

# Nachhaltige klimapositive Holzwertschöpfung

Whitepaper, erstellt im Rahmen des Forschungsprojekts „CO<sub>2</sub>For-IT“,

Autor: Volker Labudda, KWF

## 1. Einführung

Eine nachhaltige, klimapositive Holzwertschöpfung ist von zentraler Bedeutung für die Gesellschaft. Das Forschungsprojekt "CO<sub>2</sub>For-IT"<sup>1</sup> schafft die digitale Grundlage, um diese umfassend umzusetzen. Es entwickelt einen sicheren und vertrauenswürdigen Datenraum „Wald und Holz 4.0“, setzt ihn in mehreren Anwendungsfällen prototypisch um und erprobt ihn.

Der Datenraum „Wald und Holz 4.0“ ist organisiert nach dem Prinzip des Internets der Dinge (IoT). Die realen Dinge („Assets“) der Holzbereitstellungskette werden darin mittels ‚Grüner‘ Digitaler Zwillinge (DZ) virtuell abgebildet und miteinander vernetzt. Die Digitalen Zwillinge sammeln Daten in Echtzeit, werten sie aus und übertragen sie unmittelbar untereinander und in den Datenraum. ‚Grün‘ oder ‚CO<sub>2</sub>-aware‘ werden sie durch das Einbeziehen von Umweltinformationen, insbesondere von CO<sub>2</sub>-Bilanzen. Diese virtuelle Vernetzung aller Assets ermöglicht erstmals ein umfassendes Monitoring der Nachhaltigkeit, sowohl des Produktionsstandorts Wald (biologische Produktion), als auch der Holzwertschöpfung (technische Produktion), bis in die Holzbereitstellung hinein. Die von den Forstmaschinen generierten Daten der Stämme/Stammabschnitte (Holzdaten, Geolokationen, Waldeigentümer) können nun entlang der gesamten Holzbereitstellungskette direkt übertragen und bei jedem Prozessschritt fortgeschrieben werden - vom Fällen des Baumes bis zum Eingang des Rohholzes in das Werk. In Kombination mit den Maschinendaten der Forstmaschinen und Holz-LKW werden dazu CO<sub>2</sub>-Bilanzen all ihrer Prozesse sowie der Holzbereitstellungskette insgesamt ermittelt. Das wertschöpfungskettenübergreifende Monitoring dieser CO<sub>2</sub>-Bilanzen ermöglicht erstmals einen objektiven, da evidenzbasierten, Nachweis der Nachhaltigkeit.

Die vielen Datenbrüche der bisher angewandten Verfahren, deren viele Fehler einen immensen Arbeits- und Kontrollaufwand verursacht haben, gehören damit der Vergangenheit an. Mittels der virtuellen Vernetzung aller Assets im Datenraum „Wald und Holz 4.0“ können alle Prozesse präzise nachvollzogen, modelliert, analysiert und gesteuert sowie CO<sub>2</sub>-Bilanzen ermittelt werden. Dies ermöglicht erstmals die umfassende Optimierung aller Wertschöpfungsprozesse und -netzwerke, vom Setzling bis zum holzbasierten Produkt, im Hinblick auf eine effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung mit reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Darüber hinaus setzt der Datenraum „Wald und Holz 4.0“ Anreize zur souveränen digitalen Teilhabe der Akteure des Clusters Forst und Holz. Er wird einen Digitalisierungsschub anstoßen und dazu verhelfen, Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft zu mobilisieren. Nicht zuletzt ist er die erforderliche Datenbasis, um Strategien zur Bewältigung des Klimawandels zu entwickeln. Das macht ihn zur "Enabling Technology" für die grüne digitale Transformation der forstlichen Wertschöpfungsketten durch den Einsatz datengetriebener Services.

---

<sup>1</sup> [CO<sub>2</sub>ForIT – KWF 2030](#)

## 2. Datenraum „Wald und Holz 4.0“

Konzepte und Technologien aus Industrie 4.0 zur dezentralen Vernetzung aller Assets im Internet der Dinge (IoT) wurden zuvor zu einem „Konzept Wald und Holz 4.0“ (KWH4.0)<sup>2</sup> umgesetzt. Dieses umfasst Digitale Zwillinge (DZ), Softwaredienste und Mensch-Maschine-Schnittstellen. Im Projekt "CO2For-IT" wird das KWH 4.0 unter Anwendung der Sicherungsmechanismen der europäischen Gaia-X-Initiative<sup>3</sup> zu einem sicheren und vertrauenswürdigen digitalen Ökosystem, dem Datenraum „Wald und Holz 4.0“, weiterentwickelt und für einen breiten Anwenderkreis verfügbar gemacht. Innerhalb dieses Datenraums werden u.a. das Nachhaltigkeitsmonitoring (Anwendungsfall 1) und die nachhaltige, klimapositive Holzwertschöpfung (Anwendungsfall 2) prototypisch umgesetzt<sup>4</sup>.

## 3. Digitaler Zwilling (DZ)

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild einer Person bzw. eines realen Objekts oder Vorgangs, das kontinuierlich mit seinem physischen Asset synchronisiert wird<sup>5</sup>. Durch das Einbeziehen von Aspekten der Nachhaltigkeit, insbesondere der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung, wird er „CO<sub>2</sub>-aware“, er wird zum „Grünen“ Digitalen Zwilling. Im Kontext der Holzbereitstellung umfassen die Assets den Bestand, den Baum, den Stamm bzw. Stammabschnitt, das Polter, ggf. das Los, die Forstmaschinen, sonstige Maschinen und Geräte, die Holz-LKW und deren Ladung, die beteiligten Personen und ihre Organisationen bzw. Organisationseinheiten sowie ggf. die einzelnen Prozesse und/oder ihre Teilprozesse. Ihre DZ sammeln und speichern ihre jeweiligen Daten, werten sie aus und übertragen sie unmittelbar an die DZ anderer Assets und an die Datenbasis. Dies vermeidet Datenbrüche und ermöglicht die umfassende Optimierung aller Prozesse und damit des jeweiligen Gesamtprozesses (s.o).

### 3.1. Allgemeine Anforderungen an Digitale Zwillinge (DZ)

DZ müssen ihre Funktionen sowohl Edge- als auch Cloud-basiert erfüllen.

Zur unmittelbaren Übertragung ihrer Daten müssen DZ miteinander kommunizieren.

