. Mit der größeren Relevanz Erneuerbarer Energien in den letzten Jahrzehnten rückte auch wieder die Nutzung der in der Straße von Gibraltar auftretenden Strömung in den Fokus mehrerer Studien. (Kulke, 2013) (Aqua-RET, 2012)

Mit einer durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,85 m/s, weist die Meerenge ein Potenzial von durchschnittlich etwa 314 Watt pro durchströmtem Quadratmeter Querschnittsfläche auf und ist somit für eine wirtschaftliche Energiegewinnung geeignet (vgl. Kapitel 2.2). Die in der

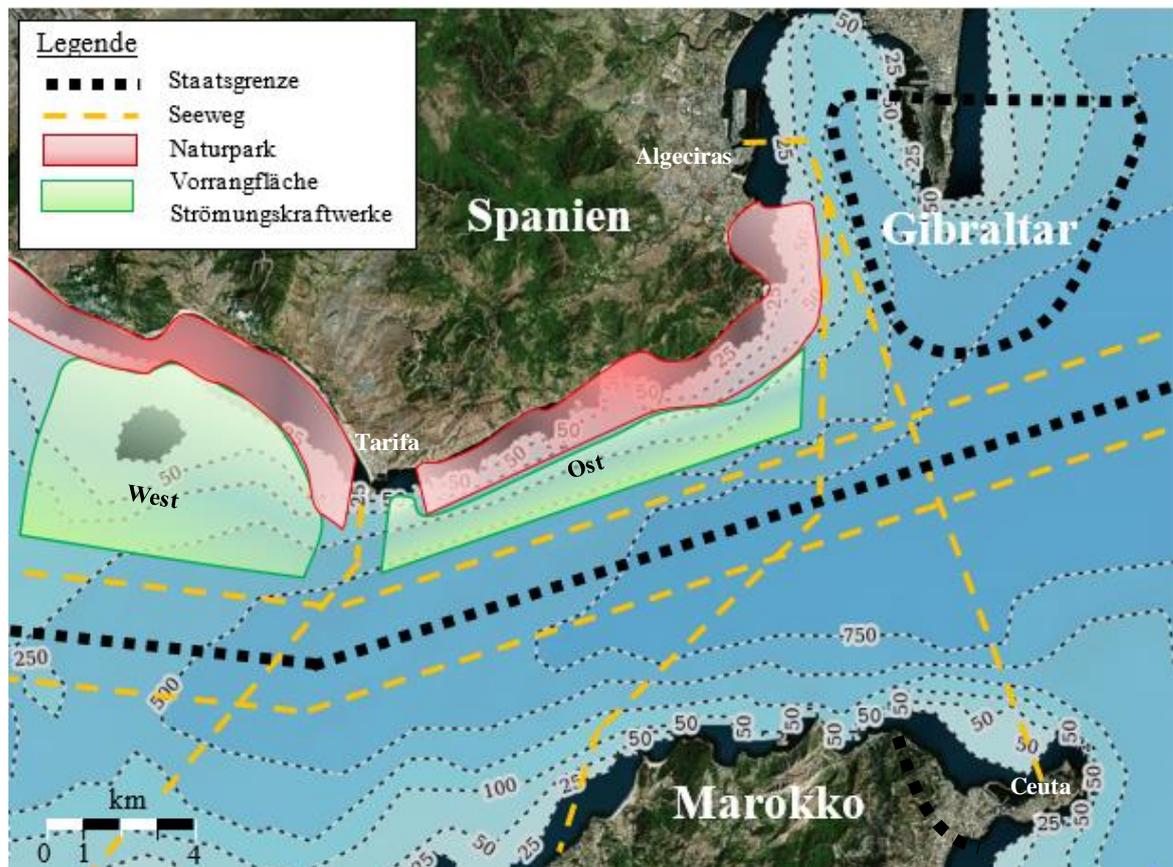


Abbildung 50: Vorrangflächen zur Energiegewinnung über Strömungskraftwerke (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

Straße von Gibraltar auftretenden Strömungsverhältnisse können dem Anhang A.21. entnommen werden. Bedingt durch die Staatsgrenzen Spaniens, Marokkos und Gibaltars, sowie den bestehenden Seewegen, geographischen Gegebenheiten der Küstenlinie und des Meeresgrundes sowie des dortigen Naturparks (Parque Natural del Estrecho) werden die für Strömungskraftwerke geeigneten Flächen (Vorrangfläche Strömungskraftwerke) eingeschränkt (Junta de Andalucía, 2006). Hieraus ergeben sich zwei Flächen (West & Ost), welche vorrangig für die Installation von Meeresströmungskraftwerken genutzt werden können bzw. sollten. Diese sind in Abbildung 50 in grün dargestellt. Begrenzt werden beide nach Süden vom Seeweg, welcher aus dem Mittelmeer in den Atlantik führt und ein hohes Verkehrsaufkommen aufweist (MarineTraffic, 2019). Auf der nördlichen Landseite der Vorrangflächen werden sie vom Naturpark „Parque Natural del Estrecho“ (rot) begrenzt. Südlich der andalusischen Kleinstadt Tarifa werden die zwei Vorrangflächen von dem Fährweg Tarifa-Tanger (Marokko) separiert.

Das östlich von Tarifa gelegene Vorranggebiet weist mit einer Länge von knapp 16 km und einer Breite von durchschnittlich 1,5 km eine Fläche von etwa 24 km² auf. Die Wassertiefen dieses Bereiches liegen zwischen 100 m und an der südlichen Grenze des Vorranggebietes bis zu 500 m und sind somit zu tief für eine feste Gründung. Eine Möglichkeit der Gründung der Strömungskraftwerke in diesem Bereich ist die Verankerung eines schwimmenden Kraftwerkes über Seile am Meeresgrund. Zum Einsatz kommen könnten im östlichen Vorranggebiet beispielsweise schwimmende Pontoons, ähnlich des in Kapitel 2.1 vorgestellten „Neptune Tidal Power Pontoon“. Über ihre Tauglichkeit bezüglich Wellengangs, wie er auch in der Straße von Gibraltar auftreten kann, ist nichts bekannt und dies muss bei einer genauen Planung bedacht werden. Die im Bereich des östlichen Vorranggebietes durchschnittliche signifikante Wellenhöhe liegt bei einem Meter. Im Maximum können die Wellen aber durchaus auch Höhen zwischen vier und fünf Metern und in Extremfällen bis zu sechs Metern erreichen (Punto SIMAR 6060016 östlich von Tarifa; Zeitraum: 2005 bis 2019) (Punto SIMAR 6056014 südöstlich von Tarifa; Zeitraum: 2005 bis 2019) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje). Bei der in diesem Bereich auftretenden durchschnittlichen Strömungsgeschwindigkeit von 0,85 m/s ergibt sich ein Potenzial von etwa 314 Watt pro durchströmtem Quadratmeter Querschnittsfläche (vgl. Kapitel 5.1 und 5.2.) Ein „Neptune Tidal Power Pontoon“ mit einer Querschnittsfläche von 16 m² (4 m × 4 m) weist demnach ein Potenzial von knapp fünf Kilowatt auf. Mit der Annahme eines Wirkungsgrades von 50 % ergibt sich eine Leistung eines einzelnen Pontoons von 2,5 kW. Hieraus ergibt sich, bei einem täglichen Betrieb der Anlagen von zwölf Stunden, eine jährliche Stromproduktion von etwa elf Megawattstunden pro Anlage. Bei einem jährlichen Stromverbrauch von 3.500 kWh eines spanischen 3-Personen-Haushaltes können über ein einzelnes Pontoon drei Haushalte versorgt werden. Wird angenommen, dass die Pontoons in einem Abstand von 100 m (in USA teilweise Abstände von 30 m zwischen einzelnen Strömungskraftwerken) voneinander installiert werden können, ergibt sich für das gesamte Vorranggebiet Ost eine mögliche Anzahl von maximal 2.400 Pontoons (Khammas, 2007). Bei einer Installation aller 2.400 Pontoons als Kraftwerkspark bzw. -farm ergibt sich eine gesamte jährliche Stromerzeugung von etwa 26.400 MWh, was für eine Versorgung von knapp 7.500 spanischen 3-Personen-Haushalten reichen würde. Könnte die durchströmte Querschnittsfläche eines Pontoons auf 100 m² (10 m × 10 m) erhöht werden, läge die Leistung einer Anlage mit einem Wirkungsgrad von 50 % bei 15,7 kW. Bei einer Laufzeit von zwölf Stunden pro Tag liegt die jährliche Stromproduktion bei etwa 69 MWh pro Anlage. Dies reicht für die Versorgung von 19 spanischen 3-Personen-Haushalten. Bei einer Installation der Pontoons im Abstand von 100 m (gesamt Anzahl Pontoons im Vorranggebiet Ost: 2400) ergibt sich einer jährliche Stromproduktion von 165.400 MWh. Wird der Strombedarf von 3.500 kWh eines spanischen 3-Personen-Haushaltes zugrunde gelegt, lassen sich über alle

2.400 Pontoons etwa 47.000 solcher Haushalte mit Elektrizität versorgen. Auf Grund niedriger Investitionskosten durch die Gründung sind vorrangig Anlagen in den geringeren Wassertiefen des Vorranggebietes Ost umzusetzen. Diese liegen parallel zur Küste, bzw. dem Naturpark und weisen Wassertiefen von 100 m bis 250 m auf.

Das westlich der Kleinstadt Tarifa gelegene Vorranggebiet weist eine Fläche von etwa 75 km² auf. Etwa die Hälfte des Gebietes (37,5 km²) liegt in Gewässern mit einer geringen Wassertiefe zwischen 25 m und 50 m, während die Wassertiefen des restlichen Gebietes zwischen 50 m und 350 m liegen (OpenSeaMap, 2018). Für den Bereich des Vorranggebietes mit geringen Wassertiefen wäre der Einsatz von Strömungskraftwerken der Bauart SeaFlow / SeaGen oder Openhydro geeignet, welche über feste Fundamente am Meeresgrund befestigt werden (vgl. Kapitel 2.1 und 2.2). Die in diesem Bereich auftretende durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit liegt bei 0,85 m/s, was einem Potenzial von 314 W/m² entspricht. Wird ein Strömungskraftwerk mit einem Rotordurchmesser von 15 m angenommen, ergibt sich über die durchströmte Fläche von etwa 176 m² eine theoretische Leistung von knapp 55 kW pro Anlage. Mit einem Wirkungsgrad von 45 % (vgl. Kapitel 2.1) ergibt sich die Leistung eines einzelnen Strömungskraftwerkes im westlichen Vorranggebiet zu 25 kW. Bei einem zwölfstündigen täglichen Betrieb der Anlage ergibt sich somit eine jährliche Stromproduktion von 109 MWh. Über eine einzelne Anlage können 31 spanische 3-Personenhaushalte mit Strom versorgt werden. Wird wie auch im östlichen Vorranggebiet eine Installation der Anlagen im Abstand von 100 m angesetzt, lassen sich im 37,5 km² großen Bereich des westlichen Vorranggebietes mit einer Wassertiefe von maximal 50 m maximal 3.750 Strömungskraftwerke errichten. Wird eine tägliche Betriebszeit von zwölf Stunden während den auftretenden Gezeitenströmungen angesetzt, ergibt sich eine jährliche Stromproduktion für alle 3.750 Anlagen von 411.000 MWh. Dies würde zur Versorgung mit Strom von 117.000 spanischen 3-Personen-Haushalten reichen. Für die restliche Fläche des westlichen Vorranggebietes mit Wassertiefen von mehr als 50 m (maximal 350 m) kommt aufgrund zu hoher Investitionskosten eine feste Gründung von Meeresströmungskraftwerken nicht in Frage. Wie schon im Vorranggebiet Ost kann die auftretende Strömung in diesem Bereich jedoch über schwimmende Strömungskraftwerke, welche über Seile am Meeresgrund verankert sind, genutzt werden. Wie auch für das östliche Vorranggebiet ergibt sich für ein Pontoon mit einer durchströmten Fläche von 16 m² (4 m × 4 m) eine jährliche Stromproduktion von elf Megawattstunden, was zur Versorgung von drei spanischen 3-Personen-Haushalten reicht. Wird der Abstand zwischen den Strömungskraftwerken von 100 m angenommen, können auf der 37,5 km² großen Fläche des westlichen Vorranggebietes maximal 3.750 schwimmende Strömungskraftwerke installiert werden. Bei einer Installation aller Anlagen läge die jährliche Stromproduktion bei knapp 41.000 MWh und würde rund 11.800 spanische 3-Personen-Haushalte mit Strom versorgen. Wird die Dimensionierung der schwimmenden Strömungskraftwerke auf eine durchströmte Fläche von 100 m² (10 m × 10 m) erhöht, liegt die Leistung einer einzelnen Anlage (Wirkungsgrad 50 %) bei etwa 15 kW. Die jährliche Stromproduktion während der auftretenden Gezeitenströmung von zwölf Stunden pro Tag beträgt etwa 69 MWh und reicht zur Versorgung von 19 spanischen 3-Personen-Haushalten. Für die maximale Anzahl von 3.750 Anlagen ergibt sich eine jährliche Stromproduktion von 258.400 MWh und knapp 74.000 versorgte 3-Personen-Haushalte.

Auf Grund der geringeren Investitionskosten für die Gründung der Strömungskraftwerke sowie einer geringeren Distanz zum Festland (geringere Stromverluste bei Stromtransport) und der größeren Stromproduktion der vorgeschlagenen Strömungskraftwerke wird empfohlen, den Bereich mit Wassertiefen von bis zu 50 m des westlichen Vorranggebietes primär zu erschließen.

Bedingt durch das hohe Windaufkommen im Bereich der Straße von Gibraltar und besonders im Bereich der Kleinstadt Tarifa ist diese schon lange als Wind- und Kitesurferhochburg bekannt und gilt als eine der windreichsten Regionen Europas (Horn, 2013). Die im Bereich der beiden Vorranggebiete auftretenden Windgeschwindigkeiten liegen durchschnittlich bei sechs Metern pro Sekunde und können im Maximum bis zu 20 m/s erreichen (Punto SIMAR 6048018 westlich von Tarifa; Zeitraum: 2005 bis 2019) (Punto SIMAR 605801 östlich von Tarifa; Zeitraum: 2005 bis 2019) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. viento). Somit ist der Einsatz einer Kombination aus Windkraftanlage und Strömungskraftwerk im Bereich der Straße von Gibraltar denkbar und könnte neben einer erhöhten Stromerzeugung zu verminderten Investitionskosten bedingt durch die gemeinsame Gründung der Kraftwerke führen (BWE, Leistungsbegrenzung und -regelung, 2018).

Da die Straße von Gibraltar unter anderem auf der Wanderroute verschiedener Meereslebewesen, wie beispielsweise Walen, liegt, sowie den dauerhaften Lebensraum verschiedener Meeressäuger wie Delfine darstellt, sollte die Lage der Wanderrouten und Lebensräume vor einer Umsetzung, bzw. einer Errichtung von Strömungskraftwerken mit der Lage der Vorranggebiete abgeglichen und mögliche Risiken für die Meereslebewesen und die Kraftwerke erörtert werden. (firmm, 2019)

- **Strömungskraftwerk Ría de Ferrol (Galicien)**

Die Flussmündung des Río Grande de Xubia bei der Hafenstadt Ferrol an der Westküste Galiciens stellt einen potenziellen Standort zur Nutzung der durch die Gezeiten hervorgerufenen Strömungen dar. Die Mündung des Río Grande de Xubi ist als Ästuar, der Ría de Ferrol, ausgeprägt und wird damit von den auftretenden Gezeiten dominiert. Die Ría de Ferrol weist, bei einer Länge von 15 km und einer maximalen Breite von etwa 2 km, eine Fläche von knapp 24 km² auf. Die Besonderheit des Ästuars ist die Verengung auf eine Breite von etwa 400 m kurz vor der endgültigen Mündung in den Atlantik. Bedingt durch den durchschnittlichen Tidenhub von 2,40 m (vgl. Kapitel 3.2) entsteht in der Verengung eine zeitweise starke Strömung mit einer maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 1,1 m/s. Über einen Zeitraum von zwölf Stunden am Tag weist die Strömung eine Geschwindigkeit von über 0,5 m/s auf. Während dieser zwölf Stunden beträgt die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Verengung 0,75 m/s. Über Gleichung 7 ergibt sich in diesem Zeitraum ein Potenzial der Strömung von 216 W/m². Während der restlichen zwölf Stunden am Tag beträgt die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit 0,3 m/s. Für diesen Zeitraum ergibt sich nach Gleichung 7 ein Potenzial von etwa 14 W/m². Da es sich bei den in der Stadt vorhandenen Häfen unter anderem um Anlagen für die Fischerei, die Industrie und den Personenverkehr handelt, existiert ein umfangreicher und für die Stadt wirtschaftlich bedeutender Schiffsverkehr. Die größten zu erwartenden Schiffe (Kreuzfahrtschiffe & Öl-Tanker), die den Hafen ansteuern, weisen einen Tiefgang von bis zu zwölf Metern auf (MarineTrafic, 2019) (Vessel, 2019). Da die Wassertiefe des Ästuars und insbesondere die der Verengung zwischen 25 m und 20 m variiert, ist der Einbau einer Turbine am Meeresboden, bedingt durch den Schiffsverkehr auszuschließen. Eine Variante, welche die Nutzung der auftretenden Strömung ermöglicht und den Schiffsverkehr nicht beeinträchtigt, ist der Einsatz schwimmender Strömungskraftwerke als Abgrenzung des Schiffahrtsweges durch die Verengung. Beispiel für ein solches schwimmendes Strömungskraftwerk ist das in Kapitel 2.1 auf-

geführte „Neptune Tidal Power Pontoon“. Eine einzelne Anlage weist eine durchströmte Querschnittsfläche von etwa 16 m² (4 m × 4 m) auf. Zwar wird für das „Neptune Tidal Power Pontoon“ ein Wirkungsgrad von 60 % angegeben, realistisch betrachtet dürfte dieser jedoch etwas geringer ausfallen (Energyprofi GmbH, 2010). Für die durchgeführten Berechnungen wird daher von einem Wirkungsgrad von maximal 50 %

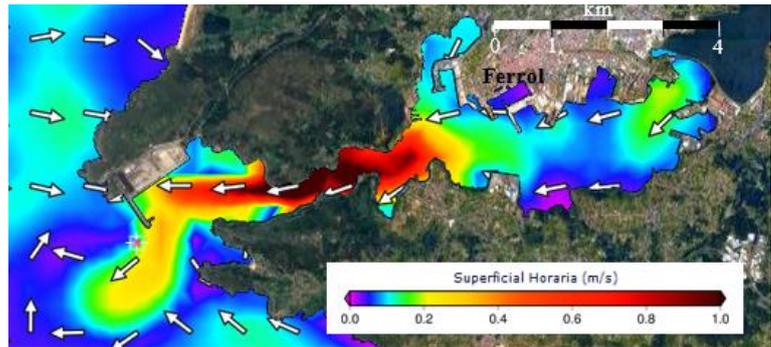


Abbildung 51: potenzieller Standort eines Strömungskraftwerkes im Ästuar von Ferrol an der nordwestlichen Atlantikküste Galiciens (Aufnahme vom 24.11.2018) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

ausgegangen (vgl. Anhang A.21.). Für eine einzelne, in der Verengung installierte Anlage ergibt sich eine jährliche Leistung von acht Megawattstunden (8.060 kWh). Verglichen mit dem Stromverbrauch eines spanischen 3-Personen-Haushaltes von etwa 3.500 kWh im Jahr, können 2,3 Haushalte über eine Anlage versorgt werden (Gobierno de España, Consumos del Sector Residencial en España, 2015). Der strömungsintensive Bereich der Verengung erstreckt sich über eine Länge von etwa zwei Kilometern. Wird angenommen, dass in diesem Bereich eine Anlage auf jeder Seite der Schifffahrtsstraße im Abstand von 100 m installiert werden kann, ergibt dies eine Anzahl von 40 Anlagen. Die jährliche Leistung der Anlagen beträgt dann insgesamt 322.425 kWh und könnte etwa 92 Haushalten a drei Personen versorgen. Der benötigte Abstand zwischen den Pontoons ist im Rahmen einer genaueren Planung des Standortes zu überprüfen. Kann der Abstand geringer gewählt werden, ergibt sich dementsprechend eine größere jährliche Stromproduktion und eine größere Anzahl an versorgten Haushalten. Abbildung 51 veranschaulicht die durch die Gezeiten hervorgerufene Strömung vor der Hafenstadt Ferrol. (Hardisty, 2008) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes) (OpenSeaMap, 2018, S. Wassertiefen & Schiffstracking)

- **Wellenkraftwerk Atlantikküste Galiciens**

Die westliche Atlantikküste der Autonomie Galicien weist mit 47,5 kW/m das größte Potenzial aus Wellenenergie der gesamten spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone auf und bildet den interessantesten Standort für den Einsatz von Wellenkraftwerken. Die westliche Atlantikküste Galiciens erstreckt sich von der Staatsgrenze Spaniens zu Portugal (PRT) über etwa 400 km bis an den nördlichsten Punkt Spaniens, dem Kap „Punta de Estaca de Bares“, im Norden der Autonomie (ISO-3166-1, 1974). Durchschnittlich 30 km vor der Küstenlinie fallen die Wassertiefen von 250 m innerhalb weniger Kilometer bis auf Wassertiefen von über 1000 m ab. Dieser Übergang der Wassertiefen stellt den nach Art. 76 SRÜ definierten Festlandssockel der Iberischen Halbinsel dar (vgl. Kapitel 4). Im nordwestlichen Bereich, vor der Stadt A Coruña liegt der Festlandssockel teilweise bis zu 60 km vor der Küstenlinie (OpenSeaMap, 2018). Auf Grund der verhältnismäßig geringen Wassertiefen kommt der Bereich zwischen Festlandssockel und Küstenlinie für die Installation von

Wellenkraftwerken in Frage. Eingeschränkt wird die zur Nutzung der Wellen in de in Frage kommenden Meeresfläche von den bestehenden Seewegen, Verbindungen der Seewege zu den Hafenstädten der galizischen Atlantikküste und den Naturschutzgebieten entlang der Küste (MarineTrafic, 2019). Diese werden in Abbildung 52 aufgeführt und sind zunächst für eine Planung und Errichtung von Wellenkraftwerken als Ausschlussflächen zu betrachten. Sollte bei einer genauen Standortsuche ein Bereich innerhalb eines Naturschutzgebietes (rot) lokalisiert werden, kann die Installation, bei einer positiv ausfallenden Umweltverträglichkeitsprüfung, gegebenenfalls trotzdem durchgeführt werden (vgl. Kapitel 4). Unter Berücksichtigung der Ausschlussgebiete ergeben sich für den Bereich entlang der Atlantikküste fünf Teilflächen mit Wassertiefen bis maximal 250 m, welche als Vorrangflächen für die Nutzung der Energiegewinnung aus der Wellenkraft im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelt wurden.

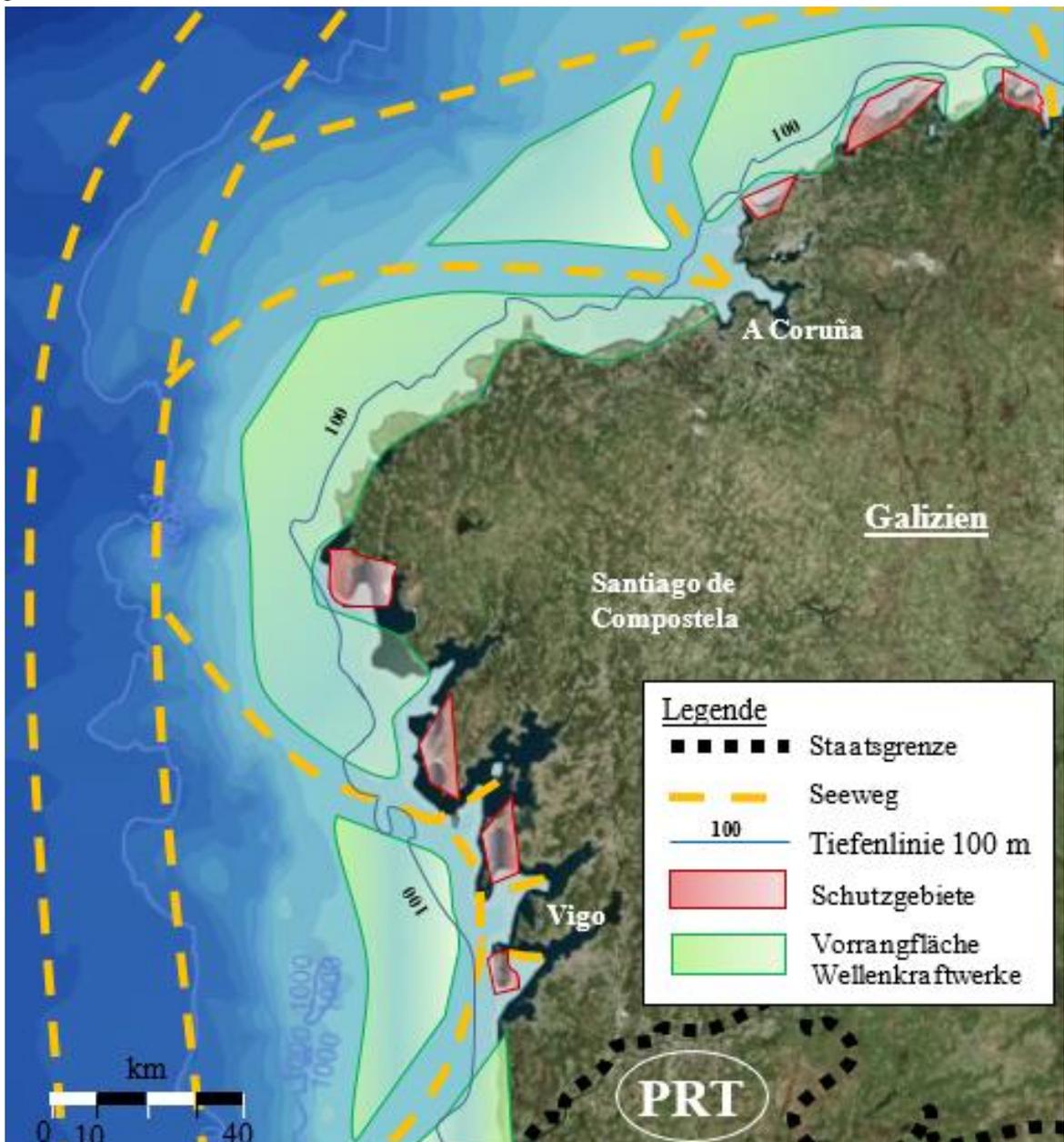


Abbildung 52: Vorrangflächen zur Installation von Wellenkraftwerken entlang der westlichen Atlantikküste Galiciens (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

Die einzelnen Teilflächen weisen, ausgehend von der Staatsgrenze im Süden, Flächen von etwa 170 km², 930 km², 1.860 km², 500 km² und 1.000 km² auf. Hieraus ergibt sich eine Gesamtfläche der festgestellten Vorrangflächen von etwa 4.460 km² entlang der westlichen Atlantikküste Galiciens. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit sollten in den Vorranggebieten zur Minderung der Investitionskosten zunächst die Bereiche mit Wassertiefen von weniger als 100 m betrachtet und entwickelt werden. Diese Bereiche machen mit knapp 1.500 km² entlang der Westküste Galiciens etwa ein Drittel der gesamten Vorrangflächen aus. Langfristig gesehen können ebenfalls die Bereiche der Vorranggebiete mit Wassertiefen von 100 m bis 250 m zur Nutzung über Wellenkraftwerke herangezogen werden. Nachfolgend werden diese in den Berechnungen jedoch nicht weiter betrachtet.

Die ermittelten Vorrangflächen für die Nutzung der Wellenenergie (grün) entlang der westlichen Atlantikküste Galiciens sowie die in diesem Abschnitt bestehenden Schutzgebiete (rot) und Seewege (orange) sind der Abbildung 52 zu entnehmen. Die 100 m-Tiefenlinie wird in blau hervorgehoben. Zum Einsatz kommen können in den verschiedenen Teilgebieten sowohl Anlagen an der Küstenlinie, im küstennahen Bereich, wie auch Anlagen auf offenem Meer (vgl. Kapitel 2.3 und Anhang A.2.). Im Folgenden wird die Leistung, Stromproduktion und die möglichen versorgten Haushalte beispielhaft für die in Kapitel 2.3 beschriebenen Anlagentypen des WaveRollers im küstennahen Bereich und der Pelamis-Anlage auf offenem Meer dargestellt. Ebenfalls denkbar sind Wellenkraftwerke nach dem Prinzip der schwingenden Wassersäule (OWC = Oscillating Water Column), welche beispielsweise in Hafenanlagen integriert bzw. daran angebracht werden (vgl. Beispiel Mutriku in Kapitel 2.3). (OpenSeaMap, 2018)

Der WaveRoller kommt im Meeresbereich mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m zum Einsatz. Entlang der galizischen Atlantikküste treten diese Wassertiefen hauptsächlich in einer Entfernung von 300 m bis maximal zwei Kilometern vor der Küstenlinie auf (OpenSeaMap, 2018). Etwa 0,5 % (knapp 22 km²) der im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgelegten Vorrangflächen weisen Wassertiefen in diesem Wertebereich auf. Wird für eine Anlage des WaveRollers eine Breite von 20 m angesetzt, ergibt sich mit dem Potenzial der auftretenden Wellen von 47,5 kW/m eine theoretische Leistung einer einzelnen Anlage von 950 kW. Unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades von zwischen 25 % und 50 % (35 % für die Berechnungen) ergibt sich die Leistung eines WaveRollers zu 330 kW. Bei einem ganztägigen Betrieb des WaveRollers ergibt sich eine jährliche Stromproduktion von 2.900 MWh. Wird ein jährlicher Stromverbrauch eines spanischen 3-Personen-Haushaltes von 3.500 kWh zugrunde gelegt, lassen sich knapp 830 Haushalte mit einer einzelnen Anlage versorgen. Zur Senkung der Investitionskosten wird die Installation von mehreren, miteinander gekoppelten WaveRoller-Anlagen als Wellenkraftwerkspark empfohlen. Wird ein Abstand von 20 m zwischen den einzelnen Anlagen angesetzt, ergibt sich ein Flächenbedarf von 1.600 m² pro Anlage (AW-Energy, 2018). Wird angenommen, dass der gesamte Bereich der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m (22 km²) mit WaveRollern bestückt werden kann, können theoretisch 13.750 Anlagen mit einer Gesamtleistung von etwa 4.500 MW installiert werden. Da eine solche Umsetzung jedoch recht unrealistisch ist, werden im Folgenden der Platzbedarf, die jährliche Stromproduktion und die versorgten Haushalte eines Wellenkraftwerksparkes mit 20 Anlagen aufgeführt. Die für einen solchen Wellenkraftwerkspark des Anlagentyps WaveRoller mit einer Gesamtleistung von 6,6 MW benötigte Fläche beträgt 0,032 km². Die jährliche Stromproduktion der Kraftwerke beläuft sich auf 58.000 MWh, was zur Stromversorgung von knapp 16.500 spanischen 3-Personen-Haushalten reicht.

Bei der Pelamis-Anlage handelt es sich um ein Wellenkraftwerk für den Bereich im offenen Meer. Die bereits installierten Prototypen dieser Anlage befinden sich in Gewässern mit einer Wassertiefe

von 50 m bis 60 m. Die Verankerungstechnik der Anlagen über Seile am Meeresgrund ermöglicht den Einsatz der Wellenkraftwerke in Wassertiefen unterhalb der 50 m bis 60 m und erhöht somit die theoretisch für eine Installation der Pelamis-Anlagen zur Verfügung stehenden Flächen. Vorrangig sollte der Bereich der Vorrangflächen mit Wassertiefen von 25 m bis maximal 100 m für den Einsatz von Wellenkraftwerken für das offene Meer, wie der Pelamis, betrachtet werden. Etwa 30 % der festgelegten Vorrangflächen weisen eine Wassertiefe in dieser Größenordnung auf. Dies entspricht einer Meeresfläche von knapp 1.300 km². Für eine einzelne Pelamis-Anlage, bestehend aus drei Segmenten (Scharniergelenken) und einem Durchmesser von 3,5 m ergibt sich unter Berücksichtigung des Wellenpotenzials von 47,5 kWh eine theoretische Leistung von knapp 500 kW. Bei einem Wirkungsgrad von 70 % resultiert eine Nettoleistung der Anlage von 350 kW. Bei ganztägigem Betrieb ist eine jährliche Stromproduktion von knapp 3.000 MWh über eine einzelne Anlage möglich, was zur Versorgung von 850 spanischen 3-Personen-Haushalten reicht. Wie schon bei dem vorangegangenen beschriebenen WaveRoller ist auch bei der Pelamis-Anlage aus wirtschaftlicher Sicht eine Installation von mehreren Anlagen im Verbund als Kraftwerkspark zu empfehlen. Wird eine Installation der Anlagen im Abstand von 200 m zueinander angenommen, beträgt der Flächenbedarf einer einzelnen Anlage 0,01 km². Auf einer Fläche von 1.300 km² können somit theoretisch maximal 130.000 Anlagen installiert werden. Werden die Investitionskosten anhand der in Kapitel 2.3 Angaben von etwa 8 Mio. € für drei Anlagen überschlägig auf die theoretische Anzahl von 130.000 Anlagen hochgerechnet, ergibt sich eine Summe von 346 Mrd. €. Zwar kann davon ausgegangen werden dass sich die Investitionskosten pro Anlage mit zunehmendem technischen Fortschritt verringern, nichts desto trotz wird die Gesamtsumme auch bei einer Halbierung der Investitionskosten im mehrstelligen Milliardebereich liegen. Da die Umsetzung zur Bestückung des gesamten Vorranggebietes mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m bedingt durch Investitionsvolumen und die Nutzungskonkurrenz zu anderen Nutzungsarten, beispielsweise der Fischerei, nicht realistisch ist, wird im Folgenden der Flächenbedarf, der Stromertrag sowie die Anzahl der versorgten 3-Personen-Haushalte eines Kraftwerksparks bestehend aus 20 Pelamis-Anlagen dargelegt. Ein Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen des Typs Pelamis benötigt eine Fläche von 0,2 km². Die Leistung der installierten Anlagen beläuft sich auf 7 MW und produziert bei der Annahme eines ganztägigen Betriebes 61.150 MWh Strom im Jahr. Dies reicht zur Versorgung von knapp 17.000 spanischen 3-Personen-Haushalten.

