

Referenzarchitektur für Wald und Holz 4.0

Semantik, Struktur, Perspektiven, Umsetzung

Ein KWH4.0-Standpunkt

26.07.2019

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0
c/o RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Projektkoordination)
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20
D-44227 Dortmund
www.kwh40.de

Kontakt

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0
 c/o RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Projektkoordination)
 Joseph-von-Fraunhofer-Straße 20
 D-44227 Dortmund
 www.kwh40.de

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. Frank Heinze
 Tel. +49 (0) 231 9700-781
 frank.heinze@rt.rif-ev.de

Verantwortlicher Autor: Stephan Wein, WZL

Autoren



RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Koordinator)
 Geschäftsführer: Dipl.-Inf. Michael Saal
 Joseph-von-Fraunhofer Str. 20, 44227 Dortmund



Werkzeugmaschinenlabor (WZL), RWTH Aachen
 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher
 Steinbachstraße 19, 52074 Aachen



Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI), RWTH Aachen
 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann
 Ahornstraße 55, 52074 Aachen



Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), RWTH Aachen
 Institutsleiterin: Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch
 Bergdriesch 27, 52062 Aachen

Landesbetrieb Wald und Holz
 Nordrhein-Westfalen



Wald und Holz NRW, Lehr- und Versuchsforstamt Arnsberger Wald
 Forstliches Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik
 Leitung: FD Thilo Wagner
 Alter Holzweg 93, 59755 Arnsberg

Förderhinweis

Dieses Vorhaben wird gefördert durch das Land Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE).



EFRE.NRW
 Investitionen in Wachstum
 und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
 Investition in unsere Zukunft
 Europäischer Fonds
 für regionale Entwicklung

Version	Datum	Seiten	Änderungen
0.9	19.04.2019	Alle	Initialer Entwurf
1.0	26.07.2019	Alle	Erste offizielle Version

Referenzarchitektur für Wald und Holz 4.0

Dieser KWH4.0-Standpunkt fasst Semantik, Struktur, Perspektiven und Umsetzung der Referenzarchitektur im Wald und Holz 4.0 (WH4.0)-Kontext aus einer wissenschaftlichen Perspektive im Überblick zusammen. Ziel ist es, in Anlehnung an das Referenzarchitekturmodell der Industrie 4.0 (RAMI4.0), eine Basis zur einheitlichen Kommunikation im Umfeld von WH4.0 zu schaffen, mit deren Hilfe sich alle Teilnehmer von WH4.0 verstehen können. Das Referenzarchitekturmodell stellt eine dreidimensionale Landkarte bereit, die beschreibt, wie das WH4.0-Thema strukturiert angegangen werden kann. Um Zielsetzung und Anforderung des Referenzarchitekturmodells besser verstehen zu können, werden zunächst grundlegende Eigenschaften und Begriffe erklärt, die im Zusammenhang mit der Referenzarchitektur relevant sind. Ausgehend davon wird in Kapitel 3 der Aufbau des WH4.0-Referenzarchitekturmodells beschrieben und beispielhaft eine Einordnung von zwei unterschiedlichen Assets vorgenommen.

1 Notwendige Begriffsdefinitionen

1.1 Was ist ein Modell?

Ein Modell ist eine vereinfachte Darstellung eines bestimmten Sachverhaltes, deren Ziel es ist, diesen in einem bestimmten Kontext möglichst anschaulich bzw. gemäß relevanter Faktoren abstrahiert darzustellen. Im Vergleich dazu stellt ein Referenzarchitekturmodell bzw. ein Referenzmodell ein beispielhaftes, idealtypisches Modell für die Klasse der zu modellierenden Sachverhalte dar. Dabei lassen sich Referenzarchitektur- bzw. Referenzmodelle auf spezifische Gesichtspunkte bzw. Anspruchsgruppen anpassen. Dabei sollte es einen Zweck, einen Bezug zu einem Original und abstrahierte Eigenschaften des Originals besitzen.¹ Im Kontext der Industrie 4.0 wurden u.a. das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0) sowie die Industrie 4.0-Komponente definiert.

1.2 Was ist ein Asset?

Ein Asset ist eine „Entität, die einen wahrgenommenen oder tatsächlichen Wert für eine Organisation hat und der Organisation gehört oder von ihr individuell verwaltet wird“². Es werden materielle und immaterielle Assets unterschieden. Materielle Assets wie z.B. Produkte und Produktionsanlagen (oder auch Teile hiervon) sowie Arbeitskräfte sind Teil der physischen Welt. Immaterielle Assets wie Software, Archive, Mehrwertdienste, Daten, Datenmodelle, Simulationsmodelle und Ideen sind Teil der Informationswelt. Konkrete Beispiele für Assets im Forstbereich sind somit Harvester, Bäume, Waldboden, Waldarbeiter, Maschinenbuchführungssysteme oder Baumartenkarten. Sowohl materielle als auch immaterielle Assets lassen sich in das Referenzarchitekturmodell einordnen.

1.3 Was ist eine Verwaltungsschale?

Eine Verwaltungsschale (engl. Asset Administration Shell, AAS) ist die virtuelle, digitale und aktive Repräsentanz einer Wald und Holz 4.0-Komponente (WH4.0-Komponente) in einem WH4.0-System.³ Sie stellt ein Konzept dar, welches zur Organisation der Verwaltung von Assets innerhalb eines IT-Systems

¹ Nach „Modulare hierarchische Modellierung als Grundlage der Software- und Systementwicklung“, M. Broy und B. Rump

² Siehe Glossar Plattform Industrie 4.0 (<https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Service/Glossar/glossar.html>)

³ Nach DIN SPEC 91345 (PAS), 2016

entwickelt wurde.⁴ Somit wird ein Asset in der digitalen Welt durch die Informationen, die seine Verwaltungsschale bereitstellt, repräsentiert. In der technischen Umsetzung ist die Verwaltungsschale die Laufzeitumgebung eines Digitalen Zwillings (DZ)⁵.

1.4 Was ist eine Wald und Holz 4.0-Komponente?

Die Kombination eines Assets mit seiner Verwaltungsschale und dem dort verwalteten DZ wird als WH4.0-Komponente bezeichnet. Dabei ist die Verwaltungsschale die Umsetzung des „Digitalen Zwillings“ für Industrie 4.0⁶. In Anlehnung an die Industrie 4.0-Komponente ist eine WH4.0-Komponente ein weltweit eindeutig identifizierbarer kommunikationsfähiger Teilnehmer mit digitaler Verbindung zu einem WH4.0-System, der dort Dienste mit definierten Eigenschaften abbildet⁷. Eine WH4.0-Komponente muss mindestens passiv kommunikationsfähig sein, d. h. einen Informationsträger, z. B. RFID Tag oder Datencode, besitzen, der über eine Schnittstelle ausgelesen werden kann. Im Fall von materiellen Assets ist eine WH4.0-Komponente damit ein Cyber-physisches System (CPS), also ein „System, das reale (physische) Objekte und Prozesse verknüpft mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze“⁸. Ein WH4.0-System ist entsprechend ein System aus WH4.0-Komponenten (und Komponenten geringerer Kommunikationsfähigkeit⁹), das einem bestimmten Zweck dient, definierte Eigenschaften aufweist und standardisierte Dienste und Zustände unterstützt¹⁰.

