

1 Einleitung

1.1 Motivation

Zur Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens¹ ist die Nutzung regenerativer Energien, insbesondere die Nutzung von Windenergie, von zentraler Bedeutung. Der Ausbau der Windenergie in Deutschland ist in den letzten Jahren stetig vorangeschritten. Windenergie bildet heute einen zentralen Baustein der Stromversorgung in Deutschland und nimmt auf dem Weg zur Klimaneutralität eine Schlüsselrolle ein. Bis Ende des Jahrzehnts müssen Windenergieanlagen nicht nur konventionelle Kraftwerke ersetzen, sondern auch zusätzlich den Strombedarf im Rahmen der Sektorenkopplung decken².

Ebenfalls verkörpern die aktuellen geopolitischen Entwicklungen die besondere Relevanz der Windenergiebranche als zentralen Baustein zur Erreichung des übergeordneten energiepolitischen Ziels der Versorgungssicherheit in der Bundesrepublik Deutschland. Die Windenergiebranche, insbesondere die Entwicklung von Windenergieanlagen, muss befähigt werden, um diese ambitionierten Ziele und die gestiegenen Anforderungen optimal begegnen zu können.

Regenerative Energien sind in Zeiten knapper werdender Ressourcen das Zukunftsthema. Die besondere energiepolitische Relevanz wird innerhalb des Koalitionsvertrags der Bundesregierung deutlich: Demnach sollen rund 80 % des deutschen Stromverbrauchs im Jahr 2030 mittels erneuerbarer Energien gedeckt werden.³ Unter den erneuerbaren Energien leistet zurzeit die Windenergie einen signifikanten Beitrag. Im dritten Quartal des Jahres 2021 entfielen knapp 17 % der gesamten Stromeinspeisung in der Bundesrepublik auf Windenergieanlagen. Ferner verfolgt die Bundesregierung ambitionierte Ausbauziele. Dazu sollen unter anderem 2 % der Landesfläche für Windenergie ausgewiesen werden. Zur Umsetzung dieses energiepolitischen Ziels muss der Ausbau von Windenergieanlagen forciert und die Entwicklung von neuen Anlagen fokussiert werden.

¹ United Nations 2015.

² Quentin 2021.

³ Die Bundesregierung 2021.

Folglich birgt die Windenergiebranche neben dieser hohen energie- und klimapolitischen Relevanz ebenfalls enormes wirtschaftliches Potenzial in sich. Die Erschließung dieses wirtschaftlichen Potenzials ist jedoch gleichzeitig mit zahlreichen Herausforderungen verbunden. Genau wie das gesamte heutige Geschäftsumfeld sehen sich auch Hersteller von Windenergieanlagen mit zunehmender Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität (VUCA-Umwelt) konfrontiert. Im Maschinen- und Anlagenbau manifestiert sich diese maßgeblich durch eine fortschreitende Globalisierung und eine rasante Technologieentwicklung. Dabei ist die Windenergiebranche im Speziellen geprägt von kürzer werdenden Produktlebenszyklen, den gesteigerten Forderungen nach individuellen, auf die jeweiligen Standortbedingungen maßgeschneiderten Produkten sowie steigendem Kostendruck. Um auf dieses dynamische Umfeld bestmöglich zu reagieren und gleichzeitig wettbewerbsfähige Produkte anbieten zu können, müssen die Hersteller von Windenergieanlagen neue Strategien entwickeln und. Diese Strategien müssen eine optimale Flexibilisierung des entsprechenden Entwicklungsprozesses bei gleichzeitig sinkenden Stromentstehungskosten ermöglichen. Es gilt also, im Sinne eines agilen Vorgehens, Transparenz und Veränderungsgeschwindigkeit zu erhöhen und den Einsatz der entwickelten Systeme zu beschleunigen. Jene Herausforderungen werden verstärkt durch die zunehmende Digitalisierung in produzierenden Unternehmen, insbesondere auch in der Forschung und Entwicklung im Maschinen- und Anlagenbau. Dort dominieren die disruptiven Einflussfaktoren einer rasant ansteigenden Menge an Daten und Informationen in „Velocity, Volume, Value, Variety, Veracity und Variability“ und induzieren einen signifikanten Komplexitätsanstieg.

Um Unternehmen der Windenergiebranche, insbesondere Hersteller von Windenergieanlagen, im Umgang mit den Herausforderungen der VUCA-Umwelt zu unterstützen, müssen Konzepte entwickelt werden, um Entwicklungsprozesse flexibel und transparent zu gestalten. Gleichzeitig müssen diese Prozesse eine zunehmende Menge an Informationen berücksichtigen und verarbeiten können, die im Kontext der Entwicklung einer Windenergieanlage anfallen. Es gilt, die zunehmende Menge an Daten zu wertschöpfungsorientierten Informationen zu verarbeiten und durch datenbasierte Entwicklungsprozesse Effizienzvorteile zu erschließen. Einen erfolgversprechenden Ansatz zur Bewältigung

dieser Herausforderungen stellt die Erarbeitung eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses für Windenergieanlagen dar.

1.1.1 Motivation aus Sicht der Praxis

Windenergieanlagenhersteller benötigen eine maximale Effektivität und Effizienz in der Entwicklung neuer Anlagevarianten unter volatilen Anforderungen. Weltweit werden jährlich etwa 20.000 bis 30.000 neue Windenergieanlagen (WEA) installiert. Je nach Größe des Unternehmens beträgt die Zahl der zu produzierenden WEA pro Jahr zwischen ca. 50 Stück und max. 2.000 Stück, was nach industriellen Maßstäben Kleinst- oder Kleinserien entspricht. Zeitgleich sind die Anforderungen an die Individualisierung der Anlagen in Abhängigkeit von gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen (z. B. normative Netzanforderungen, Sicherheits- und Kennzeichnungsanforderungen, Netzanschlussbedingungen etc.) sowie von kunden- und marktabhängigen Wünschen und Anforderungen (max. Transportabmessungen, klimatische Bedingungen, Netzfrequenz und -spannung, Schallanforderungen etc.) äußerst hoch. Folglich sehen sich die Hersteller von WEA heutzutage auf dem globalen Windmarkt zahlreichen und rasch ändernden Anforderungen an die Produkte ausgesetzt. Um in wirtschaftlich sinnvollen Stückzahlen zu fertigen, ist eine internationale Ausrichtung auf global verteilte Märkte notwendig. Dabei sieht sich die Branche jedoch mit teils enorm volatilen Märkten konfrontiert, die schnelle Markteintrittsstrategien und damit lokale Produktadaptionen notwendig machen. Bedingt durch den wachsenden Wettbewerbsdruck und die zunehmende Sättigung der Kernmärkte europäischer Hersteller sind die Kundenanforderungen im internationalen Umfeld möglichst individuell zu bedienen⁴. Aufgrund der standortübergreifenden Einbindung aller Fachabteilungen, eines stetig wachsenden Zuliefernetzwerks durch „Local-content“-Anforderungen, der verkürzten Entwicklungszeiten sowie des steigenden Kostendrucks bei erhöhter Produktqualität wird das Entwicklungsumfeld zusätzlich verschärft. Neben einer Zunahme der Produktkomplexität führen diese Faktoren zu einer steigenden Komplexität in den bestehenden Entwicklungsprozessen⁵. Einher mit diesem Komplexitätsanstieg in Entwick-

⁴ Schmelzer und Sesselmann 2004, S. 472.

