

Einsatz von Fernerkundungstechniken als wichtiger Baustein einer modernen Forsteinrichtung

Paul Magdon

Runder Tisch „Digitalisierung Forst und Holz“

Seminarreihe: Modernisierung und Digitalisierung der Forsteinrichtung



Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V.

Team

- Dr. Lutz Fehrmann (AWF, ForestEye)
- Dr. Hans Fuchs (AWF, ForestEye)
- Prof. Dr. Christoph Kleinn (AWF, ForestEye)
- Dr. Kai Staupendahl (NW-FVA, ARGUS Forstplanung)
- Max Freudenberg (AWF)
- Adrian Straker (AWF)
- Tanja Kempen (AWF)
- Dr. Sebastian Schnell (Thünen-Institut für Waldökosysteme)
- Dr. Karolina Pietras-Couffignal (Thünen-Institut für Waldökosysteme)



Gliederung

1. Einführung
2. Optionen für den Einsatz von Fernerkundung und KI in der Forstplanung:
 - I. Optimierung der Betriebsinventur
 - *Praxisbeispiel 1: Stiftung Stift Neuzelle, Brandenburg*
 - II. Fernerkundliche Bestandesinventuren
 - *Praxisbeispiel 2: Gräflich Bernstorff'scher Forstbetrieb Gartow, Niedersachsen*
 - III. Neue Informationsprodukte
 - *Praxisbeispiel 3: Kartierung des Feinerschliessungsnetzes (Thüringen/Niedersachsen)*
3. Ausblick & Aktuelle Forschungsprojekte
4. Fazit & Diskussion

Die Waldbewirtschaftung steht vor vielfältigen Herausforderungen

Klimawandel

- Massive Bestockungs- und Vitalitätsverluste
- Veränderte Wuchsbedingungen
- Erhöhte Unsicherheiten bei der Prognose der Waldentwicklung

Veränderte gesellschaftliche Ansprüche

- Gesteigerte Nachfrage nach Ökosystemleistungen
- Planungs- und Nutzungseinschränkungen
- hohe Nachfrage nach Holzprodukten

Fachkräftemangel

- Schwierigkeiten bei der Suche von neuen Fachkräften in den Forstbetrieben und Forschungseinrichtungen



Blick auf den Brocken, Harz (2021)

Die Forstplanung als zentrales Steuerelement der Waldbewirtschaftung muss diesen Herausforderungen gerecht werden.

Modernisierungsbedarf der Forsteinrichtung

Konsequenzen der geänderten Rahmenbedingungen für die Forstplanung:

- Zunahme ungeplanter Eingriffe/Ereignisse
- Waldumbau zu strukturreicheren Mischbeständen
 - Fortschreibung des Alters kaum noch möglich
 - Ertragstafelbasierte Wachstumsprognose zunehmend ungenauer
 - Waldeinteilung in Bestände und Schichten nur noch bedingt anwendbar
- Erweiterung des Informationsbedarfes zur Erfassung weiterer Ökosystemleistungen



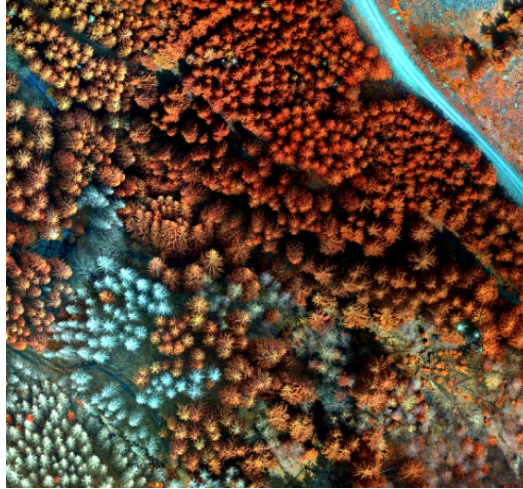
Strategien zur Anpassung der Forstplanung:

- Periodisch durchgeführte, stichprobenbasierte Betriebsinventuren bilden die Basis für die Forstplanung
- Spektrum der zu erfassenden Variablen muss erweitert werden
- Simulationsbasierte Wachstumsprognosen
- Kontinuierliches Monitoring des Waldzustandes zusätzlich zu periodischen Inventuren

“Neue” Werkzeuge zur Unterstützung der Forstplanung

Fernerkundung

- seit Jahrzehnten fester Bestandteil der Forstplanung
- stellt wichtige räumliche Informationen als Grundlage für die Forstplanung bereit
- stark steigendes Angebot an Sensoren und Plattformen
 - Drohnen
 - Airborne Laserscanning (ALS)
 - Sentinel-Satellitendaten



Quelle: [mikemacmarketing](https://www.mikemacmarketing.com) CC BY 2.0.

Künstliche Intelligenz (KI)/

Maschinelle Lernverfahren (ML)

- Verfahren der digitalen Informationsverarbeitung
- Werden seit den 60‘er Jahren entwickelt
- Sind geeignet komplexe, nicht-lineare Probleme zu lösen
- Benötigt große Datenmengen, sog. Trainingsdaten und viel Rechenkapazität

Die effektive Kombination aus optimierten stichprobenbasierten Inventurverfahren und Fernerkundungs- und Geoinformationstechnologien ist ein wichtiges Element bei der Anpassung der Forstplanung.

I. Optimierung der Betriebsinventur

- Stichprobenbasierte Betriebsinventuren (BI) liefern statistisch abgesicherte Schätzungen aller wichtigen Naturaldaten
- Die Anzahl der aufzunehmenden Punkte bestimmt die Genauigkeit der Schätzung und die Kosten der Inventur
- Einteilung der Forstbetriebsfläche in homogene Einheiten (Stratifizierung) kann die Effizienz der BI deutlich steigern
- Stratifizierung wird häufig durch visuelle Interpretation von digitalen Luftbildern durchgeführt

Kann die Stratifizierung der BI-Punkte mithilfe von Fernerkundungsdaten automatisiert werden?

