



# Stand der Technik von Assistenzsystemen beim Einsatz von Forstmaschinen

Florian Hartsch, M.Sc.  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter | Doktorand  
Landesbetrieb Wald und Holz NRW  
Zentrum für Wald und Holzwirtschaft  
Team Forstliches Bildungszentrum



# Ohne Forstmaschinen keine Bewältigung von Großkalamitäten



# Bedeutung hochmech. Holzerntesysteme

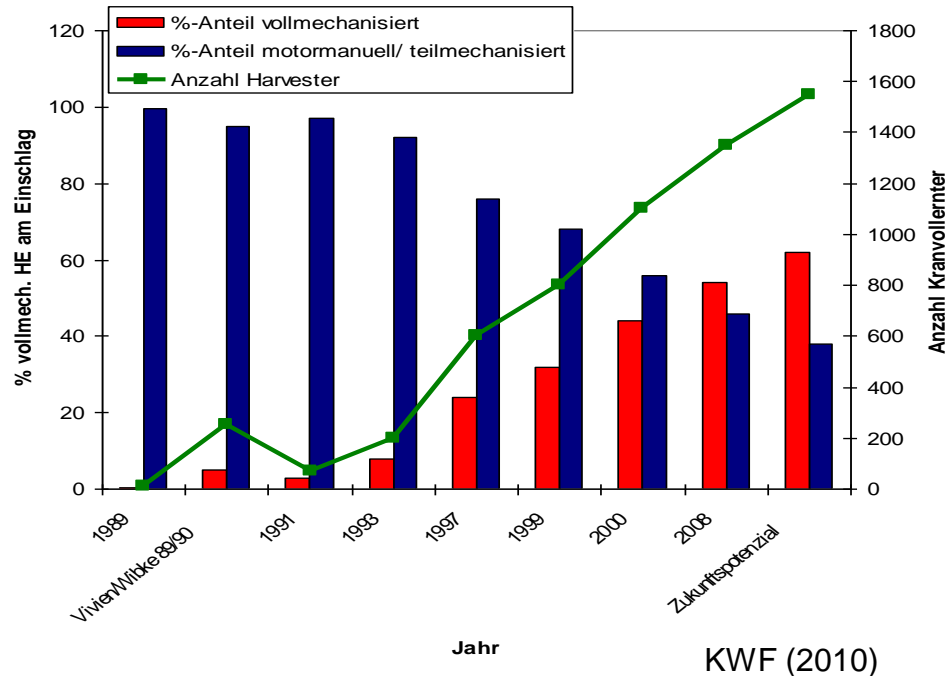


Foto: Hartsch

- In Europa werden jedes Jahr mehr als 400 Mio. m<sup>3</sup> Nutzholz geerntet
- Großkalamitäten in Deutschland seit 2018
- 2021: > 80 Mio. m<sup>3</sup> Holzernte in Deutschland, davon 60 % Schadholz (Statistisches Bundesamt, 2022)
- Moderne Forstmaschinentechnik gestaltet den Holzernteprozess effizienter und sicherer (aktueller Mechanisierungsgrad in D. rund 60 - 70 %)
- Höchste Produktivität, eine hohe Arbeitssicherheit und intelligente Lösungen bei der Einbindung digitaler Assistenz sind gefragt!

## Hochkomplexer Arbeitsplatz Forstmaschine



2 Bäume pro Stunde  
12 Entscheidungen pro Baum

John Deere (2022)