1.5 Der Unterschied zwischen Typ und Instanz

Der Lebenszyklus bzw. der Wertstrom eines Assets lässt sich in zwei große Hauptphasen gliedern. Die erste Phase befasst sich mit der **Entwicklung** eines Assets von der ersten Idee bzw. der Beschreibung der grundsätzlichen Struktur bis zum Prototypen und Test. In dieser Phase wird der Typ eines Assets definiert. Auf Basis des Typen eines Assets stehen alle vermarktungsrelevanten Informationen zur Verfügung und die Produktion bzw. Umsetzung kann gestartet werden. Ein Beispiel für einen „Typ“ im Wald und Holz 4.0-Kontext sind die Konstruktionszeichnungen einer Forstmaschine oder der Kulturplan eines Waldstücks, der die Aufforstung einer Freifläche beschreibt¹¹.

Während der Typ die Grundstruktur und Grundinformationen eines Assets beschreibt, befasst sich die zweite Phase mit der **Produktion** und anschließenden **Nutzung** eines zuvor als Typ definierten, konkreten physischen oder immateriellen Assets. Mit der Umsetzung eines Typs in ein konkretes Asset entstehen Instanzen¹². Diese werden mit spezifischen Informationen angereichert und repräsentieren hierdurch das Asset in der Produktion und der Nutzungsphase. Diese beinhaltet ebenso den Service und die Wartung der Instanzen. Von einem Typen kann es mehrere Instanzen geben, die gleiche oder unterschiedlich ausgeprägte Eigenschaften besitzen. Alle im Lebenszyklus eines Assets gewonnenen Informationen können zur Weiterentwicklung und Verbesserung des jeweiligen Typs verwendet werden.

⁴ Siehe auch: Statusreport – Industrie 4.0 – Technical Assets: Grundlegende Begriffe, Konzepte, Lebenszyklen und Verwaltung, 2015

⁵ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Der Digitale Zwilling in Wald und Holz 4.0“

⁶ Siehe KWH4.0-Standpunkt „Digitale Zwillinge“

⁷ Analog zur Definition der I4.0-Komponente im Glossar der Plattform Industrie 4.0.

⁸ Siehe Glossar Plattform Industrie 4.0

⁹ Diese wird über die sogenannte CP-Klassifizierung angegeben (https://m.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/sk_dateien/VDI_Industrie_4.0_Komponenten_2014.pdf).

¹⁰ Analog zur Definition des I4.0-Systems im Glossar der Plattform Industrie 4.0.

¹¹ Ein „Typ“ ist ein eigenständiges Asset. Als „Modell“ des Assets, das von ihm beschrieben wird, ist es immer immateriell (Bauplan, Zeichnung u.ä.).

¹² Diese Umsetzung kann z.B. im Rahmen einer realen Fertigung erfolgen. In diesem Fall entstehen reale Instanzen. Alternativ kann diese Fertigung auch simuliert werden. In diesem Fall entstehen simulierte Instanzen.

1.6 Was sind Merkmale?

Zur Kennzeichnung eines Assets wird diesem ein Name bzw. „**Begriff**“ zugeordnet. Der Begriff umfasst Begriffsbezeichnung, Begriffsdefinition und Eigenschaften. Um die verschiedenen Eigenschaften eines Assets in der Informationswelt darstellen zu können, werden **Merkmale** verwendet. Unter dem Merkmalsprinzip der Industrie 4.0 wird die Methodik zur Charakterisierung eines Gegenstandes mittels Merkmalen verstanden. Dieses Prinzip soll auch im Kontext Wald und Holz 4.0 Anwendung finden. Merkmale werden dabei durch die Merkmalsbezeichnung, einen Identifikator, die Merkmalsdefinition und eine Menge von Attributen und Referenzen beschrieben. Beispiele für Merkmale sind geometrische Größen wie Länge, Breite und Höhe.

Analog zur Definition von Asset-Typen und Asset-Instanzen, siehe Kapitel 1.5, werden deren Merkmale in Merkmals-Typen und Merkmals-Instanzen unterschieden. Während Attribute von Merkmals-Instanzen mit einem Wert belegt sind, wird Attributen von Merkmals-Typen zunächst kein Wert zugewiesen. Dies wird an Abbildung 1 verdeutlicht. Der Typ „Baum“ besitzt eine Menge von Merkmals-Typen, z.B. für die Merkmale GPS-Daten, Schäden oder Krankheiten. Zur Reduktion der Gesamtmenge der Merkmale sowie zur Verhinderung von Redundanzen können Polymorphismen eingesetzt werden. Diese können für verschiedene Instanziierungen unterschiedlich ausfallen, z.B. spezifische Wachstumstabellen für die Baumarten Fichte bzw. Lärche. Im Zuge der Instanziierung eines Baumes, in diesem Beispiel durch eine Fichte, werden die Merkmals-Typen zu Merkmals-Instanzen und mit entsprechenden Werten gefüllt, so z.B. GPS-Daten: 51°27'04,9"N 007°59'45,0"E oder Schäden: keine usw..

