



Fachbereich WD 5

Rückbaukosten für Windenergieanlagen

Rückbaukosten für Windenergieanlagen

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 087/25

Abschluss der Arbeit: 23. Oktober 2025

Fachbereich: WD 5: Wirtschaft, Energie und Klima

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--------------------------------|----------|
| 1. | Einleitung | 4 |
| 2. | Rückbaukosten | 4 |
| 2.1. | Rückbaukosten von Onshore-WEA | 5 |
| 2.1.1. | WindExchange (2022) | 5 |
| 2.1.2. | Umweltbundesamt (2023) | 5 |
| 2.2. | Rückbaukosten von Offshore-WEA | 7 |
| 2.2.1. | Gründungsstrukturen | 9 |
| 2.2.2. | Schiffslogistik | 12 |

1. Einleitung

Auftragsgemäß befasst sich die vorliegende Dokumentation mit der Höhe der Rückbaukosten von Onshore¹- und Offshore²-Windenergieanlagen.

Die Kosten für den Rückbau von Windenergieanlagen hängen neben dem Standort der Anlage (onshore oder offshore), von der Größe der Turbinen, den Arbeits- und Transportkosten etc. ab. Zudem spielen aber auch Erlöse, die durch das Recycling von Materialien wie Stahl, Aluminium und Kupfer erreicht werden können, eine Rolle.

Die Bundesländer regeln Art und Höhe der Sicherheitsleistungen für den Rückbau von WEA.³

2. Rückbaukosten

Windenergieanlagen (WEA) werden in der Regel nach 20 bis 30 Jahren zurückgebaut. Zuerst wird die WEA von schaltberechtigten **Elektrofachkräften**⁴ vom Netz genommen, dann erfolgt der Rückbau. Hierzu sollten laut Umweltbundesamt (2020) „Betreiber qualifizierte Abbruch- und Entsorgungsunternehmen beauftragen und Anlagenhersteller einbeziehen. Oftmals halten Hersteller für den Rückbau wichtige technische Daten bereit, können anlagenspezifisch Rückbaukonzepte empfehlen und unterstützen das Repowering⁵.“⁶

Abbildung 1 veranschaulicht die Kostenposition des Rückbaus im Verhältnis zu den anderen Betriebskosten: Hier werden die durchschnittlichen Kosten in €/kW für die erste und zweite Betriebsdekade (D1 und D2) dargestellt. Darüber hinaus werden die Anteile der jeweiligen Kostenpositionen an den Betriebskosten, ebenfalls differenziert nach Betriebsdekaden, aufgezeigt. Die

1 Windenergie an Land.

2 Windenergie auf See.

3 Überblick der landesrechtlichen Regelungen zum Rückbau von Windenergieanlagen, S. 7, https://www.wind-energie.de/fileadmin/redaktion/dokumente/publikationen-oeffentlich/themen/02-technik-und-netze/09-rueckbau/20240201_Informationspapier_Laenderregelungen_Rueckbau.pdf.

4 Siehe hierzu ausführlich: Wissenschaftliche Dienste (2025), Windenergieanlagen: Rückbaupflicht und Haftung, WD 5 - 3000 - 077/25.

5 Wichtigste Vorschriften und Bestimmungen für (schaltberechtigte) Elektrofachkräfte, <https://www.sicher-schalten.de/mediathek/vorschriften/>.

6 Wird eine WEA vor ihrer Ablaufzeit durch eine neue, größere Anlage ersetzt, handelt es sich um das sogenannte Repowering. Vgl. <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/rueckbau/>.

