



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften

Windenergie - Faszination und Herausforderung

Prof. Dr.-Ing. Mareike Collmann

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften
– Hochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
Herbert-Meyer-Straße 7 · 29556 Suderburg
Bau-Wasser-Boden

Übersicht

- Herausforderung
 - Energiewende – Aktueller Stand
- Herausforderung und Faszination
 - Im Fokus – Die Tragstruktur
- Faszination
 - Forschungsfragen und Großprüftechnik
 - Projekt 1: Suction-Bucket
 - Projekt 2: Geschweißte Rohrknoten



Energiewende in Deutschland

Ausgangssituation

Windenergie ist Rückgrat der Energiewende

- Erzeugte Nettostromenergie **2024**
(Gesamt: 438 TWh)
 - Onshore: 112.777 GWh (25,9 %) von 28.766 Anlagen
 - Offshore: 26.082 GWh (6,0 %) von 1.639 Anlagen
- Volllaststunden pro Jahr (max. 8760 h)
 - Onshore: 1.600 bis 2.200 Stunden
 - Offshore: 4.000 bis 5.000 Stunden



Energiewende in Deutschland

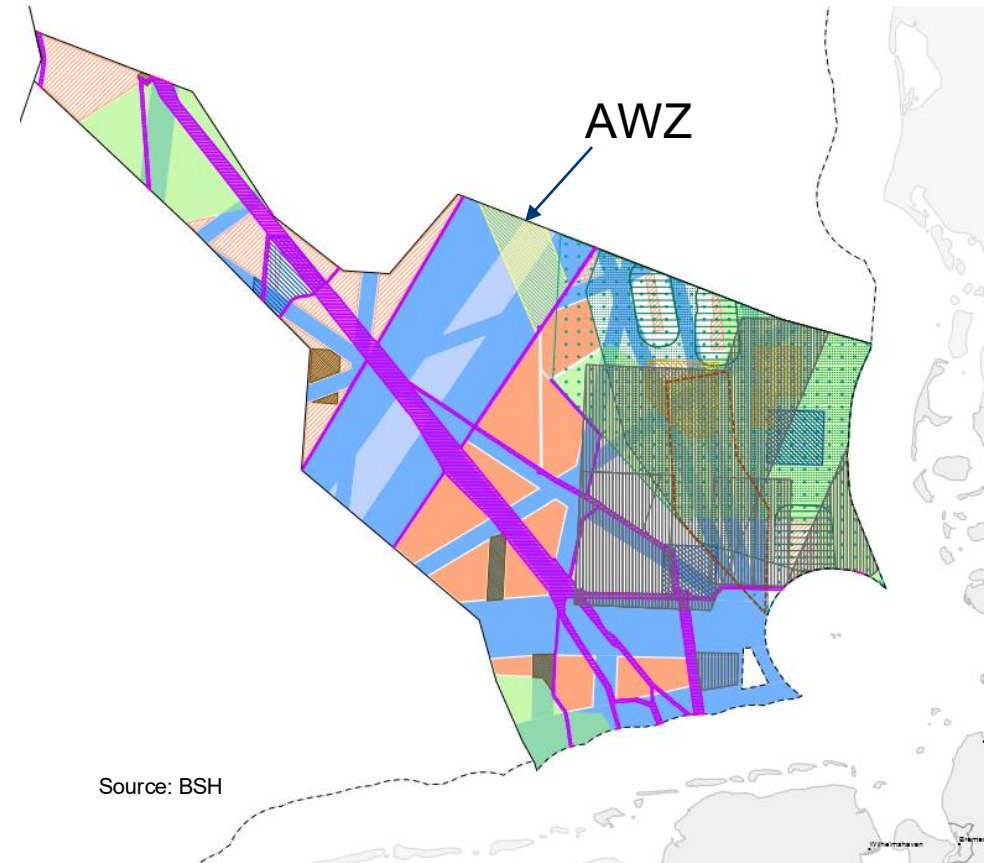
Ziele



Europäischer Green Deal

- Windenergie wird bis 2030 in der EU einen Anteil von etwa 40 % haben
- 70 GW aus Offshore-Wind in Deutschland bis 2045
- Ausbauschwerpunkt Nordsee

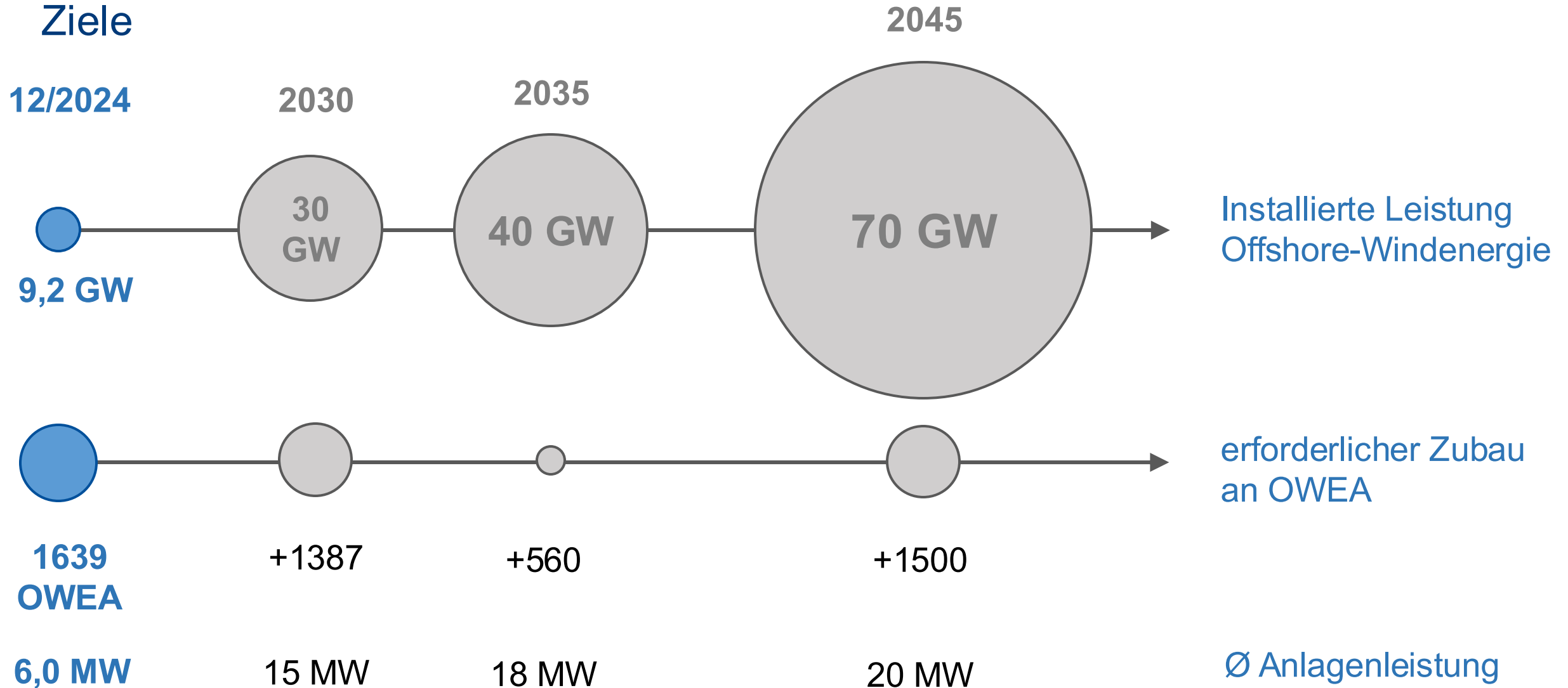
Windenergie
Schiffsverkehr
Naturschutz
Kabel und Pipeline