Praxisbeispiel 1: Optimierung der Betriebsinventur Neuzelle

Zielsetzung:

- Klassifikation von Laub-/Nadelholz und drei Altersklassen

Datengrundlage:

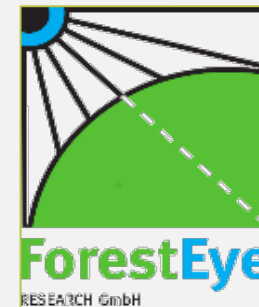
- Sentinel-1 & Sentinel-2 Satellitenbilder
- Vegetationsoberflächenmodell der Landesvermessung (LGB) Brandenburg

Methode:

- Forsteinrichtungsdaten aus dem Datenspeicherwald als Trainingsdaten
- Automatisierte Bildklassifikation auf Bestandesebene mit maschinellem Lernverfahren
- Stratifizierung aller Stichprobenpunkte

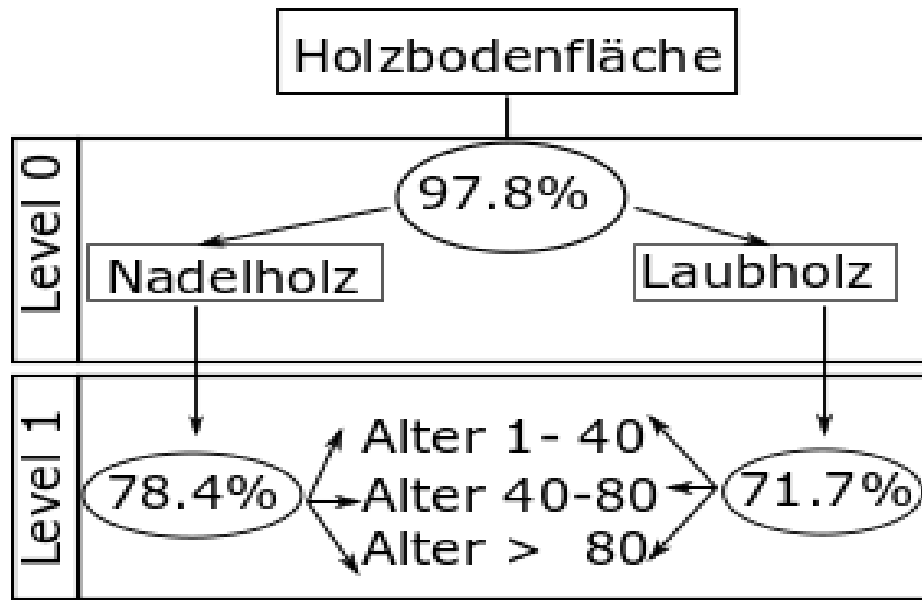
Betriebsinventur Stiftung Stift Neuzelle

- Forstbetriebsfläche ~9200 ha
- Überwiegend Kiefernbestände
- 1. Betriebsinventur
- Pilotstudie zur Planung eines effizienten Betriebsinventurdesigns

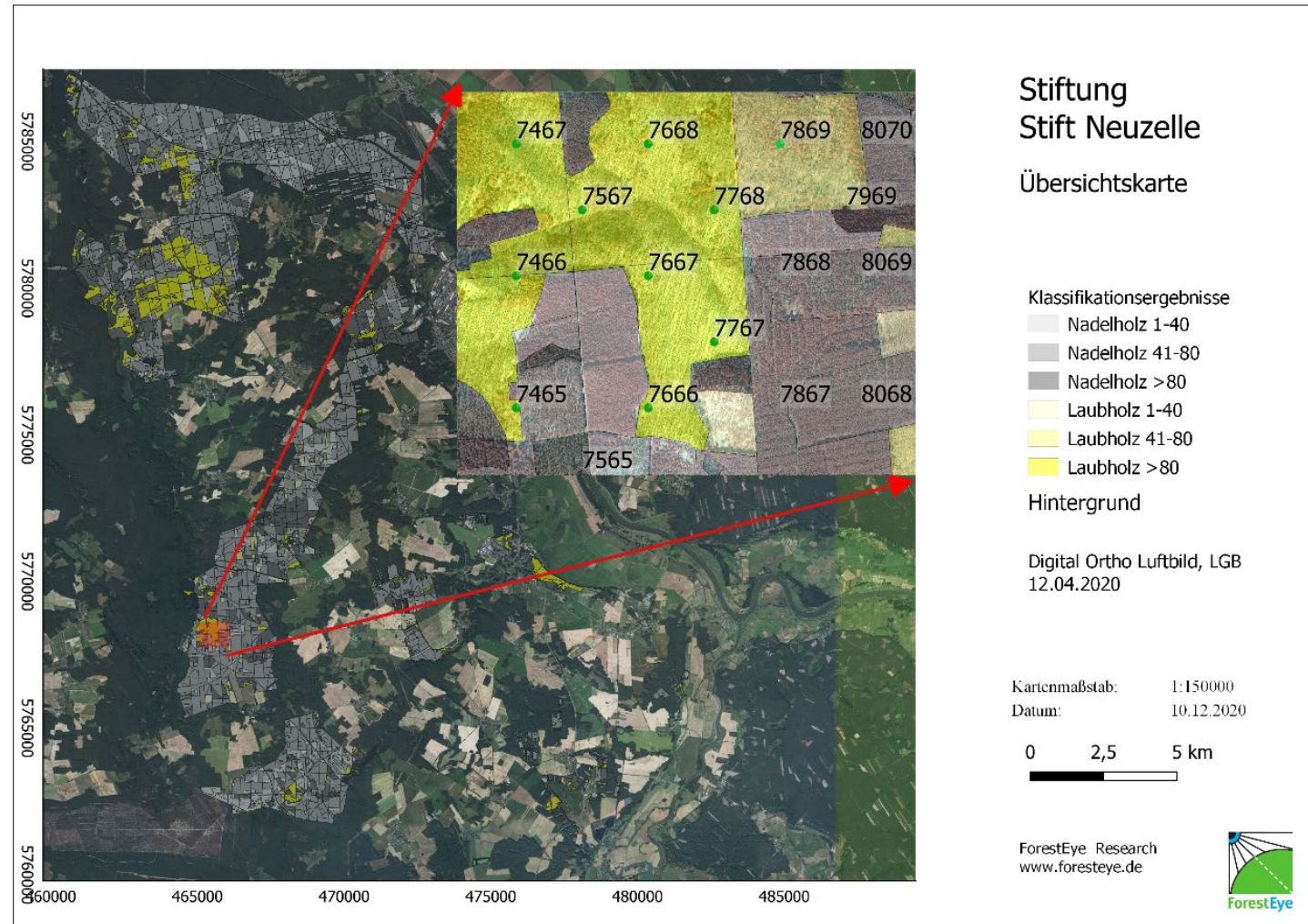


Praxisbeispiel 1: Optimierung der Betriebsinventur Neuzelle

Ergebnisse:



Modellgenauigkeiten der 10-fachen Kreuzvalidierung



Satellitendaten können für die automatisierte Stratifizierung von Stichprobenpunkten genutzt werden.