7 Umweltbundesamt (2020), Windenergieanlagen: Rückbau, Recycling, Repowering, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/windenergieanlagen-rueckbau-recycling-repowering>.

nachfolgenden Positionen „Versicherungen“, „Direktvermarktungskosten“ und „Rückbau“ weisen vergleichsweise geringe Anteile auf.⁷

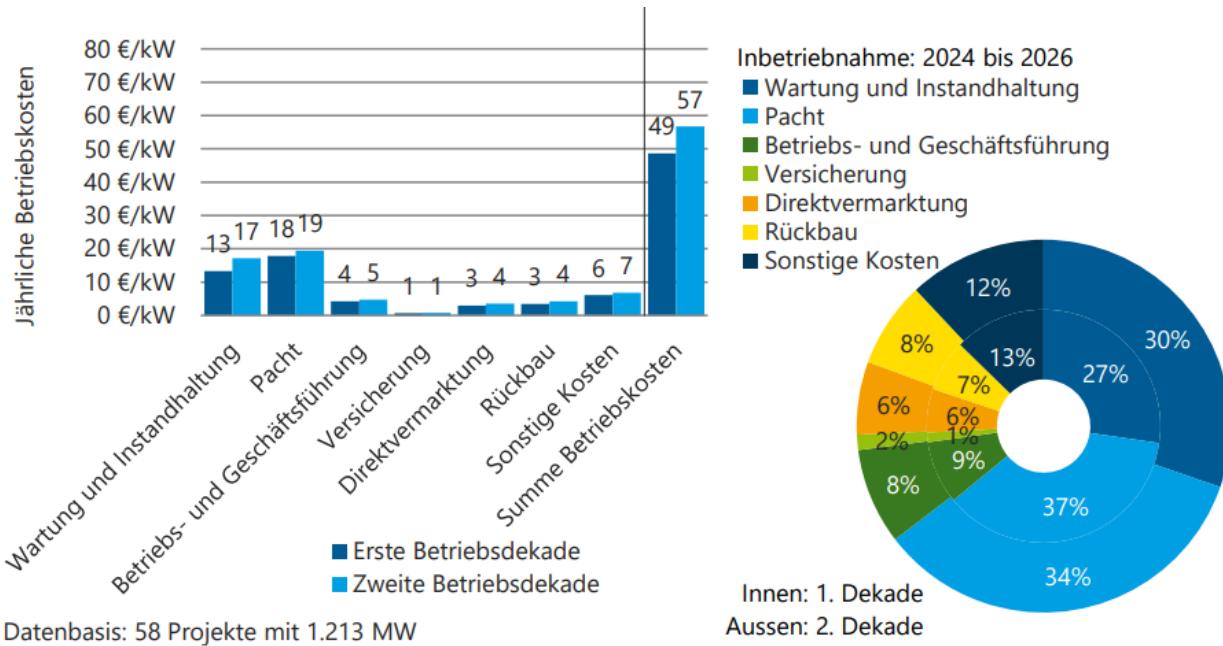


Abbildung 1: Durchschnittliche spezifische Betriebskosten in €/kW sowie durchschnittliche Anteile der Kostenpositionen an den gesamten Betriebskosten nach Dekaden bei (erwarteter) Inbetriebnahme von 2024 bis 2026.⁸

2.1. Rückbaukosten von Onshore-WEA

2.1.1. WindExchange (2022)

Laut WindExchange (2022), einer Internetseite des U.S. Department of Energy, ergaben Überprüfungen von acht Objekten in den Jahren 2019 bis 2021 Rückbaukosten von **114.000 bis 195.000 US-Dollar** pro WEA. Unter Berücksichtigung von Schätzungen für die Verwertung der Anlagenrohstoffe reduzierten sich die Rückbaukosten auf **67.000 bis 150.000 US-Dollar** pro WEA.⁹

2.1.2. Umweltbundesamt (2023)

In Abhängigkeit von der Art der WEA, der eingesetzten Technologie, der Größe und zahlreichen weiteren Faktoren unterschieden sich die Kosten eines Rückbaus erheblich. So liegen die Rückbaukosten laut Abschlussbericht des Umweltbundesamtes (2023) „in einem Bereich zwischen

⁷ In [Deutsche WindGuard, 2024] S. 25f, <https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/eeg-eb-wal-kostensituation-2024.pdf?blob=publicationFile&v=12>.

⁸ Ebd., S. 25.

⁹ U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, WindExchange (2022), Wind Energy End-of-Service Guide, Decommissioning, <https://windexchange.energy.gov/end-of-service-guide>.