Raumplanung innerhalb der AWZ der Nordsee

Energiewende in Deutschland

Ziele



Energiewende in Deutschland

Herausforderungen

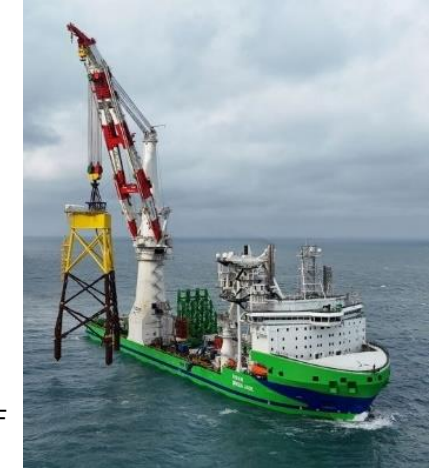
- Skalierung erfordert Anstrengungen in allen Bereichen
 - Auslegung
 - Herstellung
 - Installation
 - Wartung und Inspektion
 - Rückbau



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



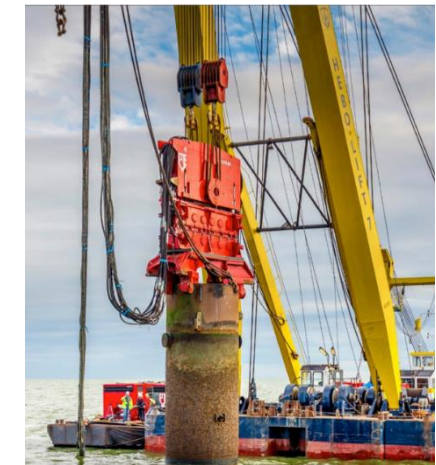
Source: SIF



Source: CDE



Source: svz



Source: diesekogroup

Energiewende in Deutschland

Herausforderungen

- Effizienzsteigerung, um die Stromgestehungskosten zu senken
- beinhaltet auch Kosten für Aufbau, Betrieb und Wartung der Anlagen
- Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit auch bei kurzen Produktzyklen
- Verringerung des Einflusses durch Windenergieanlagen als technische Anlagen auf Mensch und Umwelt



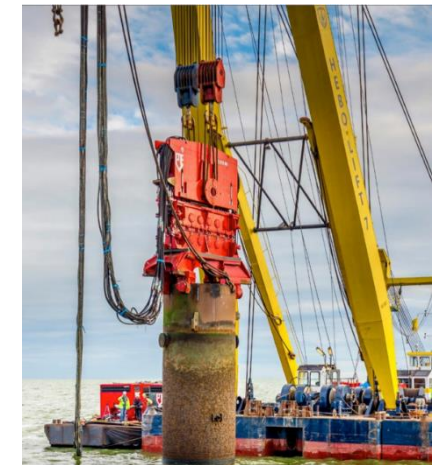
Source: SIF



Source: CDE



Source: svz



Source: diesekogroup

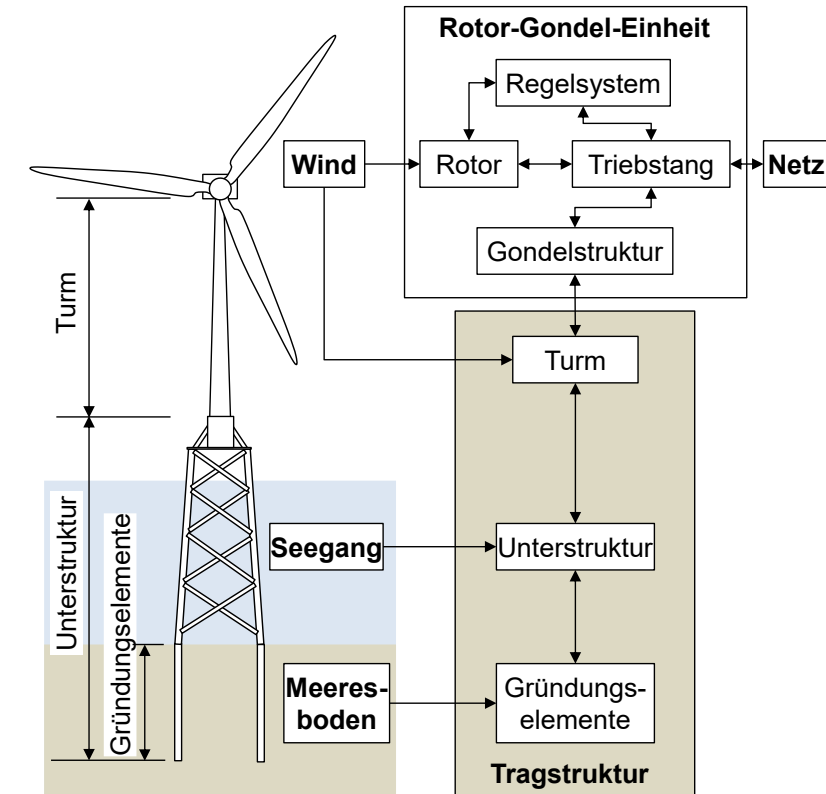
Tragstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen