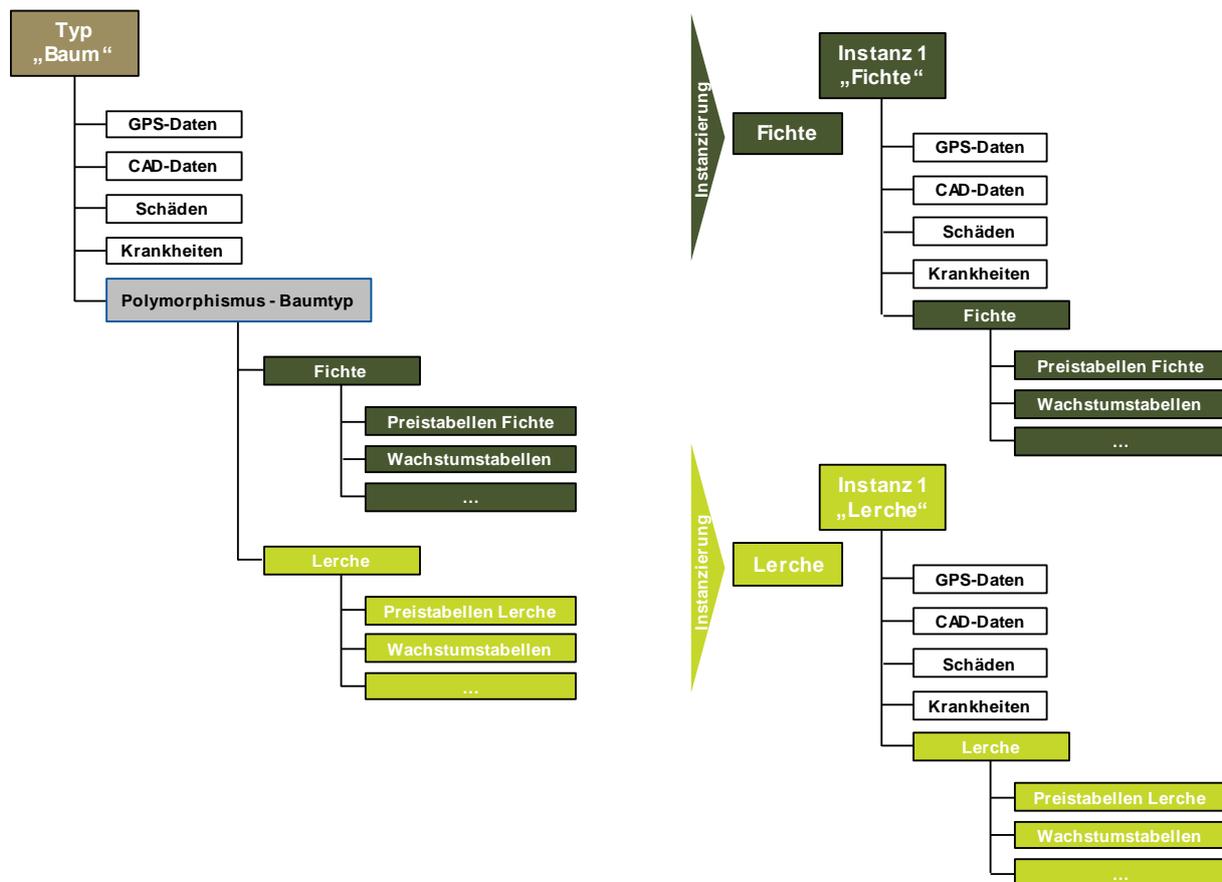


Abbildung 1: Merkmals-Typ und Merkmals-Instanz

2 Dynamik der biologischen Produktion

Die Wald- und Holzwirtschaft unterscheidet sich von der Industrie maßgeblich durch die Dynamik in der biologischen Produktion, die viele Prozesse stark beeinflusst. Eine Planung oder Vorhersage, wie die Natur sich verhalten wird, ist nicht analog zu industriellen Prozessen möglich. Zum einen liegt dies an zusätzlichen Einflussfaktoren, wie z.B. Wachstumsunterschieden, Klima, Stürmen oder dem Eingriff verschiedener Tiere, zum anderen sind die Überwachungs- und Eingriffsmöglichkeiten wesentlich geringer als in der industriellen Fertigung. Diese Unterschiede erfordern eine differenzierte Betrachtung des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 für seine Anwendung im Kontext Wald und Holz 4.0.¹³

3 Referenzarchitekturmodell für Wald und Holz 4.0

Notwendige Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Referenzarchitekturmodells ist, dass die Assets durch eine Verwaltungsschale mindestens passiv kommunikationsfähig (siehe Kapitel 1.4) sind und so in das Referenzarchitekturmodell eingebunden werden können. Wesentliche Aspekte des Referenzarchitekturmodells Wald und Holz 4.0 (RAMWH4.0) können dem RAMI4.0 entnommen werden, jedoch unterscheidet sich das Vorgehen bei der Einordnung biologischer Assets von dem technischer Assets. So muss je nach Rolle des betrachteten, biologischen Assets (z.B. wachsender Baum, Stammsegment, Wild etc.) eine entsprechende, eigene Verortung des Assets im RAMWH4.0 erfolgen. Auch erfordert die Aufspaltung eines Assets in Unterassets (Stammteile, Geäst, etc.) eine gesonderte Betrachtung. Bei technische Assets kann eine Verortung im RAMWH4.0 ohne diesen Zusatz im RAMWH4.0 erfolgen.

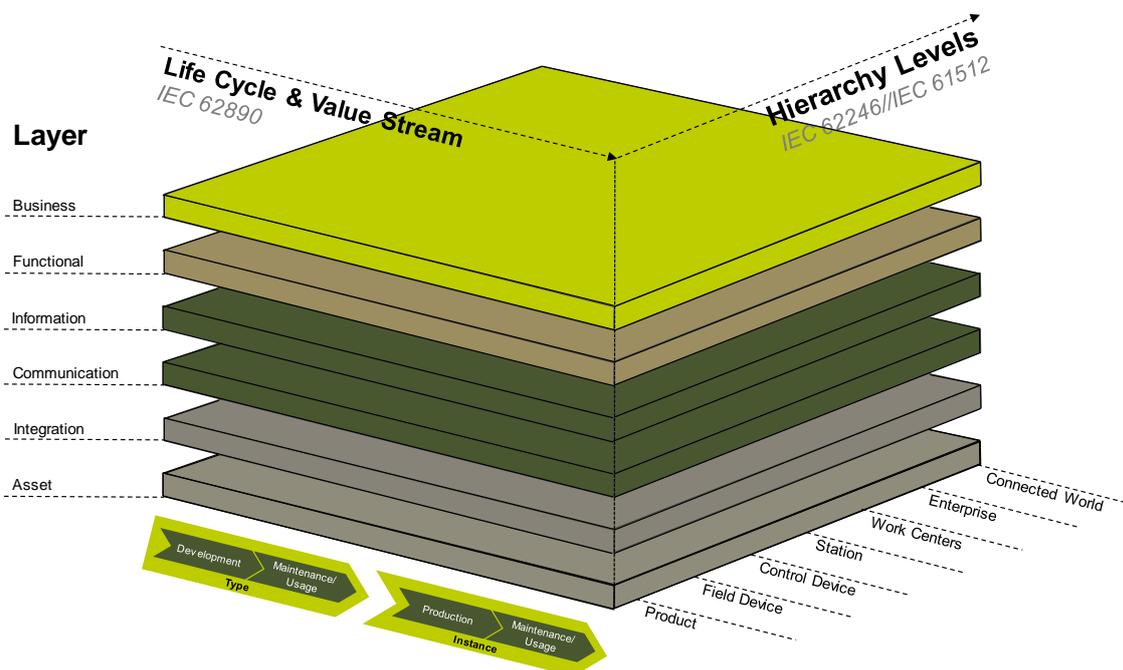


Abbildung 2: Referenzarchitekturmodell Wald und Holz 4.0, in Anlehnung an das RAMI4.0 nach¹⁴

3.1 Layer

In der sogenannten Architektur-Achse (Layer) werden die unterschiedlichen Schichten der Real- sowie Informationswelt einer WH4.0-Komponente abgebildet. Dabei erstreckt sich jede Schicht über die anderen beiden Dimensionen – Hierarchieebenen und Lebenszyklus. Jedem Asset im Cluster Wald und Holz werden eine oder mehrere Rollen zugeordnet. Die in den Schichten beschriebenen Fähigkeiten

¹³ Siehe Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0)

¹⁴ Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, BITKOM, VDMA und ZVEI

und Funktionen ermöglichen dem Asset, in seiner Rolle eine entsprechende fachliche Funktionalität auszufüllen. Das RAMWH4.0 verfügt wie das RAMI4.0 über die Schichten Asset, Integration, Communication, Information, Functional und Business.

