

POTENZIALE DER WINDENERGIE FÜR
DIE NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN



POTENZIALE DER WINDENERGIE FÜR DIE NIEDER-SÄCHSISCHEN SEEHÄFEN

Kurztitel:	Potenziale der Windenergie für nds. Seehäfen
Bearbeitung:	DEUTSCHE WINDGUARD Dorothee Ellerhorst Merle Heyken Anna-Kathrin Wallasch Dr.-Ing. Dennis Kruse
Foto Titelseite:	© epas - Ems Ports Agency & Stevedoring Beteiligungs GmbH & Co. KG, Emden
Projektnummer:	VW23005
Berichtsnummer:	SP23006A3
Auftraggeber:	Arbeitsgemeinschaft Niedersächsische Seehäfen c/o Oldenburgische Industrie- und Handelskammer, Industrie- und Handelskammer Stade für den Elbe-Weser-Raum, Industrie- und Handelskammer für Ostfriesland und Papenburg, Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG und die Seehafenstandorte Brake, vertreten durch die J. Müller Weser GmbH & Co. KG, Cuxhaven, vertreten durch die Hafengewirtschaftsgemeinschaft Cuxhaven e. V., Emden, vertreten durch die Emdener Hafenförderungsgesellschaft e.V., Nordenham, vertreten durch die Rhenus Midgard GmbH & Co. KG, Wilhelmshaven, vertreten durch die Wilhelmshavener Hafengewirtschaftsvereinigung e.V.

Varel, November 2023

DEUTSCHE WINDGUARD

Deutsche WindGuard GmbH
Oldenburger Straße 65A
26316 Varel

Telefon 04451 9515 0
Telefax 04451 9515 29
E-Mail info@windguard.de
URL <http://www.windguard.de/>

Es wird versichert, dass die vorliegenden Ermittlungen unparteiisch, gewissenhaft und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt wurden. Für die ermittelten Ergebnisse und die Richtigkeit der Darstellung in diesem Bericht übernimmt die Deutsche WindGuard GmbH keine Gewähr.

Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichtes ist nur mit schriftlicher Genehmigung der Deutschen WindGuard GmbH, Varel erlaubt.

Dieser Bericht umfasst 64 Seiten inklusive Deckblatt.

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
MANAGEMENT SUMMARY.....	1
1 EINLEITUNG.....	3
2 AUSBAUPFAD DER ON- UND OFFSHORE-WINDENERGIE	5
2.1 AUSBAUENTWICKLUNG DEUTSCHLAND.....	5
2.2 AUSBAUENTWICKLUNG EUROPA.....	7
2.3 AUSBAUENTWICKLUNG WELTWEIT.....	8
3 TECHNOLOGIEENTWICKLUNG IN DER WINDENERGIEBRANCHE	10
3.1 ONSHORE-WINDENERGIEANLAGEN.....	10
3.2 OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN	11
3.3 PRODUKTIONSSTÄTTEN.....	12
4 SCHIFFSTYPEN UND -KONZEPTE FÜR INSTALLATION UND BETRIEB VON OFFSHORE-WINDPARKS	15
4.1 EINGESETZTE SCHIFFSTYPEN	15
4.2 DIMENSIONSENTWICKLUNG VON INSTALLATIONSSCHIFFEN	16
4.3 INSTALLATIONS- UND BETRIEBSKONZEPTE FÜR OFFSHORE- WINDPARKS.....	21
5 BEDEUTUNG DER HAFENWIRTSCHAFT FÜR DIE WINDENERGIEBRANCHE	24
5.1 ONSHORE – WINDENERGIEANLAGEN-UMSCHLAG.....	24
5.2 OFFSHORE – WINDPARK-INSTALLATION	25
5.3 OFFSHORE – WINDPARK-BETRIEB.....	27
6 NIEDERSÄCHSISCHE SEEHÄFEN UND DIE WINDENERGIE	28
6.1 NIEDERSÄCHSISCHE SEEHÄFEN.....	28
6.1.1 Emden	29
6.1.2 Wilhelmshaven	31
6.1.3 Brake	32
6.1.4 Nordenham.....	33

6.1.5	Cuxhaven	34
6.1.6	Flächensituation und Entwicklungsflächen	35
6.2	EXKURS: BETRACHTUNG AUSGEWÄHLTER WEITERER NORDSEEHÄFEN....	37
6.2.1	Esbjerg (DK)	38
6.2.2	Eemshaven (NL)	39
6.2.3	Hull (UK)	39
6.2.4	Bremerhaven (DE)	40
6.2.5	Flächensituation und Entwicklungsflächen	41
7	ZUKÜNFTIGE POTENZIALE DER WINDENERGIE FÜR DIE NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN.....	43
7.1	WACHSENDER WINDENERGIEMARKT UND FLÄCHENBEDARF IN DEN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN	43
7.2	WEITERE EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN FLÄCHENBEDARF	46
7.2.1	Wachsende Anlagenkomponenten	46
7.2.2	Rückbau von Windenergieanlagen	48
7.2.3	Vermehrte Servicebedarfe von Offshore-Windparks	48
7.2.4	Steigende Marktanteile	49
7.3	BEGLEITENDE ANFORDERUNGEN AN DIE HAFENENTWICKLUNG	50
7.3.1	Geeignete Liegeplätze und Kaianlagen	50
7.3.2	Geeignete Hinterlandanbindung	51
7.4	WEITERE GESCHÄFTSFELDER IM ZUGE DER ENERGIEWENDE.....	52
8	SCHLUSSFOLGERUNG	53
	LITERATURVERZEICHNIS.....	54

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BOA	Breadth over all (Breite über alles)
BWE	Bundesverband WindEnergie
CTV	Crew Transfer Vessel
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EU	Europäische Union
GW	Gigawatt
GWEC	Global Wind Energy Council
IBN	Inbetriebnahme
LOA	Length over all (Länger über alles)
MW	Megawatt
RED	EU-Erneuerbaren-Richtlinie
SGRE	Siemens Gamesa Renewable Energy
SOV	Service Operation Vessel
WEA	Windenergieanlagen
WindSeeG	Windenergie-auf-See-Gesetz

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ausbaustand 2022 und Ausbauziele Windenergie onshore gemäß EEG 2023 und Windenergie offshore gemäß WindSeeG 2023	5
Abbildung 2: Erwarteter jährlicher Leistungs- und Anlagenzubau gemäß Ausbauziel.....	6
Abbildung 3: (Erwarteter) Leistungszubau EU gemäß EU-Ausbauziel.....	7
Abbildung 4: Ausbaustand und -ziele Offshore-Windenergie Nordseeanrainer	8
Abbildung 5: Leistungsbestand On- und Offshore Windenergie weltweit 2022	9
Abbildung 6: (Erwarteter) Leistungszubau On- und Offshore-Windenergie weltweit	9
Abbildung 7: (Erwartete) Anlagenentwicklung Onshore-Windenergie.....	10
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung Anlagenentwicklung Onshore-Windenergie	11
Abbildung 9: (Erwartete) Anlagenentwicklung Offshore-Windenergie	11
Abbildung 10: Exemplarische Darstellung Anlagenentwicklung Offshore-Windenergie	12
Abbildung 11: Ausgewählte Produktionsstandorte von Komponenten für Windenergieanlagen in Europa.....	13
Abbildung 12: Dimensionsentwicklung von Errichterschiffen für Offshore-Windenergieanlagen.....	18
Abbildung 13: Dimensionsentwicklung von Errichterschiffen für Offshore-Fundamente	20
Abbildung 14: Wassertiefe und Küstenentfernung von Bestandsprojekten und zukünftigen Projekten in Deutschland.....	22
Abbildung 15: Niedersächsische Häfen und ihre Funktionen.....	28
Abbildung 16: Flächensituation in den niedersächsischen Seehäfen im Hinblick auf die Windenergie.....	36
Abbildung 17: Ausgewählte weitere Nordseehäfen mit Aktivitäten im Bereich der Windenergie	38
Abbildung 18: Flächensituation in ausgewählten weiteren Nordseehäfen im Hinblick auf die Windenergie.....	41
Abbildung 19: Jährlicher Flächenbedarf der Windenergiebranche in den niedersächsischen Seehäfen entsprechend dem deutschen Ausbaupfad	44

Abbildung 20: Vergleich des durchschnittlichen und maximalen Windenergie- Flächenbedarfs mit Erweiterungsflächen in niedersächsischen Seehäfen.....	45
Abbildung 21: Exemplarische Visualisierung der Auswirkung von Komponenten- entwicklungen auf den Flächenbedarf	47

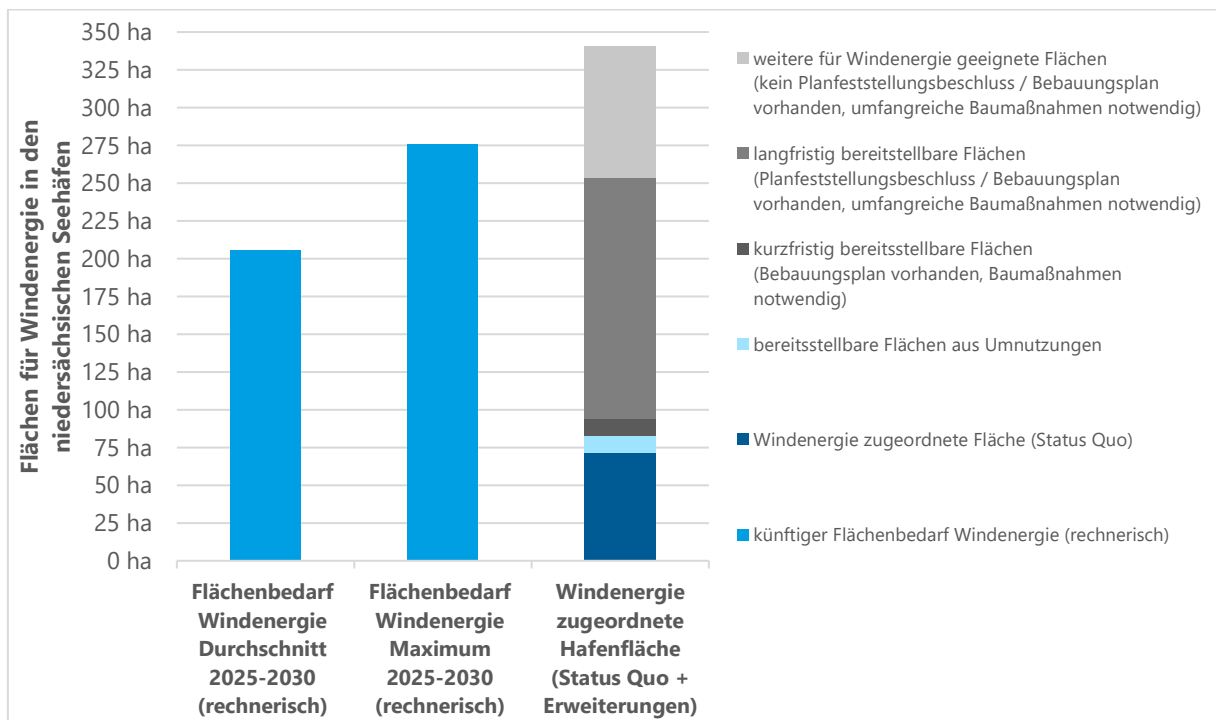
MANAGEMENT SUMMARY

Innerhalb weniger Jahre soll in Deutschland, in der Europäischen Union und vielen Staaten weltweit die Windenergie massiv ausgebaut werden. Die Hafenwirtschaft stellt einen zentralen Faktor auf dem Weg zur Erreichung der Ausbauziele dar.

Ziel der vorliegenden Analyse ist es, die sich aus dem On- und Offshore-Windenergiezu- bau ergebenden Potenziale für die niedersächsischen Seehäfen aufzuzeigen. In Deutschland soll bereits bis zum Jahr 2030 die installierte Windenergieleistung an Land auf 115 GW und auf See auf mindestens 30 GW steigen. Die ambitionierten Ausbauziele so- wie weitere Faktoren lassen künftig eine steigende Nachfrage durch die Windenergie- branche an den Hafenstandorten erwarten. Um diese bedienen zu können und damit die Erreichung der Ausbauziele zu unterstützen, müssen zügig geeignete Flächen für die Nutzung durch die Windenergiebranche in den Häfen bereitgestellt werden.

Der Bedarf ist groß: Wird im Sinne einer Abschätzung der zukünftig benötigten Flächen unterstellt, dass der Flächenbedarf der Windenergiebranche proportional zu den für Deutschland geplanten jährlichen Ausbauraten wächst, werden zwischen 2025 und 2030 durchschnittlich über 200 ha benötigt. Dies entspricht etwa einer Verdreifachung der heute in den niedersächsischen Seehäfen verfügbaren Fläche für die Windenergiebran- che von knapp über 70 ha. In Jahren mit besonders hohen Zubauraten ergibt sich sogar eine annähernde Vervielfachung des Bedarfs im Vergleich zu heute.

ZUKÜNFTIGER FLÄCHENBEDARF ENTSPRECHEND DEM DEUTSCHEN WINDENERGIEAUSBAUPFAD IM VERHÄLTNIS ZUR AKTUELLEN FLÄCHENSITUATION IN DEN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN



Quelle: Eigene Darstellung

Die Auswirkungen auf die Flächensituation werden in der Realität aus einem Zusammenspiel von Marktwachstum in Deutschland und international, der Entwicklung von Projekt- und Komponentengrößen, Unternehmensansiedlungen, Logistikstrategien, der Entwicklung der Marktanteile der niedersächsischen Seehäfen sowie weiteren Marktfaktoren geprägt werden. Insbesondere die steigenden Größendimensionen der Komponenten und der zunehmende Rückbau von Offshore-Anlagen stellen Einflussfaktoren dar, die den abgeschätzten Flächenbedarf voraussichtlich weiter erhöhen werden. Zusätzlich führt die zunehmende Anzahl an Offshore-Windparks in Betrieb zu vermehrtem Serviceverkehr und erhöhter Nachfrage nach Liegeplätzen auch in diesem Bereich.

Die Analyse der niedersächsischen Hafenstandorte zeigt, dass kurz- bis langfristig bereitstellbare Erweiterungsflächen vorhanden sind. Diese können für eine Nutzung durch die Windenergiebranche erschlossen werden, sobald geeignete Rahmenbedingungen vorliegen.

Neben dem Flächenbedarf steigen insbesondere im Bereich der Offshore-Windenergie die Anforderungen an Liegeplätze und Kaianlagen (z. B. durch Dimensionsentwicklung bei Komponenten und Installationsschiffen). Auch die Anforderungen an die Hinterlandanbindungen sind zunehmend höher, hier muss insbesondere der Import moderner Rotorblätter für deutsche Onshore-Windenergieprojekte ohne größere Einschränkungen möglich sein.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Hafenwirtschaft eine wichtige Rolle in der Wertschöpfungskette der Windenergiebranche spielt. Für die Erreichung der Ausbauziele der On- und Offshore-Windenergie in Deutschland ist künftig insbesondere die Bereitstellung ausreichender Flächenkapazitäten von zentraler Bedeutung. Die derzeitigen vorhandenen Flächen sind ausgelastet, geeignete zusätzliche Flächenpotenziale sind an den Standorten vorhanden und entsprechende Maßnahmen zur Entwicklung müssen zeitnah auf den Weg gebracht werden.

1 EINLEITUNG

Für ein klimaneutrales Deutschland ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien unerlässlich. Im Zuge der Energiewende wird daher der Ausbau der On- und Offshore-Windenergie vorangetrieben. Die ambitionierten Ausbauziele der deutschen Bundesregierung sowie vieler weiterer Staaten weltweit stellen eine große Herausforderung für die Windenergiebranche und deren Wertschöpfungskette dar. Als wichtiger Teil der Wertschöpfungskette bedeuten die ambitionierten Ausbauziele auch für die niedersächsischen Seehäfen eine große Herausforderung. Um eine Gefährdung der Ausbauziele durch fehlende Hafenskapazitäten zu vermeiden, müssen rechtzeitig die zukünftigen Bedarfe analysiert und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Ziel der vorliegenden Analyse ist es, die sich aus dem On- und Offshore-Windenergiezubau ergebenden Potenziale für die niedersächsischen Seehäfen aufzuzeigen. Hierbei sollen insbesondere die Flächenbedarfe in den niedersächsischen Seehäfen vor dem Hintergrund der aktuellen Ausbauziele der deutschen Bundesregierung für die Windenergie analysiert werden. Da die Windenergiebranche höchst internationalisiert ist, werden neben den deutschen Ausbauzielen auch die europäischen Zielsetzungen sowie die globale Ebene dargestellt.

Im Anschluss an die Betrachtung der Ausbauziele werden die Technologieentwicklung der Windenergieanlagen sowie derzeitige Produktionsstätten betrachtet. Für den Bereich der Offshore-Windenergie werden zudem die Entwicklung der Dimensionen eingesetzter Schiffstypen und die Ausgestaltung von Installations- und Servicekonzepten untersucht, da auch diese Faktoren Einfluss auf die zukünftigen Flächenbedarfe und Anforderungen der Windenergiebranche haben werden.

Darüber hinaus erfolgt eine nähere Charakterisierung der niedersächsischen Hafenstandorte, wobei der Schwerpunkt entsprechend den Anforderungen der Auftraggeber auf ausgewählten Seehäfen liegt. Ergänzend werden Informationen über ausgewählte benachbarte Seehäfen gegeben (Esbjerg, Eemshaven, Hull und Bremerhaven).

Auf Basis der Ergebnisse der oben genannten Analysen werden wesentliche Potenziale und Einflussfaktoren für die zukünftig notwendige Entwicklung der Häfen genannt und insbesondere Defizite im Hinblick auf den aufgrund der ambitionierten

Ausbauziele zukünftig zu erwartenden Flächenbedarf für die Windenergie herausgearbeitet.

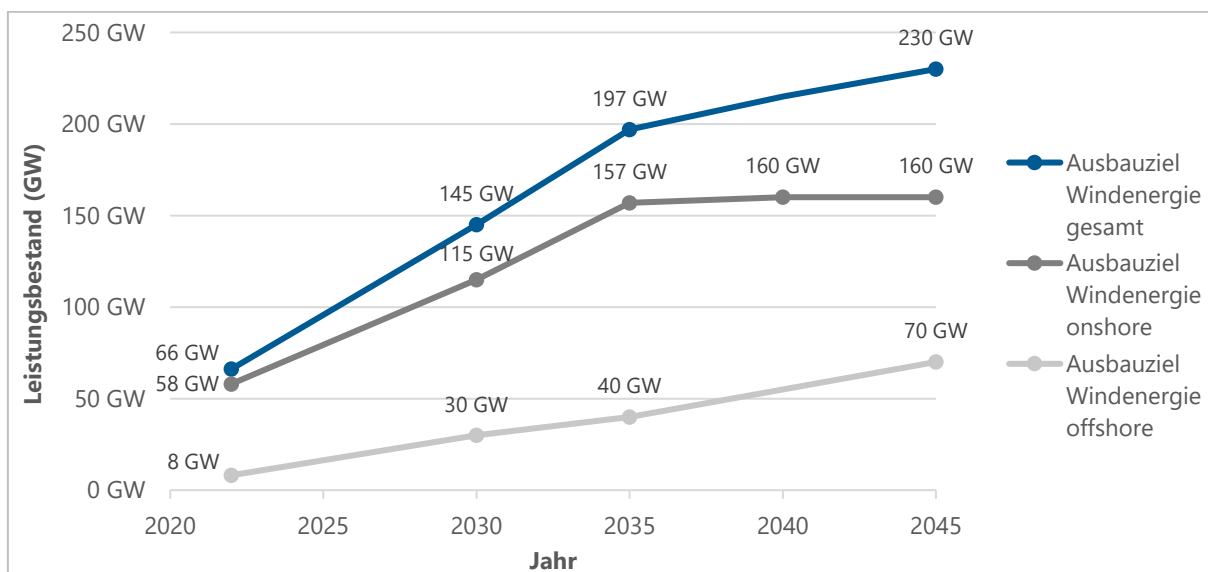
2 AUSBAUPFAD DER ON- UND OFFSHORE-WINDENERGIE

Der geplante nationale und internationale Ausbau der On- und Offshore-Windenergie stellt die zentrale Größe dar, wenn es um Abschätzungen im Hinblick auf zukünftig benötigte Hafenkapazitäten geht. Diese entwickeln sich insbesondere in Abhängigkeit des deutschen Zubaus. Da die Windenergiebranche höchst internationalisiert ist, sind auch die Zielsetzungen anderer Länder von Interesse. Im Folgenden wird zunächst die derzeitige und geplante Ausbauentwicklung in Deutschland vorgestellt. Ergänzend wird ein Überblick über die Entwicklungen auf europäischer und globaler Ebene gegeben.

2.1 AUSBAUENTWICKLUNG DEUTSCHLAND

In Deutschland hat die aktuelle Regierungskoalition 2022 wichtige Weichen gestellt und die Ausbauziele für die Windenergie deutlich angehoben. Gemäß EEG 2023 soll die installierte Leistung von Windenergieanlagen an Land auf 115 GW in 2030, 157 GW in 2035 und 160 GW in 2040 steigen. Nach dem Jahr 2040 soll diese installierte Leistung dauerhaft erhalten werden. Für die Windenergie auf See sieht das WindSeeG 2023 eine Steigerung auf insgesamt mindestens 30 GW bis 2030, auf 40 GW bis 2035 und auf 70 GW bis 2045 vor.