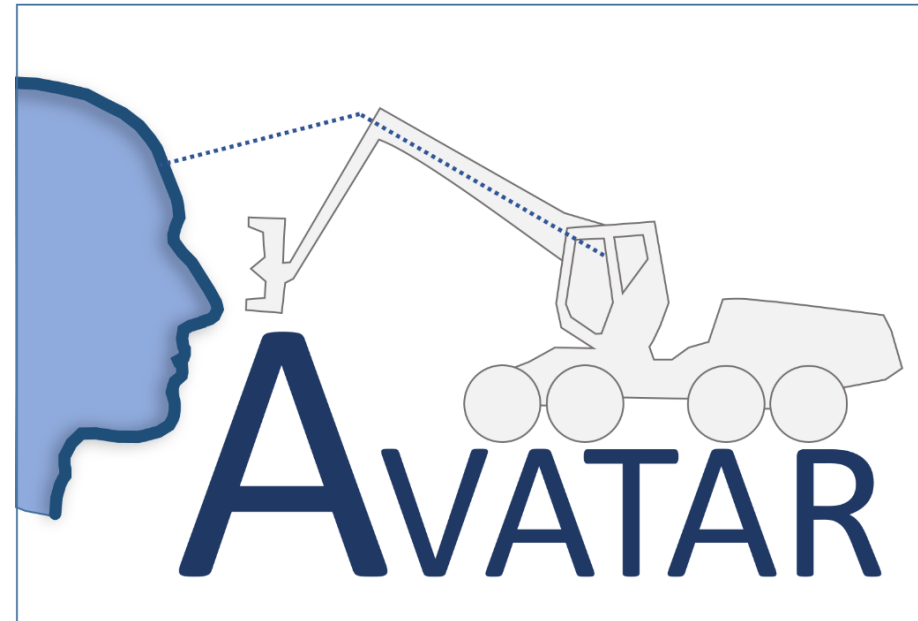


Ausbildung langwierig  
und intensiv

Wald und Holz NRW (2022)

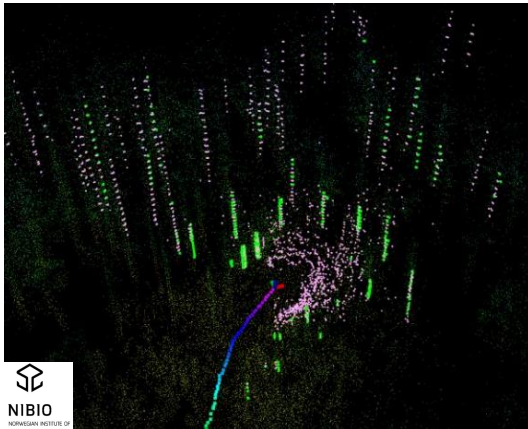
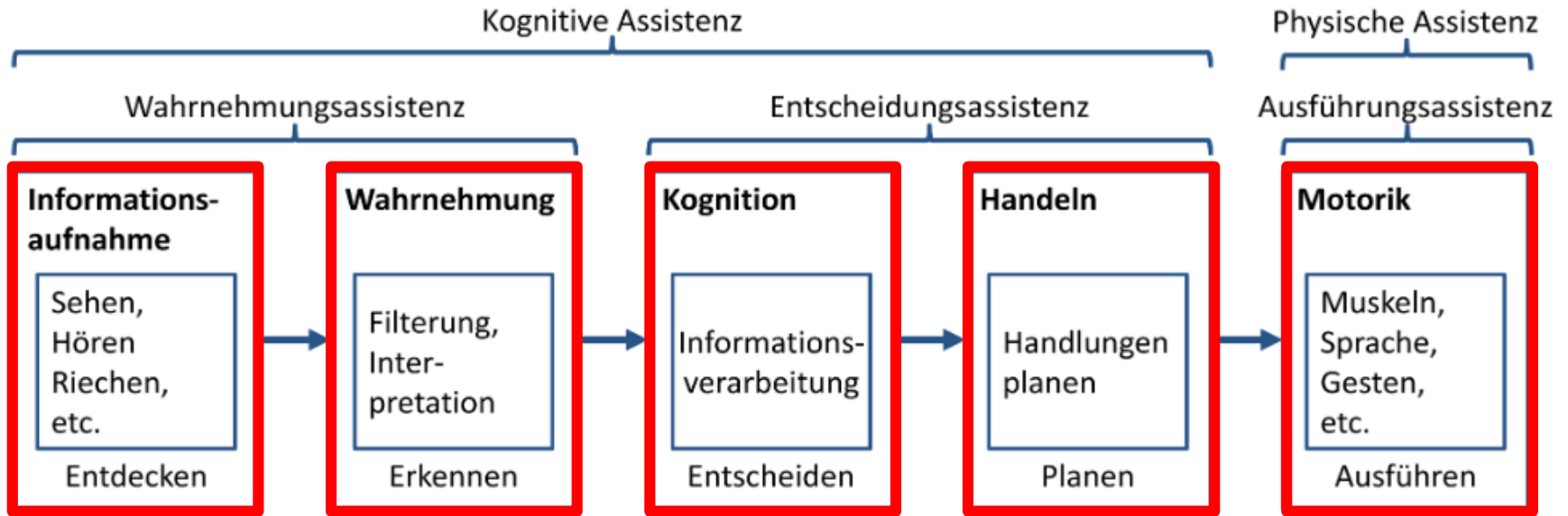
- Volle Leistungsfähigkeit erst nach drei Jahren erreicht (Purfürst, 2010)
- 3.500 Joystickbewegungen pro Stunde (Gellerstedt, 2002)
- **Hohe kognitive Beanspruchung !**

