

Digitale Modellierungsprozesse in der wiederkehrenden
Prüfung von Windenergieanlagen
DiMoWind-Inspect

Schlussbericht für das Teilvorhaben

Offshore-Applikation

Förderkennzeichen: 03EE3039D

Dr. Holger Huhn

Andreas Küchler

Bremerhaven 2025

WindMW Service GmbH
Schleusenstraße 12
27568 Bremerhaven
Tel: +49 471 309303-0

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Schlussbericht

Verbundprojekt: Digitale Modellierungsprozesse in der wiederkehrenden Prüfung von Windenergieanlagen – DiMoWind-Inspect

Teilvorhaben: Offshore-Applikation

Förderkennzeichen: 03EE3039D

Laufzeit: 01.02.2021 bis 30.09.2024

Ausführende Stelle: WindMW Service GmbH
Schleusenstraße 12, 27568 Bremerhaven

Projektleiter: Dr.-Ing. Holger Huhn (holger.huhn@windmw.de)

Berichtersteller: Dr.-Ing. Holger Huhn, Dipl.-Ing. Andreas Küchler

Am Verbundprojekt beteiligte Partner mit Teilvorhaben:

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Fachbereich 7.2 Ingenieurbau, Berlin

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Professur für Brücken- und Ingenieurbau, Dresden

Ingenieurbüro Jörss – Blunck – Ordemann GmbH (JBO), Hamburg

MR Chemie GmbH, Unna

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EE3039D und unter der Trägerschaft des Projektträgers Jülich gefördert. Die Verantwortung für die Inhalte des Abschlussberichts liegt bei den jeweils genannten Autoren.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erklärung
AP	Arbeitspaket
AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
B	Betriebssicherheit
BIM	Building Information Modeling
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
CDE	Common Data Environment
CLS	Crack Luminescence
CMS	Condition Monitoring System
D	Dauerhaftigkeit
DK	Dringlichkeitsklasse
FCM	Foundation Condition Monitoring
FZK	Förderkennzeichen
GVB	Gesamtvorhabenbeschreibung
GS	GreenGate-Softwarelösungen (Instandhaltungssoftware)
GS-M	GS-Manager
IFC	Industry Foundation Classes
MP	Monopile
OWP	Offshore Windpark
RDS-PP	Reference Designation System for Power Plants
RGB	Rotor-Gondel-Baugruppe
S	Standicherheit
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SHM	Structural Health Monitoring
TP	Transition Piece
TVB	Teilvorhabenbeschreibung
ULS	Ultimate Limit State
VA	Verfahrensanweisung
VGB	Technischer Verband der Energieanlagen-Betreiber
WEA	Windenergieanlage
WKP	Wiederkehrende Prüfung
WMW	WindMW Service GmbH
WP	Windpark

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Das abgeschlossene Teilvorhaben **Offshore-Applikation** war Teil des Verbundvorhabens **DiMoWind-Inspect** in dessen Schwerpunkt das Bestreben stand, das Bauwerksmanagement der Assets zu digitalisieren und mit einem prädiktivem Instandhaltungskonzept zu verknüpfen.

Der Schlüssel zu einem effizienten Betrieb und einer nachhaltigen Instandhaltung der Anlagen in Offshore-Windparks liegt im Umgang mit den vorhandenen Bauwerksinformationen aus Design, Fertigung und Betrieb. Bisher werden im Regelfall die Bauwerksinformationen aktuell nicht systematisch erfasst, verknüpft und umfassend automatisiert ausgewertet. Es fehlt an anwendungsreifen Konzepten, um eine ausreichende Qualität der Daten sicherzustellen. Eine Standardisierung im Umgang mit Daten aus der Wiederkehrenden Prüfung (WKP), deren Klassifizierung, Referenzierung und systematische Bewertung gehört zu den großen zukünftigen Aufgaben zur Validierung der Standsicherheit und der verbleibenden Betriebszeit.

Zur Systematisierung und automatisierten Weiterverarbeitung von Inspektionsergebnissen wurden Verfahren entwickelt, mit denen Befunde am Bauwerk direkt erfasst, in einer Datenbank gespeichert sowie bewertet werden. Die hieraus gewonnenen Informationen dienen als Basis einer fortwährenden Anpassung der Planung zukünftiger Inspektionen sowie der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und ggf. erforderlicher Instandsetzungen.

Die wesentliche Aufgabenstellung im Teilvorhaben **Offshore-Applikation** konzentrierte sich auf folgende fachlichen Untersuchungsschwerpunkte und Entwicklungsziele:

- Formulierung einer eindeutigen Befundbeschreibung für Schäden an Offshore-Bauwerken als Basis für eine automatisierbare Datenauswertung von Schadensbefunden
- Entwicklung eines Demonstrators zur Historienanalyse und Maßnahmenverfolgung von Schäden
- Entwicklung einer Offshore-Applikation zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß Referenzkennzeichnungssystem
- Etablierung eines Kennzeichensystems für Inspektionsbefunde
- Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks
- Entwicklung eines Demonstrators für Kostenanalysen in der Betriebssoftware

Innerhalb des Forschungsvorhabens hat WindMW Service GmbH mehrere Offshore-Einsätze im Offshore-Windpark Meerwind Süd|Ost durchgeführt, um die entwickelten Methoden in der Offshore-Applikation zu testen und zu validieren. Anhand der hieraus resultierenden Ergebnisse wurden Weiterentwicklungen durchgeführt, um die Methoden der Bewertung der Inspektionsbefunde weiter zu verbessern.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die WindMW Service GmbH ist als Betreibergesellschaft für den effizienten Betrieb des Offshore-Windparks Meerwind Süd|Ost verantwortlich, der seit dem Jahr 2014 mit einer Gesamtleistung von 288 MW in das Stromnetz einspeist und somit einen Beitrag zur nachhaltigen, ökologischen Energiegewinnung leistet. Der Windpark mit insgesamt 80 Windenergieanlagen mit einer Leistung von je 3,6 MW befindet sich ca. 23 km nördlich der Insel Helgoland in der Nordsee. Die für die Durchführung des Betriebs notwendige Servicestation befindet sich ebenfalls auf Helgoland, die Leitwarte zur Steuerung und Überwachung des Windparks in Bremerhaven.

Seit der Inbetriebnahme des Windparks baut die WindMW Service GmbH ihre Kompetenz in der Betriebsführung sowie bei der Durchführung von Inspektionen und wiederkehrenden Prüfungen aus. Hierzu gehören sowohl die technische als auch wirtschaftliche Weiterentwicklung.

Die WindMW Service GmbH verfügt als Windparkbetreiber über umfangreiche Betriebsdaten aus Inspektionen und wiederkehrenden Prüfungen. Die Praxiserfahrungen und Daten aus der Durchführung der WKP-Kampagnen fließen in das Projekt ein und stellen auf dieser Basis eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung einer katalogisierten Beschreibung und automatisierten Bewertung der Befunde innerhalb des Forschungsvorhabens dar.

Die Kombination der Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft war eine wesentliche Voraussetzung für eine praxisgerechte Entwicklung mit späterer Verwertung. Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich alle Partner im Konsortium in idealer Weise ergänzt haben, um das Projekt zu einem Erfolg zu führen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Teilvorhaben Offshore-Applikation war ursprünglich für die Dauer von drei Jahren geplant. Im Projektverlauf traten einige deutliche Verzögerungen auf, die durch nicht beeinflussbare äußere Umstände zu begründen sind. Zum einen wurde das Projekt in seiner zeitlichen Ausführung von der Covid-19 Pandemie getroffen und zum anderen gab es Auswirkungen und Folgen, die auf die Ukraine-Krise zurückzuführen sind. Die nachfolgend aufgeführten Effekte traten in erster Linie bei den Projektpartnern auf, in deren Teilvorhaben experimentelle Untersuchungen durchgeführt wurden:

- Verzögerter Beginn der experimentellen Untersuchungen als Folge der Pandemie.
- Störungen der Lieferketten für Materialien und Komponenten.
- Starke Preisentwicklung beim Stahlpreis.
- Verzögerungen durch eine verspätete Einstellung von Personal.

Die aufgeführten kritischen Verzögerungen führten in einzelnen Teilprojekten zu Beeinflussungen von bis zu 8 Monaten. Da die Arbeiten aufeinander aufbauen, hatten die Verzögerungen in den Teilarbeitspaketen große Auswirkungen auf das Gesamtprojekt. Es wurde eine entsprechende kostenneutrale Verlängerung notwendig, um das Projekt erfolgreich unter Berücksichtigung der Erreichung aller Projektziele zu Ende zu führen und erfolgreich abzuschließen.

In **DiMoWind-Inspect** gab es mehrere Arbeitsgruppen, die sich jeweils bezogen auf die Arbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen abgestimmt haben. Nachfolgend sind die Arbeitspakete des Gesamtvorhabens zur Übersicht aufgelistet.

- AP1: Projektkoordination
- AP2: Datenmanagement
- AP3: Referenzkennzeichnungssystem
- AP4: Grundlagen Schadensbewertung
- AP5: Zweistufiges. Bewertungskonzept Restnutzungsdauer
- AP6: Risikobasierte Inspektions- und Instandhaltungsplanung
- AP7: Schadensdetektion mittels Risslumineszenz
- AP8: BIM- bzw. CDE-basierten Software

Für die WindMW Service GmbH lag der Fokus der Arbeiten auf den Arbeitspaketen AP2, AP3 und AP6. Am Arbeitspaket AP5 war WindMW Service GmbH nicht beteiligt.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde, insbesondere

- **Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

Bezogen auf das Verbundvorhaben sind für die Arbeiten von WindMW Service insbesondere die Themengebiete „*Datenmanagement und Referenzkennzeichnung*“, „*Bestehende Normengrundlage*“ und „*Risikobasierte Inspektions- und Instandhaltungsplanung*“ relevant.

Bezüglich *Datenmanagement und Referenzkennzeichnung* wurde vom technischen Verband der Energieanlagen-Betreiber (VGB) die Richtlinie zur Kennzeichnung von Windkraftwerken mit dem Reference Designation System for Power Plants (RDS-PP) erarbeitet und im Jahr 2014 veröffentlicht. Aufgrund dessen, dass die Entwicklung der Windenergie in den letzten Jahren sehr dynamisch vorangeschritten ist, die Erstellung der Richtlinie aber sehr zeitaufwändig und langwierig war, hat die Richtlinie in der Praxis des Windparkbetrieb bisher kaum die nötige Akzeptanz und Anwendung erlangt. Viele Betreiber haben in der Anfangsphase der Windenergie in Ermangelung einer Richtlinie eigene Methoden und Verfahren zur Kennzeichnung entwickelt oder gänzlich darauf verzichtet. Erst mit Erscheinen der Richtlinie war es möglich diese entsprechend umzusetzen. Aber auch hier zeigten sich schnell die Grenzen in der Anwendung, da mit der Richtlinien nicht alle Komponenten und Bauteile einer Windkraftanlage erfasst werden konnten. Somit war es erforderlich, jeweils spezifisch für das vorhandene Bauwerk die Kennzeichnung anzupassen oder individuell fortzuschreiben, womit eine branchenübergreifenden Vereinheitlichung wieder verloren ging. Offshore-Bauwerke wie die Umspannstation eines Windparks können mit RDS-PP nur rudimentär erfasst werden. Eine Kennzeichnung von Inspektionsbefunden, wie sie hier im Projekt entwickelt wurde, ist bisher nicht existent.

Grundlage für den Bau und Betrieb eines Offshore-Windparks ist der BSH-Standard Konstruktion. *Bestehende Normengrundlage* ist in Deutschland ergänzend hierzu die Normenreihe DIN EN 18088 zur Bemessung von Onshore- und Offshore-Gründungen von Windenergieanlagen, die sich in der Erarbeitung befindet.

Im BSH-Standard Konstruktion ist ebenfalls dargelegt, dass der Zustand der Offshore-Bauwerke in der Betriebsphase durch wiederkehrende Prüfungen zu überwachen ist, um die Betriebserlaubnis aufrecht zu erhalten. Grundsätzlich gibt der BSH-Standard auch den Umfang der WKPs vor, wobei es jedoch keine Regelungen zur Bewertung von Befunden in Bezug auf die strukturelle Integrität gibt. Hier ist jeder Betreiber gefordert ein eigenes Konzept zu entwickeln und mit den jeweiligen Prüfbeauftragten zur Erlangung des vom BSH geforderten Projektzertifikates bzw. zum Nachweis der Konformität abzustimmen. Aus diesem Grund ist die im Verbundvorhaben vorgesehene Entwicklung von Konzepten und deren Umsetzung zur eindeutigen Beschreibung von Befunden, deren Bewertung und eindeutigen Zuordnung zu Bauteilen zur Rückverfolgbarkeit durch die Prüfbeauftragten und Genehmigungsbehörden ein unumgänglicher Baustein bei der Entwicklung von digitalen Modellierungsprozessen in der wiederkehrenden Prüfung.