ABBILDUNG 1: AUSBAUSTAND 2022 UND AUSBAUZIELE WINDENERGIE ONSHORE GEMÄß EEG 2023 UND WINDENERGIE OFFSHORE GEMÄß WINDSEEG 2023



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Deutsche WindGuard, 2023a, 2023b; EEG 2023; WindSeeG 2023)

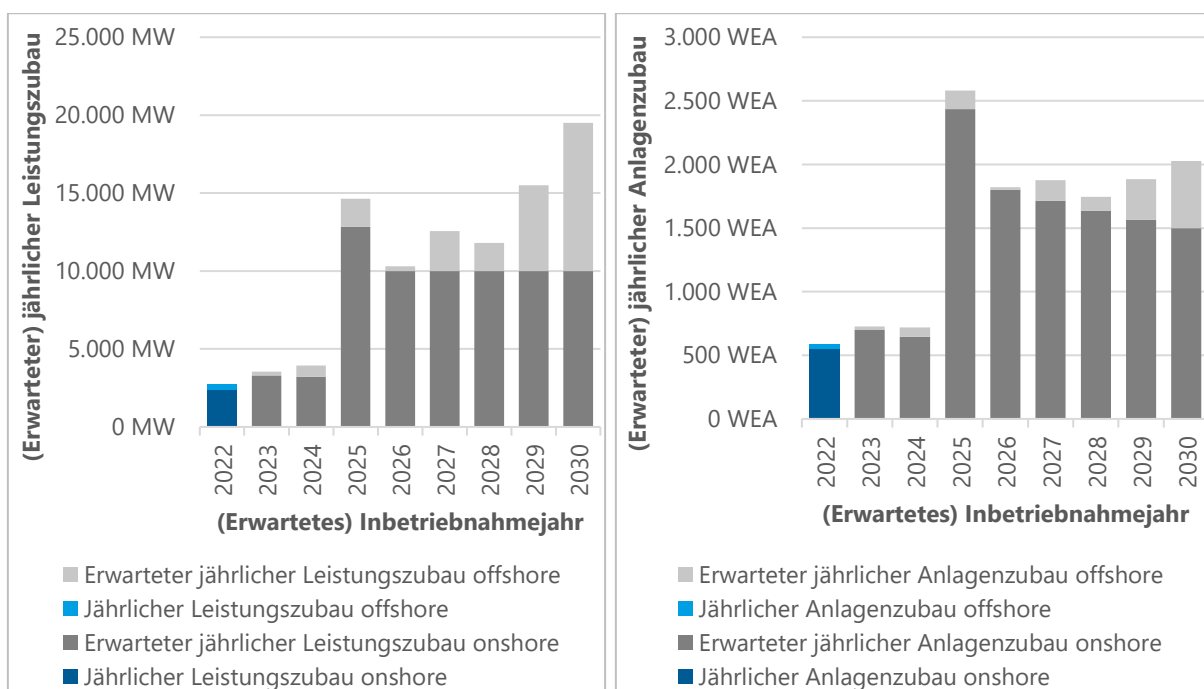
Hohe Zubauziele bis 2030

Im Ergebnis sehen die Ausbauziele vor, dass die installierte Leistung im Bereich der Onshore-Windenergie bis 2030 im Vergleich zu 2022 etwa verdoppelt und die offshore installierte Leistung fast vervierfacht werden soll.

Parallele Zu- und Rückbauaktivitäten

Bis 2035 soll der Leistungsbestand im Bereich beider Technologien weiter erhöht werden. Nach 2035 soll der Leistungsbestand der Onshore-Windenergie nur noch wenig erhöht und danach auf einem konstant hohen Niveau von etwa 160 GW gehalten werden. Um dieses Niveau zukünftig zu halten, wird ein stetig fortschreitender Rück- und Zubau notwendig sein, da ältere Onshore-Windenergieanlagen kontinuierlich das Ende ihrer Lebenszeit erreichen. Bereits heute findet der Rückbau von Windenergieanlagen im Bereich der Onshore-Windenergie in moderatem Maße statt. Der Leistungsbestand der Offshore-Windenergie soll noch bis zum Jahr 2045 jährlich deutlich zunehmen und auf ein Niveau von mindestens 70 GW erhöht werden. Im Bereich der Offshore-Windenergie findet derzeit noch kein Rückbau statt, voraussichtlich wird dieser in den 2030er-Jahren beginnen.

ABBILDUNG 2: ERWARTETER JÄHRLICHER LEISTUNGS- UND ANLAGENZUBAU GEMÄß AUSBAUZIEL



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Deutsche WindGuard, 2023a, 2023b), eigene Annahmen

Jährlicher Anlagenbau

In der Betrachtung der Entwicklung der jährlich zu installierenden Leistung sowie Anlagenanzahl (Abbildung 2) wird deutlich, welche Zuwächse sich für die nächsten Jahre abzeichnen. Aufgrund der erwarteten Leistungssteigerungen je Windenergieanlage wird ein Anlagenzubau ab 2025 von knapp 2.000 On- und

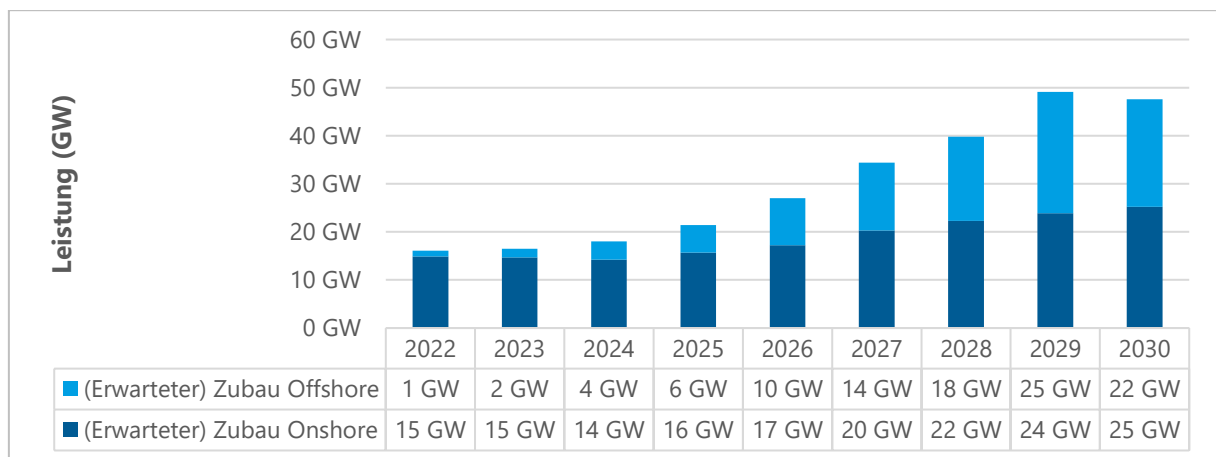
Offshore-Anlagen pro Jahr erwartet. Dies entspricht etwa einer Verdreifachung des aktuellen jährlichen Anlagenzubaues.

2.2 AUSBAUENTWICKLUNG EUROPA

In der Europäischen Union (EU) waren gemäß den Auswertungen von WindEurope (WindEurope, 2023) Windenergieanlagen mit einer kumulierten Leistung in Höhe von etwa 204 GW in Betrieb, davon wurden 188 GW durch Onshore-Windenergieanlagen und 16 GW durch Offshore-Windenergieanlagen gestellt.

Bis zum Jahr 2030 sieht das europäische Ziel für erneuerbare Energien (RED III) vor, dass 45% des gesamten Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt werden, dies entspricht beinahe einer Verdopplung des aktuellen Stands. Zur Erreichung dieses Ziels erachtet WindEurope einen durchschnittlichen Zubau von 31 GW pro Jahr bis 2030 (On- und Offshore-Windenergie gesamt) als erforderlich. Zum Vergleich: Im Jahr 2022 betrug der Windenergie-Zubau in der EU lediglich 16 GW. Insbesondere zum Ende des Jahrzehnts sind deutlich erhöhte Zubauraten von jährlich über 40 GW notwendig, um die EU-Ziele für erneuerbare Energien zu erfüllen.

ABBILDUNG 3: (ERWARTETER) LEISTUNGSZUBAU EU GEMÄß EU-AUSBAUZIEL

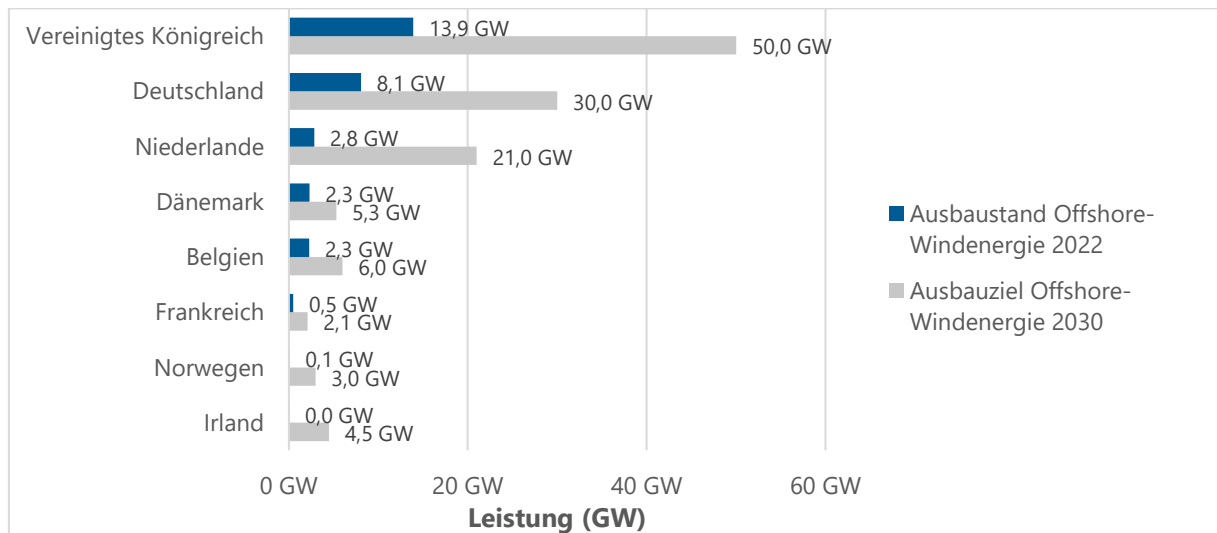


Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (WindEurope, 2023)

Um den Ausbau der Offshore-Windenergie in der Nordsee voranzutreiben und die Zusammenarbeit im gesamten Nordseeraum zu verbessern, haben sich die Energieminister der Staaten Belgien, Dänemark, Deutschland, Frankreich, Irland, Luxemburg, der Niederlande, Norwegen und dem Vereinigten Königreich im Frühjahr 2023 auf eine gemeinsame Erklärung, die sogenannte „Ostend Declaration“ geeinigt. Diese sieht vor, dass die installierte Leistung der Offshore-Windenergie in der

Nordsee bis 2030 bei etwa 120 GW und bis 2050 bei etwa 300 GW liegen soll.

ABBILDUNG 4: AUSBAUSTAND UND -ZIELE OFFSHORE-WINDENERGIE NORDSEERÄNDER

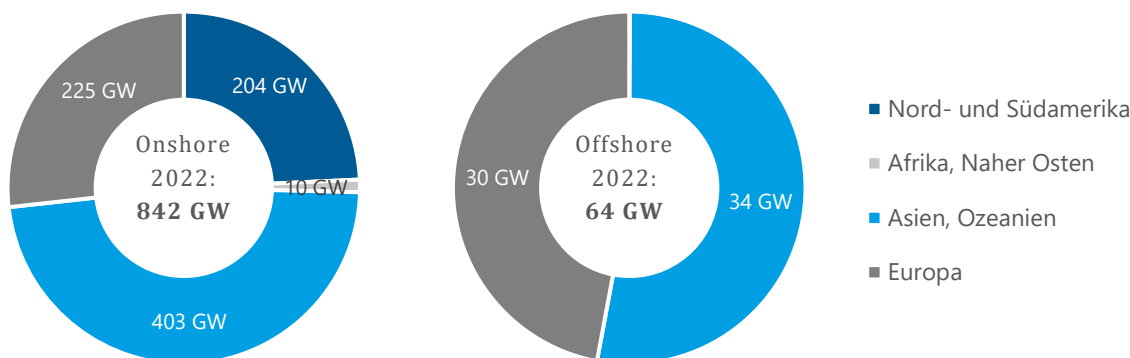


Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Ostend Declaration of Energy Ministers on the North Seas as Europes Green Power Plant; WindSeeG 2023; WindEurope, 2023)

2.3 AUSBAUENTWICKLUNG WELTWEIT

Das globale Engagement für den Ausbau erneuerbare Energien, um den Klimawandel einzudämmen und die Weltwirtschaft klimafreundlich umzugestalten, nimmt zu. Im Zuge dessen wird der Ausbau der On- und Offshore-Windenergie auf allen Kontinenten vorangetrieben. Weltweit waren zum Jahresende 2022 gemäß den Auswertungen des Global Wind Energy Council (GWEC, 2023) Windenergieanlagen mit einer kumulierten Leistung in Höhe von etwa 906 GW in Betrieb, davon wurden 842 GW durch Onshore-Windenergieanlagen und 64 GW durch Offshore-Windenergieanlagen gestellt (Abbildung 5). Die installierte Leistung der Onshore-Windenergie verteilt sich vor allem auf die Regionen Asien (48%) sowie zu etwa gleichen Anteilen auf Europa (27%) und Amerika (24%). Die installierte Leistung der Offshore-Windenergieanlagen verteilt sich zu etwa gleichen Anteilen auf die zwei Regionen Asien (53%) und Europa (47%).

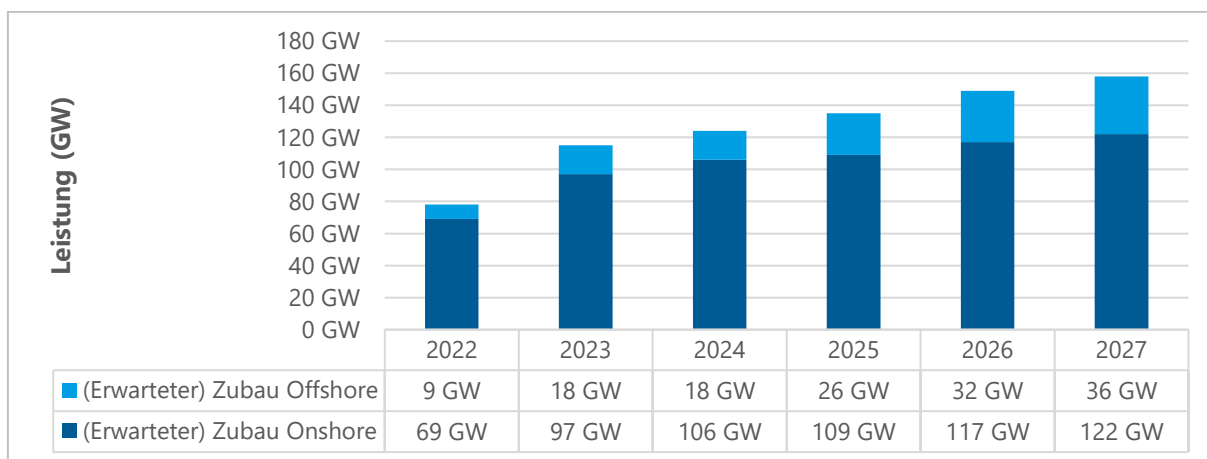
ABBILDUNG 5: LEISTUNGSBESTAND ON- UND OFFSHORE WINDENERGIE WELTWEIT 2022



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (GWEC, 2023)

Für die nächsten fünf Jahre wird ein Zubau in Höhe von insgesamt 680 GW weltweit erwartet. Dies entspricht einem durchschnittlichen Zubau in Höhe von 136 GW pro Jahr für den Zeitraum 2023 bis 2027 (Abbildung 6). Für die Onshore-Windenergie wird ein Zubau in Höhe von insgesamt 550 GW bzw. im Durchschnitt 110 GW pro Jahr im Zeitraum 2023-2027 erwartet. Der Zubau wird vor allem in den Hauptmärkten China, Europa und den USA erwartet, erst ab 2027 wird eine stärkere Diversifizierung des Onshore-Windausbaus erwartet. Für die Offshore-Windenergie wird ein Zubau in Höhe von insgesamt 130 GW bzw. im Durchschnitt 26 GW pro Jahr im Zeitraum 2023-2027 erwartet. Der Zubau bis 2025 wird vor allem in den beiden Hauptmärkten China und Europa erwartet, ab 2025 wird auch ein stärkerer Ausbau in den USA sowie in weiteren asiatischen Staaten erwartet.

ABBILDUNG 6: (ERWARTETER) LEISTUNGSZUBAU ON- UND OFFSHORE-WINDENERGIE WELTWEIT



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (GWEC, 2023)

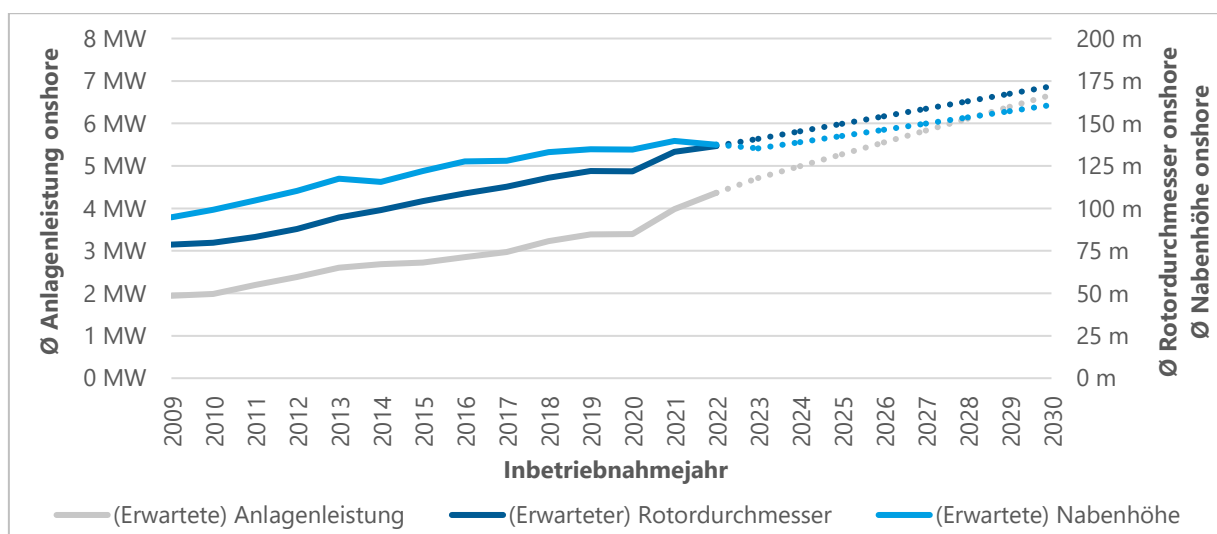
3 TECHNOLOGIEENTWICKLUNG IN DER WINDENERGIEBRANCHE

Die Technologieentwicklung im Bereich der Windenergiebranche hat unmittelbare Auswirkungen auf die Anfragen der Branche an die Hafenwirtschaft. Die Größendimensionen und Gewichte der Komponenten setzen hierbei den Rahmen für Anforderungen an Lagerung und Umschlag. Mit dem stetigen Ausbau der Windenergie in Deutschland hat sich die Technologie der Windenergieanlagen kontinuierlich weiterentwickelt. Auch für den künftigen Ausbau ist mit weiteren Fortschritten in der Anlagentechnologie zu rechnen. Im Bereich der Onshore-Windenergie prägen die Anlagenhersteller Enercon, Vestas, Nordex, GE und Siemens Gamesa den deutschen Markt. Im Bereich der Offshore-Windenergie dominieren die beiden Hersteller Siemens Gamesa und Vestas aktuell den deutschen Markt. Die Standorte der Produktionsstätten geben Aufschluss bezüglich der Im- und Exporte der Anlagenkomponenten.

3.1 ONSHORE-WINDENERGIEANLAGEN

Die durchschnittlichen Werte für die Anlagenleistung, Rotordurchmesser und Nabenhöhe der neu installierten Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland sind in der Vergangenheit stetig gestiegen und auch für die Zukunft wird ein weiterer Anstieg erwartet (Abbildung 7).

ABBILDUNG 7: (ERWARTETE) ANLAGENENTWICKLUNG ONSHORE-WINDENERGIE

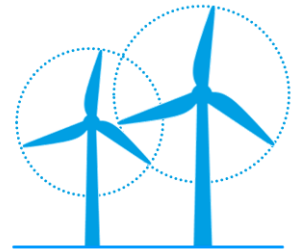


Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Deutsche WindGuard, 2023b), eigene Annahmen

Im Jahr 2022 wies die durchschnittliche Anlagenkonfiguration der neu installierten Onshore-Windenergieanlagen folgende Werte auf: Die durchschnittliche Anlagenleistung lag bei 4,4 MW, der durchschnittliche Rotordurchmesser bei 137 m und die durchschnittliche Nabenhöhe bei 138 m.