Ein **Asset**, z.B. ein Baum, repräsentiert die reale Welt. Dieses wird über den **Integration Layer** mit der digitalen Informationswelt verbunden. Dabei dient dieser Layer als eine Art Übersetzer zwischen der realen und der Informationswelt¹⁵. Zur Realisierung einer standardisierten Kommunikation zwischen allen Assets im Netzwerk der Informationswelt (d.h. im WH4.0-System) werden die hierfür benötigten Fähigkeiten eines Assets im **Communication Layer** bereitgestellt¹⁶. Dieser umfasst beispielsweise die eigenständige Verhandlung beim Aufbau von Kommunikationsverbindungen u.a. bzgl. Bitrate, Übertragungsqualität und Security. Eine serviceorientierte Architektur kann hierbei den sicheren und zeitgerechten Datenaustausch unterstützen, auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Der übergeordnete **Information Layer** bündelt relevante Daten und Merkmale eines Assets sowie deren Speicherort. Weitere Funktionen des Layers sind die Ereignis-(Vor-) Verarbeitung, die Bereitstellung strukturierter Daten, die Sicherstellung der Datenintegrität sowie die Gewinnung neuer, höherwertiger Daten (Big Data Analysis). Beispiel hierfür ist eine virtuelle Beschreibung eines Baumes in einer Baumdatenbank. Zur Realisierung einer Kooperation zwischen verschiedenen Assets werden unterschiedliche Funktionen und Services im **Functional Layer** bereitgestellt. Dabei werden I4.0-Daten aus dem Information Layer bezogen, verarbeitet und die Ergebnisse anschließend wieder als I4.0-Daten darin abgelegt. Bei den zur Verfügung stehenden Funktionen unterscheidet man in Grundfunktionen (z.B. Wachstumsfunktionen), Prozessfunktionen (z.B. des Baumfällens oder der Schnittplanung des Sägewerks) und herstellereinspezifische Funktionen, die ein Alleinstellungsmerkmal für einzelne Hersteller darstellen. Langfristig befähigt der Functional Layer Assets zur selbstständigen Auswahl und Koordination der besten und kostengünstigsten Bearbeitungsverfahren. Der oberste **Business Layer** beschreibt die geschäftlichen Rahmenbedingungen und Geschäftsprozesse eines Assets. Hierzu gehören unter anderem das automatische Schließen elektronischer Verträge zwischen Assets, der formal beschriebene Rechtsrahmen sowie elektronische Zertifikate. Auch hier wird langfristig auf eine Standardisierung von Geschäftsprozess-spezifischen I4.0-Daten hingearbeitet¹⁷.

Für den Cluster Wald und Holz sind die Schichten äquivalent zu denen im RAMI 4.0, eine beispielhafte Umsetzung für das Asset Baum ist in Abbildung 3 dargestellt.

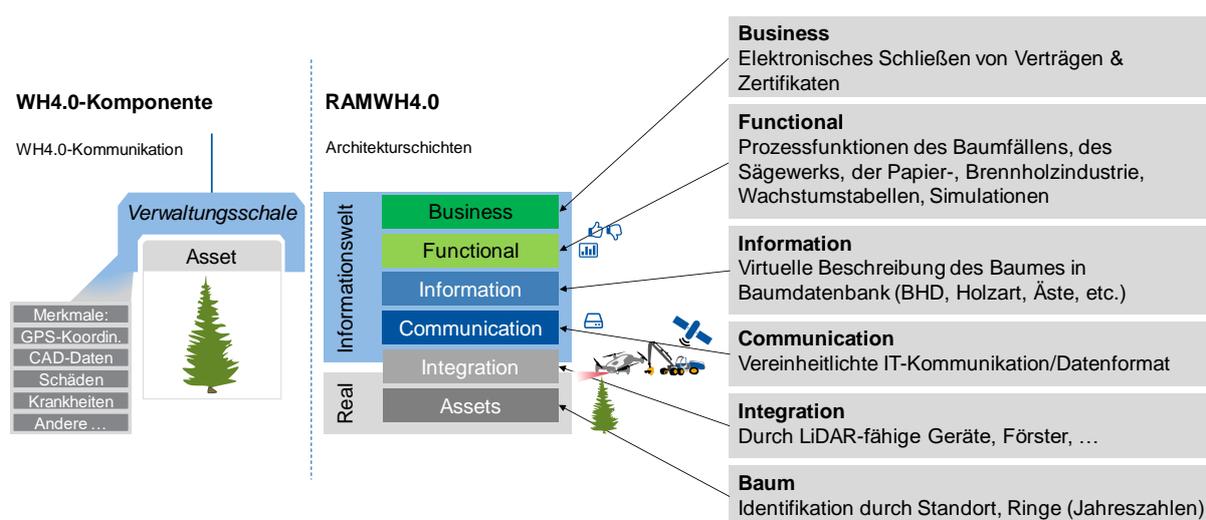


Abbildung 3: Architektur-Achse für ein Asset Baum

¹⁵ Mit Bezug auf den KWH4.0-Standpunkt „Digitale Zwillinge“ ist dies die interne Kommunikation.

¹⁶ Siehe KWH4.0-Standpunkt „Digitale Zwillinge“

¹⁷ Siehe Basiswissen RAMI4.0: Referenzarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente

3.2 Hierarchieebenen

Im Referenzarchitekturmodell der Industrie 4.0 wird die etablierte, sogenannte Automatisierungspyramide auf die Hierarchie-Achse projiziert und um die Aspekte Connected World sowie Product ergänzt. In der Industrie werden die verschiedenen Level angelehnt an die Normen IEC 62264 und IEC 61512 festgelegt. Im Rahmen von Industrie 4.0 bzw. WH4.0 werden die Teilnehmer in der Hierarchie nicht starr angeordnet, sondern können prinzipiell über Hierarchieebenen hinweg direkt mit allen Teilnehmern im Netzwerk kommunizieren. Die Hierarchiestruktur im WH4.0 ist flexibel gestaltet und versteht sich somit als Netzwerk von interagierenden Assets, die langfristig durch eine autonome Abstimmung von Aufgaben untereinander und der Verwendung von Service-orientierten Architekturen (SOA) selbst koordinieren kann. Eine Einordnung von Assets in diese Hierarchie erfolgt unter funktionalen Gesichtspunkten. So kann beispielsweise die Fällplanung funktional logisch der Ebene „Control Device“ zugeordnet werden, während sie in der späteren Implementierung beispielsweise auch in der Ebene „Connected World“ erfolgen kann.

Die skizzierte Welt der Industrie 4.0 löst somit mittelfristig die in der Automatisierungspyramide festgehaltene starr-hierarchische Struktur von Hierarchieebenen ab¹⁸. In der Forst- und Holzwirtschaft finden heute weder die genannten Normen Anwendung noch werden Systeme nach Vorlage der Automatisierungspyramide konzeptioniert. Jedoch besteht gerade in der Forstwirtschaft die Chance durch dezentrale, vernetzte Systeme eine signifikante Verbesserung bestehender Prozesse zu erreichen. Um einen leichten Übergang zwischen biologischen sowie vor- und nachgelagerten industriellen Prozessen zu ermöglichen, werden die Benennungen der Level nicht verändert, auch wenn die Begriffe dadurch teilweise leicht zweckentfremdet werden. Im Folgenden werden die einzelnen Ebenen und ihre Funktion kurz erläutert:

- „*Product*“ stellt die Produktebene dar, da Produkte in der Industrie 4.0 bzw. im Kontext Wald und Holz 4.0 selbstständig ihren Fertigungsprozess beeinflussen können. Beispiel: Schnittholz.
- „*Field Device*“ bildet die physikalischen Prozesse ab. Z.B. eine Kettensäge, oder ein Sensor.
- „*Control Device*“ beinhaltet die Funktionen zur Erfassung und Beeinflussung der physischen Prozesse. Beispiel: Fällplanung.
- Auf der Ebene „*Station*“ finden sich die Funktionen zur Beobachtung und Steuerung der physischen Prozesse.
- „*Work Center*“ bieten Funktionen, um unterlagerte Abläufe zu managen und so das gewünschte Endprodukt herzustellen.
- „*Enterprise*“ stellt die Unternehmensebene dar, auf der die notwendigen geschäftsbezogenen Aktivitäten zum Führen eines Produktionsbetriebes stattfinden. Beispiel: Sägewerk.
- „*Connected World*“ bildet in dem Modell die Kooperation über Unternehmensgrenzen hinweg ab. Beispiel: Service in einer Cloud.

