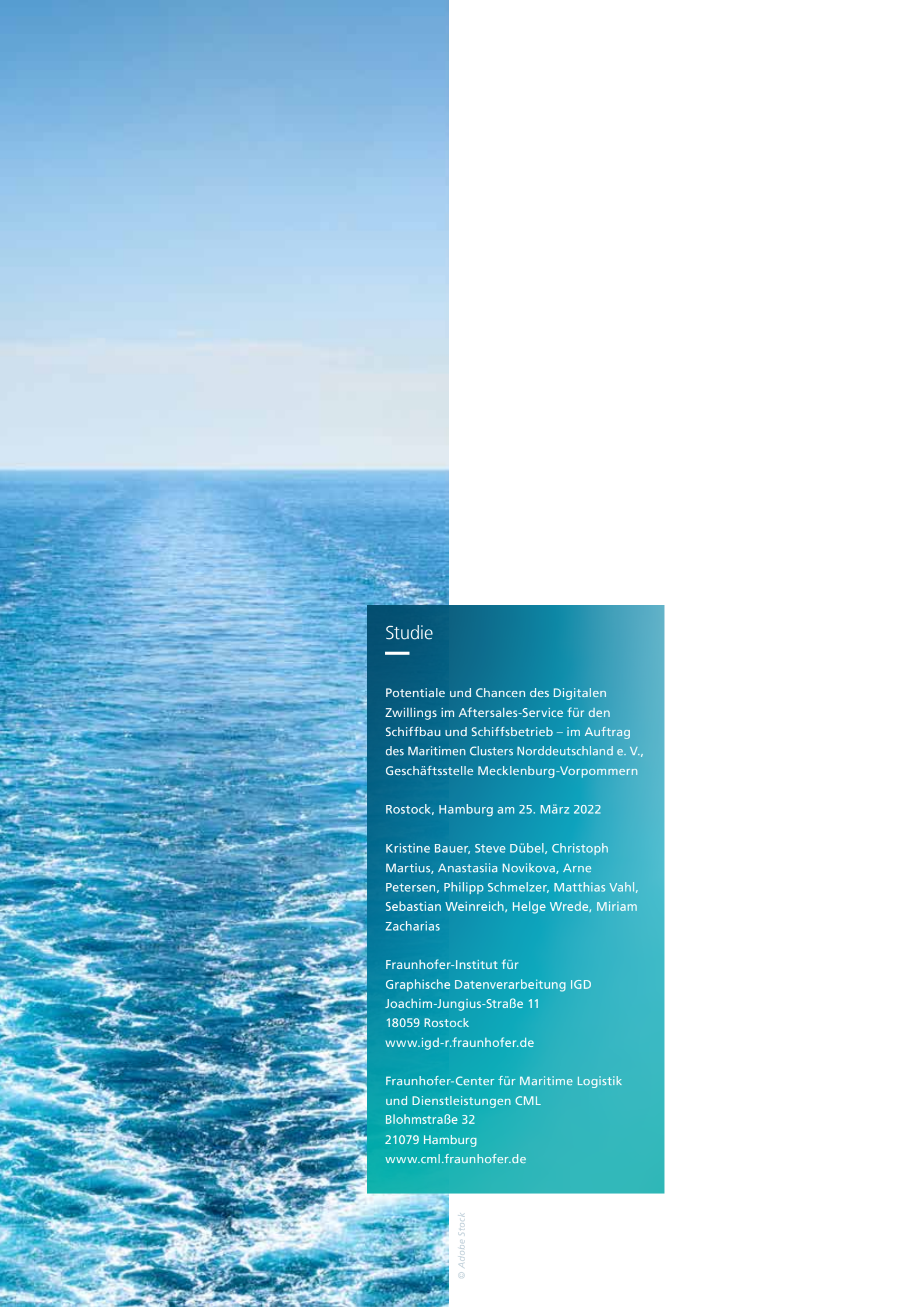




Studie

Potentiale und Chancen des Digitalen Zwillings im Aftersales-Service für den Schiffbau und Schiffsbetrieb



Studie

Potentiale und Chancen des Digitalen
Zwillings im Aftersales-Service für den
Schiffbau und Schiffsbetrieb – im Auftrag
des Maritimen Clusters Norddeutschland e. V.,
Geschäftsstelle Mecklenburg-Vorpommern

Rostock, Hamburg am 25. März 2022

Kristine Bauer, Steve Dübel, Christoph
Martius, Anastasiia Novikova, Arne
Petersen, Philipp Schmelzer, Matthias Vahl,
Sebastian Weinreich, Helge Wrede, Miriam
Zacharias

Fraunhofer-Institut für
Graphische Datenverarbeitung IGD
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock
www.igd-r.fraunhofer.de

Fraunhofer-Center für Maritime Logistik
und Dienstleistungen CML
Blohmstraße 32
21079 Hamburg
www.cml.fraunhofer.de

Zusammenfassung

Die vorliegende Ausarbeitung hat zum Ziel, eine qualitative Übersicht zum derzeitigen Einsatz Digitaler Zwillinge im maritimen Aftersales-Service zu erstellen sowie das Meinungsbild der Branche zu diesem aktuellen Forschungsthema zu erfassen. Zu diesem Zweck werden, neben einer Literatur- und Marktrecherche, Interviews mit ausgewählten Experten verschiedener maritimer Akteure geführt und ausgewertet. Dabei stehen der aktuelle Umsetzungsgrad, aber auch Potentiale sowie Hindernisse im Fokus der Betrachtung. Der Rahmen der Ausarbeitung sowie die Zielsetzung werden im ersten Kapitel spezifiziert.

In Kapitel 2 erfolgt eingangs eine kurze theoretische Einführung Digitaler Zwillinge, inklusive einer im Rahmen der Ausarbeitung zugrunde gelegten Definition. Zudem wird der Digitale Zwilling im Kontext des Produktlebenszyklus betrachtet, wobei der aktuelle Stand der Technik und aktuelle Anwendungen präsentiert werden. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf andere Branchen und deren Umsetzung Digitaler Zwillinge gegeben.

Dieser allgemeinen Einführung folgend, liegt in Kapitel 3 der Schwerpunkt auf der maritimen Umsetzung Digitaler Zwillinge, wobei Aftersales-Services im Fokus der Betrachtung stehen. Zu diesem Zweck werden zunächst Akteure der maritimen Branche vorgestellt und die Bedeutung des maritimen Aftersales und dessen Besonderheiten herausgearbeitet. Abschließend werden ausgewählte Leuchtturmprojekte aus verschiedenen Produktlebenszyklusphasen mit Bezug zu maritimen Digitalen Zwillingen vorgestellt.

Den Kern der Ausarbeitung bildet die Befragung maritimer Experten, die in Kapitel 4 zusammengefasst wird. Nach einer Vorstellung des Konzepts und der beteiligten Akteure werden hier die Ergebnisse der Befragung, unterteilt nach Aussagen zur Digitalisierung im Allgemeinen und speziell zu Digitalen Zwillingen, präsentiert. Es werden jeweils Leitthesen extrahiert, die die Schnittmenge der Einschätzungen der Experten zu einzelnen Fragestellungen widerspiegeln.

Abschließend erfolgt in Kapitel 5 eine zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse im Hinblick auf abgeleitete Erkenntnisse, Potentiale und den aktuellen Verbreitungsgrad. Darüber hinaus werden die Herausforderungen und Hürden identifiziert, die der Realisierung der Potentiale entgegenstehen, und Empfehlungen zum Abbau solcher Hürden aufgezeigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der aktuelle Stand der Nutzung Digitaler Zwillinge für den maritimen Aftersales-Service sich in der Regel auf einzelne prototypische Entwicklungen beschränkt. Die Branche hat kein einheitliches Verständnis zur Definition Digitaler Zwillinge, sieht allerdings Potential in diesem Bereich und erwartet in den nächsten Jahren eine fortschreitende Verbreitung maritimer Digitaler Zwillinge. Dabei muss jedoch klar der zu erzielende Nutzen im Vordergrund stehen. Der Digitale Zwilling ist kein Selbstzweck. Die Amortisation der Anfangsinvestition ist eine entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung und es werden neue Formen der Kooperation zwischen verschiedenen Akteuren, insbesondere im Hinblick auf die Datenbereitstellung, sowie Standards erforderlich.

Inhalt

Zusammenfassung	3
1. Einführung und Zielsetzung	6
2. Grundlegende Aspekte des Digitalen Zwillings	8
2.1 Definition und Kernaspekte	8
2.2 Digitale Zwillinge im Produktlebenszyklus	12
2.2.1 Aktueller Stand der Technik	14
2.2.2 Aktuelle Anwendungen im Produktlebenszyklus	16
2.3 Digitale Zwillinge im Branchenvergleich	18
2.3.1 Baubranche	19
2.3.2 Automobilbranche	20
2.3.3 Luftfahrtbranche	21
3. Digitale Zwillinge im maritimen Kontext	22
3.1 Akteure der maritimen Branche	22
3.2 Maritimer Aftersales	24
3.3 Maritime Umsetzungen des Digitalen Zwillings	28
4. Befragung von maritimen Akteuren	34
4.1 Konzeption der Befragung	34
4.2 Übersicht befragter Unternehmen	35
4.3 Ergebnisse der Befragung	36
4.3.1 Digitalisierung in der maritimen Branche	36
4.3.2 Einsatz Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche	37
5. Schlussfolgerungen und Ausblick	40
5.1 Abgeleitete Handlungsbedarfe	40
5.2 Fazit	44
5.3 Ausblick	47
Literaturverzeichnis	48
Tabellenliteraturverzeichnis	50



1. Einführung und Zielsetzung

Die digitale Transformation hat auch in der maritimen Wirtschaft, wie in nahezu allen Branchen, Einzug gehalten. In diesem herausfordernden Marktumfeld entwickeln sich sowohl die fortschreitende Digitalisierung an Bord und Land als auch die verbesserten Möglichkeiten des Datenaustauschs zwischen Schiff und Land als zentrale Treiber, welche die maritime Industrie bereits heute maßgeblich prägen. Das Zusammenspiel von physischen und digitalen Bereichen unter dem Schlagwort »Industrie 4.0« bietet in vielen Sektoren große Vorteile. Auch in der maritimen Wirtschaft verspricht die zunehmende Datenverfügbarkeit und -qualität in Kombination mit innovativen Funktionalitäten intelligenter, vernetzter Systeme die Chance, die Prozesseffizienz und Produktivität im Schiffsbetrieb und -bau zu steigern und mit neuen digitalen Leistungsangeboten zusätzlichen Kundennutzen zu generieren.

Einen zentralen Trend in diesem Umfeld stellt das Konzept des »Digitalen Zwilling« dar. Dabei handelt es sich um einen Datenspeicher, der verschiedene Aspekte eines oder mehrerer physischer Objekte möglichst umfassend über den gesamten Lebenszyklus bereitstellt. Ein Digitaler Zwilling kann dabei unter anderem Produktionsdaten, Betriebsdaten und 3D-Modelle beinhalten. Der zentrale Mehrwert von Digitalen Zwillingen entsteht durch die Verknüpfung und Nutzung der Informationen dieser Datenbasis für konkrete Anwendungsfälle. So können beispielsweise Sensordaten aus der Betriebsphase von technischen Anlagen mit Vorgaben aus dem Schiffsentwurf und der Inbetriebnahme verglichen werden, um Störungen im Schiffsbetrieb frühzeitig zu identifizieren.

Ähnlich wie in vergleichbaren Branchen lässt sich auch in der maritimen Industrie beobachten, dass viele Akteure den Begriff Digitaler Zwilling bereits gehört haben. Ein einheitliches Verständnis über den Fachbegriff und die dahinter liegenden Konzepte existiert allerdings noch nicht. Aus diesem Grund ist das erste Ziel dieser Ausarbeitung aufzuzeigen, worum es sich bei einem Digitalen Zwilling im Allgemeinen handelt und welche Kernaspekte hierfür charakteristisch sind.

Digitale Zwillinge werden bisher vorrangig in produktionsnahen Bereichen eingesetzt. Allerdings bietet das Konzept des Digitalen Zwillinges auch im Bereich Aftersales-Service die Möglichkeit, Potentiale der Industrie 4.0 gewinnbringend zu nutzen. Um aufzuzeigen, wie das Potential von Digitalen Zwillingen in der Praxis genutzt werden kann, wird in dieser Ausarbeitung ein Überblick über mögliche Anwendungsfälle durch konkrete Beispiele bereitgestellt. Dabei wird der Fokus vorrangig auf den Schiffbau und Schiffsbetrieb gelegt.

Kern der Ausarbeitung bilden Experteninterviews mit Führungskräften von Akteuren aus der maritimen Branche, die einen Überblick über den Stand des Wissens und die Umsetzung in Bezug auf Digitalisierung und Digitale Zwillinge gewähren. Durch die Darstellung der wichtigsten Erkenntnisse aus diesen Gesprächen soll dem Leser ein Einblick in das gegenwärtige Meinungsbild ausgewählter Akteure gegeben werden.

Das letzte Ziel dieser Arbeit ist es, Handlungsbedarfe zur Umsetzung von maritimen Digitalen Zwillingen aufzuzeigen, die auf den Ergebnissen der Experteninterviews aufbauen. Zudem wird ein Ausblick darüber gegeben, wie das Potential von Digitalen Zwillingen in Zukunft umfassender genutzt werden kann.



Der zentrale Mehrwert von Digitalen Zwillingen entsteht durch die Verknüpfung und Nutzung der Informationen dieser Datenbasis für konkrete Anwendungsfälle.«

2. Grundlegende Aspekte des Digitalen Zwillings

2.1 Definition und Kernaspekte

Im Kontext der Industrie 4.0 schreitet die Digitalisierung von Aktivitäten über den gesamten Lebenszyklus von Objekten fortlaufend voran. Auch die stetig wachsenden Einsatz- und Kommunikationsmöglichkeiten von Sensoren führen dazu, dass zu einem Objekt assoziierte Daten immer umfangreicher erhoben werden können. Infolge dieser Entwicklungen werden beispielsweise Sensordaten von Maschinen, Wartungsberichte, 3D-Modelle und Fehlermeldungen in wachsender Frequenz und Qualität erfasst. Die digitale Verfügbarkeit derartiger Daten bietet die Möglichkeit, innovative Lösungen zu entwickeln und anzubieten.

Um neuartige Mehrwerte zu erschließen, werden jedoch häufig Daten benötigt, die sich hinsichtlich ihrer Art, ihres Erfassungszeitpunkts und ihres Formats unterscheiden. Branchenübergreifend ist zu beobachten, dass die für komplexe Anwendungsfälle

benötigten Daten häufig in nicht-verknüpften Systemen vorliegen, beispielsweise in CRM¹- oder ERP²-Systemen, Datenbanken oder nur lokal bei einer zuständigen Stelle. Solche Insellösungen erhöhen den Aufwand der Datenzusammenstellung enorm und erschweren es neue Lösungen zu konzipieren.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, stellen Digitale Zwillinge ein **Konzept zur ganzheitlichen Informationsbereitstellung und -nutzung** dar. Allerdings wird der Begriff des Digitalen Zwillings sowohl in der Praxis als auch in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich verwendet – allein in der wissenschaftlichen Literatur wurden bislang mehr als 20 Definitionen vorgestellt. Kern der unterschiedlichen Auslegungen ist jedoch der Gedanke, dass es sich bei einem Digitalen Zwilling um das **virtuelle Abbild eines realen, eindeutig zuordenbaren Objekts** handelt. Die Art des Objekts, für das

¹ Customer-Relationship-Management

² Enterprise-Resource-Planning

ein Digitaler Zwilling verwendet werden kann, ist sehr vielfältig. Beispielsweise können Digitale Zwillinge für eine virtuelle Repräsentation von physischen Produkten, Anlagen, Prozessen oder auch Services erstellt werden.

Manche Akteure stellen sich einen Digitalen Zwilling als interaktives Modell eines Objekts, beispielsweise eines Schiffs oder einer spezifischen Anlage, vor. Dabei ist bereits an dieser Stelle hervorzuheben, dass ein Digitaler Zwilling weit über z.B. ein rein digitales 3D-Modell des zugehörigen Objekts hinausgeht. Vielmehr ist ein Digitaler Zwilling als eine **Sammlung von verschiedenartigen, mit dem Objekt verknüpften Daten sowie zugehörigen Daten- und Prozessmodellen** zu verstehen. Diese Datensammlung kann ein 3D-Simulationsmodell beinhalten, muss es aber nicht.