ABBILDUNG 8: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG ANLAGENENTWICKLUNG ONSHORE-WINDENERGIE

	2022 Ø Zubau	E-175 EP5 (angekündigt für 2024)	Entwicklung
Nennleistung	4,4 MW	6 MW	+ 36%
Rotordurchmesser	137 m	175 m	+ 28%
Nabenhöhe	138 m	163 m	+ 18%

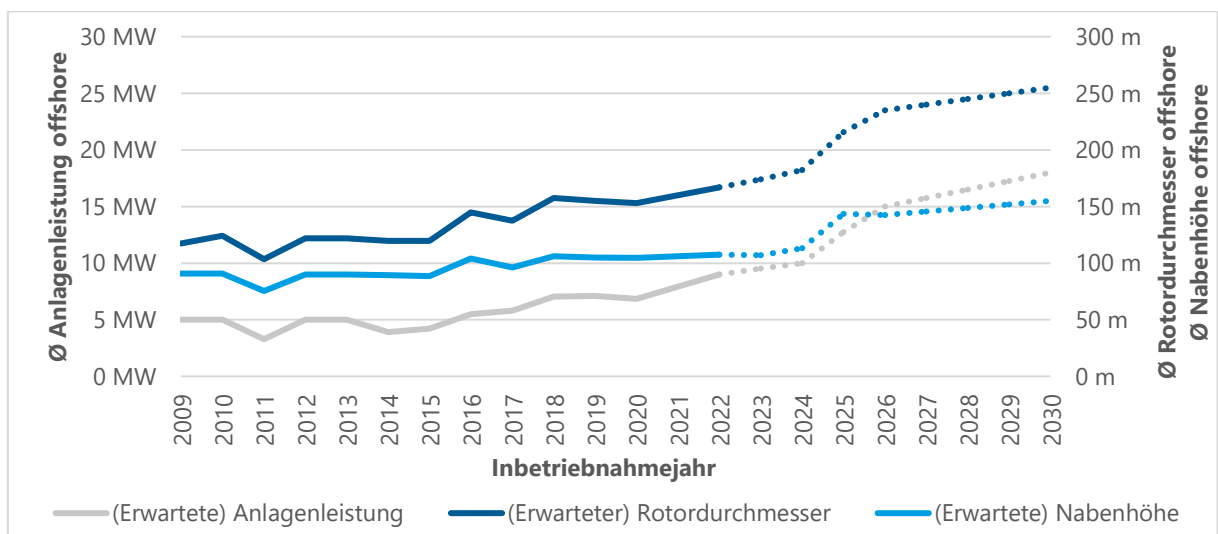


Im Vergleich dazu weist beispielsweise der aktuell größte und leistungsstärkste Anlagentyp im Produktportfolio des Anlagenherstellers Enercon E-175 EP5 eine Leistung von 6 MW, einen Rotordurchmesser von 175 m und eine Nabenhöhe von bis zu 162 m auf. Die Serienfertigung dieses Anlagentyps ist ab dem Jahr 2024 geplant (Enercon, 2022).

3.2 OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN

Im Bereich der Offshore-Windenergie wird insbesondere die Steigerung der Anlagenleistung zügig vorangetrieben. Auch die Rotordurchmesser wachsen deutlich, die Nabenhöhe folgt entsprechend (Abbildung 9).

ABBILDUNG 9: (ERWARTETE) ANLAGENENTWICKLUNG OFFSHORE-WINDENERGIE

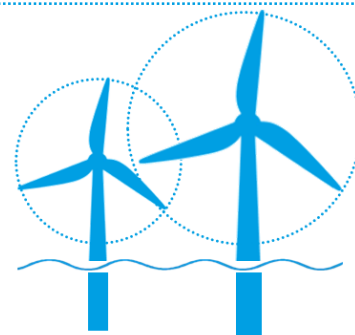


Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Deutsche WindGuard, 2023a), eigene Annahmen

Im Jahr 2022 wies die durchschnittliche Anlagenkonfiguration der neu installierten Offshore-Windenergieanlagen folgende Werte auf: Die durchschnittliche Anlagenleistung lag bei 9,0 MW, der durchschnittliche Rotordurchmesser bei 167 m und die durchschnittliche Nabenhöhe bei 108 m. Für das Jahr 2025 ist die Installation eines Anlagentyps mit einer Nennleistung in Höhe von 15 MW, mit einem Rotordurchmesser in Höhe von 236 m und einer Nabenhöhe von 142 m geplant (EnBW, 2023). Neben den Dimensionen der Offshore-Windenergieanlagen sind auch die Dimensionen der Monopiles, der in Deutschland am häufigsten eingesetzten Fundamentart, deutlich gewachsen (RWE, 2022; Steelwind Nordenham, 2022).

ABBILDUNG 10: EXEMPLARISCHE DARSTELLUNG ANLAGENTWICKLUNG OFFSHORE-WINDENERGIE

	2022 Ø Zubau	V236-15.0 (geplant für 2025)	Entwicklung
Nennleistung	9 MW	15 MW	+ 67%
Rotordurchmesser	167 m	236 m	+ 41%
Nabenhöhe	108 m	142 m	+ 31%
Fundamentart	Monopile	Monopile	
Durchmesser	6,5 m	9,2 m	+ 42%
Gewicht	740 t	1.300 t	+ 76%



3.3 PRODUKTIONSSTÄTTEN

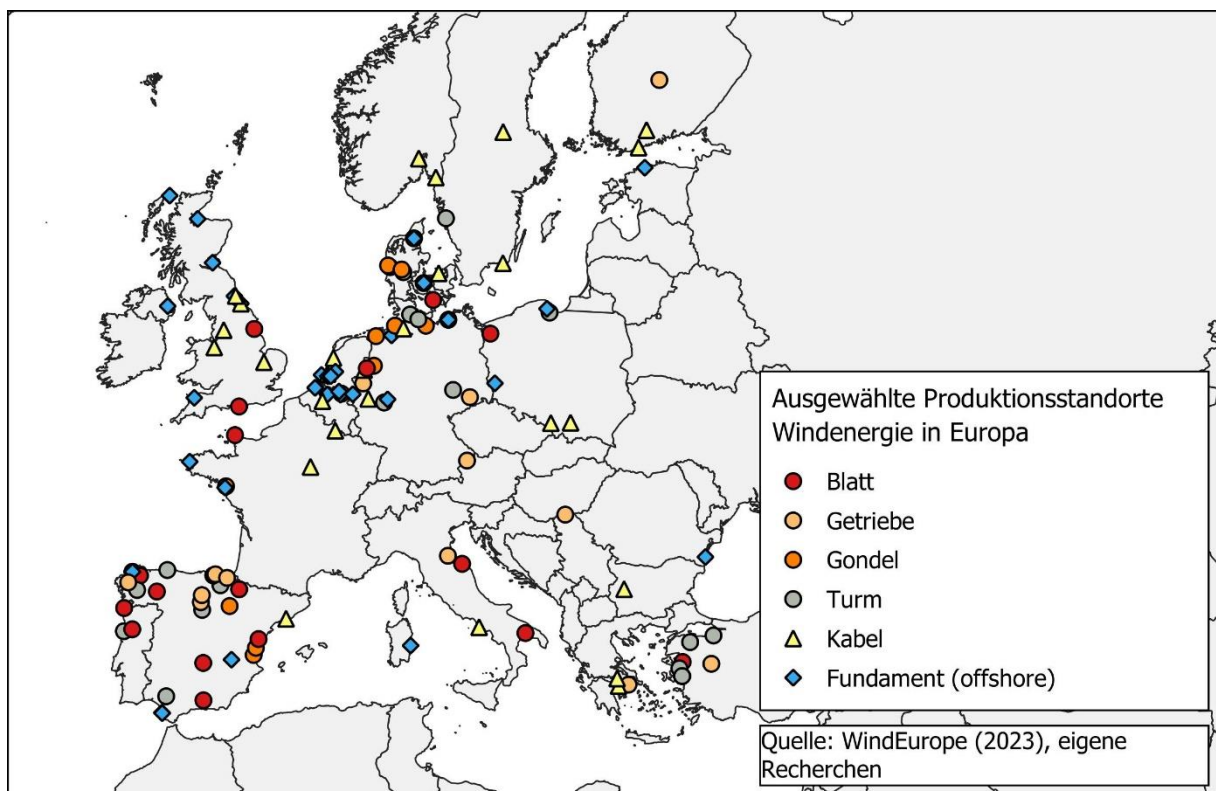
Die wesentlichen Komponenten einer Windenergieanlage sind das Maschinenhaus, die Rotorblätter, der Turm, das Fundament sowie Elemente der Elektro-, Mess- und Steuerungstechnik. Die Hersteller von Windenergieanlagen montieren an ihren Produktionsstätten derzeit in der Regel vordergründig die Maschinenhäuser. Die Fertigung anderer Komponenten, wie der Türme oder der Rotorblätter, wird hingegen auch von externen Zuliefererunternehmen übernommen.

In Europa existieren zahlreiche Unternehmen, die im Bereich der Windenergie Anlagen oder Komponenten herstellen. Europa verfügt derzeit über die zweitgrößten Produktionskapazitäten im Bereich der Windenergie. Nur China stellt noch größere Kapazitäten (GWEC, 2023). In Deutschland sind beispielsweise Produktionsstätten für die Montage der Maschinenhäuser, für Offshore-Fundamente sowie für Türme und Kabel verortet. In der Vergangenheit gab es ebenfalls Produktionsstätten für Rotorblätter, diese wurden jedoch geschlossen. Produktionsstätten für Rotorblätter sind aktuell vor allem in Spanien

sowie außerhalb Europas in Indien, China oder Brasilien vorhanden.

Die Lage der Produktionsstandorte verdeutlicht, welche Komponenten vermehrt in den Seehäfen umgeschlagen werden. Wie die nachfolgende Karte (Abbildung 11) zeigt, befinden sich viele Produktionsstandorte in Küstennähe, häufig werden die sehr großen Komponenten auf dem Seeweg in den internationalen Markt gebracht.

ABBILDUNG 11: AUSGEWÄHLTE PRODUKTIONSSTANDORTE VON KOMPONENTEN FÜR WINDENERGIEANLAGEN IN EUROPA



In Deutschland wurde im Jahr 2022 die letzte der vorhandenen Rotorblattproduktionen geschlossen, so dass alle Blätter für hiesige Projekte importiert werden müssen, was aufgrund der Größe dieser Komponente häufig über die Häfen geschieht. Aber auch bei allen anderen Komponenten gibt es Importe. Im Bereich der Offshore-Windenergie werden die Komponenten oft in unmittelbarer Hafennähe produziert und daraufhin häufig in einem Installationshafen gesammelt und von dort aus in die Projekte verschifft, diese nehmen also unterschiedliche und teils mehrfache Wege über das Meer und damit durch unterschiedliche Hafenstandorte.

All diese Entwicklungen zeigen, dass für die Häfen aufgrund der erhöhten Ausbauziele unmittelbar ein erhöhtes Umschlagpotenzial zu erwarten ist. Daneben besteht die Möglichkeit, dass

neue Produktionskapazitäten durch die Windenergiebranche aufgebaut werden, hierbei wird häufig die direkte Nähe zu einem Hafen gesucht.

4 SCHIFFSTYPEN UND -KONZEPTE FÜR INSTALLATION UND BETRIEB VON OFFSHORE- WINDPARKS

Im Bereich der Offshore-Windenergie werden aufgrund der Installations- und Betriebsvorgänge besondere Anforderungen an Häfen gestellt, die weit über den reinen Umschlag von Komponenten hinaus gehen. Im Hinblick auf die benötigte Infra- und Suprastruktur in den Häfen sind insbesondere die genutzten Schiffstypen sowie die zugehörigen Installations- und Betriebskonzepte von zentraler Bedeutung für die Kapazitätsplanungen der Häfen. Im Folgenden wird ein Überblick über die eingesetzten Schiffstypen, ihre Dimensionen und zugehörige Logistikkonzepte der Offshore-Windenergiebranche gegeben.

4.1 EINGESETZTE SCHIFFSTYPEN

Während der Errichtung und des Betriebs eines Offshore-Windparks kommen unterschiedliche Schiffstypen mit unterschiedlichen Ausstattungen, unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Spezialisierung zum Einsatz.

Installationsschiffe

Für den Bau von Offshore-Windparks werden insbesondere zwei spezialisierte Installationsschiffe eingesetzt. Zunächst wird das Fundament mit einem Foundation Installation Vessel installiert. Die Eignung der Foundation Installation Vessel ist abhängig von den Krankapazitäten und maximalen Hebelasten. Monopiles sind aktuell in der Nordsee die bevorzugte Fundamentart und es kann zukünftig mit Gewichten von bis zu 2.500 t pro Monopile gerechnet werden (H-BLIX, 2022).

Nach der Fundamentinstallation folgt die Installation der Windenergieanlage. Sie wird von Errichterschiffen durchgeführt, welche hohe Kranhöhen vorweisen müssen, um die Gondel und Rotorblätter auf die vorgesehene Nabenhöhe heben zu können und sich in der Regel aufjacking, also aus eigener Kraft aufbocken können.

Reedereien und Betreiber von Installationsschiffen haben Schwierigkeiten, mit den Entwicklungen der Windenergiebranche Schritt zu halten. Windenergieanlagen und ihre Fundamente werden immer größer und schwerer konzipiert, sodass zur Installation entsprechend dimensioniertes Equipment benötigt wird, und die Schiffe entsprechend der neuen Generation

von Windenergieanlagen ausgerüstet werden müssen. Es kann davon ausgegangen werden, dass viele aktuell auf dem Markt verfügbaren Schiffe ab dem Jahr 2025 veraltet sein werden und die neuen Windenergieanlagen nicht mehr installieren können. Aus diesem Grund könnte es in der Zukunft zu einem Engpass auf dem Schiffsmarkt für die Installation von Windenergieanlagen kommen, sodass Offshore-Windparkentwickler die Baukonzepte anpassen müssen, um auf die begrenzte Anzahl von Installationsschiffen auf dem Markt zu reagieren. Es ist noch nicht abzusehen, ob für die Installation von Fundamentkranschiffe und andere Schiffe aus dem Schwergutbereich, die vormals in der Öl- und Gasbranche genutzt wurden, umgenutzt werden können und somit der Markt im Bereich der Fundamentinstallation weniger angespannt sein wird als im Bereich der Windenergieanlagen-Installation. Weiterhin können Errichterschiffe bis zu einem gewissen Grad nachgerüstet werden und ihre Krankapazitäten verbessert werden.

Crew-Transfer-Vessel (CTV) und Service Operation Vessel (SOV)

Während des Betriebs des Windparks bringen Crew-Transfer-Vessel (CTV) Service-Techniker am Morgen in küstennäheren Offshore-Windparks und kehren am gleichen Tag in ihren Heimathafen zurück. Diese Schiffe sind in der Regel für Tagesfahrten ausgelegt und mit ca. 20-30 m eher klein.

Für den Betrieb weiter entfernter Windparks werden in der Regel Service Operation Vessel (SOV) eingesetzt. Diese sind über 80 m lang und für mehrtägige Fahrten, bis zu 14 Tage, konzipiert. Auf ihnen wohnen und arbeiten in dieser Zeit die Service-Techniker, welche die Windenergieanlagen inspizieren, warten und instandhalten. Durch ihren Einsatz entfallen Anfahrtswege, und da sie bei schlechten Wetterbedingungen weniger anfällig sind, verlängern sich die Einsatzzeiten.

4.2 DIMENSIONSENTWICKLUNG VON INSTALLATIONSSCHIFFEN

Installationsschiffe müssen dem Trend der wachsenden Offshore-Windenergieanlagen folgen. Im Hinblick auf die Infrastruktur in Seehäfen spielen hierbei Schiffslänge (Length over all - LOA), Schiffsbreite (Breadth over all - BOA) und Tiefgang eine entscheidende Rolle. Diese Parameter sind ausschlaggebend, um Aussagen über die Eignung der Seehäfen im Hinblick auf ihre Erreichbarkeit zu treffen.

Tiefwasserhäfen verfügen über die Möglichkeit, Schiffe nahezu jeder Länge, Breite und jeden Tiefgangs aufnehmen zu können,

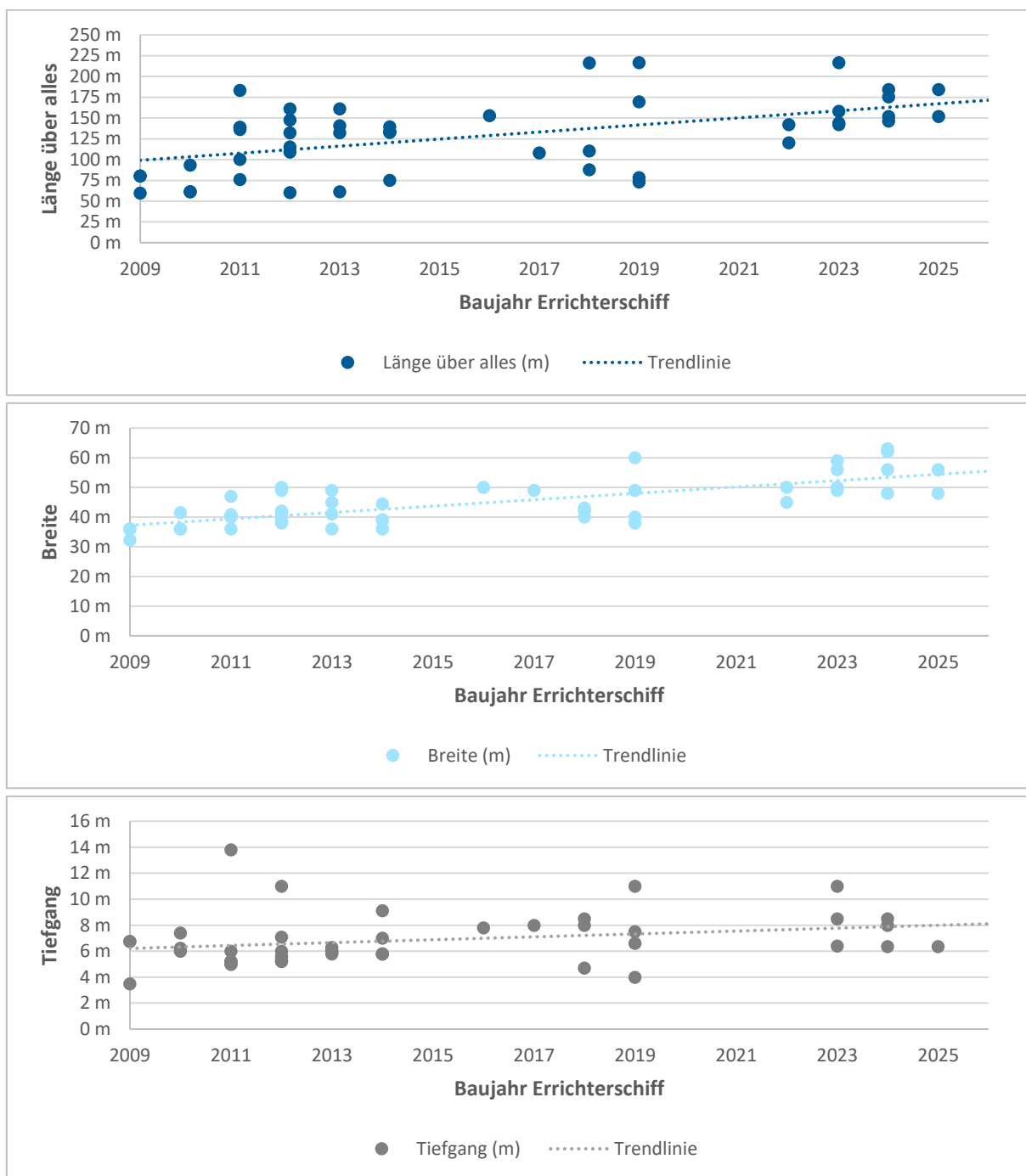
da sie entsprechende Wassertiefen vorweisen können und die Kaianlagen für das Laden und Löschen großer Seeschiffe ausgelegt sind oder für Tätigkeiten in der Offshore-Windenergiebranche geplant wurden. Traditionelle Seehäfen, die in der Vergangenheit ihren Fokus auf geschützte und tideunabhängige Liegeplätze gelegt haben, sind über Schleuseneinfahrten erreichbar oder liegen an Flusseinmündungen, nahe der Küste. Liegeplätze in Häfen an Flüssen sind in der Länge und Breite durch Vorgaben für maximale Wenderadien und das direkt angrenzende Fahrwasser und den entsprechenden Schifffahrtsverkehr begrenzt.

Entwicklung von Installationsschiffen

Die Entwicklung und der Bau von Offshore-Windparks startete in den späten 2000er Jahren. Schiffe, die grundsätzlich für die Installation eingesetzt werden können, wurden bereits vor dieser Zeit gebaut. Hierbei handelt es sich nicht um auf die Installation von Windenergieanlagen spezialisierte Schiffe, sondern um Kran- und Arbeitsschiffe aus dem Bereich der Schwerlastbranche, welche beispielsweise für den Bau von Brücken oder Plattformen genutzt werden.