Bei der Einordnung unterschiedlicher Assets und Anwendungen in das RAMWH4.0 werden nicht immer alle Hierarchieebenen benötigt. Je nach Asset, bzw. Anwendungsfall können einzelne oder auch mehrere Ebenen Verwendung finden. Aufgrund ihrer Generalität erfolgt die Ebeneneinteilung vorläufig gemäß den Vorgaben aus der IEC 62246 und IEC 61512. So ist das Referenzarchitekturmodell auch für zukünftig komplexer werdende Systeme gerüstet und kann, wenn nötig, durch detaillierte Unterscheidungen erweitert werden.

Eine Steuerung bestimmter Prozesse der biologischen Produktion ist nur schwer möglich. So obliegt beispielsweise die Bewässerung natürlichen Prozessen, die nur indirekt beeinflusst werden können. Um diese abzubilden, können einzelne Hierarchieebenen (z.B. Station und Work Center) ausgelassen,

¹⁸ Siehe Basiswissen RAMI4.0: Referenzarchitekturmodell mit Industrie4.0-Komponente

bzw. nicht mit Funktionen und Anwendungen ausgestattet werden. Dabei können allerdings entsprechende Auswertungen vorgesehen werden. Aufgrund der Hierarchieebenen-übergreifenden (vertikalen) Integration ist ein Wegfallen von Funktionen einzelner Ebenen möglich.

3.3 Lebenszyklus

Eine weitere Bestrebung vieler 4.0-Initiativen ist eine Datendurchgängigkeit auch in horizontaler Richtung. Damit ist gemeint, dass Daten ein Produkt, eine Anlage oder ein beliebiges anderes Asset ihren gesamten Lebenszyklus begleiten sollen. Um dies im Referenzarchitekturmodell darzustellen, bildet der Lebenszyklus eine weitere Achse des Modells. Nach IEC 62890 und in Anlehnung an das RAMI4.0 wird dabei im RAMWH4.0 übergeordnet zwischen Typ und Instanz unterschieden, siehe Kapitel 1.5. Die Lebenszyklusphasen des Typen eines Assets werden in die beiden Phasen „Entwicklung“ (engl. Development) und „Nutzung & Pflege“ (engl. Usage / Maintenance) unterteilt. Dabei fasst die Phase „Entwicklung“ die Beauftragung, die eigentliche Entwicklung, die Tests bis zum ersten Muster sowie die Prototypenfertigung zusammen. Die Phase „Nutzung & Pflege“ beinhaltet beispielsweise Software Updates, die Erstellung von Bedienungsanleitungen und die Definition von Wartungszyklen. Wird ein Asset in der Produktion gefertigt, so entsteht eine Instanz. Die Lebenszyklusphasen der Instanz eines Assets umfassen die Produktion (engl. Production) und die „Nutzung & Pflege“. Die Phase „Produktion“ umfasst die Prozesse der Herstellung des Assets. Hierbei wird der Asset-Instanz ein eindeutiges Identifikationsmerkmal zugeordnet. Nach dem Verkauf, bzw. nach Abschluss der Produktion, folgt die Phase „Nutzung & Pflege“ der Instanz. Hierzu gehört beispielsweise auch das Recycling, bzw. die Verschrottung. Während dieser Phase anfallende Rückmeldedaten können beispielsweise für die Optimierung des Asset-Typen genutzt werden.

Der Lebenszyklus des RAMWH4.0 gleicht grundsätzlich dem des RAMI4.0, jedoch muss bei der Betrachtung biologischer Assets eine differenziertere Zuordnung des Lebenszyklus vorgenommen werden. So kann ein solches Asset unterschiedliche Rollen einnehmen, wie eingangs erwähnt z.B. wachsender Baum oder Stammsegment. Je nach Rolle erfolgt eine neue Einordnung des Assets in das RAMWH4.0. So enthalten beide Rollen die Phase „Produktion“, wobei Produktion beim wachsenden Baum die biologische Produktion (Wachstumsprozess) beschreibt, während beim Stammsegment die technische Produktion (Fällprozess) betrachtet wird. Die Lebenszyklusphase der biologischen Produktion umfasst die Entstehung der Instanz Baum als Setzling bis hin zur Fällplanung des Baums. Mit dieser erfolgt die Erstellung der Rolle Stammsegment, die in der Fällplanung zunächst als Typ vorliegt. Mit dem Fällen des Baums in der technischen Produktion entsteht die Instanz der Rolle Stammsegment. Durch die Aufspaltung eines Assets (Baum) in Teilassets (Stammsegmente, Äste, Baumstumpf) erfolgt deren Instanziierung. Die neuen Assets erben dabei grundlegende Merkmale der Ursprungsinstanz Baum. Für die vollständige Abbildung des Lebenszyklus eines Baumes, vom Setzling zum späteren Produkt (z.B. Brett, Papier, Brennholz) werden somit verkettete Lebenszyklen mehrerer Assets betrachtet. Eine Rückführung von Informationen aus den späteren Lebenszyklen eines umgesetzten Assets erfolgt dabei über die Grenzen des jeweiligen Lebenszyklus hinaus.

Der Lebenszyklus physischer Assets, z.B. Harvester oder Sensoren, erfolgt analog zum RAMI4.0 ohne ergänzende Betrachtung von Rollen.



Abbildung 4: Lebenszyklus für biologische Assets

4 Anwendung des Referenzarchitekturmodells

Zum besseren Verständnis des Referenzarchitekturmodells sowie zur Darstellung der Einordnung von Assets in dieses werden im Folgenden zwei Anwendungsbeispiele detailliert erläutert.

4.1 Anwendungsbeispiel Asset Harvester

In Abgrenzung zum komplexen Asset Baum soll im Folgenden das physische Asset Harvester betrachtet werden.

4.1.1 Der Harvester als Asset

Das technische Asset Harvester lässt sich im Vergleich zum Asset Baum durch einen einfachen Lebenszyklus bestehend aus Phasen des Typen und der Instanz beschreiben. Eine biologische Komponente ist hierbei nicht vorhanden. Der Typ des Harvesters umfasst alle grundlegenden Informationen eines Harvesters, wie geometrische Modelle, Funktionslisten, Kennzahlen etc., die während der Entwicklung und dem Test des Typen zusammengetragen wurden. Zusätzlich können, wenn nötig, Rückführdaten aus der späteren Nutzung & Pflege zu Verbesserung des Typen verwendet werden. Die Instanz des Harvesters setzt sich aus vielen Assets (Bauteilen) zusammen und wird erst mit deren vollständigen Zusammenbau instanziiert. Durch den Verkauf des Harvesters nach der Produktion wechselt die Instanz des Harvesters aus Sicht des Herstellers von der Produktionsphase in die Phase der Nutzung & Pflege. Für den Kunden (z. B. Forstwirt) ist der Harvester bis zum Zeitpunkt der Bereitstellung ein Typ des Assets Harvester, nach dessen Bereitstellung wird er zur Instanz und kann analog zur Sicht des Herstellers im Rahmen der Nutzung & Pflege eingesetzt werden.