Definition

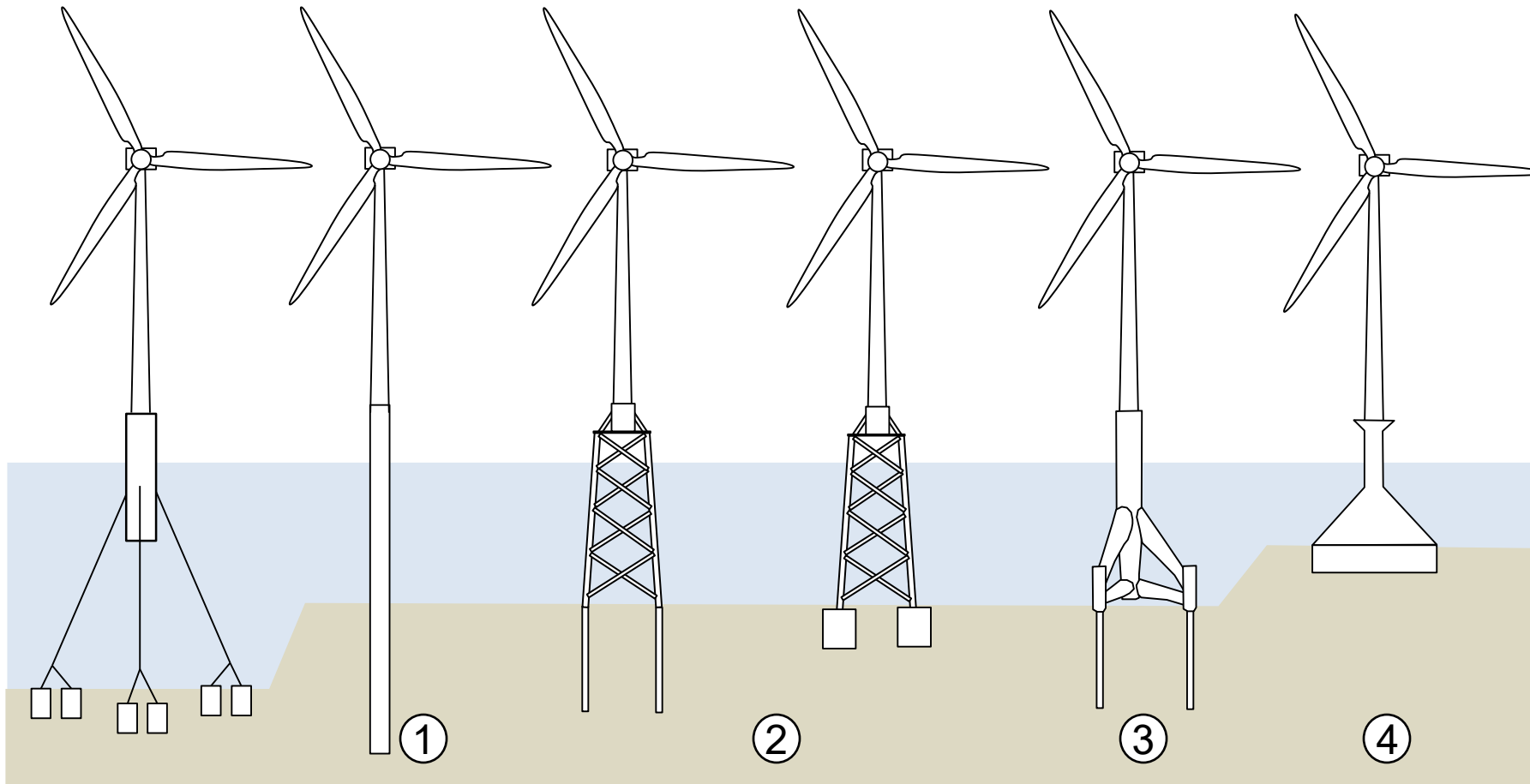


EnBW Baltic I

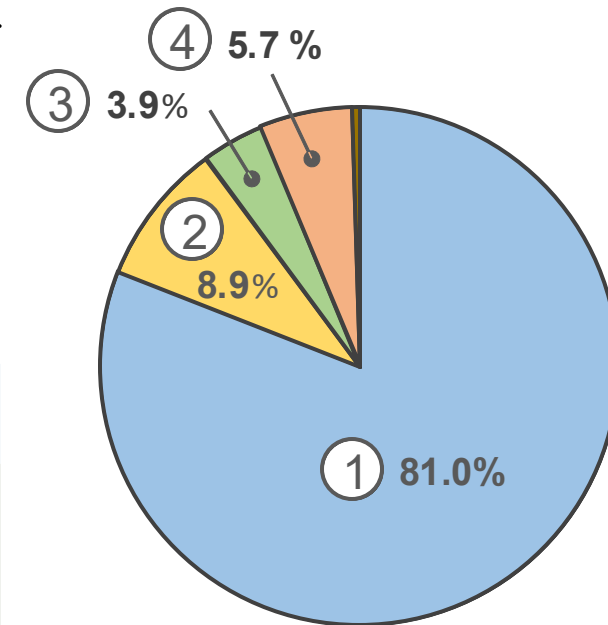
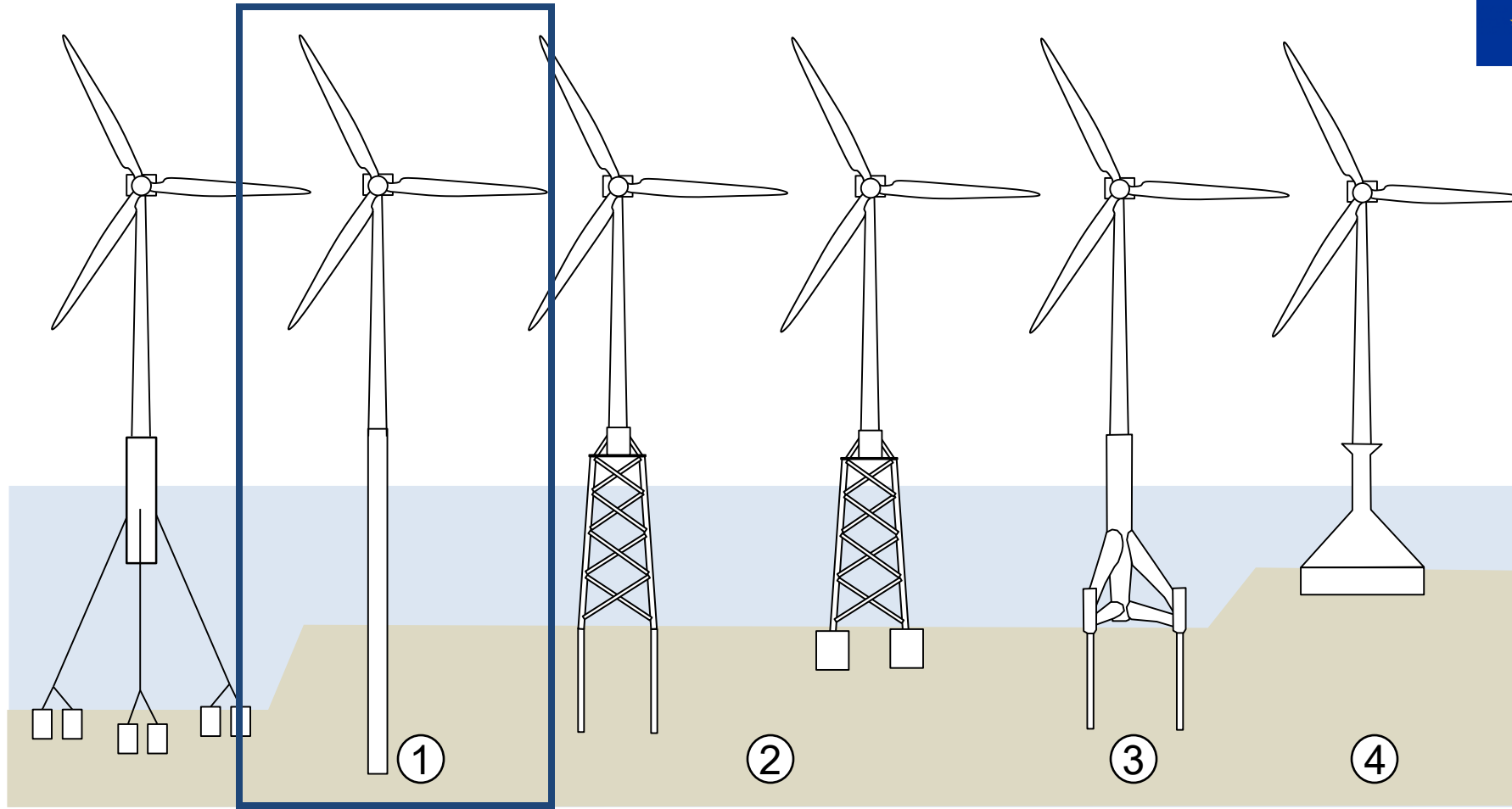
© EnBW