4 TEUR [Tsd.EUR] und **515 TEUR**.¹⁰ Die tatsächlichen Rückbaukosten hängen laut Umweltbundesamt (2023) beispielsweise von den verwendeten Komponenten, der Nabenhöhe, dem Turmkonzept, dem Kranmodell, der Art der Demontage, den Entsorgungskosten und auch der Anzahl der rückzubauenden Anlagen ab.¹¹

Das Umweltbundesamt (2023) kategorisierte die Rückbaukosten der WEA nach den **Bruttoleistungsbereichen L1, L2 und L3** in Megawatt (MW) und nach den **Nabenhöhen N1, N2 und N3** in Metern (m) und ermittelte jeweils die folgenden Rückbaukosten. Es handelt sich hierbei um Mittelwerte (siehe Abb. 2 und 3):

Die durchschnittlichen Rückbaukosten für Anlagen in den **Bruttoleistungsbereichen** von 0,8 bis 2,5 MW (L1), von 2,6 bis 4,0 MW (L2) und von 4,1 bis 7,6 MW (L3)¹² mit und ohne Verwertungserlöse werden in der Abbildung 2 in Tausend Euro (TEUR) beziffert. Sie liegen zwischen **87 TEUR** und **305 TEUR**:

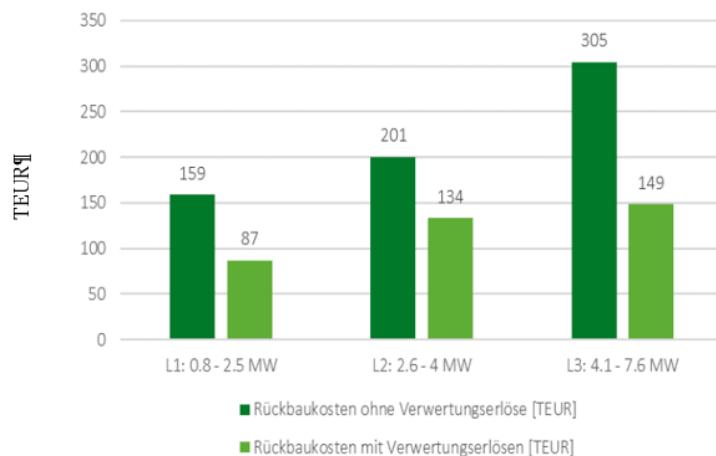


Abbildung 2: Rückbaukosten in den Bruttoleistungsbereichen L1 bis L3.¹³

Dem Umweltbundesamt (2023) zufolge sind die Leistungsklassen L2 und L3 noch vergleichsweise wenig vertreten, wobei neu zu errichtende WEA eher diesen Leistungsklassen zuzurechnen seien.¹⁴

10 [Umweltbundesamt, 2023]: S. 62 in: Otto, S.-J. et al. (2023), Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen zur Sicherung einer guten Praxis bei Rückbau und Recycling von Windenergieanlagen, März 2023; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_48-2023_entwicklung_eines_konzepts_und_massnahmen_zur_sicherung_einer_guten_praxis_be_rueckbau_und_recycling_von_windenergieanlagen.pdf.

11 Ebd., S. 17.

12 Ebd., S. 64.

13 Ebd., S. 65.

14 Ebd., S. 65.

Betrachtet man die Rückbaukosten in Abhängigkeit von der **Nabenhöhe**, ergeben sich laut Umweltbundesamt die in Abbildung 3 dargestellten Kosten. Sie liegen zwischen **47 TEUR und 322 TEUR**:

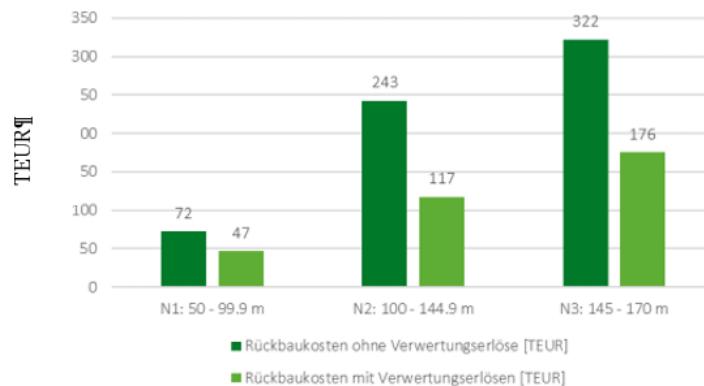


Abbildung 3: Rückbaukosten bei Nabenhöhen N1 bis N3.¹⁵

2.2. Rückbaukosten von Offshore-WEA

Ein Konsortium aus Wissenschaft und Wirtschaft befasste sich in einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderten Verbundvorhaben mit der Entwicklung einer Strategie für den effizienten Rückbau von Offshore-Windparks (OWP), auch als Forschungsprojekt **SeeOff** bezeichnet. Die Ergebnisse wurden im Mai 2022 im „Handbuch zum Rückbau von Offshore-Windparks“¹⁶ veröffentlicht.

Das Handbuch informiert neben den einzelnen Rückbauprozessen auch über die **Netto-Rückbaukosten** von OWP pro Standort und pro MW. Es wurden die Kosten für **zehn Rückbauszenarien** (ein Basisszenario und neun weitere Szenarien) ermittelt und verglichen. In den Nettokosten¹⁷ sind anteilige Rückbaukosten der Innerparkverkabelungen (IAC)¹⁸ und der Offshore-Substation¹⁹ (OSS, auch als Offshore-Umspannwerk bezeichnet) enthalten. Hinsichtlich der Nettokosten des Rückbaus von Offshore-WEA wird im Handbuch auf Folgendes hingewiesen:

„Der Rückbau von OWP und die damit verbundenen Nettokosten sind mit Unsicherheiten und Risiken behaftet. Beispielsweise können die Arbeiten nur unter bestimmten

15 Ebd., S. 67.

16 [SeeOff (2022)], Handbuch zum Rückbau von Offshore-Windparks - Rahmenbedingungen, Technik, Logistik, Prozesse, Szenarien und Nachhaltigkeit, <https://media.suub.uni-bremen.de/entities/publication/8e00ef84-b855-4f73-a8f3-344d64c842ee>, Download starten.

17 Die Nettokosten werden als die Summe aus Kosten (Zahlungsmittelabflüsse aus dem Rückbauprozess) und Erlösen (Zahlungsmittelzuflüsse aus Recycling- oder Wiederverkaufsprozessen) definiert. S. 182 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

18 Zur Innerparkverkabelung (Inter array cable, IAC) siehe ausführlich Seite 16 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

19 Zur Offshore-Substation (OSS) siehe ausführlich Seite 18 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

Wetterbedingungen stattfinden, es gibt eine begrenzte Verfügbarkeit von Spezialschiffen, die mehrere Jahre im Voraus gechartert werden müssen, die Dauer der Schneidtechniken ist aufgrund begrenzter Erfahrung nicht genau vorhersehbar usw.“²⁰

Gemeinsamkeiten und Unterschiede der zehn Rückbauszenarien finden sich in Abbildung 4. Unterschiede zum Basisszenario sind farbig gekennzeichnet. Das Wasserabrasivstrahl-Verfahren (WAS-Verfahren), eine Demontagetechnik, wird in fast allen Szenarien genutzt, mit Ausnahme von S 9, dort wird die Diamantseilsäge genutzt. Die Rückbauverfahren unterscheiden sich unter anderem auch hinsichtlich des WEA-Transports (sog. Feeder- oder Pendelkonzept), des Demontageumfangs von Gründungsstruktur, Kollschutz und Seekabel sowie der Entladung am Hafen:

