

Forstliche Prozesse dienen der geregelten Waldbewirtschaftung entweder direkt (z.B. Planungen, Walderschließung, Bestandespflege, Holzbereitstellung, Schutzmaßnahmen, Jagd, etc.), oder sie unterstützen diese, indem sie erforderliche Informationen bereitstellen (z.B. Landkarten, Kartierungen, Datenbanken, Forschung und Lehre), oder indem sie die technischen Voraussetzungen dafür bereitstellen, die vorhandenen/gewonnenen Informationen aufzubereiten, miteinander zu kombinieren, in geeigneter Form zu visualisieren, zu bearbeiten, zu nutzen, auszuwerten, zu übermitteln sowie die Kommunikation zu gewährleisten.

Über die gezielte Datenerfassung anlässlich verschiedener Inventuren hinaus werden insbesondere bei der hochmechanisierten Holzbereitstellung automatisiert Daten erhoben (z.B. Geolokationen, Waldeigentümer, Holzdaten, Maschinendaten, etc.). Das eröffnet neue Möglichkeiten, diese zielführend zu verarbeiten und einzusetzen:

DIREKTE MESSUNG DER HOLZDATEN MIT SENSOREN AN HARVESTERAGGREGATEN/PROZESSOREN

Harvesteraggregate messen den Durchmesser und die Länge jedes einzelnen Stammes/Stammabschnitts. Die Baumart wird vom Maschinenführer eingegeben [98]. Auf Grundlage statistischer Durchschnittswerte errechnet der Bordcomputer daraus die Holzmasse [99]. Er speichert die jeweiligen Holzdaten, Maschinendaten und Geopositionen im de facto standardisierten Format StanForD [158, 159]. Harvesteraggregate sind nicht eichbar und müssen regelmäßig kalibriert werden. Das Harvestermaß (die von seinem Aggregat gemessenen Holzdaten), insbesondere die Holzmasse, sind deshalb nicht sehr präzise [99]. Dasselbe gilt für die vom Harvester automatisiert ermittelten Geopositionen. Ihre Genauigkeit reicht aber bei weitem aus zur intelligenten Prozesssteuerung der Holzernte und -logistik sowie für den Holzverkauf. Zur Abrechnung des gekauften Holzes können sie dann mit den präzisen Maßen der geeichten Werkseingangsvermessung des Holzkäufers² korrigiert werden. Zusätzlich können auf ihrer Grundlage CO₂-Bilanzen bis auf Ebene der einzelnen Stämme/Stammabschnitte erstellt und alle Prozesse/die Holzbereitstellungskette insgesamt umfassend optimiert werden [129]. Bisher werden die vom Harvester automatisiert ermittelten Holzdaten und Geopositionen verworfen. Das Holz wird nach dem Rücken erneut manuell aufgenommen und eine Holzliste erstellt [158]. Dies ist personal- und zeitaufwendig. Die manuelle Messung der Holzdaten ist zudem weniger genau als das Harvestermaß. Dasselbe gilt meist für die erneute Ermittlung der Geopositionen der Polter.

Von Harvestern gemessene Holzdaten und Geopositionen wurden als Referenzdaten für ALS³-basierte Waldinventuren verwendet [100]. Um aus den Stammlängen die Baumhöhen direkt ableiten zu können, werden neue Algorithmen entwickelt [101]. Diese sollen Harvester-basierte Inventuren und Analysen durch Integration mit traditionellen Inventur- und Forstwirtschaftsdaten erleichtern.

ÜBERTRAGUNG UND AGGREGATION VON DATEN ENTLANG DER HOLZBEREITSTELLUNGSKETTE

Die Holzbereitstellungskette umfasst die Holzernte, den Holzverkauf und die Holzabfuhr. Die vom Harvester automatisiert erfassten Holzdaten und Geolokationen, sowie die zur Berechnung der CO₂-Bilanzen erforderlichen Maschinendaten, sollen jeweils unmittelbar zum Forwarder, zum Polter, zum Holzverkauf, an den Käufer und zum Holz-LKW übertragen werden. Dabei sollen sie zu Poltern, Losen und Holzlisten aggregiert und ihre Geolokation

¹ [CO₂ForIT – KWF 2030](#)

² Sägewerk, Furnierwerk, Hersteller von Parkett, Fässern, Span- oder Faserplatten, Zellulosewerk, Papierfabrik, Hackschnitzelheizung, etc.

³ Airborne Laser Scanning ALS

jeweils aktualisiert werden. Gelingt es, dies alles umzusetzen, kann ihr Potential erst ausgeschöpft werden, z.B. um die gesamte Holzbereitstellungskette umfassend zu steuern und zu optimieren. Nachvollziehbare CO₂-Bilanzen ermöglichen erstmals, die Waldökologie und Nachhaltigkeit in diese umfassende Optimierung einzubeziehen und dies zweifelsfrei nachzuweisen. Zudem können Verwaltungsvorgänge vereinfacht, die Daten z.B. in die Naturbuchführung eingepflegt werden. Auch über ein Fortschreiben der Forsteinrichtungswerke wird bereits nachgedacht. In Verbindung mit von den Holz-LKW automatisiert erfassten Wegedaten wird aktuell an einem System zur intelligenten Steuerung der Holzlogistik mit „grüner“ Routenwahl gearbeitet⁴. Angelehnt an die Konzepte von Industrie 4.0 werden zudem die technischen Voraussetzungen geschaffen zur digitalen Vernetzung aller Stakeholder der Holzbereitstellungskette mittels Digitaler Zwillinge⁵ und einer leistungsfähigen, sicheren und vertrauenswürdigen Datenbasis⁶.

AUTOMATISIERTES AUSLESEN INDIVIDUELLER ID-CODES DER STAMMABSCHNITTE

Sensoren in den Aggregaten und Maschinen erfassen Holz- und Maschinendaten sowie Geopositionen. Um diese dem Holz korrekt zuordnen zu können, muss jeder einzelne Stamm/Stammabschnitt eindeutig identifiziert und im Verlauf der Holzbereitstellungskette mehrfach zweifelsfrei wiedererkannt werden [73]. Aktive Identifizierungstechnologien beruhen auf der Markierung des Rohholzes, passive auf Merkmalen der Holzstruktur [109]. In das Aggregat lassen sich kostengünstige und robuste Markierungssysteme integrieren [105 - 108]. Diese sollen dann vom Forwarder, Holz-LKW und im Sägewerk automatisiert ausgelesen werden, um so eine durchgängig automatisierte Prozesskette umzusetzen (CO₂For-IT).

RFID-TAGS ZUR IDENTIFIKATION DES HOLZES

Aggregate wurden ergänzt, um RFID-Tags an den Stammabschnitten anzubringen, die dann mehrfach mit Sensoren ausgelesen und digital verarbeitet werden konnten [64-85]. In einem Projekt wurden die Bäume stehend mit RFID-Tags markiert und diese beim Rücken und Aufarbeiten mit einem Prozessor ausgelesen. Während ihrer Aufarbeitung wurden die Daten der Stammabschnitte sowie ihr Bezug zum ursprünglichen Baum codiert, jeweils in einem neuen RFID-Tag abgelegt und dieser vom Prozessor an ihnen angebracht. Das Verfahren verursachte keine höheren Erntekosten als gewöhnliche Seilkran-Hiebe [65]. Ein praxisreifes, patentiertes Verfahren mit sich im Zellulosebrei rückstandslos auflösender Befestigung der RFID-Tags und einem System zu ihrer mehrfachen Wiederverwendung wurde von der Holzwirtschaft nicht angenommen [81-85]. Im Jahr 2024 in Österreich eingeführte Markierungsplättchen mit integriertem RFID-Tag werden aktuell eingesetzt, um eine durchgängig automatisierte Holzbereitstellungskette umzusetzen (CO₂For-IT). Praxisversuche, sie mit einem Sensor am Ausleger des Forwarders/Kran des Holz-LKW auszulesen, verliefen vielversprechend.

Insgesamt sind die Verfahren mit RFID-Tags robust und zuverlässig. Noch sind die o.g. Markierungsplättchen mit integriertem RFID-Tag erheblich teurer als die üblichen Markierungsplättchen. Bei Anwendung in Masse sind marginale Kosten der Tags und eine erhebliche Effizienzsteigerung der Holzbereitstellung zu erwarten [129].

BIOMETRISCHE IDENTIFIKATION DES HOLZES

Projekte zur Erstellung biometrischer Fingerabdrücke der Schnittflächen des Rundholzes haben vielversprechende Ergebnisse erzielt. Dazu werden diese z.B. im Harvesteraggregat, im Polter und an der Kappsäge im Sägewerk

⁴ <https://www.kwh40.de/co2for-it/>

⁵ https://www.bmv.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/online-fachforum-standards-und-richtlinien-fuer-digitale-zwillinge-kretschmar.pdf?__blob=publicationFile

⁶ <https://www.kwh40.de/veroeffentlichungen/>

aufgenommen. Die Bilder werden digital analysiert, die Ergebnisse als eindeutige Codes dargestellt. Je nach Verfahren und äußeren Bedingungen wird im frischen Holz eine hohe bis sehr hohe Wiedererkennungsrates erreicht. Das Problem einer starken Degradation der Schnittflächen bei längerer Lagerung im Wald sollte durch eine sehr feine Ansteuerung der Kappsäge im Sägewerk gelöst werden können [138-139].

