

# Schlussbericht

## zum Verbundvorhaben

Thema:

**Integriertes forstliches Informationssystem für den  
kleinparzellierten Nicht-Staatswald**

Zuwendungsempfänger:

**Teilvorhaben 1:** Forsteinrichtungsportal

**Teilvorhaben 2:** Primärdatenerfassung und Validierung

**Teilvorhaben 3:** Forsteinrichtungsservices

**Teilvorhaben 4:** Betriebswirtschaftliche Strategien

Förderkennzeichen:

**Teilvorhaben 1:** 22004117

**Teilvorhaben 2:** 22023417

**Teilvorhaben 3:** 22024217

**Teilvorhaben 4:** 22024517

Laufzeit:

**01.08.2018 bis 31.03.2022**

Monat der Erstellung:

**06/2022**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

## Verbundvorhaben

### **Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald**

Teilvorhaben 1: Forsteinrichtungsportal

Teilvorhaben 2: Primärdatenerfassung und Validierung

Teilvorhaben 3: Forsteinrichtungsservices

Teilvorhaben 4: Betriebswirtschaftliche Strategien

## Schlussbericht

**Fördergeber:** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR)

<b>Projektbezeichnung</b>	P18SO12
<b>Projektleiter</b>	Matthias Nagel
<b>Verantwortlich / Autor(en)</b>	Matthias Nagel (INT), Martin Wittwar (INT), Nicole Schmeitzner (IABG), Ferdinand von Plettenberg (UNI), Robert Larkin (NW-FVA), Jan Seidemann (FFK), Harald Lux (FFK)
<b>Erstellung am</b>	26.02.2021
<b>Zuletzt geändert</b>	07.12.2022 09:27
<b>Bearbeitungszustand</b>	<input type="checkbox"/> in Bearbeitung <input type="checkbox"/> vorgelegt <input checked="" type="checkbox"/> fertig gestellt
<b>Dokumentenablage</b>	Dokument1

## Inhaltsverzeichnis

I. Ziele .....	6
1 Aufgabenstellung .....	6
1.1 Arbeitspaket 1 .....	6
1.2 Arbeitspaket 2 .....	7
1.3 Arbeitspaket 3 .....	9
1.4 Arbeitspaket 4 .....	10
2 Stand der Technik .....	12
3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	13
II. Ergebnisse .....	13
1 Erzielte Ergebnisse .....	13
1.1 Allgemeines .....	13
1.2 Arbeitspaket 1 .....	14
1.2.1 AS 1.1 Definition von Prozessen und Akteuren (UNI) .....	14
1.2.2 AS 1.2 Mathematische Grundlagen (NW-FVA, FFK) .....	15
1.2.3 AS 1.3 Alternative Methoden & Konzepte der WZE mit Fernerkundung (IABG/FFK) .....	19
1.2.4 AS 1.4 Vorstudien Geoinformatik (INT) .....	39
1.2.5 AS 1.5 Vorstudien UAV und Laserscanning (FFK) .....	39
1.3 Arbeitspaket 2 .....	44
1.3.1 AS 2.1 Analyse des Informationsbedarfs (UNI) .....	44
1.3.2 AS 2.2 Applikationen & Schnittstellen (NW-FVA) .....	46
1.3.3 AS 2.3 Planungsunterstützung mit GIS (IABG) .....	48
1.3.4 AS 2.4 Automatisierung, Verfahrensanweisungen & Produktkatalog (FFK) .....	50
1.3.5 AS 2.5 Methodenentwicklung, Konstruktion (FFK) .....	52
1.3.6 AS 2.6 Übergeordnetes IT-Architekturkonzept (INT) .....	53
1.4 Arbeitspaket 3 .....	59
1.4.1 AS 3.2 Herstellung Komponenten, Systemintegration UAV (FFK) .....	59
1.4.2 AS 3.2 Herstellung Komponenten, Systemintegration Laserscanning (FFK) .....	61
1.4.3 AS 3.3 Web Services (NW-FVA) .....	63
1.4.4 AS 3.4 Technische Implementierung (INT) .....	67
1.4.5 AS 3.5 Systemtest (UNI, IABG, FFK, Praxispartner) .....	72
1.5 Arbeitspaket 4 .....	72
1.5.1 AS 4.1 Verifizierung des Verfahrens (FFK) .....	72

1.5.2	AS 4.2 Dokumentation des Vollzuges (UNI) .....	75
1.5.3	AS 4.3 Durchführung der Revision (INT).....	86
1.5.4	AS 4.4 Abschließender Systemtest NW-FVA, IABG .....	86
1.5.5	AS 4.5 Abschließender Test & Qualitätssicherung UAV & LS (FFK).....	88
2	Verwertung .....	92
2.1	Voraussichtlicher Nutzen.....	92
2.1.1	Nutzen für die Wissenschaft.....	92
2.1.2	Nutzen für die Forstbetriebe .....	93
2.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten.....	93
2.2.1	Wissenschaft .....	93
2.2.2	Wirtschaft.....	93
2.3	Planung für die Zukunft .....	94
2.3.1	Wissenschaft .....	94
2.3.2	Wirtschaft.....	94
2.4	Erkenntnisse von Dritten .....	95
2.5	Veröffentlichungen.....	95
3	Abkürzungsverzeichnis.....	96
4	Literaturverzeichnis .....	98

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2	Beispiel Hexagon als Auswerteeinheit .....	21
Abbildung 3	Veränderungsdetektion(rot).....	24
Abbildung 4	Lage des Testgebietes (grüne Umrandung) .....	25
Abbildung 5	Baumartenzusammensetzung Krahnberg.....	26
Abbildung 6	Baumartenverteilung gesamt Thüringen .....	26
Abbildung 7	Zusammenfassung der Datengrundlage für das Inka-Kartenwerk .....	27
Abbildung 8	Workflow zur Baumartenerkennung .....	28
Abbildung 9	Erste Beispiel Hexagone mit Baumarteninformationen. ....	28
Abbildung 10	Baumartenerkennung im Testgebiet Krahnberg. ....	30
Abbildung 11	Rasterdarstellung der Wuchsklassen und der Baumarten.....	33
Abbildung 12	Wegelinien, Bestandesadresse, Hauptbaumart, Oberhöhe.....	34
Abbildung 13	Darstellung einer Jungwuchsfläche .....	35
Abbildung 14	Wegeflächen, Hauptbaumart, Oberhöhe .....	36
Abbildung 15:	„Preflight Checkliste“ .....	40
Abbildung 16:	Fichtenbestand in Oberhof.....	43
Abbildung 17:	Buchenbestand in Possen.....	43

Abbildung 18 a) Hangneigungskarte; b) Hangexpositionskarte .....	50
Abbildung 19: Arbeitsablaufschemata Handlaser-Scan und Integration in Gesamtprojekt .....	51
Abbildung 20: Arbeitsablaufschemata der UAV-Daten .....	51
Abbildung 21: Ausgewählter Ausschnitt von der Drohnenbefliegung .....	52
Abbildung 22: Ergebnis der Scanauswertung .....	53
Abbildung 23: Struktur der Plattform INKA .....	54
Abbildung 24: Integration HLS in INKA Web .....	62
Abbildung 25: Workflow Handlaser-Scanner-Erfassung und Datenverarbeitung .....	63
Abbildung 26: Oberfläche zum Testen mit den wichtigsten TgREST-Funktionen .....	64
Abbildung 27: Konzeptionelle Einbindung der verwendeten Softwaremodule .....	65
Abbildung 28: Die Basis-Services der TgREST-API .....	65
Abbildung 29: Methoden des TreeGrossBase-Basis-Service .....	66
Abbildung 30: Teil der JSON-Rückgabe der Methode treatReturningFoeData .....	66
Abbildung 31: BaEm-Service-Antwort im XML-Format .....	67
Abbildung 32: Startseite Demonstrator .....	68
Abbildung 33: Daten des selektierten Bestandes .....	69
Abbildung 35: Flächeninformationen zu Einzelbeständen .....	71
Abbildung 35: Erfassung Winkelzählprobe .....	72
Abbildung 36: Gegenüberstellung Gemessen UAV .....	73
Abbildung 37: Ergebnissen mit dem Handlaser-Scanner .....	74
Abbildung 38: Mittelwertvergleich Altersgruppen .....	83
Abbildung 39: Mittelwertvergleich Größencluster .....	83
Abbildung 40: Vergleich der TgREST-Ergebnisse mit ForestSimulators .....	87
Abbildung 41: Vergleich Buche 30 Jahre Zuwachs .....	88
Abbildung 42: Planung für die Zukunft .....	94

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arbeitspaket 1 .....	7
Tabelle 2: Arbeitspaket 2 .....	9
Tabelle 3: Arbeitspaket 3 .....	10
Tabelle 4: Arbeitspaket 4 .....	12
Tabelle 5: Datenanforderungen – Metadata .....	17
Tabelle 6: Datenanforderungen - Forsteinrichtungszeilen .....	18
Tabelle 7: Beschreibung der Parameter einer Baumartenzeile .....	19
Tabelle 9 Überblick ausgewählter Satellitensystemen .....	20
Tabelle 10 Übersicht zu den WMS-Diensten der Bundesländer .....	20
Tabelle 11 Übersicht der Bestandesparameter .....	22
Tabelle 12 Einteilung der Wuchsklassen und die Definition der Kategorien .....	32

Tabelle 13 Definition der Mischformen .....	36
Tabelle 14: In 4 Schritten zum 3D-Modell und Orthomosaik.....	41
Tabelle 15: Informationen unterschiedlicher Bestandesblätter .....	80
Tabelle 16: Dokumentationsparameter des Naturalvollzugs.....	86

## I. Ziele

### 1 Aufgabenstellung

#### 1.1 Arbeitspaket 1

AP 1	Grundlagen	Status
AS 1.1	<b>Definition von Prozessen und Akteuren (UNI)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifikation von Kriterien zur Klassifikation der Besitzgröße und der organisatorischen Strukturen</li> <li>• Definition der räumlichen Einheiten (Bestand, Stratum, Betrieb) und Analyse deren Eignung als Inventur-, Planungs-, Kontrolleinheit</li> <li>• Identifikation der Akteure und deren Interaktionen</li> <li>• Definition und Quantifizierung der relevanten Prozesse zwischen den Akteuren</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Klassifikation von Besitzgröße und Identifikation der dazugehörigen Akteure sowie der jeweilig relevanten Prozesse und Produkte	
AS 1.2	<b>Mathematische Grundlagen (FFK, NW-FVA)</b>	
AS 1.2.1	<b>Erarbeitung Inventurgrundlagen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der forstfachlichen Anforderungen an ein Inventursystem</li> <li>• Analyse der rechtlichen Anforderungen</li> <li>• Analyse der anwenderspezifischen Anforderungen</li> <li>• Ableitung der mathematischen/statistischen Anforderungen</li> <li>• Analyse und Beschreibung möglicher Anwendungsbereiche</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Anforderungen an das neue Inventurverfahren (Pflichtenheft)	
AS 1.2.2	<b>Entwurf eines Inventurverfahrens</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Inventurparameter</li> <li>• Entwicklung des flächigen Inventurverfahrens auf Grundlage von UAV-Luftbildern</li> <li>• Entwicklung des stichprobenbasierten Inventurverfahrens auf Grundlage von Laserscanner-Daten</li> <li>• Verschneidung beider Systeme</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Beschreibung Inventurverfahren	
AS 1.3	<b>Alternative Methoden &amp; Konzepte der WZE mit Fernerkundung (IABG)</b>	
AS 1.3.1	<b>Voruntersuchung</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automatische/Semi-automatische Waldeinteilung und Bestandesabgrenzung auf optischen Fernerkundungsaufzeichnungen verschiedener Herkunft</li> <li>• Ableitung von Bestandesparametern (u.a. Bestandesdichte, Mischungs-anteile)</li> <li>• Analyse von Bildzeitreihen zur automatischen Erkennung von signifikanten Waldveränderungen</li> <li>• Qualität und Verfügbarkeit kostenloser Bildaufzeichnungen</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Stand der Forschung	
AS 1.3.2	<b>Verfahrensentwicklung</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung und Anpassung geeigneter Bildklassifikations- und Analyseverfahren für verschiedene Bestandestypen</li> </ul>	erl.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adjustierung, Verbindung mit terrestrischen Daten, Regionalisierungsalgorithmen</li> <li>• Erzeugung von thematischen Karten als GIS-Layer nach Bestandestypen, Pflegebedürftigkeit u.a.</li> <li>• Vorschläge zur Integration in Forsteinrichtungsverfahren</li> <li>• Wirtschaftlichkeitsanalyse</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	WZE Waldeinteilung und Bestandestypenkarte	
<b>AS 1.4</b>	<b>Vorstudien Geoinformatik (INT)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemzugang</li> <li>• Identifikation der Flurstücke</li> <li>• Geoinformationen der Flurstücke (Wald, Größe, Hangneigung, Wegenetz, Klima, Rettungspunkte)</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Flurstückinformationen	
<b>AS 1.5</b>	<b>Vorstudien UAV und Laserscanning (FFK)</b>	
<b>AS 1.5.1</b>	<b>Voruntersuchung &amp; Planung UAV</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der Anforderungen an das Flugsystem inklusive Auslegung der Elektronik</li> <li>• Analyse der Anforderungen an die Sensorik</li> <li>• Analyse der Anforderungen an die Software (Flugsteuerung, Steuerung Sensorik, Bildaufzeichnung)</li> <li>• Analyse des technischen Standes der Baumartenerkennung</li> <li>• Evaluierung möglicher Einbindungsstrategien in bestehende Datensysteme</li> <li>• Analyse und Beschreibung der möglichen Umweltbedingungen und Einflussfaktoren auf die Messungen</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Aktuelle hard- und softwaretechnische Anforderungen (Pflichtenheft)	
<b>AS 1.5.2</b>	<b>Voruntersuchung &amp; Planung Laserscanning</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der Anforderungen an das Scansystem</li> <li>• Marktanalyse vorhandener Sensorik / Vergleich zur bekannten Technik</li> <li>• Analyse des technischen Standes der Baumartenerkennung mittels bodengebundener Sensorik</li> <li>• Evaluierung möglicher Einbindungsstrategien in bestehende Datensysteme</li> <li>• Analyse und Beschreibung der möglichen Umweltbedingungen und Einflussfaktoren auf die Messungen</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Aktuelle hard- und softwaretechnische Anforderungen (Pflichtenheft)	
<b>MS 1</b>	<b>Grundlagen analysiert</b>	

Tabelle 1: Arbeitspaket 1

## 1.2 Arbeitspaket 2

<b>AP 2</b>	<b>Übergeordnete Konzeption</b>	<b>Status</b>
<b>AS 2.1</b>	<b>Analyse des Informationsbedarfs (UNI)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifikation und Analyse von Ebenen des Informationsbedarfs der verschiedenen Akteure</li> <li>• Zuordnung des Informationsbedarfs (Inventur, Planung, Kontrolle) in die identifizierten Ebenen</li> <li>• Analyse des Informationsgrades abhängig von der Besitzgröße</li> <li>• Klassifikation der Informationen</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Akteur spezifische Informationsbedürfnisse sind bestimmt und klassifiziert	

<b>AS 2.2</b>	<b>Applikationen &amp; Schnittstellen (NW-FVA)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenergänzung für forstliche Inventurerhebungen</li> <li>• Zuwachsschätzung in Rein- und Mischbeständen auf Basis des Waldwachstumssimulators der NW-FVA</li> <li>• Zuwachsschätzung in Rein- und Mischbeständen auf Basis von Ertragstafeln</li> <li>• Durchforstungsempfehlungen</li> <li>• Empfehlungen zur Baumartenwahl</li> <li>• Schätzung der Sortimentsmengen im verbleibenden und ausscheidenden Bestand</li> <li>• Bewertung des stehenden Vorrats</li> <li>• Schätzung von Biomasse in verbleibendem und ausscheidendem Bestand sowie in Kompartimenten</li> <li>• Schätzung von Nährstoffen in verbleibendem und ausscheidendem Bestand sowie in Kompartimenten</li> </ul>	<p>erl. erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl. erl.</p> <p>erl. erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Aussagen zur Inventur	
<b>AS 2.3</b>	<b>Planungsunterstützung mit GIS (IABG)</b>	
<b>AS 2.3.1</b>	<b>Voruntersuchung</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse und Dokumentation des Informationsbedarfs</li> <li>• Identifikation von geeigneten Algorithmen der raumbezogenen Datenverarbeitung in der Planungsunterstützung (u.a. topologische, netzwerkanalytische und geostatistische Algorithmen)</li> </ul>	<p>erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Informationsbedarf & Algorithmen	
<b>AS 2.3.2</b>	<b>Verfahrensentwicklung</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau eines Testdatenbestandes zur Simulation von Algorithmen und Funktionen als Planungshilfen u.a. <ul style="list-style-type: none"> <li>o Hangneigung</li> <li>o Hangexposition</li> <li>o Höheninformation</li> <li>o Flussverläufen</li> </ul> </li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Algorithmen und Verfahren implementiert und lauffähig	
<b>AS 2.4</b>	<b>Automatisierung, Verfahrensanweisungen &amp; Produktkatalog (FFK)</b>	
<b>AS 2.4.1</b>	<b>Analyse der Anforderungen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der Anforderungen an Bestandesdatenblätter/Revierbuch</li> <li>• Analyse der Anforderungen an Waldeinteilung und Kartenwerke</li> <li>• Analyse der Anforderungen an Betriebsstatistiken und Übersichten</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Erstellung eines Anforderungskatalogs/Pflichtenheft	
<b>AS 2.4.2</b>	<b>Prozessmethodik, Routinen, Verfahrensanweisungen</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung der Prozessmethodik für die Erstellung der Waldeinteilung und Kartenherstellung</li> <li>• Erstellung der Algorithmen für die Berechnung der Sekundärparameter und Erstellung der Bestandesdatenblätter / des Revierbuchs</li> <li>• Erstellung der Algorithmen für die Berechnung der Betriebsauswertungen</li> <li>• Entwicklung der Routinen für Kartenerstellung</li> <li>• Entwicklung der Routinen zur Erstellung des Revierbuchs</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung der Routinen zur Erstellung der Betriebsauswertungen</li> <li>• Erstellung der Verfahrensanweisung für Kartenerstellung</li> <li>• Erstellung der Verfahrensanweisung zur Erstellung des Betriebswerkes</li> <li>• Erstellung des Produktkatalogs</li> </ul>	<p>erl. erl.</p> <p>erl. erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Verfahrensanweisung und Produktkatalog	
<b>AS 2.5</b>	<b>Methodenentwicklung, Konstruktion (FFK)</b>	
<b>AS 2.5.1</b>	<b>UAV</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methodische Untersuchungen zur technischen Realisierung</li> <li>• Festlegung des Produktdesigns</li> <li>• Festlegung der Hardwareanforderungen für das System</li> <li>• Festlegung der Softwareanforderungen zur Hardwaresteuerung / Bildauswertung und Ergebnisvisualisierung</li> <li>• Entwicklung eines Testverfahrens zur Validierung der Ergebnisse inklusive Testszenarien</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Methodik zur technischen Umsetzung, Hardwarekonstruktionen, Softwarearchitektur	
<b>AS 2.5.2</b>	<b>Laserscanning</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methodische Untersuchungen zur technischen Realisierung</li> <li>• Festlegung der Hardware-/ Softwareauslegung</li> <li>• Festlegung des Begangverfahrens</li> <li>• Festlegung der Softwareanforderungen zur Hardwaresteuerung / Bildauswertung und Ergebnisvisualisierung</li> <li>• Aufstellung eines Testverfahrens zur Validierung der Ergebnisse inklusive Testszenarien</li> </ul>	<p>erl. erl. erl.</p> <p>erl.</p> <p>erl.</p>
<b>Ziel</b>	Methodik zur technischen Umsetzung, Hardwarekonstruktionen, Softwarearchitektur	
<b>AS 2.6.</b>	<b>Übergeordnetes IT-Architekturkonzept (INT)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IT-Architekturkonzept</li> <li>• Datenmodell Primärdaten</li> <li>• Datenmodell für Analyse &amp; Interpretation</li> <li>• Integrationskonzept Fremdsysteme</li> <li>• Schnittstellen</li> <li>• Datenvalidierung</li> <li>• Qualitätssicherung</li> <li>• Dokumentation</li> <li>• Verwertungskonzept</li> <li>• Businessmodell</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Systemkonzept	
<b>MS 2</b>	<b>Übergeordnete Konzeption erstellt</b>	

Tabelle 2: Arbeitspaket 2

### 1.3 Arbeitspaket 3

<b>AP 3.</b>	<b>Systementwicklung</b>	
<b>AS 3.1</b>	<b>Herstellung Komponenten, Systemintegration UAV (FFK)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung des Flugsystems (Fluggerät, Steuerungssensorik, Bodenstation, Elektronik, Steuerungssoftware)</li> <li>• Entwicklung modular nutzbarer Sensorik, inklusive Datenspeicherung /</li> </ul>	<p>erl.</p> <p>erl.</p>

	-übertragung und -auswertung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung Algorithmen Datenauswertung und -bereitstellung</li> <li>• System-Integration Flugsystem / Sensorsystem / System zur Datenauswertung</li> </ul>	erl. erl.
<b>Ziel</b>	Versuchsmuster Gerätesystem / Softwaretools / Auswertalgorithmen	
<b>AS 3.2</b>	<b>Herstellung Komponenten, Systemintegration Laserscanning (FFK)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung des Scansystems (Scanner, Planung und Durchführung Begang, Softwaregestaltung, Umwelteinflüsse)</li> <li>• Entwicklung der Algorithmen zur Datenauswertung und -bereitstellung</li> <li>• System-Integration Scansystem / System zur Datenauswertung</li> </ul>	erl. erl.
<b>Ziel</b>	Versuchsmuster Gerätesystem / Softwaretools / Auswertalgorithmen	
<b>AS 3.3</b>	<b>Web-Services (NW-FVA)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überführung und Ausgestaltung der vorhandenen Programme in Web-Services</li> <li>• Entwicklung einer interaktiven Oberfläche zur einfachen Nutzung der Web-Services.</li> </ul>	erl. erl.
<b>Ziel</b>	Bereitstellung und Front End Web Services	
<b>AS 3.4</b>	<b>Technische Implementierung (INT)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition Grafisches User Interface</li> <li>• Erfassungsmasken</li> <li>• Funktionen &amp; Datenspeicherung</li> <li>• Implementierung der Schnittstellen zu den Diensten (mit NW-FVA)</li> <li>• Rückgabeschnittstelle</li> <li>• Definition des Berichtswesens</li> <li>• Umsetzung der Ausgabeformate</li> <li>• Datenaufnahme</li> <li>• Funktionalitäten</li> <li>• Datenausgabe</li> <li>• Dokumentation</li> </ul>	erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl. erl.
<b>Ziel</b>	Prototyp Demonstrator	
<b>AS 3.5</b>	<b>Systemtest (UNI, IABG, FFK, Praxispartner)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Test des Demonstrators &amp; der Web-Services</li> </ul>	erl.
<b>Ziel</b>	Fehlerdokumentation	
<b>MS 3</b>	<b>Demonstrator &amp; Web-Services getestet</b>	

Tabelle 3: Arbeitspaket 3

#### 1.4 Arbeitspaket 4

<b>AP 4</b>	<b>Softwaretest, QS &amp; Usability</b>	
<b>AS 4.1</b>	<b>Verifizierung des Verfahrens (FFK)</b>	
<b>AS 4.1.1</b>	<b>Genauigkeit &amp; Vergleichsverfahren UAV &amp; LS</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung der Methodik zur Prüfung der geometrischen Genauigkeit und Positionsbestimmung</li> <li>• Entwicklung der Methodik zur Prüfung der Genauigkeit der Baumartenbestimmung sowie Bestandesstrukturparameter</li> </ul>	erl. erl. erl.

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung der Methodik zur Prüfung Genauigkeit der dendrologischen Parameter</li> <li>• Auswahl des geeigneten praxisüblichen Vergleichsverfahrens</li> <li>• Entwicklung der Methodik für Vergleich beider Verfahren</li> <li>• Entwicklung der Methodik zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen</li> </ul>	<p>erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Vorgaben zum Verifizierungsbericht UAV & LS	
<b>AS 4.1.2</b>	<b>Piloterprobung, Verifizierung, Wirtschaftlichkeitsanalyse UAV &amp; LS</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl geeigneter Referenzflächen/Betriebe</li> <li>• Praktische Durchführung des Verfahrens im Pilot-Betrieb</li> <li>• Erstellung der Produkte für ausgewählte Referenzobjekte</li> <li>• Durchführung der Vergleichs-Aufnahmen</li> <li>• Verifizierung der absoluten Genauigkeit</li> <li>• Vergleichsanalyse zum bestehende Praxisverfahren</li> <li>• Wirtschaftlichkeitsanalyse</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Verifizierungsbericht UAV & LS	
<b>AS 4.2</b>	<b>Dokumentation des Vollzuges (UNI)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der von etablierten Kennzahlen und Ebenen der Vollzugsdokumentation</li> <li>• Entwicklung von Anforderungen an eine effiziente Vollzugsdokumentation</li> </ul>	<p>erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Handlungsempfehlungen und Kennzahlen für Dokumentation und Analyse des Vollzuges.	
<b>AS 4.3</b>	<b>Durchführung der Revision (INT)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisionszenarien</li> <li>• Umsetzung der Revision</li> <li>• Dokumentation</li> <li>• Durchführung der Revision</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Abschluss Revision	
<b>AS 4.4</b>	<b>Abschließender Systemtest NW-FVA, IABG</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testen der Applikation und der Web Services</li> <li>• Vorstellung der Web Services in einer gemeinsamen Beispielanwendung mit den anderen Projektpartnern in automatisierter Form</li> <li>• Praxistest des Gesamtsystems</li> <li>• Anwendungsdokumentation</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Freigabe Applikation & Web Services	
<b>AS 4.5</b>	<b>Abschließender Test &amp; Qualitätssicherung UAV &amp; LS (FFK)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfung der Systemkonfiguration in praxisnahen Versuchsreihen an ausgewählten Testflächen</li> <li>• Datenverschnitt mit den UAV-Daten (TP A)</li> <li>• Auswertung der Testreihen und Defizitanalyse (Datenvergleich TP E)</li> <li>• Finale Entwicklung</li> </ul>	<p>erl. erl. erl. erl.</p>
<b>Ziel</b>	Getestetes Hardware-Software-Datenanalyse-System	

<b>MS 4</b>	<b>Systemkomponenten getestet und freigegeben</b>	
-------------	---	--

Tabelle 4: Arbeitspaket 4

## 2 Stand der Technik

Der Stand der Technik wurde im Antrag ausführlich beschrieben. Insgesamt lässt sich für kleinere und mittlere Forstbetriebe festhalten:

- Waldbewirtschaftung im Nichtstaatswald ist häufig ineffizient und suboptimal organisiert. Besondere Herausforderungen bestehen hier durch Fehlbestockung, Pflegerückstände, verteilten Hiebsanfall und mangelhafte Erschließung.
- Veränderte Rechtslage in der Privatwaldbetreuung sorgt für Verunsicherung; teilweise bestehen noch unklare Rahmenbedingungen für die administrativ-fachliche Unterstützung des Privatwaldes.
- Probleme bestehen insbesondere in der Informationsverfügbarkeit und Informationsbereitstellung mit der Folge ineffizienter und ineffektiver Gestaltung von Prozessen und Abläufen.
- Die Anforderungen der Gesellschaft an den Wald wachsen: Ansprüche der Allgemeinheit, verstärkte Nachfrage nach Holz, Klimawandel, Ökosystemdienstleistungen, Gebot der Nachhaltigkeit.
- Traditionelle forstliche Planungssysteme für diese Zielgruppe sind methodisch wie technisch veraltet.
- Der Informations- und Steuerungsbedarf in kleinen und mittleren Forstbetrieben ist umstritten, es existieren kaum formelle Informationsbedarfsanalysen oder Informationsbewertungen, gescheut werden bereits die Kosten der Informationsbereitstellung.
- Moderne IuK-Technik steht zur Verfügung: Portaltechnologie, mobile Kommunikation, Raumbezogene Datenverarbeitung. Zahlreiche Methoden und Techniken zur Bereitstellung von „Location based“ Informationen sind verfügbar, die aber bislang im forstlichen Umfeld eher zögerlich eingesetzt und vielfach nur als Insellösungen genutzt werden.
- Moderne Verfahren und Methoden im Ressourcenmanagement wie „Adaptives Management“ oder „Operations Research“ (OR) sind zwar verfügbar, aber bislang für diese Zielgruppe nicht praktikabel.

### **3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen**

Im Projektverlauf kam es immer wieder zum Austausch mit den assoziierten Partnern. Ein intensiverer Austausch fand mit dem Projekt iWald statt. Des Weiteren fanden Abstimmungsgespräche mit Projekt Wald-wird-mobil sowie mit dem Waldbesitzerverband Thüringen statt.

Mit HessenForst erfolgten die Abstimmungen bezüglich Anforderungen der Privatwaldbesitzer und der Wald besitzenden Kommunen (insb. Kommunen die nur kleine Waldflächen besitzen können mit den bisherigen Verfahren der Forsteinrichtung nicht wirtschaftlich arbeiten)

Die Firma HOFOS GmbH bewirtschaftet und betreut mehrere private Forstbetriebe Deutschlandweit und brachte im Rahmen mehrerer Konsultationen und Ergebnis-Auswertungen als Assoziierter Partner die Anforderungen der privaten Waldbesitzer und forstlicher Dienstleister in das Projekt. Alle im Projekt entwickelte Produkte wurden in einem realen Forstbetrieb, welcher durch die HOFOS GmbH betreut wird getestet.

## **II. Ergebnisse**

### **1 Erzielte Ergebnisse**

#### **1.1 Allgemeines**

Im gesamten Projektverlauf oblag INTEND als Konsortialführer die Leitung des Vorhabens. Bis zum März 2020 wurden Projekttreffen abwechselnd an den Standorten der einzelnen Partner durchgeführt. Aufgrund der Pandemie wurde ab März 2020 alle Treffen im Rahmen von Videokonferenzen durchgeführt, für die INTEND die Technik bereitstellte. INTEND war für die interne und externe Kommunikation verantwortlich.

Im Rahmen der einzelner Arbeitspakete fanden zudem zahlreiche Abstimmungen/Beratungen auf Arbeitsebene statt.

Gemeinsam haben die Projektpartner auftretende Schwierigkeiten in gegenseitiger Absprache gelöst. So konnte das Ausscheiden der Firma Rucon aus dem Verbund durch die Übernahme dieses Arbeitspaketes durch Thüringen Forst kompensiert werden. Das Arbeitspaket der HAWK wurde nach deren Ausscheiden nach entsprechender Ausschreibung auf die IABG übertragen (siehe Vergabebericht vom 02.10.2019).

Die gestellten Aufgaben konnten im Projektverlauf erledigt werden.

## **1.2 Arbeitspaket 1**

### **1.2.1 AS 1.1 Definition von Prozessen und Akteuren (UNI)**

Die Arbeit an dem genannten Verbundvorhaben konnte statt zum 01.08.2018 erst zum 01.11.2018 durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter aufgenommen werden. Dadurch ergibt sich in Bezug auf die ursprüngliche Arbeits-, Zeit- und Ausgabenplanung ein Verzug um drei Monate.

#### **Kriterien zur Klassifikation der Besitzgröße**

Orientierung an Bundeswaldinventur (BWI3) und verschiedenen Testbetriebsnetzen.

Stratifizierung der Besitzgrößen erfolgt nach den Klassen <20 ha, 20-50 ha, 50-100 ha, 100-200 ha, 200-500 ha, 500-1.000 ha, >1.000 ha.

Testbetriebsnetze Forst orientieren sich weitestgehend an Stratifizierung der BWI3.

Testbetriebsnetze Forst in Baden-Württemberg, Bayern und Brandenburg erheben u.a. Daten zu Größe, Mitgliedschaften in forstlichen Zusammenschlüssen und anderen organisatorischen Strukturen. Bspw. Bayern weist einen sehr hohen Organisationsgrad des Kommunal- und Privatwaldes auf (>90 %).

#### **Definition der räumlichen Einheiten und Analyse deren Eignung als Inventur-, Planungs- und Kontrolleinheit**

Der Bestand stellt die kleinste Inventureinheit dar. Er unterscheidet sich naturräumlich meist eindeutig von anderen Einheiten und stellt ein allgemein geläufiges Instrument der Bewirtschaftung, welches für die flächenbezogene Planung und Kontrolle gut geeignet ist, dar.

Das Stratum wurde als Synonym der Betriebsinventur definiert. Es bietet einen hohen Genauigkeitsergebnis, ist allerdings nur für größere Betriebe, welche eine inhomogene Struktur aufweisen oder andere Formen als die vergleichsweise kleine Größe eines Bestandes als Planungseinheit nutzen wollen geeignet.

Der Betrieb wurde als übergeordnete Größe für Planung und Kontrolle identifiziert. Als lokale Inventur-, Planungs- und Kontrolleinheit ist der Betrieb ggf. zu groß. Wichtige Details der Planung auf Bestandesebene können nicht auf der Betriebsebene erfasst werden.

#### **Akteure und deren Interaktionen**

Als Akteure wurden die Waldeigentümer, deren mögliche (staatliche und private) Betreuer und Lohnunternehmer identifiziert. Insbesondere zwischen dem Eigentümer und Betreuer wurden die forstbetrieblichen Prozesse der waldbaulichen Planung, der Holzernte und Fördermittelbeantragung ermittelt. Dafür wurden die Ergebnisse der Forsteinrichtung als Grundlage identifiziert. Die Forsteinrichtung zeigt als mittelfristige Planung die notwendigen Arbeitsschritte an und bietet gleichzeitig den im Rahmen von Fördermittelprogrammen

geforderten Flächennachweis. Zudem ist das FE-Werk für die (vergünstigte) Besteuerung des Betriebes bzw. dessen Erträge notwendig.

### **Forstliche Informationssysteme**

Zur Quantifizierung und qualitativen Einordnung verschiedener forstlicher Informationssysteme wurde eine umfassende Liste aktuell verfügbarer Informationssysteme erstellt. Demnach existiert eine Vielzahl an forstlichen Informationssystemen. Viele dieser Systeme stellen sogenannte Insellösungen dar. Sie können also nur bestimmte Aufgabenbereiche abdecken und sind i.d.R. nicht mit anderen Systemen kompatibel. Ein vielversprechender Ansatz findet sich im britischen System „myForest“ und hier insbesondere im „myForest woodland manager“.

### **Flurstück**

Flurstücke stellen die katastergenaue Lage der Grundstücke dar. Die Kenntnis der Lage und Eigentumsgrenzen ist die Basis für das forstbetriebliche Flächenmanagement. Flurstücke dienen somit als Grundlage der forstlichen Inventur und Planung. Die (günstige,) digitale Verfügbarkeit der Flurstücke sowie deren Implementation sind somit für den Erfolg des Verbundvorhabens entscheidend.

Viele Bundesländer haben die Flurstücksdaten bereits veröffentlicht. Im Rahmen der Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie ist EU-weite Veröffentlichung der Flurstücksinformationen flächendeckend zu erwarten.

## **1.2.2 AS 1.2 Mathematische Grundlagen (NW-FVA, FFK)**

Mehrere Anwendergruppen wurden im INKA-Rahmenkonzept identifiziert, welche teilweise unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit und die Durchführung der Datenerhebung haben. Im Kleinprivatwald wird die Datenerhebung im Rahmen eines Waldbegangs mit wenigen Messungen und okularen Schätzungen durchgeführt. In größeren Betrieben können mittels einer Stichprobeninventur effizient genauere Daten erhoben werden. Jedoch wird für INKA ein möglichst bedarfsgerechtes stringentes Verfahren angestrebt, wobei nicht vorliegende Daten mit vorhandenen Funktionen und Modellen ergänzt werden müssen.

Grundsätzlich erfolgt die Bewirtschaftung im Forstbetrieb auf Basis mehrjähriger Betriebspläne (periodische Planung) und jährlichen Wirtschaftsplänen. Die Anforderungen an die Form und Aufstellung der Betriebspläne unterscheiden sich zwar je nach Bundesland, Besitzart und Größe des Forstbetriebes, allerdings gibt die Richtlinie für die Bemessung von Nutzungssätzen nach §34b EStG notwendige Angaben vor, die ein Betriebsplan enthalten sollte. Demnach sind für jeden Bestand die Flächengröße, die Baumart(en), der Flächenanteil der Baumart(en), das Alter, die Ertragsklasse(n) und der Bestockungsgrad anzugeben sowie der Vorrat und der Zuwachs nach Baumart und Ertragsklasse zu ermitteln.

Als Grundlage für die Betriebsplanung, brauchen Forstbetriebe verlässliche, möglichst aktuelle Daten, die den Ist-Zustand eines Bestandes hinreichend genau beschreiben. Dafür werden vorrangig Angaben zu den Baumarten und deren Mischung sowie zum Holzvorrat benötigt. Holzerntemengen und Zuwachs sollten mittelfristig ausgeglichen sein. Die geforderten strukturierten und/oder nicht gleichaltrigen Mischbestände machen eine Beschreibung in Schichten notwendig. Für den Flächenbezug muss die Holzbodenfläche eines Bestandes abzüglich Blößen und Wege bekannt sein, um weitere Größen korrekt ermitteln zu können. Während der Ist-Zustand Informationen zum stehenden Bestand enthält, werden für die Planung von forstlichen Maßnahmen darüber hinaus Informationen über den Zuwachs und die Entwicklung des zukünftigen Vorrates benötigt. Art und Umfang von Pflegemaßnahmen, die den Zuwachs und die Qualität eines Bestandes erhöhen können, sind maßgeblich von der aktuellen Bestandesdichte sowie deren Änderung abhängig. Dieser Informationsbedarf wird durch die Datenanforderungen einer Forsteinrichtung gedeckt.

Aus dem vorherigen Abschnitt lässt sich erkennen, dass der Umfang an Endnutzerdaten, die eine Betriebsplanung ermöglichen, relativ groß ist. Allerdings sind die mindestens notwendigen Informationen Angaben zur Baumart, der Schichtung, zur Baumhöhe oder Bonität und dem Baumalter sowie der Holzbodenfläche und Bestandesdichte. Weitere Größen wie Bestockungsgrad, Vorrat, Mischungsanteil, Zuwachs und Nutzungsmengen können daraus abgeleitet oder modelliert werden. Ausschlaggebend für die Anwendung eines bestimmten Verfahrens ist die Datenqualität. Für die notwendige Volumenberechnung können im Fall von Einzelbaumdaten Volumen- bzw. Formzahlfunktionen mit den Eingangsgrößen BHD und Baumhöhe verwendet werden. Aus aggregierten Bestandesdaten wie Bestandesgrundfläche und Oberhöhe kann das Bestandesvolumen mittels tabellarisierter Formhöhen bestimmt werden. Weiterhin ist die Volumenbestimmung mittels Bonität bzw. Ertragsklasse, Bestockungsgrad und einer klassischen Ertragstafel möglich. Es können aber auch mit Hilfe von waldwachstumskundlicher Software und darin hinterlegten Funktionen Einzelbauminformationen generiert werden. Zuwachsberechnungen sind ebenfalls, je nach Datenqualität, auf Basis von Wachstumsfunktionen und waldbaulichen Simulationen oder auf Grundlage von Ertragstafeln möglich. Fehlerbetrachtungen wie bei Stichprobeninventuren sind allerdings in den allermeisten Fällen nicht durchführbar.

Das für das Projekt erarbeitete Dateneingabemodell wird sowohl dem im INKA-Rahmen verwendeten Wachstumssimulator als auch den Informationsbedarf der Zielgruppe des Projektes gerecht. Das Dateneingabemodell gliedert sich in die Bestandesmetadaten und die Beschreibung der Bestockung in einzelnen Zeilen je Schicht, Baumart und -alter. Die Metadaten enthalten unter anderem Information zur Lage des Bestandes, das Aufnahmejahr und eine eindeutige ID. Die einzelnen Zeilen beschreiben die Bestockung über Parameter wie Alter, Dichte, Bonität und verschiedene Dimensionsangaben. Tabelle 5 beschreibt die möglichen Metadatenparameter.

Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald,  
Schlussbericht

Parameter	Spaltenname	Typ/Einheit	obligatorisch	Bemerkungen
Eindeutige ID	ID	Integer	ja	Jede Zeile eines einzelnen Bestandes erhält dieselbe ID
Jahr der Aufnahme	JAHR	Integer [Jahr]	ja	
Rechtswert/ Easting/Longitude	KOORD_X	[m] / [Grad]	nein	Die meisten der gängigen Koordinatensysteme werden unterstützt.
Hochwert/Northing/Latitude	KOORD_Y	[m] / [Grad]	nein	
Geländehöhe	HNN	[m]	nein	
Größe des Bestandes	HA	[Ha]	nein	Zzt. in der API nicht verwendet, da alle Ausgaben auf ein Hektar bezogen werden.
Projektionssysteme	EPSG	Integer	bedingt	Wenn Koordinaten, dann <b>Pflicht</b> .  Der entsprechende EPSG Code für die eingegebenen Koordinaten. Eingegebene Koordinaten werden intern in EPSG 25832 umgerechnet.

Tabelle 5: Datenanforderungen – Metadata.

In Tabelle 6 sind die erarbeiteten Datenanforderungen für die einen Bestand beschreibenden Forsteinrichtungszeilen aufgeführt. Dabei können einige Parameter durch ein oder mehrere andere Parameter substituiert werden. So kann z. B. Die Grundfläche (G) direkt angegeben werden oder aber anhand einer Bonität (EKL oder LKL) und dem Bestockungsgrad (BGRAD) aus einem Ertragstafelwerk abgeleitet werden.

Parameter je Baumartenzeile	Spaltenname	obligatorisch	Bemerkungen
Ertragstafel-Index	TAFEL_ID	nein	
Schicht	SCHICHT	nein	
Baumart	BA_CODE_NDS	bedingt	Entweder BA_CODE_NDS oder BA_CODE_BWI
	BA_CODE_BWI	bedingt	
Alter	ALTER	ja	
Durchmesser des Grundflächenmittelstamms	DG	ja	bei Verjüngung unter Derbholz -9
Deckungsgrad der Verjüngungsschicht	VERJ_PROZENT	nein	
Höhe des Grundflächenmittelstamms	HG	bedingt	oder EKL / LKL
Maximaler BHD	DMAX	nein	
Hektarvorrat	VORRAT	bedingt	oder G / BGRAD
Grundfläche	G	bedingt	Oder VORRAT / BGRAD

Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald,  
Schlussbericht

Bestockungsgrad	BGRAD	bedingt	BGRAD dann auch EKL / LKL
Ertragsklasse	EKL	bedingt	
Leistungsklasse	LKL	bedingt	

Tabelle 6: Datenanforderungen - Forsteinrichtungszeilen

Zusammen mit der FFK wurde die Datenstruktur für die Wald-Inventurdaten und die mathematische Basis der Algorithmen zur Berechnung der abgeleiteten Bestandeswerte erarbeitet (Tab. 7).