⁵ Komus et al. 2020.

lungsprozessen geht eine Steigerung der Daten- und Informationsmengen, die durch Windenergieanlagenhersteller erfasst, systematisiert und verarbeitet werden müssen. Um effizient, zielorientiert und letztlich erfolgreich neue Anlagen zu entwickeln, bedarf es einer ausreichenden, zuverlässigen und konsistenten Datengrundlage, um Entwicklungsprozesse zielgerichtet zu unterstützen.

Die skizzierte Inhomogenität der Märkte wird durch die zunehmend dynamischere Entwicklung politischer Mehrheiten und konjunktureller Einflüsse verstärkt. Nahezu jedes Projekt verlangt letztendlich eine mehr oder weniger individuell zusammengestellte Windenergieanlage zur optimalen wirtschaftlichen Ausnutzung der jeweiligen gegebenen Rahmenbedingungen, sodass für die Hersteller ein hohes Maß an Flexibilität in ihren Produkten zwingend erforderlich ist. Eine Windenergieanlage stellt jedoch ein komplexes technisches System mit einer hohen Abhängigkeit und Wechselwirkungen der Komponenten untereinander dar. Marginale Änderungen an einer Komponente induzieren oftmals umfangreiche Änderungs- und Anpassungsmaßnahmen an verbundenen Komponenten.

Jene Herausforderungen werden durch immer kürzere Produktlebenszyklen im Maschinen- und Anlagenbau intensiviert. So haben sich speziell in der Windenergiebranche die Technologielebenszyklen neuer Anlagen im Vergleich zur Marktsituation von vor wenigen Jahren drastisch geändert. Neue Anlagevarianten veralten heute sehr viel schneller als früher. Dies stellt Hersteller am Markt vor die Herausforderung, dass sie kontinuierlich und kurzzyklisch (d. h. fast jährlich) auf diese sich ändernde Wettbewerbssituation reagieren müssen, obwohl die Entwicklungszeit für eine neue Anlagengeneration aktuell noch zwischen 18 und 24 Monaten beträgt. Zugleich sind die Hersteller von Windenergieanlagen auf dem globalen Windmarkt zahlreichen und sich rasch ändernden Anforderungen an die Produkte ausgesetzt. Volatile Marktumfeld fordern schlussfolgernd Agilität in Entwicklungstätigkeiten, schnelle Markteintrittsstrategien und lokale Produktadaptionen. Bedingt durch den wachsenden Wettbewerbsdruck und die zunehmende Sättigung der Kernmärkte europäischer Hersteller sind die Kundenanforderungen möglichst individuell zu bedienen⁶. Aufgrund der standortübergreifen-

⁶ Schuh 2002.

den Einbindung aller Fachabteilungen, eines stetig wachsenden Zuliefernetzwerks durch „Local-content“-Anforderungen, der verkürzten Entwicklungszeiten sowie des steigenden Kostendrucks bei erhöhter Produktqualität wird das Entwicklungsumfeld zusätzlich verschärft.

Letztlich führen diese Faktoren zu einer steigenden Komplexität in den bestehenden Entwicklungsprozessen. Die komplexen Wechselwirkungen aus Volatilität, Dynamik und Unsicherheit führen dazu, dass bei der Initiierung eines Entwicklungsprojekts einer Anlage die Wettbewerbssituation, die Marktanforderungen sowie die Zielmärkte noch gar nicht abschließend definierbar sind. Das Risiko dieser „Moving Targets“, d. h. sich ändernder Anforderungen, kann dazu führen, dass am Ende eines Entwicklungsprozesses das initial definierte WEA die Kunden- und Marktanforderungen nicht mehr hinreichend erfüllt. Um auf dieses dynamische Umfeld bestmöglich zu reagieren und gleichzeitig wettbewerbsfähige Produkte anbieten zu können, müssen die Hersteller von Windenergieanlagen neue Strategien entwickeln. Diese müssen eine optimale Flexibilisierung des entsprechenden Entwicklungsprozesses bei gleichzeitig sinkenden Herstellungs-, Betriebs- und letztlich Stromgestehungskosten ermöglichen.

Zusammenfassend muss der Entwicklungsprozess einer Windenergieanlage aus Sicht der Praxis also stärker kundenorientiert sein und damit flexibel auf sich ändernde Produkthanforderungen reagieren können sowie einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen den Entwicklungsabteilungen bspw. bei der Konstruktion von voneinander abhängigen Komponenten ermöglichen.

Einen erfolgversprechenden Ansatz zur Bewältigung dieser komplexen Herausforderungen stellt die Erarbeitung eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses für Windenergieanlagen dar. Hierdurch sollen schnellere und aufwandsärmere Anpassungen der zu entwickelnden Produkte an sich ändernden Rahmenbedingungen und Anforderungen im laufenden Entwicklungsprozess ermöglicht werden. Bislang besteht in der Praxis jedoch mangelnde Kenntnis, wie ein agiler, datenbasierter Entwicklungsprozess auszugestalten und zu implementieren ist.

1.1.2 Motivation aus Sicht der Forschung

Wie bereits aus praxisorientierter Sicht dargestellt, stellt die heutige VUCA-Umwelt hohe Anforderungen an die Produktentwicklungspro-

zesse im Bereich der Windenergieanlagen. Entwicklungsprozesse müssen zunehmend in der Lage sein, eine stärkere Kundenorientierung zu fokussieren und flexibel auf sich dynamisch ändernde Produktanforderungen reagieren zu können. In Anbetracht des wachsenden Digitalisierungstrends und der damit verbundenen gesteigerten Menge und Vielfalt an Daten und Informationen zeichnet sich ein Komplexitätsanstieg ab. Zusätzlich stellt eine Windenergieanlage ein komplexes System dar und weist zahlreiche voneinander abhängige Komponenten auf. Der Entwicklungsprozess muss schlussfolgernd einen kontinuierlichen Informationsaustausch zwischen Entwicklungsabteilungen für den Entwurf eben dieser Komponenten ermöglichen.