## Projekt AVATAR



- Einbindung von digitalen Assistenzsystemen in den operativen Maschinenbetrieb und Test bereits am Markt verfügbarer technischer Lösungen
- **Projektziel: Verbesserungen der Produktivität und Arbeitszufriedenheit von Forstmaschinenführern bei reduzierter mentaler Beanspruchung**

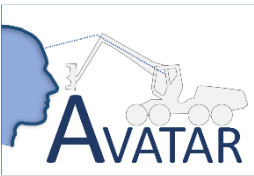
# Die Frage nach der Assistenz...



# Automatisierungsgrade

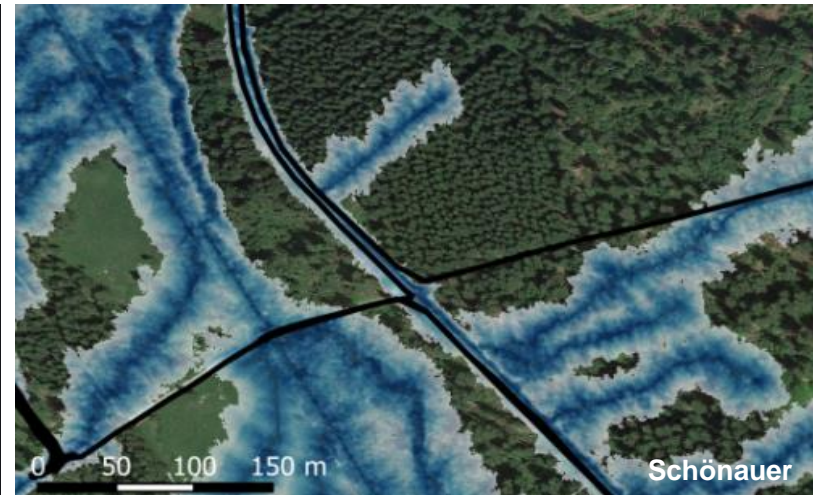
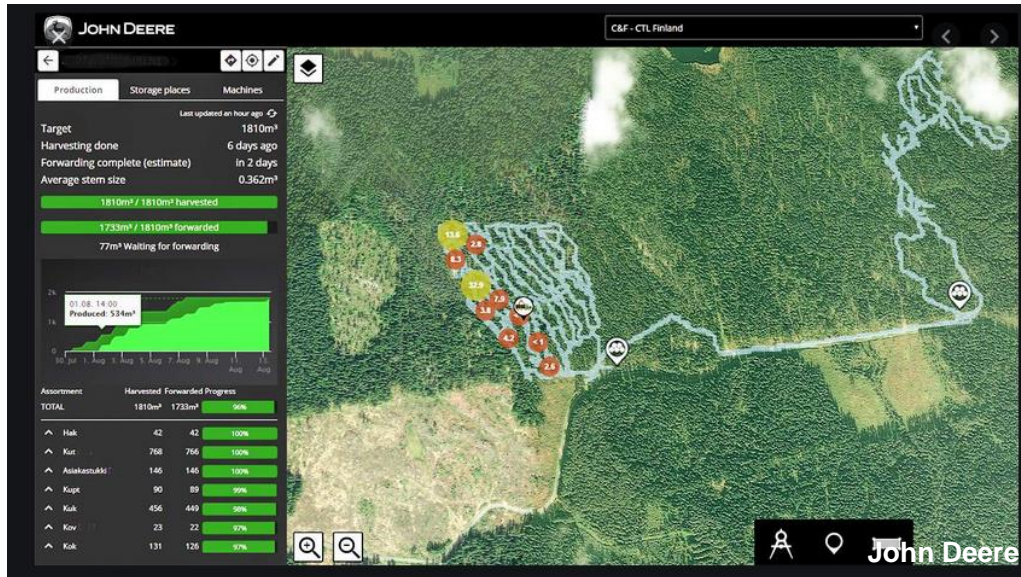
Automatisierungsgrade nach Lindroos (2017), verändert durch C. Pohle (2022)