Spaltenname	Beschreibung	Typ	Einheit
ID	Eindeutige Bestandes-ID. Falls ein Bestand mehrere Zeilen enthält (Mischbestände und/oder mehrschichtige Bestände), erhält jede Zeile dieselbe ID.	integer	Ohne Einheit
JAHR	I.d.R. das Jahr der Datenerhebung.	integer	[Jahr]
SCHICHT	Am Bestandaufbau beteiligte Schichten nach ihrer wirtschaftlichen Bedeutung <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>1 = Hauptbestand</b> – Wirtschaftlich bedeutendste Schicht</li> <li>• <b>2 = Nachwuchs</b> - Jungbäume von 30 cm Höhe bis zum 7 cm Durchmesser.</li> <li>• <b>3 = Unterstand</b> – Unter dem Hauptbestand wachsende Bäume</li> <li>• <b>4 = Überhalt</b> - Altholzschirm oder wenig alte Bäume über dem Hauptbestand</li> </ul>	integer	Ohne Einheit
ALTER	Das Alter der Bäume einer Art in der jeweiligen Schicht.	integer	[Jahre]
BA_CODE_NDS	Baumartennamen nach dem niedersächsischen Baumartenschlüssel, z.B. Buche = 211	integer	
DG	Kreisflächenmittelstamm, auch Durchmesser des Grundflächenmittelstammes genannt. Ergibt sich aus der mittleren Grundfläche aller Bäume eines Bestandes/einer Schicht und Baumart.  $d_g = 2 \times \sqrt{\frac{\hat{g}}{\pi}} \quad d_g = 2 \times \sqrt{\frac{\hat{g}}{\pi}}$ wobei $\hat{g}$ die mittlere Grundfläche $\hat{g} = \frac{G}{N}$ ,  $d_i$ der Einzelbaum-BHD und N die zugrundeliegende Stammzahl ist.	integer	[mm]
VERJ_PROZENT	Deckungsgrad der Verjüngungsschicht.	integer	[%]
HG	Höhe des Kreisflächenmittelstammes, auch Höhe des Grundflächenmittelstammes genannt. Wird über dem entsprechenden Durchmesser aus einer Bestandeshöhenkurve abgelesen.	integer	[dm]
DMAX	Maximaler BHD eines Bestandes bzw. der Baumart in der jeweiligen Schicht. Der BHD ist der Stammdurchmesser in Brusthöhe (1,3 m) der einzelnen Bäume eines Bestandes.	integer	[mm]
VORRAT	Volumen des stehenden Bestandes, im allgemein als Kubikmeter Derbholz mit Rinde angegeben. Wird getrennt nach Baumart ermittelt.	double	[m³/ha]

G	Grundfläche pro Hektar, in der Summe über alle Zeilen auch Bestandesgrundfläche genannt. Summe der Bruthöhenstammquerschnittsflächen der Bäume eines Bestandes bzw. der Baumart in der jeweiligen Schicht.  $G = \frac{\pi}{40000} \sum_{i=1}^n d_i^2 \div \text{Bestandesfläche}[m^2]$ <i>Wobei d = BHD pro Stamm i</i>	double	[m <sup>2</sup> /ha]
BGRAD	Bestockungsgrad (B°) je Baumart und Schicht. Beschreibt das Verhältnis der tatsächlichen Grundfläche einer Art zu einem korrespondierenden Ertragstafelwert einer Baumart. $B^\circ = \frac{G}{G_{ET}}$	double	Ohne Einheit
EKL	Ertragsklasse. Ein relatives Maß für die Leistung eines Baumkollektivs. Es kann anhand des Bestandesalters und der hg ermittelt werden. Eingabe mit einer Nachkommastelle, z.B. 1.0	double	Ohne Einheit
LKL	Leistungsklasse. Durchschnittlicher Gesamtwuchs über das Leben eines Bestandes. Eingabe mit einer Nachkommastelle, z.B. 8.6	double	Ohne Einheit
MA	Mischungsanteil (%): der Anteil der einzelnen Baumarten im Bestand. Er wird anhand des Bestockungsgradanteils der Art und dem Gesamtbestockungsgrad des Bestandes ermittelt.  $\text{Mischungsanteil} = B^\circ_{\text{Art}} / B^\circ_{\text{Bestand}}$	double	[%]

Tabelle 7: Beschreibung der Parameter einer Baumartenzeile

### 1.2.3 AS 1.3 Alternative Methoden & Konzepte der WZE mit Fernerkundung (IABG/FFK)

#### AS 1.3.1 Voruntersuchung

Die IABG und FFK Gotha weisen langjährige Erfahrung in der Auswertung von Satellitenbilddaten und Orthofotos auf. In den letzten Jahren nahm der Forstkontext kontinuierlich zu, sodass sich unsere Expertise durch viele Projekten stetig vertiefte. Dieses Wissensspektrum sollte im INKA-Projekt genutzt und zusammengeführt werden. Aus vertraglichen Gründen begann die effektive Arbeit im Projekt erst Januar/ Februar 2020.

#### Qualität und Verfügbarkeit kostenloser Bildaufzeichnungen

Zum Start des Projektes wurde eine umfassende Internetrecherche durchgeführt, deren Ziel es war, einen Überblick der freiverfügbaren Daten zu erhalten. Zum einen kommen Satellitenbilder in Frage, zum anderen die im Zuge der INSPIRE-Richtlinie der Bundesländer frei zur Verfügung gestellten Daten, wie digitale Orthofotos (DOP), Geländemodelle (DGM) und Oberflächenmodelle (DOM) der Länder.

Die folgenden zwei Tabellen bieten einen Überblick über ausgewählte Satellitensysteme und die WMS-Dienste in Deutschland:

Satellitensystem	Finanzierung	Bodenauflösung	Wiederholrate
WorldView-3	Kommerziell	0,31 m bis 1,24 m	ca. 1 Tag
SkySat	Kommerziell	ca. 1 m	Mehrmalige tägliche Aufnahme möglich
PlanetScope	Kommerziell	ca. 3 m	ca. 1 Tag
Sentinel-2	Kostenfrei	10 m, 20 m und 30 m	5 Tage
Landsat 8	Kostenfrei	15 m, 30 m und 100 m	16 Tage

Tabelle 8 Überblick ausgewählter Satellitensystemen

Bundesland	DOP	DGM/ DOM
Baden-Württemberg	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Bayern	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Berlin	frei	frei
Brandenburg	bis 2010 frei, danach kostenpflichtig	frei
Bremen	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Hamburg	frei	frei
Hessen	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Mecklenburg-Vorpommern	frei	kostenpflichtig
Niedersachsen	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Nordrhein-Westfalen	frei	frei
Rheinland-Pfalz	DOP40 und 80 frei, sonst kostenpflichtig	DGM25 und 50 frei, sonst kostenpflichtig
Saarland	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Sachsen	frei	frei
Sachsen-Anhalt	DOP100 frei, sonst kostenpflichtig	frei
Schleswig-Holstein	kostenpflichtig	kostenpflichtig
Thüringen	frei	frei
Deutschland	Keine Angaben	DGM200 und 1000 frei, sonst kostenpflichtig

Tabelle 9 Übersicht zu den WMS-Diensten der Bundesländer

Die Rechercheergebnisse verdeutlichen eine sehr heterogene Datenlage:

- Die Sentinel-2 Satelliten erweisen sich als effizientester Sensor: Er hat mit 10m eine höhere räumliche Auflösung als der Landsat 8 und eine höhere Aufnahmewiederholrate (siehe **Tabelle 8**)
- Nicht in allen Bundesländern sind die Luftbild- und Geländedaten frei verfügbar. Der INKA-Kartendienst kann nur in Thüringen, Sachsen, Nordrhein-Westfalen, Hamburg und

Berlin voll umfänglich angeboten werden. In Sachsen-Anhalt und Brandenburg kann auf die Geländemodelle zugegriffen werden. Es ist allerdings zu erwarten dass diese Daten mittelfristig im Zuge der Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie europaweit kostenfrei angeboten werden.

- Die Befliegung der Länder für die Erzeugung von Luftbildern (DOP) findet in einem zwei bis drei Jahresrhythmus statt.
- OpenStreetMap (OSM) Dienste können zur Gewinnung von Zusatzinformationen eingesetzt werden (z. B. Straßen, Wege, Gewässer ...)

### **Automatische/ Semi-automatische Waldeinteilung und Bestandesabgrenzung auf optischen Fernerkundungsdaten verschiedener Herkunft**

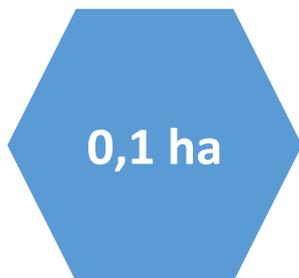
Von den Projektpartnern unter der Führung der FFK Gotha wurden folgende Anforderungen an die Produktentwicklung der IABG zusammengetragen:

- Die Informationen sollen möglichst aus **kostenlosen** Datenquellen stammen
- Die Informationen sollen **eigentümerunabhängig** gewonnen werden
- Die Informationen sollen **jährlich aktuell** sein
- Die Informationen sollen **automatisiert** gewonnen werden
- Die Informationen sollen auf **0,1 ha** genau sein

### **Auswertung von Sentinel 2 Daten**

Als Datenquelle für die jährliche Auswertungen wurden kostenfreie Sentinel 2 ausgewählt. Um die Datenmenge zu reduzieren und die Auswertungsergebnisse für den Nutzer handhabbar zu machen wurde von IABG die von der FFK Gotha konzipierte Auswerteeinheit – das Hexagon – verwendet.

Diese besitzen eine feste Größe von 0,1 ha und fassen 10 bis 12 Sentinel-2 Pixel zusammen.



Die Vorteile der Hexagone sind:

#### *Abbildung 1 Beispiel Hexagon als Auswerteeinheit*

- vollständige lückenlose Flächenabdeckung
- exakte Bezugsfläche (kreisnah, repräsentativer als quadratisch)
- räumlich stabil – zeitliche Veränderungen können ermittelt/dokumentiert werden
- gutes Daten-Handling
- geringster Informationsverlust

- Darstellung von kleinflächigen Veränderungen
- Solide Abrechnungsgrundlage
- Unabhängig von Wegeveränderungen
- Informationseinheit gröber als Datenauflösung: keine künstliche Genauigkeit → **belastbare Ergebnisse!**
- Eindeutige Zuweisung (ID-Nummer)
- Unabhängig vom Eigentümer

### Ableitung von Bestandesparametern (u.a. Bestandesdichte, Mischungsanteilen)

Für diese Analyse werden die DGM1 und DOM1 (Rasterdaten) der Bundesländer sowie wolkenfreie Bilder des Sentinel-2 Satelliten benötigt. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht, aus welchen Quellen die entsprechenden Informationen gewonnen werden können:

Bestandesparameter	Einheit	Bemerkung
<b>DGM1 und DOM1</b>		
Min Höhe	[m]	
Max Höhe	[m]	
HQ 90	[m]	
Kronenfläche	[m <sup>2</sup> ]	die Höhe, in der 90% der im Hexagon vorhandenen Bäume liegen
Bodenfläche	[m <sup>2</sup> ]	
Bedeckung	[%]	
Wuchsklasse	[Zahl]	
<b>Sentinel-2</b>		
Baumart	[%]	Dominanter Prozentanteil aus Baumart
Hauptbaumart	[Text]	
Nebenbaumarten	[Text]	Übriger Prozentanteil aus Baumart
Mischform	[Text]	Reinbestand/ Mischbestand
Walddtyp	[Text]	Laubwald/ Nadelwald/ Freifläche

*Tabelle 10 Übersicht der Bestandesparameter*

*(gewonnen aus Rasterdaten und Satellitenbildern)*

Unabhängig von der Hexagon Struktur können aus dem DGM1 Karten zur Hangneigung, Hangexposition und Höhenlinien abgeleitet werden. Aus einer Zeitreihenanalyse der Sentinel-2 Datenreihe sind signifikante Waldveränderungen detektierbar. Eine Ursache für die Veränderung ist bei der Auflösung von 10 m allerdings nicht erkennbar.

### **Analyse von Bildzeitreihen zur automatischen Erkennung von signifikanten Waldveränderungen**

Für die Analyse von Zeit-Datenreihen wird das Sentinel-2 Archiv genutzt. Es umfasst zeitnah die aktuellen Aufnahmen (<3Tage) und reicht bis in das Jahr 2015 zurück. Damit ist gewährleistet, dass alle Bilder die gleichen Standards aufweisen. Aus früheren Aufträgen lag der IABG bereits ein Algorithmus zur pixelgenauen Veränderungsdetektion vor. Er ist im Zuge des INKA-Projektes verbessert worden. Damit ist es möglich, **Veränderungsflächen ab 0,2 ha** sicher zu identifizieren.

Signifikante Veränderungen können durch Stürme, Trockenheit, Durchforstungen oder Schädlingsbefall entstehen. Da die Ursache nicht eindeutig in den Sentinel-2 Bildern zu erkennen ist, soll die Veränderungsdetektion zwei Mal jährlich vollautomatisiert durchgeführt werden. So kann man annähernd sicherstellen, dass im Frühjahr die Sturmschäden und Durchforstungen und im Sommer die Schäden durch Trockenheit, Schadinsekten und Durchforstungen erfasst werden.

Würde man Sommer und Winterbilder miteinander vergleichen, würde auch der jahreszeitliche Unterschied in den Laubwald- und den Lärchenbeständen als Veränderung dargestellt werden.

Folgende Parameter sind für eine fehlerfreie Analyse notwendig:

- Zwei wolkenlose Zeitschnitte zum selben Zeitpunkt mit einem Jahr Unterschied
- Waldmaske
- Laub-/ immergrüne Nadelwaldmaske
- Wege-Layer
- Gewässer-Layer



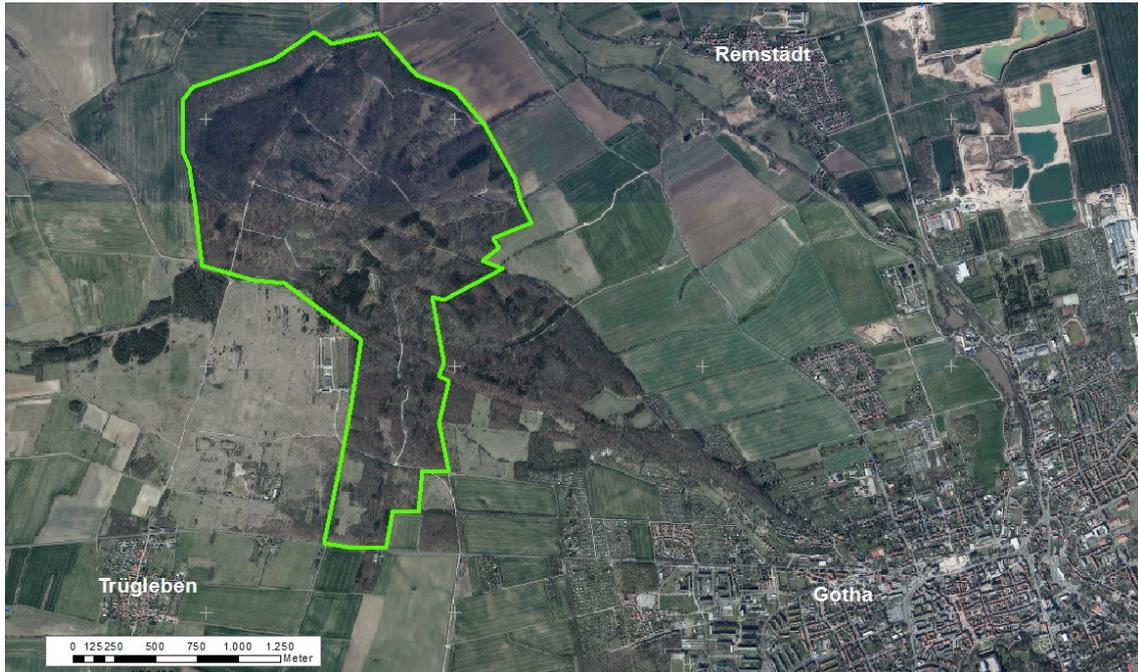
*Abbildung 2 Veränderungsdetektion(rot)  
(im Testgebiet Krahnberg. Wege (braun) aus dem OSM)*

Abb. 2 zeigt die Veränderungsanalyse im Gebiet Krahnberg basierend auf einer Sentinel2-Klassifikation. Der Algorithmus wurde großflächig und erfolgreich in Hessen angewendet. ThüringenForst/FFK Gotha verwendet den modifizierten Algorithmus bereits operativ zweimal jährlich für Kartierung der Kalamitäten.

### **AS 1.3.2 Verfahrensentwicklung**

Für die Verfahrensentwicklung wurde das Testgebiet Krahnberg nordwestlich von Gotha genutzt. Es handelt sich um Privatwald-Forstbetrieb, der vom assoziierten Projektpartner HOFOS GmbH bewirtschaftet wird. Für dieses Gebiet stellten das FFK Gotha und die HOFOS GmbH einen Auszug aus der Walddatenbank zur Verfügung.

Des Weiteren konnte die IABG zur Validierung der Ergebnisse die vom FFK erhobenen UAV – Daten sowie terrestrische Datenerhebungen der FFK und deren Auswertung nutzen.



*Abbildung 3 Lage des Testgebietes (grüne Umrandung)*

Zu beachten ist, dass das Testgebiet Krahnberg (Abbildung 3) in seiner Baumartenzusammensetzung (Abbildung 4) nicht repräsentativ für ganz Thüringen ist, da hier der Laubholzanteil gegenüber dem Nadelholz deutlich über dem landesweiten Durchschnitt liegt.

Das Gebiet ist für die Fragestellung jedoch besonders geeignet, da auf relativ kleiner Fläche nahezu alle in Thüringen vorkommenden Baumarten vorhanden sind.

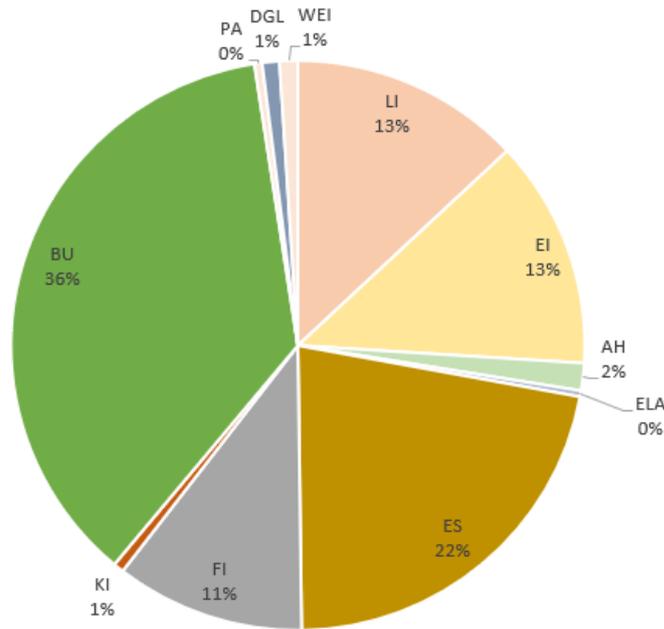


Abbildung 4 Baumartenzusammensetzung Krahnberg nach Ergebnissen der Waldbiotopkartierung

In der dritten Bundeswaldinventur für Thüringen stellt sich die Baumartenzusammensetzung ganz Thüringen folgendermaßen dar:

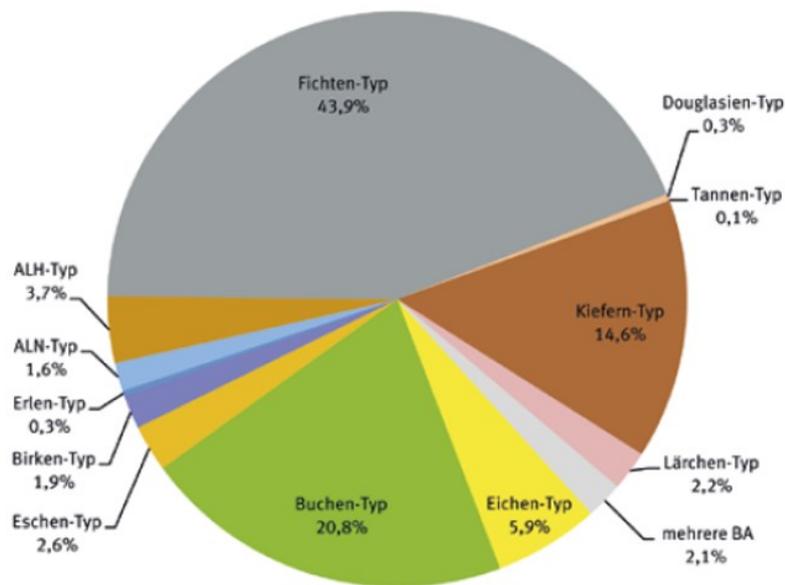


Abbildung 5 Baumartenverteilung gesamt Thüringen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BWI 3 im Freistaat Thüringen, Mitteilungsheft 34/2015  
INTEND Geoinformatik GmbH

Die zur Auswertung genutzten Skripte wurden in „R“ und „Python“ programmiert. Beide Programmiersprachen können über Schnittstellen problemlos miteinander kombiniert und in bestehende Forsteinrichtungssysteme integriert werden.

- **Entwicklung und Anpassung geeigneter Bildklassifikations- und Analyseverfahren für verschiedene Bestandestypen**

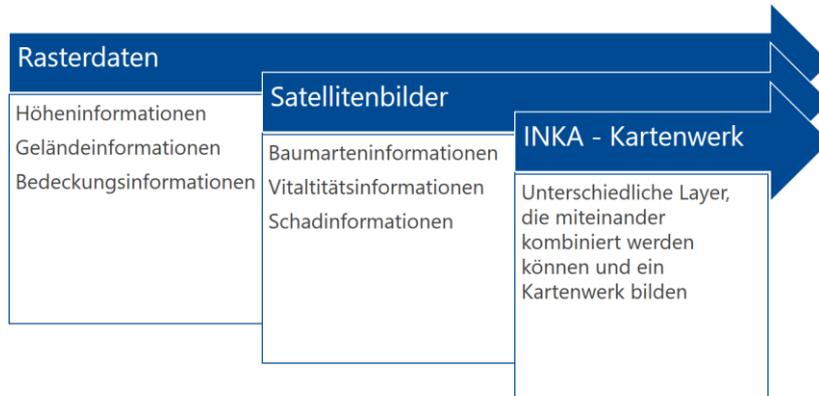


Abbildung 6 Zusammenfassung der Datengrundlage für das Inka-Kartenwerk

Grundlage der Bildklassifikations- und Analyseverfahren ist eine Sentinel-2 Zeitreihe, bei der die einzelnen Bilder vorprozessiert werden. Auf diesen findet die Erhebung von Trainingsdaten statt. Die umfangreichen Trainingsdaten, verteilt über den ganzen Freistaat Thüringen, wurden aus einem Auszug der Walddatenbank des FFK Gotha generiert. Es wurde darauf geachtet, dass es sich um Reinbestände mit einer Baumschicht in verschiedenen Altersklassen handelt.

Der entwickelte und angewendete statistische Klassifikationsansatz RandomForest wurde zur Gewinnung von zwei unterschiedlichen Ergebnissen genutzt. Zum einen wurde damit die Waldmaske erstellt (die Fläche, in der die Auswertungen stattfindet), zum anderen wurde er zur Baumartenerkennung genutzt.

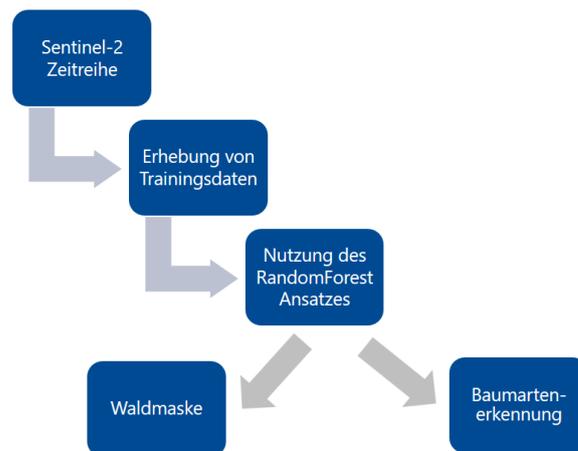


Abbildung 7 Workflow zur Baumartenerkennung

Als Ergebnis entstehen pixelgenaue Auswertungen (10m x 10m). Diese pixel-basierten detaillierten Informationen machen ein gutes Datenhandling schwierig. Die Mehrheit der Pixel zeigt aufgrund der spektralen Eigenschaften eindeutige Baumartenzugehörigkeiten. Bei starken Durchmischungen der Spektralsignaturen der Bäume (am Boden = im Pixel) ist keine exakte Zuweisung, und damit Flächenabgrenzung möglich.

Die Ergebnisse werden in die oben beschriebenen Hexagone transferiert und in einer Datenbank zusammengeführt. Innerhalb der Hexagone finden nachgelagerte Analysen statt, auf die weiter unten näher eingegangen wird.

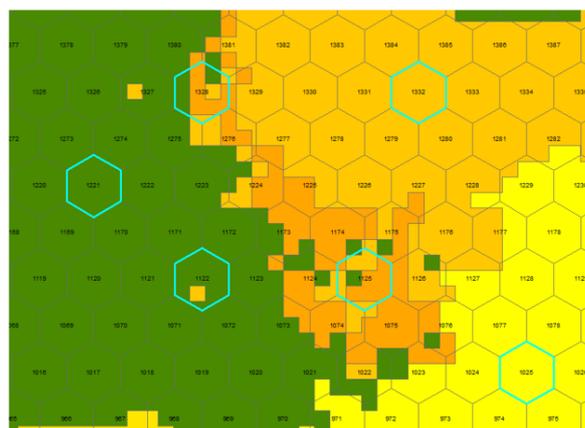


Abbildung 8 Erste Beispiel Hexagone mit Pixel-basierten Baumarteninformationen.

Entscheidungsgrundlage der Zuordnung/ Klassifikation innerhalb der Hexagone ist dabei die vorherrschende Dominanz einer/ mehrerer bestimmter Baumarten. Aus den prozentualen Angaben wird die Hauptbaumart, die Nebenbaumarten, die Mischform und der Waldtyp abgeleitet. Ein Mischbestand wird ab 20 % (ca. ab dem dritten Pixel) anderer Pixel ausgewiesen.

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

In der gleichen Datenbank werden auch die Informationen aus der Rasterdatenauswertung eingepflegt.

Die weitere Auswertung für das Gebiet erfolgt auf Grundlage des normalisierten digitalen Oberflächenmodells (nDOM).

$$nDOM = DOM - DGM$$

Die Berechnung der weiteren Parameter auf Hexagon-Ebene erfolgt in folgender Datenbankstruktur:

- ID\_KEY – eindeutiger Flächenschlüssel
- BL\_KURZ - Zuordnung zum Bundesland (Standard-Kürzel)
- LAGE - Lage der Polygone in Bezug auf die Ländergrenzen (Land und Grenze)
- HQ90 - Baumhöhe in der 90% der Bäume sind (alles ab 2m Höhe, mit einer Kommastelle in Metern)
- BHMAX - Höhe des höchsten Baumes mit einer Kommastelle
- BEDECKUNG - Anteil der Kronenfläche in Bezug zur Polygonfläche (mit einer Kommastelle %-Wert)
- WKLASSE - Zusammenfassung der HQ90-Werte in Baumhöhenklassen nach forstwirtschaftlichen Wuchsklassen
- HBA - Hauptbaumart als Text (muss zwingend befüllt sein)
- NBA1...NBA6 - Nebenbaumart als Text
- BUCHE, EICHE, FICHTE, KIEFER, sLAUBHOLZ, sNADELHOLZ - Anteil in Prozent mit einer Kommastelle
- MISCHFORM - ab 80% einer Baumart - Reinbestand, sonst Mischbestand
- WALDTYP - Nadel- oder Laubwald als Kürzel

Aufgrund der zu erwartenden Datenmenge lag der Focus auf der Implementierung einer speicherplatzsparenden Datenbankstruktur bei gleichzeitiger Sicherstellung des vollumfänglichen Informationsgehaltes.“

### **Adjustierung, Verbindung mit terrestrischen Daten, Regionalisierungsalgorithmen**

Wie oben beschrieben, ist das Testgebiet Krahnberg nicht repräsentativ für ganz Thüringen und bildet nur einen lokalen Ausschnitt ab. Da zu Projektbeginn nur für dieses Gebiet die Bestandesinformationen vorlagen, haben sich Trainingsdaten und Anwendungsgebiet überschritten. Grundlegend gilt für eine qualitative Analyse: Je mehr Trainingsdaten zur Verfügung stehen, desto besser werden die Ergebnisse.

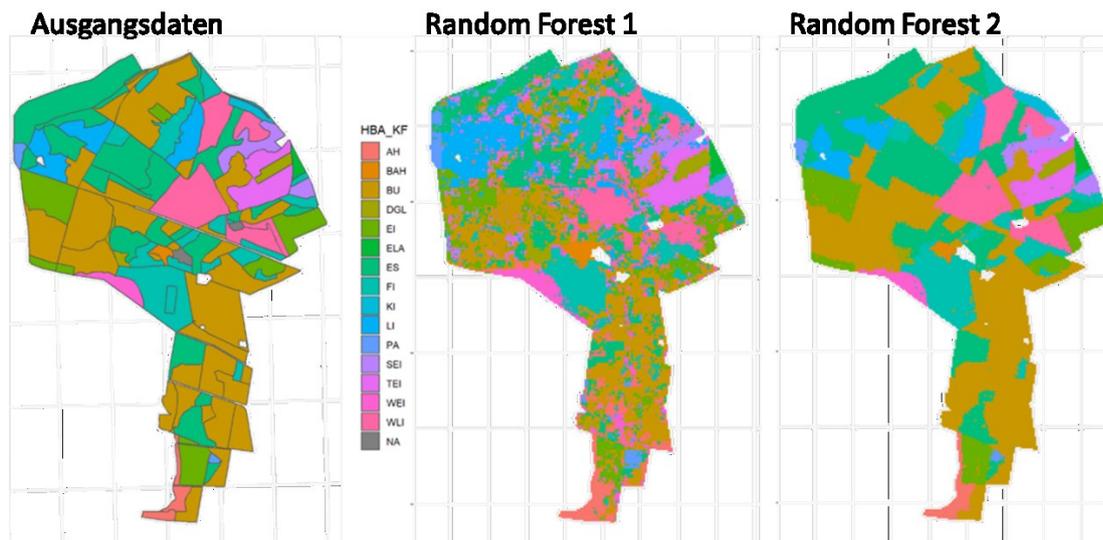


Abbildung 9 Baumartenerkennung im Testgebiet Krahnberg.

Verschiedene Klassifikationsansätze wurden getestet (siehe Abbildung 10):

- Random Forest 1: Gleiche Anzahl von Trainingsflächen pro Klasse (200 Pixel/ Klasse; 75% zum Training/ 25% zur Validierung genutzt).
- Random Forest 2: Unterschiedliche Anzahl von Trainingsflächen pro Klasse (75% zum Training/ 25% zur Validierung)

Dies führte zu einer Überinterpretation des Gebietes, die für ein ganzes Bundesland oder gar für ganz Deutschland nicht realisierbar sind. Aus diesem Grund hat sich eine Arbeitsgruppe dazu entschlossen sich auf **sechs Baumartengruppen** zu konzentrieren: Eiche, Buche, Fichte, Kiefer, sonstiges Laubholz und sonstiges Nadelholz

Die Datenerhebung ist für Thüringen als erstes Bundesland voll umfänglich erfolgt. Der Datensatz soll um die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Hamburg und Berlin komplettiert werden. Den Abschluss werden die Länder Sachsen-Anhalt und Brandenburg bilden. Für Bayern, Baden-Württemberg, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Schleswig-Holstein liegen nur kostenpflichtige Datensätze vor, so dass in diesen Ländern der Service nur besitzerbezogen angeboten werden kann. Die Rasterdaten müssen dann zum Selbstkostenpreis bezogen werden.

### Auswertung unter Verwendung von Orthofotos

Diese Methode beinhaltet drei elementare Bestandteile, die voneinander entkoppelt erfolgen: (1) Orthofotoauswertung, (2) relative Höhendifferenzbestimmung und (3) GIS-Analyse. Auf beide wird nachfolgend eingegangen. Übergeordnetes Ziel ist es, eine automatisierte, aktuelle Karte zu erzeugen, die auf freiverfügbaren Geodaten der Bundesländer basiert und im Zuge der Luftbildbefliegung der Länder aktualisiert wird.

(1) Orthofotoauswertung:

Bildflüge finden ca. alle zwei bis drei Jahre statt (Befliegungsrhythmus der Länder). Diese Daten sind aufgrund der Open-Data-Policy verfügbar, letztere wird in einzelnen Bundesländern bereits umgesetzt. Die spektralen Eigenschaften der Bilder kommen zur Auswertung.

Die Ableitung des NDVI und der Schattenmaske fand auf der Grundlage des Luftbildes statt. Der NDVI wird als Präindikator in der späteren Random Forest Klassifikation benötigt, die Schattenmaske wurde für die Ausschließung von ungeeigneten Trainingspixeln benötigt.

Für die Erhebung der Trainingsdaten wurden die Waldeinteilungspolygone visuell verkleinert (siehe (3)), um Mischbestände zu minimieren und Nebenbaumarten auszuschließen. Polygone mit großen Mischungen von mehreren Baumarten, die nicht eindeutig abzugrenzen waren, wurden komplett entfernt. Daraus entstand ein reduzierter Polygondatensatz (valide Pixel) mit den Hauptbaumarten (HBA). Diese HBAs wurden in 6 Kategorien zusammengefasst – Buche (BU); Eiche (EI); sonstiges Laubholz (SLH); Fichte (FI); Kiefer (KI) und sonstiges Nadelholz (SNH). Für das Training wurden zufällig gewählte Pixel dieses Datensatzes verwendet. Damit konnten Schatten, Wege, zu kleine oder zu inhomogene Baumkronen ausgeschlossen werden.

Mit dem Random Forest Algorithmus fand die Abgrenzung der Baumarten statt. Dafür wurden zuerst auf Pixelebene die Baumarten im gesamten Bereich klassifiziert. Bei einem Verschnitt mit den davor ermittelten Baumkronen wurde ein Mehrheitsvotum angewendet. Die häufigste Klasse entschied über die Zuordnung jeder Baumkrone. Dieses Mehrheitsvotum basierte nur auf validen Pixeln (Abbildung 11).

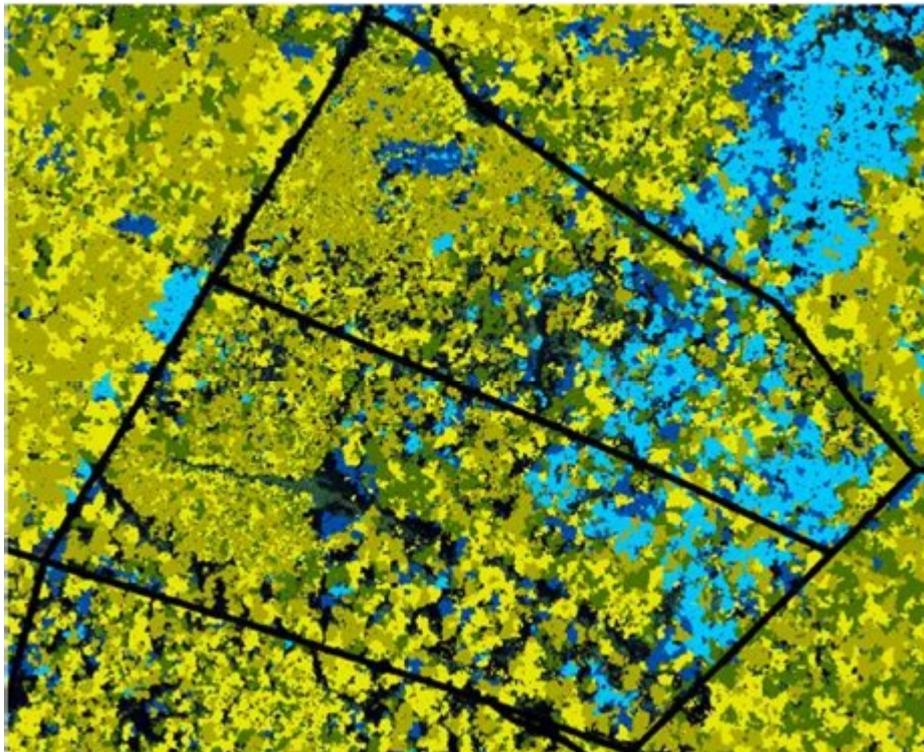


Abbildung 10 Darstellung der Baumkronen und -arten

(2) relative Höhendifferenzbestimmung

Als Eingangsdaten für die Analyse dienen das Digitale Geländemodell (DGM1), das Digitale Oberflächenmodell (DOM1), Orthofotos, Trainingsdaten für die Hauptbaumarten und der OSM Wege Layer.

Mit Hilfe des Kronenerkennungsalgorithmus<sup>2</sup>, angewendet auf das Oberflächenmodell (DOM), wurden einzelne Baumspitzen sowie die Baumkronen identifiziert. Die Baumhöhen Erfassung erfolgte ab einer Höhe von zwei Metern. Somit ist die Vergleichbarkeit der Daten zu den Hexagonen gewährleistet und eine Fehlinterpretation von Büschen wird vermieden.

Um eine auswertbare Grundlage zu schaffen, wurden die gemessenen Höhen des nDOMs in Wuchsklassen eingeteilt (Tabelle 11).

Neben den Wegen werden gleichzeitig die Freiflächen ausgewiesen. Letztere definieren sich mit einer Höhe von 0 – 2 m und einer Mindestgröße von 0,1 ha. Diese dazu genutzte Nominierte Oberflächenmodell (nDOM) entsteht bei der Verschneidung des Digitalen Geländemodells (DGM) und dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM).

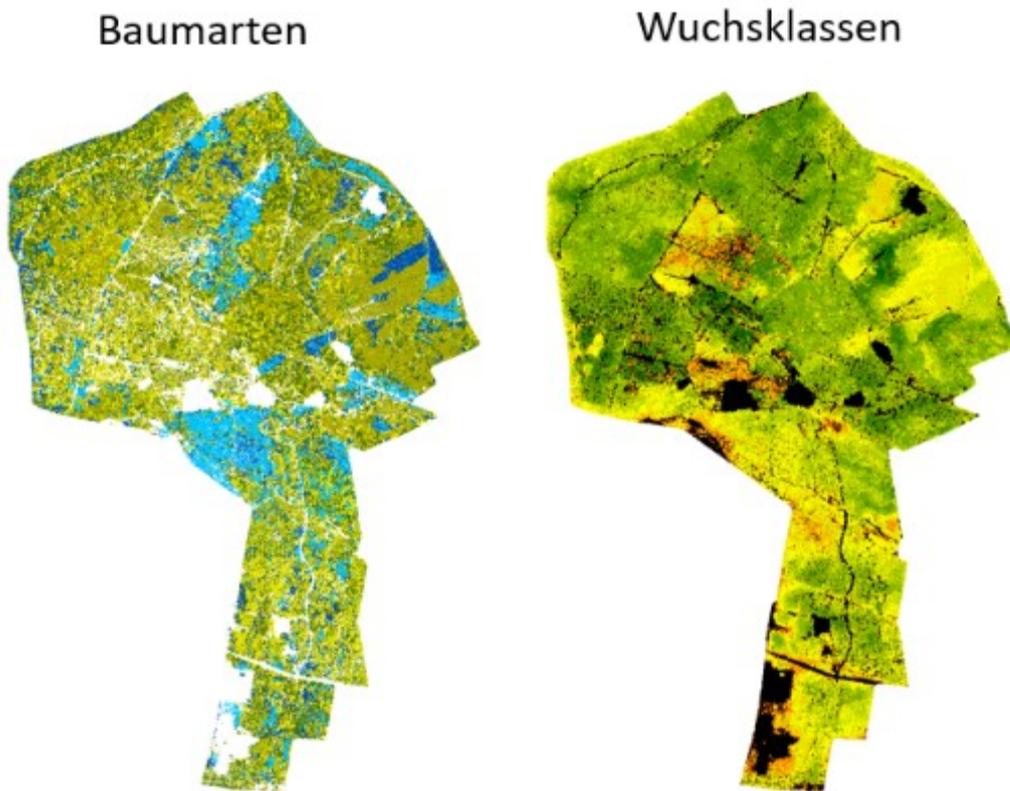
Es ist zu beachten, dass es zu Fehlklassifikationen kommen kann, wenn der Aufnahmezeitpunkt dieser Modelle zu stark vom Aufnahmezeitpunkt des Orthofotos abweicht: Lichtungen sind bewaldet und neue Lichtungen sind entstanden.

Wuchsklasse	Baumhöhe	Kategorie
0	0 bis 2 m	Boden
1	2 bis 5 m	Jungwuchs
2	5 bis 10 m	Jungwuchs
3	10 bis 15 m	Wald
4	15 bis 20 m	Wald
5	20 bis 25 m	Wald
6	25 bis 30 m	Wald
7	30 bis 35 m	Wald
8	> 35 m	Wald

*Tabelle 11 Einteilung der Wuchsklassen und die Definition der Kategorien*

In den Kategorien Boden und Jungwuchs findet keine Spezifikation der Baumarten statt. Erst ab einer Höhe von ca. zehn Metern ist eine sichere Bestimmung der Baumarten möglich. Unterhalb dieser Höhe ist es zum Teil auch schon schwierig Laub- und Nadelholz voneinander zu unterscheiden. Beide Jungwuchsarten haben ähnliche spektrale Eigenschaften.

<sup>2</sup> [https://cran.r-project.org/web/packages/ForestTools/vignettes/treetop\\_analysis.html](https://cran.r-project.org/web/packages/ForestTools/vignettes/treetop_analysis.html) (letzter Aufruf 13.12.2021)



*Abbildung 11 Rasterdarstellung der Wuchsklassen und der Baumarten  
(Testgebiet Krahnberg)*

Das erste Bild in Abbildung 11 zeigt die Auswertung der unterschiedlichen Baumkronenarten (1). Im zweiten Bild sind die Baumhöhen (2) erkennbar, die in Wuchsklassen zusammengefasst wurden.

### (3) GIS-Analyse

Der Lizenz-freie Open Streetmap Layer (OSM) „Tracks“ enthält Waldwege und wird als Grundlagenlayer für Entwicklung/Test der Methodik genutzt. Es wird davon ausgegangen, dass diese befahrbar für LKW sind und eine Standardbreite von 6 m besitzen. Die Straßenmaske wurde daher mit einem Buffer rechts und links des Weges mit 3 m abgeleitet. Um die höhere Aktualität und fachliche Richtigkeit der forstlichen Wegedaten zu gewährleisten können zukünftig im kommerziellen Produkt die jährlich aktualisierten bundesweiten lizenzpflichtigen Forst-Wege-Daten des NAVLOG-Datensatzes verwendet werden.

Daraus entstand ein reduzierter Polygondatensatz (valide Pixel) mit den Hauptbaumarten (HBA). Diese HBAs wurden in 6 Kategorien zusammengefasst – Buche (BU); Eiche (EI); sonstiges Laubholz (SLH); Fichte (FI); Kiefer (KI); sonstiges Nadelholz (SNH). Für das Training wurden zufällig gewählte Pixel dieses Datensatzes verwendet.

Bei der Auswertung auf Orthofotos gab es zwei unterschiedliche Ansätze:

- **Die Flächenabgrenzungen/Bestandesadressen sind bekannt:** Es erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse auf Grundlage der vorhandenen Geometrien. Innerhalb

dieser Bestände ist es aufgrund der Ergebnisse nicht möglich, die Lage von Veränderungen flächenscharf darzustellen. Die Geometrien bleiben erhalten nur die beschreibenden Attribute ändern sich.

Vorteil ist die genaue Zuordnung anhand der Bestandesadresse. Zusätzlich kann eine csv – Datei als Schnittstelle zu vorhanden Forsteinrichtungsprogrammen geliefert werden. (Abbildung 12)

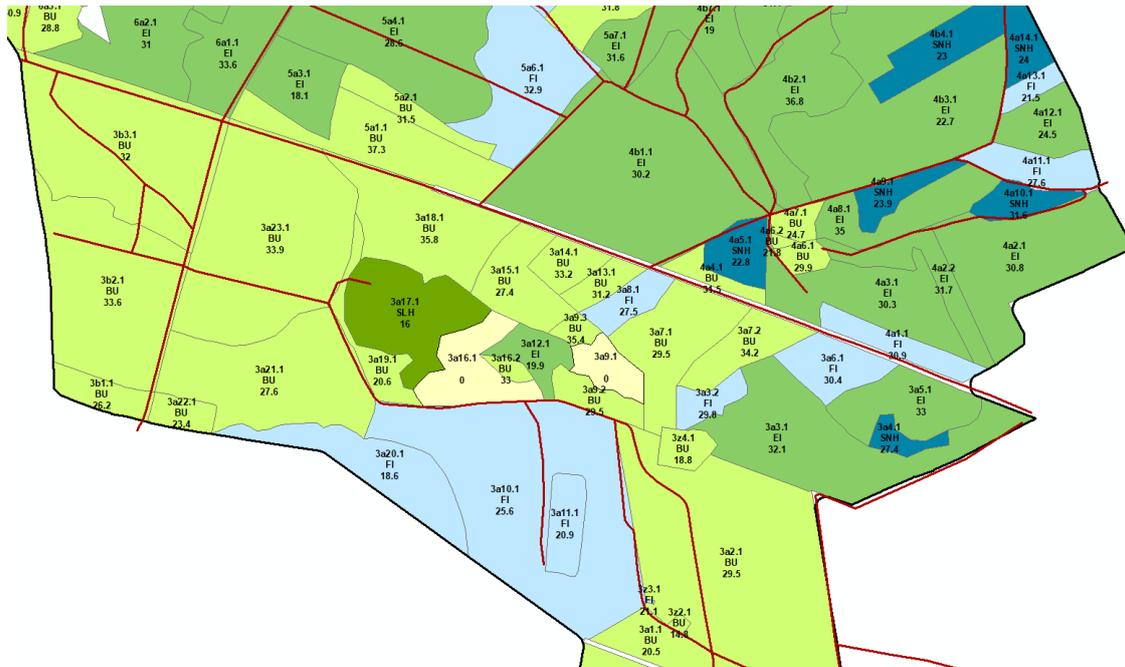


Abbildung 12 Wegelinien, Bestandesadresse, Hauptbaumart, Oberhöhe

Wegelinien(braun), sowie in der Beschriftung die Bestandesadresse (erste Zeile), die Hauptbaumart (zweite Zeile) und die Oberhöhe (dritte Zeile)

- **Es ist nur die Außengrenze des zu bearbeitenden Gebietes bekannt:**  
Die Außengrenze stellt die erste unveränderliche feste Größe dar. Vorhandene Waldwege (OSM-Tracks) werden innerhalb des Bearbeitungsgebietes als zweite unveränderliche Einteilung gesehen. Diese werden standardmäßig mit 3 m Abstand zu jeder Seite der Wegelinie gebuffert (siehe oben). Die Wirtschaftseinheiten (WE) werden an der Außenkante des Buffers geschnitten. Die entstandene Wegefläche ist auch forstfiskalisch von Relevanz. Sie kann z.B. bei der Beantragung von Fördermitteln für den Wegebau genutzt werden.