Die Mehrzahl der Unternehmen im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus, insbesondere der Windenergiebranche, verwendet verschiedene plangetriebene Ansätze innerhalb ihrer Produktentwicklung. Plangetriebene Entwicklungsprozesse gehen u. a. auf das Stage-Gate-Modell nach COOPER⁷ oder das Wasserfallmodell⁸ zurück. Speziell im Maschinen- und Anlagenbau beschreibt das weitverbreitete V-Modell (VDI 2206) bspw. die Produktentwicklung durch Problemzerlegung, -lösung und -integration der Lösungen in den Bereichen Mechanik, Elektrotechnik und Softwaretechnik⁹. Allen diesen Entwicklungsprozessmodellen ist gemeinsam, dass sie ein deterministisches und konsekutives Entwicklungsvorgehen skizzieren. Hieraus resultiert ein steigender Bedarf nach größerer Flexibilität, um Unternehmen die Möglichkeit zu geben, auf sich ändernde Rahmenbedingungen zu reagieren und einen durchgängigen, iterativen Informationsfluss zwischen verschiedenen am Entwicklungsprozess partizipierenden Bereichen sicherzustellen.

In den letzten Jahren haben viele Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau begonnen, agile Entwicklungsansätze aus der Softwareentwicklung zu adaptieren. Agile Ansätze fokussieren interaktive, inkrementelle und anpassungsfähige Prozessabläufe und versprechen flexiblere Reaktionen auf sich ändernde Anforderungen bei gleichzeitig kürzeren Entwicklungszeiten. Dabei stützen sich Unternehmen zumeist auf Ansätze wie Scrum¹⁰ oder das Agile-Stage-Gate Hybrid Modell¹¹.

⁷ Cooper 1990, S. 44.

⁸ Royce 1970.

⁹ Verein Deutscher Ingenieure e.V. 2020.

¹⁰ Schwaber 1997.

¹¹ Cooper und Sommer 2016, S. 513.

Aus Sicht der Forschung beschreiben diese Ansätze zwar eine agile Produktentwicklung, transformieren aber nicht systematisch den bestehenden Produktentwicklungsprozess in ein neues Prozesskonzept. Aus diesem Grund sind diese agilen Prinzipien für Unternehmen bisher nicht ohne Weiteres anwendbar. Ebenfalls berücksichtigen sie nicht den hohen Bedarf und die Anforderungen des Informationsaustauschs, der bei der Entwicklung komplexer technischer Systeme, wie etwa Windenergieanlagen, aufgrund der hohen Interdependenz der Komponenten notwendig ist.

Typischerweise stellen agile Ansätze einen prototypischen Zielprozess für die Softwareentwicklung dar. Der Übergang von plangetriebenen zur agilen Produktentwicklung und die Berücksichtigung branchenspezifischer Besonderheiten ist zumeist nicht Teil etablierter agiler Entwicklungsansätze und in der gegenwärtigen Literatur nur unzureichend betrachtet. Unternehmen benötigen eine Methodik, um von ihren derzeitigen plangetriebenen Prozessen zu einer auf ihre Bedürfnisse zugeschnittenen agilen Entwicklung überzugehen.

Ferner ist in der wissenschaftlichen Literatur nur unzureichend beschrieben, wie eine optimierte Datengrundlage und -verfügbarkeit agile Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau ermöglichen kann. Aus wissenschaftlicher Sicht ist es von hoher Relevanz zu untersuchen, wie eine echtzeitfähige, datenbasierte Entwicklung neuer Produktvarianten unter Berücksichtigung volatiler Markt- und Kundenanforderungen auszugestalten ist. Es fehlt an einem Vorgehen zur Erstellung eines einheitlichen Datenmodells als Grundlage für eine datenbasierte Entscheidungsunterstützung im Kontext agiler Entwicklungsprozesse.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist es notwendig, einen Ansatz zu entwickeln, der es Unternehmen der Windenergiebranche ermöglicht, ein entsprechendes Vorgehen für die eigenen Entwicklungstätigkeiten, unter Berücksichtigung des spezifischen Unternehmenskontexts, abzuleiten. Dieser Ansatz soll auf der Identifikation individueller Potenziale und Restriktionen für die Einführung und Anwendung eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses basieren.

1.2 Potenziale in der Produktentwicklung der Windenergiebranche

Bezüglich der Produktentwicklung stoßen aktuelle, deterministische und plangetriebenen Entwicklungsansätze in Anbetracht der skizzierten Herausforderungen im Windenergieanlagenbau an Grenzen. Wie gezeigt, ist den plangetriebenen Entwicklungsprozessmodellen gemein, dass sie ein rigides Vorgehen präferieren, das Unternehmen häufig hindert, bedarfsgerecht auf sich ändernde Rahmenbedingungen reagieren zu können. Wie ein Großteil des Maschinen- und Anlagenbaus verwendet auch die Mehrheit der Unternehmen der Windenergiebranche plangetriebene Ansätze in der Produktentwicklung. Gerade Unternehmen auf dem Windenergiemarkt haben aufgrund der Inflexibilität in ihren bisherigen Entwicklungsprozessen jedoch zunehmend Schwierigkeiten, dynamische Ziele zu erreichen.

Das beschriebene Marktumfeld bedingt, dass es für die Hersteller von Windenergieanlagen zunehmend schwieriger wird, die relevanten Kundenanforderungen und Marktbedingungen zu Beginn eines Entwicklungsprojektes vollumfänglich zu identifizieren.

Erfolgversprechend scheinen hingegen die in der Softwareentwicklung bereits erfolgreich eingesetzten agilen Vorgehensweisen. So beschreibt etwa das agile Projektmanagement-Framework Scrum¹² die Entwicklung als eine Abfolge von Sprints mit entsprechenden Aufgaben¹³. Zum Ziel hat diese Vorgehensweise, ein lieferbares Produktinkrement zu entwickeln, das an definierten Zielen getestet und mit dem Kunden diskutiert werden kann. In diesem Zusammenhang erfordert bspw. „Extreme Programming“ nach BECK eine iterative Entscheidungsfindung, welche Anforderungen im nächsten Release umgesetzt werden, wobei in jeder Iteration alle klassischen Phasen der Produktentwicklung durchlaufen werden¹⁴. Kanban visualisiert den Prozess und verbessert diesen inkrementell, um das jeweilige Risiko zu minimieren¹⁵. Eine Kombination aus Scrum und Kanban, Scrumban, stellt Sprints in den visualisierten und begrenzten Kanban-Kontext¹⁶.