Grad	Beschreibung	Bedeutung des Fahrers
0	Fahrer ohne Assistenz	Fahrer erledigt <b>alle Aufgaben</b>
1	Fahrer mit Assistenz	Steuerungsfunktionen teils <b>vereinfacht</b>
2	Teilautomatisierung	Steuerungsfunktionen <b>teils automatisiert</b>
3	Vorbehaltliche Automatisierung	Eingeschränkte Automatisierung unter <b>Aufsicht</b>
4	Hochautomatisierung	Vollautomatisierung <b>ohne</b> Maschinellen Lernen
5	Fahrerlos	Vollautomatisierung <b>mit</b> Maschinellen Lernen





# Assistenzsysteme beim Forstmaschineneinsatz





## Kranspitzensteuerungen und Drehbare Kabinen

- Durch den Einsatz von **Kranspitzensteuerungen** steuert der Fahrer direkt die Kranspitze an, statt die Kranelemente einzeln zu bedienen. Der Fahrer bringt das Harvesteraggregat oder den Greifer zum gewünschten Ort. Sensoren erfassen die Positionen der Kranelemente, mit Hilfe von Algorithmen passt das System Kranbewegungen und Ausschub automatisch an.



John Deere (2022)

- Automatisch **dreh- und nivellierbare Kabinen** folgen dem Greifer bzw. dem Aggregat und passen sich Geländebedingungen an.



## Test beider Assistenzsysteme beim Einsatz von Forwardern

- Was beeinflusst die Produktivität hochmechanisierter Holzerntesysteme?
- -> Maschinenführer, Bestandes- und Sortimentscharakteristika, Gelände, Technische Parameter, Organisation
  
- Besonderer Fokus auf den Forwarder und das Ladeelement
- Warum ist das Ladeelement so wichtig?
  
- 4 Ablaufabschnitte beim Forwarder: Laden, Entladen, Fahren leer, Fahren beladen (Manner et al. 2013, Holzleitner et al. 2018)
- 45 % der Gesamtzykluszeit beim Forwarder sind dem Laden zuzuordnen (Ghaffarian et al. 2007)
- Assistenzsysteme können dem Fahrer beim Laden und Entladen helfen (Einfluss auf die Ladezyklusdauer soll herausgearbeitet werden)

# Einfluss von Assistenzsystemen auf die Ladezyklusdauer

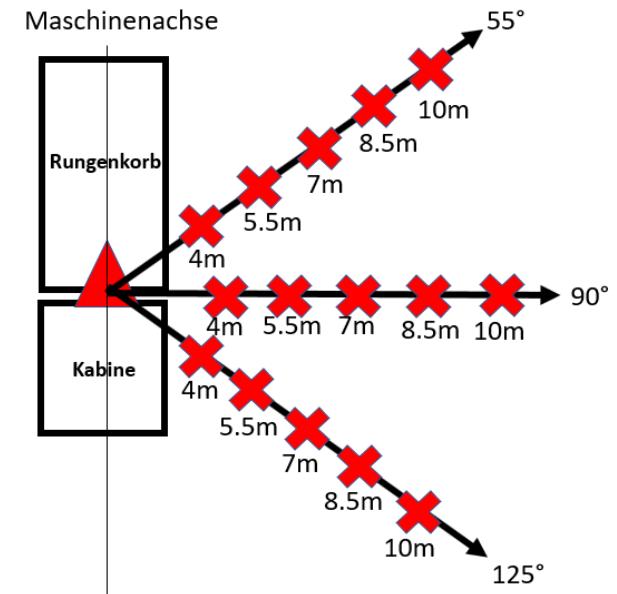
- **Ziel der Feldstudie**
- Um zu einem vertieften Verständnis des Ladeelements beizutragen und um weitere Faktoren zu identifizieren, die sich auf die Effizienz hochmechanisierter Holzerntesysteme auswirken („Beitrag zur Definition von Best Practice Operations“) wurde die folgende Ladestudie durchgeführt
- Das übergeordnete Ziel der Studie war es, den Einfluss von Kranspitzensteuerung und drehbarer Kabine auf die Ladezyklusdauer beim Forwarder herauszuarbeiten