Zusammenführung (1) – (3):

Die erzeugten Wuchsklassen, Baumhöhen und Baumarten (Abbildung 11) wurden zunächst einzeln ausgewertet. Das Mindestflächenkriterium von 0,1 ha durfte bei beiden Auswertungen nicht unterschritten werden, wobei **Tabelle 11** bei dieser Interpretation die Basis der

Höhenauswertung bildete.

Bei der Charakterisierung von Jungwuchs-/ Verjüngungsflächen sind neben des Höhenkriteriums (2 - 10 m, also Wuchsklasse 1 und 2) sind einzelne höhere Baumkronen zulässig, die aber nicht mehr als 49% des Polygons bedecken dürfen.

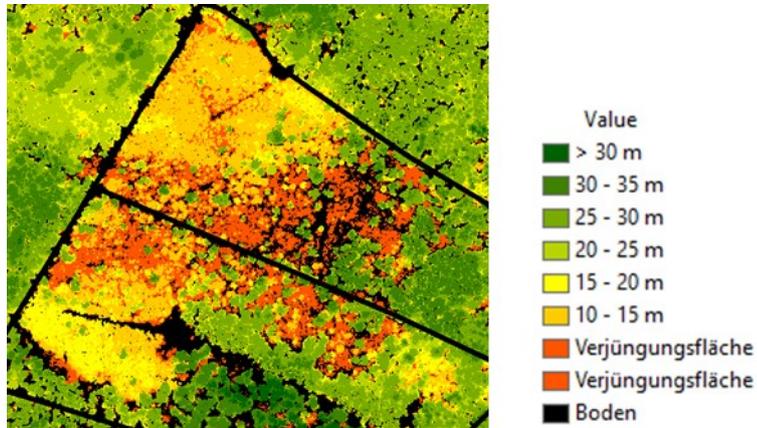


Abbildung 13 Darstellung einer Jungwuchsfläche

Die Abgrenzung der Baumarten erfolgt separat. Dabei werden zuerst die Flächen mit einer eindeutig dominanten Hauptbaumart (HBA) detektiert. Ein Algorithmus bestimmt im Anschluss nach dem Mehrheitsprinzip die HBA der restlichen Flächen.

In einem finalen Prozess werden die beiden entstanden generalisierten Layer (Baumart und Wuchsklasse) miteinander verschnitten. Dabei werden neuentstandene Flächen, die kleiner 0,1 ha sind zu Gunsten der Baumart zusammengeführt.

So entsteht eine für die Forsteinrichtung nutzbare Karte, die die Wirtschaftseinheiten im Wald darstellt (Abbildung 14):

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

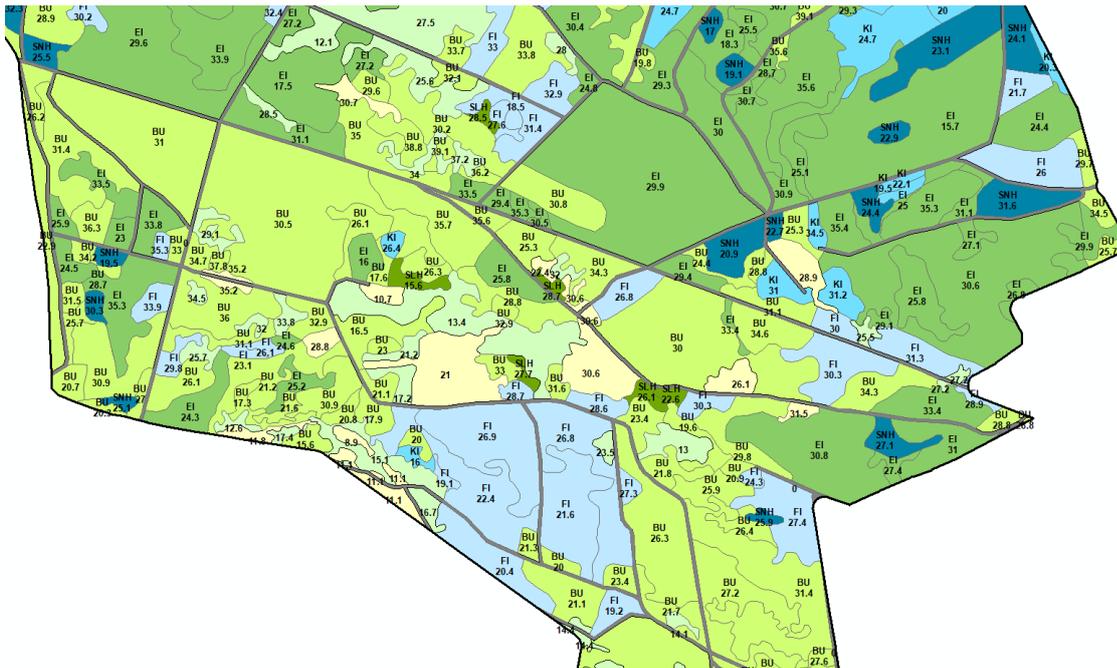


Abbildung 14 Wegeflächen, Hauptbaumart, Oberhöhe

Wegeflächen (grau), sowie in der Beschriftung die Hauptbaumart (erste Zeile) und die Oberhöhe (zweite Zeile)

Wie oben erwähnt, erfolgt kann keine Angabe von Baumarten in den Kategorien Boden und Jungwuchs erfolgen. Es wurde sich dazu entschlossen, die aus dem nDOM abgeleitete Höheninformation darzustellen. Sie bezieht sich nur auf die bedeckte Fläche.

Bei der Mischform findet eine genauere Spezifikation statt. Es wird wie folgt unterschieden:

Mischform	Definition
Reinbestand	80 % einer Baumart sonst Mischbestand
Laubmischwald	Laubbölzer sind untereinander gemischt
Nadelmischwald	Nadelhölzer sind untereinander gemischt
Laub-Nadelmischwald	dominanter Waldtyp steht zuerst
Nadel-Laubmischwald	dominanter Waldtyp steht zuerst

Tabelle 12 Definition der Mischformen

Um den Bestandesaufbau noch näher beschreiben zu können, wurde zusätzlich die Bestandesschicht erfasst. Die Bestandesschicht beschreibt die „vertikale Gliederung des Bestandes. Innerhalb einer Bestandesschicht haben die Bäume ihren Kronenraum in der gleichen Höhe über dem Boden. Verschiedene Bestandesschichten eines Bestandes haben im Kronenraum keinen Kontakt zueinander. Die Schichten werden nach ihrer waldbaulichen und

*wirtschaftlichen Bedeutung unterschieden in Hauptbestand, Unterstand, Oberstand. Der Oberbegriff für Unter- und Oberstand ist Nebenbestand.“<sup>3</sup>*

Aus auswertungstechnischen Gründen wird davon ausgegangen, dass ein Schichtwechsel alle 10 Meter erfolgt, demzufolge weist ein 30 Meter hoher Bestand drei Schichten auf.

Die Ergebnisdatenbank ist analog zu der Zielstruktur der Hexagondatenbank aufgebaut mit den zusätzlichen Feldern Kategorie und Schicht, sowie der detaillierteren Darstellung der Mischform. Die Befüllung des Identifikators (ID\_Key) kann in Abstimmung mit dem Kunden erfolgen, bei vorhandenen Bestandesadressen werden selbstverständlich diese genutzt. So ergibt sich folgende Zielstruktur der Datenbank:

- ID\_KEY – eindeutiger Flächenschlüssel
- BL\_KURZ - Zuordnung zum Bundesland (Standard-Kürzel)
- LAGE - Lage der Polygone in Bezug auf die Ländergrenzen (Land und Grenze)
- HQ90 - Baumhöhe in der 90% der Bäume sind (alles ab 2m Höhe, mit einer Kommastelle in Metern)
- BHMAX - Höhe des höchsten Baumes mit einer Kommastelle
- BHMIN - Höhe des kleinsten Baumes mit einer Kommastelle
- BEDECKUNG - Anteil der Kronenfläche in Bezug zur Polygonfläche (mit einer Kommastelle %-Wert)
- WKLASSE - Zusammenfassung der HQ90-Werte in Baumhöhenklassen nach forstwirtschaftlichen Wuchsklassen
- HBA - Hauptbaumart als Text (muss zwingend befüllt sein)
- NBA1...NBA6 - Nebenbaumart als Text
- BUCHE, EICHE, FICHTE, KIEFER, sLAUBHOLZ, sNADELHOLZ - Anteil in Prozent mit einer Kommastelle
- MISCHFORM - ab 80% einer Sorte Reinbestand, sonst Mischbestand (Unterteilung Mischwald siehe oben)
- WALDTYP - Nadel- oder Laubwald als Kürzel
- KATEGORIE – Weg, Boden, Jungwuchs und Wald
- SCHICHT – alle 10 m neue Schicht, bis zu drei Schichten möglich
- DATUM\_LUBI – Erfassung des Aufnahmezeitpunktes des Orthofotos

### **Analyse und Beschreibung der möglichen Umweltbedingungen und Einflussfaktoren auf die Messungen**

Die Einflüsse der Umweltbedingungen auf die erzeugten Bilddaten sind bei beiden Sensoren (Sentinel 2 und Orthofoto) unterschiedlich. Grundlegend hat für die spektrale Analyse die Jahreszeit bei Aufnahmen der beiden Sensoren einen großen Einfluss. Winterbilder eignen sich gut zur Erstellung einer Nadelwaldmaske, auch können einzelne Nadelbäume (ausgenommen Lärche) detektiert werden. Die spektralen Eigenschaften von Laubbäumen sind dagegen nur auf Sommerbildern erkennbar.

#### **Sentinel2**

Wie alle Satellitenbilder ist die Qualität der Bilder abhängig von Wolken und Wolkenschatten. Auch Dunst und atmosphärische Störungen beeinflussen die Qualität stark. Teilweise können diese Einflüsse durch eine atmosphärische Korrektur minimiert werden.

---

<sup>3</sup> <https://www.bundeswaldinventur.de/service/fachbegriffe-und-abkuerzungen/> (letzter Aufruf 14.12.2021)

Durch Topografie und Jahreszeit (Winter) bedingter Schattenwurf erschweren die Auswertung diesen Bereichen.

### **Luftbild (Orthofoto)**

Aufgrund der Wählbarkeit des Flugzeitpunktes und der Flughöhe sind Luftbilder wolkenfrei. Allerdings können noch immer Wolkenschatten die Bildqualität negativen beeinflussen.

Räumliche Diskrepanzen treten durch Paralaxen (Verkippungseffekte) in den Randbereichen der Bilder auf.

Jede Befliegungskampagne hat unterschiedliche radiometrische Eigenschaften, diese haben Auswirkungen auf die Übertragbarkeit auf andere Gebiete. Als Folge müssen bei einer Klassifikation für jede Kampagne neue Trainingsdaten erzeugt werden. Mit der Zeit kann so eine Trainingsdatenbank aufgebaut werden, der Aufwand der Datenerhebung verringert sich und Daten lassen sich mittelfristig übertragen.

Wie oben schon erwähnt ist es wichtig, dass die Luftbilder und die Höhenmodelle möglichst zum selben Zeitpunkt entstanden sind. Eine Abweichung führt zu Fehlklassifikationen. Neu entstandene Freiflächen werden nicht erkannt oder sind wieder bestockt. Um diesen Fehler zu minimieren sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

1. Kronenberechnung anhand des Oberflächenmodells (nDOM)
2. Veränderungsanalyse auf Sentinel 2 Bildern (erster Zeitschnitt zum Zeitpunkt der Erstellung des DGMs; zweiter Zeitschnitt zum Zeitpunkt der Erstellung des Orthofotos)
3. Ausmaskierung der Kronen auf den berechneten Änderungsflächen

### **Vorschläge zur Integration in Forsteinrichtungsverfahren**

Durch eine Kombination von unterschiedlichen Layern kann ein deutlicher Mehrwert erzielt werden. Der Nutzer hat die Möglichkeit sich individuell und bedarfsgerecht Informationen zusammenzustellen. Diese können als Kartendienst (WMS) in vorhandene GIS-Anwendungen geladen werden und stehen somit dem Nutzer als Web-, mobile App- oder Desktop-Anwendungen zur Verfügung. Ab dem ersten Quartal 2022 wird die Möglichkeit bestehen, sich die Ergebnisse des Testgebietes Krahnberg im Internet unter dem Suchbegriff **ForstMonitor IABG** (<https://forst-monitor.de>) zu betrachten.

Eine Integration findet außerdem zu den Forsteinrichtungsprogrammen der Firma INTEND statt. Bei gelieferten Bestandesadressen steht als zusätzliche Schnittstelle eine csv-Datei zur Verfügung. Sie kann problemlos in bestehende Datenbanken und Forsteinrichtungsprogramme integriert werden.

### **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Eine Analyse zur notwendigen Refinanzierung wurde seitens INTEND unter Einbeziehung der Projektpartner vorgenommen. Offen ist noch die Bearbeitung einer gemeinsamen Vermarktungsstrategie. Ein Treffen ist für das erste Quartal 2022 angesetzt.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit, der Nutzerakzeptanz und der Marktparameter wurden nach Abschluss des Projektes durch die IABG Pilot-Tests mit mehreren kommunalen und privaten Forstbetrieben vereinbart.

#### 1.2.4 AS 1.4 Vorstudien Geoinformatik (INT)

Die Nutzeranforderungen an die Systemumgebung / Plattform wurden von allen Partnern in mehreren Projektsitzungen/Workshops zusammengetragen.

Der **Systemzugang** zu dem INKA-Portal wurde zweistufig konzipiert und umgesetzt. Die Startseite ist frei zugänglich und liefert Informationen zum Thema. Möchte der Anwender auf Geoinformationen und Funktionalitäten zugreifen, bedarf es einer Authentifizierung und Autorisierung. Die Authentifizierung erfolgt über den Benutzernamen und das von ihm gewählte Passwort. Die Autorisierung steuert den Zugriff auf die Geo- und Sachdaten des Anwenders und bietet ihm die notwendigen Funktionalitäten.

Die **Identifikation der Flurstücke** ist der erste notwendige Schritt, um die Flächen und Grenzen des jeweiligen Waldeigentums zu ermitteln. Flurstücksdaten sind noch nicht in allen Bundesländern frei zugänglich. Die INSPIRE-Richtlinie<sup>4</sup> wird allerdings mittelfristig diese Perspektive bieten. Über Web Map Services (WMS) ist ein Zugriff auf die Geoportale der einzelnen Länder möglich, wobei aber nicht gezielt einzelne Flurstücke heruntergeladen werden können, sondern nur die (umfangreichen) Datenpakete ganzer Landkreise. Ein Dienst, der dem einzelnen Waldbesitzer gezielt seine Flurstücke auf einer Karte zur Verfügung stellt, konnte im Rahmen des Projektes nicht realisiert werden.

Da das Einzeichnen von Flurstücksgrenzen auf der digitalen Karte lizenztechnische Konsequenzen hätte, die zugrundeliegende Esri-Technologie erlaubt die kostenfreie Sicht auf Geodaten, nicht aber die Bearbeitung dieser Karten, bietet sich derzeit nur ein Lösungsweg an, der den Import von Flurstückslayern vorsieht. Hier verspricht die Kooperation mit dem iWald Projekt (FKZ 22013118) eine sinnvolle Lösungsmöglichkeit. In dem Projekt sollen Flurstücke ermittelt werden, die dann in das INKA Portal importiert werden können. Die Möglichkeiten der Zusammenarbeit und der gemeinsamen Schnittstellen wurden in einem gemeinsamen Projektmeeting erörtert.

Die Bereitstellung von **Geoinformationen der Flurstücke** konnte durch die Auswahl der IABG als Projektpartner umfassend gelöst werden.

#### 1.2.5 AS 1.5 Vorstudien UAV und Laserscanning (FFK)

Auf der Grundlage von Marktrecherchen und dem derzeitigen Stand der Technik erfolgte die Konfiguration der UAV sowie die Vorgaben für Beschaffung des Handlaserscanners. Der HLS

---

<sup>4</sup> Infrastructure for SPatial InfoRmation in Europe. Durch Schaffung einer Europäischen Geodateninfrastruktur, die sich auf die national aufzubauenden Geodateninfrastrukturen (GDI) stützt, soll die Verwendung interoperabler Geodaten und Geodienste über die verschiedenen Verwaltungsebenen hinweg ermöglicht werden.  
INTEND Geoinformatik GmbH

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

wurde beschafft und für den Einsatz im Forst entsprechend konfiguriert. Außerhalb des INKA-Projektes wurden als Eigenbeitrag des FFK Gotha zwei Drohnen beschafft.

Die technischen Anforderungen an die Qualität und Struktur der UAV-Bildaufnahmen wurden analysiert und in einem standardisierten Leistungsverzeichnis niedergeschrieben. Für die Vorbereitung der Flugplanung wurde ein standardisiertes Vorbereitungsverfahren in Form eines Ablaufdiagramms entwickelt, mit dazu gehöriger Checkliste sowie einem Flugplanungsformular (Abb. 13).

**• Flugplanung**

- Wetter beachtet?
- Wetterbericht und Wettersituation geprüft?
- Kp-Index geprüft?
- keine kondensierende Feuchte?
- kein Niederschlag oder Nebel?
- Windstärke und zu erwartende Windstärke akzeptabel? (Gefahr u.U. ab 20 km/h)
- geeignete Akkutemperatur sichergestellt? (ca. 10°C – 40°C)
- besteht die Gefahr von Staubbildung? (z.B. Wind + trockener Boden)
- Start-/Landeplatz staubfrei? Gefahr von Motorschäden?
- Lande-/Start-/Notlandeplätze festgelegt?
- Mission vor Ort kritisch überprüft?
- Sichere Rückflughöhe eingestellt?
- Helfer dabei und instruiert?
- Luftraumüberwachung →  Abhalten von Passanten vom Piloten?
- 10 x 10m Markierung zur Sicherung des Startplatzes (Absperrband)?
- Sicherheitsabstand 10m von Drohne zu Autos, Hindernissen & Personen?

**Prüfung Equipment**

- Fernbedienung voll geladen?
- Telemetrieplattform (Tablet/Notebook/Smartphone) geladen?
- Fernbedienung korrekt konfiguriert?
- Interne/externe Antenne?
- Externe Antenne montiert?
- Steuermode?
- Trims genullt/korrekt?
- Fernbedienung kalibriert?
- RC-Verbindung hergestellt und Empfangsstärke gut?
- Telemetrie Verbindung hergestellt und Empfangsstärke gut?

**UAV-Flugbericht**

**Allgemeines**

Dienststelle/Auftraggeber: Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha  
Zilgerstr. 1, 99867 Gotha

Kontaktperson/Auftraggeber:   
Projekt / Aufgabe / Zielstellung:   
Gebiet / Ort:   
Datum:   
Crew/Pilot & Helfer:

**Technische Daten**

UAV-Typ:  DJI Phantom 4 Pro  Scarabot  
RTK-Korrektursignal:  ja  nein  nicht  
Passpunkte angelegt:  ja  nein

Anzahl der Flüge:

**Flug-Fluginformationen**

Flugzeit (von Start bis Landung):  
Wetter (Wolkenbedeckung, Niederschlag, Windstärke, Windrichtung, Sonnenstand):  
Flugrichtung (z.B. Flugrichtung, Höhe):  
Gelände (Vegetation, Relief, Inbes.-Hangneigung, Hindernisse):  
Spektrale Kalibrierung vor dem Flug durchgeführt:  ja  nein  nicht  
Spektrale Kalibrierung nach dem Flug durchgeführt:  ja  nein  nicht  
Flugverlauf / Störungen:

Abbildung 15: Auszug aus „Preflight Checkliste“, Formular „Flugbericht“

Die linke Seite zeigt einen Auszug aus der „Preflight Checkliste“. Das Flugberichtsformular ist rechts abgebildet. Beide Dokumente müssen vor jedem Drohnenflug ausgefüllt werden. Die vollständigen Formulare befinden sich im Anhang dieses Berichts.

Das Verfahren wurde in der Praxis getestet und fortlaufend optimiert. Die o.g. Dokumente können zukünftig von Waldbesitzern für die Vergabe entsprechender Befliegungsaufträge an die örtlich ansässigen UAV-Dienstleister vergeben werden. Bei Einhaltung der im Leistungsverzeichnis vorgegebenen Parameter wird die einheitliche und qualitativ gleichbleibende Auswertung der Daten im Prozess der UAV-basierten Waldinventur ermöglicht.

Weiterhin wurde ein Standardablaufverfahren für die Verarbeitung der UAV-Bilddaten entwickelt, welches die Bereitstellung der qualitätsgesicherten Produkte erlaubt.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Camera Alignment</b> (Berechnung der Kamera-Ausrichtung)</p> </div>	<p>Agisoft Metashape fügt die UAV-Fotos anhand von gemeinsamen Punkten (tie points) zusammen. Außerdem wird eine Positionsbestimmung und Kalibrierung der Kameraparameter durchgeführt. Im Ergebnis wird eine initiale Punktwolke (Sparse Point Cloud) erzeugt.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Dense Point Cloud</b> (Berechnung der dichten Punktwolke)</p> </div>	<p>Basierend auf den in Schritt 1 berechneten Kamerapositionen und den Einzelbildern, wird von Agisoft Metashape eine dichte Punktwolke (Dense Point Cloud) generiert. Diese kann vor dem nächsten Schritt editiert und klassifiziert werden.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Geländeoberfläche, 3D-Modell</b> (DGM, 3D-Netz)</p> </div>	<p>Basierend auf der dichten Punktwolke wird die Geländeoberfläche generiert: ein Digitales Geländemodell (DGM) und/oder optional ein 3D-Polygonmodell (Mesh).</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p><b>Orthomosaik, Textur</b></p> </div>	<p>Nachdem die Oberfläche rekonstruiert wurde, kann ein Orthomosaik generiert werden. Dieses wird auf die Oberfläche des DGM projiziert. Im Falle eines Polygonmodells (Mesh) kann eine Textur erzeugt werden.</p>

Tabelle 13: In 4 Schritten zum 3D-Modell und Orthomosaik

### Voraussetzungen der Bildüberlappung

	<p>Mindestens 80% in Flugrichtung (Frontalüberlappung) und 70% zwischen den Flugbahnen (Seitenüberlappung).</p> <p>Über dichtem Wald werden Überlappungen von 85% (frontal und seitwärts) empfohlen: Bedingt durch die komplexe Textur ist es hier schwieriger, charakteristische Punkte in den Bildern zu finden.</p> <p>Die Kamera sollte so weit wie möglich in konstanter Höhe über dem Boden gehalten werden, um die angestrebte räumliche Bildauflösung für die gesamte Fläche zu gewährleisten.</p>
--	--

Empfehlungen

	<p>Frey et al. (2018) untersuchten inwiefern die Qualität und Vollständigkeit eines nDOMs durch verschiedene Windverhältnisse und unterschiedliche Flughöhen qualitativ beeinflusst wird. Hierbei stellten sie fest, dass die Ergebnisse sowohl mit der Windgeschwindigkeit als auch mit der Flughöhe korrelieren: Je schwächer der Wind, und umso höher der Bodenabstand, umso höher wird die Qualität des generierten nDOMs.</p>
	<p>Es muss stets auf eine hinreichende Überlappung zwischen mehreren Flugplänen geachtet werden.</p>

Befliegungen mit einer Drohne im Sinne einer Praxiserprobung des Verfahrens fanden im Oktober 2018 und mehrfach während der Projektlaufzeit zwischen 2019 und 2021 statt. Berechnet wurden RGB-Bildmosaiken, Oberflächen- und Baumhöhenmodelle. Anforderungen wurden den externen Dienstleistern genannt. Der veröffentlichte Leitfaden der Arbeitsgruppe der Forstlichen Luftinterpreten (AFL) wurde berücksichtigt (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) (Hrsg.) (2020): Oberflächenmodelle aus Luftbildern für forstliche Anwendungen, WSL Berichte, Heft 87) und die Anforderung daran angepasst.

Der Handlaserscanner wurde ebenfalls während der ganzen Projektlaufzeit in den Jahren 2019-2021 für Felduntersuchungen eingesetzt und Untersuchungsmethoden und Abläufe fortlaufend optimiert. Im Jahr 2019 wurden erste verschiedene Flächen gescannt, um Erfahrungen im Umgang mit Scanner und Auswertungsmethoden zu sammeln. Unter anderem wurden im Testgebiet Oberhof/Schützenberg auf rund 240 Hektar 46 Stichprobenpunkte der von ThüringenForst zeitgleich durchgeführten Kontrollstichprobe erfasst. Das Ziel dieses Versuches war es, die Nutzungsmöglichkeiten des Handlaserscanners bei Stichprobenverfahren zu erproben. Es stellte sich für die praktische Arbeit mit dem Handlaserscanner heraus, dass eine Gefährdungsbeurteilung der näheren Umgebung aufgrund der hohen Sturzgefahr notwendig ist und dass ein Scanvorgang (Anlaufen des Stichprobenpunktes, Organisation am Punkt, Gefährdungsbeurteilung, Scan) ca. 21 Minuten dauert. Auch insbesondere Probleme mit falsch

erkannten Überlagerungen (Abb. 15a) konnten dadurch erkannt und später durch Anpassungen und neue Möglichkeiten der Software korrigiert werden (Abb. 15 b).

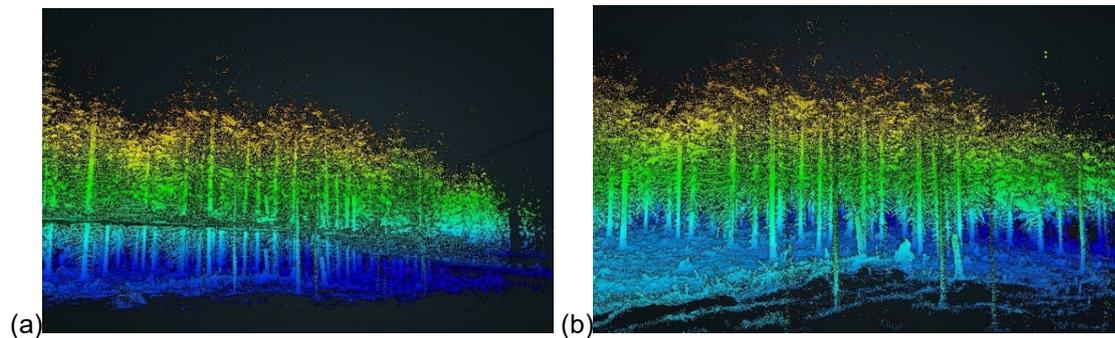


Abbildung 16: Fichtenbestand in Oberhof

(Fehlerhafte Erfassung des Waldbodens vor (a) und nach (b) der Prozessierung mithilfe der Software „Geoslam Hub“)

In jedem der drei bisher erfassten Untersuchungsgebiete wurden mehrere Bestände komplett gescannt. Die Messungen ergaben dabei jeweils für jeden Bestand eine 3D-Punktwolke (Abb. 16), aus der in weiteren Bearbeitungsschritten die Einzelbaum BHDs mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden konnten.

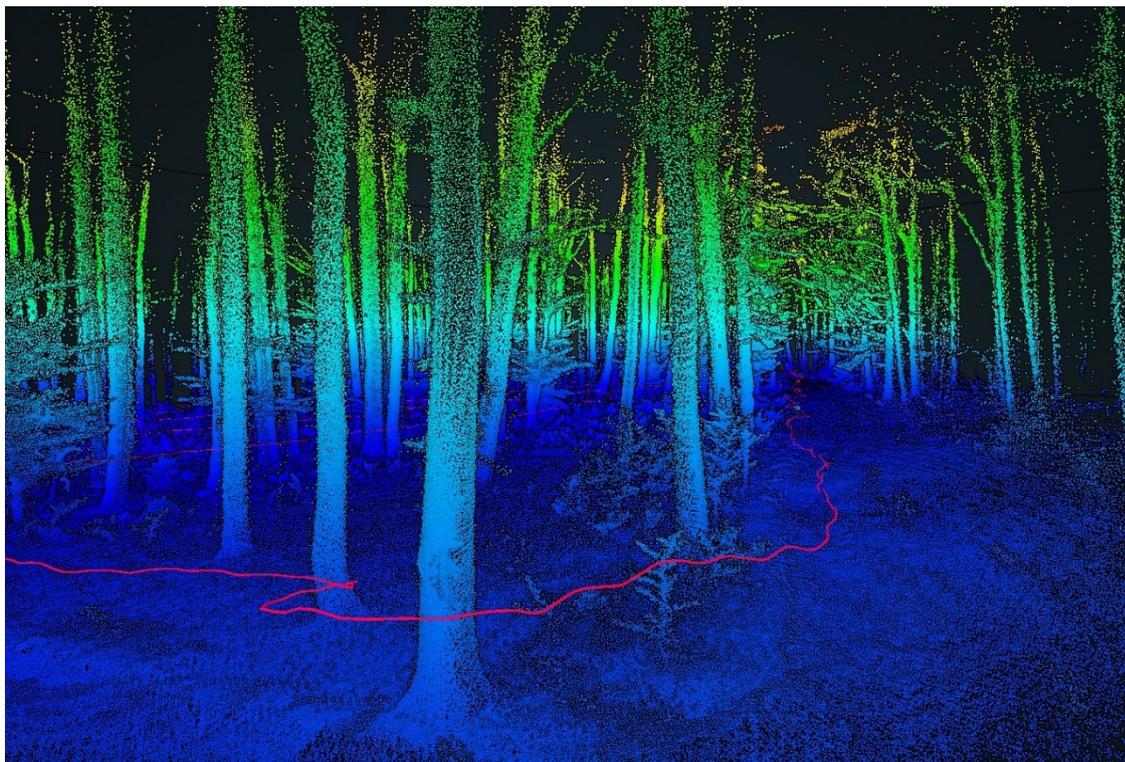


Abbildung 17: Buchenbestand in Possen.

Der Laufweg des Erfassers wird in der Software mit einer roten Linie dargestellt und kann mittels R-Script später als Shapefile exportiert werden.

Für den Einsatz des HLS wurde eine Arbeitsanleitung geschrieben, in der auch im Projektverlauf gewonnene Praxiserfahrungen berücksichtigt wurden, welche zur Erreichung der angestrebten Genauigkeiten hilfreich sind.

## 1.3 Arbeitspaket 2

### 1.3.1 AS 2.1 Analyse des Informationsbedarfs (UNI)

#### Flurstück

Flurstücke stellen die katastergenaue Lage der Grundstücke dar. Sie dienen somit als Grundlage der Inventur und Planung. Die (günstige,) digitale Verfügbarkeit der Flurstücke sowie deren Implementation sind somit für den Erfolg des Verbundvorhabens entscheidend. In diesem Zusammenhang konnte festgestellt werden, dass die Verfügbarkeit von INSPIRE-konformen Daten in den ostdeutschen Bundesländern deutlich besser als in den westlichen Teilen der Bundesrepublik ist. Das Flurstück als kartographische Grundlage des Eigentums stellt in Verbindung mit Orthofotos eine wichtige Ausgangsbasis bei der Ausscheidung von Beständen dar. Eine solche Vorgehensweise konnte auch durch die niedersächsische Landwirtschaftskammer, welche die forstliche Flächeneinteilung auf Basis von ALKIS-Daten vornimmt, bestätigt werden.

#### Rechtliche Verpflichtung zur Erstellung von Betriebsplänen oder –gutachten im Nicht-Staatswald

Einige Landeswaldgesetze schreiben die Aufstellung von Betriebs- und Wirtschaftsplänen im Nicht-Staatswald vor. Diese Pflicht orientiert sich insbesondere im Privatwald an der Betriebsgröße. Zudem kann im Privatwald die Aufstellung periodischer Betriebspläne oder –gutachten durch die entsprechende Behörde angeordnet werden. Zudem ist das Vorhandensein dieser Pläne in Nordrhein-Westfalen Voraussetzung für die staatliche Betreuung. In der nachfolgenden Tabelle findet sich eine Aufstellung der rechtlichen Verpflichtungen für den Privatwald.

Pflicht	Ermessen u.a.	Freiwillig
Hessen* (>100 ha)	Ba-Wü*** (>30 ha)	Bayern
M-V (>100 ha)	Hessen*** (<100 ha)	Berlin
RLP* (>50 ha)	NRW**	Brandenburg
Thüringen* (>50 ha)	Saarland***	Hamburg
		Niedersachsen
		Sachsen
		Sachsen-A.
		Schleswig-H.
		+ Länder unterhalb der
		gesetzlichen Grenze
*Betriebs- und Wirtschaftspläne		
**Voraussetzung für staatl. Betreuung		
***Aufstellung periodischer Betriebspläne oder (-gutachten) kann durch Behörde angeordnet werden		

### **Erstellungsberechtigte**

Die einzelnen Bundesländer sehen unterschiedliche Anforderungen an den Ersteller eines Forsteinrichtungswerkes vor. Insbesondere für den Privatwald gelten hier oftmals keine besonderen Anforderungen. Es fällt jedoch auf, dass vor allem die waldreichen Bundesländer (Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Thüringen) aber auch Mecklenburg-Vorpommern besondere Anforderungen an den Erstellenden richten. I.d.R. soll es sich hier bei dem Erstellenden um einen öffentlich bestellten und vereidigten (ö.b.u.v). Sachverständigen handeln. Im Rahmen der Inanspruchnahme von öffentlichen Fördermitteln können u.U. weitere Anforderungen an den Erstellenden gestellt werden.

### **Recherche nach INKA-ähnlichen Portalen**

Im Rahmen der Recherche nach INKA-ähnlichen Portalen konnte das britische Portal myForest Woodland Manager (Link: <https://sylva.org.uk/myforest/woodland-manager-promo>) als maßstabgebend für das gemeinsame Forschungsprojekt INKA identifiziert werden. Es handelt sich hierbei um eine webbasierte Lösung, welche es Waldeigentümern erlaubt, ihren Betrieb zu digitalisieren. myForest bietet hierzu die Möglichkeit des Imports verschiedener GIS-konformer Dateiformate. Außerdem kann der Nutzer hier die jeweiligen Bestandesdaten schrittweise einarbeiten sowie Bewirtschaftungspläne erstellen. Als Resultat erhält er einen dem Bestandeslagerbuch/Revierbuch ähnlichen Ausdruck, welchen er durch Fotos oder Kartenausschnitte bildlich untermalen kann. myForest ist in seiner Basisversion kostenlos und als Premiumvariante für monatlich £2 erhältlich. Zudem erlaubt es eine mobile Ansicht. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde myForest im Rahmen von Projekttreffen vorgestellt und die Erfahrungen aus dieser Software bei der Entwicklung von INKA-Produkten berücksichtigt.

### **Entwicklung eines Datenmodells**

Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollen Ansätze zur Standardisierung der Bestandesbeschreibung und somit der Forsteinrichtung gesetzt werden. Hierzu wurden erste Ansätze entwickelt. Gemeinsam mit dem FFK Gotha und der NW-FVA wurden die Grundlagen entwickelt, Definitionen vereinheitlicht und entsprechend notwendige Beschreibungsparameter festgelegt. Zudem ist festzuhalten, dass sich die einzelnen Parameter der Baumartenzeilen jeweils voneinander ableiten bzw. einander bedingen. So ist die Eingabe einiger Hauptparameter Voraussetzung für die weitere Entwicklung der Baumartenzeile. Hierbei existiert keine Musterlösung. Dies verlangt eine sogenannte „intelligente Verknüpfung“ der Datenfelder. Folgendes Beispiel dient zur Erläuterung: Aus Baumalter und –höhen lässt sich die entsprechende Bonität ableiten. Wenn der Nutzer jedoch statt Baumalter nun Baumhöhen und Bonität eingibt, soll das Programm diese Eingabe zum einen zulassen und zum anderen aus dieser Eingabe die weiter notwendigen Parameter der Baumartenzeile ableiten. Die Entwicklung eines entsprechenden Datenmodells wurde zuerst auf Basis von MS Excel konzeptionell

umgesetzt, wobei es hier bereits möglich ist, unterschiedliche Varianten bei der Dateneingabe zur Bestandesbeschreibung anzubieten.

### 1.3.2 AS 2.2 Applikationen & Schnittstellen (NW-FVA)

Die bereits vorhandenen und etablierten Software-Pakete *TreeGrOSS* (NAGEL, 2009; HANSEN U. NAGEL, 2014) und *Silviculture* (DUDA, 2006; HANSEN U. NAGEL, 2017) bilden die Basis für die im Rahmen von INKA zu implementierende API. Diese Java-Bibliotheken beinhalten alle grundlegenden Funktionen zur Simulation der Waldentwicklung (Einwuchs, Wachstum, Mortalität) und zur Abbildung waldbaulicher Maßnahmen (Pflege, Nutzung, Verjüngung, Naturschutz). Beide Pakete wurden in einem ersten Arbeitsschritt überprüft und optimiert. Vor allem das *TreeGrOSS*-Paket wurde auf Geschwindigkeit optimiert. Es beinhaltet komplexe Methoden zur einzelbaumbasierten Berechnung der positionsabhängigen Konkurrenz, von Kronenparametern, Durchmesser- und Höhenzuwachs sowie von Einwuchs und Mortalität. Die bestehende Implementierung konnte an verschiedenen Stellen hinsichtlich des dynamischen Ladens von Plugin-Klassen und dem Aufruf mathematischer Funktionen in Punkto Geschwindigkeit verbessert werden. Zudem wurden rechenintensive sequentielle Berechnungen parallelisiert und unnötige Variablen-Deklarationen in Schleifen entfernt. Insgesamt konnten die Antwortzeiten im Mittel so um ca. 20% gesenkt werden. Dies ist in Hinblick auf den webbasierten Einsatz der Schnittstelle wichtig, um akzeptable Antwortzeiten auch bei einer größeren Anzahl an Anfragen zu gewährleisten und die Serverinfrastruktur nicht unnötig zu belasten.

Die Schnittstelle ermöglicht es, Zuwachsschätzungen und Vorratsprognosen in Rein- und Mischbestände sowohl auf Basis des Waldwachstumssimulators der NW-FVA als auch auf Basis von Ertragstafeln abzurufen. Die Bestandesentwicklung kann mit oder ohne Behandlungen simuliert werden, wobei Standardnutzungen für die gängigen Waldentwicklungstypen parametrisiert sind (*Silviculture*-Paket). Die entsprechenden Waldentwicklungstypen (WET) für einen Bestand, sowie passende, regionale Tafelwerke können von der Software automatisch ermittelt, sowie fehlende Eingangsdaten ergänzt werden. Auf Basis der Zuwachsschätzung und der Eingriffssimulation kann eine Sortierung und eine quantitative Bewertung des stehenden Bestandes sowie der Nutzungen berechnet werden.

Gemeinsam mit den Projektpartnern wurden Waldbesitzer-typische Nutzungs-Szenarien/Betriebsziele als Auswahlparameter definiert. Es wurden folgende Betriebsziele typisiert:

- kontinuierlicher Ertrag
- maximaler (nachhaltige) kurzfristiger Ertrag
- Kapital- (Vorrat)-Akkumulation
- naturnah
- Naturschutz/Funktionserhaltung/Konservation

Zusätzlich zur den Standardnutzungen kann für einen Bestand zwischen verschiedenen Behandlungsszenarien (Naturnah, Naturschutz, Ertragsorientiert,...) gewählt werden. Die Varianten unterscheiden sich in den zugrunde gelegten Zielstärken, der Nutzungsintensität und dem Schutz bzw. der Auswahl von seltenen Baumarten bzw. Habitatbäumen. Diese zusätzliche Funktionalität ermöglicht den Vergleich unterschiedlicher waldbaulicher Strategien und erleichtert es dem Anwender, sich für eine, seinen Zielvorstellungen entsprechende, Behandlungsform zu entscheiden.

Eine detaillierte quantitative und stoffliche Bewertung von Beständen kann mittels einer Schätzung der Sortimente, Biomassen, und Nährstoffmengen für den verbleibenden und ausscheidenden Bestand insgesamt oder für einzelne Kompartimente berechnet werden.

Das zugrundeliegenden Wachstumsmodell (TreeGrOSS) basiert auf einem statistischen, einzelbaumorientierten Ansatz. Dabei wird die Entwicklung für jeden einzelne Baum eines Bestandes beschrieben. Dieser Einzelbaumansatz ermöglicht es, nahezu jede Bestandesstruktur und -zusammensetzung abzubilden und verschiedene Bestandesbehandlungen detailliert zu modellieren. Dennoch wird das Baumwachstum stark abstrahiert und ist auf den BHD- und Höhenzuwachs reduziert. Die Funktionen zur Zuwachsschätzung wurden auf Grundlage von Versuchsflächendaten baumartenweise parametrisiert. Als Zuwachs beeinflussende Größen werden u.a. das Alter, die Kronenmantelfläche, der Kronenkonkurrenzindex und dessen Veränderung bei Durchforstungen verwendet. Über den spezifischen Standraumbedarf der Baumarten, der sich hauptsächlich aus der Kronengröße ergibt, werden die Mischbestandseffekte im Modell realisiert. Die Kronengröße wird im Modell aus der Höhe, dem Kronenansatz und der Kronenbreite für einen unterstellten Paraboliden berechnet, wobei die für die Kronenmantelfläche und den Kronenkonkurrenzindex notwendigen Kroneninformationen über statische Funktionen aus dem BHD, der Höhe und der Bestandesoberhöhe geschätzt werden. Eine weitere wichtige Funktion des Wachstumsmodells ist die dichtebedingte Mortalität. Ob ein Baum stirbt, hängt von dem minimalen Standraumbedarf der Art ab. Der minimale Standraumbedarf wird mit Funktionen von DÖBBELER (2004) zur maximalen Dichteschätzung in Verbindung mit den Kronenbreitenfunktionen bestimmt. Neben diesen grundlegenden Funktionen benötigt man für eine vollständige Waldwachstumssimulation zur Entscheidungsunterstützung in einem Forstbetrieb weiterer Funktionen zur Habitat- und Z-Baum-Auswahl, dem Einwuchs von Verjüngung und zur Sortimentsaushaltung.

Eingriffe haben auf die Entwicklung von Waldbeständen einen erheblichen Einfluss. Deshalb müssen bei der Simulation auch Eingriffe möglichst realitätsnah abgebildet werden. Das Java-Paket *Silviculture* baut auf der Arbeit von DUDA (2006) auf, in welchen waldbauliche Behandlungsanweisungen in Behandlungselemente zerlegt werden. Bei der Simulation von Wachstum und Eingriffen werden dann diejenigen Behandlungselemente zu einer Behandlungskette zusammengefügt, mit denen das gewünschte waldbauliche Szenario abgebildet werden kann. Die Behandlungsketten sind in Phasen gegliedert und jede Phase

gliedert sich in Höhenintervalle, wodurch erreicht wird, dass gewisse Behandlungselemente nur ausgeführt werden, wenn der Bestand in diesen Höhenbereich fällt. Darüber hinaus wurden die Behandlungselemente standardisiert. Durch die Standardisierung können neue Behandlungselemente hinzugefügt werden, ohne dass an der Verkettung, der Aufruflogik und den Einstellmöglichkeiten der Parameter der jeweiligen Elemente etwas geändert werden muss. Der Algorithmus zur Ausführung des waldbaulichen Szenarios prüft, ob eine Phase aktiv ist und der Bestand in das Höhenintervall fällt. Ist dies der Fall, werden alle Behandlungselemente des Höhenintervalls der Reihe nach abgearbeitet.

Für die gängigen Bestandestypen bzw. Waldentwicklungstypen (WET) wurden Standard-Behandlungsketten definiert, welche einen modernen, nachhaltigen Waldbau abbilden, wie er z.B. in den gängigen Waldbauprogrammen der Forstbetriebe beschrieben wird. Bei einer Standard-Simulation wird geprüft, ob der Anwender einen WET vorgibt. Ist dies nicht der Fall, wird ein WET anhand des aktuellen Bestandestyps abgeleitet. Im Rahmen der Silviculture-Bibliothek können Behandlungskette aber auch völlig frei definiert werden.

Die NW-FVA stellt klimaangepasster Baumartenempfehlungen für die Bundesländer Sachsen-Anhalt und Hessen über den Webservice „BaEm“<sup>5</sup> flächendeckend zur Verfügung. An den Empfehlungen für Schleswig-Holstein wird derzeit gearbeitet. Für Niedersachsen ist in BaEm ein dynamisches System implementiert, welches als Eingangsdaten die Standortparameter gemäß Standortkartierung voraussetzt. Der Forschungsansatz der NW-FVA schätzt das Trockenstressrisiko für grund- und stauwasserfreie Standorte über Schwellenwerte der Standortwasserbilanz. Diese verrechnet den Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode für eine 30jährige Klimaperiode mit der nutzbaren Feldkapazität des Bodens.