- **Wellenkraftwerk Atlantikküste Asturien, Kantabrien und Baskenland**

Nach der westlichen Atlantikküste Galiciens kommt die nördliche Atlantikküste des spanischen Festlandes mit einem Potenzial von etwa 28 kW/m für die Installation von Wellenkraftwerken verschiedener Bauweisen infrage. Die Küste der Autonomen Asturien, Kantabrien und Baskenland sowie des nördlichen Abschnittes von Galicien verläuft auf einer Länge von etwa 650 km von der Staatsgrenze Spaniens zu Frankreich (FRA) bis zum Kap „Punta de Estaca de Bares“ (ISO-3166-1, 1974). Während die Wassertiefen vor der Atlantikküste Asturiens in einer Entfernung von etwa 40 km zur Küstenlinie von 250 m steil bis auf Wassertiefen von 1000 m und mehr abfallen, liegt das Ende des Festlandssockels der Iberischen Halbinseln vor den Autonomen Kantabrien und dem Baskenland bereits in einer Entfernung von zehn bis 15 km zur Küstenlinie (OpenSeaMap, 2018). Bei der Festlegung der Vorranggebiete zur Nutzung der Wellenenergie wird eine Wassertiefe von

250 m nicht überschritten, was bedeutet, dass sich alle Vorrangflächen auf dem Festlandssockel der Iberischen Halbinsel befinden. Eingeschränkt werden diese Flächen von den parallel zur Küstenlinie verlaufenden Seewegen und deren Verbindungsstrecken zu den verschiedenen Hafenstädten der nördlichen Atlantikküste (MarineTraffic, 2019). Weiter werden die Vorrangflächen durch die bestehenden Schutzgebiete entlang der Atlantikküste eingeschränkt. In den Abbildungen Abbildung 53, Abbildung 54 und Abbildung 55 werden die im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgelegten Vorrangflächen in grün, bestehende Schutzgebiete in rot und die Seewege in orange aufgeführt. Die 100 m-Tiefenlinie wird in blau hervorgehoben. Die Vorrangflächen entlang der gesamten nördlichen Atlantikküste der Iberischen Halbinsel weisen eine Fläche von 9.230 km² auf. Die Bereiche der Vorrangflächen mit einer Wassertiefe von bis zu 100 m machen mit 4.260 km² etwa die Hälfte (46 %) der gesamten Vorrangflächen aus. Im Folgenden werden zunächst die möglichen Technologien für die nördliche Atlantikküste Spaniens vorgestellt und anhand zweier Beispiele hinsichtlich ihrer Leistung und der Anzahl der versorgten Haushalte berechnet. Weiter werden der Flächenbedarf, die Leistung sowie die versorgten Haushalte eines Wellenkraftparks von 20 Anlagen erläutert. Anschließend werden die Vorrangflächen unterteilt auf die jeweilige Autonomie entlang der Atlantikküste betrachtet und ein Überblick über die theoretisch mögliche Gesamtanzahl an Wellenkraftwerken der beiden Beispielkraftwerke gegeben. Da die Umsetzung der theoretisch möglichen Gesamtanzahl an Kraftwerksanlagen bedingt durch Nutzungskonflikte, beispielsweise mit der Fischerei oder der lokalen Schifffahrt, aber auch aufgrund des großen Investitionsvolumens, vor allem kurz- und mittelfristig, als nicht realistisch angesehen werden kann, werden für die jeweiligen Vorrangflächen der Autonomien konkrete Vorschläge für Standorte von Kraftwerksparks gegeben. Diese bilden schließlich die Grundlage für die in Kapitel 7 dargestellte Gegenüberstellung des Potenzials mit dem Energieverbrauch. Wie bereits für die Wellenkraftwerke entlang der Atlantikküste Galiciens, werden für die nachfolgenden Berechnungen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen von weniger als 100 m herangezogen.

Wie bereits entlang der westlichen Atlantikküste Galiciens ist in den Vorrangflächen der nördlichen Atlantikküste der Einsatz verschiedenster Technologien sowohl an der Küstenlinie, im küstennahen Bereich, als auch auf offenem Meer möglich (vgl. Kapitel 2.3 und Anhang A.2.). Zur besseren Einordnung der Vorrangflächen wird im Folgenden die Leistung, Stromproduktion und die möglichen versorgten Haushalte beispielhaft für die in Kapitel 2.3 beschriebenen Anlagentypen des WaveRollers im küstennahen Bereich und der Pelamis-Anlage auf offenem Meer dargestellt. Anlagentypen, welche sich an der Küstenlinie befinden, wie die des Wellenkraftwerkes in der baskischen Kleinstadt Mutriku (vgl. Kapitel 2.3) sind denkbar, werden im weiteren Verlauf jedoch nicht genauer betrachtet.

Der WaveRoller wird im küstennahen Meeresbereich mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m installiert. Wird bei dem an der nördlichen Atlantikküste des spanischen Festlandes mit einem Wellenpotenzial von etwa 28 kW/m eine Anlagengröße 20 m und ein Wirkungsgrad von 35 % der Anlage angenommen, ergibt sich die Leistung einer einzelnen Anlage zu knapp 200 kW. Wird weiter angenommen, dass die Anlage ganzjährig 24 Stunden pro Tag in Betrieb ist, ergibt sich eine jährliche Stromproduktion von 1.730 MWh, was zur Versorgung von etwa 490 spanischen 3-Personen-Haushalten mit einem jährlichen Strombedarf von 3.500 kWh reicht. Wird wie bereits für die Atlantikküste Galiciens ein Abstand von 20 m zwischen den einzelnen Anlagen angenommen, ergibt sich der Flächenbedarf eines einzelnen WaveRollers zu 0,0016 km². Ein Kraftwerkspark bestehend aus 20 WaveRollern beansprucht demnach eine Gesamtfläche von 0,032 km² und weist eine Leistung von vier Megawatt auf. Die jährliche Stromproduktion beläuft sich unter der Annahme eines

ganztägigen Betriebes der Anlagen auf 34.700 MWh, was dem Strombedarf von 9.900 spanischen 3-Personen-Haushalten entspricht.

Die Pelamis-Anlage stellt beispielhaft eine Kraftwerksform für den Bereich des offenen Meeres dar. Die bis zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit installierten Anlagen befinden sich in Gewässertiefen von 50 m bis 60 m. Die Verankerung der Anlagen über Seile am Meeresgrund ermöglicht den Einsatz auch in größeren Wassertiefen und erhöht somit die nutzbaren Flächen. Für die Installation in den Vorranggebieten der drei Autonomen werden die Bereiche mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m herangezogen. Wird für die Berechnung der Leistung eine Pelamis-Anlage bestehend aus drei Segmenten, einem Durchmesser von 3,5 m und einem Wirkungsgrad von 70 % angesetzt, ergibt sich die Leistung einer einzelnen Anlage bei einem Wellenpotenzial von knapp 28 kW/m zu knapp 210 kW. Wird ein ganztägiger Betrieb der Anlage über den Zeitraum eines Jahres angenommen, ist eine jährliche Stromerzeugung von etwa 1.800 MWh möglich. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Strombedarf eines spanischen 3-Personen-Haushaltes von 3.500 kWh können über eine einzelne Anlage etwa 500 Haushalte versorgt werden. Wird für die Installation der Pelamis-Anlagen ein Abstand von 100 m angenommen ergibt sich ein Flächenbedarf von 0,01 km² pro Anlage. Ein Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen des Pelamistyps benötigt somit eine Gesamtfläche von 0,2 km² und weist eine Gesamtleistung von 4,2 MW auf. Die jährliche Stromproduktion des Kraftwerksparks beläuft sich auf knapp 36.500 MWh, was die Stromversorgung von etwa 10.000 spanischen 3-Personen-Haushalte deckt.

Die Vorrangflächen entlang der nordöstlichen Atlantikküste Galiciens sowie entlang der Küste Asturiens unterteilen sich in fünf von Seewegen getrennte Teilflächen (vgl. Abbildung 53). Aufgrund des relativ geringen Flächenanteils vor der galicischen Küste werden die beiden Autonomen im Folgenden gemeinsam betrachtet. Das küstennahe Vorranggebiet östlich der Stadt Gijón setzt sich über die Autonomiegrenze von Asturien entlang der Atlantikküste Kantabriens fort. Für die Flächenermittlung wurde die Lage der Autonomiegrenze herangezogen. Insgesamt beläuft sich das Ausmaß der Vorrangflächen mit Wassertiefen von bis zu 250 m auf 6.930 km². Der Bereich mit Wassertiefen von weniger als 100 m beträgt mit 2.850 km² knapp 41 % der Vorrangfläche für Wellenkraftwerke.

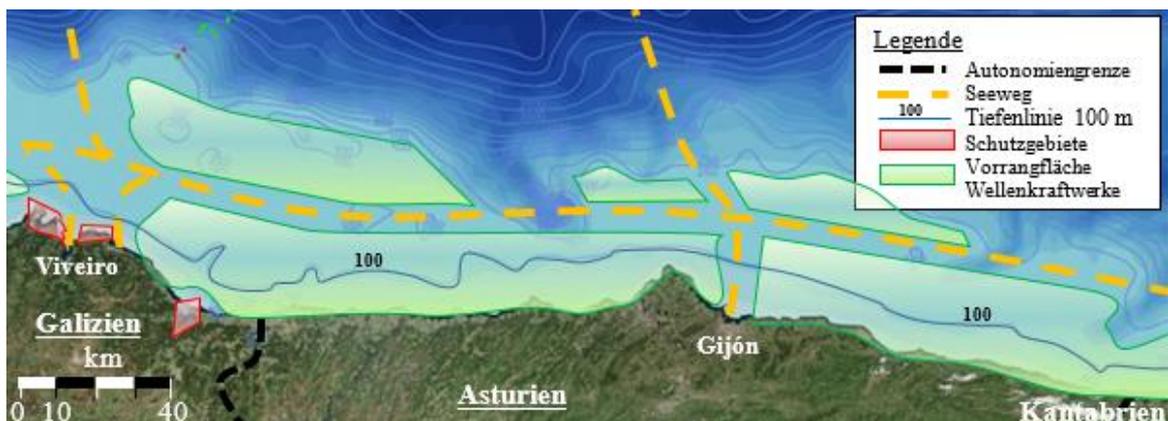


Abbildung 53: Vorrangflächen zur Installation von Wellenkraftwerken entlang der Atlantikküste Asturiens und der nordöstlichen Atlantikküste Galiciens (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

Der Bereich entlang der Küste mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m beginnt in etwa 300 m vor der Küstenlinie und erstreckt sich durchschnittlich bis in eine Entfernung von 1,5 km zur Küstenlinie. Für den Küstenabschnitt des nordöstlichen Bereichs Galiciens und Asturiens beträgt die

Fläche der Vorranggebiete mit einer Wassertiefe zwischen acht und 20 m etwa 260 km². Wird der Flächenbedarf eines einzelnen WaveRollers von 0,0016 km² angesetzt, bietet dieser Bereich theoretischen Platz für insgesamt 162.500 solcher Anlagen mit einer theoretischen Gesamtleistung von 32.200 MW.

Zur Installation von Kraftwerkstypen wie der Pelamis-Anlage werden die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m herangezogen. Diese erstrecken sich von einem durchschnittlichen Abstand von 1,5 km zur Küstenlinie bis hin zu der in Abbildung 53 blau hervorgehobenen 100 m-Tiefenlinie. Entlang der Atlantikküste Asturiens und dem Nordosten Galiciens beläuft sich die Vorrangfläche mit diesen Wassertiefen auf knapp 2.300 km². Wird für die Installation einer einzelnen Pelamis-Anlage ein Flächenbedarf von 0,01 km² angenommen, ergibt sich die theoretisch mögliche Gesamtanzahl vor der Küste Asturiens von 230.000 Anlagen. Die hieraus resultierende theoretisch mögliche Gesamtleistung beträgt 47.840 MW.

Vorrangig sollten Standorte für Kraftwerksparkes sowohl im küstennahen Bereich als auch im offenen Meer gewählt werden, welche zur Minimierung der Energieverluste während des Transports eine möglichst geringe Distanz zum Stromabnehmer, beispielsweise einer Stadt, Infrastruktureinrichtung oder der Industrie aufweist. Entlang der asturischen Küste ist dies im Gebiet um die Stadt Gijón sowie im Bereich der Autonomiegrenze zu Galicien gegeben. Somit stellen die Bereiche westlich und östlich des Seeweges zu den Hafenanlagen Gijóns, als auch der Bereich der Autonomiegrenze zu Galicien vorrangig zu betrachtende Standorte für die Nutzung der Wellenenergie dar. Im Bereich der Vorrangflächen vor der galicischen Atlantikküste ist der östlich von Viveiro gelegene Bereich der Vorrangflächen bedingt durch mehrere größere Hafenanlagen und die dort lebende Bevölkerung (bspw. Stadt Foz: knapp 10.000 Einwohner) zu nennen (Ayuntamiento de Foz, 2018).

Die Vorrangflächen für Wellenkraftwerke entlang der Atlantikküste Kantabriens werden durch den parallel zur Küstenlinie verlaufenden Seeweg sowie die Zufahrtswege zu den Hafenanlagen in vier Teilbereiche unterteilt (vgl. Abbildung 54). Während die westlich der Stadt Santander gelegene Vorrangfläche an der Autonomiegrenze zu Asturien an die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Vorrangfläche anschließt, werden in östlicher Richtung die Vorrangflächen Kanabriens durch den Zufahrtskorridor nach Bilbao (entlang der Autonomiegrenze) begrenzt. Die Vorrangflächen mit Wassertiefen von bis zu 250 m entlang der Atlantikküste Kantabriens weisen eine Gesamtfläche von 1.120 km² auf, wobei mit etwa 760 km² knapp 68 % Wassertiefen von weniger als 100 m aufweisen.

Der Bereich entlang der Atlantikküste Kantabriens mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m liegt durchschnittlich in einer Entfernung zwischen 250 m und 1,1 km zur Küstenlinie. Hieraus ergibt sich ein Bereich mit Wassertiefen von acht bis 20 m der festgelegten Vorrangflächen von knapp 80 km². Unter Berücksichtigung des Platzbedarfs von 0,0016 km² eines einzelnen WaveRollers ergibt sich für den küstennahen Bereich der Vorrangflächen der kantabrischen Küste eine theoretische Anzahl von maximal 50.000 möglichen Anlagen und eine theoretische Gesamtleistung von etwa 9.900 MW.

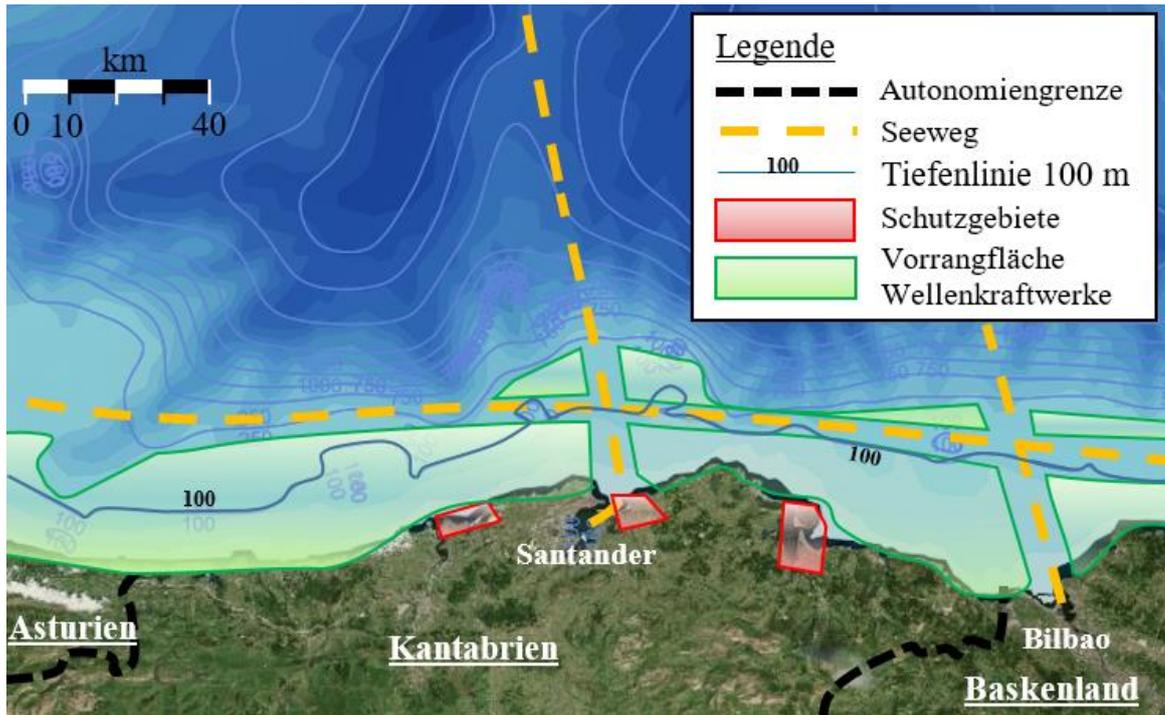


Abbildung 54: Vorrangflächen zur Installation von Wellenkraftwerken entlang der Atlantikküste Kantabriens (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

Die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen von 25 m bis 100 m, welche beispielsweise zur Installation von Kraftwerkstypen der Pelamis-Anlage genutzt werden können, erstrecken sich ab einer Distanz von durchschnittlich 1,5 km vor der Küstenlinie bis zu der in Abbildung 54 blau hervorgehobenen 100 m-Tiefenlinie. Im Küstenabschnitt der Autonomie Kantabriens weisen 610 km² der im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgelegten Vorrangflächen eine Wassertiefe von zwischen 25 m und 100 m auf. Unter Berücksichtigung des Flächenbedarfs von 0,01 km² einer einzelnen Pelamis- Anlage ergibt sich die theoretisch mögliche Gesamtanzahl von 61.000 Anlagen vor der Küste Kantabriens. Die korrespondierende theoretisch mögliche Gesamtleistung beläuft sich demnach auf 12.600 MW.

Besonders im Bereich der Stadt Santander mit ihren 175.000 Einwohnern, ansässigen Industrie und verschiedenen infrastrukturellen Anlagen bietet sich die Errichtung von Wellenkraftwerken an (Ayuntamiento de Santander, 2018). Sowohl westlich als auch östlich des Seeweges zu den Hafenanlagen der Stadt befinden sich vorrangig zu betrachtende Standorte für Wellenkraftwerksparkes. Zudem stellt der Bereich der Autonomiegrenze zwischen Kantabrien und dem Baskenland wegen der geringen Distanz zur baskischen Stadt Bilbao einen weiteren Standort zur Errichtung eines Wellenkraftwerksparkes dar.

Mit 1.180 km² liegen die Vorrangflächen für Wellenkraftwerke mit Wassertiefen von bis zu 250 m entlang der Atlantikküste des spanischen Baskenlandes in einer ähnlichen Größenordnung wie die Kantabriens (vgl. Abbildung 55). Allerdings fällt der Anteil der Flächen mit Wassertiefen von weniger als 100 m mit 55 %, 650 km², geringer aus, als bei der benachbarten Autonomie.

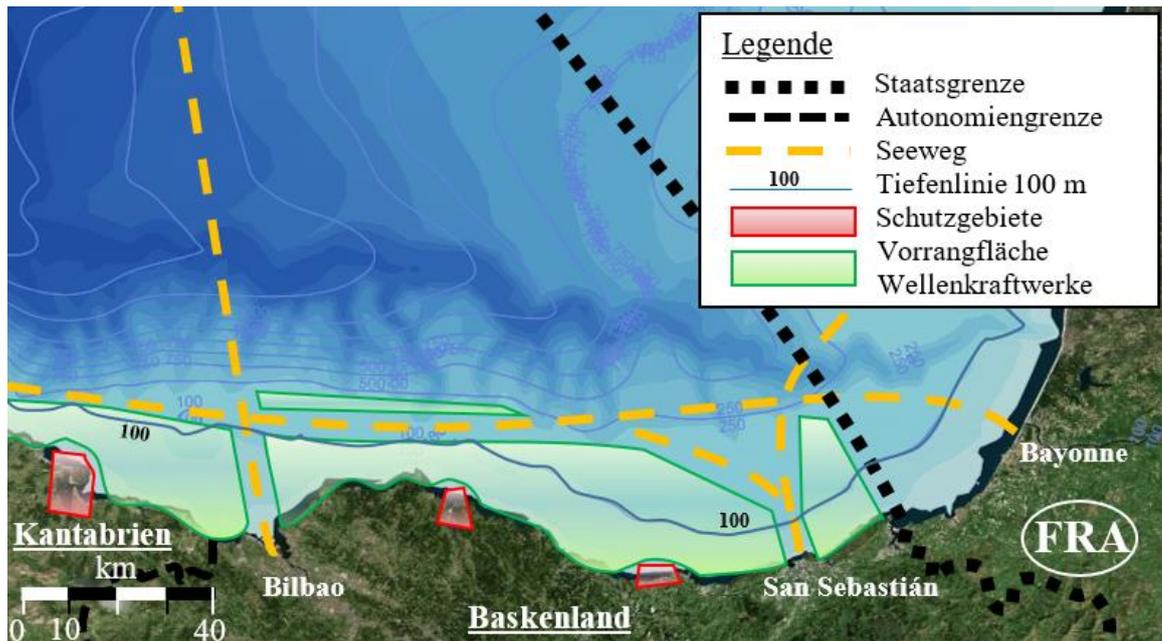


Abbildung 55: Vorrangflächen zur Installation von Wellenkraftwerken entlang der Atlantikküste des spanischen Baskenlandes (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

Der Bereich der Vorrangflächen entlang der baskischen Atlantikküste mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m erstreckt sich durchschnittlich in einer Entfernung von 300 m und 1,2 km zur Küstenlinie. Hieraus ergibt sich eine Fläche von 63 km² mit Wassertiefen von acht bis 20 m entlang der Vorrangflächen für Wellenkraftwerke des baskischen Küstenabschnittes. Bei einem Flächenbedarf eines einzelnen WaveRollers von 0,0016 km² bietet der küstennahe Bereich der baskischen Vorrangflächen theoretischen Platz für maximal 39.375 WaveRoller, was bei einer Leistung von 200 kW einer einzelnen Anlage eine theoretische Gesamtleistung von 7.800 MW ergibt.

Der Bereich der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m beginnt mit einem durchschnittlichen Abstand von 1,5 km zur Küstenlinie und reicht bis hin zur in Abbildung 55 blau hervorgehobenen 100 m-Tiefenlinie. Dieser Bereich weist eine Fläche von etwa 550 km² auf und kann beispielsweise für die Installation der Pelamis-Anlage genutzt werden. Bei einem Flächenbedarf einer einzelnen Pelamis-Anlage von 0,01 km² ergibt sich für diese Bereiche der Vorrangflächen vor der baskischen Atlantikküste eine theoretisch mögliche Gesamtanzahl von 55.000 Anlagen mit einer theoretischen Gesamtleistung von 11.440 MW.

Bedingt durch den dauerhaft vorhandenen Energiebedarf der Städte Bilbao (350.000 Einwohner) und San Sebastián (186.000 Einwohner) sowie der dazugehörigen Industrie und infrastrukturellen Einrichtungen sind die Bereiche der Vorrangflächen östlich des Seeweges nach Bilbao sowie westlich und östlich des Seeweges nach San Sebastián vorrangig zur Installation von Wellenkraftwerksparks geeignet. (Ayuntamiento de Bilbao, 2016) (Ayuntamiento de Donostia, 2018)

- **Osmosekraftwerke an den Flüssen der Atlantikküste**

Wie bereits der Fluss Ebro an der Mittelmeerküste stellen die in den Atlantik mündenden Flüsse des spanischen Festlandes potenzielle Standorte zur Energiegewinnung über Osmosekraftwerke dar. Da der genaue Mindestabfluss und somit auch die mögliche zu entnehmende Wassermenge der Flüsse nicht bekannt ist, wird im Folgenden für die einzelnen Flüsse die Kraftwerksgröße so ausgelegt, dass die zu entnehmende Wassermenge bei etwa zehn bis maximal 15 % des Gesamtabflusses liegt. Wird bei der genaueren Planung, einschließlich ökologischer Gutachten, eines Standortes die Möglichkeit einer größeren zu entnehmenden Flusswassermenge festgestellt, kann ein Osmosekraftwerk an diesem Standort entsprechen angepasst werden. Für die Berechnung wird von einem Wirkungsgrad η des Osmosekraftwerkes von 25 % und einer Wasserverfügbarkeit f_{water} von 1 ausgegangen. Für den Betrieb der Kraftwerke wird von 24 Stunden pro Tag ausgegangen. Die über die jeweiligen Kraftwerke versorgten Haushalte beziehen sich auf spanische 3-Personen-Haushalte mit einem jährlichen Stromverbrauch von etwa 3.500 kWh. Die mögliche Leistung eines Osmosekraftwerkes an den verschiedenen in den Atlantik mündenden Flüssen, sowie der prozentuale Anteil des für den Betrieb des Kraftwerks benötigten Flusswassers am Gesamtabfluss werden, analog zu den in Kapitel 6.1 beschriebenen Vorgehen, gemäß Gleichung 19 und Gleichung 20 ermittelt.

Der nördlich der andalusischen Provinzhauptstadt Cádiz in den Atlantik mündende Guadalquivir weist einen Gesamtabfluss von knapp 103 m³/s auf. Für ein Osmosekraftwerk einer Leistung von 10 MW werden 16 m³/s des Abflusses benötigt. Dies entspricht etwa 15,5 % des Gesamtabflusses. Bei einem ganztägigen Betrieb des Kraftwerkes beläuft sich die jährliche Stromproduktion auf 87.600 MWh, was zur Versorgung von 25.000 spanischen 3-Personen-Haushalten mit Strom reichen würde. Da es sich beim Guadalquivir jedoch um Spaniens einzigen schiffbaren Fluss handelt und sein Abfluss den Nationalpark Doñana, welches Spaniens wichtigstes Feuchtgebiet ist, speist, ist davon auszugehen, dass die mögliche Süßwasserentnahmemenge gering ausfällt (Gobierno de España, Guadalquivir - Historia, 2017) (Gobierno de España, Parque Nacional de Doñana, 2018). Dementsprechend ist davon auszugehen, dass ein Osmosekraftwerk mit einer Leistung von 10 MW nicht zu realisieren ist. Ein Kraftwerk mit einer Leistung von einem Megawatt, würde etwa 1,5 % des Gesamtabflusses benötigen und würde bei ganztägigem Betrieb jährlich 8760 MWh Strom produzieren (2.500 Haushalte). Da die spanische Regierung jedoch jüngst (Jan. 2019) von der Europäischen Union ermahnt wurde den zu hohen und teilweise illegalen Süß- und Grundwasserverbrauch in der Region Doñana einzudämmen und zu verhindern, ist davon auszugehen, dass die Entnahme von Süßwasser zur Energiegewinnung über ein Osmosekraftwerk an diesem Standpunkt nicht zu realisieren ist (Planelles & Pellicer, 2019).

Der im Westen Asturiens bei der gleichnamigen Kleinstadt in den Atlantik mündende Fluss Navia weist einen Gesamtabfluss von knapp 63 m³/s auf. Mit knapp 13 % des Gesamtabflusses (8 m³/s) kann an diesem Standort ein Osmosekraftwerk mit einer Leistung von fünf Megawatt errichtet werden, welches jährlich 43.800 MWh Strom produzieren und somit rund 12.000 spanischer 3-Personen-Haushalte mit Elektrizität versorgen könnte. Da der Mündungsbereich des Flusses als Ästuar der Auswirkung der Gezeiten ausgesetzt ist, ist von einer vergrößerten Brackwasserzone auszugehen (BAW, 2014). Somit ist das benötigte Süßwasser weiter im Landesinneren anzutreffen, wodurch die für das Pumpen des Wassers zum Kraftwerk benötigte Energiemenge ansteigt und die

effektive Energiegewinnung schmälert. Entlang des Flusses sowie in dessen Mündungsbereich bestehen keine Schutzgebiete, welche Einfluss auf die Umsetzung eines Osmosekraftwerkes haben könnten.

Die Flüsse Ulla und Nalón, welche an der Westküste Galiciens bzw. 30 km westlich der asturischen Stadt Gijón in den Atlantik münden, stellen mit knapp 60 m³/s und 55 m³/s die dritt- und viertgrößten Süßwasserabflüsse entlang der Atlantikküste des spanischen Festlandes dar. Ähnlich wie für den bereits beschriebenen Fluss Navia, beläuft sich der Süßwasserbedarf eines fünf Megawatt Osmosekraftwerkes auf etwa 13 %, bzw. 14,5 % des Gesamtabflusses der beiden Flüsse. Ein solches Kraftwerk produziert bei ganztägigem Betrieb 43.800 MWh und könnte den Strombedarf von etwa 12.000 spanischer 3-Personen-Haushalte decken. An beiden Standorten bestehen keine Schutzgebiete, welche Einfluss auf die Umsetzung eines Osmosekraftwerkes haben könnten. Da jedoch die auftretenden Gezeiten mit einem durchschnittlichen Tidenhub von 2,40 m im Mündungsbereich des Ulla und 2,77 m im Mündungsbereich des Nalón (vgl. Kapitel 3.2) Auswirkung auf die Größe der bestehenden Brackwasserzonen haben, ist mit einem erhöhten Pumpenaufwand und somit einer geschmälernten Energiegewinnung zu rechnen.

Der Abfluss der Flüsse Nervión (Bilbao/Baskenland), Oria (Orio/Baskenland) und Bidaso (Irún/Baskenland/französisch-spanische Grenze) in den Atlantik liegt zwischen knapp 25 m³/s und 30 m³/s. Für ein Osmosekraftwerk einer Leistung von zwei Megawatt sind 3,2 m³/s Flusswasser nötig. Dies entspricht etwa elf (Nervión), zwölf (Oria) und 13 % des Gesamtabflusses der einzelnen Flüsse. Die jährliche Stromproduktion eines einzelnen Osmosekraftwerkes mit der Leistung von zwei Megawatt beläuft sich bei ganztägiger Auslastung des Kraftwerkes auf etwa 17.500 MWh und reicht zur Versorgung von 5.000 spanischen 3-Personen-Haushalten. Wie auch bei den vorherig beschriebenen Flüssen am Atlantik sind die Mündungsbereiche der drei Flüsse ebenfalls von den auftretenden Gezeiten mit einem durchschnittlichen Tidenhub von 3,05 m betroffen (vgl. Kapitel 3.2). An keinem der drei Mündungsbereiche ist ein Schutzgebiet ausgewiesen, was eine Umsetzung eines Kraftwerkes erleichtern würde. Die Mündungen der Flüsse Nervión und Bidaso liegen innerhalb des Stadtgebietes von Bilbao (350.000 Einwohner), bzw. der Stadt Irún (63.000 Einwohner) auf spanischer Seite und der Stadt Hendaye (17.000 Einwohner) auf französischer Seite (Ayuntamiento de Bilbao, 2016) (Ayuntamiento de Irun, 2019) (Ville d'Hendaye, 2018). Bedingt durch die Größe der Städte und der vorhandenen Infrastruktur mit Häfen, Flughäfen und Bahnhöfen besteht ein konstanter Energiebedarf in direkter Nähe zu den möglichen Standorten eines Osmosekraftwerkes an den beiden Flüssen.

Der Fluss Eo an der Autonomiegrenze zwischen Galicien und Asturien, welcher bereits im Rahmen der Gezeitennutzung vorgestellt wurde, weist einen Gesamtabfluss von knapp 20 m³/s auf. Mit etwa acht Prozent des Abflusses, was 1,6 m³/s entspricht, könnte ein Osmosekraftwerk mit einer Leistung von einem Megawatt betrieben werden. Die Stromproduktion bei ganztägigem Betrieb beläuft sich für ein solches Kraftwerk auf 8.760 MWh und könnte rund 2.500 spanische 3-Personen-Haushalte mit Elektrizität versorgen. Da der Mündungsbereich des Flusses jedoch ebenfalls unter dem Einfluss der Gezeiten steht, ist Süßwasser erst am Ende des etwa zehn Kilometer langen Ästuars anzutreffen.

Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung der vorliegenden Arbeit ist eine wirtschaftliche Nutzung großer Osmosekraftwerke, wie sie in der vorliegenden Arbeit berechnet und beschrieben wurden aufgrund nicht ausgereifter Membrantechnik nicht möglich (vgl. Kapitel 2.5). Vielmehr stellen die aufgeführten Standorte an den acht größten Flüssen entlang der Atlantikküste potentielle Standorte dar,

welche mit einer Weiterentwicklung der Membrantechnik in den kommenden Jahren von Interesse bei der Energiegewinnung aus erneuerbaren Energien werden können.

6.3. Kanarische Inseln

- **Wellenkraftwerk im nördlichen Atlantikbereich der Kanarischen Inseln**

Neben der westlichen Atlantikküste Galiziens und der nördlichen Atlantikküste der Iberischen Halbinsel, bzw. der Autonomen Galizien, Asturien, Kantabriens und Baskenlands, stellen die nördlichen und nordwestlichen Küstenabschnitte der meisten Kanarischen Inseln weitere Standorte zur Nutzung der Wellenenergie dar. Mit durchschnittlich knapp 25 kW/m handelt es sich bei den Kanarischen Inseln zudem um die Region mit dem dritthöchsten Potenzial der gesamten spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone. Anders als an den Küsten des spanischen Festlandes fällt der Meeresgrund im Umkreis der einzelnen Inseln des Archipels aufgrund ihres vulkanischen Ursprungs und der Lage im offenen Meer (Atlantik) zwischen minimal 100 km und maximal 520 km westlich des afrikanischen Kontinentes innerhalb kurzer Entfernung zur Küstenlinie (25 km) steil auf teils bis zu drei Kilometern ab (Geo, 2011). An den Nordküsten der Inseln La Palma, Teneriffa, Gran Canaria fallen die Wassertiefen innerhalb von durchschnittlich zwei bis drei Kilometern Entfernung zur Küstenlinie auf unter 100 m ab. Ausnahmen bilden die beiden östlichsten Kanareninseln Fuerteventura und Lanzarote, an deren Westküsten eine Wassertiefe von 100 m erst in etwa zehn Kilometern Entfernung zur Küstenlinie vorzufinden ist. Aus diesem Grund fallen die für die Nutzung der Wellenenergie infrage kommenden Flächen entlang der Küsten wesentlich kleiner aus als die entlang des spanischen Festlandes. Neben den Wassertiefen werden die Lage und die Ausdehnung der Vorrangflächen durch die bestehenden Seewege und die bereits bestehenden Schutzgebiete begrenzt. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Vorrangflächen im Umkreis der Kanarischen Inseln, sowie die bestehenden Seewege und Schutzgebiete sind dem Anhang A.22. zu entnehmen. (OpenSeaMap, 2018)

Die entlang der Küsten der einzelnen Inseln ermittelten Vorrangflächen weisen insgesamt eine Fläche von 1377 km² auf. Die Bereiche der Vorrangflächen mit einer Wassertiefe zwischen acht und 20 m stellen mit etwa 225 km² etwa 16 % der gesamten Vorrangflächen, während sich der Anteil der Flächen mit einer Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m auf 699 km² beläuft und etwa die Hälfte der gesamten Vorrangflächen einnimmt. Wie bereits für die beiden Standorte für Wellenkraftwerke entlang der spanischen Festlandküste ist auch an den Kanarischen Inseln der Einsatz von Wellenkraftwerken an der Küstenlinie, im küstennahen Bereich und auf dem offenen Meer möglich (vgl. Kapitel 2.3 und Anhang A.2.). Bedingt durch den steiler abfallenden Meeresgrund kann davon ausgegangen werden, dass für Anlagen im küstennahen Bereich wie den WaveRoller nur relativ geringe Flächen zur Verfügung stehen. Vorteil des steiler abfallenden Meeresgrundes ist die abnehmende Entfernung zum Tiefenwasser, wo Anlagen für das offene Meer wie die Pelamis-Anlage zum Einsatz kommen und die größere Wellenenergie des offenen Meeres genutzt werden kann. Ebenfalls denkbar ist die Integration von Wellenkraftwerken in die Küstenlinie, bzw. an oder in Bauwerken (Hafenbauwerken, Wellenbrechern, etc.).

