

Leitfaden zur Nutzung des Smart Forestry-Systems



Einführung

Die Holzernte als Teil der multifunktionalen Waldwirtschaft bewegt sich im Spannungsfeld zwischen ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Anforderungen. So sind alle Beteiligten zur bedarfsgerechten Waldnutzung verpflichtet. Gleichzeitig rückt die umweltschonende Produktion in den Vordergrund und wird durch die Vergabe von Umweltzertifizierungen belohnt. Darüber hinaus leisten Wälder einen entscheidenden Beitrag bei der Einsparung von CO₂. In den vergangenen Jahren wurde eine Vielzahl an Konzepten und technischen Lösungen entwickelt, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Es fehlt bislang aber ein übergreifender und dennoch dezentral umgesetzter Ansatz, um die vorhandenen Konzepte und Lösungen in die Praxis zu bringen.

Im Verbundvorhaben Smart Forestry [1] haben wir zusammen mit unseren Projektpartnern neue clusterübergreifende und auf Wald und Holz 4.0-Konzepten beruhende Ansätze für eine intelligente, vollintegrierte Holzernte entwickelt. Das Smart Forestry-Konzept vernetzt auf der Grundlage Digitaler Zwillinge (DZ) erstmals alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette der Holzernte – von der Einschlagsplanung bis zur Anlieferung beim Abnehmer. Über situationsspezifisch frei konfigurierbare Wertschöpfungsnetzwerke ermöglicht es die Kommunikation aller Akteure „auf Augenhöhe“ zur Steuerung, Überwachung, Bewertung und Optimierung des Holzernteprozesses sowie seine Integration in vor- und nachgelagerte Prozessstufen einschließlich Datenrückfluss vom Werk zurück zum Waldbesitzer. Daten und Datenhoheit bleiben bei den Akteuren selbst, ein Hochladen aller relevanten Daten in eine Cloud entfällt. Stattdessen werden Daten zielgerichtet und Ende-zu-Ende-verschlüsselt direkt zwischen den Akteuren ausgetauscht.

Konkret liefert Smart Forestry alle notwendigen Bausteine für die Vernetzung der Holzernte- und -logistikkette:

- Spezifikationen der Teilprozesse, d.h. Planung und Beauftragung, Holzernte (hochmechanisiert, motormanuell), Transport und Werkseingang und Werklager
- Allgemeingültige Schablonen für beteiligte DZ, Softwaredienste und Benutzerschnittstellen wie Apps

- Konkrete Umsetzungen dieser Schablonen für ausgewählte Maschinen (DZ) und Anwender (Apps) sowie Software-Baukästen für die Umsetzung eigener kompatibler Lösungen
- IoT-Infrastruktur „Smart Systems Service Infrastructure“ (S³I) als Grundlage der Vernetzung

Dieser Leitfaden gibt einen Einblick in diese Bausteine und in die Praxiserfahrungen der beteiligten Projektpartner und vermittelt so die notwendigen Arbeiten zur Implementierung von Smart Forestry bei anderen Waldbesitzern, Forstunternehmen, Speditionen und Holzabnehmern.

Im vorliegenden Leitfaden führen wir zunächst in die Grundlagen von Wald und Holz 4.0 ein (Digitale Zwillinge, Internet of Things und Smart Systems Service Infrastructure) und stellen die für den Smart Forestry-Ansatz entwickelten Schablonen vor. Anschließend stellen wir die Smart Forestry-Teilprozesse zur Umsetzung der Holzernte- und -logistikkette vor. Abschließend zeigen wir beispielhaft die Erfahrungen und Best Practices in der Umsetzung der Smart Forestry-Ansätze bei den Projektpartnern auf und geben einen Ausblick.

Digitale Zwillinge und Internet of Things (IoT)

Grundlage der Kommunikation in Wald und Holz 4.0 ist die dezentrale Vernetzung in einem Internet der Dinge (Internet of Things, IoT). Die „Dinge“ in diesem IoT werden als WH4.0-Dinge bezeichnet. Sie umfassen

- WH4.0-Komponenten, sogenannte „Assets“ (wie Maschinen, Geräte, Menschen ...) mit ihrem jeweiligen Digitalen Zwilling,
- WH4.0-Dienste, d.h. übergreifende Softwaredienste (z.B. zur Optimierung oder Steuerung ...) und
- WH4.0-Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) (Desktop-/Web-Anwendungen, Apps ...),

die situationspezifisch zu WH4.0-Systemen vernetzt werden, um Wertschöpfungsketten und damit Wertschöpfungsprozesse abzubilden. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Zusammenhänge der WH4.0-Dinge. Das Smart Forestry-System stellt dann genau ein solches WH4.0-System dar (Abbildung 8).

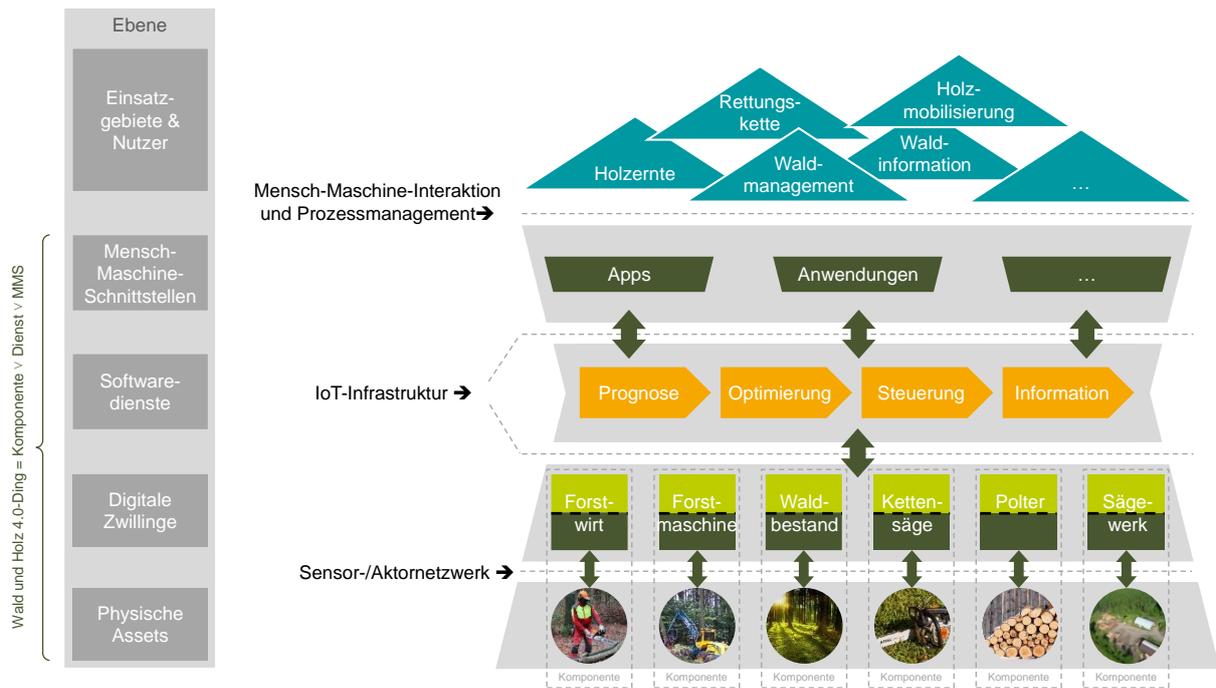


Abbildung 1: Vernetzung von „Dingen“ in Wald und Holz 4.0¹

Eine zentrale Rolle nimmt dabei der Digitale Zwilling (DZ) ein [2]. Abbildung 2 skizziert dessen Grundidee am Beispiel eines Forwarders. Als virtuelles Abbild repräsentiert er sein Asset, von dem er intern die notwendigen Daten erhält bzw. steuernd eingreift, in der Informationswelt. Zur internen Kommunikation zwischen Asset und DZ werden typischerweise Asset-spezifische und dadurch oft proprietäre Ansätze genutzt, beispielsweise der Abruf von Produktionsdaten oder das Einspielen von Auftragsdaten über eine Netzwerkfreigabe. Nach außen, d.h. im IoT, stellt der DZ demgegenüber seine Daten sowie Dienste und Ereignisse standardisiert durch eine vereinheitlichte Kommunikation zur Verfügung. So können Informationen an den DZ übergeben oder von ihm abgerufen werden. Dabei sind verschiedene Zugriffsberechtigungen zu berücksichtigen (im Beispiel vereinfacht durch „interne“ und „externe“ Daten illustriert).