II. Fernerkundliche Bestandesinventuren

Herausforderung für die Fernerkundung:

- Für die ertragstafelbasierte Bestandesinventur werden die Bestände in ideale einschichtige Reinbestände aufgeteilt
- Bestandesvariablen müssen getrennt nach Schicht und Baumart erfasst werden

Vorräte:

B.art	Alter		Entst.	Mf.	EKI	Hg m	Dg cm	B°	Fläche		V/ha Efm	V ges. Efm	zV/ha/a Efm	Wkl.	Schäden
	Ø Jahre	Sp.							ha	%					
Hauptbestand															
Ki	80	74			1,0	25,6	34,8		0,83	70	123	147	2,8		
Fi	60	8			1,1	24,3	31,7		0,36	30	68	82	3,5		
								0,6	1,19	100	192	228	6,3		
Nachwuchs															
Fi	40	2			1,1	16,2	19,0		0,75	63	13	15	0,8		
Ki	46	16			1,4	16,5	19,3		0,44	37	6	7	0,4		
								0,1	1,19	100	19	22	1,2		
Summe Ufl.											210	250	7,5		

Quelle: Revierbuch, Waldplaner Staupendahl, K. (2018)

Können Fernerkundungsverfahren für die Bestandesinventur eingesetzt werden?

Praxisbeispiel 2: Fernerkundliche Bestandesinventuren



Konzept:

- Einsatz hochauflösender 3D Fernerkundungsverfahren zur Inventur auf Einzelbaum- und Bestandesebene

Forsteinrichtung im Gräflich Bernstorff'schen Forstbetrieb

- Stichjahr 2018
- Forstbetriebsfläche ~6000 ha
- 3. Wiederholungsinventur
- Struktureiche Kiefernbestände



Magdon, P., Fehrmann, L., Fuchs, H., Kleinn, C., Staupendahl, K., (2020). Fernerkundungsbasierte Bestandesinventur. *AFZ - Der Wald* 15, 36-39

Nölke, N., Freudenberg, M., Kleinn, C., Fuchs, H., Magdon, P., (2020). Baumartenerkennung mithilfe von künstlicher Intelligenz (KI). *AFZ - Der Wald* 15, 40-42.

Staupendahl, K., Fehrmann, L., Fuchs, H., Kleinn, C. & Magdon, P., (2020). Neue Wege in der Forsteinrichtung. *AFZ - Der Wald* 15, 27-31

Praxisbeispiel 2: Fernerkundliche Bestandesinventuren

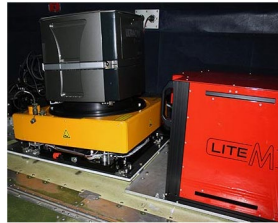
Datengrundlage:

1.) Exakt eingemessene Probeflächen der Betriebsinventur

2.) Kombinierte Multispektral- & LiDAR-Befliegung mit Flugzeug

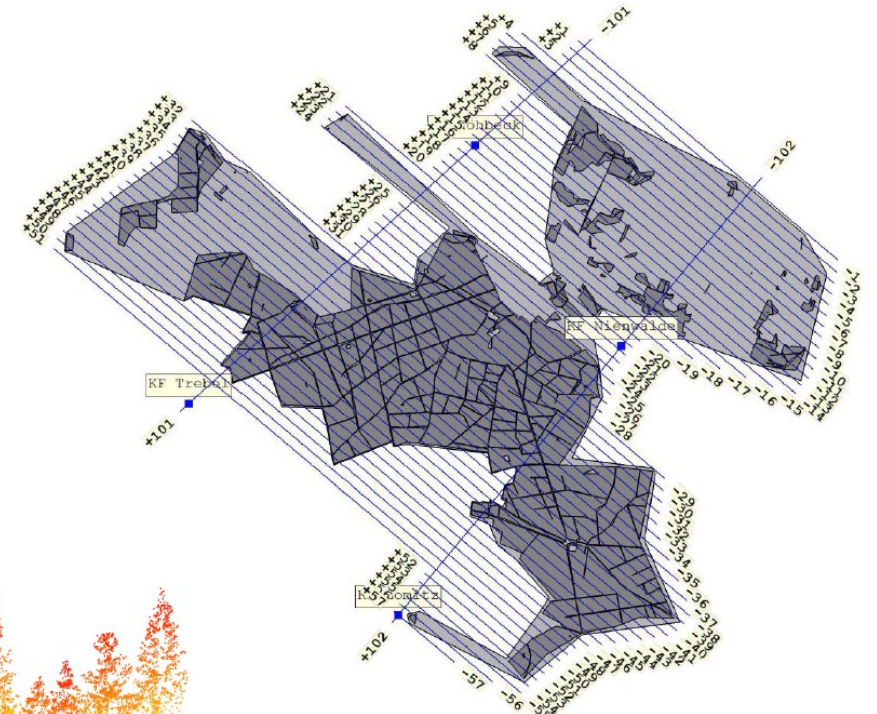
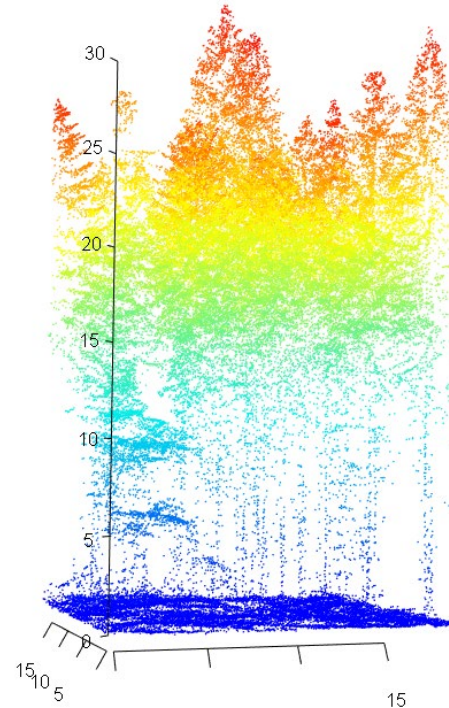
a.) Luftbildkamera