Im Folgenden werden für die Technologien des WaveRollers im küstennahen Bereich mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m sowie für die Pelamis-Anlage des offenen Meeres mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m die Leistung und die über eine Anlage versorgten Haushalte ermittelt. Zusätzlich werden der Flächenbedarf, die Leistung sowie die versorgten Haushalte eines Kraftwerksparks bestehend aus 20 Anlagen des jeweiligen Kraftwerkstypen dargelegt. Anschließend werden die Vorrangflächen entlang der Küsten der einzelnen Inseln separat voneinander betrachtet. Für jede der fünf Inseln, welche für eine Nutzung der Wellenenergie infrage kommt, wird die theoretisch mögliche Gesamtanzahl an Wellenkraftwerken für WaveRoller bzw. Pelamis-Anlagen angegeben. Da diese Anzahl an theoretisch möglichen Kraftwerken aufgrund von Nutzungskonflikten mit der Fischerei, der lokalen Schifffahrt und einem enormen Investitionsvolumen vor allem kurz- und mittelfristig als nicht realisierbar eingestuft wird, werden für die einzelnen Inseln Vorschläge für Standorte von Kraftwerksparks gemacht. Diese dienen in Kapitel 7 der Gegenüberstellung des Potenzials mit dem Energieverbrauch. Wie bereits für die Vorrangflächen entlang des spanischen Festlandes werden für die Berechnungen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit die Bereiche mit Wassertiefen bis maximal 100 m herangezogen. Die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 100 m und 250 m können zwar ebenfalls erschlossen werden, sind jedoch bedingt durch eine wesentlich kostenintensivere Gründung sowie der größeren Entfernung zum Festland und damit höheren Kosten für die Verlegung von Kabeln und größeren Stromverlusten zunächst als Reserveflächen zu betrachten. Die Berechnungen sind dem Anhang A.22. beigelegt.

Wird für den WaveRoller eine Anlagengröße von 20 m und ein Wirkungsgrad von 35 % angenommen ergibt sich bei dem bestehenden Wellenpotenzial im Bereich der Kanarischen Inseln von knapp 25 kW/m eine Leistung einer einzelnen Anlage von etwa 175 kW. Wird ein ganzjähriger Betrieb der Anlage von 24 Stunden pro Tag zugrunde gelegt, ergibt sich eine jährliche Stromproduktion von 1.540 MWh. Bei einem durchschnittlichen Strombedarf von 3.500 kWh im Jahr eines spanischen 3-Personen-Haushaltes können rund 440 Haushalte mit Strom versorgt werden. Zur effizienteren Nutzung, bzw. Einsparung von Kosten für die Verlegung von Meereskabel, etc. werden mehrere WaveRoller zu einem Kraftwerkspark zusammengefasst. Wird hierbei ein Abstand von 20 m zwischen den einzelnen Anlagen angenommen, ergibt sich ein Flächenbedarf eines einzelnen WaveRollers von 0,0016 km², während ein Kraftwerkspark von 20 Anlagen eine Meeresgrundfläche von 0,032 km² beansprucht. Ein solcher Kraftwerkspark weist entlang der Küsten der Kanarischen Inseln eine Gesamtleistung von 3,5 MW auf. Wird ein ganztägiger Betrieb des Kraftwerksparks zugrunde gelegt, beläuft sich die jährliche Stromproduktion auf 30.900 MWh. Dies entspricht dem Strombedarf von etwa 8.800 spanischen 3-Personen-Haushalten.

Für einen Kraftwerkspark bestehend aus Pelamis-Anlagen der gleichen Anlagenzahl wie bei dem des WaveRollers werden die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m herangezogen. Für eine einzelne Pelamis-Anlage bestehend aus drei Segmenten und einem Durchmesser von 3,5 m wird ein Wirkungsgrad von 70 % angenommen. Bei dem bestehenden Wellenpotenzial von knapp 25 kW/m ergibt sich eine Leistung einer einzelnen Anlage von 185 kW. Bei ganztägigem Betrieb des Kraftwerkes beläuft sich die jährliche Stromproduktion auf 1.620 MWh, was die Versorgung von 460 spanischen 3-Personen-Haushalten mit einem durchschnittlichen Strombedarf von 3.500 kWh deckt. Unter Berücksichtigung der Annahme einer möglichen Installation der Pelamis-Anlagen im Abstand von 100 m zueinander ergibt sich ein Flächenbedarf von 0,01 km² pro Anlage. Ein Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen beansprucht demnach eine Gesamtfläche von 0,2 km². Seine Gesamtleistung beträgt bei einem Wellenpotenzial von 25 kW/m etwa 3,7 MW. Über den Zeitraum von einem Jahr können über den Kraftwerkspark

32.400 MWh Strom generiert werden und damit die Stromversorgung von 9.250 spanischen 3-Personen-Haushalten gedeckt werden.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit entlang der nördlichen Küste der Insel La Palma ermittelten Vorrangflächen weisen eine Gesamtfläche von 22 km² auf. Es handelt sich um zwei, durch ein Schutzgebiet voneinander separierte Flächen. Die Bereiche mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m machen aufgrund des steil abfallenden Meeresgrundes lediglich 1 km² der Vorrangflächen aus. Unter Berücksichtigung der Annahme einer möglichen Installation von Kraftwerken des Typs WaveRoller im Abstand von 20 m zueinander ergibt sich eine theoretisch mögliche Stückzahl von 625 Anlagen entlang der Nordküste La Palmas. Die theoretisch mögliche Gesamtleistung dieser Anlagen liegt bei 110 MW. Die Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m betragen mit 14 km² knapp 60 % der gesamten Vorrangflächen der Insel. Bei einer Errichtung von Pelamis-Anlagen im Abstand von 100 m bietet dieser Bereich Platz für insgesamt 1.400 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 259 MW. Aufgrund der hauptsächlich auftretenden Wind- und Wellenrichtung von Norden und Nordosten sollte die Vorrangfläche der Inseln La Palma zuerst bei einer Planung zu Errichtung eines Wellenkraftwerksparkes betrachtet werden. Da das Stromnetz der Inseln keine Verbindung zu den Nachbarinseln besitzt, kann über ein Wellenkraftwerk neben der Steigerung des Anteils an Erneuerbarer Energien auch die Versorgungssicherheit der Insel verbessert werden. (OpenSeaMap, 2018)

Entlang der nördlichen Küste der Insel Teneriffa wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zwei durch ein Schutzgebiet separierte Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie ermittelt. Die Gesamtfläche der Gebiete beläuft sich auf etwa 92 km², wobei etwa 16 km² eine Wassertiefe zwischen acht und 20 m und etwa 40 km² Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m aufweisen. Die küstennahen Bereiche der Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m bieten unter Berücksichtigung der benötigten Fläche von 0,0016 km² eines einzelnen WaveRollers theoretisch Platz für insgesamt 10.000 Kraftwerke mit einer Gesamtleistung von 1.763 MW. Im 40 km² großen Bereich der ermittelten Vorrangflächen mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m ist eine theoretische Stückzahl von 4.000 Pelamis-Anlagen denkbar. Die Gesamtleistung aller Anlagen läge bei 741 MW. Bedingt durch die geringe Entfernung zur Stadt Santa Cruz de Teneriffa von knapp 10 km und aufgrund der Tatsache, dass Abschnitt der Vorrangflächen entlang des nordöstlichen Endes der Insel Teneriffa gegenüber der vorrangig auftretenden Wind- und Wellenrichtung ungeschützt ist, stellt dieser den vorrangig zu betrachtenden Standort zur Errichtung eines oder mehrerer Wellenkraftwerksparkes dar. (OpenSeaMap, 2018)

An den Küsten der Insel Gran Canaria befinden sich zwei, für die Nutzung der Wellenenergie vorrangig zu betrachtende Gebiete entlang der westlich und entlang der südlich gelegenen Atlantikküste der Stadt Las Palmas de Gran Canaria. Da die am nordöstlichen Ende der Insel gelegene Halbinsel von dem Landschaftsschutzgebiet „La Isleta“ umringt ist, können hier keine Wellenkraftwerke vorgesehen werden. Damit trennt dieses Gebiet die beiden Vorrangflächen voneinander (Gobierno de Canarias, Paisaje Protegido de La Isleta (C-22), 2015). Die Gesamtfläche der beiden Vorrangflächen beträgt 56 km², wobei 7 km² eine Wassertiefe zwischen acht und 20 m und 28 km² eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m aufweisen. Der kleinere Flächenanteil mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m bietet, unter Einbeziehung des Flächenbedarfs von 0,0016 km² einer einzelnen Anlage, theoretisch Platz für insgesamt 4.375 WaveRoller-Anlagen. Dies entspricht einer theoretisch möglichen Gesamtleistung von 771 MW. Der in den Vorrangflächen enthaltene Bereich des offenen Meeres mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m bietet mit seiner Fläche von 28 km² die Möglichkeit zur Installation von maximal 2.800 Pelamis-Anlagen mit einer Gesamtleistung von

518 MW. Bedingt durch die geringe Entfernung zur Stadt Las Palmas de Gran Canaria und dem damit gegebenen Strombedarf der Bevölkerung von knapp 378.000 Einwohnern sowie den bestehenden infrastrukturellen Anlagen, wie der Hafenanlagen in der Stadt und dem Flughafen an der Ostküste der Insel, stellt die Vorrangfläche entlang der südöstlich der Stadt gelegenen Küste den vorrangig zu betrachtenden Standort zur Errichtung eines Wellenkraftwerksparkes dar (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2019). Weiter liegt zwischen Las Palmas de Gran Canaria und dem Flughafen von Gran Canaria das Plocan-Testgelände für Wind- und Wellenkraftwerke (vgl. Kapitel 3) und stellt Know-how und eine bereits bestehende Infrastruktur zur Verfügung (APPA, 2013) (Gobierno de España, The Oceanic Platform of the Canary Islands installed in the test site of the Consortium, 2016). (OpenSeaMap, 2018)

Mit Ausnahme des Landschaftsparks „Parque Rural de Betancuria“ stellt die gesamte Nordwestküste der Insel Fuerteventura eine Vorrangfläche zur Nutzung der Wellenenergie dar (Gequo, 2017). Bedingt durch die, im Gegensatz zu den vorangegangenen beschriebenen Inseln, wesentlich langsamer abnehmenden Wassertiefen vor der Nordwestküste Fuerteventuras, ergeben sich deutlich größere Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie. Erst in einer durchschnittlichen Entfernung von zehn Kilometern zur Küstenlinie wird eine Wassertiefe von 100 m erreicht. Nördlich des Landschaftsparks erstrecken sich die Bereiche mit Wassertiefen von unter 25 m teilweise bis zu sieben Kilometer vor die Küstenlinie. Die in Anhang A.22. grün dargestellten Vorrangflächen weisen eine Gesamtgröße von 784 km² auf. Knapp 480 km² der Vorrangflächen, also knapp 60 % weisen eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m auf, während die Wassertiefen auf einer Fläche von 143 km² (knapp 20 % der Vorrangflächen) zwischen acht und 20 m liegen. Die Bereiche mit einer Wassertiefe von acht bis 20 m bieten, bei der Installation im Abstand von 20 m zwischen den einzelnen WaveRoller-Anlagen, Platz für insgesamt 89.375 Anlagen. Die damit theoretisch mögliche Leistung entlang der Westküste Fuerteventuras beträgt 15.750 MW. Bei einem angenommenen Flächenbedarf von 0,01 km² pro Pelamis-Anlage können in den Bereichen mit einer Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m insgesamt maximal 48.000 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 8.880 MW errichtet werden. Da die Bedingungen innerhalb der gesamten Vorrangfläche Fuerteventuras ähnlich sind, gibt es keinen speziell hervorzuhebenden Standort. (OpenSeaMap, 2018)

Wie auf der Nachbarinsel Fuerteventura befinden sich auch im Falle von Lanzarote die Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie entlang der Nordwestküste, die dem offenen Meer sowie dem vorrangig auftretenden Passatwind zugewandt ist. Während der südliche Teil der Vorrangflächen durch einen steil abfallenden Meeresgrund charakterisiert wird, ähnelt der nördliche Teil den wesentlich langsamer absinkenden Wassertiefen der Nachbarinsel Fuerteventuras. Durchquert wird die Vorrangfläche durch einen Fährweg, welcher von Bebauung freizuhalten ist (MarineTraffic, 2019). Die Gesamtfläche der Vorrangflächen Lanzarotes beträgt 423 km², wobei etwa ein Drittel der Flächen (137 km²) eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m aufweist. Wird für eine Pelamis-Anlage der Flächenbedarf von 0,01 km² angesetzt, lässt sich die Westküste Lanzarotes theoretisch mit insgesamt 13.700 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 2.530 MW bestücken. Die Fläche mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m beträgt 58 km². Wird auch für diesen Bereich angenommen, dass Wellenkraftwerke vom Typ WaveRoller im Abstand von 20 m zueinander errichtet werden können, ist eine theoretisch eine maximale Anzahl von 36.250 Anlagen möglich, deren Gesamtleistung bei knapp 6.400 MW liegt. Wie auch bei den Vorrangflächen Fuerteventuras ist auch entlang der Westküste Lanzarotes kein Standort innerhalb der Vorrangflächen aufgrund eines erhöhten Strombedarfs, beispielsweise einer Stadt, gesondert hervorzuheben. (OpenSeaMap, 2018)

Bedingt durch die Ausrichtung der nördlichen bzw. nordwestlichen Küsten der Kanarischen Inseln und die damit gegebene Lage der Vorrangflächen in der vorrangig auftretenden Wind- und Wellenrichtung des offenen Meeres (vgl. Anhang A.12.), ist eine Kombination aus Wind- und Wellenkraftwerken denkbar.

7. Gegenüberstellung von Potenzial und Energiebedarf

Im folgenden Kapitel wird das Potenzial der Meeresenergie entlang der spanischen Küsten dem Energiebedarf Spaniens gegenübergestellt. Für die Gegenüberstellung werden die im vorangegangenen Kapitel ermittelten Standorte genutzt.

Wie aus Tabelle 4 ersichtlich wird, übersteigt das theoretische Potenzial der Meeresenergie entlang der spanischen Küsten mit einer Gesamtleistung von fast 207.400 MW und einer jährlich theoretischen Stromproduktion von 1.815.656 GWh den Strombedarf der jüngsten Vergangenheit von 268.163 GWh (2017) sowie den für 2050 im Rahmen der Desertec Studie prognostizierten Strombedarf von 320.100 GWh um ein vielfaches (vgl. Kapitel 3). Auch das Potenzial von etwa 330.500 GWh/a im Umkreis der Kanarischen Inseln, welche weder an das spanische Stromnetz des Festlandes angeschlossen noch mit dem afrikanischen Kontinent verbunden sind, übersteigt den Strombedarf des Archipels von 9.213 GWh aus dem Jahr 2016 um weites (vgl. Kapitel 3.3). Auffallend ist, dass der Hauptanteil des ermittelten Potenzials entlang der spanischen Küsten mit 99,8 % aus der Wellenenergie stammt. Dies deckt sich mit einer Vielzahl an Literaturangaben, welche die Atlantikküsten der Iberischen Halbinsel als einen der besten Standorte Europas zur Nutzung der Wellenenergie beschreiben (Graw & Müller, *In der Welle liegt die Kraft*, 2008) (World Energy Council, 2016, S. 7 f.) (Lübbert, 2005). Die spanische Technologie-Gesellschaft Tecnalía zählt die Küsten Galiciens und Kantabriens sogar zu den besten Standorten weltweit zur Nutzung der Wellenenergie (Tecnalía, 2008). Auch die von Greenpeace im Jahr 2005 publizierte Studie zum Potenzial der Erneuerbaren Energien in Spanien gesteht der Wellenenergie entlang der spanischen Küsten ein enormes Potenzial zu. Greenpeace geht davon aus, dass in spanischen Gewässern bis zum Jahr 2050 eine Leistung von 84.400 MW allein für Wellenkraftwerke installiert werden könne, wobei die Studie auch Galicien als besten Standort zur Nutzung der Wellenenergie angibt (Greenpeace, 2005, S. 12 ff.) (Bechberger, 2012).

Wie groß der Anteil der verschiedenen Nutzungsarten der Meeresenergie an der Energiebereitstellung Spaniens der Zukunft letztendlich sein wird, ist jedoch viel mehr von politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig als von dem tatsächlich bestehenden Potenzial. Weiter können die im Rahmen der globalen Erderwärmung häufiger eintretenden Extremwetterereignisse oder Katastrophen wie Tschernobyl und Fukushima diese Rahmenbedingungen beeinflussen (Hassol, 2017).

Tabelle 4: Potenzial der verschiedenen Nutzungsarten der Meeresenergie entlang der spanischen Küsten

Nutzungsarten der Meeresenergie	Standort	Leistung [MW]	Stromproduktion [MWh]	Stromproduktion [GWh]
Gezeitenkraftwerke	Ría del Eo (Galicien/Asturien)	14,32	62.740,9	62,7
	Bahía de Santander (Kantabrien)	41,38	181.253,2	181,3
Strömungskraftwerke	Gibraltar (Andalusien)	190,64	834.997,1	835,0
	Ría de Ferrol (Galicien)	0,04	322,4	0,3
Wellenkraftwerke	Galicien	47.437,50	415.552.500,0	415.552,5
	Asturien	80.077,00	701.474.520,0	701.474,5
	Kantabrien	22.607,00	198.037.320,0	198.037,3
	Baskenland	19.251,00	168.638.760,0	168.638,8
	Kanarische Inseln	37.738,00	330.584.880,0	330.584,9
Osmosekraftwerke *	Ebro	10,00	87.600,0	87,6
	Guadalquivir	1,00	8.760,0	8,8
	Río Navia	5,00	43.800,0	43,8
	Río Ulla	5,00	43.800,0	43,8
	Río Nalón	5,00	43.800,0	43,8
	Ría del Nerrvión	2,00	17.520,0	17,5
	Oria	2,00	17.520,0	17,5
	Bidasoa	2,00	17.520,0	17,5
	Río Eo	1,00	8.760,0	8,8
Summe		207.389,88	1.815.656.374	1.815.656

* bezogen auf den prozentualen Anteil am Gesamtabfluss aus Kapitel 6 bzw. Anhang A.20. und A.21.

8. Fazit und Ausblick

Die Nutzung der Meeresenergie als Teil der Erneuerbaren Energien stellt eine vor langer Zeit bereits genutzte Energiequelle dar, bei der es sich, abgesehen von Gezeitenkraftwerken in Dammbauweise, um eine recht junge Technologie zur Energiegewinnung handelt. Bis zum aktuellen Zeitpunkt befindet sie sich noch in ihren Anfängen (UBA, Energiegewinnung im Meer, 2010). Aufgrund des großen, weltweit vorhandenen energetischen Potenzials der Meere, wird dem Sektor der Meeresenergie unter anderem von Seiten der Europäischen Kommission, des World Energy Council und der European Ocean Energy Association (OEE), eine große Zukunft in der Energieversorgung vorausgesagt. Hierdurch kann bis zum Jahr 2020 mit der Entstehung von bis zu 26.000 und bis 2050 von einer halben Millionen neuer Arbeitsplätze auf europäischer Ebene gerechnet werden. (SETIS, 2013) (World Energy Council, 2016) (European Ocean Energy Association, 2011) (HIE, 2016)

Durch den geplanten Ausstieg der Atomkraft sowie der Minderung der Fossilen Energieträger an der Stromproduktion kombiniert mit Prognosen eines steigenden Energie- und Stromkonsums stellt die Meeresenergie einen Bestandteil der bis dato als Ersatz geltenden Erneuerbaren Energien dar (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2019). Auch der Übergang von Verbrennungsmotoren zur Elektromobilität oder möglicherweise auch zur Brennstoffzelle (Energiebedarf zur Erzeugung von Wasserstoff) trägt zu einer Erhöhung des Strombedarfes bei, die es zukünftig zu bewältigen gilt (BMU, Kurzinformation Elektromobilität bzgl. Strom- und Ressourcenbedarf, 2015, S. 9) (IWR, 2005). (ENVE, 2015)

Zur besseren Abschätzung der Möglichkeiten und Chancen der Meeresenergie wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Küsten des spanischen Staates sowie der zu Spanien gehörende Inselgruppe der Kanaren analysiert. Hierfür wurden zunächst die verschiedenen Nutzungsarten hinsichtlich ihrer Entstehung, Berechnungsansätze sowie bestehenden Technologien betrachtet. Anschließend wurde für die ermittelten Standorte der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone das bestehende Potenzial berechnet und Anwendungsempfehlungen ausgesprochen.

Mit einem Potenzial von 1.815.656 GWh entlang der spanischen Küsten hat die Meeresenergie die Chance, zukünftig ein bedeutender Baustein der spanischen Energieversorgung zu werden und bei der Steigerung des Anteils an Erneuerbaren Energien am spanischen Strommix maßgeblich mitzuwirken. Inwieweit die verschiedenen Technologien letztendlich Anteil an der Energiebereitstellung Spaniens haben werden, wird allerdings eher von den zukünftigen politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen auf nationaler, europäischer und globaler Ebene abhängen. Sicher wird auch die Entwicklung der anderen Erneuerbaren Energien wie Windenergie, Solarenergie, Biomasse, Geothermie, etc. Einfluss auf die Umsetzung bzw. den Erfolg der Meeresenergie haben. Weiter steigende Kosten für fossile Energieträger könnten den Ausbau der Erneuerbaren Energien und somit auch der Nutzung der Meeresenergie fördern und zukünftig die Standorte und Technologien für den wirtschaftlichen Einsatz erweitern (Landesregierung Schleswig-Holstein, 2012).

Zwar weisen die spanischen Küsten mit dem Ästuar des Flusses Eo an der galicisch-asturischen Autonomiengrenze und der Bucht von Santander (Kantabrien) zwei Standorte auf, welche von ihren geographischen Gegebenheiten für eine Nutzung der Gezeiten über Gezeitenkraftwerke in Dammbauweise geeignet wären, allerdings ist aufgrund des flächendeckend zu geringen Tidenhubes von unter vier Metern entlang der spanischen Küsten eine wirtschaftliche Energiegewinnung auszuschließen. Die Nutzung der aus den Gezeiten hervorgerufenen Strömungen hingegen ermöglicht eine Energiegewinnung in der

Bucht von Ferrol (Galicien). Auch im Bereich der Straße von Gibraltar bietet die durch die Gezeiten und den Wasseraustausch zwischen Atlantik und Mittelmeer hervorgerufene Strömung eine Möglichkeit zur Stromerzeugung über Strömungskraftwerke und die Möglichkeit einer Versorgung einer Vielzahl von spanischen Haushalten aus erneuerbaren Energien.

Die große Anzahl an entwickelten Technologien zur Nutzung der Wellenenergie von 170 verschiedenen Kraftwerkstypen im Jahr 2013 sowie die Schwerpunktlegung von vier der fünf spanischen Forschungseinrichtungen auf das Testen und Entwickeln von Wellenkraftwerken (vgl. Kapitel 3), verdeutlichen das große Potenzial und die Vielseitigkeit der Wellenkraft (SETIS, 2013). Entlang der spanischen Küsten stellt die Nutzungsart der Wellenenergie mit 99,8 % am ermittelten Gesamtpotenzial Spaniens den mit Abstand größten Anteil der Nutzungsarten der Meeresenergie dar. Erste Anlagen, wie die des Wellenkraftwerkes im baskischen Mutriku, werden bereits seit knapp zehn Jahren wirtschaftlich betrieben. Hinsichtlich des vorhandenen Platzes und Potenzials von 47,5 kW/m entlang der galicischen Westküste, 28 kW/m entlang der Nordküste des spanischen Festlandes und 25 kW/m im Bereich der Kanarischen Inseln bietet der Bereich der Wellenenergie die größten Chancen und Möglichkeiten Spaniens zur Energiegewinnung aus dem Meer.

Thermische Meereskraftwerke weisen zwar weltweit eines der größten Potenziale auf, sind aufgrund der im Durchschnitt über ein Jahr verteilten zu niedrigen Temperaturdifferenz für den Bereich der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone zum heutigen Zeitpunkt keine als wirtschaftlich zu betrachtende Technologie zur Energiegewinnung. Für Regionen der tropischen und subtropischen Zone, wie beispielsweise Südostasien, Mittel- sowie Teile Südamerikas und Afrikas mit einer durchschnittlichen Temperaturdifferenz zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser von mindestens 20 °C, stellen sie jedoch eine zukunftssträchtige Energiequelle dar. Kann durch zukünftige Weiterentwicklung der Technik der recht geringe Wirkungsgrad der thermischen Kraftwerke erhöht werden, kann ihre wirtschaftliche Nutzung möglicherweise hinsichtlich potenzieller Standorte ausgeweitet werden und die Technologie zu einer der wichtigsten Energiequellen für die oben genannten Regionen werden.

Prinzipiell stellt die Energiegewinnung über Osmosekraftwerke eine vielversprechende Technik dar, jedoch ist sie aufgrund der aktuell noch nicht ausreichend entwickelten Membrantechnik für eine wirtschaftliche Energiegewinnung noch nicht geeignet. Können die Effizienz und die Herstellungskosten der Membrantechnik zukünftig optimiert werden, steht einer Erschließung der weltweit bestehenden Potenziale nichts mehr im Weg. Auch an den Flüssen des spanischen Festlandes besteht ein nicht zu vernachlässigendes Potenzial zur Nutzung über Osmosekraftwerke. Bedingt durch die zur Zeit der Anfertigung der vorliegenden Arbeit bereits bestehenden Problematiken der Wasserknappheit Spaniens, besonders während der Sommermonate, und der illegalen Süß- und Grundwasserentnahme (bestehende Nutzungskonflikte mit Landwirtschaft, Trinkwassernutzung und Ökosystemen) ist von der Nutzung von Osmosekraftwerken zur Energiegewinnung für das Land Spanien abzusehen. Weiter kann davon ausgegangen werden, dass sich die auftretenden Trockenphasen/Wasserknappheiten und damit verbundenen Nutzungskonflikte aufgrund der globalen Klimaerwärmung auch in Zukunft weiter fortsetzen werden und möglicherweise in ihrer Intensität zunehmen können (Hassol, 2017). Somit stellt die Nutzung von Osmosekraftwerken zur Energiegewinnung wohl eher eine Technologie für nördlicher gelegene, wasserreichere Länder, wie beispielsweise Norwegen, Russland oder Kanada, dar.

Da das Stromnetz der Kanarischen Inseln weder mit dem afrikanischen Festland verbunden, noch an das spanische Stromnetz angeschlossen ist, nehmen Erneuerbare Energien, wie Wind-, Solar- aber auch Wellenkraftwerke, bereits zum Zeitpunkt der Anfertigung der vorliegenden Arbeit als auch zukünftig, eine entscheidende Rolle zum Erreichen einer nachhaltigen und umweltschonenden Energieversorgung

ein (vgl. Anhang A.15.). Mit der Nutzung des großen Potenzials der Wellenenergie von etwa 25 kW/m entlang der nördlichen Küsten der Inseln La Palma, Teneriffa und Gran Canaria sowie den westlichen und nordwestlichen Küsten der Inseln Fuerteventura und Lanzarote, kann zukünftig ein großer Schritt in Richtung des Erreichens des angestrebten Ziels einer einhundertprozentigen Energieversorgung der Inseln über Erneuerbare Energiequellen bis zum Jahr 2050 geleistet werden (vgl. Kapitel 3.3). Weiter kann durch den Einsatz von Wellenkraftwerken im Umkreis der Kanarischen Inseln die Abhängigkeit vom hauptsächlich für die Energiebereitstellung eingesetzten und importierten Energieträger Erdöl gemindert und die Versorgungssicherheit der einzelnen Inseln verbessert werden. Allerdings wäre eine Weiterentwicklung des Stromnetzes hinsichtlich einer Verknüpfung der einzelnen Inseln zum Ausgleich der ungleichen Bevölkerungsverteilung und die damit nicht korrelierende Verteilung des vorhandenen Platzes zur Nutzung der Wellenenergie empfehlenswert.

Da Standorte wie die Straße von Gibraltar oder die Kanarischen Inseln sowohl ein hohes Potenzial hinsichtlich Strömungen, bzw. Wellen und eine hohe Windintensität aufweisen, stellt die Kombination der verschiedenen Kraftwerkstypen zukünftig ein großes Entwicklungspotenzial dar. Durch die Kombination der verschiedenen Kraftwerkstypen bzw. Energiequellen, wie beispielsweise Strömungskraftwerke kombiniert mit Windkraftanlagen, kann so zum einen die Stromproduktion eines einzelnen Kraftwerks erhöht werden, während Investitionskosten für die gemeinsame Gründung und Anschlüsse an



Abbildung 56: Animation des kombinierten Wind- und Strömungskraftwerkes vor der japanischen Küste (CBS, 2013)

das Stromnetz gemindert werden können. Ein erster Prototyp einer Kombination aus Strömungskraftwerk und Windkraftanlage ging im Jahr 2013 vor der japanischen Küste in eine erste Testphase (vgl. Abbildung 56). Seit 2014 wird vor der belgischen Nordseeküste eine skalierte Pilotanlage des deutschen Unternehmens „Nemos“ getestet, welche die Stromerzeugung aus Wind und Wellen kombiniert (Kempkens, 2016). Hierbei handelt es sich um einen über Seile am Meeresgrund und an einer Offshore-Windkraftanlage angeschlossenen Schwimmkörper, welcher über die Wellenbewegung ein Seil in Bewegung bringt und somit mechanische Arbeit verrichtet (Nemos, 2017). Im vergangenen Jahr 2018 wurden die ersten Kraftwerke errichtet und sollen zukünftig zur Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien beitragen (Kurlemann, 2017). Denkbar ist ein Einsatz solcher Kraftwerkskombinationen ebenfalls an den unterschiedlichen Standorten der spanischen Ausschließlichen Wirtschaftszone, wo sie möglicherweise den zurzeit unwirtschaftlichen Standorten, beispielsweise im Mittelmeer (Northern Current, vgl. Kapitel 5.1), zu einer wirtschaftlichen Nutzung der Meeresenergie und Windenergie verhelfen könnten.

