

# Automatisierte Forstinventur mittels baumbasiertem SLAM

Zezhou Wang<sup>1,\*</sup>, Benjamin Kazenwadel<sup>1,\*</sup>, Lukas Michiels<sup>1,\*</sup>, Marcus Geimer<sup>1,\*</sup>

13. Februar 2025

<sup>1</sup> INSTITUTE OF MOBILE MACHINES (MOBIMA), KARLSRUHE INSTITUTE OF TECHNOLOGY (KIT)

## Zusammenfassung

Die Forstinventur ist die Grundlage zur Erstellung einer Forsteinrichtung und damit ein entscheidendes Werkzeug in der Planung forstlicher Betriebsabläufe. Traditionell wird die Forstinventur manuell mittels Begehungen und stichprobenhafter Bestimmung und Vermessung einzelner Bäume durchgeführt. Mittels LIDAR-basierter Abstandssensoren lassen sich heutzutage hochauflösende Umgebungskarten erstellen. Werden diese mit einer präzisen Lokalisierung des Sensorträgers verbunden, lässt sich damit eine exakte Karte des Waldbestands anfertigen. Der vorgestellte Algorithmus ermöglicht eine Vermessung des Waldbestands in einem Umkreis von bis zu 30 m um den Sensorträger mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich. Hiermit kann ausgehend von den Rückegassen der gesamte Bestand inventarisiert werden.

## 1 Einleitung

Die Forsteinrichtung ist ein zentraler Bestandteil der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und dient der langfristigen Planung und Steuerung der Waldnutzung. Sie umfasst die systematische Erfassung, Bewertung und Planung aller relevanten Daten und Maßnahmen, um den Wald als ökologisches, wirtschaftliches und soziales System zu erhalten und zu fördern. In Zeiten des Klimawandels gewinnt insbesondere die Waldinventur eine entscheidende Bedeutung, da sie Informationen über den aktuellen Zustand des Waldes, einschließlich Baumartenvielfalt, Altersstruktur, Vitalität und Holzvorrat liefert. Diese Daten sind unerlässlich, um den Wald an veränderte Umweltbedingungen anzupassen, klimaresiliente Strategien zu entwickeln und den vielfältigen Funktionen des Waldes – von der Kohlenstoffspeicherung bis zum Schutz der Biodiversität – gerecht zu werden. Die konventionellen Verfahren zur Waldinventur haben den Nachteil, dass sie mit einem hohen Arbeitsaufwand verbunden sind. Dadurch ist eine regelmäßige Inventur teuer und kann immer nur eine Stichprobe des kompletten Bestands abdecken. Im Folgenden stellen wir ein Verfahren vor, das es mittels moderner Sensortechnologien ermöglicht, die Inventur während einer anderweitig notwendigen Befahrung, z.B. im Zuge einer Durchforstung, durchzuführen und somit eine aktuelle und detaillierte Bestandskarte zu erhalten.

## 2 Methode

Die Lokalisierung von Forstmaschinen gestaltet sich im üblicherweise in Mitteleuropa ausgeprägten Mischwald als schwierig, da klassische Methoden an ihre Grenzen kommen. Beispielsweise sinkt die Signalqualität von GNSS-Signalen durch den Baumbestand und hierdurch auch die Präzision einer Lokalisierung. Für die korrekte Positionierung der vermessenen Bäume sind sowohl die Genauigkeit längs der Rückegasse als auch senkrecht dazu entscheidend. Im Besonderen senkrecht zur Rückegasse findet eine hohe GNSS-Abschattung durch den umliegenden Bestand statt und optimale Satellitenpositionen werden nur selten erreicht. Um diese Problemstellung zu lösen, wurde ein alternativer Lokalisierungsansatz für Forstmaschinen entwickelt. Dies ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Umgebung der Maschine wird mittels Lidar erfasst und einzelne Bäume werden durch ein Clusterverfahren ermittelt. Hierbei werden Messpunkte, die eine zylindrische Form approximieren und vertikal zur Boden verlaufenden Linie angeordnet sind, als Bäume klassifiziert. Ausgehend von dieser extrahierten Punktwolke wird dann die relative Position des potenziellen Baumes zur Maschine ermittelt. Ausgehend von der Position der umliegenden Bäume wird mittels eines Iterative-Closest-Point-Algorithmus der aktuelle Versatz ermittelt und durch Sensorfusion mit der durch GNSS und Inertialmesssysteme ermittelten Bewegung fusioniert. Die daraus abgeleiteten Bäume sowie die Position des Fahrzeuges sind der Ausgangspunkt für die Kartenerstellung.