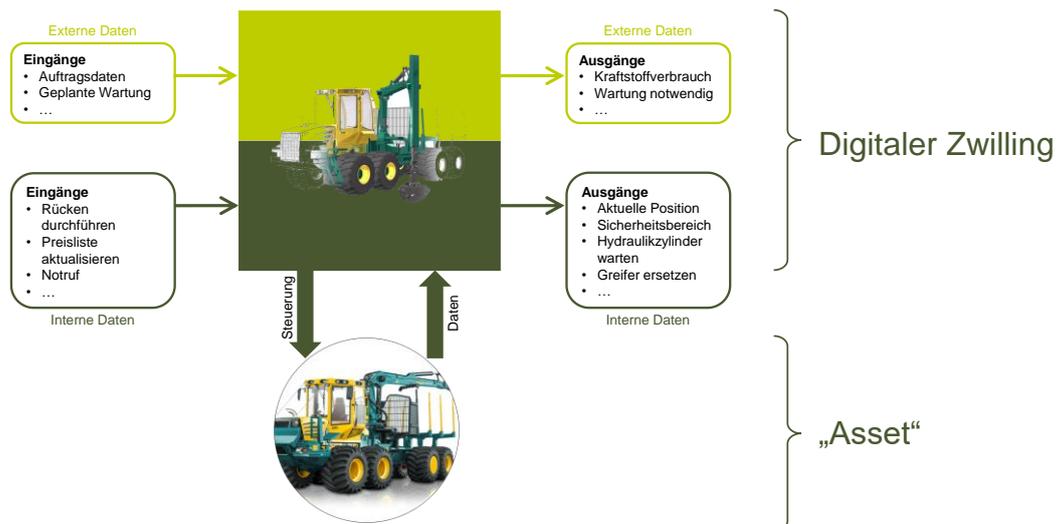


Abbildung 2: Digitaler Zwilling am Beispiel eines Forwarders²

¹ Aufbauend auf Bosch Software Innovations 2012. Fotos: A. Böhm (Waldarbeiter), HSM (Forstmaschine), Pixabay (Rest)

² Abbildung Forwarder von HSM

WH4.0-Dinge können durch unterschiedliche technologische Ansätze umgesetzt werden. Digitale Zwillinge können ihre Laufzeitumgebung entweder direkt an oder auf ihrem Asset haben (Edge-Ansatz) oder auf einem Server betrieben werden (Cloud-Ansatz); dazwischen gibt es Mischformen (Fog-Ansätze). Die Ansätze haben je nach Asset und Einsatzszenario unterschiedliche Vor- und Nachteile. Forstmaschinen wie Erntemaschinen profitieren vom Edge-Ansatz, da die Daten lokal verarbeitet und dann über Funkverbindungen übertragen werden. Assets, die keine Maschinen sind (Wald, Polter etc.), benötigen hingegen eine Laufzeitumgebung (Hardware und Software) in der Cloud. Die gleichen Überlegungen können für Dienste (Lokalisierungsdienst im Edge-Ansatz versus Waldwachstumssimulationsdienst in der Cloud) oder Mensch-Maschine-Schnittstellen (lokale Anwendung auf einem Smartphone versus Webanwendung in der Cloud) angestellt werden.

Für eine erfolgreiche Vernetzung müssen die WH4.0-Dinge kommunizieren können. Dazu reicht aber die Spezifikation kompatibler Verbindungstechnik (z.B. WLAN, LoRa, 5G ...) und darüber realisierten Kommunikationsprotokollen (MQTT, AMQP, OPC UA, S³I-B, REST ...) allein nicht aus. Auch die Semantik der Kommunikation, die dabei „gesprochene Sprache“, muss untereinander verstanden werden. In Wald und Holz 4.0 entspricht dies einem einheitlichen Datenmodell für alle WH4.0-Dinge, entsprechend dem Digitale Zwillinge, Dienste und MMS aufgebaut sind und entsprechend dem alle WH4.0-Dinge kommunizieren, so dass deren Struktur sowie verfügbaren Eigenschaften und Servicefunktionen einheitlich definiert sind und dadurch auch eine für alle definierte und verständliche Semantik haben.

Dieses konzeptuelle Datenmodell ist aber mehr als eine „Schnittstelle“ oder eine „Sprache“ für die Kommunikation untereinander. Viel mehr beschreibt es formal den Aufbau und Inhalt der WH4.0-Dinge selbst. Das KWH4.0 hat die Forest Modeling Language 4.0 (ForestML 4.0 oder kurz fml40) als Vorschlag für ein solches Datenmodell entwickelt [3]. Auf dieser Grundlage wurden auch die Schablonen der Digitalen Zwillinge sowie der Nachrichten des Smart Forestry-Systems modelliert. Wichtig ist, dass dabei existierende Branchenstandards wie insbesondere StanForD2010 und ELDATsmart in ForestML 4.0 integriert werden.

Die Umsetzung konkreter Digitaler Zwillinge (und Dienste und MMS) kann dann unabhängig von der allgemeingültig definierten Modellierung erfolgen. Für den Smart Forestry-Demonstrator wurde dazu für Digitale Zwillinge und Dienste die Python-basierte „ForestML 4.0 (fml40) reference implementation“ [4], [5] genutzt und weiterentwickelt. Sie steht frei zur Verfügung. Sie bietet die notwendigen Bausteine, um die modellierten Digitalen Zwillinge „zum Leben zu erwecken“. Dazu zählt insbesondere der Zugriff auf ihre Daten und Dienste, die Umsetzung ihres logischen Verhaltens oder die individuelle Verbindung zu ihrem Asset.

Vernetzung mit der Smart Systems Service Infrastructure (S³I)

Technisch erfolgt die Vernetzung in Smart Forestry über die Smart Systems Service Infrastructure (S³I) [6], [7]. Die S³I stellt eine minimale Infrastruktur bereit, um eine dezentrale Vernetzung der WH4.0-Dinge zu ermöglichen (Abbildung 3). Grundlegend bietet S³I dazu technische Realisierungen

- 1) zur Authentifizierung,
- 2) zum gegenseitigen Finden über ein Verzeichnis sowie
- 3) zur sicheren Kommunikation.

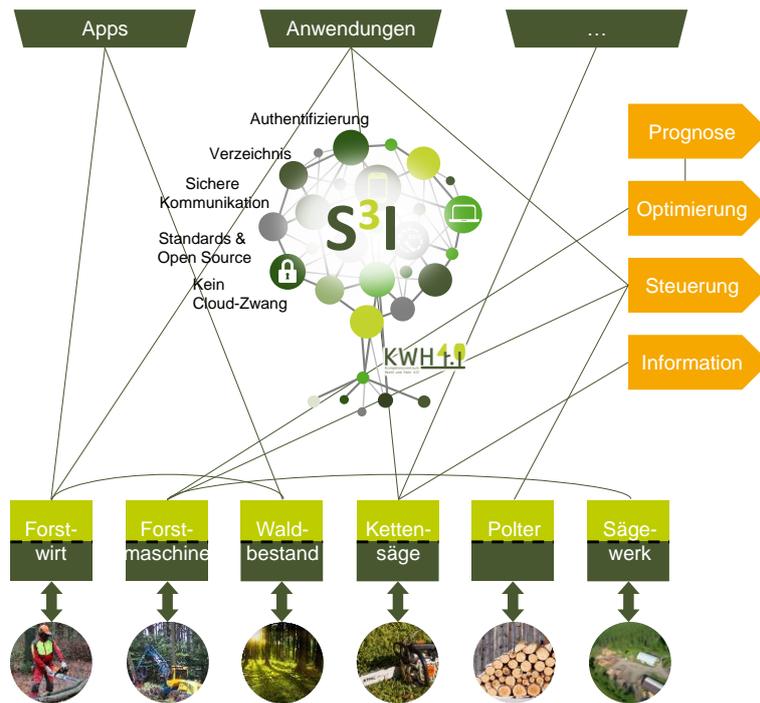


Abbildung 3: Grundlegender Ansatz der Smart Systems Service Infrastructure (S³I) zur Vernetzung von WH4.0-Dingen³

Konkret setzt sich das System aus den folgenden Komponenten zusammen:

- S³I-IdentityProvider: Verwaltet die Identitäten der WH4.0-Dinge und ihrer Nutzer und stellt ihnen dazu einen OAuth 2.0-konformen Dienst zur Authentifikation (Single-Sign-On) bereit
- S³I-Directory: Speichert die Metadaten der WH4.0-Dinge und stellt einen REST- sowie Websocket-konformen Abfragedienst bereit, der zudem eine Rollen-basierte Zugriffskontrolle unterstützt
- S³I-Broker: Bietet eine Nachrichten-basierte Kommunikation nach dem Store-and-Forward-Prinzip auf Basis des AMQP-Protokolls, Möglichkeit der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung (Client-seitig, unabhängig vom Broker)
- S³I-Repository (optional): Bietet einen Cloud-Speicher für die Daten der Digitalen Zwillinge selbst
- S³I-Registration: REST-konformer Dienst zur Registrierung der WH4.0-Dinge

S³I selbst kann als zentrale aber auch als dezentrale IoT-Infrastruktur implementiert und genutzt werden. Im Fall einer zentralen Nutzung ist eine S³I-Instanz auf einem Server erforderlich, der von allen Beteiligten global erreichbar ist. Mit dieser Instanz vernetzen sich alle WH4.0-Dinge zum Datenaustausch und Serviceaufruf. Bei der Arbeit im Wald kommt es regelmäßig zu Einschränkungen durch schlechte Internetabdeckung. In diesem Zusammenhang kann S³I auch dezentral genutzt werden, um eine lokale „Peer-to-Peer“-Vernetzung zu gewährleisten. Dazu wird eine sogenannte S³I-Box genutzt, auf der eine lokale S³I-Instanz im Sinne eines portablen Servers betrieben wird. Die S³I-Box wird in den Wald mitgebracht, um WH4.0-Dinge vor Ort zu vernetzen. Hat die Box (z.B. am Abend) Internetzugang, verbindet sie sich zur Synchronisation (insbesondere von Nachrichten) mit dem globalen S³I.

³ Fotos: A. Böhm (Waldarbeiter), HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

Schablonen für Digitale Zwillinge und Nachrichten

Smart Forestry stellt ForestML 4.0-basierte Schablonen für Digitale Zwillinge (Abbildung 4) und Nachrichten (Abbildung 5) bereit. Die konkreten Schablonen finden sich unter [8]. Sie dienen als Grundlage zur Realisierung von Digitalen Zwillingen.