NACHHALTIGE UND LEGALE HERKUNFT DES HOLZES, BLOCKCHAIN UND SMART CONTRACTS

Die nachhaltige Ernte und legale Herkunft des bereitgestellten/gehandelten Holzes nachzuweisen, erfordert Technologien zu seiner Rückverfolgung. Ein digitaler Informationsfluss, zukünftig vom Wald bis zum Endprodukt, erfordert darüber hinaus Technologien zur Datenhaltung, Datenübertragung und Vernetzung. Ist dieser gegeben, ermöglicht er ein umfassendes Monitoring, das Erstellen von CO₂-Bilanzen und eine gesamtheitliche Optimierung aller Prozesse, verfahrenstechnisch, ökonomisch und ökologisch. Obwohl die Blockchain, ergänzt durch „Smart Contracts“, zwingend auf das Internet angewiesen ist, wird sie für Gebiete ohne Netzabdeckung aktuell als geeignete Technologie betrachtet. In einem verbundenen Datenbank- und Hauptbuch-System speichert sie alle Transaktionen in verschlüsselten, in sich abgeschlossenen Paketen. Das Aneinanderreihen dieser Pakete ergibt eine nachprüfbare Aufzeichnung [141-148]. Bei Anwendung einer verlässlichen Technologie zur Identifikation des Holzes, ermöglicht diese den überprüfbaren Nachweis seiner Nachhaltigkeit und legalen Herkunft und die Durchsetzung geltenden Rechts im Falle illegal geernteten/gehandelten Holzes [141].

AKTIVITÄTSEKKNUNG AUF GRUNDLAGE DER AKTUELLEN GEOLOKATION

Über die digitale Vernetzung der Holzbereitstellungskette und die Verfolgung des Holzes hinaus, können mit Sensoren und Ortungssystemen auf Grundlage globaler Satellitennavigation (GNSS) die Bewegungen von Menschen und Maschinen erkannt [150-155] und innerhalb dynamisch sich verändernder Umgebungen sichere Arbeitsbereiche definiert werden [156, 157]. Sobald eine exakte Satellitennavigation auch im Wald möglich ist [155], sollen Inventuren via Fernerkundung selbst eine exakte Hiebsplanung auf Einzelbaumebene (sic!) und eine intelligente Gerätesteuerung ermöglichen (Forstmaschinen bis hin zu autonom sich orientierenden/arbeitenden Robotern). Als ergänzendes Inventurverfahren könnten Forstmaschinen zukünftig Bestandesparameter erfassen, z.B. Vorrat, Zuwachs, Verjüngung, Bestandes- und Bodenschäden usw., jeweils vor und nach der Holzernte [158].

Bei aller Begeisterung für die technischen Möglichkeiten, erteilt der Autor Überlegungen, „eine exakte Hiebsplanung auf Einzelbaumebene“ ausschließlich digital zu erstellen, eine entschiedene Absage: Da es die Bestandesentwicklung über Jahrzehnte hinweg steuert, ist das Auszeichnen die zentrale waldbauliche Tätigkeit des Forstmanns/der Forstfrau. Es muss draußen im Wald erfolgen, um jeden Zukunftsbaum und jeden Bedränger einzeln ansprechen zu können! Werden die Bäume dabei digital markiert (im Digitalen Zwilling des Bestandes), so ist das sicherlich der Königsweg.

AKTIVITÄTSEKKNUNG AUF GRUNDLAGE VON TRAGBAREN SENSOREN

Tragbare Sensoren können Aktivitäten von Menschen und Maschinen und dabei auftretende Belastungen in Echtzeit erfassen. Zu Verfahrenstechnik, Ökonomie und Ökologie werden damit auch Arbeitssicherheit und Ergonomie einer objektiven Erfassung und umfassenden Optimierung zugänglich [160-165, 167, 168]. Diese Daten werden sinnvoll mit durch Fernerkundung und von Maschinen erfassten Daten sowie den wechselnden Geolokationen zusammengeführt. Prototypisch umgesetzt ist die Warnung des Harvesterfahrers mit Visualisierung in Virtual Reality, wenn sich ein Mensch seinem Gefahrenbereich nähert, in ihn eindringt, oder sich darin befindet.

Smartphones und Smartwatches können RFID- und NFC-Tags auslesen, über GNSS die Geolokation bestimmen, die Daten zwischenspeichern und sie übertragen, sobald Netzanbindung besteht. Sie eignen sich, um Daten aus-
zulesen (Sensoren, Ergonomie, Forstmaschinen, etc.) und damit auch das Rohholz verlässlich zu verfolgen [161].

Daten werden zunehmend mit Künstlicher Intelligenz (KI) ausgewertet und über Funknetzwerke/Datensatelliten-
netze übertragen [150-168]. Dabei ist selbstverständlich sorgfältig auf den Schutz und die Sicherheit personen-
bezogener Daten zu achten.

WISSENSLÜCKEN UND SICH ABZEICHNENDE CHANCEN

Die geschilderten Technologien ermöglichen den Aufbau differenzierter, gesamtheitlich optimierter Systeme, um
vielfältige Ziele zu erreichen. Diese können und sollen sich gegenseitig überlappen/vernetzen. Sie sollten auf einer
über alle Organisationsgrenzen hinweg einheitlichen, sicheren und vertrauenswürdigen Datenbasis aufbauen
[167-168]. Deren Umsetzung wird eher durch Befindlichkeiten und das ausgeprägte gegenseitige Misstrauen
innerhalb des ungemein heterogenen „Clusters Wald und Holz“, als durch vorhandene Fakten verhindert.

Forschungsergebnisse zur Verbesserung der betrieblichen Effizienz und der Nachhaltigkeit durch den Einsatz digi-
taler Technologien in der forstlichen Praxis sind aktuell rar. Keefe et al. [3] halten eine deutliche Verlagerung der
Forschung für erforderlich, von der Entwicklung und Evaluierung von Verfahren zur Datenerfassung und zur Fern-
erkundung hin, zur Nutzung der in Inventuren und den forstlichen Prozessen selbst erfassten Daten. Im Anhalt an
sie schlägt der Autor folgende **Prioritäten** vor, um die Datenverwertung aus forstlichen Prozessen voranzutreiben:

- Optimierung der Waldinventuren
- Optimierung der forstlichen Planungen (z.B. unter Einsatz von GIS/GNSS [6, 165, 170])
- Optimierung der Holzbereitstellung
(Einbeziehen von CO₂-Bilanzen [129-132]; Einbeziehen hochauflösender Karten, der Holzpreise und der
Erntekosten, v.a. zur Planung der Holzbereitstellung in wenig oder nicht erschlossenen Gebieten)
- Digitale Unterstützung waldbaulicher Verfahren
(Fortschreibung der Naturalbuchführung/Forsteinrichtung; Klimawandel, fremdländische Baumarten;
Umstellung von Plantagenwirtschaft/Ausbeutung von Naturwäldern zu nachhaltiger Forstwirtschaft,
ggf. zu Agroforstwirtschaft; Einbeziehen ökologischer Parameter in Modellierungen; etc.)
- Maschinennavigation für eine verbesserte Automatisierung und Robotik
(Fernerkundung mit Individual Tree Detection ITD; Simultaneous Localization and Mapping SLAM; etc.
Durch Sensoren an der Forstmaschine erkannte Bäume werden mit einer vorhandenen Karte abgeglichen.
Das verbessert die Positionsgenauigkeit des Baumes, der Maschine und/oder des Aggregats. Statt
entfernter, sich bewogender Satelliten, wird der Wald selbst zu einer leistungsstarken Konstellation
fester Referenzpunkte, die für die Dauer der Umtriebszeit an derselben Stelle verbleiben.)
- Übermittlung und Korrektur des jeweiligen Standorts vom stehenden Baum bis zum Werk
(Verbesserung der Genauigkeit der Geoposition; lückenlose Verfolgung des Holzes [40, 73]; automa-
tisches Anbringen kostengünstiger Markierungen [65] oder markierungslose Identifikation durch das
Harvesteraggregat; direkte Datenübermittlung machine-to-machine (M2M) in Echtzeit [7, 9]; etc.)
- Verwaltung großer Datenmengen, auch in abgelegenen Umgebungen
(Datenbasis, Digitale Zwillinge, Kommunikation machine-to-machine (M2M) in Echtzeit; tägliches Ausle-
sen der Edge-Devices der Maschinen und Geräte mit Smartphones als mobile Zwischenspeicher und
Übermittlung an die Datenbasis, sobald Anbindung an das Telefonnetz/Internet besteht; Einsatz von
Künstlicher Intelligenz (KI); etc.).

Es sei erneut dringend davor gewarnt, sich von einer erheblich verbesserten Informationsgrundlage dazu verleiten zu lassen, Entscheidungsprozesse zu automatisieren. Umfangreiche, hochwertige Datensätze, Auswertungs-Algorithmen und Modellierungen sind mächtige Werkzeuge und damit sehr wertvolle Entscheidungshilfen. Trotz ihrer hervorragenden Leistungsfähigkeit sind aber auch sie nur Werkzeuge. Wichtige Entscheidungen kann und muss allein der Mensch treffen. Dazu muss er ggf. all seine Kompetenzen und Erfahrungen einsetzen - und seine Entscheidungen anschließend in aller Konsequenz verantworten!

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Planung, Steuerung und das Monitoring des Waldmanagements stehen zunehmend leistungsfähige digitale Werkzeuge aus Fernerkundung, EDV und KI zur Verfügung. Neben der Erfassung und Auswertung vieler sehr unterschiedlicher Daten, sind diese zukünftig sinnvoll zu verknüpfen und operativ anzuwenden. Dazu ist eine umfassende Vernetzung aller beteiligten Personen, Organisationen, Maschinen und Geräte über alle Organisationsgrenzen hinweg erforderlich. Eine sichere Kommunikation und die Übermittlung auch großer Datenmengen in Echtzeit müssen dabei gewährleistet sein. Es bietet sich an, dies über Digitale Zwillinge, eine einheitliche, sichere und vertrauenswürdige Datenbasis und den Einsatz der Blockchain aufzubauen. Ob Land- oder Forstwirtschaft, Gewinnung von Trinkwasser, Umweltschutz, oder Schutz vor Naturgefahren, wir sitzen alle im gleichen Boot - und bekommen eine wertvolle Chance, uns konstruktiv miteinander zu vernetzen.

