

Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0

Eine Veröffentlichung des Kompetenzzentrums Wald und Holz 4.0

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

Autoren



RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. (Kordinator)
 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
0.1	15.03.2019	Alle	Initialer Entwurf
1.0	26.07.2019	Alle	Erste offizielle Version

Inhalt

1	Vorwort.....	6
2	Übergreifende Darstellung von Wald und Holz 4.0.....	7
2.1	Motivation	7
2.2	Ziele von Wald und Holz 4.0	8
3	Thesen des wissenschaftlichen Beirats	10
4	Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0.....	11
4.1	Struktur der Umsetzungsstrategie.....	11
4.2	Nutzen der Umsetzungsstrategie	12
5	WH4.0-Grundlagentechnologien und rechtlicher Rahmen.....	14
5.1	Cyber-Physische Systeme	14
5.2	Internet der Dinge und Dienste	14
5.3	Big Data.....	14
5.4	Cloud-Computing.....	14
5.5	Mensch-Maschine-Interaktion	14
5.6	IT-Security	14
5.7	Kommunikationsinfrastruktur	14
5.7.1	Bluetooth	15
5.7.2	LoRa, LoRaWAN und The Things Network.....	15
5.7.3	Sigfox.....	15
5.8	Rechtlicher Rahmen.....	15
6	WH4.0-Konzepte und -Methoden.....	17
6.1	WH4.0-Komponente und Digitaler Zwilling	17
6.2	Kommunikation in WH4.0.....	17
6.2.1	Kommunikationsinfrastruktur.....	17
6.2.2	Kommunikationsprotokolle	17
6.2.3	Datenformate im Cluster Wald und Holz.....	20
6.2.4	Datenmodell für Digitale Zwillinge.....	21
6.3	Datenmanagement für WH4.0	23
6.4	Architektur zur technischen Umsetzung von Vernetzung und Orchestrierung.....	23
6.4.1	Beispiel: Feuchtigkeitswarnung	26
6.4.2	Beispiel: Befahrung sensibler Böden.....	27
6.4.3	Beispiel: Waldinformation	28
6.5	Das Referenzarchitekturmodell Wald und Holz 4.0.....	29
7	WH4.0-Komponenten, -Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme	30
7.1	Wald.....	30
7.1.1	Baum	30
7.1.2	Waldbestand.....	30
7.1.3	Rückegasse	31
7.2	Sensoren	32
7.2.1	Umweltsensorik	32
7.2.2	Positionssensorik.....	34
7.2.3	Sensorik für Maschinen und handgeführte Geräte	34
7.3	Maschinen und handgeführte Geräte	35
7.4	Geodaten	36

7.4.1	Web Map Service (WMS)	37
7.4.2	Web Map Tile Service (WMTS)	37
7.4.3	Web Feature Service (WFS)	38
7.5	Dienste	38
7.5.1	Baumartenklassifikations-Dienst	38
7.5.2	Bestandesinventurattribute-Dienst	39
7.5.3	Fortschreibungs-Dienst	39
7.5.4	Einzelbaum-Dienst	39
7.5.5	Waldeinteilungs-Dienst.....	40
7.5.6	SILVA-Dienst	40
7.5.7	Näherungsalarm-Dienst	40
7.6	Endanwender-Software	40
7.6.1	Smartphone-Apps für Waldbesitzer und Dienstleister	41
7.6.2	Desktop-Anwendungen für Einrichtung, Information und Planung	41
7.6.3	Webanwendungen für Browser-gestützten Datenaustausch.....	42
7.6.4	Datenaustausch Sägewerk – Harvester	42
7.6.5	Rettungswarte.....	42
7.6.6	FOVEA.....	43
7.6.7	LogBuch.....	43
7.7	Visualisierungs- und Interaktionssysteme	44
7.7.1	Erweiterte Realität (AR) mit Datenbrille (HMD)	44
7.7.2	Smartphone-basierte AR.....	45
7.7.3	Sprachassistent	46
7.7.4	Dashboard	46
7.7.5	Virtual Reality (VR)-Brille.....	48
7.8	Kommunikationsinfrastruktur	49
8	WH4.0-Systeme	50
9	Smart Forest Labs zur Umsetzung von WH4.0	51
9.1	Reales Smart Forest Lab (rSFL).....	53
9.2	Gamifiziertes Smart Forest Lab (gSFL)	55
9.2.1	Befahrung sensibler Böden	56
9.2.2	Näherungsalarm.....	57
9.2.3	ClusterWIS-Kommunikation.....	58
9.2.4	Anlaufen einer Rettungskette	59
9.2.5	Sägewerk: Holzbereitstellung in der richtigen Länge.....	61
9.2.6	Der Waldbesitzer und sein Wald.....	62
9.3	Virtuelles Smart Forest Lab (vSFL)	62
10	Der Mensch in WH4.0	65
10.1	Arbeiten in der digitalen Welt	65
10.2	Auswirkungen auf Arbeitsperson und Arbeitssystem	65
10.3	Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung	66
10.4	Nicht-technische Fragestellungen (ELSI).....	67
11	WH4.0-Roadmap	69
12	Glossar Wald und Holz 4.0.....	71
	Asset 71	
	Digitalisierung.....	71
	Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz (KIWUH).....	71

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 (KWH4.0).....	71
Smart Forest Lab (SFL).....	72
Wald und Holz 4.0 (WH4.0).....	72
Wald und Holz 4.0-Dienst (WH4.0-Dienst).....	72
Wald und Holz 4.0-Komponente (WH4.0-Komponente)	72
Wald und Holz 4.0-Mensch-Maschine-System (WH4.0-MMS)	72
Wald und Holz 4.0-System (WH4.0-System)	73
Wertschöpfung.....	73
Wertschöpfungskette.....	73
Wertschöpfungsnetzwerk	73
Wertschöpfungsprozess.....	73
13 KWH4.0-Standpunkte	74
13.1 Referenzarchitektur für WH4.0	74
13.2 Architektur zur technischen Umsetzung von WH4.0.....	74
13.3 Der Digitale Zwilling in WH4.0	74
13.4 Kommunikationsinfrastruktur für WH4.0.....	74
13.5 Kommunikationsprotokolle für WH4.0.....	74
13.6 Grundlagentechnologien für WH4.0.....	74
13.7 Datenformate für WH4.0.....	75
13.8 ForestML zur Waldbeschreibung.....	75
13.9 Rechtlicher Rahmen zur Datenverarbeitung	75
13.10 Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0.....	75
13.11 Datenmanagement für WH4.0	75
13.12 Smart Forest Labs (SFL).....	75

1 Vorwort

Im Kontext der Nutzung von Industrie 4.0-Technologien im Cluster Wald und Holz, nachfolgend „Wald und Holz 4.0“ bzw. kurz „WH4.0“ genannt, soll sich die „Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0“ zu einer Entsprechung der „Umsetzungsstrategie Industrie 4.0“¹ entwickeln. Die vorliegende erste Version erhebt dabei weder den Anspruch der Vollständigkeit noch der Endgültigkeit, vielmehr ist sie als RFC („Request for Comments“) zu verstehen.

Der Ansatz des Kompetenzzentrums Wald und Holz 4.0 (KWH4.0) bei der Erstellung der ersten Version war es, das vorhandene Know-how zusammenzutragen und aus Sicht des Projektkonsortiums darzustellen. Das KWH4.0 möchte damit in die Diskussion eintreten und stellt sich dem öffentlichen Diskurs über Struktur und Inhalt dieses Dokuments sowie dem Umgang mit diesem Dokument. Ziel ist es dabei, iterativ zu einer praktisch relevanten Umsetzungsstrategie zu kommen, die allen Beteiligten im Cluster Wald und Holz weiterhilft, um Industrie 4.0-Technologien gewinnbringend für sich einzusetzen. Bitte kontaktieren Sie uns, wenn Sie mit den hier geschilderten Vorgehensweisen nicht übereinstimmen, wenn Sie alternative Vorgehensweisen bevorzugen, wenn Sie Ideen haben, die über den hier dargestellten Inhalt hinausgehen oder wenn Sie mit uns über unseren Ansatz diskutieren möchten. Wir freuen uns über ihre Kontaktaufnahme und die anschließenden Diskussionen.

In ihrer Aufbauphase verweist diese Umsetzungsstrategie zu Einzelthemen auf die zugehörigen, parallel veröffentlichten KWH4.0-Standpunktpapiere, um Duplizierungen zu vermeiden und flexibler auf die Entwicklung der Themen reagieren zu können. Ziel ist jedoch, abschließend einen integrierten Text zu erstellen.

¹ <https://www.zvei.org/themen/industrie-40/umsetzungsstrategie-industrie-40/>

2 Übergreifende Darstellung von Wald und Holz 4.0

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über Ausgangssituation, Motivation und Ziele von WH4.0.

2.1 Motivation

Die Bedeutung des Branchenclusters Wald und Holz in Deutschland ist beachtlich – und wird häufig unterschätzt. Im Jahr 2016 wurden deutschlandweit rund 125.000 Unternehmen und ca. 1 Mio. Beschäftigte dem Cluster zugeordnet. Er erzielte einen Umsatz von ca. 182 Mrd. Euro bei einer Bruttowertschöpfung von ca. 58 Mrd. Euro². Selbst auf den ersten Blick sehr industriell geprägte Bundesländer wie Nordrhein-Westfalen sind zu mehr als einem Viertel mit Wald bedeckt, die Forst- und Holzwirtschaft ist mit rund 20.000 Unternehmen, 42 Mrd. € Umsatz, 208.000 Beschäftigten und 152.000 privaten Waldbesitzern ist auch hier eine beträchtliche volkswirtschaftliche Größe³.

Die Vielfalt und die Anzahl der in diesem Cluster beteiligten Akteure, die Komplexität seiner Strukturen und Prozesse, die hochkomplexen Wertschöpfungsnetzwerke mit entsprechend langen Lieferketten und die vielfältigen und häufig konträren Anforderungen an die Waldbewirtschaftung (die nachfolgende Tabelle gibt einen ersten Überblick) sind mit bekannten (informations-) technischen und betriebswirtschaftlichen Ansätzen nur ungenügend beherrschbar. Neue Forderungen, die – z.B. im Hinblick auf eine nachhaltige und naturnahe Waldbewirtschaftung – den Erhalt der natürlichen Ressourcen, den schonenden Umgang mit ihnen sowie ihre optimale Nutzung im Sinne des Klimawandels zum Ziel haben, können nur schwer berücksichtigt und umgesetzt werden.

Assets und Akteure im Cluster Wald und Holz	Anforderungen an den Cluster Wald und Holz
<ul style="list-style-type: none"> • Baum • Setzling • Waldbestand • Polter • Abschnitt • Nationalpark • Waldweg • Waldboden • Lagerflächen/Lager • Harvester • Forwarder • Entrindungsmaschinen • Seilkran • Rückefahrzeug • Holztransport-LKW / -Trailer / -Belademaschine • Eisenbahn • Pferd • Motorsäge • Sägewerk • Holz verarbeitende Industrie / Pelletindustrie • Terrestrische Sensorik • Mobile Erfassungsgeräte • Navigationssysteme • Kranwaage • Navigationsdaten 	<ul style="list-style-type: none"> • Ressourcenmanagement Holz • Lokalisierbare Holz mengen • Automatisierte Datenerfassung • Zeitnahe Datenbereitstellung • Zeitnahe Reaktion auf Änderungen • Verringerung von Planungs- und Durchlaufzeiten • Zielgruppenorientierte Informationsbereitstellung • Entscheidungsunterstützung • Assistenzsysteme für alle / dezentrale Entscheidungsfindung • Steigerung Benutzerfreundlichkeit • Steigerung der Datenqualität • Bürgerinformation/-aufklärung • Naturschutz • Anforderungen Klimawandel • Steigerung Akzeptanz der Waldwirtschaft • Hiebsvorbereitung/-organisation/-durchführung • Schutz der Waldbesitzer • Steigerung Arbeitssicherheit • Sicherstellung der Rettungskette • Nutzung moderner Technologien (HW/SW) • Minimierung von Bodenbelastungen • Unterstützung des Fahrers • Teilautomatisierung von Maschinen • Holzernte in „modernen Beständen“

² Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, amtliche Statistik: Cluster Forst und Holz in Deutschland 2016

³ Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, amtliche Statistik: Cluster Forst und Holz in NRW 2016

<ul style="list-style-type: none"> • Fernerkundungsdaten • Waldbesitzer (Landesbetriebe, Großprivatwald, Kleinprivatwald, Körperschaftswald) • Vermarktungsgesellschaft (FBG, WBV, ...) • Umwelt-/Naturschutzverband • Zertifizierungsorganisation (PEFC, FSC) • Forstunternehmer • Biomasse / Rinde • Waldarbeiter • Forstmaschinenführer • Außendienst (Holzeinkauf) • Spediteur • Förster • Forstlicher Dienstleister • Bürger • Politik (Kommunal, Land, Bund, EU) • Jäger • Borkenkäfer • (Schalen-) Wild • Klima/Wetter • Pilzbefall 	<ul style="list-style-type: none"> • Predictive Forest Management • Predictive Maintenance • Predictive Safety • Modellbasierte/Simulations-gestützte Planung • Automatisierte Bilanzierung CO₂-Bindung • Permanente Inventur / Inventur als Arbeitsgrundlage • Waldbesuchsplanung • Automatisierte Online-Marktplätze • Voll-/teilautomatisierte (Teil-) Prozessketten • Übergreifende Kommunikation • Neue Dienstleistungskonzepte („as-a-service“)
--	---

Der Cluster Wald und Holz sucht seit Jahren nach IT-Lösungen zur Überwindung seiner Strukturprobleme. Bei heutiger Betrachtung stellen sich die bislang gewählten Ansätze entweder als zu komplex bzw. nicht vollständig heraus oder wurden von den Clusterakteuren nicht akzeptiert (z.B. zentralisierte Ansätze). Demgegenüber gibt es viele leistungsfähige Einzelkomponenten, die aber nur eingeschränkt miteinander integriert werden können. In der produzierenden Industrie heißt die Antwort auf die steigende Komplexität von Wertschöpfungsketten, Produkten, Produktionssystemen und Prozessen Industrie 4.0. Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution, einer neuen Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette über den Lebenszyklus von Produkten. Basis ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen sowie die Fähigkeit aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten.¹

2.2 Ziele von Wald und Holz 4.0

Industrie 4.0-Konzepte und -Methoden können dringend benötigte neue Ansätze liefern, um den Cluster durch Optimierung bestehender Prozesse aber auch mit neuen Geschäftsmodellen in die Zukunft zu führen. Entsprechend ist es Ziel der Vision „Wald und Holz 4.0“, die grundlegenden Konzepte und Methoden von Industrie 4.0 aufzugreifen und auf den Branchencluster Wald und Holz zu übertragen. So soll Wald und Holz 4.0 neue Konzepte zur Bewältigung aktueller Herausforderungen liefern und gleichzeitig die Grundlage für neue Geschäftsmodelle legen. Dabei wird ein dezentraler Ansatz – das Internet der Dinge, Dienste und Personen – für einen dezentral agierenden Cluster verfolgt. Durch die Vernetzung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierende Wertschöpfungsnetzwerke, die weitgehend selbstorganisiert arbeiten. Durch die Optimierung von Prozessen, aber auch z.B. durch neuartige Assistenzsysteme, kann für nahezu alle Akteure in der Holz- und Forstwirtschaft, vom Waldbesitzer und seinen Dienstleistern über Waldarbeiter, Forstmaschinenführer bis zum Lkw-Fahrer, konkreter Mehrwert generiert werden.

Abbildung 2-1 gibt einen beispielhaften Ausblick auf den Zielzustand. Assets und Akteure vernetzen sich situationsspezifisch zu WH4.0-Systemen, um die jeweiligen Wertschöpfungsnetzwerke technisch

abzubilden. Aus Digitalen Zwillingen werden je nach Geschäftsvorfall oder Prozessschritt konkrete WH4.0-Systeme konfiguriert. Die Abbildung illustriert dies am Beispiel einer Erntemaßnahme mit einem Harvester, einem zufällenden Waldarbeiter, einem LKW zum Holztransport und einem Sägewerk als Abnehmer und einem Waldbesitzer als Lieferanten. Das Ergebnis ist eine Abkehr von bisherigen zentralistisch geprägten Architektur-Ansätzen hin zu flexibel konfigurierbaren⁴ dezentralen Strukturen. WH4.0 stellt damit die bisherigen Architektur-Ansätze zur Prozessintegration der Holzerte „auf den Kopf“⁵.

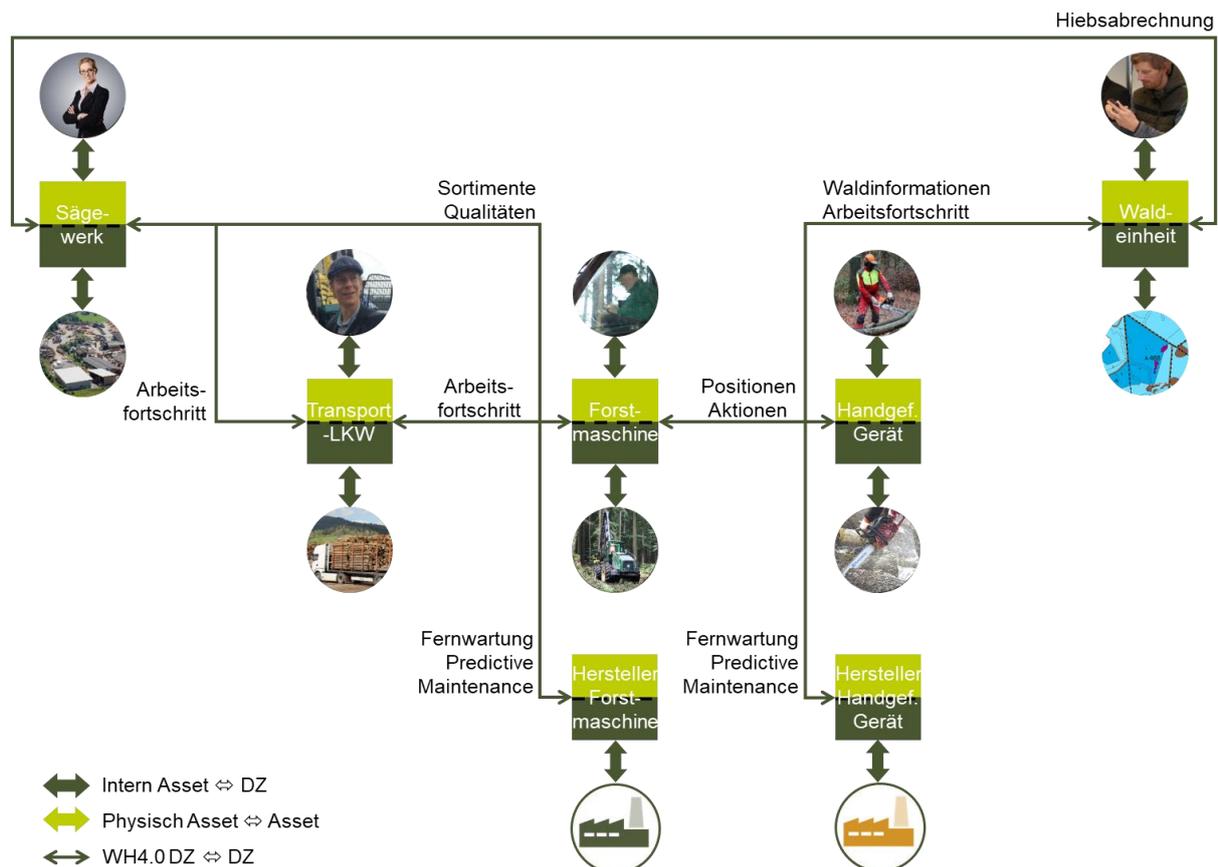


Abbildung 2-1: Beispiel für ein situationspezifisch zusammengestelltes WH4.0-System zur technischen Umsetzung des entsprechenden Wertschöpfungsnetzwerks⁶

⁴ Genauer „choreographierbaren“ Strukturen, da das Konzept keine externe Ablauflogik außerhalb der beteiligten Digitalen Zwillinge vorsieht.

⁵ Bislang wurde zunächst die übergeordnete Anwendung als Softwaresystem spezifiziert und als Ganzes umgesetzt. Mit WH4.0 entsteht die „Anwendung“ – das WH4.0-System als Umsetzung eines Wertschöpfungsnetzwerks – durch die Zusammenschaltung der Digitalen Zwillinge und einer verteilten Prozesslogik.

⁶ Fotos: (v.l.o.n.r.u.) pixabay; A. Böhm, RIF; Michael Lorenzet / pixelio; A. Böhm, RIF (3x); Screenshot VEROSIM; pixabay; F. Heinze, RIF; pixabay

3 Thesen des wissenschaftlichen Beirats

Zur Erarbeitung von Thesen wurde die Umsetzung von Wald und Holz 4.0 unter zwei Fragestellungen untersucht:

- Welche Aspekte scheinen *Ihnen* besonders wichtig im Hinblick auf die Umsetzung von Wald und Holz 4.0?
- Wie stellen *Sie* sich die Umsetzung von Wald und Holz 4.0 und die Rolle des KWH4.0 dazu vor?

Dazu konnten bisher die folgenden Thesen identifiziert werden:

- Um tatsächlich in der Praxis überzeugen zu können, ist es wichtig, für erste Umsetzungsprojekte insbesondere solche Aspekte anzugehen, bei denen positive Effekte (wie Kosteneinsparung, Qualitätsgewinne, Ressourcen-Schonung, vereinfachte Planung usw.) evident sind [„picking low hanging fruits“]. Bei fehlender Überzeugungskraft der Resultate kann (breite) Skepsis für weitere WH4.0-Vorhaben lähmend wirken. (Prof. Dr. Martin Ziesak)
- Gleichzeitig ist ein zügiges Erarbeiten entsprechender fachlicher Fundamente dringlich. In Einzelaktivitäten, Firmeninitiativen, aktuell laufenden Projekten (z.B. das Vorhaben „Forwarder2020“) werden Singularitäten geschaffen, welche sich später nur schwer zusammenführen lassen, sich nicht standardisieren lassen, Partikularinteresse hinderlich wird usw. (Prof. Dr. Martin Ziesak)
- Ebenso ist ein international breit abgestütztes Vorgehen vorzuziehen, wo immer es möglich scheint; sowohl auf der Ebene Wissenschaft (Projekte, usw.), aber ebenso auf der Ebene Politik und Geldgeber. Landesspezifische Standards nachgängig europaweit zu harmonisieren ist mühsam. Also, z.B. Quervernetzung zur „Initiative W&H4.0“ der Schweiz und zur Kooperation „Forest 4.0“ zwischen DE und AU schaffen. (Prof. Dr. Martin Ziesak)

4 Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0

Ziel der Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0 ist es, den Clusterakteuren einen *Leitfaden* an die Hand zu geben, der allgemeinverständlich eine Anleitung zum Erreichen der Ziele der „Wald und Holz 4.0“-Vision gibt. Dabei sollen konkrete Umsetzungsbeispiele für den persönlichen Einsatz von WH4.0-Technologien im Wald- und Holzbereich als *Best Practices* skizziert werden.

Inhaltlich soll die Umsetzungsstrategie einen Überblick über *relevante Technologien* geben. Dieser Überblick stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit dar. Wenn sich weitere relevante Technologien ergeben, können diese in einer späteren Version der Umsetzungsstrategie aufgenommen werden. Dieser schrittweise Ansatz soll dazu beitragen, der sich ständig weiterentwickelnden Technologie Rechnung zu tragen und die Möglichkeit bieten, ständig neue relevante Grundlagen aufzunehmen.

Relevante Technologien bzw. relevante Themenbereiche spricht das KWH4.0 durch die Veröffentlichung von Whitepapern, sogenannter *KWH4.0-Standpunkte*, an. Auch diese Standpunkt-papiere unterstützen einen schrittweisen Ansatz. Sie bieten dadurch Raum für Diskussion und wollen so möglichst viele Clusterakteure mit einbinden. Die KWH4.0-Standpunkte sind frei zugänglich und werden über die KWH4.0-Webseite bereitgestellt. Eine Übersicht der aktuellen und geplanten Standpunkte finden Sie in Kapitel 13.

Eine zentrale Strategie des KWH4.0 besteht in der *Einbindung des wissenschaftlichen und unternehmerischen Know-hows des Clusters*. Zur Einbindung des wissenschaftlichen Know-hows wurde ein wissenschaftlicher Beirat gegründet. Mit seinen Mitgliedern steht das Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 in kontinuierlichem Austausch, sodass eine wissenschaftliche Fundierung der Erkenntnisse gewährleistet wird. Um die Ideen von Wald und Holz 4.0 in die unternehmerische Praxis zu überführen und um gleichzeitig Input von Akteuren aus dem Wald- und Holzbereich zu bekommen, wurde ein Industriearbeitskreis eingerichtet.

4.1 Struktur der Umsetzungsstrategie

Die Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0 gliedert sich wie in Abbildung 4-1 dargestellt. Ausgangsbasis sind die *WH4.0-Grundlagentechnologien und der rechtliche Rahmen*. Hierbei geht es um die Identifikation und den anschließenden Transfer übergreifender Technologien. Aktuell umfasst die Technologielliste Cyber-physische Systeme, das Internet der Dinge, Dienste und Personen, Big Data Cloud-Computing, Mensch-Maschine-Interaktion, IT-Security sowie die Kommunikationsinfrastruktur. Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sie kann und wird entsprechend erweitert, wenn sich weitere Technologien als relevante Basistechnologien für WH4.0 identifizieren lassen. Ein geeigneter Kandidat in diesem Umfeld ist der Themenbereich „Künstliche Intelligenz“, der das Potenzial hat, zu einer breiten Basistechnologie zu werden und von daher in der nächsten Version der Umsetzungsstrategie mit großer Wahrscheinlichkeit als weitere „Smart Forest Technology“ in die Liste der „Enabling Technologies“ von WH4.0 aufgenommen wird. Zudem wird in diesem Teil der Umsetzungsstrategie der rechtliche Rahmen von WH4.0 untersucht.



Abbildung 4-1 Haupttätigkeitsfelder zur Umsetzung von Wald und Holz 4.0

Auf dieser Basis legen **WH4.0-Konzepte und -Methoden** die theoretischen Grundlagen für WH4.0 anfangen bei Digitalen Zwillingen über Kommunikationsinfrastrukturen und -protokolle, Datenmanagement, Vernetzung und Orchestrierung, Referenzarchitektur bis hin zu Standardisierung und Normung. Beides zusammen ist dann die Basis zur Konzeption und Entwicklung von konkreten **WH4.0-Komponenten, -Diensten und -Mensch-Maschine-Systemen** in Form von (Software-) Diensten, Software, Sensoren, Aktoren, Maschinen und Visualisierungs- und Interaktionssystemen. Die Komponenten, Dienste und Mensch-Maschine-Systeme werden situationspezifisch zu **WH4.0-Systemen** orchestriert, wobei Aspekte wie Selbstoptimierung, hochdynamischer Ablauf, ständige Änderung der Zusammensetzung etc. untersucht werden. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Zusammenspiel von **WH4.0 und dem Menschen**. Dazu erfolgt eine Analyse und Bewertung der Konsequenzen von WH4.0-Konzepten für das Arbeitssystem und Arbeitspersonen im Cluster Wald und Holz. Darüber hinaus werden Konzepte zur geeigneten Gestaltung der Arbeitsprozesse und Arbeitsplätze entwickelt. Ein weiterer Schwerpunkt stellt die Bearbeitung der ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen (ELSI) dar.

Test, Verifikation und Demonstration der Entwicklungen erfolgen dann im Kontext der **WH4.0-Umsetzung** insbesondere in den **Smart Forest Labs**. Hierzu werden ein reales Smart Forest Lab am Forstlichen Bildungszentrum für Waldarbeit und Forsttechnik NRW (FBZ) aufgebaut und parallel dazu ein gamifiziertes Smart Forest Lab auf Grundlage von Miniaturmodellen eines Waldbestands mit Forstmaschinen und Akteuren sowie ein simuliertes Smart Forest Lab auf Grundlage experimentierbarer Digitaler Zwillinge entwickelt.

Die Vorgehensweise zur Umsetzung von WH4.0 wird in Form der **WH4.0-Roadmap** zusammengefasst. Diese inkludiert einen Plan für Entwicklung und Transfer des Konzepts und der Gesamtvision in den Cluster Wald und Holz durch die Entwicklung von Konzepten für Weiterbildungsangebote und Beratungsdienstleistungen sowie durch die Demonstrationen in den Smart Forest Labs.

4.2 Nutzen der Umsetzungsstrategie

Die in der „Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0“ erarbeiteten Konzepte und Standards stehen allen kommerziellen und wissenschaftlichen F&E-Projekten im Kontext Wald und Holz 4.0 zur Verfügung. Ausgangspunkt für die Entwicklungen im WH4.0-Kontext sind die in diesem Dokument zusammengefassten grundlegenden Konzepte. Darüber hinaus gibt die Umsetzungsstrategie ähnlich einem Leitfaden Hinweise für die praktische Umsetzung von WH4.0 sowie ggf. notwendige weitere Forschungsarbeiten. Sie stellt mit der darunter subsumierten Architektur, den branchenspezifischen Standards und der Referenzarchitektur das Fundament für alle nachfolgend genannten sowie zukünftigen Vorhaben dar, welche dem WH4.0-Paradigma folgen und ermöglicht den Industrie 4.0-Ideen folgend eine flexible

Verschaltung der Einzelergebnisse zu neuen und übergreifenden Anwendungen und Prozessen. Die Umsetzungsstrategie soll im Rahmen der Entwicklung und Umsetzung des WH4.0-Ansatzes fortgeschrieben werden und stets den aktuellen Diskussionsstand bzgl. WH4.0 widerspiegeln.

5 WH4.0-Grundlagentechnologien und rechtlicher Rahmen

In Vorbereitung der Übertragung auf den Cluster Wald und Holz wurden Grundlagentechnologien, insbesondere aus der bisherigen Anwendung in der Produktionstechnik, untersucht und auf Ihre Eignung für den Einsatz in dem neuen Anwendungsgebiet untersucht. In verschiedenen Einsatzbereichen wurden dazu unterschiedliche Technologien betrachtet. Zudem wird in diesem Abschnitt auf rechtliche Rahmenbedingungen eingegangen.