Um die Berechnung von Biomassen und Nährstoffgehalte zu realisieren, wurden Programmteile der an der NW-FVA erstellten Softwarebibliothek *Utilization* integriert. Diese stellt Methoden bereit, welche für einen Bestand insgesamt aber auch für einzelne Sortimenten Biomasse und Nährelementgehalte berechnen kann (RUMPF ET AL., 2018).

### **1.3.3 AS 2.3 Planungsunterstützung mit GIS (IABG)**

#### **AS 2.3.1 Voruntersuchung**

Neben der Auswertung der Sentinel-2 Bilder und der Luftbilder bieten die Rasterdaten noch eine gute Quelle für einen weiteren Informationsgewinn über das Gelände. In diesem Kapitel soll dargestellt werden, welche Geländeinformationen gewonnen werden können.

#### **Analyse und Dokumentation des Informationsbedarfs**

Geländedaten wurden als Grundlage für Waldbesitzer für die Wahl passender Bewirtschaftungstechnologien und Holzeinschlagsfirmen sowie Rückeunternehmen zur

---

<sup>5</sup> <https://www.nw-fva.de/BaEm>  
INTEND Geoinformatik GmbH

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Einsatzplanung/Kalkulation identifiziert. Es werden Informationen zu Hangneigung, Hangexposition und Höhe geliefert.

Nach Auswertung der Praxisanforderungen wurden für die Hangneigung die Klassen definiert, die sich an Maschinenbefahrbarkeit und Technologieeinsatz orientieren:

- 0-15% flaches Gelände
- 16-35% Traktoren-befahrbar
- 36-50% Traktionswinden-befahrbar
- >50% Seilkrangelände

Des Weiteren können sie als Basisinformation für die Baumartenauswahl genutzt werden, wohl wissentlich, dass bodenkundliche Inhalte fehlen. Für die Logistik im Wald steht das kostenpflichtige bundesweite einheitliche Navigationssystem NavLog<sup>6</sup> zur Verfügung. In ihm sind alle LKW befahrbaren Wege erfasst.

### **Identifikation von geeigneten Algorithmen der raumbezogenen Datenverarbeitung in der Planungsunterstützung (u.a. topologische, netzwerkanalytische und geostatistische Algorithmen)**

Die Berechnung der Werte erfolgt mit Werkzeugen des Geoinformationsprogrammes ArcGis 10.6 und LAStools, basierend auf einem 5m Raster. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Hangneigung und die Hangexposition für das Testgebiet. Die Höhendaten sind in beiden Karten in Form von Höhenlinien dargestellt:

a)

b)

---

<sup>6</sup> <https://navlog.info/> (letzter Aufruf 14.12.2021)  
INTEND Geoinformatik GmbH

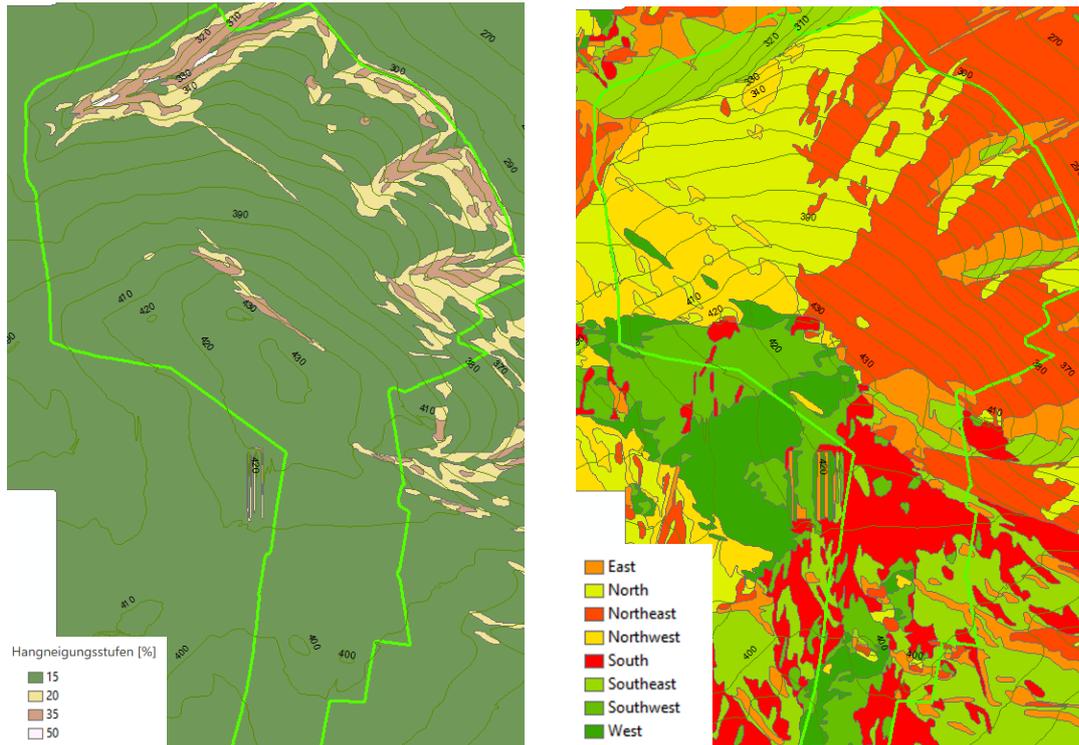


Abbildung 18 a) Hangneigungskarte; b) Hangexpositionskarte  
(inklusive Höhenlinien mit 10 Meter Abstand)

Die Hangexpositionskarte zeigt in welche Richtung eine Fläche geneigt ist. Dabei erfolgt eine Zuordnung in festen Schritten von 22,5 Grad. So ist es z.B. möglich, dass eine Nordost Neigung auch an eine Fläche nach Norden grenzen kann.

Die Kombination mit Wege- und Gewässer-Layer der OSM-Daten bietet erste Erkenntnisse zur Befahrbarkeit.

Die Datenerhebung ist für Thüringen als erstes Bundesland voll umfänglich landesweit erfolgt. Der Datensatz soll um die Bundesländer Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Hamburg und Berlin komplettiert werden. Den Abschluss werden die Länder Sachsen-Anhalt und Brandenburg bilden. Für Bayern, Baden-Württemberg, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Schleswig-Holstein liegen nur kostenpflichtige Datensätze vor, so dass in diesen Ländern der Service nur besitzerbezogen angeboten werden kann. Die Rasterdaten müssen dann zum Selbstkostenpreis bezogen werden.

In Thüringen werden die Daten bereits flächendeckend durch die Revierleiter für Waldbewirtschaftung und Beratung/Betreuung der Waldbesitzer genutzt,

### 1.3.4 AS 2.4 Automatisierung, Verfahrensanweisungen & Produktkatalog (FFK)

Für die Auswertung der Handlaser- sowie die UAV-Daten wurden auf Basis der Programmiersprache R verschiedene Auswertungsskripte erstellt. Die Skripte für die Datenauswertung mit dem HLS können im semiautomatisierten Verfahren unmittelbar zur Auswertung weitere mit dem Handlaser erhobene Daten verwendet werden (Abb. 18).

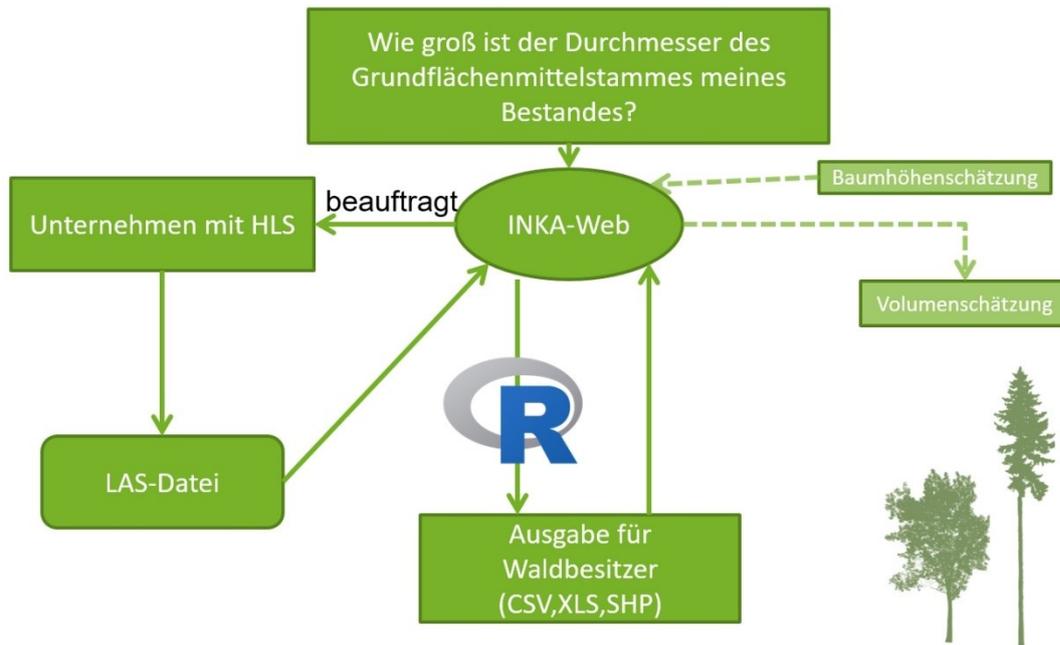


Abbildung 19: Arbeitsablaufschemata Handlaser-Scan und Integration in Gesamtprojekt

Die verschiedenen Methoden zur Auswertung der UAV-Daten wurden überprüft und ein entsprechender Auswertungsablauf entwickelt (Abb. 19).

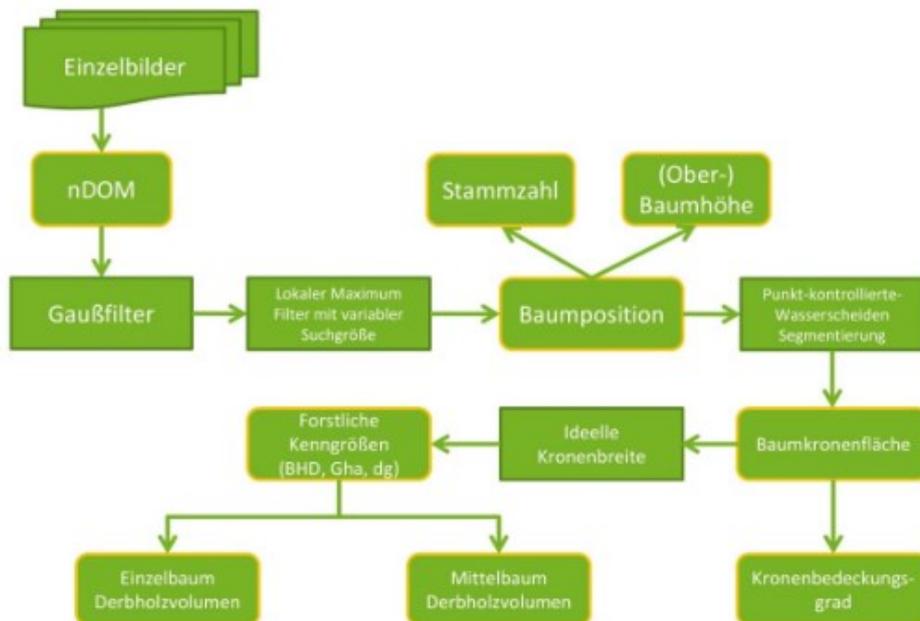


Abbildung 20: Arbeitsablaufschemata der UAV Daten

### 1.3.5 AS 2.5 Methodenentwicklung, Konstruktion (FFK)

Die voranschreitende Entwicklung der UAV-Technik und die dazu gehörenden Sensoren und Kameras auf dem Markt machten die Entwicklung einer eigenen Drohne überflüssig. Nach Analyse der forstlichen Fachanforderungen an die Flugtechnik und Sensorik/Kamera wurde ein Leistungsverzeichnis für die „Forst-Drohne“ entwickelt.

Im Jahr 2018, 2019 und 2021 wurden Drohnenbefliegungen vom externen Dienstleister in zwei Untersuchungsgebieten mit den Maßgaben der in dem Leitfaden erarbeiteten Parameter durchgeführt. Als Ergebnis standen ein digitales Höhenmodell und ein Orthofoto zur Verfügung (Abb. 21). Gleichzeitig wurden im Jahr 2019 zwei verschiedene Drohnen für das FFK gemäß der in INKA entwickelten technischen Leistungsbeschreibung beschafft. Die Beschaffung erfolgte außerhalb des INKA-Projektes und wurde vom FFK Gotha aus dem eigenen Budget finanziert, da die UAVs auch in anderen Aufgabenbereichen eingesetzt werden sollen. Eine der beiden Drohnen hat ähnliche Eigenschaften wie die eingesetzte Drohne vom externen Dienstleister. Das zweite Drohnenmodell ist mit einer Multispektralkamera ausgestattet, um z.B. eine Baumartenerkennung oder Schädlingsbefälle zu erfassen. Leistungsbeschreibungen für beide beschaffte Drohnen wurden unter Berücksichtigung der Anforderungen des INKA-Projektes an die standardisierten UAV-Luftbilder erarbeitet. Ein weiteres Untersuchungsgebiet, südlich von Sondershausen, wurde mit der betriebseigenen Drohne selbst befliegen, prozessiert und Waldparameter mit der Software „R“ berechnet. (Abb. 21)

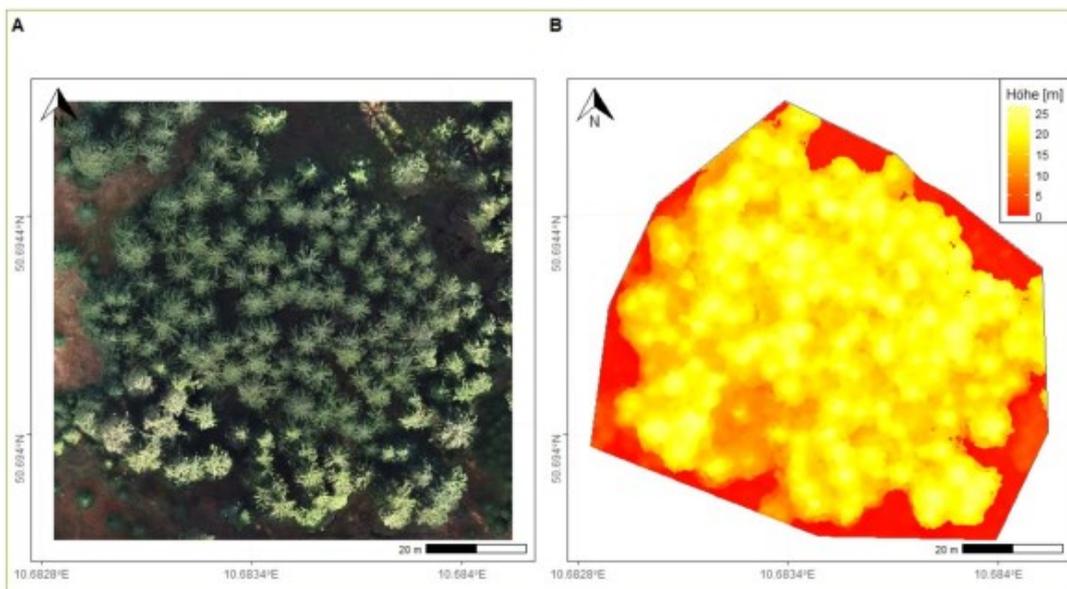


Abbildung 21: Ausgewählter Ausschnitt von der Drohnenbefliegung

Abbildung des Schützenbergs (Oberhof) im Oktober 2019; links (A) Ausschnitt aus dem Ortholuftbild (B) normalisiertes Digitales Oberflächenmodell (Vegetationshöhe)

Zur Erfassung der Bestände mithilfe des terrestrischen Laserscanning sollte ein Hand-Laserscanner (HLS) zum Einsatz kommen. Die technischen Anforderungen an das Gerät wurden unter Berücksichtigung des geplanten forstlichen Einsatzes und dem Stand der Technik-Entwicklung analysiert und in Form einer Leistungsbeschreibung zusammengestellt.

Ein entsprechend geeignetes HLS-Gerät wurde beschafft. Für diesen Scanner wurde ein passendes Arbeitsablaufdokument erarbeitet und im Laufe des Projektes den jeweiligen neuen Erkenntnissen angepasst. Der Handlaserscanner wurde im Laufe der Jahre 2019 bis 2021 für die Erfassung der Testgebiete Krahnberg, Oberhof, Possen und Roda eingesetzt. Zum Auslesen der erfassten Scandaten wird die Herstellersoftware „Geoslam Hub“ benötigt.

Die Ausgabedaten können im Anschluss vollautomatisiert mit den im Rahmen des Projektes entwickelten Algorithmen eingelesen und für die jeweils gewünschten Waldparameter scriptbasiert (R) als Shapefile, CSV oder Excel Tabelle exportiert und anschließend weiterverarbeitet werden (Abb. 22). Durch die Verwendung der lizenzfreien Programmiersprache R soll der spätere Transfer und die weitere Verwendung der Software erleichtert werden.

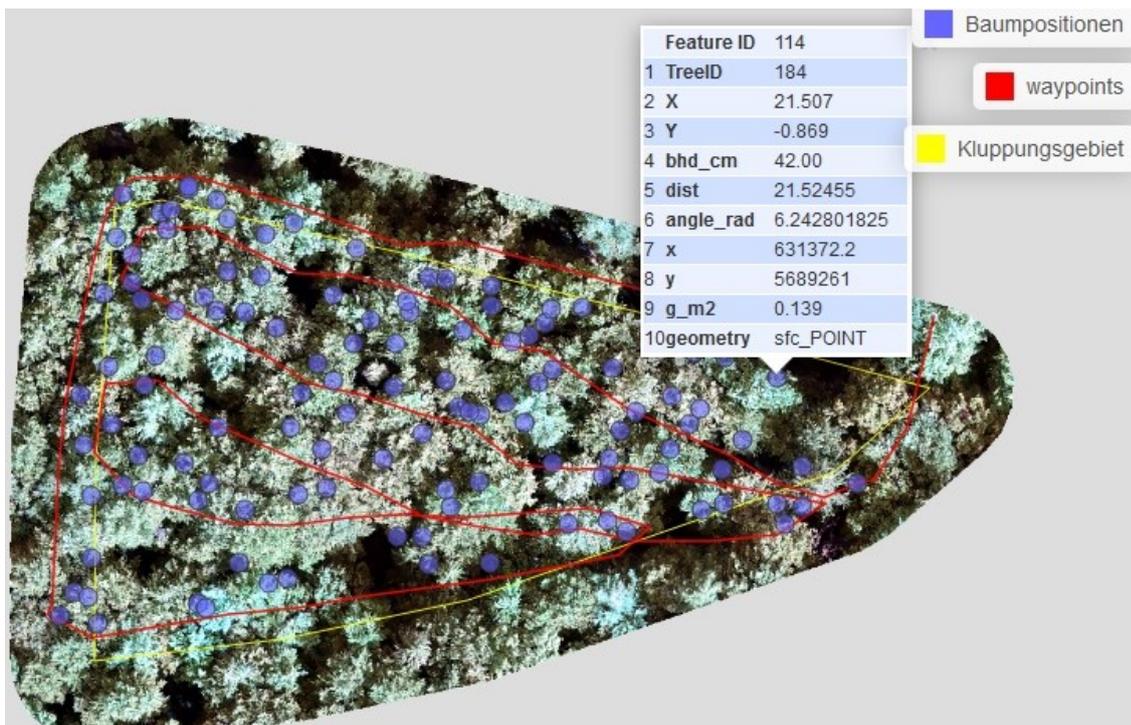


Abbildung 22: Ergebnis der Scanauswertung

Buchenbestand in Possen. Neben dem Umriss des Untersuchungsgebietes (gelb) und der erfassten Bäume (blau) wird auch der Laufweg (rot) dargestellt.

### 1.3.6 AS 2.6 Übergeordnetes IT-Architekturkonzept (INT)

In zwei Arbeitsgruppen wurde der Arbeitsschritt 2.6 (Systemarchitektur) angegangen.

Unter dem Arbeitstitel IP-INKA (INTEND Plattform INKA) wurde in der ersten Arbeitsgruppe eine Plattform zur Bereitstellung gemeinsamer Dienste des digitalen Ökosystems für INKA konzipiert.

Die Plattform ist nach dem Baukastenprinzip modular aufgebaut und die bereitgestellten Dienste können flexibel über die Laufzeit angepasst und weiterentwickelt werden.

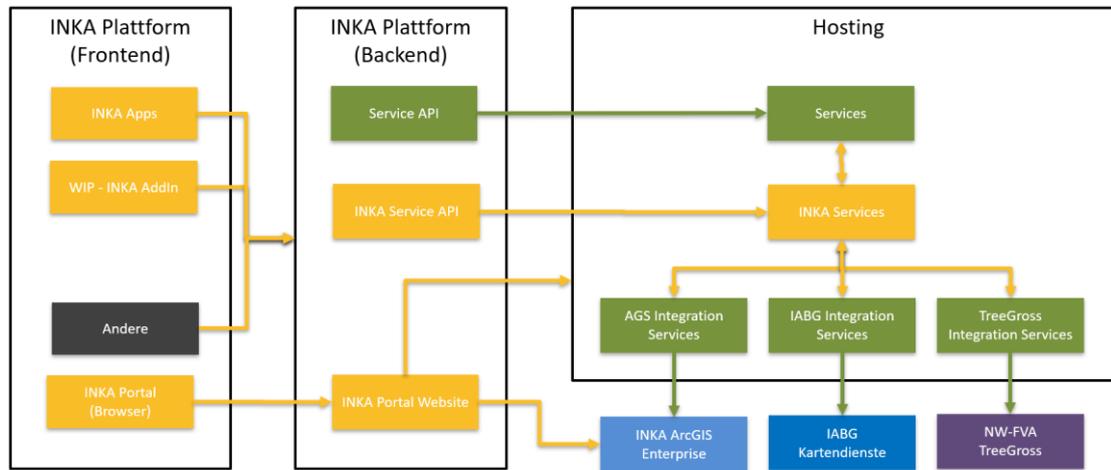


Abbildung 23: Struktur der Plattform INKA

## IP-INKA

IP-INKA beschreibt die Bestandteile des Portalsystems. Hierzu zählen alle Komponenten als auch die gesamte weitere Systemlandschaft von anderen Softwarekomponenten von INTEND und aller anderen Dritthersteller

Das Portal ist der zentrale netzwerkbasierter Zugang zu einem konkreten System. Über diesen Zugangspunkt werden Apps und Dienste bereitgestellt, d.h. sowohl INKA- als auch Fremddienste. Dabei bildet das Portal auch das zentrale Bindeglied zwischen den einzelnen Komponenten (Föderiertes System).

Zentrale Komponenten des Systems sind das Identity and Access Management (Identifizierungs- und Zugangssteuerung), das Hosting, das Service Mesh (Netz Dienste) und die Portal Site (Portalseite). Die Plattform stellt eine Vielzahl von Komponenten bereit, die die Gesamtfunktionalität des Portals gewährleisten sollen.

## Identity & Access Management (IAM)

Über die IAM Services werden im Portal alle Anforderungen an Authentifizierung und Autorisierung abgedeckt. Jeder Benutzer und jeder Client, der Dienste konsumieren möchte, muss sich zunächst am System anmelden (authentifizieren). Dabei werden Open ID und OAuth Standards unterstützt. Open ID (offene Identifizierung) ist ein dezentrales Authentifizierungssystem, das dem single-sign-on Prinzip folgt, bei dem sich der Benutzer einmal mit Benutzernamen und Kennwort anmeldet und dann mit Hilfe der Open ID Zugang zu allen vom System unterstützten Websites bekommt. OAuth (Open Authorization) ist der Name zweier

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

verschiedener offener Protokolle, die eine standardisierte, sichere API<sup>7</sup>-Autorisierung für Desktop-, Web- und Mobile-Anwendungen erlauben.

Nach der erfolgreichen Authentifizierung werden alle Zugriffe auf die Systemkomponenten über RBAC und ABAC Mechanismen überwacht und geregelt. Role Based Access Control (RBAC) ist in Mehrbenutzersystemen oder Rechnernetzen ein Verfahren sowie ein Entwurfsmuster zur Zugriffssteuerung und -kontrolle auf Dateien oder Dienste, ABAC ist eine attributbasierte Zugriffskontrolle.

Alle Benutzer und Programme, die auf das Gesamtsystem von INKA zugreifen, müssen sich am IAM authentifizieren und infolge werden Systemzugriffe über das IAM System autorisiert.

### **Monitoring**

Über die Monitoring Dienste wird dem Gesamtsystem eine zentrale Sammelstelle für Protokolle und Telemetrie<sup>8</sup> Daten bereitgestellt. Alle Protokolle und Logs werden im Monitoring Service zusammengefasst und zur manuellen und automatischen Verarbeitung bereitgestellt.

### **App Configuration**

Die App Configuration Services in der Plattform erlauben es, beliebige Konfigurationsdaten für die Plattform als auch für Fremdanwendungen zu verwalten und bereit zu stellen. Allen Anwendungen beziehen ihre Konfiguration von den App Configuration Services. Änderungen in der Konfiguration werden dabei spätestens beim Neustart der Anwendung aktualisiert bzw. synchronisiert.

### **Hosting**

Umsetzung und Betrieb des Gesamtsystems werden für eine Verwendung in einer Hybrid Poly Cloud vorgesehen. Dabei können alle Bestandteile des Systems frei bei diversen Cloud Anbietern als auch im eigenen Rechenzentrum betrieben werden. Für eine solche Umsetzung ist es notwendig, eigene Entwicklungen und Services von Drittanbietern auf einer gemeinsamen Basis zu betreiben, in der Systemunterschiede aufgefangen und die Steuerungen zentral

---

<sup>7</sup> Eine **API** (Application Programming Interface) ist ein Satz von Befehlen, Funktionen, Protokollen und Objekten, die Programmierer verwenden können, um eine Software zu erstellen oder mit einem externen System zu interagieren.

<sup>8</sup> Unter dem Begriff Telemetrie versteht man in der Softwaretechnik das Sammeln von Rohdaten, die per automatischer Datenübertragung durch einen im Hintergrund laufenden Dienst an den Entwickler übertragen werden

umgesetzt wird. Zum Projektende sollen folgende Umgebungen berücksichtigt werden, wobei eine Umsetzung dem Bedarf der Anforderungen folgt:

- Cloud: Microsoft Azure, Google Cloud Service, Amazon Cloud Services, Alibaba Cloud
- Betriebssysteme: Windows Server/Linux
- Ausführungsumgebungen: Native, Virtual Machine, Kubernetes Container

INKA wird maßgeblich in einer Microsoft Azure Cloud Umgebung betrieben, die in erster Linie auf virtuelle Maschinen aufsetzt.

### **Service Mesh**

Die Service Mesh Dienste stellen das zentrale Bindeglied zwischen den einzelnen Komponenten des Systems bereit. Darin enthalten ist die Service Registration und Discovery als auch Proxy und Load Balancing Dienste, die Einfluss auf das Hosting nehmen. Mithilfe der Service Mesh Services wird ein zentrales Auskunftssystem aller zu INKA gehörenden digitalen Dienste umgesetzt. Dieses Verzeichnis kann sowohl von INKA Komponenten als auch von Drittanwendungen verwendet werden, um notwendige Zugangspunkte zu ermitteln. So kann eine Anwendung im verteilten INKA System die aktuelle URL der Feature Services der Kartendienste ermitteln, um sich mit diesen zu verbinden.

### **Service Integration**

Durch geeignete Schnitt- und Vermittlungsstellen können Dienste von Drittanbietern in das Gesamtsystem eingebunden werden. Zur Service Integration werden die von INKA bereitgestellten Basiskomponenten auf das zu integrierende System zugeschnitten. Dieser Zuschnitt reicht von der Bereitstellung der Verbindungsinformationen bis hin zur vollständigen Schnittstelle, über die der eigentliche Dienst vollständig verdeckt wird.

Mithilfe der Service Integration Services wird für INKA die Verwendung der Dienste von IABG und NW-FVA mit einer Zwischenschicht ausgestattet, über die die Zugriffe überwacht und gegebenenfalls beeinflusst werden. Dadurch wird es möglich, Zugriffe auf die Kartendienste einem Benutzer zuzuordnen. Gleichzeitig kann hier auch das INKA Berechtigungssystem eingefügt werden, das den Zugriff auf die Inhalte frei gibt oder einschränkt.

### **Automation**

Mit Hilfe der Automation Services können Prozesse im System ereignis- oder zeitgesteuert automatisch durchgeführt werden. Daten zwischen INKA, den Kartendiensten der IABG und dem

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

System TreeGross der NW-FA werden automatisch ausgetauscht, Simulationen von Entwicklungsszenarien können automatisch angesteuert werden.

### **Payment**

Über Payment Services können Bezahldienste in das Gesamtsystem integriert werden. Mithilfe dieser Services werden zum einen Produktlizenzen und Abonnements in vorgegebenen Zeiträumen abgerechnet. Zum anderen fungiert das System wie eine "digitale Geldbörse", von kostenpflichtigen Zugriffen aufaddiert und dann gemeinsam abgerechnet (Micro Payment).

### **Data**

Die Data Services abstrahieren klassische Datenhaltungsstrategien im System. Ziel dieser Dienste ist es, die Schnittstellen zur Datenhaltung zu generalisieren und Dienste wie IAM und Monitoring in die Kommunikation mit der Datenhaltung einzubinden.

INKA und die beteiligten Anwendungen greifen auf gemeinsame PostgreSQL Datenbank zu. Zur Steuerung der Zugriffrechte und Vereinheitlichung der technologischen Umsetzung werden die Daten Dienste angeboten.

### **Solutions**

Mit Hilfe der Solutions werden Anwendungen, Dienste und sonstige Komponenten zusammengefasst und für die realen Geschäftsprozesse konfiguriert und bereitgestellt.

Die INKA Solution enthält Informationen zu verfügbaren Produkten, deren Konfiguration und Zugriffsberechtigungen für die jeweiligen Benutzer. Zudem stellen die Solutions einen Ausführungskontext (Session Context) bereit, der es dem Gesamtsystem ermöglicht, Zugriffe auf Dienste voneinander zu unterscheiden. So kann ein Dienst schreibende Zugriffe unterbinden, wenn diese Option für die entsprechende Anwendung nicht besteht.

### **Sites**

Im Portal werden klassische Websites und Webanwendungen gehostet und über den Browser bereitgestellt. Diese werden in Sites organisiert. Mithilfe der Sites Services wird für INKA selbst die INKA Web Portal Site mit der Landing Page und dem User Login als auch die INKA Admin Site für die Systemkonfiguration bereitgestellt.

## **REST API-Client**

Representational State Transfer (abgekürzt REST) ist ein Paradigma für die Softwarearchitektur von verteilten Systemen, insbesondere für Webservices. Alle Dienste, die über die INKA Plattform angeboten werden, können sowohl über eine REST API verwendet als auch administriert werden. Die API wird zusammen mit den jeweiligen Diensten entwickelt.

Mit dem C# .Net Client werden die Funktionen der REST API für die .Net Entwicklung umhüllt und aufbereitet. Mit dem JavaScript Client werden die Funktionen der REST API für die JavaScript Entwicklung umhüllt und aufbereitet.

## **User Interface**

In der zweiten Arbeitsgruppe wurde das User Interface, die Eingabemimik und die Datenbankanbindung konzipiert. Zu Projektbeginn wurde die Entscheidung getroffen mit Esri Technologie das INKA Portal zu entwickeln. Nach dem Wechsel vom Web Map Builder zum ArcGIS Experience Builder (siehe dazu auch Kap. 1.4.4) wurde mit Hilfe dieses Entwicklungswerkzeuges, das die Erstellung kartenbasierte und nicht kartenbasierte Apps unterstützt, das User Interface konzipiert, wobei die Karten- und Datenanbindung mit eigenen Widgets zu entwickeln war.

## **INKA mobil**

Im Bereich der Mobiltechnologie kam die Idee auf, die Toolbox um eine App zu ergänzen, die die Baumhöhe misst. Dabei wurden zwei Techniken des Smartphones genutzt, die Fotooptik und die Messung des Neigungswinkels. Angezeigt wurde eine horizontale Linie mit Hilfe der Fotooptik, mit der der das untere Stammende und die Baumspitze angepeilt werden, über die Neigung wird der Winkel gemessen, die Entfernung gibt der Anwender ein. Ein Prototyp wurde mit Xamarin entwickelt. Bei Xamarin handelt es sich um eine Open-Source-Plattform für das Erstellen moderner und leistungsfähiger Anwendungen für iOS, Android und Windows mit .NET. Xamarin ist eine Abstraktionsebene, die die Kommunikation zwischen freigegebenem Code und dem zugrunde liegenden Plattformcode verwaltet.

Die für ein Toughbook unter dem Windows Betriebssystem konzipierte Winkelzählprobe knüpft an bewährte INTEND Technologie an, die Sach- und Geodaten in einem einheitlichen User Interface (UI) (siehe dazu auch Kap. 1.4.4)

## **1.4 Arbeitspaket 3**

### **1.4.1 AS 3.2 Herstellung Komponenten, Systemintegration UAV (FFK)**

Für die beiden beschafften betriebseigenen Drohnen wurden jeweils Ablaufschemas, Sicherheitskonzepte, Anleitungsartikel, Drohnenflugkarten und weitere wichtige Anforderungen erarbeitet. Diese Dokumente wurden auf Ihre Praxistauglichkeit getestet. Als erster Verwertungsschritt wurden die Dokumente in die Verfahrensabläufe von ThüringenForst integriert. Damit bekamen Revierleiter die Privatwaldbetriebe betreuen, zuerst die Möglichkeit eigene UAV-Befliegungskampagnen selbständig vorzubereiten. Ein Informationsblatt für die Planung einer Drohnenbefliegung für Waldbesitzer wurde angefertigt. Diese Befliegung sollten entweder mit eigenem UAV von ThüringenForst oder auch als Vergabe an externe UAV-Dienstleister durchgeführt werden. Durch die einheitlichen Planungsabläufe und Leistungsvorgaben für die Qualität und Struktur der zu erfassenden UAV-Bilddaten wird eine gleichbleibende Qualität der Ergebnisse gewährleistet. Verfahrensabläufe wurden sowohl intern als auch durch externe Dienstleister in der Praxis erprobt.

Das in der FFK außerhalb des Projektes beschaffte UAV wurde entsprechend der INKA-Anforderungen und erarbeiteten Sicherheitskonzepten mit einer 5-kanaligen Multispektral-Kamera, und Luftverkehr-Sicherheitsmodul der Firma Droniq ausgestattet. Das Droniq-Modul erlaubt dem Piloten auf der Flugsteuerungskonsole den gesamten geregelten Flugverkehr der deutschen Luftsicherung im Umfeld des Einsatzgebietes zu überwachen. Gleichzeitig meldet es den UAV als Luftverkehrsteilnehmer bei der Flugsicherung an, so dass andere Luftverkehrsteilnehmer den UAV-Flug in ihren Systemen sehen. Damit wird die Einsatzsicherheit der Befliegungen wesentlich erhöht.

Alle System-Komponenten wurden technisch hinsichtlich Stromversorgung, Steuerung, Missionsplanung zu einem Gesamtsystem integriert.

Für die effektive Missionsplanung/Durchführung wurde ein standardisierter Workflow entwickelt und dokumentiert. Das Prozess beginnt mit dem Planungsformular in dem wesentliche für die Planung notwendige Informationen erfasst werden.

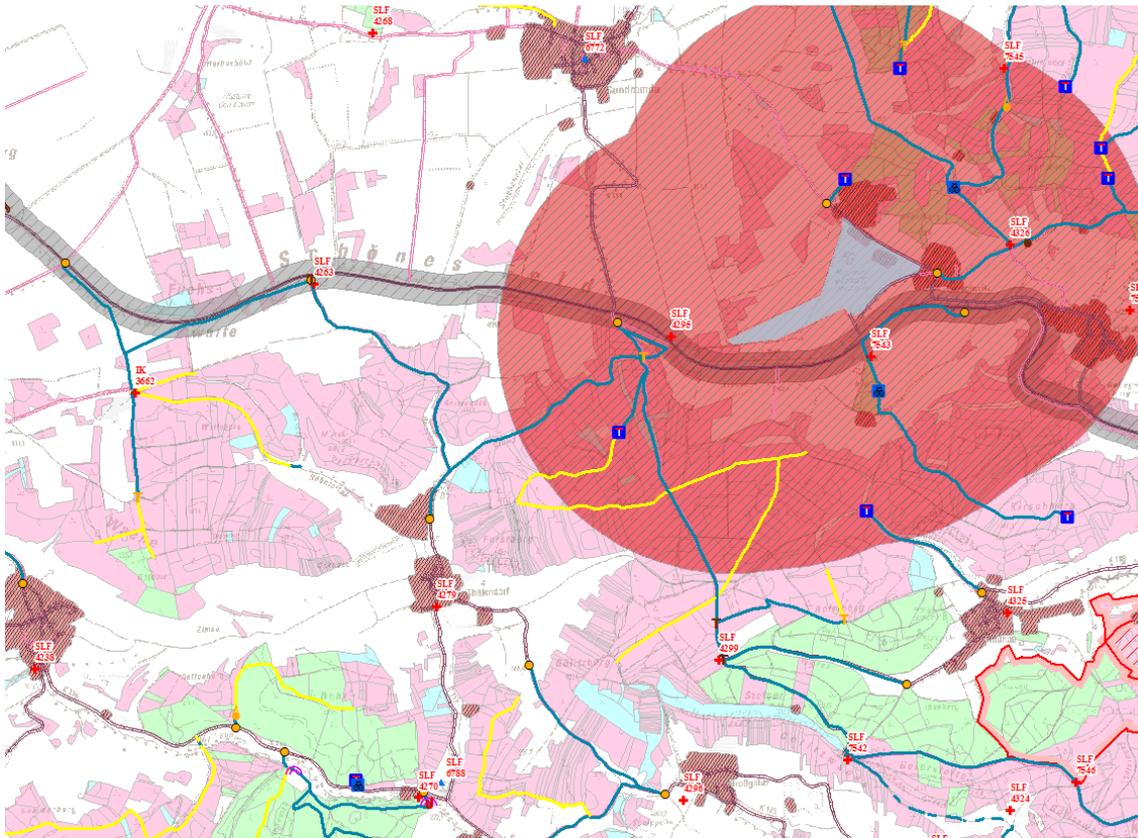


Abbildung 24 Auszug Flugplanungskarte für Drohnenbefliegungen (rot schraffiert = Flugverbotszone)

Für die weitere Planung wurde eine standardisierte Flugplanungskarte (Abb. 24) entwickelt – die durch FFK Gotha allen Revierförstern für Waldbesitzerbetreuung und Waldbewirtschaftung zur Verfügung gestellt wird. Diese ermöglicht die Abgrenzung des Missions-Gebietes und ermittelt automatisch die Flugverbotszonen, Zonen mit Abstands-Geboten und Gebiete für deren Überflug Sondergenehmigungen notwendig sind.

Aus dem Formular (Beantwortung der Fragen) und Missions-Planungskarte werden gleich die u.U. zusätzlich notwendige Genehmigungs-Anforderungen abgeleitet.

Im weiteren Workflow wird das Missionsgebiet an die Missionsplanung-Software übergeben und die Flugrouten der Mission automatisch geplant.

Die Befliegung selbst wurde hinsichtlich der Vorbereitung, Kalibrierung, Ablaufs und Reportings ebenfalls standardisiert. Im Reporting werden auch für die spätere Bildverarbeitung notwendige Daten erfasst. Vor jedem Flug wird standardmäßig Positions-Kalibrierung und Farb-/Beleuchtungs-Kalibrierung durchgeführt.

Um Befliegungen durch Dienstleister, verschiedene UAV-/Kamera-Modelle zu ermöglichen wurde ein Standard-Leistungsverzeichnis für die UAV-Roh-Daten entwickelt.

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Der Prozess der Bildverarbeitung wurde mit Software ERDAS/AGISOFT und R-Studio auch standardisiert und Dokumentiert.

Schlussendlich wurde die Datenhaltung für die Erzeugte Rasterbilder in einer zentralen Luftbild-Mosaik-Datenbank standardisiert.

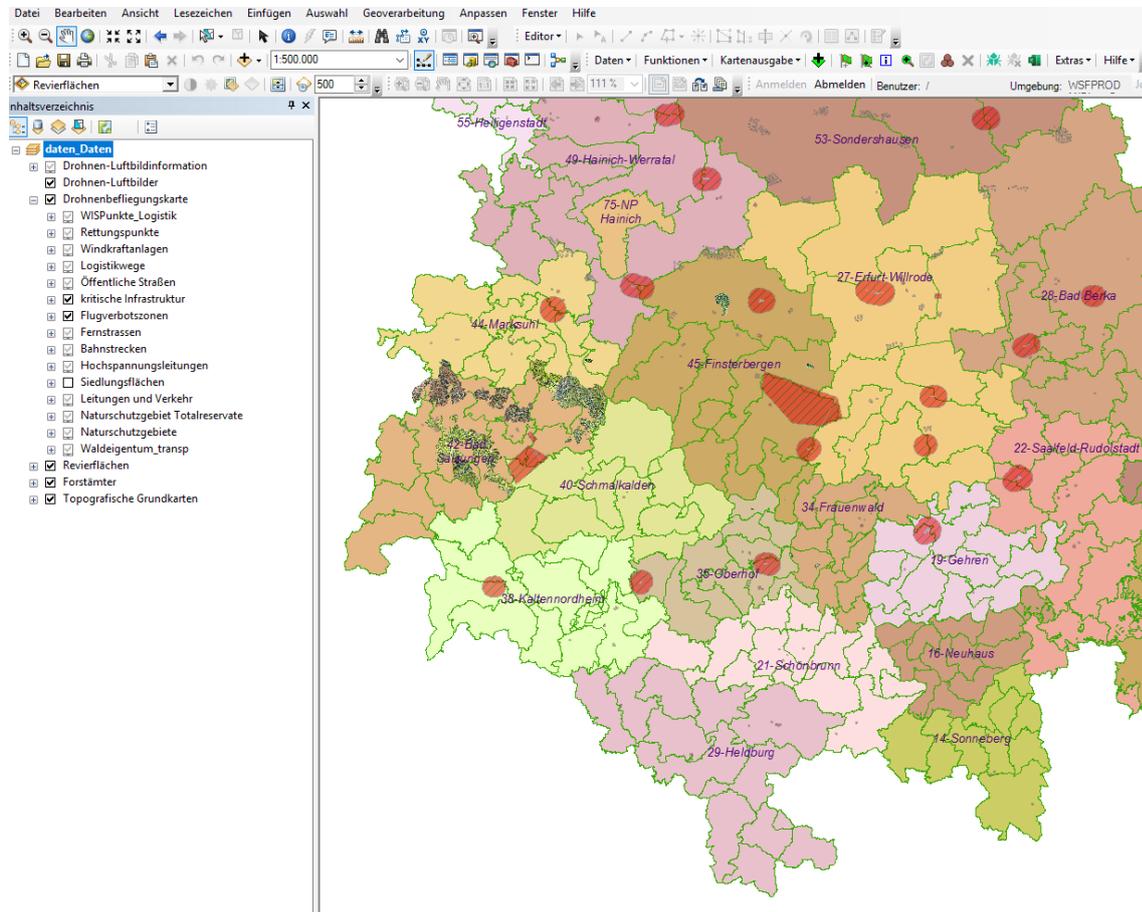


Abbildung 25 – Zentrales GIS Portal „ForstamtsGIS“ mit Drohnenbefliegungskarte und Luftbildinformationen

Durch den standardisierten Workflow ist es möglich die Durchführung der Befliegung und Auswertungen innerhalb eines Tages zu gewährleisten. Im Ergebnis stehen dem Auftraggeber die Luftbildkarten und Auswertungen im zentralen Portal zur Verfügung (Abb. 25).

Das gesamte Verfahren wurde durch FFK Gotha als Standardverfahren für alle Revierförster, die Waldbesitzer betreuen eingeführt und bereits mehrfach in der Praxis mit eigenen UAVs und externen Dienstleistern erprobt.

## 1.4.2 AS 3.2 Herstellung Komponenten, Systemintegration Laserscanning (FFK)

Der Handlaserscanner Zeb Revo RT wird betriebsfertig ausgeliefert und kann damit sehr schnell für die Erfassung von Forstbeständen genutzt werden. Zur Auswertung der Scandaten des HLS ist eine herstellereigene Software (GeoSlam Hub) notwendig. Diese wird genutzt, um die Rohdaten zu prozessieren, Fehler in der Punktwolke zu korrigieren und diese schließlich in ein INTEND Geoinformatik GmbH

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

verbreitetes Format zu exportieren. Ablaufschemata sowohl für die Bedienung des Scanners als auch für die weitere Verarbeitung in Geoslam und dem R-Skript wurden erstellt und finden sich im Anhang dieses Berichts. Die Prozesskette wurde für Fichten, Buchen sowie Kiefern Reinbeständen angewandt und erprobt.