Für abgelegene Gebiete erschließt die ITD-Fernerkundung (Individual Tree Detection) neue Möglichkeiten zur differenzierten Planung, Durchführung und Kontrolle waldbaulicher Maßnahmen, der Walderschließung, der Holzernte (incl. ihrer Ernteeinheiten) und der Holzabfuhr. Fernerkundung kann mittels Satelliten, Flugzeugen, Drohnen und/oder terrestrisch erfolgen. Die Datenerfassung erfolgt mit Kameras verschiedener Spektralbereiche, Radar, LiDAR und verschiedenen Sensoren, ihre Auswertung mit photogrammetrischen Verfahren und Algorithmen, incl. Künstlicher Intelligenz (KI). Die Ergebnisse werden je nach Zweck und Zielgruppe bildlich, graphisch, tabellarisch, in Texten oder mittels Virtual Reality dargestellt. Durch Kombination unterschiedlicher Trägersysteme und/oder Sensortechniken, kann man ihre Qualität gezielt steigern.

Um eine durchgängige Verfolgbarkeit und Rückverfolgbarkeit jedes einzelnen Stammes/Stammabschnitts zu gewährleisten, müssen diese eindeutig identifiziert und entlang der gesamten Holzbereitstellungskette mehrfach zweifelsfrei re-identifiziert werden können. Dazu stehen Technologien mit und ohne Markierung zur Verfügung, die einem automatisierten Anbringen/Auslesen zugänglich sind. Aktuell erscheint die Markierung des Holzes mit passiven RFID-Tags als geeignet, um die gewünschte vollständige Automatisierung mittelfristig umzusetzen. Robuste Hüllen und leistungsfähige Antennen haben ihre Bewährungsprobe in der rauen Praxis bestanden. In ihnen können Daten über einzelne Bäume/Stämme/Stammabschnitte auch längerfristig gespeichert, ggf. mehrfach um neue Daten ergänzt und unkompliziert ausgelesen werden. Dazu können sie, entsprechende Systeme vorausgesetzt, mehrfach wiederverwendet werden.

Die Blockchain als verteilter, verifizierbarer Mechanismus bietet sich an zur Organisation des Datenraums, zur Überprüfung der Holzbereitstellungskette und für Zertifizierungen im Forst, Holzhandel und der Holzwirtschaft. Systeme zur Erkennung menschlicher wie maschineller Aktivitäten, z.B. im sicherheitsrelevanten Umfeld einer (Forst-) Maschine, erhöhen die Arbeitssicherheit und verbessern die Ergonomie. Dazu ermöglichen sie auch die Verfolgung des Rohholzes/ einzelner Produkte über die gesamte Bereitstellungskette hinweg.

Viele Komponenten, die erforderlich sind, um die Informationen und Assets der Forstwirtschaft digital miteinander zu vernetzen, sind bereits vorhanden und erprobt, wenn auch in unterschiedlicher Qualität. Um das sich aus der digitalen Vernetzung ergebende Potential tatsächlich heben zu können, gilt es nun, noch bestehende Lücken zu schließen, die Vernetzung technisch zu ermöglichen und sie gemeinsam in die Praxis umzusetzen.

LITERATURVERZEICHNIS

Die Ordnung erfolgt nach Themen, innerhalb dieser nach dem Jahr der Veröffentlichung, bei gleichem Jahr alphabetisch. Arbeiten von besonderem Interesse wurden hervorgehoben als: ●● Sehr wichtig, ● Wichtig

- 1.● Wang, Y.; Hyypä, J.; Liang, X.; Kaartinen, H.; Yu, X.; Lindberg, E. et al. (2016)
International benchmarking of the individual tree detection methods for modeling 3-D canopy structure for silviculture and forest ecology using airborne laser scanning.
IEEE Trans Geosci Remote Sensing 2016; 54:5011–27.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2543225>
Diese Arbeit fasst die Genauigkeit verschiedener ITD-Methoden unter einer Vielzahl von Bedingungen zusammen.
This paper summarizes the accuracy of different ITD methods across a wide range of conditions.
2. Liang, X.; Hyypä, J.; Kaartinen, H.; Lehtomäki, M.; Pyörälä, J.; Pfeifer, N. et al. (2018)
International benchmarking of terrestrial laser scanning approaches for forest inventories.
ISPRS J Photogramm Remote Sensing 2018; 144:137–79.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.021>.
3. Keefe, R.F.; Zimbelman, E.G.; Picchi, G. (2022)
Use of Individual Tree and Product Level Data to Improve Operational Forestry
Current Forestry Reports (2022) 8:148–165. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-022-00160-3>.
- 4.● Picchi, G. (2020)
Marking standing trees with RFID tags.
Forests. 2020; 11:150. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11020150>.
Diese Arbeit enthält eine Untersuchung der Leistung von RFID-Tags, nachdem sie an Bäumen angebracht und über einen längeren Zeitraum der Witterung ausgesetzt waren.
This paper provides an evaluation of the performance of RFID tags after being attached to trees and exposed to weather over time.
5. Feng, Y.; Audy, J-F. (2020)
Forestry 4.0: A framework for the forest supply chain toward Industry 4.0.
Gest Prod. 2020; 27: e5677. DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X5677-20>.
- 6.● Picchio, R.; Proto, AR.; Civitarese, V.; di Marzio, N.; Latterini, F. (2019)
Recent contributions of some fields of the electronics in development of forest operations technologies.
Electronics. 2019; 8:1465. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics8121465>.
Diese Arbeit bietet einen schönen, zusammenfassenden Überblick über eine Vielzahl aktueller elektronischer Sensoren, die in Forstbetrieben eingesetzt werden.
This paper provides a nice, summary review of a variety of current electronic sensors that are being used in forest operations.
7. Gingras, J-F.; Charette, F. (2017)
FPIInnovations' Forestry 4.0 initiative.
Proceedings of the 2017 Council on Forest Engineering Annual Meeting [Internet].
Bangor, ME, USA; 2017 [cited 250214]. Available:
http://cofe.org/files/2017_Proceedings/FPIInnovations/Gingras/Charette/Forestry4.0/forCOFE/2017.pdf. https://cofe.org/2017-conference-proceedings/pdfs/COFE_2017
8. Brown, M.; Ghaffariyan, M.R.; Berry, M.; Acuna, M.; Strandgard, M.; Mitchell, R. (2020)
The progression of forest operations technology and innovation.
Aust For. 2020; 83:1–3. DOI: <https://doi.org/10.1080/00049158.2020.1723044>.
- 9.● Keefe, R.F.; Wempe, A.M.; Becker, R.M.; Zimbelman, E.G.; Nagler, E.S.; Gilbert, S.L. et al. (2019)
Positioning methods and the use of location and activity data in forests.
Forests. 2019; 10:458. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10050458>.
Diese Arbeit bietet eine allgemeine Zusammenfassung der Echtzeit-Ortung und der tragbaren und mobilen Technologien zur Unterstützung von Big-Data-Anwendungen für einzelne Bäume und Produkte in der intelligenten und präzisen Forstwirtschaft.
This paper provides a general summary of real-time positioning and wearable and mobile technologies to support individual tree and product big data applications in smart and precision forestry.