Systeme	Personen/Organisationen	Maschinen	Handgeführte Geräte	Maschinenteile	Ort/Straße	Bäume
<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsteam 	<ul style="list-style-type: none"> • Auftraggeber • Einsatzleiter • Forstwirt • Kunde • Holzverkäufer • Maschinenführer • Spediteur • Waldbesitzer • Forstunternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Forstmaschine • Harvester • LKW-Zugmaschine • Rückezug • Seilschlepper 	<ul style="list-style-type: none"> • Motorsäge 	<ul style="list-style-type: none"> • Harvester-Kopf • Klemmbank • Kran • Rückewinde • Rungenkorb • Traktionswinde • Traktionsband • Boogieband 	<ul style="list-style-type: none"> • Rettungspunkt • Holzlager • Werkseingang • Labor • LKW-Waage 	<ul style="list-style-type: none"> • Polter • Stammabschnitt • LKW-Ladeinheit

Abbildung 4: Übersicht der Schablonen für Digitale Zwillinge

Aufträge/Jobs	Schein	Liste	Meldung/Anz./Anweisung
<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsteam-Gründungsanfrage • Gesamtauftrag • Ernteauftrag • Transportauftrag • Polterauftrag 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzabfuhrschein • Ladeschein • Lieferschein 	<ul style="list-style-type: none"> • Holzliste • Polterliste 	<ul style="list-style-type: none"> • Endmeldung-Polter • Holzbereitstellungs-anzeige • Sortieranweisung • Füllstandänderungsmeldung/Prognose

Abbildung 5: Übersicht der Schablonen für Nachrichten

Abbildung 6 zeigt eine ForestML4.0-basierte Schablone für generische Forstmaschinen. Mit der Schablone werden u.a. die physische Struktur, Attribute sowie Dienste dargestellt. Beispielsweise repräsentieren „ml40::ManufacturingYear“, „ml40::Brand“, „ml40::SerialNumber“ und „ml40::Description“ die maschinenspezifischen Informationen. „fml40::CurrentWeight“, „fml40::SteeringAngle“ und „fml40::RoadVelocity“ beschreiben den aktuellen Betriebszustand. „ml40::Composite“ spezialisiert die physische Struktur einer generischen Forstmaschine. „fml40“ beschreibt den Namespace für ForestML4.0, während „ml40“ den forst-unspezifischen Kern der Sprache bedeutet. Diese Schablone wurde zur Entwicklung der Schablonen für Harvester und Forwarder genutzt.