- UltraCam Falcon f100
- 4 Kanäle R,G,B,NIR
- Sehr hohe Bodenauflösung 4.5cm

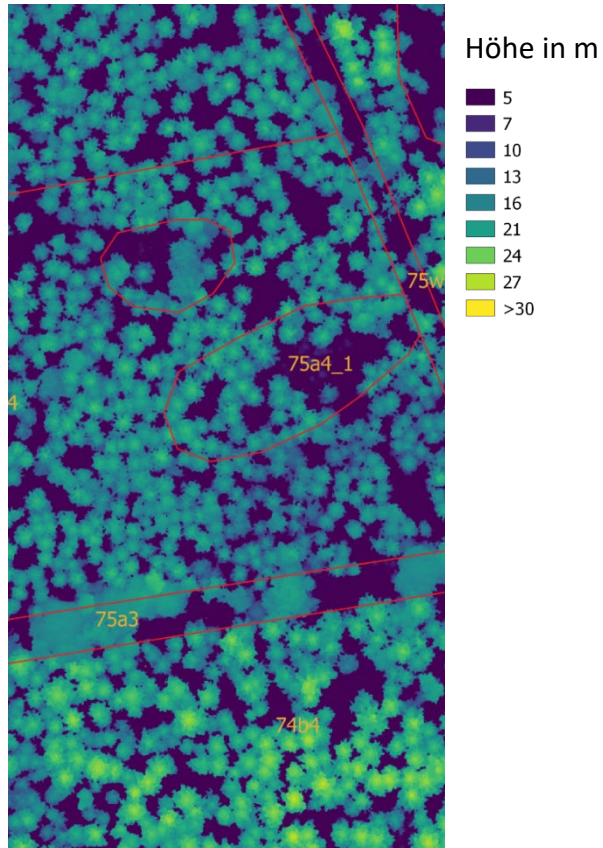


b.) LiDAR Scanner

- LiteMapper 7000
- X,Y,Z, Intensität
- 3D Punktwolke mit einer Dichte von $> 12 \text{ pls/m}^2$