Tragstruktur Varianten



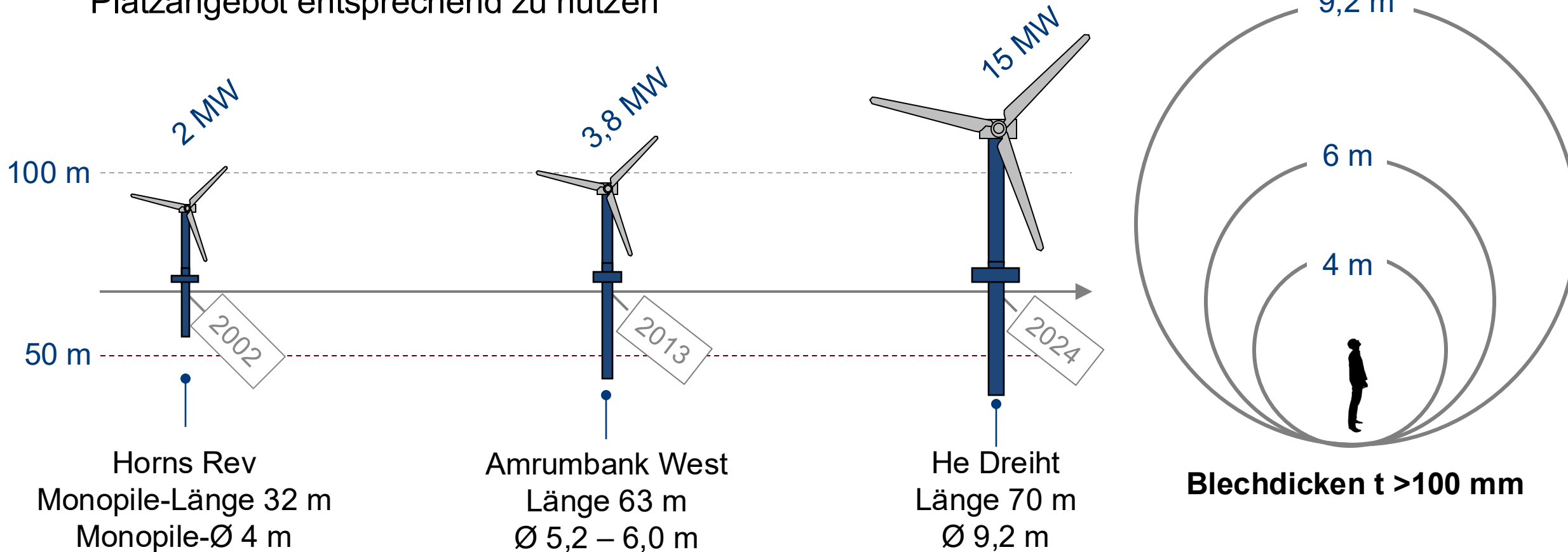
Tragstruktur Varianten



Quelle: WindEurope, 2019

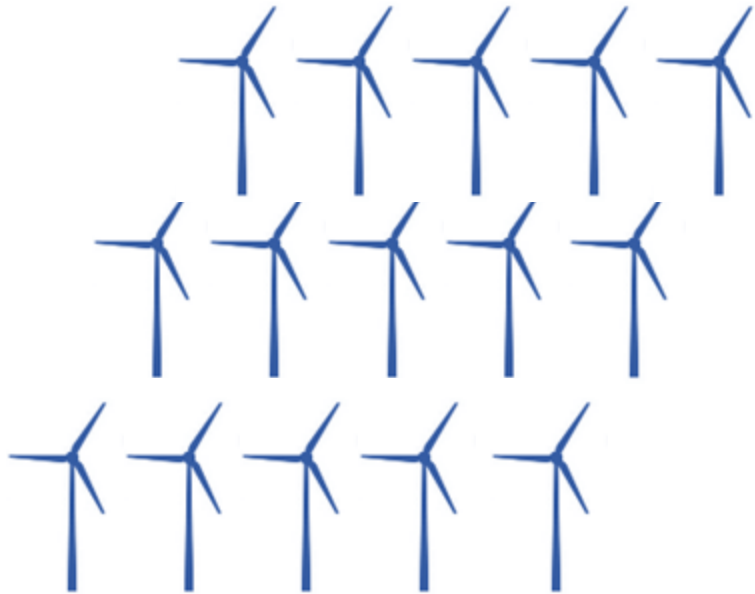
Tragstruktur Gigantismus

- Anlagen müssen größer werden, um begrenztes Platzangebot entsprechend zu nutzen