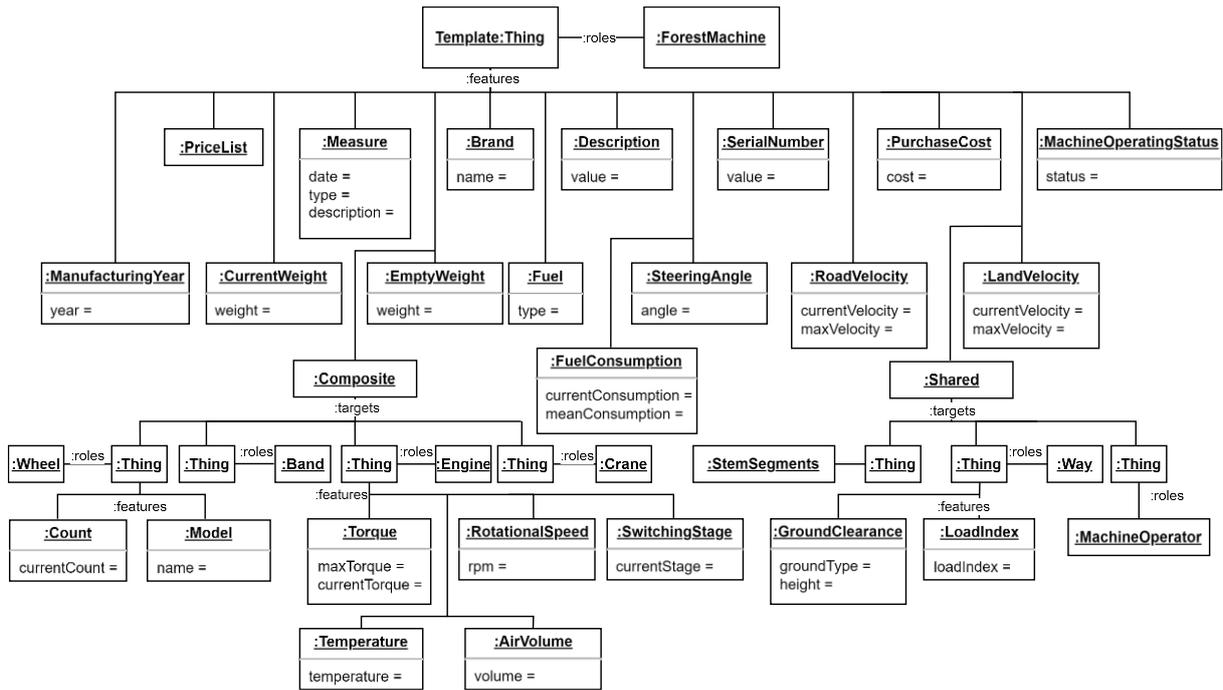


Abbildung 6: Eine ForestML4.0-basierte Schablone für generische Forstmaschinen

Abbildung 7 zeigt den Ausschnitt einer S³I-Basierten Nachrichtenschablone für einen Gesamtauftrag, der vom Waldbesitzer erzeugt und an sein Produktionsteam geschickt wird. Diese Nachrichtenschablone spezifiziert Struktur und Inhalt des Gesamtauftrags, welcher sich u.a. aus StanForD2010-Produktionsaufträgen, Geolokation des Einsatzorts und Auftragsdetails inkl. Mengen, Sortimenten sowie Kunden zusammensetzt.

```

{
  "properties":{
    "parameters":{
      "properties":{
        "orderDetails":{
          "patternProperties":{
            "^[0-9a-fA-F]{8}-[0-9a-fA-F]{4}-[1-5][0-9a-fA-F]{3}-[89abAB][0-9a-fA-F]{3}-[0-9a-fA-F]{12}$":{
              "type":"object",
              "properties":{
                "orderName":{
                  "type":"string"
                },
                "EUDR":{
                  "type":"object",
                  "properties":{
                    "referenceNumber":{"type":"string"},
                    "validationNumber":{"type":"string"},
                  }
                },
                "timberHarvestingVolume":{"type":"number"},
                "timberHarvestingVolumeUnit":{"type":"string"},
                "timberHarvestingProcedure":{"type":"string"},
                "timberAssortment":{"type":"string"},
                "customer":{"type":"string"},
                "deliveryDestination":{"type":"string"},
                "woodSalesModus":{"type":"string"}
              }
            },
            "required":[
              "orderName",
              "timberHarvestingVolume",
              "timberHarvestingVolumeUnit",
              "timberHarvestingProcedure",
              "timberAssortment",
              "woodSalesModus"
            ]
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

Abbildung 7: Ausschnitt der Nachrichtenschablone für einen gesamten Produktionsauftrag

Smart Forestry-Teilprozesse

Abbildung 8 gibt einen Gesamtüberblick über ein exemplarisches Wald und Holz 4.0-basierte Smart Forestry-System aus vernetzten Digitalen Zwillingen, Diensten und Mensch-Maschine-Schnittstellen. Es bezieht sich auf die operative Ebene des beispielhaften Hiebsprojekts. Daher wird vorausgesetzt, dass im Vorhinein alle organisatorischen und vertragstechnischen Maßnahmen ergriffen wurden, z.B. ein Rahmenvertrag mit Spedition zum Transport vom Holz des jeweiligen Hiebsprojektes, um den Smart Forestry-Prozess zu ermöglichen.

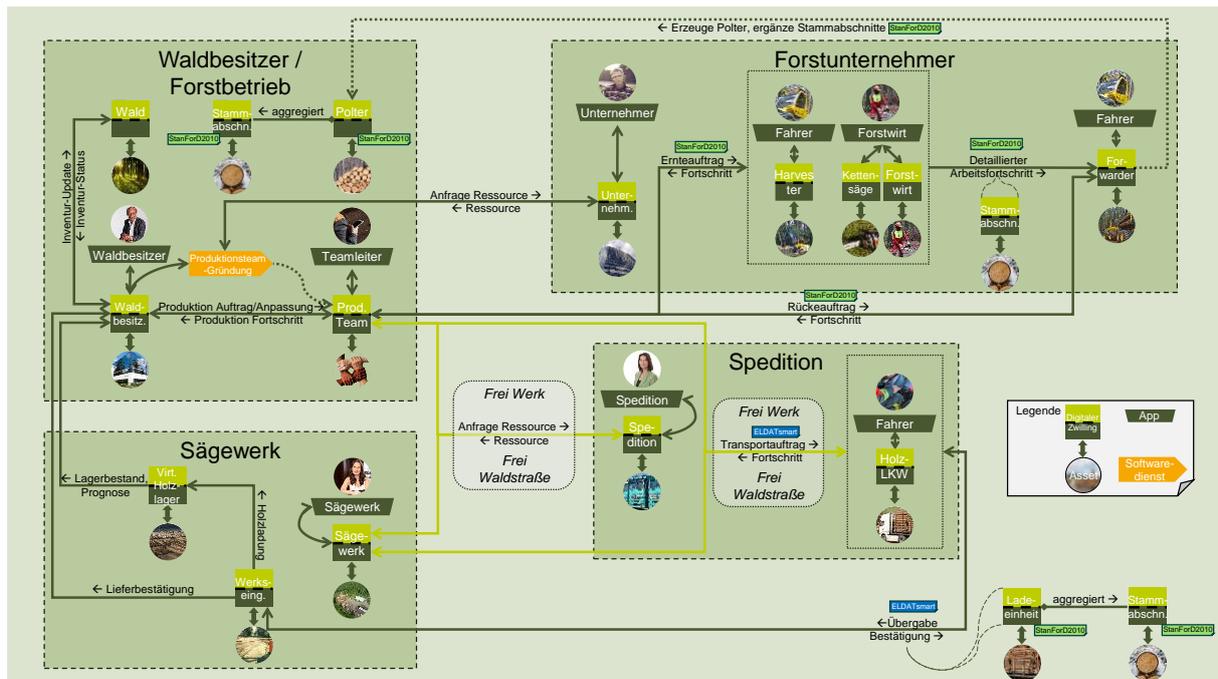


Abbildung 8: Die Holzernete- und -logistikette von Smart Forestry als WH4.0-System aus Digitalen Zwillingen, Softwarediensten und Benutzerschnittstellen⁴

In diesem Beispiel spezifiziert der Smart Forestry-Ansatz fünf Teilprozesse, die im Folgenden erläutert werden.

Teilprozess Planung und Beauftragung

In diesem Teilprozess (Abbildung 9) fragt der DZ Waldbesitzer zunächst Ressourcen (z.B. Harvester, Forwarder, Forstwirte, LKW) für ein Hiebsprojekt beim Produktionsteam-Gründungsservice an. Dieser wählt aus seinem Ressourcenpool entsprechende aus, stellt bei den DZ Forstunternehmer, DZ Spedition oder dem eigenen Ressourcenpool eine Anfrage und stellt auf Rückmeldung derer so ein Produktionsteam zusammen. Mittels eines Gesamtproduktionsauftrags kann nun der DZ Waldbesitzer das so gebildete Produktionsteam beauftragen. Im Produktionsauftrag werden alle relevanten Informationen für die gewählten Ressourcen, u.a. unter Verwendung von Schnittstellenstandards wie StanForD, GeoJSON etc., erzeugt und an den DZ Produktionsteam übermittelt. Im Rahmen seiner Prozess-Orchestrierung erstellt das DZ Produktionsteam dann Einzelarbeitsaufträge für die jeweiligen Ressourcen und versendet sie an deren DZ. Diese melden zurück, ob der Einzelauftrag angenommen wurde.

⁴ Fotos: A. Böhm (Forstwirt), HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

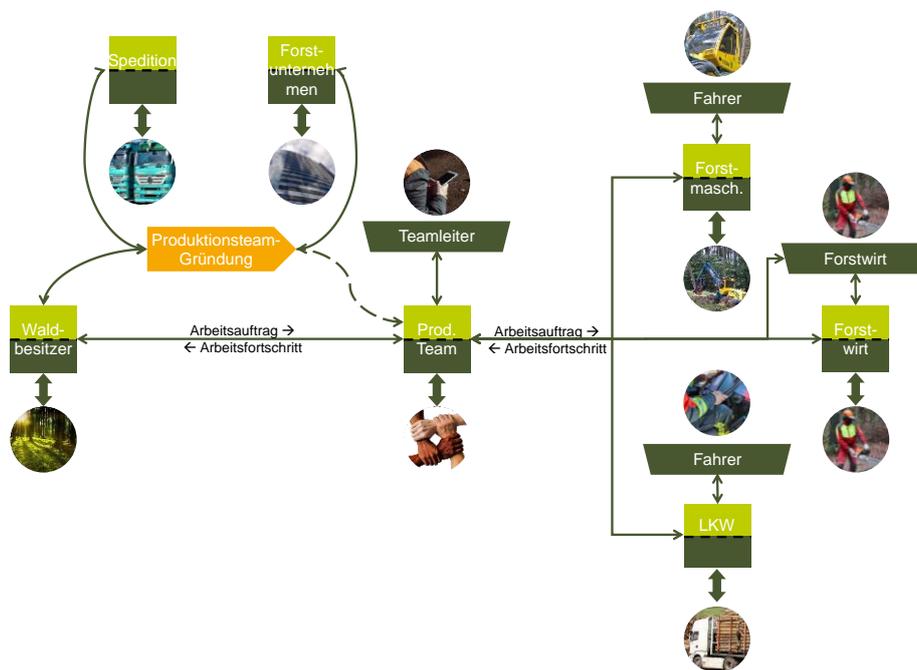


Abbildung 9: Teilprozess Planung und Beauftragung⁵

Dabei sind die Forstmaschinenführer und Waldarbeiter über eine App (auf Bordcomputer, Tablet oder Handy) mit dem DZ der Forstmaschine bzw. dem Waldarbeiter-DZ (welcher wiederum mit dem DZ Motorsäge verknüpft ist) verbunden. Laufen Holzernte und Rücken, senden diese DZ über Event-Nachrichten (oder auf explizite Anfrage an den DZ Produktionsteam) regelmäßig ihren Arbeitsfortschritt zu geschnittener bzw. gerückter Menge je Sortiment. Über den DZ Produktionsteam kann auch der DZ Waldbesitzer diese Informationen abgreifen und sich in seiner Benutzeroberfläche anzeigen lassen.

Handelt es sich um einen Frei-Werk-Prozess, wird der LKW-Fahrer, der mittels App mit dem DZ LKW verbunden ist, vom DZ Produktionsteam über einen Transportauftrag beauftragt, ein Polter abzutransportieren. Mehr dazu siehe Teilprozess Holztransport. Die Fortschrittmeldungen erfolgen hier wie beim Rücken.

Der Produktionsteamleiter ist ebenso über eine App mit dem DZ Produktionsteam verbunden und kann so das Hiebsprojekt überwachen und steuernd eingreifen.

Ergeben sich Änderungen, so kann der DZ Waldbesitzer, analog zum ursprünglichen Produktionsauftrag, Änderungsaufträge verschicken, wenn sich z.B. Auftragsmenge, Sortiment, Hiebsfläche etc. ändert.

Sämtliche Anfragen und Rückmeldungen nutzen S³l.

Teilprozess Hochmechanisierte Holzernte

Der Teilprozess hochmechanisierte Holzernte (Abbildung 10) basiert auf der Integration Digitaler Zwillinge, welche die Kommunikation und Koordination zwischen Harvester, Forwarder und weiteren Prozessen wie dem Holztransport aus dem Wald ermöglichen.

⁵ Fotos: A. Böhm (Forstwirt), HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

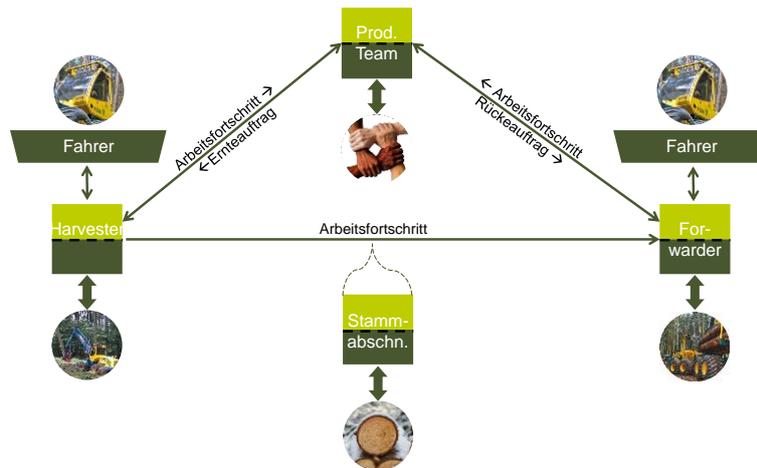


Abbildung 10: Teilprozess Hochmechanisierte Holzernte⁶

Der DZ des Harvesters sammelt und verarbeitet in Echtzeit Sensordaten, wie z. B. zum Maschinenstatus und Produktionsfortschritt (Baumart, Sortiment und Menge). Daten aus dem Bordcomputer stammen aus den Maschinen-eigenen Sensoren wie GNSS-Empfänger (GNSS, globales Navigationssatellitensystem; zur geographischen Lage) oder dem Harvesterkopf. Wo möglich werden die Daten in bestehenden Standards wie dem StanForD2010-Format übertragen. Relevante Daten, z.B. zur Position und zum Sortiment von liegenden Stammabschnitten, werden kontinuierlich über S³I im Detail an den DZ des Förderers und aggregiert an den DZ des Produktionsteams weitergeleitet. Auch der Forwarder meldet über seinen DZ den Arbeitsfortschritt, Information zu erstellten Poltern etc. in aggregierter Form an das Produktionsteam weiter. Eine Weitergabe der Information der DZ Harvester und Forwarder an weitere relevante Stellen des Smart Forestry-Prozesses ist denkbar.