10. • Talbot, B.; Pierzchała, M.; Astrup, R. (2017)
Applications of remote and proximal sensing for improved precision in forest operations.
Croatian Journal of Forest Engineering. 2017; 38: 327–36. Available:
<https://crojfe.com/archive/volume-38-no.2/applications-of-remote-and-proximal-sensing-for-improved-precision-in-forest-operations/>.
Diese Arbeit gibt einen Überblick über die Technologien der Fern- und Naherkundung sowie über aktuelle Anwendungen zur Verbesserung der Präzision bei Forstarbeiten.
This paper provides a summary of remote and proximal sensing technologies and reviews current applications for improving precision in forest operations.
11. Torresan, C.; Benito-Garzón, M.; O’Grady, M.; Robson, T.M.; Picchi, G.; Panzacchi, P. et al. (2021)
A new generation of sensors and monitoring tools to support climate-smart forestry practices.
Can J For Res [Internet]. 2021 [cited 250214]; DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0295>.
12. Hyyppä, J.; Yu, X.; Hyyppä, H.; Vastaranta, M.; Holopainen, M.; Kukko, A. et al. (2012)
Advances in forest inventory using airborne laser scanning.
Remote Sensing 2012; 4: 1190–207. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs4051190>.
13. Luo, L.; Zhai, Q.; Su, Y.; Ma, Q.; Kelly, M.; Guo, Q. (2018)
Simple method for direct crown base height estimation of individual conifer trees using airborne LiDAR data.
Opt Express. 2018; 26: A562–78. DOI: <https://doi.org/10.1364/OE.26.00A562>.
14. Ferraz, A.; Saatchi, S.; Mallet, C.; Jacquemoud, S.; Gonçalves, G.; Silva, C.A. et al. (2016)
Airborne lidar estimation of aboveground forest biomass in the absence of field inventory.
Remote Sensing 2016; 8: 653. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs8080653>.
15. Kato, A.; Moskal, L.M.; Schiess, P.; Swanson, M.E.; Calhoun, D.; Stuetzle, W. (2009)
Capturing tree crown formation through implicit surface reconstruction using airborne lidar data.
Remote Sens Environ. 2009; 113: 1148–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.02.010>.
16. Contreras, M.A.; Chung, W. (2013)
Developing a computerized approach for optimizing individual tree removal to efficiently reduce crown fire potential.
For Ecol Manag. 2013; 289: 219–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.038>.
17. Du Toit, F.; Coops, N.C.; Goodbody, T.R.H.; Stoeck, M.; El-Kassaby, YA. (2021)
Deriving internal crown geometric features of Douglas-fir from airborne laser scanning in a realized-gain trial.
For Int Journal of Forestry Research 2021; 94: 442–54. DOI:
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpaa046>.
18. Trochta, J.; Krůček, M.; Vrška, T.; Král, K. (2017)
3D Forest: An application for descriptions of three-dimensional forest structures using terrestrial LiDAR.
PLoS One. 2017; 12: e0176871. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176871>.
19. • Calders, K.; Adams, J.; Armston, J.; Bartholomeus, H.; Bauwens, S.; Bentley, L.P. et al. (2020)
Terrestrial laser scanning in forest ecology: Expanding the horizon.
Remote Sens Environ. 2020; 251: 112102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112102>.
Diese Arbeit beschreibt aktuelle Fortschritte in der terrestrischen Erfassung von Beständen mit LiDAR und deren Auswertung und erörtert unterschiedliche Anwendungen dieser Daten in der Forstvermessung und -verwaltung.
This paper describes recent advances in TLS technology and data processing and discusses a variety of applications of TLS ITD data in forest measurement and management.
20. Lecigne, B.; Delagrè, S.; Taugourdeau, O. (2021)
Annual shoot segmentation and physiological age classification from TLS data in trees with acrotonic growth.
Forests. 2021; 12: 391. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12040391>.
21. Xi, Z.; Hopkinson, C.; Chasmer, L. (2018)
Filtering stems and branches from terrestrial laser scanning point clouds using deep 3-D fully convolutional networks.
Remote Sensing 2018; 10: 1215. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10081215>.

22. Halupka, K.; Garnavi, R.; Moore, S. (2029)
Deep semantic instance segmentation of tree-like structures using synthetic data.
Proceedings of the 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV).
Waikoloa, HI, USA: IEEE; 2019. p. 1713–22. DOI: <https://doi.org/10.1109/WACV.2019.00187>.
23. • Kellner, J.R.; Armston, J.; Birrer, M.; Cushman, K.C.; Duncanson, L.; Eck, C. et al. (2019)
New opportunities for forest remote sensing through ultra-high-density drone lidar.
Surv Geophys. 2019; 40: 959–77. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10712-019-09529-9>.
Diese Arbeit bietet eine eingehende Beschreibung der technischen Überlegungen zur Fernerkundung mit Drohnen, stellt eine Fallstudie zur Veranschaulichung des Potenzials von Drohnen-Lidar vor und fasst vielversprechende Möglichkeiten für die drohnengestützte Fernerkundung von Wäldern zusammen.
This paper provides a thorough description of the technical considerations for drone remote sensing, presents a case study illustrating the potential for drone lidar, and summarizes promising opportunities for drone-based forest remote sensing.
24. Fernández-Álvarez, M.; Armesto, J.; Picos, J. (2019)
LiDAR-based wildfire prevention in WUI:
The automatic detection, measurement and evaluation of forest fuels.
Forests. 2019; 10: 148. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10020148>.
25. Dash, J.P.; Watt, M.S.; Paul, T.S.H.; Morgenroth, J.; Pearce, G.D. (2019)
Early detection of invasive exotic trees using UAV and manned aircraft
multispectral and LiDAR data.
Remote Sensing. 2019; 11: 1812. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11151812>.
26. Puliti, S.; Breidenbach, J.; Astrup, R. (2020)
Estimation of forest growing stock volume with UAV laser scanning data:
Can it be done without field data?
Remote Sensing 2020; 12: 1245. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12081245>.
27. Hyypä, E.; Hyypä, J.; Hakala, T.; Kukko, A.; Wulder, M.A.; White, J.C. et al. (2020)
Under-canopy UAV laser scanning for accurate forest field measurements.
ISPRS J Photogramm Remote Sensing 2020; 164: 41–60.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.03.021>.
28. • Iglhaut, J.; Cabo, C.; Puliti, S.; Piermattei, L.; O'Connor, J.; Rosette, J. (2019)
Structure from Motion photogrammetry in forestry: A review.
Curr For Rep. 2019; 5: 155–68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725019-00094-3>.
In dieser Arbeit werden die technischen Prinzipien des SfM vorgestellt und die Anwendungen des SfM in der Forstwirtschaft sowohl aus der Luft als auch auf dem Boden untersucht.
This paper presents the technical principals of SfM and reviews both the aerial and terrestrial applications of SfM in forestry.
29. Hartley, R.J.L.; Leonardo, E.M.; Massam, P.; Watt, M.S.; Estarija, H.J.; Wright, L. et al. (2020)
An assessment of high-density UAV point clouds for the measurement of young forestry trials.
Remote Sensing 2020; 12: 4039. <https://doi.org/10.3390/rs12244039>.
30. Marzulli, M.I.; Raunonen, P.; Greco, R.; Persia, M.; Tartarino, P. (2020)
Estimating tree stem diameters and volume from smartphone photogrammetric point clouds.
For Int Journal of Forestry Research 2020; 93: 411–29. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz067>.
31. Tang, J.; Chen, Y.; Kukko, A.; Kaartinen, H.; Jaakkola, A.; Khoramshahi, E. et al. (2015)
SLAM-aided stem mapping for forest inventory with small-footprint mobile LiDAR.
Forests. 2015; 6:4588606. DOI: <https://doi.org/10.3390/f6124390>.
32. Nevalainen, P.; Li, Q.; Melkas, T.; Riekk, K.; Westerlund, T.; Heikkonen, J. (2020)
Navigation and mapping in forest environment using sparse point clouds.
Remote Sensing 2020; 12:4088. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244088>.
33. Aalmo, G.O.; Kerstens, P.J.; Belbo, H.; Bogetoft, P.; Talbot, B.; Strange, N. (2021)
Efficiency drivers in harvesting operations in mixed Boreal Stands: A Norwegian case study.
International Journal of Forest Engineering 32(supl): 74–86.
DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1778980>.

34. • Müller, F.; Jaeger, D.; Hanewinkel, M. (2019)
Digitization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain.
Comput Electron Agric. 2019; 162: 206–18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.002>.
Diese Arbeit bietet eine nützliche aktuelle Zusammenfassung der Konzepte der Forstwirtschaft 4.0 und ihrer Auswirkungen auf die betrieblichen Lieferketten der Forstwirtschaft.
This paper provides a useful recent summary of Forestry 4.0 concepts and their implications for operational forestry supply chains.
35. Taylor, R.; Davis, C.; Brandt, J.; Parker, M.; Stäuble, T.; Said, Z. (2020)
The rise of big data and supporting technologies in keeping watch on the world's forests.
Int For Rev. 2020; 22:129–41. DOI: <https://doi.org/10.1505/146554820829523880>.
36. Billingsley, J.; Visala, A.; Dunn, M. (2008)
Robotics in agriculture and forestry. In: Siciliano B, Khatib O, editors. *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer-Verlag; 2008. p. 1065–77.
DOI: [10.1007/978-3-540-30301-5_47](https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_47).
37. Miettinen, M.; Kulovesi, J.; Kalmari, J.; Visala, A. (2010)
New measurement concept for forest harvester head.
In: Howard A, Iagnemma K, Kelly A, editors. *Field and service robotics*. Berlin: Springer; 2010. p. 35–44. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-13408-1_4.
38. Rodrigues, C.K.; da Silva, L.E.; Pereira, A.L.N.; Sampietro, J.A. (2019)
Effect of individual tree volume on operational performance of harvester processor.
Floresta. 2019; 49:345–52. DOI: <https://doi.org/10.5380/rev.v49i2.58233>.
39. Oliveira, L.F.P.; Moreira, A.P.; Silva, M.F. (2021)
Advances in forest robotics: A state-of-the-art survey.
Robotics. 2021; 10:53. DOI: <https://doi.org/10.3390/robotics10020053>.
40. Dykstra, D.P.; Kuru, G.; Taylor, R.; Nussbaum, R.; Magrath, W.; Story, J. (2002)
Technologies for wood tracking: Verifying and monitoring the chain of custody and legal compliance in the timber industry [Internet].
Washington, DC, USA: World Bank/WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use; 2002 p. 88.
Available: <http://awsassets.panda.org/downloads/woodtrackingreportfinal.pdf>.
41. Paluš, H.; Parobek, J.; Vlosky, R.P.; Motik, D.; Oblak, L.; Jošt, M. et al. (2018)
The status of chain-of-custody certification in the countries of Central and South Europe.
Eur J Wood Prod. 2018; 76:699–710. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1261-0>.
42. Dormontt, E.; Lowe, A. (2019)
Developing DNA-based chain of custody systems for legally-sourced teak [Internet].
Canberra, Australia: Australian Centre for International Agricultural Research; 2019 p. 28. Report No.: FR2019-98.
Available: https://aci-ar.gov.au/sites/default/files/project-page-docs/final_report_fst-2016-025.pdf.
43. Lohmann, U. (1999).
Holzhandbuch (5th ed.). DRW-Verlag.
44. Wagenführ, R.; Wagenführ, A. (2022).
Holzatlas (7th ed.). Hanser Verlag.
45. Speidel, G. (1952). *Das Stückmassegesetz und seine Bedeutung für den internationalen Leistungsvergleich bei der Forstarbeit*.
46. Morat, J.; Forbrig, A.; Graupner, J. (1998).
Holzernteverfahren – Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland.
KWF e.V.: KWF-Bericht 25.
47. Klugmann, K. (2006).
Laufzeiten und Kosten der Motorsäge in der Holzernte. Ergebnisse einer deutschlandweiten Praxisuntersuchung. (39/2006). KWF e.V..
48. Purfürst, T.; Erler, J. (2007).
Der Einfluss des Harvesterfahrers auf die Produktivität.
Forsttechnische Informationen, 5/2007, 51–52, KWF e.V..