Im Folgenden wird im Hinblick auf die Entwicklung von Installationsschiffen ein Betrachtungszeitraum ab 2009 gewählt, dieser beginnt mit der Errichtung der ersten Offshore-Windparks in Deutschland. Die Auswertung erfolgt getrennt nach Errichterschiffen für Windenergieanlagen und für Fundamente. Da einige Schiffstypen für die Installationsarbeiten in beiden Bereichen genutzt werden, können einzelne Schiffe in beide Auswertungen eingegangen sein. Zunächst wird in Abbildung 12 die Entwicklung von Errichterschiffen für die Installation von Windenergieanlagen dargestellt.

ABBILDUNG 12: DIMENSIONSENTWICKLUNG VON ERRICHTERSCHIFFEN FÜR OFFSHORE-WINDENERGIEANLAGEN



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Dunne et al., 2023)

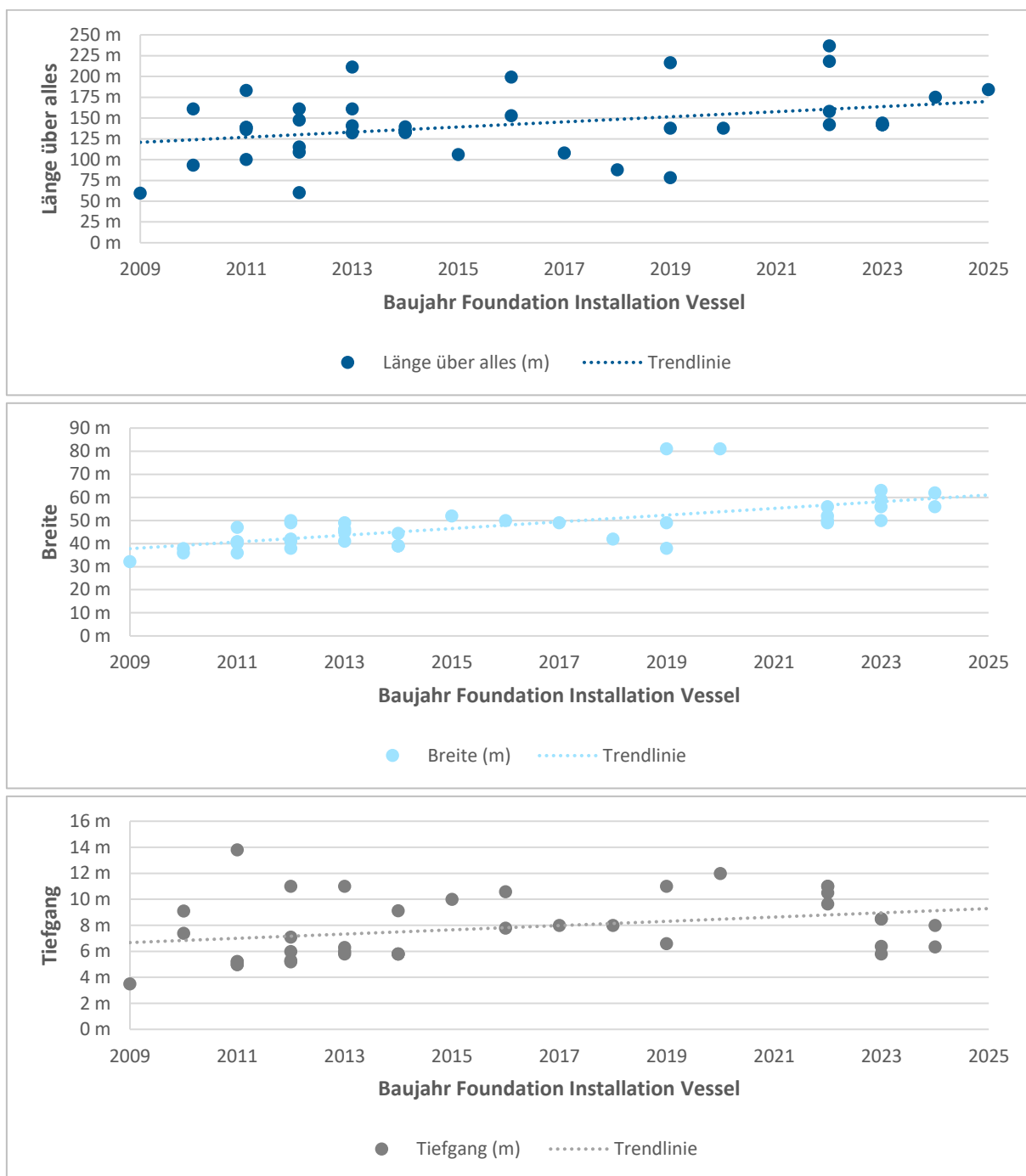
Für die Auswertung in Abbildung 12 wurden Daten von 39 Errichterschiffen, die auf dem globalen Markt (inkl. China) aktiv sind und neun angekündigten Neubauten bis 2025 ausgewertet. Insgesamt wurden 12 Neubauten bis 2026 angekündigt, allerdings sind für drei dieser Schiffe noch keine technischen Daten verfügbar. Viele Errichterschiffe wurden in der ersten Hochphase der Offshore-Windenergie, in den Jahren 2009 bis 2014

gebaut. Errichterschiffe, die zu Beginn der 2010er Jahre gebaut wurden, wurden innerhalb der Dekade von den Entwicklungen der Windenergieanlagen überholt, sodass sie an Seitenmärkte verdrängt wurden oder gezwungen waren, umfangreiche Überholungen vorzunehmen. Die Investitionen in Neubauten kamen in den Jahren 2020 und 2021 zum Erliegen. Erst der Beginn der Offshore-Windenergieentwicklung in neuen Märkten, wie Japan, Taiwan und den USA, gaben der Branche neuen Aufwind (MacFarlane, 2021).

Die Trendlinien für Schiffslänge, Schiffsbreite und Tiefgang zeigen jeweils einen ansteigenden Verlauf. Insbesondere die Länge von Errichterschiffen ist stark angestiegen. Die durchschnittliche LOA von Schiffen der ersten Generationen in den Jahren 2009 bis 2014 lag bei ca. 113 m. Die durchschnittliche LOA der nächsten Generation von angekündigten Errichterschiffen wird eine LOA von ca. 160 m haben. Die längsten Errichterschiffe auf dem Markt sind die Schiffe „Orion“ und „Green Jade“ mit jeweils 216,5 m LOA. Die durchschnittliche BOA bei Betrachtung der gleichen Zeiträume ist von ca. 40 m auf 55 m gestiegen. Positiv verlaufend, aber weniger stark gestiegen ist der durchschnittliche Tiefgang von Errichterschiffen.

In der folgenden Abbildung 13 ist die Entwicklung von Installationsschiffen für Offshore-Fundamente dargestellt.

ABBILDUNG 13: DIMENSIONSENTWICKLUNG VON ERRICHTERSCHIFFEN FÜR OFFSHORE-FUNDAMENTE



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Dunne et al., 2023)

In Abbildung 13 wurden insgesamt 32 Foundation Installation Vessel, die auf dem globalen Markt (inkl. China) aktiv sind, und acht angekündigte Neubauten bis 2025 betrachtet. Insgesamt wurden zehn Neubauten bis 2026 angekündigt, für zwei davon sind noch keine technischen Daten verfügbar. Die Entwicklung der Größe von Foundation Installation Vessels im Hinblick auf Schiffslänge, Schiffsbreite und Tiefgang zeigt, ähnlich wie bei

den Errichterschiffen für Offshore-Windenergieanlagen, jeweils ansteigende Trendlinien. Erkennbar ist auch hier der Einbruch auf dem Markt für Neubauten im Jahr 2021, in dem kein Schiff ausgeliefert wurde.

Die durchschnittlichen Werte von Foundation Installation Vessels vor dem Einbruch des Neubautenmarkts im Jahr 2021 lagen bei ca. 133 m LOA und ca. 45 m BOA. Die Schiffe der nächsten Generation verzeichnen durchschnittliche LOA von ca. 168 m und BOA von ca. 55 m. Obgleich die Trendlinie des Tiefgangs insgesamt steigt, zeigen die Daten für die Schiffe der nächsten Generation ähnliche Tiefgänge wie zum Start der Offshore-Windenergieentwicklung Ende der 2000er Jahre.

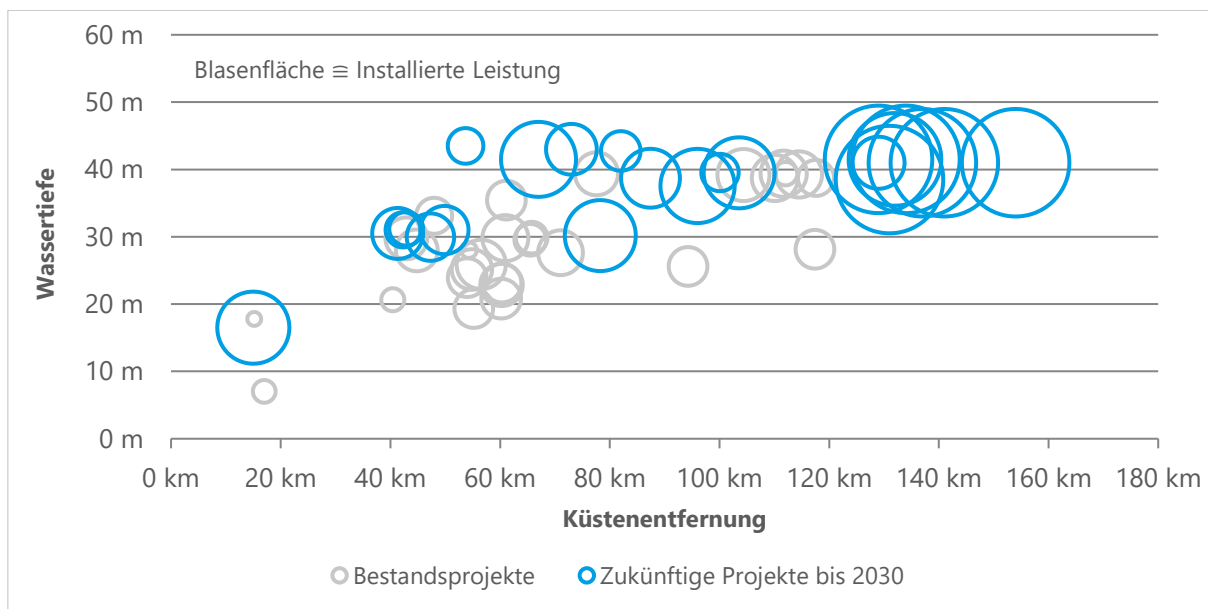
Von den zehn angekündigten Neubauten können sieben die aktuell schwersten Monopiles mit 2.400 t bis 2.500 t heben. Vier davon wurden bereits durch Langzeitcharterverträge verpflichtet und sind bis zum Ende des Jahrzehnts gebunden (Dunne et al., 2023). Eines dieser Schiffe ist die „Les Alizés“ der Wasserbau- und Offshore-Reederei Jan De Nul. Sie wurde von RWE gechartert und wird in europäischen Projekten eingesetzt werden. Neben der „Les Alizés“ als Foundation Installation Vessel hat RWE die „Voltaire“ als Errichterschiff ebenso lange verpflichtet (Klare, 2023). Dieses Beispiel zeigt das Bemühen der Branchenakteure um gesicherte Kapazitäten durch langfristig vereinbarte Exklusivrechte, um möglichen Marktdefiziten entgegenzuwirken. Denn durch die geringere Anzahl von Installationsschiffen auf dem Markt können Projektverzögerungen und Ausfälle nur bedingt kompensiert werden. Komponenten, die durch diese Umstände verspätet installiert werden können, müssen bei den Produktionsstätten oder in den Installationshäfen eingelagert werden. Verstärkt werden diese Effekte bei schlechter Projektplanung, schlechter Kalkulation von Wetterwahrscheinlichkeiten oder zum Ende des Kalenderjahres durch die wetterbedingt verminderten Installationszeitfenster.

4.3 INSTALLATIONS- UND BETRIEBSKONZEPTE FÜR OFFSHORE-WINDPARKS

Neben der generellen Schiffsgröße und der Marktentwicklung ist die Entwicklung von Installations- und Servicekonzepten für Offshore-Windparks zu betrachten. Wichtige Einflussfaktoren sind in diesem Zusammenhang die Küstenentfernung und die Wassertiefe von Offshore-Windprojekten. Aus diesem Grund erfolgt einleitend in Abbildung 14 eine Auswertung der

Wassertiefe und Küstenentfernung deutscher Offshore-Windenergieprojekte bis zum Jahr 2030.

ABBILDUNG 14: WASSERTIEFE UND KÜSTENENTFERNUNG VON BESTANDSPROJEKTEN UND ZUKÜNFTIGEN PROJEKTEN IN DEUTSCHLAND



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Deutsche WindGuard, 2023a)

Die Mehrheit der Offshore-Windparks in der deutschen Nord- und Ostsee ist mehr als 40 km von der Küste entfernt. Im Mittel ergibt sich für die Bestandsprojekte eine Wassertiefe von ca. 30 m und eine Küstenentfernung von ca. 75 km. Abbildung 14 zeigt, dass zukünftige Windparks in zunehmender Entfernung und in Wassertiefen von etwa 40 m errichtet werden.

Entwicklung von Installationskonzepten

Hinsichtlich des Fundamenttyps hat sich das Monopile-Fundament als der in Deutschland am häufigsten verwendete Typ durchgesetzt. Viele der zukünftigen Projekte haben bereits die Installation von Monopile-Fundamenten angekündigt. Als Alternative zu Monopile Fundamenten wird das Jacket betrachtet. Die leichtere Struktur wird in tieferen Gewässern oder bei schwierigen Bodenverhältnissen eingesetzt und kann aufgrund des geringeren Gewichts von weniger stark spezialisierten Installationsschiffen installiert werden. Windparks in größerer Küstenentfernung könnten mit Feederkonzepten (Installationschiff bleibt im Baufeld, Transport der Komponenten durch Feeder) Installationszeit und -kosten sparen, indem Stillstandszeiten oder teure Transporte durch den Einsatz des Installationschiffes vermieden und auf das Minimum reduziert werden (Tjaberdings et al., 2022).

Entwicklung von Versorgungs- und Service-schiffen

Die Küstenentfernung zukünftiger Windparks wird außerdem Einfluss auf zukünftige Service- und Wartungskonzepte haben. Schon heute ist ein Trend zu den im Vergleich zum CTV größeren SOVs erkennbar, da sie größere Wetterfenster bedienen können und damit effizienter eingesetzt werden können (HBLIX, 2022). SOVs liegen stabiler im Wasser und mit einem bewegungskompensierten Überstieg können Service und Wartungen bis zu einer Wellenhöhe von ca. 2,5 m durchgeführt werden, während CTVs lediglich bis zu einer Wellenhöhe von ca. 1,5 m einsetzbar sind (Siemens, 2015). Zusätzlich entfällt bei SOVs das tägliche Versetzen der Service-Techniker, sodass Transport- und Fahrtzeiten wegfallen. Dies impliziert nicht, dass CTVs gänzlich vom Markt verdrängt werden. Für näher an der Küste gelegene Windparks mit wenigen Anlagen werden CTVs weiterhin eine Rolle spielen.

5 BEDEUTUNG DER HAFENWIRTSCHAFT FÜR DIE WINDENERGIEBRANCHE

Die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Entwicklungen und Aussichten wirken sich auf die gesamte Wertschöpfungskette der Windenergie aus. Für die Hafenwirtschaft resultieren aus den Entwicklungen in der Windenergiebranche wachsende Anforderungen, denen die Seehäfen gerecht werden müssen, wenn die dargestellten Zielsetzungen und Entwicklungen erreicht werden sollen. Die Häfen stellen somit einen zentralen Faktor dar, um die deutschen Ausbauziele zu erreichen. Im folgenden Abschnitt werden insbesondere die damit verbundenen Anforderungen der Windenergiebranche erläutert, die einen besonders starken Einfluss auf die Entwicklung und zukünftige Gestaltung der Häfen haben.

5.1 ONSHORE – WINDENERGIEANLAGEN-UMSCHLAG

In den Häfen werden Komponenten von Onshore-Windenergieanlagen umgeschlagen und kurzfristig für den Im- oder Export gelagert. In beiden Fällen wird auf der einen Seite ein Transportschiff mit mehreren Komponenten be- oder entladen und auf der anderen Seite erreichen oder verlassen die Komponenten den Hafen über die Straße oder Binnenschiffahrtstraße.

Flächenbedarf

Für den Umschlag von Onshore-Komponenten müssen die Häfen große und zusammenhängende Flächen zur Verfügung stellen. Die Komponenten werden auf den Hafenflächen eingelagert, bis die Gesamtladung komplett ist oder die Komponenten im Inland auf der Baustelle gebraucht werden und der Weitertransport erfolgen kann.

Beim Import von Komponenten werden die Flächen im Hafen meist länger beansprucht als im Falle eines Exports. Importierte Komponenten bedürfen vor ihres Weitertransports einer Transportgenehmigung oder in Einzelfällen der Vormontage oder Vorbereitung bis sie auf die Baustelle gebracht werden können.

Wenn Hersteller und Entwickler fordern, dass Komponenten einzeln entnommen werden können sollen, steigt der Flächenbedarf. Für das notwendige Rangieren müssen zusätzliche Verkehrsflächen freigehalten werden, auf denen keine anderen Komponenten abgestellt werden können. Zukünftige Wind-

energieanlagen werden einen zusätzlichen Flächenbedarf generieren, da sie aufgrund ihrer Dimension mehr Flächen einnehmen.

Aufgrund von Erfahrungen mit verzögerten Transportgenehmigungen und unvorhersehbaren Verzögerungen in der Projektabwicklung werden mittlerweile zusätzliche Flächen als Puffer einkalkuliert, um eine Rückstauung in den Häfen und Schwierigkeiten für Anlieferungen zu vermeiden.

Verkehrs- und Hinterlandanbindung

Für den Umschlag von Komponenten dürfen die Hauptverkehrswege für den Import und Export, also die Anbindung an das deutsche Autobahnnetz und an den Seeschiffahrts- sowie ggf.-Binnenschiffahrtsverkehr, nicht limitiert sein. Insbesondere der Import von Rotorblättern ist rein durch die Länge der Blätter eine Herausforderung. Die Anbindung an das Autobahnnetz sollte direkt und kurz sein, damit der Begleitungsaufwand für den Groß- und Schwerguttransport gering gehalten werden kann und zeitintensive Streckenprüfungen vermieden werden können. Für große Seeschiffe müssen die entsprechenden Kai-längen zur Verfügung gestellt werden. Hersteller und Reedereien können Transportkosten minimieren, wenn viele Komponenten auf einem Schiff transportiert werden, sodass Terminalbetreiber einen Trend zu größeren Transportschiffen sehen.

Nähe zum Windpark

Obgleich die Verkehrsanbindung und der Anschluss an das Autobahnnetz für den Import von Komponenten ein wichtiges Kriterium sind, wird in der Regel der Hafenstandort gewählt, welcher die beste Kombination von Anbindung und Nähe zum Zielort bietet, sodass der Transport möglichst unkompliziert und die Transportstrecke möglichst kurz gestaltet werden kann.

5.2 OFFSHORE – WINDPARK-INSTALLATION

Für die Installation von Offshore-Windparks dienen Häfen als Basishäfen. Die Komponenten werden im Hafen zusammengestellt, vormontiert und auf das Installationsschiff verladen.

Flächenbedarf

Die Komponenten für die Offshore-Windenergie sind deutlich größer als für die Onshore-Windenergie. Für die gleiche Anzahl an Komponenten wird entsprechend mehr Platz beansprucht. Ähnlich wie beim Umschlag von Onshore-Komponenten fordern Entwickler die Möglichkeit zur Entnahme einzelner Komponenten, um im laufenden Projekt auf Änderungen in der Installationsabfolge oder auf unvorhergesehene Umstände reagieren zu können. Die Lagerung nimmt mit zusätzlichen Flächen für das notwendige Rangieren mehr Platz ein. Die Funktion der Häfen

als Lager nimmt in der Offshore-Installation eine umfangreichere Rolle ein als im Onshore-Umschlag. An den Produktionsstandorten werden die Komponenten projektweise produziert, um den Maschinenpark nicht mehrfach umrüsten zu müssen. Offshore-Windparks mit höheren Anlagenanzahlen werden immer häufiger in zwei Installationssaisons gebaut, sodass die Komponenten aus einer Produktionslinie teilweise über zwei Jahre eingelagert werden müssen. Dieses Vorhalten erhöht den Flächenbedarf in den Häfen.

Verkehrsanbindung

Die großen Installationsschiffe benötigen einen direkten Zugang zum Hafen ohne limitierende Faktoren, wie beispielsweise Schleusen, und benötigen große Liegewannen, die für die entsprechende Länge, Breite und den notwendigen Tiefgang der Schiffe ausgelegt sind. Tideabhängige Verladungen sind zwar möglich, aber für Windparkentwickler wesentlich aufwändiger in der Planung, sodass tideunabhängige Liegeplätze vorgezogen werden.