Für die Maschinenführer kommen speziell entwickelte Apps zum Einsatz, die auf Tablets und Smartphones laufen. Relevante Information, wie beispielsweise die Lage von Stammabschnitten, deren Dimensionierung etc. können damit kartengestützt vom Maschinenführer eingesehen werden.

Teilprozess Motormanuelle Holzernte

Der Teilprozess der motormanuellen Holzernte (Abbildung 11) im Smart Forestry-System basiert ebenfalls auf der Integration Digitaler Zwillinge, jedoch mit besonderem Fokus auf die Erhebung von Produktionsdaten und die Verbindung zwischen intelligenter Motorsäge und dem Rückefahrzeug. Der DZ Produktionsteam versorgt den (DZ) Forstwart zunächst mit den notwendigen Auftragsdaten, die er in seiner Waldarbeiter-App einsehen und akzeptieren kann. Während der Arbeit wird der Arbeitsfortschritt durch den DZ Motorsäge erfasst. Dazu kann spezielle Sensorik oder auch zusätzliche Werkzeuge (digitale Messkluppe, Spracheingabe) zum Einsatz kommen (siehe Abschnitt „Hersteller handgeführter Geräte“).

⁶ Fotos: HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

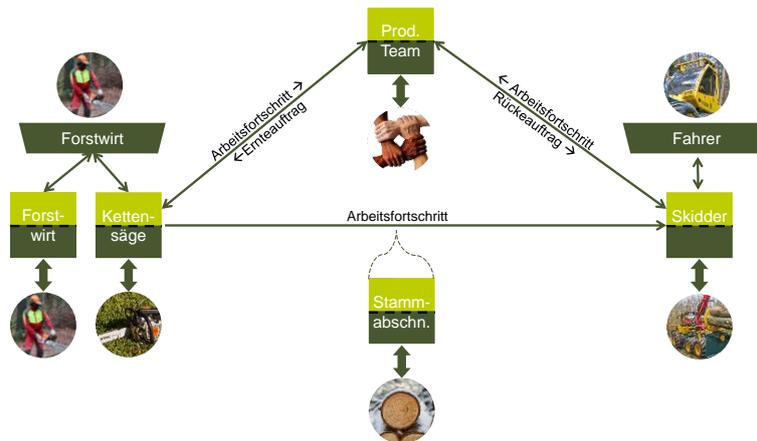


Abbildung 11: Teilprozess Motormanuelle Holzernte⁷

Der DZ Kettensäge sendet die erfassten Daten zum Arbeitsfortschritt im Detail in Form von DZ Stammabschnitten an den DZ Skidder und in aggregierter Form an den DZ Produktionsteam. Weitere Empfänger sind dabei leicht integrierbar. Die DZ der Stammabschnitte können je nach Erfassungstechnologie einen unterschiedlichen Detailgrad aufweisen, sie enthalten mindestens aber die Lage. Die Lage und weitere Informationen (z.B. Baumart, Sortiment, Menge) zu den Stammabschnitten können auf Karten in den Apps der Waldarbeiter und anderer Akteure im Produktionsteam dargestellt werden. Dies ermöglicht eine Verfolgung der Stammabschnitte und deren Zuordnung zu spezifischen Poltern, was den anschließenden Abtransport mit dem LKW und die Weiterverarbeitung effizienter gestaltet.

Teilprozess Holztransport

Der im Rahmen von Smart Forestry definierte Teilprozess Holztransport (Abbildung 12) fokussiert sich auf die Frei-Werk-Lieferung. Grundsätzlich unterstützt der Ansatz jedoch auch die Lieferung frei Waldstraße.

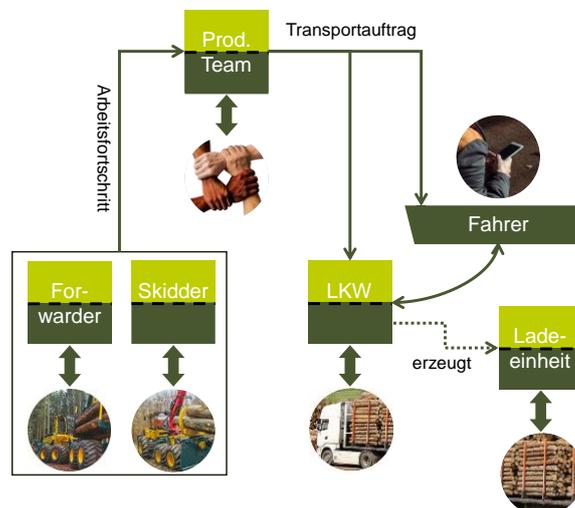


Abbildung 12: Teilprozess Holztransport⁸

Der DZ Produktionsteam als Orchestrator der Produktion erhält regelmäßig aktuelle Informationen über den Fortschritt der Rückarbeiten und entscheidet, wann der Holztransport eingeleitet werden soll. Sobald dieser überschritten wird, kann automatisch ein Transportauftrag durch den DZ Produktionsteam ausgelöst werden. Dieser Transportauftrag beinhaltet die Informationen über eine einzelne

⁷ Fotos: A. Böhm (Waldarbeiter), HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

⁸ Fotos: HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

Fuhre und wird direkt an den zuvor vom Produktionsteam als Ressource registrierten DZ LKW und die App seines Fahrers übermittelt.

Technologisch basiert der Transportauftrag auf ELDATsmart. Dabei werden wesentliche Informationen wie der Standort des Polters, der Abladeort und der Kunde im Transportauftrag festgehalten. Der LKW-Fahrer erhält zur Unterstützung eine App. Zusätzlich ist der LKW mit einem DZ ausgestattet, der insbesondere die Daten zur Ladung speichert.

Während der Annahme des Transportauftrags kann der LKW-Fahrer in der App die Informationen über den Polter (z.B. Position, Menge, Sortiment) auf der Karte einsehen. Er fährt zu dem angegebenen Standort, lädt das Holz auf und gibt die aufgeladene Menge direkt in die App ein. Diese Daten werden dann an DZ LKW weitergeleitet, wo ein DZ Ladeinheit erzeugt wird, die die physische Lieferung in der digitalen Welt abbildet. Zusätzlich wird der entsprechende DZ Polter um die aufgeladene Menge reduziert.

Schließlich fährt der LKW-Fahrer zum Abladeort (Werkseingang), wo die Lieferung und der zugehörige DZ Ladeinheit übergeben werden. Anschließend erhält der Fahrer über seine App eine Lieferbestätigung, so dass der Transportprozess abgeschlossen werden kann.

Teilprozess Werkseingang

Im Teilprozess Werkseingang sind LKW-Fahrer mit App und LKW sowie der Werkseingang, mit virtuellem Holzlager, Labor und LKW-Waage beteiligt. Der Teilprozess wird mit Unterstützung der Digitalen Zwillinge dieser Akteure abgebildet (Abbildung 13).

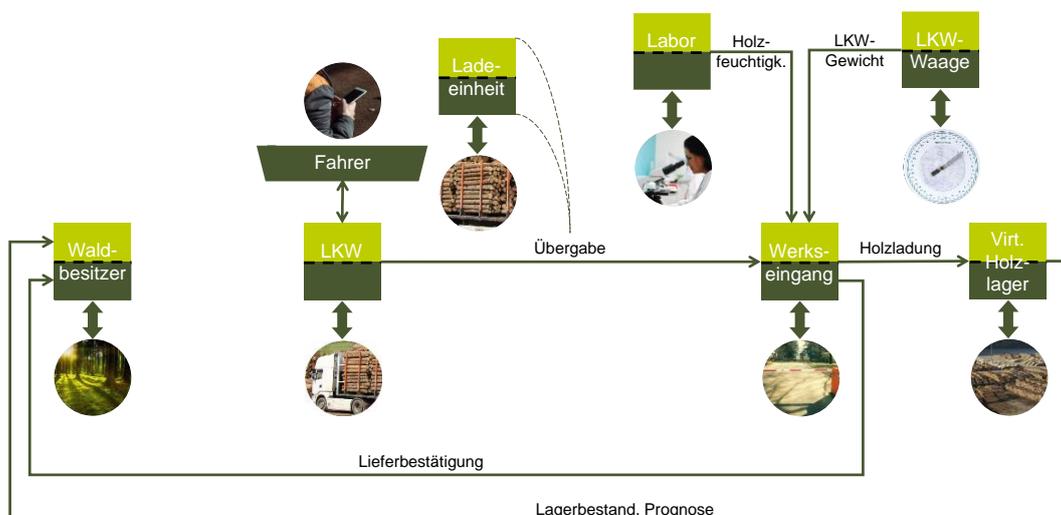


Abbildung 13: Teilprozess Werkseingang

Der Teilprozess⁹ beginnt mit Annahme der Lieferung am Werkseingang. In der digitalen Welt interagiert der LKW-Fahrer über seine App mit dem DZ Werkseingang. Zunächst wird die Lieferung physisch überprüft. Eine visuelle Kontrolle stellt sicher, dass die Lieferung den Anforderungen entspricht. Im Anschluss wird eine Probe des Holzes entnommen und zur Feuchtigkeitsmessung ins Labor geschickt. Das Messergebnis wird anschließend über den DZ Labor an den DZ Werkseingang übermittelt. Parallel dazu wird das Gewicht des beladenen LKWs durch die Waage gemessen. Auch dieses Ergebnis wird über den DZ Waage an den DZ Werkseingang weitergeleitet. Daraufhin erhält der LKW-Fahrer eine Anweisung über die App, die Lieferung auf dem Lagerplatz abladen zu lassen. Nach dem Abladen wird der leere LKW erneut gewogen. Die Differenz zum beladenen Zustand ergibt das Nettogewicht der Lieferung.

⁹ Die Ausführungen beziehen sich grundsätzlich auf die Vermessung von Industrieholz, können aber leicht auf Sägewerke übertragen werden.

Dieses Gewicht wird ebenfalls an den DZ Werkseingang übermittelt. Die physische Lieferung wird anschließend auf dem Lagerplatz sortiert. Gleichzeitig wird der DZ Ladeinheit an den DZ Virtuelles Holzlager übergeben, wo er virtuell nach Lieferanten, Sortimenten und Baumartgruppe abgelegt wird. Abschließend meldet der DZ Werkseingang dem DZ Waldbesitzer sowie dem DZ Produktionsteam zurück, dass die Lieferung abgeschlossen ist. Parallel werden Events aus dem DZ Virtuelles Holzlager u.a. für den DZ Waldbesitzer ausgelöst, wenn sich der Füllstand des virtuellen Holzlagers ändert oder eine neue Einschätzung zu den Verbrauchsmengen vorliegt.

Integration in die eigenen Systeme – Beispiele der Projektpartner

Große Waldbesitzer am Beispiel BaySF