Literaturverzeichnis

- Fricke, P., & Borst, P. (1979). Energie aus dem Meer. *Physik in unserer Zeit*, S. 85 - 94. Abgerufen am 26. Oct. 2018 von <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/piuz.19790100305>
- 2009/28/EG. (2009). *Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG*. Europäisches Parlament und Rat. Brüssel: Europäische Union. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32009L0028>
- 2014/89/EU. (2014). *Richtlinie 2014/89/EU de Europäischen Parlaments und des Rates zu Schaffung eines Rahmens für die maritime Raumplanung*. Europäisches Parlament und Rat. Brüssel: Europäische Union. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0089>
- 79/409/EWG. (1979). *Richtlinie 79/409/EWG über die Einhaltung der wildlebenden Vogelarten*. Europäische Union. Brüssel: Rat der Europäischen Gemeinschaften. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31979L0409>
- 92/43/EWG, R. (1992). *Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen*. Europäische Union. Brüssel: Rat der Europäischen Gemeinschaften. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A31992L0043>
- Agora Energiewende. (14. Oct. 2015). Die Energiewende im Stromsektor - Stand der Dinge, Trends und Herausforderungen. Berlin, Deutschland. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2015/Understanding_the_EW/Die_Energiewende_im_Stromsektor_DE_Stand_14.10.2015_web.pdf
- agrodigital.com. (10. Feb. 2017). *Agrodigital.com*. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von La web del campo: <https://www.agrodigital.com/2017/02/10/espana-es-el-pais-europeo-que-mas-superficie-aporta-a-la-red-natura-2000/>
- AHK. (2018). *Factsheet Spanien*. Deutsche Handelskammer für Spanien - Cámara de Comercio Alemana para España. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Kurzinformationen/2018/fs_spanien-nachhaltige-mobilitaet_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Alberto Giménez, F., & Aragués Lafarga, R. (1986). *Curvas de tendencia salinidad-tiempo de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro*. Zaragoza. Abgerufen am 29. Nov. 2018 von http://digital.csic.es/bitstream/10261/112742/1/AraguesR_Cap4_SIE_1986.PDF
- Alcadesa Marina. (2018). *La geografía oculta del Estrecho de Gibraltar*. Cádiz / España: Alcadesa Marina. Abgerufen am 27. Nov. 2018 von <https://www.alcadesamarina.com/es/noticias/prensa/633/geografia-oculta-estrecho-gibraltar/>
- Alternative Energy Tutorials. (2010). *Alternative Energy Tutorials*. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/the-tides-are-turning-for-alternative-energy.html>

-
- APPA. (2013). *Situación y perspectivas de las energías marinas en España*. Madrid: Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). Abgerufen am 18. Nov. 2018 von https://www.fenercom.com/pages/pdf/formacion/13-01-16_Jornada%20Energia%20Marina/01-Situacion-del-Sector-de-la-Energia-Marina-en-Espa%C3%B1a-APPA-fenercom-2013
- APPA. (2018). *¿Qué es la Energía Marina?* Madrid: Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.appa.es/appa-marina/que-es-la-energia-marina/>
- aquaret. (2010). *Case study - Iberdrola Santoña wave farm*. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von <http://www.aquaret.com/images/stories/aquaret/pdf/cswaveiberdrola.pdf>
- Aqua-RET. (2012). *aquaret.com*. (European Commission - EU Lifelong Learning Programme) Abgerufen am 03. Nov. 2018 von http://www.aquaret.com/indexea3d.html?option=com_content&view=article&id=203&Itemid=344&lang=en#Animations
- ARL. (2013). *Maritime Raumordnung*. (A. f. (ARL), Hrsg.) Hannover: Leibniz-Forum für Raumwissenschaften.
- AW-Energy. (2018). *aw-energy.com*. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von <http://aw-energy.com/waveroller/>
- Ayuntamiento de Bilbao. (2016). *Bilbao*. Bilbao: Ayuntamiento de Bilbao. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <https://www.ayuntamiento.es/bilbao>
- Ayuntamiento de Donostia. (2018). *Ciudad*. San Sebastián - Donostia (ESP): Ayuntamiento de Donostia / San Sebastián. Abgerufen am 26. Jan. 2019 von <https://www.donostia.eus/taxo.nsf/fwHome?ReadForm&idioma=cas>
- Ayuntamiento de Foz. (2018). *Información sobre el ayuntamiento de Foz*. Foz (ESP): Ayuntamiento de Foz. Abgerufen am 25. Jan. 2019 von <https://www.ayuntamiento.org/foz.htm>
- Ayuntamiento de Irun. (2019). *Población hoy*. Irun: Ayuntamiento de Irun. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <http://www.irun.org/cod/poblacion/index.asp?idioma=1>
- Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. (2019). *La población de la capital grancanaria crece en 2018 hasta los 378.517 habitantes tras 5 años de descensos*. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. Abgerufen am 27. Feb. 2019 von <https://www.laspalmasgc.es/es/ayuntamiento/prensa-y-comunicacion/notas-de-prensa/nota-de-prensa/La-poblacion-de-la-capital-grancanaria-crece-en-2018-hasta-los-378.517-habitantes-tras-5-anos-de-descensos/>
- Ayuntamiento de Madrid. (11. Sept. 2018). *Portal web del Ayuntamiento de Madrid*. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://www.madrid.es/portal/site/munimadrid>: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Areas-de-informacion-estadistica/Demografia-y-poblacion/Cifras-de-poblacion/Estimaciones-y-proyecciones/?vgnnextfmt=default&vgnnextoid=18ccc057fea82310VgnVCM1000000b205a0aRCRD&v>

- Ayuntamiento de Santander. (2018). *Cifras - Población actual*. Santander (Kantabrien): Ayuntamiento de Santander (Rathaus). Abgerufen am 09. Jan. 2019 von <https://santander.es/ciudad/santander/cifras>
- AZTI tecnalia. (2012). *Propuesta de clasificación del potencial de las corrientes, mareas y oleaje para su posible aprovechamiento energético*. Sukarrieta (Bizkaia); Spanien. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von https://issuu.com/aztitecnalia/docs/rim19_4
- Balzter, S. (20. November 2008). Zukunftsmusik aus der Doppelgarage. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*.
- Bard, J. (27. Oct. 2005). Stromerzeugung aus Meeresströmungen. (I. f. Kassel, Hrsg.) Bad Honeff/Kassel, Deutschland. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2005H/AKE2005H_Vortraege/AKE2005H_04Bard_Seaflow-Meeresstroemungen.pdf
- Bauer, W., Benenson, W., & Westfall, G. (1999). *Spezifische Wärmekapazität einiger Materialien*. Uni Frankfurt. Frankfurt am Main: Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch. Abgerufen am 26. Nov. 2018 von https://elearning.physik.uni-frankfurt.de/data/FB13-PhysikOnline/lm_data/lm_282/auto/anhang1/cd425.htm
- BAW. (2014). *Überblick: Das System Tidelbe*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Abgerufen am 13. Jan. 2019 von https://www.google.com/search?safe=active&client=firefox-b-ab&ei=Fs5BXICsB5LosAftI6oDQ&q=gr%C3%B6%C3%9Fere+Brackwasserzone+durch+gezeiten&oq=gr%C3%B6%C3%9Fere+Brackwasserzone+durch+gezeiten&gs_l=psy-ab.3..33i160.780627.789681..790145...2.0..0.246.4399.8j
- BDEW. (2018). *BDEW-Strompreisanalyse Mai 2018*. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), Berlin. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von https://www.bdew.de/media/documents/1805018_BDEW-Strompreisanalyse-Mai-2018.pdf
- Bechberger, M. (2012). *Erneuerbare Energien in Spanien - Erfolgsbedingungen und Restriktionen*. Stuttgart: ibidem-Verlag.
- Behrendt, S., Göll, E., & Korte, F. (2016). *Effizienz, Konsistenz, Suffizienz*. Borderstep Institut, IZT, adelphi, Evolution2Green. Berlin: Evolution2Green.
- Bensch, H. (22. Aug. 2016). Neue Membran gewinnt Strom aus Salz- und Süßwasser. *WirtschaftsWoche*. Abgerufen am 26. Nov. 2018 von <https://www.wiwo.de/technologie/green/osmosekraftwerke-neue-membran-gewinnt-strom-aus-salz-und-suesswasser/14438744.html>
- Betz, A. (1926). *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen*. Göttingen: Ökobuch Verlag.
- BGBI. (2009). *Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 61*. Köln: Bundesanzeiger Verlag. Abgerufen am 13. Dez. 2018 von https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27anlageband_bgbl109061.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27anlageband_bgbl109061.pdf%27%5D__1545316806653

-
- BGR. (2009). *Darstellung der im Seerechtsübereinkommen definierten maritimen Zonen (nach Symonds et al., 1998)*. Hannover: Herausgeber für die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Nachrichten/Veranstaltungen/2009/Hauskolloquium_2009_2010/Bilder/2009-12-08_02_g.html
- BiMEP. (2018). *Biscay Marine Energy Platform*. Abgerufen am 19. Nov. 2018 von <https://bimep.com/>
- BINE. (2004). *BINE Informationsdienst*. Abgerufen am 26. Oct. 2018 von Energieforschung für die Praxis: <http://www.bine.info/publikationen/publikation/seaflow-strom-aus-meeresstroemungen/>
- BINE. (2004). *Energie aus Meeresströmungen*. Bonn. Abgerufen am 23. Oct. 2018 von http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2004/Projekt-Info_04-2004/projekt0404internetx.pdf
- Bleckmann, A. (1977). *Zur Feststellung und Auslegung von Völkergewohnheitsrecht*. Heidelberg: Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von <http://www.zaoerv.de/>
- BMI. (2018). *Maritime Raumordnung*. Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat. Berlin: Bundesrepublik Deutschland. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/heimat-integration/raumordnung-raumentwicklung/grundlagen/maritime-raumplanung/maritime-raumplanung-node.html>
- BMU. (2010). *Die Wasserrahmenrichtlinie*. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4012.pdf>
- BMU. (2015). *Kurzinformation Elektromobilität bzgl. Strom- und Ressourcenbedarf*. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Abgerufen am 18. Dez. 2018 von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_strom_ressourcen_bf.pdf
- BMU. (2016). *Natura 2000*. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.bmu.de/themen/natur-biologische-vielfalt-arten/naturschutz-biologische-vielfalt/gebietsschutz-und-vernetzung/natura-2000/>
- BMU. (2017). *Internationale Klimapolitik*. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/>
- BMWi. (2012). *EU-Richtlinie für erneuerbare Energien*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/EU_Richtlinie_fuer_EE/eu_richtlinie_fuer_erneuerbare_energien.html
- BMWi. (2014). *Bekanntmachung Forschungsförderung im 6. Energieforschungsprogramm "Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung"*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von

-
- https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bekanntmachung-forschungsfoerderung-im-6-energieforschungsprogramm.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BMWi. (2014). *Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen*. Berlin: Bundesrepublik Deutschland. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Broschuere/nationaler_aktionsplan.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- BMWi. (Feb. 2018). Erneuerbare Energien. (B. f. Energie, Hrsg.) Berlin, Deutschland. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>
- BMWi. (2018). *Fundamente und Gründungsstrukturen*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Windenergie-auf-See/Technik/Fundamente/fundamente.html>
- Boothroyd, J. C. (1978). Mesotidal Inlets and Estuaries. In R. A. Jr., *Coastal Sedimentary Environments* (S. 287-360). New York: Springer-Verlag.
- bpb. (2016). *Grenzen des Wachstums*. Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der-wirtschaft/19548/grenzen-des-wachstums>
- Brühl, D.-I. (2017). *Gezeiten in den Meeren und in Flussmündungen*. Braunschweig / Darmstadt: Technische Universität Braunschweig & Technische Universität Darmstadt.
- Brühl, D.-I. (2017). *Wellentheorie*. Vorlesungsskript Küstenwasserbau TU Darmstadt, angelehnt an „Mechanik der Meereswellen I bis III“ (2012/2013) von Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Oumeraci, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig.
- BUND. (2017). *Klimawandelleugner 2019, Klimaskeptiker & die Interessen von Öl-, Gas-, Kohle-, Atom- und Autokonzernen*. Freiburg i.Br.: Bund für Umwelt und Naturschutz (BUND) e.V. Regionalverband Südlicher Oberrhein. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://www.bund-rvso.de/klimawandelleugner.html>
- Bundespresseamt. (2019). *Energiewende im Überblick*. Berlin/Bonn: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energiewende-im-ueberblick-229564>
- Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (2018). *Erneuerbare Energien im Überblick*. Berlin: Bundesverband Erneuerbare Energie e.V. (BEE) . Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.bee-ev.de/unsere-technologien/>
- Burton, T., Jenkins, N., Bossanyi, E., & Sharpe, D. (2001). *Wind Energy Handbook*. (T. Burton, Hrsg.) New York: Jhon Wisley and Sons.
- Büsching, F. (2002). *Ellenenergie*. TU Braunschweig. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von http://www.hollow-cubes.de/Rep_Kuestening/KW13.pdf

-
- BWE. (2018). *Leistungsbegrenzung und -regelung*. Berlin: Bundesverband WindEnergie (BWE). Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/leistungsbegrenzung/>
- BWE. (2018). *Widerstands- und Auftriebsläufer*. Berlin: Bundesverband WindEnergie. Abgerufen am 05. Dez. 2018 von <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/widerstandlaeufer-auftriebslaeufer/>
- Caires, S., Sterl, A., Komen, G., & Swail, V. (2004). *The web-based KNMI/ERA-40 global wave climatology atlas*. Genf: World Meteorological Organization (WMO). Abgerufen am 30. Dez. 2018 von https://www.researchgate.net/publication/46657545_The_web-based_KNMIERA-40_global_wave_climatology_atlas
- CBS. (2013). *Powering the Future: New turbine to capture energy from both wind and waves slated for testing*. New York (Vereinigte Staaten von Amerika); Japan: CBS News. Abgerufen am 27. Feb. 2019 von <https://www.cbsnews.com/news/powering-the-future-new-turbine-to-capture-energy-from-both-wind-and-waves-slated-for-testing/>
- CETE. (2018). *Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética - análisis y propuestas para la descarbonización*. Comisión de expertos sobre escenarios de transición energética. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von http://www6.mityc.es/aplicaciones/transicionenergetica/informe_cexpertos_20180402_veditad o.pdf
- Colin Thomas. (2013). *Straits Sailing Handbook*. Abgerufen am 27. Nov. 2018 von https://www.skipperguide.de/wiki/Stra%C3%9Fe_von_Gibraltar (Zusammenfassung)
- Consortio tecnológico de la energía de Asturias. (2013). *Laboratorios experimentales en Energías Marinas – Sin Coste*. Mieres, Asturias, Spain. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von <http://www.ainer.es/noticias-consorcio-tecnologico/laboratorios-experimentales-en-energias-marinas-sin-coste/>
- CORDIS / SEOS. (2010). *Meeresströmungen - Flüsse im Meer*. Community Research and Development Information Service (CORDIS) & European Association of Remote Sensing Laboratories. Straßburg: European Commission. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c01-p03.de.html>
- Cornett, A. M. (2008). *A global wave energy resource assessment*. Ottawa, Ontario, Canada: Canadian Hydraulics Centre, National Research Council.
- Dalet, D. (2015). *AmphiTheatrum*. (D. L. (RheinlandPfalz), Herausgeber) Abgerufen am 01. Jan. 2019 von <http://amphi-theatrum.de/1420.html>
- Der Spiegel. (15. Nov. 2018). Der Brexit und die Gibraltar-Frage - Zoff um diesen Zipfel. *Der Spiegel*. Abgerufen am 17. Nov. 2018 von <http://www.spiegel.de/politik/ausland/brexit-eu-staaten-sauer-ueber-deal-aerger-um-fischerei-und-gibraltar-a-1238701.html>
- Deutsche Handelskammer für Spanien. (2018). *Spanien: Energieeffizienz und erneuerbare Energien in Nichtwohngebäuden auf den Kanarischen Inseln*. Deutsche Handelskammer für Spanien - Cámara de Comercio Alemana para España. Madrid: AHK Spanien gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von

-
- https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/2018/zma_spanien_2018_kanarische-inseln-energieeffizienz-erneuerbare-energien-nichtwohngebaue.de.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Deutscher Wetterdienst. (2015). *Seewetter - Kiel*. (D. W.-A. Seeschiffahrt, Produzent) Abgerufen am 25. Oct. 2018 von <http://www.seewetter-kiel.de/seewetter/seegang.htm>
- Deutsches Museum München. (2004). *Meisterwerke aus dem Deutschen Museum VI*. München, Bayern/Deutschland: Deutsches Museum. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.deutsches-museum.de/sammlungen/meisterwerke/meisterwerke-iii/dampfmaschine/>
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. (2006). *Trsans-CSP - Final Report Annex 1: Country Data*. Institut für Technische Thermodynamik, Köln. Abgerufen am 14. Nov. 2018 von https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/institut/system/projects/WP07_Annex_1-Country_Data.pdf
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. (2010). *Wie viel Strom steckt in der Meeresströmung?* Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Abgerufen am 21. Nov. 2018 von <https://www.dlr.de/blogs/home/energie/energie-frage-der-woche-wie-viel-strom-steckt-in-der-meeresstroemung.aspx>
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. (2015). *Kanarische Inseln: Strom aus erneuerbaren Energien zu 100 Prozent möglich und wirtschaftlich*. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Abgerufen am 10. Dez. 2018 von https://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10202/334_read-16251/year-2015/#/gallery/21534
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (2006). *Trans-Mediterraner Solarstromverbund (Zusammenfassung)*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) - Institut für Technische Thermodynamik - Abteilung Systemanalyse und Technikbewertung, Stuttgart. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von https://www.dlr.de/dlr/Portaldata/1/Resources/documents/TRANS-CSP_Zusammenfassung.pdf
- Dick, S. (10. 08 2012). Warum sind Ebbe und Flut nicht überall gleich stark? (welt.de, Interviewer) Berlin/Hamburg. Abgerufen am 20. Oct. 2018 von <https://www.welt.de/newsticker/news3/article108565185/Warum-sind-Ebbe-und-Flut-nicht-ueberall-gleich-stark.html>
- Diercke. (2008). *Weltatlas*. Braunschweig: Westermann.
- Draeger, F. (20. Jan. 2012). Forscher gewinnen Biosprit aus dem Meer. *Zeit online*. Abgerufen am 10. Nov. 2018 von <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2012-01/biosprit-braunalgen>
- Eckener, U., Kröger, T., & Dursthoff, W. (1981). *Systemuntersuchung Technologie und Nutzung der Wellenenergie*. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik.

-
- EDF. (2008). *edf.fr*. Abgerufen am 22. Oct. 2018 von edf.fr: <https://www.edf.fr/groupe-edf/producteur-industriel/energies-renouvelables/hydraulique/edf-hydraulique-bretagne-normandie/l-usine-maremotrice-de-la-rance/decouvrir-et-comprendre>
- EMEC. (2016). *FORESEA*. Lille / Frankreich: European Marine Energy Centre (EMEC). Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <http://www.nweurope.eu/projects/project-search/funding-ocean-renewable-energy-through-strategic-european-action/#tab-1>
- EMEC. (2018). *International Projects*. Orkney-Islands / Großbritannien: European Marine Energy Centre (EMEC). Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <http://www.emec.org.uk/research/international-projects/>
- Energías Renovables. (2008). *Energías Renovables*. Abgerufen am 08. Oct. 2018 von Energías Renovables: <http://energiasrenovablesunig9.weebly.com/energiacuttea-marina.html>
- Energietisch Lübeck. (2010). *Zukunft der Energie / Energie der Zukunft*. Lübeck: Energietisch Lübeck. Abgerufen am 26. Nov. 2018 von <http://energietisch-luebeck.de/diverses/Resources/ZukunftDerEnergieDerZukunft.pdf>
- Energyprofi. (2014). *energyprofi.com*. Abgerufen am 04. Nov. 2018 von <https://www.energyprofi.com/uncategorized/salinitaetsgradient-osmose-kraftwerk/>
- Energyprofi GmbH. (2010). erneuerbare Energien - Wasserkraft - Gezeitenkraftwerk. Tessin, Schweiz. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von <https://energyprofi.eu/erneuerbare-energien/wasserkraft/gezeitenkraftwerk.html>
- Energyprofi.com. (2015). *energyprofi.com*. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://www.energyprofi.com/uncategorized/temperaturgradient/>
- ENVE. (2015). *Entwicklung des Potenzials der Meeresenergie*. Fachkommission für Umwelt, Klimawandel und Energie (ENVE). Brüssel: Europäische Union - Ausschuss der Regionen. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://edz.bib.uni-mannheim.de/edz/doku/adr/2015/cdr-2015-1693-de.pdf>
- Escola d'Arquitectura del Vallès de la Universitat Politècnica de Catalunya. (2017). *Estudio de la distribución del consumo energético residencial para calefacción en España*. Ministerio de Fomento a Fundación Conama; Green Building Council España, Barcelona. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/53E31468-1B09-4123-A05B-0FBEB86B858E/149686/201804_Estudio_distribucion_consumo_energetico_res.pdf
- Europa Press. (03. Jan. 2018). La demanda eléctrica en Baleares durante 2017 aumenta un 3,8% respecto al 2016. *Europa Press*. Abgerufen am 08. Dez. 2018 von <https://www.europapress.es/illes-balears/noticia-demanda-electrica-baleares-2017-aumenta-38-respecto-2016-20180103140051.html>
- European Commission Asuntos Maritimos y Pesca. (2013). *La energía marina presenta un gran potencial para el futuro hipocarbónico de Europa*. Asuntos Maritimos y Pesca. Brüssel: European Commission. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von https://ec.europa.eu/dgs/maritimeaffairs_fisheries/magazine/es/policy/ocean-energy-holds-great-potential-europe%E2%80%99s-low-carbon-future

-
- European Commission Maritime Affairs and Fisheries. (2012). *Harnessing the power of the sea*. Brüssel/Belgium: European Commission. Abgerufen am 08. Oct. 2018 von https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/docs/body/ocean-energy_en.pdf
- European Ocean Energy Association. (2011). *Position Paper - Towards European industrial leadership in Ocean Energy in 2020*. Brüssel: European Ocean Energy Association (OEE). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48233/3610-position-paper-towards-euro-ind-leader.pdf
- eurostat. (2017). *Energiepreisstatistik*. European Commission. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_price_statistics/de&oldid=353426
- eurostat. (17. Aug. 2018). Bevölkerung am 1. Januar. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=tps00001&plugin=1>
- eurostat. (17. Aug. 2018). Bruttoinlandsprodukt zu Marktpreisen. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von Bruttoinlandsprodukt zu Marktpreisen: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=tec00001&plugin=0&tableSelection=1>
- eurostat. (17. Aug. 2018). Emission von Treibhausgasen, Basisjahr 1990. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=de&pcode=t2020_30&plugin=1
- EVE. (2018). *Ente Vasco de la Energía*. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von Gobierno Vasco: <https://www.eve.eus/>
- Fähnders, T. (30. Nov. 2014). Ioane Teitiota - erster Klimaflüchtling der Welt? *Frankfurter Allgemeine*, 3. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.faz.net/aktuell/politik/ausland/ioane-teitiota-erster-klimafluechtling-der-welt-13291953-p3.html>
- Faizan, A. (2012). *Electrical Academia* . Abgerufen am 28. oct. 2018 von <http://electricalacademia.com/renewable-energy/vertical-axis-wind-turbine-vawt-working-types-advantages-disadvantages/>
- firmm. (2019). *firmm.org*. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von foundation for information and research on marine mammals: <https://www.firmm.org/de/wale-delfine>
- Fluye canarias. (2018). *Canarias quiere que el consumo de energías renovables llegue al 50% en 2025*. Fluye Canarias. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von <http://fluyecanarias.com/canarias-energias-renovables-2025/>
- ForwardOsmosisTech. (24. Feb. 2016). Inquiry about commercially available PRO membranes. Abgerufen am 01. Nov. 2018 von <http://www.forwardosmosistech.com/inquiry-about-commercially-available-pro-membranes/>

-
- Fraunhofer IGB. (2018). *Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB*. (F.-I. f.-u. Schiestel, Herausgeber) Abgerufen am 01. Nov. 2018 von <https://www.igb.fraunhofer.de/de/forschung/kompetenzen/grenzflaechentechnik/membranen/forschung/druckverzoegerte-osmose.html>
- Frommert, D. H. (09. Nov. 2018). *geo-ref.net*. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <http://www.geo-ref.net/de/esp.htm>
- Gailfuss, M. (2018). *BHKW Infozentrum*. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von <https://www.bhk-w-infozentrum.de/innovative-energien/wellenkraft-energiequelle-der-zukunft.html>
- Gall, A. (1998). *Das Atlantropa-Projekt. Die Geschichte einer gescheiterten Vision. Hermann Sörgel und die Absenkung des Mittelmeeres*. Frankfurt / New York: Campus Verlag.
- García Tamayo, S. (02. Feb. 2017). Diferencias entre parque Natural y Nacional. Abgerufen am 23. Dez. 2018 von https://prezi.com/sa1jzkj_frg1/diferencias-entre-parque-natural-y-nacional/
- Gebhardt, F. (23. Nov. 2018). *Das Lexikon zur Windtechnologie*. Bremen: Frederike Gebhardt. Abgerufen am 23. Nov. 2018 von *Das Lexikon zur Windtechnologie*: <https://www.wind-lexikon.de/cms/lexikon/95-lexikon-k/734-kapazitaetsfaktor.html>
- Geo. (02. Nov. 2011). Entsteht vor den Kanaren eine neue Insel? *Geo*. Abgerufen am 26. Feb. 2019 von <https://www.geo.de/natur/4027-rtkl-vulkanismus-entsteht-vor-den-kanaren-eine-neue-insel>
- Geodatenmanufaktur. (2016). *Wassertemperatur und ihr vertikaler Verlauf - Mittelmeer*. Dresden. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von <https://www.geodatenmanufaktur.de/howtos/wassertemperatur.html>
- Gequo. (2017). *Parque Rural de Betancuria*. Karlsruhe: Gequo GmbH. Abgerufen am 26. Feb. 2019 von <http://fuerteventura.gequo-travel.de/sehenswert/naturparks/parque-rural-de-betancuria>
- Giegerich, U.-P. (2017). *Völkergewohnheitsrecht*. Saarbrücken: Universität Saarland. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von https://www.uni-saarland.de/fileadmin/user_upload/Professoren/fr11_ProfGiegerich/lehre/staatsrechtIII/StaatsRIII_V%20c3%b6lkerGewR.pdf
- Gobierno de Canarias. (2006). *Nuestro Mar Canario*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von http://www.oceanografica.com/descargas/Monografia_mar_canario.pdf
- Gobierno de Canarias. (2010). *Plan Energético de Canarias*. Gobierno de Canarias - Consejería de Empleo, Industria y Comercio. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von www.catedraendesared.ulpgc.es/.../26-session-i-rodriuez-diaz
- Gobierno de Canarias. (2015). *Paisaje Protegido de La Isleta (C-22)*. Gobierno de Canarias. Abgerufen am 26. Feb. 2019 von http://www.gobiernodecanarias.org/politicaterritorial/temas/espaciosnaturales/categorias/islascategorias/islascategorias/grancanaria/paisaje_c22/index.html
- Gobierno de Canarias. (2016). *Anuario energético de Canarias*. Gobierno de Canarias - Consejería de Economía, Industria, Comercio y Conocimiento. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von

<http://www.gobiernodecanarias.org/ceic/energia/doc/Publicaciones/AnuarioEnergeticoCanarias/ANUARIO-ENERGETICO-CANARIAS-2016.pdf>

- Gobierno de España. (2002). *España hoy*. Madrid. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <http://www.staff.uni-giessen.de/~gb1164/Landeskunde/spanienheute/GEOGRAF>
- Gobierno de España. (2009). *Estrategia para la economía sostenible*. Síntesis, Madrid. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <http://www.lamoncloa.gob.es/documents/2A45-D35E-dossier.pdf>
- Gobierno de España. (2010). *Hidrología del Júcar*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/cuencahidrografica/Paginas/Hidrolog%C3%ADa.aspx>
- Gobierno de España. (2010). *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011-2020*. Ministerio para la transición ecológica, Secretaría de Estado de Energía. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von http://www.ebb-eu.org/legis/ActionPlanDirective2009_28/national_renewable_energy_action_plan_spain_es.pdf
- Gobierno de España. (2010). *Sistema Bajo Ebro*. Lérida: Ministerio para la Transición Ecológica - Confederación Hidrográfica del Ebro.
- Gobierno de España. (2011). *Plan de energías renovables 2011-2020*. Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE). Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 19. Dez. 2018 von <http://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>
- Gobierno de España. (2015). *Centro de estudios Hidrográficos*. (M. p. ecológica, Herausgeber) Abgerufen am 01. Dez. 2018 von <http://ceh-flumen64.cedex.es/general/default.htm>
- Gobierno de España. (2015). *Centro de Estudios Hidrográficos*. Ministerio de Fomenton. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von <http://ceh-flumen64.cedex.es/general/default.htm>
- Gobierno de España. (2015). *Consumos del Sector Residencial en España*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo; IDAE. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 15. Dez. 2018 von http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf
- Gobierno de España. (2015). *Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar*. Ministerio de Agricultura, alimentación y medio ambiente. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo05_Qeco_151126.pdf
- Gobierno de España. (2016). *Plocan*. Las Palmas de Gran Canaria: Gobierno de España / Gobierno de Canarias. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von <http://www.plocan.eu/index.php/en/news/plocan/2016/245-diciembre/1632-plocan-instalada-en>

-
- Gobierno de España. (2017). *Caudales ambientales Río Segura*. Ministerio para la Transición ecológica. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von <https://www.chsegura.es/chs/cuenca/resumenedatosbasicos/caudalesecologicos/>
- Gobierno de España. (2017). *Guadalquivir - Historia*. Ministerio para la Transición Ecológica, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Sevilla /Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <https://www.chguadalquivir.es/historia>
- Gobierno de España. (2017). *Los espacios protegidos Natura 2000 en España*. Madrid: Ministerio para la transición ecológica. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana_espacios.aspx
- Gobierno de España. (2017). *ZEC Dunas del Puntal y Estuario del Miera*. Fundación Naturaleza y Hombre. El Astillero, Kantabrien: Gobierno de España. Abgerufen am 09. Jan. 2019 von <http://fnyh.org/life-nature-conservacion-de-la-biodiversidad-en-el-rio-miera/life-miera/lic-dunas-del-puntal-estuario-del-miera/>
- Gobierno de España. (2018). *Boletín Hidrológico Semanal - Caudales*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von <http://www.seprem.es/boletin/caudales.pdf>
- Gobierno de España. (2018). *chcantábrico*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von <https://www.chcantabrico.es/>
- Gobierno de España. (2018). *Parque Nacional de Doñana*. Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 15. Jan. 2019 von <https://www.miteco.gob.es/ca/red-parques-nacionales/nuestros-parques/donana/>
- Gobierno de España. (2018). *Puertos del Estado*. Abgerufen am 24. Nov. 2018 von Gobierno de España - Ministerio de Fomento - Puertos del Estado: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- Gobierno de España. (2019). *Puerto de Santander*. Ministerio de Fomento. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 09. Jan. 2019 von <http://www.puertosantander.es/cas/home.aspx>
- GOFIMA. (2012). *Mapa de los flujos de energía en el estrecho de Gibraltar para su aprovechamiento como fuente de energía renovable*. Grupo de Oceanografía Física (GOFIMA). Málaga: Universidad de Málaga. Abgerufen am 29. Nov. 2018 von http://oceano.uma.es/pdfproj/fleger_4.pdf
- Govern de les Illes Balears. (2014). *Energías renovables y eficiencia energética en las islas baleares: estrategias y líneas de actuación*. Conselleria d'Economia i Competitivitat. Direcció General d'Indústria i Energia. Abgerufen am 08. Dez. 2018 von <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST5325ZI163011&id=163011>
- Graw, K.-U. (2001). *Nutzung der Tideenergie -eine kurze Einführung* (Bd. 2). Leipzig: Universität Leipzig - Grundbau und Wasserbau. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von https://web.archive.org/web/20070320153538/http://www.uni-leipzig.de/~grw/lit/texte_099/95__2001/mat_2_tide.htm

- Graw, K.-U., & Kaltschmitt, M. (2013). Nutzung der Energie des Meeres. In M. Kaltschmitt, W. Streicher, & A. Wiese, *Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte* (S. 873 - 891). Berlin / Heidelberg: Springer-Verlag. doi:DOI 10.1007/978-3-642-03249-3
- Graw, K.-U., & Müller, G. (03. Jan. 2008). In der Welle liegt die Kraft. (F. Schubert, Interviewer) Der Tagesspiegel. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.tagesspiegel.de/wissen/energie-in-der-welle-liegt-die-kraft/1132318.html>
- Greenpeace. (2005). *Renovables 2050*. Madrid: Greenpeace. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/Resumen_renovables_2050.pdf
- Grosch, W. (2016). *Ingenieur.de - Technik, Karriere, News*. (VDI Verlag GmbH) Abgerufen am 10. Nov. 2018 von <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/maschinenbau/schwimmender-solarpark-im-meer-trotzt-hohen-wellen/>
- GSE. (2015). *Verbrennungsmotoren*. GeoSystemErde (GSE). Pforzheim: Hochschule Pforzheim. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.geosystem-erde.de/unterricht/der-kulturelle-fortschritt-der-menschheit/erfindungen/neuzeit/verbrennungsmotoren/>
- Hardisty, J. (2008). Modelling and Testing the Vertical Axis, Impulse Rotor Tidal Power Pontoon. *Journal of Marine Engineering & Technology* (01 Dez. 2014), S. 1-9. doi:10.1080/20464177.2008.11020207
- Hassol, S. (2017). *Mehr Extremwetterereignisse: "Ja, das ist der Klimawandel"*. Smart Energy for Europe Platform (SEFEP) gGmbH / klimafakten.de. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.klimafakten.de/meldung/mehr-extremwetterereignisse-ja-das-ist-der-klimawandel>
- Heidjann, D. (2018). *Stromauskunft*. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von <https://www.stromauskunft.de/strompreise/strompreis-zusammensetzung/>
- Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. (2016). *Eart System Knowledge Plattform (ESKP)*. (Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (Kiel)) Abgerufen am 04. Nov. 2018 von <https://www.eskp.de/grundlagen/klimawandel/die-wasserbilanz-des-mittelmeers/>
- Hering, E., Martin, R., & Stohrer, M. (2012). *Physik für Ingenieure*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Heuck, K., Dettmann, K.-D., & Schulz, D. (2013). *Elektrische Energieversorgung: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis*. Hamburg: Pringer Vieweg. doi:10.1007/978-3-8348-2174-4
- HIE. (2016). *Marine Energy*. Schottland: Highlands and Islands Enterprise (HIE) - Wirtschafts- und Kommunalentwicklungsagentur der schottischen Regierung. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjep77foOjgAhVSM-wKHxbfBr0QFjAAegQIABAC&url=http%3A%2F%2Fwww.hie.co.uk%2Fcommon%2Fhan>

dlers%2Fdownload-document.ashx%3Fid%3D560df66c-7024-432b-9136-7bb70dfa316e&usg=AOvVaw15ZRKh5hQ9J

- Holler, P. C. (Oct.. 26 2018). Könnte Energie aus Ebbe und Flut den Strommarkt völlig umkrempeln? München. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von https://www.linkedin.com/pulse/energie-aus-ebbe-und-flut-christian-holler?trk=eml-email_feed_ecosystem_digest_01-recommended_articles-3-Unknown&midToken=AQEOVhywUbXifg&fromEmail=fromEmail&ut=0AKAIqYwL-WUs1
- Horn, A. (2013). *Tarifa*. Hamburg. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <https://www.spotnetz.de/Tarifa>
- IDAE. (2018). Consumo de energía final. *Sector: Industria, evolución por fuente de energía*. (I. p. (IDAE), Hrsg.) Madrid, Spanien. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=Industria&tipbal=s&rep=1>
- ifeu. (2016). *Energiesuffizienz – Strategien und Instrumente für eine technische, systemische und kulturelle Transformation zur nachhaltigen Begrenzung des Energiebedarfs im Konsumfeld Bauen/Wohnen*. Heidelberg/Berlin/Wuppertal: Institut für Energie-und Umweltforschung Heidelberg gGmbH & Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energien gGmbH. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/6646/file/6646_Energiesuffizienz.pdf
- IFM GEOMAR. (2001). *Wasserhaushalt des Mittelmeeres*. Kiel: Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung. Abgerufen am 22. Nov. 2018 von <http://nat-meer.geomar.de/OzeanOnline/mittmeer/mittmeer.htm>
- Iglesias, G., & Carballo, R. (2009). Wave energy potential along the Death Coast (Spain). In *Energy Volume 34* (S. 1963-1975). Elsevier Ltd. Abgerufen am 29. Dez. 2018 von <https://www.sciencedirect.com/journal/energy/vol/34/issue/11>
- IH Cantabria. (2018). *IH Cantabria - Instituto de Hidráulica ambiental de la Universidad de Cantabria*. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von <http://www.ihcantabria.com/en/>
- Instituto Nacional de Estadística. (1985). *Limites geográficos y políticos*. Instituto Nacional de Estadística (INE), Madrid. Abgerufen am 16. Nov. 2018 von <http://www.ine.es/inebaseweb/pdfDispacher.do?td=38228>
- International Energy Agency. (2015). Abgerufen am 15. Nov. 2018 von <http://www.iea.org>
- ISO-3166-1. (1974). *ISO-3166 Kodierliste*. Abgerufen am 20. Jan. 2019 von <https://laendercode.net/de/>
- IWR. (2005). *Wasserstoff*. Int. Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://www.iwr.de/wasserstoff/wasserstoff-infos.html>
- Junta de Andalucía. (2006). *Parque Naturla del Estrecho*. Sevilla: Junta de Analucía. Abgerufen am 12. Jan. 2019 von <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc5/ventana/mostrarFicha.do?idEspacio=14076>