Viele Prozessschritte erfordern die Dynamische Erzeugung neuer Digitaler Zwillinge, insbesondere für Holz (z.B. Stammabschnitte, Polter, Los, LKW-Ladung). Alternativ kann ein DZ auch vorgegeben sein und wird erst im Verlauf des Prozesses mit Daten gefüllt. z.B. Auftrag zur Holzernte gibt Polterplätze vor incl. DZ für Polter. Der Forwarder erzeugt die realen Polter und füllt die DZ Polter mit deren Daten. In diesem Fall kommunizieren die DZ des Waldeigentümers und des Forwarders miteinander, also über Unternehmensgrenzen hinweg.

Umfang und Frequenz der Datenerhebung, Speicherung und Synchronisierung durch DZ sind vorab exakt zu definieren, der/die DZ entsprechend zu programmieren und im Betrieb regelmäßig zu überprüfen.

Rechtliche Vorgaben bezüglich IT-Sicherheit (Datenthaltung, Transaktionen, etc.) und Zugriffsrechten sind einzuhalten. Ggf. sind sie durch neu aufzustellende strenge, umfassende Richtlinien zu ergänzen. Zugriffsrechte werden in einem nach objektiven Kriterien gestufter Umfang vergeben (Funktion/Organisationseinheit/Personengruppe, etc.). Dies gilt auch für definierte Transaktionen. Sie sind ausschließlich gemäß dieser Richtlinien zu vergeben. Die strikte Einhaltung aller Vorgaben und Richtlinien ist regelmäßig zu überprüfen. Verstöße sind konsequent zu unterbinden.

<sup>2</sup> <https://www.kwh40.de/veroeffentlichungen/>

<sup>3</sup> <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/gaia-x-technical-architecture.html>

<sup>4</sup> <https://www.kwh40.de/co2for-it/>

<sup>5</sup> [https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/online-fachforum-standards-und-richtlinien-fuer-digitale-zwillinge-kretschmar.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/online-fachforum-standards-und-richtlinien-fuer-digitale-zwillinge-kretschmar.pdf?__blob=publicationFile)

### 3.1.1. Spezielle Anforderungen an Digitale Zwillinge bei ihrem Einsatz in der Natur und in abgelegenen Gebieten

DZ müssen ihre Funktionen sowohl Edge- als auch Cloud-basiert erfüllen.

Viele Prozessschritte erfordern die Dynamische Erzeugung neuer Digitaler Zwillinge, insbesondere für Holz (z.B. Stammabschnitte, Polter, Los, LKW-Ladung).

Alternativ kann ein DZ auch vorgegeben sein und wird erst im Verlauf des Prozesses mit Daten gefüllt. z.B. Auftrag zur Holzernte gibt Polterplätze vor incl. DZ für Polter. Der Forwarder erzeugt die realen Polter und füllt die DZ Polter mit deren Daten. In diesem Fall müssen die DZ des Waldeigentümers und des Forwarders miteinander kommunizieren, also über Unternehmensgrenzen hinweg.

Die DZ der im Wald eingesetzten Maschinen und Geräte (Forstmaschinen, „smarte“ Motorsäge, Apps auf Android, Geräte zur Vermessung/Fernerkundung, Holz-LKW, etc.) müssen den rauen Bedingungen der Forstpraxis/der Holzbereitstellung (Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Staub, Schmutz, Harz, Treibstoff, Öl, Vibrationen, starke Erschütterungen, etc.) gewachsen sein.

Forstmaschinen und Holz-LKW werden dazu mit robusten, dicht gekapselten Edge-Geräten ausgestattet. Dafür werden Industriecomputer mit hoher Akkuleistung und einer großen Speicherkapazität verwendet. Ihre Hardware, Software, Akkumulatoren, Umhüllungen und deren Befestigungen sind selbst extremen Einsatzbedingungen gewachsen.

Diese Edge-Geräte verfügen zusätzlich über eine Stromversorgung durch die Maschinen und über mehrere Schnittstellen, über die sie auch manuell ausgelesen werden können. Dies ist dann erforderlich, wenn über einen längeren Zeitraum keine Internetanbindung hergestellt werden kann, z.B. in abgelegenen Gebieten. In diesem Fall werden die Daten zunächst auf eine App auf Android oder Tablet übertragen, und von dieser aus, sobald Internetanbindung besteht, in den Datenraum „Wald und Holz 4.0“. Dann werden die Daten des Harvesters von der App auch manuell auf den DZ des Forwarders übertragen. Auf der Fahrt des Maschinenführers oder Revierleiters vom Hieb zurück in das Quartier, oder spätestens im Quartier selbst, sollte eine Internetanbindung bestehen. Wenn nicht, ist sie mit entsprechender Technik herzustellen.

## 4. Virtuelle Vernetzung der Holzbereitstellungskette

Im Datenraum „Wald und Holz 4.0“ wird die gesamte Holzbereitstellungskette digital abgebildet und modelliert. Dazu werden ihre Assets mittels Digitaler Zwillinge (DZ) abgebildet, miteinander vernetzt und in den Datenraum integriert. Die DZ sammeln Daten in Echtzeit, werten sie aus und übertragen sie in unmittelbarer Kommunikation ‚machine-to-machine‘ untereinander und in den Datenraum. Diese virtuelle Vernetzung aller Assets ermöglicht, die vom Harvester generierten Daten der Stammabschnitte in alle nachfolgenden Prozessschritte zu übertragen und dort fortzuschreiben. Dazu werden die Maschinendaten der Forstmaschinen und Holz-LKW erfasst. Aus dem Dieselverbrauch und den Zeiten der einzelnen Prozesse/Prozessschritte werden CO<sub>2</sub>-Bilanzen ermittelt. Ihr umfassendes Monitoring ermöglicht erstmals einen objektiven, da evidenzbasierten, Nachweis der Nachhaltigkeit.