49. Weise, G., & Rosenbach, D. (2011). Kraftstoffverbrauch von Forstmaschinen senken. *Forsttechnische Informationen* 1+2/2011, 7–10, KWF e.V..
50. Rosenbach, D. (2012). Forstmaschinen effizient betreiben. *Forsttechnische Informationen*, 11+12/2012, 5–6, KWF e.V..
51. Hiesl, P. (2013) Productivity standards for whole-tree and cut-to-length harvesting systems in Maine [Phd, University of Maine]. Available: <https://digitalcommons.library.umaine.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3289&context=etd>.
52. HELLA KGaA Hueck & Co. (2014). Kraftstoffverbrauch von Forstmaschinen – Kosten und Umweltrelevanz. *Forsttechnische Informationen* 05+06/2024, 11, KWF e.V..
53. Hoffmann, S. (2014). Energieeffizienz forstlicher Arbeiten. *Forsttechnische Informationen*, 03+04/204(3+4/2014), 13–19, KWF e.V..
54. Savvidis, D. (2014). Presentation of vehicle energy consumption calculation Tool (VECTO). *DC Clima*, Transport and Ozone, Unit, 2.
55. Ghaffariyan, M. R.; Apolit, R.; Kuehmaier, M. (2015). Analysis and control of fuel consumption rates of harvesting systems: A review of international studies. *Industry Bulletin*, 15, 1–4.
56. Wagner, T. (2017). Neue Wege der Ressourcenschonung beim Forstmaschineneinsatz zum Wohle der Umwelt und der Ökonomie. 02/2017, 10.
57. Prinz, R.; Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Routa, J.; Asikainen, A. (2018). Modifying the settings of CTL timber harvesting machines to reduce fuel consumption and CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 197, 208–217. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.210>.
58. Jeswani, H. K.; Chilvers, A.; Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability of biofuels: A review. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 476(2243), 20200351. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351>.
59. Ottaviani Aalmo, G.; Kerstens, P.J.; Belbo, H.; Bogetoft, P.; Talbot, B.; Strange, N. (2021). Efficiency drivers in harvesting operations in mixed Boreal stands: A Norwegian case study. *International Journal of Forest Engineering*, 32(sup1), 74–86. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1778980>.
60. Rogovskii, I.; Voinash, S.; Sokolova, V.; Krivonogova, A. (2021). Research on fuel consumption for different values of capacity factor of engine of combine harvester. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 666(3), 032093.
61. Haavikko, H.; Kärhä, K.; Poikela, A.; Korvenranta, M.; Palander, T. (2022). Fuel Consumption, Greenhouse Gas Emissions, and Energy Efficiency of Wood-Harvesting Operations: A Case Study of Stora Enso in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 43(1), 79–97. DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1101>
62. Weise, G. (2022). Kraftstoffverbrauch und Leistung von Forstmaschinen im Licht der KWF-Gebrauchswertprüfungen. *Forsttechnische Informationen* 05/2022, 12–17, KWF e.V..
63. Kärhä, K.; Eliasson, L.; Kühmaier, M.; Spinelli, R. (2024). Fuel Consumption and CO2 Emissions in Fully Mechanized Cut-to-Length (CTL) Harvesting Operations of Industrial Roundwood: A Review. *Current Forestry Reports*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00219-3>.
64. Quino, J.; Maja, J.M.; Robbins, J.; Fernandez, R.T.; Owen, J.S.; Chappell, M. (2021) RFID and drones: The next generation of plant inventory. *AgriEngineering*. 2021; 3:168–81. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriengineering3020011>.

65. • Picchi, G.; Sandak, J.; Grigolato, S.; Panzacchi, P.; Tognetti, R. (2021)
Smart harvest operations and timber processing for improved forest management.
In: Tognetti R, Smith M, Panzacchi P, editors. *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions*.
Springer; 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-80767-2_9.
Einsatz von RFID-Tags plus Sensoren am Prozessor bei Holzernte im Bergwald
66. Le, V.; Lemmer, U.; Mackensen, E. (2020)
Analysis of miniaturized printed flexible RFID/NFC antennas using different carrier substrates.
IEEE J Radio Freq Identif. 2020; 4:428–37. DOI: <https://doi.org/10.1109/JRFID.2020.3001336>.
67. Kaakkurivaara, T.; Kaakkurivaara, N. (2019)
Comparison of radio frequency identification tag housings in a tropical forestry work environment.
Aust For. 2019; 82:181–8. DOI: <https://doi.org/10.1080/00049158.2019.1678797>.
68. Kaakkurivaara, N. (2019)
Possibilities of using barcode and RFID technology in Thai timber industry.
Maejo Int J Sci Technol. 2019; 13:29–41. Available: mijst.mju.ac.th/Vol13/29-41.pdf.
69. Zhai, C.; Landers, A.; Zhang, B. (2018)
An RFID-based solution for monitoring sprayer movement in an orchard/vineyard.
Precis Agric. 2018; 19:477–96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9531-8>.
70. • Pichler, G.; Poveda Lopez, J.A.; Picchi, G.; Nolan, E.; Kastner, M.; Stampfer, K. et al. (2017)
Comparison of remote sensing based RFID and standard tree marking for timber harvesting.
Comput Electron Agric. 2017; 140:214–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.030>.
Dieser Artikel stellt beispielhaft die Verbindung einer 3D-Kartierung des Bestandes mit der Markierung einzelner Bäume mit RFID-Tags zur Produktrückverfolgung vor.
This paper provides a joint example of 3D stand mapping coupled with RFID marking of individual trees for product tracing.
71. Marczewski, T.; Ma, Y.; Sun, W. (2016)
Evaluation of RFID tags to permanently mark trees in natural populations.
Front Plant Sci. 2016; 7:1342. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01342>.
72. • Picchi, G.; Kühmaier, M.; Marqués, J.de D.D. (2015)
Survival test of RFID UHF tags in timber harvesting operations.
Croatian Journal of Forest Engineering 2015; 36:165–174. Available:
https://www.researchgate.net/publication/283765535_Survival_test_of_RFID_UHF_tags_in_timber_harvesting_operations
73. Tzoulis, I.K.; Andreopoulou, Z.S.; Voulgaridis, E. (2014)
Wood tracking information systems to confront illegal logging.
J Agric Informatics. 2014; 5:9–17. DOI: <https://doi.org/10.17700/jai.2014.5.1.130>.
74. Häkli, J.; Sirkka, A.; Jaakkola, K.; Puntanen, V.; Nummila, K. (2013)
Challenges and possibilities of RFID in the forest industry.
In: Reaz MBI, editor. *Radio Frequency Identification from System to Applications* [Internet].
Rijeka, Croatia: InTechOpen; 2013 [cited 250421]. p. 301–24. <https://doi.org/10.5772/54205>.
75. Virtanen, J.; Virkki, J.; Ukkonen, L.; Sydänheimo, L. (2012)
Inkjet-printed UHF RFID tags on renewable materials.
Adv Internet Things. 2012; 2:23699. DOI: <https://doi.org/10.4236/ait.2012.24010>.
76. • Björk, A.; Erlandsson, M.; Häkli, J.; Jaakkola, K.; Nilsson, Å.; Nummila, K. et al. (2011)
Monitoring environmental performance of the forestry supply chain using RFID.
Comput Ind. 2011; 62:83041. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2011.08.001>.
Diese frühe Arbeit bietet einen guten konzeptionellen Überblick über das Potential der Nutzung von RFID in derHolzbereitstellungskette.
This early paper provides a good conceptual overview of the potential of RFID in the supply chain.
77. Ruiz-Garcia, L.; Lunadei, L. (2011)
The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges.
Comput Electron Agric. 2011; 79:42–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.08.010>.
78. Kaul, C. (2010)
Auto-ID in the timber supply chain - identifying single logs using RFID tags.
Proceedings of FORMEC 2010 - Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment [Internet]. Padova, Italy; 2010 [cited 250421].
Available: <https://www.formec.org/images/proceedings/2010/Ab038.pdf>.