¹² Pichler 2011.

¹³ Schwaber 1997.

¹⁴ Beck 2010.

¹⁵ Anderson 2010.

¹⁶ Ladas 2008.

Die Skalierung der Grundprinzipien der agilen Produktentwicklung auf komplexere Projekte mit mehreren Entwicklungsteams wird durch Scrum-Frameworks wie Large Scale Scrum, SAFe oder Scrum@Scale beschrieben. Large Scale Scrum (LeSS) bietet ein Framework, das den Scrum-Ansatz auf zwei bis acht Teams überträgt, die ganzheitlich an einem gemeinsamen, insgesamt lieferbaren Produktinkrement arbeiten, das mit dem Kunden bewertet werden kann¹⁷. SAFe (Scaled Agile Framework) beschreibt die Anwendung eines agilen Entwicklungsansatzes auf Programmebene und die Synchronisation zwischen verschiedenen Entwicklungsteams¹⁸. Der Scrum@Scale-Ansatz führt ein Scrum of Scrums ein, das die Ergebnisse von unabhängig voneinander arbeitenden Teams in ein ganzheitliches Produktinkrement integriert¹⁹. Einige agile Entwicklungsansätze stellen sich den spezifischen Herausforderungen des Maschinen- und Anlagenbaus, da sie sich mit der hohen Komplexität seiner aus interdisziplinären, voneinander abhängigen Komponenten bestehenden Produkte auseinandersetzen. Die Flexible Produktentwicklung von SMITH²⁰, das Agile-Stage-Gate Hybrid Modell von COOPER und SOMMER²¹ und das Scaling Agile Development in Mechatronic Organizations von EKLUND und BERGER²² übertragen die Prinzipien der agilen Entwicklung auf die Entwicklung von Mechatronik. Aufgrund unterschiedlicher Restriktionen in der Entwicklung mechatronischer Produkte, wie z.B. Sicherheitsnormen oder Energieeffizienzstandards, insbesondere in der Windenergiebranche, lassen sich diese Ansätze jedoch nicht ohne weiteres übertragen. Zusätzlich beschreiben diese Ansätze zwar Prinzipien und Methoden der agilen Produktentwicklung, bieten allerdings kein Vorgehensmodell oder eine Verfahrensanleitung, wie konkret bestehende plangetriebene Produktentwicklungsansätze um agile Prinzipien angereichert- bzw. vollständig in agile Prozesse überführt werden können. Die Operationalisierung der Ansätze und deren Implementierung in Unternehmensstrukturen mit bestehenden Prozessen stellt zahlreiche Unternehmen der Windenergiebranche aktuell vor Herausforderungen.

¹⁷ Larman und Vodde 2009.

¹⁸ Stojanov et al. 2015.

¹⁹ Dingsoeyr et al. 2019.

²⁰ Smith 2007.

²¹ Cooper und Sommer 2016.

²² Eklund und Berger 2017.

1.2.1 Effektive Produktentwicklung durch agile Entwicklungsmethoden

Nach FARNBACH ist die Anwendung eines detailliert geplanten, traditionellen Stage-Gate-Prozesses in volatilen und turbulenten Umfeldern nicht nur ineffektiv, sondern kontraproduktiv und kann die heutige Marktdynamik längst nicht mehr vollständig adressieren²³. Ein Ansatz, um die Effektivität in der Entwicklung zu steigern sowie der Volatilität der Kundenanforderungen zu begegnen, stellt die angeführte agile Produktentwicklung dar²⁴. Die agile Produktentwicklung ist eine Menge iterativer Entwicklungsmethoden, die nachweislich zu einem höheren Zielerreichungsgrad führen. Somit können sie den Projekterfolg deutlich steigern²⁵. Neben einer verstärkten Kollaboration in cross-funktionalen Teams und einer reduzierten Vorausplanung am Anfang eines Projektes, setzt die agile Produktentwicklung auf iterative Entwicklungszyklen und eine kontinuierliche Validierung der Entwicklungsergebnisse mit definierten Kundengruppen. Damit unterstützt eine agile Vorgehensweise in der Produktentwicklung insbesondere die Adaptionfähigkeit des Entwicklungsprozesses. Durch eine kontinuierliche Adjustierung auf sich ändernde Randbedingungen, ermöglicht eine agile Vorgehensweise zudem den Umgang mit unvollständigen oder teilweise unbekannten Anforderungen zu Beginn eines Entwicklungsprojektes²⁶.

Da der Einsatz rein agiler Methoden nicht für jeden Entwicklungsprozess geeignet ist²⁷, empfiehlt sich stattdessen die Nutzung von integrierten Prozessen als eine Kombination aus agilen und plangetriebenen Entwicklungsvorgehen. Somit kann ein ganzheitlicher agiler Entwicklungsprozess gestaltet werden, welcher auf der einen Seite flexibel ist, gleichzeitig auf der anderen Seite durch die plangetriebenen Elemente auch die notwendige Stabilität garantiert. Die Einführung agiler Ansätze bedeutet also nicht, dass gänzlich auf die Vorteile einer plangetriebenen Entwicklung verzichtet werden muss.

²³ Farnbach 2011, 37 ff.

²⁴ Komus et al. 2020, S. 3.

²⁵ Serrador und Pinto 2015, 1 ff.

²⁶ VersionOne 2017, S. 8.

²⁷ Komus et al. 2020, S. 20.

1.2.2 Effiziente Produktentwicklung durch eine echtzeitfähige Datenverfügbarkeit

Die Herausforderungen resultierend aus der oben beschriebenen systematischen Aufnahme von Kundenanforderungen für eine agile Produktentwicklung als auch die Steuerung eines durch bspw. „Local-content“-Anforderungen wachsendes Entwicklungs- und Zuliefernetzwerks, können nur bewältigt werden, wenn alle benötigten Produktdateninformationen in durchgängiger, einheitlicher und stets aktueller Form vorliegen. Gerade in der Qualität der Informationen sowie deren Verfügbarkeit für alle am Entwicklungsprozess beteiligten Stakeholder liegen bei gemeinsamer und simultaner Nutzung wesentliche Potenziale für den Entwicklungsprozess. Insbesondere in der frühen Phase der Wertschöpfung, in der maßgeblich Stammdaten zu Produkten generiert und verändert werden, sind die Effektivität und die Effizienz der Prozesse stark von der Nutzung verfügbarer Informationen abhängig²⁸. Schließlich werden unternehmerische Ressourcen nur dann effizient eingesetzt, wenn Redundanzen und Inkonsistenzen in der Datenhaltung vermieden werden. Die an den Geschäftsprozessen teilnehmenden internen und externen Akteure sollten folglich auf eine einheitliche, gemeinsame Datenbasis zurückgreifen. In diesem Kontext gilt es, ein digitales Abbild der Windenergieanlagen zu erzeugen, einen sogenannten „Digitalen Schatten“. Der Digitale Schatten ist ein virtuelles Abbild von relevanten Daten in der Produktion, Entwicklung und angrenzenden Bereichen. Die Daten des Digitalen Schattens beinhalten die durchlaufene Historie, den aktuellen Status und mögliche Wege und Prozesse eines angestrebten Status²⁹.