## 5. CO<sub>2</sub>-Bilanz der Holzbereitstellungskette (Holzernte und Holzabfuhr/-logistik)

### 5.1. Holzbereitstellung mittels hochmechanisierter Holzernte

Harvester - Forwarder - Holzverkauf mit **Datenänderung / Umsortieren / Umlagern** - Abfuhr mit LKW

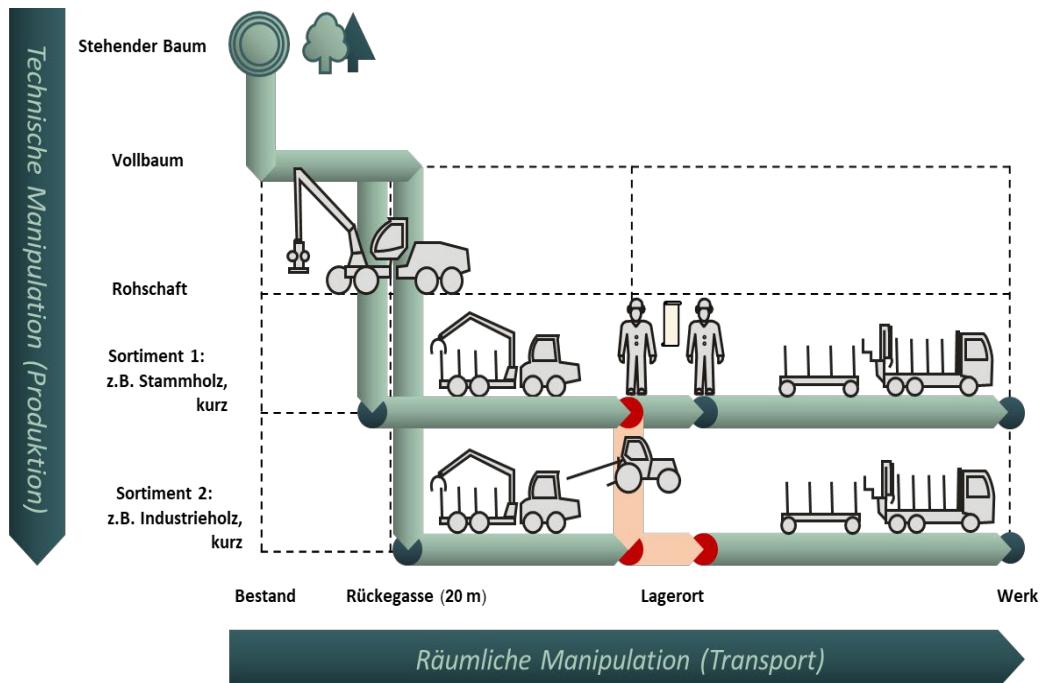


Abbildung 1: Funktiogramm „Prozesse der hochmechanisierten Holzernte“, incl. Holzverkauf und Holzabfuhr (V. Labudda, KWF)

Der Begriff der „Holzbereitstellung“ beschreibt alle Prozesse vom Fällen des Baumes, bis zur Anlieferung des Rohholzes z.B. in ein Sägewerk<sup>6</sup>. Wir unterscheiden:

- **technische Manipulationen** (Fällen, Entasten, Ablängen; senkrechte Pfeile im Schaubild) und
- **räumliche Manipulationen** (Vorrücken, Rücken, Abfuhr; waagerechte Pfeile im Schaubild).

Das Schaubild stellt ein einfaches hochmechanisiertes Holzernteverfahren incl. Holzverkauf und Holzabfuhr dar. Je nach den Verhältnissen können Holzernte wie -logistik weitere Prozessschritte erfordern. Besonders der Export des Rohholzes mit Seeschiffen weist eine lange, komplizierte Logistikkette auf.

#### 5.1.1. Die Prozesse der Holzbereitstellung

Die Holzbereitstellung lässt sich in folgende Prozesse unterteilen:

##### 5.1.1.1. Hochmechanisierte Holzernte

**Fällen, Aufarbeiten und Vorrücken:** Der **Harvester** fällt die Bäume, arbeitet ihre Stämme auf zu Stammabschnitten und legt diese, getrennt nach Sortimenten, entlang der Rückegasse ab.

**Rücken:** Der **Forwarder** lädt die Stammabschnitte auf, transportiert sie tragend zum Lagerort und legt sie dort, getrennt nach Sortimenten, in Poltern ab. Er generiert die Polter physisch und deren DZ.

Die vom Harvester generierten Daten der Stammabschnitte (Holzdaten, Geolokationen, Waldeigentümer) werden von seinem DZ direkt an den DZ des Forwarders übergeben. Anhand dieser kann der Forwarder sie gezielt aufsuchen, vollständig aufladen und seine Fahrten optimieren. Sein DZ ergänzt sie um ihre Zuordnung zu einem Polter sowie ihre neue Geolokation darin und übergibt sie an den/die von ihm generierten DZ des/r Polter(s). Der DZ eines Polters enthält zusätzlich die Anzahl der Stämme/Stammabschnitte und die aufsummierte Holzmasse, beides nach Stärkeklassen und insgesamt.

<sup>6</sup> Sägewerk, Furnierwerk, Span- oder Faserplattenwerk, Zellulosewerk, Papierfabrik, Hackschnitzelheizung, etc.

Werden Stammabschnitte im Holzverkauf in andere Sortimente umsortiert, so dass sie anschließend umgelagert werden müssen, so ergänzt der DZ des dazu eingesetzten Rückeschleppers für sie jeweils ihre Entnahme aus einem Polter und ihre Zuordnung zu einem anderen Polter und ihre neue Geolokation darin. Für die betroffenen Polter ergänzt er jeweils deren Daten um die entnommenen/zugefügten Stammabschnitte und um die aufsummierten Stückzahlen und Holzmassen.

#### 5.1.1.2. Ergänzung: Motormanuelle Holzernte (zukünftig mit „smarter“ Motorsäge)

**Fällen und Aufarbeiten:** Der **Forstwirt** fällt die Bäume mit einer Motorsäge und arbeitet ihre Stämme auf zu Langholz oder Stammabschnitten verschiedener Sortimente. Je nach eingesetzter Rücketechnik erfolgt das Aufarbeiten an Ort und Stelle, oder an der Waldstraße/am Maschinenweg. Bei Rückegassenabständen größer 20m müssen die für den Harvester nicht erreichbaren Bäume motormanuell zugefällt werden. Zukünftig sollen eine „smarte“ Motorsäge in Verbindung mit dem DZ des Forstwirts auf seinem Android dabei die Daten der Stämme/Stammabschnitte (Holzdaten, Geolokationen, Waldeigentümer) aufnehmen. Ihr Datensatz ist dem des Harvesters (StanForD<sup>7</sup>) vergleichbar.

**Vorrücken und Rücken:** Gelände und Sortimente bestimmen die eingesetzten Techniken/Maschinen (Landw. Zugmaschine mit Forstausrüstung, Forstspezialschlepper „Skidder“, Forwarder, Seilkran, etc.). Der DZ des Forstwirts übergibt dem DZ des **Rückeschleppers** die Daten der Stämme/Stammabschnitte. Jener ergänzt sie und übergibt sie an den/die von ihm generierten DZ des/r Polter(s).