Im Gegensatz zum Baum kann das Asset Harvester als aktiv kommunikationsfähig betrachtet werden. Es besitzt die Fähigkeit zur aktiven Teilnahme an einer Netzwerkkommunikation, kann sich selbst identifizieren und aktiv als Teilnehmer registrieren. Durch teils fehlende Verfügbarkeit eines mobilen Internetzugangs im Wald ist eine dauerhafte Anbindung des Assets an seiner Verwaltungsschale und damit seine Verfügbarkeit nicht gewährleistet. Ebenso kann seine Echtzeitfähigkeit aus demselben Grund oft nicht genutzt werden.

4.1.2 Einordnung im RAMWH4.0

In Abbildung 5 wird das Asset Harvester in das Referenzarchitekturmodell eingeordnet. Im Unterschied zum Lebenszyklus des biologischen Assets Baum besteht der Lebenszyklus des Assets Harvester aus den aus der Industrie 4.0 bekannten vier Phasen von Typ und Instanz. Über den Lebenszyklus des Harvesters hinweg gibt es viele unterschiedliche Assets, die mit diesem in Interaktion stehen. In der Entwicklungsphase des Typen wird dieser unter anderem durch Konstruktionswerkzeuge (z.B. CAx-Werkzeuge) definiert. Dabei können diese Werkzeuge primär der Ebene Field Device zugeordnet werden. Durch Testung von Prototypen werden in der Phase Nutzung & Pflege des Typen Testdaten generiert und der Digitale Zwilling des Harvester-Typen gefüllt. In der Produktion eines Harvesters wird dann die Instanz erstellt. Hierbei kommen unterschiedliche Assets wie Roboter, Steuerungssysteme etc. zum Einsatz. Auch diese generieren Daten, die im Digitalen Zwilling abgelegt werden. Für die Forstwirtschaft ist besonders die Phase der Nutzung & Pflege des Produktes Harvester interessant. Diese umfasst den Betrieb des Harvesters, Instandhaltungsmaßnahmen, bis hin zum Recycling. Auch in dieser Phase kommen wieder verschiedene Assets zum Einsatz, mit denen die Instanz des Harvesters interagiert. So zum Beispiel ein Prüfsystem für den Motor des Harvester-Aggregats. Alle Daten des Harvesters können potenziell z.B. über eine Cloud-Plattform aggregiert werden, diese lässt sich in der Connected World-Ebene verorten. In der realen Umsetzung können auch unterschiedliche, vernetzte Cloud-Plattformen, bzw. Services eingesetzt werden. Hierbei spielen besonders Aspekte der Datensicherheit eine wichtige Rolle. Da eine flächendeckende Netzanbindung und somit auch die Anbindung an die Cloud in Deutsch-

land nicht durchgängig gewährleistet ist, gilt es entsprechende Lösungen bereit zu stellen. Eine mögliche Lösung stellen Edge Devices dar. Diese, als Gateway fungierenden, Softwaresysteme ermöglichen das lokale Ausführen von Funktionen und das Puffern von Daten während keine Verbindung zum Internet und damit zur Cloud möglich ist. Das Softwaresystem läuft dabei auf unterschiedlicher Hardware, stellt aber funktional ein Control Device dar. In Verbindung mit der Cloud kann der Harvester so beispielsweise auch zusätzliche, auf der Cloud bereitgestellte Services verwenden und ist mit dem Internet der Dinge verbunden.

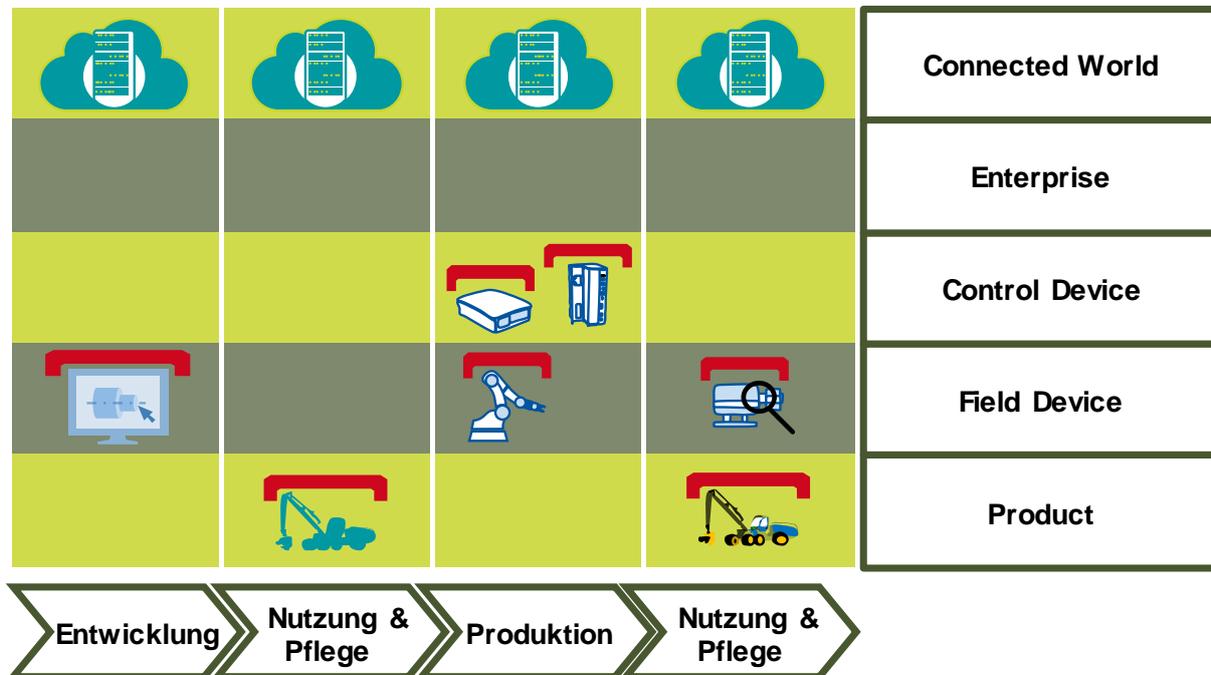


Abbildung 5: Einordnung der Assets und ihrer Verwaltungsschalen (rote Klammern) in das RAMWH4.0.

4.2 Anwendungsbeispiel Asset Baum

In diesem Anwendungsbeispiel werden das physische Asset „Baum“ sowie die zu dessen Erfassung benötigte Technologien gemäß der oben beschriebenen Grundstruktur im RAMWH4.0 eingeordnet.

4.2.1 Ein Baum als Asset

Aufgrund seiner vielschichtigen, zentralen Bedeutung für die Wald- und Forstwirtschaft soll im Folgenden ein Baum in einem Waldstück als Asset betrachtet werden. Im Vergleich zu technischen Assets, z.B. Maschinen, ist eine Einordnung des physischen Assets Baum erheblich komplexer. So umfasst der Lebenszyklus dieses Assets sowohl die biologische als auch die technische Produktion der Holzwirtschaft. Während die technische Produktion analog zur klassischen industriellen Produktion verläuft, beinhaltet die biologische Produktion im Besonderen das biologische Wachstum des Baumes mit den dazugehörigen Unabsehbarkeiten. Auch handelt es sich bei einem Wald um ein offenes System, das durch viele Umwelteinflüsse über unterschiedliche Zeiträume geprägt wird. Sowohl die Dynamik, die großen Zeiträume als auch die zahlreichen Einflussgrößen machen eine Verwaltung des Assets Baum aufwendig.