Eine *Risikobasierte Inspektions- und Instandhaltungsplanung* findet derzeit in Offshore-Windparks noch keine Anwendung. Das Thema wurde zwar in verschiedenen Branchenforen diskutiert, findet aber seitens der Prüfbeauftragten und Behörden bisher keine Akzeptanz. Das Verbundvorhaben soll daher vorhandene Wissenslücken schließen und durch die Entwicklung von anwendungsnahen Konzepten den Nutzen für Betreiber und Genehmigungsbehörden aufzeigen.

Auf bestehende Patente oder Schutzrechte wurde bei der Durchführung des Vorhabens nicht zurückgegriffen.

- **Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Im Teilvorhaben **Offshore-Applikation** wurde Fachliteratur verwendet, welche nachfolgend exemplarisch für die relevanten Aspekte aufgeführt ist:

- BSH Standard Konstruktion, Mindestanforderungen an die konstruktive Ausführung von Offshore-Bauwerken in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), 2021.
- DIN 18088-1:2019-01, Tragstrukturen für Windenergieanlagen und Plattformen – Teil 1: Grundlagen und Einwirkungen, Deutsches Institut für Normung (DIN), 2019.
- VDI 6200:2010-02, Standsicherheit von Bauwerken - Regelmäßige Überprüfung, VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, 2010.
- DIN 1076:1999-11, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung, Deutsches Institut für Normung (DIN), 1999.
- DB Richtlinie 805, Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken, DB Netz AG, 2012.
- P. Thoft-Christensen and J. D. Sørensen, "Optimal strategy for inspection and repair of structural systems," Civil Engineering Systems, vol. 4, pp. 94-100, 1987.
- VDI 4551:2018-10, Strukturüberwachung und -beurteilung von Windenergieanlagen und Offshorestationen, VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, 2018.
- VDI (2020): Strukturüberwachung und -beurteilung von Windenergieanlagen und Offshorestationen, VDI 4551:2020-01.
- DIN ISO/TS 81346-10:2016, Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 10: Kraftwerke, Deutsches Institut für Normung (DIN), 2016.

- DIN ISO 16079-1, Zustandsüberwachung und -diagnostik von Windenergieanlagen– Teil1: Allgemeine Leitlinien (ISO 16079-1:2017).
- BAW-Merkblatt, Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV), Ausgabe 2018.
- VV-WSV 2101, Bauwerksinspektion, Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, 2022.

In der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurde ebenfalls Fachliteratur zu speziellen Fachthemen ausgetauscht.

Als Informations- und Dokumentationsdienste wurden Internetplattformen wie z.B. ResearchGate oder die Technische Informationsbibliothek (TIB) der Leibniz Universität Hannover benutzt.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Das Verbundvorhaben wurde vom FB 7.2 der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) koordiniert. Es erfolgte ein regelmäßiger Austausch über den Stand der Arbeiten in Arbeitstreffen und Workshops mit den Verbundpartnern.

Für eine zielgerichtete Bearbeitung wurden für das Teilvorhaben **Offshore-Applikation** weitere Industriepartner sowie Experten in das Projekt eingebunden.

Die WindMW Service GmbH setzt als Betriebssoftware GS-Service von der GreenGate AG für den Windpark Meerwind Süd|Ost ein. Im Rahmen des Projektes wurden Methoden zur Optimierung der Prozesse zur Digitalisierung der wiederkehrenden Prüfung und der Instandhaltungsplanung entwickelt. Für die Adaption der Prozesse in GS-Service zur Evaluation der Methoden wurden Dienstleistungen von GreenGate als Softwarehersteller benötigt. Die prototypische Demonstration bezog sich auf die Modellierung von Schadensbeschreibungen und deren Klassifizierung sowie der Entwicklung eines darauf angepassten Instandhaltungskonzeptes.

Die ITH Engineers GmbH begleitet als Bauwerksprüfer und Prüfsachverständiger verschiedene Windparks bei der Durchführung von wiederkehrenden Prüfungen. Mit der Einbindung von ITH flossen jahrelangen Erfahrungen aus dem Offshore-Windsektor bei der Beschreibung und Bewertung von Befunden in das Projekt ein. Die Schwerpunkte der Dienstleistungen lagen auf der Unterstützung bei der Entwicklung von Prozeduren und Inspektionschecklisten zur Datenerhebung an Offshore-Bauwerken, der Formulierung von Befundbeschreibungen für Schäden sowie der Entwicklung eines digitalen Inspektionsprotokolls zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß RDS-PP.

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Das abgeschlossene Teilvorhaben **Offshore-Applikation** war Teil des Verbundvorhabens **DiMoWind-Inspect**. Die Motivation des Verbundvorhabens hatte folgenden Hintergrund:

Derzeit ist es gängige Praxis, die Anlagen in Offshore-Windparks in kurzen, starren Abständen zu inspizieren und ihren Zustand anhand der erfassten Daten „händisch“ zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten. In der Regel wird eine solche wiederkehrende Prüfung an jedem Bauwerk im Abstand von vier Jahren durchgeführt. Dem gegenüber steht das Bestreben, das Bauwerksmanagement zu digitalisieren und mit einem Predictive Maintenance Konzept zu verknüpfen (siehe Abbildung 1). Der Schlüssel zu einem effizienten Betrieb und einer nachhaltigen Instandhaltung der Anlagen in Offshore-Windparks liegt im Umgang mit den vorhandenen WKP-Daten. Im Regelfall werden diese nicht systematisch erfasst, verknüpft und umfassend automatisiert ausgewertet. Es fehlt an anwendungsreifen Konzepten, um eine ausreichende Qualität der Daten sicherzustellen. Eine Standardisierung im Umgang mit WKP-Daten, deren Klassifizierung, Referenzierung und systematische Bewertung, gehört zu den großen zukünftigen Aufgaben.

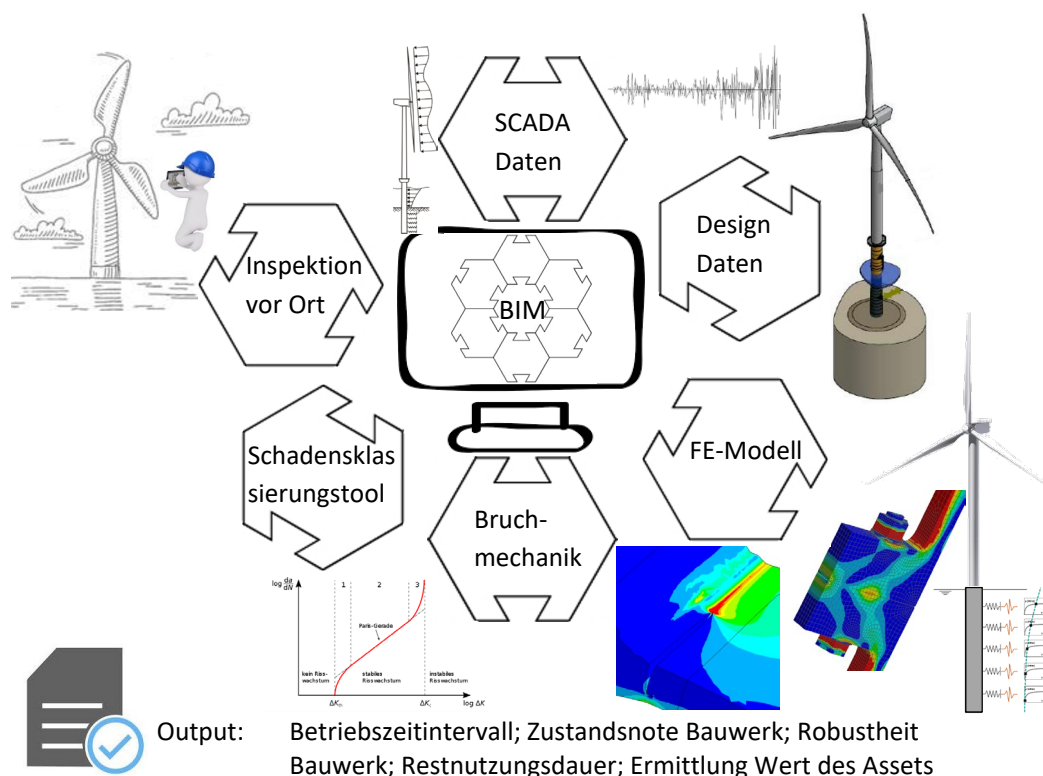


Abbildung 1: Zusammenwirken der unterschiedlichen Elemente im Rahmen einer digitalisierten Instandhaltungsstrategie mithilfe des Building Information Modell (BIM)

Zur Realisierung eines wirtschaftlich optimalen Betriebs von OWEA bedarf es der Anwendung intelligenter Konzepte für ein digitales Bauwerksmanagement. Diese sehen nicht nur die automatisierte Erfassung des baulichen Zustandes vor, sondern gleichfalls dessen risikobasierte Bewertung sowie sich daraus ableitende Maßnahmen der prädiktiven Instandhaltung.

Als Gesamtziel des Verbundvorhabens sollten alle dafür erforderlichen, sowohl konzeptionellen als auch strukturellen Grundlagen geschaffen werden. Zur Systematisierung und automatisierten Weiterverarbeitung von Inspektionsergebnissen wurden Verfahren entwickelt, mit deren Hilfe Befunde am Bauwerk (Turm und Gründung) direkt erfasst, in einer Datenbank abgelegt sowie bewertet werden. Diese Verfahren dienen als Basis einer fortwährenden Anpassung der Planung zukünftiger Inspektionen sowie der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen und ggf. erforderlicher Instandsetzungen. Als zentrales Element wurde ein Konzept für eine adaptierte BIM-Software erarbeitet und umgesetzt, mit dem Ziel eines BIM Modells als zentrale digitale Einheit aller bauwerksrelevanten Informationen. Grundlage hierfür war die Aufbereitung und Weiterentwicklung eines Kennzeichnungskonzeptes sowie auch eines Konzeptes des Datenmanagements für den spezifischen Anwendungsfall.

Das Gesamtvorhaben verfolgte folgende technisch-wissenschaftliche und wirtschaftliche Zielsetzungen, die hier mit Fokus auf das Teilvorhaben aufgelistet sind:

- Erarbeitung von Vorgehensweisen und Entwicklung von Methoden zur Erstellung einer BIM- bzw. CDE-basierten digitalen Basis der Tragstrukturen
- Erarbeitung eines grundsätzlichen, standardisierungsfähigen Datenmanagementkonzeptes für die im Betrieb zu überwachenden Tragstrukturen und zu erwartenden Befunden
- Erarbeitung eines Klassifizierungssystems für die Beschreibung von Befunden (Inspektionsergebnisse) in Tragstrukturen von Offshore-Windenergieanlagen
- Erarbeitung eines Referenzkennzeichnungssystems für Befunde in Tragstrukturen von Offshore-Windenergieanlagen einschließlich der reproduzierbaren, digitalen Ortung der Befunde am Bauwerk
- Entwicklung geeigneter Schädigungsmodelle für typische Schadensbefunde an stählernen Tragstrukturen von Offshore-Windenergieanlagen mit dem Ziel der Bereitstellung ingenieurmäßig anwendbarer Berechnungsmethoden für die schneller Ermittlung der Restnutzungsdauern in der Praxis
- Erarbeitung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine risiko- und kostenoptimierte Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen, das es ermöglicht die modernsten Schädigungsmodelle und neuartigsten Inspektions- und Monitoringmethoden zu berücksichtigen
- Demonstration des Nutzens der erarbeiteten Konzepte (Wirtschaftlichkeitsbetrachtung)

Unter Berücksichtigung der beschriebenen übergeordneten Gesamtziele ergaben sich im Rahmen des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** folgende Teilziele:

1. Formulierung einer eindeutigen Befundbeschreibung für Schäden an Offshore-Bauwerken als Basis für eine automatisierbare Datenauswertung von Schadensbefunden
2. Entwicklung eines Demonstrators zur Historienanalyse und Maßnahmenverfolgung von Schäden

3. Entwicklung einer Offshore-Applikation zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß Referenzkennzeichnungssystem
4. Etablierung eines Kennzeichensystems für Inspektionsbefunde
5. Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks
6. Entwicklung eines Demonstrators für Kostenanalysen in der Betriebssoftware

Nachfolgend wird die Verwendung der Zuwendung und die erzielten Ergebnisse bezogen auf die jeweiligen Teilziele beschrieben.

zu 1) Die Formulierung einer eindeutigen Befundbeschreibung für Schäden an Offshore-Bauwerken bedarf einer strukturierten Vorgehensweise bei der Durchführung einer Wiederkehrenden Prüfung (WKP). Aus diesem Grund wurden zunächst folgende Prozeduren für die strukturierte Abwicklung der WKP entwickelt:

- Vorbereitung einer WKP-Kampagne
- Auswahl Bauwerksprüfer
- Ablauf einer WKP
- Durchführung einer wiederkehrenden Prüfung vor Ort

Abbildung 2 zeigt das Ablaufdiagramm der Prozedur für die Vorbereitung einer WKP-Kampagne. Aus Sicht des Betreibers WindMW sind als Eingangsgröße die Vorgaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH) zu beachten und des Weiteren mit Blick auf die Historienanalyse die Mängel und Ereignisse aus den letzten Jahren, die nachverfolgt werden müssen. Aus dem Ablaufdiagramm ergeben sich Aufgaben, die dann in der Betriebssoftware GS verankert werden.