| Rückbauszenario | | WEA | WEA-Gründungsstrukturen | | | OSS | | Kollschutz | Seekabel |
|-----------------|---|----------------|--------------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | | Transport | Demontage-umfang | Demontage-technik | Transport | Demontage-technik | Entladung am Hafen | Demontage-umfang | Demontage-umfang |
| BS | Basisszenario | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |
| S1 | Feederkonzept: WEA | Feederkon-zept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |
| S2 | Feederkonzept: WEA-Gründungsstrukturen | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Feederko-nzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |
| S3 | Feederkonzept: WEA und WEA-Gründungsstrukturen | Feederkon-zept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Feederko-nzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |
| S4 | Entladung OSS mit SPMT | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Roll-Off mit SPMT | Entfernung | Entfernung |
| S5 | Kollschutz in situ Verbleib | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeres-boden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | In situ Verbleib | Entfernung |
| S6 | Seekabel in situ Verbleib | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | In situ Verbleib |
| S7 | WEA-Gründungsstrukturen: Schnitt über Meeresboden | Pendel-konzept | Schnitt 3 m über Meeresboden | WAS-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | In situ Verbleib | Entfernung |
| S8 | WEA-Gründungsstrukturen: Komplettenfernung | Pendel-konzept | Komplett-entfernung | WAS-/ Vibrations-Verfahren | Pendel-konzept | WAS-Verfahren | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |
| S9 | Gründungsstrukturen: Schnitt mit Diamantseilsäge | Pendel-konzept | Schnitt 1 m unter Meeresboden | Diamant-seilsäge | Pendel-konzept | Diamant-seilsäge | Kran-schiff | Entfernung | Entfernung |

Abbildung 4: Übersicht über die Rückbauszenarien.²¹

Der folgende Tabellenauszug enthält Minimal-(-SD) und Maximalwerte (+SD) sowie **gerundete Mittelwerte in € pro MV** für die Nettokosten der zehn Rückbauverfahren. Das kostspieligste Rückbauverfahren ist rot markiert (S 3) und das günstigste grün (S 7):

20 S. 182 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

21 S. 161 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

| Rückbauszenario | €/MW | | |
|-----------------|---------|------------|---------|
| | - SD | Mittelwert | + SD |
| | BS | 268 987 | 329 756 |
| S1 | 312 637 | 381 240 | 449 842 |
| S2 | 396 649 | 488 310 | 579 971 |
| S3 | 439 707 | 543 393 | 647 080 |
| S4 | 268 690 | 329 395 | 390 100 |
| S5 | 215 793 | 272 233 | 328 674 |
| S6 | 275 780 | 332 331 | 388 882 |
| S7 | 188 158 | 241 505 | 294 851 |
| S8 | 287 478 | 373 054 | 458 629 |
| S9 | 268 987 | 329 756 | 390 524 |

Tabelle 1: Tabellausschnitt.²²

Abkürzungen: BS Basisszenario, S 1 Feederkonzept²³: WEA, S 2 Feederkonzept: WEA-Gründungsstrukturen, S 3 Feederkonzept: WEA und WEA-Gründungsstrukturen, S 4 Entladung OSS mit SPMT, S 5 Kollschutz in situ Verbleib, S 6 Seekabel in situ Verbleib, S 7 WEA-Gründungsstrukturen: Schnitt über dem Meeresboden, S 8 WEA-Gründungsstrukturen: Komplettentfernung, S 9 Gründungsstrukturen: Schnitt mit Diamantsäge.