Das primäre Bestandesmerkmal welches mit dem HLS erfasst wird, ist der mittlere Brusthöhendurchmesser (BHD) eines Bestandes, sowie die Anzahl der stehenden Bäume. Aus diesen Daten lassen sich in der Folge eine Vielzahl weiterer Bestandesparameter ableiten. Ausgehend von der Fragestellung lässt sich das Ablaufschema wie folgt darstellen:

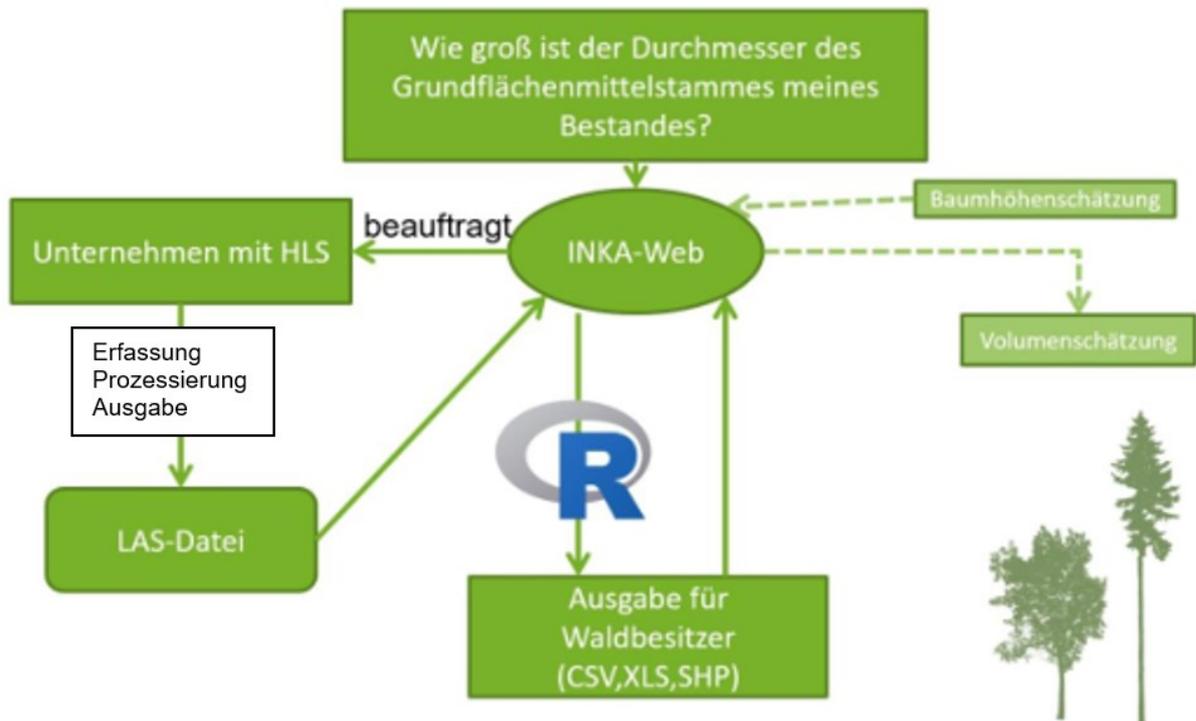


Abbildung 26: Integration HLS in INKA Web

Der zukünftige Workflow im Gesamtsystem kann wie folgt abgebildet werden: Die Weboberfläche erfasst einen Auftrag für einen Laserscan eines Bestandes. Ein Unternehmen oder Auftragnehmer (im Projekt am Beispiel von ThüringenForst) vermisst den Bestand und liefert eine Punktwolke im LAS Format an die Schnittstelle im INKA Web zurück. Diese Daten werden nun anhand integrierter Skripte der FFK verarbeitet und das Ergebnis im Tabellenformat (XLS, CSV) sowie als Shapefile zurückgeliefert.

Die nötige Prozessierung folgt dabei stets den gleichen nötigen Arbeitsschritten, welche in Abbildung 27 dargestellt werden

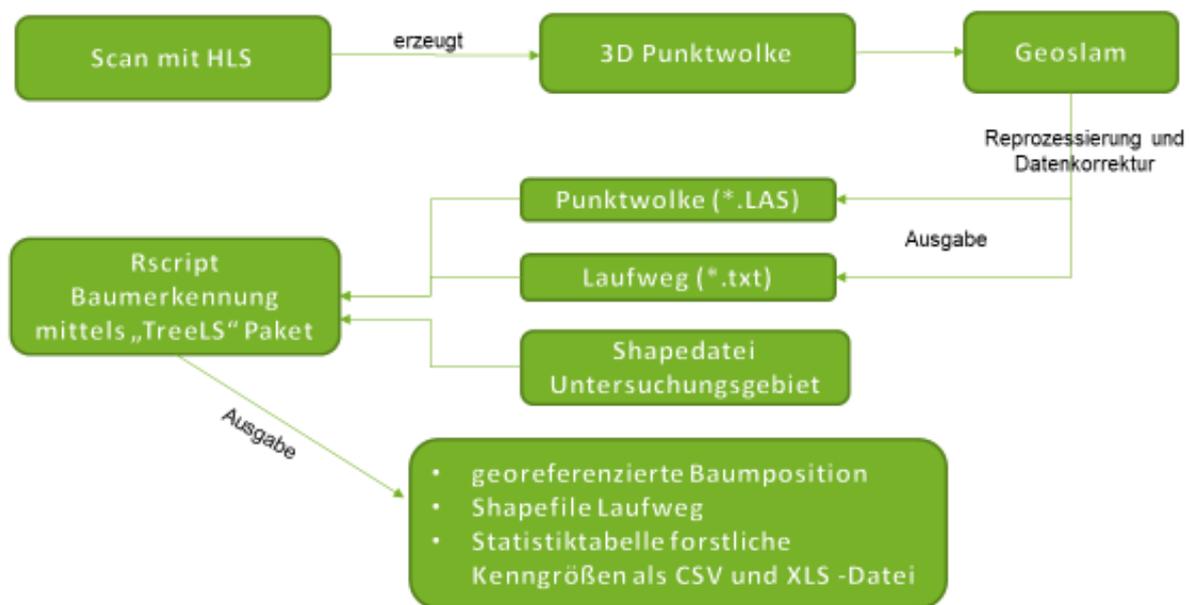


Abbildung 27: Workflow Handlaser Scanner Erfassung und Datenverarbeitung

### 1.4.3 AS 3.3 Web Services (NW-FVA)

Die Schnittstelle, die von der NW-FVA entwickelt werden sollte, wurde als REST-API<sup>9</sup> (TgREST) implementiert. Der TgREST-Service ist im Internet Zugangsgeschützt unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) verfügbar<sup>10</sup>.

Somit steht dieser Dienst grundsätzlich auch Interessenten über den INKA-Verbund hinaus zur Verfügung. Unter der genannten URL sind auch einen Bereich zum Testen der API (vgl. Abbildung 26) und einige beispielhafte, verkettete Aufrufe der wichtigsten Funktionen abrufbar. Darüber hinaus kann eine detaillierte Dokumentation aller verfügbaren Services und Methoden unter folgender Adresse geladen werden<sup>11</sup>.

Die Webservices wurden komplett in der Programmiersprache Java implementiert und werden als Webapplikation in einem sog. Service-Container (Apache Tomcat) auf mehrere Server verteilt betrieben. Diese laufen hinter einem zentralen Loadbalancer und sind mit dem Web-Server über das binäre Apache JServ Protocol (AJP) verbunden. Dadurch werden ein sehr hoher Durchsatz und stabile Antwortzeiten auch bei einer großen Anzahl an Simulationsanfragen gewährleistet. Der Service arbeitet grundsätzlich mit den Formaten XML (Extensible Markup Language) und

<sup>9</sup> REST- (Representational State Transfer) bzw. RESTful-API ist ein Application-Program-Interface-Typ (API-Typ), der der webbasierte Kommunikation von verteilten Anwendungen dient. REST wird oft auf Basis des HTTP-Protokolls implementiert und überträgt die Daten mithilfe von Standardformaten wie JSON oder xml [https://de.wikipedia.org/wiki/Representational\_State\_Transfer 2021].

<sup>10</sup> https://www.nw-fva.de/TgRest

<sup>11</sup> https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/meta/documentation

JSON (JavaScript Object Notation). Lediglich die Übergabe von Forsteinrichtungsdaten an die API weicht davon ab und arbeitet mit *plain text* (vgl. Abbildung 28. (1) *Bestand generieren*).

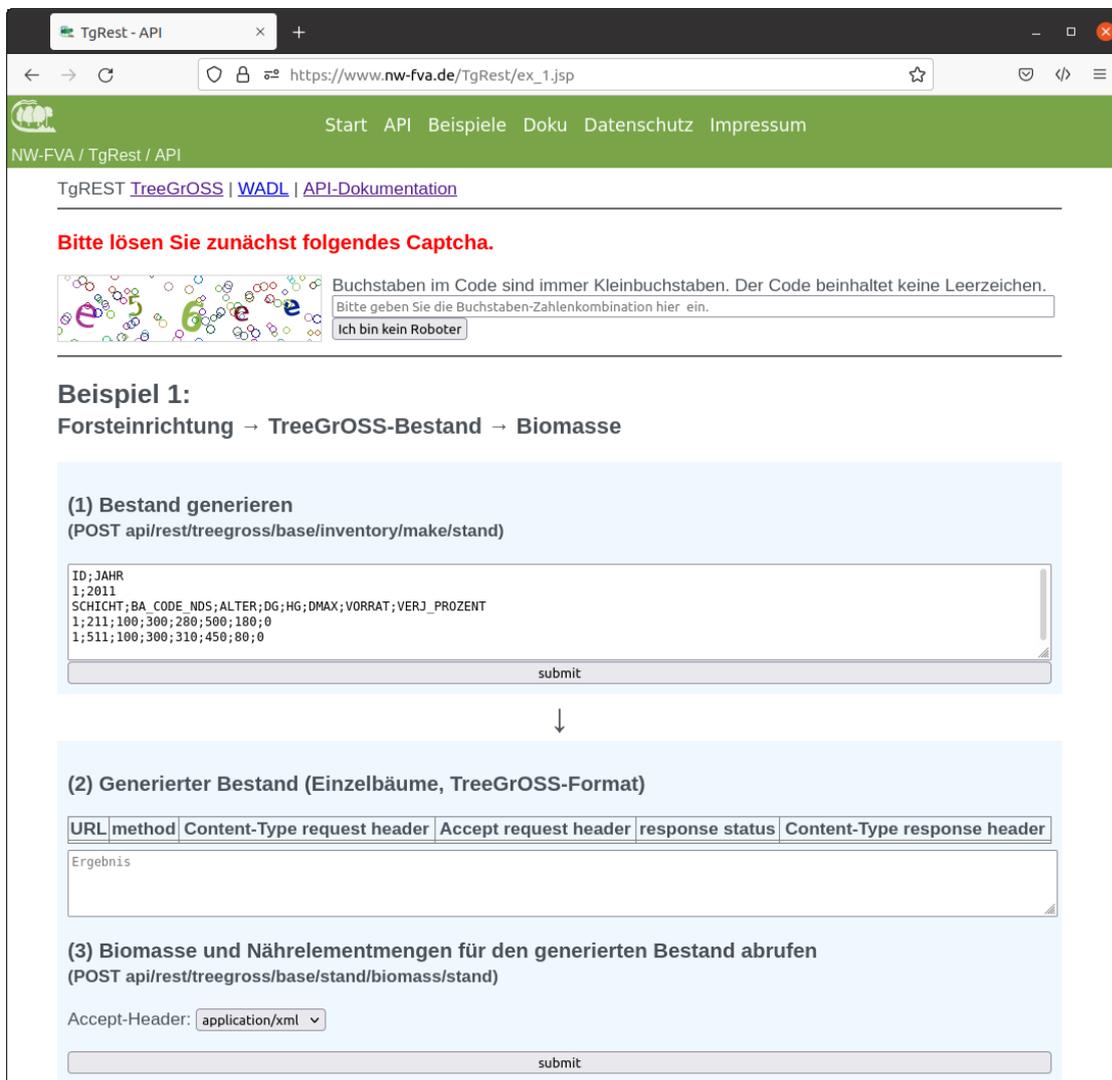


Abbildung 28: Oberfläche zum Testen mit den der wichtigsten TgREST-Funktionen <sup>12</sup>

Der Web-Service TgREST ist eine Maschine-zu-Maschine-Lösung und stellt somit keine eigene Benutzeroberfläche (GUI) zur Verfügung. Die Daten Ein- und Ausgabe auf Nutzerebene findet in der vom Projektpartner INTEND entworfen und gehosteten GUI statt. Eingegebenen Daten werden mittels einer Client-Server-Implementierung (siehe Kapitel AS 2.6 Übergeordnetes IT-Architekturkonzept (INT)) an die TgREST-API übergeben (siehe Abbildung 29). Die Ergebnisse der einzelnen TgREST-Aufrufe werden vom Client entsprechend ausgewertet, grafisch aufbereitet und abschließend in der Benutzeroberfläche dem Anwender zur Verfügung gestellt.

<sup>12</sup> [https://www.nw-fva.de/TgRest/ex\\_list.html](https://www.nw-fva.de/TgRest/ex_list.html)  
INTEND Geoinformatik GmbH

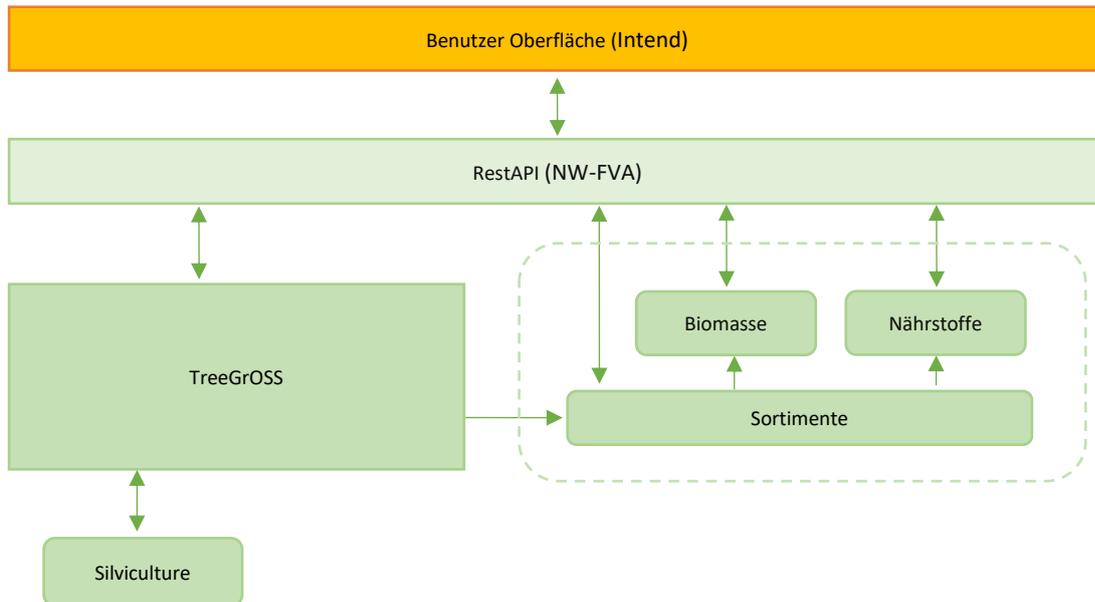


Abbildung 29: Konzeptionelle Einbindung der verwendeten Softwaremodule

Die einzelnen Methoden der API sind in fünf Basis-Services unterteilt (Abbildung 30).

## Services

<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/baem">BaEm</a>	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/baem">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/baem</a>
<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/evaluation">TgEvaluations</a>	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/evaluation">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/evaluation</a>
<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/meta">TgRestMeta</a>	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/meta">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/meta</a>
<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base">TreegrossBase</a>	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base</a>
<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/yieldtable">YieldTables</a>	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/yieldtable">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/yieldtable</a>

Abbildung 30: Die Basis-Services der TgREST-API

Abbildung 30 zeigt die verfügbaren Methoden des TreegrossBase-Basis-Services. Dieser Bereich der API ist der umfangreichste und stellt alle Methoden zur Verfügung, um virtuelle Bestände anhand von Forsteinrichtungsdaten zu generieren, das Bestandeswachstum und verschiedene Behandlungen abzubilden und darauf aufbauend Sortimente und Biomassen sowie Nährelementgehalte zu berechnen.

Die Methode makeStand nimmt z.B. einen Forsteinrichtungsdatensatz an und baut damit einen virtuellen Bestand auf (siehe Abschnitt 1.3.2.), der den Ist-Zustand des realen Bestands im Inventurjahr darstellt. Dabei werden bei Bedarf fehlende Parameter ergänzt. Die Methode makeStand liefert ein TgRestStand-Objekt (XML/JSON) aus, welches von anderen Methoden wiederum entgegengenommen und weiterverarbeitet werden kann. Mittels der Methode treatReturningFoeData kann für diesen Bestand für einen definierten Zeitraum Wachstum und Behandlungen simuliert werden. Die Ausgabe erfolgt in diesem Fall als eine Liste von Forsteinrichtungszeilen (TgRestFoeRow, vgl. Abbildung 32), welche den stehenden und ausscheidenden Bestand zu jedem Simulations-Intervall (5 Jahre) in Form von

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Forsteinrichtungszeilen beschreibt. Alternativ könnte aber auch eine höher aggregierte Zusammenfassung abgerufen werden. Da der REST-Service zustandslos ist, muss die konsumierende Client-Implementierung ggf. im Gesamtsystemkontext notwendige oder die Performance verbessernde Datenspeicherungen vornehmen. Z.B. wäre es sinnvoll, nach der Erfassung der Ausgangsdaten zu einem Bestand, das TgRestStand-Objekt nur einmal zu generieren, zu speichern und für alle weiteren Anfragen temporär oder dauerhaft zu speichern.

### TreegrossBase

<https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base>

#### Methods

<a href="#">biomassLogs</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/logs">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/logs</a>
<a href="#">biomassStand</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/stand">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/stand</a>
<a href="#">biomassTrees</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/trees">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/biomass/trees</a>
<a href="#">getSpeciesInformation</a>	GET	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/species/{artCode}/{is_nds_format}">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/species/{artCode}/{is_nds_format}</a>
<a href="#">getSpeciesInformationList</a>	GET	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/species/list">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/species/list</a>
<a href="#">getWET</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/wet">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/wet</a>
<a href="#">growReturningFoeData</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/grow/inventory">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/grow/inventory</a>
<a href="#">growReturningStand</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/grow/stand">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/grow/stand</a>
<a href="#">makeInventory</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/make/inventory">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/make/inventory</a>
<a href="#">makeStand</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/inventory/make/stand">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/inventory/make/stand</a>
<a href="#">sort</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/sort">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/sort</a>
<a href="#">treatReturningFoeData</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/inventory">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/inventory</a>
<a href="#">treatReturningStand</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/stand">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/stand</a>
<a href="#">treatScenarioReturningFoeData</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/scenario/inventory">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/scenario/inventory</a>
<a href="#">treatScenarioReturningStand</a>	POST	<a href="https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/scenario/stand">https://www.nw-fva.de/TgRest/api/rest/treegross/base/stand/treat/scenario/stand</a>

Abbildung 31: Methoden des TreegrossBase-Basis-Service

Des Weiteren stellt der Basis-Service *TgRestMeta* verschiedene Metainformationen zu dem

```
"TgRestFoeRow": [{
  "year": 2011,
  "ek1": 1.5,
  "layer": 1,
  "species": 211,
  "age": 53,
  "Dg": 13.545772872034462,
  "Hg": 17.830661834455416,
  "d100": 15.073833454035505,
  "h100": 18.915952674768914,
```

Abbildung 32: Teil der JSON-Rückgabe der Methode *treatReturningFoeData*

Service bereit. Neben der Angabe zur Version von TgREST und der Versionen der integrierten

Software-Module sind in diesem Bereich vor allem die Dokumentation und eine Methode zur Beschreibung der von TgREST verwendenden Objektklassen zu finden.

Der Basis-Service *YieldTables* kapselt alle in TgREST integrierten Tafelwerke. Darüber hinaus sind aber auch verschiedene Funktionen vorhanden, um passende Tafel zu einer gegebenen Koordinate und Baumart zu ermitteln.

Der *BaEm*-Basis-Service ist ein Proxy zu dem bestehenden REST-Service *BaEm*. Somit können die über diesen Service angebotenen klimaangepassten Baumartenempfehlungen in Form von Bestandeszieltypen Listen zu einer gegebenen Koordinate abgerufen werden. Die Etablierung des Proxys vereinfacht die Integration in Drittimplementierungen, da alle wichtigen Funktionen in einem Service gekapselt und dokumentiert sind. Folgender Aufruf zeigt beispielhaft einen Abruf von Baumartenempfehlungen zu der WGS84-Koordinate [8.3921783, 49.8554787].

*TgRest/api/rest/baem/targettypes?srId=4326&x=8.3921783&y=49.8554787*

Die Service-Antwort im XML-Format beinhaltet neben der Liste der landesspezifischen Zieltypen (WET, BZT, WEZ) u.a. auch Informationen zum Standort und dem Datenstand der Empfehlung

```
<recommendation ID="150143" datenStand="01.06.2021" county="HE"
targetTypeName="WEZ" kwb="-390" nfk="142" gwh="5" gwhText="feucht (5)"
swb="-248" swbClass="6" swbClassText="-200 bis -250 mm" trophy="EU"
trophyText="eutroph" assignment="hydro" color="#5DC962">
  <targetTypes>
    <targetType>10</targetType>
    <targetType>13</targetType>
    <targetType>20</targetType>
    <targetType>21</targetType>
    <targetType>23</targetType>
    <targetType>31</targetType>
    <targetType>40</targetType>
  </targetTypes>
  <annotations/>
  <licence>[...]</licence>
</recommendation>
```

Abbildung 33: *BaEm* Service-Antwort im XML-Format

#### 1.4.4 AS 3.4 Technische Implementierung (INT)

Im Rahmen des Projektes wird in unterschiedlichen Arbeitspaketen analysiert, wie Geoinformationen gewonnen und bereitgestellt werden können. Um diese Informationen den Anwendern zur Verfügung zu stellen, bedarf es eines öffentlich zugänglichen Portals, das Informationen bereitstellt aber auch personen- und flächenbezogene Daten schützt.

Aktuell sind viele innovative GIS-Technologien neu verfügbar und diese mobil- oder cloud-basierenden Angebote entwickeln sich dynamisch weiter. Bei Projektstart fiel die Entscheidung auf den Web App Builder der Firma Esri. Steuerelemente (sogenannte Widgets) versorgen die

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Anwendungen, die auf dem Web App Builder basieren mit Grundfunktionen wie Drucken, Kartenauswahl oder auch Analysen. Erste Entwicklungen verliefen vielversprechend, die Technik zeigte sich robust und performant und stellte hinreichende Steuerfunktionen zur Verfügung. Als von Esri der Web App Builder Anfang 2020 abgekündigt wurde, galt es eine schwierige Entscheidung zu treffen. Eine Abkündigung bedeutet, dass die Unterstützung der Software in den nächsten (voraussichtlich drei) Jahren ausläuft. Die neue Technologie, die Esri seit 2020 bereitstellt, verspricht eine höhere Zukunftssicherheit bedeutet aber zugleich erheblichen Zeitverzug, da erfolgte Arbeiten mit dem Web App Builder nicht ohne weiteres übertragbar sind und auch die Bereitstellung der angekündigten Steuerelemente sich bis heute hinzieht, so dass elementare Routinen wie die Anbindung einer Sachdatenbank selbst erarbeitet werden mussten. Um die langfristige Perspektive des Projektes nicht in Frage zu stellen, gab es aber zu der getroffenen Entscheidung keine Alternative.

### INKA Portal

**intend**  
GEOINFORMATIK

INKA-App    Wuchsmodelle und Szenarien    Berichte und Ausdrücke    Import / Export    Dienstleister und Forsteinrichter    Kontakt

**INKA**  
Effizientere Verwaltung, Organisation und Kommunikation  
durch Geoinformatik-Lösungen von INTEND

Inka Experience

**Import / Export**  
Import von Shape-Dateien  
Export von Bestandsdaten  
Anbindung an externe Programme  
Mehr lesen

**Wuchsmodelle Szenarien**  
Import von Shape-Dateien  
Export von Bestandsdaten  
Anbindung an externe Programme  
Mehr lesen

**Dienstleister Forsteinrichter**  
Import von Shape-Dateien  
Export von Bestandsdaten  
Anbindung an externe Programme  
Mehr lesen

**Berichte Ausdrücke**  
Import von Shape-Dateien  
Export von Bestandsdaten  
Anbindung an externe Programme  
Mehr lesen

Abbildung 34: Startseite Demonstrator  
INTEND Geoinformatik GmbH

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Der Demonstrator des INKA Portals ist als eine frei zugängliche Website konzipiert, die die Anwender (User) über den Funktionsumfang der INKA Experience informiert. Dazu gehört

- Import und Export von Daten (Shape Dateien, Bestandesdaten, Externe Daten)
- Wachstumsmodelle und Szenarien (Bidirektionale Schnittstelle NW-FVA)
- Dienstleister und Forsteinrichter (Option: Kontaktdaten zu Dienstleistern)
- Berichte und Ausdrücke

Über den Button „INKA Experience“ gelangt der Anwender in den gesicherten Bereich der Website. Authentifizierung und Autorisierung erfolgen anhand des Benutzernamens und seines Passworts. In diesem Bereich der Website hat er Zugang zu seinen Daten und kann gewünschte Funktionen nutzen.

## INKA Experience

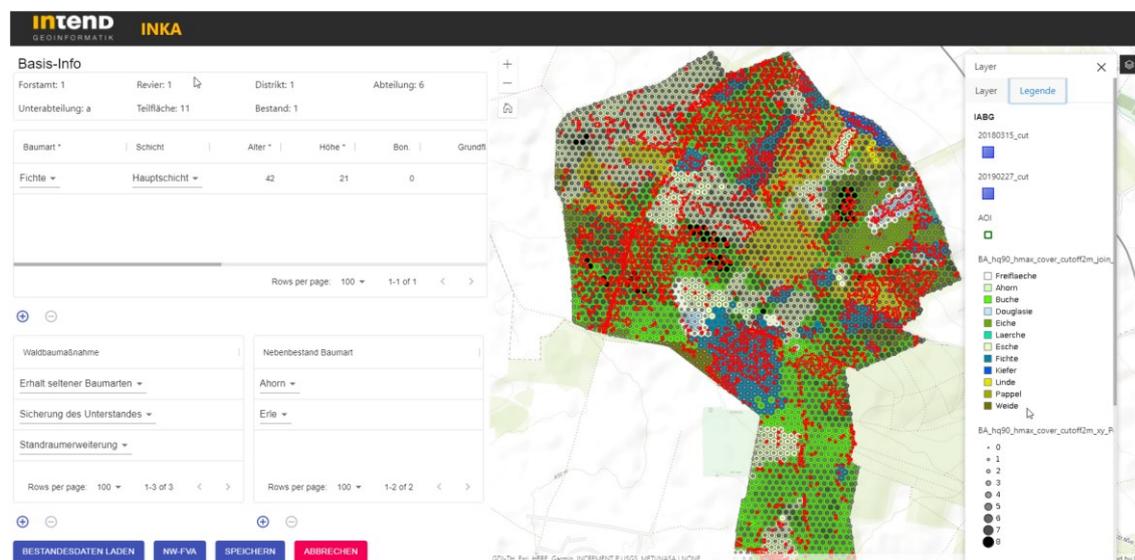


Abbildung 35: Daten des selektierten Bestandes

Der Bildschirm gliedert sich in einen Karten- und einen Sachdatenbereich.

Die rechte Bildschirmhälfte bietet die Fläche für das Kartenmaterial. In Bezug auf die Karte werden oben links innerhalb der Karte die Funktionen

- Verkleinern
- Vergrößern
- Standardansicht
- Layerauswahl

angeboten.

Auf der linken Seite der Karte können am oberen Rand Layer und Legenden aufgerufen werden. Hier werden die Geoinformationen der IABG zu den Flächen dargestellt. Folgende Layer können für die Fläche einzelner Bestände und der Gesamtfläche des Kranbergs aufgerufen werden

- Flächenveränderung (Change Detection)
- Für die Bestandsflächen
  - Kronen-Bedeckungsgrad
  - Hauptbaumarten
  - Baumhöhen-Kategorien

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

- Mischform
  - Waldtyp
  - Wuchsklasse
- Für die Fläche des Kranbergs
  - Kronen-Bedeckung
  - Hauptbaumarten
  - Baumhöhen-Kategorien
  - Mischform
  - Waldtyp
  - Wuchsklasse
- Grenzen der Flächen (Area of Interest) (Waldeinteilung)
- Hangposition
- Hangneigung
- Höhenlinien

Im Sachdatenbereich können zu einer selektierten Fläche folgende Informationen bereitgestellt werden

- Waldort (Forstamt, Revier, Distrikt, Abteilung, Unterabteilung, Teilfläche und Bestand)
- eine oder mehrere Zeilen Bestandesinformationen (Baumart, Alter, Bonität, Grundfläche, Bestockungsgrad, Mischungsanteil in Hektar und in Prozent, Vorrat Erntefestmeter pro Hektar, Vorrat Erntefestmeter gesamt, Zuwachs Erntefestmeter pro Hektar und Jahr, Zuwachs Erntefester pro Jahr)
- Waldbaumaßnahmen
- Baumarten Nebenbestand

Bei den Bestandesinformationen können neue oder weitere Zeilen editiert werden, hier wurde die „intelligente Erfassung“ umgesetzt, die aus der Eingabe weniger Parameter die übrigen Informationen errechnet bzw. aus Ertragstafel hinzuzieht. Ebenso können Waldbaumaßnahmen und Baumarten im Nebenbestand neu erfasst oder ergänzt werden.

Die Buttons am unteren linken Bildschirmrand bieten folgende Funktionen

- Anzeige der zugehörigen Daten zu einer ausgewählten Fläche
- Aufruf der bidirektionalen Schnittstelle TreeGross (NW-FVA)
- Erfasste Daten speichern
- Bearbeitung Abbrechen

### **Bidirektionale Schnittstelle NW-FVA**

Zur Durchführung der Simulation muss als Pflichtangabe der Simulationszeitraum in Jahren angegeben werden.

Optional kann ein Waldentwicklungstyp angegeben werden, weil dieser Auswirkungen auf mögliche Behandlungen haben kann.

Die Rohdaten der Simulation werden in grafischen Darstellungen aufbereitet.

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

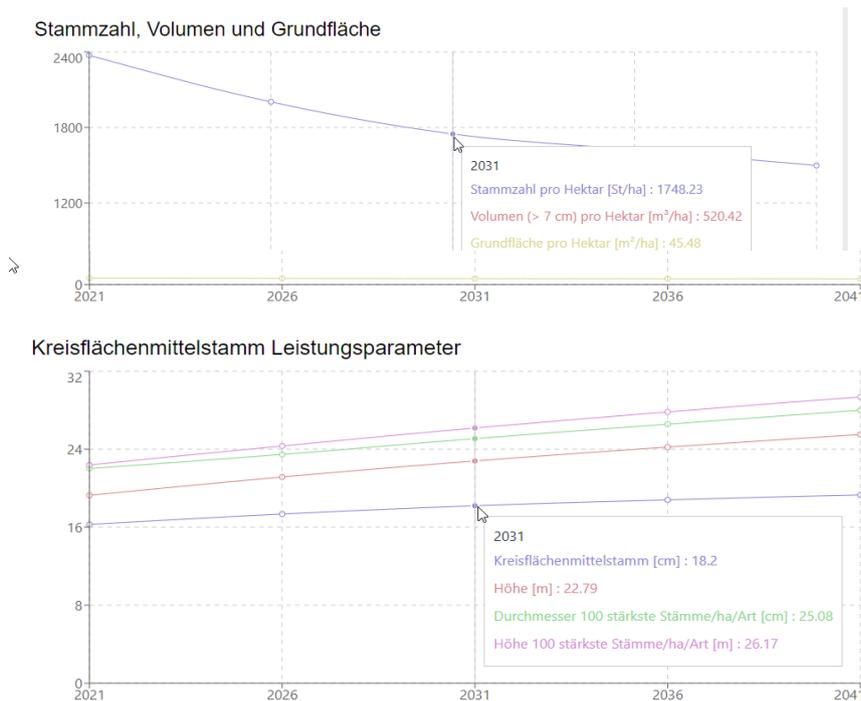


Abbildung 36: Flächeninformationen zu Einzelbeständen

Entlang der Zeitachse werden zum einen Stammzahl, Volumen und Grundfläche pro Hektar dargestellt als auch Kreisflächenmittelstamm (in Zentimeter), Höhe (in Meter), der Durchmesser und die Höhe der 100 stärksten Stämme je Hektar und Art.

## INKA mobil

In der mobilen Applikation hat der Anwender die Möglichkeit, die Informationen, die er aus der Winkelzählprobe (WZP) gewinnt, in einer Datenbank zu erfassen. Das Tool kann daraufhin die Auswertungen und Zusammenfassungen der WZP-Aufnahmen berechnen. Der Nutzer wird bei der Planung der WZP unterstützt, indem in einer Fläche ein Raster automatisch oder manuell erstellt werden kann, so dass die Punkte für die WZP auf der Karte vorhanden sind. In der Anwendung wird ein Geodaten-View erzeugt, in dem der Nutzer Flächen frei digitalisieren, aus anderen Themen übernehmen oder auch auf bereits vorhandene Geodaten zugreifen kann. In diese Fläche wird nach je nach Auswahl ein Raster automatisch angelegt, das bedeutet 25 Meter Abstand zum Flächenrand und genau so viel Abstand zu dem nächsten Punkt. Alternativ kann eine händische Eingabe erfolgen, wenn der Anwender die Homogenität der Fläche selbst einschätzen will. An jedem Punkt der Probe werden Attribute erfasst (Baumart, Anzahl Bäume pro Baumart, Zählbreite). Dem Anwender wird eine Zusammenfassung der erfassten Daten dargestellt.

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

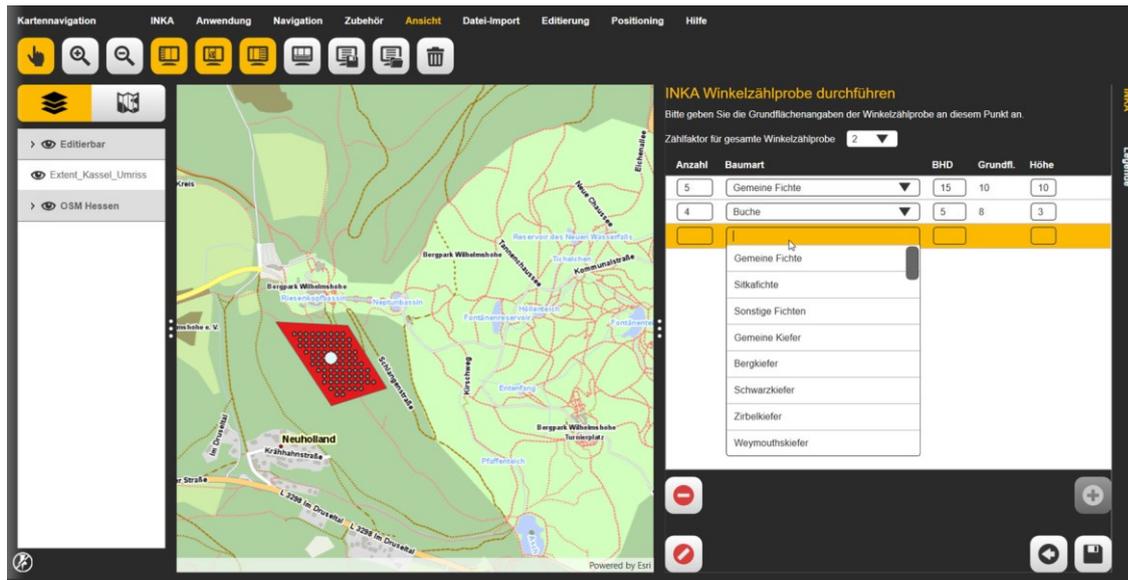


Abbildung 37: Erfassung Winkelzählprobe

Im Bereich der Mobiltechnologie kam die Idee auf, die Toolbox um eine App zu ergänzen, die die Baumhöhe misst. Dabei wurden zwei Techniken des Smartphones genutzt, die Fotooptik und die Messung des Neigungswinkels. Angezeigt wurde eine horizontale Linie mit Hilfe der Fotooptik, mit der das untere Stammende und die Baumspitze angepeilt werden, über die Neigung wird der Winkel gemessen, die Entfernung gibt der Anwender ein. Um die technische Machbarkeit zu prüfen, wurde ein Prototyp mit Xamarin entwickelt. Bei Xamarin handelt es sich um eine Open-Source-Plattform für das Erstellen moderner und leistungsfähiger Anwendungen für iOS, Android und Windows mit .NET. Xamarin ist eine Abstraktionsebene, die die Kommunikation zwischen freigegebenem Code und dem zugrunde liegenden Plattformcode verwaltet.

## 1.4.5 AS 3.5 Systemtest (UNI, IABG, FFK, Praxispartner)

Im Rahmen des Systemtests wurde die von der Uni konzipierte „intelligente Dateneingabemaske“ zur quantitativen Bestandesbeschreibung, die Datenkommunikation mit der NW-FVA und die Bereitstellung der IABG-Daten in dem INKA Portal in den Demonstrator eingebunden. Wegen der in Kapitel 1.4.4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** genannten Gründe konnte seitens der Abteilung Forstökonomie ein Systemtest im eigentlichen Sinne nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurden seitens der Abteilung Forstökonomie im Rahmen einer Fallstudie und auf Basis von MS Excel und MS Access sowie QGIS eine Konzeption für das forstliche Flächenmanagement entwickelt und exemplarisch erprobt (vgl. u.a. Erfolgskontrollbericht „Teilvorhaben 4: Betriebswirtschaftliche Strategie“, Kapitel 4). Die jeweiligen Erkenntnisse wurden im gegenseitigen Austausch mit dem Konsortium erörtert.

## 1.5 Arbeitspaket 4

### 1.5.1 AS 4.1 Verifizierung des Verfahrens (FFK)

Die Überprüfung der verwendeten Methoden an den UAV Daten ist an zwei verschiedenen Baumarten abgeschlossen und wird nur noch geringfügig optimiert. Die Gegenüberstellung der INTEND Geoinformatik GmbH

klassisch ermittelten forstlichen Parameter zu den Werten aus den UAV Daten von Oberhof und Possen zeigt gute Ergebnisse (Abb. 38). Hierbei wurden forstliche Dienstleister und die eigenen Projektbearbeiter eingesetzt, um z.B. die Testbestände zu messen und zu bewerten. Auffällig ist bei beiden Untersuchungsgebieten, dass die Baumhöhen aus den UAV Daten im Vergleich zu den gemessenen Höhen mit einem forstlichen Standardgerät unterschätzt werden.

	Buche (Possen)		Fichte (Oberhof)	
	Gemessen	UAV	Gemessen	UAV
<b>Oberhöhe [m]</b>	29,3	27,1	24,6	23,6
<b>Grundfläche [m<sup>2</sup>/ha]</b>	31,0	21,0	32,9	33,8
<b>Stammzahl []</b>	1.546	1.308	2.410	2.373
<b>BHD [cm]</b>	34,6	31,9	35,7	37,4
<b>Derbholzvolumen [m<sup>3</sup>/ha]</b>	435,2	313,7	384,7	396,1

Abbildung 38: Ausschnitt aus Gegenüberstellung der klassisch gemessenen sowie per UAV ermittelter Daten in zwei Testgebieten (Oberhof / Possen)

Im Mai 2021 wurde eine weitere UAV Befliegung in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Fernerkundung der Friedrich-Schiller-Universität Jena gestartet, mit dem Ziel, die entwickelte Methodik an der Baumart Kiefer Baumart zu testen. Das Untersuchungsgebiet war dabei etwa 36 ha groß und befand sich etwa 15 Kilometer südöstlich von Jena. Eine kleine Fläche von ca. 0,25 ha Größe wurde von Studierenden der Universität gekluppt. Die Universität Jena untersuchte diese Fläche schon mehrfach in den letzten Jahren.

Das Ergebnis der Befliegung war nicht ganz zufriedenstellend, da während der Befliegung relativ stürmische Wetterbedingungen herrschten und die Kronenspitzen sich in der Folge stark bewegten. Ein Vergleich zwischen früheren Drohnenaufnahmen zu den Aktuellen war somit leider nicht sinnvoll möglich. Allerdings zeigt sich beim Vergleich vom Durchschnitt der gekluppten BHD Werte zu den geschätzten Werten eine Differenz von 1 cm. Die gemessenen Höhen wurden von den UAV Baumhöhen erneut unterschätzt.

Die Messungen mit dem Handlaserscanner sind für die Baumarten Buche und Fichte abgeschlossen. Bei der als Vergleich dienenden Kontrollstichprobe in Oberhof wurden 624 Bäume umfassend vermessen. Mit dem Handlaserscanner wurden bei obigen Verfahren 4.099 Baumpositionen geschätzt. Nach der Hochrechnung auf Basis der Kontrollstichprobe ergab sich ein Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (Dg) von 36,9 cm, aus den LiDAR-Punktwolken des Handlaserscanners konnte ein Dg von 39,2 cm ermittelt werden. Somit ergibt sich eine Differenz beim Methodenvergleich von etwa 2,1 cm. Dieser Wert liegt im

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Messfehlerbereich des Handlaserscanners. Insofern ist neben der flächigen Nutzung die stichprobenartige Anwendung des Handlaserscanners bei entsprechend großer Stichprobenanzahl durchaus möglich. Die verwendeten Prozessierungsparameter wurden in vielen Testszenarien stetig weiter optimiert und liefern im Mittel bereits jetzt teilweise sehr gute Ergebnisse auch für die Messungen 2020 (Abb. 39).

ID	Fläche (ha)	Stammzahl (VK)	Stammzahl (HLS)	Differenz (%)	BHD_mean_VK (cm)	BHD_mean_HLS (cm)	Differenz (%)	dg (VK)	dg (HLS)	Differenz (%)
1	0,78	420	386	8,1	28,4	29,40	3,4	30,8	31,5	2,3
2	0,33	123	123	0,0	33,8	34,65	2,5	35,9	36,4	1,4
3	1,72	615	565	8,1	28,5	32,29	13,3	31,1	34,2	9,1
5	0,47	166	155	3,6	29,0	29,95	3,3	31,2	31,9	2,2
7	1,78	805	691	14,2	27,6	29,29	6,1	29,7	30,2	1,7
		2129	1920	Ø 6,8%			Ø 5,7%			Ø 3,4%

Abbildung 39: Ausgewählte Messergebnisse mit dem Handlaserscanner im Untersuchungsgebiet Possen (Baumart Buche)

Eine durch das INKA-Projekt initiierte und betreute Bachelor-Arbeit der TH Berlin zur Genauigkeit der Baumdurchmesser-Bestimmung mittels HLS wurde angefertigt und veröffentlicht (Christiansen, 2020). Eine weitere Bachelor Arbeit an der FSU Jena zu den statistischen Grundlagen der für HLS-Einsatz notwendigen linearen Taxation wurde im Herbst 2021 abgeschlossen (Engelke, 2021). In dieser Bachelorarbeit konnte der Autor nachweisen, dass die Taxation einer zufällig ausgewählten linear ausgeführten Stichprobe (lineare Taxation) hinreichend genau ist, um den mittleren BHD des Gesamtbestandes zu bestimmen. Je größer dabei der Probenumfang gewählt wurde, umso genauer wurden die Daten. Um eine Genauigkeit im Vergleich zur Vollkuppung zu erzielen, die im Mittel nur 3cm abweicht ist es demnach ausreichend, wenn nur etwa 10% des Untersuchungsgebietes gescannt werden. Dies ist auch in Hinblick auf einen Einsatz des HLS als Alternative zur herkömmlichen Forsteinrichtung eine wichtige Erkenntnis.

Zwei weitere Bachelorarbeiten wurden im Rahmen des Projektes von Studenten der FSU Jena und der Fachhochschule Erfurt angefertigt. Eine Bachelorarbeit vergleicht die konventionelle Baumhöhenmessung (Blume-Leiss, Sunto, Vertex) mit den per UAV ermittelten Baumhöhen (Feuer, 2022). Die andere wissenschaftliche Arbeit beschäftigt sich mit dem Vergleich der Wald Biomasse aus herkömmlichen Methoden zu Fernerkundungsdaten von modernen Radarfernerkundungssysteme wie Envisat oder Sentinel-1 (Ehrhardt, 2022).