5.1 Cyber-Physische Systeme

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.2 Internet der Dinge und Dienste

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.3 Big Data

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.4 Cloud-Computing

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.5 Mensch-Maschine-Interaktion

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.6 IT-Security

→ Siehe entsprechenden Abschnitt im KWH4.0-Standpunkt „Grundlagentechnologien für Wald und Holz 4.0“.

5.7 Kommunikationsinfrastruktur

QoS (Quality of Service) beschreibt, wie gut ein Dienst mit den an ihn gestellten Anforderungen übereinstimmt. Zur Bestimmung des QoS können verschiedene Parameter, wie z.B. die Latenz (Verzögerung durch Signallaufzeit), die Fehlerrate und Jitter (Ungenauigkeiten im Übertragungstakt) herangezogen werden. An die Kommunikationstechnologien im Cluster Wald und Holz werden besondere Anforderungen gestellt, die dem Ziel, einen hohen QoS zu erreichen, entgegenstehen. Die eingesetzte Hardware muss z.B. ausreichend robust sein, um unterschiedlichen Witterungen und Wetterlagen Stand zu halten. Außerdem sind mechanische Belastungen, z.B. durch Stöße, Herunterfallen o.ä. nicht auszuschließen. Um entsprechend geeignete Geräte zu finden, ist ein umfassendes Screening des aktuellen Marktes notwendig. Neben der mechanischen und wetterbedingten Belastung der Geräte sind dabei auch ihre Handhabbarkeit sowie ihre unterstützten Kommunikationstechnologien zu bewerten.

Unterschiedliche Protokolle, Standards und Frequenzbänder (z.B. ISM, UMTS, 60GHz, WLAN, ZigBee, LTE, Bluetooth usw.) müssen auf einen möglichen Einsatz im Cluster Wald und Holz untersucht werden. Neben Wettereinflüssen ist eine zentrale Frage, welche Anforderungen durch fehlende stationäre Funkstationen entstehen. Eine ergebnisoffene Analyse soll dezentrale Funkzellen berücksichtigen und

unterschiedliche Ansätze zu deren Kopplung bewerten. Ausführliche Beschreibungen und die sich anschließenden Bewertungen werden zeitnah in einem KWH4.0-Standpunkt veröffentlicht. Einige Technologien werden an dieser Stelle trotzdem kurz eingeführt, da sie in den folgenden Kapiteln bereits Anwendung finden. Da die Einführung nur zum weiteren Verständnis erfolgt, beschränkt sich diese Übersicht auf die bereits eingesetzten Technologien.

5.7.1 Bluetooth

Bei Bluetooth⁷ handelt es sich um einen seit den 1990er Jahren entwickelten Standard zur funkbasierten Datenübertragung über kurze Distanzen. Aktuell wird Bluetooth in vielen Consumer-Geräten wie Notebooks, Smartphones, Tablets sowie deren Peripherie eingesetzt, um kabellos Daten zwischen zwei Geräten zu übertragen. Auch Sensorik und Aktorik in der Industrie wird Bluetooth-basiert angebunden, wenn der Einsatz von Datenkabeln nicht möglich ist. Während die Ende 2016 verabschiedete 5. Version von Bluetooth Reichweiten von bis zu 200m aufweist, liegt die Reichweite der auch heute noch meist eingesetzten 4. Version im Low Energy Modus bei ca. 10 m.

5.7.2 LoRa, LoRaWAN und The Things Network

LoRa bezeichnet eine Funkkommunikation, die eine Modulation verwendet, die bei geringem Stromverbrauch hohe Distanzen überwinden kann.⁸ LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) ist das darauf aufbauende Kommunikationsprotokoll, welches von der LoRa Alliance spezifiziert wird. LoRaWAN wurde speziell für das „Internet of Things, Services and People“ (IoTSP) und den Einsatz in batteriebetriebenen Endgeräten entwickelt, so dass ein Großteil der Anforderungen des IoT durch LoRaWAN erfüllt wird. Die entsprechend ausgerüsteten Funkmodule spannen mittels LoRa ein eigenes Netz auf, über das Entfernungen von bis zu 10 km überwunden werden. Um Informationen aus diesem Netz nach außen zu transportieren ist ein LoRa-Gateway notwendig, welches die über LoRaWAN empfangenen Daten per Mobilfunk oder kabelgebundenem Netzwerk weiterleitet.

The Things Network⁹ ist eine quelloffene Plattform zur Realisierung von IoTSP-Projekten. Die Initiative stellt eine cloudbasierte Plattform bereit, an die Messwerte über LoRa gesendet werden können. Die dazu notwendigen LoRa-Gateways werden dabei durch beliebige Nutzer auf freiwilliger Basis bereitgestellt und können von jedem Nutzer verwendet werden.

5.7.3 Sigfox

Sigfox¹⁰ ist kein Netzwerkprotokoll mit dem sich der Nutzer ein eigenes Netzwerk aufbauen kann, sondern ein Angebot eines französischen Telekommunikationsunternehmens. Ziel ist es, Geräte mit geringerer Energie mit dem Internet zu verbinden und so zur Teilnahme am IoT zu befähigen. Die erforderliche Hardware sowie die Nutzungsgebühren sollen geringgehalten werden, es werden aber auch nur geringe Datenraten angeboten. Typische Anwendungen für diese Technologie sind dabei z.B. Heizungs- oder Stromzähler in Gebäuden, deren Messwerte über das Internet an einen Energieversorger übermittelt werden. Während Sigfox in Städten bis zu 10 km per Funk überbrücken kann, sind auf freiem Feld Reichweiten bis zu 50 km möglich. Für Sigfox stellt der Betreiber die Gateways bereit, wie wir es aus dem Mobilfunknetz gewohnt sind.

➔ *In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Kommunikationsinfrastruktur für Wald und Holz 4.0“.*

5.8 Rechtlicher Rahmen

➔ *Siehe KWH4.0-Standpunkt „Rechtlicher Rahmen zur Datenverarbeitung“.*

⁷ <https://www.bluetooth.com/>

⁸ <https://www.lora-wan.de/>

⁹ <https://www.thethingsnetwork.org/>

¹⁰ <https://www.sigfox.com/en>

6 WH4.0-Konzepte und -Methoden

Zur Berücksichtigung der im Vergleich zur produzierenden Industrie andersartigen Anforderungen des Clusters Wald und Holz werden an dieser Stelle für Wald und Holz 4.0 neu entwickelte bzw. weiterentwickelte Ansätze dokumentiert. Damit legt dieser Abschnitt die theoretischen und praktischen Grundlagen für Wald und Holz 4.0 zur Nutzung in unterschiedlichsten Anwendungsszenarien. Aufbauend auf der Übertragung des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 (RAMI 4.0) auf den Cluster Wald und Holz werden Standards für unterschiedliche Aspekte von Wald und Holz (Kommunikation, Semantik der Daten und Datenformate, Digitale Zwillinge und deren Struktur, Vernetzung und Orchestrierung usw.) erarbeitet. Zusammen definiert dies eine übergreifende Implementierungsbasis für Wald und Holz 4.0.

6.1 WH4.0-Komponente und Digitaler Zwilling

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

6.2 Kommunikation in WH4.0

Der Cluster Wald und Holz stellt besondere Anforderungen an die Kommunikation (siehe auch Abbildung 6-1). Im Folgenden werden daher grundlegende Industrie 4.0-Standards sowie Standards des Clusters Wald und Holz skizziert. Darüber hinaus wird ein allererster Entwurf für ein Datenmodell (Informationsmodell) für Digitale Zwillinge beschrieben.

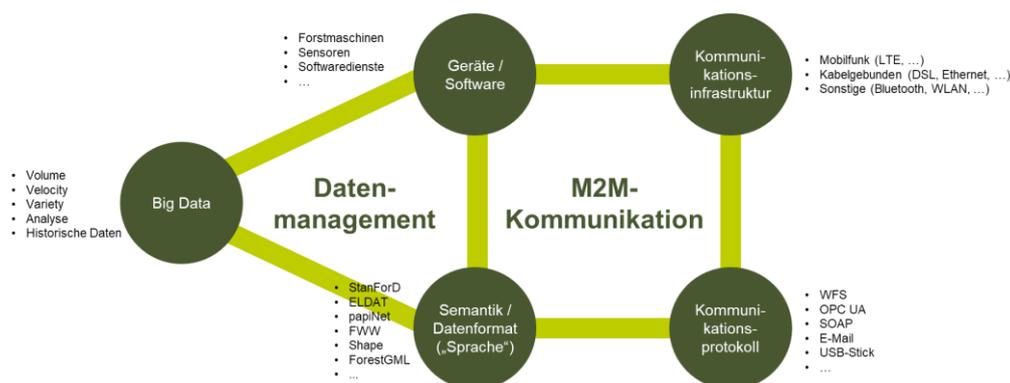


Abbildung 6-1: Aspekte der Kommunikation mit Beispielen für konkrete Ausprägungen für WH4.0

6.2.1 Kommunikationsinfrastruktur

Kabelgebundene Netzwerke und WLAN-Verbindungen wie in der Produktion sind nicht (bzw. nicht überall) vorhanden und ein flächendeckendes Mobilfunknetz ist oftmals ebenfalls nicht verfügbar. An dieser Stelle wird deshalb ein Konzept für eine Kommunikationsinfrastruktur entstehen, das die besonderen Anforderungen des Clusters Wald und Holz (vgl. Abschnitt 5.7) berücksichtigt. Die Infrastruktur soll dabei teilweise auf bestehenden Infrastrukturen aufbauen und bestehende Lücken/Schwächen kompensieren, um im Ergebnis unabhängig vom konkreten Einsatzort zuverlässige Kommunikationskanäle bereitzustellen.

➔ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Kommunikationsinfrastruktur für Wald und Holz 4.0“.

6.2.2 Kommunikationsprotokolle

Aufbauend auf den Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur sollen an dieser Stelle außerdem Kommunikationsprotokolle für die Verwendung im Cluster Wald und Holz bewertet bzw. (weiter-)entwickelt werden. Dabei werden sowohl Standards aus der Industrie (z.B. MQTT, OPC UA,

MTConnect) als auch im Cluster Wald und Holz übliche Datenformate (z.B. StanForD, ELDATsmart, pa-piNet, FWW, Shape, ggfls. ForestML) als Grundlage dienen. Diese Kommunikationsprotokolle sollen insbesondere geeignet sein, die Informationen der WH4.0-Komponente zu übertragen.

➔ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Kommunikationsprotokolle für WH4.0“.

6.2.2.1 OPC UA

OPC UA¹¹ ist ein plattformunabhängiger internationaler Standard, mit dem Teilnehmer über verschiedene Arten von Netzwerken kommunizieren können. Er ist für die sichere Kommunikation von Prozessdaten zwischen Maschinen untereinander (M2M) und mit Steuerungs- und Planungssoftware entwickelt worden. Die Kommunikation findet zwischen Client und Server im Request-Response-Muster statt. Im Februar 2018 wurde auch Kommunikation gemäß Publisher-Subscriber-Muster eingeführt, diese ist aber noch wenig verbreitet. Sie verspricht hohe Performance auch auf Embedded-Geräten.

OPC UA ist dienstorientiert, das heißt die Client-Server-Kommunikation ist durch das Aufrufen von Diensten („Services“) realisiert. „Services“ sind zum Beispiel das Lesen bestimmter Werte, das Aufrufen von Diensten oder das Abonnieren von „Notifications“. „Services“ werden von Servern bereitgestellt und von Clients aufgerufen. Dabei kann die Kommunikation verschlüsselt durchgeführt werden, um auch sensible Daten sicher zu übertragen (siehe Abbildung 6-2). Der Zugriff auf Server und die möglichen Aktionen darauf können über die detaillierte Vergabe von Clientrechten gesteuert werden.

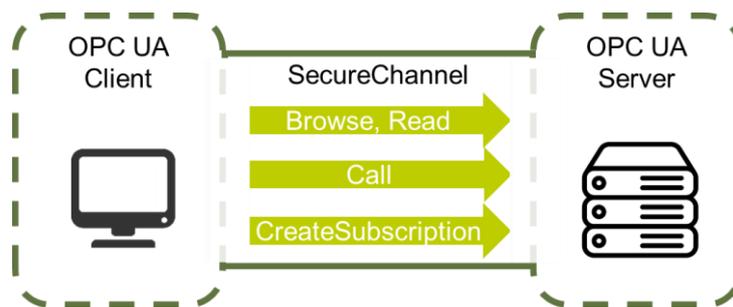


Abbildung 6-2 Kommunikation zwischen Client und Server mit OPC UA

Neben dem Serviceformat und dem Transport von Serviceanfragen¹² ist bei OPC UA auch die Datenstruktur auf dem Server durch das sogenannte Informationsmodell spezifiziert und abrufbar. Daten werden auf dem Server so strukturiert abgelegt, dass jeder Client mit der nötigen Berechtigung diesen erkunden und auf die Daten zugreifen kann. Dies macht die Struktur von OPC UA-Servern einheitlich und übersichtlich.

Neben der Spezifikation von grundlegenden Elementen dieses Informationsmodells (siehe Abbildung 6-3) durch die OPC Foundation wie „Data Access (DA)“, „Alarms & Conditions (A&C)“, „Historical Data Access (HDA)“ und „Commands (CMDs)“ werden branchenspezifische Erweiterungen als sogenannte „Companion Specification“ entwickelt, um zum Beispiel in der Automatisierungstechnik übliche Größen einheitlich abzubilden¹³. Hier besteht Handlungsbedarf für die großen Stakeholder in der Forsttechnik, um auch in dieser Branche herstellerübergreifende Interoperabilität entlang der Wertschöpfungskette mit einer „Companion Specification“ für den Cluster Wald und Holz zu ermöglichen. Diese herstellerübergreifende Basis kann dann herstellereinspezifisch ergänzt werden („Vendor Specific Information Model“).

¹¹ <https://opcfoundation.org/>

¹² OPC UA unterstützt diverse Transportformate. Die Kodierung von Anfragen kann binär, über XML oder JSON erfolgen. Für den Transport können das eigene UA TCP, HTTPS über TCP/IP oder Webservices (SOAP) genutzt werden.

¹³ Aktuelle Beispiele sind FDI (Geräteintegration mit OPC UA), ADI (Analyzer Device Integration), OPC UA for Robotics, oder PLCOpen (Speicherprogrammierbare Steuerungen).

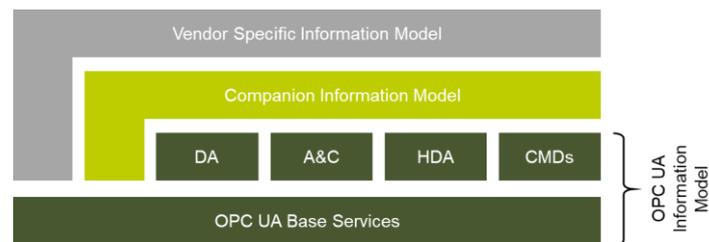


Abbildung 6-3: Informationsmodelle in OPC UA

Die Implementierung von OPC UA erfolgt aufgrund der Komplexität des Protokolls typischerweise auf Basis bestehender Bibliotheken, die in kommerzieller (z.B. von Unified Automation¹⁴) sowie in Open-Source Form (z.B. open62541¹⁵) verfügbar sind.

6.2.2.2 MQTT

Das Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)-Protokoll folgt den Regeln einer Publish-Subscriber-Kommunikation. Bei diesem Nachrichtenmuster trägt der Sender (Publisher) einer Nachricht keinen Empfänger in diese ein, sondern veröffentlicht seine Nachricht unter einem bestimmten Thema, ohne zu wissen, wer die Nachricht am Ende tatsächlich empfängt. Auf der anderen Seite abonnieren mögliche Empfänger (Subscriber) Nachrichten eines oder mehrerer Themen, ohne zu wissen, wer die Nachricht veröffentlicht hat. Zwischen Sender und Empfänger sitzt der MQTT-Broker, der die Nachrichten verwaltet und verteilt. Publisher und Subscriber sind dadurch entkoppelt. Sie müssen sich weder kennen (IP-Adresse o.Ä.) noch müssen sie zeitgleich ausgeführt werden, sodass sie asynchron zueinander arbeiten können.

MQTT zeichnet sich durch eine einfache Implementierung aus und ist damit auch für Geräte mit eingeschränkten Ressourcen geeignet. Da das Protokoll auf TCP basiert, ist eine große Zuverlässigkeit bei der Übertragung gegeben. Gegen Verbindungsprobleme sind Mechanismen eingebaut, die das erfolgreiche Übertragen garantieren. Damit die Kommunikation verschlüsselt stattfindet und nicht von Dritten gelesen werden kann, sollte MQTT in Verbindung mit TLS (Transport Layer Security) verwendet werden. TLS stellt einen sicheren Kommunikationskanal zum Broker her. Standard MQTT-Broker stellen dafür einen Port zur Verfügung, der ausschließlich für *secure-mqtt* (bspw. MQTT über TLS) reserviert ist. Authentifizierung auf der Anwendungsebene wird vom Broker über einen Username und ein Passwort bereitgestellt. Der Broker kann den autorisierten Clients Zugriff auf bestimmte Topics, deren Zugriff darauf (publish/subscribe) und ein Quality-of-Service-Level geben.

Dadurch, dass jeder Sensor, jedes Gerät und sogar jeder Webbrowser ein MQTT-Client sein kann, ergeben sich viele Anwendungsfälle für das Protokoll. Ein Beispiel sind Temperatursensoren, für die der Ablauf exemplarisch in Abbildung 6-4 dargestellt ist. Die geringe Netzwerklatenz, die minimale Beanspruchung der Bandbreite und eine längere Akkulaufzeit sind die Gründe für MQTT. Im besten Fall benötigt MQTT für das Senden nur zwei Byte an Protokollinformationen pro Nachricht, der Rest ist die Nachricht in Binärdarstellung.

¹⁴ <https://www.unified-automation.com/>

¹⁵ <https://open62541.org/>

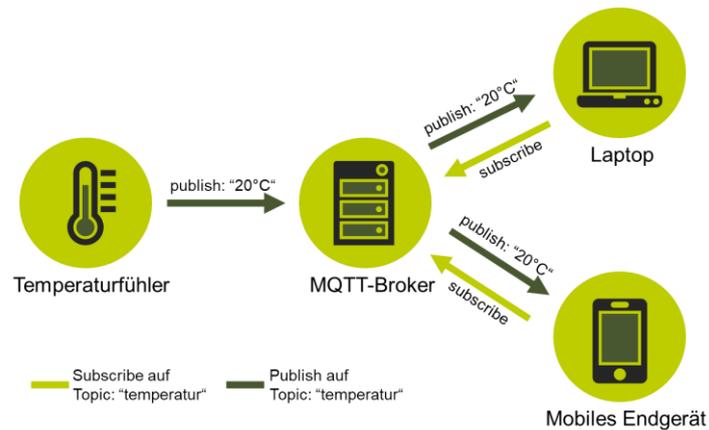


Abbildung 6-4: Ablauf einer Übertragung von Temperaturwerten zu einem Endgerät und einem Laptop mit MQTT

6.2.2.3 RESTful HTTP

Das Akronym REST steht für REpresentational State Transfer und ist ein Softwarearchitekturstil, bestehend aus Leitsätzen und bewährten Praktiken für netzwerkbasierende Systeme. Ein Grundprinzip ist beispielsweise, dass Ressourcen eindeutig identifizierbar sind. Mit Ressourcen sind fachliche Kernkomponenten einer Anwendung gemeint, bei der Anwendung eines Online-Shops z.B. eine Bestellung, ein Produkt oder ein Kunde. Auch die Methoden, mit denen auf die Ressourcen zugegriffen wird, sind von REST vorgegeben. Es handelt sich dabei um die HTTP-Standardmethoden (insbesondere GET, POST, PUT, DELETE).

REST wird typischerweise mit dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP) umgesetzt, in diesem Fall spricht man dann von RESTful HTTP. HTTP ist das eigentliche Protokoll und ein wichtiger Standard im Web. Es basiert auf einem Request-Response-Modell, bei dem Nachrichten zwischen einem Client und einem entfernten Server über ein Netzwerk ausgetauscht werden. Ein Server kann eine Response-Nachricht nur als Antwort auf eine Request-Nachricht versenden.

Soll beispielsweise der Standort eines Harvesters in einer über REST zugänglichen Datenbank von Forstmaschinen abgefragt werden, dann wird auf diesen als Ressource zugegriffen. Zur einheitlichen Beschreibung der Ressource wird ihr *Uniform Resource Identifier (URI)* genutzt. Für den Standort eines Harvesters könnte diese beispielsweise `https://api.kwh.dev/harvester/jd4010/position` lauten. Der Pfad `harvester/jd4010/position` gibt die Ressource an, die über den Server `api.kwh.dev` per HTTPS zur Verfügung gestellt wird.

HTTP arbeitet unverschlüsselt und sendet alle Informationen im Klartext. Um ein Abhören von Verbindungen zu verhindern, lassen sich verschlüsselte VPN-Tunnel (Virtual Private Network) oder die verschlüsselte Variante des Protokolls namens HTTPS einsetzen. Um für eine zuverlässige Übertragung der Daten zu sorgen, verwendet HTTP das verbindungsorientierte und gesicherte Transmission Control Protocol (TCP), welches sich beispielweise um das Zerlegen und Zusammenfügen der Datenströme in einzelne Segmente kümmert und kontrolliert, ob die Pakete ankommen.

6.2.3 Datenformate im Cluster Wald und Holz

➔ In Kürze folgt hierzu der KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in Wald und Holz 4.0“ mit einem Abschnitt zu bestehenden Standards im Cluster Wald und Holz.

➔ Im Anschluss folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Datenformate für WH4.0“.

Neben den im genannten Standpunkt beschriebenen Standards gibt es das ForestML-Format (bzw. ForestGML in seiner GML-basierten Ausprägung, vgl. Abschnitt 6.2.4). Dabei handelt es sich zwar

(noch) nicht um einen offiziellen Standard, allerdings wird es bereits in zwei Landesforsten (RLP, NRW) im Bereich der Forsteinrichtung eingesetzt. Ziel der im Rahmen der Projektreihe Virtueller Wald begonnenen Entwicklungen ist es, ein (im Fall von ForestGML GML-konformes) Datenformat zum Austausch und zur Speicherung forstlicher Geo- und Sachdaten zu schaffen. Der Fokus lag dabei zunächst auf Inventurdaten (Bestandes-, Stichproben- und Einzelbauminventur), weil hier bis heute kein einheitliches Format existiert. Der hierarchische Aufbau aus Basis- und Fachdatenmodellen erlaubt dabei eine beliebige Erweiterung für weitere Anwendungsbereiche, in denen noch keine Standards existieren. Ziel ist also insbesondere nicht, etablierte Standards wie StanForD 2010 oder ELDATsmart dadurch zu ersetzen, sondern diese zu ergänzen bzw. zu integrieren.

Abbildung 6-5 zeigt den Aufbau von ForestML. Auf dem Basisschema ForestML Base basieren die verschiedenen Fachschemata für die Stichprobeninventur (Sample Plot, SP), Einzelbauminventur (Single Tree, ST) und Bestandesinventur (Stand Inventory, SI). Im Fall der GML-basierten Ausprägung ForestGML basiert das Basisschema auf dem GML-Basisschema der OGC. Im Rahmen von WH4.0 soll das Format bedarfsgetrieben weiter ausgebaut werden, um als Basis für die Beschreibung von Assets bzw. deren Digitalen Zwillingen genutzt zu werden (vgl. den nächsten Abschnitt).

→ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „ForestML zur Waldbeschreibung“.

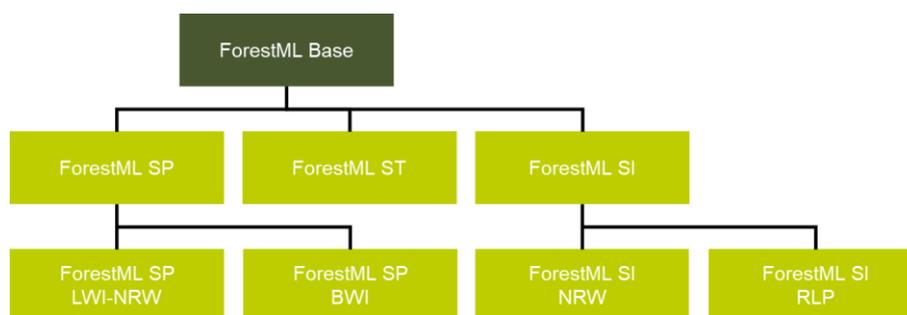


Abbildung 6-5: Aufbau von ForestML Basis- und Fachschemata

6.2.4 Datenmodell für Digitale Zwillinge

Zur Beschreibung des Informationsmodells von Digitalen Zwillingen wird ein einheitliches Datenmodell benötigt. Nur so können die über die Transportprotokolle (OPC UA, MQTT, REST etc.) übertragenen Daten auch von den vernetzten Komponenten gegenseitig interpretiert und verstanden werden. Das KWH4.0 hat in diesem Zusammenhang einen Entwurf auf Basis des ForestML-Formats modelliert (Abbildung 6-6). Er erlaubt die Beschreibung von DZ von Maschinen (Harvester, Forwarder, Radlader) und Menschen. Darüber hinaus lassen sich damit Auftragsdokumente abbilden, die an die DZ geschickt werden können.

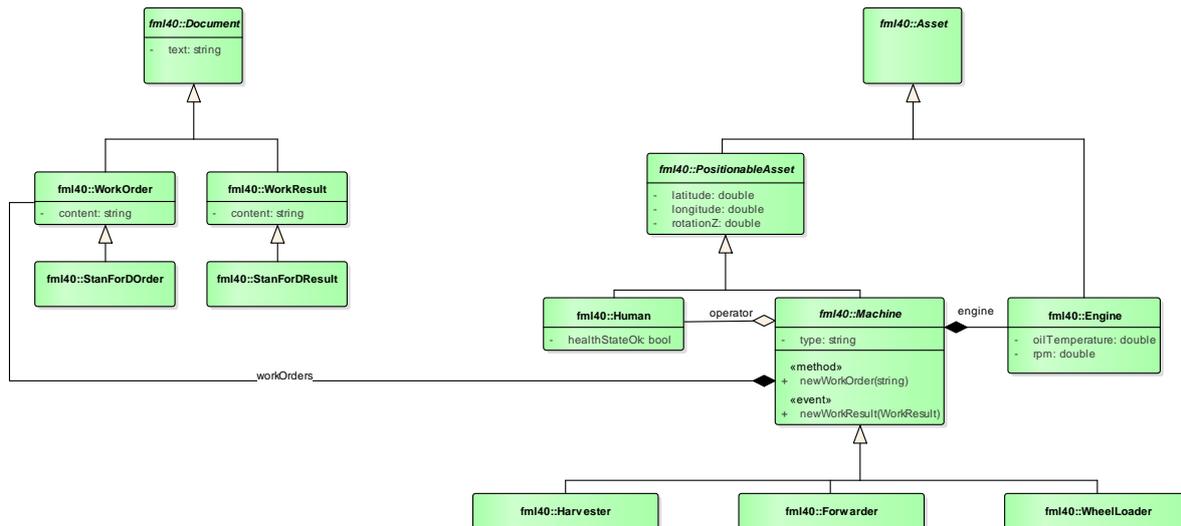


Abbildung 6-6: Erster Entwurf eines Datenmodells für Digitale Zwillinge

Das Datenmodell stellt einen allerersten Entwurf dar und wird sukzessive erweitert werden. Dort wo bestehende Standards existieren (StanForD 2010, ELDATsmart etc.) werden diese genutzt werden. Dazu soll das Datenmodell als Rahmenwerk für die Integration solcher Standards dienen.

Es wird Aufgabe des KWH4.0 sein, an dieser Stelle sowohl ein konzeptuelles Datenmodell als auch hieraus abgeleitete, konkrete technische Realisierungen für unterschiedliche Anwendungszwecke vorzuschlagen. Abbildung 6-7 veranschaulicht dazu am Beispiel von ForestML den Unterschied zwischen konzeptuellen, logischen und physikalischen Datenmodellen.

Ein **konzeptuelles Datenmodell** beschreibt die Konzepte und Ideen auf abstrakter Ebene. Dabei liegt der Fokus auf der Problem-Domäne und nicht auf der Umsetzung. Das konzeptionelle Datenmodell gibt es nur genau einmal. Ein Beispiel ist das konzeptuelle Datenmodell von ForestML für Digitale Zwillinge in Abbildung 6-6. Für eine Formalisierung der Repräsentation werden Modellierungssprachen wie die Unified Modeling Language (UML) oder Entity-Relationship-Diagramme (ERD) verwendet.

Aus dem konzeptionellen können verschiedene **logische Datenmodelle** für verschiedene Umsetzungsvarianten abgeleitet werden. Dabei werden weiterhin dieselben Konzepte beschrieben, nur für unterschiedliche Lösungsansätze bzw. Zielsysteme. Beispiele sind die verschiedenen Ausprägungen von ForestML in OPC UA, in GML (hier dann als ForestGML) oder für relationale Datenbanken. Auf dieser Ebene können weiterhin allgemeine Modellierungssprachen wie UML oder ERD (mit um Implementierungsdetails angereicherten Modellen) oder domänenspezifische Sprachen wie SQL verwendet werden.

Aus logischen können wiederum **physikalische Datenmodelle** abgeleitet werden. Hierbei findet der Übergang in konkrete Softwaresysteme, Dateiformate oder Datenbanksysteme statt. Beispiele sind ForestML im XML-Format für OPC UA-Informationsmodelle („Nodesets“), eine XML Schema Description (XSD) Datei für ForestGML oder eine konkrete Oracle-Instanz mit Tabellen für ForestML.

Insgesamt folgt daraus, dass ein einheitliches Datenmodell auf konzeptueller Ebene in den verschiedensten Zielsystemen unterschiedlich und damit bedarfsgerecht umgesetzt werden kann.