Foto: Hartsch

# Einfluss von Assistenzsystemen auf die Ladezyklusdauer

- **Material und Methoden I**
- Studie am Forstlichen Bildungszentrum
- Abbildung standardisierter und wiederholbarer Ladesequenzen (Schaffen von „Laborbedingungen“ in der Forstlichen Verfahrenstechnik immer schwer!)
- John Deere 1210 G inkl. drehbarer Kabine und IBC
- Simulation von fünf Ladeentfernungen
- Simulation von drei Ladewinkeln
- Messung der Ladezyklusdauer mit Stoppuhr, Markierung der Ladepositionen
- 10 Wiederholungen pro Setting: 5 Entf. X 3 Winkel X 4 Varianten X 10 Wdh. = 600 Ladezyklen gesamt
- Vier Varianten:
  - 1. IBC aus, RC aus
  - 2. IBC aus, RC an
  - 3. IBC an, RC aus
  - 4. IBC an, RC an



# Einfluss von Assistenzsystemen auf die Ladezyklusdauer

## ■ Material und Methoden II





# Einfluss von Assistenzsystemen auf die Ladezyklusdauer

- **Ergebnisse**
- Reduktionsvermögen ist beim Einsatz von (nur) drehbarer Kabine eingeschränkt
- Insbesondere der Einsatz von IBC reduziert die Ladezyklusdauer signifikant (bis zu 10 %)
- Unter Einsatz von IBC **und** drehbarer Kabine entstehen scheinbar Synergieeffekte: Signifikante Reduktion der Ladezyklusdauer um bis zu 14 %
- Reduktionsvermögen der Assistenzsysteme ist unterschiedlich stark je nach Entfernung oder Ladewinkel



# Einfluss von Assistenzsystemen auf die Ladezyklusdauer

- **Diskussion**
- Reduktionsvermögen in der Praxis geringer, dennoch von hoher Bedeutung
- Abweichungen im Zeitbedarf pro Ladezyklus durch Fahrerpräferenzen, vordefinierte Greifpunkte und Kranpositionen
- Tests mit weiteren Fahrern zeigten ähnliche Muster, jedoch unterschiedlichen absoluten Zeitbedarf pro Ladezyklus
- Drehbare Kabine allein verbessert nur Fahrerergonomie beim Laden (Befragungen)
- Kranspitzensteuerungen haben erhebliches Potenzial, die Ladezyklusdauer zu senken und damit die Produktivität zu erhöhen
- IBC fördert ebenfalls die Fahrerergonomie

## Integration neuer digitaler Assistenzsysteme

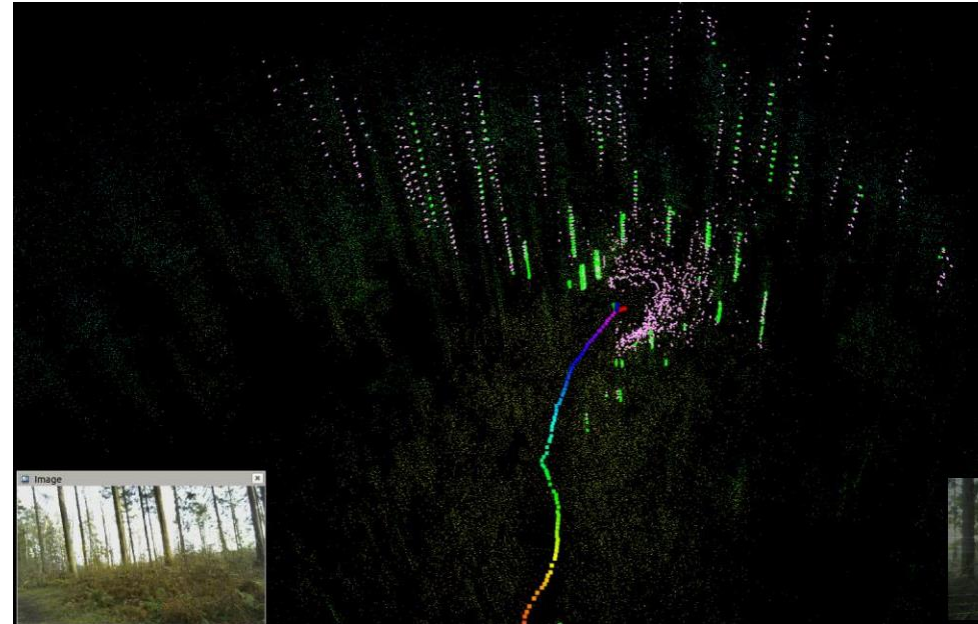
- Sensorplattform zur Detektion der Maschinenumgebung (NIBIO) auf Harvester JD 1270 G (WH-NRW)