Der Konzeptionierung einer solchen Datenbasis sowie der auf dieser Datenbasis aufbauenden Geschäftsprozesse, widmet sich das Forschungsgebiet des Product Lifecycle Managements (PLM). Dabei werden Konzepte für eine einheitliche Verwaltung von Produktdaten, für die Integration von Prozessen sowie für ein Anwender-Rechtesystem über den gesamten Produktlebenszyklus definiert³⁰. Nach SCHUH umfasst ein vollständiges Produktlebenszykluskonzept einen Ansatz zur ganzheitlichen, unternehmensübergreifenden Verwaltung und Steuerung aller

²⁸ Schuh 2015, S. 19.

²⁹ Bauernhansl et al. 2016.

³⁰ Schuh 2015, S. 20.

Produktdaten und Prozesse des gesamten Produktlebenszyklus entlang der erweiterten Logistikkette³¹. Das PLM unterstützt die abteilungs- und standortübergreifende Verwaltung und zielgerichtete Bereitstellung aller während des Produktlebenszyklus erzeugten Daten und Informationen und integriert auf diese Weise Menschen, Prozesse und Informationen³². Eine solche gemeinsame Struktur für Produktinformationen, die allen Lebenszyklusphasen einer Windenergieanlage gerecht wird und die relevanten informationsspezifischen Sichten auf das Produkt vereint, ermöglicht eine anforderungsgerechte und systematische Bereitstellung von Informationen. EIGNER beschreibt diese zielgerichtete Bereitstellung von Produktinformationen detailliert in verschiedenen Produktstrukturen und Sichten auf das Produkt. Ein Resultat dessen sind verschiedene Stücklistenarten, die ebenfalls charakterisiert und verglichen werden können³³. Einen aktuellen Lösungsansatz für die Fragestellungen rund um die Sichten auf das Produkt entlang dessen Lebenszyklus bietet darüber hinaus das System Lifecycle Management (SysLM)³⁴. Im Gegensatz zum PLM, das aus der mechanischen Produktentwicklung stammt, erweitert SysLM diesen Gedanken. Hier liegt ein stärkerer Fokus auf der Modellierung des Gesamtsystems, einschließlich verschiedener Entwicklungsdomänen sowie der Erfassung von Informationen zu Anforderungen und Konzepten. Für ein lebenszyklusübergreifendes Management von Produktinformationen muss also eine Datenstruktur vorliegen, die sowohl den agilen Entwicklungscharakteristika genügt, als auch die Informationen in den Geschäftsprozessen aller beteiligter Akteure im Sinne des PLM zur Verfügung stellen kann³⁵. Nur mit einer durchgängigen Datenstruktur können die oben genannten Potenziale einer agilen und datengetriebenen Produktentwicklung mit denen einer stets aktuellen, konsistenten und redundanzfreien Informationslage im Sinne einer „Single Source of Truth“ realisiert werden.

Trotz des enormen Potenzials, das agile und datenbasierte Ansätze in Sachen Effizienz, Effektivität und Flexibilität in sich bergen, existiert ins-

³¹ Schuh 2015, S. 20.

³² Eigner und Stelzer 2009, S. 23.

³³ Eigner und Stelzer 2009, 42 ff.

³⁴ Sendler 2013, 16 ff.

³⁵ Cha 2014, S. 421.

besondere in der Windenergiebranche bisher kein agiles Prozessmodell oder standardisiertes Vorgehensmodell zur Nutzung agiler Entwicklungsansätze im Kontext der Entwicklung von Windenergieanlagen. Es gilt die Potenziale in der Produktentwicklung durch die Nutzung agiler Ansätze zu nutzen.

Konsekutiv wurde der wesentliche Befähiger zur systematischen Optimierung der Entwicklungsprozesse innerhalb der Windenergiebranche identifiziert in Form einer effektiven Produktentwicklung, durch den Einsatz agiler Methoden, in Kombination mit einer effizienten Produktentwicklung, durch eine echtzeitfähige Datenverfügbarkeit.

1.3 Zielsetzung und Aufbau

Basierend auf den dargestellten Potenzialen für Praxis und Wissenschaft wurde das Forschungsvorhaben „Agile_Data_Dev“ formuliert. Dessen Ziel war die Entwicklung eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses, verbunden mit der Erarbeitung eines Leitfadens im Sinne einer Vorgehensbeschreibung zur Implementierung in der Windenergiebranche. Der Zielprozess für die Produktentwicklung zeichnet sich durch die Integration von agilen und plangetriebenen Methoden sowie deren datenbasierten Unterstützung aus. Somit soll (1) eine Steigerung der Effektivität durch eine zielgerichtete Adressierung von Anforderungen im Sinne des agilen Gedankens erreicht werden, (2) eine Verbesserung der Effizienz durch die Vermeidung von ungewollten Iterationen aufgrund einer verbesserten Datentransparenz unterstützt werden, (3) eine datenbasierte Entscheidungsunterstützung durch eine durchgängige Daten- und Systemarchitektur ermöglicht werden und (4) eine Verkürzung der Time-to-Market bei gleichzeitiger Steigerung des Market-Fit erreicht werden.

Der in Abbildung 1 dargestellte Ordnungsrahmen des Forschungsprojekts identifiziert die zu betrachtenden Handlungs- und Themenfelder, um diese Projektziele zu erreichen. Das Zielbild setzt sich dabei aus zwei Handlungsfeldern, der Analyse der Prozesse und Tätigkeiten sowie der Analyse der Informationssystemarchitektur und Datenstrukturen, sowie dem Handlungsfeld zur Gestaltung des agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses für Windenergieanlagen zusammen. Prozessseitig gilt es zunächst das Entwicklungsnetzwerk zu beschreiben und dort Systempartner und Schnittstellen zu bestimmen. In Anbetracht

der Komplexität und Interdisziplinarität der Fragestellungen innerhalb eines Entwicklungsprojekts in der Windenergiebranche erfolgt diese unter Einbezug verschiedener Akteure, die im Gesamtsystem der Energieerzeugung agieren. Konkret erfolgt die WEA-Entwicklung zumeist in einem Netzwerk, in dem Entitäten wie Hersteller, Zulieferer und Forschungseinrichtungen kooperativ an Konzeption, Konstruktion und Optimierung der WEA arbeiten.