Ein Digitaler Zwilling erfüllt drei Hauptfunktionen: **Bereitstellung, Verknüpfung und Nutzung von Informationen**. Die Grundfunktion der Informationsbereitstellung beschreibt die Fähigkeit, auf so viele relevante Informationen wie nötig **über das zugehörige reale Objekt** zugreifen zu können. Um die verschiedenen Arten von Informationen miteinander in Beziehung zu setzen, ist es in der Regel notwendig, heterogene Daten miteinander zu verknüpfen. Dabei kann es erforderlich sein, dass die aus unterschiedlichen Systemen stammenden Daten standardisiert werden müssen, um eine gemeinsame Verarbeitung zu ermöglichen. Die verknüpften Daten können anschließend für verschiedene Anwendungsfälle genutzt werden, um einen konkreten Mehrwert zu generieren. Die Bereitstellung und Verknüpfung von Informationen eines realen Objekts durch seinen Digitalen Zwilling kann dabei als Mittel

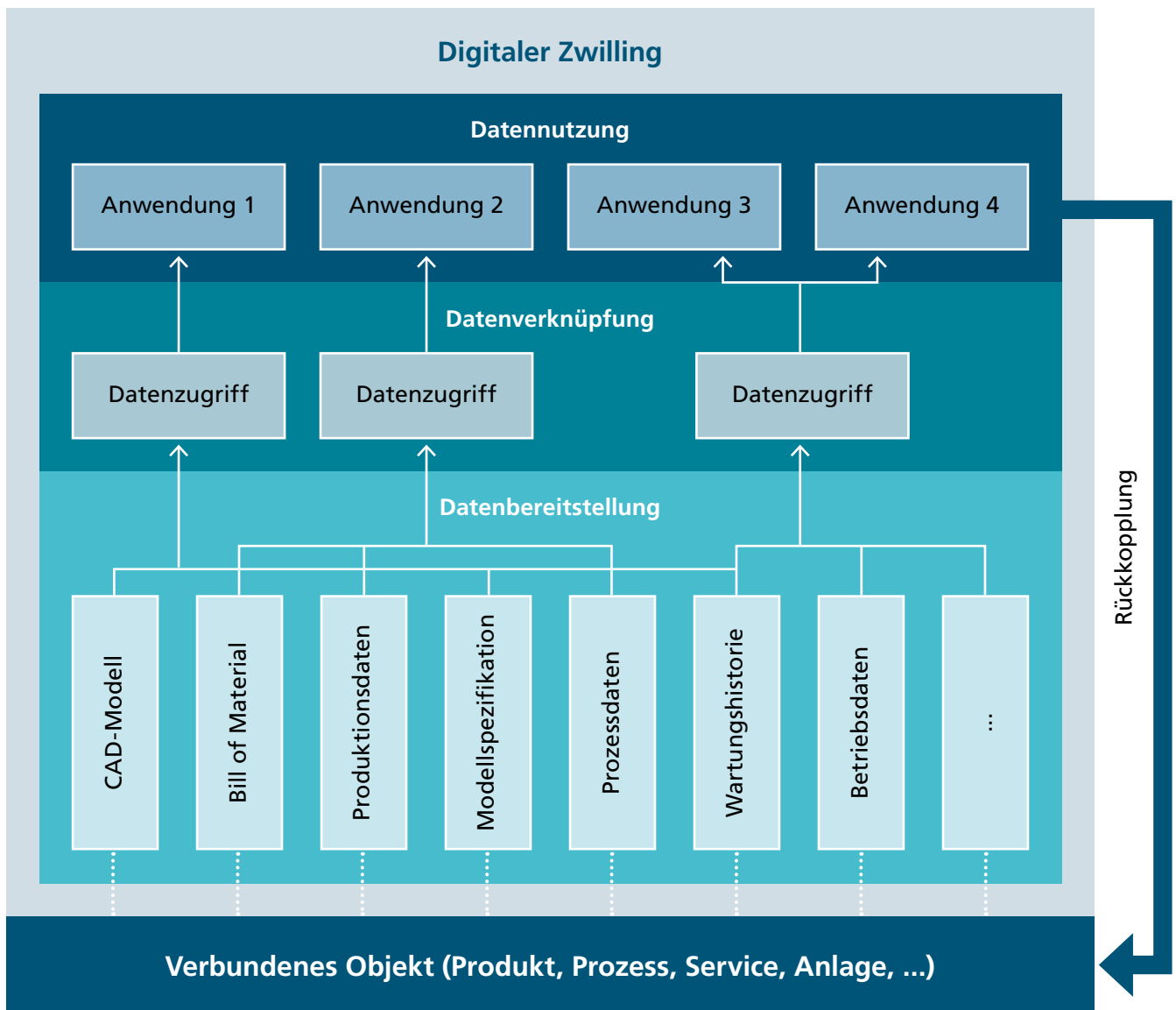


Abbildung 1: Funktionen eines Digitalen Zwillings: Bereitstellung, Verknüpfung und Nutzung von Daten [eigene Darstellung]

zum Zweck betrachtet werden. Erst die **Schaffung eines Mehrwerts** durch die Nutzung von Informationen für **konkrete Anwendungsfälle** legitimiert den Einsatz Digitaler Zwillinge. Abbildung 1 stellt die zentralen Funktionen eines Digitalen Zwillings – Datenbereitstellung, -verknüpfung und -nutzung – dar.

Laut einer Studie des Fraunhofer IPK und msg bestehen Digitale Zwillinge aus drei Komponenten [22]. Die erste Komponente bildet der »Digitale Master«, der die Stammdaten des zugehörigen Objekts als auch alle **Modelle und Informationen aus der Planungsphase** beinhaltet. Der Digitale Master kann zusätzlich zu grundlegenden Objektinformationen, wie Objekttyp (z.B. Motor) und Eigenschaften (Gewicht, Herstellungsjahr), auch Materialstücklisten oder CAD³-Modelle umfassen. Die zweite Komponente bildet der »Digitale Schatten«. Dieser beinhaltet hauptsächlich **Betriebs-, Prozess- und Zustandsdaten**

aus dem gesamten Lebenszyklus des zugehörigen Objekts. Dabei kann es sich beispielsweise um übermittelte Sensordaten, durchgeführte Servicearbeiten oder Produktionsdaten handeln. Der Digitale Master und Digitale Schatten bilden zusammen die **Datenbasis des Digitalen Zwillings**.

Die dritte, für die Wertschöpfung zentrale, Komponente bildet die Verknüpfung von Informationen aus Digitalem Master und Digitalem Schatten, um **Lösungen für spezifische Anwendungsfälle** zu schaffen [22]. Während sich Digitale Zwillinge branchenübergreifend häufig in der Hinsicht ähneln, dass sowohl Digitale Master- und Digitale Schattendaten bereitgestellt und verknüpft werden, sind die darauf aufbauenden Anwendungen sehr vielfältig im Hinblick auf ihre Art und Komplexität. Abbildung 2 stellt beispielhaft die Komponenten eines Digitalen Zwillings für einen Motor schematisch dar.

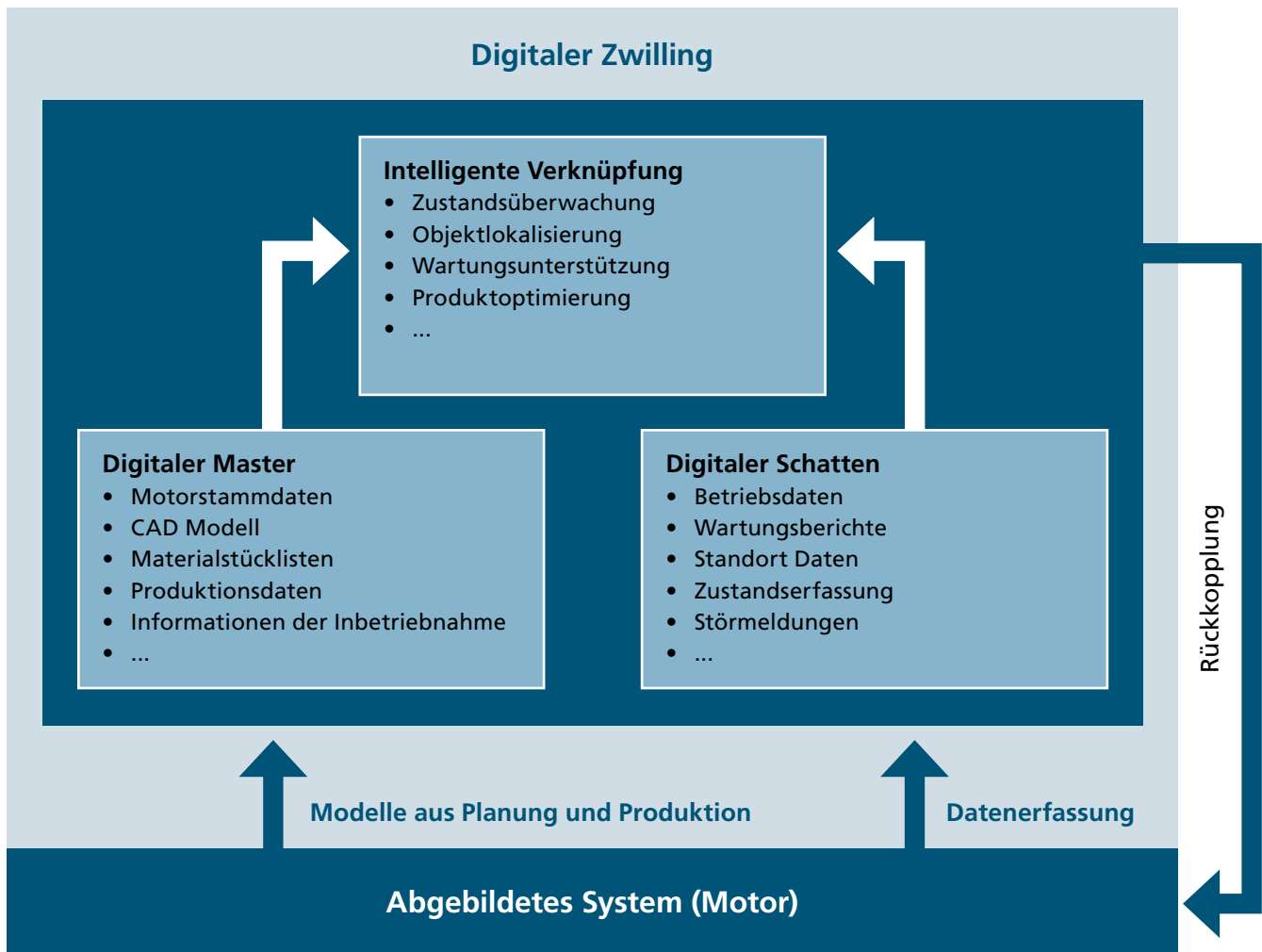


Abbildung 2: Komponenten eines Digitalen Zwillings am Beispiel eines Motors [eigene Darstellung]



Ein zentraler Punkt der Definition des Digitalen Zwillings ist, dass das virtuelle Abbild einem konkreten realen Objekt zugeordnet werden kann. Dabei kann sich der Digitale Zwilling eines Objekts aus mehreren Digitalen Zwillingen von Teilsystemen des Objekts zusammensetzen. So besteht beispielsweise der umfassende Digitale Zwilling eines konkreten Schiffs unter anderem aus den Digitalen Zwillingen der Motoren, der Brückensysteme, der Lagersysteme und vielen weiteren. Dabei ist allerdings zu betonen, dass ein Digitaler Zwilling das zugehörige reale Objekt im Regelfall nicht vollständig abbilden kann bzw. es auch aus wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten nicht zielführend ist, alle zugehörigen Aspekte zu erfassen. Vielmehr ist herauszustellen, dass **die Erschaffung von Digitalen Zwillingen zweckorientiert erfolgt** und daher nur solche Informationen erfasst werden, die für konkrete Anwendungsfälle benötigt werden. Dennoch ist es auch sinnvoll, ausgewählte ungenutzte Daten im Digitalen Zwilling zu erfassen, um neuen Anwendungen die Möglichkeit zu geben, diese Daten in Zukunft zu nutzen.

Die Nutzung der Informationen im Digitalen Zwilling muss sich nicht auf das zugehörige Objekt beschränken. Beispielsweise ist es im Rahmen des Digitalen Zwillings auch möglich Betriebs- und Prozessdaten eines konkreten Objekts zu verwenden, um die Entwicklung von zukünftigen Produkten zu unterstützen. Zusätzliche Mehrwerte kann auch die Verknüpfung von Digitalen Zwillingen von mehreren Objekten hervorbringen. So können Digitale Zwillinge mehrerer (Schwester-) Schiffe kombiniert werden, um verschiedene Analysen durchzuführen, um beispielsweise Betriebsprofile zu erstellen

oder Zusammenhänge und Gegensätze zu erkennen. Die Verknüpfung und gemeinsame Nutzung Digitaler Zwillinge unterschiedlicher Objekte wird auch »System of Twins« genannt.

Bei einem Digitalen Zwilling handelt es sich in der Praxis häufig nicht um eine eigenständige Softwarekomponente, die alle Datenquellen und Anwendungen beinhaltet. Um die relevanten Funktionen zu erfüllen, fungiert ein Digitaler Zwilling üblicherweise als das Verbindungsglied mehrerer Insellösungen und bietet somit die Möglichkeit, durch die gesamtheitliche Anbindung verschiedenartige Daten aus dem gesamten Lebenszyklus des zugehörigen Objekts zu nutzen. Bei einem Digitalen Zwilling handelt es sich somit um ein idealtypisches Datenmanagement über den gesamten Produktlebenszyklus, wodurch es ermöglicht wird zusätzliche Mehrwerte zu generieren.

Darüber hinaus können digitale Zwillinge auch die Kooperation zwischen verschiedenen Akteuren fördern. Beispielsweise können die Analysefunktionen eines Digitalen Zwillings eine Digitale Schiffsakte nutzen, in der relevante Dokumente wie Formulare, Rechnungen, Zertifikate und Protokolle gespeichert sind. Der globale Zugriff auf Teile dieser Schiffsakte durch verschiedene Akteure kann darüber hinaus betriebliche Abläufe erleichtern und die Kommunikation vereinfachen. Ebenso können unternehmensübergreifende digitale Plattformen mit Informationen aus verschiedenen Digitalen Zwillingen gespeist werden. Derartige unternehmensübergreifende Plattformen werden häufig auch unter dem Begriff »Digital Thread« entwickelt.



2.2 Digitale Zwillinge im Produktlebenszyklus

Um das Potential des Digitalen Zwillings in vollem Umfang nutzen zu können, ist es sinnvoll, alle Daten aus den verschiedenen Produktphasen von der Konzeption bis zur späteren Entsorgung des dazugehörigen Objekts zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang wird zunächst das Konzept des Produktlebenszyklus im Allgemeinen erörtert und anschließend der Bezug zum Einsatz des Digitalen Zwillings hergestellt.

Der Produktlebenszyklus ist ein betriebswirtschaftliches Konzept, das die idealtypische Entwicklung eines Produkts oder einer Dienstleistung von der Markteinführung bis zum -austritt mit jeweils unterschiedlichen Ertragslagen auf der Basis einer Lebenskurve abbildet. Er dient der Analyse der Wettbewerbsposition eines Produkts oder einer Dienstleistung auf einem Markt und bildet damit den Ausgangspunkt für die Einleitung von produktpolitischen Maßnahmen [12]. Vergleichbar mit biologischen Zyklen durchläuft ein Produkt oder eine Dienstleistung dabei im Laufe seines

Lebens verschiedene Stadien, von der Geburt (Produkteinführung) bis zum Tod (Degeneration mit anschließender Produktelimination).

Das Konzept des Produktlebenszyklus kann auch auf den Digitalen Zwilling übertragen werden. Die Abbildung 4 veranschaulicht die Verbindung zwischen Digitalen Master- und Digitalen Schattendaten mit den entsprechenden Lebenszyklusphasen.

Durch die Verknüpfung der Informations- und Datenströme im Rahmen einer ganzheitlichen Betrachtung des Produktlebenszyklus lassen sich neue Nutzungsmöglichkeiten für Digitale Zwillinge erschließen, die im Folgenden beispielhaft beschrieben werden.

Bereits in der Lebensanfangsphase können Simulationen mit dem Digitalen Zwilling im Rahmen der Konzeption und Entwicklung Rückschlüsse darauf geben, ob gewünschte

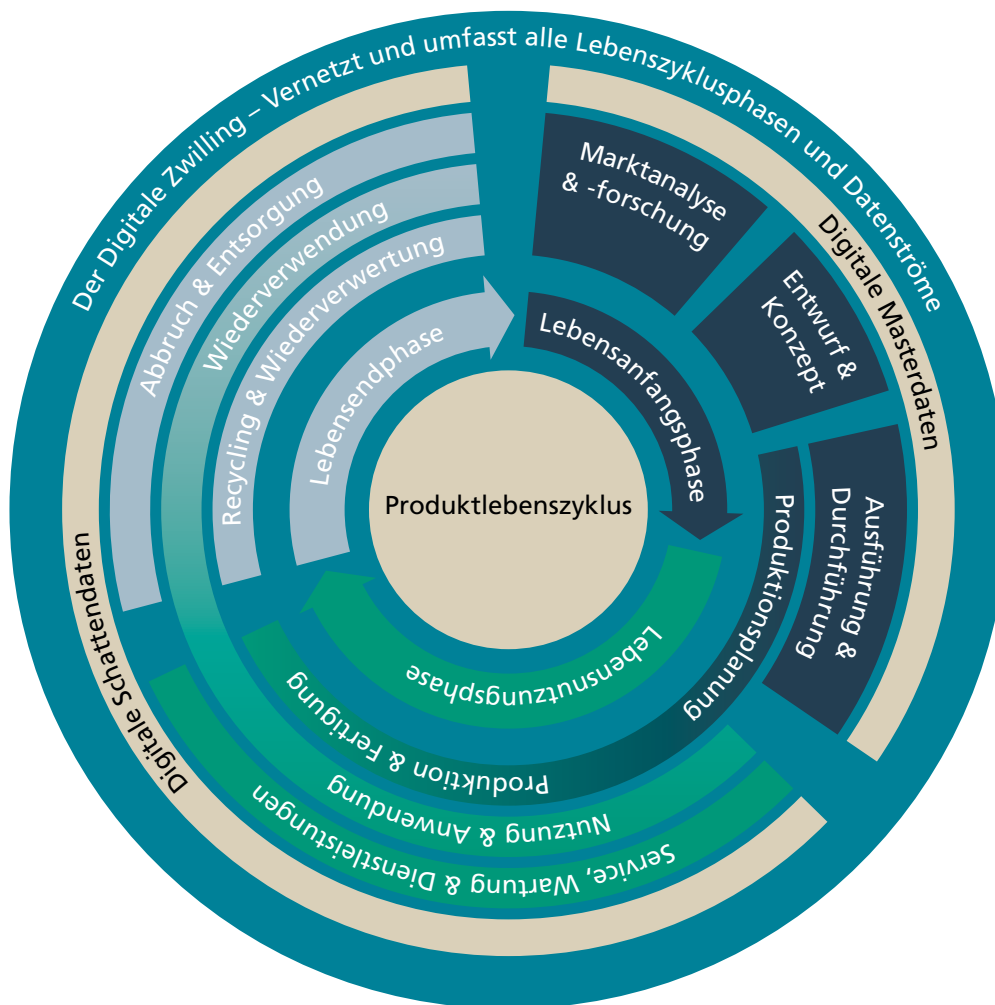


Abbildung 3: Der Digitale Zwilling im Kontext der Lebenszyklusphasen [eigene Darstellung]

Eigenschaften und Funktionen eines späteren Objekts oder Prozesses erfüllt werden können. Auf diese Weise lassen sich z.B. Designoptimierungen bereits in der Entwicklungsphase vornehmen, sodass Prototypentests zumindest teilweise durch Simulationen am Digitalen Zwilling ersetzt werden können. Auf diese Weise lassen sich in der Entwicklungsphase sowohl Kosten als auch Zeit einsparen.