Holzernte motormanuell - Rücken (Langholz schleifend/Kurzholz tragend) - Aufnahme Holzliste  
- Holzverkauf mit **Datenänderung / Umsortieren / Umlagern** - Abfuhr mit LKW

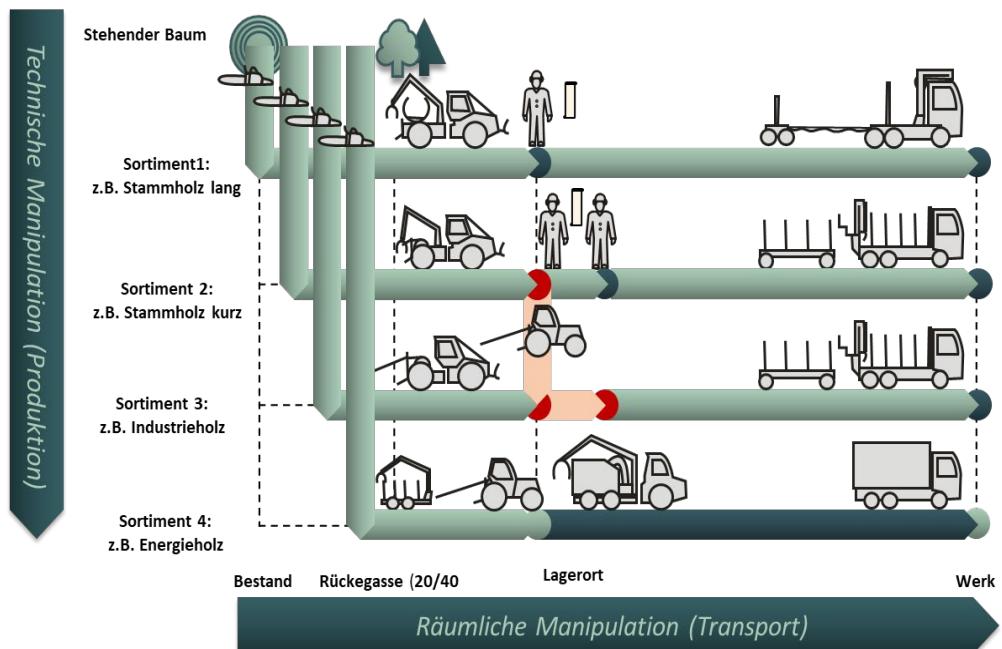


Abbildung 2: Funktigramm „Prozesse der motormanuellen Holzernte“, incl. Holzverkauf und Holzabfuhr (V. Labudda, KWF)

Das Schaubild stellt die motormanuelle Holzernte mit Aufarbeitung von Langholz und von Kurzholz dar. Zum Holzrücken sind Forstspezialschlepper mit unterschiedlicher Ausrüstung, eine landwirtschaftliche Zugmaschine mit Polterschild und Seilwinde und ein Rucke-Anhänger dargestellt (vgl. S. 6). Die Holzabfuhr erfolgt mit LKW für Langholz, für Kurzholz, oder für Hackgut. Je nach den Verhältnissen können Holzernte wie -logistik weitere Techniken/Maschinen/Prozessschritte erfordern.

<sup>7</sup> Standard for Forest machine Data and Communication, [StanForD – KWF 2030](#), [StanForD - Skogforsk - Forestry Research Institute of Sweden](#)

Werden Stammabschnitte im Holzverkauf in andere Sortimente umsortiert, so dass sie anschließend umgelagert werden müssen, so ergänzt der DZ des dazu eingesetzten Rückeschleppers sowohl ihre Daten, als auch die der betroffenen Polter entsprechend (s.o.).

#### 5.1.1.3. Holzverkauf

Der Waldbesitzer oder eine Verkaufsorganisation bietet das Rohholz einem Käufer an und übergibt es ihm. Im Rahmen der Holzübergabe werden für einige Stämme/Stammabschnitte Änderungen der Holzdaten verhandelt (z.B. Qualität, Maße). Diese Änderungen sollen (auf Tablet, ggf. offline) direkt vor Ort sicher eingepflegt, bestätigt und, sobald Netzanbindung besteht, synchronisiert werden.

#### 5.1.1.4. Holzabfuhr

Das vom Holzverkäufer oder vom Holzkäufer beauftragte Transportunternehmen fährt das Holz mit speziell dafür ausgerüsteten **Holz-LKW** vom Wald in das Werk des Käufers. Dazu werden dem DZ des Holz-LKW wiederum die aktuellen Daten und Geopositionen der Polter/Lose übergeben und von diesem um seine jeweilige Ladung, das Transportziel sowie den tatsächlich erfolgten Transport ergänzt. Wird das Rohholz per Bahn/Binnenschiff/Seeschiff transportiert, erfordert dies Zwischenlager, in denen es angesammelt, umgeladen, in Container verladen, und ggf. begast und verzollt wird.

#### 5.1.1.5. Werkseingang

Bei Ankunft des LKW im Werk werden die Daten seiner Ladung mit den Kaufdaten abgeglichen und synchronisiert. Das Rohholz wird in der **Werkseingangsvermessung** mit geeichten Messeinrichtungen exakt vermessen. Diese Messdaten sind Grundlage für die Abrechnung.

#### 5.1.1.6. Abrechnung

Sind die Stämme/Stammabschnitte vollständig eingegangen, erstellt das Werk die Abrechnung. Die Datenübermittlung erfolgt wiederum nach einem standardisierten Verfahren über den Datenraum. Der Geldfluss sollte ebenfalls digital erfolgen.

## 5.2. Assets der Hochmechanisierten Holzbereitstellung

„Assets“ sind **Gegenstände** und deren Komponenten, **Organisationen** und deren Einheiten sowie **Personen**. Im Forschungsprojekt "CO2For-IT" sind sie die „WH4.0-Komponenten“. Assets der hochmechanisierten Holzbereitstellung sind z.B. Bestand, Baum, Stammabschnitt, Polter, ggf. Los, Forstmaschine, Holz-LKW, dessen Ladung, Waldeigentümer mit ihren Waldgrundstücken, Forstverwaltung, Holzverkaufsorganisationen, Forst- und Fuhrunternehmen, jeweils mit ihren Organisationseinheiten, Maschinen, Geräten und Fahrzeugen, Säge-, Spanplatten-, Zellulosewerke und sonstige Käufer, Verarbeiter oder Verbraucher von Rohholz oder Hackschnitzeln sowie alle daran beteiligten Personen, vom Forstwirt bis zum Unternehmer.