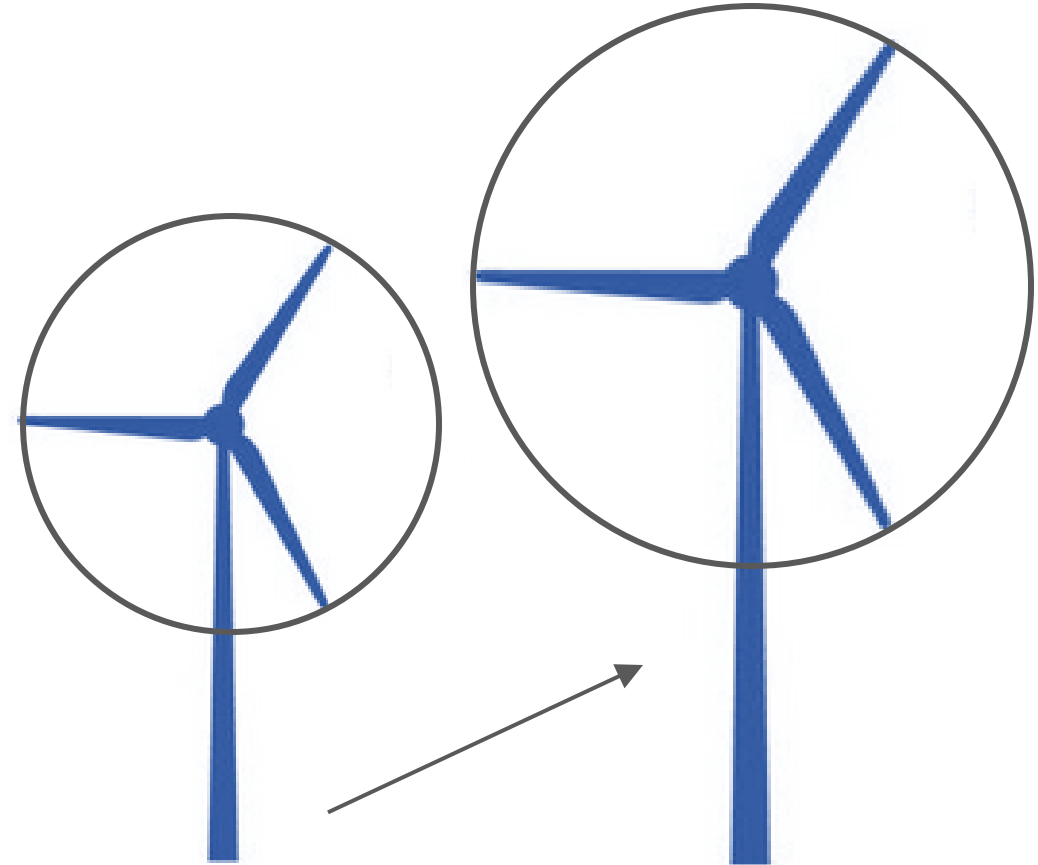


Tragstruktur

Herausforderungen – Auf den Punkt



Vom Unikat zum Serienprodukt



Immer größer

Tragstruktur Forschung



**Willkommen im
Testzentrum
Tragstrukturen
Hannover!**



**Grundbauversuchsgrube –
„Mini“-Nordsee**



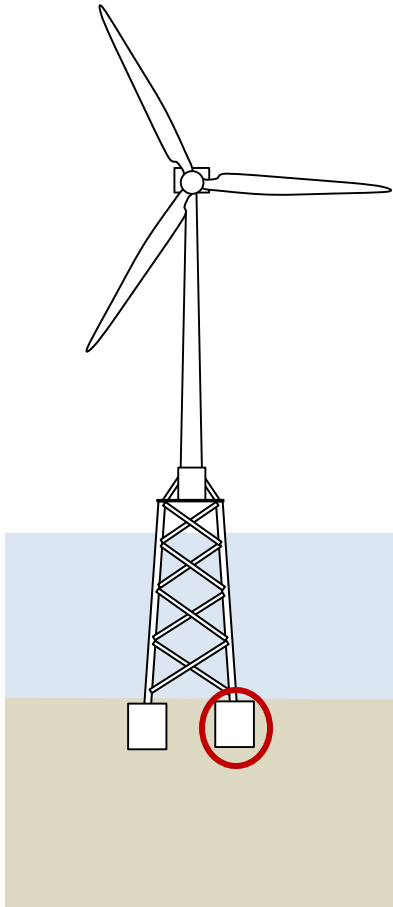
**3D-Spannfeld –
Flexibel, schnell und sicher
aufspannen**

Aktuelle Forschung im TTH

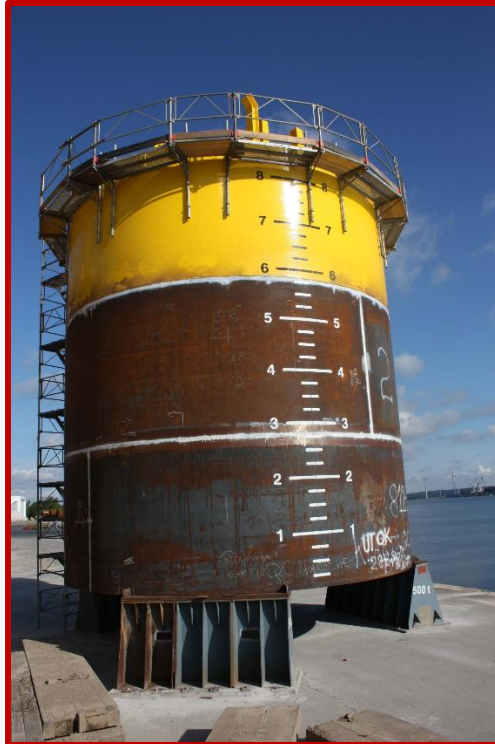
ProBucket - Bucket-Fundamente für Offshore-Windenergieanlagen



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



Source: Bladt Industries



Borkum Riffgrund 1, 2014



Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

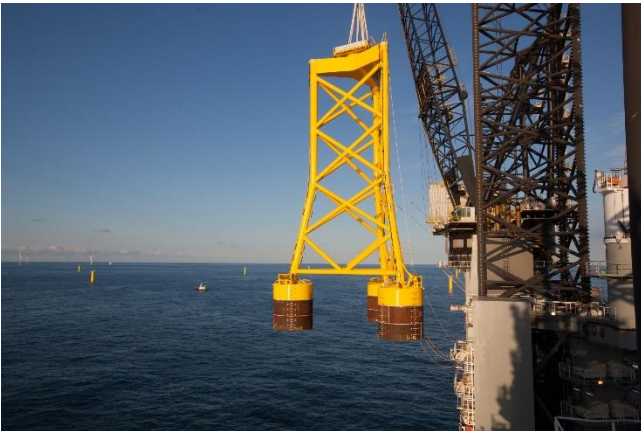


ProBucket

Vorteile einer Bucket-Gründung

- Installation ohne Lärm
- gleichzeitige Installation von Gründungselement und Tragstruktur
- Einbindelänge eines Buckets zwischen 15 und 25 % einer konventionellen Pfahlgründung
- einfacher Rückbau

Source: Ørsted



Borkum Riffgrund 1, 2014

Source: SPT Offshore



Aberdeen Offshore Wind Farm, 2018

Source: Matthias Ibeler, Ørsted



Borkum Riffgrund 2, 2018

ProBucket

Ausgangssituation

State of the Art

Source: Ørsted



Aberdeen (2018)

- Aberdeen Offshore Wind Farm
11 8,8-MW-turbines (2018)
- Borkum Riffgrund 2
20 8-MW-turbines (2018)
- Seagreen Offshore Wind Farm
114 10-MW-turbines (2023)

Herausforderung

Source: LeBlanc (2009)



Wilhelmshaven (2005)

- Bewertung des Beulrisikos
- Bemessung unter transienter und zyklischer Belastung
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit



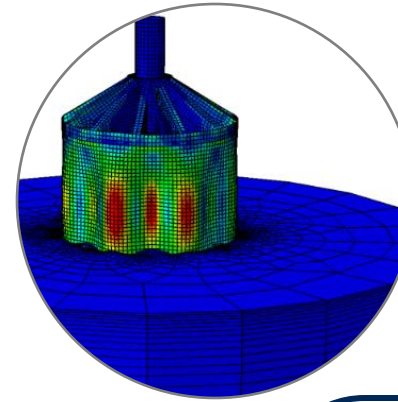
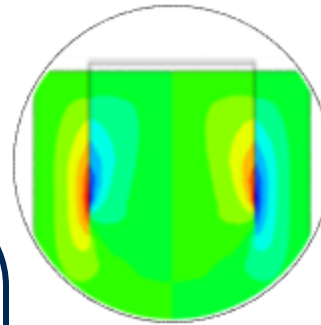
Hannover (2018)

- Vortests 2018
- Formieren des Projektkonsortiums 2018
- Start des Projektes im September 2020
- Abschluss des Projektes im August 2024

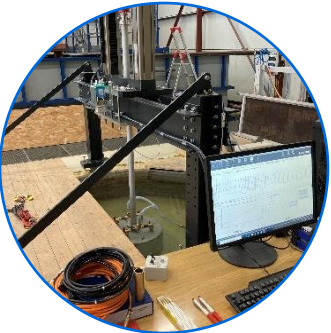
ProBucket

Projektstruktur

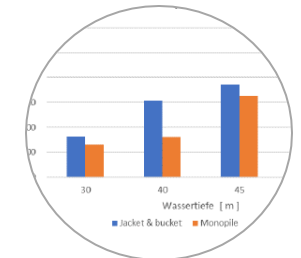
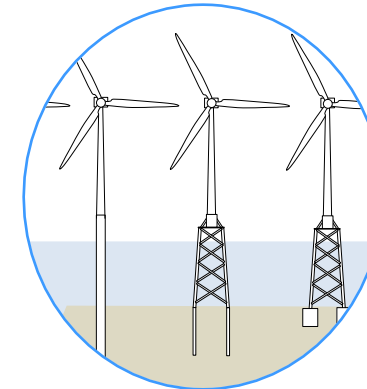
Numerische Modellierung