79. Barge, P.; Gay, P.; Piccarolo, P.; Tortia, C. (2010)
RFID tracking of potted plants from nursery to distribution.
Proceedings of the International Conference Ragusa SHWA2010 [Internet].
Ragusa Ibla, Italy; 2010 [cited 250214]. p. 541–8.
Available: [http://www.ragusashwa.it/CD_2010/lavori/TOPIC5/orale/RFIDtrackingplants\[1\].pdf](http://www.ragusashwa.it/CD_2010/lavori/TOPIC5/orale/RFIDtrackingplants[1].pdf).
80. Mohamed, N.; Garoot, A.H.; Hazza, Z.M. (2009)
A case study on impacts of RFID adoption in tree inventory management.
Proceedings of the 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology. Beijing: IEEE; 2009. p. 624–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5234874>.
81. FVA Baden-Württemberg und Fraunhofer IZM: Projekt "RFID in der Holzlogistik"
Available: [RFID in der Holzlogistik - Fraunhofer IZM](#).
82. Holzmann, M. (2009)
Die Auswirkungen des Einsatzes der RFID-Technologie zur Rundholzkennzeichnung auf die Prozessabläufe der Logistikkette Wald-Werk Fallstudie am Beispiel zweier RundholzBereitstellungsvarianten eines mittelständischen Sägewerks.
Dissertation an der Universität Freiburg.
Available: <https://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/dissts/Freiburg/Holzmann2009.pdf>.
83. Sauter, U.H.; Holzmann, M. (2008)
BMBF-Verbundprojekt Starkholz, Aktivierung von Wertschöpfungspotentialen zur nachhaltigen Nutzung und Verwendung von Nadel- und Laubstarkholz
Available: <https://edocs.tib.eu/files/e01fb09/607464089.pdf>.
84. Föller, J. (2006) Tags verfolgen Baumstämme
Logistik heute, Nr .4/2006.
85. Holzmann, M.; Verhoff, S.; Sauter, u.H. (2006)
Ein innovatives Verfahren zur Rundholzkennzeichnung, *Der Freiburger Transponderzyklus AFZ - Der Wald*, Nr. 13/2006, S. 716-721.
86. Stage, A.R. (1973)
Prognosis model for stand development.
Intermountain Forest & Range Experiment Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
87. Wykoff, W.R. (1990)
A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains.
Forest Science 1990; 36:1077104. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestscience/36.4.1077>.
88. Hamidi, S.K.; Weiskittel, A.; Bayat, M.; Fallah, A. (2021)
Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran.
Eur Journal of Forestry Research 2021; 140:421–34. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01340-1>.
89. Guerra-Hernández, J.; González-Ferreiro, E.; Monleón, V.J.; Faias, S.P.; Tomé, M.; Díaz-Varela, R.A. (2017) Use of multi-temporal UAV-derived imagery for estimating individual tree growth in *Pinus pinea* stands.
Forests. 2017; 8:300. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8080300>.
90. Kuehne, C.; Weiskittel, A.R.; Waskiewicz, J. (2019)
Comparing performance of contrasting distance-independent and distance-dependent competition metrics in predicting individual tree diameter increment and survival within structurally-heterogeneous, mixed-species forests of Northeastern United States.
For Ecol Manag. 2019; 433:205-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.002>.
- 91.●● Valentine, H.T.; Mäkelä, A. (2005)
Bridging process-based and empirical approaches to modeling tree growth.
Tree Physiol. 2005; 25:76979. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/25.7.769>.
Diese Arbeit beschreibt eine Methodik zur Einbeziehung individueller Baumkronendaten in biologisch aussagekräftige Prognosen des Stammwachstums auf Grundlage individueller Baumkronenmerkmale.
This paper describes a methodology for incorporating individual tree crown data into biologically meaningful prediction of stem growth based on individual tree crown characteristics.

92. Creasy, M.B.; Tinkham, W.T.; Hoffman, C.M.; Vogeler, J.C. (2021)
Potential for individual tree monitoring in ponderosa pine dominated forests using unmanned aerial system structure from motion point clouds.
Canadian Journal of Forest Research 2021; 51:1093–105.
DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0433>.
93. Packalen, P.; Pukkala, T.; Pascual, A. (2020)
Combining spatial and economic criteria in tree-level harvest planning.
Forest Ecosystems 2020; 7:18. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00234-3>.
94. Wing, B.M.; Boston, K.; Ritchie, M.W. (2019)
A technique for implementing group selection treatments with multiple objectives using an airborne lidar-derived stem map in a heuristic environment.
Forest Science 2019; 65:211–22. DOI: <https://doi.org/10.1093/forsci/fxy050>.
95. • West, T.; Sessions, J.; Strimbu, B.M. (2021)
Heuristic optimization of thinning individual Douglas-fir.
Forests. 2021;12: 280. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12030280>.
Diese Arbeit liefert eine hilfreiche Analyse des wirtschaftlichen Nutzens der Einbeziehung individueller Baumdaten in praktische Durchforstungen auf Grundlage von heuristischen Ansätzen.
This paper provides a useful analysis of the economic benefit of incorporating individual tree information into operational thinning treatments based on heuristics.
96. • Fransson, P.; Franklin, O.; Lindroos, O.; Nilsson, U.; Brännström, Å. (2020)
A simulation-based approach to a near-optimal thinning strategy:
Allowing harvesting times to be determined for individual trees.
Canadian Journal of Forest Research 2020; 50:320–31. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0053>.
Diese Arbeit liefert ein hilfreiches Beispiel für die Einbeziehung individueller Baumdaten in die praktische Durchführung der Holzernte.
This paper provides a useful example of incorporating individual tree information into operational harvest implementation.
97. Cansler, C.A.; Hood, S.M.; Varner, J.M.; van Mantgem, P.J.; Agne, M.C.; Andrus, R.A. et al. (2020)
The Fire and Tree Mortality Database, for empirical modeling of individual tree mortality after fire.
Sci Data. 2020; 7:194. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0522-7>.
98. Nordström, M.; Hemmingsson, J. (2018)
Measure up! - A Skogforsk guide to harvester measurement [Internet].
Palmér CH, editor. Uppsala, Sweden: Skogforsk; 2018 [cited 250214].
Available: <https://www.skogforsk.se:443/english/products-and-events/other/measure-up%2D-a-skogforsk-guide-to-harvester-measurement/>.
99. Löwe, R.; Sedmíková, M.; Natov, P.; Jankovský, M.; Hejzmanová, P.; Dvořák, J. (2019)
Differences in timber volume estimates using various algorithms available in the control and information systems of harvesters.
Forests. 2019; 10:388. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10050388>.
100. Barth, A.; Möller, J.J.; Wilhelmsson, L.; Arlinger, J.; Hedberg, R.; Söderman, U. (2015)
A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning.
Ann Forest Science 2015; 72:47–56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.
101. Saukkola, A.; Melkas, T.; Riekk, K.; Sirparanta, S.; Peuhkurinen, J.; Holopainen, M. et al. (2019)
Predicting forest inventory attributes using airborne laser scanning, aerial imagery, and harvester data.
Remote Sensing 2019; 11:797. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070797>.
102. Shan, C.; Bi, H.; Watt, D.; Li, Y.; Strandgard, M.; Ghaffariyan, M.R. (2021)
A new model for predicting the total tree height for stems cut-to-length by harvesters in Pinus radiata plantations.
Journal of Forestry Research 2021; 32:21–41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-01078-6>.
103. Carter, P.; Wang, X.; Ross, R.J. (2013)
Field application of processor head acoustic technology in forest harvest operations.
Proceedings of the 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium [Internet]. Madison, WI, USA: US Forest Service - Forest Products Laboratory; 2013 [cited 250506].
Available: https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2013/fpl_2013_carter001.pdf.

104. Walsh, D.; Strandgard, M.; Carter, P. (2014)
Evaluation of the Hitman PH330 acoustic assessment system for harvesters.
Scand Journal of Forestry Research 2014; 29:593–602.
DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.953198>.
105. Sandak, J.; Sandak, A.; Marrazza, S.; Picchi, G. (2019)
•• Development of a sensorized timber processor head prototype
– part 1: Sensors description and hardware integration.
Croatian Journal of Forest Engineering. 2019; 40:25–37. Available:
<https://crojfe.com/site/assets/files/4262/sandak.pdf>.
Diese Arbeit enthält ein Praxisbeispiel für die Verwendung mehrerer Sensoren am Prozessor-aggregat, um individuelle Daten zu erfassen und die Stammabschnitte zu verfolgen.
This paper provides a real-world example of using multiple sensors on the processor head to support individual product measurements and tracing.
106. Spinelli, R.; Magagnotti, N.; Labelle, E. R. (2020).
The effect of new silvicultural trends on mental workload of harvester operators.
Croatian Journal of Forest Engineering, 41(2), 177–190.
DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2020.747>.
107. Möller, B.; Wikander, J.; Hellgren, M. (2011)
A field-tested log traceability system.
Forest Products Journal. 2011; 61:466–72. DOI: <https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.6.466>.
108. OTMETKA [Internet].
OTMETKA. [cited 250502]. Available: <https://otmetka.com/>.
109. Kaulen, A.; Stopfer, L.; Lippert, K.; Purfürst, T. (2023)
•• Systematics of Forestry Technology for Tracing the Timber Supply Chain.
Forests, 14(9), 1718. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14091718>.
Diese Arbeit stellt eine konsistente Systematik der Technologien für das Tracking & Tracing auf.
This paper establishes a consistent system for tracking and tracing technologies.
110. Watson, R. T. (2001).
Climate change 2001: Synthesis report (Vol. 398). Cambridge University Press, Cambridge.
111. Eriksson, E.; Gillespie, A. R.; Gustavsson, L.; Langvall, O.; Olsson, M.; Sathre, R.; Stendahl, J. (2007a).
Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution.
Canadian Journal of Forest Research, 37(3), 671–681.
112. Eriksson, E.; Gillespie, A. R.; Gustavsson, L.; Langvall, O.; Olsson, M.; Sathre, R.; Stendahl, J. (2007b).
Integrated carbon analysis of forest management practices and wood substitution.
Canadian Journal of Forest Research, 37(3), 671–681. DOI: <https://doi.org/10.1139/X06-257>.
113. Buonocore, E.; Häyhä, T.; Paletto, A.; Franzese, P. P. (2014).
Assessing environmental costs and impacts of forestry activities: A multi-method approach to environmental accounting.
Ecological Modelling, 271, 10–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.008>.
114. Busenius, M.; Engler, B.; Smaltschinski, T.; Opferkuch, M. (2015).
Consequences of increasing payloads on carbon emissions—an example from the Bavaria State Forest Enterprise (BaySF).
Forestry Letters, 108(8).
115. Günther, D.; Juhlich, K.; Kludt, R.; Kuntze, D.; Rimkus, D. (2015).
Entwicklung der CO₂-Emissionen.
In M. Fishedick; K. Görner; M. Thomeczek (Eds.) CO₂: Abtrennung, Speicherung, Nutzung (SS. 111–149). Springer Berlin Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-19528-0_6.
116. Knauf, M.; Köhl, M.; Mues, V.; Olschofsky, K.; Frühwald, A. (2015).
Modeling the CO₂-effects of forest management and wood usage on a regional basis.
Carbon Balance and Management, 10(1), 13. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-015-0024-7>.
117. Berndes, G.; Abt, B.; Asikainen, A.; Cowie, A.; Dale, V.; Egnell, G.; Lindner, M.; Marelli, L.; Paré, D.; Pingoud, K.; et al. (2016).
Forest biomass, carbon neutrality and climate change mitigation. *From Science to Policy*, 3(7).

