

Forschungsprojekt „CO2ForIT“, Anwendungsfall 2: Nachhaltige klimapositive Holzwertschöpfung

1. Einführung

Eine nachhaltige, klimapositive Holzwertschöpfung ist von zentraler Bedeutung für die moderne Forst- und Holzwirtschaft. Im Rahmen des Projekts "CO2ForIT" soll diese umfassend umgesetzt werden. Eingebettet in einen „Forest Data Space“ werden die Assets der Holzbereitstellungskette dazu mittels „Grüner Digitaler Zwillinge“ virtuell abgebildet und miteinander vernetzt. Der Datenraum ist sicher und vertrauenswürdig. Die Digitalen Zwillinge (DZ) sammeln Daten in Echtzeit und werten sie aus. Dazu kommunizieren sie direkt miteinander. Dies ermöglicht, die von den Forstmaschinen generierten Holzdaten zukünftig entlang der gesamten Holzbereitstellungskette weiterzugeben und bei jedem Prozessschritt entsprechend zu ergänzen - vom Fällen des Baumes bis zum Eingang des Rohholzes in das Werk. Es ermöglicht, alle Prozesse präzise nachzuvollziehen, zu analysieren und zu steuern, CO₂-Bilanzen zu ermitteln, und damit die gesamte Holzbereitstellungskette im Hinblick auf eine effiziente und nachhaltige Ressourcennutzung und reduzierte CO₂-Emissionen zu optimieren.

2. Datenraum „Forest Data Space“

Konzepte und Technologien zur dezentralen Vernetzung aus Industrie 4.0 wurden in vorherigen Projekten zu einem Konzept Wald und Holz 4.0 (KWH4.0) umgesetzt. Dieses umfasst Digitale Zwillinge (DZ) der Assets, Softwaredienste und Mensch-Maschine-Schnittstellen. Im Projekt "CO2ForIT" soll das KWH 4.0 unter Anwendung der Sicherungsmechanismen der europäischen Gaia-X-Initiative zu einem sicheren digitalen Ökosystem weiterentwickelt werden. Damit wird es für einen breiten Anwenderkreis verfügbar. In diesem Ökosystem sollen das Nachhaltigkeitsmonitoring (Anwendungsfall 1) und die nachhaltige, klimapositive Holzwertschöpfung (Anwendungsfall 2) prototypisch umgesetzt werden.

3. Digitaler Zwilling (DZ)

Ein digitaler Zwilling ist ein virtuelles Abbild eines realen Objekts, das kontinuierlich mit den physischen Assets synchronisiert wird. Durch das Einbeziehen von Aspekten der Nachhaltigkeit, insbesondere der CO₂-Bilanzierung, wird er „CO₂-aware“, er wird zum „Grünen“ Digitalen Zwilling. Im Kontext der Holzbereitstellung umfassen die Assets den Bestand, den Baum, den Stamm bzw. Stammabschnitt, das Polter, das Los, die Forstmaschinen sowie die beteiligten Personen und ihre Organisationen. Ihre DZ speichern ihre jeweiligen Daten und kommunizieren mit den DZ anderer Assets. Die Nutzung digitaler Zwillinge vermeidet Datenbrüche und ermöglicht die Optimierung aller Prozesse.

3.1 Allgemeine Anforderungen an digitale Zwillinge

- Nutzung sowohl Edge- als auch Cloud-basiert.
- Dynamische Erzeugung und Weitergabe neuer digitaler Zwillinge, insbesondere für Holz.
- Definition des Umfangs und der Frequenz der Datenerhebung, Speicherung und Synchronisierung.
- Strenge Richtlinien bezüglich IT-Sicherheit (Datenhaltung, Transaktionen) und Zugriffsrechten.
- Maschinen werden ausgestattet mit robusten Edge-Geräten. Mit einer hohen Akkuleistung und großen Speicherkapazität, sind diese selbst extremen Einsatzbedingungen gewachsen.

4.2.1 Die Prozesse der Holzbereitstellung

Die Holzbereitstellung mit hochmechanisierter Holzernte lässt sich in folgende Prozesse unterteilen:

4.2.1.1 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 zum Lagerort und legt sie dort, getrennt nach Sortimenten, in Poltern ab. Er generiert die Polter physisch, wie deren DZ.

Die vom Harvester generierten Daten werden von seinem DZ direkt an den DZ des Forwarders übergeben. Der DZ des Forwarders ergänzt diese und übergibt sie an den/die DZ des/r Polter(s).

4.2.1.2 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.