-
- K.-U. Graw, U. P.-I. (2002). Wellenkraftwerke - Energiereservoir Ozean. *Physik in unserer Zeit*.
- Kamp, I. (2014). *Warum laufen Wellen immer parallel zum Ufer?* Bundesministerium für Bildung und Forschung, Deutsche Physikalische Gesellschaft, Bad Honnef. Abgerufen am 22. Nov. 2018 von <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/wellenrichtung/>
- Kehse, U. (2008). Golfstrom. In *GEO Themenlexikon Band 31: Wetter und Klima* (S. 434 - 445). Mannheim.
- Kempener (IRENA), R., & Neumann (IMIEU), F. (2014). *Ocean Thermal Energy Conversion*. Abu Dhabi, Vereinigte Arabische Emirate: IRENA (International Renewable Energy Agency). Abgerufen am 03. Nov. 2018 von https://www.dutchmarineenergy.com/about-us/downloads/7%20-%20Ocean-Thermal-Energy_IRENA.pdf
- Kempkens, W. (30. Aug. 2016). Wind und Wasser erzeugen gemeinsam Strom. *WirtschaftsWoche*. Abgerufen am 27. Feb. 2019 von <https://www.wiwo.de/technologie/green/neuartiges-wellenkraftwerk-wind-und-wasser-erzeugen-gemeinsam-strom/14472748.html>
- Khammas, A. (2007). *Buch der Synergie - Teil C - Strömungsenergie*. Damaskus/Syrien. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_06_06_wasser_stroemungen.htm
- Klapproth, J. (2011). *Erneuerbare Energien auf den Kanarischen Inseln: Standortfaktoren und Investitionspotentiale*. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- Knoll, A. (2012). Windenergie zu Lande oder zu Wasser? Haar, Deutschland. Abgerufen am 08. Nov. 2018 von <https://www.smarterworld.de/smart-generation/wind/artikel/86110/>
- König, P., & Lipp, A. (2007). *Lehrbuch für Forschungstaucher*. Vorlesungsskript, Hamburg. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <https://www.ifm.uni-hamburg.de/de/education/diver/documents-diver/ft-book/kap1-physgrund.pdf>
- Kuleszo, J. (2008). *The global and regional potential of salinity-gradient power*. Environmental Systems Analysis Group, Environmental Sciences,. Wageningen / Niederlande: Wageningen University and Research centre.
- Kulke, U. (2013). *Trockenlegen des Mittelmeers brächte den Frieden*. welt.de. Düsseldorf: Axel Springer SE. Abgerufen am 10. Jan. 2019 von <https://www.welt.de/geschichte/article120890068/Trockenlegen-des-Mittelmeers-braechteden-Frieden.html>
- Kurlemann, R. (09. Mär. 2017). Der perfekte Kurs auf der Welle. *VDI Nachrichten*. Abgerufen am 27. Feb. 2019 von <https://www.vdi-nachrichten.com/Gesellschaft/Der-perfekte-Kurs-Welle>
- La Anunciata Ikerketa. (2010). *Los Ríos Vascos*. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von <http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/zubitxo/rios.pdf>
- Landesregierung Schleswig-Holstein. (2012). *Bericht der Landesregierung zur Strompreisentwicklung: Fossile Brennstoffe als größtes Risiko für steigende Energiepreise*. Kiel: Landesportal Schleswig-Holstein. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.schleswig->

holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/2012_neu/1012/MELUR_121010_Strompreisentwicklung.html

- Leipner, D.-G. (2015). *Vorkommen von Wasser auf der Erde*. Freie Universität Berlin, Geowissenschaften, Berlin. Abgerufen am 08. Nov. 2018 von http://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/hydrogeographie/einfuehrung/vorkommen_wasser/index.html
- Ley 10/2001. (2001). *Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-13042>
- Ley 12/1994. (1995). *Ley de Espacios Naturales de Canarias*. Comunidad Autónoma de Canarias. Abgerufen am 26. Feb. 2019 von <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1995-2890>
- Ley 2/2013. (2013). *Ley 2/2013 de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de Costas*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/05/29/2>
- Ley 2/2016. (2016). *Ley 2/2016 del suelo de Galicia*. Comunidad Autónoma de Galicia. Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/pdf/2016/BOE-A-2016-3191-consolidado.pdf>
- Ley 30/2014. (2014). *Ley 30/2014 de Parques Nacionales*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 23. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-12588-consolidado.pdf>
- Ley 38/1999. (1999). *Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/eli/es/l/1999/11/05/38/con>
- Ley 5/2007. (2007). *Ley 5/2007 de la Red de Parques Nacionales*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 23. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-7108-consolidado.pdf>
- Ley 7/2002. (2002). *Ley 7/2002 de Ordenación Urbanística de Andalucía*. Comunidad Autónoma de Andalucía. Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/pdf/2003/BOE-A-2003-811-consolidado.pdf>
- Ley 9/2002. (2002). *Ley 9/2002 de Ordenación Urbanística y Protección del Medio Rural de Galicia*. Comunidad Autónoma de Galicia. Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/eli/es-ga/l/2002/12/30/9>
- Ley de Costas. (1988). *Ley 22/1988 / Ley de Costas*. Jefatura del Estado. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/eli/es/l/1988/07/28/22/con>
- Lossau, N. (30. Dez. 1996). Ebbe und Flut - seit Jahrzehnten ohne Störfall am Netz. (Welt.de, Hrsg.) Axel Springer SE. Abgerufen am 24. Oct. 2018 von <https://www.welt.de/print-welt/article658584/Ebbe-und-Flut-seit-Jahrzehnten-ohne-Stoerfall-am-Netz.html>
- Lübbert, D. (2005). *Das Meer als Energiequelle*. Fachbereich VIII: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung. Berlin: wissenschaftliche Dienste des deutschen Bundestages. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von

-
- <https://www.bundestag.de/resource/blob/513438/bb29366600afb78a1605948ea25e756a/das-meer-als-energiequelle-data.pdf>
- Mager, S. (2000). *Sonnenenergie und Gezeitenenergie*. (EnergieAG, Hrsg.) Linz: Zentrum für innovative Pädagogik. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von https://web.archive.org/web/20070325070351/http://gw.eduhi.at:80/thema/energie/solar/solae_n.htm
- Mangor, K. (2004). *Shoreline Management Guidelines*. Hørsholm, Denmark: DHI Water and Environment.
- Marine and Hydrokinetic Energy Technology Assessment Committee. (2013). Ocean Thermal Energy Conversion Resource Assessment (Capter 5). In *An Evaluation of the U.S. Department of Energy's Marine and Hydrokinetic Resource Assessments* (S. 56 - 66). Washington. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://www.nap.edu/read/18278/chapter/7#57>
- MarineTraffic. (2018). *marinetraffic.com*. Abgerufen am 30. Nov. 2018 von <https://www.marinetraffic.com/de/ais/home/centerx:-3.4/centery:44.0/zoom:7>
- MarineTrafic. (06. Jan. 2019). *MarineTrafic.com*. Abgerufen am 06. Jan. 2019 von <https://www.marinetraffic.com/de/ais/home/centerx:-8.2/centery:43.5/zoom:10>
- Marti, P. D. (2004). *Die Beaufort-Skala - Beaufort-Skala nach Petersen in heutiger Form - Wellenlänge nach Schubart*. Institut für Experimentelle Physik, Physik. Ulm: Universität Ulm. Abgerufen am 29. Nov. 2018 von <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/marti/Zawiw/Texte/beaufort.htm>
- Martinez Salinas, J. (2012). *Das Küstengesetz ("Ley de Costas")*. Palma de Mallorca / Spanien: WF Frank & Partner. Abgerufen am 12. Dez. 2018 von https://www.anwalt.de/rechtstipps/das-kuestengesetz-ley-de-costas_023618.html
- Matthöfer, H. (1976). *Energiequellen für Morgen? - Nichtnukleare, nichtfossile Primärenergiequellen*. Frankfurt am Main: Umschau Verlag.
- Ministerio de Economía y Competitividad. (2016). *Los nuevos mapas de la España sumergida*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 17. Nov. 2018 von <http://www.igme.es/SalaPrensa/NotasPrensa/2016/06/NOTA%20DE%20PRENSA%20ZEE.pdf>
- Ministerio de Fomento. (2016). *Los parques nacionales, naturales y regionales*. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 15. Nov. 2018 von https://www.ign.es/espmapi/mapas_patri_bach/pdf/Patri_Mapas_03_texto.pdf
- Mittendorf, K., Nguyen, B., & Zielke, W. (2004). *Seegang und Seegangsbelastung II*. Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen. Hannover: Universität Hannover. Abgerufen am 22. Nov. 2018 von <https://www.gigawind.de/fileadmin/gigawind/papers/SUSII.pdf>
- Montes, R. (2015). *La Península Ibérica: relieve, clima y vegetación. Diversidad regional de la España peninsular e insular*. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von

-
- <https://www.oposinet.com/temario-de-geografia-e-historia/temario-5-geografia-e-historia/tema-17-la-pennsula-ibrica-relieve-clima-y-vegetacin-diversidad-regional-de-la-espaa-peninsular-e-insular-2/>
- NASA. (2006). *TOPEX/Poseidon: Revealing Hidden Tidal Energy*. Abgerufen am 27. Oct. 2018 von <https://svs.gsfc.nasa.gov/stories/topex/index.html>
- NASA (Regisseur). (2013). *Ocean Current Flows around the Mediterranean Sea and Atlantic* [Kinofilm]. EarthDirect (youtube). Abgerufen am 27. Nov. 2018 von https://www.youtube.com/watch?time_continue=50&v=hJmjooowGU
- National Academy of Sciences. (2013). Ocean Current Resource Assessment (Chapter 4). In *An Evaluation of the U.S. Department of Energy's Marine and Hydrokinetic Resource Assessments* (S. 48 - 55). Washington. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://www.nap.edu/read/18278/chapter/6#54>
- National Oceanography Centre. (2018). Meeresströmungen. (E. A. National Oceanography Centre, Hrsg.) Southampton, UK. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <http://www.seos-project.eu/modules/oceancurrents/oceancurrents-c05-p01.de.html>
- National Renewable Energy Laboratory. (19. May 2014). *openei.org*. (U. D. Energy, Herausgeber) Abgerufen am 28. Oct. 2018 von https://openei.org/wiki/MHK_Technologies/Neptune_Proteus_NP1000
- Nemos. (2017). *ENGINEERING INNOVATIONS - DRIVEN BY THE CHALLENGE OF WAVES*. Duisburg: Nemos GmbH. Abgerufen am 27. Feb. 2019 von <https://www.nemos.org/>
- Neumann, G. (Sept. 1949). Die Entstehung der Wasserwellen durch Wind. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*. Abgerufen am 23. Oct. 2018 von <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02226026>
- Nihous, G. C. (2010). *Mapping available Ocean Thermal Energy Conversion resources around the main Hawaiian Islands with state-of-the-art tools*. Journal of Renewable and Sustainable Energy .
- NOAA. (2014). *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) Technology*. NOAA's Office of Ocean & Coastal Resource Management, Washington, D. C., Vereinigte Staaten. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://coast.noaa.gov/czm/media/technicalfactsheet.pdf>
- Oceana. (2010). *Propuesta de Áreas marinas de importancia ecológica - Islas Canarias*. Fundación Biodiversidad, Madrid. Abgerufen am 17. Nov. 2018 von https://eu.oceana.org/sites/default/files/euo/OCEANA_Propuestas_AMIE_Canarias_ESP.pdf
- OceanCare. (2009). *Meeresströmungen - Wasserzirkulation im Mittelmeer*. Wädenswil / Schweiz: OceanCare. Abgerufen am 27. Nov. 2018 von <https://www.oceancare.org/de/meeresstromungen/>
- OpenSeaMap. (2018). *OpenSeaMap - die freie Seekarte*. Abgerufen am 22. Nov. 2018 von <http://map.openseamap.org/>
- Ovacen. (2017). *Ovacen - Periodismo al detalle*. Abgerufen am 15. Oct. 2018 von Ovacen - Periodismo al detalle: https://ovacen.com/energia-marina/#Que_tipos_de_energia_marina_hay

-
- Palomino, D. (2017). *La energía de las mareas o energía mareomotriz*. RenovablesVerdes. Abgerufen am 28. Nov. 2018 von <https://www.renovablesverdes.com/energia-mareomotriz/>
- Palomino, M. (09. Feb. 2014). *Energiewende, alternative Energie*. Abgerufen am 22. Nov. 2018 von Die Kombination der erneuerbaren Energien. Meldungen (Teil 3): <http://www.soz-etc.com/energien-erneuerbar/alle-zusammen/komb003-an-energiewende-festhalten-m-fotos.html>
- Planelles, M., & Pellicer, L. (24. Jan. 2019). Bruselas denuncia a España por la inacción ante el robo de agua en Doñana. (E. País, Hrsg.) *El País*. Abgerufen am Jan.. 25 2019 von https://elpais.com/sociedad/2019/01/24/actualidad/1548331479_252756.html
- POWER-Technology. (2016). *power-technology.com*. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://www.power-technology.com/projects/makais-ocean-thermal-energy-conversion-otec-power-plant-hawaii/>
- Power-Technology. (2018). *power-technology.com*. Abgerufen am 03. Nov. 2018 von <https://www.power-technology.com/projects/hainan-ocean-thermal-energy-conversion-otec-power-plant/>
- Power-Tecnology. (2009). *www.power-technology.com*. Abgerufen am 06. Nov. 2018 von Pelamis, World's First Commercial Wave Energy Project, Agucadoura: <https://www.power-technology.com/projects/pelamis/>
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung. (2019). *Presse- und Informationsamt der Bundesregierung*. (P. u. Bundesregierung, Herausgeber) Abgerufen am 01. Mär. 2019 von Erneuerbare Energien - Allgemeines: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/fragen-und-antworten/erneuerbare-energien/allgemeines-451866>
- Quaschnig, P.-I. (Feb. 2019). Weltweit installierte Photovoltaikleistung. Berlin.
- Quaschnig, P.-I. (Feb. 2019). Weltweite installierte Windkraftleistung. Berlin.
- Raj, S. (2012). *Pelamis wave energy converter seminar report*. Department of Mechanical Engineering. Jagadhri / Indien: Haryana Engineering College. Abgerufen am 17. Nov. 2018 von <https://de.slideshare.net/sukhrajasingh39/pelamis-wave-energy-converter-seminar-report>
- RAO. (2015). *raonline.ch*. Abgerufen am 27. Oct. 2018 von <https://www.raonline.ch/pages/edu/cli2/golfstrom0200.html>
- Rath, A. (22. Jun. 2018). *euroluftbild.de*. Abgerufen am 22. Oct. 2018 von <https://www.luftbildsuche.de/info/luftbilder/fluss-brueckenbauwerk-ueber-rance-zwischen-saint-malo-dinard-bretagne-frankreich-373671.html>
- Rauchhaupt, U. (01. Mär. 2015). Die Zeugen der Zweifler. *Frankfurter Allgemeine*. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.faz.net/aktuell/wissen/erde-klima/welche-wissenschaftler-zweifeln-am-klimawandel-13456636.html>
- Real Decreto 638/2016. (2016). *Real Decreto 638/2016 Reglamento del Dominio Público Hidráulico*. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2016-12466>

-
- Real Decreto 907/2007. (2007). *Reglamento de la Planificación Hidrológica*. Madrid: Gobierno de España. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-13182>
- Real Instituto Elcano. (2002). *Jurisdicciones marítimas en el Estrecho de Gibraltar (ARI)*. Sevilla: Real Instituto Elcano de Estudios Internacionales y Estratégicos. Abgerufen am 17. Nov. 2018 von http://www.realinstitutoelcano.org/wps/wcm/connect/529069004e08c186ae22fe9936ab49f3/ARI31-2002_SuarezDeVivero_Jurisdicciones_Maritimas_Gibraltar.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=529069004e08c186ae22fe9936ab49f3
- RED Eléctrica de España. (2016). *Sistema eléctrico canario*. Madrid: RED Eléctrica de España. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-canario>
- RED Eléctrica de España. (2017). Estadísticas - Potencia eléctrica instalada. (REE (www.ree.es), Hrsg.) Madrid, Spanien. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>
- RED Eléctrica de España. (2018). *Demanda balear en tiempo real*. Madrid: RED Eléctrica de España. Abgerufen am 08. Dez. 2018 von <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-balear/demanda-de-energia-en-tiempo-real>
- RED Eléctrica de España. (2018). *Red de transporte balear*. Madrid: RED Eléctrica de España. Abgerufen am 08. Dez. 2018 von <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-balear/red-de-transporte>
- RED Eléctrica de España. (2018). Series estadísticas del sistema eléctrico español (septiembre 2018). (R. (www.ree.es), Hrsg.) Madrid, Spanien. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>
- Reiche, D. (Hrsg.). (2005). *Grundlagen der Energiepolitik*. Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH - Europäischer Verlag der Wissenschaften.
- ResearchGate. (2011). *www.researchgate.net*. Abgerufen am 06. Nov. 2018 von https://www.researchgate.net/figure/Pelamis-wave-energy-converter-Agucadoura-Portugal-Fig-2-Wavegen-Oscillating-Water_fig3_282354937
- Richtlinie 2000/60EG. (2000). *RICHTLINIE 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*. Europäisches Parlament und Rat. Brüssel: Europäische Union. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32000L0060>
- Salem State University. (2000). *Hydrographic Regime*. Salem state university. Salem, Massachusetts: Salem state university. Abgerufen am 27. Oct. 2018 von http://w3.salemstate.edu/~lhanson/gls210/GLS210_coasts/hydr.htm
- Salz247. (2014). *salz247.de*. Abgerufen am 04. Nov. 2018 von <https://salz247.de/umwelt/salzgehalt-von-meerwasser>

-
- Salz-Kontor. (2009). *Salz-Kontor.de*. Abgerufen am 04. Nov. 2018 von <https://www.salz-kontor.de/wie-viel-salz-ist-in-suesswasser.php>
- Salzmann, D. (Jul. 2009). *wissenstexte.de*. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <https://physik.wissenstexte.de/gezeiten.htm>
- Schmitt, C. (2013). *Ocean La Gomera*. Abgerufen am 01. Dez. 2018 von http://www.ocean-la-gomera.com/Kanarische_Inseln.htm?Kanarenstrom
- Schönfelder, I., & Schönfelder, P. (1997). *Die Kosmos-Kanarenflora. Über 850 Arten der Kanarenflora und 48 tropische Ziergehölze*. Stuttgart: Kosmos.
- SETIS. (20. May 2013). Ocean Energy. (E. C.-S. System, Hrsg.) Brüssel, Belgien. Abgerufen am 20. Oct. 2018 von https://setis.ec.europa.eu/system/files/Technology_Information_Sheet_Ocean_Energy.pdf
- Siemens. (2010). *Pictures of the Future - Die Zeitschrift für Forschung und Innovation*. München: Siemens. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <https://www.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/innovation/pictures-of-the-future/pof-archive/pof-fruehjahr-2010.pdf>
- Siemens (Regisseur). (2012). *Turn the tides into energy* [Kinofilm]. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <https://www.youtube.com/watch?v=ZPi9HeDgN58>
- Sommerwerk, D.-I. T. (2016). Gezeitenkraftwerk. Berlin. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von http://energie-strom.com/erneuerbare_energien/wasserkraft/gezeitenkraftwerk.html
- SOWFIA. (2012). *Catalogue of Wave Energy Test Centres*. Intelligent Energy Europe. Streamlining of Ocean Wave Farms Impact Assessment (SOWFIA). Abgerufen am 18. Nov. 2018 von https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/D2.1_Catalogue_of_Wave_Energy_Test_Centres.pdf
- Spain, R. (2002). *A Possible Roman Tide Mill*. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://www.kentarchaeology.ac/authors/005.pdf>
- SRÜ. (1982). *Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen*. Montego Bay: Vereinte Nationen. Abgerufen am 29. Nov. 2018 von <https://www.jurion.de/gesetze/srue/>
- Statista. (2018). Europäische Union: Gesamtbevölkerung in den Mitgliedsstaaten, Prognosen. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164004/umfrage/prognostizierte-bevoelkerungsentwicklung-in-den-laendern-der-eu/>
- Statista. (2018). *Population of the Spanish autonomous community of the Canary Islands in 2018, by island*. Hamburg. Abgerufen am 16. Nov. 2018 von <https://www.statista.com/statistics/449366/population-of-the-canary-islands-by-island/>
- Statista. (2018). *Prognose im Rahmen des Desertec-Projekts zum Stromverbrauch Spaniens bis zum Jahr 2050 (in Terawattstunden pro Jahr)*. Statista. Abgerufen am 16. Nov. 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/20211/umfrage/desertec-prognose-zum-stromverbrauch-von-spanien-bis-2050/>

-
- statista.com. (2018). Spanien: Gesamtbevölkerung von 2008 bis 2018. Abgerufen am 10. Nov. 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/19315/umfrage/gesamtbevoelkerung-in-spanien/>
- Statistisches Bundesamt. (2018). Europa in Zahlen. *Spanien*. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <https://www.destatis.de/Europa/DE/Staat/EUStaaten/Spanien.html>
- Statkraft. (2009). *Osmotic Power*. Oslo. Abgerufen am 04. Nov. 2018 von https://www.statkraft.de/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/osmotic-nov-2009-eng_tcm9-11474.pdf
- Statkraft news. (2013). *Statkraft halts osmotic power investments*. Mitteilung, Oslo. Abgerufen am 04. Nov. 2018 von <https://www.statkraft.com/media/news/News-archive/2013/Statkraft-halts-osmotic-power-investments/>
- Sterner, M. (2013). *Stand, Technik und Wirtschaftlichkeit der Energiewende*. FENES - Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher - OTH Regensburg. Regensburg: OTH Regensburg. Abgerufen am 10. Nov. 2018 von https://www.oth-regensburg.de/fileadmin/media/professoren/ei/sterner/pdf/2014_Sterner_BEE_HMI_Forum_EE.pdf
- Sterner, P.-I. M., & Raith, T. (2012). *www.erneuerbareenergien.de*. Abgerufen am 10. Nov. 2018 von <https://www.erneuerbareenergien.de/archiv/schiff-schraubt-strom-150-475-73444.html>
- Stromspiegel. (2017). *Stromspiegel*. Berlin: co2online.de. Abgerufen am 18. Dez. 2018 von <https://www.stromspiegel.de/stromkosten/stromverbrauch-im-haushalt/3-personen-haushalt/>
- Suárez de Vivero, J. (2010). *Las aguas territoriales en el Estrecho: delimitación de espacios marítimos entre España y Marruecos*. Universidad de Sevilla - Departamento de Geografía Humana, Sevilla. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von <http://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/AGUASTERRITORIALESESTRECHO.pdf>
- Suárez de Vivero, J. L. (2009). *Hoheitsgewässer im Mittelmeer und im Schwarzen Meer*. Fachabteilung Struktur- und Kohäsionspolitik . Brüssel: Europäisches Parlament. Abgerufen am 29. Nov. 2018 von [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2009/431602/IPOL-PECH_ET\(2009\)431602_DE.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2009/431602/IPOL-PECH_ET(2009)431602_DE.pdf)
- Sussman, M., & Katchalsky, A. (02. Jan. 1970). Mechanochemical Turbine: A New Power Cycle. *Science Vol 167*.
- Tecnalia. (2008). *Energías de las olas: Situación y Futuro*. Ministerio de Ciencia e Innovación, Tecnalia - Corporación Tecnológica. Gobierno de España. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.fundacionareces.es/recursos/doc/portal/2018/08/21/energias-de-las-olas-situacion-y-futuro-pedro-ibanez.pdf>
- Teneriffa News. (07. Nov. 2018). *Teneriffa News*. Abgerufen am 01. Jan. 2019 von https://www.teneriffa-news.com/news/kanaren/la-graciosa-wird-achte-kanarische-insel_11611.html

-
- Tipler, P., & Mosca, G. (2004). *Physik - Für Wissenschaftler und Ingenieure* (Bd. 2. Auflage). München: Spektrum Verlag.
- Titz, S., & Wagner, H.-F. (22. 03 2007). *Welt der Physik - Bundesministerium für Forschung und Bildung*. Abgerufen am 15. Oct. 2018 von <https://www.weltdrphysik.de/gebiet/erde/atmosphaere/meere/gezeiten/>
- UBA. (2010). *Energiegewinnung im Meer*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/energiegewinnung-im-meer#textpart-1>
- UBA. (2014). *Das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen*. Umweltbundesamt. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Abgerufen am 11. Dez. 2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/arktis/rechtlicher-institutioneller-rahmen-der-arktis/das-seerechtsuebereinkommen-der-vereinten-nationen#textpart-1>
- UBA. (2014). *Energie aus Wasserkraft*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/energie-aus-wasserkraft#textpart-1>
- UBA. (2016). *Emmissionsquellen*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#textpart-1>
- UK government departments. (2010). *Towards European industrial leadership in Ocean Energy in 2020*. London: GOV.UK. Abgerufen am 18. Nov. 2018 von https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/48233/3610-position-paper-towards-euro-ind-leader.pdf
- ultimahora.es. (20. Jun. 2017). El Govern propone cerrar la mitad de Es Murterar y alcanzar el 10% de renovables en 2020. *ultimahora*. Abgerufen am 10. Dez. 2018 von <https://www.ultimahora.es/noticias/local/2017/06/20/275050/govern-propone-cerrar-mitad-murterar-alcanzar-renovables-2020.html>
- unesa. (2010). *Asociación Española de la Industria Eléctrica*. Abgerufen am 25. Oct. 2018 von <https://www.unesa.net/investigar/sabereininvestigar/mapas/consumo.htm>
- unesa. (2018). *balance energético 2017 y perspectivas 2018*. Asociación Española de la Industria Eléctrica. Madrid: Asociación Española de la Industria Eléctrica. Abgerufen am 14. Nov. 2018 von www.enerclub.es/file/Vqrx4hvOOQPM0ex5BxJguQ
- Uni Gießen. (2002). *Spanien heute (deutsche Übersetzung)*. Madrid. Abgerufen am 11. Nov. 2018 von <http://www.staff.uni-giessen.de/~gb1164/Landeskunde/spanienheute/GEOGRAF>
- University of Plymouth. (2019). *Professor Gregorio Iglesias Rodriguez*. School of Biological and Marine Sciences (Faculty of Science and Engineering). Plymouth / UK: University of Plymouth. Abgerufen am 29. Dez. 2018 von <https://www.plymouth.ac.uk/staff/gregorio-iglesias-rodriguez>

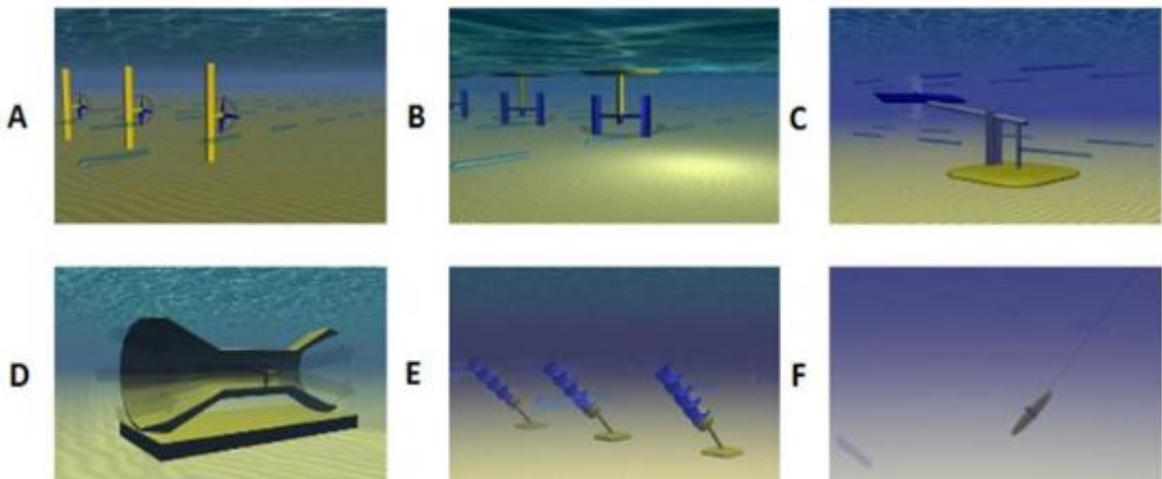
-
- VDEW. (2006). *Haushalts-Stromverbrauch in de EU*. Dt.Statistisches Bundesamt, Verband der Elektrizitätswirtschaft (VDEW). Berlin: Eurelectric (Brüssel). Abgerufen am 09. Jan. 2019 von <https://oesv1.orf.at/stories/95903>
- Veerman, J. (2010). *Reverse Electrodialysis - design and optimization by modeling and experimentation*. Groningen, Niederlande: Rijksuniversiteit Groningen. Abgerufen am 1. Nov. 2018 von https://www.waddenacademie.nl/fileadmin/inhoud/pdf/06-wadweten/Proefschriften/ProefschriftJoostVeerman_met_omslag.pdf
- Verbraucher Initiative e.V. (2016). *Kampf gegen den Klimawandel – Im Großen*. Berlin: Verbraucher Initiative e.V. (Bundesverband). Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://www.oeko-fair.de/klimawandel2/kampf-gegen-den-klimawandel-%E2%80%93-im-grossen>
- Vessel. (2019). *VesselFinder: Freies AIS Tracking von Schiffsbewegungen*. Abgerufen am 05. Jan. 2019 von <https://www.vesselfinder.com/de>
- Ville d'Hendaye. (2018). *Les villes du consorcio*. Hendaye/Frankreich: Hôtel de Ville Hendaye. Abgerufen am 13. Jan. 2019 von <https://www.hendaye.fr/fr/>
- Vogel, P. (1993). *Probleme aus der Physik*. München: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-78189-6
- Voith GmbH & Co. KGaA. (02. Jul. 2007). *Presseportal.de*. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von <https://www.presseportal.de/pm/50723/1010476>
- Wahl, T., Mudersbach, C., Gröschel, M., & Jensen, J. (2012). *Ermittlung maßgebender Seegangsverhältnisse für das Untersuchungsgebiet Sylt und deren Berücksichtigung in der statistischen Analyse*. TU Braunschweig, Braunschweig. Abgerufen am 20. Nov. 2018 von https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/hyku-xr/16_wahl_et_al_xtremrisk_massgebende_seegangsverhaeltnisse.pdf
- Welzer, H., & Leggewie, C. (2011). *Das Ende der Welt, wie wir sie kannten*. Frankfurt am Main: S. Fischer Verlag GmbH.
- Wetzel, D. (04. Nov. 2012). Frankreich baut ein Kraftwerk unter Wasser. *Welt*. Abgerufen am 21. Oct. 2018 von <https://www.welt.de/wirtschaft/article110591813/Frankreich-baut-ein-Kraftwerk-unter-Wasser.html>
- WHG. (2009). *Wasserhaushaltsgesetz*. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. Abgerufen am 22. Dez. 2018 von https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/_33.html
- Wick, G., & Schmitt, W. (Jan. 1977). Prospects for renewable energy from sea. *Marine Technology Society Journal*, S. 16 - 21. Abgerufen am 05. Dez. 2018 von https://www.researchgate.net/publication/280016620_Prospects_for_Renewable_Energy_from_the_Sea
- Willmann, I., & Egli-Broz, H. (2010). *Ökologie. Einführung in die Wechselwirkung zwischen Mensch und Natur (2. Auflage)*. Zürich: Compendio Bildungsmedien AG.
- WILO SE. (2019). *5000 Jahre Wasserkraft - wie aus dem Schöpftrad ein Wasserkraftwerk wurde*. Dortmund: WILO SE. Abgerufen am 01. Mär. 2019 von <http://www.xperts.de/Wissen/Unser->

Wissen-f%C3%BCr-Sie/5000-Jahre-Wasserkraft-wie-aus-dem-Sch%C3%B6pfrad-ein-Wasserkraftwerk-wurde/

- World Energy Council. (2016). *World Energy Resources - Marine Energy 2016*. London. Abgerufen am 22. Oct. 2018 von https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Marine_2016.pdf
- World Ocean Review. (2010). *Antrieb des Klimas - die großen Meeresströmungen (Wor1)*. Mareverlag. Abgerufen am 28. Oct. 2018 von <https://worldoceanreview.com/wor-1/klimasystem/groese-meeresstroemungen/>
- World Ocean Review. (2010). *Klare Regeln, klare Grenzen*. Mareverlag. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von <https://worldoceanreview.com/wor-1/seerecht/rechtsordnung-der-ozeane/2/>
- WWF. (2016). *Red Natura 2000: Una Red de Vida para Europa*. Madrid: World Wide Fund For Nature. Abgerufen am 11. Dez. 2018 von https://www.wwf.es/nuestro_trabajo_/especies_y_habitats/red_natura_2000/
- Xunta de Galicia. (2019). *Club Náutico de Ribadeo*. Ribadeo: Xunta de Galicia. Abgerufen am 09. Jan. 2019 von http://www.turismo.gal/recurso/-/detalle/28392/club-nautico-de-ribadeo?langId=de_DE&tp=66&ctre=117
- Zanke, U. (2012). *Technische Hydraulik: Kompendium für den Wasserbau*. Heidelberg / Berlin: Springer.
- Zerbel, M. (21. Apr. 2012). Pack doch einfach mal die Alge in den Tank! *Welt*. Abgerufen am 10. Nov. 2018 von <https://www.welt.de/regionales/muenchen/article106204508/Pack-doch-einfach-mal-die-Alge-in-den-Tank.html>

Anhang

A.1. Gängigste Technologien zur Nutzung von Gezeitenströmungen & europäische Standorte mit hohem Gezeitenströmungspotenzial (Aqua-RET, 2012)



A: Turbine mit horizontaler Achse

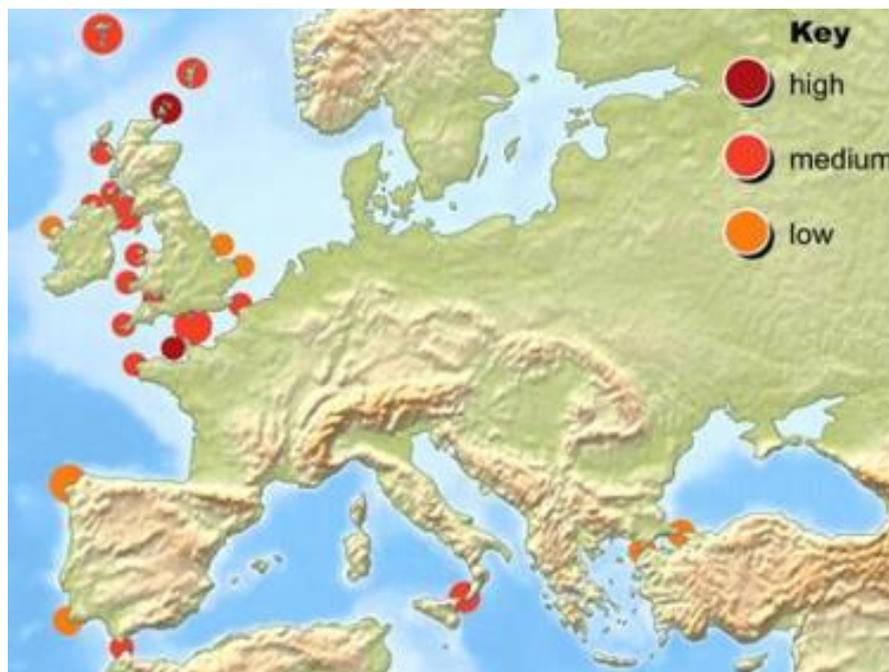
B: Turbine mit vertikaler Achse

C: Oszillierendes Hydrofoil

D: Turbine in festem Gehäuse mit Querschnittsveränderung

E: Archimedes Schraube

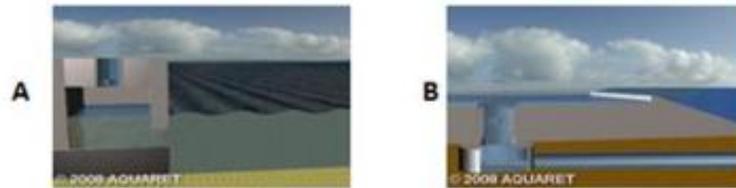
F: Tidal Kite



Europäische Standorte mit hohem Potenzial hinsichtlich Gezeitenströmungen (Aqua-RET, 2012)