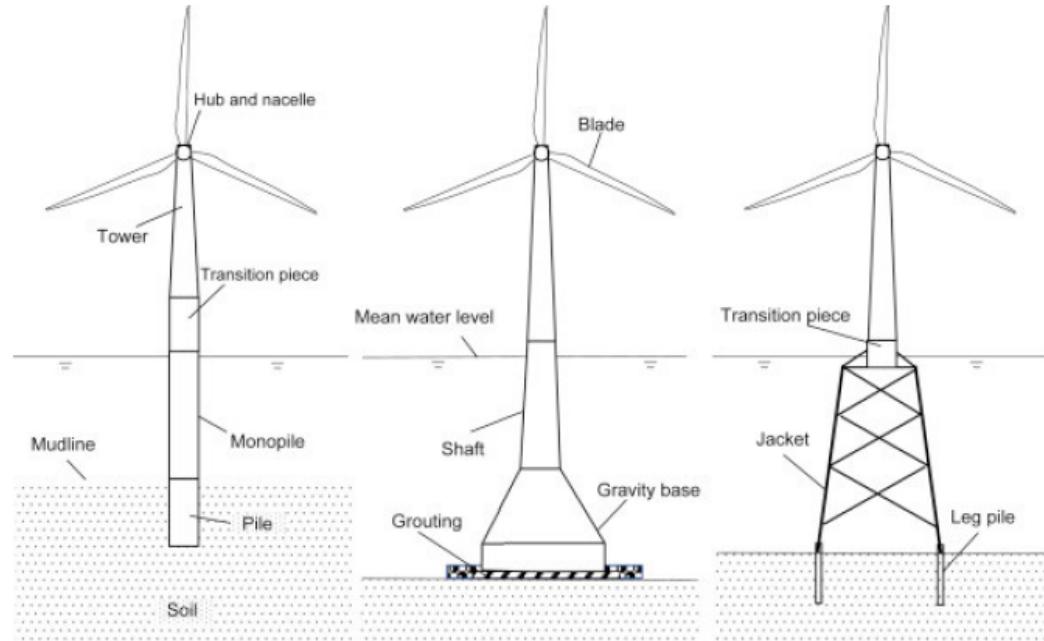
2.2.1. Gründungsstrukturen

Die Gründungsstruktur einer Windkraftanlage ist das Fundament, das die Anlage trägt und die Kräfte vom Turm auf den Boden ableitet. Bei Windkraftanlagen an Land (Onshore) ist dies zu meist ein Fundament aus Stahl und Beton, während bei Offshore-Anlagen die Gründungsstruktur je nach Wassertiefe und Bodenbeschaffenheit unterschiedlich ausfallen kann.

Die abgebildeten Offshore-Gründungsstrukturen veranschaulichen drei Typen, die unterschiedliche technologische Verfahren und Umfänge des Rückbaus erfordern (von links Monopile, Schwergewichtsfundament und Jacket):

22 S. 222 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

23 Feederkonzepte: „Als Logistikalternative für den Rückbau der WEA wird der Einsatz von Feederschiffen, hier Deck Carriern, betrachtet. Hierbei werden die Komponenten für den Transport zum Hafen auf diese sog. Feeder [kleinere Containerschiffe] geladen und das Errichterschiff verbleibt im OWP (erforderlich wg. Anforderungen an Kranhöhe und -kapazität). Der Umladevorgang vom Errichter- zum Deck Carrier, also von einer fixen auf eine schwimmende Einheit, schränkt die Arbeitszeiten aufgrund der operativen Wetter- und Wellenlimits gegenüber dem Basisszenario ein.“, S. 118 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

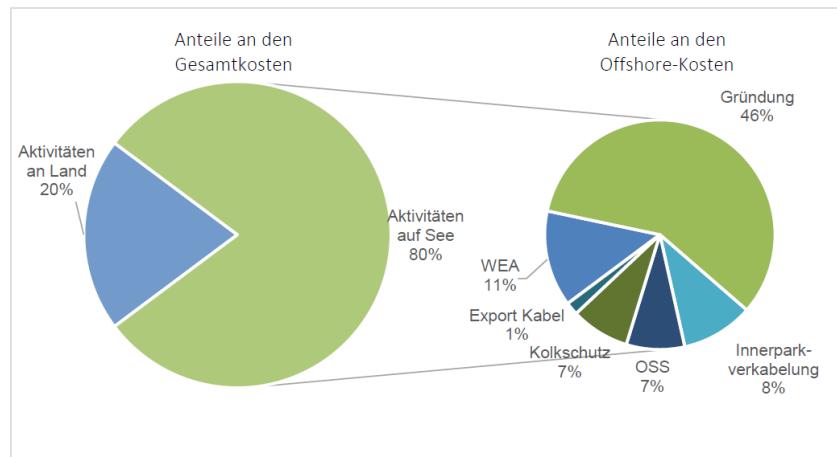
Abbildung 5: Unterschiedliche Gründungsstrukturen.²⁴

Im Handbuch zum Rückbau von Offshore-Windparks heißt es, anders als beim Rückbau einer Windenergieanlage (Turm, Gondel etc.) lägen für den Rückbau der Gründungsstrukturen kaum übertragbare Erfahrungen vor. Zwar seien bereits einige Offshore-Strukturen, z. B. der Öl- und Gasindustrie oder ältere WEA, zurückgebaut worden, jedoch seien die hierbei gesammelten Erfahrungen aufgrund abweichender Dimensionen, Strukturen und Gewichte nur bedingt auf den Rückbau von WEA-Gründungsstrukturen zu übertragen.²⁵