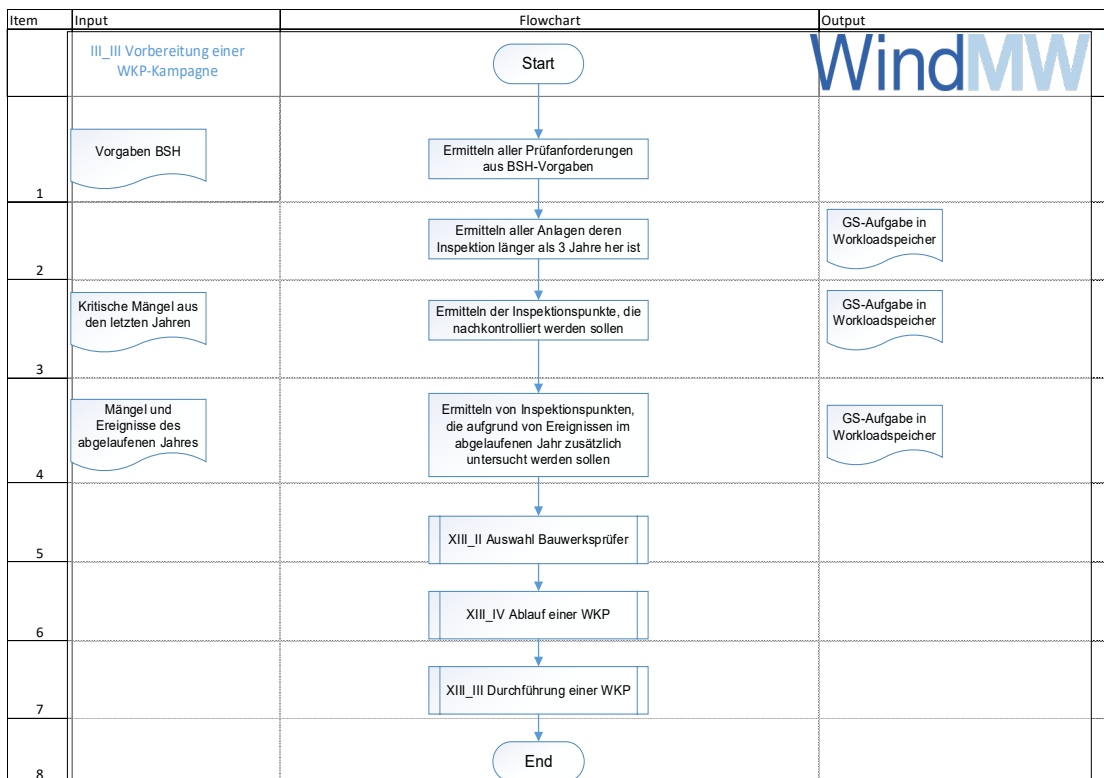


Abbildung 2: Prozedur Vorbereitung einer WKP-Kampagne

Das BSH gibt im Standard Konstruktion Mindestanforderungen bekannt, die vom Betreiber einzuhalten sind. Die Mindestanforderungen für die Prüfung der Tragstruktur der WEA und der OSS sind in Abbildung 3 und für die Prüfung der Rotor-Gondel-Baugruppe der WEA in Abbildung 4 dargestellt.

Prüfgegenstand Tragstruktur WEA+OSS	Prüfgrundlage und Intervalle
Funktion der Anoden, Fremdstromanlage	<ul style="list-style-type: none"> In den ersten 2 Jahren jährlich, danach in Abhängigkeit des Zustandes
Unterstruktur: Schweißnähte (die zyklischer Belastung unterliegen), Unversehrtheit der Oberfläche der Strukturelemente	<ul style="list-style-type: none"> Entsprechend den Lebensdauerberechnungen und dem Inspektionsplan
Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche, Kolkbildung	<ul style="list-style-type: none"> In den ersten 2 Jahren jährlich, danach je nach Zustand
Grad des maritimen Bewuchses (punktuelle Messung)	<ul style="list-style-type: none"> In den ersten 2 Jahren jährlich, danach je nach Zustand
Korrosionsschutz (visuelle Prüfung): <ul style="list-style-type: none"> Unterwasserbereich Struktur Wechselgang Überwasserbereich Unterstruktur Betriebsstruktur (Tragstruktur) 	<ul style="list-style-type: none"> In Abhängigkeit des Zustandes (empfohlen alle 4 Jahre) (empfohlen alle 2 Jahre) (empfohlen alle 4 Jahre) (empfohlen alle 4 Jahre)
Betriebsstruktur: Schweißnähte (die zyklischer Belastung unterliegen), Tragwerksschrauben	<ul style="list-style-type: none"> Entsprechend den Lebensdauerberechnungen und dem Inspektionsplan

Abbildung 3: WKP Prüfgegenstand Tragstruktur nach BSH Standard Konstruktion

Prüfgegenstand RGB	Prüfgrundlage und Intervalle
Rotorblatt	<ul style="list-style-type: none"> Beschädigung der Oberfläche Risse Strukturunstetigkeiten des Blattkörpers Visuelle Begutachtung und Untersuchung der Struktur mit geeigneten Verfahren Vorspannung der Schraubenverbindung Beschädigung der Blitzschutzeinrichtung
Triebstrang	<ul style="list-style-type: none"> Dichtigkeit ungewöhnliche Geräusche Zustand des Korrosionsschutzes Schmierzustand Vorspannung der Schraubenverbindung Zustand des Getriebes
Maschinenhaus und kraft- und momentübertragende Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> Korrosion Risse ungewöhnliche Geräusche Schmierzustand Vorspannung der Schraubenverbindungen
Hydrauliksystem, Pneumatiksystem	<ul style="list-style-type: none"> Beschädigung Dichtigkeit Korrosion Funktion
Turm	<ul style="list-style-type: none"> Korrosion (visuelle Prüfung) Risse (z.B. Schweißnähte, Beschichtung) Vorspannung der Schraubenverbindung Sichtprüfung Schweißnaht Türzarge
Sicherheitseinrichtungen, Messaufnehmer und Bremssysteme	<ul style="list-style-type: none"> Funktionskontrolle Einhaltung der Grenzwerte, Beschädigung Verschleiß
Anlagensteuerung und E-Technik	<ul style="list-style-type: none"> Anschlüsse Befestigungen Funktion Korrosion (visuelle Prüfung) Verschmutzung

Abbildung 4: WKP Prüfgegenstand RGB nach BSH Standard Konstruktion (2021)

Die weiteren Prozeduren regeln betriebsinterne Abläufe. So beschreibt die Prozedur zum Ablauf der Wiederkehrenden Prüfung beispielsweise die Phasen von der Arbeitsvorbereitung, der Durchführung der Prüfung sowie der Berichtserstellung bis hin zur Erlangung der Konformitätsbescheinigung durch den Prüfbeauftragten zum Nachweis der Wiederkehrenden Prüfung gegenüber dem BSH Standard Konstruktion. Darüber hinaus sind die Berichtsform und die Auswertung der Ergebnisse entsprechend der DIN 1076 als Grundlage der Inspektion so definiert, dass diese bei der WindMW Service GmbH elektronisch weiterverarbeitet werden können.

Neben den Prozeduren für die Wiederkehrenden Prüfung wurden Verfahrensanweisungen (VA) entwickelt, die sich detailliert mit der eindeutigen Befundbeschreibung von Schäden an Offshore-Bauwerken auseinandersetzen:

- VA Schadensaufnahme im Rahmen der WKP
- VA Schadenklassifizierung in Bezug auf Standsicherheit, Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit
- VA Schadenskatalog mit Nomenklatur
- VA Registriergrenzen bei der WKP

Zielsetzung dieser Verfahrensanweisungen ist es, ein einfaches einheitliches Vorgehen bei der allgemeinen Schadensaufnahme und Schadensbewertung im Rahmen der Besichtigung, Beobachtung, Inspektion oder Wiederkehrenden Prüfung zu etablieren.

Mit der **VA Schadensaufnahme** soll erreicht werden, dass im Rahmen der Schadensaufnahme alle standsicherheits-, betriebs- und dauerhafte Faktoren aufgenommen, berücksichtigt und dokumentiert werden. Auch soll mit dieser Verfahrensanweisung ein einheitliches Vorgehen in der Dokumentation erreicht werden, in dem genau vorgeschrieben wird, wie mit einer Schadensmeldung umgegangen wird.

Im Laufe des Betriebes oder auch aus besonderem Anlass kann es zu Schäden an den Bauwerken kommen. Mit dieser Verfahrensanweisung sollen äußerliche, augenscheinlich ohne größere weitere Hilfsmittel erkennbare Schäden und Mängel festgestellt werden.

Durch die Aufnahme und sachgerechte Dokumentation des Schadens mit Hilfe dieser Verfahrensanweisung soll der sachverständige Dritte (Bauwerksprüfer bzw. Prüfsachverständige) in die Lage versetzt werden, den Schaden richtig beurteilen zu können, ohne selbst vor Ort den Schaden begutachten zu müssen. Dies kann zum Beispiel nach besonderen Ereignissen (Sturm, ungewöhnlich starke Vereisung, Schiffsanprall, Setzungen, Verschiebungen, etc.) der Fall sein.

Die **VA Schadenklassifizierung** stellt die Mindestanforderung für die Bewertung von Schäden und Mängel dar. Je nach Größe und Wichtigkeit/Gewichtung des Schadens ist entsprechend mehr zu dokumentieren.

Die Systematik der Aufnahme und Bewertung von Schäden sowie der Ermittlung der Zustandsnoten erfolgt in Anlehnung an seit Jahrzehnten erfolgreich angewandte Regelwerke des klassischen Ingenieurbaus und Verkehrswasserbaus für dynamisch beanspruchte Stahlbauwerke.

Die Verfahrensanweisung und die Dokumente der Verfahrensanweisung sind lebende Dokumente und müssen ständig weiterentwickelt und angepasst werden. Der Umgang mit Schäden und deren Bewertung müssen infolge des zunehmenden Alters des Bauwerkes ständig zwischen den Prüfenden diskutiert werden.

Die im Zusammenhang mit der Verfahrensanweisung anfallenden Daten (Schäden, Bewertungen, Kosten, Zustandsnoten, Prüfberichte, etc.) sollen in einer programmgestützten Datenbank gespeichert werden. Die Informationen im BIM können durch einen Abgleich zwischen dem Design und Strukturmonitoringdaten aus dem Structural Health Monitoring (SHM) zu Restlebensdauerprognosen führen.

Die Schadensklassifizierung für die Offshore-Bauwerke wurde in Analogie zum BAW Merkblatt für Standsicherheit (S), Betriebssicherheit (B) und/oder der Dauerhaftigkeit (D) adaptiert. Ebenso wird eine Dringlichkeitsklasse (DK) definiert. Die Dringlichkeitsklasse hat keinen Einfluss auf die Zustandsnoten oder Substanzkennzahl, sondern hat nur Einfluss auf die Frist zur Abstellung des Mangels.

Grundsätzlich ist zwischen Mangel und Schaden zu unterscheiden:

- Ein Mangel im Sinne der Bauwerksprüfung ist die Abweichung der Bauwerks- oder Bauteilbildung vom planmäßigen Sollzustand oder von den zum Prüfzeitpunkt geltenden Regelwerken. Er kann eine Beeinträchtigung der Standsicherheit (S), der Betriebssicherheit (B) und/oder der Dauerhaftigkeit (D) darstellen.
- Ein Schaden im Sinne der Bauwerksprüfung ist die Veränderung des Bauwerks- oder Bauteilzustandes und kann zu einer Beeinträchtigung der Standsicherheit (S), der Betriebssicherheit (B) und/oder der Dauerhaftigkeit (D) führen.

Die Einstufung im Hinblick auf Standsicherheit, Betriebssicherheit sowie Dauerhaftigkeit erfolgt jeweils in die Schadensklassen 0-4 nach der individuellen Einschätzung des Schadens durch den Prüfsachverständigen. Ab einer Schadensklasse 2 hat der Einfluss bzw. die Auswirkung des Schadens des Bauteils einen Einfluss auf das Bauwerk.