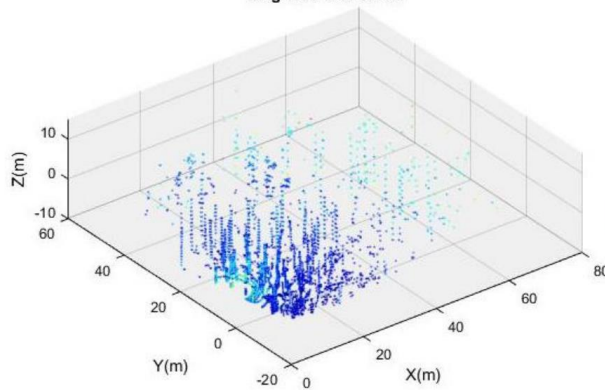
Bilder: Hartsch



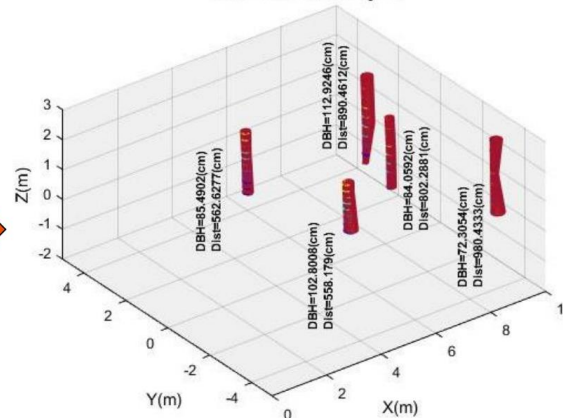
# Digitale Fahrassistenz braucht eine passgenaue Umgebungsdetektion