A.2. Gängige Technologien zur Nutzung der Wellenkraft bezogen auf unterschiedliche Installationsbereiche (Aqua-RET, 2012)

Onshore



Nearshore



Offshore



A: Oszillierende Wassersäule (OWC)

B: Überströmungsbauwerk

C: Oszillierender Wellenwandler

D: Point Absorber

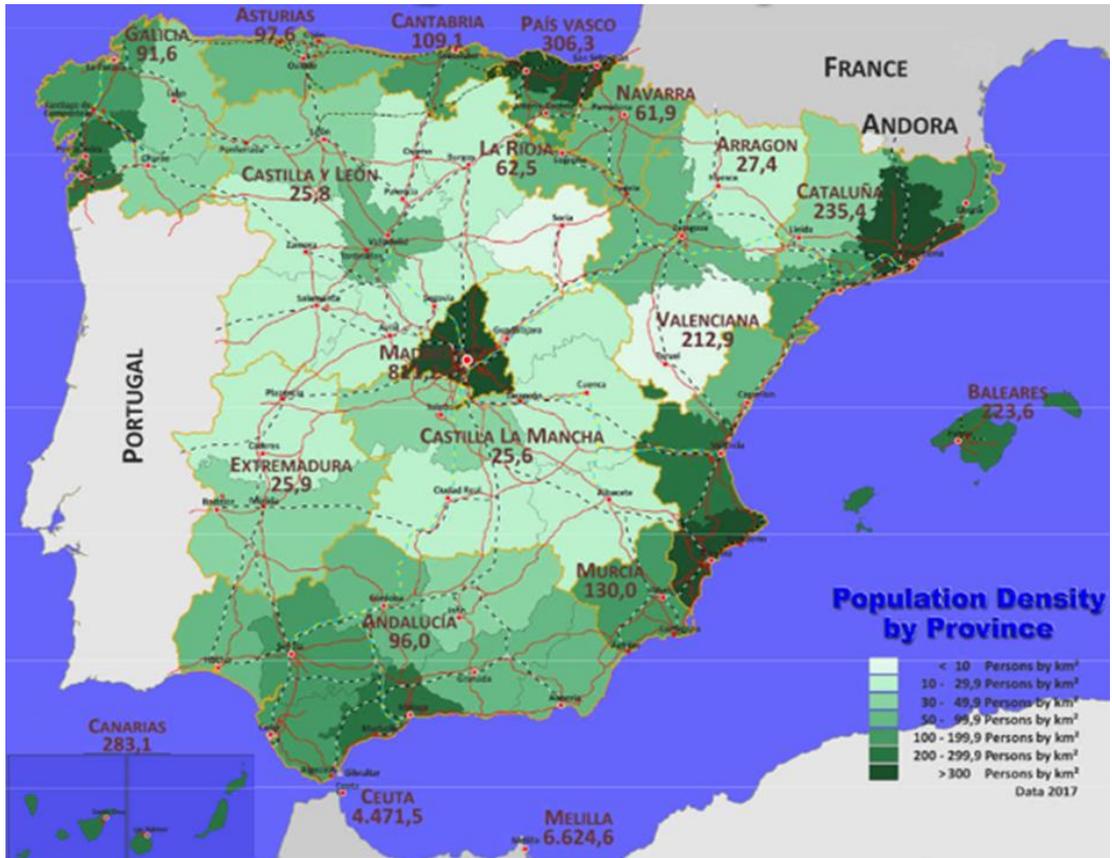
E: Tauchdruckdifferenzgerät

F: Attenuator

G: Bulge-Wave-Converter

H: Rotierende Masse

A.3. Bevölkerungsdichte der einzelnen Provinzen Spaniens in Einwohner pro km²

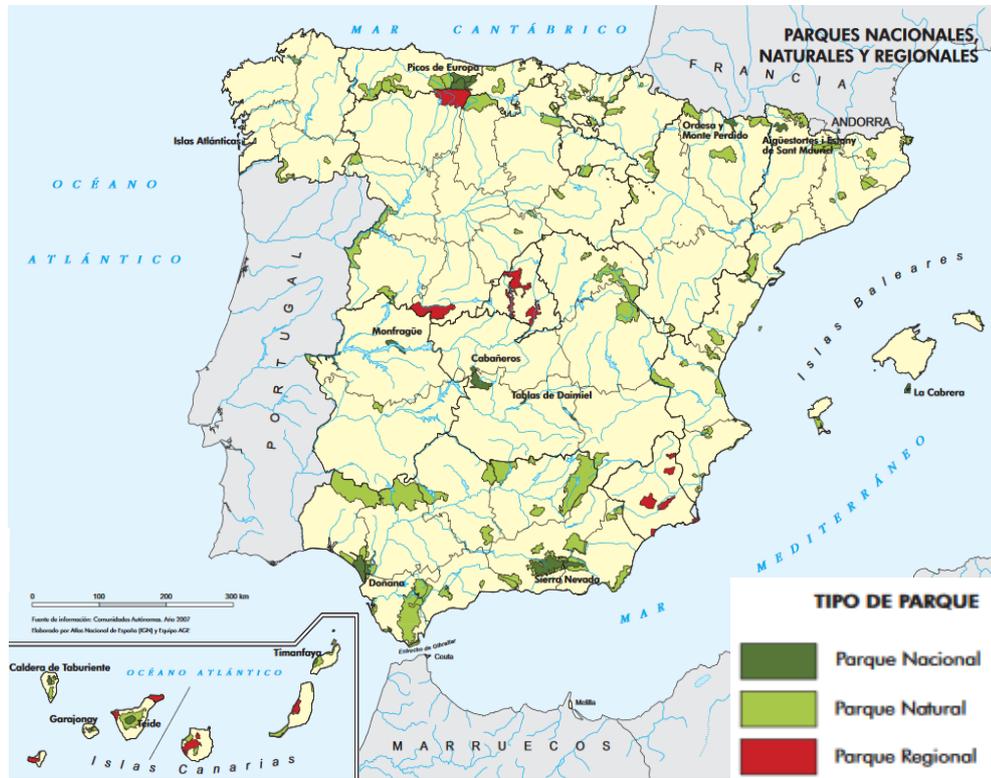


Bevölkerungsdichte der spanischen Provinzen in Einwohner pro km² (Stand: 2017) (Frommert, 2018)

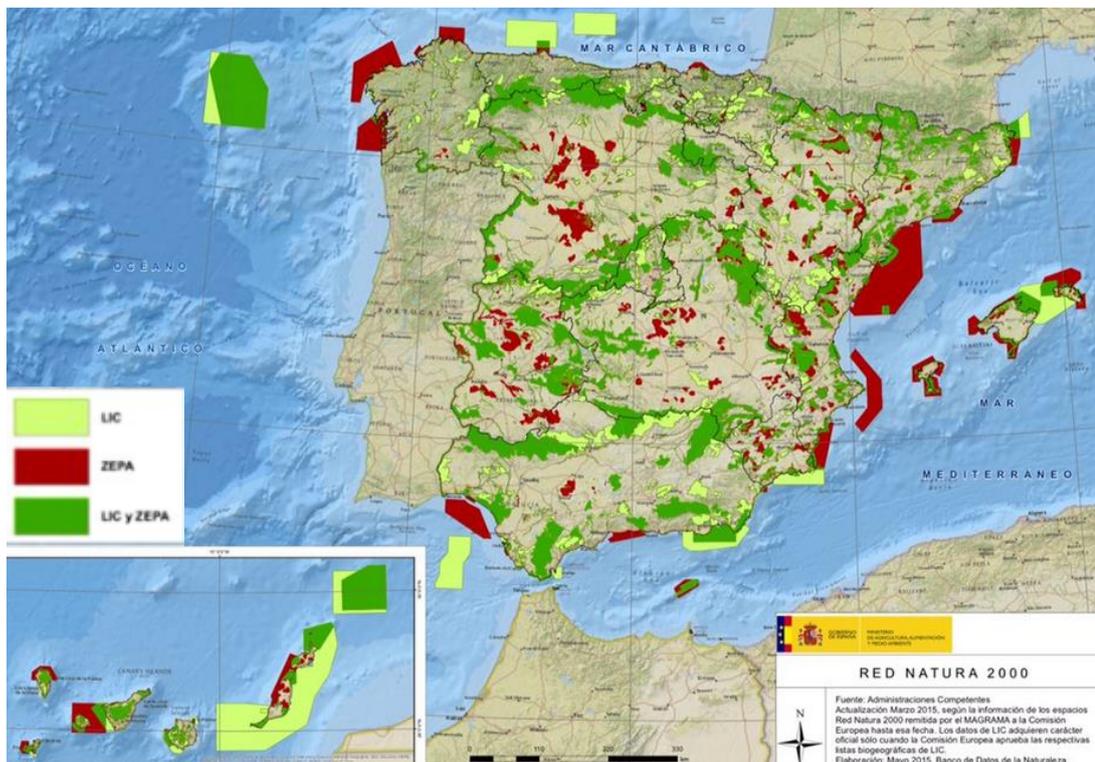


Satellitenbild der Iberischen Halbinsel bei Nacht, zur Verdeutlichung der Bevölkerungsverteilung Spaniens (Escola d'Arquitectura del Vallès de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2017)

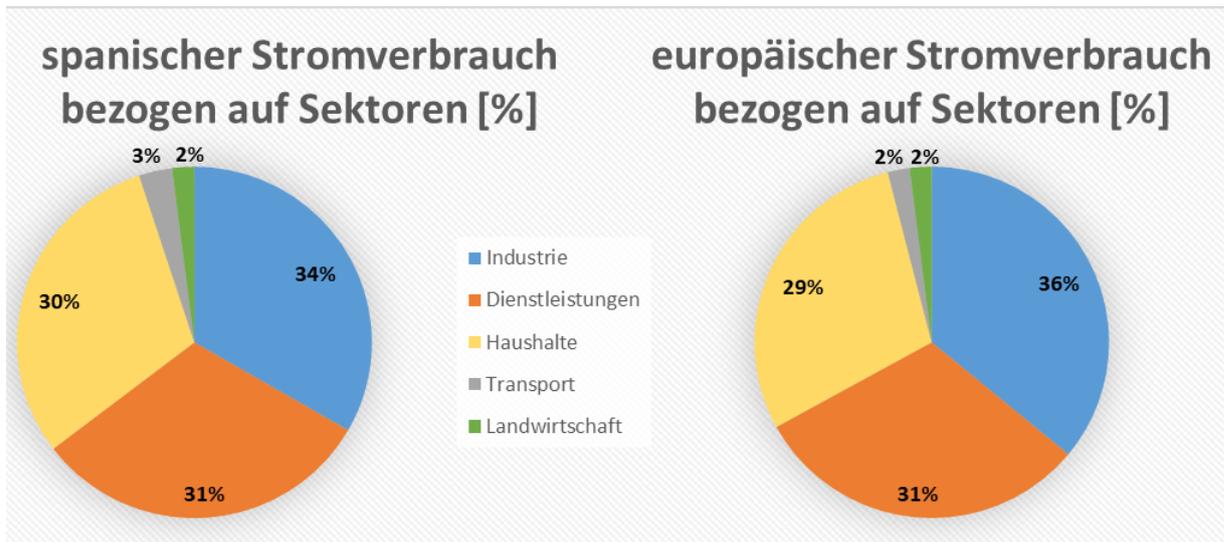
A.4. Nationalparks, Naturparks, Naturreservate und Natura 2000 Schutzgebiete Spaniens



Übersichtskarte der spanischen Nationalparks, Naturparks und Naturreservate (oben) und Schutzgebiete des Natura-2000-Netzes (unten) (Ministerio de Fomento, 2016) (Gobierno de España, Los espacios protegidos Natura 2000 en España, 2017)

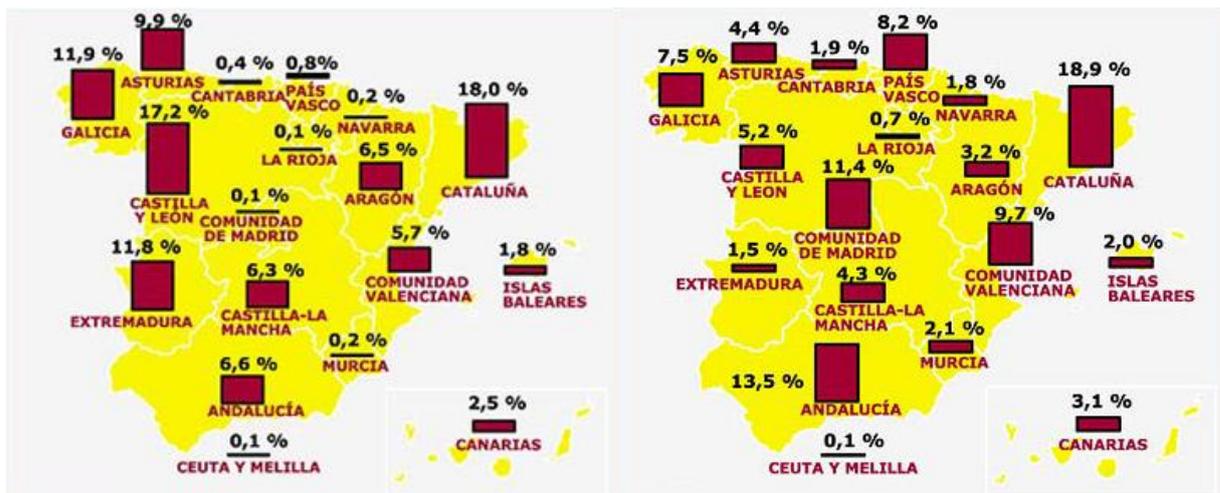


A.5. Stromverbrauch bezogen auf Sektoren in Prozent



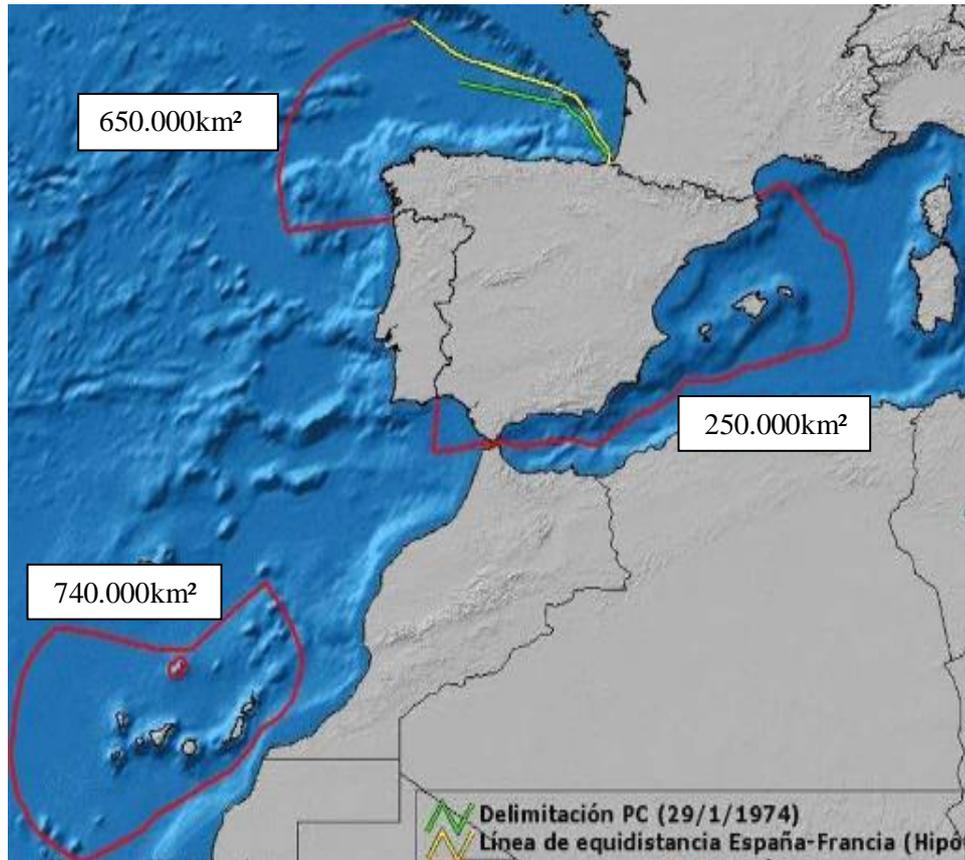
Gegenüberstellung des spanischen Stromverbrauchs und des europäischen Stromverbrauchs bezogen auf Sektoren (International Energy Agency, 2015)

A.6. Stromproduktion und Stromverbrauch in Spanien bezogen auf die Autonomen / Regionen Spaniens



Gegenüberstellung der Stromproduktion (links) und des Stromverbrauchs (rechts) bezogen auf die Autonomen bzw. Regionen Spaniens (unesa, Asociación Española de la Industria Eléctrica, 2010)

A.7. ausschließliche Wirtschaftszonen Spaniens und Europas



Ausschließliche Wirtschaftszonen (AWZ) nach Art. 55 SRÜ der Vereinten Nationen des Staates Spaniens (oben) und Europas (unten) (Ministerio de Economía y Competitividad, 2016) (Suárez de Vivero J. , 2010) (World Ocean Review, Klare Regeln, klare Grenzen, 2010)



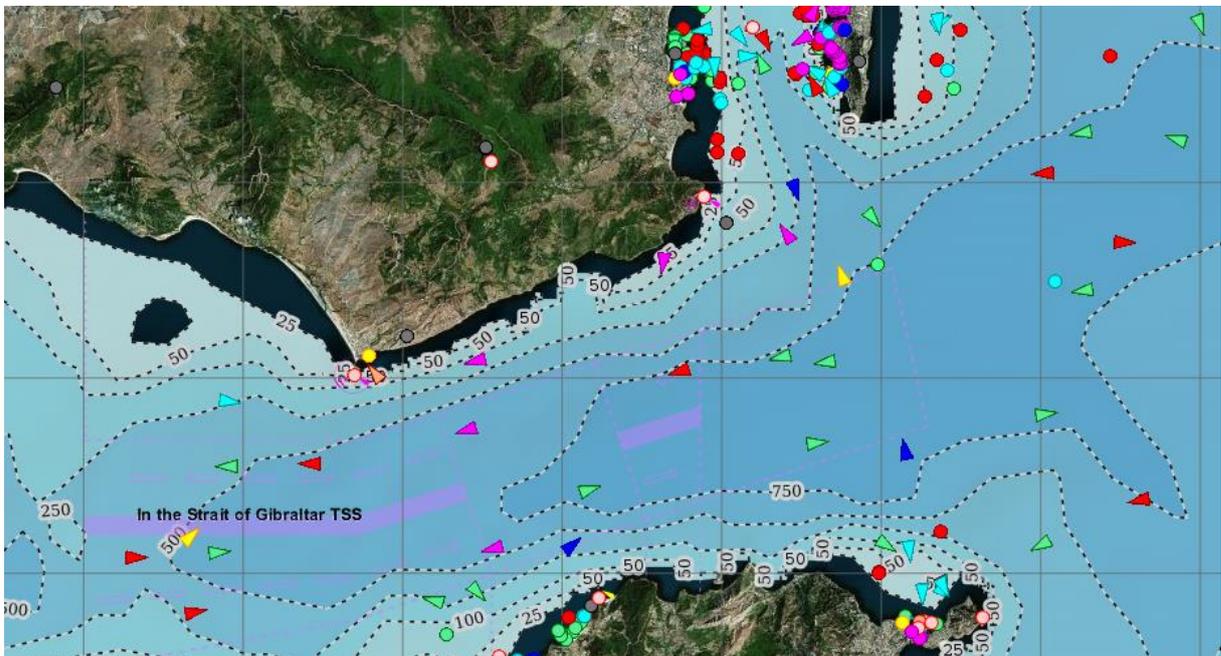
A.8. Lage der Messbojen („Mareógrafo“) des spanischen Staates



A.9. Verlauf der Seegrenzen und des Seeweges in der Straße von Gibraltar

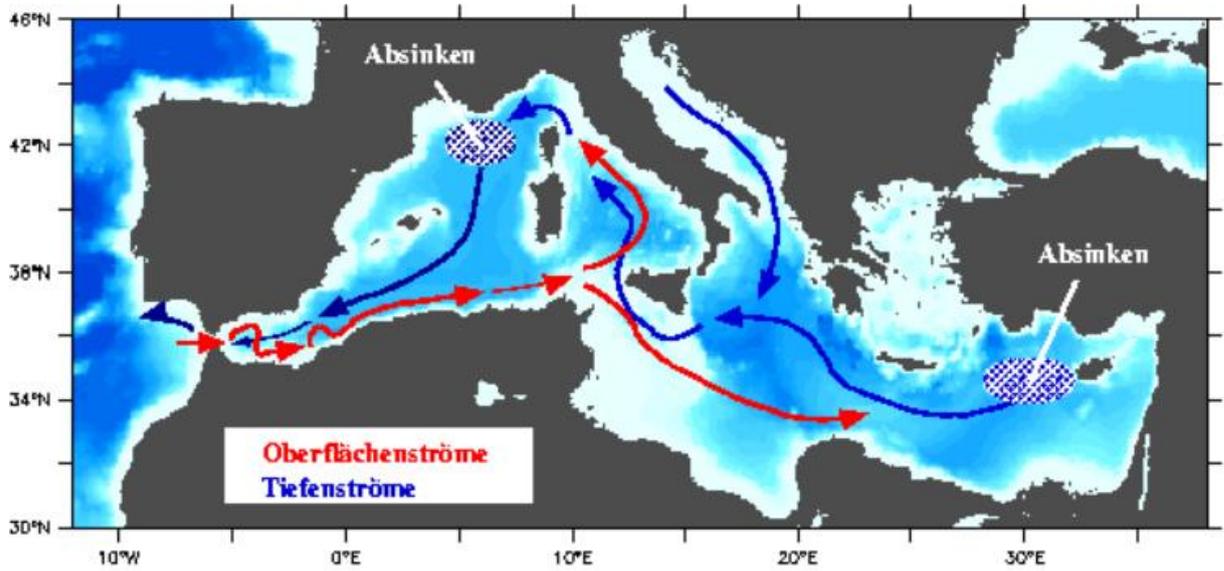


Verlauf der Seegrenze in der Straße von Gibraltar in schwarz. Die Seefläche um die Halbinsel von Gibraltar ist in einem Radius von 3 Seemeilen (5,5 km) vom spanischen Hoheitsgebiet ausgeschlossen. (Real Instituto Elcano, 2002)

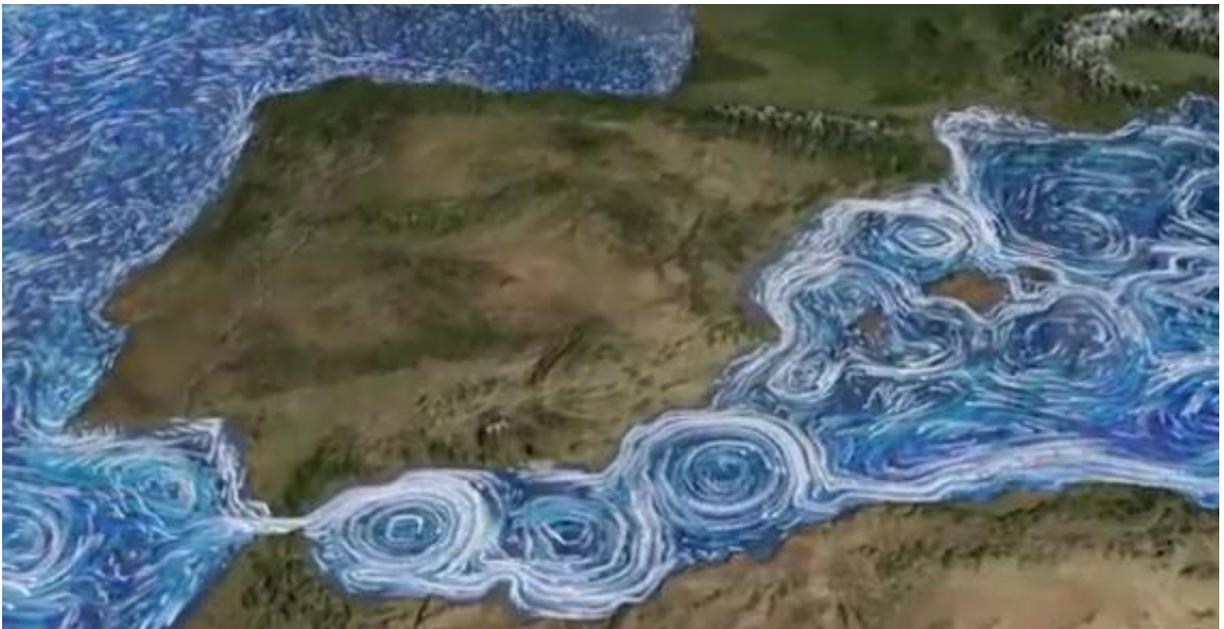


Verlauf des Seeweges zwischen Atlantik und Mittelmeer in der Straße von Gibraltar in lila. Neben den Wassertiefen ist der Schiffsverkehr (24.11.2018, 18:00 Uhr) zu sehen.

A.10. Strömungen im Mittelmeer

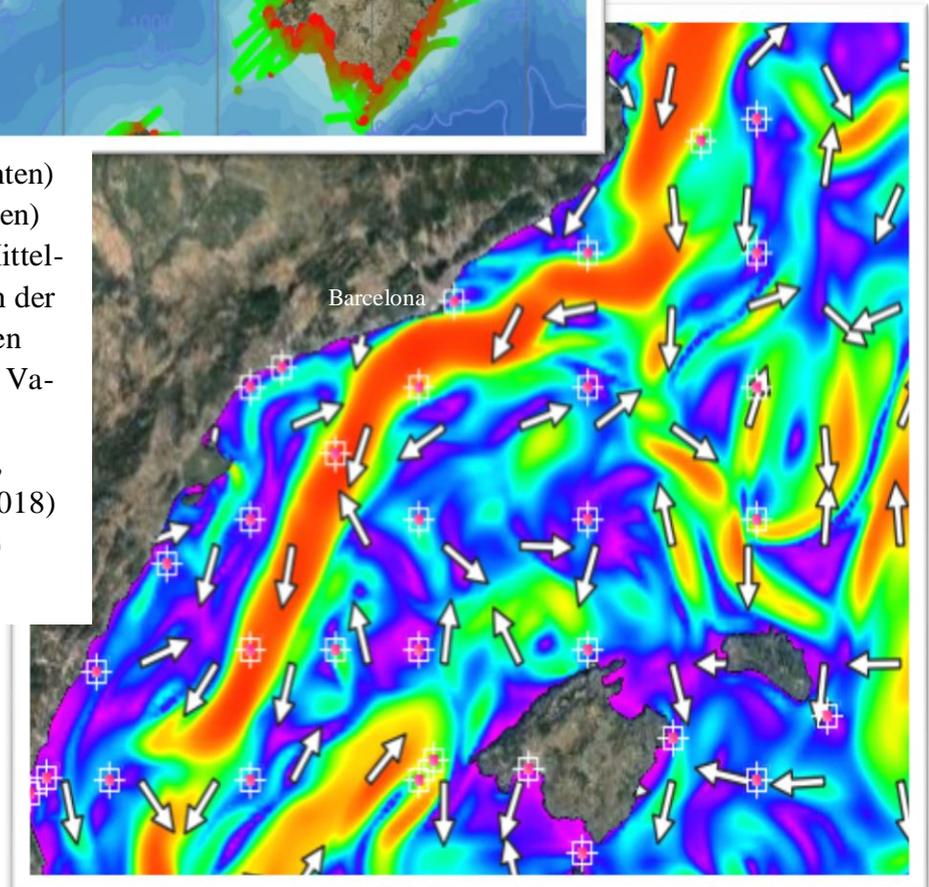
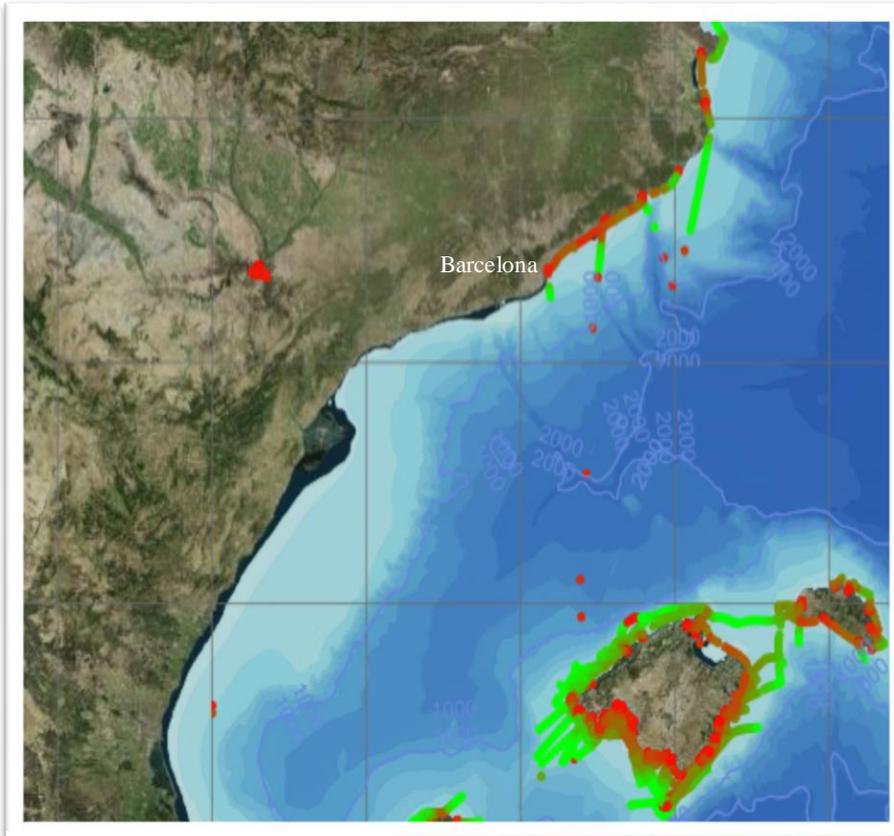


grobe Darstellung der Oberflächen- und Tiefenströmungen im Mittelmeer, als Teil der thermohalinen Zirkulation der Ozeane (IFM GEOMAR, 2001)



Im Mittelmeer auftretende Strömungen (NASA, Ocean Current Flows around the Mediterranean Sea and Atlantic, 2013)

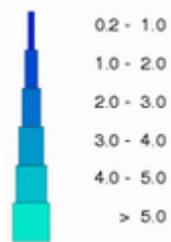
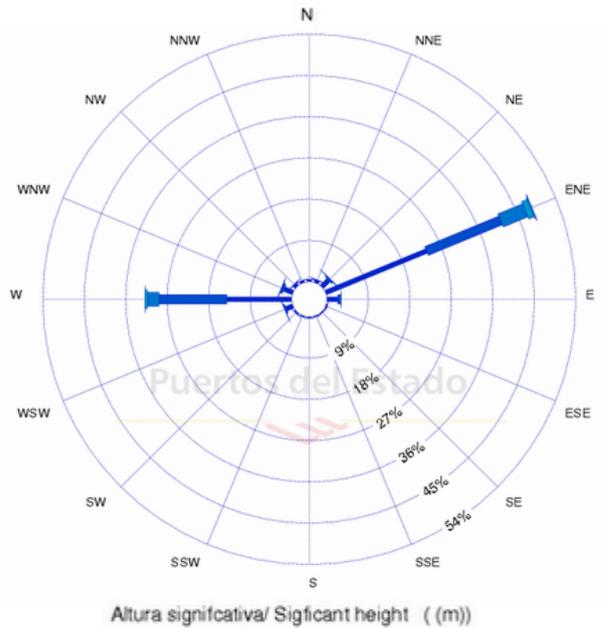
A.11. Strömungsverlauf und Wassertiefen vor der spanischen Mittelmeerküste im Bereich zwischen den Balearischen Inseln und dem spanischen Festland



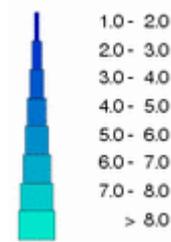
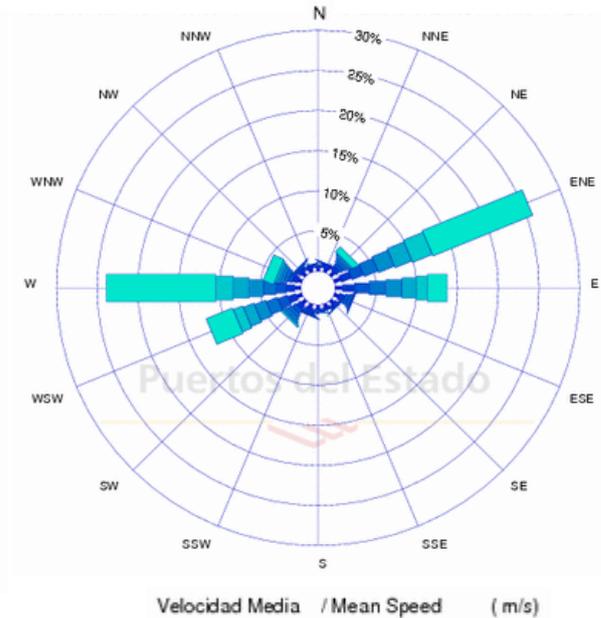
Strömungsverlauf (unten) und Wassertiefen (oben) vor der spanischen Mittelmeerküste im Bereich der französisch-spanischen Grenze und der Stadt Valencia (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018) (OpenSeaMap, 2018)

A.12. Wellen- und Windrosen

**ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA en SIMAR
2048072 en el periodo 1958-2018**
*SIGNIFICANT HEIGHT ROSE at SIMAR Point
2048072 , period 1958-2018*

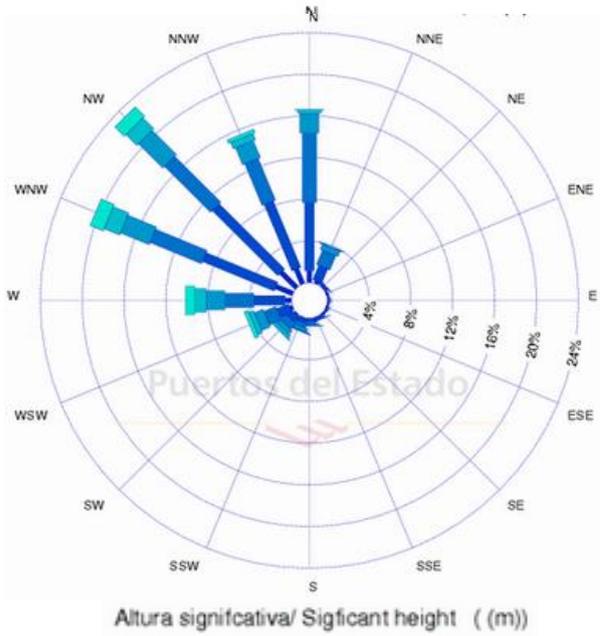


**ROSA DE VELOCIDAD MEDIA DEL
VIENTO en SIMAR 2048072 en el periodo
1958-2018**
*WIND SPEED ROSE at SIMAR Point
2048072 , period 1958-2018*