## **1.5.2 AS 4.2 Dokumentation des Vollzuges (UNI)**

### **Dokumentation des Naturalvollzugs**

Voruntersuchungen im Rahmen explorativer Expertengespräche ergaben, dass ein Großteil der forstlichen Akteure den Naturalvollzug nicht aktiv in den jeweiligen Beständen verbucht. I.d.R. wird das Verfahren als „zu kompliziert“ oder „zu aufwändig“ angesehen. Viele der Befragten sehen v.a. auch aufgrund der bisher üblichen Papier-Form keinen Mehrwert und verorten elementare Probleme bei der anteiligen Zuordnung eingeschlagener Holzvolumina auf den jeweiligen Bestand.

Vor diesem Hintergrund erfolgte die Analyse der bereits recherchierten Forsteinrichtungswerke bezüglich des Angebotes einer entsprechenden Erfassungs-Matrix, welche die Dokumentation des Vollzuges grundsätzlich unterstützen würde. Etwa ein Fünftel der untersuchten Dokumente enthielt eine solche Maske. Die Inhalte dieser Maske wurden im Rahmen eines digital durchgeführten Projekttreffens gegenüber den Projektpartnern kommuniziert und mit diesen hinsichtlich der Eignung und möglichen Weiterentwicklung im Rahmen von INKA diskutiert. Die im Kontext dieser Diskussion als wertvoll erachteten Parameter fließen in die Konzeption des INKA-Aufbaus ein. Somit kann dem potenziellen Anwender eine geeignete, digitale und somit auswertbare Plattform zur Dokumentation des Maßnahmenvollzugs geboten werden.

### **Konzeptentwurf zur praxisorientierten Umsetzung von INKA**

Seitens der Abteilung Forstökonomie wurde in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner INTEND ein Konzept zur praxisorientierten Umsetzung von INKA entwickelt. Dieses setzt sich aus den Bestandteilen Grob- und Feinkonzept sowie einem Ergänzungsschreiben zusammen. Die zentrale Fallstudie zur praktischen Umsetzung stellt dabei der thüringische Privatforstbetrieb „Krahnberg“, welcher durch den Projektpartner HOFOS betreut wird und in räumlicher Nähe zum Projektpartner FFK Gotha, ThüringenForst liegt, dar.

Angesichts der vielfältigen Zielgruppe für das zu entwickelnde Flächenmanagementsystem ist es von hoher Relevanz, hierarchische Informationsebenen vorzusehen. Dies bedeutet, dass sämtliche forstbetrieblichen Informationen nur berechtigten Nutzern zur Bearbeitung und/oder Auswertung zur Verfügung stehen dürfen. Es sind also entsprechende Rollen zu definieren, die dem Anwender eindeutig zugeordnet werden. Dazu wird dem einzelnen Nutzer ein Anwendername mit zugehörigem Passwort zugeteilt. Mit dieser Kombination hat sich der Nutzer im Portal anzumelden und erhält systemseitig in der Portaldatenbank eine eindeutige User-ID, über die wiederum sämtliche ihm zugeordnete Flächen identifiziert werden. Der Anwender hält grundsätzlich alle Nutzungsrechte und kann individuell anderen, im System registrierten Nutzern Lese- und / oder (un-) beschränkte Schreibrechte an seinem Datensatz zuteilen. Die individuelle Zuteilung von Berechtigungen ist bspw. in forstlichen Betreuungsverhältnissen oder gegenüber Dienstleistern von Relevanz.

## Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

Das Konzept verfolgt ein mehrstufiges Vorgehen entlang der klassischen Forsteinrichtung. Hierzu zählt u.a. die Betriebsabgrenzung, Flächengliederung, Waldeinteilung und Attribuierung der Geometrien mit forstlichen Flächeneigenschaften und Bestandesinformationen und anschließend die Aufstellung der mittelfristigen Maßnahmenplanung und die Dokumentation des laufenden Betriebsvollzuges. Grundsätzlich ist das System sowohl mobilfähig als auch webportalbasiert zu entwickeln.

Im Zuge der Eigentumsabgrenzung sind zunächst zwei Szenarien denkbar: Entweder liegen die auf das Liegenschaftskataster abgestimmten Eigentumsgrenzen bereits in digitaler, georeferenzierter und GIS-konformer Form (bspw. im Shapefile-Format) vor. Oder sie liegen nicht in dieser Form vor. In jedem Fall sind sie systemseitig zu erfassen und insbesondere kartographisch, aber auch sachdatentechnisch in INKA darzustellen.

Nach Speidel (1972, S. 79) ist die nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilte Fläche Grundlage für Inventur, Planung und Kontrolle im Forstbetrieb. Dazu wird die Fläche u.a. nach geographischen Gesichtspunkten und nach der Nutzungsart oder entsprechenden -beschränkungen gegliedert. In jedem Fall ist die spätere Flächenangabe von zentraler Bedeutung. Auch hier wurden wieder zwei Szenarien entwickelt.

Szenario 1 entspricht im Fall der Flächengliederung und -klassifikation der Methode des einfachsten / vorgehenstechnisch günstigsten Falles. Hier liegt die dargestellte Zuordnung der Flächen bereits vor, idealerweise digital in einem verbreiteten GIS-konformen Format. Demnach bedarf es hier nur eines einfachen Imports der zugehörigen Datei. Liegen diese Daten kartographisch im PDF oder gar analog vor, sind diese zu georeferenzieren. Alternativ sind diese über Editier- und Zeichenfunktionen manuell nachzutragen. Andernfalls hat die Flächengliederung und -klassifikation gemäß Szenario 2, also aktiv über die INKA-Lösung zu erfolgen. Bei der eventuellen Übernahme vorhandener Daten sind diese auf ihre Aktualität hin zu überprüfen und ggfs. mittels Editierfunktionen zu korrigieren. Ebenfalls sind die Kategorien der Nichtholzbodenflächen zu überprüfen und ggfs. unter INKA-seitig vorgegebene Begriffe zu subsumieren. Entscheidend ist, dass die Flächengröße aller Geometrien ermittelt und in die INKA-Sachdatenbank eingepflegt werden.

Nach erfolgreicher Flächengliederung müssen den ausgewiesenen Strukturen weitere Attribute hinzugefügt werden. Gemäß der Intention einer „postalischen“ Adresse ist jede Bestandeseinheit über die Benennung der zugehörigen Abteilung, Unterabteilung und Unterfläche eindeutig zuzuordnen und diese Zuordnung („Adresse“) bei jeder Bestandesbeschreibung anzugeben. Im Rahmen der Abgrenzung und Sachdatenerfassung einer Bestandeseinheit sind zudem immer die Größe der zugehörigen Unterfläche sowie die Größe der dann beschriebenen Bestandeseinheit anzugeben. Diese Größenangaben werden automatisch aus dem nachgeschalteten GIS des INKA-Portals übernommen. Zudem muss der Anwender diese manuell korrigieren bzw. in Gänze eintragen dürfen. Dies ist insbesondere bei der Ausweisung

mehrerer Bestandeseinheiten je Unterfläche (bspw. bei flächenweiser Mischung innerhalb einer Unterfläche) von Relevanz. Im Weiteren sind die zugehörigen Naturaldaten der zu beschreibenden Bestandeseinheit baumartenzeilenweise mit einer sogenannten „intelligenten Eingabemaske“ zu beschreiben. Diese erfasst zunächst automatisch das Datum der geleisteten Datenerhebung und leitet ausgehend von diesem den Stichtag der Forsteinrichtung ab. Dieser Stichtag entspricht im Allgemeinen dem Beginn des Wirtschaftsjahres (Forstwirtschaftsjahr (01.10.-30.09.), Landwirtschaftsjahr (01.07. – 30.06) oder Kalenderjahr). Die intelligente Eingabemaske enthält alle notwendigen Parameter, welche die jeweilige Bestandeseinheit im Sinne der Forsteinrichtung beschreiben und die Grundlage der Planung bilden. Gleichzeitig entspricht die Auswahl der Parameter den Mindeststandards, die die Nutzungssatzrichtlinie fordert. Durch die Möglichkeit der gegenseitigen Ableitung bestimmter Parameter und einer darauf fußenden flexiblen Eingabemöglichkeit ist es dem jeweiligen Nutzer möglich, die Bestandesbeschreibung selbst vorzunehmen und bei Bedarf – unter Berücksichtigung der Ergebnisse - anzupassen. In diesem Zusammenhang ist es zwingend notwendig, dass dem Anwender die aus seinen Eingaben abgeleiteten Parameter unmittelbar nach der Dateneingabe angezeigt werden. Neben den flexibel ableitbaren Datenfeldern ist die Benennung der beschriebenen Baumart eine Pflichtangabe. Der Nutzer hat hier also zwingend eine Eingabe vorzunehmen, da sonst im Weiteren keine Parameter abgeleitet und dargestellt werden können. Ergänzt wird diese Pflichtangabe durch einige optional auszufüllende Felder wie bspw. andere Bestandesschichten als die Hauptschicht. Üblicherweise besteht eine Unterfläche aus nur einer Bestandeseinheit, in begründeten Ausnahmen besteht eine Unterfläche auch aus mehreren Bestandeseinheiten. Dies ist bspw. der Fall, wenn die Unterfläche aus mehreren relevanten, deutlich voneinander unterscheidbaren kleinflächigen Strukturen, die die Ausweisung einer gesonderten, räumlich getrennten Bestandeseinheit (bspw. einer Struktureinheit wie ein mit Douglasien vorverjüngtes Käferloch in einem Fichtenbestand etc.) erforderlich machen, besteht. Die einzelnen zu verwendenden Parameter der INKA-Bestandesbeschreibung werden zudem im Dokument „Hinweisblatt INKA-Bestandesblatt“ mitsamt den zugehörigen Ableitungen erläutert. Die technische Ableitung ausgewählter Parameter kann zudem der Exceldatei „INKA-Bestandesblatt“ entnommen werden.

### **Branchenübergreifende Recherche nach Instrumenten, welche das Flächenmanagement unterstützen**

Neben der bereits im vorangegangenen Projektbericht dargestellten Plattform „myForest Woodland Manager“ aus Großbritannien konnten im Ausland und nicht-forstlichen Branchen weitere digitale Instrumente für das Flächenmanagement identifiziert werden. Diese haben für das INKA-Projekt exemplarischen Charakter. Hier sei bspw. das Open-Source-Projekt „QForst“ der österreichischen Landwirtschaftskammer Steiermark genannt. Ergänzend hierzu wurden INSPIRE-Projekte bzw. -Daten untersucht. Darüber hinaus fand sich im Bereich der Landwirtschaft, speziell im Umfeld des Ackerbaus, mit der sog. „Ackerschlagkartei“ ein

umfängliches und seitens der Branche intensiv vorangetriebenes Werkzeug für das Flächenmanagement. Getrieben durch hoheitliche und gesellschaftliche Dokumentationszwänge und den grundsätzlichen Willen der Rationalisierung bietet hier eine ungezählte Anzahl von Herstellern digitale und im Funktionsumfang stark unterschiedlich ausgebildete Programme an. Aufgrund des systemübergreifenden und im Konstrukt webportal- und auch mobilfähigen Ansatzes wurde das Produkt „365FarmNet“ näher untersucht. Darüber hinaus finden sich auch im forstlichen Bereich zahlreiche Lösungen, die auf flächenbezogene Aktivitäten im Allgemein bezogen sind. Jedoch konnte hier kein System, welches für die Zielgruppe des Kleinprivatwaldes ein digitales Flächenmanagement im Sinne der Forsteinrichtung abbildet, ermittelt werden. Somit besteht für INKA nach wie vor erhebliches Marktpotential und es liegt ein Alleinstellungsmerkmal vor.

### **Entwicklung eines Datenmodells**

Das bereits im Zwischenbericht des Jahres 2019 erwähnte Datenmodell zur Bestandesbeschreibung wurde weiterentwickelt. Dabei wurde die exemplarische Umsetzung in MS Excel berücksichtigt. Zur weiteren Verwertung der erhobenen Bestandesdaten bedarf es einer relationalen, GIS-basierten Datenbank. Die Entwicklung befindet sich in einem sich dynamisch entwickelnden Prozess, welcher durch den exemplarischen Aufbau einer Access-Datenbankstruktur und gegenseitigen Austausch zwischen INTEND und der Abteilung Forstökonomie aktiv verfolgt wurde. Zudem wurde die Entwicklung und Verifizierung dieses Konzeptes seitens der Abteilung Forstökonomie durch studentische Projekt- und Abschlussarbeiten unterstützt und so der Bezug zur forstlichen Praxis verstärkt.

Die zur Bestandesbeschreibung exemplarisch entwickelte MS Exceldatei wird durch ein seitens der Abteilung Forstökonomie verfasstes Glossar, welches gleichfalls als Formelsammlung dient, untermauert und unterstützt somit die weitere Umsetzung des INKA-Projektes.

Das Konzept von INKA und v.a. die zugehörigen Inventur-, Planungs- und Dokumentationsoptionen sowie die Möglichkeit zur mobilen Datenerfassung und -ansicht sollten im Rahmen der 70. Forstvereinstagung (16.-20.06.2021) und der darauffolgenden KWF-Tagung (30.06.-03.07.2021) einem breiten Fachpublikum vorgestellt werden. In diesem Zuge sollte auch die Validierung des Konzeptes mit Praxispartnern stattfinden. Beide Veranstaltungen wurden Pandemie-bedingt abgesagt. bzw. verschoben.

Die UNI hat jedoch bereits einen Bestandteil zur Tagung des DFV beitragen, da ein Beitrag anlässlich des ursprünglich für das Jahr 2021 angesetzten Innovationswettbewerbes eingereicht wurde.

### **Konzeptentwicklung zur Vollzugsdokumentation**

Die verbleibende Projektlaufzeit wurde gemäß Vorgabe der Arbeitspakete, AP 4, AS 4.2, verstärkt zur Analyse etablierter Konzepte und Kennzahlen der Vollzugsdokumentation sowie der

Entwicklung von Anforderungen an eine effiziente Dokumentation des Naturalvollzugs genutzt. Darüber hinaus wurde das Datenmodell exemplarisch weiterentwickelt.

Um dem zugehörigen Dreiklang aus Inventur, Planung und Kontrolle (bzw. der Dokumentation des Naturalvollzugs, auf welcher zweckmäßigerweise die Kontrolle durchgeführt werden kann) gerecht zu werden, findet sich auf den Bestandesblättern regelmäßig eine entsprechende Dokumentationsmatrix. *Tabelle 14* stellt das fakultative Vorhandensein eines solchen Musters auf 53 untersuchten Bestandesblättern. Dabei erfolgt auch die quantitative Analyse der jeweils abgefragten und optional einzutragenden Parameter. Darüber hinaus bezieht sich die erste Zeile auf die Gesamtanzahl aller untersuchten Bestandesblätter. Die Werte der nachfolgenden Zeilen stehen in Relation zur ersten Zeile und drücken somit den Anteil des jeweiligen Merkmals im Bereich der Bestandesblätter, welche eine Dokumentationsmatrix enthalten, aus.

*Tabelle 14* ist so aufgebaut, dass die Eigentumsformen spalten- und die erfassten Merkmale zeilenweise organisiert sind. Hinsichtlich der Eigentumsformen erfolgt die Nennung des einzelnen Merkmals in absoluter und relativer Angabe. Nach der Darstellung der Gesamtwerte aller Eigentumsformen folgen gemäß dem Ziel der vorliegenden Arbeit die der Nicht-Staatswälder (Körperschafts- und Privatwälder). Hieran schließen sich die Ergebnisse staatlicher Forstverwaltungen bzw. -betriebe an.

Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

	Eigentumsart	N <sub>Ges</sub>	Anteil <sub>Ges</sub>	N <sub>Privat</sub>	Anteil <sub>Privat</sub>	N <sub>Körperschafts.</sub>	Anteil <sub>Körperschafts.</sub>	N <sub>Staat</sub>	Anteil <sub>Staat</sub>
Merkmal			[%]		[%]		[%]		[%]
Dokumentationsmatrix vorhanden?		11	23,4	7	18,9	1	20,0	3	60,0
Datum (allg.)		3	27,3	1	14,3	-	-	2	66,7%
Bestand		9	81,8	6	85,7	1	100	2	66,7
Nr. d. Baumartenzeile		3	27,3	2	28,6	-	-	1	33,3
Baumart		2	18,2	2	28,6	-	-	-	-
Baumartengruppe		2	18,2	2	28,6	-	-	-	-
Fläche	in %	9	81,8	5	71,4	1	100	3	100
	in ha	-	-	-	-	-	-	-	-
	k.A.	9	81,8	5	71,4	1	100	3	100
Menge / Volumen	je ha	2	18,2	2	28,6	-	-	-	-
	i.G.	7	63,6	4	57,1	-	-	3	100
Maßnahmenart		11	100	7	100	1	100	3	100
Trennung zw. Nutzung u. sonst. Maßnahmen		10	90,9	7	100	1	100	2	66,7
Kosten (allg.)		11	100	7	100	1	100	3	100
Benötigte Arbeitsstunden		6	54,5	4	57,1	-	-	2	66,7
Bemerkungen		2	18,2	2	28,6	-	-	-	-

Tabelle 14: Informationen unterschiedlicher Bestandesblätter

Summarische und anteilmäßige Darstellung der Informationen unterschiedlicher Bestandesblätter hinsichtlich der Vollzugsdokumentation

Sechs der untersuchten Bestandesblätter beschränken sich auf die Bereiche der Inventur und Planung und fließen somit nicht in die Auswertung ein. Insgesamt liegen also hinsichtlich der Fragestellung die Daten für 47 Bestandesblätter vor.

Wie in *Tabelle 14* dargestellt, ist lediglich in elf Fällen eine Matrix zur Vollzugsdokumentation auf dem jeweiligen Bestandesblatt vorhanden. Ein Großteil der Bestandesblätter verlangt die Notierung des entsprechenden Datums. Ebenso ist die Benennung der BAG zu 82 % erforderlich. In 64 % der Dokumentationsvorlagen ist die Angabe der Mengen bzw. Volumina als flächenbezogener Wert vorzunehmen. Zudem ist zu 91 % die Maßnahmenart selber gefragt. In sämtlichen Fällen ist eine Trennung zwischen Holznutzung und sonstigen Maßnahmen vorzunehmen. Schlussendlich erlauben durchschnittlich 73 % der Dokumentationsmatrizen individuelle Bemerkungen.

### **Befragung zur Erfassung des Status quo**

Auf Basis der obigen Dokumentenanalyse galt es, sowohl den aktuellen Status quo als auch mögliche Potentiale einer technisch praktikablen Lösung hinsichtlich der Vollzugsdokumentation im Bereich nicht-staatlicher Forstakteure zu ermitteln. Die entsprechenden Gespräche wurden im Zeitraum von April bis August 2021 vornehmlich per Telefon geführt. Ausgehend von persönlichen Kontakten in die Branche und unter Einbeziehung forstlicher Verbände konnten in Summe 55 Betriebe bzw. die entsprechenden Akteure für ein Interview gewonnen werden. Hier dokumentieren 15 der Befragten aktiv Maßnahmen des forstlichen Vollzugs, welche über das steuerrechtlich geforderte Mindestmaß hinausgehen. Dementsprechend unterbleibt in etwa 73 % der Fälle eine solche Niederschrift.

Oftmals bemängeln die Studienteilnehmer hinsichtlich der Niederschrift durchgeführter Maßnahmen den zu hohen Aufwand eines solchen Arbeitsschrittes, welcher gleichzeitig einen zu geringen Nutzen stiftet. Der genannte hohe Aufwand umfasst dabei sowohl zeitliche Aspekte als eine allgemein nicht praktikable Handhabung des Dokumentationsaufwandes. Einige der Befragten betonen in diesem Zusammenhang den fehlenden, digitalen Flächenbezug bestimmter Werte und hier insbesondere geernteter Holzvolumina (z.B. Interview 6, 28 und 30). Zudem weisen sie auf elementare Hürden bei der Ermittlung von Holzerntevolumina einzelner Baumarten und der sachgerechten Aufteilung auf entsprechende Bestände / Flächen hin. Rein rechnerische Aufteilungen würden oftmals falsche Aussagen generieren oder aber i.d.R. mindestens Fehlschlüsse nahelegen. Andere Experten bemängeln an dieser Stelle die fehlende Abstraktionsgrenze bei der Verbuchung. So sei es nicht möglich, den entsprechenden Maßnahmenvollzug auch außerhalb der Flächeneinheit und bspw. auf der nächsthöheren Ebene zu vermerken (z.B. Interview 1, 9, 28 und 30). Zusätzlich kritisieren einige der nicht dokumentierenden Teilgruppe, dass ihnen die technische Unterstützung zur adäquaten digitalen Dokumentation fehle oder der Digitalisierungsgrad bei den Beteiligten zu niedrig läge (z.B. Interview 14, 26 und 28). Gemäß Interviewpartner 3 und 22 sei dies insbesondere hinsichtlich

der fehlenden Möglichkeit zur Dynamisierung und Auswertung analog vorliegender Daten ein Mangel. Gleichzeitig betonen einige Akteure die Bedeutung einer solchen Niederschrift. Dies sei bspw. hinsichtlich einer gezielten Betreuung, der Dokumentation durchgeführter Maßnahmen gegenüber Fördermittelgebern oder auch im Hinblick auf Vererbungs- oder Schenkungsfälle von hoher Relevanz.

84 % der Befragten können sich vorstellen, dass sie die Maßnahmen des Naturalvollzugs zukünftig mit einer deutlich höheren Intensivität dokumentieren. Voraussetzung hierzu ist ein Programm, das die digitale Niederschrift in einfacher Struktur, mit geringem Aufwand und flexibel entlang der Flächenhierarchie unterstützt. Auf Basis einer Likert-Skala von eins (absolut unvorstellbar) bis fünf (absolut vorstellbar) bewerten die Befragten eine solche technische Möglichkeit durchschnittlich mit 4,3. Grundsätzlich können sich im Mittel alle hier vertretenen Größenklassen eine verstärkte Anwendung der Dokumentation gut oder gar sehr gut vorstellen. Dabei stechen die Betriebe der Größenklasse „ $\geq 200$  ha“ mit 94 % positiver Einstellung gegenüber einem solchen Werkzeug hervor. Darüber hinaus stehen die Cluster mit abnehmender Größe einem solchen Dokumentationsprogramm zunehmend skeptischer gegenüber. So stimmen die mittelgroßen Betriebe der Nutzung zu 82 % zu. Mit Blick auf die Betriebe  $< 100$  ha sinkt die Zustimmung auf 76 % ab.

*An die hier erfragte „fiktive“ Option eines adäquaten und zielgerichteten digitalen Dokumentationsinstrumentes anknüpfend, erfolgt im nächsten Frageblock die Validierung zuvor aus Tabelle 14 abgeleiteter Dokumentationsparameter. So sollen die Interviewpartner diese Merkmale hinsichtlich ihrer Eignung, Relevanz und Ausgestaltung entlang der Likert-Skala bewerten. Hinsichtlich der Auswertung nach Altersgruppen und Größenklassen findet sich die Darstellung ausgewählter Ergebnisse in den Abbildungen 40 und 41. So weist das in Abbildung 40: Mittelwertvergleich Altersgruppen*

Mittelwertvergleich unterschiedlicher Dokumentationsparameter entlang der Altersgruppen

gezeigte semantische Differential hinsichtlich der Benennung des Waldortes, Datums und der Maßnahmenart die höchste Relevanz aus. Demnach wird der Waldort mit 4,7 Punkten als recht bedeutend eingestuft. Gemäß *Abbildung 41: Mittelwertvergleich Größencluster* nimmt die Bedeutung des Waldortes als Dokumentationsparameter mit zunehmender Betriebsgröße von 4,7 ( $< 100$  ha) auf 4,9 ( $\geq 200$  ha) zu. In allen betrachteten bewerten mindestens 91 % der Befragten dieses Merkmal als mindestens bedeutsam.

# Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald, Schlussbericht

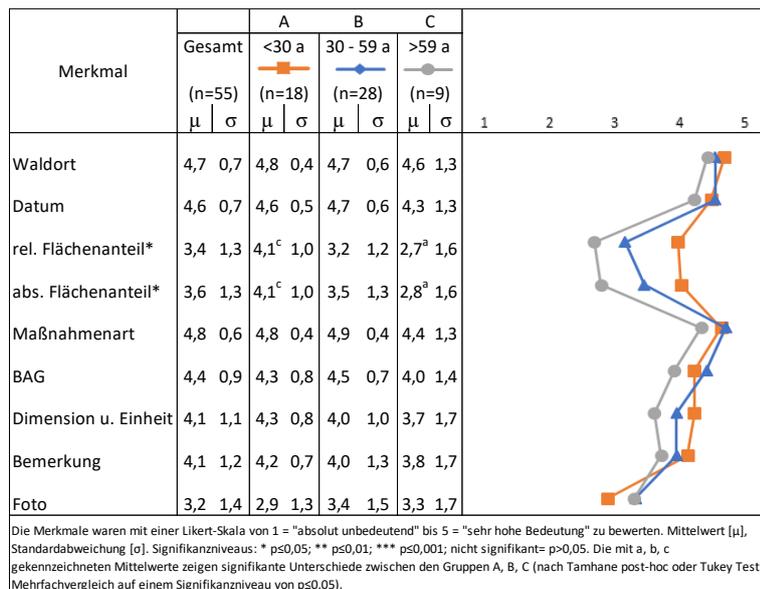


Abbildung 40: Mittelwertvergleich Altersgruppen

Mittelwertvergleich unterschiedlicher Dokumentationsparameter entlang der Altersgruppen

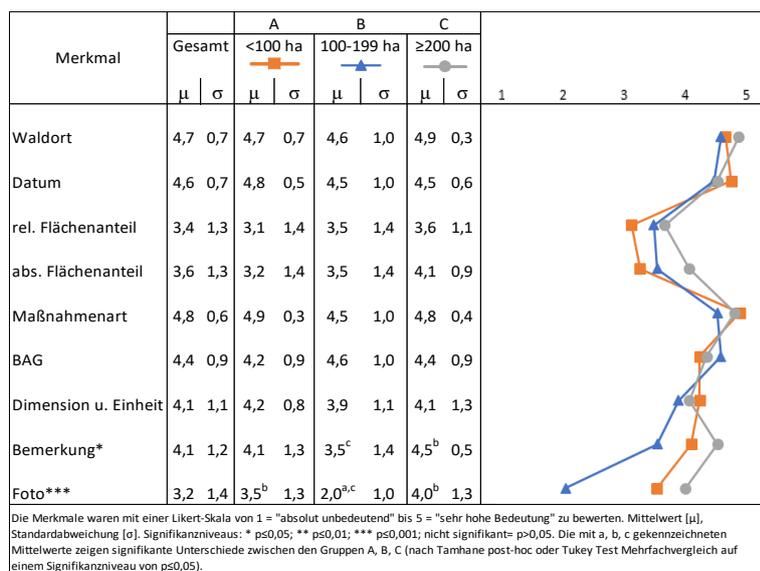


Abbildung 41: Mittelwertvergleich Größencluster

Mittelwertvergleich unterschiedlicher Dokumentationsparameter entlang der Größencluster

Gemäß den beiden oben gezeigten Abbildungen halten 98 % der Experten die Nennung der jeweils durchgeführten Maßnahmenart für mindestens bedeutsam. Sie bewerten diese durchschnittlich mit 4,8 und messen ihr somit im Vergleich der einzelnen Parameter die höchste Relevanz zu. Das in den beiden Abbildungen als „Bemerkung“ angeführte Freitextfeld erfährt mit steigendem Alter der Befragten weniger Zustimmung, wird aber im Mittel mit 4,1 bewertet. Das Abrunden einer Maßnahmendokumentation mit Hilfe eines Fotos wird seitens der Teilnehmer nahezu indifferent (3,2) bewertet.

Auf die Frage nach Gründen für das aktuell weitestgehend analog durchgeführte forstbetriebliche Flächenmanagement liegt der Schwerpunkt der Antworten im Bereich der mangelnden Performance entsprechender digitaler Programme. Demnach begegnet ein Großteil der Befragten dieser Frage damit, dass aktuell verfügbare Programme zu teuer und auch zu komplex seien. Drei Viertel der Befragten gaben zudem an, dass sich das derzeitige, weitestgehend analoge Vorgehen bewährt habe. Darüber hinaus antworteten die Befragten zu 66 %, dass der eigene Betrieb im Kontext aktuell verfügbarer Softwareprodukte zu klein sei. Gleichzeitig äußerte sich ein Großteil zur zukünftigen Nutzung eines geeignet erscheinenden Systems grundsätzlich bereit. Hinsichtlich weiterer Erwartungen an ein modernes Flächenmanagementsystem wird wiederkehrend geringe Komplexität sowie eine mobil- und offlinefähige Nutzung gefordert. Darüber hinaus betonen Einige, dass das System geeignete Schnittstellen zu dritten forstlichen Programmen oder Standardsoftware wie bspw. einfache GIS, aber v.a. Warenwirtschaftssysteme bieten solle. Insgesamt fordert ein Großteil der Befragten, dass mit Hilfe eines modernen Flächenmanagementsystems grundlegende Unterstützung bei der Inventur, Planung und Entscheidung sowie der Dokumentation geleistet werde. Hinsichtlich der Inventur beschränkt sich dies jedoch v.a. auf die präzisere Vorbereitung von Holzerntemaßnahmen.

Weitere Ergebnisse der Interviewreihe wurden seitens der Abteilung Forstökonomie auf der Forstwissenschaftlichen Tagung 2021 vorgestellt.

### **Darstellung zentraler Parameter der Vollzugsdokumentation**

Die im Rahmen einer explorativen Studie eruierten Aussagen hinsichtlich des Vollzugs weisen darauf hin, dass mit 84 % ein Großteil der forstlichen Akteure grundsätzlich Interesse an der Dokumentation des Maßnahmenvollzugs an sich zeigt.

Entsprechend der in *Tabelle 14* dargestellten Parameter sollte auch ein zugehöriges Verfahren mindestens die Parameter „Waldort“, „Datum“, „Baumartengruppe“ und „Maßnahmenart“ enthalten. Optional liegt ein Feld zur Angabe des jeweiligen Erntevolumens vor. Dabei ist der Aussagekraft dieses Wertes angesichts der Bildung von Hiebsblöcken oder Kalamitäten und der verbundenen Schwierigkeit eindeutiger Mengenzuordnungen begrenzt. Schließlich bietet das Hinzufügen von Bildern an den entsprechenden Datensatz eine grundsätzlich geeignete Dokumentationsmethodik. Außerdem kann dieses in Abhängigkeit der fotografierten Ergebnisse die Dokumentation des Vollzugs an sich maßgeblich unterstützen. Hierzu nennen einige Interviewpartner die Dokumentation von Kulturpflagemassnahmen gegenüber eventuellen Fördermittelgebern. Abgerundet wird die Dokumentationseinheit durch ein Freitextfeld, welches das Hinzufügen individueller, erläuternder Bemerkungen zulässt. Insgesamt wäre somit das Angebot ausfüllbarer Dokumentationsfelder reduziert.

Die zugehörigen Dokumentationsmerkmale finden sich in nachstehender Tabelle 15. Dabei erlauben die sogenannten Kernelemente eine nachvollziehbare und flächenbezogene Darstellung grundlegender Aspekte durchgeführter Aktionen. In diesem Sinne können die

Kernelemente als Minimalanforderungen an die Dokumentation verstanden werden. Die in Tabelle 15 als „optionale Erweiterung“ kategorisierten Parameter präzisieren die jeweiligen Aktionen fakultativ. In diesem Kontext kann der jeweilige Akteur den Informationsgehalt der Dokumentation bspw. durch die Angabe zugehöriger Baumartengruppen erhöhen. Ein solcher Hinweis ist in der forstlichen Praxis bei mehreren Baumarten je Buchungseinheit von Relevanz. Durch die Zusammenfassung und Zuordnung der Baumarten zu wenigen Gruppen erfährt der Dokumentationsprozess an dieser Stelle weitere Rationalisierung. Eine ebenfalls optionale Erweiterung des Informationsgehaltes bei der Vollzugsdokumentation findet sich in der Angabe der Dimension und der zugehörigen Maßeinheit, welche aus den dargestellten Merkmalen besteht. Dabei ist die Aussagekraft der Angabe des Holzvolumens jedoch merklich eingeschränkt und das entsprechende Feld nur im Falle großer Sicherheit auszufüllen. Abgerundet werden die optionalen Erweiterungen durch die Möglichkeit von individuellen Bemerkungen und Fotos.

Der Definition dieser wenigen, aber essenziellen Parameter kann hinsichtlich der erwähnten Herausforderungen bei der Dokumentation des Naturalvollzuges hohe Bedeutung beigemessen werden. So trägt sie schließlich dazu bei, dass der nach Merker (1997) oder Speidel (1972) erwähnte ganzheitliche Ansatz der Forsteinrichtung als Controllinginstrument aufgrund des minimalen Dokumentationsaufwandes auch im Nicht-Staatswald etabliert werden kann. Dementsprechend betont Kurth (1994, S. 518) nochmals explizit den Zweck der Vollzugsdokumentation u.a. als Element planmäßiger Betriebsführung. Nicht zuletzt findet sich in der Etablierung einer solchen Vollzugsdokumentation für die jeweiligen Akteure ein minimierter Dokumentationsaufwand. Dieser Vorgang weist schließlich merkliches Rationalisierungspotential hinsichtlich forstlicher Tätigkeiten auf. Neben den bereits erwähnten Auswirkungen bezüglich der Betriebssteuerung eignet sich eine solche Dokumentation vollzogener Maßnahmen auch zur nachvollziehbaren Darstellung dieser gegenüber Dritten. Solche mitunter betriebsfremde Dritte finden sich z.B. in externen Beratern.

Kategorie	Parameter	Hinweis
Kernelement	Waldort	Buchungsebene frei wählbar
	Datum	i.d.R. operativer Abschluss der Maßnahme
	Relativer Flächenanteil	Prozentualer Anteil der bearbeiteten Fläche; in Wechselwirkung mit absolutem Anteil
	Absoluter Flächenanteil	Absoluter Anteil der bearbeiteten Fläche; in Wechselwirkung mit relativem Anteil
	Maßnahmenart	Tabelle im Anhang (S.245)
Optionale Erweiterung	Baumartengruppe	Tabelle im Anhang (S.240)
	Volumen	Ggfs. auf Herausforderungen und Probleme bei der flächenbezogenen Angabe des Volumens per Tooltip hinweisen
	Maßeinheit	Festmeter / Stückzahl / Meter etc.
	Bemerkungen	Individueller Kommentar
	Anhang	Individuelles Bild, Rechnung oder sonstige Datei

Tabelle 15: Dokumentationsparameter des Naturalvollzugs

Insgesamt zeigt sich, dass die Dokumentation v.a. maßnahmen- und nicht volumenbezogen zu erfolgen hat. Auch ergibt sich, dass das zugehörige Flächenmanagementsystem nicht rein monetär entlang eines Warenwirtschafts- oder gar Controllingsystems aufzustellen ist. Vielmehr erfordert die Praxis ein vorwiegend natural orientiertes Flächenmanagement.

### 1.5.3 AS 4.3 Durchführung der Revision (INT)

Im Rahmen der Revision wurde die erreichten Ziele kritisch mit Praxispartnern diskutiert. INKA ist ein erster Schritt zu einer Toolbox, die mit moderner Technik die Verfahren der Forsteinrichtung unterstützen kann. Geprägt war die Diskussion von dem Blick nach vorn und notwendigen weiteren Schritten (vgl. Kap. 2.3.2)

### 1.5.4 AS 4.4 Abschließender Systemtest NW-FVA, IABG

Der fortlaufend weiterentwickelte REST-Service (TgREST) als ein Bestandteil des Gesamtsystems wurde bereits während der Implementierungsphase aber vor allem nach Fertigstellung intensiv getestet. Zu diesem Zweck wurde eine Arbeitsumgebung geschaffen, welche den Vergleich der Berechnungsergebnisse der TgREST-Schnittstelle mit den Ergebnissen aus Ertragstafeln und dem Wachstumssimulator „ForestSimulator“ deutlich vereinfachte. So konnten kleinere Fehler und Versionsunterschiede der verwendeten Komponenten detektiert und behoben werden.

Auf Basis von jeweils 500 aus interpolierten Ertragstafelzeilen generierten Testbeständen wurden die Ergebnisse der TgREST-API mit denen des ForestSimulators verglichen. Für jeden Bestand wurde ein Zeitraum von 30 Jahren simuliert. Mit dem Ausgangszustand ergibt das sieben Datensätze (stehender Vorrat und Abgänge) pro Bestand. Die Differenzen der Parameter Dg, Hg, D100, H100, G\_ha, V\_ha und N\_ha wurden anschließend analysiert.

Insgesamt wurden für die fünf Baumarten Buche, Fichte, Kiefer, Eiche und Douglasie untersucht. Bei nicht erklärbaren Unterschieden wurden in der TgREST-Implementierung die entsprechenden Fehler identifiziert und beseitigt. Dieser Prozess war sehr zeitaufwendig, jedoch konnte so die Qualität der Ergebnisse der TgREST-API iterative verbessert und Fehler eliminiert werden. Dies zeigt deutlich der Vergleich der Abbildung 36 und der Abbildung 37. Es sind keine systematischen Abweichungen zu erkennen. Die beobachteten Abweichungen basieren auf den Zufallseffekten des verwendeten Wachstums- und Einwuchsmodells.

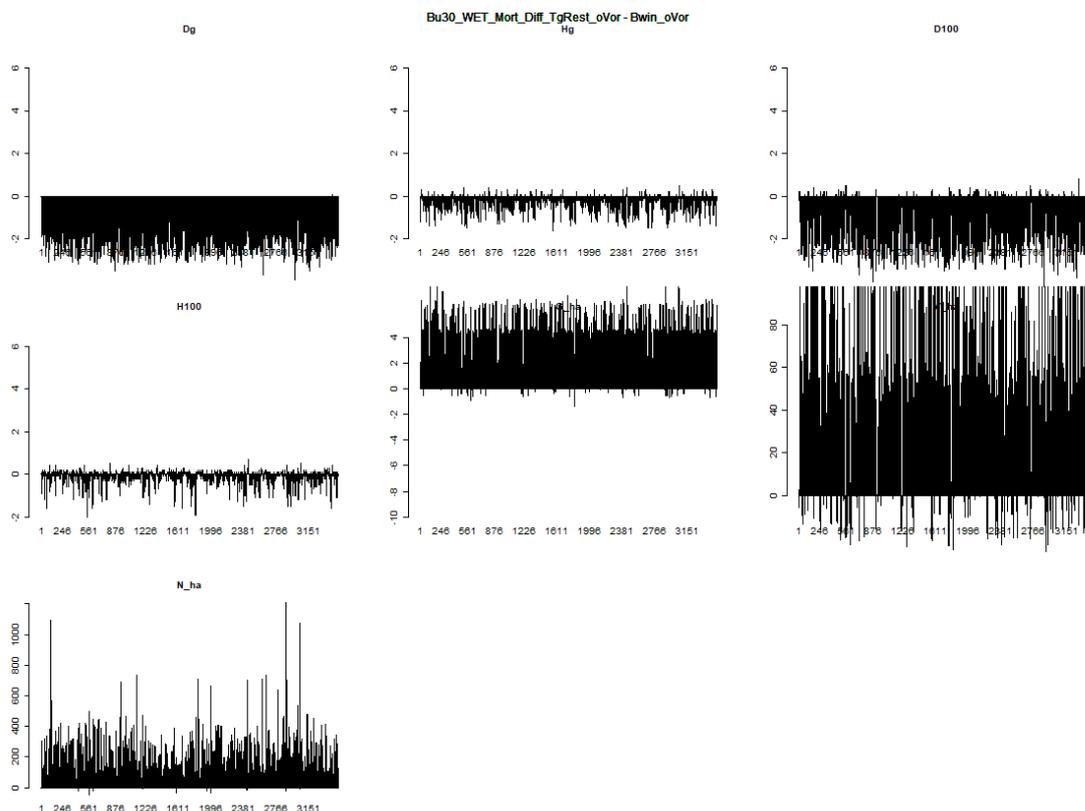


Abbildung 42: Vergleich der TgREST-Ergebnisse mit ForestSimulators.

Ergebnis eines frühen Vergleichs der TgREST-Ergebnisse mit den Simulationsergebnissen des ForestSimulators. In diesem Fall Buche, 30 Jahre Zuwachs mit Mortalität und Standardbehandlung.

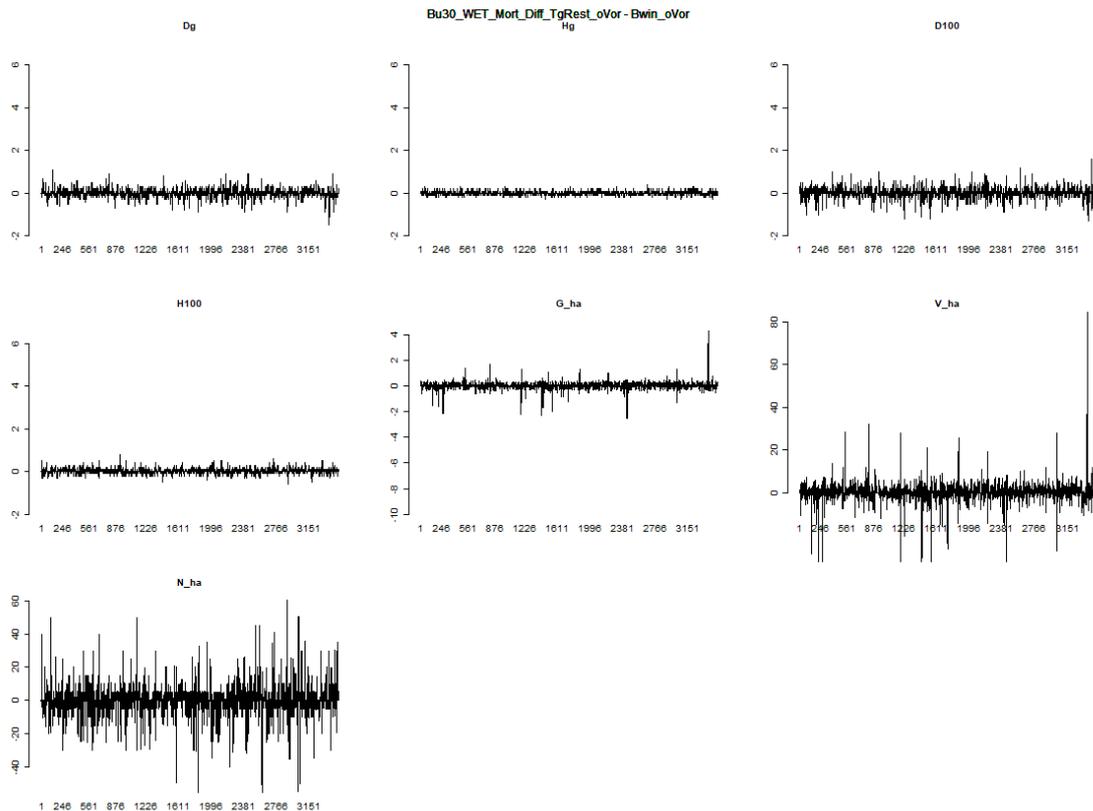


Abbildung 43: Vergleich Buche 30 Jahre Zuwachs

Vergleich der TgREST-Ergebnisse mit denen des ForestSimulators. Buche, 30 Jahre Zuwachs mit Mortalität und Standardbehandlung

Die Einbindung des Kartendienstes der IABG konnte durch INTEND problemlos durchgeführt werden.

### 1.5.5 AS 4.5 Abschließender Test & Qualitätssicherung UAV & LS (FFK)

Die Auswertungen der UAV Daten sind mit guten Ergebnissen für die gewählten Baumarten und Bestände final abgeschlossen.

Die Auswertung der HLS Daten ist für Buchen-, Fichten-, und Kiefernwälder mit mehrheitlich sehr guten Ergebnissen abgeschlossen. Als abschließender Test wurde im Zuge der weiteren Verlängerung bis März ein Vergleich mit der klassischen Forsteinrichtung im Privatforstbetrieb Krahnberg bei Gotha durchgeführt. Hierfür fanden die im Herbst per UAV aufgenommenen Luftbilder in Kombination mit den Daten aus dem Handlaserscanner Verwendung.

Im Rahmen der gewährten Projektverlängerung wurde im Winter 2021/22 auf dem Gebiet des Krahnbergs bei Gotha analysiert, inwieweit die Methode der Stichprobenaufnahme mit dem Handlaserscanner (vgl. Engelke, 2021) als Ergänzung bzw. Alternative zu einer klassischen Forsteinrichtung geeignet ist, und damit die Verifizierung abgeschlossen. Die Ergebnisse dieser

Erhebungen wurden mit denen einer üblichen Forsteinrichtung verglichen, welche zeitgleich in den Testbeständen durchgeführt wurde.