Nähe zum Windpark

Ebenso wie die Erreichbarkeit des Hafens stellt die Nähe zum Windpark einen entscheidenden Faktor dar. Transporte, die mit Installationsschiffen zur Erreichung des Parks in der Bauphase durchgeführt werden müssen, entsprechen nicht dem Zweck, für welchen das Schiff gechartert ist. Wenn die Verkehrsanbindung zum Aufbau des Projekts passt, wählen Entwickler den nächstgelegenen Hafen, um Transportzeiten mit Installationsschiffen zu minimieren.

Flächen für Ansiedlungen

Für Neuansiedlungen von Produktionsstandorten müssen im Hafen Entwicklungsflächen zur Verfügung gestellt werden können. Eine geringe Hürde für neue Akteure bieten Flächen, die bereits erschlossen sind und für die Anschlüsse an die Hafeninfrastruktur (Straßen, Strom, Wasser etc.) bereits bestehen. Insbesondere Ansiedlungen von Herstellern von Offshore-Komponenten konzentrieren sich aufgrund der Größe der Komponenten auf Hafenstandorte, da die Komponenten eher nicht über die Straße transportiert werden können (s. Abschnitt 3.3).

Flächen für Rückbau

Neben dem Ausbau der Offshore-Windenergie wird ab den 2030er Jahren der Rückbau der Offshore-Windenergieanlagen erfolgen. Der Rückbau muss über die Häfen und auf den Hafentflächen durchgeführt werden, da die Komponenten nach dem Rückbau auf See für die Entsorgung und das Recycling zerlegt werden müssen. Damit werden zukünftig Rück- und Zubauaktivitäten parallel erfolgen und Hersteller und Entwickler benötigen weitere Flächen.

5.3 OFFSHORE – WINDPARK-BETRIEB

Nähe zum Windpark

Von den Häfen starten Service- und Wartungsfahrten mit CTVs oder SOVs zu den Offshore-Windparks. Um die Transitzeiten zu minimieren, werden Hafenstandorte mit geringer Entfernung zum Windpark gewählt. Insbesondere für den Einsatz bei CTVs spielt dieser Faktor eine entscheidende Rolle, da die Schiffe nur tagsüber eingesetzt werden und die Service-Techniker morgens hinaus auf See gebracht werden und abends in den Hafen zurückkehren.

Hallenflächen

Die Anforderungen in Bezug auf die Gegebenheiten im Hafen weichen von den Anforderungen für Umschlag und Installation ab. Insbesondere CTVs benötigen keine langen Kajen. Für den Service werden weniger Flächen in Anspruch genommen als für die Lagerung von Großkomponenten. Dennoch müssen Betriebsmittel, Werkzeug, Ersatzteile und Kleinkomponenten eingelagert werden. Diese werden wettergeschützt in Lagerhallen untergebracht. Die Windenergiebranche verlangt für Gebäude die Einhaltung von Management- und Branchenstandards, die zuletzt insbesondere im Rahmen der EU-CER-Richtlinie (EU 2022/2557) über die Resilienz kritischer Einrichtungen erweitert wurden.

PKW-Stellplätze

Zuletzt müssen für die Service-Techniker PKW-Stellplätze bereitgestellt werden. Je nach Service-Konzept können diese für mehrere Tage belegt sein. Sie dürfen nicht zu weit entfernt vom Anlegeplatz sein oder ein Personentransport muss organisiert werden.

6 NIEDERSÄCHSISCHE SEEHÄFEN UND DIE WINDENERGIE

Das Ziel der vorliegenden Analyse besteht darin, die sich aus dem On- und Offshore-Windenergiezubau ergebenden Potenziale für die niedersächsischen Seehäfen aufzuzeigen, daher werden im folgenden Abschnitt die betreffenden Seehäfen kurz vorgestellt. Dabei wird auf ihre aktuelle Rolle in der Wertschöpfung der Windenergie eingegangen und eine Einordnung zur Erfüllung der Anforderungen der Windenergiebranche getroffen. Neben den niedersächsischen Seehafenstandorten werden auch ausgewählte weitere Hafenstandorte, die an der Nordsee liegen und für die Windenergie von hoher Relevanz sind, betrachtet.

6.1 NIEDERSÄCHSISCHE SEEHÄFEN

In diesem Unterabschnitt werden die niedersächsischen Seehäfen und ihre aktuelle Rolle in der Wertschöpfung der Windenergie dargestellt, um anschließend die Erfüllung der Anforderungen zu beurteilen, die in Kapitel 5 identifiziert wurden. Notwendige Informationen, die nicht öffentlich durch den Hafenbetreiber Niedersachsen Ports verfügbar sind, wurden von den entsprechenden Terminalbetreibern des jeweiligen Seehafens mittels Fragebögen und persönlichen Gesprächen ermittelt.

ABBILDUNG 15: NIEDERSÄCHSISCHE HÄFEN UND IHRE FUNKTIONEN



Abbildung 15 zeigt zur geografischen Einordnung alle betrachteten Seehäfen und ihre aktuellen Funktionen in der Windenergie, die im Folgenden ebenfalls erläutert werden. Neben den fünf Seehäfen Emden, Wilhelmshaven, Brake, Nordenham und

Cuxhaven haben sich die Häfen Borkum und Norddeich zu wichtigen Service-Häfen für die Offshore-Windparks in der Nordsee etabliert.

Der Hafen Borkum bietet für Service-Techniker Wohnräume und in direkter Nähe gelegene Anleger für CTVs. Im Hafen können Schiffe mit einer Gesamtlänge bis zu 100 m anlegen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2014). Der Hafen verfügt über Lagerhallen, in denen Material eingelagert werden kann. Der Versorgungshafen Norddeich dient als Service-Basis diverser Unternehmen und beherbergt die Betriebsführungszentrale des Windparkbetreibers Ørsted. Insgesamt ist der Hafen mit Fähren, touristischen Fahrten und Offshore-Versorgungsverkehren ausgelastet. Anfragen für langfristige Belegungen werden in der Regel abgewiesen. Zusätzliche Liegeplätze könnten im Westhafen geschaffen werden (Haschen, 2023). Die beiden Häfen Borkum und Norddeich sind aufgrund ihrer geringen Wassertiefen für Service-Verkehre mit SOVs nicht oder nur bedingt geeignet. Aktuell werden Windparks mit einer Entfernung von bis zu 56 km angefahren, die in ca. 1,5 Stunden erreicht werden können und damit für CTVs gut erreichbar sind (Arndt, 2022).

6.1.1 EMDEN

Der Seehafen Emden liegt an der Emsmündung und verfügt damit über einen direkten Anschluss an das deutsche Binnenschiffahrtsnetz. Der Hafen teilt sich in zwei Bereiche, in den Außenhafen und in den tideunabhängigen Innenhafen, der über zwei Seeschleusen erreichbar ist. Die Große Seeschleuse als größere Zufahrt hat eine Kammergröße von 240 x 40 m und ist für die Durchfahrt von großen Seeschiffen mit bis zu 160 m Länge ausgelegt. Bei Niedrigwasser hat die Große Seeschleuse 9,16 m Wassertiefe, im Innenhafen können Schiffe mit bis zu 11,5 m abgefertigt werden. Schiffe mit höherem Tiefgang als 9 m können entsprechend nicht jederzeit in die Schleuse einfahren, sondern müssen unter Umständen auf ein passendes Tidefenster für die Einfahrt warten.

Für die Windenergie werden im Hafen Emden ca. 990 m Kailänge für Umschlagstätigkeiten und ca. 1.370 m Kailänge für Offshore-Service-Tätigkeiten genutzt. Emden hat sich auf den Umschlag von Onshore-Windenergieanlagenkomponenten und Dienstleistungen im Rahmen des Betriebs von Offshore-Windparks spezialisiert.

Über den Seehafen Emden werden Onshore-Windenergieanlagenkomponenten sowohl für den Import als auch den Export umgeschlagen und gelagert. Die entsprechenden Hafenbereiche sind geeignet für die Abwicklung von Schwerlastkomponenten. Obgleich der Großteil der Flächen für den Umschlag genutzt wird, verzeichnen die Betreiber eine deutliche Mehrheit der Schiffsanläufe für Offshore-Service-Tätigkeiten.

Der Hafen erfüllt die Anforderungen der Windenergiebranche im Bereich des Onshore-Komponentenumschlags und verfügt über zusammenhängende schwerlastgeeignete Freiflächen, welchen lange Kajen vorgelagert sind. Mit dem direkten Anschluss an das Binnenschiffahrtsnetz können Komponenten in das Landesinnere transportiert werden. Die Anbindung an das Bundesautobahnnetz ist über die Autobahn 31 gegeben. Im Jahr 2015 wurde mit der Verlegung der zubringenden Bundesstraße 210 begonnen (Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr, 2021). Hierdurch wird ein direkter Anschluss des südöstlichen Hafenbereichs an die Autobahn und der Transport von Rotorblättern mit einer Länge von bis zu 95 m ermöglicht. Blätter der angekündigten neuen Anlagentypen weisen Längen von ca. 85 m auf (s. Abschnitt 3.1). Die aktuelle Zubringung zur Autobahn lässt den Transport von Blättern dieser Größe nicht zu. Die Fertigstellung der neuen Anbindung ist für das Jahr 2024 geplant und entspräche den angekündigten Dimensionen der nächsten Rotorblattgeneration (Hitschke, 2022). Vor dem Hintergrund der benötigten Bauzeit seit dem Jahr 2015 könnten sich bei wachsenden Dimensionen Herausforderungen für den Transport kommender Blattgenerationen ergeben.

Für die Anforderungen der Offshore-Windbranche im Hinblick auf Offshore-Service-Tätigkeiten bietet der Hafenstandort die passende Infrastruktur durch lange Kajen. Erhöhtes Potenzial bieten zukünftige Service-Konzepte und die möglichen Entwicklungen zur vermehrten Nutzung von SOVs. Kajen außerhalb des Innenhafens sind ohne Schleusung erreichbar und für CTV-Einsätze geeignet. Eine Schleusung verlängert die Reisezeit, in der das Service-Schiff nicht dem Zweck entsprechend genutzt werden kann. Für SOVs, die mehrere Tage auf See bleiben, wiegen diese Zeiten weniger schwer.

Zusätzliche Flächen für Windenergie könnten auf dem Rysumer Nacken, dem Wybelsumer Polder und im Innenhafen geschaffen werden. Zusätzliche Flächen mit einer Größe von 18,6 ha im Innenhafen könnten sowohl für den Ausbau der Umschlagsaktivitäten als auch der Offshore-Service-Dienstleistungen genutzt

werden. Die Flächen auf dem Rysumer Nacken eignen sich insbesondere für den Offshore-Service, da sie Zugang zu einem nahe gelegenen Steg haben, aber an keine Kaje direkt nachgelagert liegen. Insgesamt stehen am Rysumer Nacken 111 ha als Entwicklungsflächen zur Verfügung. Ein Ausbau der Flächen im Bereich Wybelsumer Polder mit einer Größe von 2 ha und einer zusätzlichen Kaianlage könnte neben dem Umschlag von Onshore-Komponenten auch in bestimmten Bereichen für die Offshore-Installation genutzt werden. Mit einem Liegeplatz, der für Errichterschiffe geeignet wäre, könnten Windenergieanlagen mit Emden als Basishafen installiert werden. All diese Flächen sind vermarktbar Flächen des Hafenbetreibers Niedersachsen Ports und in Bebauungsplänen für Unternehmen im Hafengewerbe definiert.

6.1.2 WILHELMSHAVEN

Der Hafen Wilhelmshaven liegt an der Einmündung des Jadebusens. Im Hafen sind aktuell keine Flächen der Windenergie zugeordnet, da ein Umschlag von Komponenten sporadisch und in Einzelfällen durchgeführt wird, jedoch kein Kernsegment des Hafens bildet.

Der Innenhafen kann durch eine Seeschleuse erreicht werden. Die Kammer hat eine Größe von 350 x 57 m und verfügt über eine maximale Tiefe von 11,5 m. Sie bietet damit ausreichend Platz für die Durchfahrt von großen Seeschiffen mit bis zu 160 m Länge und Installationsschiffen (s. Abschnitt 4.2). Innerhalb des Innenhafens sind diverse Entwicklungsflächen verfügbar. Zeitnahe ließen sich Flächen im Westen des Hafens realisieren, die verdichtet, befestigt und mit Infrastruktur versorgt werden müssten, aber über einen nahe gelegenen Kajenzugang verfügen. Weiterhin könnten im Osten des Innenhafens im Bereich der alten zweiten Hafenzufahrt eine neue Kaje und neue Flächen mit umfangreichen Baumaßnahmen realisiert werden. In einer weniger bauintensiven Variante könnte das Areal auf der Schleuseninsel nutzbar gemacht werden, jedoch ohne angrenzende Kaje. Weitere Flächen im Norden des Innenhafens könnten für die Lagerung von Komponenten hergerichtet werden. Hierfür müsste eine Zufahrtstraße errichtet werden. Diese Flächen befinden sich im Eigentum der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben und sind zurzeit militärischen Zwecken gewidmet. Mit einer Einigung über eine langfristige Verpachtung könnten 40 ha für die Nutzung für Windenergie gewonnen werden. Durch die Zufahrtsstraße wären der Braunschweig- und

Lüneburgkai erreichbar, an denen große Seeschiffe und Installationsschiffe anlegen können.

Der Jade-Weser-Port kann mit einer zweiten Ausbaustufe erweitert werden, sodass 50 ha Terminalfläche entstehen würden. Die Machbarkeit wurde bereits vom Bremer Institut für Seeverkehrswirtschaft und Logistik bestätigt (Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung, 2016). Das Institut sieht einen Bedarf insbesondere in der Verlängerung der Kaje um 1.800 m, um den Ausbau des Containerumschlags voranzutreiben. In einer Variante könnte eine Vollverfüllung angestrebt werden, um Flächenpotenziale auszuschöpfen und die gewonnene Fläche zu maximieren. Insbesondere die Erweiterung des Jade-Weser-Ports würde die Bedürfnisse der Windenergiebranche für Offshore-Installationen und Onshore-Umschlag erfüllen. Der Tiefwasserhafen würde Installationsschiffen und großen Seeschiffen geeignete Infrastrukturen bieten. Große zusammenhängende Flächen würden umfangreiche Möglichkeiten zur Lagerung und Vormontage von Komponenten bieten. Südlich des Hafens endet die Bundesautobahn 29, sodass Komponenten direkt zur Autobahn gebracht werden könnten. Nach Ausbauhochphasen der Windenergie könnten die Flächen flexibel für Erweiterungen im Containerumschlag, Rückbauaktivitäten oder als Mehrzweck-Terminal umgenutzt werden.

Mit dem vom Bundestag und Bundesrat beschlossenen Kohleausstieg und Strukturwandel wird der Kohleumschlag im Seehafen Wilhelmshaven langfristig zum Erliegen kommen. Die heute für Kohleumschlag genutzten Flächen müssen für den Umschlag von schweren Komponenten ertüchtigt werden, um für den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Windenergie zur Verfügung gestellt zu werden.

6.1.3 BRAKE

Der Seehafen Brake liegt an der Weser und ist damit direkt an das Binnenschiffahrtsnetz angeschlossen. Für den Umschlag von Windenergieanlagenkomponenten ist die nördliche Hafenerweiterung vorgesehen, die mit dem 450 m langen Niedersachsenkai an die Weser angeschlossen ist. Begrenzt ist die Wassertiefe auf 11,9 m, die Schiffsbreite durch das angrenzende Fahrwasser auf 50 m und die Schiffslänge durch den maximalen Wenderadius auf 270 m. Damit können parallel zwei größere Seeschiffe ungehindert anlegen und an der Kaje be- und entladen werden. Die Flächen sind grundsätzlich schwerlasttauglich,

sodass auch Fundamentstrukturen auf der Fläche umgeschlagen werden könnten. Die Bodenverhältnisse vor der Kaje lassen das Aufjucken von Errichterschiffen zu.

Der Seehafen Brake erfüllt die Anforderungen der Windenergiebranche für den Umschlag von Komponenten von Onshore-Windenergieanlagen. Der Hafen verfügt über große zusammenhängende, schwerlasttaugliche Flächen, die einer langen Kaje nachgelagert sind. Obgleich der Hafen nicht unmittelbar an das Autobahnnetz angebunden ist, ist die Zuwegung zur nächstgelegenen Bundesstraße 212 für den Transport von Rotorblättern ausgelegt. Im Falle von Projektverzögerungen können kurzfristig Flächen im Hafengebiet durch Umnutzungen genutzt werden.

Umfangreiche Erweiterungen sind im Norden des Niedersachsenkais realisierbar. Die Nutzung der Flächen für den Seehafen ist im entsprechenden Bebauungsplan 69 der Stadt Brake bereits bewilligt. Die Bereitstellung der Flächen ist mit größeren Baumaßnahmen verbunden, da eine Verlängerung der Kaianlage geplant ist. Würde die geplante Verlängerung der Kaje nicht umgesetzt werden, sodass die aktuellen Grünflächen in schwerlastfähige Flächen umgewandelt werden, würde eine Realisierung bedeutend schneller umgesetzt werden können (Stadt Brake (Unterweser), 2007).

6.1.4 NORDENHAM

Der Seehafen Nordenham liegt an der Wesereinmündung und ist für Binnenschiffe erreichbar. Flächen, welche aktuell der Windenergie zugeordnet werden, befinden sich im Süden des Hafens. Die Projektflächen werden für die Windenergie vorrangig für den Umschlag von Seekabeln genutzt. Der Hafen verfügt über einen Anschluss an das Schienennetz und eine Hafeneisenbahn. Das Autobahnnetz ist nicht ohne eine Durchfahrt durch den Ortskern erreichbar, wodurch sich der Umschlag auf Ein- und Ausfahren mit der Bahn oder Schiffen konzentriert. Angrenzend an das Hafengelände ist der Kabelhersteller Norddeutsche Seekabelwerke angesiedelt. Das Werk verfügt über eine direkte Durchfahrt zum Hafengelände, sodass Transporte zur Kaje ohne Umwege über öffentliche Straßen organisiert werden können.

An der Südpier, die direkt an die Flächen für Windenergie grenzt, können Schiffe mit einer Länge von bis zu 180 m und einem Tiefgang von bis zu 10,5 m be- und entladen werden. Die maximale Schiffsbreite ist an der Südpier aufgrund des nahe gelegenen Fahrwassers auf 45 m begrenzt. Durch die große

zusammenhängende Pier mit einer Gesamtlänge von 1.090 m könnten 3-4 große Seeschiffe parallel abgefertigt werden. Die Liegeplätze im Nordbereich lassen Schiffe mit einer Länge von bis zu 300 m, einer Breite von bis zu 60 m und einem Tiefgang von bis zu 13,1 m zu. Durch den langfristig entfallenden Umschlag der Steinkohle könnte zukünftig die gesamte Terminalfläche mit über 13 ha für die Windenergie genutzt werden. Die heute für Kohleumschlag genutzten Flächen müssten für den Umschlag von schweren Komponenten ertüchtigt werden. Die Windenergie bietet hier die Möglichkeit der Nachnutzung, da große zusammenhängende Flächen zur Verfügung stünden und die Kaianlage nicht nur für den Umschlag, sondern auch für Installationsschiffe geeignet ist. Durch das vorhandene Equipment und Know-How für den Umschlag von Seekabeln sind auch für diese Sparte Potenziale ableitbar.

Neben der Umnutzung des Kohleterminals sind weitere Entwicklungsflächen im Südwesten der Bundesstraße 212 an der Asbestosstraße vorhanden. Mit einer Verfüllung der Wasserfläche hinter der vorhandenen 600 m langen Pier könnten zusätzliche 15 ha für die Windenergie geschaffen werden.

6.1.5 CUXHAVEN

Der Seehafen Cuxhaven ist als Fischerei- und Inselversorgungshafen ein Traditionshafen. Der Hafen liegt an der Elbmündung, wobei der mit bis zu 15,6 m Wassertiefe als Tiefwasserhafen geltende Seehafen mit dieser großen Wassertiefe geografisch am äußeren Rand der Elbzufahrt liegt. Somit ist der Hafen für die Binnenschifffahrt erreichbar und gleichzeitig direkt an der Nordsee gelegen. Der Seehafen Cuxhaven hat sich in den letzten Jahren als einer der wichtigsten Häfen für Windenergie in Deutschland entwickelt. Von der Offshore-Basis, für die im Jahr 2007 der Grundstein gelegt wurde, wurden mehrere Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee installiert. Mit dem Einbruch des Offshore-Ausbaus haben sich die Terminalbetreiber des Seehafens auf den Umschlag von Komponenten für Onshore-Windenergieanlagen umorientiert. Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE) produziert in Cuxhaven Gondeln, die prinzipiell für den Export bestimmt sind. Auch das Unternehmen Titan Wind Energy ist am Standort angesiedelt. Diese Flächen sind grundsätzlich nicht für andere Akteure der Windenergiebranche zugänglich.

Der Seehafen Cuxhaven verfügt für den Umschlag von Komponenten über ca. 2.000 m Kailänge und drei Liegeplätze für

Errichterschiffe. Die Flächen sind größtenteils schwerlastgeeignet und an die Kaje angeschlossen.