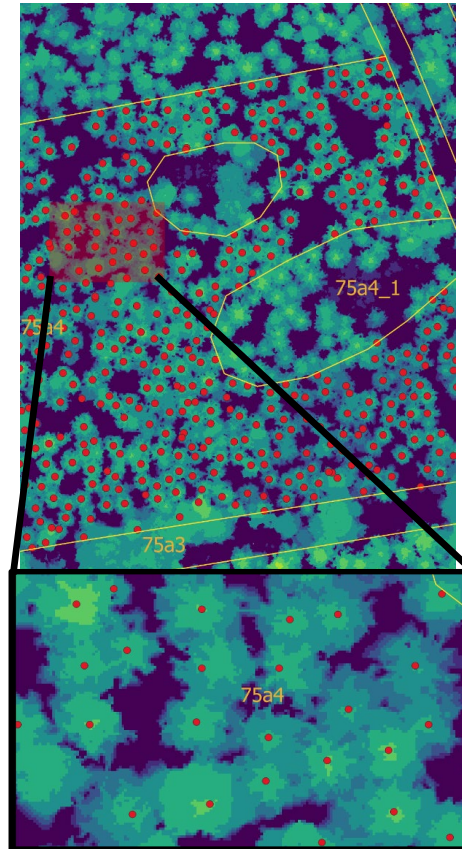


Praxisbeispiel 2: Fernerkundliche Bestandesinventuren



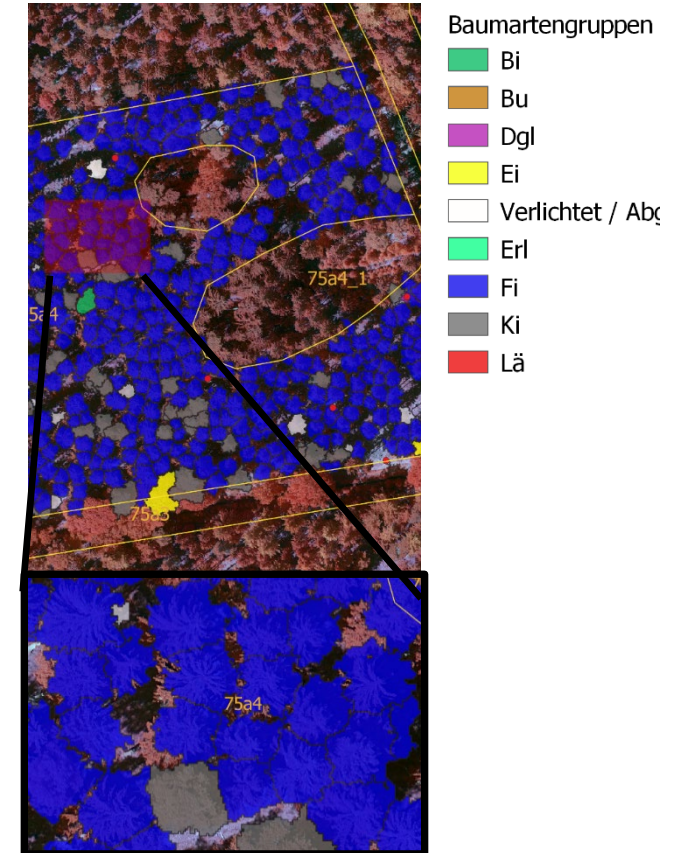
1. Vegetationshöhenmodell

- Bestandesgrenzen
- Kronenschlussgrad
- Bestandeshöhen



2. Einzelbaumerkennung

- Position
- Baumhöhe
- Kronenprojektionsfläche



3. Baumartenklassifikation

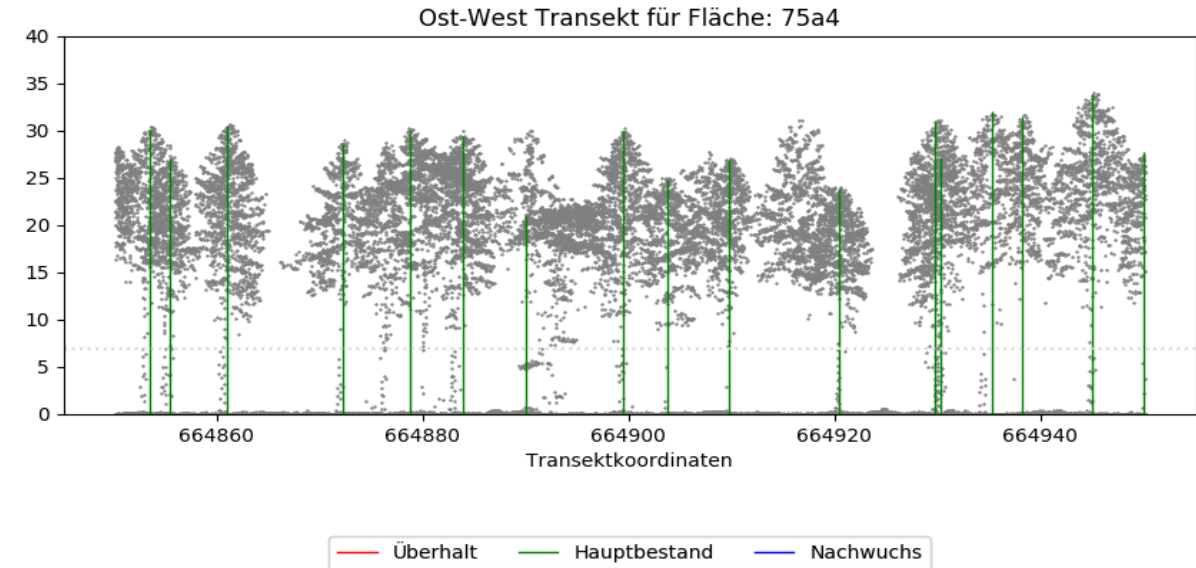
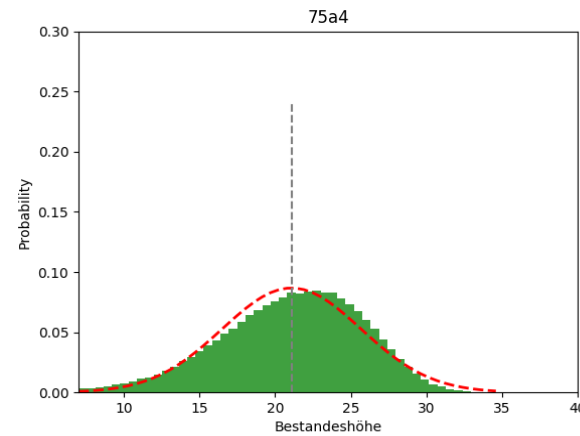
- Baumartengruppen
- Abgestorbene Bäume

Praxisbeispiel 2: Fernerkundliche Bestandesinventuren

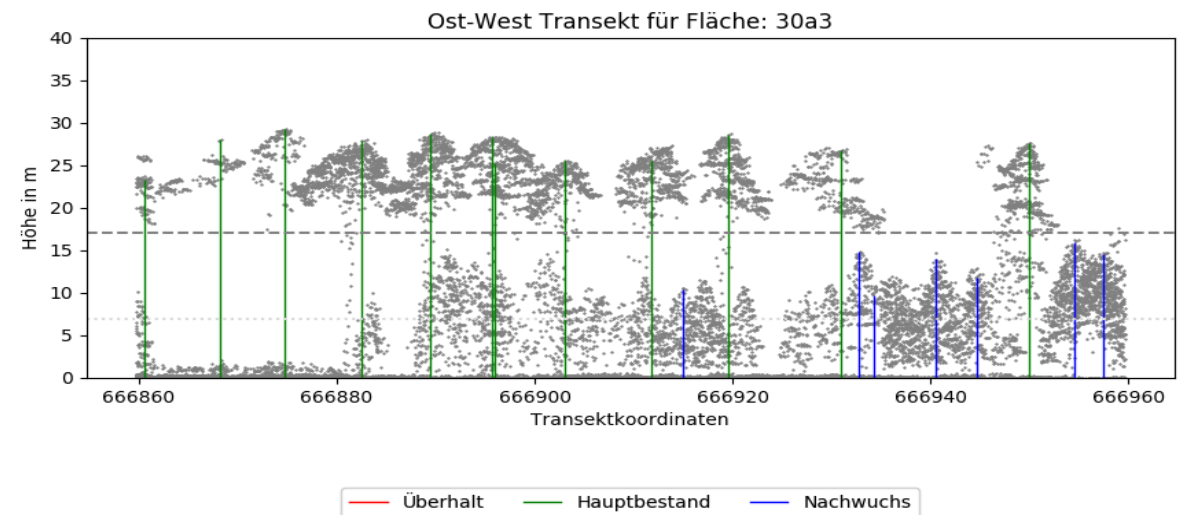
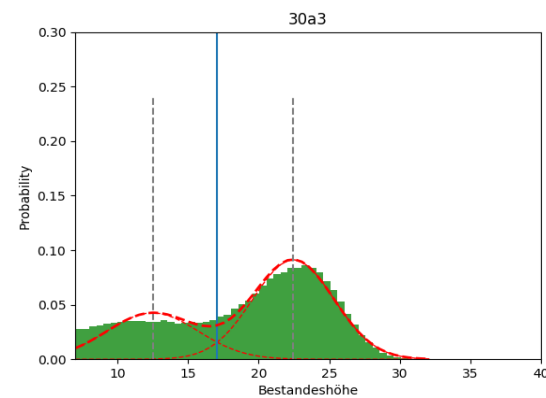
4. Bestandesstrukturanalyse