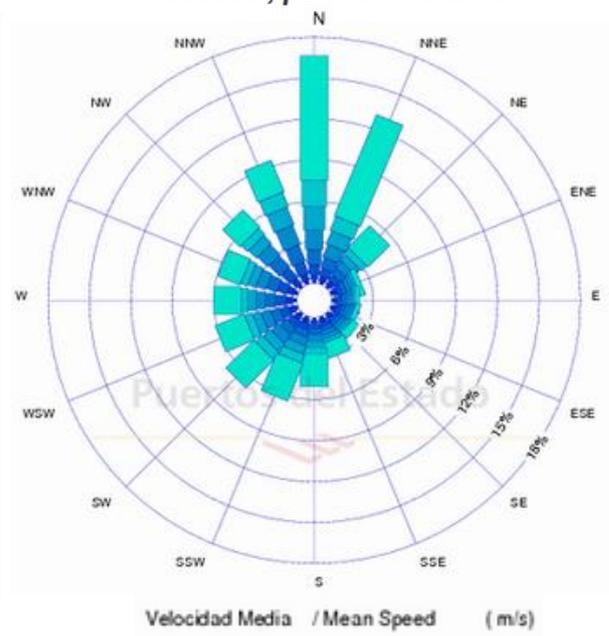


Mittelmeer: Wellenrose (links) und Windrose (rechts) am Messpunkt SIMAR 2048072 vor der südlichen Mittelmeerküste (südlich von Almería) für den Zeitraum 1958 bis 2018 (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje & viento)

**ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA en SIMAR
1038066 en el periodo 1958-2018**
**SIGNIFICANT HEIGHT ROSE at SIMAR Point
1038066 , period 1958-2018**



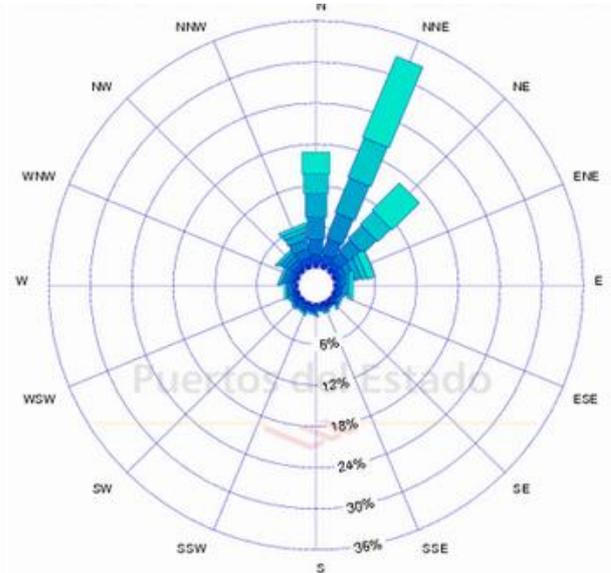
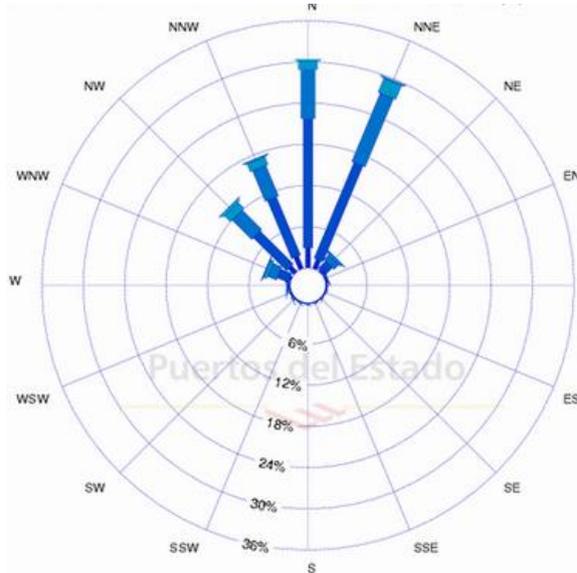
**ROSA DE VELOCIDAD MEDIA DEL
VIENTO en SIMAR 1038066 en el periodo
1958-2018**
**WIND SPEED ROSE at SIMAR Point
1038066 , period 1958-2018**



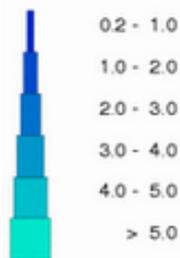
Atlantikküste: Wellenrose (links) und Windrose (rechts) am Messpunkt SIMAR 1038066 vor der nordwestlichen Spitze der Iberischen Halbinsel (Galicien) für den Zeitraum 1958 bis 2018 (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje & viento)

**ROSA DE ALTURA SIGNIFICATIVA en SIMAR
4040020 en el periodo 1958-2018**
*SIGNIFICANT HEIGHT ROSE at SIMAR Point
4040020 , period 1958-2018*

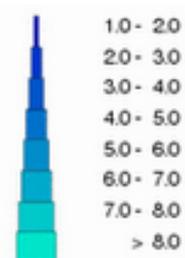
**ROSA DE VELOCIDAD MEDIA DEL
VIENTO en SIMAR 4040020 en el periodo
1958-2018**
*WIND SPEED ROSE at SIMAR Point
4040020 , period 1958-2018*



Altura significativa/ Sigicant height ((m))

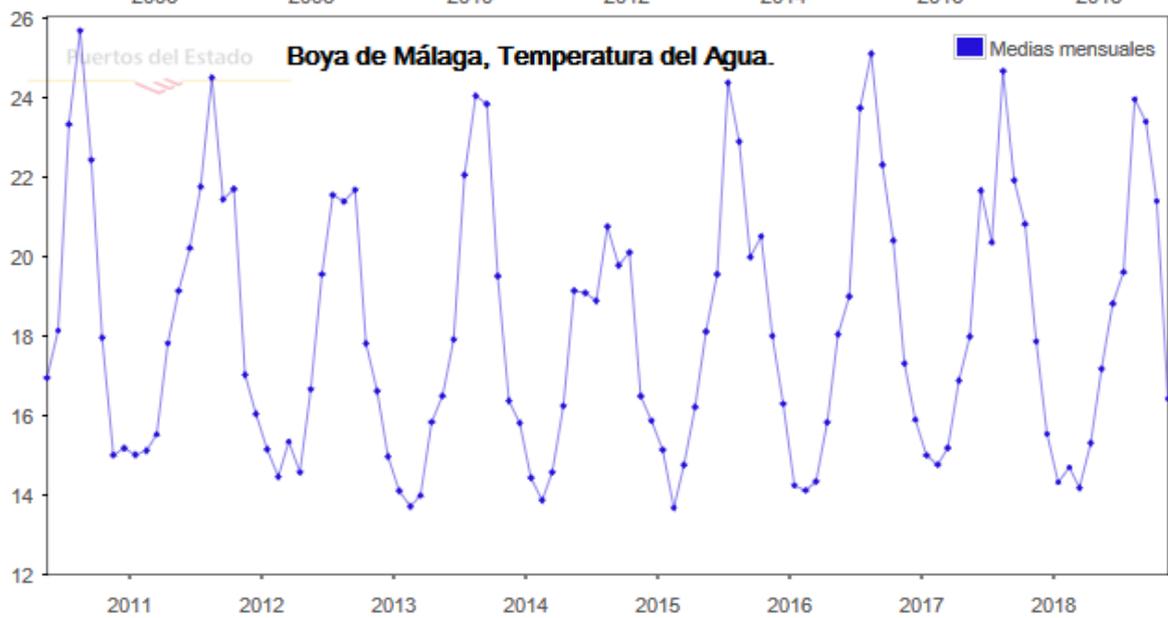
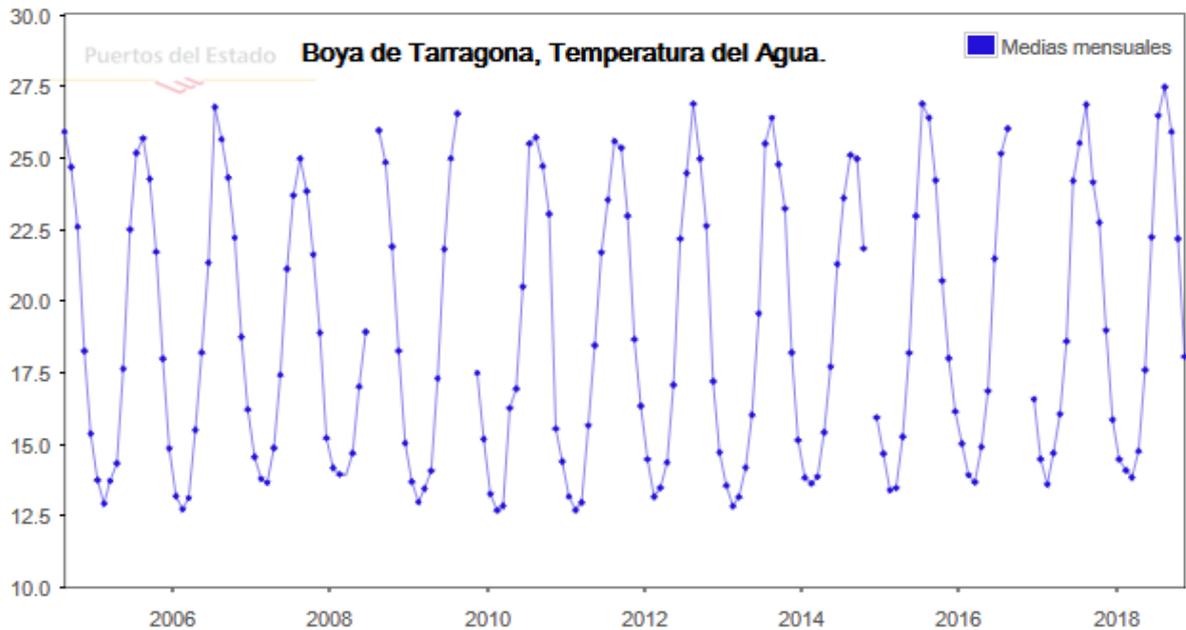


Velocidad Media / Mean Speed ((m/s)

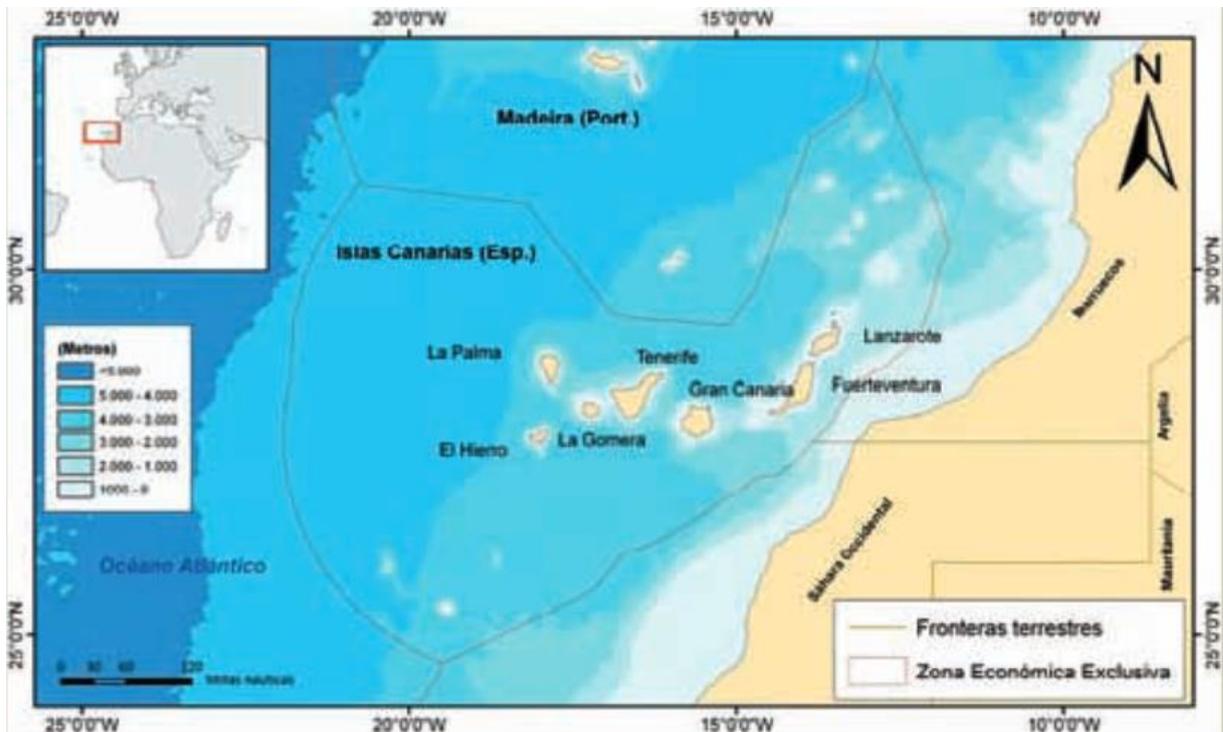


Kanarische Inseln: Wellenrose (links) und Windrose (rechts) am Messpunkt SIMAR 4040020 nördlich von Gran Canaria für den Zeitraum 1958 bis 2018 (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. oleaje & viento)

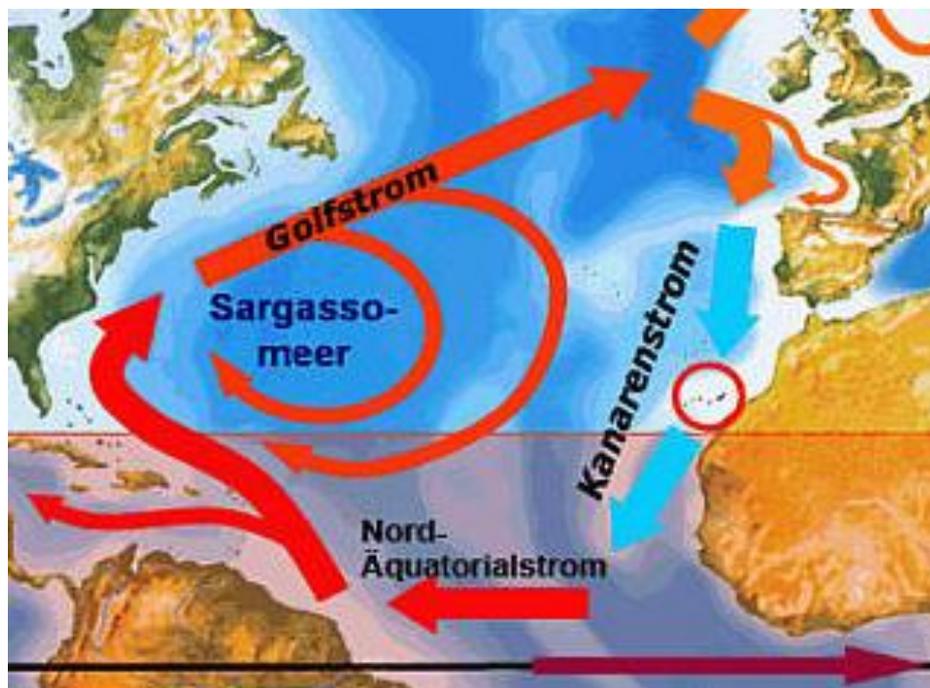
A.13. Temperaturverlauf an verschiedenen Messbojen im Mittelmeer



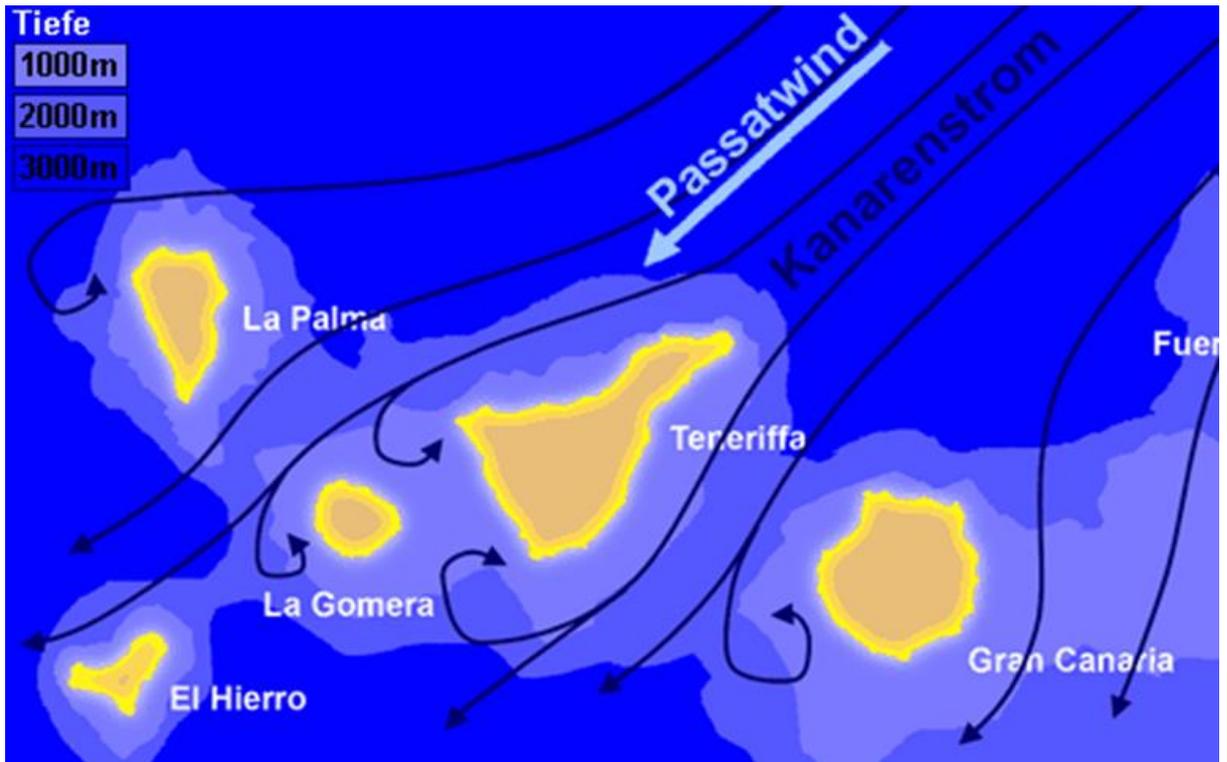
A.14. Lage der Ausschließlichen Wirtschaftszone (Zona Económica Exclusiva) der Kanarischen Inseln und schematischer Verlauf des Kanarenstroms



Lage der Ausschließlichen Wirtschaftszone Spaniens im Umkreis der Kanarischen Inseln (Oceana, 2010, S. 7)



Schematische Darstellung des Kanarenstroms als Nebenarm des Golfstroms (Schmitt, 2013)



Schematische Darstellung des Kanarenstroms im Bereich der Kanarischen Inseln (Schmitt, 2013)

A.16. Berechnung des Potenzials im Bereich der Mittelmeerküste und den Balearischen Inseln bezogen auf die fünf Nutzungsarten der Meeresenergie

Gezeiten (Tidenhub)

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³
t	44700	s
A	0,000001	km ²

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{4\rho g A \left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{t_{\text{Gezeit}}} \quad (3)$$

→ einsetzen der Eingangsparameter

$$P = 0,90 \times A \times \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad (4)$$

δ [m]	0,16	0,22	0,23	0,36	0,54	0,72
P [MW/m ²]	5,76E-09	1,09E-08	1,19E-08	2,92E-08	6,56E-08	1,17E-07
P [W/m ²]	0,006	0,01	0,01	0,03	0,07	0,12

benötigte Fläche für P = 1 MW (1000000 W) bei unterschiedlichem Tidenhub

δ [m]	P [W/m ²]	A [m ²]	A [km ²]
0,16	0,006	173649958,98	173,65
0,22	0,01	91847912,19	91,85
0,23	0,01	84034762,76	84,03
0,36	0,03	34301226,46	34,30
0,54	0,07	15244989,54	15,25
0,72	0,12	8575306,62	8,58

Strömungen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ_{sw}	1025	kg/m ³
A	1	m ²

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (7)$$

v [m/s]	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,85	0,9	1,0	1,3	1,54
P [W/m ²]	4,10	32,80	64,06	110,70	175,79	314,74	373,61	512,50	1125,96	1871,79

Wellen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T \quad (16)$$

Bereich	südöstliche Balearen	Balearen - Festland	südliches Mittelmeer
H _s [m]	1,3	0,8	0,8
T _P [s]	4,9	4,2	4,2
P [W/m]	8125,40	2637,49	2637,49
P [kW/m]	8,13	2,64	2,64

Thermisch

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ	1025	kg/m ³
C_p	0,93	kcal/(kg*K)
Q_{CW}	1	m ³ /s
T_s	26,5	°C
ΔT	13	°C
TGE	0,05	1
PL	0,3	1

verwendete Gleichungen:

$$\frac{P_{net}}{Q_{CW}} = \frac{\rho \times C_p \times TGE \times (\Delta T)^2 (1 - PL)}{8(273 + T_s)} \quad (18)$$

P_{theo}	67,24	W/m ³
P_{Anlage}	2,35	W/m ³

Osmose

Eingangsparameter:

$$\omega = 2500000 \text{ J/m}^3$$

verwendete Gleichungen:

$$P_{theo} = \omega \times Q_{river} \quad (19)$$

Ebro	Q [m ³ /s]	P [W]	P [MW]
100%	330	825000000	825
50%	165	412500000	412,5
20%	66	165000000	165
10%	33	82500000	82,5

A.17. Berechnung des Potenzials im Bereich der Atlantikküste bezogen auf die fünf Nutzungsarten der Meeresenergie

Gezeiten (Tidenhub)

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³
t	44700	s
A	0,000001	km ²

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{4\rho g A \left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{t_{\text{Gezeit}}} \quad (3)$$

→ einsetzen der Eingangsparameter

$$P = 0,90 \times A \times \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad (4)$$

	südlicher Teilbereich			nördlicher Teilbereich		
δ [m]	0,93	2,28	2,4	2,6	2,77	3,05
P [MW/m ²]	1,95E-07	1,17E-06	1,30E-06	1,52E-06	1,73E-06	2,09E-06
P [W/m ²]	0,19	1,17	1,30	1,52	1,73	2,09

benötigte Fläche A für P = 1 MW (1000000 W) bei unterschiedlichem Tidenhub

δ [m]	P [W/m ²]	A [m ²]	A [km ²]
0,93	0,19	5139829,98	5,14
2,28	1,17	855155,23	0,86
2,4	1,30	771777,60	0,77
2,6	1,52	657609,31	0,66
2,77	1,73	579368,81	0,58
3,05	2,09	477875,73	0,48

Strömungen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ_{sw}	1025	kg/m ³
A	1	m ²

verwendete Gleichung:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (7)$$

v [m/s]	0,15	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,1
P [W/m ²]	1,73	13,84	64,06	175,79	262,40	373,61	512,50	682,14

Wellen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T \quad (16)$$

Bereich	südlicher Teilbereich	Westen (Galicien)	Nordwest (Golf von Biskaya)
H _s [m]	1,3	2,2	1,9
T _P [s]	4,9	10	8
P [W/m]	8125,40	47490,57	28337,35
P [kW/m]	8,13	47,49	28,34

Thermisch

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ	1025	kg/m ³
C_p	0,93	kcal/(kg*K)
Q_{cw}	1	m ³ /s
$T_{\text{Tiefenwasser}}$	5	°C
$T_{S\text{-Süd-Sommer}}$	24,8	°C
$T_{S\text{-Süd-Winter}}$	16	°C
$T_{S\text{-Nord-Sommer}}$	19,6	°C
$T_{S\text{-Nord-Winter}}$	12,4	°C
$\Delta T_{\text{Süd-Sommer}}$	19,8	°C
$\Delta T_{\text{Süd-Winter}}$	11	°C
$\Delta T_{\text{Nord-Sommer}}$	14,6	°C
$\Delta T_{\text{Nord-Winter}}$	7,4	°C
TGE	0,05	1
PL	0,3	1

verwendete Gleichungen:

$$\frac{P_{net}}{Q_{cw}} = \frac{\rho \times C_p \times TGE \times (\Delta T)^2 (1 - PL)}{8(273 + T_s)} \quad (18)$$

	Süd Sommer	Süd Winter	Nord Sommer	Nord Winter
$P_{\text{theo}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	156,86	49,89	86,81	22,86
$P_{\text{Anlage}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	5,49	1,75	3,04	0,80
$P_{\text{theo-durchschnitt}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	103,38		54,83	
$P_{\text{Anlage-durchschnitt}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	3,62		1,92	

Osmose

Eingangsparameter:

$$\omega = 2500000 \text{ J/m}^3$$

verwendete Gleichungen:

$$P_{theo} = \omega \times Q_{river} \quad (19)$$

Potenzial bezogen auf die einzelnen Flüsse der spanischen Atlantikküste

Fluss	Guadalquivir	Río Navia	Río Ulla	Río Nalón	Ría del Nervión	Oria	Bidasoa	Río Eo
Q _{ges} [m ³ /s]	102,97	62,85	59,99	55,18	29,14	26,3	24,7	20,11
Q _{50%} [m ³ /s]	51,49	31,43	29,99	27,59	14,57	13,15	12,35	10,06
Q _{20%} [m ³ /s]	20,59	12,57	11,99	11,04	5,83	5,26	4,94	4,02
P _{ges} [MW]	257,43	157,13	149,9	137,95	72,85	65,75	61,75	50,28
P _{50%} [MW]	128,71	78,56	74,99	68,98	36,43	32,88	30,88	25,14
P _{20%} [MW]	51,49	31,43	29,99	27,59	14,57	13,15	12,35	10,06

Potenzial der Osmose der gesamten Atlantikküste und unterteilt auf die verschiedenen Autonomen.

Autonomen	gesamte Atlantikküste	Baskenland	Asturien	Galicien	Andalusien
Q _{gesamt} [m ³ /s]	381,24	80,14	138,14	59,99	102,97
Q _{50%} [m ³ /s]	190,62	40,07	69,07	30,00	51,49
Q _{20%} [m ³ /s]	76,25	16,03	27,63	12,00	20,59
P _{gesamt} [MW]	953,10	200,35	345,35	149,98	257,43
P _{50%} [MW]	476,55	100,18	172,68	74,99	128,71
P _{20%} [MW]	190,62	40,07	69,07	30,00	51,49

A.18. Berechnung des Potenzials im Bereich der Kanarischen Inseln bezogen auf die fünf Nutzungsarten der Meeresenergie

Gezeiten (Tidenhub)

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³
t	44700	s
A	0,000001	km ²

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{4\rho g A \left(\frac{\delta}{2}\right)^2}{t_{\text{Gezeit}}} \quad (3)$$

→ einsetzen der Eingangsparameter

$$P = 0,90 \times A \times \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \quad (4)$$

δ [m]	1,3	1,5	1,82
P [MW/m ²]	3,80E-07	5,06E-07	7,45E-07
P [W/m ²]	0,38	0,51	0,75

benötigte Fläche A für P = 1 MW (1000000 W) bei unterschiedlichem Tidenhub

δ [m]	P [W/m ²]	A [m ²]	A [km ²]
1,3	0,38	2630437,25	2,63
1,5	0,51	1975750,64	1,98
1,82	0,75	1342059,82	1,34

Strömungen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ_{sw}	1025	kg/m ³
A	1	m ²

verwendete Gleichung:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (7)$$

v [m/s]	0,2	0,3	0,5	0,6
P [W/m ²]	4,10	13,84	64,06	110,70

Wellen

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
g	9,81	m/s ²
ρ _{sw}	1025	kg/m ³

verwendete Gleichungen:

$$P = \frac{1}{32\pi} \rho g^2 H^2 T \quad (16)$$

Bereich	nördlicher Bereich	südlicher Bereich
H _s [m]	1,85	1,3
T _P [s]	7,5	5
P [W/m]	25186,44	8291,23
P [kW/m]	25,19	8,29

Thermisch

Eingangsparameter:

Parameter	Wert	Einheit
ρ	1025	kg/m ³
C_p	0,93	kcal/(kg*K)
Q_{CW}	1	m ³ /s
$T_{\text{Tiefenwasser}}$	5	°C
$T_{S\text{-durchschn.}}$	22,2	°C
$T_{S\text{-Sommer}}$	25,5	°C
$T_{S\text{-Winter}}$	19,0	°C
$\Delta T_{\text{durchschn.}}$	17,2	°C
ΔT_{Sommer}	20,5	°C
ΔT_{Winter}	14	°C
TGE	0,05	1
PL	0,3	1

verwendete Gleichungen:

$$\frac{P_{net}}{Q_{CW}} = \frac{\rho \times C_p \times TGE \times (\Delta T)^2 (1 - PL)}{8(273 + T_S)} \quad (18)$$

	durchschnittlich	Sommer	Winter
$P_{\text{theo}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	119,41	167,76	79,98
$P_{\text{Anlage}} \text{ [W/m}^3\text{]}$	4,18	5,87	2,80

Osmose

Die Kanarischen Inseln weisen keine größeren konstanten Süßwasserabflüsse auf. Aus diesem Grund kann kein Potenzial hinsichtlich der Ausnutzung der Salzgehalte über die Osmose-Verfahren ermittelt werden.

A.19. graphische Darstellung der Potenziale bezogen auf die verschiedenen Nutzungsarten der Meeresenergie

Gezeiten (Tidenhub)



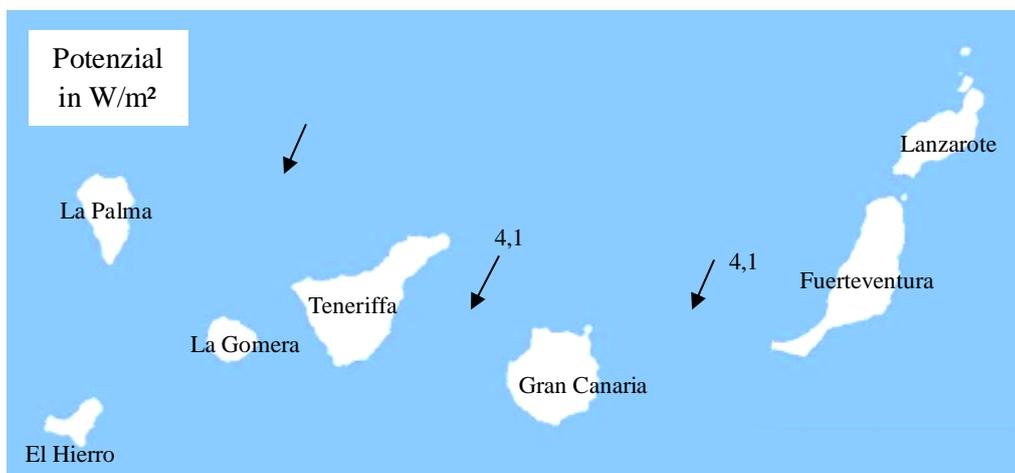
Visualisierung des aus dem durchschnittlichen Tidenhub der verschiedenen Küstenabschnitte der Ausschließlichen Wirtschaftszone des spanischen Staates resultierenden Potenzials in W/m^2 . (eigene Darstellung, Basiskarten von: (Dalet, 2015) (Teneriffa News, 2018))



Strömungen



Potenzial in W/m^2 der auftretenden Strömungen in der Ausschließlichen Wirtschaftszone des spanischen Staates. (eigene Darstellung, Basiskarten von: (Dalet, 2015) (Teneriffa News, 2018))



Wellen



Aus den auftretenden Wellen resultierendes Potenzial in kW/m in den verschiedenen Bereichen der Ausschließlichen Wirtschaftszone des spanischen Staates. (eigene Darstellung, Basiskarten von: (Dalet, 2015) (Teneriffa News, 2018))



Thermisch



Thermisches Potenzial in W/m^3 aus der auftretenden Temperaturdifferenz in der Ausschließlichen Wirtschaftszone des spanischen Staates. (eigene Darstellung, Basiskarten von: (Dalet, 2015) (Teneriffa News, 2018))



Osmose



Osmotisches Potenzial in MW der Flüsse mit einem durchschnittlichen Abfluss von mehr als 20 m³/s des spanischen Staatsgebietes. Die Karten stellen das Potenzial für den Gesamtabfluss dar. (eigene Darstellung, Basiskarten von: (Dalet, 2015) (Teneriffa News, 2018))



A.20. potenzielle Standorte entlang der Mittelmeerküste und der Balearischen Inseln

- Osmosekraftwerk Ebro (Katalonien)

Parameter	Wert
Q_{gesamt} [m ³ /s]	330
η [1]	0,25
f_{water} [1]	1
ω [J/m ³]	2500000
Strombedarf 3-Pers.-Haushalt [kwh/a]	3500
t [h/d]	24
t' [d/a]	365

P_{netto} [MW]	25	10
P_{netto} [W]	25000000	10000000
P_{theo} [MW]	100	40
P_{theo} [W]	100000000	40000000
Q_{river} [m ³ /s]	40	16
% des Abflusses	12,12	4,85
P_{gesamt} [MWh]	219000	87600
Anzahl 3-Pers-Haushalt	62571,43	25028,57

A.21. potenzielle Standorte entlang der Atlantikküste

- Gezeitenkraftwerk Ría del Eo (Galicien/Asturien)

Parameter	Wert
durchschnittlicher Tidenhub [m]	2,77
P [W/m ²]	1,73
$A_{\text{Ría del Eo}}$ [km ²]	9,2
$A_{\text{Ría del Eo}}$ [m ²]	9200000
P_T [W]	15916000
P_T [MW]	15,92
t [h/d]	12
t' [d/a]	365
η [1]	0,9

$P_{\text{Gezeitenkraftwerk}}$ [W]	14324400
$P_{\text{Gezeitenkraftwerk}}$ [kW]	14324,4
$P_{\text{Gezeitenkraftwerk}}$ [MW]	14,32
$P_{\text{Gezeitenkraftwerk}}$ [MWh/a]	62740,872
$P_{\text{Gezeitenkraftwerk}}$ [kWh/a]	62740872
Strombedarf 3-Pers.-Haushalt [kwh/a]	3500
Anzahl 3-Pers-Haushalt	17925,96

- **Gezeitenkraftwerk Bahía de Santander (Kantabrien)**

Parameter	Wert
durchschnittlicher Tidenhub [m]	3,05
P [W/m ²]	2,09
A Ría del Eo [km ²]	22,00
A Ría del Eo [m ²]	22000000
P _T [W]	45980000
P _T [MW]	45,98
t [h/d]	12
t' [d/a]	365
η [1]	0,9