Klein- und großskalige Versuche



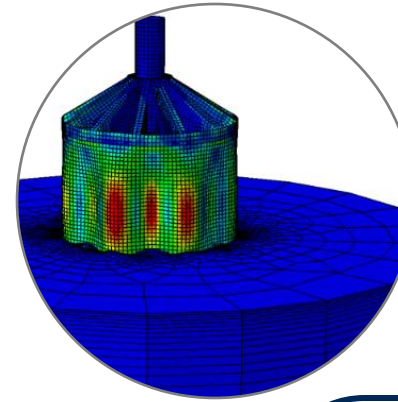
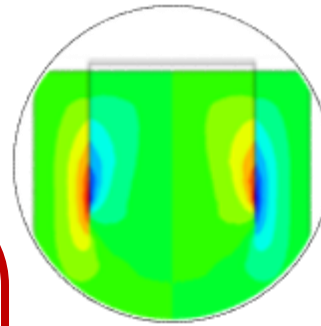
Bewertung des Designs und Wirtschaftlichkeit



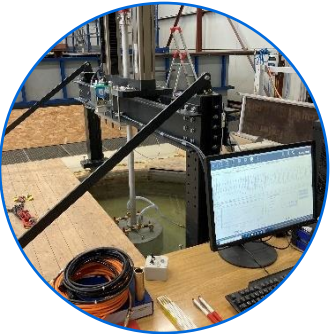
ProBucket

Projektstruktur

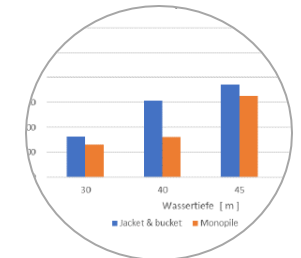
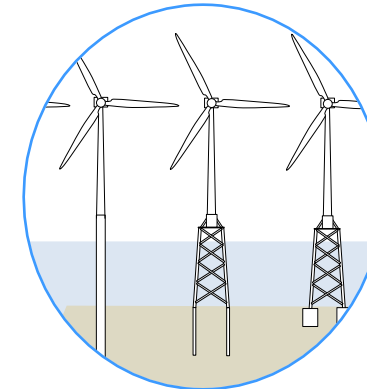
Numerische Modellierung



Klein- und großskalige Versuche



Bewertung des Designs und Wirtschaftlichkeit



ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)



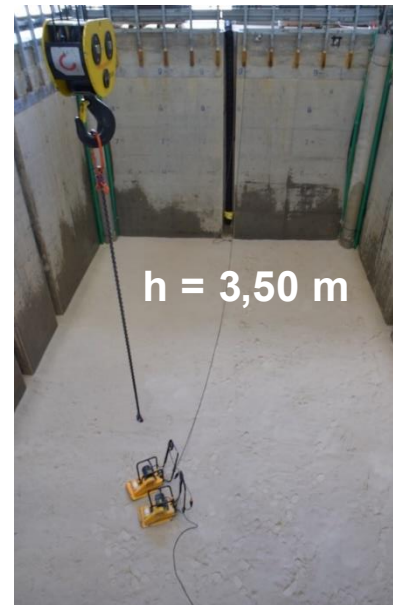
Grundbauversuchsgrube des TTH

ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)



Einbaufortschritt

ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)

Randbedingungen

- enggestufter Mittelsand, wassergesättigte Bedingungen mit mittlerer bis dichter Lagerungsdichte
- Installation mittels Unterdruck



**Probeinstallation eines Modellbuckets
(D1600 mm und L1420 mm) im
Februar 2022**

ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)

Randbedingungen

- enggestufter Mittelsand, wassergesättigte Bedingungen mit mittlerer bis dichter Lagerungsdichte
- Installation mittels Unterdruck

Versuchskörper

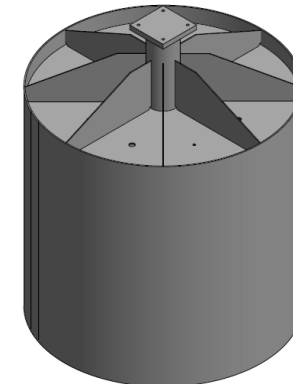
- unterschiedliche Skalierung
- Installation und Belastungsprogramm



D1600 mm



D2400 mm



ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)

Randbedingungen

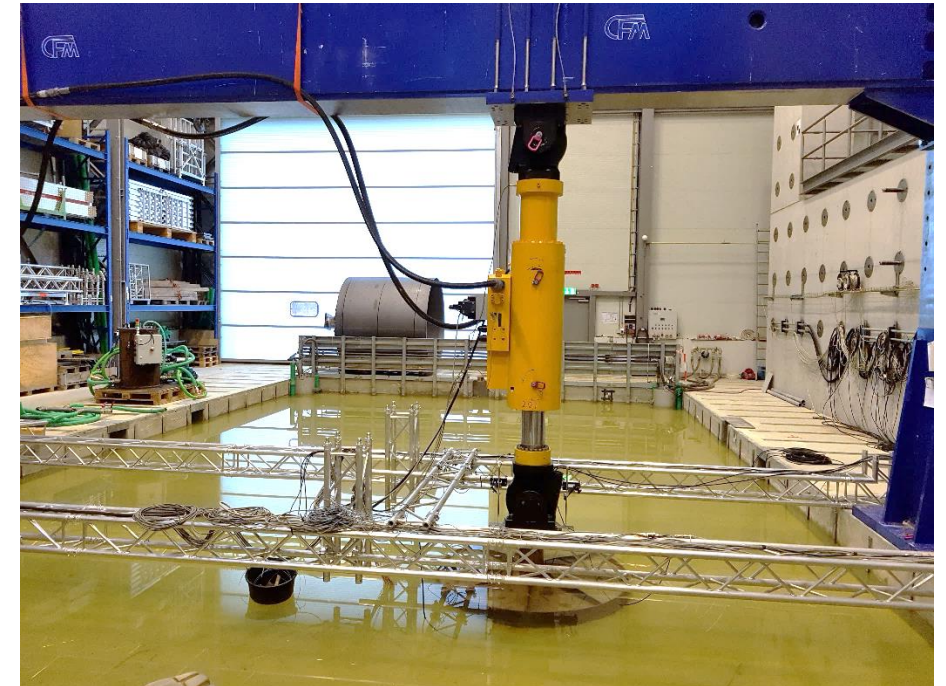
- enggestufter Mittelsand, wassergesättigte Bedingungen mit mittlerer bis dichter Lagerungsdichte
- Installation mittels Unterdruck

Versuchskörper

- unterschiedliche Skalierung
- Installation und Belastungsprogramm

Belastung

- zyklische Belastung –
variierende Lastniveaus im Druck- und Zugbereich



Standort 2 mit 1-MN-Zylinder

ProBucket

Geotechnische Versuche

Versuchsgrube

- Abmessungen
14 m x 9 m x 10 m (L x B x T)