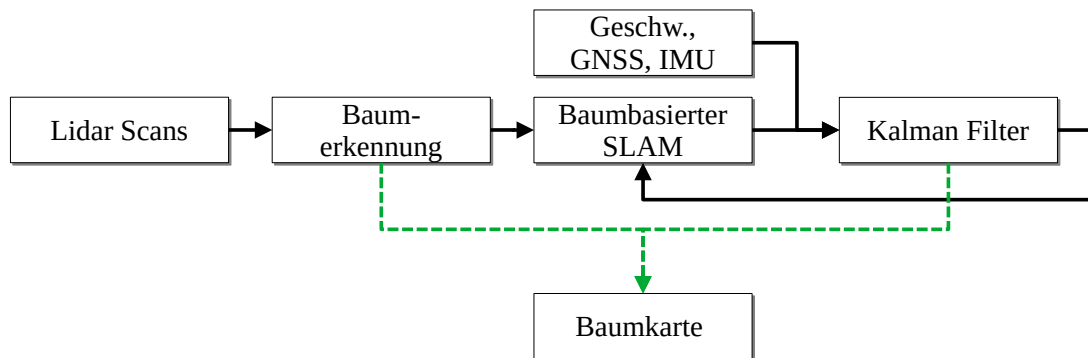
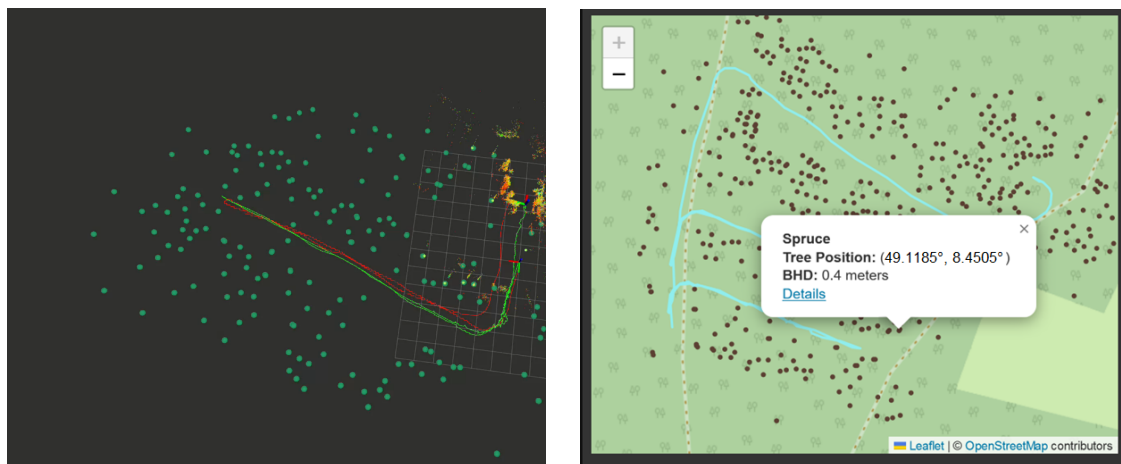


Abbildung 1: Inventarisierungsprozess

### 3 Versuche

Für die Untersuchungen wurden auf einem Sensorhalter ein Lidar-Sensor, eine optische RGB-Kamera und eine IMU installiert. Mit diesem wurde auf dem Frontlader eines Traktors auf einer Höhe von zwei Meter Versuche auf Rückegassen in Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche zeigen das Potenzial der Technologie und dass Baumposition und Baumdurchmesser bestimmt werden können.

Abbildung 2a zeigt die Datenaufnahme, der entwickelte Algorithmus bildet in Echtzeit den Fahrzeugweg und die darum liegenden Bäume ab. Über eine Internetverbindung wird die erstellte Baumkarte in ein Websystem übertragen, wo die Position und die Eigenschaften jedes einzelnen Baumes betrachtet werden können.



(a) Ermittelte Position und Pfad des Fahrzeugs (b) Webbasierte Baumkarte basierend auf der Befahrung drei parallel verlaufender Rückegassen.

Abbildung 2: Ergebnisse der Versuchsdurchführung

Die Ergebnisse weisen bei sich wiederholenden Fahrten eine geringe Streuung auf und die Fahrzeugposition konnte im Zentimeterbereich bestimmt werden. Die Genauigkeit der Kartierung konnte jedoch bislang nicht statistisch ausgewertet werden. Theoretisch ermöglichen die auf dem Fahrzeug installierten Kameras auch eine optische Klassifizierung der Bäume. Zum jetzigen Stand wurde jedoch noch nicht untersucht, inwieweit eine Klassifizierung in die jeweiligen Baumarten ausgehend von der aufgenommenen Perspektive eine Bestimmung der Baumart ermöglicht. Ob bestimmte Krankheiten oder ein Absterben der Bäume auch erkannt werden können, muss aufgrund der Perspektive jedoch bezweifelt werden.

### 4 Zusammenfassung

Ein System wurde vorgestellt, das mittels Lidar Daten Bäume in seinem Umfeld detektiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das System sowohl in der Lage ist, die Problematik der Lokalisierung des

Fahrzeuges aufgrund der Abschattung des GNSS Signals zu bewältigen, als auch gleichzeitig bei der Befahrung eine Waldinventur durchzuführen. Durch die Fusion der detektierten Bäume mit Bewegungsdaten aus anderen Quellen ist eine hochpräzise Lokalisierung möglich. Aus den Lidardaten lässt sich dann Position und Durchmesser der das Fahrzeug umgebenden Bäume ableiten.

Im Gegensatz dazu lässt sich jedoch die Baumart und die Baumhöhe nicht aus den Lidardaten ermitteln, was die Notwendigkeit weiterer Sensoren, wie z.B. optische Kamerasysteme in Verbindung mit maschinellen Lernen nahelegt. Die Höhe des Bestands kann aktuell aus Drohnendaten gewonnen werden, es jedoch anzustreben auch hierfür eine fahrzeuggebundene Lösung zu finden, um langfristig auf Überflüge verzichten zu können.