Aufbauend ist eine Geschäftsprozessanalyse durchzuführen, um relevante Geschäftsprozesse zu ermitteln und Schnittstellen zu identifizieren. Abschließend ist eine funktionsorientierte Wertstromanalyse durchzuführen, um Prozesse zu modellieren und Tätigkeiten sowie Aktivitäten zu bestimmen. Informationsseitig müssen die am Prozess beteiligten Systeme, Objekte und Personen und deren Informationsbedarf identifiziert werden. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen kann der agile, datenbasierte Entwicklungsprozess für Windenergieanlagen gestaltet werden. Zentrale Handlungsfelder sind die Definition agiler Prozessbausteine, die Ermöglichung einer Prozesskonfiguration und die Umsetzung eines Daten- und Informationsmodells.

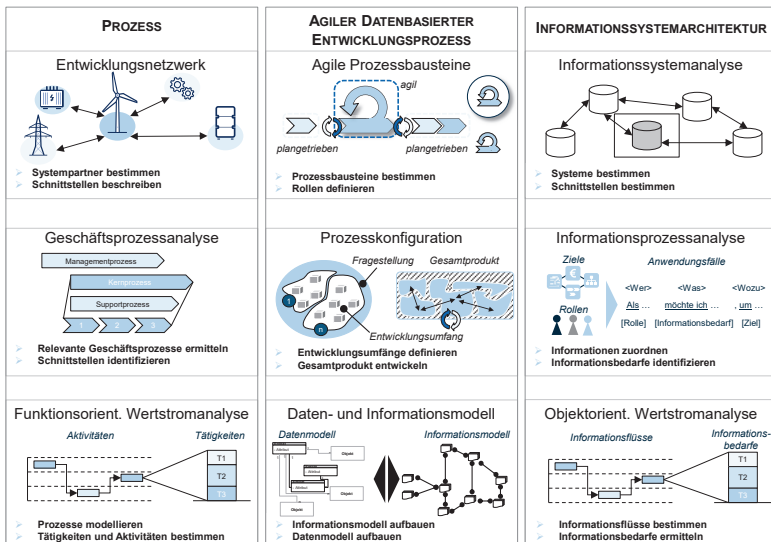


Abbildung 1: Ordnungsrahmen des Forschungsprojekts „Agile_Data_Dev“

Die übergeordneten Ziele des Forschungsvorhabens waren insbesondere, die Entwicklungszeit, Fehlentwicklungen und damit spezifischen

Kosten innerhalb der Entwicklung einer Windenergieanlage zu senken, um den wirtschaftlichen Ausbau der Windenergie zu forcieren. Der im Projekt entwickelte agile, datenbasierte Entwicklungsprozess ermöglicht es Unternehmen der Windenergiebranche, sich weltweit immer stärker individualisierenden Marktanforderungen zielgerichteter stellen zu können. Durch die Anwendung dessen werden Unternehmen in die Lage versetzt, den wirtschaftlichen Ausbau der Windenergie zu befähigen und den Technologiestandort Deutschland zu stärken. Dazu gilt es im Weiteren theoretische Modelle zur Bewertung, Neuentwicklung und Optimierung von Windenergieanlagen zu entwickeln. In diesem Zusammenhang wurde ein Entwicklungsprozess erarbeitet, welcher anhand ausgewählter Teilprojektumfänge in einem vorwettbewerblichen Kontext validiert wurde. Somit konnte unmittelbar getestet werden, inwiefern eine Prozessflexibilisierung zur Adressierung der zuvor genannten Herausforderungen bei der Entwicklung von Windenergieanlagen erfolgen kann. Dafür wurden Konzepte zur Verknüpfung unterschiedlicher Modelle und Datenbasen erarbeitet. Zur Stärkung der Aussagekraft dieser Modelle wurden Initiativen zur Modellierung und Simulation von Komponenten und kompletten Windenergieanlagen bzw. Windparks zur vereinfachten Weiterentwicklung bestehender Konzepte sowie zur Entwicklung von neuen Konzepten unternommen. Um einen agilen, datenbasierten Entwicklungsprozess modellieren zu können und folglich um das Verfahren einsetzen und erproben zu können, wurden verschiedene Simulationsumgebungen miteinander verknüpft sowie mit den bestehenden Datenbasen synchronisiert. So wurde es möglich, die derzeit bestehenden Produktentwicklungsprozesse, um neue Konzepte zu erweitern, zu verbessern und zu beschleunigen. Insgesamt kann mit Hilfe eines agilen, datenbasierten Ansatzes mittel- bis langfristig die Gesamtwirtschaftlichkeit des Anlagenportfolios gesteigert werden.

Zusammenfassend ergeben sich die übergeordneten Ziele:

- Steigerung der Effektivität durch eine zielgerichtete Adressierung von Anforderungen im Sinne des agilen Gedankens
- Verbesserung der Effizienz durch die Vermeidung von ungewollten Iterationen aufgrund einer verbesserten Datentransparenz
- Datenbasierte Entscheidungsunterstützung durch eine durchgängige Daten- und Systemarchitektur

- Verkürzung der Time-to-Market bei gleichzeitiger Steigerung des Market-Fit

Diese übergeordneten Teilziele lassen sich in spezifische wissenschaftliche und technische Arbeitsziele untergliedern:

- Erarbeitung einer Methodik zum Aufbau eines Datenmodells als Grundlage für die datenbasierte Entscheidungsunterstützung
- Erarbeitung einer Methodik zur Definition von agilen und plangeordneten Prozessbausteinen sowie unternehmensspezifischen agilen Rollen
- Erarbeitung einer Methodik zur kontextbezogenen Konfiguration von agilen und plangetriebenen Prozessbausteinen zur Steigerung von Effizienz und Effektivität
- Entwicklung eines Leitfadens zur Implementierung eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses im Anlagenbau mit Fokus auf die Windenergiebranche