Die Erhebung der Messdaten mithilfe des Laserscanners nach dem Prinzip der zufälligen Stichprobenerfassung und Extrapolation der Daten auf eine größere Fläche wurde im Februar 2022 auf einer größeren Fläche am Krahnberg durchgeführt. Während die Aufnahmemarbeiten wie geplant durchgeführt werden konnten, gabs es bei der Daten Auswertung unerwartete Probleme mit den verwendeten R Skripten, welche aufgrund von Paketupdates und dadurch nicht mehr funktionalen Skriptaufrufen eine umfangreiche Neuprogrammierung der genutzten Skripte nötig machen. Da die Zeit für eine derartige Programmierung nicht mehr vorhanden war, konnte die Genauigkeit der Erhebung der Waldinventurdaten mit Laserscandaten nicht mehr final ausgewertet werden. Hierfür können jedoch die oben beschriebenen Voruntersuchungen herangezogen werden in denen der wichtigsten Inventurparameter wie Stammzahl, Bestandes-Durchschnittsdurchmesser und Grundfläche mit einer durchschnittlicher Fehlerquote von 3,4-6,8% (deutlich unter der Zielmarke von <10%) gegenüber voll-gekluppten Beständen ermittelt wurde. (Siehe Kapitel 1.5.1)

Parallel zu den durchgeführten Aufnahmen mit dem Handlaserscanner wurden von einer beauftragten Firma Höhenmessungen und Winkelzählproben, sowie zusätzliche Baumhöhenmessungen an vordefinierten einzelnen Bäumen durchgeführt und per GPS erfasst, so dass Vergleiche mit den 2021 durchgeführten UAV Befliegungen angestellt werden konnten (Abb. 44).

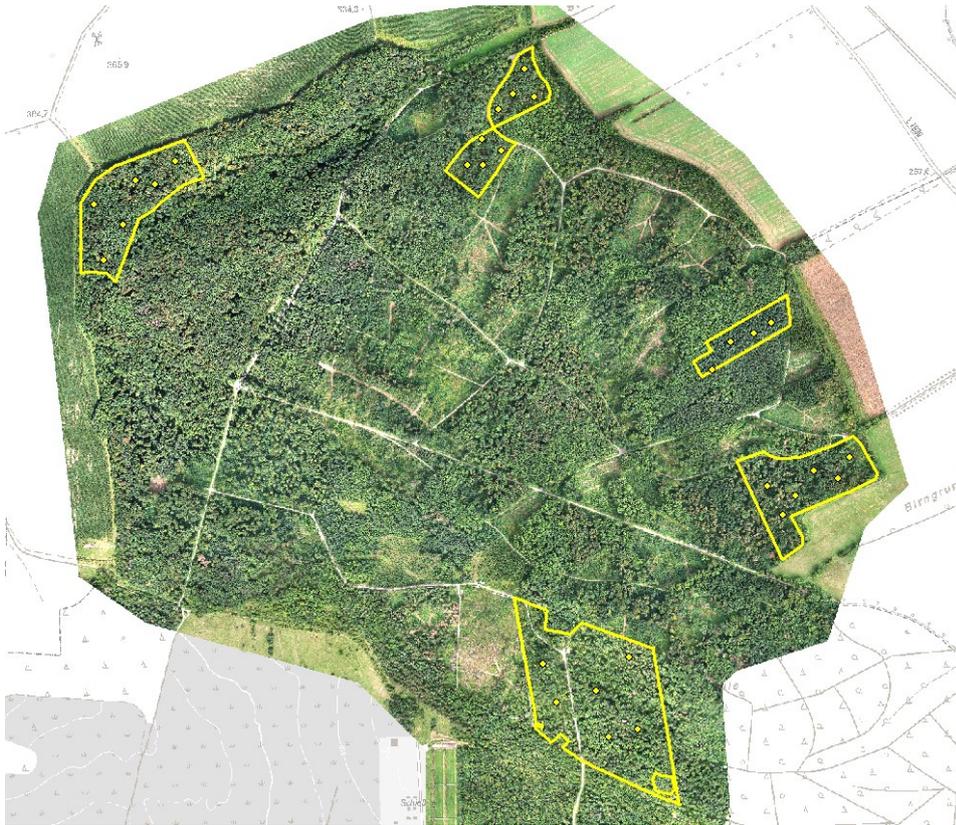


Abbildung 44: Drohnenaufnahme Krahnberg 2021, Gelb: Untersuchungsgebiete Frühjahr 2022, Punkte: einzeln durchgeführte Baumhöhenmessungen

Der Vergleich mit den Höhendaten der einzeln vermessenen Bäume mit den jeweiligen Äquivalenten aus den Luftbildaufnahmen der Drohne zeigt dass die Abweichungen sich bei den betrachteten Einzelbaumaufnahmen über alle Messungen hinweg im Bereich von 1,5-2,5 Höhenmetern bei der Douglasie und 2-2,5 m bei den Buchen bewegen und demnach eine hinreichend genaue Messung ermöglichen. Hierbei werden die Baumhöhen stets unterschätzt, jeder einzelne gemessene Baum war nach der klassischen Baumhöhenmessung also minimal größer als aus den UAV Luftbildern abgeleitet werden konnte. Dies konnte für die Buchen, als auch für die Douglasien und Fichten im Untersuchungsgebiet gezeigt werden.

In der Gesamtbetrachtung und dem Vergleich der Kosten pro ha ist festzustellen, dass die hier vorgestellte Methodik der Kombination von UAV- und HLS Daten im Vergleich zu einer klassischen Forsteinrichtung die folgenden Vorteile bieten kann:

- Zeitlich schnellere Erfassung:
  - Eine UAV Befliegung dauert bei kleineren Beständen - mit denen sich das INKA Projekt primär befasst hat - nur wenige Minuten, ein 50ha großer Bestand kann beispielsweise in etwa 30 Minuten vollständig befliegen und erfasst werden.

- Die parallel durchführbare Stichprobenmethode mit dem Handlaserscanner kann mit etwa 10 Minuten Messaufwand pro ha Fläche angegeben werden und lässt sich entsprechend auch mit wenig Zeitaufwand in der Fläche durchführen
- Die finale Prozessierung ist bei beiden Methoden größtenteils automatisiert möglich und dadurch in erster Linie nur von den vorhandenen Rechenkapazitäten abhängig – hier gilt: mehr ist besser, insbesondere ein großer Arbeitsspeicher ist relevant für die Berechnungsdauer
- Kostengünstigere Methode:  
Kostet die Forsteinrichtung für Kleinstflächen mit klassischen Methoden (Winkelzählmessung in Kombination mit Baumhöhenmessung (z.B. mit Vertex) etwa ~50€/ha (Angaben der Kleinprivatwaldbesitzer und Kommunen schwanken hier zwischen 30-78€/ha), kann für die Kombination aus UAV Luftbildern und Stichprobenverfahren des Handlaserscanners mit Kosten von etwa 10-35€/ha gerechnet werden - je nachdem ob eine eigene Drohne und Software zur Auswertung vorhanden ist, oder die Aufnahmen und Auswertung als eine externe Dienstleistung erbracht werden müssen.
- Das Stichprobenverfahren des Handlaserscanners lässt sich für einen kleineren Bestand in wenigen Minuten durchführen, die Prozessierung und Auswertung am PC kann teilautomatisiert in wenigen Stunden im Büro erledigt werden (sofern die Software und nötigen Skripte auf dem nötigen Stand vorliegen).
- Höhere Genauigkeit:  
  
Durch den Vergleich der BHD Daten mit Kluppungsdaten von sämtlichen analysierten Beständen, konnte die hohe Genauigkeit der Messwerte des Handlaserscanners bestätigt werden, selbst für den Fall, dass die Ergebnisse nur im vorgestellten linearen Stichprobenverfahren ermittelt worden sind, sind die Werte deutlich genauer als eine klassische Winkelzählprobe

## 2 Verwertung

Die Arbeiten wurden wie im Antrag und im Aufstockungsantrag geplant durchgeführt. Der Zeitrahmen war notwendig und angemessen musste aber auf Grund der Pandemie kostenneutral verlängert werden.

Detaillierte Verwertungspläne der Projektpartner sind in Erfolgs-Kontrollberichten der einzelnen Partner zusammengestellt.

### 2.1 Voraussichtlicher Nutzen

#### 2.1.1 Nutzen für die Wissenschaft

Algorithmen für Ableitung der Waldbestandparameter aus UAV-Daten und HLS wurde in der Opensource Software „R“ entwickelt und optimiert. Dabei bestehen Zusammenhänge zwischen einzelnen Baumparametern, wie z.B. zwischen Kronengrößen, Baumhöhen und Baumdurchmesser und dem Baumvorrat. Diese wurden untersucht und für die Baumarten Fichte und Buche verfeinert. Standardisierte Arbeitsabläufe für die Erfassung der Versuchsflächen mit UAV-Aufnahmen wurden entwickelt und Praxis-erprobt. Die Ergebnisse wurden auch in die forstliche Lehre an der FH Erfurt integriert. Speziell im Fach „Geoinformationssysteme und Fernerkundung“ werden diese an die Studenten von Herrn Chmara (Gastdozent) vermittelt.

Die gewonnenen sowie erzielten Erkenntnisse vom Handlaserscanner wurden auf einem Kolloquium, im FFK Gotha im Juni 2019 vor einem breiten Publikum aus der Wissenschaft und Forstpraktikern vorgestellt. Auf einer Onlinekonferenz im Dezember 2020 von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft sind auch die Ergebnisse aus den UAV Daten präsentiert und ausführlich diskutiert worden. Eine weitere Vorstellung der Ergebnisse geschah im Rahmen eines Vortrages auf der FOWITA (2021). Die vorgestellten Ergebnisse dieser Veranstaltungen erzielten große Aufmerksamkeit und bekamen positive Kritiken aus wissenschaftlicher und forstpraktischer Sichtweise. Geplant sind noch weitere Teilnahmen an wissenschaftlichen Konferenzen und forstlichen Messen. Zudem begleiteten auch mehrere Hochschulpraktikanten aus verschiedenen Universitäten das Projekt. Hierbei wurde bereits eine Bachelorarbeit über den allgemeinen Nutzen des Handlaserscanner im Wald, über Genauigkeit der Baumhöhemessungen mit UAV sowie eine weitere Arbeit über den HLS Einsatz für die lineare Taxation in Waldbeständen veröffentlicht.

Die zuvor beschriebenen Erkenntnisse wurden auch in verschiedenen Magazinen veröffentlicht:

- WÖRDEHOFF, R. (2019): Das INKA-Projekt-Fernerkundungsbasierte Methoden zur Ableitung von Forsteinrichtungsgrößen. Mitarbeitermagazin von ThüringenForst „Das Blatt“ Ausgabe 2/2019
- SEIDEMANN, J. (2020): Neues vom INKA-Projekt Fernerkundungsbasierte Methoden zur Ableitung von Forsteinrichtungsgrößen von Drohnendaten. Mitarbeitermagazin von ThüringenForst „Das Blatt“ Ausgabe 3/2020

- WÖRDEHOFF, R.; SEIDEMANN, J.; CHMARA, S. (2020): Die Nutzung eines Handlaserscanners zur Bestimmung forsteinrichtungsrelevanter Größen. FFK Gotha. Mitteilungsheft 38/2020, S. 132-142
- SEIDEMANN, J.; WÖRDEHOFF, R.; CHMARA, S. (2021): Nutzung von Drohnendaten zur Bestimmung forsteinrichtungsrelevanten Größen. FFK Gotha. Mitteilungsheft 39/2020, S. 133-153
- Thüringer Allgemeine: „Das forstliche Forschungs- und Kompetenzzentrum in Gotha arbeitet an einem Forschungsprojekt mit 400.000 Euro Projektmittel“, Autor Wieland Fischer (07.03.2019)
- Thüringische Landeszeitung: „Klein, handlich und gut: Waldinventur mit Scanner“, Autor: Klaus-Dieter Simmen, 08.03.2019

### **2.1.2 Nutzen für die Forstbetriebe**

Im Rahmen des INKA Projektes wurden standardisierte Leistungsverzeichnisse für Beschaffung von UAV angefertigt. Zusätzlich sind Vergabebesreibungen der UAV-Bildaufnahmen an die Dienstleister sowie Datenstandards für UAV-Bildprodukte, Schnittstellendefinition, Arbeitsanleitungen und Checklisten verfasst worden. Diese Arbeiten soll es den Waldbesitzern und Bewirtschaftern erleichtern den qualifizierten Einsatz von UAV und HLS zu nutzen und sichert die Qualität späterer Auswertungen und Produkte.

Erste Tests in der Forstpraxis sowohl mit eigener Technik wie auch durch den Einsatz von externen Dienstleistern stießen auf hohe Resonanz und bestätigten die Praxistauglichkeit der in dem Projekt angefertigten Produkte.

Die erste praktische Einführung erfolgte bei ThüringenForst mit Schwerpunkt Betreuung der Privatwaldflächen und insbesondere in der Inventur der durch Extremwetterereignisse und Borkenkäfer geschädigter Waldbestände. So wurde unter anderem basierend auf dem im INKA-Projekt entwickeltem UAV-Einsatzverfahren ein Ablaufschema zur Vermessung und Planung der Wiederbewaldungsmaßnahmen entwickelt. Diese wurden auf Flächen von mehreren tausend Hektar umgesetzt. Momentan erfolgt der Transfer des Verfahrens in andere Thüringer Forstämter.

## **2.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

### **2.2.1 Wissenschaft**

Im Bereich der Wissenschaft lassen sich keine wirtschaftlichen Erfolge erzielen.

### **2.2.2 Wirtschaft**

Klima- und kalamitätsbedingt verliert die klassische Forsteinrichtung mit ihrem zehnjährigen Planungszyklus an Bedeutung, es geht zunehmend um aktuelle Momentaufnahmen, die den Zustand des Waldes erfassen und dokumentieren und daraus situations-bezogen weitere

Bewirtschaftung zu planen. Techniken wie der UAV-Einsatz und das Laserscanning werden bei der Informationsbeschaffung ebenso an Bedeutung gewinnen wie forstspezifische Auswertungen von Satellitendaten und die Entfaltung zukunftsorientierter Szenarien auf der Basis dieser Daten. Diese Techniken und Verfahren hat das Projekt INKA aufgegriffen und in einem Portal zusammengeführt. Mit dem Demonstrator ist ein Anfang gemacht, der dem Ziel folgt, insgesamt ein wirtschaftliches Verfahren der Forsteinrichtung vorantreiben zu können, für das am Markt definitiv Bedarf besteht. Teile des Konsortiums wollen mit dem Antrag auf ein Folgeprojekt diesen Ansatz noch überzeugender gestalten.

## 2.3 Planung für die Zukunft

### 2.3.1 Wissenschaft

Transfer des Wissens aus dem INKA Projekt in Form von Veröffentlichungen, Lehre sowie Hochschulpraktika. Einsatz der Technologie für Datenaufnahmen und Dokumentation in anderen Forschungsprojekten. Als Beispiel wären hierbei die Früherkennung von Borkenkäferbäumen anhand von UAV Befliegungen, Auffinden von Brandnestern bei Waldbränden mittels einer Drohne.

### 2.3.2 Wirtschaft

Gerade das aktuelle Baumsterben hat die Ökosystemleistungen wieder in den Fokus der Öffentlichkeit geholt. In der aktuellen Diskussion spielt die CO<sub>2</sub> Speicherung im Wald bzw. im Holz ebenfalls eine herausragende Rolle. Es macht sehr viel Sinn, wenn sich aus den aktuellen Themen rund um die Digitalisierung, der Zertifizierung von Lieferketten und den CO<sub>2</sub>-Themen wie Dekarbonisierung bzw. CO<sub>2</sub>-Fussabdruck im Zusammenhang mit der Klimabilanz von Wirtschaftszweigen bzw. Betrieben für die Forstwirtschaft neue Aufgabenfelder entwickeln lassen.

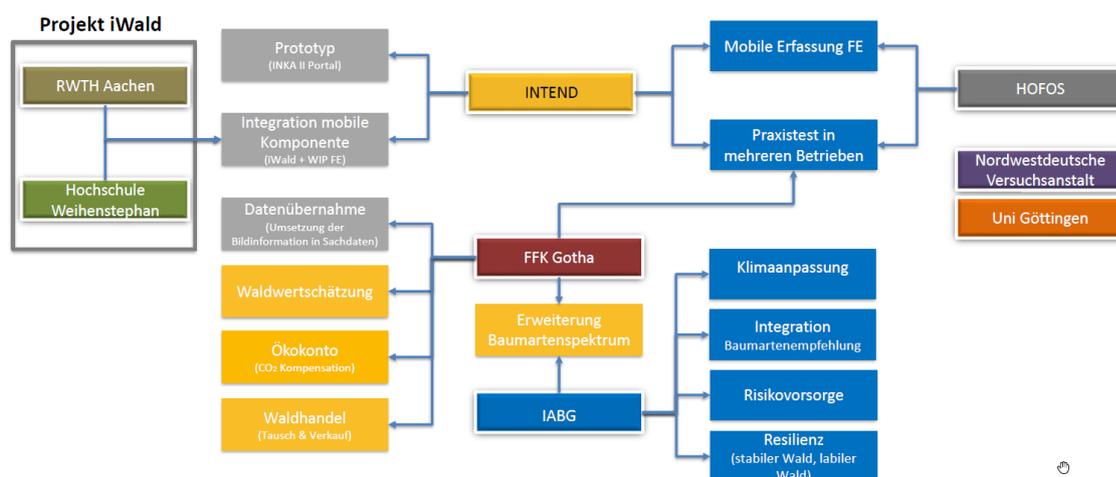


Abbildung 45: Planung für die Zukunft

So planen FFK Gotha, die IABG und die Firma INTEND mit einem Folgeantrag INKA II folgende Themen aufzugreifen

- Integration Projekt iWald
- Waldwertschätzung, Waldhandel, Ökokonto (CO<sub>2</sub> Kompensation)
- Klimaanpassung, Risikovorsorge, Resilienz
- Weiterentwicklung Demonstrator und Mobile Erfassung

Darüber hinaus sollen Integration der Standarddokumente, Verfahrensanleitung und Datenschnittstelle im INKA-Portal thematisiert werden als auch verstärkter Einsatz von externen UAV-Dienstleistern für forstliche Aufgaben, Vereinfachung der Projektplanung und der Auftragsvergabe sowie Standardleistungsverzeichnisse.

## **2.4 Erkenntnisse von Dritten**

Folgende Projekte von Dritten wurden identifiziert, die eine ähnliche Zielstellung aufweisen

- iWald 22017817 (sowie 22012718, 22013118, 22012818)
- EDE 4.0 2220NR017A (sowie 2220NR017B)
- WaldKlick 2220NR095A (sowie 2220NR095B + 2220NR095C)
- WaldExpert (nur für BaWü, Projekt von MLR finanziert)

## **2.5 Veröffentlichungen**

siehe Kapitel 2.1.1

### 3 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
AFL	Arbeitsgruppe der Forstlichen Luftinterpreten
API	application programming interface
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BAG	Baumartengruppe
CSV	Comma-separated values
DGM1	Digitales Geländemodell mit 1m Auflösung
DOM1	Digitales Obermodell mit 1m Auflösung
erl.	erledigt
ERP	Enterprise Ressource Planing
FG	Fördergeber
FH	Fachhochschule
FE	Forsteinrichtung
FEk	Fernerkundung
FFK	Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha
FöE	Förderempfänger
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
FSU Jena	Friedrich Schiller Universität Jena
HBA	Hauptbaumarten
HLS	Handlaserscanner
INT	INTEND Geoinformatik GmbH
KWF	Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik
GIS	Geografisches Informations-System
IABG	Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH
i.A.	In Arbeit
KML	Keyhole Markup Language

<b>GPX</b>	<b>GPS Exchange Format</b>
<b>GPS</b>	<b>Global Positioning System</b>
<b>NW-FVA</b>	<b>Nordwestdeutsche Forschungs- und Versuchsanstalt</b>
<b>ö.b.u.v.</b>	<b>öffentlich bestellt und vereidigt</b>
<b>REST</b>	<b>Representational State Transfer</b>
<b>RGB</b>	<b>Grundfarben Rot, Grün und Blau</b>
<b>UAV</b>	<b>unmanned, uninhabited oder unpiloted aerial vehicle</b>
<b>UNI</b>	<b>Universität Göttingen</b>
<b>WET</b>	<b>Waldentwicklungstypen</b>
<b>WSL</b>	<b>Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft</b>
<b>WZE</b>	<b>Waldzustandserfassung</b>

## 4 Literaturverzeichnis

Christiansen, M. (2020): Lineare Stichprobenerfassung mit Handheld Laserscanner im Forstbereich, Bachelorarbeit

Duda, H.A.A. (2006): Vergleich forstliche Managementstrategien: Umsetzung verschiedene Waldbaukonzepte in einem Waldwachstumssimulator. Books on Demand GmbH, Norderstedt. Dissertation

Ehrhardt, P. (2021): Biomassepotentiale in Thüringen – Vergleichende Genauigkeitsanalyse von In Situ- und CCI Biomass-Daten in den Testgebieten Oberhof, Sondershausen und Trockenborn  
Engelke, M. (2021): Die lineare Stichprobenerfassung mittels eines Handlaserscanners für die Erfassung forstwirtschaftlicher Parameter (Bachelorarbeit)

Feuer F. (2022): Genauigkeit der Baumhöhenmessung. Ein Vergleich dreier ausgewählter Verfahren. (Bachelorarbeit)

Hansen, J. & Nagel, J., 2014. Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Available at: <http://dx.doi.org/10.17875/gup2014-757>.

Hansen, J. und Nagel, J. (2016): Das Java Paket *Silviculture* für die automatisierte Simulation waldbaulicher Szenarien in Verwendung mit dem ForestSimulator.

Lux, H.; Seidemann J. (2021); Die Nutzung von Handlaserscanner und UAV Daten zur Bestimmung forsteinrichtungsrelevanter Größen (Vortrag; FoWiTa 14.09.2021)

Nagel, J. (2009): Waldwachstumssimulation mit dem Softwarepaket TreeGrOSS – Neuerungen, Erweiterungsmöglichkeiten und Qualitätsmanagement. In: RÖMISCH, K.; NOTHDURFT, A.; WUNN, U. (Hrsg.): Tagungsband der gemeinsamen Jahrestagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik im DVFFA (20. Tagung) und der AG Ökologie u. Umwelt in der Intern. Biometr. Gesell., 22.-24.09.2008 in Freiburg. Die Grüne Reihe, 174-178

Rumpf, S.; Schönfelder, E.; Ahrends, B. (2018): Biometrische Schätzmodelle für Nährelementgehalte in Baumkompartimenten. Kap. 3 in: Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Forstliche Versuchs- u. Forschungsanstalt Baden-Württemberg: Holznutzung und Nährstoffnachhaltigkeit. Abschlussbericht zum Projekt „Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland“ (EnNa). Freiburger Forstliche Forschung, Berichte, Heft 101, 33-73

Seidemann, J. (2020): Neues vom INKA-Projekt Fernerkundungsbasierte Methoden zur Ableitung von Forsteinrichtungsgrößen von Drohnendaten. Mitarbeitermagazin von ThüringenForst „Das Blatt“ Ausgabe 3/2020

Seidemann, J.; Würdehoff, R.; Chmara, S. (2021): Nutzung von Drohnendaten zur Bestimmung forsteinrichtungsrelevanten Größen. FFK Gotha. Mitteilungsheft 39/2020, S. 133-153

Würdehoff, R. (2019): Das INKA-Projekt-Fernerkundungsbasierte Methoden zur Ableitung von Forsteinrichtungsgrößen. Mitarbeitermagazin von ThüringenForst „Das Blatt“ Ausgabe 2/2019

Würdehoff, R.; Seidemann, J.; Chmara, S. (2020): Die Nutzung eines Handlaserscanners zur Bestimmung forsteinrichtungsrelevanter Größen. FFK Gotha. Mitteilungsheft 38/2020, S. 132-142

## Anhang ThüringenForst / FFK Gotha

Zuwendungsempfänger: ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts	Förderkennzeichen: 22023417
--	--------------------------------

Thema: Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald –  
Teilvorhaben 2: Primärdatenerfassung und Validierung

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2018 – 31.03.2022

### 1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel des TV2 (Primärdatenerfassung und Validierung) ist es Methoden und Konzepte zu entwickeln, die privaten Kleinwaldbesitzern die Möglichkeit zu bieten eine schnelle und kostengünstige Alternative zur klassischen Forsteinrichtung zu nutzen. Hierfür soll im TV2 die Nutzung von Drohnen (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) und Handlaserscannern (HLS) entwickelt, erprobt und validiert werden. Hierfür sollen eine Drohne für die Luftbefliegungen sowie ein Laserscanner für die Messungen im Forst angeschafft bzw. konstruiert werden. Anschließend soll ein Inventurverfahren für beide Geräte entwickelt, sowie entsprechende Dokumentation und Ablaufpläne erstellt werden.

### 2. Arbeitspakete des Teilvorhabens

Im Arbeitspaket (**AP**) 1 waren dem FFK Gotha die beiden Arbeitsschritte (**AS**) 1.2 (mathematische Grundlagen) sowie **AS** 1.5 (Vorstudien UAV und Handlaserscanner (HLS)) zugeordnet. Nachdem die Inventurparameter bestimmt wurden, wurden entsprechende Inventurverfahren entwickelt. Einmal auf Grundlage von UAV Luftbildern (flächiges Verfahren) und einmal auf Grundlage von Handlaserscandaten (stichprobenbasiert), anschließend wurde ein Verfahren zur Kombination beider Systeme entwickelt.

Im **AP 2** befasste sich das FFK mit dem **AS 2.4** (Automatisierung, Verfahrensanweisungen & Produktkatalog) und **2.5** (Methodenentwicklung, Konstruktion). In AS 2.4 wurden für beide Verfahren (UAV und HLS) und u.a. Automatisierungsskripte erstellt und Verfahrensanweisungen entworfen. In AS 2.5 entfiel der Punkt „Konstruktion“, da eine Drohne eigens angeschafft wurde. In der Methodenentwicklung wurden sowohl für UAV Gerät als auch für Handlaserscanner (HLS) Methoden zur Inventarisierung und ein passendes Leistungsverzeichnis entwickelt.

Im **AS 3.2** (Herstellung Komponenten, Systemintegration UAV+ Laserscanning) war die Aufgabe die beiden Geräte HLS und UAV in das Projekt zu implementieren. Hierfür wurden entsprechende Skripte für beide Geräte zur Datenverarbeitung, Prozessierung und Weiterverwendung entwickelt.

Im Arbeitspaket 4 standen schliesslich die beiden AS 4.1 (Verifizierung des Verfahrens) und 4.5 (Abschließender Test & Qualitätssicherung UAV & HLS) auf dem Plan. Während das Verfahren der Inventarisierung mit UAV und HLS an drei Baumarten erfolgreich abgeschlossen wurden, wurde für den letzten Schritt eine Projektverlängerung von 3 Monaten beantragt und bewilligt. In diesem Zeitraum sollen am

Krahnberg in Gotha eine Forsteinrichtung mittels HLS und UAV durchgeführt werden und mit einer klassischen Forsteinrichtung verglichen werden.

### **3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens**

Es wurden ein Handlaserscanner und eine Flugdrohne angeschafft. Für beide Geräte wurden entsprechende Inventurverfahren zur schnellen und effizienten Datenaufnahme entwickelt. Es wurden umfangreiche Dokumentation erstellt und u.a. Befliegungsanträge für Waldbesitzer sowie eine Drohnenbefliegungskarte entwickelt.

Beide Verfahren wurden sowohl einzeln als auch kombiniert getestet und erreichten hierbei gut bis sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der erreichten Genauigkeit als auch hinsichtlich der nötigen Zeit und Kosten. Für die Datenauswertung, die Prozessierung und Datenweiterverarbeitung wurden jeweils entsprechende Skripte in der Programmiersprache R erstellt.

Bei allen durchgeführten Stichproben und Messungen zeigten beide Verfahren hervorragende Ergebnisse hinsichtlich ihrer individuellen Genauigkeit. Während die Drohne mit den eingesetzten Algorithmen die Baumhöhe sehr genau bestimmen konnte, bot der Handlaserscanner eine sehr genaue Messung von Stammzahl und Durchmesser, insbesondere war das auch der Fall, als anstelle einer zeitaufwendigen Bestandes-Vollscan auf einer Stichprobenmessungen mittels linearer Taxation durchführte. Dies kann zusammengenommen die Forstinventur kostengünstiger und darüber hinaus weitaus genauer machen als dies momentan der Fall war, genauere Angaben sind dem vollständigen Abschlussbericht zu entnehmen.

# Erfolgskontrollbericht<sup>1</sup>

Zuwendungsempfänger: ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts	Förderkennzeichen: 22023417
Vorhabenbezeichnung: Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald – Teilvorhaben 2: Primärdatenerfassung und Validierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019-31.03.2022	

## 1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das Gesamtvorhaben unterstützt die Förderbereiche „Stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ und die „Energetische Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“. Für unser Teilvorhaben wird der Förderschwerpunkt „Fernerkundung in der Forstwirtschaft“ durch die Entwicklung und Etablierung der Erkenntnisse und Ergebnisse von UAV Daten und Handlaserscanner Daten, zur Erfassung und Steigerung des Rohholzangebotes vorangetrieben.

## 2. Erzielte Ergebnisse

Siehe Abschlussbericht, Kapitel II.

- 1.2.2 Mathematische Grundlagen;
- 1.2.5 Vorstudien UAV und Laserscanning;
- 1.3.5 Methodenentwicklung, Konstruktion;
- 1.4.1 Herstellung Komponenten, Systemintegration UAV;
- 1.4.2. Herstellung Komponenten, Systemintegration Laserscanning;
- 1.5.1 Verifizierung des Verfahrens;
- 1.5.5. Abschließender Test & Qualitätssicherung UAV & LS

## 3. Fortschreibung des Verwertungsplans

Die Methoden, Ergebnisse, Dokumentationen und Erkenntnisse aus den Handlaserscanner und der UAV Daten sollen einem breiten Anwenderkreis zugänglich gemacht werden. Die entwickelten Auswertungsskripte der beiden Fernerkundungsmethoden muss sich in der nächsten Phase den Anforderungen der Praktiker stellen. Vor allem das Referat 1 Inventur und Planung von ThüringenForst, forstliche Dienstleistungsunternehmen aus dem Bereich der Forsteinrichtung sowie private Waldbesitzer sollen aus den Erkenntnissen angesprochen werden. Wie im Schlussbericht erwähnt, soll mit einem Folgeprojekt das Themenfeld von INKA erweitert und dabei vor allem aktuelle Themen wie Klima, CO2 Kompensation und Resilienz aufgegriffen werden.

Die im Konzept geplanten mittelfristigen Schritte haben Bestand:

<sup>1</sup> Siehe auch **MERKBLATT ZUM ABSCHLUSSBERICHT**

Das Berichtsblatt ist bei Verbundvorhaben für jedes Teilvorhaben separat zu erstellen.

	Ziel	Maßnahme	Zeithorizont
Übernahme der Ergebnisse in die Lehre	Vermittlung der Ergebnisse direkt an die Studierenden, praktische Ausbildung am entwickelten System	Sensibilisierung der nachfolgenden „digitalen Generation“ für die Technologiefortschritte, Ausbildung der „digital natives“ in der Anwendung des Systems	2022-2024
Demonstrationsvorhaben	Markterschließung	In Leuchtturmprojekten mit in den Entwicklungsprozess eingebundenen Partnern werden die Vorteile des Systems bewiesen und eine nachprüfbare Datengrundlage gesetzt.	2022-2024
Anwenderworkshops und Schulungen	Aufbau von Kundenbeziehungen	In Anwenderschulungen werden die Vorteile des Systems an praktischen Beispielen verdeutlicht.	2022-2024
Transfer in die Wirtschaft durch Verbände und Multiplikatoren	Ergebnistransfer und Vorstellung in branchenübergreifenden Kompetenznetzwerken und Verbänden	DFWR, DHWR, Private Forstdienstleister, Forstverwaltungen und Waldbesitzer	2022-2024
Messepräsentation	Verbreitung des Systems	KWF Neuheiten Show	2022-2024

ThüringenForst wird sich zunächst auf die Etablierung der entwickelten Methoden und Erkenntnisse in der Forstverwaltung konzentrieren.

### 3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Nach dem deutschen PatG (§ 1, Abs. 2-3) und dem EPÜ (Art. 52) sind neben mathematischen Methoden sowie Plänen, Regeln und Verfahren für Tätigkeiten verschiedener Art auch Programme für Datenverarbeitungsanlagen als solche keine patentierbaren Erfindungen. Das innovative Moment des Projektes liegt in der neuartigen Kombination bestehender Methoden und Verfahren, die als solche nicht unter ein Schutzrecht gestellt werden können.

### 3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Klima- und kalamitätsbedingt verliert die klassische Forsteinrichtung mit ihrem zehnjährigen Planungszyklus an Bedeutung, es geht zunehmend um aktuelle Momentaufnahmen, die den Zustand des Waldes erfassen und dokumentieren. Techniken wie der UAV-Einsatz und das Laserscanning werden bei der Informationsbeschaffung ebenso an Bedeutung gewinnen wie forstspezifische Auswertungen von Satellitendaten und die Entfaltung zukunftsorientierter Szenarien auf der Basis dieser Daten. Diese Techniken und Verfahren hat das INKA Projekt aufgegriffen und in einem Portal zusammengeführt.

### **3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)**

Die Forsteinrichtung steht am Beginn der Wertschöpfungskette, auf ihr bauen Planung und Vollzug auf. Der Informationsgehalt der FE-Daten ist somit wesentlich für eine erfolgreiche Betriebssteuerung.

Es ist nach heutigem Stand absehbar, dass die Digitalisierung auch in diesem Bereich stetig weiter voranschreitet und damit die Messungen mithilfe von Drohnen Luftbildern und Handlaserscanner perspektivisch die klassische Forsteinrichtung ergänzen bzw. vollständig ablösen werden.

### **3.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Gerade das aktuelle Baumsterben hat die Ökosystemleistungen wieder in den Fokus der Öffentlichkeit geholt. In der aktuellen Diskussion spielt die CO<sub>2</sub> Speicherung im Wald bzw. im Holz ebenfalls eine herausragende Rolle. Es macht sehr viel Sinn, wenn sich aus den aktuellen Themen rund um die Digitalisierung, der Zertifizierung von Lieferketten und den CO<sub>2</sub>-Themen wie Dekarbonisierung bzw. CO<sub>2</sub>-Fussabdruck im Zusammenhang mit der Klimabilanz von Wirtschaftszweigen bzw. Betrieben für die Forstwirtschaft neue Aufgabenfelder entwickeln lassen.

So planen FFK Gotha, die IABG und die Firma INTEND mit einem Folgeantrag INKA II die folgenden Themen aufzugreifen:

- Integration Projekt iWald
- Waldwertschätzung, Waldhandel, Ökokonto (CO<sub>2</sub> Kompensation)
- Klimaanpassung, Risikovorsorge, Resilienz
- Weiterentwicklung Demonstrator und Mobile Erfassung

Darüber hinaus sollen Integration der Standarddokumente, Verfahrensanleitung und Datenschnittstelle im INKA-Portal thematisiert werden als auch verstärkter Einsatz von externen UAV-Dienstleistern für forstliche Aufgaben, Vereinfachung der Projektplanung und der Auftragsvergabe sowie Standardleistungsverzeichnisse.

## **4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

Keine.

## **5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

Das Projekt wurde in der Mitarbeiterzeitung von ThüringenForst „Das Blatt“ mehrfach vorgestellt. Es wurden zwei Artikel über die Einsatzmöglichkeiten der UAV- und Handlaserscanner Daten in den Mitteilungsheften 38 und 39 von ThüringenForst veröffentlicht und stehen der Öffentlichkeit zur Verfügung. Anleitungartikel und Antragsmuster zu Handlaserscanner und UAV Einsatz wurden im Intranet von ThüringenForst angelegt und sind den Mitarbeitern von ThüringenForst zugänglich.

Die erzielten Ergebnisse wurden auf der Forstwissenschaftlichen Tagung (FowiTa) sowie dem 1. und 2. Drohnenworkshop der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) digital vorgestellt. Vor der Corona Pandemie fand am 18. Juni 2019 ein Praxisforum „Forstliche Fernerkundung und GIS“ im Forstlichen Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha statt, auf dem die Durchmesserermittlung mit einem Handlaserscanner vorgestellt wurde.

## **6. Ausgaben- und Zeitplanung**

Im ersten Projektjahr 2018 konnten die eingeplanten Mittel nicht vollständig abgerufen werden, da die Ausschreibung für das wissenschaftliches Personal noch lief. Die eingesparten Mittel wurden auf die Folgejahre verschoben. Im zweiten Projektjahr 2019 wurde die Stelle besetzt und eine zweite Stelle für das FFK geschaffen, die sich durch das Ausscheiden der Firma RUCON GmbH ergab. Die nicht ausgegeben Mittel für 2019 wurden auf die Folgejahre verschoben. Im dritten Projektjahr war eine Stelle für 2 Monate unbesetzt, so dass hier auch die nicht ausgegebenen Mittel auf das Jahr 2021 transferiert wurden. Ein Projektverlängerungsantrag wurden im Frühjahr 2021 bis zum 31.12.2021 gestellt, da die Neubesetzung der Stelle zu einem Zeitverlust führte. Eine weitere kostenneutrale Verlängerung zur Validierung der Ergebnisse an einem Praxisbeispiel wurde bis zum 31.03.2022 gewährt.

Das Projektbudget wurde nicht vollständig ausgeschöpft. Die Ist-Ausgaben lagen 27.020,77 €unter dem bewilligten Projektbudget. Die nicht benötigten Mittel wurden nicht abgefordert.

**Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens <sup>1</sup>**

Zuwendungsempfänger: ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts	Förderkennzeichen: 22023417
Thema: Integriertes forstliches Informationssystem für den kleinparzellierten Nicht-Staatswald – Teilvorhaben 2: Primärdatenerfassung und Validierung	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2019-31.03.2022	

**Projektbeschreibung:**

Ziel des TV2 (Primärdatenerfassung und Validierung) ist es Methoden und Konzepte zu entwickeln, die privaten Kleinwaldbesitzern die Möglichkeit zu bieten eine schnelle und kostengünstige Alternative zur klassischen Forsteinrichtung zu nutzen. Hierfür soll im TV2 die Nutzung von Drohnen (Unmanned Aerial Vehicles, *UAV*) und Handlaserscannern (HLS) entwickelt, erprobt und validiert werden. Hierfür sollen eine Drohne für die Erstellung von Luftbildaufnahmen sowie ein Laserscanner für die Messungen im Forst angeschafft bzw. konstruiert werden. Anschließend soll die Methodik für ein Inventurverfahren für beide Geräte entwickelt, sowie entsprechende Dokumentation und Ablaufpläne erstellt werden.

**Projektergebnisse:**

Im Rahmen des Teilvorhabens wurden ein geeigneter Handlaserscanner sowie ein *UAV* Fluggerät angeschafft. Für beide Geräte wurden entsprechende Inventurverfahren zur schnellen und effizienten Datenaufnahme entwickelt. Es wurden jeweils umfangreiche Dokumentation erstellt und ein Antragsverfahren Befliegungen erstellt, welche Waldbesitzer nutzen können um schnell und einfach eine Befliegung zu beantragen. Daneben wurde eine Drohnenbefliegungskarte entwickelt auf der alle erlaubten Zonen und Befliegungsgebiete kartiert sind, womit eine Einschätzung der Situation im Testgebiet vorab ermöglicht wird.

Mithilfe der Luftbilddaten konnten für verschiedene Baumarten Forstparameter abgeleitet werden. Besonders zuverlässig konnten zum Beispiel dadurch die Baumhöhen bestimmt werden. Ebenso ist die Ableitung des BHD bei Fichten und Buchen mit gutem Ergebnis möglich. Der Laserscanner eignet sich insbesondere für die Ableitung des BHD und der Stammzahl einer definierten Fläche. Hier wurden unabhängig von der Baumart Ergebnisse vergleichbar mit einer Vollklappung - bei einem Bruchteil des Zeitaufwands - erzielt. Beide Verfahren wurden auch kombiniert getestet und erreichten hierbei gut bis sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der erreichten Genauigkeit als auch hinsichtlich der nötigen Zeit und Kosten im Vergleich zu einer klassischen Forsteinrichtung. Durch eine im Rahmen des Projektes angefertigte Bachelorarbeit konnte zudem gezeigt werden, dass die Datenerfassung mit dem Laserscanner auch funktioniert, falls nur kleinere Stichproben eines Bestandes mithilfe linearer Taxation erfasst werden.

Für die Datenauswertung, die Prozessierung und Datenweiterverarbeitung wurden jeweils entsprechende Skripte in der Programmiersprache R erstellt.

<sup>1</sup> Das Berichtsblatt ist bei Verbundvorhaben für jedes Teilvorhaben separat zu erstellen.

Hinsichtlich der gezeigten Ergebnisse besteht die berechtigte Hoffnung das beide Verfahren zusammengenommen die Forstinventur kostengünstiger und darüber hinaus weitaus genauer machen als dies momentan der Fall ist – genauere Details dazu finden sich im Volltext des Abschlussberichtes.

## Short Project Description <sup>1</sup>

Beneficiary: ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts	Project number: 22023417
Project title: Integrated forestry information system for small-parcel non-state forests - Subproject 2: Primary data collection and validation	
Project : 01.08.2019-31.03.2022	

### Project objective:

The aim of Subproject 2 („Primary data acquisition and validation“) is to develop methods and concepts that offer private small forest owners the possibility to use a fast and cost-effective alternative to classical forest management. For this purpose, the use of drones (Unmanned Aerial Vehicles, UAV) and handheld laser scanners (HLS) will be developed, tested and validated in SP2. For this purpose, a drone for the creation of aerial photographs and a laser scanner for measurements in the forest are to be purchased or constructed. Subsequently, the methodology for an inventory procedure for both devices will be developed, as well as corresponding documentation and flowcharts.

### Project results:

As part of the sub-project, a suitable handheld laser scanner and a UAV flying device were acquired. For both devices, appropriate inventory procedures were developed for fast and efficient data acquisition. Extensive documentation was created and an application procedure for aerial surveys was developed, which forest owners can use to quickly and easily apply for an aerial survey. In addition, a drone flight map was developed on which all permitted zones and flight areas are mapped, enabling an assessment of the situation in the test area in advance.

With the help of the aerial data, forest parameters could be derived for various tree species. For example, tree heights could be determined particularly reliably. Likewise, the derivation of the BHD for spruce and beech is possible with good results. The laserscanner is particularly suitable for deriving the BHD and the number of trunks of a defined area. Here, regardless of the tree species, results comparable to a full clipping - at a fraction of the time effort - were achieved. Both methods were also tested in combination and achieved good to very good results with respect to the achieved accuracy as well as with respect to the necessary time and costs in comparison to a classical forest survey.

For data evaluation, processing and further data preparation, suitable scripts were created in the R programming language. With regard to the results shown, there is justified hope that both methods taken together will make forest inventory more cost-effective and, moreover, far more accurate than is currently the case.