4.2.1.3 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 Holzdaten und Geopositionen der Polter/Lose übergeben und von diesem um das Transportziel sowie den tatsächlich erfolgten Transport ergänzt. Wird das Rohholz per Bahn, Binnenschiff und/oder Seeschiff weiter transportiert, erfordert dies Zwischenlager, in denen das Holz angesammelt, umgeladen, in Container verladen, und ggf. begast und verzollt wird.

4.2.1.4 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.

4.2.1.5 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.

4.3 Assets der Holzbereitstellung

„Assets“ sind **Gegenstände** und deren Komponenten, **Organisationen** und deren Einheiten sowie **Personen**. Im Forschungsprojekt CO₂ForIT sind sie die „WH4.0-Komponenten“. Assets der Holzbereitstellung sind z.B. Wald, Bestand, Baum, Stammabschnitt, Polter, Forstmaschine, Holz-LKW, dessen Ladung, Waldeigentümer mit ihren Waldgrundstücken, Forstverwaltung, Holzverkaufsorganisationen, Forst- und Fuhrunternehmen, jeweils mit ihren Organisationseinheiten, Maschinen 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.

4.3.1 Harvester (Vollernter)

Ein **Harvester** ist eine „selbstfahrende Maschine [zur effizienten Holzernte], die das Fällen mit anderen Aufarbeitungsfunktionen [(Entasten, Ablängen zu verschiedenen Sortimenten) und dem Vorrücken] kombiniert“². 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 und die Geolokationen (Maschine, Baum, jeder einzelne Stammabschnitt). Die wichtigsten Holzdaten sind Baumart, Länge, Durchmesser und Holzmasse. Anhand des Zeit- und Dieserverbrauchs für Fällen, Aufarbeiten und Vorrücken werden CO₂-Bilanzen daraus ermittelt. Diese Daten ermöglichen eine präzise Verfolgung des Rohholzes und die Optimierung der Holzernteprozesse.

4.3.2 Forwarder (Tragschlepper)

Ein **Forwarder** ist eine „selbstfahrende Maschine [zur effizienten Holzernte, die] dafür konstruiert [ist], Bäume oder Teile von Bäumen tragend zu bewegen“³. 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 direkt von dem des Harvesters die Holzdaten und Geolokationen der aufgearbeiteten und vorgerückten Stammabschnitte. 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 CO₂-Bilanzen.

4.3.3 Holz-LKW

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

Der **Digitale Zwilling** des Holz-LKW übernimmt die Holzdaten und Geolokation(en) des/der Polter(s) aus dem Transportauftrag. Er muß jeden Polter und darin jeden einzelnen Stamm/Stammabschnitt beim Auf-, und Abladen eindeutig identifizieren, re-identifizieren und jeweils korrekt deren DZ zuordnen. Daraus bestimmt er die Gesamtmasse seiner Ladung. Er misst die Dauer aller Prozessschritte und summiert diese auf. Aus den Geolokationen der Polter und des Werkseingangs berechnet er den Transportweg. Anhand des Dieserverbrauchs ermittelt er CO₂-Bilanzen der einzelnen Prozessschritte, seiner Ladung und der Holzabfuhr insgesamt.