1.4 Vorstellung des Forschungsprojekts „Agile_Data_Dev“

Die Erkenntnisse des Leitfadens wurden im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University und eines Unternehmens aus der Windenergiebranche erarbeitet. Das Unternehmen agiert als Auftragsentwickler für Windenergieanlagen sowohl in Deutschland als auch im internationalen Umfeld. Der Lehrstuhl für Produktionssystematik des Werkzeugmaschinenlabors WZL der RWTH Aachen University befasst sich unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh seit vielen Jahren in verschiedenartigen Forschungs- und Industrieprojekten mit Fragestellungen rund um Themen des Innovationsmanagements. Dieses kann wiederum in die Bereiche des Komplexitätsmanagements, des Entwicklungsmanagements, des Data Intelligence Managements und des Prototypings aufgegliedert werden. Die Gestaltung und Optimierung von agilen, datenbasierten Entwicklungsprozessen hat sich neben der Baukastengestaltung als eine der Kernkompetenzen des Lehrstuhls in zahlreichen Forschungs- und Industrieprojekten erwiesen. Un-

terstützt wurde das Werkzeugmaschinenlabor durch das Institut für Maschinenelemente und Systementwicklung MSE und den Lehrstuhl für Software Engineering SE der RWTH Aachen University.

Im Rahmen des Projekts wurde ein systematisches Vorgehen erarbeitet, mit dem Unternehmen der Windenergiebranche einen agilen, datenbasierten Entwicklungsprozess entwickeln, implementieren und umsetzen können. Der vorliegende Praxisleitfaden unterstützt dabei die Einführung eines solchen Entwicklungsprozesses, indem das Vorgehen detailliert erläutert wird.

Dabei gliedert sich das Forschungsprojekt in die vier determinierenden Projektphasen Analyse, Konzeption, Detaillierung und Validierung. Die Arbeiten wurden dabei in je vier Arbeitspakete für den Praxispartner aus der Windenergiebranche und die Forschungsinstitute aufgeteilt:

- AP1 Analysephase Praxisunternehmen
- AP2 Analysephase WZL
- AP3 Konzeptionsphase Praxisunternehmen
- AP4 Konzeptionsphase WZL
- AP5 Detaillierungsphase Praxisunternehmen
- AP6 Detaillierungsphase WZL
- AP7 Validierungsphase Praxisunternehmen
- AP8 Validierungsphase WZL

Die vier betrachteten Projektphasen bauen inhaltlich aufeinander auf, wobei gewisse Vorarbeiten der einzelnen Projektphasen bereits vor Abschluss der vorhergehenden Projektphasen begonnen werden konnten. Einzige Ausnahme bilden die Projektphasen 1 und 2, die weitgehend parallel durchgeführt wurden. In diesen beiden Projektphasen wurden die konzeptionellen Grundlagen für den agilen, datenbasierten Entwicklungsprozess gelegt, bevor diese dann in Phase 3 in einen konfigurierbaren agilen Prozess übersetzt werden konnten. In Projektphase 4 erfolgte schließlich die ganzheitliche Erarbeitung des vorliegenden Leitfadens zur Implementierung der agilen, datenbasierten Produktentwicklung. In diesem Zusammenhang wurden Teilelemente der Methodik darüber hinaus in vorwettbewerblichen

Projekten validiert. Im Folgenden findet sich eine kurze Darstellung der Arbeitsziele der jeweiligen Projektphase:

Arbeitsziele der Phase 1: Analyse

- Erarbeitung einer Methodik zur prozessseitigen und systemseitigen Modellierung von Entwicklungsprozessen
- Beschreibung von Rollen innerhalb der Produktentwicklung
- Aufnahme von Schwachstellen in Entwicklungsprozessen als Basis für die Integration von agilen Methodenbausteinen
- Ermittlung von Anforderungen eines durchgängigen Datenmodells zur Schaffung von Transparenz als Basis einer datenbasierten Produktentwicklung

Arbeitsziele der Phase 2: Konzeption

- Definition von agilen und plangetriebenen Prozessbausteinen als Basis für die Agilisierung von Entwicklungsprojekten unter Berücksichtigung von benötigten Informationen
- Erarbeitung von Rollen zur Umsetzung der agilen und plangetriebenen Prozessbausteine
- Konzipierung eines Informationsmodells basierend auf den Anforderungen der agilen Prozessbausteine sowie der zugehörigen Rollen

Arbeitsziele der Phase 3: Detaillierung

- Erarbeitung einer Methodik zur Konfiguration eines agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses bestehend aus agilen und plangetriebenen Prozessbausteinen
- Auswahl von Produktumfängen, welche agil oder plangetrieben zu entwickeln sind
- Synchronisation von agilen und plangetriebenen Entwicklungssträngen zur Maximierung der Effizienz und Effektivität

- Erarbeitung von Visualisierungsmöglichkeiten als Basis der Entscheidungsunterstützung innerhalb eines Entwicklungsprojektes
- Gestaltung eines Datenmodells als Basis für die datenbasierte Produktentwicklung

Arbeitsziele der Phase 4: Validierung

- Entwicklung einer Veränderungskommunikation anhand unternehmensspezifischer Anforderungen
- Anwendung der Entwicklungsmethodik in einem vorwettbewerblichen Kontext zur Validierung der erarbeiteten Methodenelemente

Nachfolgend sind in Abbildung 2 die Arbeitsphasen in ihrem Ablauf und mit ihren Inhalten kurz dargestellt.

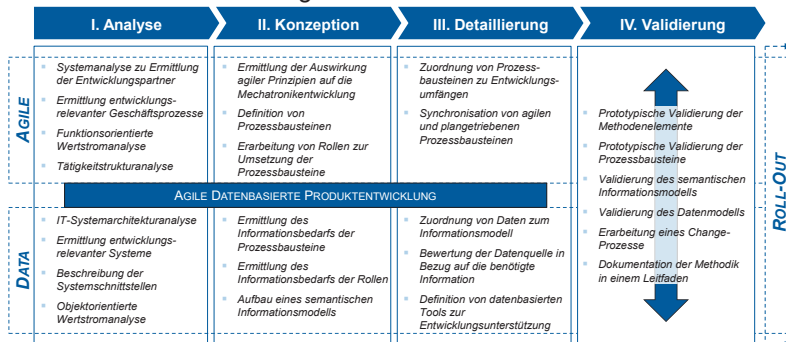


Abbildung 2: Arbeitsplan für das Forschungsvorhaben „Agile_Data_Dev“

Analysephase

Innerhalb der ersten Phase wurde zusammen mit dem Praxispartner ein Vorgehen zur Analyse des aktuellen Status der Entwicklungsprozesse systematisch erarbeitet, um die Eignung dieser Prozesse für agile Entwicklungsmethoden zu ermitteln. Hierzu wurden das Entwicklungsnetzwerk, Partner sowie Schnittstellen systematisch beschrieben. Des Weiteren wurde der entwicklungsbezogene Wertstrom über alle Wertschöpfungsstufen hinweg aufgenommen, um so ein detailliertes Bild der Prozesslandschaft zu erhalten. Zusätzlich lieferten die Beleuchtung und Analyse von Schnittstellen eine wesentliche Grundkenntnis für Ansatzpunkte der kurzzyklischen und iterationsbasierten Entwicklung. Ferner lieferte diese Phase Erkenntnisse bezüglich der Rollen und Rechte der

Akteure über alle Prozesse hinweg und ermöglichte so ein Verständnis für die Nutzung von Ressourcen.