- Auswertung der Punktwolkeninformation auf Bestandesebene
- Zuordnung der Einzelbäume zu den Bestandesschichten über Baumhöhen

Einschichtig



Zweischichtig



III. Neue Informationsprodukte

- Walderschließung ist Voraussetzung für die Waldbewirtschaftung und die Zertifizierung
- Anlage und Planung des Feinerschließungsnetzes erfolgt üblicherweise durch manuelles Auszeichnen im Wald
- Auf Kalamitätsflächen können die Gassen nicht mehr eindeutig identifiziert werden
- Wenn die Feinerschließung digital kartiert und dokumentiert wäre, könnten Forstmaschinen GNSS gestützt navigieren.

Können Fernerkundungsverfahren zur großflächigen Erfassung des Feinerschließungsnetzes eingesetzt werden?



Kalamitätsfläche, Harz, 2022

Praxisbeispiel 3: Kartierung der Feinerschließung

Datengrundlage:

- ALS-Daten der Landesvermessungsämter
- GNSS-Messungen im Wald
- GNSS-Bewegungsdaten von Forstmaschinen

Methode:

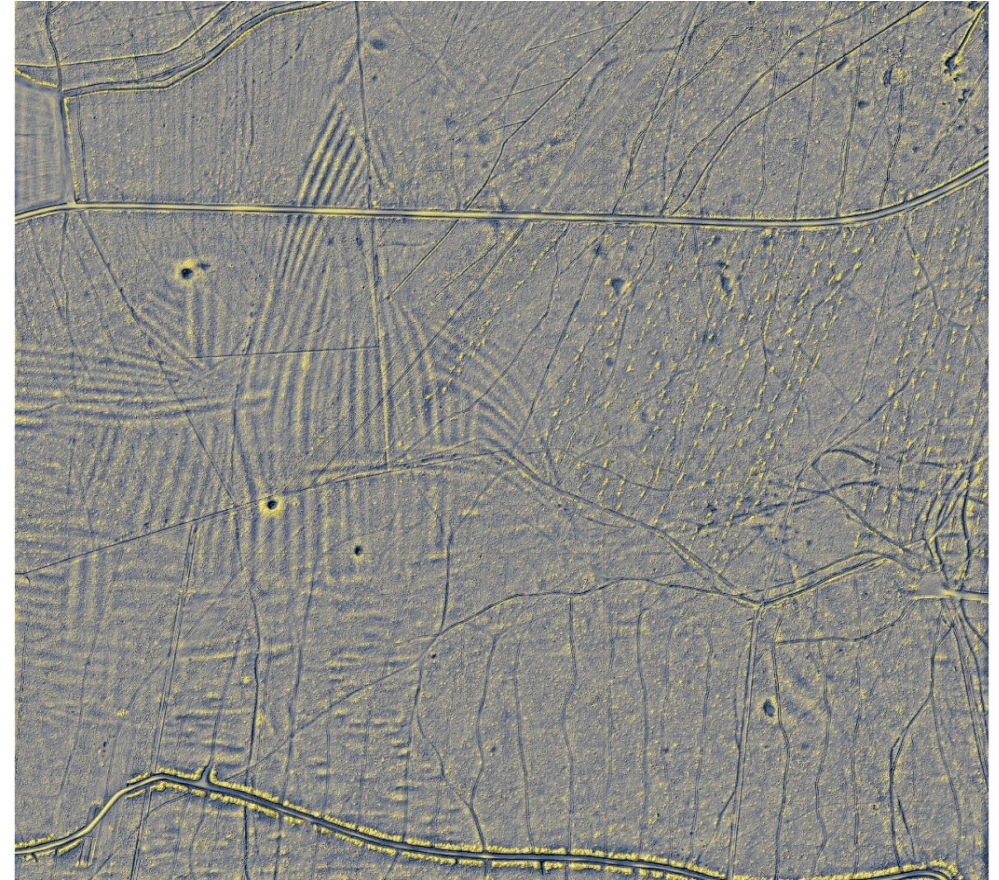
- Ableitung von Mikroreliefkarten aus ALS-Daten
- Phase 1: Visuelle Interpretation der Mikroreliefkarten
- Phase 2: Einsatz von ML-Verfahren zur automatisierten Erfassung



Praxisbeispiel 3: Kartierung der Feinerschließung



Bestandesbild Menteroda. Quelle: Meitinger, L. (2022)



Mikroreliefmodell, Menteroda. Quelle: Meitinger, L. (2022)

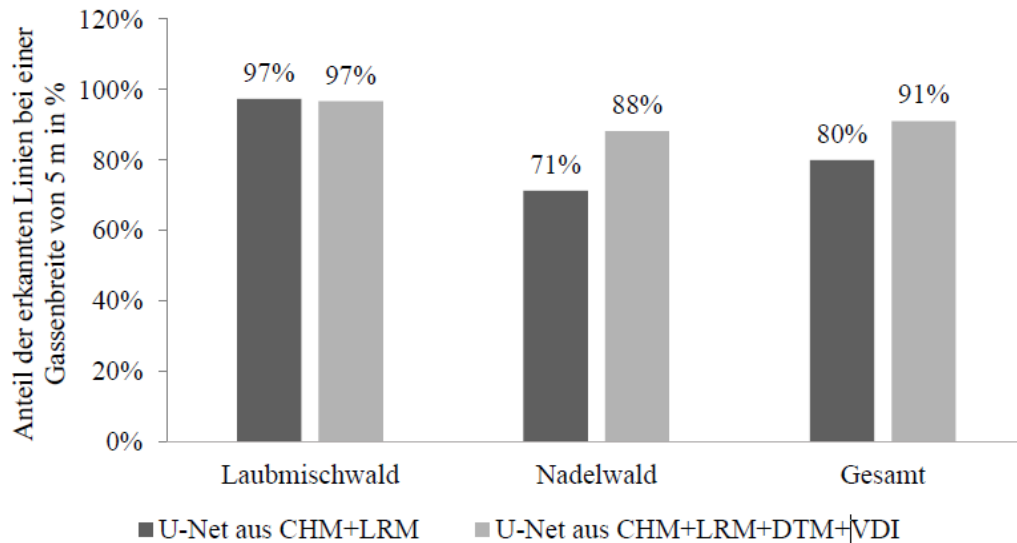
Phase 1:

- >96 % der im Feld gemessenen Referenzlinien konnten am Bildschirm visuell identifiziert werden
- alte Feinerschließungslinien, die im Wald nicht gefunden wurden, konnten identifiziert werden

Praxisbeispiel 3: Kartierung der Feinerschließung

2. Phase: Automatisierung des Verfahrens

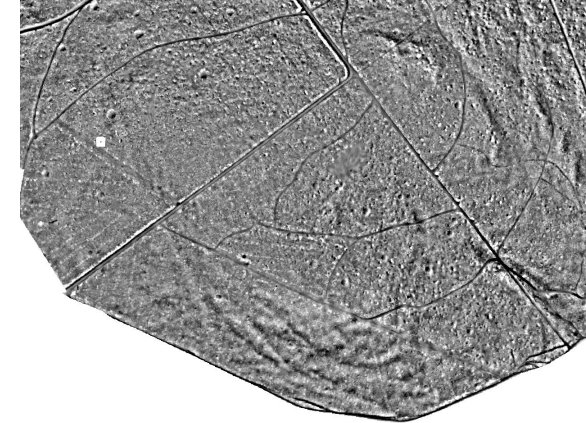
- Testgebiete der ThüringenForst
- GNSS-Bewegungsdaten der Forstmaschinen
- U-Net basierte automatisierte Klassifikation der Fahrlinien



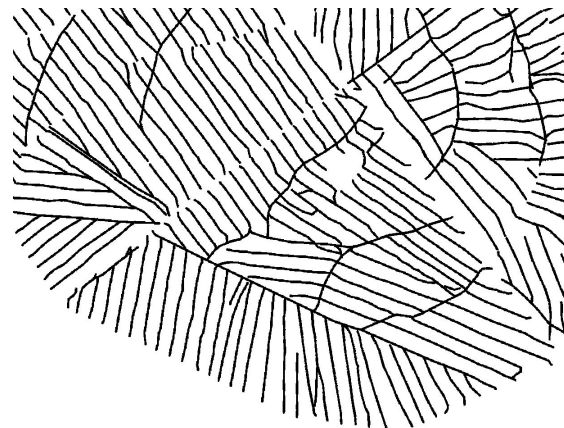
Maschinendaten:



Lokales Reliefmodell:



Gerasterte Rückegassen:



Bestandeshöhenmodell:

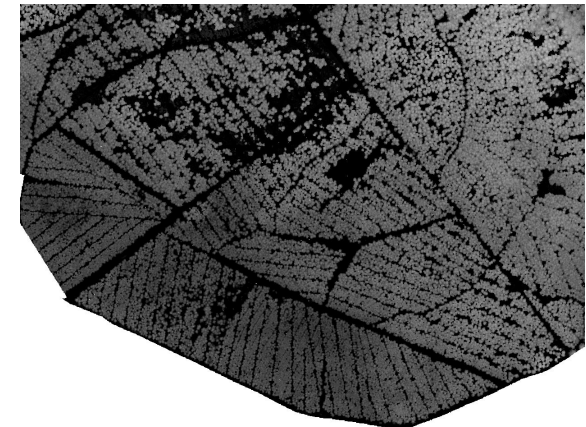


Abbildung 15: Anteil der durch das U-Net erkannten Referenz-Linien bei einer angenommenen Rückegassenbreite von 5 m in %. Es kamen die U-Net-Modelle mit der Kombination CHM + LRM sowie CHM + LRM + DTM + VDI zur Anwendung. Es wurden die Mittelwerte der Laubmischwald- und Nadelwald-Validierungsbestände ausgewertet sowie die Mittelwerte für alle 12 Validierungsbestände gesamt.

Quelle: Kempen, T. (2023)

Praxisbeispiel 3: Kartierung der Feinerschließung

1. Test mit Niedersächsischen Landesforsten (NLF):

- FoA-Wolfenbüttel, Rev. Warberg, Abt. 1013b
- Buchen-Edellaubholz, ca.44 Jahre
- ALS-Daten des LGLN
- U-Net Modell aus Thüringen
- Validierung mit RTK-GNSS von Forstmaschinen