Mit der **VA Schadenskatalog** werden die Grundlagen für einen digitalen Schadenkatalog festgeschrieben. Durch einen digitalen Schadenkatalog, dem einheitlichen Bewertungsalgorithmus und Bewertungsverfahren soll sichergestellt werden, dass eine systematische Bauwerksprüfung und Bewertung der Mängel und Schäden erfolgt und dass jederzeit eine substantiierte Wertermittlung der Objekte erfolgen kann.

Der Schadenskatalog dient derzeit nur zur Überprüfung der stahlbaulichen Struktur der Anlage, ist jedoch von der Systematik auf andere Bereiche und Gewerke sinngemäß anwendbar und unbegrenzt erweiterbar.

Der Schadenskatalog ist ein lebendes Dokument, das ständig fortgeschrieben werden muss. In ihm werden alle bekannten Schäden systematisch aufgeführt und bewertet. Somit können dritte Sachverständige bei Nutzung des Kataloges Schäden unabhängig voneinander gleich bewerten.

Sobald ein Mangel vorgefunden wird, sind folgende Schritte vorzunehmen:

1. Zuordnung des Mangels zu einem Bauwerk/Teilbauwerk/Bauteil
2. Vergleich des akuten Schadensbildes mit dem vorgefundenen Schadensbild
3. Im Falle einer Übereinstimmung kann die Beschreibung und Bewertung übernommen werden
4. Im Falle einer Abweichung erfolgt eine abweichende Bewertung mit Hilfe der Angaben aus der VA Schadensklassifizierung
5. Stufenweise Beschreibung des Schadens mit Hilfe des Textkataloges
6. Wenn dieser Fall noch nicht im Schadenskatalog vorhanden ist, Aufnahme des neuen Mangels in den Schadenskatalog
7. Pflege des Schadenskataloges durch den Bauwerksprüfer nach Durchführung jeder Wiederkehrenden Prüfung

Abbildung 5 zeigt die entwickelte Vorlage für die definierten Informationen für den Schadenskatalog.

CL-ID	RDS – PP – Nummer			Klassifizierung	Wählen Sie ein Element aus.	Kategorie	Wählen Sie ein Element aus.	GM	
Übersichtsbild angezeigt				Detailbild angezeigt					
Bauwerk	Prüfabschnitt	Prüfpunkt	Detail	Schaden	DK	S	B	D	Empfehlung
Wählen Sie ein Element aus.				Wählen Sie ein Element aus.	0	0	0	0	Wählen Sie ein Element aus.

Abbildung 5: Definierte Informationen für den Schadenskatalog

Mit der **VA Registriergrenzen** soll erreicht werden, dass im Rahmen der Erstellung von Bewertungen die Mängel/Schäden anhand von Registriergrenzen z.B. aus dem Design abgeglichen werden. Des Weiteren wird beschrieben, wie mit Abweichungen vom Soll-Zustand umgegangen werden soll und wie grundsätzlich die Registriergrenzen festzulegen sind, bzw. wie die Konformität bestätigt werden soll.

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die verschiedenen Fälle der Festlegung des nominellen Sollwertes in Bezug auf den untere und obere Toleranzgrenze einer Abweichung von der Registriergrenze. In Fällen in denen bei der Prüfung, Messung oder Inspektion kein fester normativer Sollwert festgelegt werden kann, stellt der ungestörte Zustand die Toleranzgrenze dar, der die Standsicherheit, Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit nicht beeinflusst.

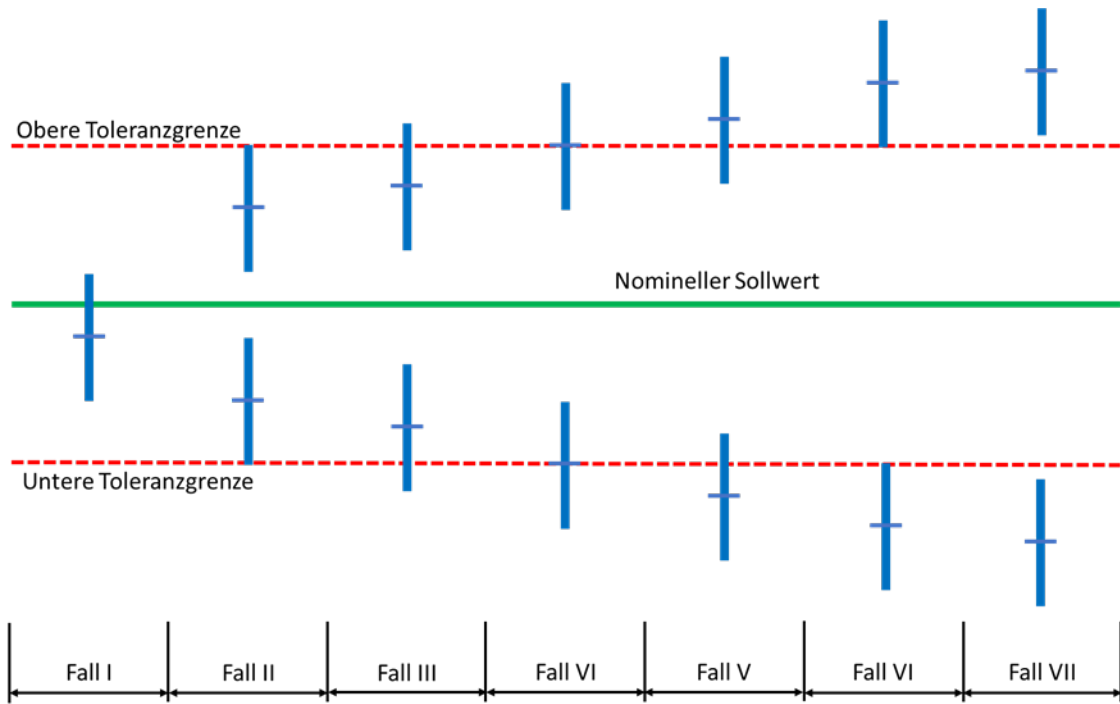


Abbildung 6: Fälle der Konformitätsbewertung

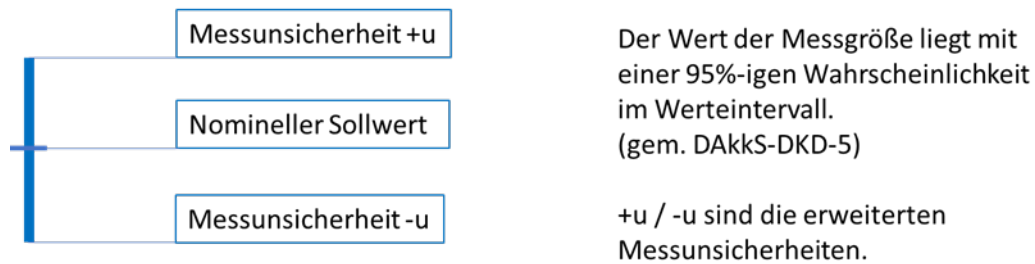


Abbildung 7: Messunsicherheiten

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Formulierung einer eindeutigen Befundbeschreibung für Schäden an Offshore-Bauwerken als Basis für eine automatisierbare Datenauswertung von Schadensbefunden ist voll erfüllt. Die entwickelten und zuvor beschriebenen Prozeduren und Verfahrensanweisungen ermöglichen eine strukturierte Erfassung von Schäden für einen digitalen Schadenskatalog.

zu 2) Entwicklung eines Demonstrators zur Historienanalyse und Maßnahmenverfolgung von Schäden

Nachdem die Prozeduren und Verfahrensanweisungen für die Aufnahme von Mängeln und Schäden entwickelt waren, war es Ziel eines Demonstrators die Schäden in der Betriebssoftware GS-Manager (GSM) von GreenGate als Mangel für eine Historienanalyse zu erfassen.

Zunächst wurden gemäß des Referenzkennzeichnungssystems RDS-PP 159 Objekte für die Turmkonstruktion und 149 Objekte für Monopile (MP) und Transition Piece (TP) einer realen Windenergieanlage aus dem OWP Meerwind Süd|Ost in GSM übertragen.

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen Auszüge aus den jeweiligen Objektlisten und Abbildung 10 die Implementierung des Objektbaums im GS-Manager.

	OBJ_ID	OBJ_NAME	OBJ_KURZNAME
0	301149047	Turmkonstruktion / Tower System genaral	UMD
1	301149308	Turmkonstruktion generell / Tower System General	UMD9
2	301152016	Stellung Eingangstür / Position access door	UMD10BG000
10	301152052	Beschleunigung 1 längs Turm (y) (G-Sensor) / Acceleration 1 lengthwise tower (y)	UMD10BS001
12	301152061	Beschleunigung 2 längs Turm (y) (PCH-Box) / Acceleration 2 lengthwise tower (y)	UMD10BS002
15	404181913	Turmbeleuchtung / towerlamps	UMD10EA001
31	301152088	Steigschutzsystem Turm / Fall protection for main access system tower	UMD10FQ000
46	301152070	Haupt-Steigsystem Turm / Main access system tower	UMD10WS000
47	301154733	Steigleiter Turm Bottom (TU-Ebene bis Survival Ebene)	UMD10WS001-WT1
48	403866901	Steigleiter Turm Middle (Turm_Turm bis Lift Plattform)	UMD10WS001-WT2
49	401836862	Steigleiter Turm Top (Lift- bis Yaw-Plattform)	UMD10WS001-WT3
50	301152160	Flanshsystem zum Maschinenhaus / Flange system to nacelle	UMD10XR000
51	301154612	Flansch zum Maschinenhaus / Flange to nacelle	UMD10XR001-XS0
52	301152097	Flanshsystem zum Fundament / Flange system to foundation	UMD10XR001
53	301154579	Flansch zum Fundament / Flange to foundation	UMD10XR002-XS0
54	301149127	Turmsektion Top / Tower System Top Section	UMD10

Abbildung 8: Auszug aus der Objektliste der Turmkonstruktion

	OBJ_ID	OBJ_NAME	OBJ_KURZNAME
160	301149132	Monopile Gründung und TP / Foundation Monopile and TP	UMD81
161	301151377	Induktiver Sensor zur Abstandsmessung 1 / Inductiv Sensor for distance measuering 1	UMD82BG000
165	301151386	Induktiver Sensor zur Abstandsmessung 2 / Inductiv Sensor for distance measuering 2	UMD82BG001
169	301151404	Induktiver Sensor zur Abstandsmessung 3 / Inductiv Sensor for distance measuering 3	UMD82BG002
173	301150774	Beleuchtungssystem TP außen / general lights TP	UMD82EA000
188	401929344	Beleuchtungssystem TP innen	UMD82EA001
195	301156207	Halogen spot lights 1x500W / Halogen spot lights 1x500W	UMD82EA104-EB139
198	301150792	Geländer Aufstieg Eingangstür / Railing uplift	UMD82FQ100
199	301156086	Aufstieg Eingangstür / Steps Door	UMD82FQ101-FR11
205	301150756	Aktives Korrosionsschutzsystem ICCP/ Active Corrosion Protection System	UMD82FR000
224	403623439	Kolkschutz	UMD82FS000
225	405103186	Steuerung SMH-System	UMD82KF000
228	301151332	Splice Box Airtight Plattform / Splice box Airtight Platform	UMD82QA400
233	301150855	Shipwrecked Buttonsystem / Ship Wrak Button	UMD82TF100
239	301151107	Navigationsystem AtoN / Control cabinet AtoN	UMD82UC302
242	301151053	Monopilestahlkörper / Main Column	UMD82UM109
243	408995294	Kabeleinführung / Cable Inlet	UMD82UM110-UC109
244	301154097	Monopilestahlkörper / Main Column	UMD82UM110-UN109
245	301151062	Transition Piece / Transition Piece	UMD82UM179