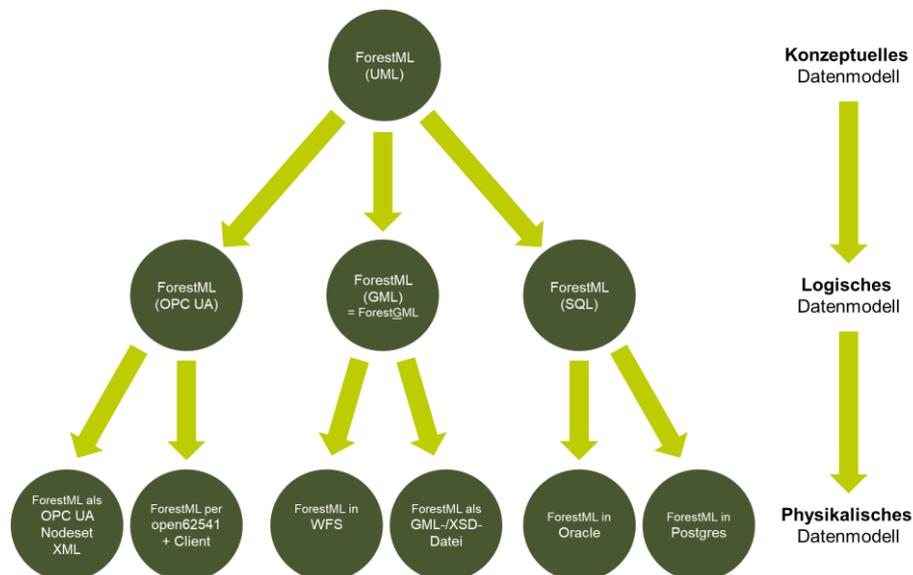


Abbildung 6-7: Veranschaulichung des Unterschieds zwischen konzeptuellen, logischen und physikalischen Datenmodellen am Beispiel ForestML

6.3 Datenmanagement für WH4.0

➔ An dieser Stelle folgt ein KWH4.0-Standpunkt zum Thema „Datenmanagement für WH4.0“.

6.4 Architektur zur technischen Umsetzung von Vernetzung und Orchestrierung

Ein großer Vorteil des IoTSP ist die Möglichkeit, Assets, Dienste und Personen miteinander zu vernetzen und zu übergeordneten Assets, Diensten und Personen zu orchestrieren. Von diesem Mehrwert soll in Zukunft auch der Cluster Wald und Holz profitieren, indem insbesondere Standards geschaffen werden, die

- die horizontale Integration über die unterschiedlichen Wertschöpfungsnetzwerke,
- die vertikale Integration der vernetzten Produktionssysteme sowie
- die Integration über die Waldfunktionen

ermöglichen und zudem Aspekte wie

- neue soziale Infrastrukturen der Arbeit (siehe auch Kapitel 10) sowie
- Security und Safety

beachten. Abbildung 6-8 skizziert vor diesem Hintergrund die genannten Vernetzungsdimensionen. Betrachtet man klassische Industrie 4.0-Anwendungen, so trifft man auf die horizontale und vertikale Vernetzung, die sich beide auch im Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 wiederfinden. Im Cluster Wald und Holz laufen allerdings diverse „Produktionsprozesse“ parallel ab, von der biologischen über die technische Produktion bis zu den diversen weiteren Ökosystemdienstleistungen. Das Ergebnis ist ein System von vernetzten „Produkten“ (Baum im Wald, Stammabschnitt auf dem Polter, Erholungsort, CO₂-Speicher, Wasserspeicher, Wild, ...), „Produktionsprozessen“ (biologische Produktion, technische Produktion, Schaffung von Erholungsorten/Spaziergänge, Jagd, ...) und entsprechenden Lebenszyklen. Die Abhängigkeiten zwischen diesen Produkten und Produktionsprozessen sind offensichtlich.

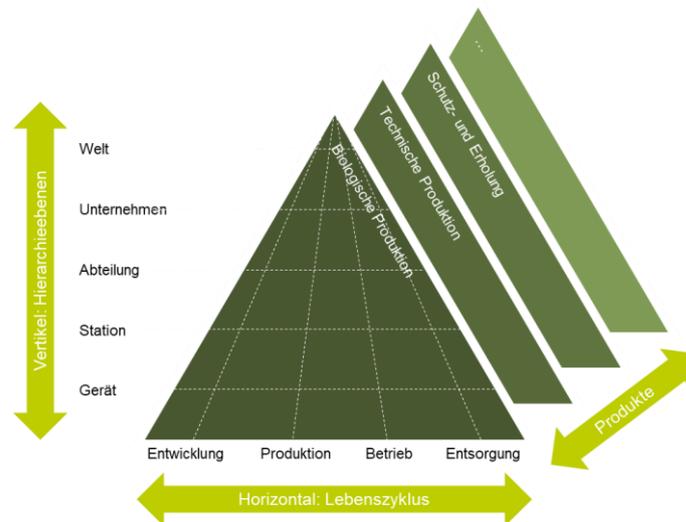


Abbildung 6-8: Die Vernetzungsdimensionen im Cluster Wald und Holz

Abbildung 6-9 zeigt die in Wald und Holz 4.0 verwendete Architektur für die Vernetzung und Orchestrierung. Auf der untersten Ebene befinden sich die physischen Assets (Dinge und Personen), die über zumeist proprietäre Schnittstellen (Sensoren und Aktoren) mit ihrem Digitalen Zwilling (DZ) verbunden sind. Die DZ können über eine DZ-Plattform-Lösung untereinander und mit den Diensten der nächsten Schicht kommunizieren. Über einen Informationsbroker können Dienste und DZ im IoTSP zusammengefasst und situationspezifisch in Anwendungen, Apps und Dienstleistungen für Geschäftsprozesse zusammengeführt werden, die wiederum in den verschiedensten Einsatzgebieten von Benutzern über entsprechenden Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Interaktion genutzt werden können.

➔ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Architektur zur technischen Umsetzung von WH4.0“.

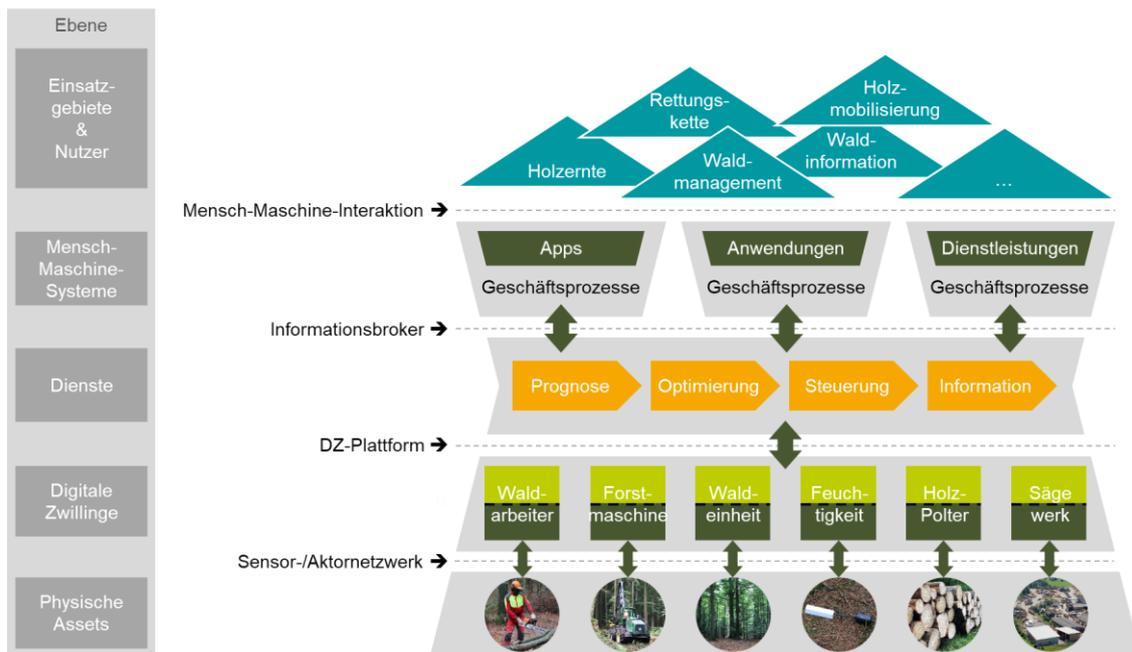


Abbildung 6-9: Vernetzung und Orchestrierung in Wald und Holz 4.0^{16 17}

In diesem Rahmen entwickelt das KWH4.0 auf Basis der Ergebnisse aus Abschnitt 6.2 eine WH4.0-Infrastruktur, über die Stakeholder des Clusters Wald und Holz ihre Dienste anbieten und die Dienste anderer Stakeholder nutzen können. Hierdurch werden die technischen Grundlagen für eine geeignete Infrastruktur geschaffen und die Orchestrierung und Vernetzung von Diensten ermöglicht, die in Kapitel 8 zu durchgängigen Wertschöpfungsketten zusammengesetzt werden.

Den aktuellen Entwurf dieser **Smart Systems Service Infrastructure (S3I)** zeigt Abbildung 6-10. Ziel ist ein schlanker, dezentraler Ansatz mit möglichst wenigen zentralen Diensten. Er umfasst einen Verzeichnis-Dienst (Directory Service) und einen Kommunikations-Dienst (Communication Service). Der Verzeichnis-Dienst stellt im Prinzip ein „Telefonbuch“ aller Akteure, Digitaler Zwillinge, Services und Benutzeroberflächen dar. Aufgaben sind die Registrierung, das Finden, die Authentisierung (Ich bin es!), die Authentifizierung (Ist er es wirklich?), die Autorisierung (Was darf er?) sowie das Suchen (über Name, Funktion, Angebot, Flurstück etc.) der Teilnehmer. Dadurch wird die Kommunikation mit und zwischen den Assets und Diensten bereits ermöglicht, weil das Verzeichnis die notwendigen Kontaktdaten zur Verfügung stellt. Durch die teilweise Nicht-Verfügbarkeit von Assets (z.B. Harvester tief im Wald) empfiehlt sich zusätzlich ein Kommunikations-Service, der ein „Store and Forward“ von Nachrichten bereitstellt.

¹⁶ Grundlage dieser Struktur ist das „Referenzmodell für das Internet der Dinge und Dienste“ aus den „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0“ der acatech, 2013

¹⁷ Fotos (v. l.): A. Böhm, RIF; F. Heinze, RIF; S. Wein, WZL; A. Böhm; S. Wein; Michael Lorenzet / pixelio

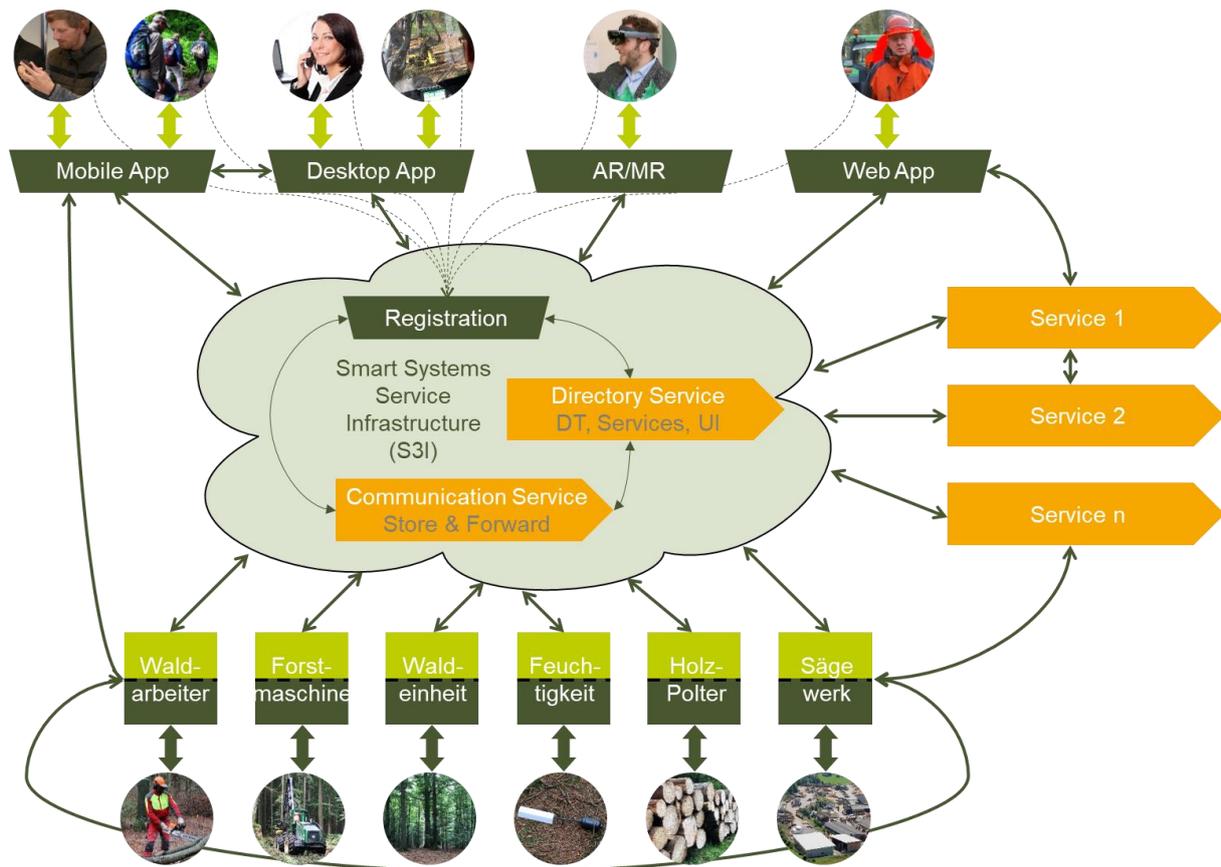


Abbildung 6-10: Entwurf einer Smart Systems Service Infrastructure (S3I)¹⁸

6.4.1 Beispiel: Feuchtigkeitswarnung

Eine Beispielanwendung, welche die Vernetzung von Sensoren, Digitalen Zwillingen, Diensten und Apps demonstriert, ist in Abbildung 6-11 dargestellt und wurde im Rahmen der Smart Forest Labs erprobt. Kernidee ist es, den Förster oder Forstunternehmer automatisiert und zeitnah über Änderungen

¹⁸ Fotos: (o.) A. Böhm, RIF; Rainer Sturm / pixelio; Konstantin Gastmann / pixelio; Stefan Wein, WZL; A. Böhm; Peter Kamp / pixelio; (u.) A. Böhm; F. Heinze, RIF; S. Wein; A. Böhm; S. Wein; Michael Lorenzet / pixelio

der Bodenfeuchtigkeit im Bestand zu informieren, wenn dabei Werte überschritten werden, die Einfluss auf die Planung von Hiebsmaßnahmen haben.

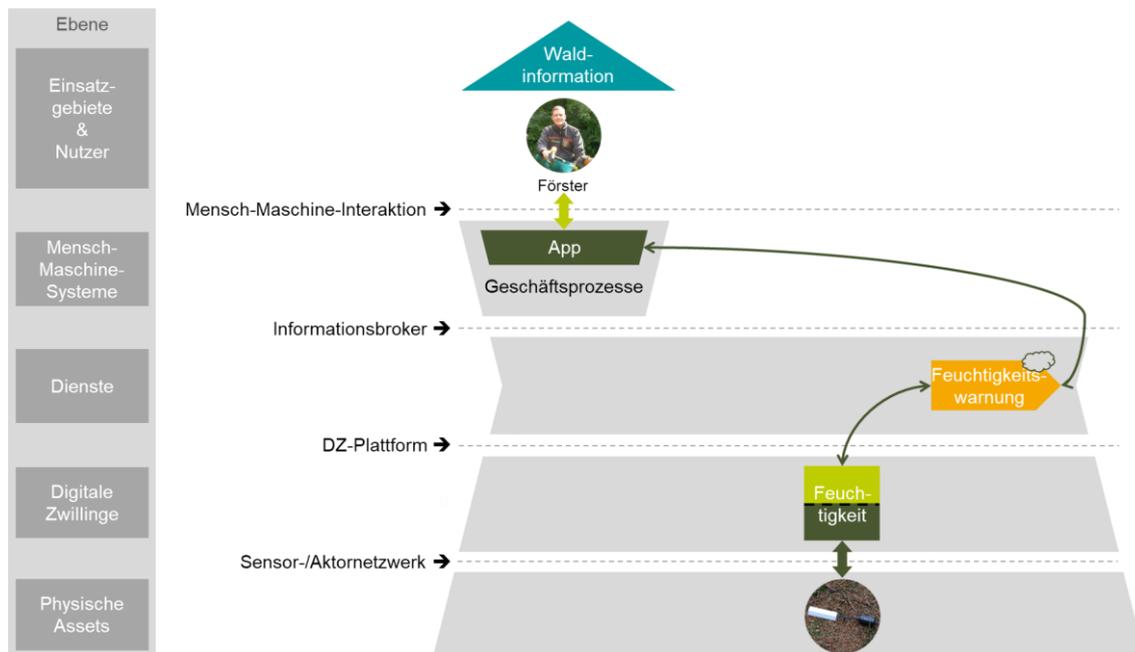


Abbildung 6-11: Vernetzung und Orchestrierung am Beispiel eines Feuchtigkeitssensors¹⁹

Das grundlegende physische Asset ist hier der Feuchtigkeitssensor als Teil eines Sensornetzwerks, welches über eine Funktechnologie, wie zum Beispiel LoRa / LoRaWAN, eine Verbindung zum Internet besitzt. Zu jedem Sensor gibt es einen Digitalen Zwilling, der verschiedene Ausprägungen haben kann. Es kann sich dabei etwa um eine Software auf einem eingebetteten System direkt am Sensor oder um eine zentrale Datenhaltung in der Cloud handeln. Darüber befindet sich ein cloudbasierter Dienst, der ein oder mehrere Feuchtigkeitssensoren überwacht, in dem er über Protokolle wie OPC UA, MQTT oder REST mit dem jeweiligen Digitalen Zwilling kommuniziert. Bei Überschreitung eines Grenzwertes (z.B. volumetrische Bodenfeuchtigkeit größer als 20%), sendet dieser Dienst eine Benachrichtigung mit einer entsprechenden Meldung an (bei ihm registrierte) Endgeräte, wie zum Beispiel dem Smartphone des Forstunternehmers.

Die Registrierung von Endgeräten, inklusive Authentifizierung, sowie das Weiterleiten der Nachrichten, muss dabei nicht zwingend der Dienst selbst übernehmen. Stattdessen kann hier ein weiterer, anwendungsunabhängiger Dienst, der als Informationsbroker fungiert, zwischengeschaltet werden. In der ersten prototypischen Umsetzung im Smart Forest Lab wurde dazu der öffentlich verfügbare Dienst „Pushbullet“²⁰ verwendet, der sowohl eine REST API zum Absenden als auch Apps zum Empfangen von Push-Nachrichten anbietet. Dadurch ist eine einfache Verknüpfung des fachlichen Dienstes und des Endgeräts ohne Implementierungsaufwand möglich.

6.4.2 Beispiel: Befahrung sensibler Böden

Die zunächst einfache Feuchtigkeitswarnung kann dann zu einer Befahrbarkeitsempfehlung ausgebaut werden (siehe Abbildung 6-12). Kranwaage eines Forwarders und Umweltsensoren stehen hier nicht als eigenständige Digitale Zwillinge zur Verfügung. Vielmehr greifen die DZ von Forwarder und Rückegasse auf deren aktuelle Messgrößen über spezialisierte Clouddienste zu. Der Dienst zur Befahrbar-

¹⁹ Foto: A. Böhm, RIF (2x)

²⁰ <https://www.pushbullet.com/>

keitsempfehlung setzt die über die DZ von Forwarder und Rückegasse zur Verfügung gestellten Informationen zueinander in Beziehung und stellt das Ergebnis dem Einsatzleiter und dem Forwarderfahrer zur Verfügung.

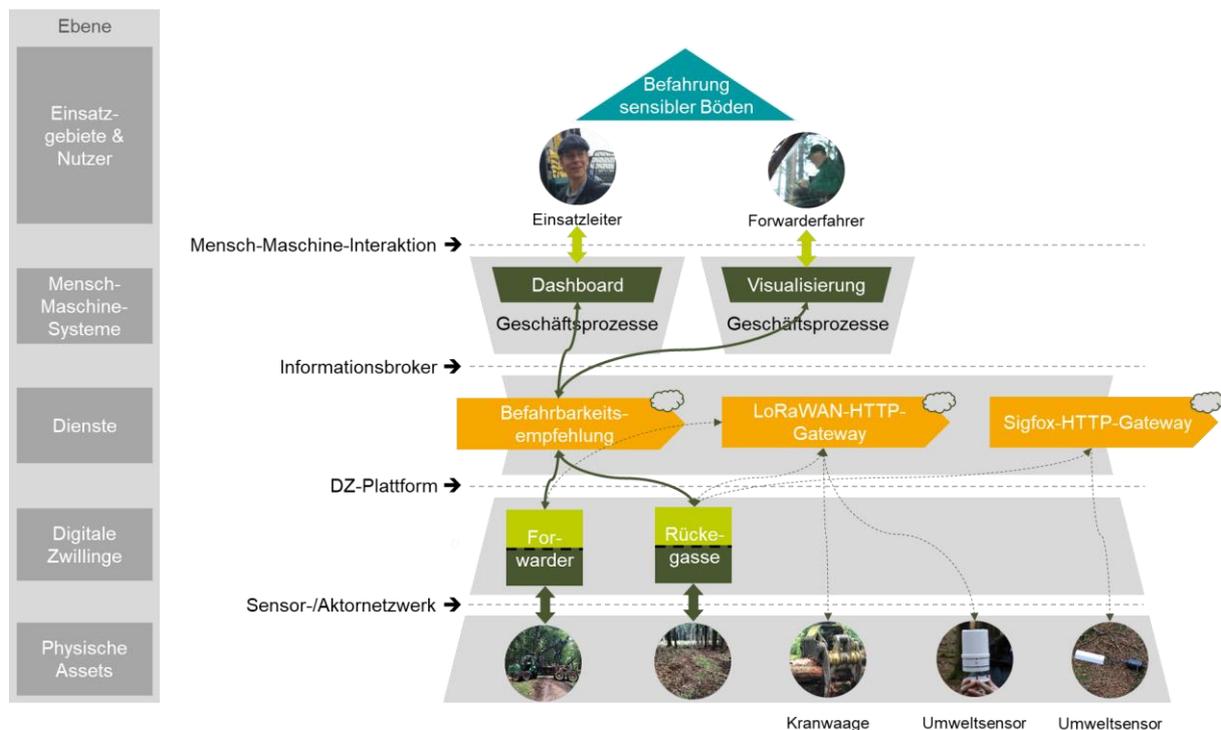


Abbildung 6-12: Vernetzung und Orchestrierung am Beispiel der Befahrung sensibler Böden²¹

6.4.3 Beispiel: Waldinformation

Abbildung 6-13 skizziert ein Beispiel aus dem Bereich der Waldinformation. Unterschiedliche Anwendungen von einer Smartphone-App mit Augmented Reality (AR)-Funktionalität über eine Google Assistant-basierte Sprachschnittstelle bis zu einem Google Dashboard greifen direkt oder indirekt über Dienste auf den DZ einer Waldeinheit zu. Es ist Aufgabe der Endbenutzerschnittstellen, diese (ggfls. durch die Dienste aufbereiteten) Informationen geeignet und intuitiv nutzbar zur Verfügung zu stellen.

²¹ Fotos: (o.) A. Böhm, RIF (2x); (u.) S. Wein, WZL (3x); A. Böhm (2x)

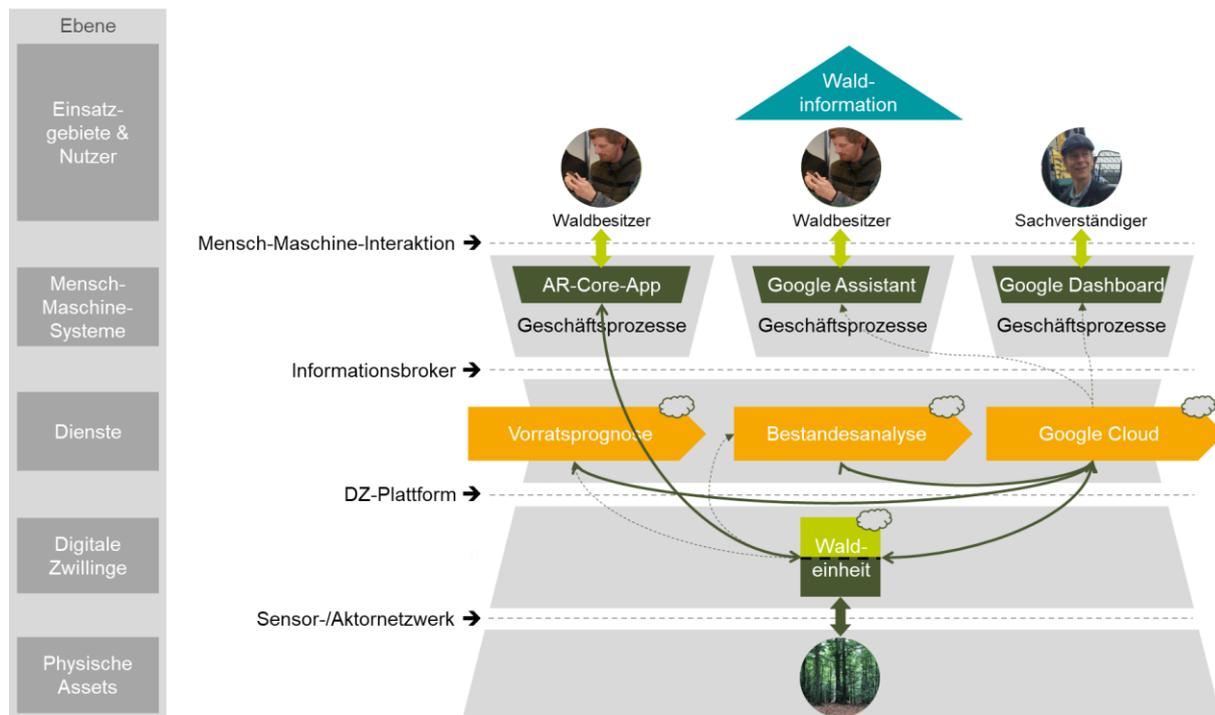


Abbildung 6-13: Vernetzung und Orchestrierung am Beispiel der Waldinformation²²

6.5 Das Referenzarchitekturmodell Wald und Holz 4.0

Im vorstehenden Kapitel wird eine schon sehr konkrete Architektur zur technischen Umsetzung von WH4.0-Systemen skizziert, die durch Nutzung der ebenfalls in diesem Kapitel vorgestellten Kommunikationsinfrastrukturen und -protokolle sowie Datenformate umgesetzt werden kann. Das Referenzarchitekturmodell Wald und Holz 4.0 liefert eine deutlich umfassendere Sicht auf WH4.0. Ziel ist es, in Anlehnung an das Referenzarchitekturmodell der Industrie 4.0 (RAMI4.0), eine Basis zur einheitlichen Kommunikation im Umfeld von Wald und Holz 4.0 zu schaffen, mit deren Hilfe sich alle Teilnehmer von Wald und Holz 4.0 verstehen können. Das Referenzarchitekturmodell stellt eine dreidimensionale Landkarte bereit, die beschreibt wie das Thema Wald und Holz 4.0 strukturiert angegangen werden kann. Entlang der drei Achsen „Lebenszyklus“, „Hierarchie“ und (IT-technische) „Architektur“ können Assets, Dienste und Prozesse systematisch eingeordnet werden.

➔ Siehe KWH4.0-Standpunkt „Referenzarchitektur für Wald und Holz 4.0“.

²² Fotos: (o.) A. Böhm, RIF (3x); (u.) S. Wein, WZL

7 WH4.0-Komponenten, -Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme

Die zuvor vorgestellten Technologien, Konzepte und Methoden liefern die Grundlage zur Entwicklung neuer Hardwarekomponenten wie Sensoren und Aktoren, neuer Softwaredienste sowie Mensch-Maschine-Systeme und deren Integration in Wald und Holz 4.0. An dieser Stelle sollen daher konkrete **WH4.0-Komponenten, -Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme** bestehend aus der entsprechenden Hardware bzw. Software und den zugehörigen Digitalen Zwillingen präsentiert werden, die als Referenzkomponenten zur Realisierung clusterübergreifender Wertschöpfungsnetzwerke sowie zur Realisierung konkreter Anwendungsprojekte dienen sollen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Integration unterschiedlicher Stakeholder und der Aggregation zur Verfügung gestellter Informationen unterschiedlicher Interessenvertreter (Förster, Waldarbeiter, Logistikfirmen, Sägewerk usw.). Wichtig dabei ist, dass für die WH4.0-Komponenten ausreichend detaillierte Digitale Zwillinge entwickelt werden müssen, die zum einen die Integration der entsprechenden Assets in WH4.0-Systeme erlauben als auch zum anderen deren Einbindung und Simulation im virtuellen Smart Forest Lab. Alle dargestellten WH4.0-Komponenten, -Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme können in der technischen Architektur, dargestellt in Abbildung 6-9 verortet werden (von unten nach oben):

- Der Wald, Sensoren, Aktoren, Maschinen und handgeführte Geräte sowie ihre Digitalen Zwillinge auf den Layern „Physische Assets“ und „Digitale Zwillinge“
- Dienste im Layer „Dienste“
- Endanwendersoftware im Layer „Mensch-Maschine-Systeme“
- Visualisierungs- und Interaktionssysteme im Layer „Mensch-Maschine-Systeme“

7.1 Wald

Der Wald mit seinen „Komponenten“ wie Waldboden und Bäumen ist das zentrale Asset im Cluster Wald und Holz.

7.1.1 Baum

Zielvorstellung von WH4.0 ist, den Wald beginnend mit zentralen Prozessen wie z.B. der technischen Produktion auf Ebene einzelner Bäume zu betrachten. Hiermit verbundene Aspekte und Randbedingungen wird das KWH4.0 untersuchen.