### 5.2.1. Harvester (Vollernter)

Ein **Harvester** ist eine „selbstfahrende Maschine [zur effizienten Holzernte], die das Fällen mit anderen Aufarbeitungsfunktionen [Entasten, Ablängen zu verschiedenen Sortimenten und mit dem Vorrücken] kombiniert“<sup>8</sup>. Vorrücken ist das Ablegen der aufgearbeiteten Stammabschnitte entlang der Rückegasse. Diese Prozesse führt er mit einem Aggregat an seinem bis ca. 10 m langen Ausleger durch. Harvester unterschiedlicher Größen werden von der Erstdurchforstung bis zur Ernte von Starkholz eingesetzt. Gut geführt, arbeiten sie außerordentlich schonend für den verbleibenden Bestand und den Boden.

Der **Digitale Zwilling** des Harvesters fungiert als Datensammler und -übermittler für die Maschinendaten, Holzdaten, Geolokationen (Maschine, Baum, jeder einzelne Stammabschnitt) und die Zuordnung der Stammabschnitte zum Waldeigentümer. Die wichtigsten Holzdaten sind Baumart, Länge, Durchmesser und Holzmasse. Kombiniert mit dem Zeit- und Dieselverbrauch für Fällen, Aufarbeiten und Vorrücken werden CO<sub>2</sub>-Bilanzen daraus ermittelt. Die Daten ermöglichen eine präzise Verfolgung des Rohholzes und die Optimierung der Holzernteprozesse.

### 5.2.2. Forwarder (Tragschlepper)

Ein **Forwarder** ist eine „selbstfahrende Maschine [zur effizienten Holzernte, die] dafür konstruiert [ist], Bäume oder Teile von Bäumen tragend zu bewegen“<sup>9</sup>. Sie wird für das Rücken der vom Harvester aufgearbeiteten und vorgerückten Stammabschnitte von der Rückegasse zum Lagerort eingesetzt. Mit einer Greifzange an seinem Ausleger legt er sie dort, nach Sortimenten getrennt, in Poltern ab. Auch Forwarder werden in unterschiedlichen Größen von der Erstdurchforstung bis zur Ernte von Starkholz eingesetzt und arbeiten außerordentlich schonend für den verbleibenden Bestand und den Boden.

Der **Digitale Zwilling** des Forwarders übernimmt die Daten der aufgearbeiteten und vorgerückten Stammabschnitte unmittelbar vom DZ des Harvesters. Beim Poltern ergänzt er sie um die aggregierten Holzdaten sowie die jeweilige Geolokation der einzelnen Polter. Diese werden in der Datenbasis ggf. zu Losen und zu Holzlisten aggregiert. Auch er berechnet CO<sub>2</sub>-Bilanzen.

### 5.2.3. Holz-LKW

**LKW** mit speziellen Aufbauten für den Holztransport und einem eigenen Ladekran. Man unterscheidet Langholz-LKW, Kurzholz-LKW und LKW mit Behältern für Schüttgut (Hackschnitzel).

Der **Digitale Zwilling** des Holz-LKW übernimmt die Daten des/der Polter(s) aus dem Transportauftrag. Beim Auf- und Abladen muss er jeden Polter/jeden einzelnen Stamm/Stammabschnitt eindeutig identifizieren, re-identifizieren und jeweils korrekt deren DZ zuordnen. Daraus bestimmt er seine exakte **Ladung** und deren Gesamtgewicht. Er misst die Dauer aller Prozessschritte und berechnet den **Transportweg**. Anhand seines Dieselverbrauchs ermittelt er **CO<sub>2</sub>-Bilanzen** der einzelnen Prozessschritte, seiner Ladung und der Holzabfuhr insgesamt.

---

<sup>8</sup> DIN ISO 6814:2016-08, S. 10

<sup>9</sup> DIN ISO 6814:2016-08, S. 8

### 5.3. Ergänzung: Assets der motormanuellen Holzbereitstellung

#### 5.3.1. Motorsäge

Die **Motorsäge** hat die traditionellen Handwerkzeuge abgelöst. Mittels ihres Einsatzes optimierte Arbeitsverfahren sind aktuell die gängige Praxis im Kleinprivatwald, in Kommunalwäldern mit eigenen Arbeitskräften, im Laubholz, Starkholz und Wertholz, beim privaten Aufarbeiten von Brennholz sowie in nicht befahrbaren Lagen. Um weite Abstände der Rückegassen einzuhalten, wird dazu dem Harvester motormanuell zugefällt. Zukünftig sollen „smarte“ Motorsägen in Verbindung mit einer App auf dem Android des Forstwirts (DZ) die Holzdaten aufnehmen. Ihr Datensatz ist dem des Harvesters (StanForD) vergleichbar. Die weiteren Handwerkzeuge brauchen digital nicht abgebildet zu werden.

#### 5.3.2. Rückeschlepper

**Landwirtschaftliche Zugmaschinen**, heute meist mit Allradantrieb, werden mit Seilwinden und Polterschilden ausgerüstet. Ihre für den Wald ungünstige Achslastverteilung kann durch ein Zusatzgewicht an der Fahrzeugfront etwas verbessert werden. Für Schlepper mit Frontlader gibt es spezielle Poltergabeln und Greifer. Damit sind sie für das ziehende Rücken und Poltern von Langholz ausgerüstet. Zum tragenden Rücken von Kurzholz gibt es spezielle Rücke-Anhänger mit Doppelachse, breiten Niederdruck-Niederquerschnittsreifen mit weichen Stollen, Rungen und einem Ausleger mit Greifzange.

**Forstspezialschlepper („Skidder“)**, sind durch ihre Knicklenkung, ihre zum Holzrücken günstige Achslastverteilung, breite Niederdruck-Niederquerschnittsreifen mit weichen Stollen und ihre Ausrüstung für das ziehende Rücken und Poltern von Langholz (Doppeltrommel-Seilwinden, Polterschild, Frontpolterschild, Ausleger, große Greifzange), wesentlich leistungsfähiger als landwirtschaftliche Zugmaschinen. Dazu arbeiten sie wesentlich schonender für den Bestand und Boden. Statt der gängigen 4-Rad-Version, werden sie aktuell auch als 6-Rad-Version und zunehmend in Kombination mit der mit dem Rungenkorb versehenen Hälfte des Forwarders angeboten. Der Rungenkorb kann dann flexibel durch eine große Greifzange ausgetauscht werden.