118. Braun, M.; Fritz, D.; Weiss, P.; Braschel, N.; Büchsenmeister, R.; Freudenschuß, A.; Gschwantner, T.; Jandl, R.; Ledermann, T.; Neumann, M.; et al. (2016).
A holistic assessment of greenhouse gas dynamics from forests to the effects of wood products use in Austria.
Carbon Management, 7(5–6), 271–283.
119. Klein, D.; Wolf, C.; Schulz, C.; Weber-Blaschke, G. (2016).
Environmental impacts of various biomass supply chains for the provision of raw wood in Bavaria, Germany, with focus on climate change.
Science of the Total Environment, 539, 45–60.
120. Kubová, P.; Hájek, M.; Třebický, V. (2018).
Carbon footprint measurement and management: Case study of the school forest enterprise.
BioResources, 13(2), 4521–4535.
121. Yoshimoto, A.; Asante, P.; Itaka, S. (2018).
Incorporating carbon and bioenergy concerns into forest management.
Current Forestry Reports, 4, 150–160.
122. Forster, E.; Healey, J.; Dymond, C.; Newman, G.; Davies, G.; Styles, D. (2019).
Linking construction timber carbon storage with land use and forestry management practices.
IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 323(1), 012142.
123. Gundersen, P.; Thybring, E. E.; Nord-Larsen, T.; Vesterdal, L.; Nadelhoffer, K. J.; Johannsen, V. K. (2021). Old-growth forest carbon sinks overestimated.
Nature, 591(7851), E21–E23. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03266-z>.
124. Hoymann, J.; Baum, S.; Elsasser, P.; Dechow, R.; Gutsch, M.; Fick, J. (2021).
Ist-Situation der Landnutzung in Deutschland.
In H. Gömann & J. Fick (Eds.), Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel (SS. 21–70). Springer Fachmedien Wiesbaden. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-18671-5_2.
125. Kühmaier, M.; Kral, I.; Kanzian, C. (2022).
Greenhouse gas emissions of the forest supply chain in Austria in the year 2018.
Sustainability, 14(2).
126. Schulte, M.; Jonsson, R.; Hammar, T.; Stendahl, J.; Hansson, P.-A. (2022).
Nordic forest management towards climate change mitigation: Time dynamic temperature change impacts of wood product systems including substitution effects.
European Journal of Forest Research, 141(5), 845–863.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01477-1>.
127. Brand, C.; Briechle, M.; Schulz, C. (2023).
Regionalität verbessert Kohlendioxid-Bilanz. Ergebnisse einer Untersuchung zum Einfluss des Transports auf die CO₂-Bilanz verschiedener Holzprodukte.
Holz-Zentralblatt, 28, 473–474.
128. IPCC. (2024). Climate change 2023: Synthesis report.
Intergovernmental Panel on Climate Change.
129. Kaulen, A.; Engler, B.; Purfürst, T. (2024)
- Net carbon storage of supplied timber in highly mechanized timber harvest
Silva Fennica. 2024 Vol. 58, No. 4, Article ID 24011. 30 p. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.24011>.
Diese Arbeit berechnet die CO₂-Bilanz einer Holzbereitstellungskette mit hochmechanisierter Holzernte, indem die Daten der Forstmaschinen ausgelesen und, einschließlich Holzabfuhr, aufsummiert werden.
This paper calculates the carbon footprint of a timber supply chain involving highly mechanised timber harvesting by reading and totalling data from forestry machines, including timber logistics.
130. Kaulen, A.; Mayer, D.; Franz, M.-F.; Purfürst, T. (2025)
Practical Application of Carbon Footprint of Timber Supply Chain Using Forest Machine Data
Croatian Journal of Forest Engineering. 2025; 46/2: 289–307.
DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2025.3233>.
131. Lippke, B.; Gustafson, R.; Venditti, R.; Steele, P.; Volk, T.A.; Oneil, E.; Johnson, L.; Puettmann, M.E.; Skog, K. (2012).
Comparing life-cycle carbon and energy impacts for biofuel, wood product, and forest management alternatives.
Forest Products Journal, 62(4), 247–257.

132. Timmermann, V.; Dibdiakova, J. (2014).
Greenhouse gas emissions from forestry in East Norway.
The International Journal of Life Cycle Assessment, 19, 1593–1606.
133. Diederichs, S.K. (2015).
Monitoring energy efficiency and environmental impact of the woodworking industry in Germany.
European Journal of Wood and Wood Products, 73(5), 573–588.
134. Knauf, M., Joosten, R., & Frühwald, A. (2016).
Assessing fossil fuel substitution through wood use based on long-term simulations.
Carbon Management, 7(1–2), 67–77.
135. de la Fuente, T.; Athanassiadis, D.; Gonzalez-Garcia, S.; Nordfjell, T. (2017).
Cradle-to-gate life cycle assessment of forest supply chains: Comparison of Canadian and Swedish case studies.
Journal of Cleaner Production, 143, 866–881.
136. Sgarbossa, A.; Boschiero, M.; Pierobon, F.; Cavalli, R.; Zanetti, M. (2020).
Comparative life cycle assessment of bioenergy production from different wood pellet supply chains.
Forests, 11(11), 1127.
137. Castillo, V.B.; Schweizer, R. (2022).
Life cycle assessment.
138. Kock, H.; Schmid-Schirling, T., Last, C.; Staudenmaier, J. (2023)
Forschungsprojekt DiGeBaSt: Markierungsfreie Rückverfolgung für den Herkunftsnachweis von Baumstämmen. Presseinformation Fraunhofer IPM, 05.12.2023. Available:
<https://www.ipm.fraunhofer.de/de/presse/publikationen/Presseinformationen/markierungsfreie-rueckverfolgung-baumstaemme-forschungsprojekt-digebast.html>.
FVA Baden-Württemberg: <https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/waldnutzung/digebast>.
139. Schraml, R.; Hofbauer, H.; Petutschnigg, A.; Uhl, A. (2015)
•• Tree log identification based on digital cross-section images of log ends using fingerprint and iris recognition methods.
In: Azzopardi G, Petkov N, editors. Proceedings of the International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, CAIP 2015.
Valletta: Springer International Publishing; 2015. p. 752–65.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23192-1_63.
D i e grundlegende Arbeit über den digitalen Fingerabdruck der Schnittflächen des Rohholzes.
T h e fundamental paper on the digital fingerprint taken of the cut surfaces of raw timber.
140. Yadav, A.; Shivani, S.; Manda, V.K.; Sangwan, V.; Demkiv, A. (2024)
Blockchain technology for ecological and environmental applications.
Ecological Questions 35(2024)4. DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2024.050>.
141. Stopfer, L.; Kaulen, A.; Purfürst, T. (2024).
• Potential of blockchain technology in wood supply chains.
Comput. Electron. Agric., 216, 108496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108496>.
Diese Arbeit gibt einen Überblick über die Blockchain-Technologie, betrachtet die Erfordernisse für die Forst- und Holzindustrie, erörtert notwendige Aspekte der Digitalisierung und verweist auf bestehende Anwendungen.
This paper provides an overview of blockchain technology, considers requirements for forestry and timber industries, discusses necessary digitization aspects and refers to existing applications.
142. Qu, H.; Wang, Y.; Liu, K. (2023)
Forest resource management system based on blockchain.
Cerne, v.29, e-103259, DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760202329013259>
143. He, Z.; Turner, P. (2022)
Blockchain Applications in Forestry: A Systematic Literature Review.
Appl. Sci. 2022, 12, 3723. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12083723>.
144. Komdeur, E.F.M.; Ingenbleek, P.T.M. (2021)
The potential of blockchain technology in the procurement of sustainable timber products.
International Wood Products Journal, 2021;12(4):249-257. DOI: [10.1080/20426445.2021.1967624](https://doi.org/10.1080/20426445.2021.1967624).