7.1.2 Waldbestand

Die WH4.0-Komponente „Waldbestand“ stellt die Kombination aus realem Waldbestand und dem zugehörigen Digitalen Zwilling dar. Dadurch ist sie der zentrale Dreh- und Angelpunkt für die Vernetzung des Waldes auf Ebene der Waldbestände. Hierbei wird der Digitale Zwilling eines nicht-technischen Assets typischerweise in einer Cloud (private oder public) und nicht vor Ort in einem Edge-Device verwaltet. Im Kern kann der Digitale Zwilling eines Waldbestands zahlreiche Aufgaben übernehmen, z.B.:

- die Inventurdaten der letzten Jahre speichern,
- seine Entwicklung in den nächsten Jahren unter Annahme unterschiedlicher Behandlungsszenarien voraussimulieren,
- kontinuierlich lokale Wuchs- und Produktionsbedingungen über lokale Sensoren erfassen,
- Ansprechpartner für Waldarbeiter und Forstmaschinen zur optimalen Planung von Holzernemaßnahmen unter Berücksichtigung von Schutzräumen und spezieller Gefährdungssituationen sein,
- Touristen Auskunft über besondere Biotopbäume oder Vogelarten geben oder notwendige Pflege- und Erntemaßnahmen unter Beobachtung seines aktuellen Zustands und der übergreifenden Marktsituation eigenständig initiieren.

Die technische Verbindung zwischen Asset und Digitalem Zwilling ist beim Waldbestand nur eingeschränkt möglich. In erster Linie kann über entsprechende Umweltsensorik der Zustand überwacht werden. Darüber hinaus können Wetterberichtsdaten einfließen. Sonstige Informationen fließen insbesondere indirekt über andere Digitale Zwillinge oder Anwendungen in den DZ Waldbestand ein, beispielsweise Daten aus manueller oder fernerkundungsgestützter Inventur.

Bei der Umsetzung eines Digitalen Zwillings für einen Waldbestand muss die „Auflösung“ geeignet gewählt werden. Je nachdem wie individuell Teilbestände verwaltet, betrachtet und angesprochen werden sollen, muss ein DZ z.B. pro Bestand (NRW: Bestandeseinheit) oder Menge von Beständen (NRW: Unterabteilung, Abteilung, Betrieb oder größer) gebildet werden. Der erste Prototyp einer Wald und Holz 4.0-Komponente „Waldbestand“ des KWH4.0 besteht aktuell aus zwei benachbarten Bestandeseinheiten in der Nähe des FBZ Arnsberg. Konkret umfasst dieser Digitale Zwilling:

- Inventurdaten im ForestML-Format
 - Die Umringe wurden vom Landesbetrieb Wald und Holz zur Verfügung gestellt
 - Inventurattribute (Standorteigenschaften und Baumartenzeilen) wurden über Fernerkundungsmethoden abgeleitet, verwendbar wären an dieser Stelle aber auch manuell erfasste Inventurdaten, z.B. aus dem KlimaWIS-System zur Forsteinrichtung des Landesbetriebs Wald und Holz NRW
- Einfache, exemplarische Auswertungsfunktionen als eingebaute Services
 - Vorratssumme
 - Zusammenstellung der vorkommenden Baumarten
 - Prognose der Vorratsentwicklung
- Zusätzlich wurde ein Wetterdienst integriert

Der Zugriff auf diesen Digitalen Zwilling wurde parallel über OPC UA und über REST realisiert. Über beide Schnittstellen kann auf die kompletten Inventurdaten sowie auf die Auswertungsfunktionen zugegriffen werden. Abbildung 6-13 zeigt den Digitalen Zwilling des Walds mit seinen Diensten, integriert in verschiedene Zugriffsszenarien für den Benutzer (vgl. Abschnitt 7.7).

7.1.3 Rückegasse

Ein weiterer Digitaler Zwilling eines nicht-technischen Assets, der in der Cloud verwaltet werden kann, ist der einer Rückegasse. Alternativ könnte er, je nach Anwendungsfall, auch mehrere Rückegassen, also ein Wegenetz, umfassen oder als Teil des Digitalen Zwillings „Waldbestand“ implementiert werden. Daten, die über den Digitalen Zwilling „Rückegasse“ zur Verfügung gestellt werden können, sind zum einen statische Geodaten, wie Position, Verlauf und Bodenart, aber auch veränderliche Informationen, wie Bodenfeuchte und Befahrbarkeit, welche durch Umweltsensoren ermittelt bzw. durch externe Dienste zur Verfügung gestellt werden können. Dies entspricht der Aufteilung in Modell- und Betriebsdaten in technischen Assets. Ein solcher Digitaler Zwilling ist vor allem für die Planung, aber auch während der Durchführung von Hiebsmaßnahmen ein Hilfsmittel, um zum Beispiel Arbeitsabläufe zu optimieren und die Bodenbelastung gering zu halten.

Innerhalb der in Abschnitt 7.1.2 erwähnten Testbestände wurden vorhandene Rückegassen aufgenommen und als prototypische WH4.0-Komponenten umgesetzt. Die zugehörigen Digitalen Zwillinge verweisen auf einen WFS-Server, der die Wegegeometrien verwaltet. Aktuelle Werte zur Bodenfeuchtigkeit werden per REST aus der „The Things Network“-Cloud empfangen und über OPC UA und MQTT veröffentlicht. Auf Basis dieses einfachen Digitalen Zwillings wurde bereits ein Szenario zur Befahrung sensibler Böden (siehe Abschnitte 6.4.2 und 9.2.1), sowie ein Dienst für Feuchtigkeitswarnungen (siehe Abschnitt 6.4.1) implementiert.

7.2 Sensoren

Grundlage für nahezu alle Prozesse im Cluster Wald und Holz ist die Verfügbarkeit geeigneter Sensorinformationen in Echtzeit an unterschiedlichen Einsatzorten. Die hierzu notwendigen Sensoren sind nach ersten Analysen bereits verfügbar. Entweder sind diese bereits heute im Cluster Wald und Holz im Einsatz, werden hierfür aktuell entwickelt (z.B. Sensorik zur Wegevermessung) oder werden bislang in anderen Einsatzgebieten im Wald (z.B. Baumzustands- und Wettererfassung), im Gesundheitsbereich (z.B. Vitalsensoren), im Automobilbereich (z.B. Laserscanner- oder Fahrzeugortungssysteme), in der produzierenden Industrie (z.B. Identifizierungstechnologien) oder darüber hinaus eingesetzt. Bzgl. dieser Sensoren wird untersucht, wie diese als WH4.0-Komponenten für entsprechende physische (materielle) Assets in WH4.0-Systeme integriert werden können. Hierbei müssen bereits bestehende Kommunikations- und Datenformatstandards berücksichtigt werden und die in Bezug auf WH4.0-Systeme relevante Funktionalität in WH4.0-Komponenten überführt und hierzu mit geeigneten Digitalen Zwillingen versehen werden.

Für den Anwendungsbereich Wald und Holz 4.0 müssen die Witterungsumstände und Einsatzbedingungen berücksichtigt werden, damit die Funktion des Sensors (Zustandserfassung eines Baums usw.) bei jeder Wetterlage und jeder Einsatzbedingung gewährleistet ist. Aufgrund der Zykluszeiten, die im Wald oftmals in Größenordnungen von Monaten bis Jahren liegen, liegt der Fokus oft auf Sensorik, deren Elektronik mit vorhandenen begrenzten Energiequellen über derart lange Perioden durchgängig funktionsfähig bleibt. Auch Konzepte zum Betrieb derartiger Sensoren werden unter Berücksichtigung genannter Faktoren untersucht (z.B. Energy Harvesting, Wake on Request, Multi-Tier-Architekturen für Sensornetze usw.). Konkret werden nachfolgend erste Sensoren für WH4.0-Systeme dokumentiert.

7.2.1 Umweltsensorik

Aktuell werden Umweltsensoren unter anderem im Schadstoffmonitoring, im Bereich der Landwirtschaft und im Gartenbereich eingesetzt. Mit Bodenfeuchtesensoren lassen sich beispielsweise Bewässerungsanlagen deutlich effizienter als mit reiner Zeitsteuerung betreiben. Ein Einsatz festinstallierter Umweltsensoren ist im Cluster Wald und Holz bisher selten. Generell sind dabei folgende Punkte relevant:

- Welche Messgrößen sollen erfasst werden?
- Wie kann der Sensor in den Wald eingebracht werden (Schutz vor Zerstörung durch Tiere, Menschen, Maschinen und Umwelteinflüsse)?
- Wie und in welchem Zyklus werden die Messdaten weitergeleitet?
- Wie wird der Sensor mit Energie versorgt?

Um sinnvolle Messgrößen festzulegen, ist zunächst zu bestimmen, welche Einsatzbereiche für Sensoren sinnvoll sind. Die zu erfassenden Messgrößen bestimmen dann wiederum, welche Sensortypen generell geeignet sind. Bisher wurden durch das KWH4.0 die folgenden Einsatzbereiche identifiziert:

- Bodenschutz
- Wachstumsprognosen

Im Bereich des Bodenschutzes geht es um die Auswahl von Zeitintervallen, in denen insbesondere die Rückegassen von schweren Erntefahrzeugen, insbesondere Forwardern, befahren werden können und zur Erkennung, wann eine Befahrung zu erheblichen Schädigungen der Ressource „Boden“ führen könnte. Dies könnte durch eine dauerhafte oder ggf. auch temporäre Installation von Sensoren an den Rückegassen zur Bestimmung der Bodenfeuchte geleistet werden. Zusätzlich kann die Erfassung von

Wetterdaten in den Beständen sinnvoll sein. Durch Kombination dieser Daten mit verfügbaren meteorologischen Daten können geeignete Prognosen zur Auswahl eines Zeitintervalls für die Befahrbarkeit erstellt werden.

Für eine Wachstumsprognose können ebenfalls Wettersensoren, Bodenfeuchtesensoren aber auch Blattfeuchtesensoren geeignet sein.

Aktuell führt das KWH4.0 im Arnsberger Wald Versuche mit einer Umweltsensorik der Firma Evvos²³ durch. Diese besteht aus einem Zentralmodul, an das verschiedene Sensoren angeschlossen werden können (Abbildung 7-1). Die derzeit angeschlossenen zwei Sensoren bestimmen insgesamt vier Messgrößen: Bodenfeuchte, Bodentemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Außentemperatur. Daten können maximal im 15-Minuten-Takt erhoben und über die Funktechnologie Sigfox in eine proprietäre Cloudlösung des Anbieters übertragen werden. Der Sensor wird per Lithium-Ionen-Batterie (5200 mAh) mit Energie versorgt. Die Lebensdauer der Batterie gibt der Hersteller beim genannten 15-Minuten-Sendeintervall mit etwa einem Jahr und vier Monaten an. Mit Batterien größerer Kapazität sowie längerem Sendeintervall (z.B. alle zwei Stunden) sollen auch Lebensdauern von über zehn Jahren möglich sein. Der Sensor gibt mit jeder Messung auch den jeweiligen Batterieladestand an, sodass ein rechtzeitiger Austausch der Batterie prognostiziert werden kann.



Abbildung 7-1: Sensoreinheit der Firma Evvos mit Sigfox-Modul und zwei Sensoren für Bodenfeuchte, Bodentemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Außentemperatur²⁴

Alternative kommerzielle Lösungen der Firma Meter Group²⁵ arbeiten mit Mobilfunktechnologie zur Übertragung der Daten und einer Kombination von Batterie und Solarmodul, die eine dauernde Wiederaufladung der Akkus sicherstellen soll. Hierzu liegen dem KWH4.0 aktuell noch keine Testergebnisse vor.

Da es bisher nur wenige kommerzielle Lösungen gibt, arbeitet das KWH4.0 parallel an einer Arduino-basierten Entwicklungsplattform mit einem LoRa-Kommunikationsmodul. Als Sensoren werden kapazitive Bodenfeuchtesensoren eingesetzt. Hierbei sind die Datenübertragungsintervalle frei program-

²³ <https://www.evvos.com/>

²⁴ Foto: F. Heinze, RIF

²⁵ <https://www.metergroup.com/de/>

mierbar, allerdings steht über LoRa nur eine beschränkte Übertragungsbandbreite zur Verfügung, so dass derzeit mit Übertragungsintervallen von ein bis drei Minuten gearbeitet wird. Die Sensordaten werden über LoRaWAN in die Open Source-Cloud von „The Things Network“ übertragen.

7.2.2 Positionssensorik

Der im Rahmen der Projektreihe Virtueller Wald entwickelte Ansatz „Visual GPS“ zur hochgenauen Lokalisierung im Wald über die Sensorfusion aus Laserscanner, Stereokamera und inertialer Messeinheit (inertial measurement unit, IMU) kann mithilfe seines Digitalen Zwillings als WH4.0-Komponente in ein WH4.0-System eingebunden werden (Abbildung 7-2). Ein entsprechender Prototyp wurde vom KWH4.0 entwickelt. Die Positionsdaten können sowohl dem Fahrer selbst als auch dem Einsatzleiter bereitgestellt werden. Im Prototypen erfolgte die Bereitstellung der Position dabei über das MQTT-Protokoll.

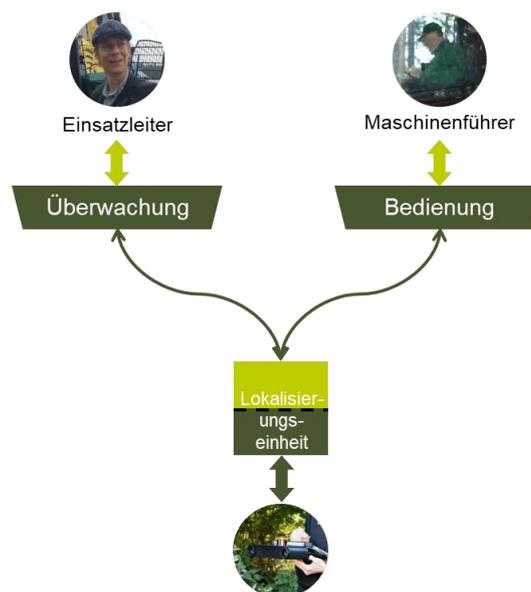


Abbildung 7-2: Laserscanner-basierte Lokalisierung als WH4.0-Komponente²⁶

7.2.3 Sensorik für Maschinen und handgeführte Geräte

Wie in der produzierenden Industrie lässt sich auch im Cluster Wald und Holz der Zustand von Maschinen über Sensoren erfassen. Für die Befahrbarkeit sensibler Böden ist das Gewicht des befahrenden Fahrzeugs ein wesentliches Kriterium. Aktuelle Forwarder können dazu mit einer Kranwaage ausgestattet werden, mit deren Hilfe dann das Gesamtgewicht aus Maschinengewicht und aktueller Zuladung ermittelt werden kann. Alternativ kann das Gewicht mit Hilfe von Gewichtssensoren ermittelt werden. Die modellhafte Einbindung eines solchen Sensors in ein Praxisszenario wird in Abschnitt 9.2.1 gezeigt.

Die Unternehmen Stihl und Husqvarna bieten „Connectoren“ für ihre handgeführten Geräte an (Abbildung 7-3). Diese detektieren elektrische Felder. Bei Benzingeräten werden diese durch die Zündkerzen erzeugt, bei Elektrogeräten über den Elektromotor. Der Sensor erkennt so, wann die Maschine läuft und kann zwischen Leerlauf und Last unterscheiden. Die aufgenommenen Daten werden per Bluetooth an ein mobiles Endgerät gesendet, welches vorab mit dem Sensor verbunden werden muss. Über das Endgerät wird zusätzlich der Standort ermittelt. Die Daten können dann über eine Hersteller-App in ein Online-Portal geladen werden. Über dessen Benutzeroberfläche sind die Maschinenlaufzeiten und -standorte einsehbar. Die Portale informieren den Anwender über anstehende Gerätewartungen und

²⁶ Fotos: RIF (2x), MMI

erlauben auf Wunsch die Vereinbarung von Werkstattterminen mit dem Fachhändler. In die Web-basierten Oberflächen lassen sich auch die Connectoren des jeweils anderen Herstellers einbinden.



Abbildung 7-3: Spielzeugkettensäge mit "Smart Connector" von Stihl, Husqvarna Motorsäge mit Husqvarna-Connector²⁷

7.3 Maschinen und handgeführte Geräte

Ein zentraler Aspekt zur Umsetzung von Wald und Holz 4.0 ist die Untersuchung, auf welche Weisen Maschinen und handgeführte Geräte vernetzt werden können und wie durch diese Vernetzung konkreter Mehrwert für Nutzer, Besitzer und den Wald geschaffen werden kann. Insbesondere Maschinen können schon jetzt als Netzwerke von Komponenten, wie Sensoren und Aktoren, gesehen werden. An dieser Stelle geht es jedoch nicht um die Vernetzung innerhalb einer Maschine, sondern um die Vernetzung von Maschinen untereinander und mit Software-Komponenten. Diese Vernetzung erhöht die Verfügbarkeit von Informationen und birgt Potential zur Effizienzsteigerung. Im Kontext von Forstmaschinen ist dies besonders interessant, da sie bereits jetzt enorme Datenmengen generieren. Durch die hohen Kosten von Forstmaschinen wirken sich Effizienzsteigerungen deutlich auf den Gewinn aus.

OPC UA (vgl. Abschnitt 6.2.2.1) ist eine Technologie, die sich sehr gut für die Integration von Maschinen in das Wald und Holz 4.0-Netzwerk eignet. Abbildung 7-4 zeigt die Vernetzung einer Kettensäge (Client) mit einem Harvester (Server) via OPC UA. Der Harvester registriert sich bei einem Discovery-Dienst, damit die Kettensäge ihn finden kann. Anschließend können beide Kommunikationspartner eine sichere Verbindung herstellen, über die die Säge auf Daten und Dienste des Harvesters zugreifen kann. Sie kann sich auch Alarme des Harvesters abonnieren, um z.B. eine Benachrichtigung zu erhalten, wenn der Harvester in einen gewissen Bestand fährt. Kommunikation mittels OPC UA kann nur mit einem Discovery-Dienst, also minimalem Overhead, genutzt werden (vgl. Abschnitt 6.4). Alternativ existieren verschiedene Plattformen, die OPC UA unterstützen und zusätzliche Funktionalitäten neben dem Discovery bereitstellen.

²⁷ Foto: M. Gebhard, MMI; F. Heinze, RIF

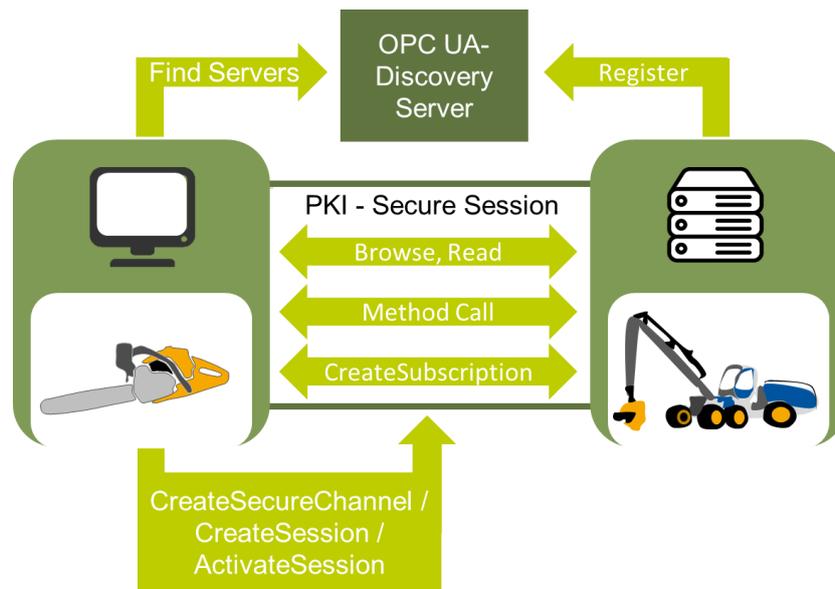


Abbildung 7-4 Schematische Vernetzung zweier Maschinen mittels OPC UA

Um bei der Vernetzung von Maschinen herstellerübergreifende Interoperabilität zu erreichen, müssen Standards für die Datenmodellierung umgesetzt werden. Dabei müssen bestehende Datenformate und -standards berücksichtigt und Kompatibilität soweit wie möglich sichergestellt werden (vgl. Abschnitte 6.2.3 und 6.2.4). In diesem Zusammenhang kann man sich am Einsatz von OPC UA in anderen Branchen inspirieren lassen. Die Spezifikation von OPC UA sieht domänenspezifische Erweiterungen vor, in denen die Datenmodellierung für forstspezifische Größen standardisiert werden können. Hier sieht das KWH4.0 konkreten Handlungsbedarf.

Im Rahmen des gamifizierten Smart Forest Labs existieren verschiedene modellhafte Forstmaschinen, die mit Kommunikationsschnittstellen, Sensorik und Aktorik zu Wald und Holz 4.0-Komponenten ausgebaut wurden (siehe Abschnitt 9.2).

7.4 Geodaten

Geobasis-/Geofachdaten sollen im Rahmen von WH4.0 in erster Linie in Form von Diensten in die Gesamtarchitektur eingebunden werden. Dazu empfiehlt das KWH4.0 die Nutzung von Standard-Webchnittstellen gemäß Spezifikation des Open Geospatial Consortium (OGC)²⁸. Zentrale Spezifikationen sind hierbei der Web Map Service (WMS), der Web Map Tile Service (WMTS) sowie der Web Feature Service (WFS).

Die für viele WH4.0-Prozesse notwendigen Geobasisdaten werden von den „Landesvermessungsämtern“ routinemäßig erhoben (siehe Abbildung 7-5). Z.B. in NRW stehen die Daten über die Open Data-Initiative des Landes NRW²⁹ zur Verfügung. Berechnungsdienste, Endanwender-Apps oder Digitale Zwillinge können die Daten integrieren und für Berechnungen oder die Darstellung nutzen. Andersherum können sie auch selbst WMS-/WMTS-/WFS-Schnittstellen anbieten, um ihre Geodaten Standard-konform für Drittsysteme bereitzustellen.

²⁸ <http://www.opengeospatial.org/>

²⁹ <https://www.geoportal.nrw/>

Land	Luftbilder			LIDAR				Open Data				Kosten je km ²		
	Auflösung RGB	Auflösung IR	Wiederholung	Punkte/m ²	DGM Raster	DOM Raster	Wiederholung	Alle Daten	Luftbilder	Luftbilder reduziert	LIDAR	LIDAR reduziert	Luftbild	LIDAR
Baden-Württemberg	0,1m	0,1m	?	0,8-4	1m	1m	?	-	-	-	-	-	36 €	80 €
Bayern	0,2m	0,2m	2 Jahre	1-4	1m	0,4m	?	-	-	80cm	-	50m	6 €	80 €
Berlin	0,2m	-	1 Jahr	-	1m	1m	?	X	0,2m	-	1m	-	-	-
Brandenburg	0,2m	0,2m	3 Jahre (?)	-	1m	-	(bDOM)	-	-	-	-	-	12 €	60 €
Bremen	0,1m	0,1m	?	X	1m	1m	?	-	-	-	-	-	?	?
Hamburg	0,2m - 0,4m	0,2m - 0,4m	1 Jahr	-	1m	-	?	-	-	-	-	-	?	?
Hessen	0,2m	0,2m	2 Jahre	>=4	1m	1m	6 Jahre ?	-	-	-	-	-	9 €	100 €
Mecklenburg-Vorpommern	0,1m - 0,2m	0,1m - 0,2m	1 Jahr (?)	-	1m	1m	?	-	-	-	-	-	?	?
Niedersachsen	0,2m	0,2m	3 Jahre (?)	>=4	1m	1m	?	-	-	-	-	-	9 €	30 €
Nordrhein-Westfalen	0,1m	0,1m	3 Jahre	1-4	1m	-	6 Jahre	X	0,1m	-	1m	-	-	-
Rheinland-Pfalz	0,2m	0,2m	2 Jahre	4	1m	-	9 Jahre	-	-	0,4m	-	25m nur DGM	15 €	100 €
Saarland	0,2m	0,2m	1 Jahr (?)	<4	0,25m	0,25m	-	-	-	-	-	-	?	?
Sachsen	0,2m	0,2m	?	-	1m	2m	?	-	-	-	-	-	9 €	130 €
Sachsen-Anhalt	0,2m	0,2m	2 Jahre	3-5	1m	10m	?	-	-	1m	-	100m	9 €	80 €
Schleswig-Holstein	0,2m	0,2m	5 Jahre (?)	-	1m	-	?	-	-	-	-	-	9 €	80 €
Thüringen	0,2m	0,2m	2 Jahre	4	1m	1m	4 Jahre	X	0,2m	-	1m	-	-	-

Abbildung 7-5: Übersicht der Verfügbarkeit von Geodaten in den Bundesländern (Stand Juli 2019)

7.4.1 Web Map Service (WMS)

Über WMS-Dienste³⁰ können bildhafte Daten wie thematische Karten (z.B. Digitale Topographische Karte, DTK) oder Geobasisdaten (z.B. Digitales Orthophoto, DOP) bereitgestellt und angebunden werden. Ein WMS kann das georeferenzierte Bildmaterial intern als vorgerasterte Bilddaten (aus Dateien oder einer Datenbank) vorhalten oder live über Kartenbeschreibungen (z.B. definiert über Styled Layer Descriptor (SLD)³¹) aus einer Datenquelle (insb. Geography Markup Language (GML)³²-Dateien oder -Datenbankinhalten) erzeugen.

Folgende Anfragen können über HTTP POST oder HTTP GET an den Dienst gestellt werden:

- GetCapabilities – Abruf von Metadaten des Dienstes, z.B. Dienstanbieter sowie angebotene Layer, Datenformate oder Koordinatensysteme.
- GetMap – Abruf der georeferenzierten Bilddaten unter Angabe von Koordinatenausschnitt, Format etc.
- GetFeatureInfo – Schnittstelle zum Zugriff auf Metadaten zu Objekten an einer Kartenposition.

7.4.2 Web Map Tile Service (WMTS)

Ähnlich dem WMS liefert ein WMTS³³ Rasterdaten. Diese müssen aber nicht zwingend bildhaft sein. Zudem besteht der Unterschied zum WMS darin, dass die Daten in vorprozessierter Kachelung bereitgestellt und ausgeliefert werden, wohingegen ein WMS die Daten jeweils für den gewählten Kartenausschnitt aufbereitet und bereitstellt. Dadurch kann der WMTS gerade bei umfangreichen (hochauflösenden) Daten deutlich schneller antworten, weil nur vorliegende Datensätze ausgeliefert werden müssen. Nachteil ist, dass thematische Karten nicht live aus einer Kartenbeschreibung erzeugt werden können.

Folgende Anfragen können über HTTP POST oder HTTP GET an den Dienst gestellt werden:

- GetCapabilities – Abruf von Metadaten des Dienstes, z.B. Dienstanbieter sowie angebotene Layer, Datenformate oder Koordinatensysteme.
- GetTile – Abruf der georeferenzierten Rasterdaten-Kacheln
- GetFeatureInfo – Schnittstelle zum Zugriff auf Metadaten zu Objekten an einer Kartenposition

³⁰ <http://www.opengeospatial.org/standards/wms>

³¹ <http://www.opengeospatial.org/standards/sld>

³² <http://www.opengeospatial.org/standards/gml>

³³ <http://www.opengeospatial.org/standards/wmts>

7.4.3 Web Feature Service (WFS)

Anders als WMS oder WMTS wird ein WFS zur Bereitstellung und Auslieferung von Features, d.h. vektoriiellen Daten inkl. Sachdaten, genutzt. Dazu wird insbesondere das GML-Format als Datenaustauschformat genutzt. Je nach Umsetzung können Daten auch in anderen Formate angefragt und ausgeliefert werden, z.B. ESRI® Shapefile³⁴ oder Comma-separated values (CSV). WFS-Dienste werden oftmals als einheitliche, Dienst-basierte Schnittstelle für Geodatenbanken genutzt. WFS-Dienste können nicht nur Daten bereitstellen, sondern auch empfangen und so die zugehörige Datengrundlage fortführen. In diesem Fall spricht man auch von einem transaktionalen WFS (WFS-T).

Insbesondere folgende Anfragen können über HTTP POST oder HTTP GET an den Dienst gestellt werden:

- GetCapabilities – Abruf von Metadaten des Dienstes, z.B. Dienstanbieter oder angebotene Operationen.
- DescribeFeatureType – Abruf der Schemabeschreibungen zu angebotenen Feature-Typen.
- GetFeature – Abruf von Feature-Daten, insbesondere unter Angabe OGC-konformer Filter³⁵
- Transaction – WFS-T können hierüber die Fortführung von Feature-Daten (Einfügen, Entfernen, Aktualisieren) anbieten
LockFeature – WFS-T können hierüber das Sperren von Feature-Daten für andere Transaktionen erwirken.

7.5 Dienste

Im Mittelpunkt dieses Abschnitts steht die Integration von Softwarediensten (Datenverarbeitungs-, Visualisierungs-, Simulations- und Bewertungsalgorithmen usw., siehe „Dienste“-Layer in Abbildung 6-9) in ein WH4.0-System. Darüber hinaus wird untersucht, inwiefern neue Softwaredienste für die Smart Forest Labs realisiert werden müssen. Konkret werden hier als erste Beispiele Dienste aus den Ergebnissen des Projekts ClusterWIS³⁶ und erste spezielle WH4.0-Dienste skizziert. An dieser Stelle erwartet das KWH4.0 weitere neuartige Dienste, die auch von weiteren Stakeholdern bereitgestellt werden. Für diese wird ein geeignetes Kommunikationsprotokoll erarbeitet, welches eine Einbettung dieser Dienste in WH4.0-Systeme ermöglicht (siehe auch Abschnitt 6.4).

7.5.1 Baumartenklassifikations-Dienst

Der Baumartenklassifikations-Dienst implementiert ein neuartiges lokales Baumartenklassifizierungsverfahren und nutzt dabei vorgegebene Beispielpunkte (Benutzervorgabe oder auch beispielsweise hinterlegte Inventurdaten), um für die übrigen Punkte zu entscheiden, welcher Klasse, hier welcher Baumart, sie angehören³⁷. Dem ClusterWIS-Dienst werden der Flächenumring sowie die Stichproben übermittelt (Abbildung 7-6). Als Antwort liefert er die georeferenzierte Baumartenkarte der betreffenden Fläche. Parallel dazu baut der Dienst intern eine globale Baumartenkarte auf.