Abbildung 9: Auszug aus der Objektliste für Monopile und Transition Piece

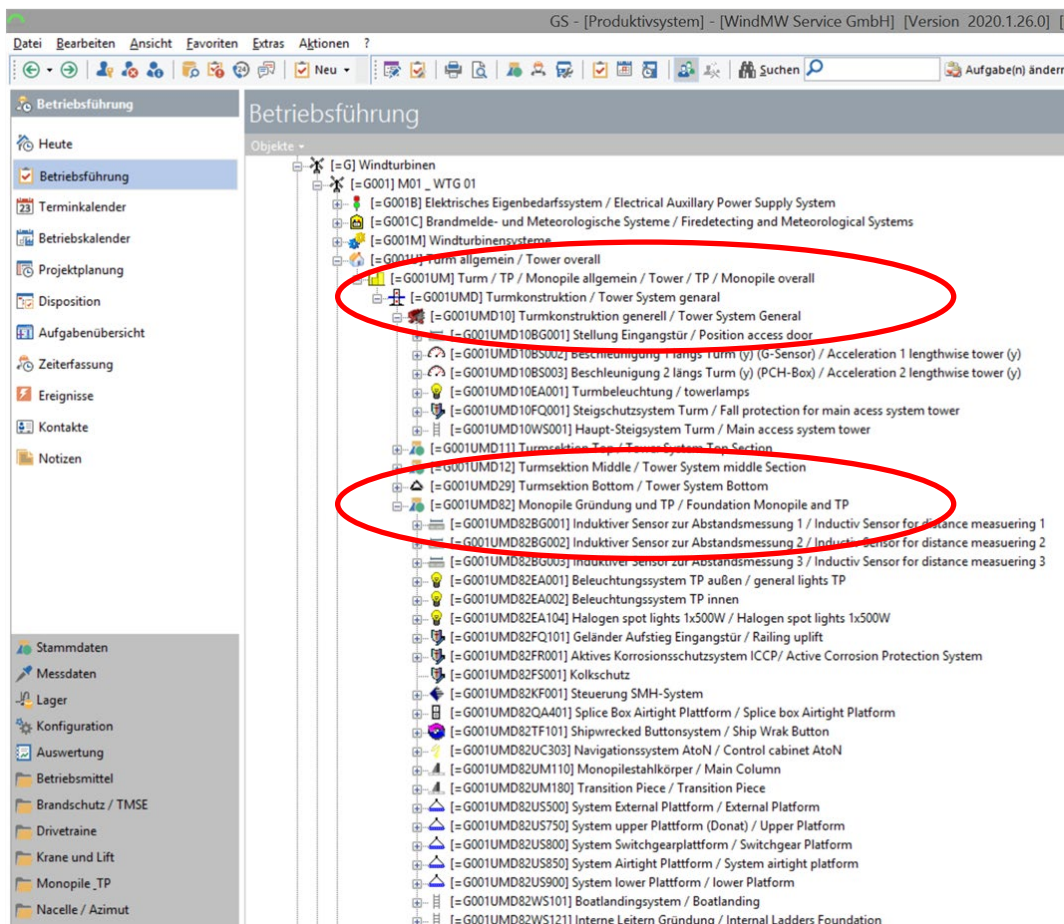


Abbildung 10: Implementation des Objektbaums im GS-Manager

Sobald ein Mangel bei der Inspektion oder WKP gefunden wird, wird dieser beschrieben und im Objektbaum an der entsprechenden Stelle angelegt (siehe Abbildung 11). Die Mangelerfassung wurde am Anfang des Teilvorhabens noch manuell im Nachgang zur WKP aus den Berichten des Bauwerksprüfers generiert. Die entwickelte Automatisierung wird im Teilziel zur Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks beschrieben.

Windturbinen: Windturbinen						
Aufgaben Mängel Kosten Historie Dokumente Ereignisse Inventar Materialbuchungen Ersatzteile Arbeitszeit Bemerkung						
Mängel beheben...						
Suchen						
Bezeichnung	Nummer	Objekt	Kategorie	Schwerwiegend	Meldedatum	
(BHV) WMW_TPO_Palfinger_starker Rostfraß am Ausleger	MA_0002164_20...	[G032XMM13GM001] Palfinger Kran TP / Palfinger Crane TP	Korrosion	Ja	17.09.2023 11:40	

Abbildung 11: Mangelerfassung im GS-Manager

Bei der Anlegung des Mangels muss der Mangel bezeichnet werden. Die Definition des Mangels lässt sich über ein Auswahlmenü steuern. Exemplarisch ist in Abbildung 12 die Mangelbearbeitung dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen Mangel der Schadenklasse 4 aus der Bewertung des WKP Prüfsachverständigen. Des Weiteren können Bemerkungen und Empfehlungen vermerkt werden. Außerdem lässt die Mangelerfassung ebenfalls die Implementation eines Schadensbildes zu (Abbildung 13).

The screenshot shows a web-based form titled 'Mangel bearbeiten'. The form fields are as follows:

- Bezeichnung:** (BHV) WMW_TPO_Palfinger_starker Rostfraß am Ausleger
- Nummer:** MA_0002164_2023
- Definition:** 4 ((akure) Mangel aus WKP)
- Kategorie:** Gefügefehler/Materialdefekt
- Objekt:** [=G032XMM13GM001] Palfinger Kran TP / Palfinger Crane TP
- Status:** Erfasst
- Klassifizierung:** (empty dropdown)
- Meldedatum:** 17.09.2023 11:40
- Mandant:** (empty field)
- Zu beheben bis:** (empty dropdown)
- Behoben am:** (empty dropdown)
- Behoben von:** (empty field)
- Bemerkung:** Starker Rostbefall und Fraß an der Auslegerspitze. Es fehlt bereits bis zu ein Achtel an Materialstärke an der einen Seite. Auf der anderen Seite kann nicht konkret gemessen werden, sondern es kann nur durch eine Lichtspaltprüfung erahnen, wieviel schon fehlt. Auf den Bildern wird die Differenz aber sichtbar.
Sperrung empfohlen. Weiterbetrieb mit Kettenzug Nennlast 400 Kg empfohlen.
- Rückgabegrund:** (empty dropdown)

Abbildung 12: Mangelbearbeitung

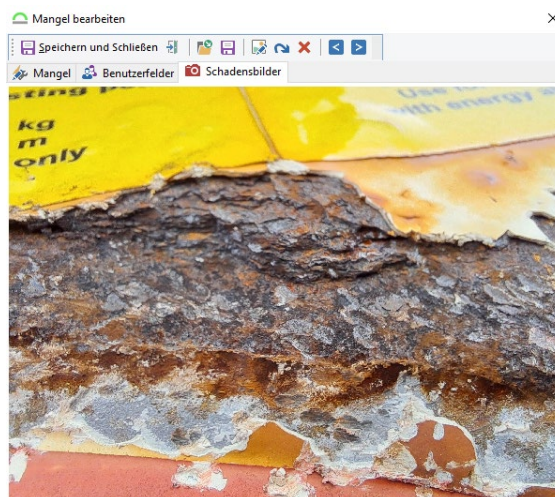


Abbildung 13: Schadensbild zum Mangel

Für die Modellierung von Schadensbeschreibungen aus der wiederkehrenden Prüfung von Tragstrukturen und deren Klassifizierung sowie der Implementierung der Datenstruktur und prototypischer Test mit Schadensbeispielen, wurde im Rahmen des Teilvorhabens ein Demonstrator über die GreenGate AG aufgesetzt. Folgendes Vorgehen wurde gewählt:

- 1) Implementierung einer GS-Manager Anwendung bei Greengate. Der Zugang war für zehn namentlich bekannte Personen der Verbundpartner und den Administratoren zu jeder Zeit möglich. Darüber hinaus war es möglich die Datenstruktur anzupassen und Daten per SQL zu exportieren.
- 2) Implementierung der Möglichkeit, um Berechnungen in zusätzlicher, externer Software mit Daten des GS-Manager auszuführen und Daten entsprechend Common Data Environment (CDE) von BIM zu exportieren/ importieren.

- 3) Implementierung des Objektbaums im GS-Manager für die Turmkonstruktion Transition Piece und Monopile.
- 4) Erweiterung der Schadensinformationen (Mangelinformationen) entsprechend Gliederungsaspekt zur Schadensbeschreibung.
- 5) Erweiterung der Datenbankstruktur für die Implementierung einer Objektstruktur nach 4tem Gliederungsaspekt des Referenzkennzeichnungssystems mit zwei Gliederungsstufen.
- 6) Erweiterung der Mangelbeschreibung, z.B. um eine Auswahlliste „Inspektionszustände Korrosionsschutz“ (siehe Abbildung 14).

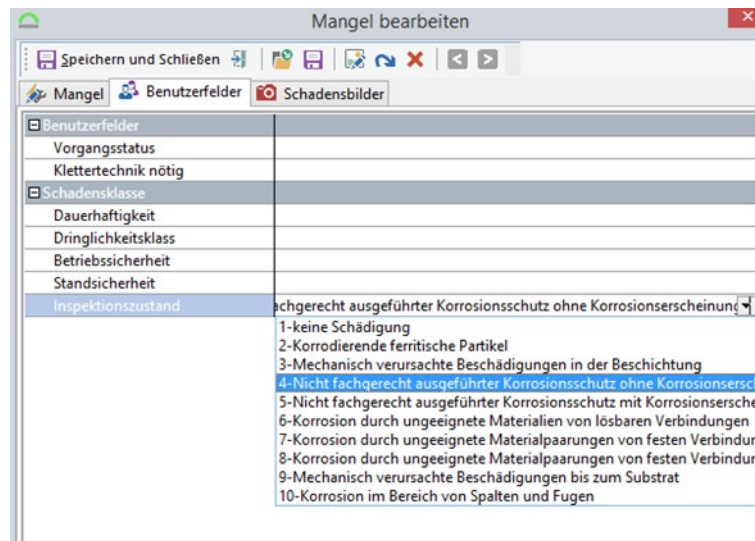


Abbildung 14: Erweiterung der Mangelbeschreibung um Schadenklassen

Das zuvor beschriebene Softwaresystem diente zur prototypischen Umsetzung der Datenmodelle in GS-Manager. Für alle Verbundpartner wurde von WindMW Service GmbH ein Zugang zu diesem DiMoWind-Server GS eingerichtet, um die Modelle zu testen und zu evaluieren.

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Entwicklung eines Demonstrators zur Historienanalyse und Maßnahmenverfolgung von Schäden wurde erreicht. Die Methodiken der Schadenserfassung wurden in der Betriebssoftware GS-Manager implementiert. Somit ist eine Historienanalyse und Nachverfolgbarkeit der Maßnahmenverfolgung ermöglicht.

zu 3) Entwicklung einer Offshore-Applikation zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß Referenzkennzeichnungssystem

Nachfolgend wird die Entwicklung einer Offshore-Applikation zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß Referenzkennzeichnungssystem beschrieben. Der Fokus der Arbeiten lag auf der Datenaufnahme und -bewertung der wiederkehrenden Prüfung und wurde durch Offshore-Inspektionen validiert und weiterentwickelt. Bei der Entwicklung der Offshore-Applikation wurde wie folgt vorgegangen:

- Definition von eindeutigen WKP-relevanten Inspektionspositionen
- Einbindung von Monitoring-Daten aus CMS- und SHM-Systemen zur Systembewertung
- Formulierung von Befundbeschreibungen für Schäden in der wiederkehrenden Prüfung von Offshore-Bauwerken

Die Definition der eindeutigen und WKP-relevanten Inspektionspositionen erfolgte anhand von Designzeichnungen und Anlagen Walk Downs auf der Windenergieanlage. In Abbildung 15 ist exemplarisch das Transition Piece dargestellt.

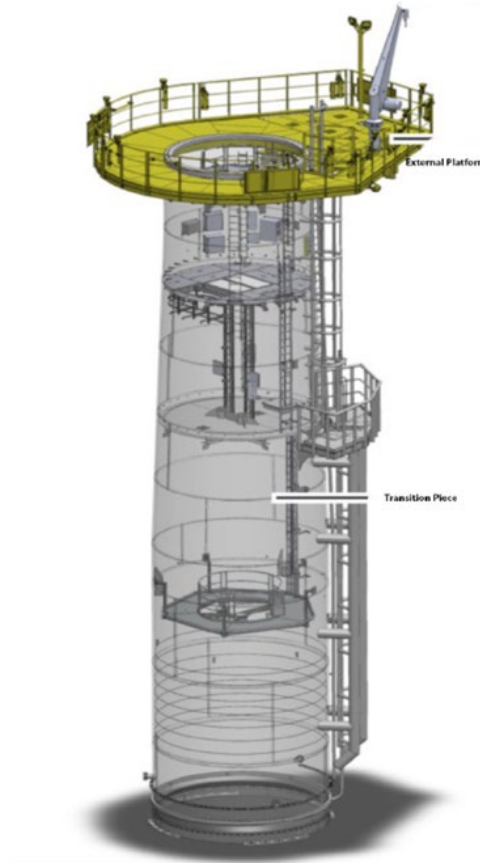


Abbildung 15: Transition Piece

Die definierten Inspektionspunkte wurden nach den Hauptkomponenten sowie nach Maßnahmen wie z.B. Messungen gegliedert und in Inspektions-Checklisten überführt (Abbildung 16).

- X. Prüfpunkte und Ergebnisse
- A. Dokumentation
- B. Meeresboden
- C. Kolkschutz
- D. Monopile (unter Wasser)
- E. Messungen
- E.1 Potential
- E.2 Bewuchs
- E.3 Wanddicken (Unter Wasser)
- E.4 Kolk
- F. Kabel
- G. Transition Piece
- H. Boat Landing
- I. Working Plattform (External Plattform)
- J. Transition Piece innen & außen (Über Wasser)
- J.1 Messungen (Über Wasser)
- J.2 Schichtdicken (Über Wasser)
- J.3 Erdungsmessung
- K. Grout Verbindung
- L. Grout Messungen
- M. Turm außen
- N. Befahranlage / Steigschutzsystem
- O. Turm innen

Abbildung 16: Gliederung der Inspektions-Checkliste

Am Beispiel des Boat Landing werden die Prüfpunkte in den Designzeichnungen der Abbildung 17 und in der Checkliste der Abbildung 18 aufgeführt.