Darüber hinaus kann der Digitale Zwilling auf Basis von Daten aus dem realen Betrieb bereits im Einsatz befindlicher Produkte Rückschlüsse auf das Nutzungsverhalten und die Funktionalität zukünftiger Produkte oder Systeme liefern, die bei der Konzeption und Entwicklung neuer Produkte entsprechend berücksichtigt werden können. Dies ermöglicht die frühzeitige Identifikation und Umsetzung von Optimierungspotenzialen im Rahmen der Produktneuentwicklung [1].

Die Kombination von Echtzeitdaten und Simulationsmodellen in der Lebensnutzungsphase ermöglicht es zusätzlich, mit Hilfe

virtueller Sensoren neue Erkenntnisse über normalerweise nicht zugängliche Stellen eines realen Objekts zu erhalten [1]. Die umfassende Nutzung eines Digitalen Zwillings kann somit zu einem geschlossenen Feedbackkreislauf in einer virtuellen Umgebung führen, der es einem Unternehmen ermöglicht, ihre Produkte und Fertigung bei geringem Kostenaufwand kontinuierlich zu optimieren [27].

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Einführung Digitaler Zwillinge den klassischen Produktlebenszyklus erweitert und ihm neue Dimensionen hinzufügt. Die Herausforderung besteht darin, den Lebenszyklus des Digitalen Zwillings und den Produktlebenszyklus aufeinander abzustimmen und mit entsprechenden produktpolitischen Maßnahmen zu vereinbaren.

Konkrete Anwendungsbeispiele für maritime Umsetzungen des Digitalen Zwillings entlang des Produktlebenszyklus werden in Abschnitt 3.3 betrachtet.

2.2.1 Aktueller Stand der Technik

Aufgrund der Vielzahl an Definitionen und der außerdem überbordenden Bandbreite an möglichen Anwendungsfeldern des Digitalen Zwillings steht eine vollumfängliche wissenschaftliche Beschreibung des Stands der Technik über alle Lebenszyklusphasen und Branchen hinweg nicht im Fokus dieser Ausarbeitung.

Weiterhin gibt es eine solche Fülle an – beworbenen und in der Umsetzung befindlichen – Projekten zum Thema des Digitalen Zwillings, dass eine solche Arbeit Gefahr laufe, schon bei Abschluss der Betrachtung obsolet zu sein. Digitale Zwillinge sind aktuell in allen Bereichen ein Forschungs- und Entwicklungsfeld, in dem stetig neue Publikationen entstehen. Es kommt erschwerend hinzu, dass viele Anwendungen zwar den formalen Anforderungen an einen Digitalen Zwilling genügen, aber nicht als solcher identifiziert werden.

Daher wird im Folgenden anhand von prominenten Leuchtturmprojekten der Versuch unternommen eine Abschätzung zu treffen, die den Digitalen Zwilling in seiner erreichten Umsetzungstiefe betrachtet.

Im Bereich der Prozessoptimierung und -darstellung von Fabriken im Sinne einer »Digital Factory« ist Siemens als einer der führenden Akteure in der deutschen und weltweiten Umsetzung von Digitalen Zwillingen zu erkennen. Eines der langlaufenden Projekte ist die Umsetzung eines Digitalen Zwillings von Siemens für die Anlagenentwicklung des Maschinenherstellers Bausch und Ströbel. Seit 2012 wird in dieser Firma ein Digitaler Zwilling für die effiziente Anlagenentwicklung implementiert. Kumuliert ist dieses in einer konsequenten Integration von VR-Technologien und digitalen Simulationsverfahren für Anlagen, die eine virtuelle Darstellung der gebauten Verpackungsanlagen ermöglichen, etwa in einem transportablen Virtual Reality Center [26], [3].

Ebenfalls unter der Mitarbeit von Siemens entsteht in den US-Navy-Häfen gerade das wohl umfangreichste und ambitionierteste Projekt für die Umsetzung eines maritimen Digitalen Zwillings [28].

Ziel dabei ist es, im Rahmen des 2018 angelaufenen Shipyard Infrastructure Optimization Program Werft- und Hafenanlagen der US-Marine zu optimieren. Mit einer Förderung von 21 Mrd. Dollar und einer 20-jährigen Laufzeit ist das Projekt angelegt eine neue Dimension der Integration Digitaler Zwillinge zu erforschen [14]. Die militärische Forschung lässt jedoch aus Sicherheitsbedenken keine umfassenden Einblicke in den Stand des Ausbaus zu, weshalb sich in diesem Projekt keine

eindeutige Abschätzung über den Stand der dort eingesetzten Technologie treffen lässt.

Eine kommerziell verfügbare Umsetzung des Digitalen Zwillings ist mittlerweile jedoch auch schon von Firmen wie Digital Twin Marine als nachrüstbare Systemlösung für gebaute Schiffe verfügbar. Dabei werden die eventuell fehlenden strukturellen Daten des Schiffs durch 3D-Messungen As-Built erstellt und in ein anwendungsfähiges Datenmodell übertragen, welches anschließend mit weiteren Datenbanken im Sinne eines Digitalen Masters und Schattens verknüpft werden kann.

Ebenfalls in kommerzieller Verwendung befindet sich das P&O Ferries digital twin performance monitoring system bei dem schon heute unter der Einbeziehung von We4Sea als Technologiepartner ein Digitaler Zwilling einer Fähre aufgebaut wird und die erhobenen Daten zur Analyse und Optimierung des Kraftstoffverbrauchs der Fähre genutzt werden [19].

Aus diesen und anderen, teilweise im Verlauf dieser Ausarbeitung betrachteten, Beispielprojekten kann der Schluss gezogen werden, dass der Digitale Zwilling als technische Innovation zwar in Insel- und Leuchtturmprojekten schon umgesetzt wird, aber hinsichtlich seiner konzeptionellen Rolle als Eckstein der Industrie 4.0 noch in einer sehr frühen Phase steckt [11]. Deutlich wird weiterhin, dass sich in den bisherigen Umsetzungen ein Fokus auf die Lebensnutzungsphase zeigt. Eine Erweiterung auf Projekte in der Lebensendphase hat erwartungsgemäß noch nicht begonnen, da das Forschungsgebiet noch jung ist, sodass wenige bis keine Projekte in die Lebensendphase eingetreten sind. Es ist jedoch schon jetzt absehbar, dass eine konsequente Datensammlung und Bestandsaufnahme der Zustände und Umstände eines Produkts mit einem Digitalen Zwilling die fachgerechte und umweltgerechte Entsorgung erleichtern wird und somit einen wichtigen Teil zur Nachhaltigkeit beitragen kann [22].



2.2.2 Aktuelle Anwendungen im Produktlebenszyklus

Im Rahmen der vorliegenden Ausarbeitung soll nicht nur ein Überblick über die Begrifflichkeiten und Definitionen im Kontext Digitaler Zwillinge gegeben, sondern auch aktuelle Umsetzungen aufgeführt und mögliche Anwendungsbereiche aufgezeigt werden. Zu unterscheiden ist hier zwischen bereits implementierten Anwendungen und dem generellen Potential Digitaler Zwillinge zur zusätzlichen Mehrwertgenerierung.

Auf Basis der Phasen des Produktlebenszyklus fasst Tabelle 1 die wesentlichen Einsatzbereiche, insbesondere aus der Lebensanfangs- und Lebensendphase, zusammen und bewertet diese im Hinblick auf den Digitalisierungsgrad: von noch nicht vollständig digitaler Umsetzung über digitale Prozesse ohne Einsatz Digitaler Zwillinge zu erfolgreich implementierten Digitalen Zwillingen. Die angegebenen Quellen enthalten

sowohl wissenschaftliche als auch praktische Umsetzungsbeispiele, sodass ein Querschnitt des aktuellen Stands der Verbreitung Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche präsentiert wird.

Der Teilbereich des maritimen Aftersales wird im späteren Verlauf fokussiert, da produktbegleitende Dienstleistungen den Einsatz des eigentlichen Produktes beim Kunden optimieren, zur Differenzierung zwischen Wettbewerbern beitragen und nachhaltige Problemlösung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg generieren können. Hier erfolgt an dieser Stelle eine Eingrenzung auf die Lebensnutzungsphase, obwohl Aftersales-Services auch in anderen Lebensphasen zum Einsatz kommen können. Digitale Zwillinge können dabei insgesamt ein Werkzeug sein, um entsprechende Aftersales-Services zu forcieren.



Tabelle 1: Umsetzungsbeispiele und Potentiale Digitaler Zwillinge (DZ) in Lebensanfangs- und Lebensendphase

		Teilintegrierte Anwendungsfälle mit großem Digitalisierungspotential	Digitalisierungsgrad			Nutzungspotentiale eines DZ in Bezug auf Kosteneinsparung und Effizienz in Geschäftsprozessen	
			nicht digital	Standard Digitalisierung (CAD / PLM)	Digitaler Zwilling		
Lebensanfangsphase	Product Definition	3D-Konzept		X		Rückkopplung in die Marktanalyse für Vertrieb	
		Lastenheft	X			Objektorientierte 3D-Darstellung des Gesamtsystems Schiff	
		Spezifikationen	X				
		Generalplan		X			
	Sales & Marketing	3D-VR für Kundenwerbung				X ^{T11,T12}	Mögliche VR-Anwendungen zur Remoteunterstützung und Qualifizierung v. Personal an Bord
		Historische Datenanalyse für Zukunftsplanung				X ^{T9}	Unterstützung bei Entscheidungen, Design Thinking
	Design	Future Growth	X				Vernetzung Class zur Survey
		Schiffstheoretischer Entwurf		X ^{T8}			Vernetzung zum Recycling und zum Retrofit
		Festigkeitsberechnungen		X			Vernetzung zur Predictive Maintenance und zur Retrofitplanung
		Digitale Widerstands-/ Propulsionsversuche		X ^{T17}			
Echtzeitsimulation			X				
Manöversimulation			X ^{T16}				
Erstellung von Netzplänen			X			Vernetzung der Netzpläne mit VR-Systemen für Training und Fehleranalyse	
Virtual Prototyping			X ^{T8}			Interaktive Kollaboration im Design	
Lebensendphase	Retrofit	As-Built-Measurements		X		Erfassung und automatische Eintragung systemweiter Veränderungen durch Retrofit (Bsp. Gewichte, Gewichtsverteilung)	
		Retrofitmaßnahmen	X			Automatisierte Anpassung des Digitalen Masters	
	Recycling	Bestandsdatenerfassung	X			Echtzeittracking von Gesundheits- und Umweltgefährdenden Stoffen zur Absicherung der Corporate Responsibility	



2.3 Digitale Zwillinge im Branchenvergleich

Dieser Abschnitt widmet sich der Umsetzung und Anwendung des Digitalen Zwillings in ausgewählten Branchen und dient damit als Basis zur entsprechenden Einordnung des Umsetzungsstands des maritimen Digitalen Zwillings. Es werden die Branchen Bau-, Automobilwesen und Luftfahrt betrachtet sowie jeweils exemplarische Anwendungsbereiche des

Digitalen Zwillings aufgezeigt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über ausgewählte Merkmale der hier betrachteten Branchen. Dabei wird zwischen der Art der Fertigung, der Geschäftsbeziehung zwischen Hersteller und Kunde sowie dem primärem Anwendungsfokus des Digitalen Zwillings nach Produktlebenszyklusphase unterschieden.

Tabelle 2: Vergleich ausgewählter Branchen mit Anwendungsgebieten des Digitalen Zwillings

Branche	Fertigungsart	Primäre Geschäftsbeziehung	Anwendungsfokus Digitaler Zwilling
Bauwesen	Einzelfertigung	B2B, B2C	Planung & Design
Automobil	Serienfertigung	B2C	Design, Simulation & Produktion
Luftfahrt	Kleinserienfertigung	B2B	Betrieb & Wartung



BIM kann in allen Phasen des Lebenszyklus eingesetzt werden, von der Planung über den Bau bis hin zum Betrieb und Abriss eines Gebäudes.«

2.3.1 Baubranche

Das Bauwesen weist große Ähnlichkeiten mit dem Schiffbau auf. In beiden Branchen wird der Großteil der Produkte auf Bestellung gefertigt, wobei der relevante Kundenkreis oftmals aus fachkundigen Geschäftskunden, Konzernen oder Großunternehmen besteht.

Wie auch in anderen Industriezweigen zu beobachten ist, gibt es in der Bauindustrie Bestrebungen, die durchgängige Nutzung eines digitalen Modells über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu realisieren. In der Praxis wird hierfür das sogenannte Building Information Modeling (BIM) verwendet, das der digitalen Abbildung der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks entspricht [2]. Diese Gebäudemodellierung hilft Architekten, Ingenieuren und anderen Baufachleuten, Gebäude in 3D zu visualisieren, bevor der Bauprozess begonnen hat.

Dabei ermöglicht der Einsatz von BIM über eine zentrale digitale Abbildung des zu errichtenden Gebäudes eine Steigerung der Planungseffizienz und -qualität, indem die zeitaufwändige und fehleranfällige Mehrfacheingabe von Informationen in verschiedenen Systemen entfällt und ein verbesserter Datenaustausch zwischen den involvierten Akteuren der verschiedenen Fachdisziplinen ermöglicht wird [4].

BIM kann in allen Phasen des Lebenszyklus eingesetzt werden, von der Planung über den Bau bis hin zum Betrieb und Abriss eines Gebäudes. Konkrete Anwendungen sind in diesem Zusammenhang Beleuchtungsanalysen, Evakuierungssimulationen, Koordination der Baustellenlogistik, Gebäudeüberwachung und Predictive Maintenance oder Facility Management.





© Adobe Stock



Digitaler Zwillinge können genutzt werden, um relevante Daten zu sammeln, neue Methoden zu testen und das Endprodukt zu optimieren.«

2.3.2 Automobilbranche

Die Fertigung der Automobilindustrie ist, ähnlich wie der Schiffbau, durch eine Vielzahl von spezifischen Management-Tools und Datenbanken unterschiedlicher Anbieter gekennzeichnet, die bezüglich Datenmodellen, Schnittstellen, Prozessen und Organisationseinheiten oftmals ein hohes Maß an Heterogenität aufweisen. Dies erschwert die Nachverfolgung einzelner Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird in der Automobilindustrie zunehmend auf das Konzept des Digitalen Zwillings gesetzt. Der Digitale Zwilling bietet Schnittstellen für unterschiedliche Modelle und Daten auf verschiedenen Granularitätsstufen und gewährleistet deren Konsistenz [13]. Kombinierte Instanzen Digitaler Zwillinge können darüber hinaus genutzt werden, um relevante Daten zu sammeln, neue Methoden zu testen und das Endprodukt zu optimieren oder auf Fehler zu überprüfen. Dies ermöglicht die Übertragung und Nutzung von Informationen aus einer Phase des Produktlebenszyklus in anderen Phasen. So können beispielsweise Defekte während des Betriebs eines Fahrzeugs wichtige Rückschlüsse für die Designphase eines neuen Fahrzeugmodells liefern.

Zu weiteren Einsatzgebieten von Digitalen Zwillingen in der der Automobilbranche zählen unter anderem die Bereiche Designvalidierung, Vorhersage von Fahrzeugwartungszeiten, Optimierung der Kraftstoffeffizienz oder Fahrzeugleistungstests [29].

2.3.3 Luftfahrtbranche

Die Luftfahrtindustrie ist wie die Schifffahrt durch ein hohes Maß an technischer und betrieblicher Komplexität gekennzeichnet und umfasst ein vielschichtiges Ökosystem mit unterstützender Infrastruktur. Eingebettet in dieses System ist das sogenannte Digitale Flugzeug, die virtuelle Repräsentation eines Flugzeugs mit seinen geometrischen und physikalischen Eigenschaften unter Verwendung numerischer Simulationsmodelle und -tools. Ziel ist es, die Konsistenz aller digitalen Daten und Modelle während des gesamten Lebenszyklus eines Flugzeugs zu erreichen – vom Entwurf über die Produktion und den Betrieb bis hin zur Stilllegung. Um dies zu erreichen, ist die Abkehr von Dateninseln, bei denen die Daten in verschiedenen Abteilungen und lokal bei externen Dienstleistern gespeichert sind, hin zu standardisierten Schnittstellen und Datenformaten von elementarer Bedeutung [23].

Bislang liegt der Fokus von Digitalen Zwillingen in der Luftfahrt vor allem auf den Bereichen Performance Monitoring und Wartung. Dazu gehört zum Beispiel ein flottenweites

Benchmarking, das Anomalien in den Betriebsparametern der Flugzeuge identifiziert. Diese bilden den Ausgangspunkt für die Einleitung von entsprechenden Korrekturmaßnahmen. Zu diesem Zweck betreibt beispielsweise der Flugzeughersteller Airbus eine eigene Plattform namens Skywise [34], die Daten von rund 9.500 Flugzeugen und mehr als 140 Fluggesellschaften sammelt. Um einen möglichst umfassenden Überblick über das Produkt Flugzeug zu erhalten, sind neben den Fluggesellschaften auch Zulieferer sowie mehr als 150 verschiedene Systeme an die Plattform angebunden.

Abschließend ist zu konstatieren, dass der Einsatz des Digitalen Zwillings in den betrachteten Branchen auf eine digitale Durchgängigkeit aller im Produktlebenszyklus verfügbaren Daten abzielt.

Das nächste Kapitel befasst sich mit spezifischen Anwendungsfällen des Digitalen Zwillings im maritimen Kontext und diskutiert verschiedene Aftersales-Serviceansätze.