Randbedingungen

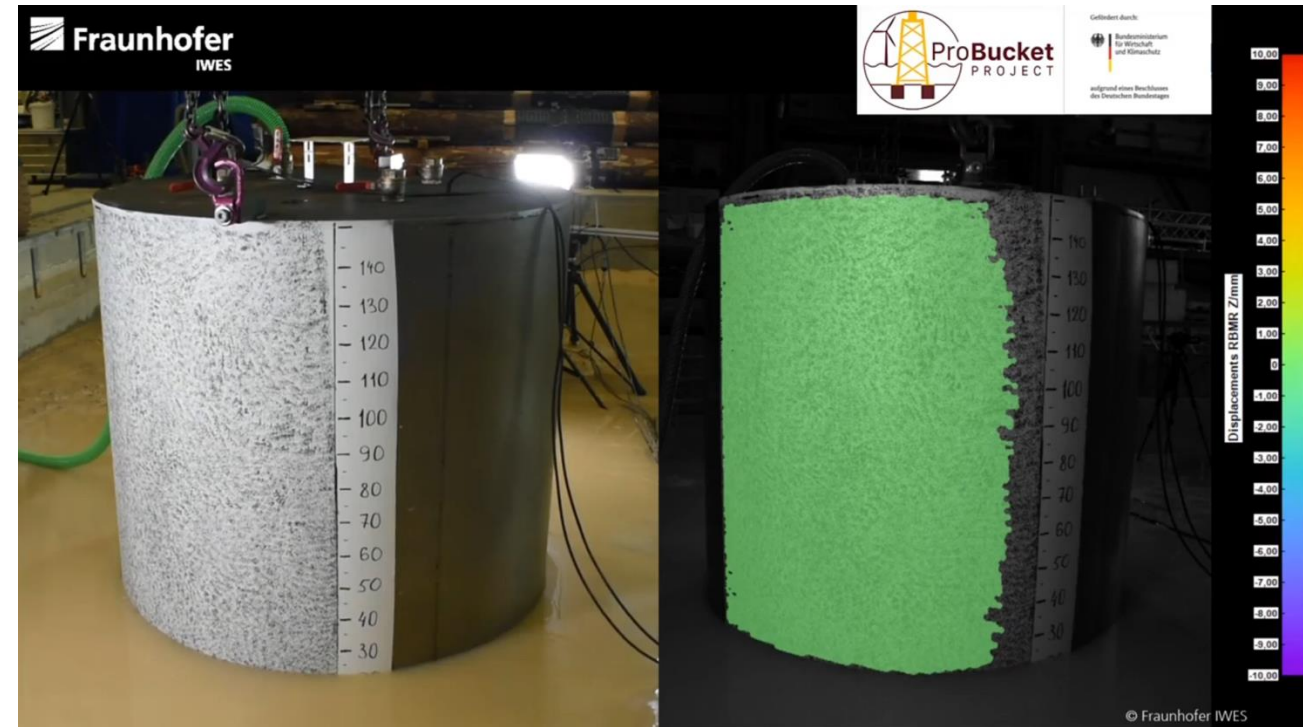
- enggestufter Mittelsand, wassergesättigte Bedingungen mit mittlerer bis dichter Lagerungsdichte
- Installation mittels Unterdruck

Versuchskörper

- unterschiedliche Skalierung
- Installation und Belastungsprogramm

Belastung

- zyklische Belastung –
variierende Lastniveaus im Druck- und Zugbereich



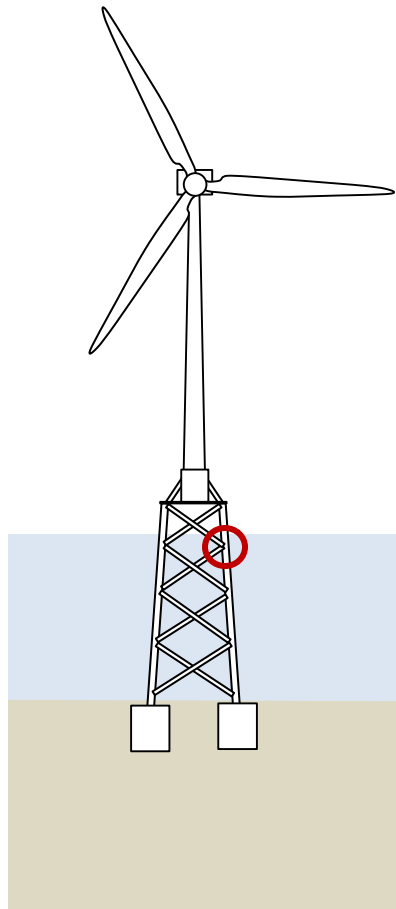
Installationsversuch mit Bucket mit D1500 mm x T1 mm

- Erweiterung der Datenbasis für die Bemessung im Übergangsbereich, u. a. mit Berücksichtigung des Unterdrucks
- Untersuchung unterschiedlicher Installationsvarianten und deren Auswirkung auf das Tragverhalten
- umfassende Untersuchung der Traglasten mit erstmaligem Traglastversuch unter realen Randbedingungen am Ende der Installation
- neue Bewertung der Tragfähigkeit

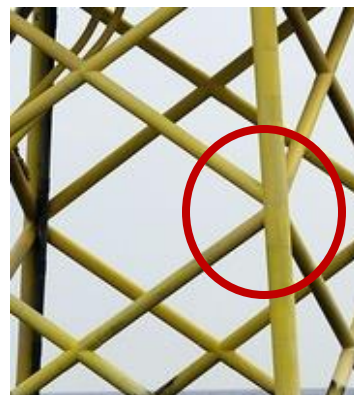
Veröffentlichung der Abschlussberichte
im Sommer 2025

Aktuelle Forschung im TTH

SmartWeld - Innovatives Design- und Fertigungskonzept zur Steigerung der Leichtbaupotenziale im Stahlbau



Source: DOTI 2010 / alpha ventus



SmartWeld

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag



SmartWeld

Projektziele

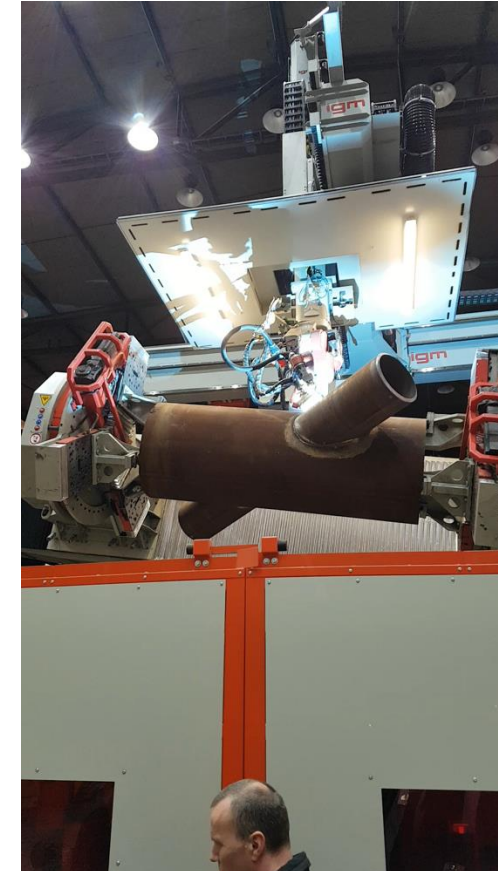
- Automatisierte Fertigung von Jacket-Tragstrukturen durch automatisiertes Schweißen der Rohrknöten
- Digitalisierung der kompletten Prozesskette von der Fertigung bis hin zum Design
- Steigerung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber Monopile-Tragstrukturen
- Durchführung einer umfangreichen Schwingversuchsserie mit einem Vergleich automatisierter vs. manuell geschweißter Knöten