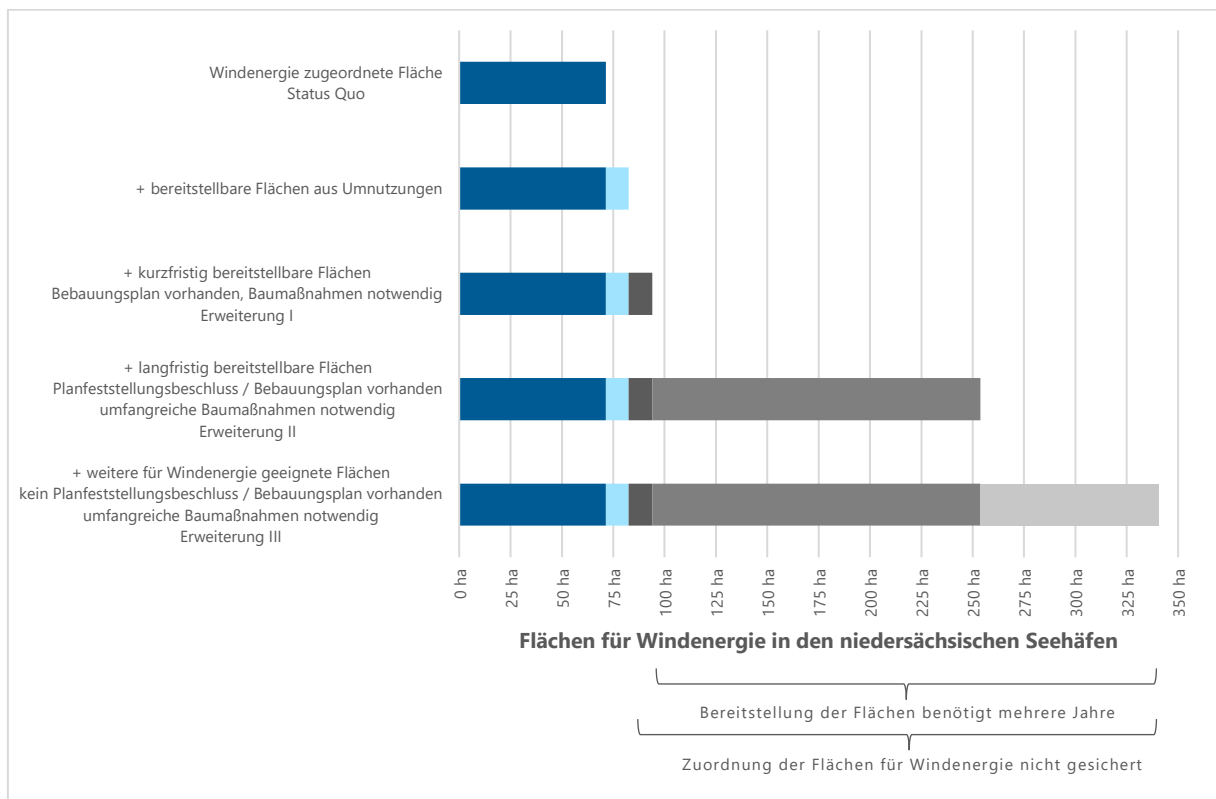
Die Anforderungen der Windenergiebranche für den Umschlag erfüllt der Seehafen Cuxhaven. Es sind geeignete Flächen mit direktem Zugang zur Kaje und mit direktem Anschluss an das Autobahnnetz vorhanden. Rotorblätter können aus dem Hafen über die Hafenzufahrtsstraße durch einen für Transport von Rotorblättern optimierten Verkehrskreisel direkt auf die Bundesautobahn 27 transportiert werden. Eine festinstallierte Ampelanlage sorgt für eine zügige und kostenoptimierte Leitung des Verkehrs durch die Schwerlastquerung des Kreisels, bei gleichzeitiger Minimierung der Anzahl von benötigten Begleitfahrzeugen. Der Prozess wird zusätzlich durch die in Niedersachsen gültige Hilfspolizeiordnung unterstützt. Dies vereinfacht die Planung der Transporte und Erwirkung der notwendigen Transportgenehmigungen.

Insbesondere für die Offshore-Windenergiebranche kann der Seehafen Cuxhaven viele Ansprüche der Windenergiebranche erfüllen. Der seeseitige Zugang zum Hafen ist durch die Lage und große Wassertiefen unkompliziert und direkt. Durch den planfestgestellten Lückenschluss Liegeplatz 5-7 könnten zusätzliche Flächen mit einer Größe von 28 ha geschaffen werden, sodass Kapazitäten für die bereits ausgelasteten Umschlagsflächen für die Bedienung der Offshore-Windenergiebranche erweitert und umverteilt werden könnten. Der Lückenschluss würde langfristig Kapazitäten für den späteren Rückbau der Anlagen sichern, der in den Häfen neben Neuinstallation und Umschlag von Onshore-Windenergieanlagen abgewickelt werden muss. Zuletzt würde die Ansiedlung neuer Akteure durch zusätzliche Flächen gefördert.

6.1.6 FLÄCHENSITUATION UND ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

Im Folgenden wird die Flächensituation in den fünf niedersächsischen Seehafenstandorten untersucht, einerseits hinsichtlich der aktuell durch die Windenergiebranche genutzten Flächen und andererseits hinsichtlich zusätzlicher Flächen, die sich potenziell für die Nutzung erweitern ließen. Hierfür wurden die einzelnen Standorte im Rahmen von Interviews befragt und die Flächen vor Ort besichtigt. Abbildung 16 zeigt zusammenfassend die aktuelle Flächensituation sowie die bestehenden Erweiterungspotenziale.

ABBILDUNG 16: FLÄCHENSITUATION IN DEN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN IM HINBLICK AUF DIE WINDENERGIE



Quelle: Eigene Darstellung

In den fünf niedersächsischen Seehäfen Emden, Wilhelmshaven, Brake, Nordenham und Cuxhaven werden aktuell ca. 71 ha der Nutzung durch die On- und Offshore-Windenergiebranche zugeordnet. Diese Flächen entsprechen dem in den letzten Jahren verhaltenen Ausbau in der Windenergie und sind aktuell weitestgehend ausgelastet. Die Flächen der in den Häfen ansässigen Produktionsstätten wurden nicht betrachtet.

Durch Umnutzungen anderer Hafentflächen könnten kurzfristig ca. 11 ha bereitgestellt werden, auf denen andere Branchen in der Folge weniger bedient werden würden oder für die geltende Vertragsverhältnisse auslaufen. Ca. weitere 12 ha können kurzfristig bereitgestellt werden, allerdings müssen hierbei zunächst Baumaßnahmen durchgeführt werden, bevor die Flächen genutzt werden können (Erweiterung I). Weitere für die Windenergie geeignete Flächen sind bereits anderen Nutzungsformen zugesprochen, sodass das kurzfristige Potenzial sich auf insgesamt ca. 94 ha beschränkt.

Darüber hinaus gehende Flächen und geeignete Kaianlagen müssten entsprechend erst entwickelt und erbaut werden. Dabei sind die hierfür erforderlichen Vorlaufzeiten zu

berücksichtigen. Bereits planfestgestellt oder in städtischen Bebauungsplänen erfasst sind Flächen mit einer Größe von ca. 160 ha (Erweiterung II). Zusätzliche Erweiterungsflächen ohne entsprechende Genehmigungen, die als grundsätzlich für die Windenergie geeignet angesehen werden können, könnten mit einer Größe von ca. 87 ha für die Windenergie erschlossen werden (Erweiterung III).

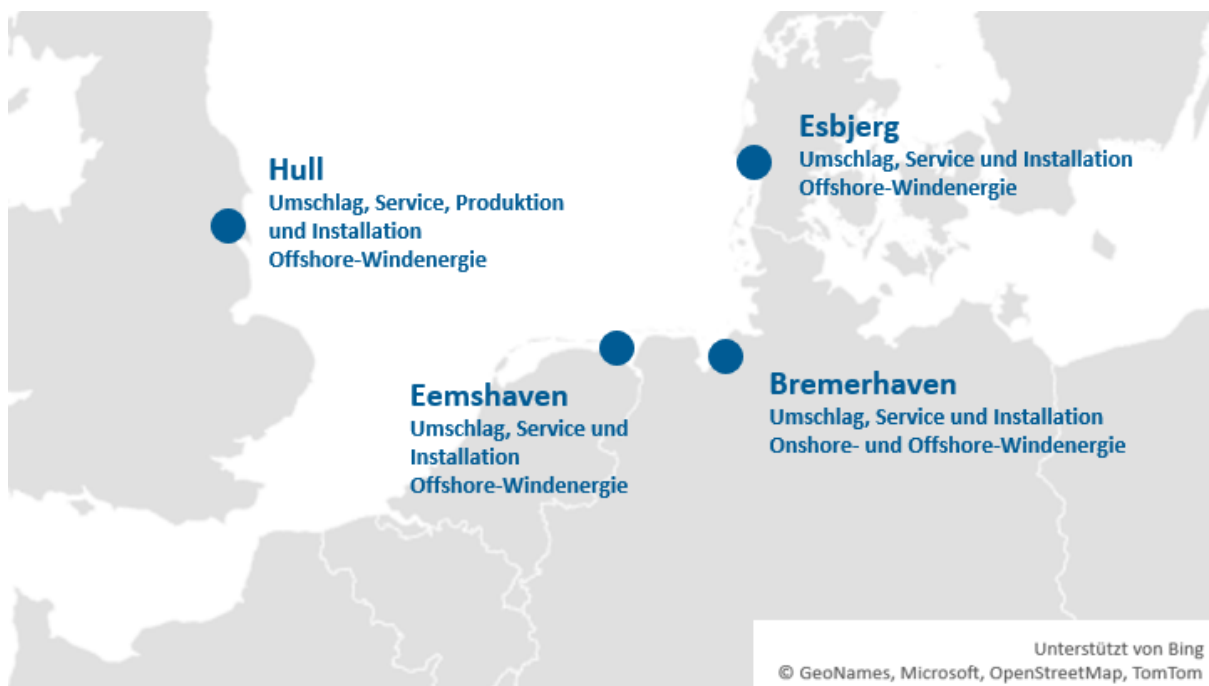
Insgesamt könnten die Seehäfen Emden, Cuxhaven, Brake, Wilhelmshaven und Nordenham die aktuellen Flächenkapazitäten für die Windenergiebranchen von ca. 70 ha auf künftig über 300 ha erweitern. Dabei ist zu betonen, dass es sich allgemein um Erweiterungs- und Entwicklungsflächen der Hafengebiete handelt, die nicht exklusiv der Windenergie zugeordnet sind und dass teils noch umfangreiche Maßnahmen für die Bereitstellung ergriffen werden müssen.

6.2 EXKURS: BETRACHTUNG AUSGEWÄHLTER WEITERER NORDSEEHÄFEN

Insbesondere für Offshore-Installationen in der Nordsee sind weitere Nordseehäfen von Relevanz, einige Seehäfen in anderen Nordseeanrainerstaaten haben sich auf die Anforderungen der Offshore-Windenergiebranche spezialisiert und in den vergangenen Jahren große Anteile des Offshore-Zubaus übernommen. Durch die hohen Ausbauziele der Windenergie in Europa und damit auch den deutschen Nachbarländern werden Kapazitäten in diesen Seehäfen vermehrt gebraucht, sodass nicht gesichert ist, dass diese die Umsetzung der deutschen Ausbauziele vollumfänglich abdecken können.

Neben den Aktivitäten in anderen Nordseeanrainerstaaten komplettiert im Hinblick auf die Situation an der deutschen Nordseeküste Bremerhaven die Betrachtung. Im folgenden Exkurs werden somit die Häfen Esbjerg (Dänemark), Eemshaven (Niederlande), Hull (Vereinigtes Königreich) und Bremerhaven betrachtet. Abbildung 17 zeigt die Häfen und ihre Aktivitäten sowie ihre geografische Lage an der Nordsee.

ABBILDUNG 17: AUSGEWÄHLTE WEITERE NORDSEEHÄFEN MIT AKTIVITÄTEN IM BEREICH DER WINDENERGIE



6.2.1 ESBJERG (DK)

Der Hafen Esbjerg hat sich in der Vergangenheit zu einem der führenden Basishäfen für die Offshore-Installation von Windenergieanlagen entwickelt. Seit dem Jahr 2002 wurden viele dänische, deutsche oder auch britische Offshore-Windparks mit dem Seehafen Esbjerg als Installationshafen errichtet. Der Hafen liegt in geschützter Lage hinter der Insel Fanø, sodass Schiffe zur Einfahrt die Insel nördlich passieren müssen. Die Fahrrinne soll zeitnah vertieft werden, damit die größten Installationsschiffe für Windenergie den Hafen problemlos erreichen können. Der abgebagerte Sand soll nachhaltig für die Aufspülung neuer Hafenareale genutzt werden. Die gebaggerte Tonerde soll im Bereich des Deichschutz eingesetzt werden (Port Esbjerg, 2023c).

Im Jahr 2022 hat die Verladung von Offshore-Komponenten nach einem Einbruch im Jahr 2021 wieder zugelegt, sodass im Jahr 2022 1.100 MW verschifft wurden (Port Esbjerg, 2023a). Um der Windenergie weitere Ausbaumöglichkeiten zu bieten und neue Produktionsstätten die Ansiedlung zu ermöglichen, hat die Stadt Esbjerg den Ausbau des Hafens von 400 ha auf 450 ha beschlossen. Ca. ein Viertel dieser Flächen wurde im Rahmen von Hafenerweiterungen für die Offshore-Windenergie errichtet (Port Esbjerg, 2023b). Jeder neunte Job in Esbjerg

hängt mit der Windenergie zusammen und durch den Ausbau wird die Windenergiebranche gestärkt und Arbeitsplätze werden gesichert und geschaffen (Ristau, 2022). Die Weichen für zukünftige Entwicklungen sollen gestellt werden und der Hafen fördert die schnelle Bereitstellung von Flächen, Lagerhallen und Equipment, um proaktiv der Ausbauhochphase zu begegnen (Port Esbjerg, 2023d).

6.2.2 EEMSHAVEN (NL)

Der Hafen Eemshaven liegt auf der niederländischen Seite der Emseinmündung. Die von Wellenbrechern geschützte Hafenzufahrt ist weit genug, sodass vormontierte Rotorsterne hinaus transportiert werden können. An insgesamt 5.293 m Kailänge können Schiffe mit bis zu 14 m Tiefgang be- und entladen werden. Für Errichterschiffe ist das Aufjacken möglich. Der Hafen ist seeseitig durch keine Schleuse oder Brücken in der Zufahrt beschränkt. Eemshaven verfügt über große zusammenhängende Flächen mit zusätzlichen 40 ha Entwicklungsflächen im Westen des Hafens, die für die Offshore-Windenergie eingesetzt werden können (Groningen Seaports, 2022).

Insgesamt sind über 40 Unternehmen in Eemshaven ansässig, die in der Offshore-Windbranche aktiv sind. 21 Offshore-Windparks in der Nordsee wurden oder werden von Eemshaven als Basishafen installiert oder als Servicehafen gewartet (Groningen Seaports, 2023).

6.2.3 HULL (UK)

Der Seehafen Hull liegt an der Ostküste des Vereinigten Königreichs. Im Jahr 2011 verkündeten SGRE und Associated British Ports als Hafenbetreiber, dass sie in den Standort investieren, sodass im Jahr 2016 die Rotorblattproduktion von SGRE startete. Die gesamte Ausschreibungs-, Vergabe-, Planung- und Bauzeit betrug 8 Jahre von SGREs erster Anfrage bis zur Produktion des ersten Blattes. Die Flächen am Alexandra Dock umfassen 58 ha und sind an drei Flussliegeplätze für große See- und Installationsschiffe angrenzend. Durch eine Dockschleuse können Schiffe mit einer maximalen Länge von 153 m und maximalen Breite von 23,7 m an drei Fingerpielen anlegen, von denen Service-Verkehre ausgehen. Mittlerweile hat sich der Hafen Hull zum Produktions-, Installations- und Servicehafen entwickelt und gilt als führender Hafenstandorte für Offshore-Windenergie im Vereinigten Königreich, wobei die Flächen SGRE

zugeordnet werden müssen und die Verfügbarkeit für andere Akteure nicht gesichert ist.

Für die Wahl des Hafenstandorts betrachtete SGRE nicht nur die Gegebenheiten der potenziellen Häfen, sondern zusätzlich die Zugänglichkeit zum Hinterland und zur See, die Attraktivität des finanziellen Angebots und die zu erwartende Unterstützung der örtlichen Behörden und Politik. SGRE entschied sich für den Hafen Hull aufgrund der vorliegenden Baugenehmigungen, der hohen Flexibilität und Bereitschaft der Associated British Ports die Investitionen zu finanzieren, der Nähe zur Nordsee und der im Verhältnis zu anderen Standorten längsten Kaje (University of Hull, 2017).

Mit dem zunehmenden Ausbau der Windenergie hat sich mittlerweile herausgestellt, dass Häfen mit einer Größe wie der Hafen von Hull, durch die schnelle Entwicklung in den letzten Jahren als inzwischen zu klein angesehen werden können (Laister, 2022). Der Hafen Hull verfügt über Erweiterungsflächen in einer Größe von 80 ha, die für die Windenergie, obgleich mit umfangreichen Baumaßnahmen, erschlossen werden können. Diese Flächen waren einst Teil der Entwicklungspläne von SGRE am Standort (University of Hull, 2017).

6.2.4 BREMERHAVEN (DE)

Der Hafen von Bremerhaven liegt an der Wesereinmündung und geografisch nahe bei Nordenham. Vorrangig werden in Bremerhaven Container, Fahrzeuge und temperaturgeführte Güter umgeschlagen. Ein Teil des Containerterminals wird für den Umschlag von Windenergie genutzt und kann im Rahmen der Offshore-Installation bereitgestellt werden. Flächen in einer Größe von 25 ha können der Windenergie zugeordnet werden. Am Containerterminal können Schiffe mit bis zu 15 m Tiefgang anlegen und aufjacken (Eurogate Container Terminal, 2016).

Der Hafen Bremerhaven erfüllt die Anforderungen an einen Basishafen. Er verfügt über große zusammenhängende Flächen, einen direkten Zugang zu einer langen Kaje, die für Errichterschiffe geeignet ist und liegt nicht im Inland, sodass Schiffe mit höherem Tiefgang anlegen können. Die je nach Hafengebiet zu durchquerenden Schleusen schränken den Zugang für moderne, große Errichterschiffe jedoch ein.

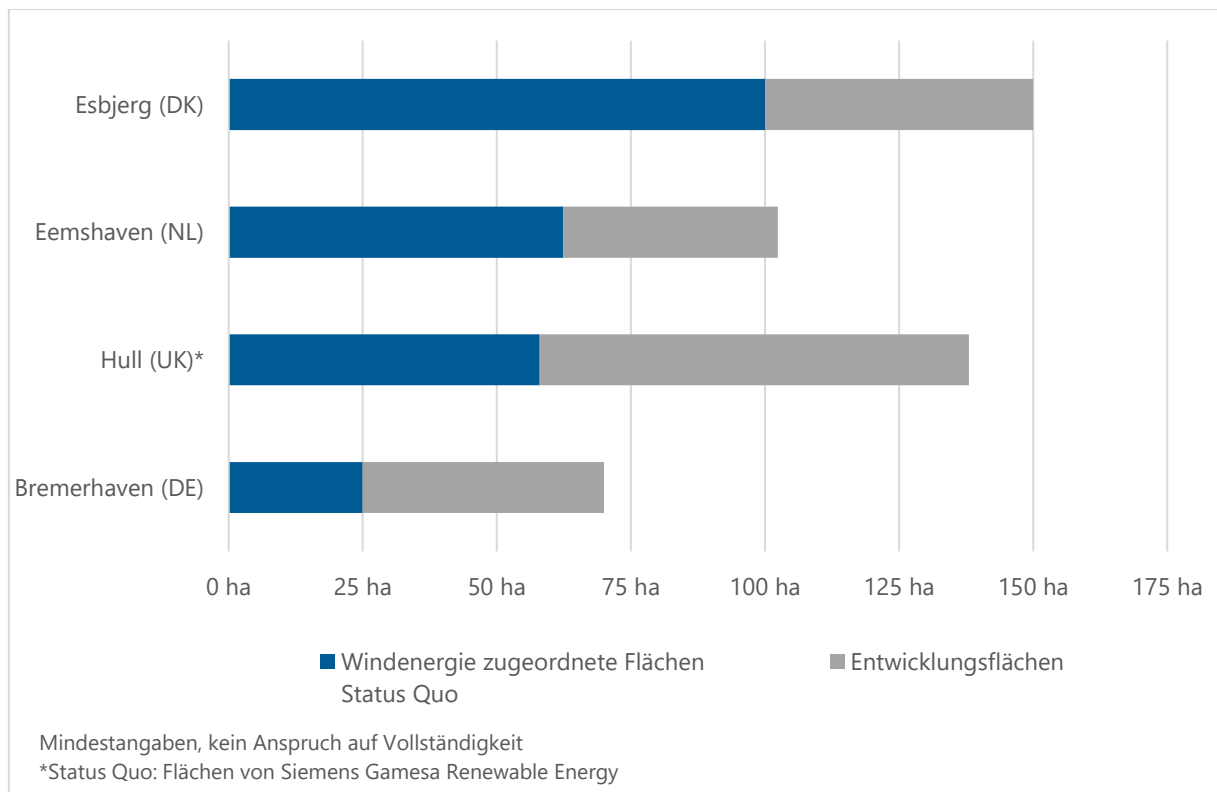
Aktuell werden Erweiterungen des Hafengebietes diskutiert. Eine Potenzialstudie des südlichen Fischereihafens untersucht einen Ausbau der nutzbaren Flächen für Windenergie. Obgleich

die Hafenerweiterung sich in einem schwebenden Verfahren befindet, wurde die Notwendigkeit zur Anpassung der Häfen zur Leistung eines Beitrags für das Gelingen der Energiewende mithilfe der Studie bekräftigt (Ninnemann et al., 2023).