Die Analyse hat sich zudem über die IT-Systeminfrastruktur erstreckt, um insbesondere die Datennutzung innerhalb der Produktentwicklung transparent zu machen. Dazu gehört die Ermittlung der für die Entwicklung relevanten Systeme sowie die Beschreibung der zwischen den Systemen bestehenden Schnittstellen. Zudem wurden anhand einer objektorientierten Wertstromanalyse die Wege von Entwicklungsartefakten durch den Entwicklungsprozess, dessen Aktivitäten und die dazugehörigen Systeme geprüft, welche Informationsbedarf bei den an der Entwicklung beteiligten Akteuren entstehen und in welche Objekte die benötigten Informationen zu welchem Zeitpunkt einfließen. Dementsprechend schließt die Analyse der Informationssysteme auch die Ermittlung der im Prozess vorhandenen systemseitigen Rollen und deren Rechte ein.

Konzeptionsphase

Auf Basis der in der Analysephase herausgearbeiteten Prozesse, Aufgaben und Rollen wurden in der zweiten Phase die Grundlagen für den agilen datenbasierten Entwicklungsprozess auf Prozess- und Informationssystemebene definiert.

Für die konzeptionelle Definition eines Entwicklungsprozesses, in dem Teilsysteme einer Windenergieanlage datenbasiert und agil entwickelt werden können, wurde die Auswahl eines sowohl prozess- als auch produktabhängigen agilen Konzepts vorbereitet. Dazu wurden auf Basis der Wertstrom- und Entwicklungsprozessanalyse des vorangegangenen Arbeitspakets diejenigen agilen Konzepte ausgewählt, die sich zur Adaption innerhalb der beschriebenen Unternehmensprozesse eignen. Die agilen Wirkmechanismen, die bereits in der Softwarebranche Anwendung finden, wurden hierbei auf eine Übertragbarkeit in den Anlagenbau überprüft und für eine Implementierung in die bestehende Prozesslandschaft konzeptioniert. In diesem Zusammenhang wurden standardisierte Prozessbausteine beschrieben, welche eine Kombination der agilen und der plangetriebenen Entwicklung ermöglichten und sich zu einem ganzheitlichen, agilen Entwicklungsprozess konfigurieren lassen.

Zusätzlich wurde in dieser Phase die systemseitige Unterstützung der zuvor definierten agilen und plangetriebenen Prozessbausteine konzipiert. Für einen echtzeitfähigen Wechsel zwischen unterschiedlichen Sichten auf das Produkt und die dahinterliegenden Strukturen ist die Konzeption generischer, produktbeschreibender Perspektiven notwendig. Weiterhin wurden die Informationsbedarfe der definierten agilen Rollen identifiziert, um abschließend ein ganzheitliches Informationsmodell für einen agilen datenbasierten Entwicklungsprozess ableiten zu können. Aufbauend ließ sich ein entsprechendes Sichtenmanagement konstruieren, um funktionsübergreifenden Teilnehmern eines agilen Teams während des Entwicklungszyklus die entsprechenden Sichtweisen auf das zu entwickelnde Inkrement (zu entwickelnder Teilumfang des Produktes innerhalb der iterativen Entwicklungszyklen) zu ermöglichen.

Detaillierungsphase

Innerhalb der Detaillierungsphase wurden die bisher konzeptionell ausgearbeiteten Prozessbausteine für die Umsetzung in einem ganzheitlichen agilen Entwicklungsprozess spezifiziert. Schlussfolgernd wurde ein Vorgehen für die Auswahl der definierten Prozessbausteine anhand der zu entwickelnden Produktumfänge definiert. Anhand von Agilitätsindikatoren erfolgte eine methodisch unterstützte Bewertung der einzelnen Produktumfänge zur fundierten Auswahl von agilen oder plangetriebenen Entwicklungsansätzen je Produktumfang. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung des horizontalen und vertikalen Synchronisationsbedarfs zwischen den einzelnen Prozessphasen.

Gleichzeitig wurde die Umsetzbarkeit der Datenunterstützung sichergestellt. Hierzu erfolgte die Detaillierung der notwendigen Sichten und Informationsbedarfe durch die Identifikation der Daten zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses. So wurde ein Vorgehen entwickelt, um den im vorangegangenen Arbeitspaket identifizierten Informationsbedarfen die relevanten Datenbedarfe zuzuordnen und diese in ein Datenmodell für einen ganzheitlichen agilen Entwicklungsprozess zu überführen. Verbunden damit wurde die Entwicklung eines Rollen- und Rechtekonzeptes für den agilen, datenbasierten Entwicklungsprozess umgesetzt. Abschließend erfolgte die Festlegung entsprechender Anforderungen an eine datenbasierte Visualisierungsunterstützung, zum einen zum Fortschrittscontrolling im Entwicklungsvorgehen und zum anderen zur

Entscheidungsunterstützung bei der Analyse unterschiedlicher entwicklungsrelevanter Fragestellungen.

Validierungsphase

Die Validierung des erarbeiteten agilen, datenbasierten Entwicklungsprozesses erfolgte anhand von Entwicklungsumfängen mit vorwettbewerblichem Charakter und ermöglichte die Bewertung des zu erwartenden Nutzens, die Verifikation der beschriebenen Methodik sowie die Überprüfung der Umsetzbarkeit der Datenunterstützung basierend auf bestehenden Systemen. Begleitet wurde dieser Validierungsprozess durch die Entwicklung und Umsetzung eines entsprechenden Change-Managementprozesses. Als Ergebnis dieser abschließenden Validierungsphase ist der vorliegende Leitfaden für die Windenergiebranche hervorzuheben, als Instrument, das weitere Unternehmen befähigt, agile, datenbasierte Entwicklungsprozesse anzuwenden.