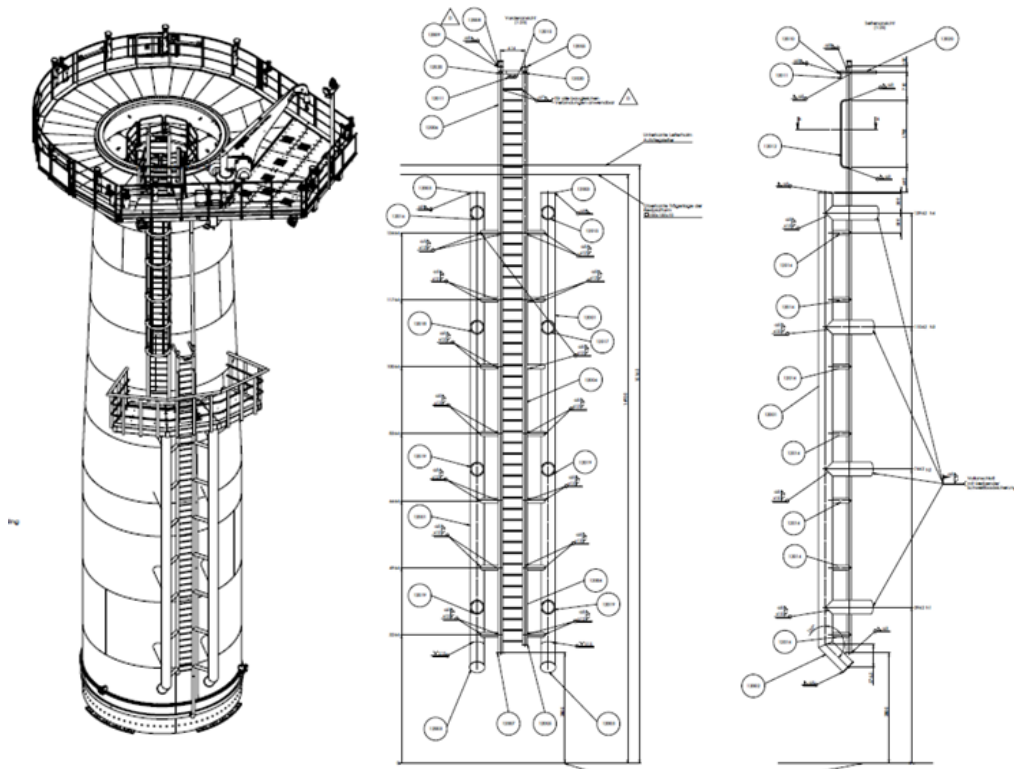


Abbildung 17: Prüfpunkte am Boat Landing

107.	Vertikalrohre Stahl & Korrosionsschutz	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
108.	Horizontalrohre Stahl & Korrosionsschutz	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
109.	Lower Ladder Stahl & Korrosionsschutz	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
110.	Resting Plattform Geländer	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
111.	Resting Plattform Träger	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
112.	Resting Plattform Gitterroste	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
113.	Absturzsicherung unten (Latchway)	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
114.	Upper Ladder Stahl & Korrosionsschutz	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
115.	Absturzsicherung oben (Latchway)	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
116.	Boat Landing Restwanddicke	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
117.	Anschlagpunkte oben	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
118.	Abweichungen As-Built	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
119.	Abweichung Stand der Technik	Visuelle Prüfung ROV	Bitte wählen
120.	Sonstiges		Bitte wählen

Abbildung 18: Auszug aus Checkliste Boat Landing

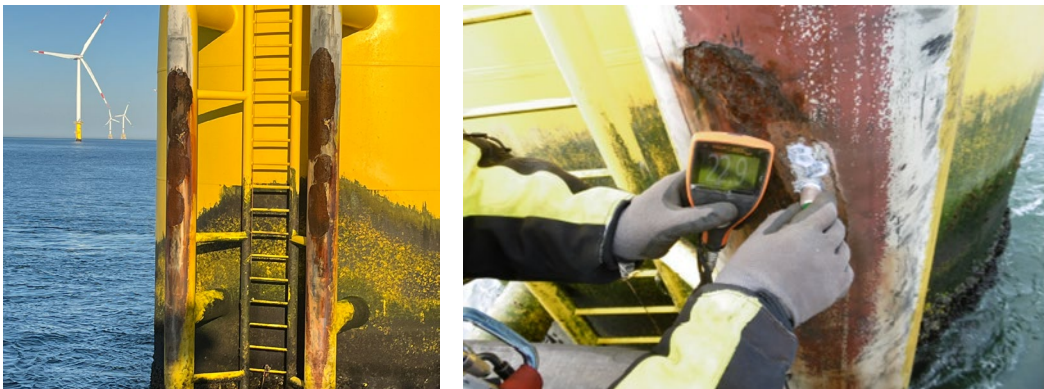


Abbildung 19: Messung der Restwanddicke

Die entwickelte Struktur zur Erfassung der WKP Ergebnisse ist ein wichtiger Bestandteil der Inspektions- und Instandhaltungsstrategie. Die Checklisten ermöglichen eine strukturierte Vorgehensweise bei der wiederkehrenden Prüfung. Die Checklisten wurden bei jeder erneute Durchführung von Offshore-Inspektionen im Rahmen des Teilvorhabens weiterentwickelt. Bei weiterer Validierungen der Checklisten wurde die RDS-PP Kennzeichnung erweitert sowie doppelt aufgeführte Inspektionpunkte reduziert. Letztendlich wurden die Checklisten mit dem Zertifizierer diskutiert und für die Durchführung der WKP freigegeben.

Im nächsten Schritt der Offshore-Applikation wurde die Schadensbeschreibung implementiert. Hierzu wurden Textbausteine entwickelt, die den Schaden einer Baugruppe gemäß BSH Standard Konstruktion und dem jeweiligen Prüfabschnitt zuweisen. Über die Zuordnung der Prüfpunkte zu den RDS-PP Nummern können die Beschreibungen direkt dem RDS-PP Objektbaum zugewiesen werden (siehe Abbildung 20).

1	2	3	
1. Prüfebene	OZ. 2.Ebene	2. Prüfebene	CL - Nr.
BSH Baugruppen	Prüfabschnitt (Teilbauwerk)	Prüfpunkt gemäß Checkliste (Bauteil)	RDS - PP Nummer
Kabel	Antriebsstrang	Betriebshandbuch (zertifiziert)	siehe Export Tabelle Green Gate
Meeresboden	Azimutbereich	Wartungshandbuch WEA (zertifiziert)	siehe Export Tabelle Green Gate
Meeresgrund	Befahranlage	Genehmigungen BSH	siehe Export Tabelle Green Gate
Rotor-Gondel.Baugruppe	Boat Landing	Auflagen (BSH/Prüfbeauftragter)	siehe Export Tabelle Green Gate
Tragstruktur	Bremssystem	Typenprüfung (Prüfbeauftragter)	siehe Export Tabelle Green Gate
Turm	Dokumente	Konformitätserklärung	siehe Export Tabelle Green Gate
Unterstruktur	Generator	Errichtungsprotokolle	siehe Export Tabelle Green Gate
Freitext	Getriebe	Montageprotokolle	siehe Export Tabelle Green Gate
wird laufend ergänzt	Gondel	Inbetriebnahmeprotokolle	siehe Export Tabelle Green Gate
	Grout Verbindung	Protokolle bisheriger WKP	siehe Export Tabelle Green Gate
	Helideck	Wartungspflichtenheft	siehe Export Tabelle Green Gate
	Hydrauliksystem	Wartungsprotokolle	siehe Export Tabelle Green Gate
	Jacket	Messprotokolle	siehe Export Tabelle Green Gate
	Kabel	Protokolle Inspektionen der gesetzlich prüfpflichtigen Anlagen	siehe Export Tabelle Green Gate
	Kolkenschutz	Fehlerprotokolle (zum Zeitpunkt der Prüfung - Auslese der Steuerung)	siehe Export Tabelle Green Gate
	Maschinenhaus	Nachweise Ölanalyse Getriebe	siehe Export Tabelle Green Gate
	Meeresboden	Nachweise Ölanalyse Pitch Hydraulik	siehe Export Tabelle Green Gate
	Monopile	Nachweise Ölanalyse Yaw Hydraulik	siehe Export Tabelle Green Gate

Abbildung 20: Textbaustein zur RDS-PP Zuordnung

Des Weiteren wurden Textbausteine für eine detaillierte Schadenbeschreibung erarbeitet, die ebenfalls eine Verortung des Schadens zulassen (Abbildung 21).

5	6	7	8	9	10
Bauteilergänzung	Schaden	wenn erforderlich Menge Allgemeine	wenn erforderlich Menge mit Dimension	wenn zur Schadensrückverfolgbarkeit Feld/Pfeiler/Block/Segment	wenn zur Schadensrückverfolgbarkeit Ortsangabe längs
Abflutrohr	abgebrochen	an allen Bauteilen	%	m Abstand vom Beginn an	0 - Uhr Position
Abdeckplatte	abgefahren	alle	x Stück	m Abstand vom Ende	...m Entfernung Rotormittelpunkt
Abdeckung Bremse	abgelöst	häufig	x %	von... bis m Radius	durchgehend
Abdeckung Kupplung	abgeplatzt	an einigen Bauteilen	x °C	x Abschnitt	1 - Uhr Position
Abdeckungsblech	abgeplatzte Beschichtung untergrund rostig	ausgeprägt	x cm	x Sektion	10 - Uhr Position
Abdichtung Nabe	abgeplatzte Beschichtung Verzinkung in Ortsbeginnend	x cm²		x Teilbereich	11 - Uhr Position
Abdichtung Nabe	abgerissen	bereichsweise	x gon	Freitext	12 - Uhr Position
Abstand	abgerutscht	durchgehend	x grad	Freitext	2 - Uhr Position
Ait- Tight Verschluss	abgesackt	eine Stelle	x K		3 - Uhr Position
Akkumulator	abkriechende Beschichtung	ein Stück	x m		4 - Uhr Position
Aktiver Korrosionsschutz	Abstand zu groß	flächendeckend	x m²		5 - Uhr Position
Allgemein	Abstand zu klein	Freitext	x mm		6 - Uhr Position
Anbauteile	absturzgefährdet	gering	x mm		7 - Uhr Position
Andere Messungen / Kontrollen	Abweichung Stand der Technik	gesamtes Bauteil	x mm²		8 - Uhr Position
Anemometer	alkalischaden	großflächig	x Stelle		9 - Uhr Position
Anlagedaten	an ungünstiger Stelle	größtenteils	> 10 Stück		auf dem Bauteil

Abbildung 21: Textbaustein zur Schadensbeschreibung und Verortung

Die entwickelte Methodik wurde als Software-App umgesetzt und ist als Inspektionssoftware auf einem Tablet installiert, den die Prüfsachverständigen nutzen können. Somit wird der Inspektor beim Anlagen Walk Down anhand der Checkliste über die Anlage geführt und kann direkt alle Prüfpunkte bearbeiten und die Befundung von Schäden dokumentieren. Eine Übertragung der Ergebnisse in die Betriebssoftware GS-Manager stellt die Schadensrückverfolgbarkeit sicher und ist somit ein wichtiger Bestandteil für die Historienanalyse.

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Entwicklung einer Offshore-Applikation zur Erfassung von Befunden mit Bauteilzuordnung gemäß Referenzkennzeichnungssystem ist erfüllt.

zu 4) Etablierung eines Kennzeichensystems für Inspektionsbefunde

Das Teilvorhabenziel zur Etablierung eines Kennzeichensystems für Inspektionsbefunde umfasst die:

- Übertragung des Referenzkennzeichnungssystems (RDS-PP) für Bauteile auf den bestehenden Offshore-Windpark Meerwind Süd|Ost in GS-Service
- Erweiterung der RDS-PP Referenzkennzeichnung für bisher nicht erfasste relevante Komponenten
- Klassierung von Schäden in Bezug auf Standsicherheit, Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit
- Zuordnung von WKP-Befunden zu den gekennzeichneten Bauteilen bzw. Inspektionspositionen

Neben dem Primary Steel, also der Tragstruktur, und dem Secondary Steel, hiermit sind die Anbauteile wie z.B. das Boat Landing bezeichnet, gibt es im Turm und der Tragstruktur der Gründung noch viele Einbauteile, wie Zwischenpodeste, Leitern oder Sensoren, die ebenfalls ins RDS-PP System für den Offshore-Windpark Meerwind Süd|Ost übertragen wurden.