Bislang liegt der Fokus von Digitalen Zwillingen in der Luftfahrt vor allem auf den Bereichen Performance Monitoring und Wartung.«



3. Digitale Zwillinge im maritimen Kontext

Nach einem theoretischen Überblick, der Einordnung Digitaler Zwillinge in den Produktlebenszyklus anhand von Umsetzungsbeispielen sowie der Präsentation von ähnlichen Konzepten in anderen Branchen, wird im Folgenden der Fokus auf die maritimen Anwendungsfelder und die Besonderheiten der Branche gerichtet. Um die Randbedingungen im Vergleich zu anderen Branchen herauszustellen, werden

zunächst die maßgeblichen Akteure der Branche benannt und deren Wirkungsfeld erläutert. Anschließend wird die Bedeutung des maritimen Aftersales hervorgehoben. Mit der Aufstellung der Akteursgruppen sowie der bereits umgesetzten Anwendungsfelder können dann im Anschluss grundlegende Thesen durch eine Befragung von Akteuren evaluiert werden.

3.1 Akteure der maritimen Branche

Im Vorfeld der Ausarbeitung wurden relevante Akteure der maritimen Branche ermittelt, die zur Umsetzungstiefe und ihren Erfahrungen im Umgang mit Digitalen Zwillingen befragt werden.

Die **Werften** nehmen als Vertretung des Schiffbaus eine zentrale Rolle in der Branche ein und bieten mit ihrem Know-how

einen umfassenden Einblick in das Gesamtsystem Schiff. Sie koordinieren Zulieferer und Reeder und fungieren dabei als Schnittstelle während der Entwurfsphase und als Bauhof gleichermaßen. Spezialisiert auf den Nischenmarkt der hochtechnologischen Spezialschiffe und der vorrangig qualitätsorientierten Personenschiffahrt, haben deutsche Werften weiterhin einen großen Bedarf an innovativen Lösungen, um

ihren technisch operativen Vorsprung in einem sich ständig erneuernden Weltmarkt wie dem Schiffbau zu behaupten [5].

Die **Zulieferindustrie**, als zweite Akteursgruppe im maritimen Sektor, beschäftigt Stand 2020 etwa 63.000 Mitarbeiter in rund 400 Betrieben und stellt mit einem Umsatz von rund 10,5 Mrd. Euro den bedeutendsten Zweig in der maritimen Industrie Deutschlands dar.

Stärkster Abnehmer sind dabei die **Schiffbaubetriebe** als Primärproduktabnehmer, insbesondere im EU-Ausland. Der Anteil an Aftersales-Leistungen macht jedoch mit etwa 24% des Umsatzes auch am Geschäft der Lieferanten bereits einen bedeutenden Anteil aus, mit steigender Tendenz [6, 30].

Gerade dieser Teil des Geschäfts hat eine zunehmende Bedeutung in der Wertschöpfung der Produkte und muss gleichzeitig mit stetig wachsender Konkurrenz aus Drittländern mithalten. Eine konsequente Betrachtung der Vorteile, die eine Verbesserung des Aftersales bietet, ist also besonders in diesem Bereich der maritimen Branche zu führen [30].

Die **Häfen** als Schnittstelle der maritimen zur landseitigen Logistik und Wertschöpfung wurden als eine dritte Säule des

betrachteten Industriezweigs identifiziert. Sie bieten eine Vielfalt an Dienstleistungen, besonders im Bereich der Koordination und Logistik.

In enger Zusammenarbeit mit den Häfen stehen die **Reeder** als Betreiber der Schiffe und als Kundenseite der Aftersalesleistungen der Zulieferer und Schiffbauer. Ihnen ist, für eine möglichst effiziente Abwicklung der Speditionsgeschäfte, an umfassenden Lösungen im Risikomanagement gelegen, um z.B. Ausfallzeiten aufgrund von Komponentenausfällen und von vorzuhaltenden Kontingenten an Ersatzteilen zu minimieren. Um solchen Bedarf Rechnung zu tragen sind moderne Anwendungskonzepte und Dienstleistungen gefragt.

Als letzte Akteure werden die **Behörden**, und mit ihnen verbunden die **Verbände und Klassifikationsgesellschaften**, als integrale Akteure in der Gestaltung, Prüfung und Pflege der rechtlichen Rahmenbedingungen aufgeführt. Ohne eine Beteiligung der rechtsgebenden und -prüfenden Instanzen und etwaige notwendige Anpassungen der Gesetze und Verordnungen kann eine Neuorientierung der Branche nicht umgesetzt werden. Besonders dort, wo die Sicherheit von Leben und Gütern in Frage steht, müssen diese idealerweise schon in der Konzeptphase miteinbezogen werden.

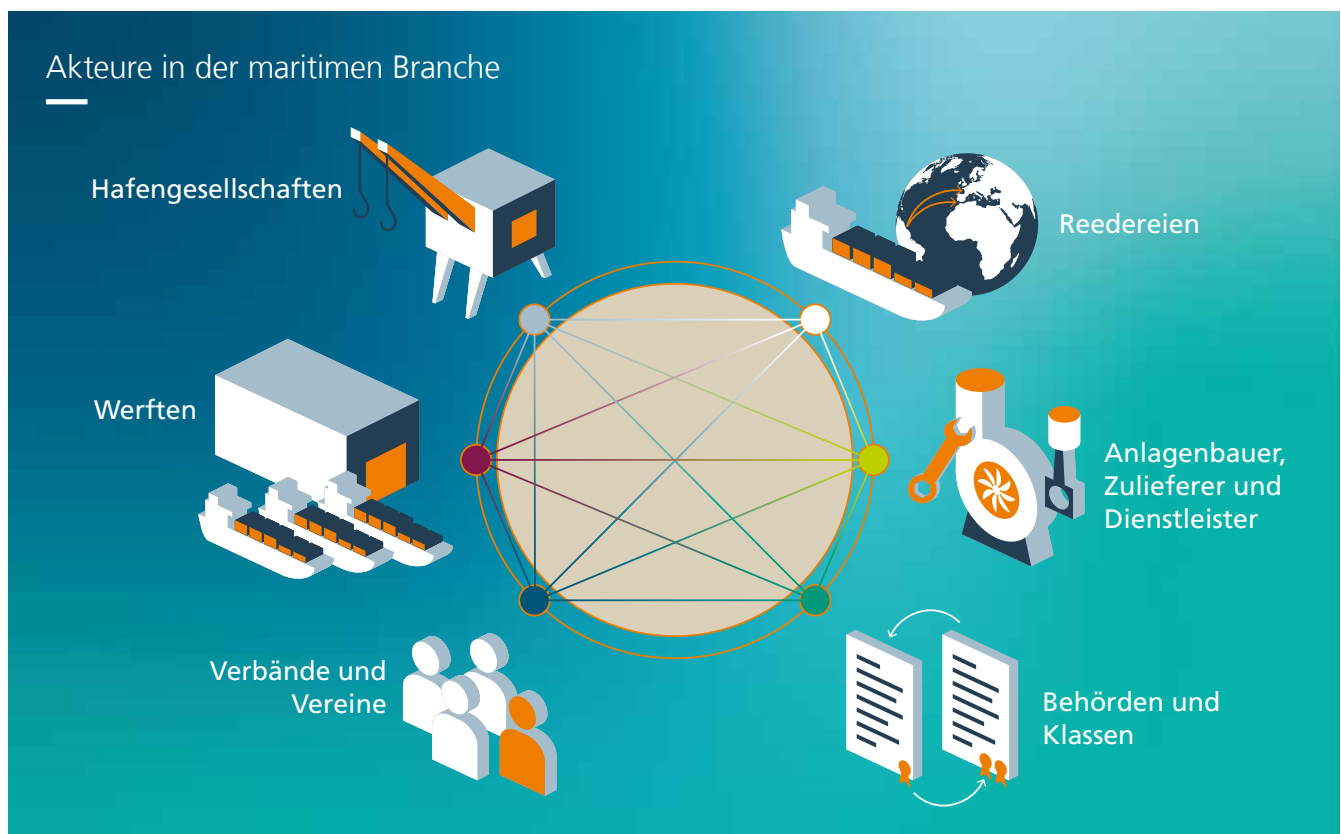


Abbildung 4: Überblick über die Akteure der maritimen Branche [eigene Darstellung]

3.2 Maritimer Aftersales

Während sich Maschinen- und Anlagenbauer lange Zeit primär durch die Qualität ihrer Produkte erfolgreich am Markt behaupten konnten, rücken aus Unternehmenssicht seit Beginn der 1990er Jahre verstärkt produktbegleitende Dienstleistungen in den Vordergrund, um sich von Wettbewerbern zu differenzieren. Diese Entwicklung ist hauptsächlich durch einen zunehmenden globalen Wettbewerbsdruck, sowie durch sich immer stärker angleichende Konkurrenzprodukte bedingt. Zusätzlich bergen die Entwicklungen der Industrie 4.0 vielfältige Möglichkeiten, um den Einsatz eines Produktes durch das Angebot von produktbegleitenden Dienstleistungen zu verbessern.

Durch diese Entwicklung ist immer häufiger zu beobachten, dass es weniger um das Produkt selbst geht, sondern um Angebote, die dem Wunsch des Kunden nach einer nachhaltigen Problemlösung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg entsprechen.

Derartige produktbegleitende Dienstleistungen werden üblicherweise unter dem Begriff Aftersales-Services zusammengefasst. Der Nutzen und Umfang solcher Dienstleistungen ist sehr vielfältig und kann sich auf einzelne Phasen des Produktlebenszyklus beschränken oder diesen komplett umspannen. Gemeinsam haben Aftersales-Services hingegen, dass sie das Produkt beim Kunden zu einem unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimierten Einsatz bringen.

Gerade in technologieorientierten Branchen etablieren sich Aftersales-Services in zunehmendem Maß als entscheidendes Differenzierungskriterium, da ausgereifte Services tendenziell schwieriger durch die Konkurrenz zu kopieren sind als technische Eigenschaften von Maschinen und Anlagen.

Zusätzlich nimmt der Aftersales-Service in der maritimen Industrie besonders auch aufgrund von langen Lebensdauern, signifikanten Ausfallkosten, einer hohen Individualität sowie zunehmender Komplexität der Systeme eine zentrale Stellung ein.

Im Hinblick auf Werften stellt ein ausgeliefertes Schiff ein Gefüge aus mehreren Systemen dar. Inwieweit eine Werft neben den Gewährleistungsregelungen im Sinne einer Aftersales-Betreuung agiert, ist vom Schiffstyp abhängig. Je spezieller das Schiff, desto mehr ist eine Werft direkt im Aftersales involviert. So wird für Wartungs- und Umbauarbeiten bei Yachten (z.B. bei Eigentümerwechsel) oftmals die Bauwerft konsultiert oder die Yacht kehrt zur Bauwerft zurück. Bei Frachtschiffen ist die Bindung zur Bauwerft nach der Indienststellung in der

Regel kaum vorhanden. Wartung, Reparaturen, Retrofits und Klasseläufe werden von Dritten durchgeführt.

Hinzu kommt, dass der Aftersales für einzelne Systeme des Schiffsbetriebs beim jeweiligen Hersteller verortet ist. Mit Blick auf die Hauptmaschine(n) z.B. liegen Wartungszyklen, die Handhabung eines Bauteiltausches und eine mögliche Zustandsdatenüberwachung beim Motorenbauer. Die Gruppe der Zulieferer stellt damit einen der größten Anbieter an Aftersales-Services in der Branche dar, während die Reeder i.d.R. in Bezug auf das Flottenmanagement die Kundenperspektive einnehmen.

Auch die Industrie 4.0 unterstützt den Paradigmenwechsel weg von einer Fokussierung des physischen Produkts und des zugehörigen Produktionsprozesses hin zu einer stärkeren Betrachtung von produktbegleitenden Dienstleistungen. Durch die Möglichkeiten der Industrie 4.0 rückt nun verstärkt die Frage in den Vordergrund, wie Daten und Informationen sowie deren Austausch und Nutzung über den gesamten Produktlebenszyklus gewinnbringend genutzt werden können.

In einer Ausarbeitung des VDMA und des Fraunhofer-Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen CML wurden sechs Handlungsfelder identifiziert, in denen maritime Zulieferunternehmen Betriebsdaten von vernetzten Systemen nutzen können, um angebotene Aftersales-Services weiterzuentwickeln oder gänzlich neue Dienstleistungen zu offerieren [18]. Die Handlungsfelder umfassen sowohl die Analyse von Betriebsdaten zur Unterstützung der Produktentwicklung, die Betriebsoptimierung und -steuerung, die Zustandsüberwachung und Ferndiagnose, als auch die Möglichkeit Entscheidungs- oder Arbeitsunterstützungssysteme anzubieten.

Auch eine Ausarbeitung des VDMA aus dem Jahre 2018 identifizierte Erfolgsfaktoren, die den o.g. Handlungsfeldern zugeordnet werden können [30]. Abbildung 5 zeigt anschaulich, in welchen Bereichen der höchste Handlungsbedarf verbunden mit der höchsten zukünftigen Bedeutung in den Themenfeldern zu finden sind. Dies sind auf den ersten drei Plätzen die Ersatzteilverfügbarkeit, Reaktions- und Lieferzeiten sowie die Ausfallzeiten beim Kunden. Die Notwendigkeit der Weiterentwicklung ist der Branche bewusst.

Besonders im Bereich der Zustandsüberwachung und Ferndiagnose stellt die Nutzung von leistungsfähigen Datenübertragungssystemen eine zentrale Herausforderung dar. Eine umfassende digitale Betreuung von Projekten im Remote-Betrieb ist daher ebenso von der Abdeckung des Einsatzgebietes





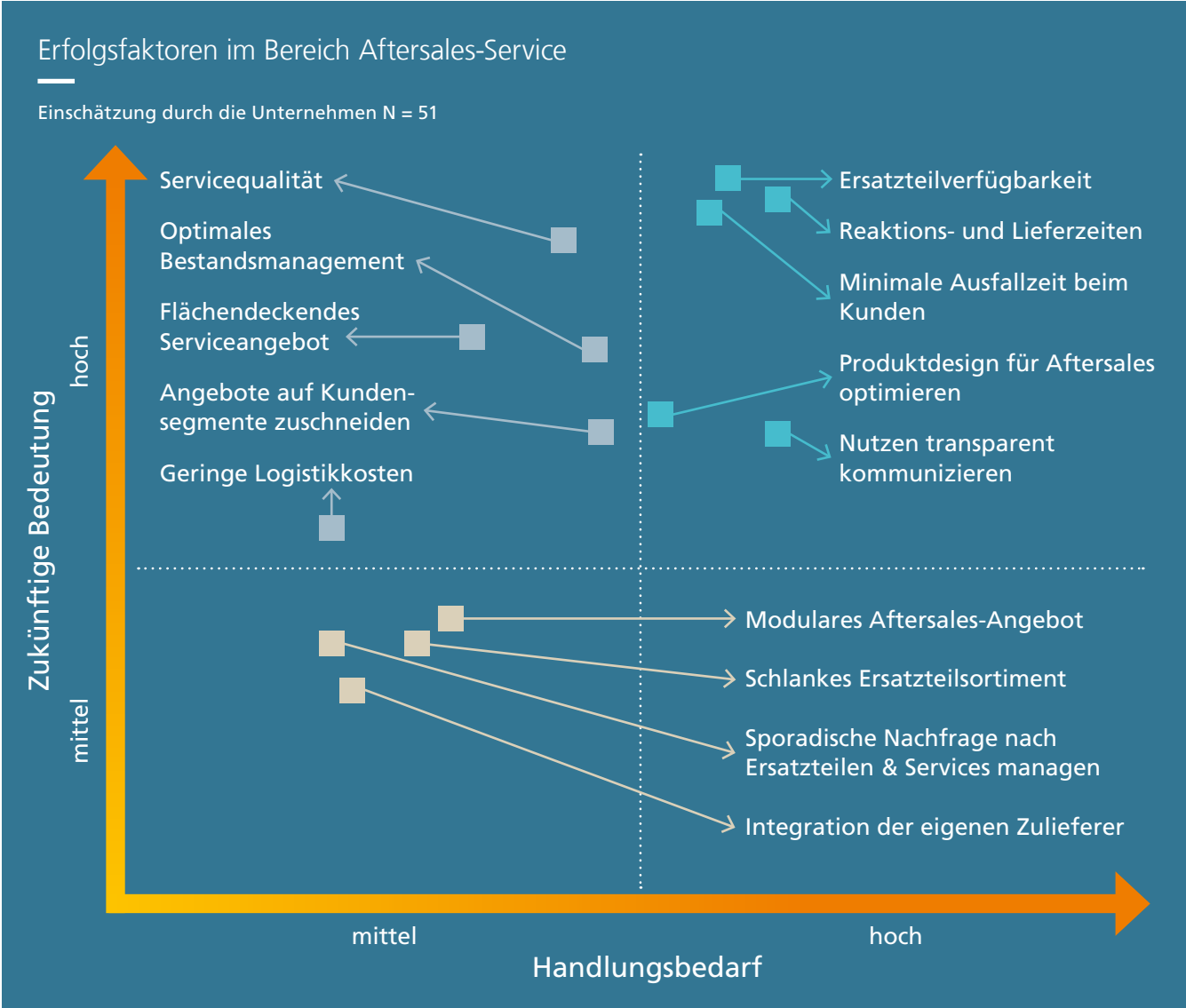


Abbildung 5: Erfolgsfaktoren Aftersales [eigene Darstellung nach VDMA]

der Produkte mit Datenverkehrsnetzen, die derzeit besonders auf Hoher See noch nicht ausreichend ausgebaut sind, um einen umfassenden Datentransfer ortsunabhängig zu gewährleisten [8].

Diese Handlungsfelder für die Digitalisierung des maritimen Service ergänzen herkömmliche produktbegleitende Dienstleistungen wie Wartung und Instandhaltung, das Angebot von Ersatzteilen, die Betreuung des Kunden und die Durchführung von Schulungen.