**Forwarder** können mit zusätzlichen Seilwinden, einem Frontpolterschild, einem in der Länge verschiebbaren hinteren Rungenpaar, einem als Greifzange verwendbaren, drehbaren hinteren Rungenpaar und/oder mit einem abnehmbaren Rungenkorb ausgestattet werden, der dann durch eine große Greifzange ersetzt wird. Damit kann der für das tragende Rücken von Kurzholz konzipierte Forwarder je nach Ausrüstung gleichzeitig oder zusätzlich zum ziehenden Rücken von Langholz eingesetzt werden. Das Poltern erfolgt mit Hilfe seines Auslegers, ggf. in Kombination mit einem Polterschild an der Hälfte mit dem Motor und der Fahrerkabine (Ein Forwarder fährt in beide Richtungen, bei ihm gibt es kein Vorne und Hinten).

In nicht befahrbarem Gelände werden, je nach zu überbrückender Distanz, Holzmenge und -gewicht Schlepper-gestützte **Seilsysteme**, Seilkräne, Langstecken-Seilwinden, oder Hubschrauber zum Holzrücken eingesetzt. Ggf. werden Bagger mit Greifzangen zum Entzerren von Sturmwürfen eingesetzt. Prozessoren werden an Bagger montiert oder mit Seilkränen kombiniert.

Zukünftig sollen alle diese Maschinen und Systeme mit **Digitalen Zwillingen (DZ)** versehen werden, die die **Weitergabe der Holzdaten in unmittelbarer Kommunikation „machine-to-machine“** ermöglichen. Dazu werden ihre Bestandteile ggf. mit Sensoren zur Erkennung der Stämme/Stammabschnitte ausgestattet, z.B. die Laufkatze und der Prozessor eines Seilkran-Systems.

#### 5.3.3. Holz-LKW

**LKW** werden mit speziellen Aufbauten für den Holztransport und einem eigenen Ladekran versehen. Man unterscheidet Langholz-LKW, Kurzholz-LKW und LKW mit Behältern für Schüttgut (Hackschnitzel).

Der **Digitale Zwilling** des Holz-LKW übernimmt die Datensätze des/der Polter(s), identifiziert beim Auf- und Abladen jeden e8inzelnen Stamm/Stammabschnitt, bestimmt seine **Ladung**, seinen **Transportweg** und Dieselverbrauch und ermittelt aus diesem **CO<sub>2</sub>-Bilanzen** der einzelnen Prozessschritte, seiner Ladung und der Holzabfuhr insgesamt (vgl. 4.3.3.).

## 6. Tracking und Tracing

**Verfolgbarkeit, „Traceability“<sup>10</sup>**, bedeutet, alle Prozesse nachvollziehen zu können, die ein Rohmaterial bei seiner Bereitstellung durchläuft. In der Forstwirtschaft dient sie der Steuerung und Optimierung sowie dem Nachweis der legalen Herkunft des Rohholzes aus nachhaltiger Waldwirtschaft. Technisch bedeutet das, den Weg des Rohholzes vom stehenden Baum bis zum Werkseingang<sup>11</sup> nachzuvollziehen. Dieses „Tracking“ (Produktverfolgung) kann aktuell oder nachträglich erfolgen.

Das „Tracing“ (Herkunftsbestimmung) erfolgt nachträglich in umgekehrter Richtung. Dazu muss jeder einzelne Stamm oder Stammabschnitt identifiziert und mehrmals eindeutig wiedererkannt werden. Alle relevanten Informationen (Eigenschaften, Manipulationen, Geopositionen) müssen erfasst, mit ihm verknüpft und dokumentiert werden. Dies erfolgt mittels einer jeweils individuellen ID.

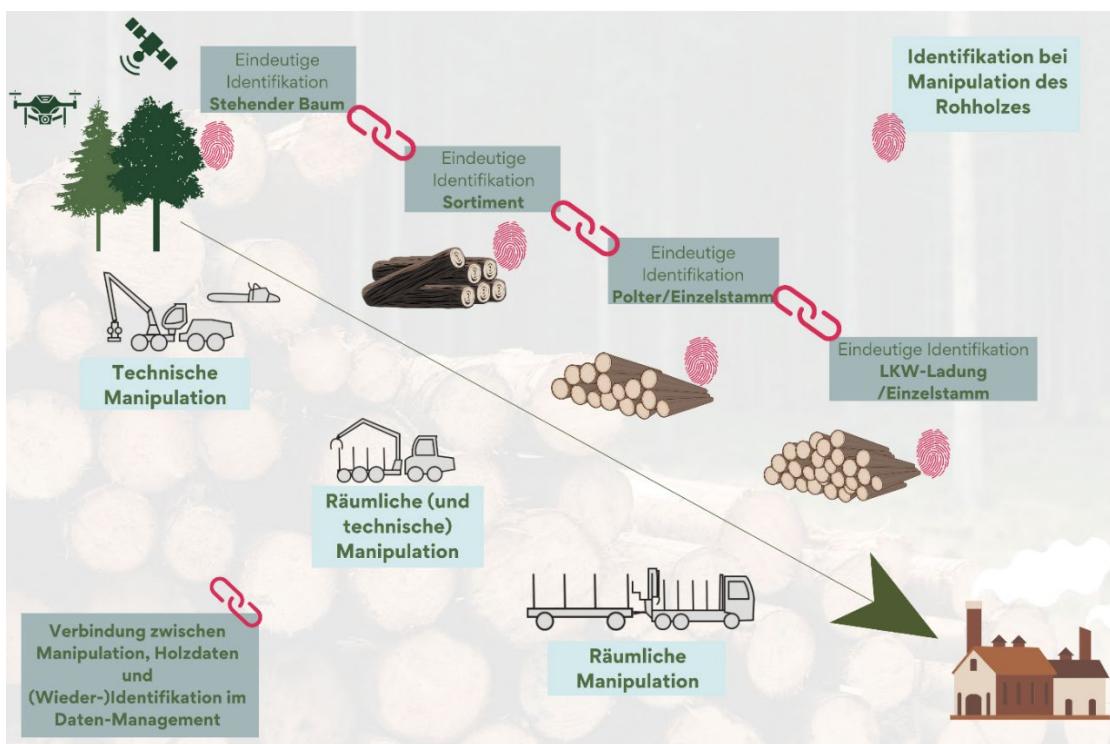


Abbildung 3: Die Verfolgung des Rohholzes entlang der Holzbereitstellungskette (nach Kaulen et al., 2023) © A. Kaulen, KWF

<sup>10</sup> <https://www.symestic.com/de-de/was-ist/traceability>

<sup>11</sup> Sägewerk, Furnierwerk, Span- oder Faserplattenwerk, Zellulosewerk, Papierfabrik, Hackschnitzelheizung, etc.