Gemäß der BSH-Vorgabe „Messtechnische Zustandsüberwachung“ werden 10 Prozent der Tragstrukturen des Offshore-Windparks Meerwind Süd|Ost mit seinen 80 Offshore-WEA (d.h. jeweils 8 Monopiles, Transition Pieces, Türme) durch ein Structural Health Monitoring System (SHM) dauerhaft überwacht (Abbildung 22). Außerdem ist an allen 80 WEA ein Grout-Monitoringsystem zur Überwachung der Vertikalverschiebungen an der Grout-Verbindung installiert.

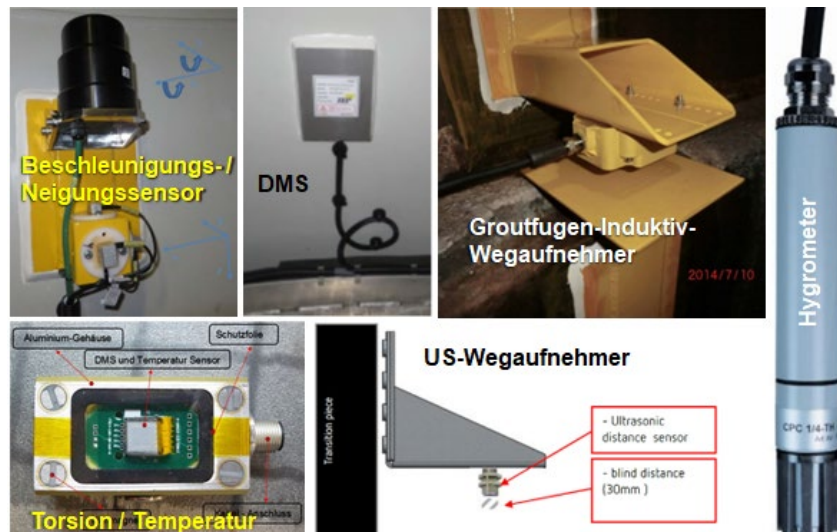


Abbildung 22: Sensoren des SHM-Systems

Die Überwachung der Grout-Fuge ist ebenfalls Teil des SHM-Systems. Sie ist, pro Windkraftanlage, durch drei äquidistante, induktive Wegaufnehmer realisiert. Die Messstelle für das Monitoring der Vertikalverschiebung zwischen Monopile und Transition Piece ist so konstruiert, dass ein induktiven Wegaufnehmer den Abstand zu einer parallelen Fläche misst. Die Sensoren sind jeweils um 120° über den Umfang versetzt, um über eine definierte Ebene alle Bewegungsrichtungen (Vertikalverschiebungen und Schiefstellungen) abbilden zu können (Abbildung 23).

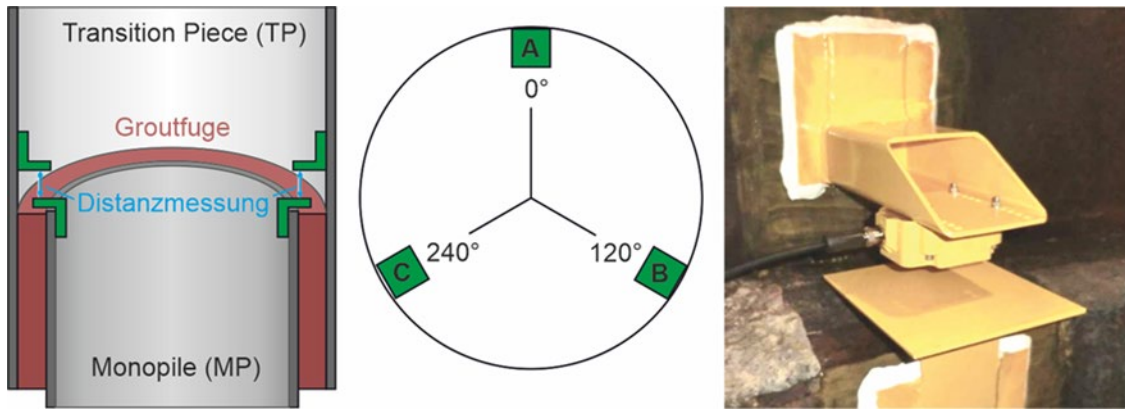


Abbildung 23: Sensorik zur Groutfugenüberwachung in der WEA

Zur Analyse der Sensordaten wird aus diesen die vertikale Relativbewegung, sowie die Neigung, der durch die Sensoren aufgespannten Ebene, in Bezug auf ihre Ausgangswerte berechnet.

Ziel des Teilvorhabens war die Erfassung der Sensoren des SHM-Systems als Erweiterung der RDS-PP Referenzkennzeichnung in den Objektbaum. Abbildung 24 zeigt den Auszug aus der Objektliste, so, wie er dann in den Objektbaum übertragen wurde.

	OBJ_ID	OBJ_NAME	OBJ_KURZNAME
0	301149047	Turmkonstruktion / Tower System general	UMD
1	301149308	Turmkonstruktion generell / Tower System General	UMD9
4	301152025	Innenfeuchte oben Turm / Humidity inside tower top	UMD10BM000
5	301154964	Innenfeuchte oben Turm / Humidity inside tower top	UMD10BM001-BN0
6	301152034	Innenfeuchte unten Turm / Humidity inside tower bottom	UMD10BM001
7	301154623	Innenfeuchte unten Turm / Humidity inside tower bottom	UMD10BM002-BN0
8	301152043	Mech. Schwingungsmessung 1 Turm / Mechanical Vibration 1 Tower	UMD10BS000
9	301154645	Mech. Schwingungsmessung 1 Turm / Mechanical Vibration 1 Tower	UMD10BS001-BT0
10	301152052	Beschleunigung 1 längs Turm (y) (G-Sensor) / Acceleration 1 lengthwise tower (y)	UMD10BS001
11	301154678	Beschleunigung 1 längs Turm (y) / Acceleration 1 lengthwise tower (y)	UMD10BS002-BT1
12	301152061	Beschleunigung 2 längs Turm (y) (PCH-Box) / Acceleration 2 lengthwise tower (y)	UMD10BS002
13	301154777	Beschleunigung 2 längs Turm (y) / Acceleration 2 lengthwise tower (y)	UMD10BS003-BT1

Abbildung 24: Auszug aus der Objektliste des SHM-Systems

Das RDS-PP Kennzeichnungssystem endet auf Komponentenebene (3. Ebene), d.h. eine Schadenstelle kann nicht lokalisiert dargestellt werden. Daher ist für die Schadenbeschreibung ein 4. Gliederungsaspekt zu definieren und einzuführen.

Der Gliederungsaspekt sollte einerseits den Ort eines Schadens (Gliederungsstufe 1) und andererseits den Zustand des Schadens (Gliederungsstufe 2) systematisch beschreiben.

Für die Beschreibung eines Schadensorts auf einem Bauteil ist es wichtig dessen Form zu kennen, um alle Maßangaben bis zur Lokalisation des Schadens ausgehend von einem definierten Startpunkt ermitteln zu können. Hierbei ist zwischen Linien-, Flächen- und Volumenbauteilen zu unterscheiden. Die Beschreibung des Schadenszustandes sollte Materialeigenschaften und Schadensinformationen enthalten. Abbildung 25 zeigt eine mögliche Definition der Gliederungsaspekte auf.

Zusammen mit den Verbundpartnern wurden verschiedene Ansätze zur Definition und Integration eines 4. Gliederungsaspektes zur Zusatzkennzeichnung in Anlehnung ans RDS-PP System diskutiert.

Gliederungsstufe 1					Gliederungsstufe 2							
Schadensort					Schadensart							
Baugruppe	Bauteil	Ausgangspunkt	Dimension 1		Dimension 2		Materialtyp	Materialart	Materialgüte	Materialstärke	Schadensart	Schadensklasse

Abbildung 25: Definition von Gliederungsaspekten

Eine genaue Erfassung des Schadensortes ist in der Praxis oftmals sehr aufwändig, wenn sich Schäden an schwer zugänglichen Stellen befinden, die nur per Seilzugangstechnik zu erreichen sind. Aus diesem Grund wurde ein Labeling von Prüfpunkten als Offshore-Demonstration in Vorbereitung zur WKP per fernoptischer Inspektionen untersucht. Insbesondere die fernoptische Inspektion durch den Einsatz von Drohnen ist ein Zukunftsmarkt, der sich in den letzten Jahren sehr schnell entwickelt hat. Die Schwierigkeit bei der Befliegung ist die Orientierung des Drohnenpiloten, wenn er sich sehr nah an einer aufgelösten Tragstruktur wie z.B. einer Jacketkonstruktion befindet.

Im Rahmen des Teilvorhabens wurde die Kennzeichnung von Strukturen mittels Etiketten getestet. Als Etiketten wurden Barcode-Labels mit einem Thermotransferdrucker erstellt und direkt auf die Außenseite der Konstruktion der Offshore Umspannstation geklebt oder auch mit einer Klarsichtfolie überklebt (Abbildung 26). Diese Etiketten waren drei Jahre lang lesbar und haben sich nicht abgelöst. Teilweise waren die Etiketten direkt der Sonnenstrahlung ausgesetzt, teilweise nur indirekt über die Reflektion des Wassers.



Abbildung 26: Etiketten mit Barcode-Labels an der Offshore-Umspannstation

Neben der Etikettierung mit Barcode-Labels wurden auch Etiketten mit QR-Codes verwendet. Des Weiteren wurden Designzeichnungen mit RDS-PP Code an der Offshore-Umspannstation angebracht (siehe Abbildung 27).

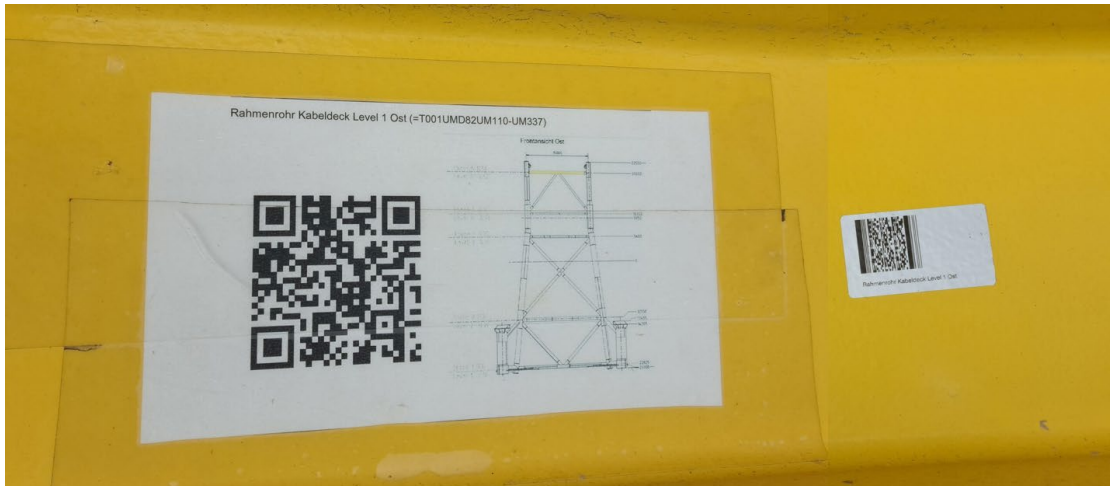


Abbildung 27: Labels mit QR- und RDS-PP-Code sowie Designzeichnung

Durch die Kennzeichnung von Bauteilen bzw. Inspektionspositionen mit entsprechenden Labels ist ein praktischer Weg zur Zuordnung von WKP-Befunden gefunden.

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Etablierung eines Kennzeichensystems für Inspektionsbefunde ist erreicht. Das Referenzkennzeichnung (RDS-PP) wurde für bisher nicht erfasste relevante Komponenten erweitert. Des Weiteren fand eine Übertragung des Referenzkennzeichnungssystems für Bauteile des bestehenden Offshore-Windparks Meerwind Süd|Ost statt.

zu 5) Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks

Die Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks ist wichtig, da sie Auswirkungen auf die Windparkeffizienz, die Instandhaltungsqualität und die Kosten haben und somit das Geschäftsergebnis direkt beeinflussen. Eine höhere Anlageneffizienz und -verfügbarkeit erhöht das operative Ergebnis des Windparkbetreibers.

Im Rahmen des Teilvorhabens wurden

- zeitbasierte,
- zustandsorientierte und
- risikobasierte

Inspektions- und Instandhaltungsstrategien am Beispiel der WKP betrachtet.