Trotz vielfältiger Chancen ist eine Fokussierung auf produktbegleitende Dienstleistungen allein kein Patentrezept für einen langfristigen Erfolg. Über viele Branchen hinweg ist zu beobachten, dass die Bereitstellung von Aftersales-Services oft eine größere Komplexität innehat als die Herstellung der Primärprodukte selbst. Hinzu kommt, dass in vielen Unternehmen produktbegleitende Dienstleistungen eher historisch und aus der Notwendigkeit heraus gewachsen sind, Primärprodukte nach dem Verkauf mit Ersatzteilen und Wartung zu versorgen.



3.3 Maritime Umsetzungen des Digitalen Zwillings

Es stellt sich die Frage, welche der vorangehend vorgestellten Konzepte des Digitalen Zwillings in der Praxis angekommen sind. Dabei muss vor allem zwischen Anwendungen unterschieden werden, die Digitale Zwillinge für einzelne Teilsysteme umsetzen – beispielsweise einen Motor oder ein Abgassystem – und zwischen Plattformen, die es als Ziel haben den Datenaustausch zwischen allen beteiligten Akteuren zu ermöglichen, um dadurch einen möglichst umfassenden Digitalen Zwilling zur Verfügung zu stellen. Dieser umfassende Digitale Zwilling kann beispielsweise eine Vielzahl von unterschiedlichen Daten zu einem Schiff beinhalten.

Es lässt sich beobachten, dass insbesondere Digitale Zwillinge von einzelnen Teilsystemen bereits von verschiedenen Akteuren in der maritimen Branche umgesetzt werden. Besonders Zulieferer bieten heutzutage vermehrt Aftersales-Services an, die einen Digitalen Zwilling von einzelnen Teilsystemen nutzen. Dabei verknüpfen sie häufig Informationen aus der Produktionsphase und Inbetriebsetzung mit Betriebswerten, die von verschiedenen Sensoren erfasst werden. Durch die Verknüpfung dieser Informationen sind sie in der Lage, zusätzliche Mehrwerte für den Nutzer zu generieren. Einige ausgewählte Beispiele von derartigen Anwendungen werden in Tabelle 3 dargestellt.

Wird der gesamte Lebenszyklus eines Schiffes betrachtet, zerfällt die effektive Nutzung des Digitalen Zwillings im Wesentlichen in die drei konzeptuellen Nutzungsbereiche

Schiffskomponenten (Bau, Entwurf und Bereitstellung durch verschiedene Zulieferer), Schiffsbau (Design und Montage in einer Werft bis zur Auslieferung an den Reeder) und den Betrieb des Schiffes durch den Reeder.

Im Bereich der Herstellung von Schiffskomponenten kommen vor allem Systeme zum Einsatz, welche auch in anderen Branchen – etwa der Automobilbranche – eingesetzt werden. Dies liegt darin begründet, dass die Prozesse in der Herstellung von Hardwarekomponenten in der Zulieferindustrie nur wenig von den jeweiligen Branchen abhängen.

Während der Montage eines Schiffes entsteht der besondere Umstand, dass eine deutlich größere Menge unterschiedlicher Maschinen und Bauteile für ein Schiff verwendet werden, als es z.B. in der Automobilfertigung der Fall ist. Es werden daher hauptsächlich auf Datenbanken basierende, inhaltliche Aufbereitungen (Datenmanagement) und Analysen verwendet, die die Koordination der beteiligten Akteure erleichtern. Weiterhin wird ein besonderes Augenmerk auf die Prozessdarstellung und -planung gelegt, den gesamten Bauprozess betreffend, von der Werkzeugmittelbereitstellung über die Personal- bis hin zur speziellen Montageplanung.

Im Betrieb des Schiffes durch die Reeder sind Daten der möglicherweise eingesetzten Digitalen Zwillinge aus Zulieferung und Bau i.d.R. nicht mehr verfügbar – dies gilt besonders für



Wird der gesamte Lebenszyklus eines Schiffes betrachtet, zerfällt die effektive Nutzung des Digitalen Zwillings im Wesentlichen in die drei konzeptuellen Nutzbereiche Schiffskomponenten, Schiffsbau und den Betrieb des Schiffes durch den Reeder.«

© Adobe Stock

3D-Modelle und spezifische Konfigurationen. Die Bereitschaft der Firmen, Daten über derart sensible Bereiche mit Dritten zu teilen, ist noch gering. Daher beschränken sich die meisten Umsetzungen von Digitalen Zwillingen auf Teilsysteme, in denen nur einzelne ausgewählte Datenquellen verwendet werden können. Eine Abhilfe können Systeme und Verfahren bieten, welche nachträglich Daten rekonstruieren (beispielsweise die Erstellung von 3D-Modellen durch Laserscanner (vgl. [7]) oder Verwendung eigener Datensammler (Begehung durch Personal, Einbringung von Berichten etc.)).

Um einen umfassenderen Überblick zu aktuellen Anwendungen des Digitalen Zwillings geben zu können, stellt Tabelle 3 eine Zusammenfassung der Rechercheergebnisse zu realen Umsetzungen im maritimen Aftersales dar. Aufgeführt sind dabei, exemplarisch und nicht vollumfänglich, Teilbereiche des Aftersales, die große Potentiale bieten, um mit Digitalen Zwillingen Kosten zu senken und die Effizienz zu erhöhen. Zu jedem Anwendungsfall ist der aktuelle Stand der Umsetzung als Digitalisierungsgrad angegeben. In der Praxis umgesetzte Anwendungsfälle sind mit Quellen hinterlegt, sodass eine schnelle Übersicht ermöglicht wird. Die mit einem vollständigen Einsatz eines Digitalen Zwillings verbundenen Nutzungspotentiale sind zur Bewertung der möglichen Ergebnisse ebenfalls aufgeführt.

Die in Tabelle 3 dargestellten Teilbereiche und -systeme zeigen ein großes Potential an Mehrwerten durch ganzheitliche

Prozesse auf, bei denen häufig Daten von unterschiedlichen Akteuren benötigt werden. Um mehrere Bereiche zu verknüpfen oder externe Services anderer Partner nutzen zu können, bedarf es allerdings integrierter Plattformen, die sowohl Funktionen zum Einsatz Digitaler Zwillinge als auch die Infrastruktur für das Datenmanagement bereitstellen.

Eine umfassende Recherche zu Plattformen, die den Datenaustausch zwischen allen beteiligten Akteuren ermöglichen, zeigte hingegen, dass nur wenige kommerziell nutzbare Plattformen existieren und sich viele Plattformen noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befinden. Insbesondere der Funktionsumfang und der Transfer auf Cloud-Strukturen sind noch ungenügend umgesetzt, wodurch der Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren zusätzlich erschwert wird.

An integrierten Lösungen, welche den Digitalen Zwilling über den gesamten Lebenszyklus abbilden, wird derzeit durch verschiedene Konsortien und Firmen gearbeitet. Dabei liegt der Fokus meist auf der Standardisierung der Schnittstellen zwischen Firmen. Einige Beispiele sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

DNV bietet mehrere digitale Lösungen für Daten- und Prozessmanagement unter den Markennamen ShipManager und Navigator an (vgl. [9]). Die Software ShipManager Survey Simulator ermöglicht fotorealistische 3D-Visualisierungen für Trainingsszenarien.

Tabelle 3: Umsetzungsbeispiele und Potentiale Digitaler Zwillinge während der Lebensnutzungsphase

	Teilintegrierte Anwendungsfälle mit großem Digitalisierungspotential	Digitalisierungsgrad			Nutzungspotentiale eines DZ in Bezug auf Kosteneinsparung und Effizienz in Geschäftsprozessen
		nicht digital	Standard Digitalisierung (CAD / PLM)	Digitaler Zwilling	
Lebensnutzungsphase	Validation	Leckrechnung / Intakstabilität		X	Vernetzung der Rechnungen mit Zustandsparametern zur Erkennung von Gefährdungszuständen Lessons Learned für Folgeschiffe Rückvernetzung zum Digitalen Master für die Planung des Abbruchs in End-of-Life-Phase
		Evakuierungssimulation		X	
		Class Drawings		X	
		Yard Constraints		X	
	Optimization	Prozesssimulation von Arbeitsabläufen		X	Optimierung der theoretischen Prozessabläufe mit Einsatzdaten aus Realfällen für die laufende Qualifizierung von Personal
	Production, Preparation & Training	Stückliste		X	Laufende autonome Erweiterung der Stückliste nach Wartung und Retrofit und Analyse der Auswirkungen auf Future Growth und Class Surveys Erweiterung der digital unterstützten Ausbildung durch Echtzeitdaten (Weiter-)Entwicklung DZ-Modell
		Schedules		X	
		Virtuelle Trainingsumgebung		X	
		Virtual Firefighting Training	X		
		Interactive Documentation		X	
3D-VR für interaktives Training			X ^{T1,T13}		
Lebensnutzungsphase	Operations & Maintenance	Dynamic Positioning Systems		X ^{T14}	Predictive Maintenance der Anlagen Rückvernetzung zur Einsatzplanung und Produktion Rückvernetzung zur Predictive Maintenance und Entwurf und Produktion Automatisierte Fehlererkennung und Störfallanalyse Aggregation von Daten und AR-Nutzung dieser Daten für Optimierung der Survey, evtl. Remote Survey von Betriebssystemen Automatische Erweiterung und Bearbeitung des Inventory of Hazardous Goods Mixed Reality bei der Durchführung komplexer Prozeduren / Zusätzliche Dokumentation der ausgeführten Prozedure Vernetzung mit den Betriebsdaten für Prozessoptimierung / Automatisches Erstellen von Gefahrgutdaten für Rettungskräfte
		Wetterfensteranalyse und Workabilityreport Offshore		X ^{T15}	
		Wartungsberichte über Ersatz und Status der Bestandsbauteile	X		
		Erhobene Echtzeitdaten installierter Sensoren		X	
		Class Survey	X		
		Removal of Fouling Documentation	X		
		Remote-Experten		X	
		Landungsüberwachung, Landungsverfolgung	X	X	

	Teilintegrierte Anwendungsfälle mit großem Digitalisierungspotential	Digitalisierungsgrad			Nutzungspotentiale eines DZ in Bezug auf Kosteneinsparung und Effizienz in Geschäftsprozessen
		nicht digital	Standard Digitalisierung (CAD / PLM)	Digitaler Zwilling	
Lebensnutzungsphase Operations & Maintenance	Trim-, Stabilitäts- und Festigkeitsüberwachung		X		Echtzeitüberwachung von Schlüsselsystemen und Predictive Maintenance Ansätze für die Instandhaltung
	Vernetzte Ver- & Entsorgungsanlagen		X		
	Überwachung Antriebssysteme		X		
	Vernetzte Brückensysteme, ECDIS und integrierte Navigationssysteme		X		
	Überwachen der Integrität (insb. Hülle)		X	(X) ^{T2}	
	Echtzeiterfassung während des gesamten Produktlebenszyklus	X ^{T10}			As-Built-Measurements; Entwicklung übergreifendes DZ Modell Cyber-Physical Twin
	Windpark Abnutzungsprognose aus DZ			X ^{T3}	Fusion von DZ für Hersteller-Feedback (Abnutzungsverlauf); Lebenslaufanalyse; Modelloptimierung DZ
	Physikalische Parametrierung und Simulation aktiver Systeme mittels DZ			X ^{T4}	Remote Maintainance / Lebenslaufanalyse; Modellbildung DZ
	Digitale Werft (Wartung)			X ^{T5}	As-Built-Measurements / Optimierung übergreifendes DZ Modell / Übergabefreie Dokumentation
	Smart Port: DZ eines Hafens			X ^{T6}	Optimierung Prozessabläufe / Remote Support
	Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme			X ^{T11}	Spezifizierung und einmalige Zeitaufnahme
	Testungen von Aufrüstungen und Reparaturen			X ^{T7}	Validierung der Entwürfe / Remote Training für veränderte Hardware



Die aus dem gleichen Hause stammende Software ShipManager Hull umfasst eine interaktive 3D-Visualisierung, die eine intuitive Bedienung und eine Verknüpfung von Informationen (Bilder, Berichte etc.) mit dem zugrunde liegenden Modell des betrachteten Objekts durch den Nutzer ermöglicht. Das so entstehende, semantisch belegte Modell kann im weiteren Sinne als Digitaler Zwilling betrachtet werden. Da diese Simulationen bzw. Visualisierungen das vollständige Schiff als Einheit, nicht aber sämtliche Bauteile umfasst, ist es als Anwendung für den Reeder zu sehen.

Neueste Entwicklungen beschäftigen sich mit der vollständigen Digitalisierung der Wartungsaufgaben in Werften unter Verwendung von Digitalen Zwillingen. So wurde durch die US-Navy Anfang 2021 für die Werft Pearl Harbor in ihrer Gesamtheit ein Zwilling entworfen (vgl. [28]). In der bisherigen Laufzeit des Projekts konnten Optimierungen der Daten- und Prozessmodelle vorgenommen werden, welche in naher Zukunft auf alle Werften der US-Navy transferiert werden sollen.

Eine stellvertretend zu nennende Digitaler Zwilling Plattform wird von der Firma Kongsberg Digital kontinuierlich entwickelt. Kognittwin Energy wird dabei als Analyse- und Kommunikations-Framework angeboten, welches mit Azure Technologie cloud-basierte Software-as-a-Service (SaaS)-Lösungen für Kunden anbietet [25], [17]. Primärer Anwender ist hier der Öl- und Gas-Energiesektor, für welchen spezifische Businesslösungen ausgearbeitet wurden. Ein weiteres Produkt ist die Blue Insight Toolbox, welche als offene, modulare digitale Plattform zum Verarbeiten, Visualisieren und Teilen von Meeresdaten entwickelt wurde. Meteorologische und maritime Daten

werden mit Echtzeitdaten verknüpft und Remote Services per Cloud-Strukturen ermöglicht.

Zusammen mit DNV, Kongsberg Maritime, SINTEF, Hyundai Heavy Industries, Kongsberg Digital, Vard und Offshore Simulator Centre baut das Norwegian Maritime Competence Centre im norwegischen Ålesund eine Open Simulation Platform (OSP, vgl. [10], [20]). Die Initiative strebt die Entwicklung eines Digitalen Zwilling an, welcher bereits in den Bauprozess integriert ist. Grundlegend ist die Benutzung des Functional Mockup Interface (FMI) Standards, sodass alle Akteure die entwickelten Simulationsmodelle wiederverwenden können, ohne sensible oder geschützte Daten zu teilen.

Auch Siemens und Aker Solutions treiben die Entwicklung von Digitalen Zwillingen für die maritime Branche voran. Von Prozessautomatisierung bis hin zu Engineering- und Simulations-Software unterstützen die beiden Firmen den Anlagenlebenszyklus. Eine innovative Plattform ist auf Basis der Siemens Engineering-Plattform Comos in Umsetzung, welche zur Reduzierung von Engineering- und Betriebskosten dienen soll (vgl. [21]).

Eine auf den Betrieb von Umwelttechnologien fokussierte Plattform wird von Carnival Maritime GmbH, dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover sowie der SEGNO Industrie Automation GmbH im Rahmen des Projekts OSCAR entwickelt, die sogenannte OSCAR-Cloud, welche auf der Siemens Mindsphere Cloud basiert (vgl. [24]). Mit Hilfe des SEGNO IoT Connectors wird dabei ein sicherer Datenaustausch realisiert. Das Projekt zielt



© Adobe Stock

unter anderem auf Trainingsszenarien sowie die Einrichtung und Fernsteuerung von prozessspezifischen Beobachter- und Prognosemodellen (digitale Anlagenzwillinge) ab, um eine Optimierung des Betriebs der Umwelttechnologien zu erreichen.

Eine hoch skalierbare, cybersichere Edge-Plattform wird in Kooperation von Wärtsilä Voyage und Microsoft entwickelt (vgl. [31]). Diese Plattform hat zum Ziel, aktuelle und zukünftige Produkte auf einer gemeinsamen Plattform verfügbar zu machen, um eine schnellere Bereitstellung und einfachere Wartung aller Wärtsilä Voyage-Technologien und -Software zu ermöglichen. Die Inbetriebnahme, Diagnose, Aktualisierungen und Upgrades von Anlagen werden so aus der Ferne durchgeführt, was die Wartung rationalisiert, die Bereitstellung beschleunigt und die Betriebszeit des Schiffs erhöht.

Neben Plattformen stellen aktuell auch Datenräume und erste Standards einen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt dar, um in Zukunft den Datenaustausch zu erleichtern. Der Maritime Data Space und GAIA-X sind Beispiele, welche aktuell entwickelt werden und für den breiten Einsatz vorbereitet werden. Die Initiative GAIA-X des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) rückt die Datensouveränität für Europa in den Fokus. Das GAIA-X-Projekt Marinspace-X definiert einen maritimen Datenraum, um Daten von wissenschaftlichen Einrichtungen und Instituten sowie zahlreichen Unternehmen der maritimen Wirtschaft – wie Geoinformationen, die per Drohnen, Satelliten, Sensoren oder anderen Messinstrumenten aus den Meeren erhoben werden – für neue Anwendungsfälle und Business-Cases verfügbar machen (vgl. [16]).