## 6.1. Technologien zur Verfolgung des Rohholzes entlang der Holzbereitstellungskette

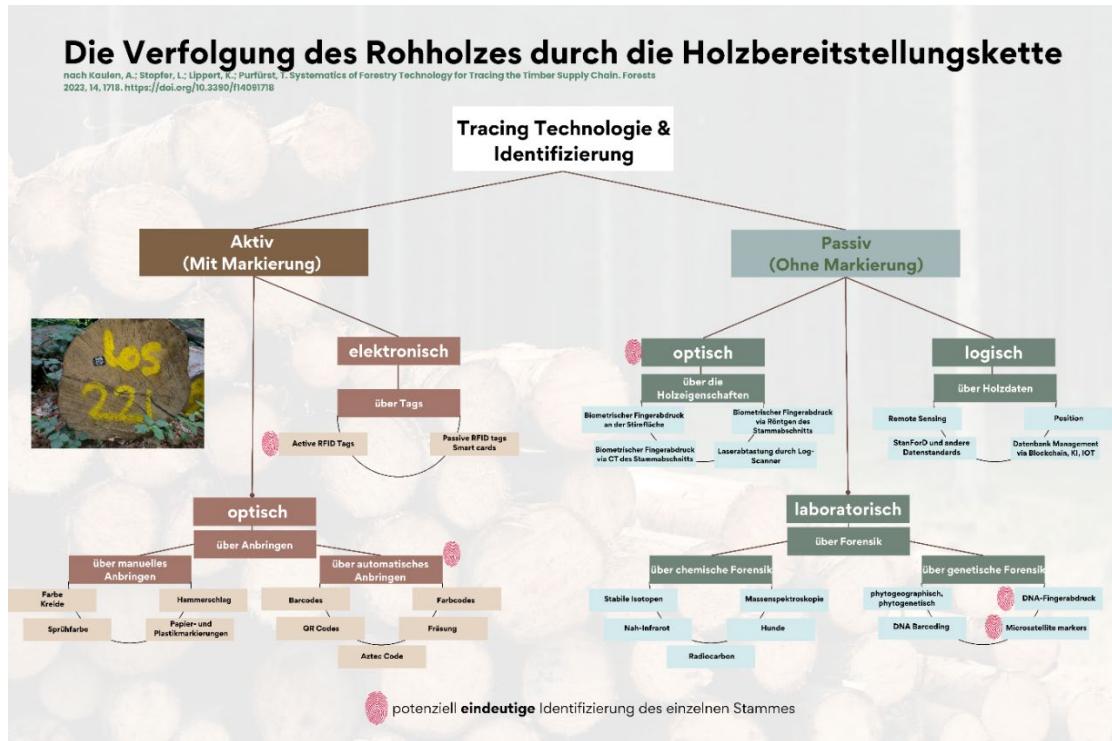


Abbildung 4: Technologien zur Identifizierung des Rohholzes (nach Kaulen et al., 2023)

© A. Kaulen, KWF

### 6.1.1. Technologien zur *aktiven* Verfolgung des Rohholzes

Das Holz wird **markiert**, um immer wieder eindeutig wiedererkannt werden zu können.

#### 6.1.1.1. Anreißen

Rinde und Holz sind ritzbar. Anreißen ist das älteste Markierungsverfahren und wird noch heute angewandt. Es erfolgt mit Reißhaken und anderen Werkzeugen. Seine Zeichen und Symbole sind so eindeutig und gebräuchlich, dass sie in die „schreibenden“ Verfahren mit Stiften, Kreiden oder Sprühfarben übernommen wurden. Nicht umsonst heißt eine Konstruktionszeichnung bis heute „Riss“.

#### 6.1.1.2. Farbmarkierungen

Auf Holz kann man gut mit Kreiden, Stiften oder Sprühfarben schreiben. Traditionell werden Länge, Durchmesser und Gütekasse des Stammes auf seiner Schnittfläche angeschrieben. Mit Sprühfarbe werden Polter mit der Losnummer, oder z.B. jeder gezählte Stamm Industrieholz mit einem Farbpunkt markiert. In das Harvesteraggregat können Düsen integriert werden, um Markierungen aufzusprühen.

#### 6.1.1.3. In das Holz eingeschlagene Markierungen

In die Schnittflächen des Holzes eingeschlagene Markierungen sind dauerhaft und, geschwärzt, gut lesbar. Auch Harvester -Aggregate können mit entsprechenden Stempeln ausgestattet werden.

#### 6.1.1.4. Markierungsplättchen aus Kunststoff (oder Metall)

Von der Latschbacher GmbH in Österreich entwickelt und 1968 auf den Markt gebracht, haben sie sich weltweit durchgesetzt. Es gibt sie in verschiedenen Farben, Formen, Größen, Befestigungs- und Beschriftungsvarianten, mit Buchstaben, Ziffern, Logos, zusätzlichem Barcode oder OCR, mit QR- oder Aztec-Code, sowie aus sich im Zellulosebrei rückstandslos auflösendem Material.

#### *6.1.1.5. RFID-Transponder (RFID-Tags)*

**RFID** (Radio-Frequency-Identification) bezeichnet Markierungssysteme mittels Funkwellen. Es gibt aktive und passive Transponder („Tags“). In robuste Hüllen eingebettet, können sie mehrfach wieder verwendet werden. Seit März 2024 wird ein Markierungsplättchen für Rohholz mit integriertem RFID-Tag in der Praxis eingesetzt

(Latschbacher GmbH, A-4484 Kronstorf, mit Wibeba-Holz GmbH, A-3250 Wieselburg, Österreich).

#### *6.1.2. Technologien zur passiven Verfolgung des Rohholzes*

Das Holz wird **nicht markiert**. Seine Wiedererkennung erfolgt logisch anhand von Datensätzen, oder anhand spezifischer Merkmale des Holzes.