Eine zeitbasierte Inspektion folgt festen Inspektionsintervallen. In Bezug auf den OWP werden diese festen Inspektionsintervalle zum Teil durch die Behörden vorgeschrieben. So fordert der BSH Standard Konstruktion für die WKP der Rotor-Gondelbaugruppe (siehe auch Abbildung 4) eine Prüfung von 25% der WEA pro Jahr, so dass nach vier Jahren eine 100% Prüfung für diesen Prüfzyklus erfolgt. Für die Prüfung der Tragstrukturen (siehe Abbildung 3) wurde im BSH Standard Konstruktion von 2021 dieser feste Prüfzyklus aufgehoben und in eine Empfehlung umgewandelt. Auf der Grundlage von Lebensdauerberechnungen können die Prüfintervalle je nach Konstruktionsdesign und Zustand der Komponenten bauteilspezifisch angepasst werden.

Eine zustandsorientierte Inspektion ist eine Inspektionsstrategie, die mittels Überwachung der Anlagen feststellt, wann Inspektions- oder Instandhaltungsarbeiten erforderlich sind. Bei dieser Methodik werden anhand von Sensoren und anderen Monitoringsystemen Daten zur Feststellung von Anomalien erfasst. Ein Beispiel hierzu ist die Überwachung der Grout-Fuge zwischen Monopile und Transition Piece (Abbildung 23). Es können bei der zustandsorientierten Inspektion aber auch gezielte Begehungen mit visueller Daten- und Schadensaufnahme von kritischen Hot Spots erfolgen, wie z.B. Risslängenmessungen zur Dokumentation von Veränderungen. Das Prüfintervall wird dabei zustandsorientiert angepasst.

Die risikobasierte Inspektion ist eine zustandsorientierte und vorausschauende Inspektionen von kritischen Anlagenkomponenten. Grundsätzliches Ziel hierbei ist Stillstandzeiten sowie Produktionsausfälle zu reduzieren und gleichzeitig die Inspektions- und Instandhaltungskosten zu senken. Grundlage für die risikobasierte Inspektion ist die Kritikalitätsanalyse (Abbildung 28), sie dient der Priorisierung der Anlagenkomponenten auf System- oder Sub-System-Level, welcher durch den RDS-PP Objektbaum abgebildet ist. Je nach Einstufung des Sicherheitsrisikos wie bei der WKP die Bewertung für Standsicherheit, Betriebssicherheit und Dauerhaftigkeit erfolgt, wird die Priorisierung für den Windparkbetrieb festgelegt.

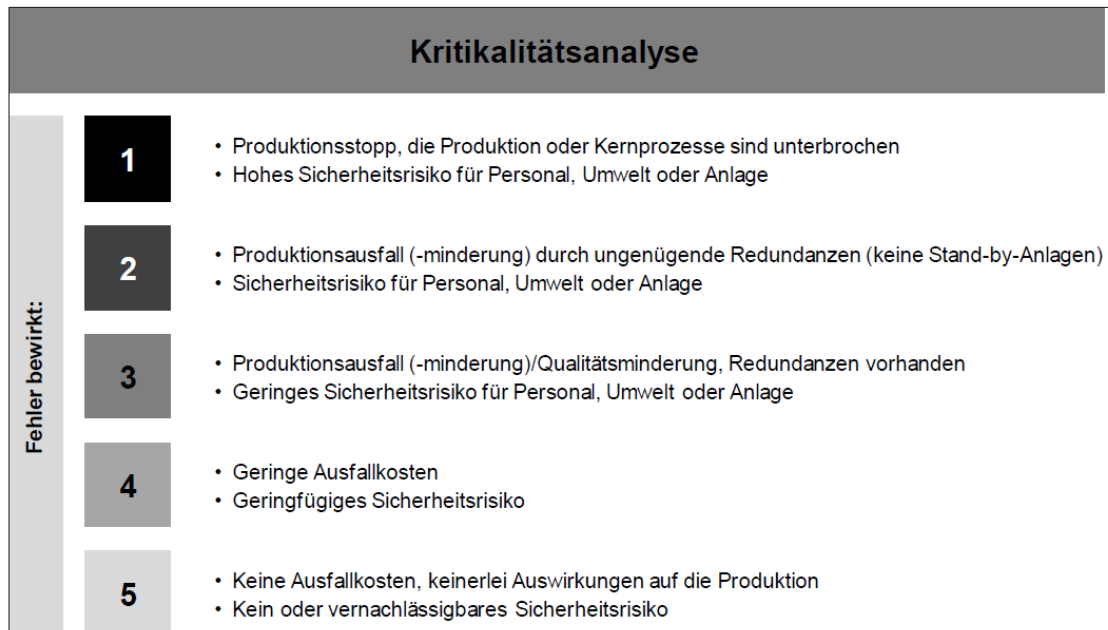


Abbildung 28: Kritikalitätsanalyse

Auf der Grundlage der Kritikalitätsanalyse wurde für den OWP Meerwind Süd|Ost eine Risikomatrix für unterschiedliche Betriebs- und Instandhaltungsstrategien aufgebaut. Hierbei wurden als weitere Randeinflüsse auf die Betriebs- und Instandhaltungsstrategien ebenfalls gesetzliche und behördliche Vorgaben z.B. aus dem geltenden BSH Standard Konstruktion, Auflagen aus der Genehmigung und der wiederkehrenden Prüfung sowie längerfristig laufende Serviceverträge berücksichtigt.

Die Auswertung der verschiedenen Inspektions- und Instandhaltungsstrategien für die Systemkomponenten zeigte ein nichthomogenes Bild, d.h. für jede Systemkomponente gelten unterschiedliche Randbedingungen, so dass keine einheitliche Strategie über alle Komponenten gefahren werden kann. Detailliertere Ausführungen greifen in das Geschäft- und Betriebsgeheimnis ein und können an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Entwicklung eines anwendungsreifen Konzeptes für eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen in Offshore-Windparks wurde voll erreicht.

zu 6) Entwicklung eines Demonstrators für Kostenanalysen in der Betriebssoftware

Basis für die Entwicklung eines Demonstrator für eine Kostenanalyse in der Betriebssoftware war die Erreichung der zuvor beschriebenen Teilvorhabenziele, deren Methoden und Ergebnisse in den Demonstrator eingeflossen sind.

Ausgehend von der entwickelten Software-Applikation für die systematische Durchführung der wiederkehrenden Prüfungen anhand von geführten Checklisten werden die einzelnen Prüfpunkte bei der Inspektion beim Walk Down vom Inspektor abgelaufen, bei den jeweiligen Prüfpunkten die Mängel mittels der Textbausteine beschrieben und nach dem Schadenkatalog bewertet. Abbildung 29 zeigt die Schadensklassifizierung für die Offshore-Bauwerke, welche in Analogie zum BAW Merkblatt für Standsicherheit (S) angewendet wird, wenn der Schaden noch nicht im Schadenkatalog aufgenommen wurde. Die Bewertung für Betriebssicherheit (B) und/oder der Dauerhaftigkeit (D) wird ebenso adaptiert.

Schadensbewertung Standsicherheit /S/	
Bewertung	Beschreibung
0	Der Mangel/Schaden hat keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauteils/Bauwerks
1	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils , hat jedoch keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks . Einzelne geringfügige Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen und geringfügige Abweichungen hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung liegen noch deutlich im Rahmen der zulässigen Toleranzen . Schadensbeseitigung im Rahmen der Bauwerksunterhaltung.
2	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils , hat jedoch nur geringen Einfluss auf die Standsicherheit des Bauwerks . Die Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung aus der Bauwerksnutzung haben die Toleranzgrenzen erreicht bzw. in Einzelfällen überschritten . Schadensbeseitigung mittelfristig erforderlich.
3	Der Mangel/Schaden beeinträchtigt die Standsicherheit des Bauteils und des Bauwerks . Die Abweichungen in Bauteilzustand, Baustoffqualität oder Bauteilabmessungen oder hinsichtlich der planmäßigen Beanspruchung aus der Bauwerksnutzung übersteigen die zulässigen Toleranzen . Erforderliche Nutzungseinschränkungen sind nicht vorhanden oder unwirksam. Eine Nutzungseinschränkung ist gegebenenfalls umgehend vorzunehmen. Schadensbeseitigung kurzfristig erforderlich.
4	Die Standsicherheit des Bauteils und des Bauwerks ist nicht mehr gegeben . Erforderliche Nutzungseinschränkungen sind nicht vorhanden oder unwirksam. Sofortige Maßnahmen sind während der Bauwerksprüfung erforderlich. Eine Nutzungseinschränkung ist umgehend vorzunehmen. Die Instandsetzung oder Erneuerung ist einzuleiten.

Abbildung 29: Schadensbewertung der Standsicherheit (S)

Als Resultat wurde ein Inspektionsprotokoll entwickelt, bei dem alle Informationen zusammengeführt werden (siehe Abbildung 30). Neben der Schadenklassifizierung, der Schadenlokalisierung und dem RDS-PP Code lässt sich der Schaden einem Bauteil direkt zuordnen und mit diesen Informationen in die Betriebssoftware GS-Manager überführen.



CL-Nr.	107	Zustandsnote	1,8	Klassifizierung	Coating/Corrosion	Kategorie	Korrosion	
								
Systemischer Schaden		Systemischer Schaden						
Dringlichkeitsklasse (DK)		Standsicherheit (S)		Betriebssicherheit (B)		Dauerhaftigkeit (D)		
2		0		0		2		
Beschreibung	Bauwerk	Teilbauwerk	Hauptbauteil	Prüfpunkt	Schaden	Menge	Ortsangabe	
Ebene ASB ING	1	2	3	4	5	6 & 7	8 - 11	
Schaden	M 01	Transition Piece	Boat Landing	Korrosionsschutz	Schadhafte, SK 2	lokal	WW - Zone	
Hinweis	Standsicherheitsrelevant		Nein	Sicherheitsrelevant	Nein	RDS - PP	UMD82WS101	
Anmerkung	WTG, M 01, Boat Landing, Vertikalrohre, Korrosionsschutz, schadhafte, lokal, RI 3, Restwanddicke 22,4 mm, Abrostungsrate ca. 10%						Bsp. ID - Nr.	107
Empfehlung	Korrosionsschutz instand setzen				Schadeneinstufung	Geringfügiger Schaden		

Abbildung 30: Exemplarisches Inspektionsprotokoll

Abbildung 31 zeigt die Umsetzung des Mangelimports aus der Checkliste der Software-Applikation zur Überführung in die Betriebssoftware GS-M. Somit können alle Prüfpunkte reproduzier- und nachverfolgbar abgelegt werden.

Nummer	Prüfbereich	Prüfpunkt	Ergebnis	Schadens-Attribute	Malgendiger Mangel	Schaden	Lokalisierung	Lokalisierungs-Attribute	Lokalisation D1	Lokalisation D2	Lokalisation D3
190	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Stahlbau	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
191	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Korrosionsschutz	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
192	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Schraubverbindungen	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
193	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Kabelschührung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
194	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Latten	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
195	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Latten	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
196	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Stiegschutz	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
197	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Stiegschutz	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
198	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Beleuchtung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
199	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Notbeleuchtung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
200	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Anschlagpunkte	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
201	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Beschleunigung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
202	Transition Piece über Wasser	Air Tight Plattform Belüftung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
203	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Stahl	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
204	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Schraubverbindungen	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
205	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Träger Aufhängung	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
206	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Kabelleitung	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
207	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Leiter	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
208	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Stiegschutz	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
209	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Anschlagpunkte	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
210	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform - Unterseite Air - Tight Messung Wanddicke 70 mm	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
211	Transition Piece über Wasser	Tower Plattform - Unterseite Air - Tight Messung Wanddicke 80 mm	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
212	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Messung Trägerflansch 6 mm	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
213	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Messung Trägerflansch 4 mm	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
214	Transition Piece über Wasser	Lower Plattform Messung Träger Aufhängung 10 mm	Schaden	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0
215	Transition Piece über Wasser	Erdung TP - MP Messung	OK	[DK: "2" "S" "W" "B" "U" "D" "I"]	falsch	Schadenstest Katalog	RDS-PP	RDS-PP Code (*)	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0	X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0 X.Pos: 0.0 Y.Pos: 0.0

Abbildung 31: GS-M Importliste

Ebenso ist es möglich Kostenansätze für die Maßnahmen zur Schaden- bzw. Mangelbeseitigung zu hinterlegen. Die Kostenansätze sind sehr stark davon abhängig, ob es sich um Einzelschäden handelt, die in einer individuellen Maßnahme beseitigt werden sollen oder ob systemische Schäden betroffen sind, deren Beseitigung in größer angelegten Kampagnen erfolgen.

Das Teilziel des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** zur Entwicklung eines Demonstrators für Kostenanalysen in der Betriebssoftware wurde erreicht. Die entwickelten Methoden ermöglichen eine effiziente Planung von Inspektionen und Instandhaltungsmaßnahmen.

Fazit:

Alle aufgeführten Ziele des Teilvorhabens **Offshore-Applikation** wurden wie zuvor erläutert, vollumfänglich erreicht. Somit konnte das Teilvorhaben **Offshore-Applikation** erfolgreich abgeschlossen werden.