² DIN ISO 6814:2016-08, S. 10

³ DIN ISO 6814:2016-08, S. 8

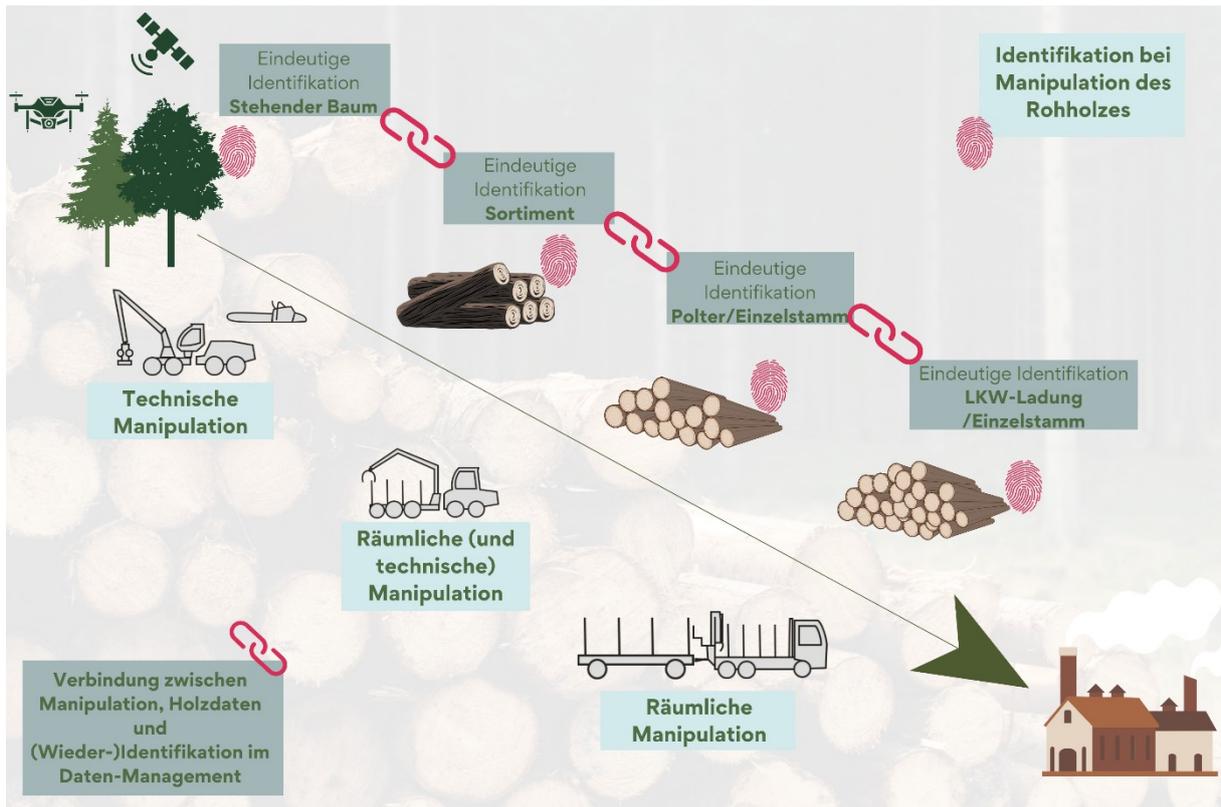


Abbildung 2: Die Verfolgung des Rohholzes entlang der Holzbereitstellungskette (nach Kaulen et. al. (2023))

© A. Kaulen, KWF

5. Tracking und Tracing

Verfolgbarkeit 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 Werkseingang⁴ 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.

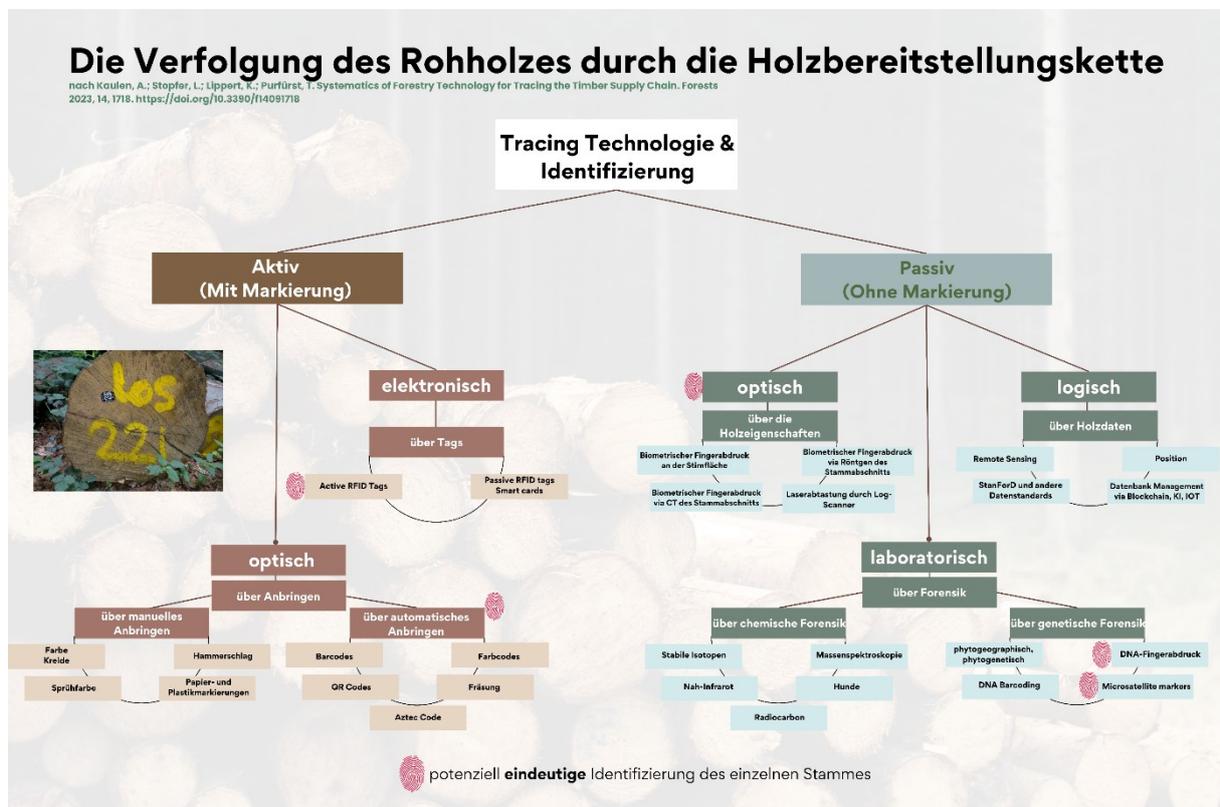


Abbildung 3: Technologien zur Identifizierung des Rohholzes (nach Kaulen et. al. (2023))

© A. Kaulen, KWF

⁴ Sägewerk, Furnierwerk, Span- oder Faserplattenwerk, Zellulosewerk, Papierfabrik, Hackschnitzelheizung, usw.