Original Point Cloud



Tree Model and Analysis



# Augmented Reality: Nutzung von Head-Up-Displays

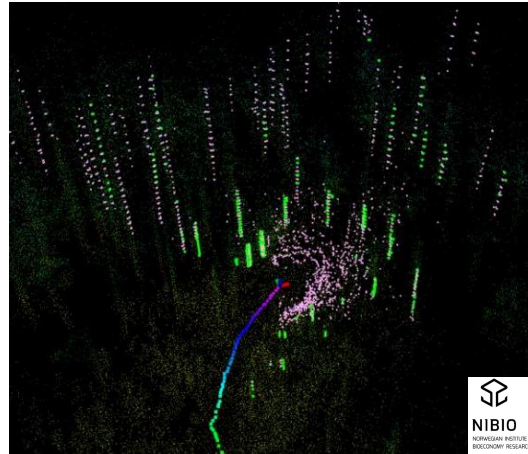


Bilder: Hartsch



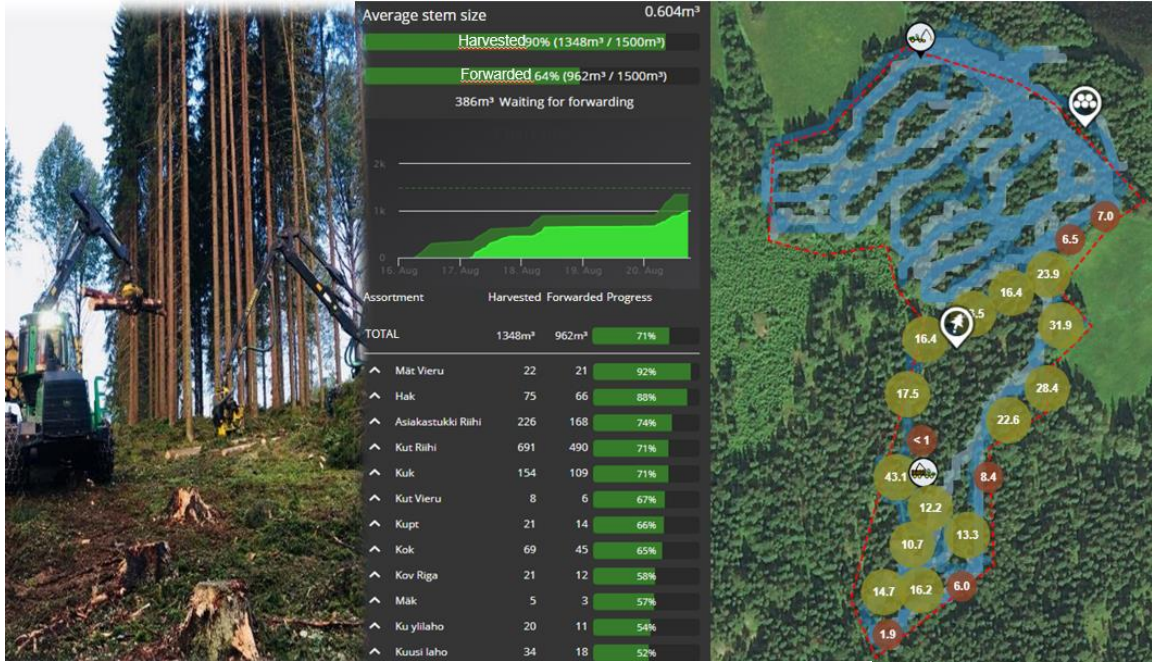
## Augmented Reality im Projekt AVATAR

- Informationen auf dem Head-Up-Display:  
Maschinenposition,  
Aggregat, umgebende  
Vegetation,  
Arbeitsradien





# Ausblick



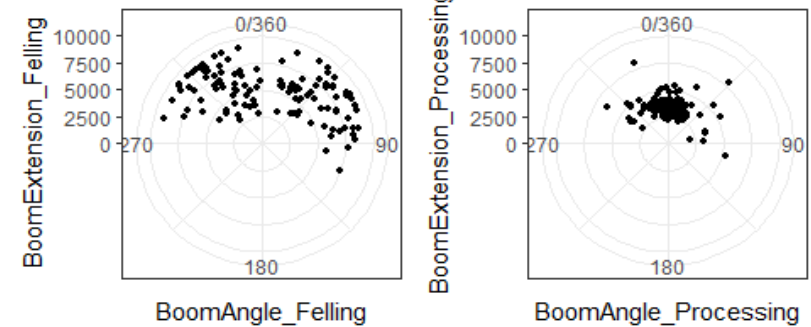
John Deere (2022)

<StemKey>2076600</StemKey>

```

<ObjectKey>15</ObjectKey>
<SubObjectKey>97</SubObjectKey>
<SpeciesGroupKey>85</SpeciesGroupKey>
<OperatorKey>1</OperatorKey>
<StemNumber>73</StemNumber>
<ProcessingCategory>SingleTreeProcessing</ProcessingCategory>
<StemCoordinates receiverPosition="Base machine position" coordinateReferenceSystem="WGS84">
  <Latitude latitudeCategory="North">51.35532</Latitude>
  <Longitude longitudeCategory="East">8.10241</Longitude>
  <Altitude>427</Altitude>
</StemCoordinates>
<Extension>
  <CabinBoomDistance xmlns="http://www.deere.fi/xml/forestry">0</CabinBoomDistance>
</Extension>
<BoomPositioning boomPositioningCategory="Felling"> 1
  <BoomAngle>345</BoomAngle>
  <BoomExtension>5594</BoomExtension>
  <MachineBearing>0</MachineBearing>
</BoomPositioning>
<BoomPositioning boomPositioningCategory="Last log cut"> 2
  <BoomAngle>355</BoomAngle>
  <BoomExtension>3293</BoomExtension>
  <MachineBearing>0</MachineBearing>
</BoomPositioning>
<SingleTreeProcessedStem>
  <DBH>360</DBH>
  <ReferenceDiameter referenceDiameterHeight="105">360</ReferenceDiameter>
  <StemGrade>
    <GradeValue gradeStartPosition="0">2</GradeValue>
  </StemGrade>
</Log>
  
```

John Deere (2022)