6.2.5 FLÄCHENSITUATION UND ENTWICKLUNGSFLÄCHEN

Im Folgenden wird die Flächensituation in den vier ausgewählten weiteren Nordseehäfen betrachtet, einerseits hinsichtlich der aktuell für Windenergie zugeordneten Flächen und andererseits hinsichtlich zusätzlicher Flächen, die sich potenziell für die Windenergie erweitern ließen.

ABBILDUNG 18: FLÄCHENSITUATION IN AUSGWÄHLTEN WEITEREN NORDSEEHÄFEN IM HINBLICK AUF DIE WINDENERGIE



Quelle: Eigene Darstellung; Datenbasis: (Eurogate Container Terminal, 2016; Groningen Seaports, 2022; Ninnemann et al., 2023; Port Esbjerg, 2021, 2023b; University of Hull, 2017)

Abbildung 18 veranschaulicht die aktuell der Windenergie zugeordneten Flächen in den vier ausgewählten Häfen. Im Hafen Esbjerg werden ca. 100 ha für den Umschlag und die Installation von Komponenten bereitgestellt. Eemshaven und Hull weisen ca. 62 ha und ca. 58 ha für Windenergie aus, wobei die Flächen im Hafen Hull Siemens Gamesa zugeordnet werden müssen und die Verfügbarkeit für andere Akteure nicht gesichert ist. Bremerhaven verfügt am Containerterminal über ca. 25 ha

für die Windenergie. Die aktuell der Windenergie zugeordneten Flächen in den niedersächsischen Seehäfen umfassen ca. 71 ha, wie in Abschnitt 6.1.6. erläutert.

Alle hier betrachteten Nordseehäfen bieten zusätzliche Entwicklungsflächen für die Windenergie mit jeweils unterschiedlichen Entwicklungsstadien, sodass die aktuellen Flächen für die Windenergie vergrößert werden könnten. Insbesondere Esbjerg fördert die Bereitstellung der Flächen, sodass diese zeitnah zur Verfügung stehen sollen.

7 ZUKÜNFTIGE POTENZIALE DER WINDENERGIE FÜR DIE NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN

Für den Ausbau der Windenergie in Deutschland erbringen die niedersächsischen Häfen schon heute einen wichtigen Beitrag. Die hohen Ausbauziele bergen für die niedersächsischen Seehäfen weitere Potenziale, um als Teil der Wertschöpfungskette die notwendigen Flächen und Logistik bereitzustellen. Im folgenden Abschnitt werden Faktoren erläutert, die einen Einfluss auf die Entwicklung der Häfen im Hinblick auf den zukünftigen Ausbau der Windenergie haben werden und welche Potenziale sich hieraus für die Häfen ergeben.

7.1 WACHSENDER WINDENERGIEMARKT UND FLÄCHENBEDARF IN DEN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN

Die bestehenden Ausbauziele für die Windenergie lassen eine steigende Nachfrage an den Hafenstandorten erwarten. Wie gut die Häfen diese bedienen können, hängt insbesondere davon ab, wie und in welchem Umfang Flächenentwicklung für die Windenergie in den Häfen betrieben wird. Die Frage der Flächenverfügbarkeit spielt für die Windenergiebranche eine zentrale Rolle. Wie bereits in Abschnitt 6.1.6 erläutert, können in den niedersächsischen Häfen aktuell ca. 71 ha der Windenergie zugeordnet werden.

Branchenanfragen

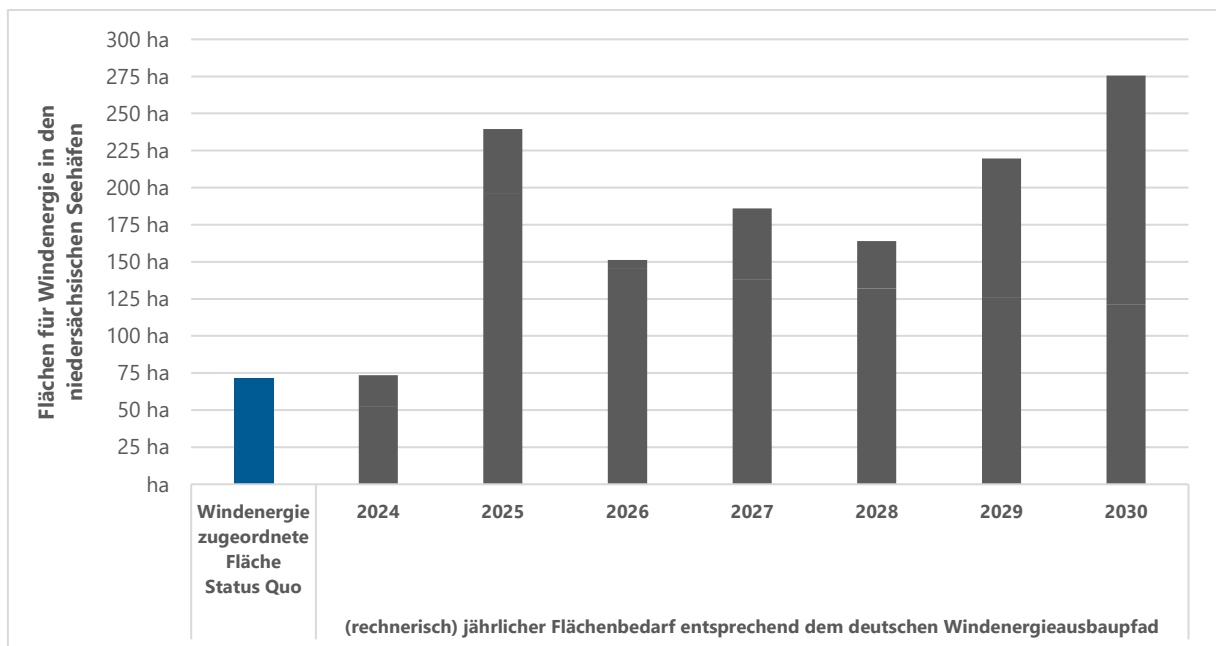
Die aktuellen Anfragen der Windenergiebranche übersteigen laut Aussage der niedersächsischen Seehäfen die aktuellen Kapazitäten um ca. 100%. Sowohl Entwickler für Offshore-Windparks als auch Hersteller von Onshore-Windenergieanlagen beginnen, Flächen für die Zukunft zu sichern. Die Hafenskapazitäten werden in der Branche mittlerweile als Flaschenhals in der Wertschöpfungskette angesehen.

Zukünftige Flächenbedarfe

Die Entwicklung der benötigten Flächenkapazitäten wird in der Realität aus einem Zusammenspiel von Marktwachstum in Deutschland und international, der Entwicklung von Projekt- und Komponentengrößen, der Entwicklung der Marktanteile der niedersächsischen Seehäfen, Unternehmensansiedlungen und Logistikstrategien sowie weiteren Marktfaktoren geprägt werden. All diese Faktoren lassen sich nicht in Gänze und zudem nicht in ihrem Zusammenspiel prognostizieren und werden in den nachfolgenden Abschnitten auf Basis einer qualitativen Herangehensweise näher beschrieben.

An dieser Stelle wird daher zunächst allein auf die Entwicklung des deutschen Onshore- und Offshore-Windenergiemarktes verwiesen und in Abbildung 19 ein Eindruck gegeben, wie sich die Flächensituation auf Basis der damit verbundenen jährlich im deutschen Markt angestrebten Anlagenzahlen darstellen würde. Vergleichend wird die aktuell in den niedersächsischen Seehäfen verfügbare Fläche dem erwarteten Bedarf gegenübergestellt.

ABBILDUNG 19: JÄHRLICHER FLÄCHENBEDARF DER WINDENERGIEBRANCHE IN DEN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN ENTSPRECHEND DEM DEUTSCHEN AUSBAUPFAD



Quelle: Eigene Darstellung

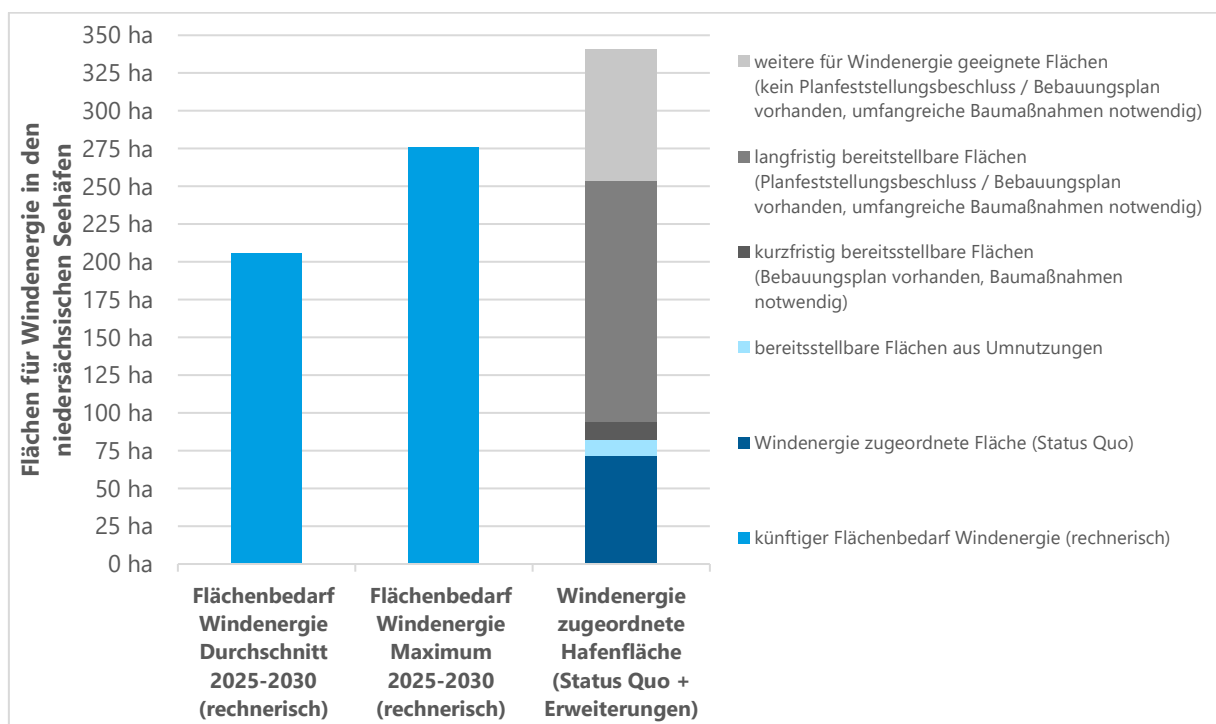
Abbildung 19 veranschaulicht den rechnerisch jährlichen Flächenbedarf der Windenergiebranche in den niedersächsischen Seehäfen. Hierfür wurde unterstellt, dass der Flächenbedarf proportional zu den geplanten jährlichen Ausbauraten wächst und die derzeit verfügbaren und durch die Windenergiebranche belegten Flächen (rund 71 ha) als Basis herangezogen, um zukünftige Bedarfe zu errechnen. Dies entspricht einer theoretischen Vorgehensweise und keiner detaillierten Prognose, da diese sich aus den oben genannten Gründen (Vielzahl von Einflussfaktoren und Entwicklungsabhängigkeiten) nicht seriös treffen lässt.

Wie Abbildung 19 zeigt, ergeben sich besonders hohe Bedarfe aufgrund der hohen Ausbauraten in der Onshore-Windenergie in 2025 und den hohen Ausbauraten in der Offshore-Windenergie ab dem Jahr 2029. Es ist zu beachten, dass sich in Realität im Bereich der Offshore-Windenergie der Flächenbedarf

nicht nur auf das Inbetriebnahmejahr beziehen lässt, da die Flächen in der Regel mit 1-2 Jahren Vorlauf benötigt sowie über einen längeren Zeitraum hinweg genutzt werden, da teils über zwei Saisons hinweg gebaut wird. Im Bereich der Onshore-Windenergie kann es ebenso zu Abweichungen kommen, da die Projekte nach Bezuschlagung unterschiedlich lange für ihre Umsetzung brauchen. Hierdurch können sich Bedarfsspitzen verschieben und ausweiten sowie vermutlich eine höhere Kontinuität hinsichtlich der Flächenauslastung erreicht werden als es Abbildung 19 suggeriert.

Die folgende Abbildung 20 setzt die anhand der Ausbauentwicklung für die Windenergie ermittelten Bedarfe ins Verhältnis zu den potenziellen Flächenerweiterungen in den niedersächsischen Seehäfen, die in Abschnitt 6.1.6 erläutert wurden.

ABBILDUNG 20: VERGLEICH DES DURCHSCHNITTlichen UND MAXIMALEN WINDENERGIE-FLÄCHENBEDARFS MIT ERWEITERUNGSFLÄCHEN IN NIEDERSÄCHSISCHEN SEEHÄFEN



Quelle: Eigene Darstellung

Durchschnittlich ergibt sich ein Wert von rund 206 ha, den die niedersächsischen Häfen für die Erreichung der deutschen Ausbauziele zur Verfügung stellen müssen, wenn der Bedarf proportional zu den Ausbauraten wächst. Hierbei können rechnerisch 143 ha der Onshore-Windenergie und 63 ha der Offshore-Windenergie zugeordnet werden. Der ermittelte durchschnittliche Bedarf in den Jahren 2025 bis 2030 übertrifft die aktuell der Windenergie zugeordneten Flächen um das Dreifache. Der

maximale Bedarf in diesem Zeitraum übertrifft die aktuellen Kapazitäten annähernd um das Vierfache.

Würden alle kurz- bis langfristig erschließbaren Erweiterungsflächen in den Häfen (Erweiterung II), die grundsätzlich bisher nicht für die Windenergie gesichert sind, für die Windenergie ausgebaut werden, könnte der maximale Bedarf noch immer nicht gedeckt werden. Sollen diese Spitzen aufgefangen werden, müssten weitere Flächen aus den langfristig denkbaren Bereichen hinzugenommen werden (Erweiterung III).

Die Entwicklung von Komponentengrößen ist nicht berücksichtigt, sodass das dargestellte rechnerische Ergebnis eine konservative Annahme abbildet. Zusätzliche Flächenbedarfe aufgrund des zunehmenden Rückbaus sowie der vermehrte Servicebedarfe von Offshore-Windenergieanlagen wurden ebenfalls nicht berücksichtigt. Auch eine Erhöhung des Anteils der niedersächsischen Häfen am Gesamtmarkt, wäre mit zusätzlichen Flächenbedarfen zu berücksichtigen.

7.2 WEITERE EINFLUSSFAKTOREN AUF DEN FLÄCHENBEDARF

Der Flächenbedarf für Windenergiebranchen könnte unter anderem durch die Faktoren der wachsenden Anlagendimension, zunehmende Service- und Rückbauaktivitäten sowie steigende Marktanteile der niedersächsischen Seehäfen weiter steigen.

7.2.1 WACHSENDE ANLAGENKOMPONENTEN

Die wachsende Größe von Windenergieanlagen und ihrer Komponenten stellt neben dem Ausbaupfad einen wichtigen Einflussfaktor für die Häfen dar. Mit jeder neuen, größeren Anlagengeneration werden für die gleiche Anzahl an Komponenten mehr Lagerflächen und Umschlagskapazitäten benötigt. Eine genaue Prognose über das sich hieraus ergebende Potenzial ist nicht möglich, da sich einhergehend mit dem Anlagenwachstum voraussichtlich auch die zugehörigen Logistikstrategien verändern werden. Im Folgenden wird deshalb ausgeführt, was die gesteigerten Dimensionen grundsätzlich bedeuten und gezeigt, dass zusätzlich steigende Auswirkungen auf das in Abschnitt 7.1 dargestellte Potenzial durchaus wahrscheinlich sind.

Einfluss der Größe auf Flächenentwicklung

Die Größe des Rotordurchmessers betrug 2022 durchschnittlich 137 m, die Blattlänge also etwa 66 m. Die größte der für die Zukunft angekündigten Onshore-Anlagen (verfügbar ab 2024) ist die E-175 EP5 mit 175 m Rotordurchmesser und einer Blattlänge von etwa 86 m. Dies entspricht einer Verlängerung der

Blätter um etwa 30%. Die folgende Abbildung 21 soll die Auswirkungen einer solchen Zunahme der Größendimensionen in Bezug auf eine abstrakte Lagerfläche verdeutlichen.

ABBILDUNG 21: EXEMPLARISCHE VISUALISIERUNG DER AUSWIRKUNG VON KOMPONENTEN-ENTWICKLUNGEN AUF DEN FLÄCHENBEDARF



Quelle: Eigene Darstellung

Auf einer exemplarischen Fläche können 30 Blätter mit einer durchschnittlichen Länge des Jahres 2022 in dreifacher Lage gestapelt gestaut werden. Auf derselben Fläche können mit 30% längeren Rotorblättern nur noch 24 Rotorblätter bei dreifacher Stapelung gelagert werden. Durch die erreichten Höhen dieser neuen Blattgeneration kann es aufgrund fehlenden Equipments oder starken durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten an den Hafenstandorten ggf. nicht machbar sein, die Blätter in dieser Höhe zu stapeln. Sollte nur eine einfache Stapelung möglich sein, können auf derselben Fläche nur noch 16 Rotorblätter gelagert werden.

Zusätzlich zu den veränderten Flächenbedarfen aufgrund der wachsenden Dimensionen können zusätzliche Anforderungen von Windparkentwicklern hinzukommen. Um volle Flexibilität im Bau der Projekte zu erlangen, muss beispielsweise jedes Blattset der Lagerung einzeln entnehmbar sein. Diese Flexibilität ist auf jede Komponente übertragbar und wird insbesondere in der Offshore-Windenergie immer öfter gefordert. Hier müssen zusätzliche Verkehrsflächen freigehalten werden, um Rangierflächen zu gewährleisten.

Einfluss der Gewichte auf Flächen- und Kajenentwicklung

Neben der Größe spielen auch die Gewichte der Anlagenkomponenten eine zunehmende Rolle. Beispielsweise werden die Monopile-Fundamente immer länger und schwerer. Umso schwerer die Komponenten, desto mehr Lastverteilung muss betrieben werden. Dafür wird mehr Platz benötigt und/oder die Flächen müssen entsprechend mehr Tragfähigkeit haben. Um die

Tragfähigkeiten von Flächen zu erhöhen, sind Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig. Dies könnte umfangreiche Baumaßnahmen beinhalten, währenddessen lassen sich die Flächen nicht nutzen und würden damit erstmal nicht zur Verfügung stehen.

7.2.2 RÜCKBAU VON WINDENERGIEANLAGEN

Der Rückbau von Windenergieanlagen findet derzeit in Deutschland noch in geringem Maße (Onshore-Windenergie) bzw. gar nicht (Offshore-Windenergie) statt. Ein verstärkter Ausbau der Onshore-Windenergie seit den 2000er Jahren und eine angenommene Betriebszeit von 20 Jahren lassen für die nächsten Jahre ein erhöhtes Rückbauvolumen erwarten. Der Rückbau von Onshore-Windenergie spielt voraussichtlich eine eher untergeordnete Rolle für niedersächsischen Seehäfen. Anders verhält es sich mit den Rückbauaktivitäten im Bereich der Offshore-Windenergie. Der Ausbau der Offshore-Windenergie seit den 2010er Jahren und angenommene Betriebszeiten von 25 Jahren lassen einen Beginn der Rückbauaktivitäten in den 2030er Jahre erwarten. Da bisher noch kein Rückbau von Offshore-Windparks in Deutschland stattgefunden hat, liegen noch keine etablierten Konzepte und detaillierten Erfahrungswerte vor. Ein Rücktransport der Komponenten vom Offshore-Windpark in die Häfen wird notwendig sein. Nach dem Rücktransport werden voraussichtlich Schritte zur Demontage und Zerlegung der großen Komponenten erfolgen, sodass eine Verwertung, das Recycling oder die Entsorgung der Komponenten und Materialien möglich ist. Für diese Schritte ergibt sich entsprechend ein erhöhter Flächenbedarf in den Häfen (Eckardt et al., 2022). Darüber hinaus könnten sich Unternehmen, die sich beispielsweise auf die Verwertung oder das Recycling der Komponenten und Materialien spezialisiert haben, in der Nähe der Häfen ansiedeln.