SmartWeld

Projektziele



manuell



SmartWeld

Projektziele



manuell



automatisiert

zwei zusätzliche
Lagen für einen
sehr flachen
Nahtübergang



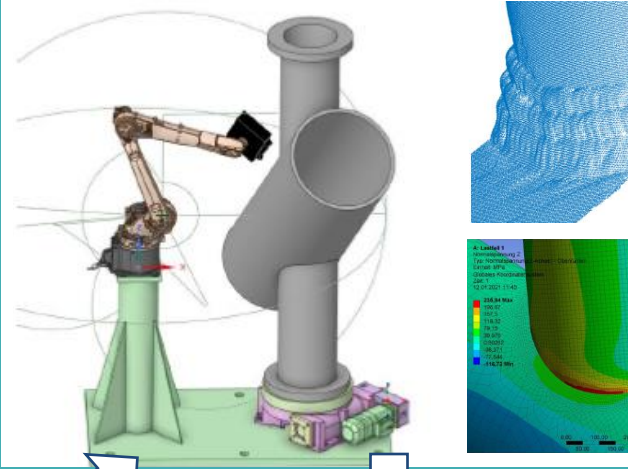
SmartWeld

Projektstruktur

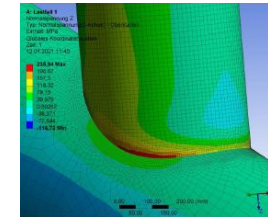


Messzelle zur
automatisierten Vermessung

 **Fraunhofer**
IWES



© IWES/ V. Widersapn



TTH:
Schwingprüfung



N_{prog}

Evaluierung

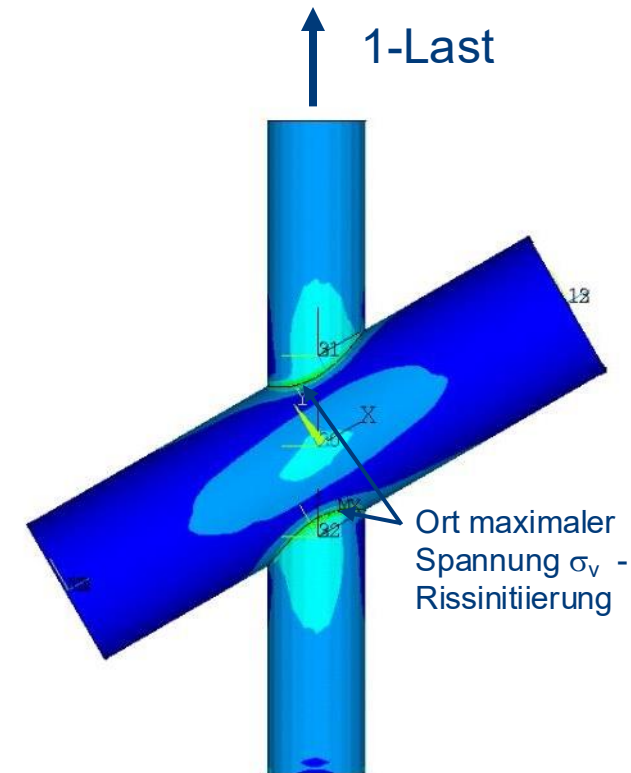
N_{test}

SmartWeld

Schwingversuche



Schwingversuch
Sinusförmige, konstante Belastung im
Zugschwellbereich mit $f = 1,5 \text{ Hz}$



Vergleichs-
spannung σ_v



SmartWeld

Schwingversuche

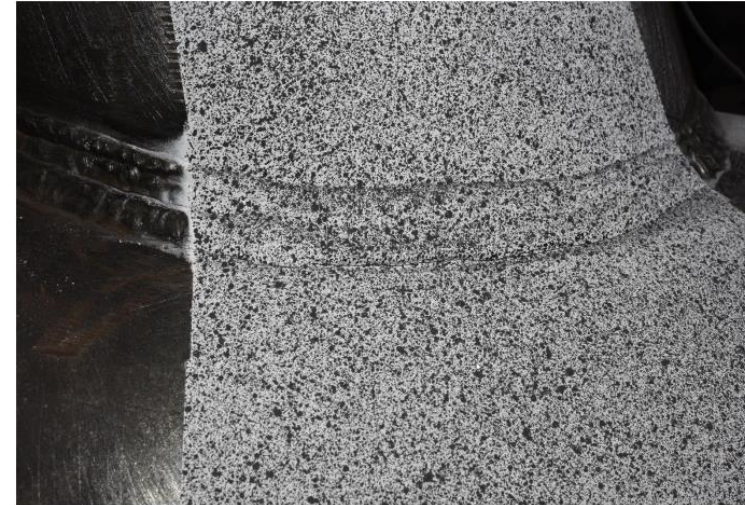
Versuch 2: manuell geschweißt
sinusförmig, $f = 1,5 \text{ Hz}$
 $F_o = 870 \text{ kN}$
 $F_u = 70 \text{ kN}$



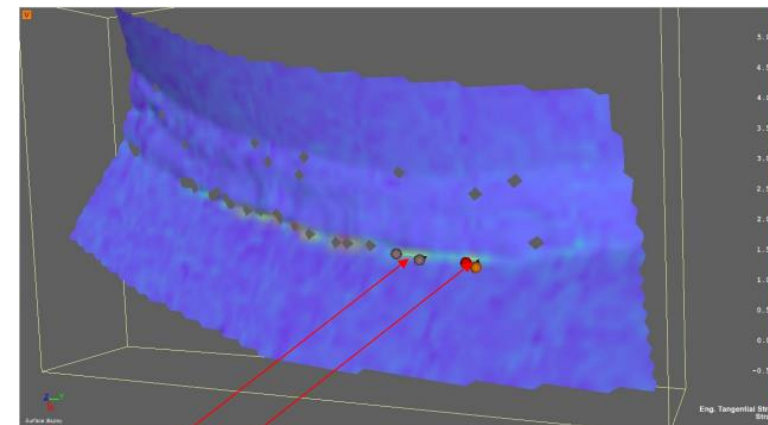
Beispielhafte Versuchsergebnisse
Versuchsende Durchriss auf der
Gurtinnenseite nach etwa 490.000 Zyklen



Ostfalia
Hochschule für angewandte
Wissenschaften



Anrissdetektion am Nahtübergang
Nach etwa 117.000 Zyklen



**Anrissdetektion am
Nahtübergang**
Nach etwa 117.000
Zyklen

SmartWeld

Zwischenstand

- Automatisierte Fertigung der Knoten ist abgeschlossen
- Schwingprüfungen laufen, Prüf- und Messkonzept funktioniert
- Abschluss der Untersuchungen im Frühjahr 2026

Zusammenfassung

- Stichwort Herausforderung
 - Stand der Energiewende
 - Tragstrukturen für Windenergieanlagen
- Stichwort Faszination
 - Forschungsfragen und Großprüftechnik
 - Projekt 1: Suction-Bucket
 - Projekt 2: Geschweißte Rohrknoten





Vielen Dank für Ihr Interesse!
Fragen?