Für die Umsetzung des auf ForestML 4.0 basierenden DZ Waldbesitzer muss ein entsprechendes Datenmodell erstellt und eine Benutzeroberfläche für die Erstellung der Produktionsteam-Anfrage, Arbeitsaufträge, Änderungsaufträge und Rückmeldungen entwickelt werden. Für das Projekt wurde eine Low-Code-Plattform von Oracle Apex verwendet (siehe Abbildung 14).

Wir empfehlen eine Schnittstelle zum eigenen Warenwirtschafts- und GIS-System zu schaffen. So können von bereits geplanten Hiebsprojekten Informationen für eine möglichst automatisierte Erstellung von digitalen Arbeitsaufträgen abgegriffen und doppelte Eingaben vermieden werden.

Der digitale Arbeitsauftrag kann dabei so gestaltet werden, dass direkt aus den Eingaben StanForD2010-Dateien generiert oder Dateien, die mit einer anderen Software erstellt worden sind, eingeladen werden können. Um den Prozess möglichst zu automatisieren, empfehlen wir eine Kundendatenbank mit hinterlegten Aushaltungskriterien anzulegen, bei der die entsprechende StanForD-PIN-Datei für das jeweilige Produkt am besten bereits mit angehängt ist. So kann bei der Auswahl des jeweils zu erzeugenden Produkts im Arbeitsauftrag die passende PIN-Datei mit angehängt werden.

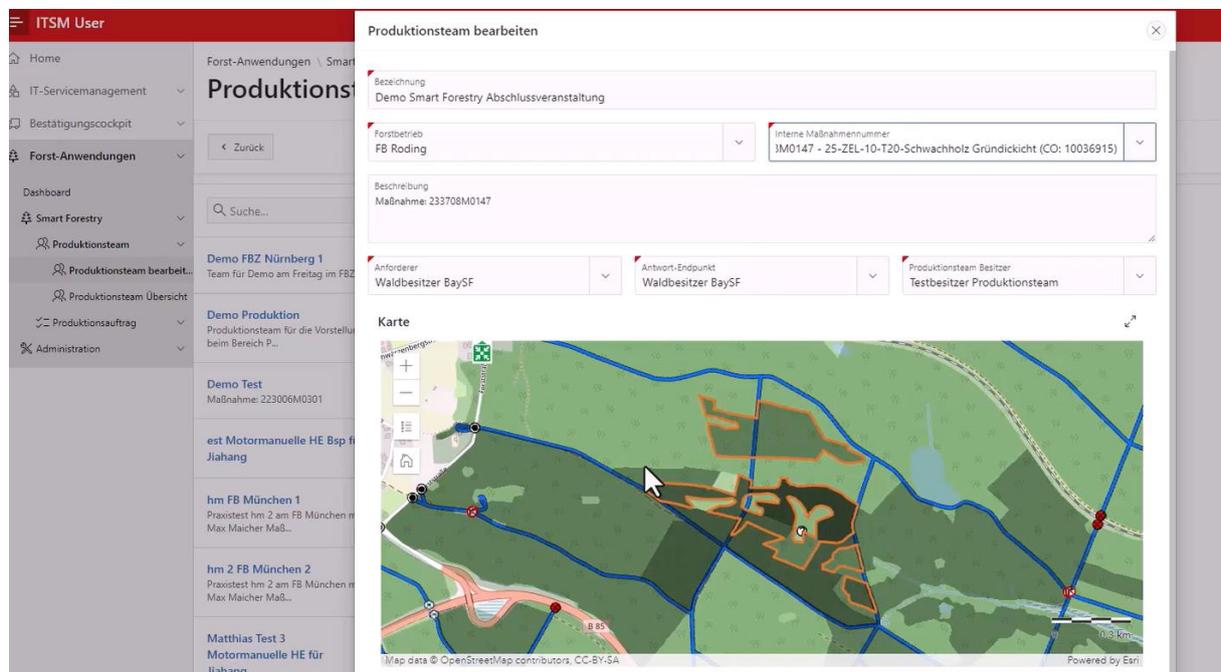


Abbildung 14: Ausschnitt aus der Benutzeroberfläche für eine Produktionsteam-anfrage und Produktionsauftrag

Prinzipiell ist es wichtig, dass eine Ressourcendatenbank für Forstunternehmer, eigene Ressourcen (Waldarbeiter, Maschinen, Produktionsteamleiter) und Speditionen aufgebaut wird, damit der DZ Waldbesitzer und der Produktionsteam-Gründungsdienst darauf zugreifen können.

Für die Visualisierung des Datenrückflusses, d.h. des Produktions- und Transportfortschrittes sowie des Werkslagerbestands, empfiehlt sich für ein Dashboard (siehe Abbildung 15) aus unserer Erfahrung folgendes:

- Darstellung je Hiebsprojekt nach Produkt bzw. Kunden: Auftragsmenge, kumulierte Menge sowie geschnittene, gerückte, in Transport befindliche, abgefahrene und gelieferte Mengen
- Zeitliche Darstellung, wie viel geerntet, gerückt, geliefert, abgefahren ist und sich in Transport befindet im Vergleich zur Auftragsmenge
- Anzeige Werkslager mit aktueller, maximaler und minimaler Menge
- Karte mit Darstellung der geplanten, aktuellen Hiebsflächen, sowie bei aktueller Hiebsfläche der Polter; bei Auswahl der Polter Anzeige des aktuellen Polterstatus (Menge, Sortiment, ggf. Kunde, in Entstehung, in der Abfuhr)

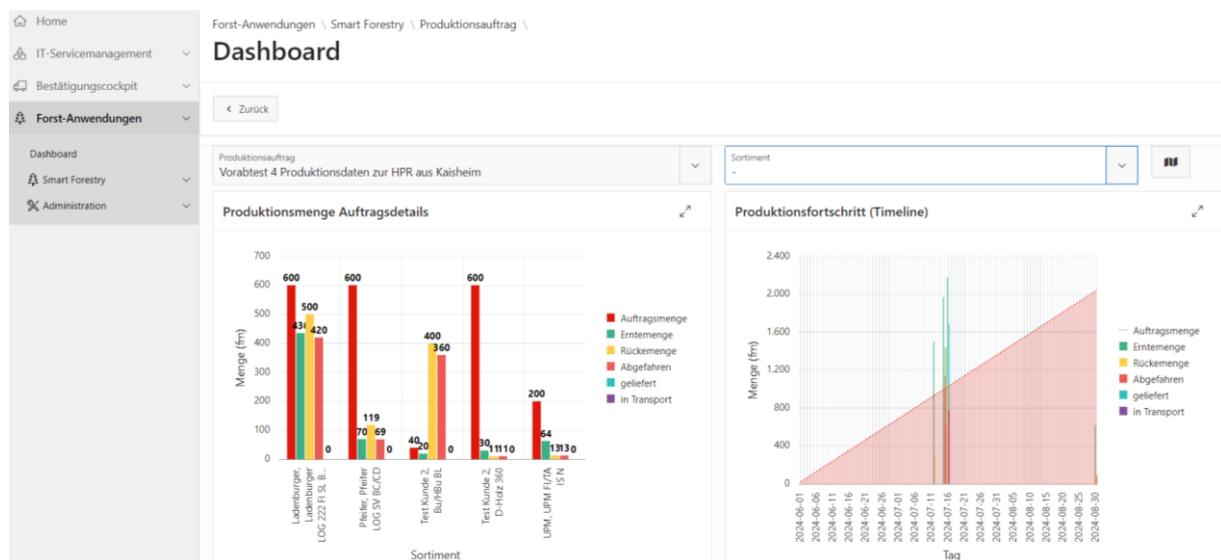


Abbildung 15: Anzeige Hiebsfortschritt für ein Produktionsprojekt

Forstmaschinenhersteller und-händler

Zur Integration des Smart Forestry-Ansatzes in ihre Systeme müssen Forstmaschinen StanForD2010-konforme Schnittstellen (ab Version 3.5) bereitstellen und über ein GNSS-System verfügen. Minimal müssen Harvester dazu entsprechende Produktionsdaten (HPR) erzeugen können. Zudem sollten Auftragsdaten (PIN, SPI, OIN) entgegengenommen und vom Mess- und Steuersystem verarbeitet werden können. Eine Anzeige der Auftragsinformationen kann alternativ über eine zusätzliche Harvester-App erfolgen. Analog dazu sollten Forwarder Produktionsdaten (FPR) erzeugen und Auftragsdaten (FOI, FDI) entgegennehmen können. Alternativ können diese aber auch über eine zusätzliche Forwarder-App erzeugt bzw. verarbeitet werden. Derselbe Ansatz kann für Skidder verwendet werden.

Der Smart Forestry-konforme Digitale Zwilling kann als werkseitiges Feature (durch den Hersteller) oder als Nachrüstlösung (durch Händler oder Forstunternehmer, vgl. Abschnitt „Forstunternehmer“) angeboten werden. Für den Betrieb des Digitalen Zwillings kann bei entsprechender Eignung der Bordcomputer selbst oder ein zusätzliches Edge-Device (Industrie-PC wie Lenovo ThinkEdge oder eine „DZ-Box“, siehe Abbildung 16) verwendet werden. Das Edge-Device muss dabei von den Bordsystemen mit Strom versorgt werden. Für den Zugriff auf die StanForD2010-Daten muss das Edge-Device über eine Netzwerkverbindung mit dem Bordcomputer verbunden werden. Sind weiterführende, optionale Anwendungen, wie Predictive Maintenance oder die Berechnung von CO₂-Äquivalenten einzelner Stammabschnitte (siehe CO₂For-IT-Projekt) gewünscht, muss zusätzlich eine Verbindung mit dem CAN-Bus hergestellt werden. Der DZ der Forstmaschine (und damit der Bordcomputer oder das Edge-Device) muss

zudem zumindest zeitweilig über eine Internetverbindung versorgt werden, um mit den anderen DZ in Kontakt zu treten. Dies kann z.B. über eigenes Mobilfunkmodul inkl. SIM-Karte im Edge-Device, über eine mitverwendete Internetverbindung des Bordsystems oder über eine S³I-Box erfolgen. Bei Betrieb über den Bordcomputer ist auf entsprechende Schutzmaßnahmen (Virenschutz) zu achten.

Über die zuvor genannten Apps für die Maschinenbediener muss zudem die Smart Forestry-Auftragsverarbeitung erfolgen. Die Apps können durch den Hersteller oder einen Anbieter von Nachrüstlösungen angeboten werden.

Wird die Smart Forestry Lösung über den Hersteller bzw. Händler integriert angeboten, muss dieser für die entsprechende Schulung der Forstunternehmer sorgen. Andernfalls obliegt dies dem Forstunternehmer bzw. dem Anbieter der Nachrüstlösung.

Forstunternehmer

Forstunternehmer sollen ihre verfügbaren Maschinen mit ihrer technischen Spezifikation und Verfügbarkeit auf Grundlage von ForestML 4.0 beschreiben und im S³I-Directory und S³I-Repository hinterlegen, damit der Produktionsteam-Gründungsdienst sie für die Zusammenstellung von Teams abrufen kann.

Für die Maschinen selbst gelten dieselben Anforderungen wie im vorherigen Abschnitt (Forstmaschinenhersteller und -händler). Für Nachrüstlösungen wird empfohlen, notwendige Hardware, z.B. Tablet oder Smartphone oder passende Halterungen und Zigarettenanzünder für die Stromversorgung, in der Kabine bereitzustellen. Des Weiteren muss die Erzeugung von Zeitstempeln für HPR-Dateien angeschaltet sein, da nur so die Daten zugeordnet werden.

Hersteller handgeführter Geräte

Zur Integration von Geräten in die Smart Forestry-Umgebung müssen Hersteller eine Aufzeichnung und Weitergabe der Betriebsdaten ermöglichen. Dazu kann spezielle Sensorik zum Einsatz kommen, über die der DZ Motorsäge die notwendigen Daten ableiten kann. Über GNSS- und Bewegungssensor können z.B. Lage und Orientierung der Stammsegmente bestimmt werden. Über zusätzliche Sensordaten, insbesondere vom Motor (z.B. Drehzahl, aufgenommene Luftmenge), können weitere wichtige Merkmale wie die Dimension abgeleitet werden. Die Erweiterung mit einem KI-System kann bei der Analyse der Daten unterstützen. Die Sensorik kann dabei direkt in das Gerät integriert werden oder über ein Anbauteil mit dem Gerät verbunden sein. Merkmale können auch über zusätzliche Werkzeuge wie digitale Messkluppen oder über Spracheingabe-Systeme erfasst werden. Die Eingabe sollte über ein geeignetes User Interface die Arbeit im Wald nicht beeinflussen.