7.2.3 VERMEHRTE SERVICEBEDARFE VON OFFSHORE-WINDPARKS

Im Bereich von Wartung und Service von Offshore-Windparks wird der zukünftige Bedarf eher überproportional ansteigen. Mit der zunehmenden Anzahl an Offshore-Windparks nimmt der Bedarf zu und bei der Auswahl des Hafens spielt die Nähe zu den Windparks eine wichtige Rolle. Es handelt sich um ein sehr langfristiges Geschäft, da Wartung und Service im gesamten Betriebszeitraum eines Offshore-Windparks anfallen.

Ein steigender Bedarf in Bezug auf den Service für Offshore-Windparks bedeutet nicht nur mehr benötigte Kajenflächen und Liegeplätze, sondern auch mehr zugehörige Flächen für Lagerhallen, Stellplätze usw. Zwar ist der sich hier ergebende Bedarf nicht vergleichbar mit jenem, der für die Installation von Offshore-Windparks besteht, aber es ergibt sich ein Geschäftsfeld, das auch für kleinere Häfen sowie für eine breitere Anzahl an Häfen Potenziale bieten kann.

Der Servicebedarf wird nicht nur im Bereich der Windenergieanlagen steigen, sondern auch bei Fundamenten, Plattformen, Umspannstationen und Konverterstationen.

7.2.4 STEIGENDE MARKTANTEILE

Bei den Abschätzungen in Abschnitt 7.1 wurde davon ausgegangen, dass der prozentuale Anteil der niedersächsischen Häfen am Gesamtumschlag/-flächenbedarf, der sich aus dem Windenergiezubau ergibt, konstant bleibt und proportional zu den zunehmenden Ausbauraten die Umschlagszahlen und Flächenbedarfe steigen. Wenn die niedersächsischen Häfen attraktiv für die Windenergiebranche sind und es ihnen gelingt, diese Attraktivität weiter zu steigern, kann ihr prozentualer Anteil an den Gesamtumschlägen und damit auch benötigten Flächen steigen.

Ein Potenzial hierfür ist im Onshore-Bereich insbesondere dann stark gegeben, wenn die internationalen Kapazitäten im Bereich der Großkomponentenproduktion durch die Hersteller ausgebaut werden und damit die Importanteile weiter steigen. Im Offshore-Bereich können größere Kapazitätssteigerungen vor allem dann erreicht werden, wenn sich Produktionskapazitäten im Hafen ansiedeln oder wenn Häfen durch einen oder mehrere Hersteller als langfristige Basishäfen ausgewählt werden.

Anstieg von Importen

Der Ausbaupfad und die Ziele für den deutschen Onshore-Windenergiezubau sind hoch. Viele Komponenten, insbesondere Blätter müssen importiert werden, da in Deutschland keine Blattproduktion mehr für große Anlagen ansässig ist. Die Flächenbedarfe hierfür, wenn die Häfen den gleichen Anteil am deutschen Ausbau beibehalten, ist in Abschnitt 7.1 dargestellt. Aktuell ist von den großen Herstellern nicht geplant, in Deutschland weitere Produktionen aufzunehmen, eher in Übersee. Das bedeutet, dass weiterhin mit hohen Importanteilen gerechnet werden muss und sich diese gegenüber heute eher weiter steigern werden. Wenn die niedersächsischen Seehäfen an

Ansiedlungen neuer Akteure

diesen zusätzlichen Steigerungsraten partizipieren, würde auch in diesem Bereich weiterer Flächenbedarf bestehen.

Sobald ein weiterer Hersteller eine Produktion in einem Hafen oder direkter Nähe ansiedelt, würde der Marktanteil der niedersächsischen Seehäfen steigen und somit wäre auch der zu prognostizierende Flächenbedarf höher. Um Ansiedlungen zu fördern, sollten mögliche Flächen in größerem Umfang bereits vorhanden sein. Erst mit vorhandenen Flächen werden die Standorte attraktiv, denn wenn die Hersteller selbst neue Flächen entwickeln müssen, kann dies unter Umständen zu lange dauern.

Logistikstrategien

Sollten sich in Zukunft im Offshore-Bereich Logistikstrategien verändern (bspw. mehr Feeder-Konzepte, konsequentes Basis-hafenkonzept), könnte dies für ausgewählte Häfen zu neuen Potenzialen führen und die Anteile der niedersächsischen Häfen am Marktgeschehen weiter steigern. Neue Strategien könnten allerdings auch eine veränderte Flächennutzung mit sich bringen, um die Effizienz zu erhöhen, wodurch die Steigerungen des Flächenbedarfs begrenzt werden könnten.

7.3 BEGLEITENDE ANFORDERUNGEN AN DIE HAFENENTWICKLUNG

Neben dem Flächenbedarf sind es auch die Länge der Kajen, die Anzahl der Liegeplätze und geeignete Hinterlandanbindungen, die eine reibungslosen Abwicklung und damit die Gewährleistung einer effizienten Logistik für die Windenergiebranche gewährleisten.

7.3.1 GEEIGNETE LIEGEPLÄTZE UND KAIANLAGEN

Entwicklung der Schiffsgrößen

Die Anforderungen im Bereich der Liegeplätze und Kaianlagen sowie der Suprastruktur werden in erster Linie im Offshore-Bereich mit den zunehmenden Schiffsdimensionen weiter steigen.

Die neue Generation von Errichterschiffen sowie Foundation Installation Vessel wird länger, breiter und hat mehr Tiefgang. Dies erhöht die Anforderungen an verfügbarer Kailänge und Ausgestaltung der Liegeplätze.

Im Bereich des Betriebs von Offshore-Windparks werden die im Vergleich zu den bisher häufig genutzten CTVs deutlich größeren SOVs immer öfter eingesetzt, vor allem für Wartung und Service von großen Windparks. Umso mehr Windparks gebaut werden bzw. umso mehr Windparks ein Betreiber

zusammenfassen kann, desto eher lohnt sich der Einsatz von einem SOV. Mehr Offshore-Windparks bedeuten insgesamt mehr Wartungs- und Serviceaufwand, sodass vermehrt CTVs und SOVs eingesetzt werden. Mit der Anzahl der installierten Offshore-Windparks wird auch die Zahl der für den Service benötigten Schiffe steigen.

Auch im Service-Bereich werden sich somit zusätzliche Potenziale für Häfen ergeben, die zudem ein langfristiges Geschäft darstellen, da der Bedarf über den gesamten Betriebszeitraum anfällt.

Entwicklung der Installations- und Servicekonzepte

Bei der Installation der deutschen Offshore-Windparks werden derzeit in der Regel das Installationsschiff-Konzepte angewendet. Dabei werden sowohl die Fundamente als auch die Anlagen durch das Installationsschiff in den Windpark transportiert und direkt installiert. Hierdurch muss es für die Installationsschiffe möglich sein, im Hafenbecken aufzujacken und regelmäßig sowie flexibel weitere Komponenten zu verladen. Die Kaianlagen müssen eine geeignete Schwerlastfähigkeit aufweisen (siehe auch Ausführungen zu den Größendimensionen in 7.2.1).

Sollten Installationsschiff-Konzepte nicht umsetzbar sein, bspw. zukünftig aufgrund von Engpässen auf dem Schiffmarkt, könnten zumindest im Fundamentbereich Feeder-Konzepte eingesetzt werden, sodass Schleusen, die für die Installationsschiffe zu klein sind, mit Barges/Schlepperverbänden befahrbar wären. Innenhäfen könnten mit der entsprechenden Suprastruktur (Kräne, Rampen usw.) als Alternative dienen, wodurch sich auch für diese ein Potenzial im Offshore-Segment ergeben könnte. Allerdings würde – solange verfügbar – ein frei zugänglicher Seehafen voraussichtlich weiter bevorzugt werden.

7.3.2 GEEIGNETE HINTERLANDANBINDUNGEN

Einfluss der Größe auf Hinterlandanbindung

Die wachsenden Dimensionen der Komponenten bedeuten auch steigende Anforderungen an die Hinterlandanbindungen, wenn diese aus den Häfen ins Inland transportiert werden müssen. Die Verkehrsanbindungen der Häfen an die Straße oder Binnenschifffahrt müssen insbesondere den Import der Rotorblätter für Onshore-Windprojekte ermöglichen und entsprechend mitwachsen. Der Transport von Windenergieanlagen bedeutet häufig eine Anpassung der Infrastruktur, damit die Komponenten beispielsweise um Kurven passen, keine Ampeln oder Verkehrsschilder im Weg stehen. Mit dem entsprechenden Ausbau der Transportwege könnte die Projektentwicklung beschleunigt werden und auch der Personaleinsatz und

Genehmigungsaufwand reduziert werden. Eine gute Anbindung der Hafenstandorte an das Inland über das Straßennetz oder die Bundeswasserstraßen ist somit ein wichtiger Faktor für die Attraktivität der einzelnen Hafenstandorte.

7.4 WEITERE GESCHÄFTSFELDER IM ZUGE DER ENERGIEWENDE

Neben dem Ausbau der On- und Offshore-Windenergie gibt es weitere Geschäftsfelder, die im Zuge der Energiewende künftig an Relevanz gewinnen und zusätzliche Potenziale für die niedersächsischen Seehäfen bergen könnten.

Unmittelbar mit dem Ausbau der Windenergie verbunden ist der Themenkomplex des Netzausbaus. Beispielsweise müssen Netzanbindungssysteme für die künftigen Offshore-Windparks durch die Übertragungsnetzbetreiber bereitgestellt werden. Dies kann den Bau einer Konverterstation an Land, Kabelverbindungen an Land und auf See sowie eine Konverterstation auf See umfassen. Auch diese Systeme müssen während der Betriebszeit regelmäßig gewartet und instandgehalten sowie nach Ende der Betriebszeit zurückgebaut werden.

Darüber hinaus könnte ein verstärkter Ausbau der Wasserstoff-Wirtschaft neue Potenziale mit sich bringen. Hierbei handelt es sich um einen gänzlich neuen Markt. Die Bundesregierung hat ihre Ambitionen in der nationalen Wasserstoffstrategie im Juli 2023 bekräftigt. Unter anderem sollen Elektrolysekapazitäten für die Erzeugung von Wasserstoff und Infrastruktur für den Transport und die Anwendung von Wasserstoff aufgebaut werden. Neben der heimischen Erzeugung soll Wasserstoff auch in größerem Umfang importiert werden (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2023). Sowohl hinsichtlich des Imports als auch der Produktion von Wasserstoff (küstennahe Standorte könnten hierbei Strom aus Offshore-Windenergie nutzen) können sich gänzlich neue Potenziale für Häfen ergeben.

8 SCHLUSSFOLGERUNG

Innerhalb weniger Jahre soll in Deutschland, der Europäischen Union und der Welt die Windenergie massiv ausgebaut werden. Diese Entwicklungen lassen eine steigende Nachfrage durch die Windenergiebranche an den Hafenstandorten erwarten. Wie gut die Häfen diese bedienen können, hängt insbesondere davon ab, wie und in welchem Umfang Flächen für die Nutzung durch die Windenergiebranche in den Häfen bereitgestellt werden können.

Die aktuellen Flächen für Windenergie in den niedersächsischen Seehäfen sind weitgehend ausgelastet. Um die Erreichung der Ausbauziele nicht zu gefährden, wäre im Vergleich zum heutigen Stand somit ein verstärkter Ausbau der Flächenkapazitäten in den Häfen notwendig.

In den betrachteten Häfen sind Potenzialflächen vorhanden, die in unterschiedlicher Geschwindigkeit nutzbar gemacht werden könnten. Im Hinblick auf lange Planungs-, Genehmigungs- und Umsetzungszeiträume sind hierfür zeitnah entsprechende Schritte einzuleiten.

Wenn die Entwicklung des Flächenbedarfs zukünftig proportional zu den für Deutschland geplanten jährlichen Ausbauraten der Windenergie wächst, werden zukünftig durchschnittlich etwa die dreifachen Flächen im Vergleich zu heute benötigt, wofür bereits nahezu alle ermittelten kurz- bis langfristig erschließbaren Erweiterungsflächen (Erweiterung II) in den Häfen ausgebaut werden müssten. Um auch maximale Bedarfsspitzen auffangen zu können, müssten durch die Häfen weitere Flächen aus den langfristig denkbaren Bereichen hinzugenommen werden (Erweiterung III). Die Flächen müssen hierbei bezogen auf die Ausbauentwicklung stets mit einem gewissen Vorlauf zur Verfügung stehen.

Weiterer Ausbaubedarf für die Häfen ergibt sich im Bereich von Liegeplätzen und Kaianlagen sowie der Bereitstellung einer geeigneten Hinterlandanbindung. Zudem könnten sich neben der Windenergie für die Häfen weitere Geschäftsfelder im Zuge der Energiewende ergeben.

LITERATURVERZEICHNIS

- Arndt, E.-H. (2022, August 24). *Ex-Marine-Stützpunkt wird Offshore-Quartier*. Täglicher Hafenbericht. <https://www.thb.info/rubriken/maritime-wirtschaft/detail/news/ex-marine-stuetzpunkt-wird-offshore-quartier.html>
- Bundeministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2014). *Hafenprofil Borkum*. <https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Standardartikel/Offshore-Windenergie/Karte-Haefen/borkum.html>
- Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2023, Juli 26). *Update der Nationalen Wasserstoffstrategie: Turbo für die H2-Wirtschaft*. https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/energiewende-und-nachhaltiges-wirtschaften/nationale-wasserstoffstrategie/nationale-wasserstoffstrategie_node.html
- Deutsche WindGuard. (2023a). *Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland—Erstes Halbjahr 2023*. https://www.windguard.de/id-1-halbjahr-2023.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2023/Halbjahr/Status%20des%20Offshore-Windenergieausbaus_Halbjahr%202023.pdf
- Deutsche WindGuard. (2023b). *Status des Windenergieausbaus an Land in Deutschland—Erstes Halbjahr 2023*. https://www.windguard.de/id-1-halbjahr-2023.html?file=files/cto_layout/img/unternehmen/windenergiestatistik/2023/Halbjahr/Status%20des%20Windenergieausbaus%20an%20Land_Halbjahr%202023.pdf
- Dunne, S., Crampsle, S., & Fawthrop, A. (2023). *Offshore Technology Yearbook 2023*. Renew Limited.
- Eckardt, S., Spielmann, V., Ebojie, M., Vajhøj, J., Varmaz, A., Abée, S., Bösche, J., Klein, J., Scholz, L., Köhler, B., Tremer, P., & Rausch, S. (2022). *Handbuch zum Rückbau von Offshore-Windparks—Rahmenbedingungen, Technik, Logistik, Prozesse, Szenarien und Nachhaltigkeit*. <https://doi.org/10.26092/elib/1469>
- EnBW. (2023). *EnBW-Windpark He Dreiht*. Der Nordsee-Windpark He Dreiht auf einen Blick. <https://www.enbw.com/erneuerbare-energien/windenergie/unsere-windparks-auf-see/he-dreiht/>
- Enercon. (2022). *Enercon Windblatt Magazin 02 2022*. https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/windblatt/pdf/Windblatt_02_22_DE.pdf
- Eurogate Container Terminal. (2016). *EUROGATE – WIND ENERGY Size is our daily Business*. <https://www1.eurogate.de/en/Products/Wind-energy>
- Groningen Seaports. (2022). *Follow the Energy—Eemshaven: Main Hub in Offshore Wind Industry*. <https://www.groningen-seaports.com/wp-content/uploads/Offshore-wind-brochure-versie-10-1.pdf>
- Groningen Seaports. (2023). *Eemshaven: Main hub in de offshore windindustrie!* <https://www.groningen-seaports.com/industries/offshore-wind/>
- GWEC. (2023). *Global Wind Report 2023*. <https://gwec.net/globalwindreport2023/>
- Haschen, A. (2023, Juli 3). *Platzmangel ist Alltag im Norddeicher Hafen*. Nordwest Zeitung. <https://www.nwzonline.de/wirtschaft/hafen-norddeich-betreiber->

- niedersachsen-ports-ueber-liegeplaetze-offshore-ausbau-und-inselversorgung_a_4,0,1337045297.html
- H-BLIX. (2022). *Offshore wind vessel availability until 2030: Baltic and Polish perspective*. <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/topics/offshore/Offshore-wind-vessel-availability-until-2030-report-june-2022.pdf>
- Hitschke, A. (2022, Mai 13). *Kostenrisiko auch für neue Umgehung in Emden*. https://www.nwzonline.de/plus-emden/kostenrisiko-auch-fuer-neue-umgehung-in-emden_a_51,7,1960389463.html
- Klare, B. (2023, Juni 14). *RWE chartert „Voltaire“ und „Les Alizés“*. Täglicher Hafenbericht. <https://www.thb.info/rubriken/offshore-windenergie/detail/news/rwe-chartert-voltaire-und-les-alizes.html>
- Laister, D. (2022, April 28). *Humber ports expansion profiled as offshore wind demands grow*. Business Live. <https://www.business-live.co.uk/ports-logistics/humber-ports-expansion-profiled-offshore-23814676>
- MacFarlane, C. (2021, August 1). *Offshore wind installation vessel market booming—Larger turbine sizes prompting need for newbuilds*. <https://www.offshore-mag.com/renewable-energy/article/14206400/ihs-markit-offshore-wind-installation-vessel-market-booming>
- Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr. (2021, Juli 15). *Verlegung der Bundesstraße 210 südlich von Emden*. <https://www.strassenbau.niedersachsen.de/startseite/projekte/bundesstrassen/verlegung-der-bundesstrae-210-suedlich-von-emden-78315.html>
- Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Bauen und Digitalisierung. (2016, April 29). *Ergebnis Machbarkeitsstudie JadeWeserPort II liegt vor*. <https://www.mw.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presseinformationen/ergebnis-machbarkeitsstudie-jadeweserport-ii-liegt-vor-140963.html>
- Ninnemann, J., Tesch, T., Soergel, J., Zech, D., Groissböck, M., & Richter, M. (2023). *Potenzialstudie südlicher Fischereihafen*. <https://sitzungsapp.bremerhaven.de/ris/bremerhaven/file/getfile/228643>
- Ostend Declaration of Energy Ministers on the North Seas as Europe's Green Power Plant*. (2023). https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/ostend-declaration-energy-ministers-north-seas-europes-green-power-plant.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Port Esbjerg. (2023a). *Port Esbjerg—Annual Report 2022*. https://port esbjerg.dk/pdf-library/Annual_Report_2022_final.pdf
- Port Esbjerg. (2021, November 17). *Major port expansion in Esbjerg is an important contribution to ambitious EU offshore wind targets—Esbjerg Havn*. <https://port esbjerg.dk/en/news/major-port-expansion-in-esbjerg-is-an-important-contribution-to-ambitious-eu-offshore-wind-targets>
- Port Esbjerg. (2023b). *History*. <https://port esbjerg.dk/en/about-us/history>
- Port Esbjerg. (2023c, Juni 23). *Port Esbjerg CEO: Deepened fairway will bring even more large projects in the years to come—Esbjerg Havn*. <https://port esbjerg.dk/en/news/port-esbjerg-ceo-deepened-fairway-will-bring-even-more-large-projects-in-the-years-to-come>

- Port Esbjerg. (2023d, Juni 23). *Port Esbjerg preparing for wind energy boom*. <https://portesbjerg.dk/en/news/port-esbjerg-preparing-for-wind-energy-boom>
- Ristau, O. (2022, Juli 13). *Windenergie: Warum Dänemark wichtig ist*. Deutsche Welle. <https://www.dw.com/de/windenergie-warum-d%C3%A4nemark-wichtig-ist/a-62364169>
- RWE. (2022, März 28). *RWE Renewables GmbH*. Hochzeit auf hoher See: 1.400 Tonnen schweres Umspannwerk für RWE-Offshore-Windpark Kaskasi errichtet. <https://www.rwe.com/presse/rwe-renewables/2022-03-28-hochzeit-auf-hoher-see/>
- Siemens. (2015). *Larger-than-life energy facts—Service Operation Vessels (SOV)*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:38945839-87b2-4a0e-974f-56eba9e1c6eb/sov-infographic-en.pdf>
- Stadt Brake (Unterweser). (2007). *Bebauungsplan Nr. 69 "Hafenerweiterung Nord—Bereich südlich der Raiffeisenstraße"*. https://brake.de/wp-content/uploads/2021/05/B-Plan_Nr._69__Urplan__Hafenerweiterung_Nord__Bereich_suedl._der_Raiffeisenstr._.pdf
- Steelwind Nordenham. (2022, Juni 15). *Steelwind Nordenham produziert Monopiles für den Offshore Windpark He Dreiht von EnBW*. AG der Dillinger Hüttenwerke. <https://www.steelwind-nordenham.de/steelwind/aktuelles/pressemitteilungen/00103891/index.shtml.de>
- Tjaberdings, J., Fazi, S., & Ursavas, E. (2022). Evaluating operational strategies for the installation of offshore wind turbine substructures. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112951>
- University of Hull. (2017). *The History of the Siemens-ABP Investment in Hull*. <https://gia.hull.ac.uk/>
- WindEurope. (2023). *Wind energy in Europe—2022 Statistics and the outlook for 2023-2027*. Wind Europe. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>