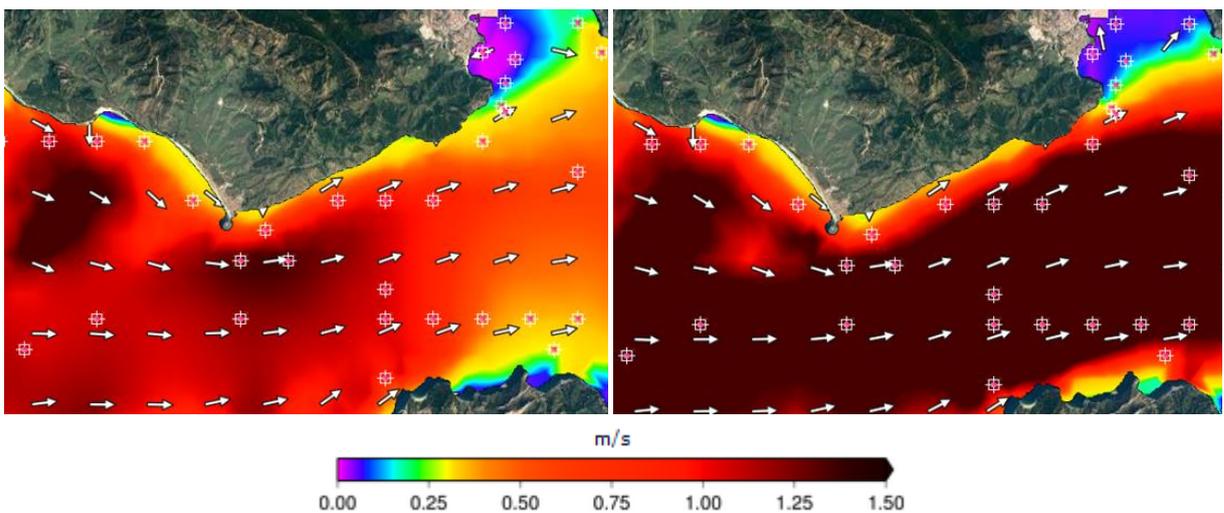
P _{Gezeitenkraftwerk} [W]	41382000
P _{Gezeitenkraftwerk} [kW]	41382
P _{Gezeitenkraftwerk} [MW]	41,38
P _{Gezeitenkraftwerk} [MWh/a]	181253,16
P _{Gezeitenkraftwerk} [kWh/a]	181253160
Strombedarf 3-Pers.-Haushalt [kwh/a]	3500
Anzahl 3-Pers.-Haushalt	51786,62

- **Strömungskraftwerk Straße von Gibraltar (Andalusien)**

Gibraltar	SeaGen; Openhydro	„Neptune Tidal Power Pontoon“	„Neptune Tidal Power Pontoon“ größere Dimensionierung
Rotordurchmesser	15	4m*4m	10m*10m
A [m ²]	176,71	16	100
ρ [kg/s]	1025	1025	1025
η [1]	0,45	0,5	0,5
t [h/d]	12	12	12
t' [d/a]	365	365	365
Strombedarf 3-Pers.- Haushalt [kwh/a]	3500	3500	3500

v [m/s]	0,85	0,85	0,85
P [W/m ²]	314,74	314,74	314,74
$P_{T-Anlage}$ [W]	55618,98	5035,83	31473,91
$P_{T-Anlage}$ [kW]	55,62	5,04	31,47
P_{Anlage} [W]	25028,54	2517,91	15736,95
P_{Anlage} [kW]	25,03	2,52	15,74
P_{Anlage} [MW]	0,03	0,003	0,02
$P_{Anlage,gesamt}$ [Wh/a]	109625016,2	11028456,75	68927854,69
$P_{Anlage,gesamt}$ [kWh/a]	109625,02	11028,46	68927,85
$P_{Anlage,gesamt}$ [MWh/a]	109,63	11,03	68,93
Anzahl 3-Pers-Haushalt pro Anlage	31,32	3,15	19,69

Vorranggebiet	Ost		West		
Art des Kraftwerkes	Pontoons [16 m ²]	Pontoons [100 m ²]	SeaGen; Openhydro	Pontoons [16 m ²]	Pontoons [100 m ²]
Fläche des Vorranggebietes [km ²]	24	24	37,5	37,5	37,5
Abstand zwischen den Kraftwerken [km]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Flächenbedarf eines Kraftwerkes [km ²]	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Anzahl der Kraftwerke	2400	2400	3750	3750	3750
P_{gesamt} [kWh/a]	26468296	165426851	411093810	41356712	258479455
P_{gesamt} [MWh/a]	26468,30	165426,85	411093,81	41356,71	258479,46
versorgte Haushalte	7562,37	47264,81	117455,37	11816,20	73851,27



Auftretende Strömungen in der Straße von Gibraltar. (Aufnahme vom 10.01.2019 (links) und vom 15.01.2019 (rechts)) (Gobierno de España, Puertos del Estado, 2018, S. corrientes)

- **Strömungskraftwerk Ría de Ferrol (Galicien)**

Parameter	Wert
$A_{„Neptune Tidal Power Pontoon“}$ [m ²]	16
ρ [kg/s]	1025
η [1]	0,5
t [h/d]	12
t' [d/a]	365
Strombedarf 3-Pers.-Haushalt [kwh/a]	3500

v [m/s]	0,75	0,3
P [W/m ²]	216,21	13,84
$P_{T-Anlage}$ [W]	3459,38	221,40
P_{Anlage} [W]	1729,69	110,70
PA_{Anlage} [Wh/a]	7576031,25	484866
$P_{Anlage,gesamt}$ [kWh/a]	8060,90	
$P_{Anlage,gesamt}$ [MWh/a]	8,06	
Anzahl 3-Pers-Haushalt pro Anlage	2,3	

Länge des strömungsintensiven Bereichs [m]	2000
Abstand zwischen den Pontoons [m]	100
Anzahl Pontoons	40
P_{gesamt} [kWh/a]	322435,89
versorgte Haushalte	92,12

- **Wellenkraftwerk Atlantikküste Galiciens**

	Pelamis	WaveRoller
Potenzial [kW/m]	47,49	47,49
Durchmesser [m]	3,50	20,00
Segmente [1]	3,00	1,00
η [%]	70,00	35,00
P_{theo} [kW]	498,65	949,80
P_{netto} [kW]	349,05	332,43
P [kWh/a]	3057691,14	2912086,80
P [MWh/a]	3057,69	2912,09
Haushalte (3.Pers.)	873,63	832,02

WaveRoller bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 8 und 20 m

benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,0016
Gesamtfläche (zw. 8 und 20 m WT) [km ²]	22
Anzahl Anlagen	13750
Gesamtleistung [MW]	4537,5

WaveRoller-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen

benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	6,6
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	32000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,032
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	58241,74
versorgte Haushalte	16640

Pelamis bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 25 und 100 m

benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,01
Gesamtfläche (zw. 25 und 100 m WT) [km ²]	1300
Anzahl Anlagen	130000
Gesamtleistung [MW]	42900

<u>Pelamis-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen</u>	
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	7
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	200000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,2
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	61153,82
versorgte Haushalte	17472

- Wellenkraftwerk Atlantikküste Asturien, Kantabrien und Baskenland

	Pelamis	WaveRoller
Potenzial [kW/m]	28,34	28,34
Durchmesser [m]	3,50	20,00
Segmente [1]	3,00	1,00
η [%]	70,00	35,00
P_{theo} [kW]	297,57	566,80
P_{netto} [kW]	208,30	198,38
P [kWh/a]	1824699,24	1737808,80
P [MWh/a]	1824,70	1737,81
Haushalte	521,34	496,52

WaveRoller bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 8 und 20 m

	Asturien	Kantabrien	Baskenland
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600		
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,0016		
Gesamtfläche (zw. 8 und 20 m WT) [km ²]	260	80	63
Anzahl Anlagen	162500	50000	39375
Gesamtleistung [MW]	32237	9919	7811

WaveRoller-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen

benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	4
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	32000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,032
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	34756,18
versorgte Haushalte	9930

Pelamis bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 25 und 100 m

	Asturien	Kantabrien	Baskenland
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000		
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,01		
Gesamtfläche (zw. 25 und 100 m WT) [km ²]	2300	610	550
Anzahl Anlagen	230000	61000	55000
Gesamtleistung [MW]	47840	12688	11440

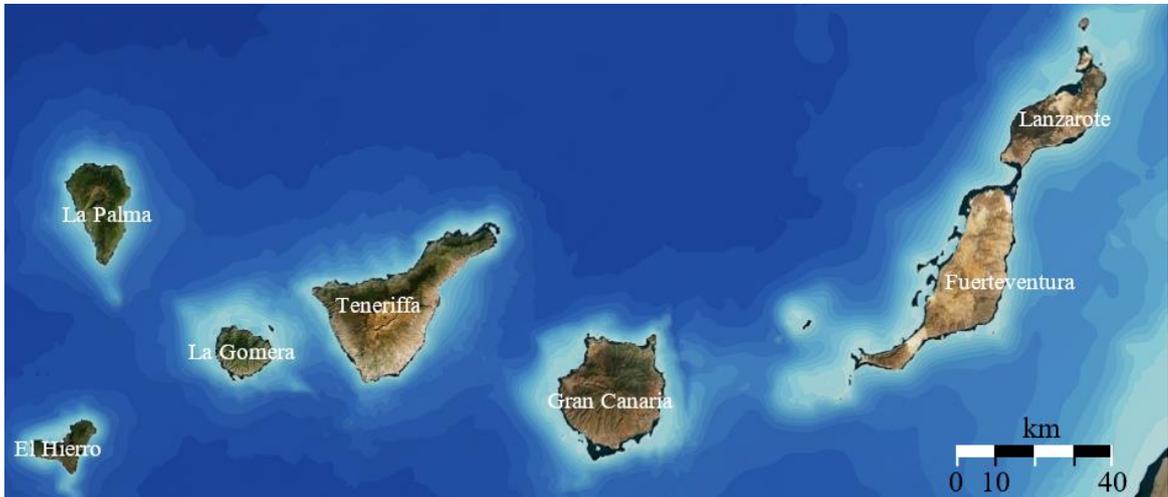
<u>Pelamis-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen</u>	
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	4,2
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	200000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,2
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	36493,98
versorgte Haushalte	10427

- **Osmostkraftwerke an den Flüssen der Atlantikküste**

Fluss	Guadalquivir		Río Navia	Río Ulla	Río Nalón	Nerrviación	Oria	Bidasoa	Río Eo
Q_{gesamt} [m ³ /s]	102,9	102,9	62,85	59,99	55,18	29,14	26,3	24,7	20,11
η [1]	0,25								
f_{water} [1]	1								
ω [J/m ³]	2500000								
P_{netto} [MW]	10	1	5	5	5	2	2	2	1
P_{theo} [MW]	40	4	20	20	20	8	8	8	4
Q_{river} [m ³ /s]	16	1,6	8	8	8	3,2	3,2	3,2	1,6
% des Abflusses	15,54	1,55	12,73	13,34	14,50	10,98	12,17	12,96	7,96
P_{gesamt} [MWh]	87600	8760	43800	43800	43800	17520	17520	17520	8760
Anzahl 3-P.-H.	25028,6	2502,9	12514,3	12514,3	12514,3	5005,7	5005,7	5005,7	2502,9

A.22. potenzielle Standorte im Umkreis der Kanarischen Inseln

- Wellenkraftwerk im nördlichen Atlantikbereich der Kanarischen Inseln

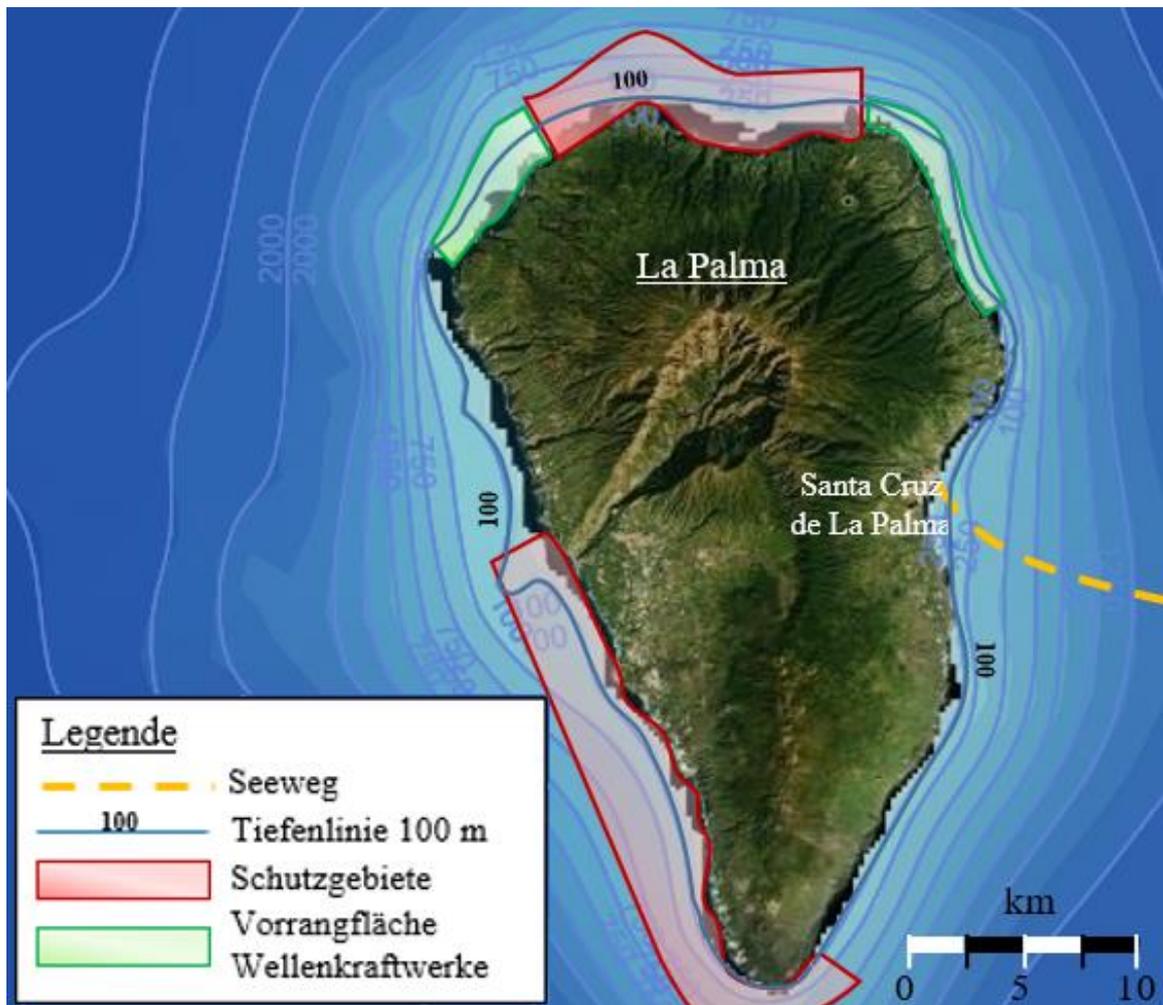


Übersichtskarte über die Inselgruppe der Kanarischen Inseln im Atlantik (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018))

	Pelamis	WaveRoller
Potenzial [kW/m]	25,19	25,19
Durchmesser [m]	3,50	20,00
Segmente [1]	3,00	1,00
η [%]	70,00	35,00
P_{theo} [kW]	264,50	503,80
P_{netto} [kW]	185,15	176,33
P [kWh/a]	1621883,34	1544650,80
P [MWh/a]	1621,88	1544,65
Haushalte	463,40	441,33

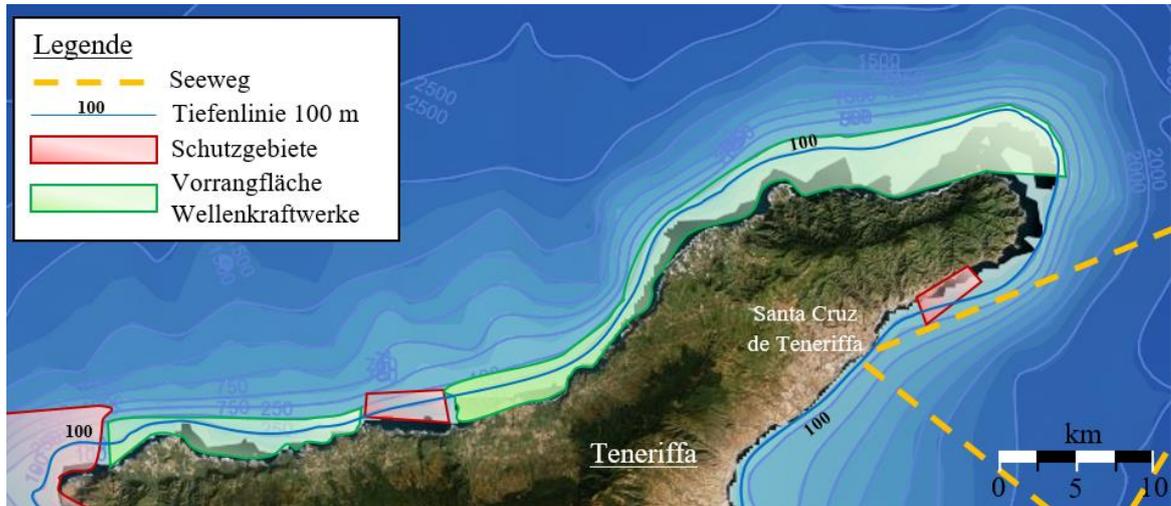
Im Folgenden werden mit Detailkarten der einzelnen, für die Nutzung von Wellenkraftwerken infrage kommenden Inseln die im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgelegten Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie dargelegt.

La Palma



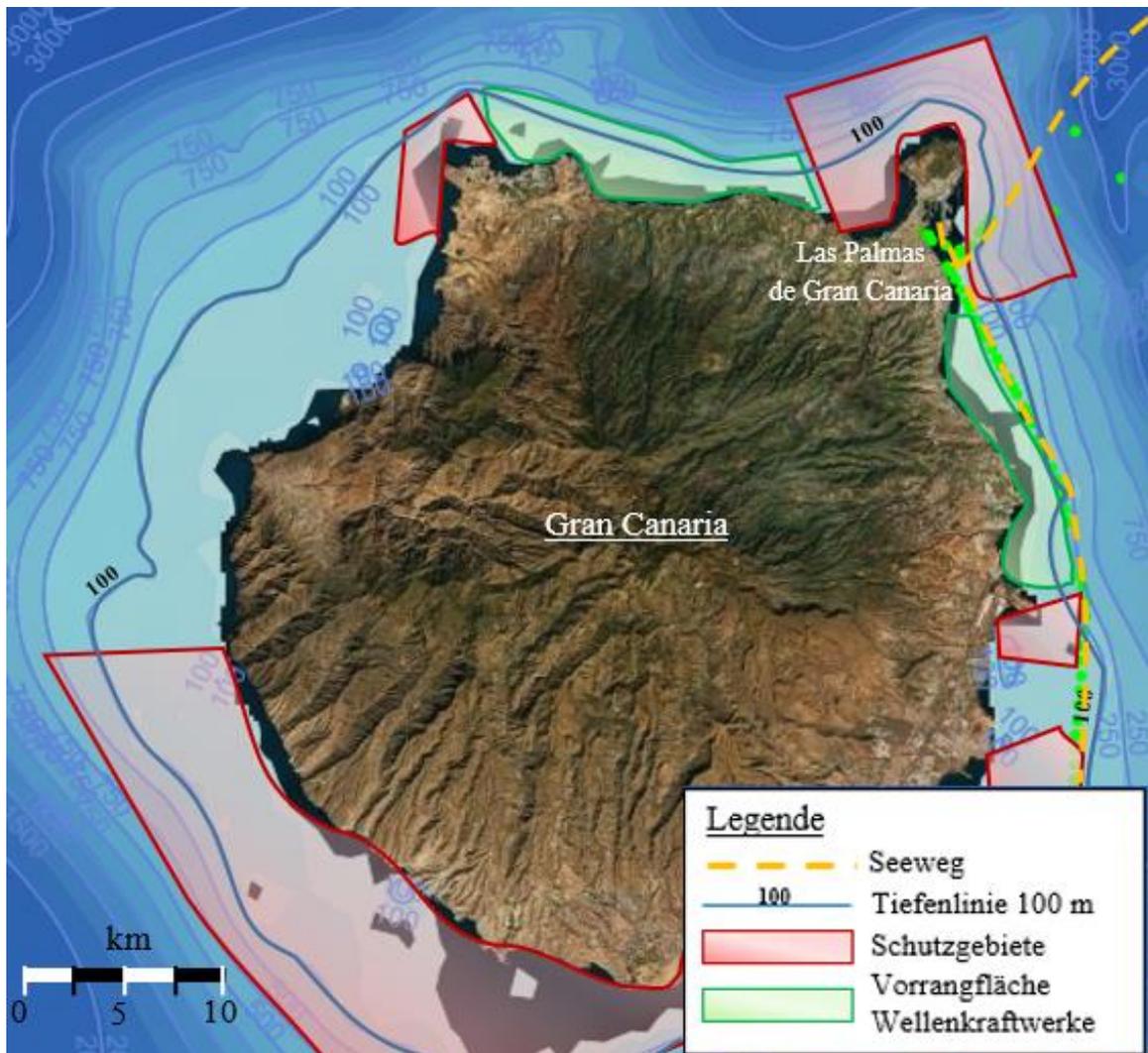
Im Norden der Inseln La Palma wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zwei Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie ermittelt, welche durch das Schutzgebiet an der nördlichen Küste voneinander getrennt werden. Insgesamt weisen die beiden Vorrangflächen eine Gesamtfläche von 22 km² (etwa 1 km² mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m, 14 km² mit Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m). (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018), Seewege & Schutzgebiete: (MarineTraffic, 2019) (Schönfelder & Schönfelder, 1997) (Ley 12/1994, 1995))

Teneriffa



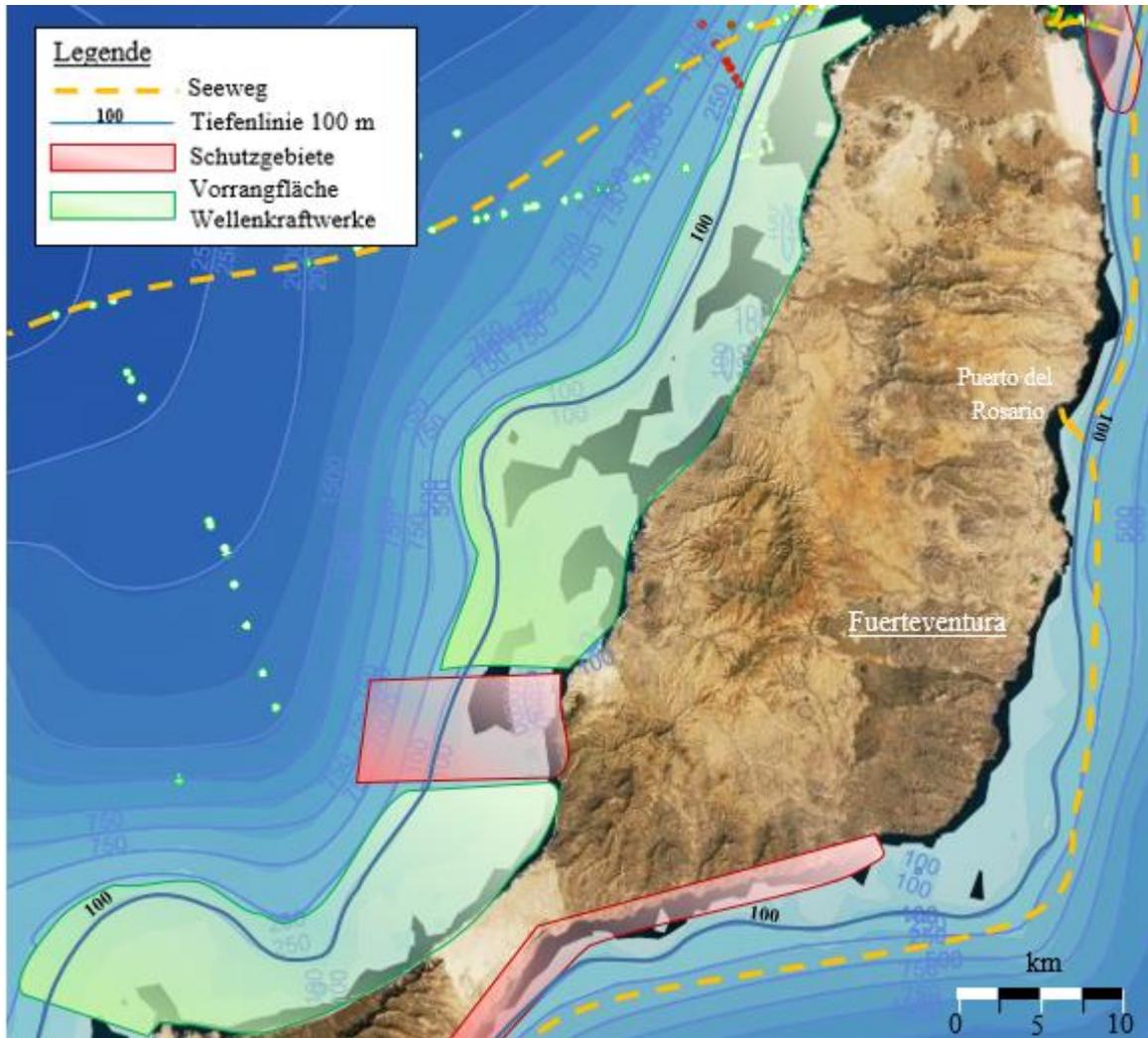
Entlang der nördlichen Küste der Insel Teneriffa wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zwei, durch ein Schutzgebiet separierte Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenenergie ermittelt. Die Gesamtfläche der Gebiete beläuft sich auf etwa 92 km², wobei etwa 16 km² eine Wassertiefe zwischen acht und 20 m und etwa 40 km² eine Wassertiefen zwischen 25 m und 100 m aufweisen. Bedingt durch die Ausrichtung der Küstenlinie im westlichen Teil der Insel zu der vorrangig auftretenden Wind- und Wellenrichtung (vgl. Anhang A.12.), wäre in diesem Bereich eine Kombination aus Wind- und Wellenkraftwerk denkbar. (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018), Seewege & Schutzgebiete: (MarineTrafic, 2019) (Schönfelder & Schönfelder, 1997) (Ley 12/1994, 1995))

Gran Canaria



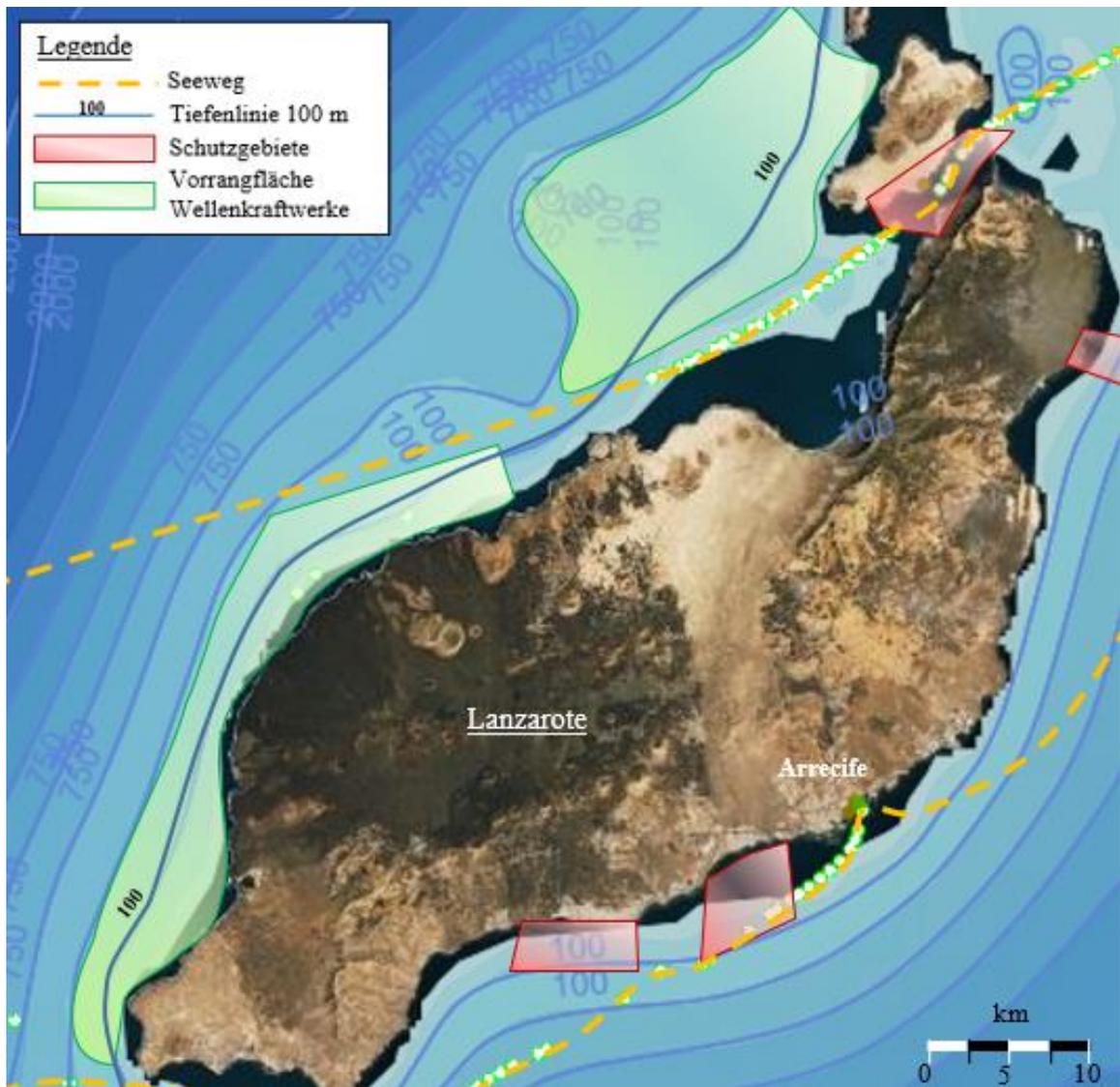
An den Küsten der Insel Gran Canaria befinden sich zwei, für die Nutzung der Wellenenergie vorrangig zu betrachtende Gebiete entlang der westlich und an der südöstlich der Stadt Las Palmas de Gran Canaria Atlantikküste. Da die am nordöstlichen Ende der Insel gelegene Halbinsel von dem Landschaftsschutzgebiet „La Isleta“ umringt ist, muss die Nutzung dieses Gebietes zur Errichtung von Wellenkraftwerken vorerst einer Beplanung bzw. Betrachtung entnommen werden (Gobierno de Canarias, Paisaje Protegido de La Isleta (C-22), 2015). Die Gesamtfläche der beiden Vorrangflächen beträgt 56 km², wobei 7 km² eine Wassertiefe zwischen acht und 20 m und 28 km² eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m aufweisen. (eigene Darstellung, Basis-karte: (OpenSeaMap, 2018), Seewege & Schutzgebiete: (MarineTrafic, 2019) (Schönfelder & Schönfelder, 1997) (Ley 12/1994, 1995))

Fuerteventura



Mit Ausnahme des Landschaftsparks „Parque Rural de Betancuria“ stellt die gesamte Nordwestküste der Insel Fuerteventura eine Vorrangfläche zur Nutzung der Wellenenergie dar (Gequo, 2017). Die in grün dargestellten Vorrangflächen weisen eine Gesamtgröße von 784 km² auf. Knapp 480 km² der Vorrangflächen weisen eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m auf, während die Wassertiefen auf einer Fläche von 143 km² zwischen acht und 20 m liegen. (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018), Seewege & Schutzgebiete: (MarineTrafic, 2019) (Schönfelder & Schönfelder, 1997) (Ley 12/1994, 1995))

Lanzarote



Die Vorrangflächen zur Nutzung der Wellenergie vor Lanzarote erstrecken sich entlang der westlichen bzw. nordwestlichen Küste der Insel. Ihre Gesamtfläche beträgt 423 km², wobei etwa ein Drittel der Flächen (137 km²) eine Wassertiefe zwischen 25 m und 100 m aufweist. Die Flächen mit Wassertiefen zwischen acht und 20 m beträgt 58 km². (eigene Darstellung, Basiskarte: (OpenSeaMap, 2018), Seewege & Schutzgebiete: (MarineTraffic, 2019) (Schönfelder & Schönfelder, 1997) (Ley 12/1994, 1995))

<u>WaveRoller bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 8 und 20 m</u>					
	La Palma	Teneriffa	Gran Canaria	Fuerteventura	Lanzarote
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600				
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,0016				
Gesamtfläche (zw. 8 und 20 m WT) [km ²]	1	16	7	143	58
Anzahl Anlagen	625	10000	4375	89375	36250
Gesamtleistung [MW]	110	1763	771	15759	6392

<u>WaveRoller-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen</u>	
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	1600
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	3,52
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	32000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,032
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	30893,02
versorgte Haushalte	8826

<u>Pelamis bezogen auf Gesamtfläche mit Wassertiefen zw. 25 und 100 m</u>					
	La Palma	Teneriffa	Gran Canaria	Fuerteventura	Lanzarote
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000				
benötigte Fläche pro Anlage [km ²]	0,01				
Gesamtfläche (zw. 25 und 100 m WT) [km ²]	14	40	28	480	137
Anzahl Anlagen	1400	4000	2800	48000	13700
Gesamtleistung [MW]	259	741	518	8887	2537

<u>Pelamis-Kraftwerkspark bestehend aus 20 Anlagen</u>	
benötigte Fläche pro Anlage [m ²]	10000
Anzahl Anlagen	20
Gesamtleistung [MW]	3,7
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [m ²]	200000
Gesamtfläche des Kraftwerksparkes [km ²]	0,2
jährliche Stromproduktion gesamt [MWh]	32437,67
versorgte Haushalte	9268

Eidesstattliche Erklärung

Erklärung zur Abschlussarbeit gemäß § 23 Abs. 7 APB der TU Darmstadt

Hiermit versichere ich, Paul Javier Schüle, die vorliegende Abschlussarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Mir ist bekannt, dass im Falle eines Plagiats (§38 Abs. APB) ein Täuschungsversuch vorliegt, der dazu führt, dass die Arbeit mit 5,0 bewertet und damit ein Prüfungsversuch verbraucht wird. Abschlussarbeiten dürfen nur einmal wiederholt werden.

Bei der abgegebenen Thesis stimmen die schriftliche und die zur Archivierung eingereichte elektronische Fassung überein.

English translation for information purposes only:

Thesis Statement pursuant to § 23 paragraph 7 of APB TU Darmstadt

I hereby formally declare that I, Paul Javier Schüle, have written the submitted thesis independently. I did not use any other sources except for the quoted literature and other sources mentioned in the thesis. In the appendix I clearly marked and separately listed all of the literature and all of the other sources which I employed when producing this thesis, either literally or in content. This thesis has not been handed in or published before in the same or a similar form.

I am aware, that in the case of a plagiarism (§ 38 Abs. 2 APB), the thesis would be graded with 5,0 and counted as one failed examination attempt. The thesis may only be repeated once.

I furthermore confirm that in the submitted thesis the paper copies and the electronic version for archiving are identical.

Datum / Date:

Unterschrift / Signature:

19.03.2019