³⁴ <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>

³⁵ <http://www.opengeospatial.org/standards/filter>

³⁶ Als Ergebnis des EU-geförderten (OP EFRE) Vorhabens ClusterWIS entstand eine Infrastruktur für die Vernetzung im Cluster Wald und Holz. Ziel war eine dezentrale Kommunikationsinfrastruktur zur sicheren Kommunikation von forstlichen Akteuren untereinander und mit Softwarediensten. ClusterWIS kann als Vorstufe zu den WH4.0-Entwicklungen gesehen werden. In diesem Kontext ist zudem das ClusterWIS-Protokoll als Alternative zu z.B. OPC UA entstanden. Auf Basis dieser Infrastruktur entstanden zudem diverse fachliche Dienste, die im Folgenden beschrieben werden und alle über das ClusterWIS-Protokoll angebunden werden. Darüber hinaus entstanden allgemeine Dienste zur Erzeugung von Karten, Berichten oder Rechnungen sowie ein Cloud-Speicher-Dienst, die ebenso über das ClusterWIS-Protokoll eingebunden werden können.

³⁷ Die Idee einer lokalen Klassifizierung gegenüber einer Klassifizierung auf Ebene von großflächigen Regionen oder sogar ganzen Bundesländern ist dabei, dass der Variantenreichtum und damit die Bandbreite spektraler Eigenschaften innerhalb der Vertreter einer Baumart sehr viel geringer ist, da Bäume einer Baumart innerhalb einer Abteilung zumeist sehr ähnliche Voraussetzungen haben. Dadurch kann die Anzahl der erforderlichen Beispielpunkte erheblich reduziert werden.



Abbildung 7-6: Umring und Stichproben als Eingabedaten der Baumartenklassifikation (links) und ihr Ergebnis (rechts)³⁸

7.5.2 Bestandesinventurattribute-Dienst

Der Dienst zur Bestandesattribuierung bestimmt direkt aus den Fernerkundungsdaten Bestandesoberhöhe und Bestockungsgrad. Die Ertragsklasse kann über multitemporale LIDAR-Daten geschätzt werden. Basierend auf diesen Daten können die weiteren Parameter wie Mittelhöhe, Vorrat, Stammzahl oder BHD errechnet werden. Dem ClusterWIS-Dienst wird der Flächenumring übermittelt. Intern nutzt er die Baumartenkarte sowie das normalisierte digitale Oberflächenmodell (nDOM) aus der Laserbefliegung, das die Baumhöhen wiedergibt, und berechnet daraus Baumartenzeilen, die im ForestGML-Format (siehe Abschnitt 6.2.3) zurückgeliefert werden.

7.5.3 Fortschreibungs-Dienst

Der Fortschreibungs-Dienst nutzt die Zusammenhänge der Tafelwerke, um Baumartenzeilen (Bestandesinventurattribute) fortzuschreiben. Als Eingabe erwartet der ClusterWIS-Dienst Baumartenzeilen im ForestGML-Format sowie die Anzahl der Jahre, als Ausgabe liefert er die fortgeschriebenen Baumartenzeilen.

7.5.4 Einzelbaum-Dienst

Dieser Dienst berechnet Einzelbäume (Abbildung 7-7) aus LiDAR-Daten. Dem ClusterWIS-Dienst wird dazu wiederum der Flächenumring übergeben. Intern nutzt auch er die Baumartenkarte sowie das nDOM aus der Laserbefliegung und berechnet daraus Einzelbaumdaten, die im ForestGML-Format zurückgeliefert werden.

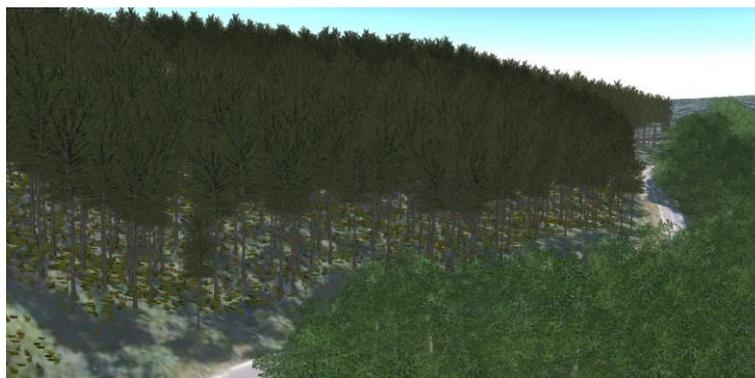


Abbildung 7-7: Einzelbaummodell eines Waldbestandes³⁹

³⁸ verwendete Luftbilder: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

³⁹ Screenshot ClusterWIS Desktop-Anwendung, verwendete Geodaten: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

7.5.5 Waldeinteilungs-Dienst

Häufig stellen große oder nicht nach bewuchsmäßigen Kriterien gebildete Umringgrenzen Probleme bei der Weiterverarbeitung in anderen Diensten dar. Dieser ClusterWIS-Dienst stellt eine entsprechende Fachfunktion für die Waldeinteilung zur Verfügung (siehe Abbildung 7-8)⁴⁰. Eingabe ist das Original-Flächennetz als Shapefile, Ausgabe das entsprechend aufgeteilte Flächennetz (ebenfalls als Shapefile).

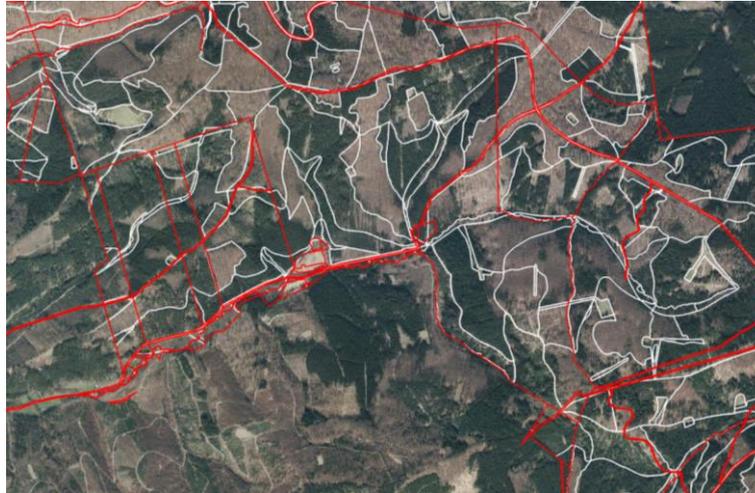


Abbildung 7-8: Beispielergebnis des Dienstes Waldeinteilung (orig. Flurstücke in rot, ATKIS-basierte Aufteilung in weiß)⁴¹

7.5.6 SILVA-Dienst

Dieser Dienst stellt Fachfunktionen für die Auswertung waldplanerischer Größen der TU München (Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Prof. Pretzsch) bereit. Dazu zählen Auswertungen wie die Biodiversität oder der Artprofilindex. Eingabe des ClusterWIS-Dienstes sind der Flächenumring sowie die Angabe der gewünschten Auswertungen. Als Ergebnis liefert er die entsprechenden Diagramme als Bilddateien aus.

7.5.7 Näherungsalarm-Dienst

Dieser Dienst erhöht die Arbeitssicherheit bei der gemeinsamen Arbeit von Forstmaschinen und Waldarbeitern, aber auch weiteren Akteuren. Dazu melden die beteiligten Digitalen Zwillinge regelmäßig ihre Position an den Dienst. Dieser prüft bei jedem Update, ob Sicherheitsabstände zwischen Paaren von Assets oder Akteuren unterschritten werden. Tritt der Fall ein, so meldet der Dienst einen entsprechenden Alarm für das betroffene Paar. Dies soll insbesondere Waldarbeiter bei Hiebsmaßnahmen in unübersichtlichem Gelände vor Unfällen schützen. Ein konkretes Anwendungsbeispiel dieses prototypischen Dienstes wird in Abschnitt 9.2.2 gezeigt.

7.6 Endanwender-Software

Neben den Diensten müssen auch bestehende Softwaresysteme wie z.B. ERP in WH4.0-Systeme integriert werden können. Bzgl. dieser Systeme wird untersucht, wie diese als WH4.0-Mensch-Maschine-

⁴⁰ Grundlage der Waldeinteilung ist dabei das Konzept der Flächenauffüllung. Dabei werden größere, aufzuteilende Flächenobjekte mit einem Layer mit kleineren, fachlich sinnvollen Flächenobjekten verschnitten. Eine geeignete Grundlage dafür sind ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem)-Daten *Tatsächliche Nutzung Objektart Wald* (AX_Wald) sowie *Gehölz* (AX_Gehoelz). Als Eingabegröße werden typischerweise ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem)-Flurstücke genutzt. Diese werden gegen die ATKIS-Daten verschnitten. Bleiben „Löcher“ übrig, d.h. Bereiche in den Flurstücken, an denen keine ATKIS-Daten vorliegen, so werden diese mit der verbleibenden Restfläche der Flurstücke aufgefüllt, so dass insgesamt ein überlappungsfreies, deckendes Flächennetz entsteht. Vorteil ist, dass die Flächen insgesamt kleiner und dadurch handhabbar werden und dass die ATKIS-basierten Flächen im Gegensatz zu den ALKIS-Flurstücken bewuchsbezogene Grenzen aufweisen, wodurch weitere Verfahren wie die Berechnung von Bestandesinventurattributen fachlich sinnvollere Ergebnisse liefern können.

⁴¹ verwendete Luftbilder: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

Systeme in WH4.0-Systeme integriert werden können. Hierbei müssen bereits bestehende Kommunikations- und Datenformatstandards berücksichtigt werden und die in Bezug auf für WH4.0-Systeme relevante Funktionalität in WH4.0-MMS überführt werden. Konkret werden hier aktuell Anwendungen aus den Ergebnissen des Projekts ClusterWIS, erste Demonstratoren aus dem KWH4.0-Kontext sowie existierende Anwendungen mit Bezug zu den Ideen von WH4.0 dokumentiert. Darüber hinaus existieren bereits zahlreiche Anwendungen im Kontext von Wald und Holz, die auf unterschiedlichste Herausforderungen fokussieren und diese mit Software-Anwendungen in Form von Plattformen oder Datenverarbeitungsmechanismen lösen. Auch hier werden einzelne Lösungen beispielhaft vorgestellt. Diese Liste könnte zukünftig kontinuierlich erweitert werden.

7.6.1 Smartphone-Apps für Waldbesitzer und Dienstleister

Mobile Apps ermöglichen oftmals den Zugriff auf Infrastrukturen von unterwegs. Waldbesitzer können darüber z.B. mit ihrem Dienstleister kommunizieren oder Dienste wie die Baumartenklassifikation nutzen. Insgesamt ermöglicht das gezeigte Beispiel eine „Forsteinrichtung Light“ (Abbildung 7-9, links). Eine weitere App für Forstwirte ermöglicht den Mitarbeitern eines Forstunternehmers, Informationen zur geplanten Maßnahme mitzunehmen, im Kontakt mit ihrem Chef zu bleiben, den Flächenabschluss zu protokollieren und diesen an das Büro zu übermitteln. Die ELDATsmart-App erlaubt die Erfassung ELDATsmart-konformer Dokumente (Abbildung 7-9, rechts).

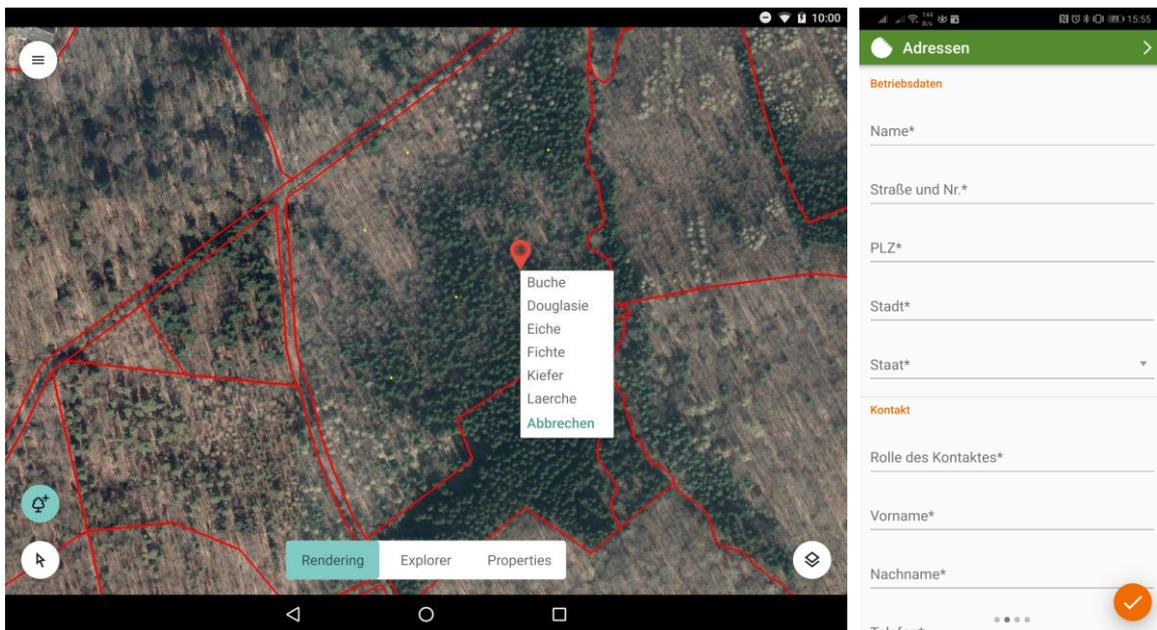


Abbildung 7-9: Mobile „Waldbesitzer“ App und „ELDATsmart“ App von ClusterWIS⁴²

7.6.2 Desktop-Anwendungen für Einrichtung, Information und Planung

Diese Desktop-Anwendungen unterstützen in verschiedensten Anwendungsfeldern (Beispiele siehe Abbildung 7-10). Die Anwendung „Waldinformation“ erlaubt den grundlegenden Zugriff auf forstliche Informationen sowie deren Auswertung und bietet Entscheidungsunterstützung für Fördermaßnahmen. Die Anwendung „Forsteinrichtung“ integriert die Prozesse der Forsteinrichtung in übergeordnete Wertschöpfungsketten, so dass hierüber integrierter Datenaustausch und Kommunikation betrieben werden kann. Ebenso verhält es sich mit der Anwendung „Waldplanung“, die insbesondere Methoden der Waldwachstumssimulation (SILVA, TU München) integriert. Die Anwendung zur Produktionspla-

⁴² verwendete Luftbilder: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

nung erlaubt forstlichen Dienstleistern und Einschlagsunternehmen die Planung, Durchführungsunterstützung und Dokumentation von Maßnahmen mit Unterstützung integriert in entsprechende WH4.0-Systeme, über die Nachrichten und Daten sicher ausgetauscht werden können.

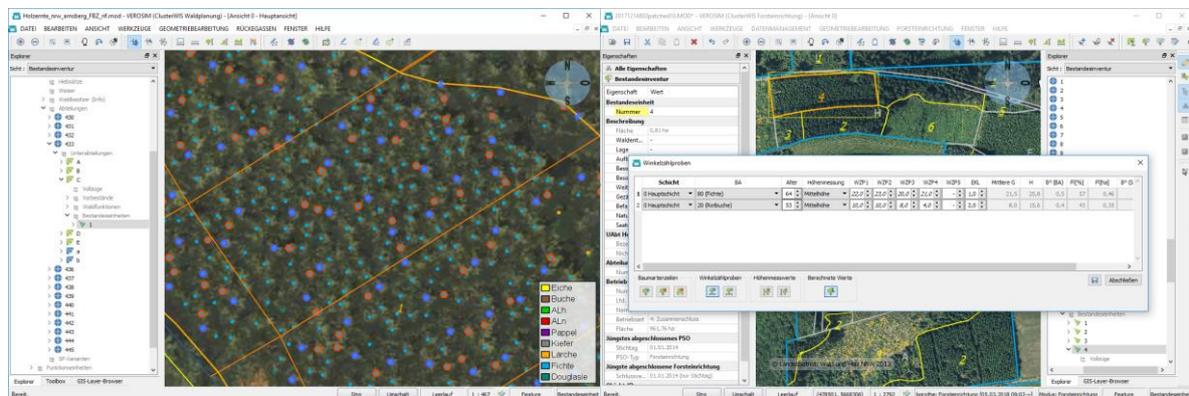


Abbildung 7-10: ClusterWIS Desktop-Anwendung „Waldplanung“ und „Forsteinrichtung“⁴³

7.6.3 Webanwendungen für Browser-gestützten Datenaustausch

Schlussendlich bietet eine Webanwendung ein Portal für alle Akteure, über das Browser-gestützt ebenso ClusterWIS-konform kommuniziert, Daten ausgetauscht, Dienste in Anspruch genommen oder eine Marktplatz-Funktion genutzt werden können.

7.6.4 Datenaustausch Sägewerk – Harvester

In diesem KWH4.0-Demonstrator nutzt der Sägewerksmitarbeiter eine Desktop-Applikation, in die er die gewünschten Parameter des Holzes einträgt. In einer Tabelle kann die Baumart, die Qualität des Holzes, die Länge sowie die Menge angegeben werden. Die Daten werden als Auftrag per OPC UA (vgl. Abschnitt 6.2.2.1) direkt an den Digitalen Zwilling des Harvesters übermittelt. Der Auftrag wird dabei über das in Abschnitt 6.2.4 beschriebene Datenmodell abgebildet, damit er vom DZ Harvester interpretiert werden kann. Eine Anwendung des Demonstrators wird in Abschnitt 9.2.5 beschrieben.

7.6.5 Rettungswarte

Damit ein verunglückter Waldarbeiter automatisch gemeldet wird, wird ein Notrufsignal direkt an die Rettungswarte geschickt. Der Notruf wird ausgelöst, wenn der Puls des Waldarbeiters zu gering ist. Über „The Things Network“ wird das Signal mittels LoRa-Funk übertragen. Die KWH4.0-Demonstratoranwendung in der Rettungswarte fragt die Daten beim „The Things Network“ ab und zeigt eingehende Notrufe an (Abbildung 7-11).

⁴³ verwendete Luftbilder: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

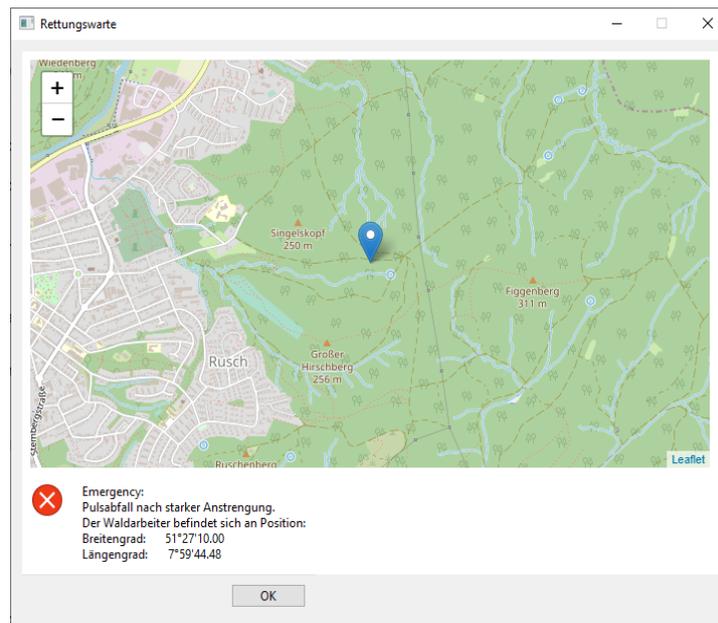


Abbildung 7-11: Eintreffender Notruf in der Rettungswarte mit Position und Unfallbeschreibung⁴⁴

Ein zugehöriges Szenario wird in Abschnitt 9.2.4 gezeigt.

7.6.6 FOVEA

FOVEA⁴⁵ ermöglicht eine digitale Holzinventur. Der Anwender nutzt die Software als Applikation auf seinem mobilen Endgerät. Innerhalb der Anwendung nimmt der Benutzer Bilder vom Holzpolter auf, die den Polter frontal zeigen. Mit Hilfe von Bildverarbeitungstechnologien werden die Konturen der einzelnen Baumstämme bestimmt, sodass die Durchmesser und die Anzahl der Stämme bestimmt werden können. Für das Volumen wird die Länge der Stämme entweder manuell eingegeben oder per Bilderkennung bestimmt. Die Vermessung von Industrieholz oder Holz auf einem Lkw ist so ebenfalls möglich. Auf dem mobilen Gerät können die Daten direkt als PDF-Datei exportiert werden. Die GPS-Daten der Vermessungen werden ebenfalls aufgenommen und können mit weiteren „Point of Interest“, wie beispielsweise Hochsitzen, Windbrüchen oder Rettungspunkten, erweitert werden. Die mobile Applikation wird durch ein Forst-Management-System ergänzt, welches online zur Verfügung steht. Die Daten der mobilen Applikation können mit einem manuellen Datenabgleich in das Management-System hochgeladen und verwaltet werden. In dem Forst-Management-System stehen außerdem Tools zur Holzinventur sowie Rechnungsstellungen oder der Berechnung von Holzpreisen zur Verfügung.

7.6.7 LogBuch

LogBuch⁴⁶ ist eine Applikation zur Bestandsaufnahme im Wald. Mit einem mobilen Endgerät werden Bestandsdaten per Audio aufgenommen. Hierbei kann ein Bluetooth-Button dazu genutzt werden, um die Aufzeichnung direkt auszulösen. Er kann beispielsweise an einer Sprühdose montiert werden, sodass mit Betätigung der Sprühdose eine Aufzeichnung gestartet wird. Der Standort der Audio-Aufnahmen wird über die Applikation hinzugefügt. Zum GPS-Empfang bietet LogBuch einen GPS-Verstärker. Die Umwandlung des gesprochenen Worts in Text erfolgt im Hintergrund, wenn die Daten in die LogBuch-Cloud geladen werden. Wörter wie „Zukunftsbaum“, „Kalamität“ oder Baumartenbezeichnungen werden erkannt, sodass die Daten direkt kategorisiert werden. In einer Web-Oberfläche werden die aufgenommenen Daten eingesehen und bearbeitet. Um die Daten an Auftragnehmer oder andere

⁴⁴ Screenshot Leaflet, Kartendarstellung © OpenStreetMap-Mitwirkende, opendatacommons.org

⁴⁵ <https://fovea.eu>

⁴⁶ <https://logbuch.xyz>

Kontakte weiterzuleiten, können diese in übliche Formate wie Excel, GeoJSON oder Shapefile exportiert werden. In Abbildung 7-12 sind die Anwendungen von LogBuch in der Struktur der Abbildung 6-9 dargestellt.

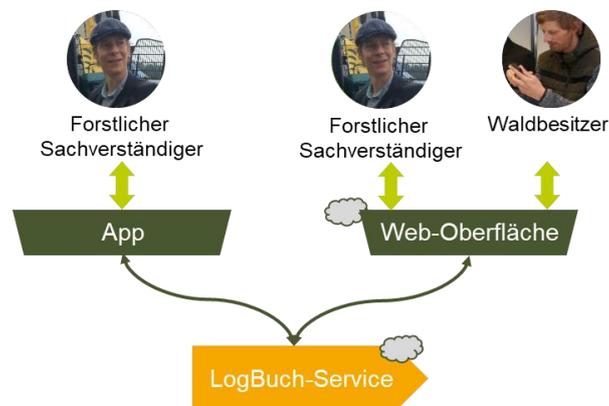


Abbildung 7-12: LogBuch als Dienst im Cluster Wald und Holz⁴⁷

7.7 Visualisierungs- und Interaktionssysteme

Neben der Entwicklung „smarter“ Dienste, Sensoren, Aktoren und Maschinen und deren Integration über geeignete M2M-Kommunikationsstrukturen ist ein Aspekt von WH4.0 die geeignete Interaktion des Menschen mit seiner technisierten Umgebung. Hierzu werden neben der in vorstehendem Kapitel genannten Endanwender-Software geeignete Visualisierungs- und Interaktionssysteme identifiziert und deren Integration in den Arbeitsalltag untersucht. Bestehende Kommunikations- und Datenformatstandards müssen berücksichtigt werden und deren relevante Funktionalität in WH4.0-Mensch-Maschine-Systeme überführt werden. Auf diese Weise werden mehr Informationen zugänglich und neue Interaktionen zwischen Mensch und Maschine möglich. Im Folgenden werden erste konkrete Visualisierungs- und Interaktionssysteme für Wald und Holz 4.0 erläutert.

7.7.1 Erweiterte Realität (AR) mit Datenbrille (HMD)

Neben einfachen Datenbrillen (HMD, Head-Mounted Display, „kopfgetragene Anzeige“), die beispielsweise ortsbezogene oder kontextuelle Informationen ins Blickfeld ihres Benutzers einblenden können (z.B. Google Glass⁴⁸, Datenbrillen von Vuzix⁴⁹), etablieren sich bereits umgebungsbewusste Brillen wie die Microsoft HoloLens⁵⁰. Solche Brillen sind dazu in der Lage, ein geometrisches und semantisches Modell ihrer Umgebung aufzubauen und sich darin zu orientieren, was es ihnen ermöglicht, zusätzliche Informationen oder ganze virtuelle Objekte ortsfest „im realen Raum“ oder sogar an beweglichen Gegenständen zu platzieren. Hierdurch lassen sich Informations- und Assistenzsysteme realisieren, die sich auch dadurch auszeichnen, dass beide Hände im Betrieb der Brille frei bleiben können. Da diese HMDs vollwertige Computer darstellen und über kabellose Schnittstellen verfügen, können sie auch in Echtzeit mit Daten versorgt werden und so Sensor- oder Maschinendaten anzeigen oder als Eingabe- und Interaktionsgerät fungieren. In Abbildung 7-13 ist eine Anwendung gezeigt, die anhand des gamifizierten Smart Forest Labs die über verschiedene IoT-Schnittstellen zur Verfügung gestellten Daten von Maschinen sowie den Gesundheitszustand aktiver Waldarbeiter visualisiert. Die in Abbildung 7-14 gezeigte HoloLens-Applikation unterstützt bei der ertragsoptimierten motormanuellen Holzernte.

⁴⁷ Fotos: A. Böhm, RIF (2x)

⁴⁸ <https://www.google.com/glass/start/>

⁴⁹ <https://www.vuzix.com/>

⁵⁰ <https://www.microsoft.com/de-de/hololens>



Abbildung 7-13 Die HoloLens-App bezieht ihre Daten zum dargestellten gamifizierten Smart Forest Lab (s. Abschnitt 9.2) über verschiedene Schnittstellen in Echtzeit aus den angeschlossenen Maschinen und zeigt sie im Blickfeld des Benutzers an⁵¹



Abbildung 7-14 Die HoloLens ermöglicht es, die Ertragsunterschiede je nach Wahl der Einteilung eines Baumstamms zu visualisieren. Rechts ist eine zusammenfassende Ansicht gezeigt, die dem Nutzer auch seinen Standort entlang des Stamms anzeigt⁵²

Eine Beispielanwendung zeigt Abschnitt 9.2.6.

7.7.2 Smartphone-basierte AR

Im Gegensatz zu HMDs sind Smartphones heutzutage praktisch allgegenwärtig. Sind diese mit einer Reihe von Komponenten (Kamera und Bewegungssensoren) ausgestattet, ermöglichen spezielle Bibliotheken wie ARCore⁵³ von Google (für Android-Smartphones) in vielen Fällen ebenfalls die Anwendung von AR. Durch den Nachteil, dass mindestens eine Hand für das Halten und die Bedienung des Geräts benötigt wird, verschließen sich einige Anwendungsfelder. Für diese Interaktionsform sprechen wiederum die niedrigere Anschaffungshürde und der mittlerweile gewohnte Umgang mit dieser Art Gerät sowie die verhältnismäßig genaue manuelle Eingabe. Auch hier ist die Konnektivität durch die Unterstützung verschiedener Kommunikationswege von Mobilfunk bis Nahfeldkommunikation (NFC) gegeben, wodurch beispielsweise die zur in Abbildung 7-13 gezeigten Funktionalität analoge Anwendung möglich ist (Abbildung 7-15).

⁵¹ Fotos: A. Böhm, RIF; T. Cichon, MMI

⁵² Fotos: A. Atanasyan, MMI

⁵³ <https://developers.google.com/ar/>



Abbildung 7-15 Die im Rahmen des gamifizierten Smart Forest Labs (Abschnitt 9.2) vorgestellte AR-App zeigt hier die Position und Betriebsdaten einer Forstmaschine an⁵⁴

Eine Beispielanwendung zeigt Abschnitt 9.2.6.

7.7.3 Sprachassistent

Eine verbale Kommunikation wird durch Sprachassistenten ermöglicht. Ein Beispiel ist der Google Sprachassistent, der automatische Spracherkennung durchführt und eine Plattform zur Programmierung des Assistenten bietet. Bei der Programmierung werden zum einen die Fragen und Aussagen, auf die der Assistent reagiert, festgelegt, zum anderen, welche Antworten der Assistent bei der entsprechenden Frage gibt und wo er die entsprechenden Daten anfordert. Möglich sind Daten, die fest programmiert werden aber auch die Angabe von APIs oder Broker, von denen Daten abgefragt werden. Das Backend ist hier frei programmierbar, sodass im Allgemeinen alle Daten, die digital zugänglich sind, als Antwort möglich sind.

Eine Beispielanwendung zeigt Abschnitt 9.2.6.

7.7.4 Dashboard

In einem Dashboard (englisch für Armaturenbrett) werden die wichtigsten Informationen zusammengefasst dargestellt, um dem Nutzer einen schnellen Überblick zu gewähren. Dies kann in vielen Anwendungen sinnvoll sein. Betriebsdaten einer Forstmaschine lassen auf ihren Zustand schließen, Auftragslage und Informationen über den Lagerbestand signalisieren Handlungsbedarf im Sägewerk. Dabei lässt sich die klassische, meist Web-basierte „2D“ Variante von einem für WH4.0 ebenso sinnvollen 3D-Dashboard unterscheiden. Abbildung 7-16 zeigt in die beiden Fällen identische Architektur.