5.1 Technologien zur **aktiven** Verfolgung des Rohholzes entlang seiner Bereitstellungskette

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

5.1.1 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“.

5.1.2 Farbmarkierungen

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

5.1.3 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.

5.1.4 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 Actec-Code, sowie aus sich im Zellulosebrei rückstandslos auflösendem Material.

5.1.5 RFID-Transponder (RFID-Tags)

RFID (**R**adio-**F**requency-**I**dentification) bezeichnet Markierungssysteme mittels Funkwellen. Es gibt aktive und passive Transponder („Tags“). In robuste Hüllen eingebettet, können sie mehrfach wiederverwendet 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).

5.2 Technologien zur **passiven** Verfolgung des Rohholzes entlang seiner Bereitstellungskette

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

5.2.1 Logische Verfolgung

Die bei Holzernte, Holzverkauf und Holztransport gesammelten **Daten** (Maschinendaten, Holzdaten, Geolokationen) werden mit Warenwirtschaftssystemen ausgewertet. Diese werden von den Forstmaschinen automatisch erfaßt und stehen im standardisierten Format StanForD zur Verfügung. Auch die Weitergabe von **Zertifikaten** (FSC, PEFC, EUDR) ist ein logisches Verfahren.

5.2.2 Fernerkundung mit LIDAR, ggf. in Kombination mit Positionsbestimmung LIDAR (**L**aser **I**maging **D**etection and **R**anging) wertet die Punktwolken der reflektierten Laserstrahlen mit 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 (**G**lobal **N**avigation **S**atellite **S**ystem), erhält man zusätzlich die Geoposition jedes einzelnen Baumes.

5.2.3 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.

5.2.4 Analyse von Holzproben im Labor

Holzproben werden optisch oder chemisch in spezialisierten Laboren untersucht und 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.

5.2.5 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.

5.3 Positionsbestimmung

Ein wichtiger Bestandteil der Verfolgung des Holzes mittels automatisierter digitaler Systeme ist die exakte Bestimmung der Position des stehenden Baumes/Stammes/Stammabschnitte 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 „SuperNAV“ der FVA Baden-Württemberg mit Fraunhofer IIS, geo-konzept GmbH und HSM).

6. Zusammenfassung

Die Implementierung des „Forest Data Space“ mit seinen digitalen Zwillingen von Assets, Software-diensten und Mensch-Maschine-Schnittstellen in die Holzbereitstellungskette führt zu erheblichen Vorteilen hinsichtlich Effizienzsteigerung und CO₂-Reduktion. Datenbrüche werden vermieden, das Rohholz entlang der gesamten Holzbereitstellungskette lückenlos nachverfolgt. Alle Prozessschritte werden präzise erfasst, virtuell und mittels CO₂-Bilanzen abgebildet, analysiert und modelliert. Auf dieser Grundlage können nicht nur die einzelnen Elemente in sich, sondern umfassend die gesamte Holzbereitstellungskette technisch, ökonomisch sowie anhand der CO₂-Bilanz hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit optimiert werden. Zukünftige Forschungsprojekte sollten diese Ansätze weiterentwickeln und auf die Prozesse vor und nach der Holzbereitstellung übertragen.

7. Projektsteckbrief

Forest Data Space for a CO₂-aware Forestry - Datenraum für das Nachhaltigkeitsmonitoring der Wald- und Holzwirtschaft: IT für die nachhaltige, klimapositive Holzertschöpfung (CO₂ForIT)

Link KWH 4.0: [KWH 4.0 | CO₂For-IT \(kwh40.de\)](https://kwh40.de)

Projektlaufzeit: 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 Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF), 64823 Groß-Umstadt



Projektförderung:

Das Vorhaben wird gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über den DLR Projektträger, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

(Förderkennzeichen 01MN23017G).

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



DLR Projektträger

Alexander Kaulen

+49 (0) 6078 785-27

alexander.kaulen@kwf-online.de

Volker Labudda

+49 (0) 6078 785-52

volker.labudda@kwf-online.de

Spremlberger Straße 1

D-64823 Groß-Umstadt