Zusammen mit seinen Anwendungspartnern demonstriert SINTEF Digital in Norwegen anhand der offenen Industriedatenplattform DNV Veracity und zugehörigem Datenökosystem und der NAVTOR Plattform für e-Navigation eine offene, föderierte und sichere Datenaustausch- und Kommunikationsplattform für innovative digitale Services in der Schifffahrt. Der Datenraum ist als maritime Version des International Data Space (IDS) für den Schiffsbetrieb konzipiert, sodass eine Interoperabilität und Konnektivität gewährleistet ist, unter klarer Regulierung der Datenhoheit. Auf europäischer Ebene werden diese Themen ebenfalls adressiert und im Rahmen der Ozean Dekade Aktivitäten eine Vernetzung von Digital Twins of the Ocean über DITTO [33] ermöglicht. Ein dazu passender Ocean Data Space wird aktuell vom Konsortium von ILIAD: Integrated Digital Twins For Marine and Maritime Data and Information Services im Rahmen der Horizon 2020 Strategie mit Partnern wie Alpha Unmanned Systems, Thales Group, DEIMOS Eng, NextGEOSS, SINTEF Ocean, Digital, Norwegian University NTNU, IEEE France entwickelt. n (vgl. [32]).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bereits viele einzelne Projekte versuchen, Lösungen für zentrale Probleme in Bezug auf den Datenaustausch zwischen Unternehmen in der maritimen Branche zu entwickeln. Die zentrale Herausforderung des Datenzugriffs und der Verfügbarkeit von relevanten Informationen wurden somit erkannt. Allerdings zeigen die Vielzahl und Vielfalt der Projekte auch, dass ein einheitliches Vorgehen und zentrale Standards bislang weder verbreitet noch entwickelt sind.

4. Befragung von maritimen Akteuren

Zur Überprüfung der Rechercheergebnisse zur realen Umsetzung von Digitalen Zwillingen im maritimen Aftersales wurde eine Befragung mit Experten durchgeführt, die stellvertretend für eine Akteursgruppe der Branche eine aktuelle, subjektive Einschätzung zur Digitalisierung im Allgemeinen sowie zum

Einsatz von Digitalen Zwillingen – branchenweit und in ihrem jeweiligen Unternehmen – abgaben. Mit der Bitte die Sicht auf die maritime Branche im Umfeld zu richten, wurden strukturierte Interviews geführt und anhand der Experteneinschätzungen Thesen abgeleitet und bewertet.

4.1 Konzeption der Befragung

Die Befragung soll ein Stimmungsbild der maritimen Branche zum Thema Digitaler Zwilling erfassen und damit als informativer Grundstein für umfängliche Folgearbeiten fungieren. Im Sinne dessen wurde bewusst auf einen vollumfänglichen Branchenschnitt verzichtet, um in tiefgehenden Interviews mit anerkannten Experten Eckpunkte auszuarbeiten und einen qualitativen Leitfaden für den zukünftigen Diskurs zu schaffen. Es handelt sich somit, aufgrund des Stichprobenumfangs, nicht um eine statistisch repräsentative Branchenanalyse, sondern um eine qualitative Erfassung aktueller Entwicklungen im Bereich Digitaler Zwillinge.

Dies erfolgte in drei Schritten. Im ersten Schritt wurde auf Basis einer Analyse der umfassenden Forschungsergebnisse ein Fragebogen konzipiert. Der erarbeitete Fragebogen wurde anschließend mit den beteiligten Branchenvertretern diskutiert, um Rückschlüsse auf die Aussagekraft der möglichen Antworten

ziehen zu können. Im abschließenden Schritt wurde aus den protokollierten Ergebnissen der Expertenbefragungen ein Leitbild erstellt, das einen Überblick über die Problemstellungen und Herausforderungen sowie die Potentiale der Nutzung eines Digitalen Zwilling für die maritime Wirtschaft in Deutschland insgesamt und den Bereich Aftersales im Besonderen gibt.

Dabei wurde ein besonderes Augenmerk daraufgelegt, die verschiedenen Nuancen hinsichtlich der Definition Digitaler Zwillinge bei den befragten Experten zu erfassen.

Als vorausgehende Verständnisbrücke wurde im Vorfeld der Befragung eine generelle Einschätzung der Experten zur Digitalisierung in der maritimen Branche erhoben. Anschließend wurde speziell eine Einschätzung zum Digitalen Zwilling, als Endprodukt einer vollkommen digitalisierten Wirtschaft, erfragt und dessen Umsetzungstiefe eruiert.

4.2 Übersicht befragter Unternehmen

Die Tabelle 4 zeigt die Akteure entsprechend des jeweiligen Branchenbereichs auf, mit welchen im Rahmen dieser Ausarbeitung ein etwa einstündiges Interview geführt wurde. An dieser Stelle bedanken wir uns für die Bereitschaft an der Ausarbeitung mitzuwirken und uns die Gelegenheit für eine aktuelle Einsicht auf das Thema Digitaler Zwilling in der Branche zu geben.

Tabelle 4: Übersicht befragter Unternehmen

Branche	Fertigungsart
Reederei	Hapag-Lloyd AG, Hamburg
Zulieferer	Wärtsilä Shaft Line Solutions, Hamburg PROSTEP AG, Darmstadt Zeppelin Power Systems GmbH, Hamburg
Meeres- und Offshoretechnik	MacArtney Germany GmbH, Kiel Siemens Energy HH, Hamburg
Schifffahrt	Carnival Maritime GmbH, Hamburg
Schiffbau	Tamsen Maritim GmbH, Rostock MV Werften GmbH, Rostock
Verband / Behörden	Verband für Schiffbau und Meerestechnik e.V., Hamburg Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Rostock

© Adobe Stock



4.3 Ergebnisse der Befragung

Im Rahmen der Expertenbefragung wurden den Teilnehmern vorwiegend offene Fragen ohne vorgegebene Antworten gestellt, um ein möglichst umfassendes Stimmungsbild der maritimen Branche zu erhalten. Die in den Gedächtnisprotokollen festgehaltenen Antworten wurden anschließend detailliert ausgewertet und aufbereitet. Das Ergebnis dieser Analyse bilden die folgenden Thesen, welche wiederkehrende Aussagen der

Experten darstellen. Diese sind als Indikator für die aktuelle Expertenwahrnehmung über Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche zu verstehen.

Die Thesen sind differenziert nach den Themen Digitalisierung in der maritimen Branche und dem Einsatz Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche.

4.3.1 Digitalisierung in der maritimen Branche

»Digitalisierung bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten für einen innovativen und kundenorientierten Aftersales-Service.«

Von Remote-Services mit AR- und VR-Unterstützung für die Crew bis hin zur KI-basierten Optimierung der gesamten Flotte können durch die Digitalisierung von Daten- und Entscheidungsströmen Kosten gesenkt und Gewinne maximiert werden. Liegt der Fokus nicht nur auf der Erfassung und Übertragung von Daten, sondern auch auf der Analyse vorhandener, bisher ungenutzter Datenstrukturen, können neue Ertragspotentiale erschlossen werden.

Darüber hinaus ist der Mangel an (Fach-) Personal ein branchenspezifischer Aspekt, dem durch eine fortschreitende Digitalisierung mit zunehmender Automatisierung von Geschäftsprozessen zumindest teilweise begegnet werden könne.

»Digitalisierung in der maritimen Branche ist ein fortlaufender, nicht abgeschlossener Prozess.«

Die Mehrheit der Experten bewertet den Stand der Digitalisierung in der maritimen Branche mit 4 auf einer Skala von 1 (Digitalisierung noch nicht begonnen) bis 9 (Digitalisierung vollständig abgeschlossen), wobei die Digitalisierung generell als ein fortlaufender Prozess angesehen wird. Weiterhin wurde

darauf hingewiesen, dass sowohl die Akzeptanz digitaler Anwendungen als auch die Nachfrage in der traditionell konservativen maritimen Branche noch gering und die consequente Kommerzialisierung der angebotenen digitalen Services nicht abgeschlossen sei.

»Vorhandene Daten sind kein Selbstzweck, sondern müssen in nutzenstiftende Informationen transformiert werden.«

Die auf dem Markt angebotenen Analysewerkzeuge sind vielfach nicht ausreichend auf den jeweiligen Nutzerkreis zugeschnitten. Insbesondere KMU fehlen die personellen Ressourcen und das technische Know-How, um aus bereits erhobenen und digitalisierten Daten einen zusätzlichen Nutzen zu generieren. In diesem Zusammenhang wurde vor allem auch die Möglichkeit zur automatisierten Datenanalyse genannt, welche großes Optimierungspotenzial birgt.

Es lässt sich festhalten, dass eine rein digitale Datensammlung den Bedürfnissen der Akteure nicht gerecht wird. Vielmehr geht es darum, Werkzeuge und Methoden für die zielgruppen-gerechte Aufbereitung und Analyse von Daten zu entwickeln.

Die folgenden Thesen beschäftigen sich rund um die Anwendung des Digitalen Zwillings in der maritimen Branche.

4.3.1 Einsatz Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche

»Es existiert kein einheitliches Verständnis des Digitalen Zwillings.«

Einige Experten verstehen unter einem maritimen Digitalen Zwilling das virtuelle Abbild eines Schiffes über seinen gesamten Lebenszyklus, – vom Entwurf/Konzept bis zur Stilllegung / Recycling – das in ständigem Austausch mit dem dazugehörigen realen Objekt steht und kontinuierlich aktualisiert wird. Für andere beginnt der Digitale Zwilling bereits dort, wo auf Basis eines Modells Aussagen über den Ist- und Soll-Zustand eines Bauteils, Prozesses etc. getroffen werden können. In diesem Zusammenhang sei der Digitale Zwilling bereits ein Modell, das erwartete Werte widerspiegelt und mit tatsächlichen Werten vergleichbar macht. Diese unterschiedlichen Auffassungen sind nicht verwunderlich, da es selbst in der wissenschaftlichen Literatur bislang keinen Konsens oder eine einheitliche Definition des Digitalen Zwillings gibt.

Entsprechend der unscharfen Definition schätzen die befragten Experten den Bekanntheitsgrad des Digitalen Zwillings in der maritimen Branche mit 4 auf einer Skala von 1 (Begriff völlig unbekannt) bis 9 (Begriff vollumfänglich bekannt und definiert) als eher gering ein, wenngleich festgestellt werden könne, dass der Begriff durch die Branche wandere.

»Dateninseln und ungeklärte Datenhoheit stellen große Herausforderungen für die maritimen Akteure dar.«

Als zentrale Herausforderung für die Umsetzung des Digitalen Zwillings wurde von allen befragten Experten übereinstimmend die fragmentierte Datenlage und der dezentrale Charakter der Datenströme identifiziert. In der Regel gibt es keine zentrale und standardisierte Datenplattform für Digitale Zwillinge, weder branchenübergreifend noch innerhalb von Unternehmen. Stattdessen müssen Informationen mühsam aus verschiedenen Quellen zusammengetragen werden, wobei nicht nur Schnittstellen und unterschiedliche Datenformate, sondern auch Fragen der Datenhoheit große Herausforderungen darstellen. Es wurde auch immer wieder betont, dass die Verteilung relevanter Daten auf die verschiedenen Akteure eine enge Zusammenarbeit zwischen teilweise konkurrierenden Unternehmen erfordere.

Weiterhin ist die Schnittstellenproblematik zwischen der Vielzahl der implementierten hochspezialisierten Anwendungen auf dem Schiff und im maritimen Betrieb allgemein zu nennen. Dies führt zu einem hohen organisatorischen Aufwand bei der Datenpflege und -kommunikation. Aus wirtschaftlichen





Gründen werden daher derzeit nur ausgewählte Schnittstellen tatsächlich realisiert. In diesem Zusammenhang ist auch nicht zu vernachlässigen, dass ein Großteil der Flotten noch aus Zeiten stammt, in denen während der Bauphase und der ersten Betriebsjahre überhaupt keine oder nur sehr wenige Daten digital erfasst wurden. Für erhebliche Teile der Welthandelsflotte bestehen daher digitale Datenlücken.

»Datenverfügbarkeit, -sicherheit und -qualität stellen weitere große Herausforderungen dar.«

Um eine Datendurchgängigkeit im Digitalen Zwilling zu erreichen, müssen die Daten verschiedener Akteure miteinander verbunden werden. Diese Daten sicher und in entsprechender Qualität zusammenzuführen, ist eine der größten Herausforderungen bei der Umsetzung Digitaler Zwillinge.

Neben der organisatorischen Verteilung der Daten stellt auch die geringe Bandbreitenabdeckung auf Hoher See eine rein physikalisch-technische Komplexität der Datenübertragung dar. Fragen der Datensicherheit, sowohl im Hinblick auf den Verlust sensibler Daten als auch auf den Schutz vor Missbrauch, bleiben bislang ungelöst. Verschärft wird dieses Problem durch historisch gewachsene Zertifizierungs- und Authentifizierungssysteme, für die die analoge Papierform gesetzlich vorgeschrieben ist. Eine Digitalisierung dieser Systeme hätte daher allenfalls einen indirekten Nutzen, bei dem unklar ist, ob er sich wirtschaftlich lohnt.

»Potentiale des Digitalen Zwillings sind vielfältig.«

Trotz der umfangreichen Herausforderungen und Probleme, die mit dem Digitalen Zwilling verbunden sind, sehen die Befragten auch eine Vielzahl von Potentialen, die ein Digitaler Zwilling in der maritimen Branche abdecken kann. Mit Hilfe des digitalen Zwillings könnten in Zukunft Verbesserungen im operativen Handling, bei Umschlags- und Lagerprozessen sowie Arbeitserleichterungen für Mitarbeiter erreicht werden.

Im Hinblick auf den Aftersales wurden Stichworte wie E-Commerce-Plattformen, Kühlketten- und Kühlcontainermanagement, Performance Management (u.a. Wetterrouting, Trimm, flottenweites Benchmarking), Umweltmonitoring, optimiertes Design auf Basis der Erkenntnisse aus der Betriebsphase, Automatisierung im Allgemeinen und die Dekarbonisierung der Schifffahrt als potentielle Anwendungsbereiche genannt.

Weitere Potentiale durch den Einsatz Digitaler Zwillinge werden in der Optimierung von Terminalprozessen, Remote-Unterstützung der Crew mittels AR & VR oder der Manöversimulation



gesehen. Basierend auf diesen vielfältigen Ideen besteht daher auch ein großes Interesse in der Branche an entsprechenden Umsetzungsplänen und konkreten Anwendungsdemonstrationen. Auch wurde die Möglichkeit angesprochen, dass neue Akteure entstehen können, die Digitale Zwillinge als eigenes Produkt (Software-as-a-Service) anbieten.

Die Vielfalt der genannten Potenziale zeigt, dass der Einsatz von Digitalen Zwillingen zweckorientiert erfolgt und in der Regel nicht ein reales Objekt in seiner Gesamtheit abbildet, sondern einem zusätzlichen Nutzen für den jeweiligen Anwendungskontext bildet.

»Digitale Zwillinge sind bislang nicht umfangreich in Umsetzung.«

So vielfältig die Potentiale des Digitalen Zwillings in der maritimen Branche sind, so selten seien tatsächliche Umsetzungen bisher. Nur zwei der befragten Unternehmen verfügen über dedizierte Mitarbeiter oder sogar Abteilungen für die Einführung Digitaler Zwillinge im Unternehmen.

Dennoch erwarten die Experten in naher Zukunft die Entwicklung und den Einsatz Digitaler Zwillinge in Form von einzelnen

Implementierungen mit Prototypcharakter. Vor diesem Hintergrund können erfolgreiche Umsetzungsbeispiele dazu beitragen, die Akzeptanz und Verbreitung Digitaler Zwillinge in der maritimen Branche zu steigern.

»Für die tatsächliche Umsetzung sind konkrete Voraussetzungen zu schaffen.«

Vor allem andern muss die wirtschaftliche Tragfähigkeit des Digitalen Zwillings nachgewiesen werden, da sonst eine flächendeckende Umsetzung sehr unwahrscheinlich sei. Nur wenn das Risiko einer hohen Anfangsinvestition durch einen entsprechenden wirtschaftlichen Ertrag ausgeglichen wird, werden Investitionen in Digitale Zwillinge zunehmen.

Dies würde eine Integration der relevanten Systeme und Prozesse sowie eine Abkehr von den bisher vorherrschenden Inselösungen erfordern. Die Zusammenarbeit der beteiligten Akteure, im Sinne einer Standardisierung durch Normen oder Klassenrichtlinien, müsste zunehmen und auch im Interesse der Zulieferer gestärkt werden. In diesem Zusammenhang ist die Gründung Digitaler-Zwillinge-Unternehmen denkbar, die als unabhängige Dritte – ähnliche wie Klassifikationsgesellschaften – agieren.



5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Folgenden Abschnitt werden aus den Erkenntnissen der Experteninterviews sowie aus den beobachteten Gegebenheiten in der maritimen Branche insgesamt neun Handlungsbedarfe abgeleitet, die als Wegweiser verstanden werden

können, wie Digitale Zwillinge in Zukunft wertschöpfend in der maritimen Branche eingesetzt werden können. Anschließend wird ein Fazit gezogen, sowie ein Ausblick auf zukünftige Tätigkeiten gegeben.

5.1 Abgeleitete Handlungsbedarfe

Voraussetzungen sind geschaffen – Umsetzung ist nun gefragt

Die zentrale Erkenntnis der Beschäftigung mit diesem Themenfeld ist, dass Digitale Zwillinge in der maritimen Branche definitiv kein Mythos und auch keine rein theoretischen Konstrukte sind. Die technologischen Grundlagen für die Entwicklung und Nutzung von Digitalen Zwillingen sind geschaffen, bei einigen Unternehmen bereits in Umsetzung und zum Teil bereits in die produktiven Systeme integriert.

Dabei ist es auch an dieser Stelle noch einmal zu betonen, dass die Einführung von Digitalen Zwillingen nicht in einem Schritt

»Big Bang« erfolgen muss, sondern der Aufbau Schritt-für-Schritt erfolgen kann. So können zunächst nur einige wenige unternehmensinterne Datenquellen mithilfe eines Digitalen Zwillings zugänglich gemacht und für ausgewählte Anwendungsszenarien verwendet werden. Anschließend kann die Komplexität des Systems schrittweise erweitert werden. So können im Laufe der Zeit immer mehr Datenquellen angeschlossen und auch unternehmensexterne Daten integriert werden und für neuartige Anwendungsfälle genutzt werden.

Dennoch bestehen selbstverständlich auch diverse Herausforderungen bei der Umsetzung von Digitalen Zwillingen. Wir haben insgesamt acht weitere Handlungsbedarfe identifiziert,

die von betroffenen Akteuren adressiert werden sollten, um den Einsatz von Digitalen Zwillingen optimal zu gestalten und flächendeckend zu ermöglichen.