⁵⁴ Foto: A. Atanasyan, MMI

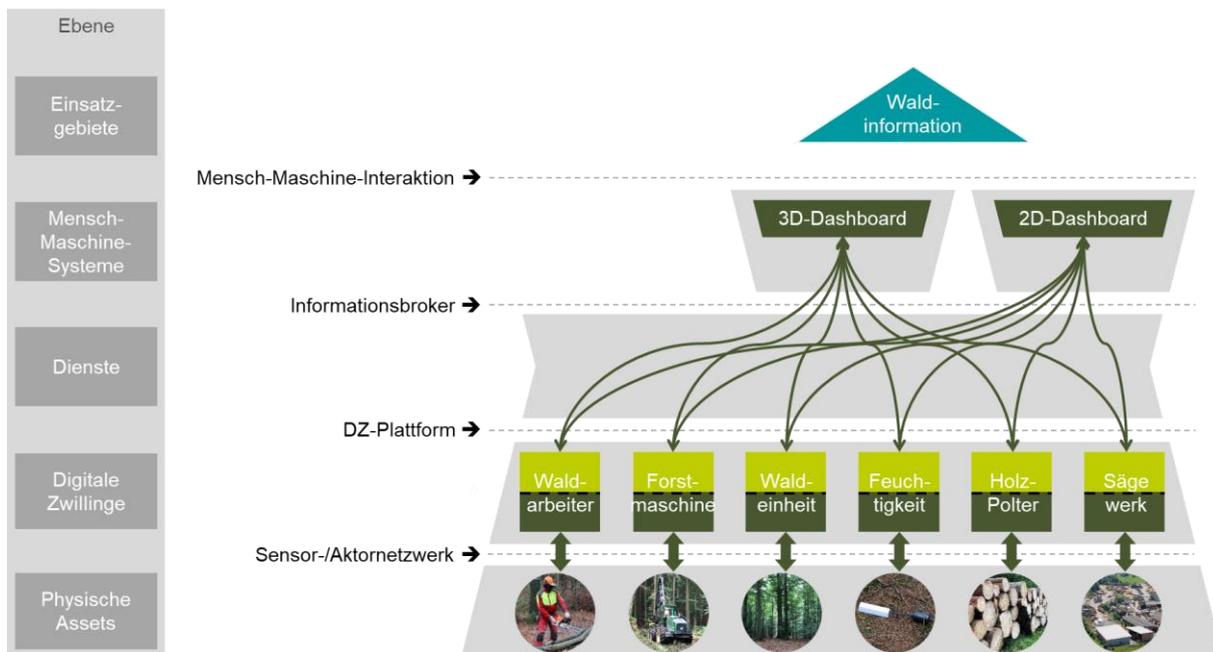


Abbildung 7-16: Architektur für die Einbindung von Dashboard-Technologien in Wald und Holz 4.0⁵⁵

Abbildung 7-17 zeigt ein beispielhaftes 2D-Dashboard mit Betriebsdaten und Positionen von Forstmaschinen, Messwerte von Umweltsensoren und die daraus abgeleitete Befahrbarkeit von Rückegassen. Die aktuelle Auftragslage eines Harvesters und der Gesundheitszustand der aktiven Waldarbeiter ist ebenfalls ersichtliche.



Abbildung 7-17: Beispielhaftes (2D-)Dashboard mit Maschinen-, Auftrags- und Umweltdaten

⁵⁵ Fotos (v. l.): A. Böhm, RIF; F. Heinze, RIF; S. Wein, WZL; A. Böhm; S. Wein; Michael Lorenzet / pixelio

Über die reine Information hinaus lassen sich auch Interaktionen in Dashboards integrieren, beispielsweise die Möglichkeit, dem Harvester zusätzliche Aufträge zuzuweisen oder den Waldarbeitern Nachrichten zu schreiben. Derartige 2D-Dashboards werden typischerweise mit Web-basierten Technologien umgesetzt. Ein bekannter Anbieter-unabhängiger Vertreter ist Node-RED⁵⁶, der für den Prototypen des KWH4.0 genutzt wird. Auf der anderen Seite bieten die Betreiber von Cloud-Plattformen eigene Dashboard-Komponenten.

Eine alternative zum 2D-Dashboard stellt das 3D-Dashboard dar (Abbildung 7-18). Hier werden die 3D-Modelldaten der Digitalen Zwillinge mit ihrer aktuellen Geoposition unmittelbar in der virtuellen Welt dargestellt. Zusätzlich lassen sich weitere Informationen der DZ in Form sogenannter Billboards (Anzeigetafeln) einblenden, z.B. die aktuelle Beladung einer Kranwaage. Insgesamt erlaubt dieser 3D-Ansatz eine sehr intuitive Übersicht über die betrachteten Assets und ihre Umgebung mit Fokus auf die räumliche Ausprägung und Verortung der Assets.



Abbildung 7-18: 3D-Dashboard mit Asset Harvester, Waldarbeiter und Wald

7.7.5 Virtual Reality (VR)-Brille

Mit einer VR-Brille taucht der Nutzer, im Unterschied zu AR, vollständig in die virtuelle Welt ein. Dazu werden die Modelldaten der relevanten Digitalen Zwillinge (Waldbestand, Forstmaschinen etc.) visualisiert. Dies ermöglicht es dem Nutzer zum Beispiel, virtuell über den Wald zu fliegen und das virtuelle Abbild des aktuellen Zustands im realen Wald zu sehen. Diese Immersion gibt einen Einblick in die aktuelle Situation und das Gefühl, live dabei zu sein, während der Mensch tatsächlich weit entfernt sein kann. Neben der Betrachtung des aktuellen Zustands sind Interaktionen mit den jeweiligen Digitalen Zwillingen möglich.

Eine beispielhafte Umsetzung des KWH4.0 erfolgte mit der HTC Vive⁵⁷ (Abbildung 7-19).

⁵⁶ <https://nodered.org/>

⁵⁷ <https://www.vive.com>



Abbildung 7-19 Nutzung von VR-Brillen in Wald und Holz 4.0⁵⁸

7.8 Kommunikationsinfrastruktur

In den vorherigen Abschnitten werden konkrete WH4.0-Komponenten für ausgewählte materielle und immaterielle physische Assets sowie WH4.0-Dienste und -MMS dokumentiert. Dieser Abschnitt überträgt demgegenüber die in Abschnitt 5.7 identifizierten und als geeignet eingestuften Ansätze als Ausgangsbasis zur Realisierung einer Kommunikationsinfrastruktur auf Wald und Holz 4.0. Dafür werden in Abschnitt 6.2 entsprechende Konzepte hinsichtlich Datenworkflow (Wechsel zwischen Off- und Online-Phasen), Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Lokalisierungsmethoden (z.B. mittels UWB) und Mobilität (z.B. mobile LTE Picostation) erweitert, damit eine für WH4.0 geeignete Basis zur Schaffung einer Kommunikationsinfrastruktur entsteht.

Im ersten Schritt ist dabei die Analyse der vorherrschenden Bedingungen bei Witterung und anderen Verhältnissen im Wald vorgesehen. Mittels einer RF-Spektralanalyse und Tests mit verschiedenen Funktechnologien werden Möglichkeiten und Herausforderungen identifiziert und für die nachfolgenden Schritte berücksichtigt. Für eine flächendeckende Netzinfrastruktur werden mehrere 5G/LTE-Picozellen bzw. -Basisstationen aufgebaut, die eine unvollständige Netzabdeckung im Wald kompensieren sollen. Dadurch wird gewährleistet, dass alle Wald und Holz 4.0-Komponenten eine Verbindung zu einer Basisstation haben können. Anschließend werden Mobile Hotspots eingerichtet und entsprechend der Analyse mit geeigneter Funktechnik ausgestattet. Dabei wird zwischen drei Funkklassen unterschieden: Nahfunk für eine unmittelbare Kommunikation zu Netzwerkknoten (z.B. mittels 802.15.1), Weitfunk für die Übertragung von Daten über längere Strecken (z.B. 802.15.4 und 802.11) und LoRa für sehr große Entfernungen. Der hierbei genutzte Frequenzbereich ist im ISM-Band verankert (von 868 MHz bis 2.4 GHz). Weiterhin werden multiple verteilte Netzknöten eingerichtet, die ähnlich zu Sensornetzwerken, weit entfernte Netzknöten mit dem Hauptnetz verbinden. Für die technische Umsetzung der Konzepte für Wald und Holz 4.0 müssen auf unterster Ebene direkt im Wald Mikroprozessoren, Hardware und Sensoren untergebracht werden, die für Datenakquisition, Kommunikation und Steuerung eingesetzt werden, um so „Pervasive Computing“ und die Vernetzung von Komponenten zu realisieren. Das Ergebnis ist der Aufbau einer Kommunikationsinfrastruktur und die technische Ausrüstung des Waldes für die WH4.0-Komponenten.

➔ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Kommunikationsinfrastruktur für WH4.0“.

⁵⁸ Foto: A. Atanasyan, MMI, Screenshot VEROSIM

8 WH4.0-Systeme

Dieser Abschnitt betrachtet die mit WH4.0 verbundene Vision der Realisierung übergreifender und (soweit möglich und sinnvoll) selbstoptimierender Wertschöpfungsketten (siehe z.B. Abbildung 2-1). Die entwickelten Netzwerke und Prozesse können quasi als Schablonen zur Realisierung unterschiedlichster WH4.0-Systeme und -Prozesse genutzt werden. Daher werden hier die jeweils beteiligten WH4.0-Komponenten, -Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme mit den Akteuren in unterschiedlichen Szenarien miteinander integriert und die resultierenden Prozesse in den Smart Forest Labs abgebildet. Ein wesentliches Asset in diesem Netzwerk ist häufig der Wald selbst (hier z.B. ein Waldbestand, zukünftig auch ein einzelner Baum), der über seine Digitalen Zwillinge und damit seine Wald und Holz 4.0-Komponenten zu einem gleichberechtigten Teil im Internet der Dinge und Dienste wird.

➔ *In Kürze folgt hierzu der KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in Wald und Holz 4.0“.*

9 Smart Forest Labs zur Umsetzung von WH4.0

Eine zentrale Komponente zum Erreichen der Ziele der Umsetzungsstrategie Wald und Holz 4.0 ist der Aufbau der Smart Forest Labs. Smart Forest Labs dienen dazu, die abstrakten Darstellungen aus der Umsetzungsstrategie mit Hilfe konkreter Anwendungsbeispiele zu verdeutlichen. Dabei werden Beispiele gezeigt, die das Zusammenspiel verschiedener Technologien zur Lösung aktueller Herausforderungen im Wald- und Holzbereich zeigen. Ebenso bieten die Smart Forest Labs Möglichkeiten, weitere Technologien in die gezeigten Beispiele zu integrieren und liefern eine Entwicklungs-, Test- und Validierungsplattform für neue Produkte, Dienste und Dienstleistungen. Die Nutzung der Smart Forest Labs steht den Clusterakteuren offen.

In diesem Abschnitt werden beispielhafte Umsetzungen für Wald und Holz 4.0 skizziert, die meist unter Nutzung der Smart Forest Labs des KWH4.0 realisiert wurden. Analog zu den Referenzfabriken für Industrie 4.0 sollen sie sich zu Schlüsselkomponenten zur praktischen Umsetzung und Erprobung neu entwickelter Komponenten, Dienste, MMS, Systeme und Prozesse, zur Evaluation der Standards, zur Verbreitung des Konzepts und zur Schulung der Akteure entwickeln. Über die Einbeziehung maßgeblicher physischer (materieller und immaterieller) Assets, Akteure und Prozesse aus dem Cluster Wald und Holz wird technisch wie auch personell ein repräsentativer Querschnitt dieses Clusters abgebildet (siehe Abbildung 9-1). Smart Forest Labs demonstrieren so die Leistungsfähigkeit des WH4.0-Ansatzes in realitätsnahen Referenzumgebungen, an denen alle relevanten Akteursklassen beteiligt sind. Sie machen WH4.0 real erlebbar und verständlich und stehen weiteren Forschungsprojekten zum Test, zur Verifikation und zur Demonstration ihrer Ansätze zur Verfügung und sichern allein hierüber eine wechselseitige Konsistenz der Entwicklungen. Darüber hinaus werden die Smart Forest Labs zum Test auf Standardkonformität und Interoperabilität der neuen Komponenten (Hardware und Software) eingesetzt. Die Nutzung der Smart Forest Labs steht den Clusterakteuren offen.

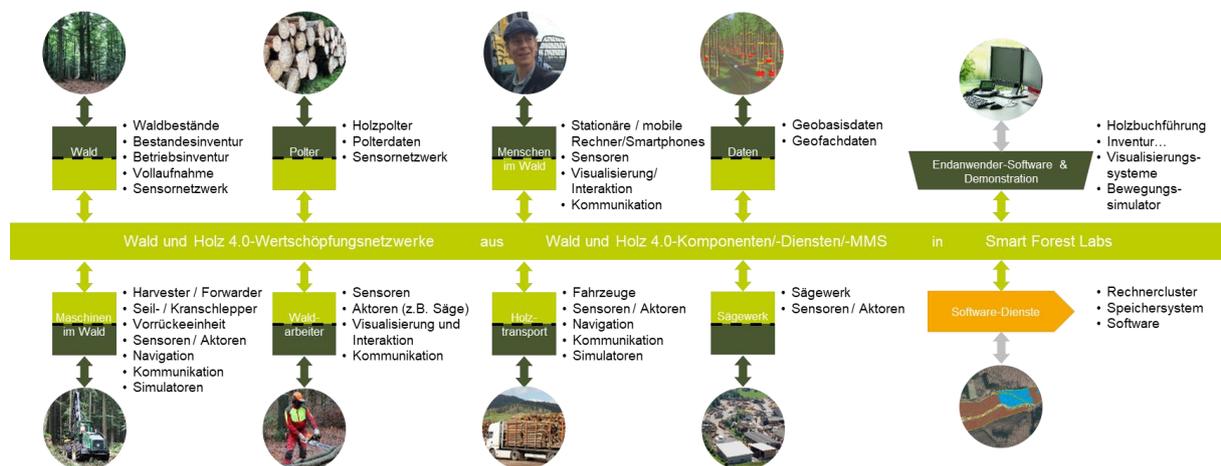


Abbildung 9-1: Beispielhafte WH4.0-Komponenten, -Dienste und -MMS für Smart Forest Labs⁵⁹

Die Smart Forest Labs (SFL) existieren dabei in drei Ausprägungen (Abbildung 9-2): real (rSFL), gamifiziert (gSFL) und virtuell (vSFL). Aus der Perspektive der technischen Architektur (siehe Abbildung 6-9) unterscheiden sich die in diesen drei SFL umgesetzten WH4.0-Systeme nur in ihrer untersten Ebene,

⁵⁹ Fotos: (o.) S. Wein, WZL (2x); A. Böhm, RIF; VEROSIM Screenshot; Rainer Strum / pixelio; (u.) F. Heinze, RIF; A. Böhm, RIF; pixabay; Michael Lorenzet / pixelio; verwendete Luftbilder: Land NRW (2019) dl-de/by-2-0

den Assets. Alle weiteren Ebenen beginnend mit dem Digitalen Zwilling und sind (möglichst weitgehend) identisch, so dass in allen drei Ausprägungen der SFL zielgerichtet neue WH4.0-Systeme entwickelt, getestet und validiert werden können.

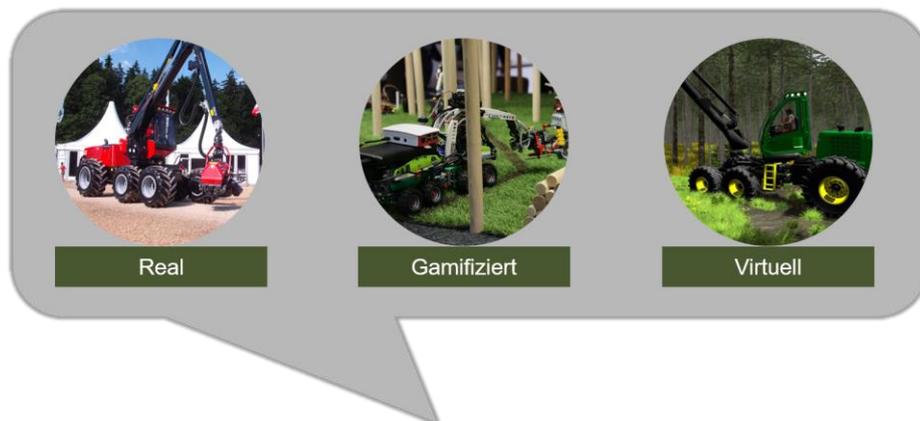


Abbildung 9-2: Die drei Ausprägungen der Smart Forest Labs des Kompetenzzentrums Wald und Holz 4.0⁶⁰

Als Grundlage dient dabei eine reale (Wald-) Umgebung im Umfeld des Forstlichen Bildungszentrums in Arnshausen. Für die relevanten Aspekte dieser Umgebung, z.B.

- Bäume,
- Bestandeseinheiten,
- Waldboden,
- Tiere,
- Waldwege,
- Straßen,
- Häuser,
- ...

wurden bereits bzw. werden noch Digitale Zwillinge entwickelt. In dem betrachteten Weltausschnitt können relevante Prozesse für maßgebliche Stakeholderklassen durchgeführt werden. Beispiele für derartige Klassen sind:

- Waldbesitzer,
- Dienstleister (u. a. Forsteinrichtung),
- Förster,
- Forstunternehmer,
- Holztransporteur,
- Sägewerke und Holz verarbeitende Industrie,
- Verwaltung (Landesbetriebe, Ministerien, Kommunen, Körperschaften),
- Mitarbeiter der genannten Institutionen,
- Jäger,
- Öffentlichkeit allgemein,
- Politik,
- Naturschutz,

⁶⁰ Fotos: RIF (2x), Screenshot VEROSIM

- Touristen,
- Anbieter von Geo- und Umweltdaten,
- Zertifizierungsorganisationen (FSC/PEFC) oder
- Forschungseinrichtungen.

Die Smart Forest Labs in allen drei Ausprägungen werden bzw. sind mit WH4.0-Komponenten, -Diensten und -MMS z.B. bestehend aus

- Diensten,
- Software,
- Sensoren,
- Aktoren,
- Maschinen,
- Visualisierungs- und Interaktionssystemen sowie der
- Kommunikationsinfrastruktur

ausgestattet.

Nach der Festlegung geeigneter Waldbereiche wurden hierfür die notwendigen Geo-(basis-/fach-) Daten identifiziert, zusammengetragen und konvertiert und in für die erwarteten großen Datenmengen geeigneten IT-Strukturen bereitgestellt. Die zusammengestellten Daten beschreiben teilweise den Zustand der entsprechenden Assets zu einem Zeitpunkt, enthalten allerdings auch Betriebsdaten, welche deren Veränderung dokumentieren. Diese Datensätze, das Digitale Modell auf der einen sowie den Digitalen Schatten auf der anderen Seite, sind zu Digitalen Zwillingen zusammengefasst. Ebenso sind hier zum RAMWH4.0-kompatible WH4.0-Komponenten bereitgestellt, über die diese Digitalen Zwillinge in ein WH4.0-System integriert werden können. Dasselbe gilt für entsprechende WH4.0-Dienste und -Mensch-Maschine-Systeme.

➔ In Kürze folgt dazu: KWH4.0-Standpunkt „Smart Forest Labs für Wald und Holz 4.0“.

9.1 Reales Smart Forest Lab (rSFL)

Das reale Smart Forest Lab des KWH4.0 entsteht am Forstlichen Bildungszentrums in Arnsberg und befindet sich aktuell noch im Aufbau. In der ersten Umsetzungsstufe wurde ein besonderer Fokus auf das gamifizierte Smart Forest Lab gelegt, weil dort auf einfache Art und Weise mit realer Hard- und Software gearbeitet werden kann und Erfahrungen gesammelt werden können, die wiederum eine wichtige Grundlage für die Arbeiten im realen Smart Forest Lab darstellen.

Erste vor Ort im realen Smart Forest Lab realisierte Bausteine sind die in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen Umweltsensoren, die in einem Bestand im Arnsberger Wald installiert wurden. Sie sind die erste Ausbaustufe eines zukünftigen Sensornetzwerks und dienen der Erprobung verschiedener Technologien im Hinblick auf die Tauglichkeit für den Einsatz im Cluster Wald und Holz. Von besonderer Bedeutung ist hier die Evaluierung verschiedener Funktechnologien, in diesem Fall Sigfox und LoRaWAN, da es bisher wenig Erfahrungswerte zu deren Zuverlässigkeit in Waldgebieten gibt. Für ein praxistaugliches Sensornetzwerk ist eine funktionierende Übertragung der Sensordaten aber unabdingbar. Ein weiterer kritischer Aspekt, der evaluiert wird, ist die langfristige Energieversorgung der Geräte unter Einsatz verschiedener Batterie- bzw. Akkutechnologien und Solarpaneele. Zur Auswertung und Weiterverarbeitung der Daten stehen je nach Sensor die Cloud und die webbasierte Programmierschnittstelle von Evvos bzw. The Things Network zu Verfügung. Dadurch können die realen Sensordaten auch in ersten Referenzszenarien verwendet werden.

Abbildung 9-3 zeigt die in einem der Arnsberger Bestände installierte Umweltsensorik der Firma Evvos. Daten werden im 15-Minuten-Takt erhoben und über die Funktechnologie Sigfox in eine proprietäre Cloudlösung von Evvos übertragen. In den betrachteten Beständen im Raum Arnsberg ist eine Sigfox-Anbindung vorhanden. Bisherige Tests im Umfeld von Arnsberg, Essen und Dortmund zeigen eine gute Netzabdeckung mit Sigfox, wobei die Signalstärke im Wald noch einmal besser war als bei den Tests in städtischen Lagen (Essen, Dortmund). Das Sensormodul ist in etwa 2 Meter Höhe an einem Baum an einer Rückegasse im Referenzbestand befestigt. Ein Bodenfeuchtesensor (Truebner SMT 100) ist über ein Kabel mit dem Sensormodul verbunden. Der Außentemperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor ist in unmittelbarer Nähe des Sensormoduls befestigt.



Abbildung 9-3: Umweltsensorik im Bestand⁶¹

Eine Sicherung der Kabel gegen Nagetiere ist derzeit nicht installiert, diese ist aber für die nächste Testinstallation angedacht.

Um ebenfalls Sensorlösungen basierend auf der LoRaWAN-Technologie evaluieren zu können, wurden Tests des LoRaWAN-Empfangs in den Beständen ausgeführt. Beide Kommunikationstechnologien übertragen die Sensordaten jeweils über Gateways ins Internet. Für die Sigfox-Technologie gibt es fest installierte Gateways, die innerhalb Deutschlands einen großen Bereich abdecken⁶². Zum Zugriff auf diese Technologie muss für jedes Kommunikationsmodul ein Übertragungskanal gemietet werden, für den jährliche Kosten im niedrigen zweistelligen Eurobereich anfallen. Für LoRaWAN kann ebenfalls auf vorinstallierte Router zurückgegriffen werden, die jedoch kostenfrei zur Verfügung stehen. LoRaWAN-Gateways können von jedem frei installiert werden. Die Organisation des freien LoRaWAN-Netzes übernimmt das Netzwerk „The Things Network“. Sollte kein LoRaWAN-Empfang bestehen, so besteht die Möglichkeit, ein eigenes LoRaWAN-Gateway zu betreiben. Allerdings muss die Bandbreite des Gateways auch anderen Teilnehmern zur Verfügung gestellt werden. Auch auf dem eigenen Gateway kann nur ein kleiner Teil der Übertragungsbandbreite selbst genutzt werden. Da in Arnsberg-Neheim ein privates LoRaWAN-Gateway betrieben wird, konnte ein guter Empfang im Bestand nachgewiesen werden. Allerdings ist der LoRaWAN-Empfang als Open Source-Technologie von der Initiative privater Anbieter abhängig, sodass ebenfalls ein eigenes LoRaWAN-Gateway am FBZ in Arnsberg in Betrieb ge-

⁶¹ Foto: M. Roßler, RIF

⁶² <https://www.sigfox.com/en/coverage>

nommen wurde. Die dabei ermittelten Daten sind über die Cloud von „The Things Network“ zugänglich. Aufgrund ihrer hohen Reichweite eignen sich beide Technologien nach den bisherigen Erfahrungen gut für den Einsatz im Cluster Wald und Holz.

Durch eine Aufzeichnung der Daten über einen längeren Zeitraum und einen Abgleich der Daten mit den jeweiligen Wetterdaten kann mit Hilfe von geeigneten Prognosemodellen abgeschätzt werden, wann Zeitfenster für die Holzernte gegeben sind.

9.2 Gamifiziertes Smart Forest Lab (gSFL)

Ziel des gamifizierten Smart Forest Labs ist es, Wald und Holz 4.0 in handhabbarer und mobiler Form erlebbar und erfassbar zu machen. Dazu umfasst es modellhafte Assets (Harvester, Forwarder, Radlader, Waldarbeiter etc.) in einer ebenso modellhaften Waldumgebung (Abbildung 9-4). Darüber hinaus können auf dieser Modellebene hervorragend erste Hardware-Entwicklungen stattfinden, ohne dass die entsprechenden realen Assets verfügbar sein müssen. Schlussendlich erlaubt die Mobilität die Präsentation der Wald und Holz 4.0-Konzepte und Ideen auf Messen und anderen Veranstaltungen.



Abbildung 9-4: Gamifiziertes Smart Forest Lab⁶³

Die Assets – zumeist auf Basis von Lego-Technik repräsentiert – fungieren dabei hauptsächlich als Trägerplattformen für realitätsnahe, Wald und Holz 4.0-konforme Umsetzungen Digitaler Zwillinge. Das heißt, sie tragen echte Kleinstrechner (Raspberry Pi, Arduino etc.), teilweise verknüpft mit entsprechender Sensorik, auf denen eigenständige Softwareimplementierungen Digitaler Zwillinge betrieben werden, wie sie auch auf einem echten Asset genutzt werden könnten. Diese wiederum arbeiten auf Basis echter Industrie 4.0-Protokolle wie OPC UA und MQTT. Die Wahl fiel zudem auf Lego-Technik, weil hier bereits entsprechende Aktorik und Sensorik existiert, die über die Digitalen Zwillinge angesprochen werden kann. Die zugehörige Waldumgebung repräsentiert einen 60x60 Meter großen Ausschnitt der realen Waldbestände in der Nähe des FBZ in Arnsberg. Das heißt, die Bäume und Wege/Rückegassen wurden entsprechend platziert und die Baumarten entsprechend gewählt. Zur Lokalisierung der Assets verfügt das gamifizierte Smart Forest Lab zudem über eine Ultraschall-Lokalisierungslösung, die intern identisch zu GPS über NMEA-Zeichenketten verarbeitet wird.

Das gamifizierte Smart Forest Lab verfügt über Referenzsysteme für maßgebliche WH4.0-Komponenten (geeignet ausgestattete modellhafte Maschinen ebenso wie unterschiedlichste Sensoren, Daten,

⁶³ Foto: A. Böhm, RIF

jeweils einschließlich ihrer Digitalen Zwillinge in unterschiedlichen Detaillierungsstufen), WH4.0-Dienste und WH4.0-MMS, die sukzessiv erweitert werden, und Kompetenzen zur Nachbildung aller maßgeblichen Akteure. Die mit geeigneten Digitalen Zwillingen ausgestatteten, gamifizierten Assets sind in einem ersten funktionsfähigen und integrierten WH4.0-System zusammengeführt. Hierzu wurden die WH4.0-Komponenten, -Dienste und -MMS auf repräsentativen Referenzinfrastrukturen in Betrieb genommen. Bereits jetzt kann der Datenaustausch in unterschiedlichen Systemkonstellationen getestet werden.

Dabei werden Technologien aus dem Bereich der Industrie 4.0 wie Cloud-Computing, Edge-Computing und Kommunikationstechnologien zunächst als Einzeltechnologien gezeigt. Zusätzlich werden diese Technologien genutzt, um erste Referenzszenarien umzusetzen. Die Referenzszenarien zeigen exemplarisch das Zusammenwirken der einzelnen Technologien zur Umsetzung konkreter Anwendungsfälle. Dabei können zum einen weitere Szenarien definiert werden und zum anderen können die bestehenden Szenarien anhand weiterer Komponenten und Technologien flexibel erweitert werden. Dabei handelt es sich in der ersten Ausbaustufe insbesondere um die Szenarien:

- Befahrung sensibler Böden
- Näherungsalarm
- ClusterWIS-Kommunikation
- Anlaufen einer Rettungskette
- Holzbereitstellung
- Der Waldbesitzer und sein Wald

Die Referenzszenarien werden im Folgenden vorgestellt.

9.2.1 Befahrung sensibler Böden

Im Rahmen der Holzernte werden sensible Bodenbereiche wie Rückegassen teilweise mit schwerem Gerät befahren. Für das Beispiel eines Forwarders und verschiedener Rückegassen wird gezeigt, welche Möglichkeiten es für die Schonung sensibler Böden bei der Holzernte gibt. So werden abhängig vom Bodentyp, der Wassersättigung des Bodens und dem Gewicht der Fahrzeuge Hinweise zur Befahrbarkeit angezeigt. Es kommt zu einer Warnung, wenn eine bestimmte Wassersättigung überschritten wurde und es durch die Befahrung zu erheblichen Schäden kommen kann.

Die Wassersättigung wird dabei mit fest installierten Bodenfeuchtesensoren bestimmt. Als weitere Information geht die aktuelle Beladung des Forwarders ein. Diese kann für den realen Forwarder mit Hilfe einer Kranwaage bestimmt werden. Die Beladungsinformation wird durch einen Gewichtssensor zurückgemeldet. Beide Informationen werden ausgewertet und können über ein Dashboard angezeigt werden. Abbildung 9-5 zeigt den Modellaufbau eines Lego-Forwarders, der mit einem Gewichtssensor und einem Microcontroller mit LoRaWAN-Kommunikation ausgestattet ist, sowie den Aufbau des Umweltsensormoduls, bestehend aus einem Microcontroller vom Typ Arduino Uno mit einem LoRaWAN-Kommunikationsmodul und angeschlossenem kapazitivem Bodenfeuchtesensor.