Alle Daten sollten über geeignete Verbindungstechnologien (wie BLE) von der Sensorik bzw. den zusätzlichen Werkzeugen zum DZ Motorsäge übertragen werden. Der Digitale Zwilling selbst kann auf einem Anbauteil oder einem Smartphone betrieben werden. Er muss mit einer geeigneten App für die Interaktion mit dem Forstwirt kombiniert werden, wobei hierüber maßgeblich Auftragsinformationen verarbeitet (Anzeige, Annahme, Abschluss) werden und keine dauerhafte Interaktion während der Arbeit notwendig sein sollte.

Frächter

Um die Integration des DZ in das System von Frächtern zu realisieren sind folgende Best Practices gemäß den Smart Forestry-Erfahrungen empfehlenswert.

Für die Verwaltung und Planung der Ressourcen (d.h. der LKWs) sollte eine Ressourcendatenbank eingerichtet werden. In diesem werden alle eingesetzten LKWs mit ihren technischen Spezifikationen und Verfügbarkeiten erfasst. Diese Ressourcendatenbank dient als Grundlage für eine präzise

Einsatzplanung und eine nahtlose Kommunikation mit dem Waldbesitzer. Die Spezifikation ist auf Grundlage von ForestML 4.0 zu gestalten und im S³I-Directory und S³I-Repository zu hinterlegen.

Jeder LKW muss mit bestimmten Geräten und Hardware ausgestattet sein, um eine reibungslose Nutzung des DZ zu gewährleisten. Dazu gehören:

- Eine Handy- oder Tablet-Halterung, um das mobile Endgerät sicher und benutzerfreundlich zu positionieren
- Mindestens ein Zigarettenanzünder mit 12V zur Stromversorgung, wenn der DZ LKW auf einer separaten Hardware laufen soll, z.B. auf einem Industrie-PC oder einer „DZ-Box“ (Abbildung 16)



Abbildung 16: Hardware-Laufzeitumgebung für Digitalen Zwillingen („DZ-Box“)

Die LKW-Fahrer erhalten eine speziell entwickelte App, die auf einem Smartphone oder Tablet installiert wird. Diese App dient als zentrale Benutzeroberfläche für den Fahrer, um Daten mit dem DZ LKW auszutauschen, aktuelle Informationen vom Polter abzurufen und Annahme, Visualisierung und Abschließen von Transportaufträgen zu ermöglichen.

Abnehmer

Voraussetzung für die Integration einer Holzannahmesoftware – im Falle von UPM des VATO-Systems – ist die Bereitstellung einer geeigneten Schnittstelle für den Digitalen Zwilling. Gemäß den Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt wird als Best Practice eine REST-API empfohlen. Diese werden von DZ Werkseingang und DZ Virtueller Holzlager direkt genutzt. Sie umfassen u.a.

- Registrierung einer Lieferung
- Eingabe der relevanten Messergebnisse bestehend aus Feuchtigkeit, LKW-Gewicht (beladen und entladen) in Bezug auf eine Lieferung
- Eingabe der Lutro- und Atro-Werte in Bezug auf eine Lieferung
- Registrierung der Lieferung im virtuellen Holzlager

Zur automatisierten Messwerteübergabe sollte eine Anbindung zwischen den Messstellen (Labor und LKW-Waage) mit den jeweiligen DZ entstehen. Dazu sind für beide Assets geeignete Schnittstellen zur Verfügung zu stellen.

Für die praktische Implementierung sollte ein Server auf der Abnehmerseite zur Verfügung gestellt werden, auf dem die Digitalen Zwillinge installiert und betrieben werden. Über den Server muss ein Zugang zum S³I geschaffen werden. Parallel dazu muss der Server auch in der Lage sein, mit der Holzannahmesoftware über die o.g. Schnittstellen zu kommunizieren.

Im Fall von UPM ermöglicht das VATO-System dazu eine Visualisierung des gesamten Prozesses. Es stellt die Prozesswerte und Indikatoren auf der VATO-Webseite dar. Auf Basis der verschiedenen Prozessdaten, einschließlich der Verbrauchsmenge, können Einschätzungen getroffen werden, die darauf

hinweisen, ob eine Nachlieferung erforderlich ist oder ob die vorhandenen Lieferungen für die nächste Zeit ausreichen.

Fazit und Ausblick

Das Smart Forestry-System ermöglicht erstmals eine durchgehende, offene Vernetzung der Prozesse der Holzernte- und -logistikkette vom Wald bis ins Werk – und zurück. Die Konzepte bleiben dabei nicht bloße Theorie sondern konnten bereits im Rahmen des Forschungsprojekts prototypisch umgesetzt und erprobt werden. Digitale Zwillinge bilden die Grundlage, beliebige Prozessteilnehmer in der Praxis miteinander zu vernetzen und eine weitgehende Prozess-Automatisierung zu unterstützen. Dabei wird das Rad nicht neu erfunden und bestehende Branchenstandards (wie StanForD und ELDATsmart) integriert. Auch S³I als Vernetzungsinfrastruktur hat sich dabei bewährt. Die Umsetzung der Digitalen Zwillinge (bzw. WH4.0-Dinge) ist dabei leichtgewichtig. Schlussendlich bilden vernetzte Digitale Zwillinge die notwendige Grundlage, Prozesse leicht anzupassen bzw. weitere Prozesse in das Gesamtsystem zu integrieren.

Der Smart Forestry-Ansatz bietet somit großes Potenzial, das es nun gilt, in der Praxis zu heben. Die digitale Vernetzung vom Wald zum Werk ermöglicht die Stabilisierung der Geschäftsprozesse in der forstlichen Produktion, der Transportlogistik und auch in der Geschäftsbeziehung Waldbesitzer und Holzkunde. Prozessoptimierungen sind an jeder Stelle und zu jedem Zeitpunkt möglich – genauso wie Steuerung und Umsteuerungen. Das Paradigma „das richtige Holz zum richtigen Werk zum richtigen Zeitpunkt“ kann Wirklichkeit werden. Optimierungen in den einzelnen Prozessschritten und auch prozessübergreifend bieten das Potenzial, Prozessdurchlaufzeiten weiter zu verkürzen, den Waldschutz zu erhöhen, den Waldboden und die Forststraßen zu schonen etc. Der Open Source-Ansatz bietet die Möglichkeit, Marktteilnehmer an den Projektergebnissen teilhaben zu lassen.

Das Potenzial, mit Smart Forestry ein Integrationssystem zur Kommunikation auf Augenhöhe im Cluster Wald und Holz zu etablieren, ist groß. Das Smart Forestry-Konsortium plant daher, die Ergebnisse im Rahmen eines Umsetzungsprojekts iterativ in den produktiven Betrieb der forstlichen Praxis zu überführen. Dazu sollen die Prozesse auf mehrere Praxis- und Implementierungspartner angewendet, die Digitalen Zwillinge und Apps unter Betriebsaspekten „gehärtet“ und im Sinne des „Appliance“-Ansatzes weiterentwickelt werden, so dass die entwickelten Lösungen mit einem nur minimalen Konfigurationsaufwand einsatzbereit werden.