Grundsätzlich ist es möglich, Bäume schon als Setzling digital abzubilden und somit den gesamten Lebenszyklus der Instanz Baum – unter der Voraussetzung einer vorhandenen Setzplanung – zu verwalten. Eine industrietaugliche Erfassung der benötigten Daten eines solchen Assets wird jedoch aufgrund der aktuell verfügbaren technischen Lösungen erschwert. Hinzu kommen die verstärkten, schwer abschätzbaren Auswirkungen verschiedener Einflussgrößen, z.B. Wildschäden oder Klimaveränderungen.

Als Vereinfachung könnten daher nur Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von mindestens z.B. 20 cm als Instanz betrachtet werden. Ohne diese Einzelbaumbetrachtung steht die Waldeinheit als Instanz im Fokus.

Ein Baum an sich ist zunächst nicht kommunikationsfähig im Sinne der Industrie 4.0. Durch die Erfassung bestimmter Daten des Baums und seiner Umgebung mit Hilfe externer Technologien (z.B. LiDAR, Internet of Trees, Smart Devices) kann jedoch ein I4.0-konformes, digitales Abbild eines Baumes erzeugt werden. Die eindeutige Identifizierung eines Baumes kann beispielsweise durch seine GPS-Koordinaten oder seinem spezifischen Muster aus Merkmalen (BHD, Höhe, Baumart etc.) erfolgen, wodurch die grundlegenden Anforderungen an eine WH4.0-Komponente erfüllt sind.

4.2.2 Einordnung im RAMWH4.0

In Abbildung 6 wird ein Baum in das Referenzarchitekturmodell eingeordnet. Hierbei soll zunächst das Asset Baum in seiner Rolle als wachsender Baum betrachtet werden. Hierbei stellt der Baum ein Produkt dar und befindet sich in der Lebenszyklus-Phase „Produktion“. Neben dem Baum sind auch weitere Assets in das Modell eingeordnet, die mit ihm interagieren können. Hieran wird auch die Bedeutung der Perspektive deutlich. So findet die Einordnung aller Assets aus der „Perspektive des Baums“ statt, also relativ zu ihm. Auf der Ebene „Field Device“ befinden sich innerhalb der „Produktion“ eine Fernerkundungsdrohne; auf der Ebene Control Device ein Förster, bzw. ein Edge Device zur Aggregation von Sensordaten aus dem Wald und auf der Ebene „Connected World“ eine Cloud, die Informationen verknüpfen und Dienste austauschen kann. Alle diese Objekte sind dem Asset-Layer zuzuordnen und werden mittels einer entsprechenden Verwaltungsschale (in Abbildung 6 in Rot über den jeweiligen Assets) befähigt, an der standardisierten Kommunikation teilzunehmen. Diese bilden somit den Integration Layer. Zur Vollständigkeit ist in Abbildung 6 ebenfalls die Setzplanung des Baumes in der Phase „Nutzung & Pflege“ des Typen des Assets Baum dargestellt. Mit ihrem Abschuss beginnt die Phase der biologischen Produktion. Im späteren Verlauf des Lebenszyklus der Instanz des Baumes, in der Phase „Nutzung & Pflege“, erfolgt der Übergang zur technischen Produktion, diese wird symbolisiert durch die Fällplanung.

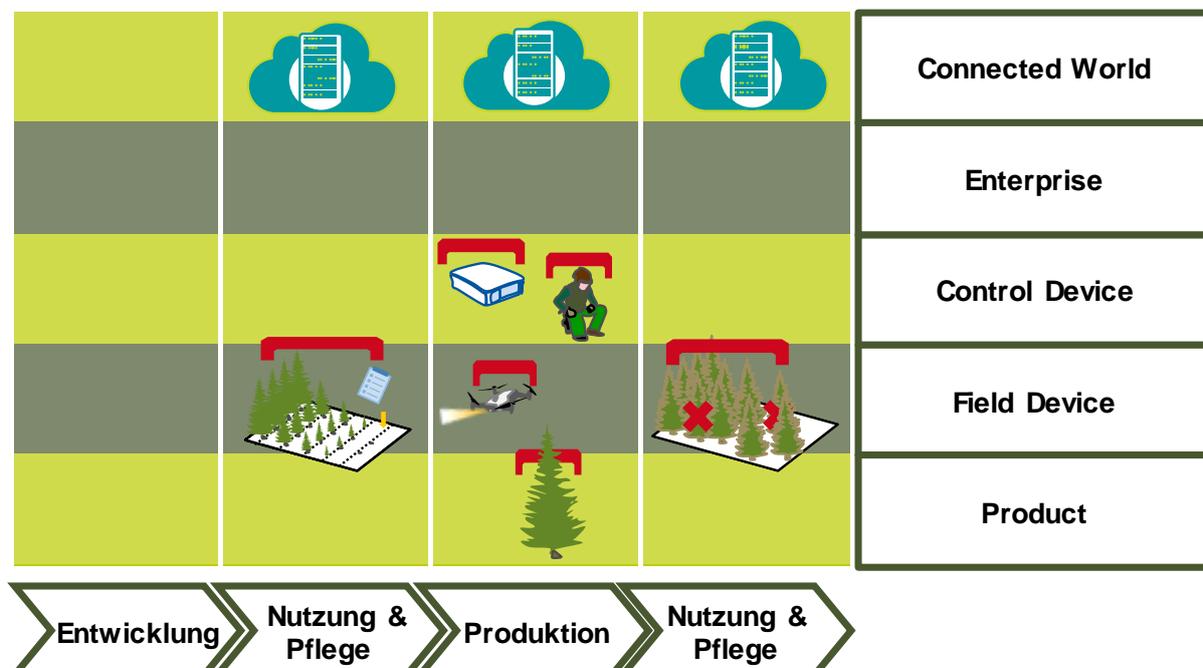


Abbildung 6: Einordnung der Assets und ihrer Verwaltungsschalen (rote Klammern) in das RAMWH4.0.

Über die dargestellten Verwaltungsschalen können die Assets direkt oder über entsprechende Plattformen, wie sie beispielsweise auf der Cloud, die sich auf dem Layer Connected World befindet, miteinander agieren. Mögliche Kommunikationswege sind in Abbildung 7 durch schwarze Verbindungen symbolisiert, die den Communication-Layer repräsentieren. Die orangenen Boxen entlang der schwarzen Linien stellen Services dar, die zwischen den beiden betroffenen Assets agieren können, und sind somit Teil des Information oder des Functional Layer, die in dieser einfachen Darstellung nicht sauber getrennt werden.