##### *6.1.2.1. Logische Verfolgung*

Die bei der Holzernte, dem Holzverkauf und dem Holztransport gesammelten **Daten** (Maschinendaten, Holzdaten, Geolokationen, Waldeigentümer) werden mit Warenwirtschaftssystemen ausgewertet. Diese werden von den Forstmaschinen automatisch erfasst und stehen im standardisierten Format StanForD<sup>12</sup> (Standard for Forest machine Data and Communication) zur Verfügung.

Auch die Weitergabe von **Zertifikaten** (FSC, PEFC, EUDR) ist ein logisches Verfahren.

##### *6.1.2.2. Fernerkundung mit LiDAR, ggf. in Kombination mit Positionsbestimmung*

**LiDAR** (Laser Imaging Detection and Ranging) wertet aus reflektierten Laserstrahlen generierte Punktwolken mit Hilfe mehrstufiger Algorithmen aus. Damit lassen sich die Eigenschaften stehender Bäume wie ganzer Bestände in hoher Genauigkeit ermitteln und sowohl als Bild, als auch als Datensatz darstellen. Kombiniert mit **GNSS** (Global Navigation Satellite System), erhält man zusätzlich die Geoposition jedes einzelnen Baumes. Deren Präzision ist im Wald aber sehr unterschiedlich.

##### *6.1.2.3. Automatisierte optische Erkennung der Holzstruktur der Schnittflächen*

Anhand seines individuellen „Biometrischen Digitalen Fingerabdrucks“ wird jeder einzelne Stamm/Stammabschnitt in der Holzbereitstellungskette eindeutig identifiziert und mehrfach re-identifiziert. Dies erfolgt mit Kameras zur Aufnahme der Schnittflächen (Harvester, Polter, Werkseingang), oder mit im Sägewerk fest installierten Computertomographen oder Röntgenscannern für ganze Stämme.

##### *6.1.2.4. Analyse von Holzproben im Labor*

Holzproben werden in spezialisierten Laboren optisch oder chemisch untersucht und die Ergebnisse mit speziellen Datenbanken abgeglichen. In Europa spielen sie zur Verfolgung des Rohholzes entlang seiner Bereitstellungskette fast keine Rolle. Hier werden sie hauptsächlich angewandt, um den internationalen Handel illegal geernteter und/oder geschützter Holzarten zu unterbinden. Für die Hölzer der USA und Kanadas wurden dagegen umfangreiche Datenbanken aufgebaut.

##### *6.1.2.5. Olfaktorische Erkennung der Holzart*

Speziell trainierte Hunde vermögen einige, streng geschützte, tropische Holzarten zu „erschnüffeln“. Das Verfahren wird angewandt, um deren illegalen Handel zu unterbinden.

---

<sup>12</sup> [StanForD - Skogforsk - Forestry Research Institute of Sweden](#),  
[StanForD - KWF 2030](#)

## 7. Positionsbestimmung

Ein wichtiger Bestandteil der Verfolgung des Holzes mittels automatisierter digitaler Systeme ist die möglichst exakte Bestimmung der Position des stehenden Baumes/Stammes/jedes einzelnen Stammabschnitts mittels **GNSS** (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem, z.B. GPS, GLONASS, Galileo. Es gibt auch Multisysteme, die mehrere GNSS miteinander verbinden). Die Kombination von GNSS mit verschiedenen Sensoren in den Forstmaschinen erscheint vielversprechend (Projekt „**S**uper**NAV**“ der FVA Baden-Württemberg mit Fraunhofer IIS, geo-konzept GmbH und HSM, Fraunhofer IIS, 2023: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/lok/proj/supernav.html> <https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/waldnutzung/supernav>).

## 8. Zusammenfassung

Die umfassende Implementierung der Holzbereitstellungskette in den Datenraum „Wald und Holz 4.0“, mit seinen Digitalen Zwillingen (DZ) der Assets, Softwarediensten und Mensch-Maschine-Schnittstellen, führt zu erheblichen Vorteilen hinsichtlich Effizienzsteigerung und CO<sub>2</sub>-Reduktion. Datenbrüche werden vollständig vermieden und das Rohholz entlang der gesamten Holzbereitstellungskette lückenlos nachverfolgt. Alle Prozessschritte werden präzise erfasst, virtuell und mittels CO<sub>2</sub>-Bilanzen abgebildet, analysiert und modelliert. Auf dieser Grundlage können nicht nur die einzelnen Elemente in sich, sondern umfassend die gesamte Holzbereitstellungskette verfahrenstechnisch, ökonomisch sowie anhand der CO<sub>2</sub>-Bilanzen auch hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit optimiert werden. Zukünftige Forschungsprojekte sollten diese Ansätze weiterentwickeln und auf die Prozesse vor und nach der Holzbereitstellung übertragen.

## 9. Projektsteckbrief

Forest Data Space for a CO<sub>2</sub>-aware Forestry - Datenraum für das Nachhaltigkeitsmonitoring der Wald- und Holzwirtschaft: IT für die nachhaltige, klimapositive Holzwertschöpfung (CO<sub>2</sub>For-IT)

Link KWH 4.0: [KWH 4.0 | CO<sub>2</sub>For-IT \(kwh40.de\)](http://KWH4.0.CO2For-IT(kwh40.de))

Projektaufzeit: 01.05.2023 - 30.04.2026

Projektpartner:

Materna Information & Communications SE, 44141 Dortmund (Konsortialführung)

RIF Institut für Forschung und Transfer e.V., 44227 Dortmund

RWTH Aachen University, 52062 Aachen

Rhenus Forest Logistics GmbH & Co. KG, 47119 Duisburg

Turner und Partner Data Scientists PartG (foldAI), 81369 München

Hohenloher Spezial-Maschinenbau GmbH & Co. KG (HSM), 74635 Neu-Kupfer

Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (FFK) Gotha (ThüringenForst - AÖR), 99867 Gotha

Kuratorium für Walddarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF), 64823 Groß-Umstadt



Projektförderung:

Das Vorhaben wird gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt über den DLR Projekträger, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

(Förderkennzeichen 01MN23017G).

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt



**Alexander Kaulen**

+49 (0) 6078 785-27

alexander.kaulen@kwf-online.de

**Volker Labudda**

+49 (0) 6078 785-52

volker.labudda@kwf-online.de

Kuratorium für Walddarbeit und Forsttechnik e. V. (KWF)

Spremberger Straße 1

D-64823 Groß-Umstadt