Aus technologischer Sicht sind weitere innovatorische Schritte in Arbeit. Die mit S³I vernetzten WH4.0-Dinge ermöglichen bereits jetzt einen sicheren Datenaustausch und bieten „by Design“ ein hohes Maß an (Daten-)Souveränität, da Digitale Zwillinge, Dienste und MMIs individuell und unabhängig voneinander betrieben werden können. Vielfach besteht jedoch der Wunsch, auch die Infrastruktur S³I selbst lokal zu betreiben bzw. betreiben zu lassen, um auch in dieser Hinsicht Autarkie, Datenhoheit, Flexibilität und Portabilität zu erhöhen. Aus diesem Grund wird das S³I-Konzept von Smart Forestry aktuell [9] in einen sogenannten Datenraum gemäß der Europäischen Gaia-X Initiative [10] integriert und daraus ein Datenraum Wald und Holz 4.0 entwickelt (Abbildung 17).

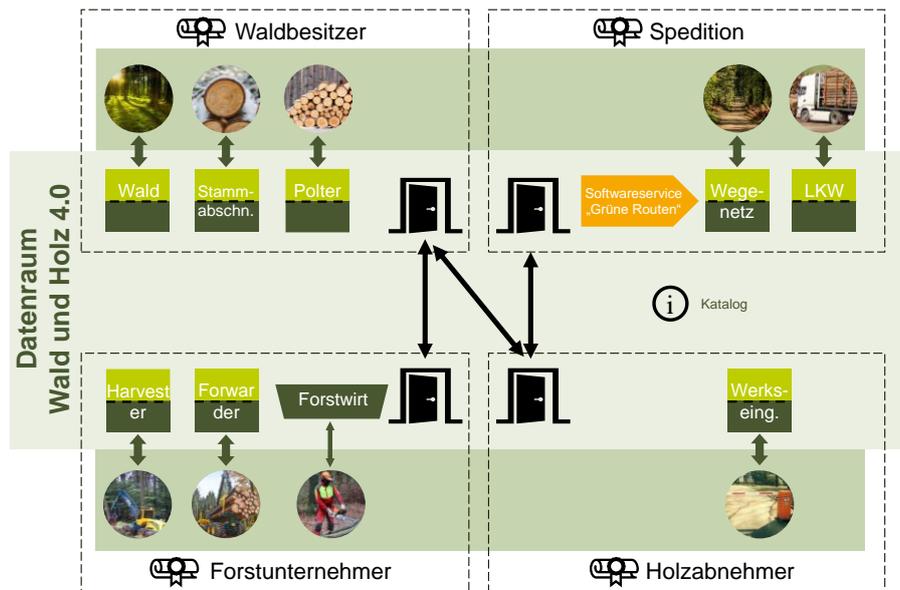


Abbildung 17: Grundidee des Datenraum Wald und Holz 4.0¹⁰

Datenraum-Ansätze werden verwendet, um ein informationstechnisches Vertrauen zwischen einzelnen S³I-Instanzen aufzubauen, und darüber den Datenaustausch zwischen den Institutionen zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang werden die Digitalen Zwillinge und die S³I zudem auf den Industrie 4.0-Standard der Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, AAS) überführt [11], [12]. Diese weitgehende Standardisierung führt zu einer Erhöhung der Interoperabilität und eröffnet insbesondere die unmittelbare Nutzung zahlreicher Softwarebausteine aus dem Industrie 4.0-Bereich [13].

¹⁰ Fotos: A. Böhm (Walдарbeiter), HSM (Forstmaschinen), Pixabay (Rest)

Literaturverzeichnis

- [1] M. Hoppen *et al.*, “Smart forestry – a forestry 4.0 approach to intelligent and fully integrated timber harvesting,” *International Journal of Forest Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 137–152, May 2024, doi: 10.1080/14942119.2024.2323238.
- [2] M. Schluse, “Der Digitale Zwilling in Wald und Holz 4.0,” Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0, Dec. 2018. Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.kwh40.de/wp-content/uploads/2019/10/KWH40Standpunkt_Der_Digitale_Zwilling_in_Wald_und_Holz_4.0_Version1.0.pdf
- [3] M. Hoppen, “Forest Modeling Language 4.0 - Konzeption und Einsatz der Forest Modeling Language 4.0 (fml40) zur Modellierung von Wald und Holz 4.0-Dingen (English: Forest Modeling Language 4.0 - Design and use of the Forest Modeling Language 4.0 (fml40) for modeling Forestry 4.0 things,” Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0 (English: Center of Excellence for Forestry 4.0), Aachen, 2020. Accessed: Aug. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.kwh40.de/wp-content/uploads/2020/03/KWH40-Standpunkt-fml40-Version-1.0.pdf>
- [4] J. Chen and J. Roßmann, “Enabling Digitalization in Forestry 4.0 Using ForestML 4.0-based Digital Twins,” in *2022 International Conference on Artificial Intelligence of Things (ICAIoT)*, Istanbul, Turkey, Dec. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICAIoT57170.2022.10121858.
- [5] Jiahang Chen *et al.*, *ForestML 4.0 (fml40) reference implementation - Python*. [Online]. Available: <https://git.rwth-aachen.de/kwh40/fml40-reference-implementation>
- [6] M. Hoppen, “Smart Systems Service Infrastructure (S³I). Konzeption und Einsatz der Smart Systems Service Infrastructure (S3I) zur dezentralen Vernetzung in Wald und Holz 4.0,” Kompetenzzentrum Wald und Holz 4.0, Feb. 2020. Accessed: Jan. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.kwh40.de/wp-content/uploads/2020/04/KWH40-Standpunkt-S3I-v2.0.pdf>
- [7] M. Gebhard, M. Schluse, M. Hoppen, and J. Roßmann, “A multi-domain networking infrastructure enabling the situation-specific choreography of decentralized things,” in *Annals of Scientific Society for Assembly, Handling and Industrial Robotics*, T. Schüppstuhl, K. Tracht, and D. Henrich, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, pp. 127–137. doi: 10.1007/978-3-662-61755-7_12.
- [8] Smart Forestry Team, *Smart Forestry Resultate*. [Online]. Available: <https://git.rwth-aachen.de/smart-forestry/result>
- [9] CO2For-IT Projektpartner, CO2For-IT. [Online]. Available: <https://www.kwh40.de/co2for-it/>
- [10] Gaia-X European Association for Data and Cloud AISBL, “Gaia-X: A Federated Secure Data Infrastructure.” [Online]. Available: <https://gaia-x.eu/>
- [11] IDTA, Ed., “Specification of the Asset Administration Shell Part 1: Metamodel - IDTA Number: 01001-3-0.” IDTA, Apr. 2023. Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/en/content-hub/aasspecifications/specification-of-the-asset-administration-shell-part-1-metamodel-idta-number-01001-3-0>
- [12] IDTA, Ed., “Specification of the Asset Administration Shell Part 2: Application Programming Interfaces - IDTA Number: 01002-3-0.” IDTA, Jun. 2023. Accessed: Jan. 24, 2024. [Online]. Available: <https://industrialdigitaltwin.org/en/content-hub/specificationpapers/specification-of-the-asset-administration-shell-part-2-application-programming-interfaces-idta-number-01002-3-0>
- [13] aas-core-works, “Awesome Asset Administration Shell (AAS).” Accessed: Jul. 11, 2024. [Online]. Available: <https://github.com/aas-core-works/awesome-aas>

Kontakt

Smart Forestry war ein Verbundvorhaben der Partner RWTH Aachen (Konsortialführung), Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH (HSM), Bayerische Staatsforsten AÖR (BaySF), IFOS GmbH, ANDREAS STIHL AG & Co. KG, UPM Biochemicals GmbH, Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) e.V. und Landesbetrieb Wald und Holz NRW (Forstliches Bildungszentrum).

Autoren dieses Leitfadens:

- Dr.-Ing. Martin Hoppen, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) der RWTH Aachen University
- Jiahang Chen, Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) der RWTH Aachen University
- Julia Kemmerer, Bayerische Staatsforsten AÖR (BaySF)
- Simon Baier, IFOS GmbH

Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Martin Hoppen

Institut für Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) der RWTH Aachen University

hoppen@mmi.rwth-aachen.de

<https://www.kwh40.de/smartforestry/>

Das Vorhaben wurde gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über seinen Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) e.V. (Förderkennzeichen 2220NR254 A-H). Die 3-jährige Projektlaufzeit war 10/2021 bis 09/2024.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