145. Howson, P.; Oakes, S.; Baynham-Herd, Z.; Swords, J. (2019)
Cryptocarbon: The promises and pitfalls of forest protection on a blockchain.
Geoforum. 2019; 100:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.02.011>.
146. Ozyilmaz, K.R.; Yurdakul, A. (2019)
Designing a blockchain-based IoT with Ethereum, Swarm, and LoRa:
The software solution to create high availability with minimal security risks.
IEEE Consumer Electron Mag. 2019; 8:28–34. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCE.2018.2880806>.
147. Figorilli, S.; Antonucci, F.; Costa, C.; Pallottino, F.; Raso, L.; Castiglione, M.; Pinci, E.; del Vecchio, D.;
Colle, G.; Proto, A.R.; Sperandio, G.; Menesatti, P. (2018).
A Blockchain Implementation Prototype for the Electronic Open Source Traceability of Wood
along the Whole Supply Chain.
Sensors, 18(9), 3133. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18093133>.
148. Nikolakis, W.; John, L.; Krishnan, H. (2018)
How blockchain can shape sustainable global value chains:
An Evidence, Verifiability, and Enforceability (EVE) framework.
Sustainability. 2018; 10:3926. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10113926>.
149. Bor, M.; Vidler, J.E.; Roedig, U. (2016)
LoRa for the Internet of Things.
Proceedings of the International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN)
2016 [Internet]. Graz, Austria: Junction Publishing; 2016 [cited 250421]. p. 361–6.
Available: <https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/77615/>.
150. Gallo, R.; Grigolato, S.; Cavalli, R.; Mazzetto, F. (2013)
GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains.
J Agric Eng. 2013; 44: e27. DOI: <https://doi.org/10.4081/jae.2013.269>.
151. Becker, R.M.; Keefe, R.F.; Anderson, N.M. (2017)
Use of real-time GNSSRF data to characterize the swing movements of forestry equipment.
Forests. 2017; 8:44. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8020044>.
152. Overbeck, M.; Sauter, H.U. (2023)
Präzise Forstwirtschaft (SuperNav)
Fraunhofer IIS. Available: <https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/lv/lok/proj/supernav.html>.
FVA Baden-Württemberg: <https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/waldnutzung/supernav>.
153. Gallo, R.; Visser, R.; Mazzetto, F. (2021)
Developing an automated monitoring system for cable yarding systems.
Croatian Journal of Forest Engineering. 2021; 42:213–25.
DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.768>.
154. • Noordermeer, L.; Sørngård, E.; Astrup, R.; Næset, E.; Gobakken, T. (2021)
Coupling a differential global navigation satellite system to a cut-to-length harvester operating
system enables precise positioning of harvested trees.
Int J For Eng. 2021; 32:119–27. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1899686>.
**Diese Arbeit beschreibt Verfahren zur hochgenauen GNSS-Positionierung des Harvesteraggregats
unter Verwendung von differentieller Korrektur.**
**This paper describes methods for high-accuracy GNSS positioning of the harvester head
using differential correction.**
155. Zimbelman, E.G.; Keefe, R.F. (2018)
Real-time positioning in logging: Effects of forest stand characteristics, topography, and line-of-sight
obstructions on GNSS-RF transponder accuracy and radio signal propagation.
PLoS One. 2018; 13: e0191017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191017>.
156. Wempe, A.M.; Keefe, R.F. (2017)
Characterizing rigging crew proximity to hazards on cable logging operations using GNSS-RF:
Effect of GNSS positioning error on worker safety status.
Forests. 2017; 8:357. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8100357>.
157. Zimbelman, E.G.; Keefe, R.F.; Strand, E.K.; Kolden, C.A.; Wempe, A.M. (2017)
Hazards in motion: Development of mobile geofences for use in logging safety.
Sensors. 2017; 17:822. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17040822>.

158. Kemmerer, J.; Labelle, E.R. (2021)
 - Using harvester data from on-board computers: A review of key findings, opportunities and challenges.
Eur Journal of Forestry Research 2021; 140:1–17.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01313-4>.
Diese Arbeit fasst die Nutzung von StanForD-Dateien aus Bordcomputern für verschiedene Anwendungen im Zusammenhang mit einzelnen Bäumen und Produkten zusammen.
This paper summarizes uses of StanForD files from onboard computers for various individual tree and product applications.
159. Skogforsk. (2021).
StanForD 2010 – modern communication with forest machines.
Available: <https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/stanford-2010/>.
160. Zimbelman, E.G.; Keefe, R.F. (2021)
Development and validation of smartwatch-based activity recognition models for rigging crew workers on cable logging operations.
PLoS One. 2021; 16: e0250624. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250624>.
161. Keefe, R.F.; Zimbelman, E.G., Wempe; A.M. (2019)
Use of smartphone sensors to quantify the productive cycle elements of hand fallers on industrial cable logging operations.
Int J For Eng. 2019; 30:13243. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2019.1572489>.
Diese Arbeit beschreibt die Verwendung von Smartphone-Sensoren zur Entwicklung von Modellen und Apps, mit denen motormanuelle Tätigkeiten in Echtzeit erfasst und ausgewertet werden können.
This paper describes methods for using smartphone sensors to develop models and apps to summarize motor-manual work activities in real time.
162. Becker, R.M.; Keefe, R.F.; Anderson, N.M. (2017)
Use of real-time GNSSRF data to characterize the swing movements of forestry equipment.
Forests. 2017; 8:44. DOI: <https://doi.org/10.3390/f8020044>.
163. Cheța, M.; Marcu, M.V.; Iordache, E.; Borz, S.A. (2020)
Testing the capability of low-cost tools and artificial intelligence techniques to automatically detect operations done by a small-sized manually driven bandsaw.
Forests. 2020; 11:739. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11070739>.
Diese Arbeit beschreibt Verfahren zur Verwendung künstlicher neuronaler Netze (KNN) auf Grundlage kostengünstiger Sensordaten, um Arbeitsvorgänge so zu charakterisieren, dass dies hilfreich ist zur Rückverfolgung einzelner Produkte.
This paper describes methods for using Artificial Neural Networks (ANNs) based on low-cost sensor data to characterize work activities in ways that are useful for individual product tracing.
164. Borz, S.A. (2021)
Development of a modality-invariant Multi-Layer Perceptron to predict operational events in motor-manual willow felling operations.
Forests. 2021; 12:406. DOI: <https://doi.org/10.3390/f12040406>.
165. Borz, S.A.; Păun, M. (2020)
Integrating offline object tracking, signal processing, and artificial intelligence to classify relevant events in sawmilling operations.
Forests. 2020; 11:1333. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11121333>.
167. Arias, O.; Wurm, J.; Hoang, K.; Jin, Y. (2025)
Privacy and security in Internet of Things and wearable devices.
IEEE Trans Multi-Scale Comput Syst. 2015; 1:99–109.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMSCS.2015.2498605>.
168. Paul, G.; Irvine, J. (2014)
Privacy implications of wearable health devices.
Proceedings of the 7th International Conference on Security of Information and Networks.
Glasgow: Association for Computing Machinery; 2014. p. 117–21.
DOI: <https://doi.org/10.1145/2659651.2659683>.

169. Picchio, R.; Latterini, F.; Mederski, P.S.; Venanzi, R.; Karaszewski, Z.; Bembenek, M. et al. (2019) Comparing accuracy of three methods based on the GIS environment for determining winching areas. *Electronics*. 2019; 8:53. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics8010053>.
170. Picchio, R.; Latterini, F.; Mederski, P.S.; Tocci, D.; Venanzi, R.; Stefanoni, W. et al. (2020) Applications of GIS-based software to improve the sustainability of a forwarding operation in central Italy. *Sustainability*. 2020; 12:5716. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12145716>.
171. Winkel, G.; Sotirov, M. (2016). Whose integration is this? European forest policy between the gospel of coordination, institutional competition, and a new spirit of integration. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 34(3), 496–514. DOI: <https://doi.org/10.1068/c1356j>.
172. Primmer, E.; Varumo, L.; Krause, T.; Orsi, F.; Geneletti, D.; Brogaard, S.; Aukes, E.; Ciolli, M.; Grossmann, C.; Hernández-Morcillo, M.; Kister, J.; Kluvánková, T.; Loft, L.; Maier, C.; Meyer, C.; Schleyer, C.; Spacek, M.; Mann, C. (2021). Mapping Europe's institutional landscape for forest ecosystem service provision, innovations and governance. *Ecosystem Services*, 47, 101225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101225>.
173. Hermoso, V.; Carvalho, S.B.; Giakoumi, S.; Goldsborough, D.; Katsanevakis, S.; Leontiou, S.; Markantonatou, V.; Rumes, B.; Vogiatzakis, I.N.; Yates, K. L. (2022). The EU Biodiversity Strategy for 2030: Opportunities and challenges on the path towards biodiversity recovery. *Environmental Science & Policy*, 127, 263–271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.028>.
174. Schenuit, F.; Böttcher, M.; Geden, O. (2022). CO2-Entnahme als integraler Baustein des europäischen 'Green Deal'. *SWP-Aktuell*. DOI: <https://doi.org/10.18449/2022A37>.
175. Schier, F.; Lost, S.; Seintsch, B.; Weimar, H.; Dieter, M. (2022). Assessment of Possible Production Leakage from Implementing the EU Biodiversity Strategy on Forest Product Markets. *Forests*, 13(8), 1225. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13081225>.
176. Köthke, M.; Lippe, M.; Elsasser, P. (2023). Comparing the former EUTR and upcoming EUDR: Some implications for private sector and authorities. *Forest Policy and Economics*, 157, 103079. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103079>.
177. Robinson, D.G.; Ammer, C.; Polle, A.; Bauhus, J.; Aloni, R.; Annighöfer, P.; Baskin, T.I.; Blatt, M.R.; Bolte, A.; Bugmann, H.; Cohen, J.D.; Davies, P.J.; Draguhn, A.; Hartmann, H.; Hasenauer, H.; Hepler, P.K.; Kohnle, U.; Lang, F.; Löf, M.; Näsholm, T., et al. (2023). Mother trees, altruistic fungi, and the perils of plant personification. *Trends in Plant Science*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.08.010>.