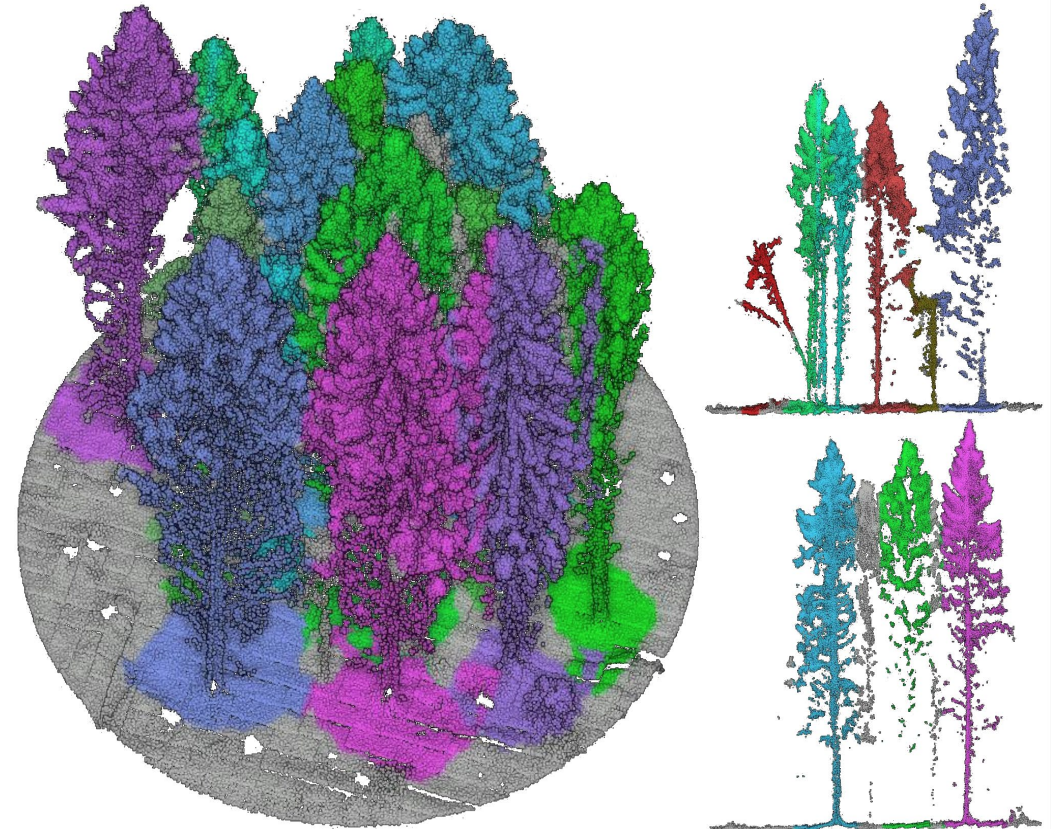


U-Net basierte Rückegassen (grau) überlagert mit RTK-GNSS Aufzeichnung eines Forwarders (rot)

Verbesserung der Einzelbaumerkennung in stark strukturierten Beständen

Einsatz von neuronalen Netzen zur Einzelbaumdetektion und -klassifikation in Laserscanning-Daten (Adrian Straker)

- Identifizierung von Einzelbäumen in ALS-Punktwolken mithilfe von ML-Verfahren (YOLO)
- Einzelbaumpunktwolken werden extrahiert und Variablen abgeleitet (Baumart, Höhe, BHD, Kronenlänge, Kronenvolumen)



Straker et al. (2023, in review)

Verbesserung der Baumartenklassifikation



www.treespecies.de

Workshop in Göttingen im Oktober 2022 hat verschiedene Gruppen aus Deutschland zusammengebracht

Fazit & Diskussion

- Es steht eine große Bandbreite an fernerkundlichen Sensoren und Plattformen zur Verfügung, welche die Forstplanung unterstützen können.
- Airborne Laserscanning (ALS) Daten sind für die Forstplanung besonders gut geeignet.
- Maschinelle Lernverfahren, insbesondere „deep learning“ Verfahren, bieten großes Potential zur Automatisierung, benötigen aber viele Trainingsdaten:
 - Bundeswaldinventur
 - Betriebsinventuren
- Voraussetzung für die Kombination von stichprobenbasierten Inventuren und Fernerkundungsverfahren ist die genaue Positionsbestimmungen der Stichprobenpunkte
 - **Die Verwendung von differenziellen GNSS-Empfängern muss der Standard sein**



Fazit & Diskussion

Schlüsselfaktoren für die Modernisierung der Forstplanung:

Informationsbasierte Entscheidungsverfahren:

- Transparente Dokumentation der Datenqualität
- Zentrales, digitales Datenmanagement
- Verstärkte Nutzung der Forsteinrichtungsdaten durch einfachen digitalen Zugang

Open Data & Open Source:

- Einsatz von proprietären Programmen und Datenformaten führt zu sehr vielen Einzellösungen und Schnittstellen Problemen
 - *Open Source Entwicklungen fördern!*
- Für die Entwicklung & Forschung braucht es Daten.
 - *Open Data: Wenn immer möglich, Daten veröffentlichen!*

Fachkräfte:

- Einsatz moderner Informationstechnologien benötigt Fachkräfte
 - *Fernerkundungs- und Geoinformationstechnologien als wichtiger Teil der forstlichen Ausbildung!*

Studienmodule an der HAWK

B.Sc. Forstwirtschaft

- Geoinformationssysteme
- Forstliche Fernerkundung
- Einsatz von Drohnen in der Umweltbeobachtung
- Summer School: Forest Monitoring

M.Sc. Waldökosystemmanagement und forstliche Bioökonomie:

- Datenmanagement und Auswertung
- Sensorbasiertes Monitoring von Waldökosystemen
- Innovative, robotergestützte Technologien in der Waldbewirtschaftung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Danksagung:

- Fam. v. Bernstorff, Forstbetrieb Gartow
- Boris Schnittker, Forstbetriebsleiter Stiftung Stift Neuzelle
- Sergej Chmara, ThüringenForst
- Jendrik Niebel & Volker Mell, Niedersächsisches Forstplanungsamt

Kontakt:

Paul.Magdon@hawk.de

Paul.Magdon@foresteye.de



<https://twitter.com/MagdonPaul>

Referenzen

- Freudenberg, M., Magdon, P. , & Nölke, N. (2022). Individual tree crown delineation in high-resolution remote sensing images based on U-Net. *Neural Computing and Applications*.
- Kempen, T. (2023): *Kartierung von Rückegassen aus flugzeugbasierten Laserscan-Daten durch ein CNN*. Masterarbeit, Abt. Waldinventur und Fernerkundung, Universität Göttingen.
- Kukunda, C. B., Beckschäfer, P., Magdon, P., Schall, P., Wirth, C., & Kleinn, C. (2019). Scale-guided mapping of forest stand structural heterogeneity from airborne LiDAR. *Ecological Indicators* (102), 410-425.
- Meitinger, L. (2022): *Untersuchung zur Erfassung von Rückegassen mit Airborne Laserscanning*. Bachelorarbeit, Abt. Waldinventur und Fernerkundung, Universität Göttingen.
- Straker, A., Puliti, S., Breidenbach, J., Kleinn, C., Pearse, G., Astrup, R. & Magdon, P. (submitted). *Instance Segmentation of Individual Tree Crowns with YOLOv5: A Comparison of Approaches Using the ForInstance Benchmark LiDAR Dataset*. *ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.