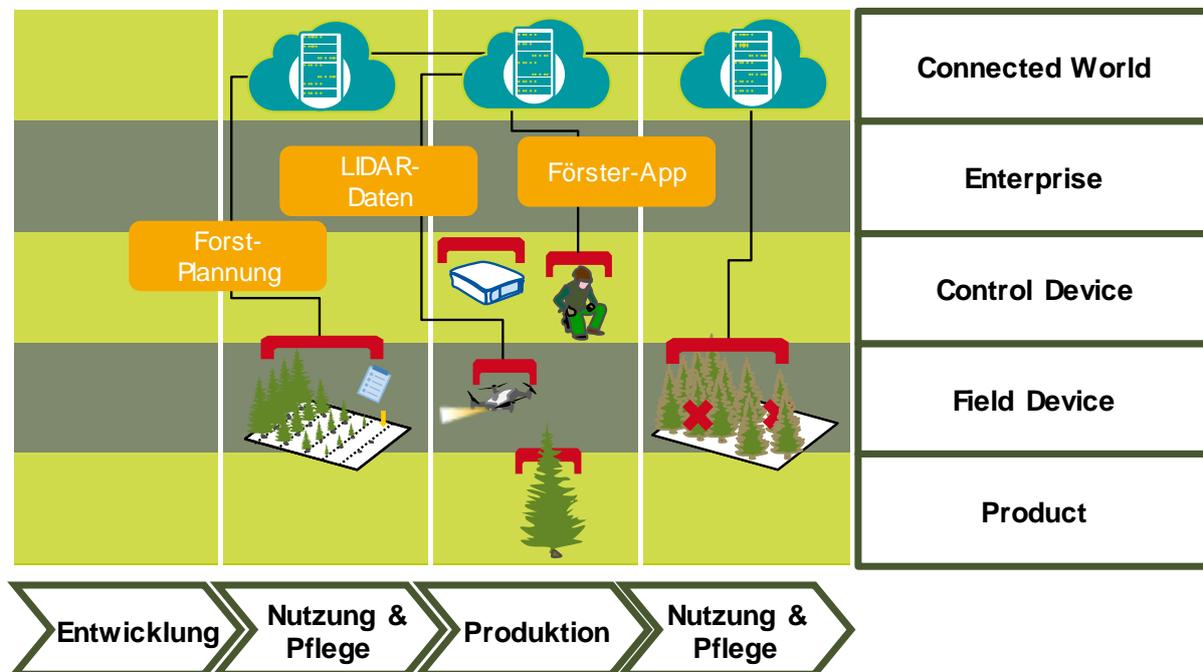


Abbildung 7: Darstellung von Kommunikations-, Funktions- und Geschäftslayer in der Einordnung der Assets in das RAMWH4.0.

Zum Verständnis des Folgenden ist es entscheidend, zunächst die Aufteilung eines Assets in mehrere Unterassets am Beispiel des Baums nachzuvollziehen. Durch den Fällprozess in der technischen Produktion wird ein Baum beispielsweise in vier Stammsegmente aufgeteilt. Jedes dieser Segmente sowie das Geäst lassen sich erneut als Asset beschreiben und durch eine Verwaltungsschale repräsentieren. In der technischen Umsetzung dieses Vorgangs kann sich jedoch eine reduzierte Betrachtung des Sachverhalts als wirtschaftlicher herausstellen. Wenn bei jeder Aufteilung eines Assets eine solche Übertragung in Unterassets folgt, wird die Menge an Verwaltungsschalen schnell unüberschaubar. Zur Vereinfachung soll im Folgenden ein modellhafter, kleiner Baum betrachtet werden, der in der technischen Produktion im Wald nicht zusätzlich aufgeteilt wird.

Wie zuvor beschrieben, findet die Einordnung eines Assets in das Referenzarchitekturmodell in Abhängigkeit der jeweiligen Betrachtungsweise statt. In einem nachgelagerten Schritt der Wertschöpfungskette befindet sich der Übergang zwischen der Betrachtungsweise des Fäll- zu dem des Logistikunternehmens. Zwischen den beiden wechselt ein Baum seine Rolle. Dabei wird aus der Rolle Stammsegment die Rolle Transportgut. Während sich der Baum als Stammsegment nach der technischen Produktion im Wald in der Phase „Nutzung & Pflege“ seines Lebenszyklus befindet, stellt der Transport aus Sicht des Logistikunternehmens erneut die Phase „Produktion“ dar, siehe Abbildung 8. Zur Abbildung des vollständigen Lebenszyklus zwischen der Rolle als Stammsegment und Transportgut müssen zusätzliche biologische Prozesse bei der Lagerung des gefällten Baums auf einem Polter im Wald im Sinne der „Nutzung & Pflege“ betrachtet werden. Diese biologischen Umwandlungsprozesse (z.B. Mor-

schen) nehmen zusätzlich Einfluss auf die Eigenschaften des Assets. Beispielsweise bedeuten Verfallsprozesse oder auch Feuchtigkeitseinlagerungen, die während der Lagerung auf dem Polter ablaufen bzw. entstehen, eine Wertminderung des Assets. Dies ist in Teilen vernachlässigbar, wenn ein zeitlich befristeter Abtransport des Stammsegments sichergestellt wird.

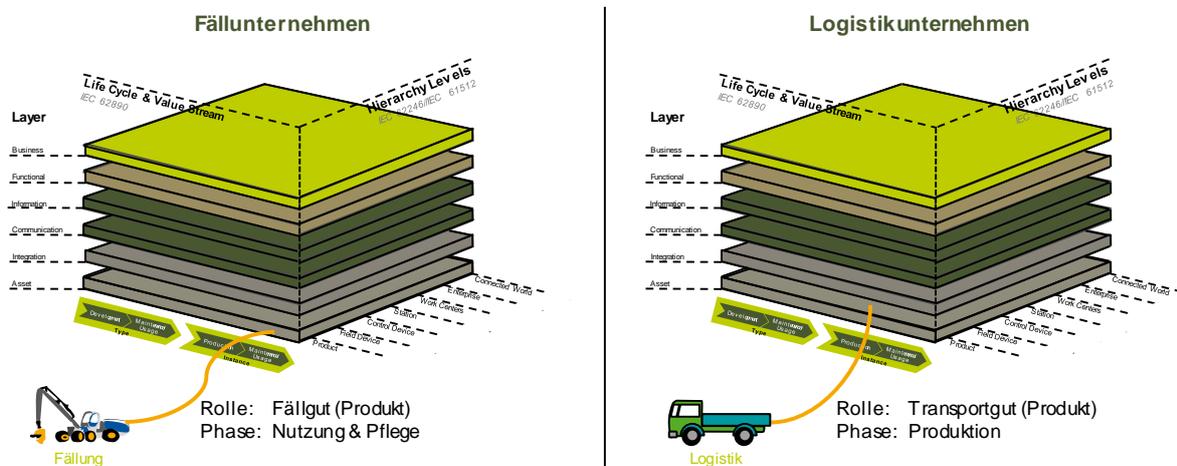


Abbildung 8: Einordnung eines Baumes in das Modell verschiedener Anwender (hier Fäll- und Logistikunternehmen).

Ein nachgelagertes Sägewerk betrachtet den Baum in mehreren Rollen. So ist er bei der Ankunft auf dem Lagerplatz des Sägewerks vorerst weiterhin in der Rolle Transportgut, allerdings befindet sich der Baum in der Lebenszyklusphase „Nutzung & Pflege“ der Instanz. Hierin erfolgt auch die sensorische Erstaufnahme des Baumstamms durch CT-Scans. Zur Bestimmung der optimalen Schnittkonfiguration für das Stammsegment werden entsprechende Modelle erstellt und in die Steuerung der Sägelinie implementiert. Diese erfolgt aus Sicht des Baums in den Phasen „Entwicklung“ bzw. „Nutzung & Pflege“ des Typen eines Schnittholzes. Sobald das Stammsegment in die Sägelinie transportiert und dort für die optimale Schnittkonfiguration gescannt wird, wird das Schnittholz instanziiert und es erfolgt die „Produktion“, mit anschließender „Nutzung & Pflege“ in der späteren Weiterverarbeitung des fertigen Schnittholzes.

5 Das RAMWH4.0 und der Digitale Zwilling

In einer kommenden Version dieses Standpunkts wird die Beziehung zwischen dem RAMWH4.0 und dem Digitalen Zwilling weitergehend aufgearbeitet und definiert werden.