Hartsch, 2023 (unveröffentlicht)



1. John Deere (2022): Timbermatic Karten. Available online: <https://www.deere.de/de/forstmaschinen/timbermatic-karten/>. Zugriff am 13.07.2022
2. John Deere (2022). IBC. Available online: <https://www.deere.de/de/forstmaschinen/ibc/>. Zugriff am 13.07.2022.
3. **Hartsch, F.**; Schönauer, M.; Breinig, L.; Jaeger, D. Influence of Loading Distance, Loading Angle and Log Orientation on Time Consumption of Forwarder Loading Cycles: A Pilot Case Study. *Forests* **2022**, 13, 384. <https://doi.org/10.3390/f13030384>
4. **Hartsch, F.**; Schönauer, M.; Pohle, C.; Breinig, L.; **Wagner, T.** and Jaeger, D. (2023, accepted, unpublished): Effects of Boom-tip Control and a Rotating Cabin on Loading Efficiency of a Forwarder: A Pilot Case study. *Croatian Journal of Forest Engineering*.
5. **Hartsch, F.**; Dreger, F.; Englund, M.; Hoffart, E.; Rinkenauer, G.; **Wagner, T.**; Jaeger, D. (2022, unpublished): Positive and Negative Work Practices of Forest Machine Operators: Interviews and Literature Analysis. *Forests*.
6. **Hartsch, F.**; **Wagner, T.**; Jaeger, D. (2022): Schneller mit IBC. *Forst und Technik* 04/2022, pp. 28-31.
7. Gellerstedt, S. (2002): Operation of the Single-Grip Harvester. Motor-Sensory and Cognitive Work. *International Journal of Forest Engineering* 13 (2).
8. **Hartsch, F.**; Kemmerer, J.; Labelle, E.R.; Jaeger, D.; **Wagner, T.** Integration of Harvester Production Data in German Wood Supply Chains: Legal, Social and Economic Requirements. *Forests* **2021**, 12, 460. <https://doi.org/10.3390/f120404609>.
10. Purfürst, T. (2010): Learning Curves of Harvester Operators. *Croatian Journal of Forest Engineering* 31 (2), pp. 89–97. Available online at <http://www.crojfe.com/r/i/02-purfuerst.pdf>.
11. **Hartsch, F.**; Kemmerer, J.; **Wagner, T.**; Jaeger, D. (2022): Wem gehören die Forstmaschinendaten? *Forst und Technik* 03/2022, 36-39.
12. **Hartsch, F.**; Kemmerer, J.; **Wagner, T.**; Jaeger, D. (2022): Wem gehören eigentlich Forstmaschinendaten? *Waldblatt NRW, Frühjahrsausgabe 2022*, 10-11.
13. <https://www.kotschenreuther.eu/forstspezialschlepper/> Abgerufen am 26.11.22
14. <https://blog.doubleslash.de/wp/wp-content/uploads/2019/05/Automatisierungsstufen.png> Abgerufen am 27.11.22
15. <https://bioenergyinternational.com/autonomous-forest-machine-ready-for-in-the-woods-testing/> Abgerufen am 27.11.22
16. Mittelstand 4.0 – Kompetenzzentrum Darmstadt (2019): Leitfaden Arbeit 4.0. Erfassung und Verarbeitung sensibler Mitarbeiterdaten für Assistenzsysteme in der Produktion. Abgerufen am 18.03.23 unter [https://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/leitfaden-arbeit-40.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.mittelstand-digital.de/MD/Redaktion/DE/Publikationen/leitfaden-arbeit-40.pdf?__blob=publicationFile&v=3)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Landesbetrieb Wald und Holz  
Nordrhein-Westfalen



**NIBIO**

NORWEGIAN INSTITUTE OF  
BIOECONOMY RESEARCH



Das Projekt AVATAR wurde unter dem Schirm von ERA-NET Cofund ForestValue über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR, Germany), Forskingsradet (Research Council of Norway), The Swedish Innovation Agency (VINNOVA), The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Planning (FORMAS) und The Swedish Energy Agency (SWEA) gefördert. ForestValue erhielt Fördermittel innerhalb des Forschungs- und Innovationsprogramms „Horizon 2020“ der Europäischen Union im Rahmen der Fördervereinbarung Nummer 773324.