Einheitliches Verständnis des Digitalen Zwillings

Ein Hemmnis in der maritimen Branche ist, dass kein einheitliches Verständnis des Konzepts Digitaler Zwillings existiert. Das betrifft den Zweck, Umfang, Nutzen, Risiken und Anwendungsmöglichkeiten von Digitalen Zwillingen. Die unterschiedlichen Vorstellungen variieren von einem System, das alle denkbaren Informationen in Form von Daten, Modellen und Visualisierungen umfasst und zugänglich macht, bis zur recht simplen Verarbeitung von einzelnen objektbezogenen Daten. Diese Beobachtung, gepaart mit unerfüllbaren Erwartungen und Versprechungen, hat nach unserer Einschätzung dazu geführt, dass einige Stakeholder dazu neigen, den Begriff des digitalen Zwillings negativ zu assoziieren.

Daher besteht Handlungsbedarf für eine einheitliche Sichtweise des maritimen Digitalen Zwillings zu sorgen. Dies kann beispielsweise durch eine intensivere Beschäftigung mit dem Thema in Wissenschaft und Praxis, durch die Erarbeitung eines einheitlichen Standards oder dem verstärkten Austausch aller maritimen Akteure erreicht werden.

Geschäftsmodelle müssen entwickelt und der Branche aufgezeigt werden

Maritime Digitale Zwillinge sind kein Selbstzweck. Digitale Zwillinge werden nur implementiert werden, wenn sie einen Mehrwert für das Unternehmen oder potentielle Kunden bieten. Auch wenn ein Großteil der Aufwände bezogen auf Digitale Zwillinge auf das Datenmanagement – also die Erhebung, Verarbeitung, Speicherung und Bereitstellung von Daten – zurückzuführen sind, entstehen die monetären Mehrwerte vor allem durch die Nutzung der Daten für spezifische Anwendungsfälle. Aus vielen Beobachtungen in der Branche lässt sich schlussfolgern, dass das Potential und die Anwendungsmöglichkeiten noch nicht vollständig wahrgenommen werden. Daher besteht Handlungsbedarf, dass Geschäftsmodelle für maritime Digitale Zwillinge entwickelt und zugleich diese Anwendungsmöglichkeiten den relevanten Akteuren aufgezeigt werden.

Datenhoheit muss geklärt werden

Eine weitere Herausforderung in Bezug auf Digitale Zwillinge ist die häufig noch ungeklärte Thematik der Datenhoheit. Besonders in der Schifffahrt ist diese Frage von hoher Relevanz, da viele unterschiedliche Parteien – Werften, Reeder, Zulieferer etc. – unterschiedliche Daten und Informationen



erstellen und erfassen. Nach unserer Beobachtung tritt besonders während des Betriebs eines Schiffes die Frage auf, wer der Eigentümer von welchen Daten ist, wer berechtigt ist die Daten zu erfassen und zu nutzen sowie welche Daten mit anderen beteiligten Akteuren geteilt werden müssen oder dürfen. Derartige Hindernisse halten Unternehmen davon ab, dass volle Potential von Digitalen Zwillingen auszuschöpfen.

Anreize zum Datenteilen schaffen

Eng mit dieser Herausforderung verbunden ist ebenfalls die Beobachtung, dass Daten größtenteils nicht mit anderen Unternehmen geteilt werden. Eine »Sharing-Economy«, in der Daten aus dem Schiffsbau und Schiffsbetrieb mit einigen wenigen ausgewählten Parteien geteilt werden, ist allerdings nur vorstellbar, wenn alle Akteure – sowohl die sendenden als auch die empfangenden Parteien – einen Nutzen aus der Bereitstellung ziehen. Aktuell zieht häufig nur eine Partei – die empfangende und nutzende – einen unternehmerischen Nutzen aus den Daten. Um es in Zukunft zu ermöglichen, dass möglichst umfassende maritime Digitale Zwillinge genutzt werden können, müssen auch abseits von monetären Aspekten Anreize geschaffen werden, um Unternehmen zu motivieren relevante Daten zur Verfügung zu stellen.

Nutzung einer geeigneten Dateninfrastruktur, um Daten über den gesamten Lebenszyklus nutzbar zu machen

Aktuell werden noch nicht alle Möglichkeiten des modernen Datenmanagements in der maritimen Branche vollständig genutzt. So besteht weiterhin Potential relevante Daten umfassender bzw. in besserer Qualität zu erfassen und diese Daten vermehrt in zentralen oder verbundenen Systemen verfügbar zu machen. Auch die konsequente Anwendung einer Versionsverwaltung kann die Anwendungsmöglichkeiten von innovativen Services verbessern. Dabei ist es das Ziel, eine dauerhafte und konsistente Datenerfassung und -bereitstellung über den gesamten Lebenszyklus zu ermöglichen, um die Potentiale der Industrie 4.0 umfänglich nutzen zu können. Auch wenn die technologischen Voraussetzungen für ein wertschöpfendes, umfassendes Datenmanagement bereits gegeben sind, ist der damit verbundene unternehmerische Aufwand besonders im Bereich Big Data sehr hoch. Nur wenn der Nutzen dementsprechend groß ist, wird die Umsetzung flächendeckend stattfinden.

Standardisierung der Datenerfassung sowie der von Schnittstellen zum Datenaustausch

Besonders in international ausgerichteten Branchen ist eine Standardisierung der Datenerfassung zu empfehlen, um



Komplikationen bei der Informationsgewinnung vorzubeugen. So können beispielsweise Konflikte bei der Datenverarbeitung entstehen, wenn Werte in unterschiedlichen Einheiten abgespeichert werden (z.B. °C und °F für Temperaturen) oder sich die Einheit im Laufe der Zeit ändert. Derartige Inkonsistenzen werden nicht nur beim Datenaustausch zwischen Unternehmen, sondern auch vermehrt unternehmensintern beobachtet. Standards zur Datenerfassung oder klare, strukturierte Beschreibungen bzw. Datenmodelle können helfen diese Herausforderung zu bewältigen.

Auch für den Austausch von Daten zwischen Unternehmen ist es ratsam auf gewisse Standards oder Best Practices zurückgreifen zu können. Dadurch ist zu erwarten, dass sich der Aufwand bei der Einbindung von unternehmensexternen Daten signifikant verringern könnte. An dieser Stelle sei aber auch noch einmal betont, dass es für viele Unternehmen nicht nötig ist, mit einer Vielzahl von Unternehmen Daten auszutauschen, um einen Digitalen Zwilling zu erschaffen. Fast jeder maritime Zulieferer und Schiffbauer hat die Möglichkeit durch vorhandene Daten und Maschinen einen Digitalen Zwilling zu erschaffen, um Mehrwerte zu generieren. Die Erweiterung durch die Einbeziehung von unternehmensexternen Daten ist dabei meist eher als Zusatz zu verstehen, durch den weitere Mehrwerte geschaffen werden können.

Datenerfassung und Übertragung auf Hoher See muss ermöglicht werden

Je nach Anwendungsfall können maritime Digitale Zwillinge auf das Vorhandensein von spezifischen Daten angewiesen sein, beispielsweise auf aktuelle Daten aus dem Schiffsbetrieb. Dabei stellt die Verfügbarkeit von leistungsfähigen

Datenübertragungssystemen allerdings besonders in der Seeschifffahrt eine zentrale Herausforderung dar. Aktuell ist auf Hoher See kein oder nur eingeschränkter Breitbandzugang vorhanden. Dies erschwert eine mögliche Synchronisation der Datenbasis zwischen Schiff und Landorganisation, die je nach Umsetzung für ausgewählte Anwendungsfälle erforderlich sein kann. Möglichkeiten um diese Herausforderungen zu bewältigen, bestehen beispielsweise in der dezentralen Verarbeitung und Nutzung der Daten auf dem Schiff oder darin, dass die Synchronisierung und Nutzung von Daten ausschließlich stattfindet, wenn ein vollständiger Datenaustausch gewährleistet werden kann. Zukünftig können auch neuartige Satellitennetze, wie z.B. Starlink verwendet werden, um einen Datenaustausch auf Hoher See sicherzustellen.

Cybersicherheit muss gewährleistet werden

Das Konzept von Digitalen Zwillingen beinhaltet, dass eine Vielzahl von objektbezogenen Daten erfasst und verarbeitet werden. Mit steigenden Datenmengen, sicherheitskritischen Anwendungsfällen und Datentransfers rückt das Thema Cybersicherheit auch vermehrt in den Fokus von Digitalen Zwillingen. Daher ist es nötig angemessene Cybersicherheits-Maßnahmen rechtzeitig in die Wege zu leiten, das Personal zu schulen und fortlaufend den Schutz aller sicherheitsrelevanten Aspekte zu gewährleisten.



5.2 Fazit

Die maritime Branche umfasst eine Vielzahl von Unternehmen, Verbänden und anderen Akteuren, die mit unterschiedlicher Expertise Produkte oder Dienstleistungen anbieten und damit Teile einer komplexen Wertschöpfungskette sind. Je nach Betrachtungsebene kommt so dem Aftersales eine unterschiedliche Rolle, als Anbieter solcher Services oder aus Kundensicht, zu.

Einigkeit besteht in der Branche darüber, dass der Preisdruck am Markt stetig steigt und dass ein schneller, verlässlicher und innovativer Aftersales einen erheblichen Beitrag zur langfristigen Kundenbindung leistet.

Eine Kooperation verschiedener Akteure könnte hier, unabhängig vom Einsatz Digitaler Zwillinge, neue und innovative Aftersales-Produkte hervorbringen. Die Vernetzung verschiedener Bereiche innerhalb eines Unternehmens ist oft der Anfang, aber auch die Vernetzung zwischen verschiedenen Unternehmen und sogar Branchen kann zielführend sein, was aber nur gelingt, wenn entsprechende Standards oder zumindest Schnittstellen verfügbar sind.

In der Luftfahrt sind beispielsweise offene Standards weit verbreitet, sodass Zulieferer verschiedene Hersteller mit Daten beliefern können. Diese Standards ermöglichen die

unternehmensübergreifende Einbindung von Daten. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass eine Kooperation mit anderen Branchen vorerst nur über speziell angepasste Schnittstellen funktioniert, da bislang keine einheitlichen Standards vorhanden sind. Hinzu kommt, dass keine aktuellen internationalen Standards existieren, die den entsprechenden Datenaustausch regeln. Hier setzen Konzepte wie der International Data Space (IDS) und Marispace-X an [15], [16].

Im Kontext Digitaler Zwillinge lässt sich festhalten, dass aus wissenschaftlicher Perspektive die Begrifflichkeit des Digitalen Zwillings aktuell noch nicht einheitlich definiert und wenig standardisiert ist, was eine umfassende Betrachtung und Einschätzung der Chancen und Potentiale erschwert. Unabhängig davon sind jedoch die angewandte Forschung und Umsetzung von Pilotprojekten den analytischen Arbeiten teilweise schon voraus und schaffen erlebbare Eindrücke eines mächtigen Werkzeugs, welches potentiell das Repertoire von Industrieunternehmen und der zugehörigen Lieferkette erweitern kann.

In der maritimen Branche mag der Digitale Zwilling in seiner Funktion als vollständige Datensynthese aus Realität und digitaler Welt über den gesamten Lebenszyklus hinweg zwar noch nicht vollständig umgesetzt sein, doch ist das gesamte Feld



Zentrale positive Effekte werden durch die zielgerichtete Nutzung von Datenströmen zur Optimierung des Schiffs- und Flottenmanagements gesehen, die bei konsequenter Umsetzung Flotteneffekte sichtbar und Lösungsansätze empirisch belegbar machen.«

© Adobe Stock

für die traditionsreiche Branche mit seinen speziellen Anforderungen und Herausforderungen – wie Besonderheiten bei der Datenübertragung auf See, komplexer Stakeholder- und Eignerstruktur oder vergleichsweise langer Produktlebenszyklen etc. – noch sehr jung.

Die im Rahmen dieser Ausarbeitung ausgewerteten Interviews haben einen positiven Ausblick der Branche auf die Potentiale der Technologie des Digitalen Zwillinges gegeben und es wurden auch für den Aftersales attraktive Kernthemen für die weitere Forschung identifiziert. Voraussetzung ist in diesem Kontext für die Beteiligten, wie bei allen unternehmerischen Entscheidungen, eine absehbare Amortisation der entsprechenden Anfangsinvestition.

Zentrale positive Effekte werden durch die zielgerichtete Nutzung von Datenströmen zur Optimierung des Schiffs- und Flottenmanagements gesehen, die bei konsequenter Umsetzung Flotteneffekte sichtbar und Lösungsansätze empirisch belegbar machen.

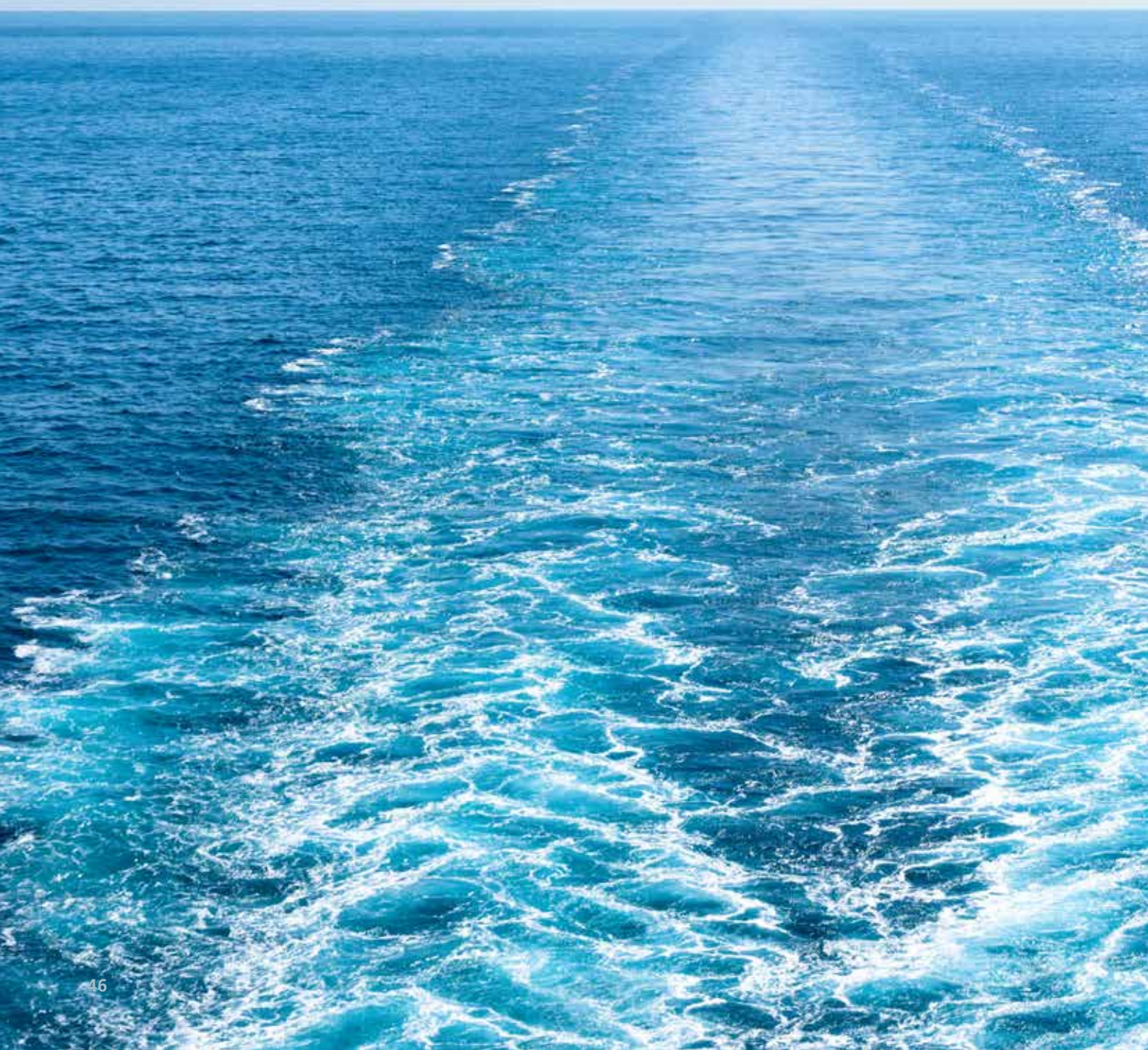
Innovative Dienstleistungskonzepte, wie etwa das virtuelle Training von Fachpersonal oder die remoteunterstützte Wartung und Instandhaltung von schwer zugänglichen Systemen, bieten darüber hinaus Potentiale, um den Betrieb der maritimen

Anlagen weiter zu optimieren und kostenintensive Reisen zu reduzieren.

Nicht zuletzt wird nach Expertenmeinung der Digitale Zwilling im Rahmen der Umweltwende auch instrumental zur Entwicklung in Richtung einer nachhaltigen Schifffahrt beitragen können.

Es haben sich jedoch auch Hemmfaktoren herauskristallisiert, die einem breiten Einsatz in der Branche entgegenstehen. Angefangen bei einer traditionsbewussten Mentalität vieler Branchenvertreter über eine nicht final geklärte Frage der Datenhoheit bis hin zur schleppenden Netzinfrastruktur bezüglich des Datenaustausches auf den Meeren und im Inland, verzögern als technologieunabhängige Faktoren eine breite Akzeptanz des Digitalen Zwillinges.

Abschließend ist zu konstatieren, dass die teilweise in der vorangegangenen Ausarbeitung erläuterten Leuchtturmprojekte einen wichtigen Beitrag leisten können, um die Chancen und Potentiale Digitaler Zwillinge erlebbar und belegbar zu machen. Die befragten Akteure halten mittelfristig eine weitere Verbreitung von Digitalen Zwillingen für wahrscheinlich, sowohl für die Branche im Allgemeinen als auch für ihre eigenen Unternehmen.