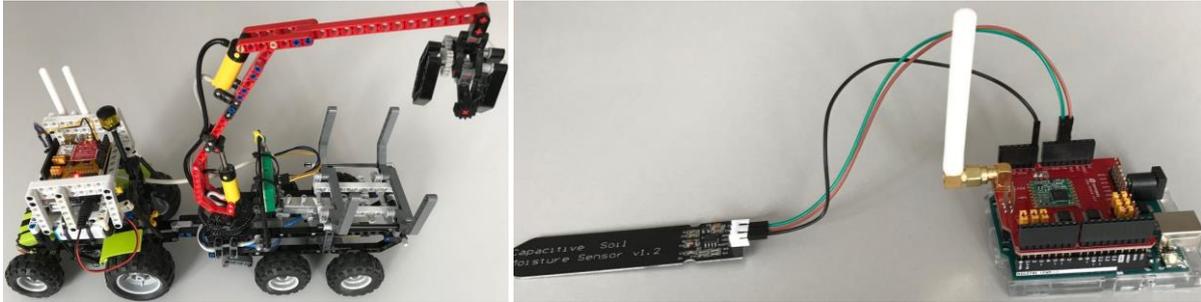


Abbildung 9-5: Forwarder mit Gewichtssensor (links) und Bodenfeuchtesensor (rechts), jeweils mit LoRaWAN-Kommunikationsmodul⁶⁴

Bodenfeuchte- und Beladungsdaten werden über LoRaWAN in die Cloud des „The Things Network“ gesendet. Aus dieser Cloud können die Daten wiederum zur Nutzung ausgelesen werden und dienen für die Digitalen Zwillinge von Umweltsensorik und Forwarder als Datengrundlage. Zu allen Assets existieren Digitale Zwillinge mit OPC UA- oder MQTT-Schnittstelle. Die Digitalen Zwillinge des Forwarders und der Kranwaage können so mit denen der Bestände, der Wege und Rückegassen kommunizieren, welche wieder mit denen der Umweltsensorik kommunizieren. Zudem ermittelt ein Dienst mit Hilfe der Digitalen Zwillinge die Informationen zur Befahrbarkeit der Rückegassen. Diese Information wird über einen einfachen Farbcode ausgegeben, der sich an den Farbstufen einer Ampel orientiert. Rot bedeutet, dass eine Befahrung unter allen Umständen zu unterlassen ist. Bei Gelb ist die Befahrung vom aktuellen Gewicht des Forwarders abhängig. Überschreitet das Gewicht den errechneten Schwellwert, so geht der Farbwert auf Rot über. Grün gibt die Befahrung der Rückegassen frei. Neben der physikalischen Anzeige der Befahrbarkeit im Modell werden diese auch über OPC UA zur Verfügung gestellt, was beispielsweise die Anzeige in einem Dashboard ermöglicht. Des Weiteren wird der aktuelle Befahrbarkeitsstatus in einem WFS-Server als dynamische Metadaten an den Rückegassegeometrien ergänzt, was eine Einbindung und Visualisierung in herkömmlichen GIS-Anwendungen ermöglicht. Abbildung 6-12 zeigt die WH4.0-konforme Architektur des Szenarios.

9.2.2 Näherungsalarm

Ziel dieses Szenarios ist eine Annäherungswarnung zwischen Forstmaschine und Forstmaschine/Mensch. Es soll vor Eintritt in die Gefahrenzone einer Forstmaschine gewarnt werden. Dazu sind die dezentralen Methoden von WH4.0 besonders gut geeignet. Im Modellaufbau des gamifizierten Smart Forest Labs verfolgen die einzelnen Forstmaschinen und Personen ihre Position über die zuvor genannte, an GPS angelehnte Lokalisierungslösung und übergeben diese an Ihren Digitalen Zwilling. Diese melden die Position per OPC UA an den Dienst „Näherungsalarm“ weiter. Falls eine der Maschinen in den jeweiligen Gefahrenbereich einer anderen Maschine oder eines Menschen eindringt, warnt der Dienst alle Beteiligten – ebenfalls per OPC UA. Parallel dazu findet im 3D-Dashboard eine Visualisierung mit eingefärbten Kreisen als Sicherheitsbereiche statt. Abbildung 9-6 zeigt die Wald und Holz 4.0-konforme Architektur des Szenarios.

⁶⁴ Fotos: F. Heinze, RIF

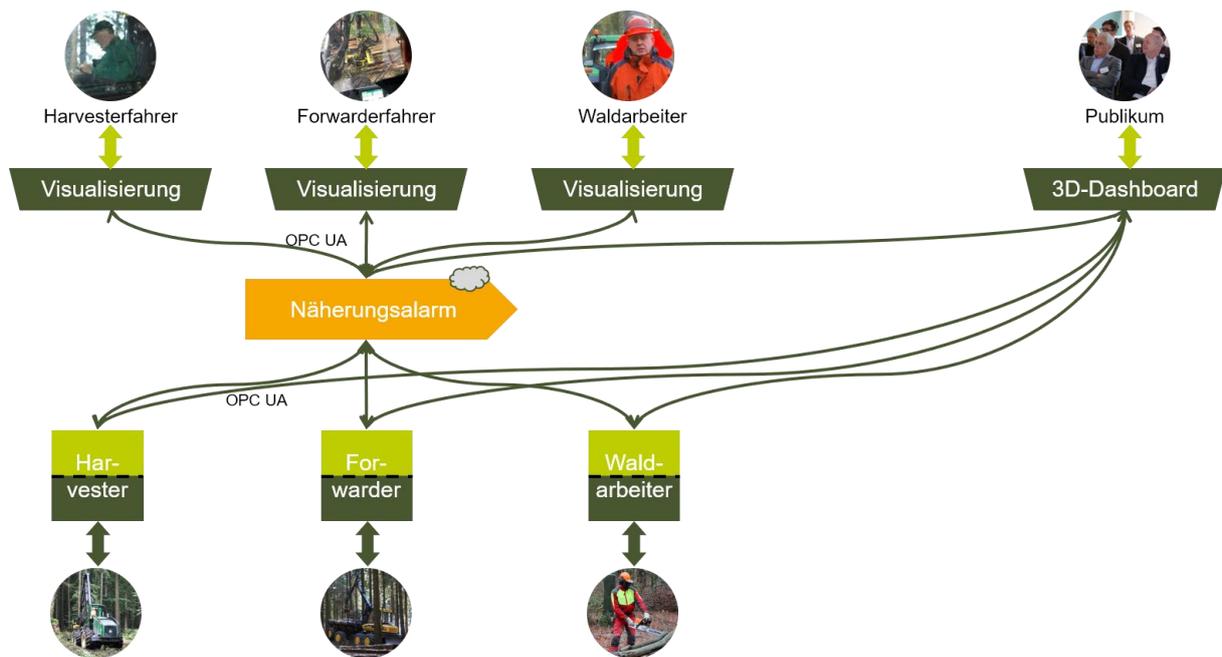


Abbildung 9-6: Architektur des Szenarios „Näherungsalarm“⁶⁵

9.2.3 ClusterWIS-Kommunikation

Basierend auf der ClusterWIS-Infrastruktur, dem ClusterWIS-Kommunikationsprotokoll und den in den Abschnitten 7.5 und 7.6 gezeigten ClusterWIS-Diensten und -Anwendungen wurde ein exemplarischer Gesamtprozess zur digital integrierten und vernetzten Abbildung der Vorgänge von der Inventur über die Wald- und Produktionsplanung bis hin zum Vermarktung realisiert. Diese Vernetzung kann als Vorstufe zu WH4.0 gesehen werden, weil hier zwar noch nicht mit der Vernetzung eigenständiger Digitaler Zwillinge gearbeitet wird, aber dennoch eine (hier rein Dienst- und Anwendungs-basierte) Vernetzung der Cluster-Akteure sowie ihrer Prozesse und damit eine digitale Abbildung der Wertschöpfungsketten realisiert wird. Abbildung 9-7 zeigt eine verkürzte Darstellung der dadurch erreichten Datendurchgängigkeit von der Einrichtung bis zur Erntemaßnahme durch Vernetzung der Akteure.

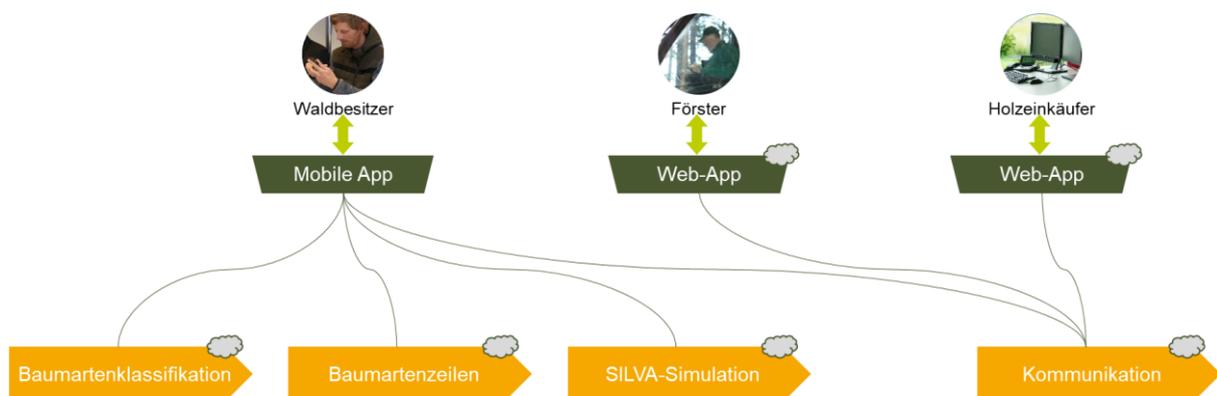


Abbildung 9-7: Datendurchgängigkeit durch die Vernetzung von Akteuren über Anwendungen und Dienste im ClusterWIS-Netzwerk⁶⁶

Die zugehörigen Prozessschritte können beispielhaft so aussehen:

⁶⁵ Fotos: (o.) A. Böhm, RIF; S. Wein, WZL; Peter Kamp / pixelio; A. Böhm; (u.) F. Heinze, RIF; A. Böhm (2x)

⁶⁶ Fotos: A. Böhm, RIF (2x); Rainer Strum / pixelio

- Waldbesitzer informiert sich über seine Bestände
 - Ein Waldbesitzer informiert sich mithilfe der Webanwendung und der Waldbesitzer-App auf Basis freier Geodaten und der ClusterWIS-Dienste über seine Bestände ("Forsteinrichtung light")
 - In der Webanwendung findet er auf Basis von ALKIS-Daten seine Flurstücke
 - Er setzt anschließend wenige Baumarten-Stichproben darin und lässt vom ClusterWIS-Dienst für die Baumartenklassifikation eine Baumartenkarte berechnen
 - Er speichert alle Daten und das Ergebnis in der ClusterWIS-Cloud und wechselt in die Waldbesitzer App, auf der er die Daten aus der Cloud abrufen kann
 - Vor Ort im Bestand lässt er vom Dienst für Bestandesinventurattribute „Baumartenzeilen“ für seine Flächen berechnen und lässt diese vom SILVA-Dienst walddplanerisch auswerten
 - Er kommt zum Schluss, dass er einen Dienstleister (forstlichen Sachverständigen) einschalten möchte
 - Über die Webanwendung stellt er dazu ein Gesuch in den ClusterWIS-Marktplatz ein
- Forstlicher Sachverständiger sucht neue Aufträge
 - Ein forstlicher Sachverständiger findet das Gesuch im Marktplatz und kontaktiert den Waldbesitzer integriert per ClusterWIS-Nachricht
- Waldbesitzer empfängt Nachricht
 - In seiner App empfängt der Waldbesitzer die ClusterWIS-Nachricht
 - Über die Webanwendung gibt er dem Dienstleister die Daten in der ClusterWIS-Cloud frei und schickt ihm eine ClusterWIS-Nachricht mit dem zugehörigen Link
- Forstlicher Sachverständige berät Waldbesitzer und stellt Holzangebot in Marktplatz ein
 - Der forstliche Sachverständige ruft die ClusterWIS-Nachricht über die Desktop Anwendung „Waldplanung“ ab, lädt die freigegeben Daten aus der ClusterWIS-Cloud damit herunter und bindet sie in das Programm ein
 - Er nutzt die Daten als Grundlage einer simulationsgestützten (SILVA) Beratung des Waldbesitzers
 - Am Ende stellt er ein entsprechendes Holzangebot im ClusterWIS-Marktplatz ein
- Holzeinkäufer sichtet Angebote im Marktplatz
 - Ein Sägewerker sichtet die Angebote im ClusterWIS-Marktplatz
 - Er kontaktiert den forstlichen Sachverständigen per ClusterWIS-Nachricht, um sein Kaufinteresse zu zeigen

9.2.4 Anlaufen einer Rettungskette

Aktuell ist der Ablauf einer Rettungskette wie folgt gegliedert.

1. Überblick verschaffen
2. Verunglückten versorgen
3. Notruf absetzen
4. Weitere Helfer informieren
5. Rettungsdienst am Rettungspunkt abholen
6. Rettungsdienst unterstützen

Bei dieser Gliederung wird davon ausgegangen, dass jeweils in Zwei- bis Dreipersonenrotten gearbeitet wird. Ansatzpunkte für eine verbesserte Rettungskette bestehen in folgenden Punkten:

1. Schnellere Unfallerkennung
2. Genauere sowie schnellere Informationsweitergabe an Rettungsdienst
3. Unfallmeldung an in der Nähe befindliche Akteure und Zentrale
4. Ggf. Rettungsdienst so anweisen, dass dieser selbstständig zum Unfallort findet oder kein Ersthelfer zum Rettungspunkt muss. Ggf. können andere Akteure dies übernehmen
5. Kommunikationswege optimieren

Waldarbeiter erkennen Unfälle selbst über Sichtkontakt bzw. geben besonders bei gefährlichen Tätigkeiten aufeinander acht. Die Kommunikation in der Rotte funktioniert über Helmfunk. Die Rettungskette muss vorher genau geplant sein, d.h. es gibt eine Lagebesprechung, wo Mobilfunknetz und Rettungspunkte zu finden sind. Hilfreich sind verschiedene Apps (z.B. Hilfe im Wald, Meine Umwelt), die die Rettungskette mit dem Einsatz von GPS, topologische Karten, Suchfunktion für Rettungspunkte, Notrufwahl per Tastendruck, Richtungsangabe zum nächsten Rettungspunkt als Navigationskomponente unterstützen.

Dieser Ablauf soll durch einen zusätzlichen Vitalsensor unterstützt werden, der an Smartphones angebunden werden kann. Der Vitalsensor soll über Pulsmessung den Belastungszustand des Menschen verfolgen. Bei besonders hohen sowie niedrigen Puls-Werten wird eine Meldung an den Benutzer sowie an in der Nähe befindliche Akteure gesendet. Diese Meldung ist mit einer Rückfrage an den Benutzer verbunden, ob Unterstützung angefordert werden soll. Falls der Benutzer diese Rückfrage nicht beantwortet, wird automatisch ein Notruf über die angebundene Technologie abgesetzt. Mit dieser Methodik können ggf. Arbeitsunfälle vermieden werden, da die Benutzer Informationen zu Ihrem eigenen Belastungszustand erhalten und ggf. situationsspezifisch reagieren können, insbesondere Kreislaufprobleme oder Überanstrengungen können hiermit frühzeitig erkannt werden. Zusätzlich können Notrufe in Notfällen schneller und automatisch abgesetzt werden und somit eine schnellere Notfallversorgung sicherstellen.

Pulsmessung kann über eine Vielzahl an Geräten sichergestellt werden. Ggf. kann in einem späteren Schritt eine Schnittstelle oder App entwickelt werden, an die sich auch Privatbesitzer, Wanderer, Sportler und andere Waldbesucher anbinden können. Aktuell fokussiert das Szenario auf ein verbessertes Kommunikationsnetzwerk, welches Unfallmeldung zunächst nur an die Rettungszentrale, die den weiteren Notruf etc. absetzen kann und GPS Informationen vom Unfallort und vom nächsten Rettungspunkt und Rettungsdienst und ggf. zusätzlichen Informationen (Geländeinformationen, Arbeitsauftrag, etc.) liefert.

Abbildung 9-9 zeigt die Wald und Holz 4.0-konforme Architektur des Szenarios. Über LoRaWAN wird das Notrufsignal über ein entsprechendes Gateway in die „The Things Network“ Cloud übertragen. Von dort kann Sie von entsprechenden Systemen in der Rettungswarte (siehe Abschnitt 7.6.5) per REST API abgerufen werden.

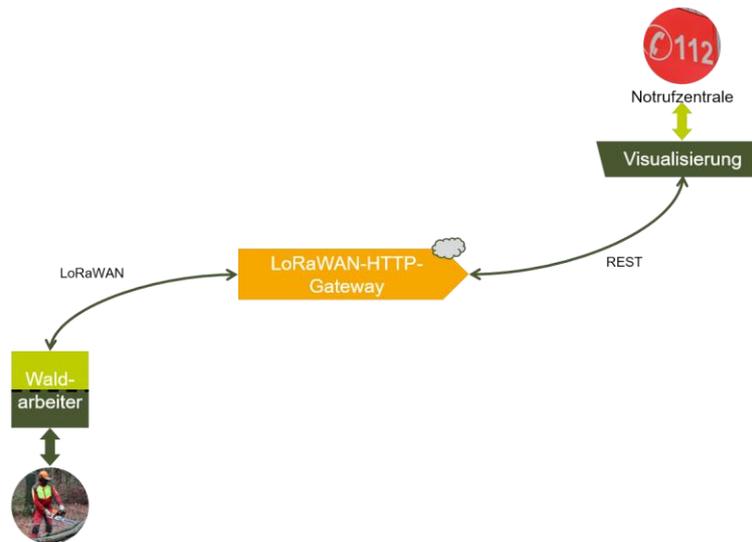


Abbildung 9-8: Architektur des Szenarios „Rettungskette“⁶⁷

9.2.5 Sägewerk: Holzbereitstellung in der richtigen Länge

Aktuell müssen Sägewerke ca. 2 Monate im Voraus angeben, in welchen Längen sie ihr bereits gekauftes Holz abrufen wollen. Um kurzfristig auf Bestellungen reagieren zu können entsteht viel Verschnitt (Sägeholz wird Spanholz). Durch eine bessere Kommunikation zwischen Harvester/Rotte und Sägewerk kann diese Herausforderung gelöst werden und das Sägewerk kann tagesaktuell die gewünschten Längen angeben.

Die Verbindung zwischen Harvester/Rotte und Sägewerk kann über eine OPC UA-Kommunikation stattfinden. Im vom KWH4.0 entwickelten Demonstrator nutzt das Sägewerk eine Desktop-Anwendung (siehe Abschnitt 7.6.4) und gibt die gewünschten Baumarten, Qualitäten und Längen in der Anwendung an. Die Auftragsdaten werden dann über die Anwendung mit Hilfe von OPC UA direkt an den DZ Harvester übergeben. Abbildung 9-9 zeigt die zugehörige Architektur.

⁶⁷ Fotos (v. l.): A. Böhm, RIF; Marco Zaremba / pixelio

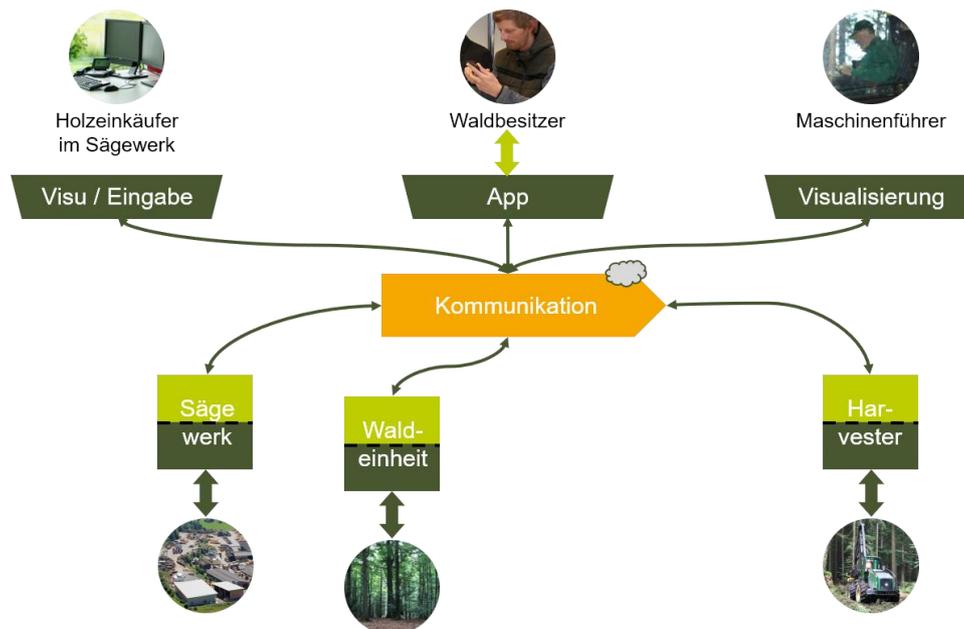


Abbildung 9-9: Architektur des Szenarios „Holzbereitstellung in der richtigen Länge“⁶⁸

9.2.6 Der Waldbesitzer und sein Wald

In diesem Szenario sind die in Abschnitt 7.7 vorgestellten Systeme mit dem in Abschnitt 7.1.2 vorgestellten Digitalen Zwilling eines Waldbestands vernetzt. So kann über die HoloLens (Abbildung 7-13) oder eine AR App (Abbildung 7-14) der „reale“ (in diesem Fall gamifizierte) Waldbestand um virtuelle Einblendungen von Informationen des zugehörigen Digitalen Zwillings (wie Bestandesgrenzen) erweitert werden.

Auf der anderen Seite erlaubt ein Sprachassistent die direkte Interaktion mit dem Digitalen Zwilling des Waldbestands. Der Demonstrator des KWH4.0 versteht dabei aktuell folgende Fragen mit den zugehörigen Antworten:

- „Wie nass ist mein Wald?“
 - → Der DZ Waldbestand greift auf Daten des Bodensensors zu.
- „Wie ist das Wetter in meinem Wald?“
 - → Der DZ Waldbestand holt Daten von Wetterdienst hinzu.
- „Welchen Vorrat hat mein Wald?“
 - → Der DZ Waldbestand wertet seine Inventurdaten aus.
- „Wie ist der Vorrat meines Walds in [n] Jahren?“
 - → Der DZ Waldbestand schreibt seine Inventurdaten fort.
- „Welche Baumarten stehen in meinem Wald?“
 - → Der DZ Waldbestand wertet seine Inventurdaten aus.

Der Google Assistant kann dabei als App auf dem Smartphone oder über Endgeräte wie Google Home genutzt werden.

9.3 Virtuelles Smart Forest Lab (vSFL)

Neben dem realen und dem gamifizierten Smart Forest Lab existiert ein virtuelles Pendant, in dem diese und weitere Konzepte unabhängig vom Ort und von der konkret zur Verfügung stehenden Hardware rein simulativ durchgespielt werden können – bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme. Grundlage

⁶⁸ Fotos: (o.) Rainer Strum / pixelio; A. Böhm, RIF (2x); (u.) Michael Lorenzet / pixelio; S. Wein, WZL; F. Heinze, RIF

hierfür sind Experimentierbare Digitale Zwillinge (EDZ) der beteiligten WH4.0-Komponenten, die in weiteren Arbeiten für die Realisierung intelligenter WH4.0-Komponenten (z.B. intelligenter Forstmaschinen), WH4.0-Dienste (z.B. simulationsgestützte Planungssysteme) oder WH4.0-MMS (z.B. Assistenzsysteme) eingesetzt werden können. Durch die Kombination von realem, gamifiziertem und simuliertem Smart Forest Lab können zudem hybride Smart Forest Labs konfiguriert werden, bei denen einzelne Systeme (z.B. aktuell verfügbare oder neu entwickelte) in realer oder gamifizierter Hardware ausgeführt und andere vollständig simuliert werden. Eine konsequente Umsetzung von WH4.0-Technologien auch in der Simulation, z.B. durch Verwendung gleicher Kommunikationsinfrastrukturen in der Simulation wie auch in der Realität, ermöglicht eine problemlose Verschaltung aller Systeme, egal ob real, gamifiziert oder simuliert. Auf Grundlage des Konzepts Virtueller Testbeds verfügt das simulierte Smart Forest Lab über alle notwendigen Simulations- und Integrationsfunktionalitäten, um komplette Wertschöpfungsketten einschließlich der beteiligten Wald und Holz 4.0-Komponenten und der dort enthaltenen Digitalen Zwillinge simulativ untersuchen zu können. Wichtig bei der Realisierung der EDZ ist, dass diese die für die Betrachtungen relevanten Aspekte der entsprechenden WH4.0-Komponenten umfassen und berücksichtigen. Abbildung 9-10 illustriert dies am Beispiel einer Forstmaschine, bei der nicht nur das Fahrzeug mit Kran und Aggregat simuliert werden muss sondern auch die fahrzeuginterne Kommunikationsinfrastruktur und die dort angeschlossenen Sensoren, Aktoren sowie die Daten verarbeitenden und HMI-Systeme berücksichtigt werden müssen.



Abbildung 9-10: Zu beachtende Aspekte bei der Realisierung experimentierbarer Digitaler Zwillinge für eine Forstmaschine, Aspekte eines entsprechenden EDZ⁶⁹

Auf diese Weise entstehen umfassende EDZ der entsprechenden WH4.0-Komponenten, die gemeinsam mit den EDZ der WH4.0-Komponenten der Umgebung in Szenarien zusammengestellt und dann in Virtuellen Testbeds gemeinsam mit den WH4.0-Diensten und WH4.0-MMS simuliert werden. Abbildung 9-11 illustriert dies am Beispiel des Szenarios „Forstmaschine im Wald“ unter Einbeziehung der EDZ der WH4.0-Komponenten der Forstmaschine, des Laserscanners, der Bäume, des Waldbodens und des Leitsystems. Auch der Fahrer ist hier zur Generierung vordefinierter Testsequenzen als EDZ eingebracht, allerdings ist auch eine interaktive Simulation möglich.

⁶⁹ Bild: MMI

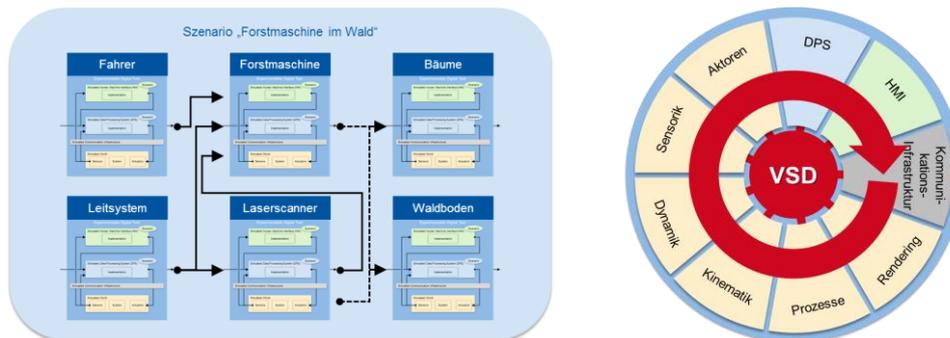


Abbildung 9-11: Zusammenstellung von EDZ in Szenarien (links), die dann in Virtuellen Testbeds unter Einbeziehung aller relevanten Aspekte simuliert werden (rechts)

Dadurch, dass die jeweils entsprechenden realen und simulierten WH4.0-Komponenten gleiche Kommunikationsinfrastrukturen verwenden, können reale WH4.0-Komponenten auch mit simulierten WH4.0-Komponenten (also den EDZ) sowie WH4.0-Diensten und -MMS in hybriden Szenarien kombiniert werden. Insbesondere können auf diese Weise Dienste und MMS wie das in Abbildung 9-11 dargestellte Leitsystem in das betrachtete Szenario eingebracht werden.

Konkret wurde in der ersten Ausbaustufe das Szenario „Näherungsalarm“ parallel im gamifizierten Smart Forest Lab (vgl. Abschnitt 9.2.2) sowie im virtuellen umgesetzt. Dabei wurden alle beteiligten Forstmaschinen und Waldarbeiter simuliert und deren Positionen und jeweiligen Sicherheitsradien via OPC UA an den zuständigen Dienst gesendet. Für den Dienst ist dabei nicht unterscheidbar, ob die Daten von einer echten oder einer simulierten Forstmaschine kommen.

10 Der Mensch in WH4.0

Die zentrale Position des Menschen in WH4.0 wird anhand der folgenden vier Unterkapitel beleuchtet, die derzeit noch in der Entwicklung sind.

10.1 Arbeiten in der digitalen Welt

In der heutigen Zeit ist die Verwendung von Smart Devices für viele Menschen völlig normal. Smart-Phones, Tablets oder sogar Smart Glasses, welche aus dem Bereich des Smart Home oder der Spieleindustrie bekannt sind, finden nach und nach ihre Anwendung im beruflichen Alltag. In einigen Bereichen sind diese Digitalisierungsansätze bereits sehr etabliert. Der wohl bekannteste Digitalisierungsansatz ist die E-Mail, welche einen Großteil des Schriftverkehrs enorm erleichtert hat. Durch die Digitalisierung wird nicht nur unsere Kommunikation umgestellt, auch die Kommunikation von Maschinen untereinander sowie von Maschine zum Menschen verändert sich dadurch stetig.

Diese neuen Ansätze und Technologien setzen neue Potentiale frei. Beispielsweise können Dokumentationen bzw. Papierarbeit automatisiert oder hilfreiche Informationen zur Verfügung gestellt sowie durch Augmented-Reality eingeblendet werden. Insgesamt ermöglicht die Digitalisierung umfassende Prozessoptimierungen zur effektiveren und effizienteren Gestaltung von Arbeitsprozessen. Mit digitalen Medien lassen sich auch im Bereich der Arbeitssicherheit und des Arbeitsschutzes Verbesserungen erzielen. Besonders bei der Umsetzung einer ergonomischen Arbeitsgestaltung nach DIN EN ISO 26800 sowie der Durchführung von Gefährdungsbeurteilungen kann der Zeitaufwand durch teilautomatisierte Verfahren deutlich verringert werden.