Für die Rückbauaktivitäten auf See beläuft sich der erwartete Kostenanteil im Basisszenario auf 80 Prozent. Davon entfallen 46 Prozent auf den Rückbau der Gründungsstruktur, wie in Abbildung 6 dargestellt:

²⁴ S. 11 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

²⁵ S. 121 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

Abbildung 6: Erwartete Kostenanteile bei Rückbau im Basisszenario.²⁶

Kosten und Dauer des **Fundamentrückbaus** pro Standort veranschaulicht Tabelle 2. „Die **teuerste Rückbautechnik** für die **Fundamente** ist die in S 9 verwendete **Diamantseilsäge**. Die erwarteten Kosten für die Beseitigung der Fundamente mit der Diamantseilsäge belaufen sich auf **1 242 T€ pro Lokation**, während sich die erwarteten Kosten für den gleichen Prozess im **Basisszenario**, bei dem das WAS-Verfahren^[27] eingesetzt wird, auf **760 T€ pro Standort** belaufen.“²⁸

| | BS | S7 | S8 | S9 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|
| Kosten [T€] | | | | |
| Mittelwert | 760 | 640 | 1 006 | 1 242 |
| Standardabweichung | 133 | 124 | 229 | 134 |
| Minimum | 220 | 116 | 269 | 578 |
| Maximum | 1 432 | 1 364 | 2 104 | 1 891 |
| Dauern [Tage] | | | | |
| Minimum | 2,9 | 3,1 | 2,3 | 4,1 |
| Median | 4,1 | 4,3 | 4,0 | 4,7 |
| Maximum | 5,3 | 5,6 | 5,7 | 5,3 |

Tabelle 2: Kosten und Dauer des Fundamentrückbaus in den verschiedenen Rückbauszenarien.²⁹

26 S. 187 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

27 „Das WAS-Verfahren kann zum Trennen von harten und hochfesten Werkstoffen eingesetzt werden. So ist es möglich unter anderem Metalle (Stahl, Titan, Aluminium), aber auch Keramik oder Beton zu schneiden [...]. Eingesetzt werden kann das Verfahren sowohl in der Luft als auch unter Wasser. Beim Schneiden unter Wasser wird der Schneidstrahl durch das Wasser abgebremst, sodass längere Schnittzeiten als bei „Trockenschnitten“ die Folge sind. Beim OWP-Rückbau kann das Verfahren beim Schneiden der Gründungsstrukturen eingesetzt werden, insbesondere dem Pfahl als Teil der Gründungsstruktur der WEA als auch der Pfähle zur Verankerung der Jacket-Struktur.“, S. 88 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

28 S. 188 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

29 S. 188 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

Abkürzungen: BS Basisszenario; S 7 WEA-Gründungsstrukturen: Schnitt über dem Meeresboden; S 8 WEA-Gründungsstrukturen: Komplettenfernung; S 9 Gründungsstrukturen: Schnitt mit Diamantseilsäge.

2.2.2. Schiffslogistik

Der Kostenanteil der Schiffslogistik beim Rückbau von Offshore-WEA ist „immens“.³⁰ Laut Handbuch zum Rückbau von Offshore-Windparks dauert das Shuttle-Konzept für die WEA „zwischen 12 und 16 Wochen, das Feederkonzept zwischen 11 und 20 Wochen. [...] Vier weitere Offshore-Wochen würden allein für die wichtigsten Schiffe rund 7 Mio. € kosten.“³¹ Laut Handbuch sei es noch fraglich, ob die Wiederverwendung der häufig speziell angefertigten Hebeworkzeuge und sonstigen Werkzeuge aus der Installationsphase für den Rückbau genutzt und damit Kosten eingespart werden könnten.³²

30 S. 250 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

31 S. 187 des Handbuchs [SeeOff (2022)].

32 S. 250 des Handbuchs [SeeOff (2022)].