5.3 Ausblick

Ausgehend von dem positiven Bild der Chancen und Potentiale des Digitalen Zwillings für die maritimer Branche insgesamt – und den Maritimen Aftersales im Besonderen – soll im Folgenden ein kurzer Ausblick auf die geplanten und eine abschließende Einschätzung der erforderlichen Bemühungen gegeben werden, die sich in der Zukunft auftun.

Eine zentrale Rolle für eine wissenschaftlich fundierte Forschung muss zukünftig die Bestrebung haben ein einheitliches Verständnis für die Technologie des Digitalen Zwillings zu definieren. Ein gangbares Mittel, um eine solche zu schaffen, wäre eine Normung des Begriffs oder eine anderweitige Standardisierung im Sinne eines Branchenstandards zu erarbeiten. Die dafür benötigte unternehmensübergreifende Zusammenarbeit wurde jedoch gleichzeitig auch als Hindernis identifiziert.

Aufschlussreich werden zudem die Ergebnisse laufender Projekte, wie z.B. den Anstrengungen des DNV und die Hands-On-Erfahrungen kommerzieller Produkte wie Nachrüstungsanwendungen der Firma Digital Twin Marine sein.

Noch nicht vorherzusehen sind dabei die eventuellen Anwendungsfelder, in denen sich ein Digitaler Zwilling nicht nur technisch, sondern auch ökonomisch gegen traditionelle Methoden der Datenverwaltung und -auswertung durchsetzen wird. Das daraus erwachsene wirtschaftliche Risiko zu minimieren wird ein weiteres Schlüsselthema der folgenden Forschungsbemühungen bilden müssen.

Speziell im Gebiet des Aftersales können mit einigen VR-Anwendungen im Bereich der Qualifikation und Ausbildung von Anwendern schon jetzt attraktive Geschäftsmodelle identifiziert werden. Dabei gilt hinsichtlich der AR- und VR-Anwendungen sicherlich auch die Maxime, das Aftersales und klassischer Verkauf Hand in Hand operieren müssen und die Technologie des Digitalen Zwillings ideale Datengrundlagen für eine kundenorientierte Optimierung des eigenen Portfolios bietet.

Abschließend ist ein positiver Ausblick ein positiver Ausblick auf den Forschungsbedarf im Bereich des Digitalen Zwillings zu geben. Die zu erörternden Bereiche sind klar umrissen und die befragten Experten sind sich hinsichtlich der Potentiale einig, dass diese die finanziellen Aufwendungen in der Forschung bei einem erfolgreichen Einsatz der Technologie in der Wirtschaft mehr als kompensieren werden.

Literaturverzeichnis

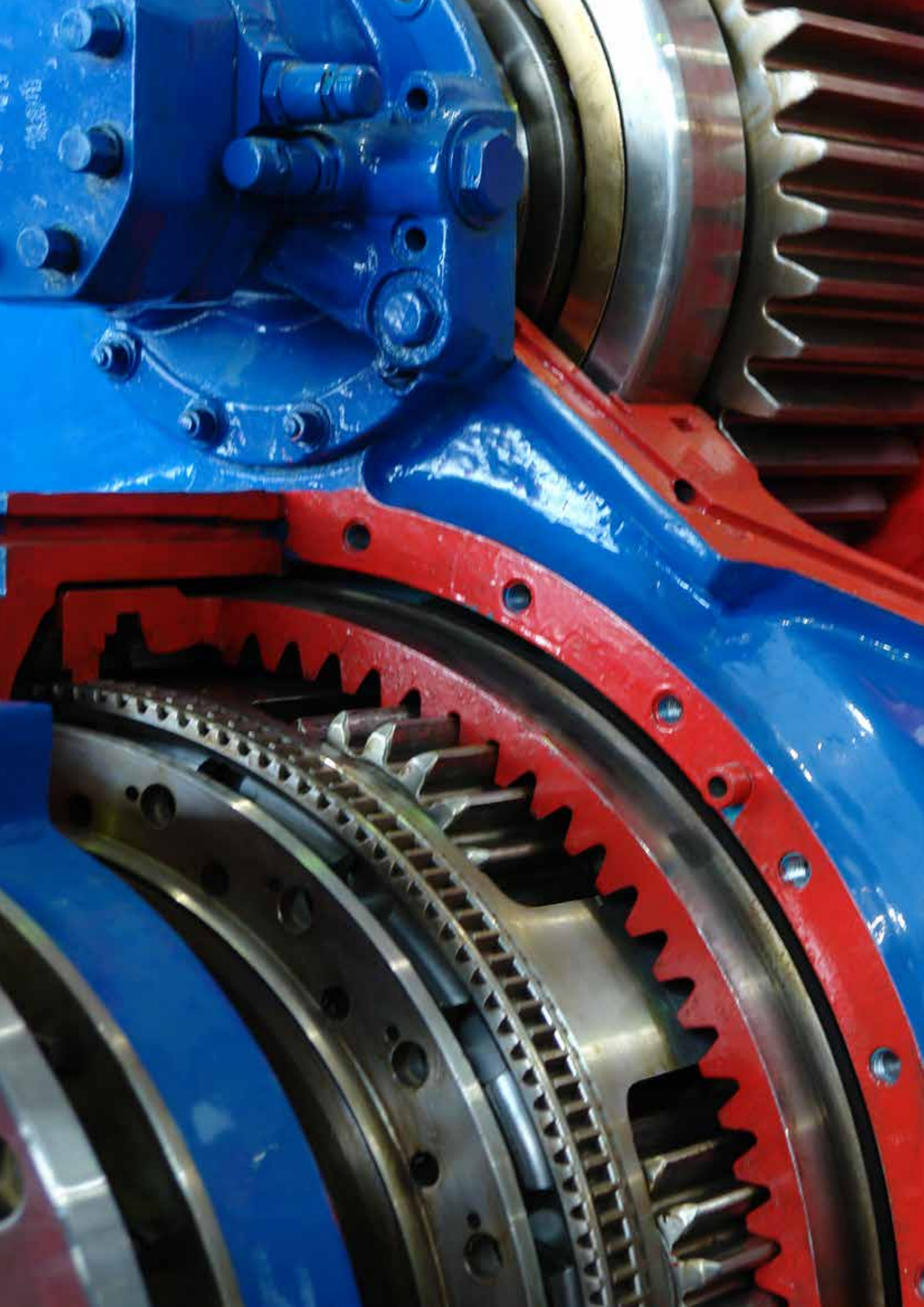
1. Adamenko D, Kunnen S, Nagarajah A (2020) Digital Twin and Product Lifecycle Management: What Is the Difference? In: Nyffenegger F, Ríos J, Rivest L, Bouras A (Hrsg) Product Lifecycle Management Enabling Smart X. 17th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2020, Rapperswil, Switzerland, July 5–8, 2020, Revised Selected Papers, 1. Aufl. Springer International Publishing; Imprint Springer, Cham, S 150–162
2. Albrecht M (2013) Grundlagen des ‚Building Information Modeling‘ (BIM). Arten, Ziele und Vorteile des BIM. Akademische Arbeit, Technische Universität Dresden
3. Bausch+Ströbel Maschinenfabrik Ilishofen GmbH + Co. KG (2022) Digital Engineering | Bausch+Ströbel. <https://www.bausch-stroebel.com/de/services/digital-engineering>. Zugegriffen: 01. April 2022
4. Borrmann A, König M, Koch C, Beetz J (Hrsg) (2021) Building Information Modeling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, 2. Aufl. Springer eBook Collection. Springer Vieweg, Wiesbaden
5. Bräuninger M, Fiedler R, Friedrich T, Girard Y, Maatsch S, Mecke M, Stiller S, Teuber M-O, Zimmerman P (2021) Maritime Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland, Bremen
6. Czwick C, Anderl R (2020) Cyber-physical twins - definition, conception and benefit. *Procedia CIRP* 90:584–588. doi:10.1016/j.procir.2020.01.070
7. Digital Twin Marine (2021) Digital Twin Marine | As-Built Digital Twins of your Ship. <https://digitaltwinmarine.com/>. Zugegriffen: 24. März 2022
8. DNV GL (2015) Ship Connectivity. DNV GL Strategic Research & Innovation Position Paper 04-2015. Safer, Smarter, Greener, Høvik
9. DNV GL (2022) ShipManager software. <https://www.dnv.com/services/ship-management-operations-and-ship-design-software-14032>. Zugegriffen: 01. April 2022
10. DNV GL AS (2022) DNV - Digital Solutions for maritime. <https://www.dnv.com/software/products/Digital-Solutions-for-maritime.html>. Zugegriffen: 24. März 2022
11. Eigner M (2020) Digitaler Zwilling – Stand der Technik. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115(s1):3–6. doi:10.3139/104.112300
12. Fischer M (2001) Produktlebenszyklus und Wettbewerbsdynamik. Grundlagen für die ökonomische Bewertung von Markteintrittsstrategien. Zugl.: Mannheim, Univ., Diss., 2001, 1. Aufl. Gabler-Edition Wissenschaft Schriftenreihe des Instituts für marktorientierte Unternehmen (IMU), Universität Mannheim. Dt. Univ.-Verl.; Gabler, Wiesbaden
13. Heber D, Michelbach F, Morelli F, Groll M (2018) Digital Twin-Konzeption in der Automobilindustrie: Einsatzpotenziale der Blockchain-Technologie. *Anwendungen und Konzepte der Wirtschaftsinformatik* (8)
14. Hegmann G (2020) US-Auftrag: Siemens programmiert digitales Pearl Harbor - WELT. Mit diesem Geheimauftrag modernisiert Siemens einen ganzen US-Stützpunkt. *welt.de*. <https://www.welt.de/wirtschaft/article219520616/US-Auftrag-Siemens-programmiert-digitales-Pearl-Harbor.html>. Zugegriffen: 01. April 2022
15. International Data Spaces (2022) International Data Spaces. *International Data Spaces e. V.* <https://internationaldataspaces.org/>. Zugegriffen: 24. März 2022
16. IONOS SE (2022) Marispace-X | Gaia-X Case Study mit IONOS Cloud. <https://cloud.ionos.de/gaia-x/marispace-x>. Zugegriffen: 24. März 2022
17. Kongsberg (2021) KONGSBERG MARITIME LAUNCHES BLUE INSIGHT, A POWERFUL DIGITAL TOOLBOX FOR OCEAN DATA MANAGEMENT AND ANALYSIS. <https://www.kongsberg.com/maritime/about-us/news-and-media/news-archive/2021/blue-insight/>. Zugegriffen: 24. März 2022
18. Kretschmann L (2018) Digitalisierung des Service in der maritimen Zulieferindustrie, Hamburg
19. O'Dwyer R (2021) P&O Ferries to use digital twins for performance monitoring - Smart Maritime Network. <https://smartmaritimenetwork.com/2021/12/14/po-ferries-to-use-digital-twins-for-performance-monitoring/>. Zugegriffen: 01. April 2022



20. Projektbanken - Forskningsrådet (2022) Digital Twin Yard (DTYard) - An ecosystem for maritime models and digital twin simulation - Projektbanken. Research council of Norway. <https://projektbanken.forskningsradet.no/en/project/FORISS/295918?Kilde=FORISS&distribution=Ar&chart=bar&calcType=funding&Sprak=no&sortBy=date&sortOrder=desc&resultCount=30&offset=360&ProgAkt.3=KLIMAFORSK-Stort+program+klima>. Zugegriffen: 24. März 2022
21. Redaktion Schiff&Hafen (2018) Siemens und Aker Solutions vereinbaren strategische Partnerschaft. Siemens und Aker Solutions haben eine strategische Kooperation vereinbart, um das digitale Angebot im Bereich Engineering, Betrieb und Services weiterzuentwickeln. DVV Media Group, Seehafen-Verl. <https://www.schiffundhafen.de/nachrichten/offshore/detail/siemens-und-aker-solutions-vereinbaren-strategische-partnerschaft.html>. Zugegriffen: 24. März 2022
22. Riedelsheimer T, Lünemann P, Wehking S, Dorfhuber L (2020) Digital Twin Readiness Assessment, Eine Studie zum Digitalen Zwilling in der fertigen Industrie. msg, Fraunhofer Verlag, Berlin
23. Risse K (2018) Das Virtuelle Flugzeug - Die Digitalisierung in der Luftfahrt. In: Luft- und Raumfahrt, Nr. 3, 2018
24. SEGNO Industrie Automation GmbH (2017) Allgemein - Forschungsprojekt OSCAR. http://wordpress-oscar-cloud-2019.p109613.webspaceconfig.de/?page_id=131. Zugegriffen: 24. März 2022
25. Sidle B (2021) Building your own digital twin? <https://www.kongsberg.com/digital/resources/blogs/2021/6/building-your-own-digital-twin/>. Zugegriffen: 24. März 2022
26. Siemens Aktiengesellschaft Reale Erfolge durch digitale Zwillinge. Bausch + Ströbel will mindestens 30 Prozent mehr Engineering-Effizienz bis 2020. <https://new.siemens.com/de/de/branchen/maschinenbau/referenzen/bauschstroebel.html>. Zugegriffen: 01. April 2022
27. Siemens Deutschland (2022) Digital Enterprise – Infinite opportunities from infinite data. Schnelle und sichere Entscheidungen mit dem Digital Enterprise. https://new.siemens.com/de/de/unternehmen/themenfelder/digital-enterprise.html?gclid=EAlaIqobChMj-KOKtjq9AIVhf93Ch0RZQY-FEAYASAAEgJdBfD_BwE. Zugegriffen: 24. März 2022
28. Tajdeh Y (2021) Navy Optimizing Shipyards With Digital Twin Technology. National DEFENSE. <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2021/3/1/navy-optimizing-shipyards-with-digital-twin-technology>. Zugegriffen: 24. März 2022
29. Tao F, Zhang M, Nee AYC (2019) Digital twin driven smart manufacturing. Academic Press an imprint of Elsevier, London, United Kingdom, San Diego, CA, Cambridge, MA, Oxford, United Kingdom
30. VDMA FC (2018) Digitalisierung des Service in der maritimen Zulieferindustrie. Fraunhofer CML / VDMA Arbeitsgemeinschaft Marine Equipment and Systems, Hamburg
31. Wartsila.com (2021) Wärtsilä partners with Microsoft to strengthen their Edge platform and industrialise Marine IoT. Wärtsilä Corporation. <https://www.wartsila.com/media/news/07-12-2021-wartsila-partners-with-microsoft-to-strengthen-their-edge-platform-and-industrialise-marine-iot-3019154>. Zugegriffen: 24. März 2022
32. Zernichow BM von, Nesheim DA (2021) Maritime Data Space - MDS. <https://www.sintef.no/projectweb/maritime-data-space-mds/about/>. Zugegriffen: 24. März 2022
33. Ditto. 2022, Digital Twins of the Ocean. <https://ditto-oceandecade.mailchimpsites.com>,
34. Skywise: <https://skywise.airbus.com/>

Tabellenliteraturverzeichnis

- T1. **Digital Twin Marine.** As-built Digital Twins of Your Ship. Digital Twin Marine. 2021.
- T2. **DNV GL AS.** Ship inspection: Hull integrity: Shipmanager Hull. s.l. : dnv.com.
- T3. **Augustyn, Dawid, Ulriksen, Martin D. und Sørensen, John D.** Reliability Updating of Offshore Wind Substructures by Use of Digital Twin Information. *Energies*. 2021, Bd. 14, 18.
- T4. On Digital Twin Condition Monitoring Approach for Drivetrains in Marine Applications. **Johansen, Sigrid S. und Nejad, Amir R.** 2019. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Bd. 10: Ocean Renewable Energy .
- T5. Navy optimizing shipyards with Digital Twin Technology. **Tajdeh, Yasmin.** Arlington : s.n., 2021, National DEFENSE.
- T6. **Hamburg Port Authority AöR.** Digitales Testfeld. 2022.
- T7. **Eckstein, Megan.** NAVSEA seeing ship sustainment successes with digital twins, but wants a more comprehensive tool. *USNI News*. 2021.
- T8. Product life-cycle management in ship design: From concept to decommission in a virtual. **Andrade, S. L., Monteiro, T. G. und Gaspar, H. M.** 2015. European Conference on Modelling and Simulation. Bd. 29.
- T9. Digital twins for the maritime sector. **Lind, Mikael, et al.** 2020.
- T10. **Czwick, Cordula und Anderl, Reiner.** Cyber-physical twins - definition, conception and benefit. *Procedia CIRP*. 2020, Bd. 90.
- T11. **Giering, Jan-Erik und Dyck, Alexander.** Maritime Digital Twin architecture: A concept for holistic Digital Twin application for shipbuilding and shipping. at - Automatisierungstechnik. 2021, Bd. 69, S. 1081--1095.
- T12. **Kavin, Kim.** The future is now: Virtual Reality brings a new dimension to yacht design and construction. *Yachtsinternational.com*. 2016, S. 45-49.
- T13. **Skylight.** Supercharge your workforce with Skylight. [Online] 2022. <https://upskill.io/skylight/>.
- T14. **Proby, Raches.** SceneScan: A laser focus on the future of dynamic positioning. s.l. : wartsila.com, 2020.
- T15. ENHANCING WORKABILITY BY OPERATIONAL WAVE MODELLING. **Dekeuleneer, François, de Vroom, Joris und Mol, Arjan.** Panama City : s.n., 2018. PIANC-World Congress Panama City.
- T16. Digital Twin of a Maneuvering Ship: Real-Time Estimation of Derivatives and Resistance Coefficient Based on Motion Sensor. **Sasaki, Humberto A. Uehara, et al.** 2021. International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering.
- T17. Digital Twin Modelling of Ship Power and Propulsion Systems: Application of the OpenSimulation Platform (OSP). **Perabo, Florian, et al.** 2020. 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE).



Kontakt

Fraunhofer-Institut für
Graphische Datenverarbeitung IGD
Joachim-Jungius-Straße 11
18059 Rostock
www.igd-r.fraunhofer.de

Fraunhofer-Center für Maritime Logistik
und Dienstleistungen CML
Blohmstraße 32
21079 Hamburg
www.cml.fraunhofer.de