Im Cluster Wald und Holz besteht bereits im Bereich der ersten und zweiten Absatzstufe (Sägewerke, Papierfabriken, Holzwerkstoffe, etc.) eine hohe Automatisierung. In der Forstwirtschaft sind einzelne Forstmaschinen sehr weit entwickelt. Hier bestehen allerdings die Probleme des nicht flächendeckenden Mobilfunknetzes, einer fehlenden einheitlichen Kommunikationsinfrastruktur (Kommunikation Maschine-Maschine, Maschine-Mensch, unterschiedliche Akteure untereinander bspw. Sägewerk-Harvesterführer), sowie die Erfassung und Verfügbarkeit von Geo- und Umweltdaten. Die Digitalisierung soll zu schnelleren Prozessabläufen, mehr Effizienz und Flexibilität sowie höherer Qualität bei gleichzeitiger steigender Komplexität der Produkte beitragen. Die zunehmende Digitalisierung der Arbeitswelt geht allerdings auch mit einer Veränderung des Berufsalltags einher.

Bei der Einführung neuer Technologien sind zwingend die daraus resultierenden Veränderungen zu berücksichtigen. Müssen beispielsweise Arbeitspersonen neue Qualifikationen erlernen oder Schulungen besuchen, um ihrer bisherigen Arbeitstätigkeit weiterhin nachzugehen? Werden die Veränderungen des Arbeitssystems und der Arbeitstätigkeiten akzeptiert und sind die neuen Technologien überhaupt sinnvoll einsetzbar? Müssen evtl. neue Rahmenbedingungen oder eine neue Arbeitsorganisation geschaffen werden, damit ein reibungsloser Arbeitsablauf gewährleistet werden kann? Und welche Auswirkungen ergeben sich insgesamt auf den Menschen? Diese Aspekte sollten schon vor der Einführung neuer Technologien betrachtet werden, damit mögliche negative Auswirkungen geringgehalten werden. Bei der Einführung von digitalen Medien ist die Verbesserung der Arbeit das übergeordnete Ziel. Die Interaktion zwischen Menschen und Technik eröffnet neue Perspektiven und erweitert die Handlungsmöglichkeiten.

10.2 Auswirkungen auf Arbeitsperson und Arbeitssystem

Die durch die Digitalisierung herbeigeführte Veränderung der Arbeitswelt bringt einige Auswirkungen auf Arbeitspersonen und Arbeitssysteme mit sich. Die technische Umsetzung von Digitalisierungsansätzen erhöht die Anforderungen an IT-Systeme aber auch an die digitalen Kompetenzen der Arbeits-

personen. So rücken beispielsweise Fragestellungen der Datensicherheit, Datenspeicherung, Zugriffsrechte und der Zuverlässigkeit von IT-Systemen aus technischer Sicht in den Fokus. Mit den Ansätzen aus Industrie 4.0 soll besonders die Digitalisierung gefördert werden. Das heißt, dass die Informationsbereitstellung und damit aber auch die Datenaufnahme und -verarbeitung an Bedeutung gewinnt. Die Sicherstellung von Datenschutz und Vermeidung des gläsernen Menschen ist durch das Arbeiten mit Technologien und digitalen Medien wichtiger als je zuvor, da das digitale Arbeiten auf Daten, die gesammelt, gespeichert und analysiert werden, beruht. Im Bezug hierauf gilt die am 25. Mai 2018 festgelegte EU-Datenschutzgrundverordnung und das neue Bundesdatenschutzgesetz, welche die Rechtmäßigkeit der Datenverarbeitung, Datenminimierung, Zweckbindung, Transparenz, Richtigkeit, Speicherbegrenzung, Integrität und Vertraulichkeit beinhaltet und sicherstellt (vgl. Abschnitt 5.8). Technische Lösungen wie die Verschlüsselung oder Anonymisierung von Daten können zum Datenschutz beitragen.

Hierbei ist insbesondere ein transparenter und geregelter Umgang mit personenbezogenen Daten erforderlich, um Befürchtungen und Ängsten des Datenmissbrauchs oder der Rationalisierung von Arbeitsplätzen entgegenzuwirken und die Akzeptanz solcher Digitalisierungsansätze zu steigern. Insgesamt ist die Technikakzeptanz des Menschen ein großer Faktor bei der Einführung neuer Technologien. Eine Technologie, die nicht akzeptiert wird, wird auch nicht selbstständig verwendet, auch wenn ihre Anwendung einen Mehrwert generieren könnte. Um die Technikakzeptanz zu steigern, sollten die betroffenen Personen frühzeitig über die Veränderungen des Arbeitssystems und -tätigkeiten informiert werden und bestenfalls in den Prozess und die Entscheidung (was wie geändert werden soll) einbezogen werden.

Auch die Anforderungen an die Arbeitspersonen steigen mit der Digitalisierung. Es wird erwartet, dass jeder mit neuen digitalen Medien umgehen kann. Diese Kompetenzen sind aber nicht zwangsläufig gegeben, weshalb teilweise neue Qualifikationen erworben werden müssen oder individuelle Schulungen anzubieten sind. Besonders das Auftreten und Bewältigen von Fehlermeldungen bei der Verwendung neuer Technologien kann zu einer Überforderung oder auch Stress führen. Mit zunehmender Digitalisierung nehmen die Anforderungen an die psychologische Aufmerksamkeit zu. Es werden viele Informationen über digitale Medien bereitgestellt, die der Mensch dauerhaft verarbeiten und aufnehmen muss. Ggf. wird zusätzlich eine höhere Kommunikationsfähigkeit gefordert, um schnell und flexibel auf situative Ereignisse eingehen zu können.

Um die Arbeit für den Menschen zu erleichtern und zeitgleich die Produktivität oder Flexibilität steigern zu können, müssen mögliche Auswirkungen frühzeitig bedacht werden. Hierbei ist es wichtig den Menschen und besonders die betroffenen Arbeitspersonen in den Prozess der Veränderung bzw. Einführung neuer Technologien einzubinden. Das größte Optimierungspotential kann nur freigesetzt werden, wenn die Digitalisierungsansätze sinnhaft in die vorhandene Arbeitsumgebung eingebunden werden können und von den Arbeitspersonen akzeptiert werden.

10.3 Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung

Durch die Verwendung neuer Technologien im Arbeitsumfeld werden Arbeitstätigkeiten verändert, gänzlich eliminiert oder durch neue Tätigkeiten ersetzt. Mit dieser Veränderung der Arbeitsprozesse ist oft eine neue Arbeitsgestaltung sowie eine Veränderung der Arbeitsorganisation verbunden, damit ein reibungsloser Arbeitsablauf weiterhin gewährleistet ist.

Wesentliche Teilaspekte der Arbeitsorganisation sind die Aufbau- und die Ablauforganisation. Die Aufbauorganisation eines Arbeitssystems beschreibt die Gliederung des Arbeitssystems in arbeitsteilige Stellen und stellt deren Beziehungen zueinander dar. Elemente der Aufbauorganisation sind somit Organisationseinheiten; die betrachteten Relationen sind die Unterstellungsverhältnisse im Sinne von Weisungs- und Entscheidungsbefugnissen. Durch neue Technologien könnte ein gewisses Wachstum

oder neue Geschäftsfelder entstehen, welche dann sinnvoll in die bestehende Aufbauorganisation eingegliedert werden müssen.

Die Ablauforganisation regelt das räumliche, zeitliche und inhaltliche Zusammenwirken von Arbeitspersonen, Arbeits- und Betriebsmitteln, Arbeitsobjekten und dem Input des Arbeitssystems. Elemente der Ablauforganisation sind Aufgaben bzw. Aktivitäten; die betrachteten Relationen sind Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen, oft ergänzt durch Informations- und Materialflüsse. Die Ablauforganisation wird also im Zuge der Arbeitsgestaltung optimiert. Mit zunehmender Technologisierung und Digitalisierung steigen folglich die Möglichkeiten der Optimierung der Ablauforganisation. Im Vordergrund steht hier die Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Flexibilität. Besonders die Produktivitätssteigerung und die Prozess- bzw. Ablaufoptimierung werden während der Digitalisierung fokussiert betrachtet. Aber auch der Erhalt der Gesundheit der Beschäftigten nimmt einen immer größeren Stellenwert bei der Arbeitsgestaltung ein. So ist darauf zu achten, dass Arbeitstätigkeiten angemessen, schädigungsfrei und ausführbar sind und neue Technologien den Menschen die Arbeit erleichtern.

10.4 Nicht-technische Fragestellungen (ELSI)

Durch Innovation und technische Weiterentwicklung, werden auch nicht-technische Fragestellungen aufgeworfen. Dies gilt insbesondere dann, wenn ethische, rechtliche oder soziale Auswirkungen entstehen. Diese Auswirkungen werden allerdings oft erst im Endstadium einer Innovation berücksichtigt, was bei der Einführung neuer Technologien zu unerwünschten Effekten führen kann. Um dies zu verhindern, sollten nicht-technische Fragestellungen in einem Entwicklungsprozess durchgehend bedacht werden. Oft findet die nötige Berücksichtigung aber nur in einzelnen Phasen des Forschungs- und Entwicklungsprozesses statt⁷⁰:

- Vorher, um Vorhersagen treffen zu können, die dann im F&E-Prozess berücksichtigt werden.
- Während, um gewissen Anpassungen vornehmen zu können.
- Nachher, um die Innovation zu reflektieren.

In der aktuellen Forschung geht der Trend hin zum Responsible Research & Innovation (RRI). Bei diesem Ansatz werden nicht-technische Fragestellungen und mögliche negative Auswirkungen einer Innovation in einem dauerhaften Austausch mit alle betroffenen Akteuren diskutiert. So sollen Politik, Gesellschaft und die Industrie zeitgleich in F&E-Prozesse einbezogen werden. Das Ziel ist ein dauerhafter und transparenter Dialog, der zu nachhaltigen, moralisch vertretbaren und gesellschaftlich wünschenswerten Ergebnissen führt.

Durch die Übertragung neuer Technologien bzw. technischer Hilfsmittel aus anderen Industriebereichen in den Cluster Wald und Holz, werden sich Arbeitsprozesse sowie -tätigkeiten aber auch die Anforderungen an das Arbeitssystem und den Menschen verändern. Zunächst ergeben sich durch den Einsatz neuartiger Technologien für den Cluster Wald und Holz eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten, die mit einer eheblichen Veränderung der Arbeitsprozesse einhergehen. Diese können erweitert oder abgeändert werden oder gänzlich neue Prozessen entstehen. Durch die Übertragung dieser Technologien bzw. technischen Hilfsmittel aus anderen Industriebereichen in den Cluster Wald und Holz werden sich neben Arbeitsprozessen und -tätigkeiten aber auch die Anforderungen an das Arbeitssystem und den Menschen verändern.

Für den äußerst komplexen Bereich Wald und Holz, an dem viele Stakeholder mit unterschiedlichen Zielsetzungen beteiligt sind, gilt es maßgeschneiderte Lösungen für die zielführende Überführung von 4.0-Ansätzen auf die existierenden Arbeitsprozesse zu finden. Mögliche Auswirkungen auf Grund der

⁷⁰ Reijers et al. 2018; *Science and Engineering Ethics*, 24(5), 1437-1481

Veränderung von Arbeitsprozessen müssen im Vorfeld aufgenommen werden und sollten kontinuierlich während des Veränderungsprozesses berücksichtigt werden. Hierfür ist es dringend notwendig mit den unterschiedlichen Akteuren und den betroffenen Anwendern gemeinsam technische sowie nicht-technische Fragestellungen zu diskutieren.

Eine smarte Brille kann beispielsweise die Effizienz einer Arbeitsperson durch passgenaue Angaben und das Einblenden von Informationen steigern (z.B. das Aufsuchen des zu fällenden Baumes). Es gilt aber zu bewerten, ob die Anwendung einer solchen Brille für jeden Beschäftigten zumutbar sein kann, besonders für diejenigen, die ohne diese Technologien aufgewachsen sind. Eventuell müssen diesen Beschäftigten ausreichende Qualifikationsmöglichkeiten im Umgang mit neuen Technologien bereitgestellt werden.

11 WH4.0-Roadmap

Abbildung 11-1 gibt einen Überblick über die bisher erfolgten und die nächsten geplanten Schritte zur Umsetzung von Wald und Holz 4.0, wie es durch das Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 vorangetrieben wird. Die Phasen „Vorbereitung“, „Aufbau und Etablierung“ sowie „Regelbetrieb“ beziehen sich dabei auf das Kompetenzzentrum selbst.



Abbildung 11-1: Roadmap für die Entwicklung von Wald und Holz 4.0⁷¹

Zur Weiterentwicklung von WH4.0 im allgemeinen und der Smart Forest Labs im speziellen plant das KWH4.0 die Einrichtung eines temporären Smart Forest Labs auf der **KWF Tagung 2020** (Abbildung 11-2). Ziel bis dahin ist die Umsetzung konkreter, beispielhafter WH4.0-Komponenten, -Dienste und -MMS durch das KWH4.0 **zusammen mit den Clusterakteuren**. Gespräche und Planungen wurden dazu bereits aufgenommen. Hier benötigt das KWH4.0 also die Unterstützung der Akteure!

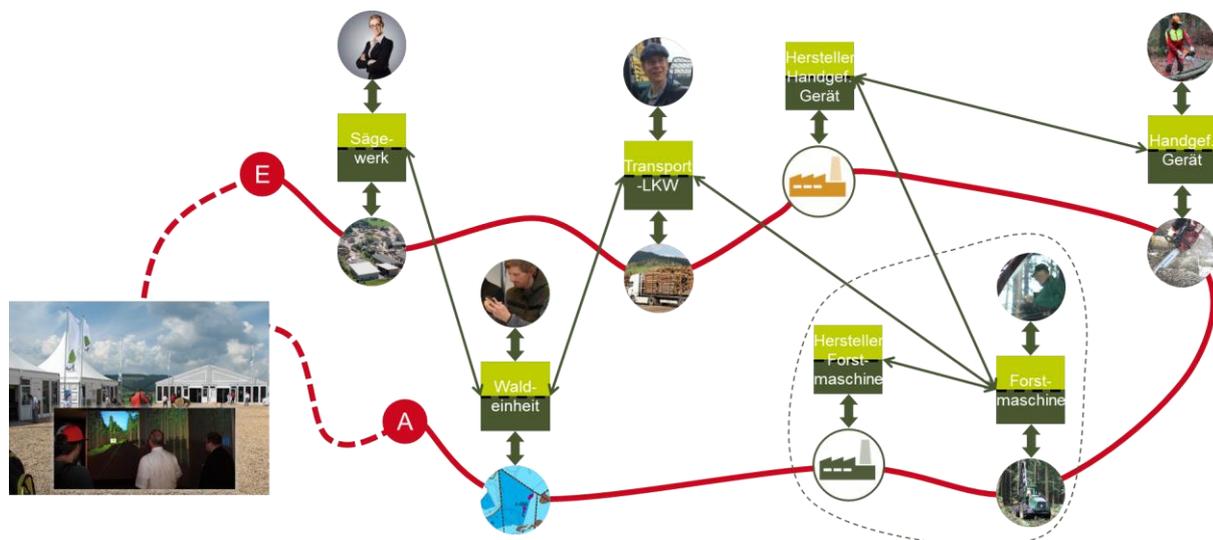


Abbildung 11-2: Ziel: Temporäres Smart Forest Lab von KWH4.0 und Clusterakteuren auf der KWF Tagung 2020⁷²

⁷¹ Fotos: A. Böhm, RIF und gemäß Abbildung 11-2

⁷² Fotos (v. l. o.): Pixabay; A. Böhm, RIF (2x); Michael Lorenzet / pixelio; A. Böhm, RIF; pixabay; A. Böhm, RIF; pixabay; Screenshot VEROSIM; F. Heinze, RIF

Entlang der Exkursionsroute sollen nicht nur am Ausstellungspunkt des FBZ/KWH4.0 die Ideen von WH4.0 gezeigt werden, sondern auch an weiteren Stationen anderer Ausstellern. Durch Vernetzung soll dazwischen ein WH4.0-System aufgebaut werden. Zudem sollen die WH4.0-Komponenten in ein zentrales Dashboard auf dem Messegelände integriert werden.

Für Ende 2019 plant das KWH4.0 zudem eine Veranstaltung insbesondere zur Vorstellung der Planung für die KWF Tagung 2020 sowie zur Diskussion der vorliegenden ersten Version der Umsetzungsstrategie.

12 Glossar Wald und Holz 4.0

In diesem Glossar sollen zentrale Begriffe für Wald und Holz 4.0 gesammelt und beschrieben werden. In großen Teilen wird sich dabei an den Glossar der Plattform Industrie 4.0 (<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Glossar/glossar.html>) angelehnt bzw. können diesem die zentralen Industrie 4.0-Begriffe entnommen werden.

Asset

Ein Asset⁷³ ist eine „Entität, die einen wahrgenommenen oder tatsächlichen Wert für eine Organisation hat und der Organisation gehört oder von ihr individuell verwaltet wird“⁷⁴. 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 Daten, Datenmodelle und Simulationsmodelle sind Teil der Informationswelt. Konkrete Beispiele für Assets im Cluster Wald und Holz sind somit Harvester, Bäume, Waldboden, Waldarbeiter, Maschinenbuchführungssysteme oder Baumartenkarten.

Digitalisierung

Die Digitalisierung ist ein Werkzeug, die die digitale Transformation ermöglicht und an deren Ende Industrie 4.0 als Zukunftsvision steht⁷⁵.

Dabei geht es zum einen um die Umwandlung von analogen zu digitalen Informationen und zum anderen beschreibt es die Nutzung digitaler Technologien. Somit stellt sich die **Digitalisierung** als Werkzeug dar. Der zielgerichtete Unternehmenswandel hin zur Nutzung dieser neuen digitalen Technologien und Anpassung der Geschäftsmodelle und der Wertschöpfung wird als **digitale Transformation** beschrieben. An dessen Ende steht die Zukunftsvision **Industrie 4.0**. Diese hat einen wertschöpfungsübergreifenden Fokus. Zentraler Aspekt ist die Vernetzung von Technologien mit dem Ziel der echtzeitfähigen Verfügbarkeit von Daten und der Selbststeuerung aller Teilnehmer⁷⁶.

Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz (KIWUH)

In Abgrenzung zum KWH4.0 gibt es das namensähnliche KIWUH⁷⁷: „Das Kompetenz- und Informationszentrum Wald und Holz (kurz KIWUH) in der FNR arbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und bündelt Aktivitäten rund um die Bereiche Wald und Holz. Hauptaufgaben des KIWUH sind die Unterstützung von Forschung und Entwicklung zu den Themenbereichen Wald und Holz (Projektträgerfähigkeit im Auftrag des BMEL und des BMU zu bestehenden Förderprogrammen Wald/Holz), die Aufbereitung und Bereitstellung von Fachinformationen aus aktuellen Forschungsergebnissen sowie Bereitstellung von Bürger- und Verbraucherinformationen.“⁷⁸

Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 (KWH4.0)

Die Überführung der WH4.0-Vision in die Praxis können einzelne Hersteller von Maschinen und Software oder einzelne Forschungsinstitutionen nicht leisten. Vielmehr müssen vorhandene Kompetenzen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung in einem übergreifenden Ansatz gebündelt werden. Genau dies leistet das Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0. Gemeinsam mit dem Cluster Wald und Holz

⁷³ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Der Digitale Zwilling in WH4.0“

⁷⁴ Siehe Glossar Plattform Industrie 4.0 (<https://www.plattform-i40.de/140/Navigation/DE/Service/Glossar/Functions/glossar.html>)

⁷⁵ Kersten, von See, Indorf: Digitalisierung als Wegbereiter für effizientere Wertschöpfungsnetzwerke

⁷⁶ Kersten, von See, Indorf: Digitalisierung als Wegbereiter für effizientere Wertschöpfungsnetzwerke

⁷⁷ <https://www.kiwuh.de/>

⁷⁸ Zitat von <https://www.fnr.de/fnr-ueber-uns/aufgaben/kiwuh/> (abgerufen am 24.7.2019)

entwickelt es Grundlagen für WH4.0 und dokumentiert diese, unterstützt und moderiert die Umsetzung und stellt mit den SFL Entwicklungs- und Testumgebungen bereit.

Smart Forest Lab (SFL)

Smart Forest Labs⁷⁹ bilden durch Einbeziehung maßgeblicher WH4.0-Komponenten, -Dienste und -MMS sowie geeigneter Kommunikationsinfrastrukturen technisch wie personell einen repräsentativen Querschnitt des Clusters Wald und Holz ab. Sie werden für Entwicklung, Test und Validierung von Realisierungsbausteinen für WH4.0 sowie zur Verbreitung des WH4.0-Konzepts und Schulung von Stakeholdern und Akteuren eingesetzt. Die Nutzung der SFL steht den Clusterstrukturen offen.

Wald und Holz 4.0 (WH4.0)

Wald und Holz 4.0 verfolgt das Ziel, Industrie 4.0-Konzepte und mit deren Umsetzung verbundene Technologien in den Cluster Wald und Holz zu übertragen und hierdurch die dortigen Wertschöpfungsnetzwerke weiterzuentwickeln.

Wald und Holz 4.0-Dienst (WH4.0-Dienst)

Ein Dienst stellt einen abgegrenzten Funktionsumfang bereit, der von einer Entität oder Organisation über Schnittstellen angeboten wird. Dem Dienst können eine oder mehrere Operationen zugeordnet sein⁸⁰. Ein WH4.0-Dienst ist dadurch gekennzeichnet, dass er im Kontext von WH4.0 spezifizierte/genutzte Schnittstellen unterstützt.

Wald und Holz 4.0-Komponente (WH4.0-Komponente)

Die Kombination eines Assets mit einer Verwaltungsschale und dem dort verwalteten DZ wird als WH4.0-Komponente⁸¹ bezeichnet. Eine WH4.0-Komponente ist ein weltweit eindeutig identifizierbarer kommunikationsfähiger Teilnehmer mit digitaler Verbindung zu einem WH4.0-System, der dort Dienste mit definierten Eigenschaften abbildet. Eine WH4.0-Komponente ist dadurch gekennzeichnet, dass sie im Kontext von WH4.0 spezifizierte/genutzte Schnittstellen unterstützt.

Wald und Holz 4.0-Mensch-Maschine-System (WH4.0-MMS)

Ein Mensch-Maschine System (MMS) bzw. sozio-technisches System stellt eine Organisation von Menschen und Maschinen dar, die zielgerichtet in einer Umwelt zusammenwirken, um gemeinsam vorgegebene Aufgaben zu erfüllen. Neben der Charakterisierung nach der Anzahl der beteiligten personellen und maschinellen Komponenten (von einfachen MMS wie das System Fahrer-Fahrzeug bis zu komplexen Leitständen mit mehreren Menschen), lassen sich Mensch-Maschine Systeme in ereignisorientierte Dialogsysteme und dynamische Systeme einteilen. Dialogsysteme sind interaktive ereignisgesteuerte Informationsverarbeitungssysteme, die ständig auf externe Eingaben reagieren. Der Benutzer greift über eine graphische Benutzungsoberfläche (GUI) und ein Menü auf einzelne Systemfunktionen zu. Dynamische Systeme sind durch kontinuierlich veränderliche Zustandsvariablen gekennzeichnet. Falls die Regelung von Hand erfolgt, bezeichnet man diesen Zustand als „man in the loop“. Entsprechend gilt bei einer automatischen Regelung „man out of the loop“. Ein WH4.0-MMS ist dadurch gekennzeichnet, dass er im Kontext von WH4.0 spezifizierte/genutzte Schnittstellen unterstützt.

⁷⁹ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Smart Forest Labs“

⁸⁰ Siehe Glossar der Plattform Industrie 4.0 (<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/Glossar/glossar.html>)

⁸¹ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Der Digitale Zwilling in WH4.0“

Wald und Holz 4.0-System (WH4.0-System)

Ein WH4.0-System⁸² ist ein System aus WH4.0-Komponenten, WH4.0-Diensten und WH4.0-Mensch-Maschine-Systemen, das einem bestimmten Zweck dient, definierte Eigenschaften aufweist und standardisierte Dienste und Zustände unterstützt.

Wertschöpfung

Wertschöpfung⁸³ ist die Wertgröße, um die die Einnahmen die Ausgaben übersteigen. Eine höchstmögliche Wertschöpfung zu erzielen sollte das Ziel jeden ökonomischen Handelns sein.

Wertschöpfungskette

Eine Wertschöpfungskette⁸⁴ ist als Aneinanderreihung von Wertschöpfungsprozessen definiert.

Wertschöpfungsnetzwerk

Ein Wertschöpfungsnetzwerk⁸⁵ beschreibt ein System aus einzelnen Wertschöpfungsketten und deren prozesstechnischer Abhängigkeit.

Wertschöpfungsprozess

Der Wertschöpfungsprozess⁸⁶ ist der Prozess, aus dem ein für Abnehmer wertvolles Gut entsteht. Die betrachteten Güter können dabei nicht nur materiell (z.B. Rohstoffe, Produkte) sondern auch immateriell sein (z.B. Wissen, Daten, Dienstleistung) sein.

⁸² Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Der Digitale Zwilling in WH4.0“

⁸³ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0“

⁸⁴ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0“

⁸⁵ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0“

⁸⁶ Siehe auch KWH4.0-Standpunkt „Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0“

13 KWH4.0-Standpunkte

Relevante Technologien bzw. relevante Themenbereiche spricht das KWH4.0 durch die Veröffentlichung von Whitepapers, sogenannter „KWH4.0-Standpunkte“, an. Diese Standpunktpapiere unterstützen einen schrittweisen Ansatz. Sie bieten dadurch Raum für Diskussion und wollen so möglichst viele Clusterakteure mit einbinden. Die KWH4.0-Standpunkte sind frei zugänglich und werden über die KWH4.0-Webseite bereitgestellt.

13.1 Referenzarchitektur für WH4.0

Dieser Standpunkt fasst Semantik, Struktur, Perspektiven und Umsetzung der Referenzarchitektur im 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 Wald und Holz 4.0 zu schaffen, mit deren Hilfe sich alle Teilnehmer von Wald und Holz 4.0 verstehen können. Das Referenzarchitekturmodell stellt eine dreidimensionale Landkarte bereit, die beschreibt wie das Thema Wald und Holz 4.0 strukturiert angegangen werden kann.

13.2 Architektur zur technischen Umsetzung von WH4.0

In diesem Standpunkt sollen ausgehend von der in Abbildung 6-9 gezeigten Struktur IT-Infrastrukturkonzepte zur technischen Umsetzung von WH4.0-Komponenten, -Diensten und -MMS beschrieben und diese u.a. als Laufzeitumgebungen für den Digitalen Zwilling vorgestellt werden. Im Fokus sollen Cloud-, Fog- und Edge-Computing als übergeordnete Konzepte stehen, deren Eigenschaften sowie Vor- und Nachteile gegeneinander abgegrenzt werden sollen. Des Weiteren soll vorgestellt werden, wie der Digitale Zwilling von den jeweiligen Konzepten profitiert und wie er sich in die Infrastrukturen integriert.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.3 Der Digitale Zwilling in WH4.0

Dieser Standpunkt fasst Semantik, Struktur, Perspektiven und Umsetzung des Digitalen Zwillings im Wald und Holz 4.0-Kontext aus einer wissenschaftlichen Perspektive im Überblick zusammen. Er definiert und erläutert dazu insbesondere zentrale Konzepte und Begriffe wie Asset, Digitaler Zwilling, Verwaltungsschale und WH4.0-Komponente.

13.4 Kommunikationsinfrastruktur für WH4.0

In diesem Standpunkt soll die technische Infrastruktur der Kommunikation im Hinblick auf Funktechnologien (LoRa, Sigfox, LTE, Bluetooth etc.) beschrieben werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.5 Kommunikationsprotokolle für WH4.0

In diesem Standpunkt sollen die Transportprotokolle (OPC UA, MQTT, REST etc.) für die Kommunikation in WH4.0 beschrieben werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.6 Grundlagentechnologien für WH4.0

In Vorbereitung der Übertragung auf den Cluster Wald und Holz wurden Grundlagentechnologien, insbesondere aus der bisherigen Anwendung in der Produktionstechnik untersucht und auf Ihre Eignung

für den Einsatz in dem neuen Anwendungsgebiet hin bewertet. In verschiedenen Einsatzbereichen wurden dazu unterschiedliche Technologien betrachtet. Die genannten Technologien wurden auf ihre Einsatzmöglichkeit im Cluster Wald und Holz hin untersucht. Dieser Standpunkt fasst die Ergebnisse zusammen.

13.7 Datenformate für WH4.0

In diesem Standpunkt sollen die für WH4.0 relevanten Datenformate (z.B. StanForD, ELDATsmart, piNet, FWW, Shape etc.) zusammengefasst werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.8 ForestML zur Waldbeschreibung

In diesem Standpunkt soll das ForestML-Datenmodell beschrieben werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.9 Rechtlicher Rahmen zur Datenverarbeitung

Dieser Standpunkt soll zunächst einen ersten Überblick zu dem rechtlichen Rahmen bei der Verwendung und Verarbeitung von Daten schaffen. Die Auslegung und Interpretation der Datenschutzgrundverordnung des europäischen Parlaments (DSGVO) und deren Umsetzung im deutschen Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) in diesem Dokument sind aktuell als Ratgeber zu verstehen. In WH4.0 sind Daten und deren Aufnahme sowie Verarbeitung allgegenwärtig. Daher spielt der Datenschutz eine zentrale Rolle. Dieser Standpunkt setzt sich daher mit den Datenschutzgrundrechten in Bezug auf personenbezogene Daten und den Betroffenenrechten auseinander, d.h. insbesondere mit allgemeinen Pflichten, Vorgehensweisen und dem Zweck der Datenaufnahme (wissenschaftlich/kommerziell).

13.10 Wertschöpfungsnetzwerke in WH4.0

Dieser Standpunkt wird sich mit bestehenden Wertschöpfungsprozessen und der Frage, wie Digitalisierung und Vernetzung neue Chancen für den Cluster Wald und Holz bringen, befassen.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.11 Datenmanagement für WH4.0

In diesem Standpunkt sollen Aspekte der Datenverwaltung im Kontext von WH4.0 erläutert werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.

13.12 Smart Forest Labs (SFL)

In diesem Standpunkt soll die Ausgestaltung und Nutzung der Smart Forest Labs in ihren drei Ausprägungen skizziert werden.

Dieser Standpunkt wird noch erscheinen.