# R-Skript zur Auswertung von UAV-Daten zu forstlichen Parametern

Jan Seidemann

07.12.2021

## Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha ThüringenForst-AöR

Dieses Skript fasst die Erkenntnisse des INKA Projektes zusammen

### Literatur zur Methodik

- SILVA , C. A.; CROOKSTON , N. L.; HUDAK , A. T.; LEE , H.; VIERLING , L. A.; LOUDERMILK , E. L.; O'BRIEN , J. J.; HIERS , J. K.; JACK , S. B.; GONZALEZ -BENECKE , C.; LEE , H.; FALKOWSKI , M. J.; KHOSRAVIPOUR , A. (2016): Imputation of Individual Longleaf Pine (Pinus palustris Mill.) Tree Attributes from Field and LiDAR Data. Canadian Journal of Remote Sensing 42:554-573
- ROUSSEL , J.-R.; AUTY , D. (2020): lidR: Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry Applications. R package version 3.0.2. <https://CRAN.R-project.org/package=lidR> (<https://CRAN.R-project.org/package=lidR>).

zuletzt geändert am 07.12.2021

### Globales

```
## Globales ----

# Lade die R Packages

library(rLiDAR) ## Version 0.1.1
library(raster) ## Version 3.3-13
library(lidR) ## Version
library(sf) ## Version
library(sp) ## Version
library(rgdal) ## Version
library(tmap) ## Version
library(rgeos) ## Version
library(ForestTools) ## Version
library(ggplot2)
require(plyr)
library(data.table)
library(ggspatial)
library(ggpubr)

version
```

```
##
## platform      x86_64-w64-mingw32
## arch          x86_64
## os            mingw32
## system        x86_64, mingw32
## status
## major         4
## minor         1.1
## year          2021
## month         08
## day           10
## svn rev       80725
## language      R
## version.string R version 4.1.1 (2021-08-10)
## nickname      Kick Things
```

```
(.packages())
```

```
## [1] "ggpubr"      "ggspatial"   "data.table"  "plyr"        "ggplot2"
## [6] "ForestTools" "rgeos"       "tmap"        "rgdal"       "sf"
## [11] "lidR"        "raster"      "sp"          "rLiDAR"      "stats"
## [16] "graphics"    "grDevices"   "utils"       "datasets"    "methods"
## [21] "base"
```

## Dateienstruktur

```
## Dateipfade für Ausgangsdaten und Berechnungsergebnisse
inkaordner <- c("K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_F
ernerkundung_Inventur/INKA_2016/") ## Projektverzeichnis
ausgangsdaten <- c("Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/") ## Datenordner der UAV Daten
ergebnisse <- c("E:/temp/") ## Ergebnisordner

#internetseite zum Downloaden
site=c("https://www.geoportal-th.de/de-de/Downloadbereiche/Download-Offene-Geodaten
-Th%C3%BCringen/Download-H%C3%B6hendaten")

# Datei Ordner, wo die Daten gespeichert werden
download_dat=c("C:/Users/seidemann_jan/Downloads/")
```

## Eigene Funktionen für das Rskript

```

## verschiedene Funktionen für das Skript

# Gaussfilter für das nDOM
fgauss <- function(sigma, n = ws) {
  m <- matrix(ncol = n, nrow = n)
  col <- rep(1:n, n)
  row <- rep(1:n, each = n)
  x <- col - ceiling(n/2)
  y <- row - ceiling(n/2)
  m[cbind(row, col)] <- 1/(2 * pi * sigma^2) * exp(-(x^2 +
                                                    y^2)/(2 * sigma^2))

  m/sum(m)
}

# Kronenbreiten funktion
kronenbrfunktion <- function(art,kronenbr) {
  if(art == "FI") {
    ##NAGEL 1999 modifiziert
    x <- 9.3284*(kronenbr) - 11.795
  }
  if(art == "DGL") {
    ##D?BBELER et al. 2002 modifiziert
    x <- 0.0997*(kronenbr)^2 + 8.797*(kronenbr) - 22.833
  }
  if(art == "LA"){
    ##D?BBELER et al. 2002 modifiziert
    x <- -0.5798*(kronenbr)^2 + 1.5748*kronenbr + 8.5297
  }

  if(art == "BU"){
    ##D?BBELER et al. 2002
    x <- 6.5672*(kronenbr) - 12.636
  }

  if(art == "KI"){
    ##D?BBELER et al. 2002
    x <- 0.1383*(kronenbr)^2 + 6.4953*kronenbr-2.4791
  }
  return(x)
}

# Volumenbreiten Funktion
volumenfunktion <- function(art, t.d, t.h) {

  ## Art in Großschreibung
  art <- toupper(art)

  if (art == "EI") {
    ## Bergel (1974)
    vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.4786 - (1.011176/t.d) + (2.10428/t.h) - (203.1997
/(t.d*t.h*t.h)))
  }

  if (art == "REI") {

```

```

## Bergel (1974)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.4237 + 0.039178/t.d - 4.69154/(t.d*t.d) + 38.5469
/(t.h*t.d) - 335.8731/(t.h*t.d*t.d))
}

if (art %in% c("BU", "BAH")) {
## Bergel (1973)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.4039 + 0.0017335*t.h + 1.1267/t.h - 118.188/(t.d*
t.d*t.d) + 0.0000042*t.d*t.d)
}

if (art == "ES") {
## Bergel (1973) wie Buche
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.4039 + 0.0017335*t.h + 1.1267/t.h - 118.188/(t.d*
t.d*t.d) + 0.0000042*t.d*t.d)
}

if (art == "FI") {
## Bergel (1987)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.04016 - 27.56211/(t.d*t.d) + 1.36195/log(t.d) + 0.
057654*t.h/t.d)
}

if (art == "KI") {
## Bergel (1987)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.40804 - 318.3342/(t.h*t.d*t.d) + 36.90522/(t.h*t.
d) - 4.05292/(t.d*t.d))
}

if (art == "DGL") {
## Bergel (1987)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(-200.31914/(t.h*t.d*t.d) + 0.8734/t.d - 0.0052*log
(t.d)*log(t.d) + 7.3594/(t.h*t.d) + 0.46155)
}

if (art == "ELA") {
## Bergel (1974)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.583 + 4.52132/(t.h*t.h) - 5.59827/(t.h*t.d) - 0.21
01*log(t.d)/log(10.0) + 0.12363*log(t.h)/log(10.0) + 21.92938/(t.d*t.h*t.h))
}

if (art == "JLA") {
## Bergel (1973)
vol <- pi*t.h*(t.d/200)^2*(0.5073 + 7.41736/(t.h*t.h) - 7.57701/(t.h*t.d) - 0.3
2268*log(t.d)/log(10.0) + 0.30583*log(t.h)/log(10.0) + 20.75427/(t.d*t.h*t.h))
}

if (art == "BI") {
## Gerold (1977)
vol <- 0.88*((0.482*(t.h - 1) + 0.1145*t.h*(t.d - 12)/(1.8*t.d - 10))*pi*(t.d/
200)^2)
}

if (art == "ERL") {
## Lockow (1995)

```

```

    vol <- exp(-10.262754 + 2.155525*log(t.d) + 0.976678 * log(t.h) - 0.043148*(log
(t.d))^2 + 0.010716 * (log(t.h))^2) * (1.811999 - 7.382763*(1.0/t.d) - 0.032335*t.d
+ 0.0005276708*t.d^2 - 0.00000246995 * t.d^3.0)
  }

  if (art == "PA") {
    ## Knapp (1963)
    vol <- exp((-4.657 + 1.905*log(t.d) + 1.229*log(t.h))*log(10))
  }

  if (art == "EBES") {
    ## Hillebrand (1996)
    vol <- 0.000904 + 0.96266*(0.0000272*t.h*t.d^2 + 0.00007719*t.d*t.h + 0.000058*
t.h) + 0.13248*(0.0000272*t.h*t.d^2 + 0.00007719*t.d*t.h + 0.000058*t.h)^2
  }

  if (art == "KTA") {
    ## Nagel (1988)
    vol <- exp(1.64134*log(t.d) + 0.84522*log(t.h - 1.3) + 0.45253*log(1.0 - (7.0/
t.d)) - 8.45379)
  }

  return(vol)
}

```

## Wichtige Einstellungen

```

# Voreinstellungen
minh = 10 # minimal HÄ¶he
art=c("FI") # Baumart

```

## Daten einlesen

```

## Einlesen der Daten

## UAVdaten im Datenverzeichnis
(dateien_liste <- list.files(paste0(inkaordner, ausgangsdaten), full.names = TRUE,
pattern = ".tif")) # zeigt alle tif Dateien

```

```

## [1] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2019-10-15_Oberhof_DOM_10c
m.tif"
## [2] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2019-10-15_Oberhof_nDOM_10c
m.tif"
## [3] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2019-10-15_Oberhof_nDOM_10c
m.tif.ovr"
## [4] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2019-10-15_Oberhof_RGB_6cm.
tif"
## [5] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2020-07-31_Oberhof_nDOM_10c
m.tif"
## [6] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2020-07-31_Oberhof_nDOM_10c
m.tif.aux.xml"
## [7] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/2020-07-31_Oberhof_nDOM_10c
m.tif.xml"
## [8] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/dgm10cm_oberhof.tif"
## [9] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/dgm10cm_oberhof.tif.ovr"
## [10] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/nDOM_220620.tif"
## [11] "K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-Forschung_Fernerkun
dung_Inventur/INKA_2016/Daten/Oberhof/uav_schuetzenberg/nDOM_220620.tif.ovr"

```

```

nDOM_id <- 5 ## Nummer der Datei aus der Dateienliste, die ausgewertet werden soll
UAV DOM
RGB_id <- 4 ## Nummer der Datei aus der Dateienliste, die ausgewertet werden soll R
GB

## schreibe den Namen als character
nDOM <- unlist(strsplit(basename(dateien_liste[nDOM_id]), ".", fixed = TRUE))[1]
RGB <- unlist(strsplit(basename(dateien_liste[RGB_id]), ".", fixed = TRUE))[1]

# lade das nDOM und das orthofoto nun in R in ein
(chm <- raster(dateien_liste[nDOM_id]))

```

```

## class      : RasterLayer
## dimensions : 18251, 27587, 503490337  (nrow, ncol, ncell)
## resolution : 0.1, 0.1  (x, y)
## extent     : 618094.4, 620853.1, 5616589, 5618414  (xmin, xmax, ymin, ymax)
## crs        : +proj=utm +zone=32 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
## source     : 2020-07-31_Oberhof_nDOM_10cm.tif
## names      : X2020.07.31_Oberhof_nDOM_10cm
## values     : -17.67657, 41.65723  (min, max)

```

```
(orthofoto_RGB <- stack(dateien_liste[RGB_id]))
```

```
## class      : RasterStack
## dimensions : 30418, 45978, 1398558804, 4  (nrow, ncol, ncell, nlayers)
## resolution : 0.06, 0.06  (x, y)
## extent     : 618094.4, 620853.1, 5616589, 5618414  (xmin, xmax, ymin, ymax)
## crs        : +proj=utm +zone=32 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
## names      : X2019.10.15_Oberhof_RGB_6cm.1, X2019.10.15_Oberhof_RGB_6cm.2, X201
9.10.15_Oberhof_RGB_6cm.3, X2019.10.15_Oberhof_RGB_6cm.4
## min values :                0,                0,
0,                0
## max values :                255,                255,
255,                255
```

```
# Koordinatensystem
chm@crs # des nDOMs
```

```
## CRS arguments:
## +proj=utm +zone=32 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
```

```
orthofoto_RGB@crs # des Orthofotos
```

```
## CRS arguments:
## +proj=utm +zone=32 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
```

```
# Abfrage ob die Auflösung des nDOMs ok ist
if(round(res(chm), digits = 1) <= c(0.1, 0.1)) {
  print("nDOM Auflösung ist ok")} else {
  print("nDOM Auflösung ist nicht für das Skript geeignet")
}
```

```
## [1] "nDOM Auflösung ist ok"
```

```
# welche Fläche soll untersucht werden, in diesem Beispiel die Bestände beim Schütz
enberg
#cat(params$shp_program)

(flaeche_shp_ls <- list.files(paste0(inkaordner, ausgangsdaten), pattern = ".shp"))
```

```
## [1] "Flaechen_ID.shp"           "Flaechen_oberhof.shp"
## [3] "Flaechen_oberhof.shp.xml" "Flaechen_oberhof_old.shp"
## [5] "Flaechen_oberhof_old.shp.xml" "Flaechen_oberhofKopie.shp"
## [7] "Flaechen_oberhofKopie.shp.xml" "Oberhof_bestaende.shp"
## [9] "Oberhof_bestaende.shp.xml"
```

```
# waehle Shapedatei mit Bestand ID aus  
flaeche_shp_id <- 8
```

```
# Lade nun die Shapedatei in R ein, notwendige Bedingung das Alter des bestandes mu  
ss vorhanden sein  
#Mask <- readOGR(params$shp_program)  
Mask <- readOGR(paste0(inkaordner,ausgangsdaten,flaeche_shp_ls[flaeche_shp_id]))
```

```
## OGR data source with driver: ESRI Shapefile  
## Source: "K:\Daten\Aktenplan\P-Forschung\P-100-Grundl_Allg\P-110-Forschung_Ferner  
kundung_Inventur\INKA_2016\Daten\Oberhof\uav_schuetzenberg\Oberhof_bestaende.shp",  
layer: "Oberhof_bestaende"  
## with 71 features  
## It has 47 fields  
## Integer64 fields read as strings: FOA WBES REV ABT TFL BESTAND BHE_ID
```

```
invisible(print(qtm(Mask,"ID")))
```



```

flache_id <- 2

Mask <- Mask[Mask$ID==flache_id,]

#plot(Mask)

# Welche Fenstergröße wird gewählt
if(Mask$ALT<70){
  x=2
}else{
  x=5}

# Zeige mir die Fenstergröße
print(paste0("betrachtete Fenstergröße = ",x," m"))

```

```
## [1] "betrachtete Fenstergröße = 5 m"
```

## zeige die Eingangsdaten für die Berechnung

```

## ausschneiden der Testfläche von nDOM und dem Orthofoto
Maskchm = mask(crop(chm,Mask),Mask)
Maskortho = mask(crop(orthofoto_RGB, Mask), Mask)

```

```

## Warning in showSRID(uprojargs, format = "PROJ", multiline = "NO", prefer_proj
## = prefer_proj): Discarded datum Unknown based on GRS80 ellipsoid in Proj4
## definition

```

```

Maskchm[Maskchm < 0]=0

# verwende nun den Gaussfilter für das
sCHM_g_05 = focal(Maskchm,fgauss(2.5,11)) # sigma 2.5

# Plote mir das Orthofoto und das nDOM mit ggplot

# Orthofoto
q1 <- ggplot()+
  layer_spatial(Maskortho)+ #zeige mir das
  annotation_north_arrow(location = "tl", which_north = "true",height = unit(1.0, "
cm"),
                        width = unit(1.0, "cm"),bg="white")+
  annotation_scale(location = "br")+
  theme_bw()+theme(axis.text.y = element_text(angle = 90),
                  legend.justification=c(1,1), legend.position=c(1,1),
                  legend.background = element_rect(colour = "black"))

```

```
## Warning: Ignoring unknown parameters: fill
```

```

Maskchm_pts <- rasterToPoints(crop(Maskchm,Mask), spatial = TRUE) # wandle raster i
n Punkte um
Maskchm_df <- data.frame(Maskchm_pts) # punkte als Dataframe

# Zeige nDOM
q12 <- ggplot()+
  layer_spatial(Mask)+
  geom_raster(data = Maskchm_df,aes(x = x, y = y, fill = Maskchm_df[,1]))+
  xlab(NULL) +
  ylab(NULL) +
  scale_fill_gradientn(colours = heat.colors(5),name="Hoehe [m]")+
  annotation_north_arrow(location = "tl", which_north = "true",height = unit(1.0, "
cm"),
                        width = unit(1.0, "cm"),bg="White")+
  annotation_scale(location = "br")+
  theme_bw()+theme(axis.text.y = element_text(angle = 90),
                  legend.justification=c(1,1), legend.position=c(1,1),
                  legend.background = element_rect(colour = "black"))

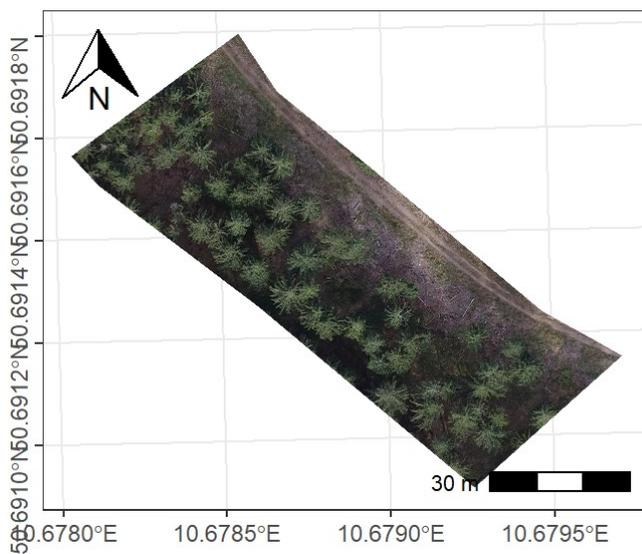
```

```
## Warning: Ignoring unknown parameters: fill
```

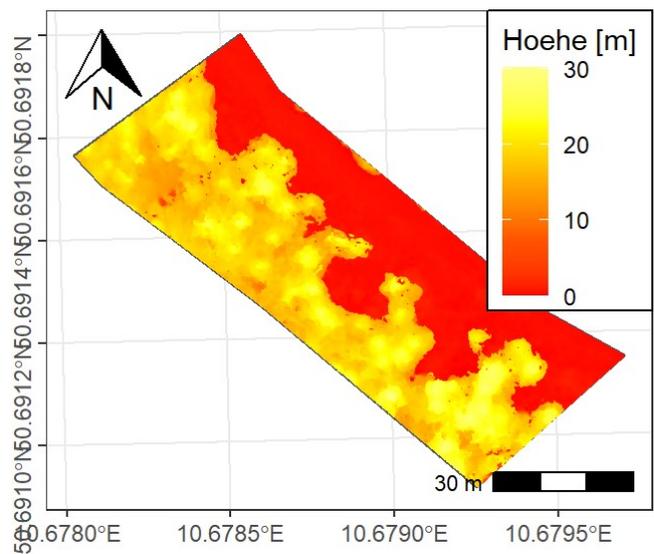
```
ggarrange(q1, q12,labels = c("A", "B"),ncol = 2, nrow = 1)
```

```
## Warning in showSRID(uprojargs, format = "PROJ", multiline = "NO", prefer_proj
## = prefer_proj): Discarded datum Unknown based on GRS80 ellipsoid in Proj4
## definition
```

**A**



**B**



# Berechnung

```
# Berechne nun die Bäume
# Finde Bäume
b <- tree_detection(sCHM_g_05,lmf(ws=x,hmin = minh,shape = "circular"))
```

```
## Warning: tree_detection is deprecated. Use find_trees instead.
```

```
# speiche Bäume als Dataframe
b1 <- as.data.frame(b)
b1[,1] <- NULL

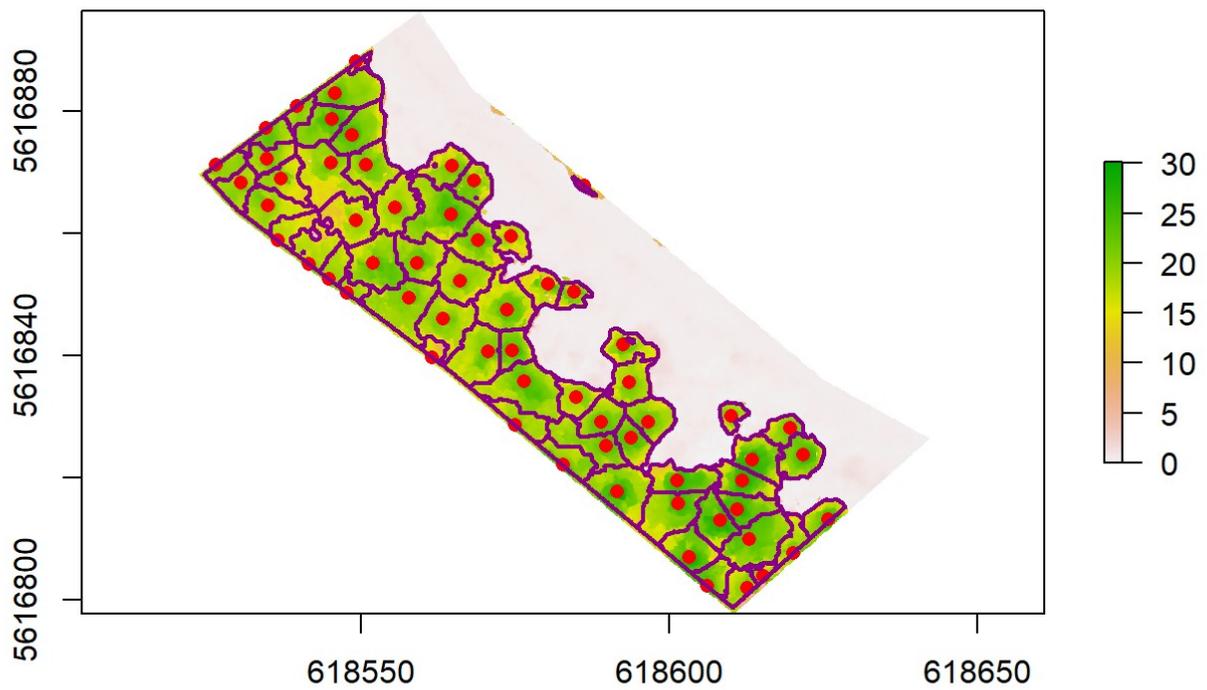
# Berechnen die Baumkronenfläche
b.crown <- mcws(b,sCHM_g_05,minHeight = minh,format = "polygons",verbose = T)
```

```
## Begun 'mcws' process at 2021-12-07, 14:11:36
##
## ..Checking inputs
## ..Masking areas below minimum crown height
## ..Seeding treetop locations
```

```
## Registered S3 method overwritten by 'imager':
##   method      from
##   plot.imlist
```

```
## ..Applying watershed segmentation algorithm
## ..Converting to segments to polygons (this could take a while)
## ..Matching polygons to treetops
## ..Computing segment areas
## ..Returning crown outlines as polygons
##
## Finished at: 2021-12-07, 14:12:39
```

```
# Speichere das Ergebnis als kleine png Datei
plot(Maskchm)
points(b,pch=16,col="red")
plot(b.crown, add = TRUE, border = "darkmagenta", lwd = 2)
```



```
# Berechne die Mittelkronenfläche im Bestand
(me_b.crown <- mean(b.crown$crownArea))
```

```
## [1] 38.6319
```

```
# Berechne die 95% Perzentile der Baumhöhenverteilung
(me_max <- quantile(b.crown$crownArea, probs=0.95))
```

```
## 95%
## 71.218
```

```

#berechne die idellen Kronenbreiten
kb1=sqrt(4*b.crown$crownArea/pi)
b.crown_BHD_K <- SpatialPolygonsDataFrame(b.crown,data.frame(b.crown,KBr=kb1))

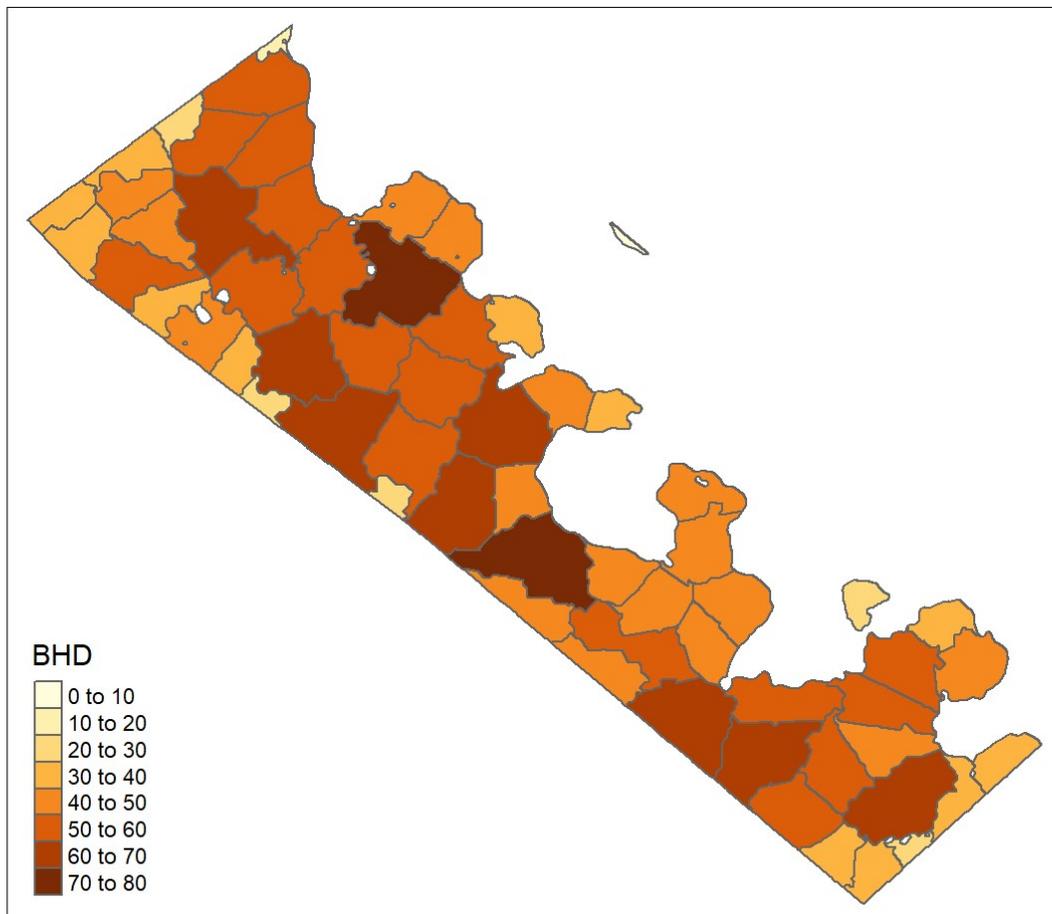
# BHD nach Sprauer 2017
BHD_kbr = (kb1 - 1.6855 + 0.0588 * extract(Maskchm,b))/0.1412

b.crown_BHD_K <- SpatialPolygonsDataFrame(b.crown,data.frame(b.crown_BHD_K,BHD=BHD_
kbr,dm=mean(BHD_kbr),
                                                    g_Kbr=(pi*(BHD_kbr*10/
2000)^2)))

b.crown_BHD_K <- b.crown_BHD_K[(b.crown_BHD_K$BHD>7),]

invisible(print(qtm(b.crown_BHD_K,"BHD")))

```



```

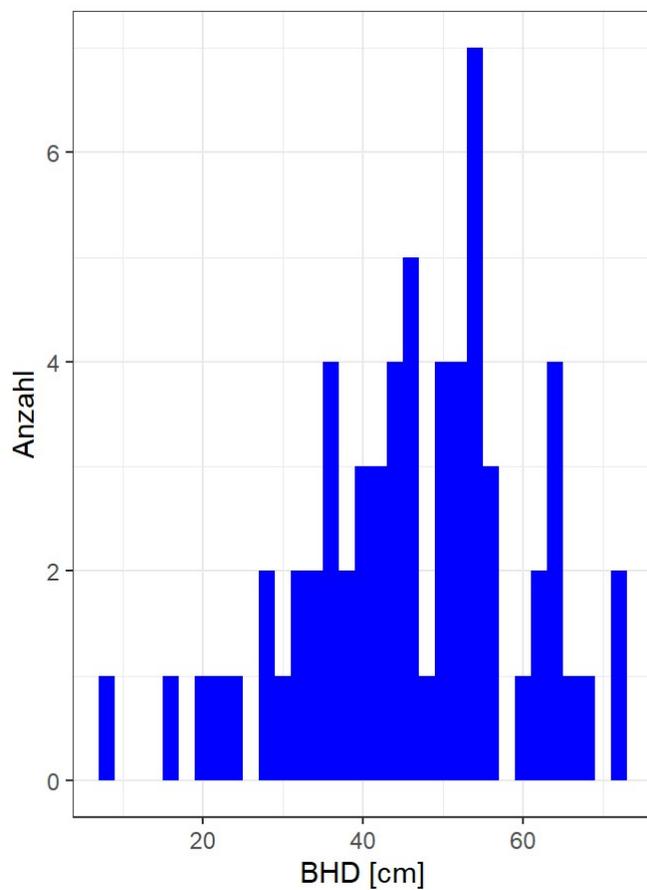
p10=ggplot()+
  geom_histogram(aes(b.crown_BHD_K$BHD),binwidth = 2,fill="blue")+
  ylab("Anzahl")+
  xlab("BHD [cm]")+
  ggtitle("BHD Verteilung")+
  theme_bw()

p11=ggplot()+
  geom_histogram(aes(extract(Maskchm,b)),binwidth = 2,fill="green")+
  ylab("Anzahl")+
  xlab("Höhe [m]")+
  ggtitle("Höhen Verteilung")+
  theme_bw()

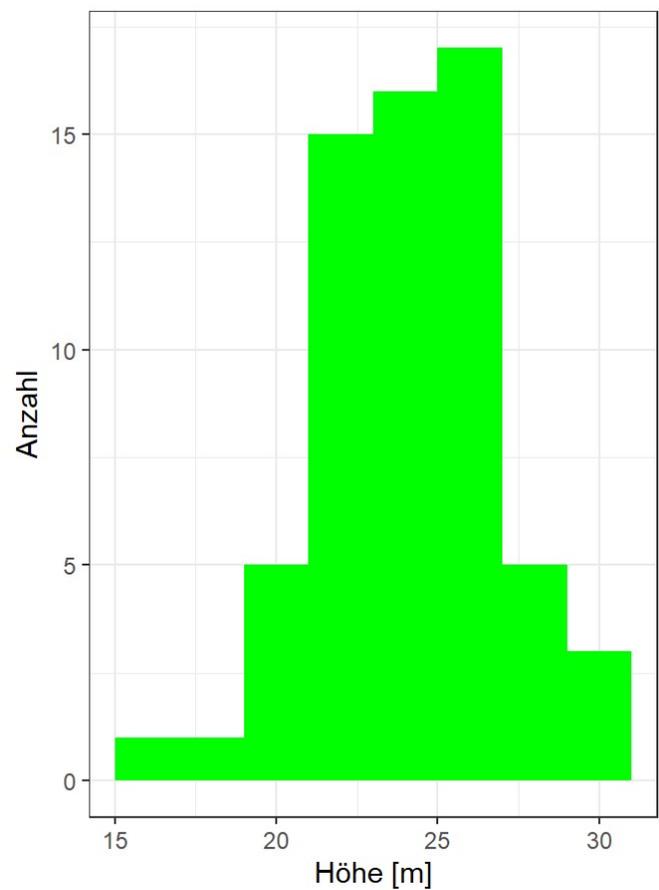
ggarrange(p10, p11,labels = c("A", "B"),ncol = 2, nrow = 1)

```

**A** BHD Verteilung



**B** Höhen Verteilung



```
##### Mittelschirmflache 2. Variante #####

# andere BHD nach Sprauer 2017

h_me <- quantile(extract(Maskchm,b),probs=seq(0.75,1,0.05))

# BHD über Kronenbreite idell

me_kr <- sqrt(4*me_b.crown/pi)

qu <- 5 # 95 % hohenquantil
BHD_me_kr_2 = ((me_kr - 1.6855 + 0.0588 * h_me[qu])/0.1412)
g_me_2 <- (pi*(BHD_me_kr_2*10/2000)^2)

##### Gesamtübersicht #####

# mittlere Durchmesser
dm <- data.frame(mean(BHD_kbr),BHD_me_kr_2)
colnames(dm) <- c("EZB","MWB")
rownames(dm)=c("Mitteldurchmesser")
knitr::kable(dm,format="markdown")
```

	<b>EZB</b>	<b>MWB</b>
<b>Mitteldurchmesser</b>	46.08462	49.68119

```
# mittlere Grundfläche
g_ <- data.frame(BHD_kbr=sum(pi*(BHD_kbr*10/2000)^2)/length(BHD_kbr),
                 g_me_2)

# Grundfläche pro ha
gha <- data.frame(BHD_kbr=sum(pi*(BHD_kbr*10/2000)^2),g_me_2*c(nrow(b.crown)))
gha <- gha/(raster::area(Mask)/10000)

colnames(gha) <- colnames(dm)
rownames(gha) <- c("Grundfläche pro ha")
knitr::kable(gha,format="markdown")
```

	<b>EZB</b>	<b>MWB</b>
<b>Grundfläche pro ha</b>	25.95241	27.77966

```
# Grundflächenmittelstamm
dg <- data.frame(BHD_kbr=(200*sqrt(g_$BHD_kbr/pi)),200*sqrt(g_me_2/pi))

colnames(g_) <- colnames(dm)
colnames(dg) <- colnames(dm)
rownames(dg) <- c("Grundflächenmittelstamm")
knitr::kable(dg,format="markdown")
```

Grundflächenmittelstamm

48.01947

49.68119

```
### Volumen ####
art=c("FI")

hm <- mean(extract(Maskchm,b)) # arthimetrische Höhe
hq95 <- h_me[5] #95% Quantile Höhe

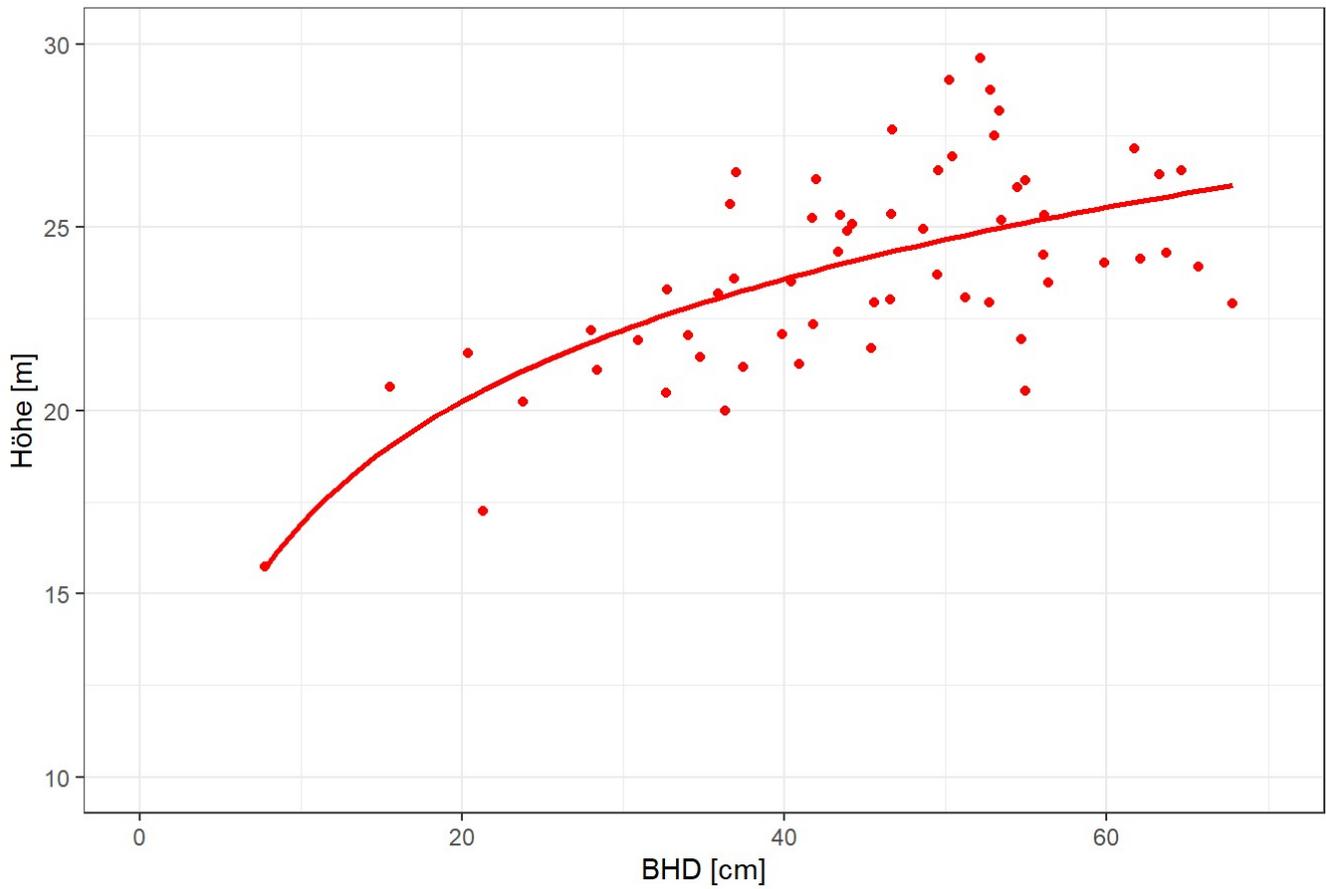
# zu visualisierung

pstart <- list(a=1, b=1)
ggplot()+
  geom_point(aes(x=b.crown_BHD_K$BHD,y=extract(Maskchm,b)),col="red")+
  geom_smooth(aes(x=b.crown_BHD_K$BHD,y=extract(Maskchm,b)),
              method = "nls",formula = y~a+b*log(x),
              method.args = list(start=pstart),se=F,col="red")+
  xlim(0,70)+
  ylim(10,30)+
  xlab("BHD [cm]") +
  ylab("Höhe [m]") +
  labs(title="BHD / Höhen Verteilung")+
  theme_bw()
```

```
## Warning: Removed 3 rows containing non-finite values (stat_smooth).
```

```
## Warning: Removed 3 rows containing missing values (geom_point).
```

## BHD / Höhen Verteilung



```
# gesamtes Volumen
V <- data.frame(EZB=sum(volumenfunktion(art = art,t.d = BHD_kbr,t.h = extract(Maskc
hm,b)),na.rm = T),
                MWB=(volumenfunktion(art = art,t.d = dm$MWB,t.h = h_me[5])*nrow(b.c
rown)))
V <- V/(area(Mask)/10000)
rownames(V) <- c("Derbholzvolumen pro Hektar")
knitr::kable(V,format="markdown")
```

	<b>EZB</b>	<b>MWB</b>
Derbholzvolumen pro Hektar	260.2778	327.5933

```

## R-Skript zur Auswertung eines Handlaserescans
## Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha ThüringenForst-AöR
## zuletzt geändert am 05.09.2021

## Literatur zur Methodik

## Conto de T, Olofsson K, Görgens E, Rodriguez L, Almeida G (2017)
Performance of stem denoising and stem modelling algorithms on single tree
point clouds from terrestrial laser scanning. Computers and Electronics in
Agriculture, 143:165-176

## Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H, Xie D, Wang X, Yan G (2016) An Easy-to-Use
Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. Remote
Sensing, 8, 501

## Globales ----
rm(list = ls())
library(TreeLS) ## Version 1.0
library(sf) ## Version 0.8-1, Linking to GEOS 3.6.1, GDAL 2.2.3, PROJ 4.9.3
library(dplyr) ## Version 0.8.4
library(foreach) ## Version 1.4.7
library(ggplot2) ## Version 3.2.1

## Dateipfade für Ausgangsdaten und Berechnungsergebnisse
inkaordner <- c("K:/Daten/Aktenplan/P-Forschung/P-100-Grundl_Allg/P-110-
Forschung_Fernerkundung_Inventur/INKA_2016/") ## Projektverzeichnis
ausgangsdaten <- c("Daten/Krahnberg/hls/export") ## Datenordner der
exportierten geoslam-Dateien
ergebnisse <- c("E:/temp/") ## Ergebnisordner

## maximaler erwarteter Radius
radiusmax <- 0.25 ## [m] Voreinstellung, maximal erwarteter Radius

## Groesse eines Voxels
voxel_groesse <- 0.02 ## [m]

## Ausgangsprojektion der Startkoordinaten
epsg_start <- 4326 ## http://spatialreference.org/ref/epsg/4326/

## Ziel-Projektion: ETRS89 / UTM zone 32N
epsg_ziel <- 25832 ## http://spatialreference.org/ref/epsg/25832/

## Startkoordinaten des Scans in WGS84
koord <- data.frame("X" = 10.65593, "Y" = 50.95889) ## Startkoordinaten in
WGS84 Dezimalgrad, Transformation in ETRS89, UTM Zone 32n
koord <- st_transform(st_as_sf(koord, coords = c("X", "Y")), crs =
epsg_start, agr = "constant"), crs = epsg_ziel)

## Geländemodell auf Basis von SRTM, siehe dem_de.R, in ETRS89
dgm <- raster(paste0(inkaordner, "Methoden/Software/R-Skripte/dem_de.tif"))
dgm_hoehe <- round(extract(dgm, as_Spatial(koord)), digits = 0)
rm(dgm)

## nur Koordinaten, kein sf-Objekt mehr
koord <- st_coordinates(koord)
rm(epsg_start)

## Mindestabstand zwischen den geschätzten Baumpositionen

```

```

mindestabstand <- 1.0 ## [m]

## Funktion zur Winkelberechnung aus Kartesischen Koordinaten, entgegen dem
Uhrzeigersinn!
winkelberechnung <- function(df) {

  names(df) <- toupper(names(df))
  xj <- df$X[j]
  yj <- df$Y[j]

  ## Quadrant I + II
  if(yj > 0){winkel <- atan2(yj, xj)}

  ## Quadrant III + IV
  if(yj < 0){winkel <- atan2(yj, xj) + 2 * pi} ## negativer Winkel -
Vollkreis

  ## Spezialfall I
  if(xj == 0 & yj > 0){winkel <- pi/2} ## 90° bzw. 1/2*pi()

  ## Spezialfall II
  if(xj == 0 & yj < 0){winkel <- (3/2) * pi} ## 270° bzw. 3/2*pi()

  ## Spezialfall III
  if(xj > 0 & yj == 0){winkel <- 0}

  ## Spezialfall IV
  if(xj < 0 & yj == 0){winkel <- pi}

  ## Ergebnis ausgeben
  return(winkel)

}

## Funktion zur Rotation der temporären Koordinaten im Uhrzeigersinn
## https://geocompr.robinlovelace.net/geometric-operations.html#affine-
transformations
rotation <- function(a){
  r <- a * pi / 180 #degrees to radians
  matrix(c(cos(r), sin(r), -sin(r), cos(r)), nrow = 2, ncol = 2)
}

## Ausgangsdaten ----

## Scandaten im Datenverzeichnis

(dateien_liste <- list.files(paste0(inkaordner, ausgangsdaten), full.names
= TRUE, pattern = ".laz"))

scan_id <- 6 ## Nummer der Datei aus der Dateienliste, die ausgewertet
werden soll

## Identifikation des Scans, kann später ggf. ganz anders aussehen
scan <- unlist(strsplit(basename(dateien_liste[scan_id]), ".", fixed =
TRUE))[1]

## Daten einlesen ----

```

```

sdf0 <- readTLS(dateien_liste[scan_id], select = "xyz") ## filter = "-
drop_z_above 10"

## Identifikation der Nicht-Bodenpunkte und Normalisierung ----

sdf <- tlsNormalize(sdf0, res = 1.0, keepGround = FALSE) ## Klassifikation
intern mit csf(), Kachel mit 1,0 x 1,0 m

## Hier könnte ggf. noch die Höhe also der X-Wert bspw. auf 5 m
eingeschränkt werden.

## Standpunkte der Bäume erkennen ----

## Basis: eine ausgedünnte Punktwolke
## Je kleiner spacing gewählt wird, desto mehr Punkte sind in der
ausgedünnten Punktwolke vorhanden und desto höher die Punktdichte.
sdf <- tlsSample(sdf, method = voxelize(spacing = voxel_groesse)) ## 2 x 2
x 2 [cm]
## HINWEIS: kleinere Voxel bedingen sehr viel längere Rechendauer bzw.
brauchen mehr Rechenpower

# Schätzung der Stammkoordinaten auf Basis einer normalisierten,
ausgedünnten Punktwolke
sdf_map <- treeMap(sdf, method = map.hough(hmin = 0.5, ## Minimum-
Höhenschwelle
                                hmax = 2.5, ## Maximum-
Höhenschwelle
                                hstep = 0.5, ## Höhenintervall,
je geringer, umso weniger Stämme werden erkannt
                                pixel_size = voxel_groesse, ##
Pixelseitenlänge [m], um diesen Betrag wird der Radius bei der
Transformation erhöht
                                max_radius = radiusmax, ##
maximal erwarteter Radius
                                min_density = 0.10, ## Minimum-
Punktdichte bei der die Hough-Transformation durchgeführt wird
                                min_votes = 3) ## Minimum
Anzahl der Kreisintersektionen

## Identifikation von Stamm- und Nicht-Stammpunkten ----

bstammpunkte <- stemPoints(sdf, map = sdf_map, method =
stem.hough(pixel_size = voxel_groesse, ## Pixelseitenlänge [m]
                                max_radius
= radiusmax, ## maximal erwarteter Radius
                                hbase =
c(0.5, 2.5), ## Höhenintervall in der die Klassifikation durchgeführt
werden soll
                                min_density
= 0.10)) ## Minimum-Punktdichte bei der die Hough-Transformation durchgeführt
wird
# head(bstammpunkte@data)

# Schätzung der Stammmetriken ----

bstammmetrik <- stemSegmentation(bstammpunkte, method =
sgmt.ransac.circle(tol = voxel_groesse,

```

```

Toleranz zwischen Radiussschätzung und Stammpunktidentifikation
= 20, ## Anzahl ausgewählter Punkte bei jeder Iteration
= 0.99, ## Konfidenzintervall der Schätzung
= 0.8)) ## Anteil innenliegender Punkte
# treeid <- unique(bstammmetrik$TreeID)[1]
# tlsPlot(bstammpunkte, sgmt = bstammmetrik, map = sdf_map, treeID =
treeid)
# plot(bstammmetrik[bstammmetrik$TreeID==treeid,]$AvgHeight,
bstammmetrik[bstammmetrik$TreeID==treeid,]$Radius, xlab = "Höhe [m]", ylab
= "Radius [cm]")

## Stammzahl und Stammfusskoordinaten auslesen ----
bpos <- treePositions(sdf_map, plot = FALSE)
# treePositions(sdf_map, plot = TRUE)

## Brusthöhendurchmesser schätzen ----

## Einzelbaumweise über einfache Mittelwertbildung der Segmente zwischen 1
und 2 m
bpos$bhd_cm <- 0

for(i in unique(bpos$TreeID)) {

  ## k <- 35
  ## Mittelwertbildung
  b <- bstammmetrik %>% filter(TreeID == i) %>% filter(AvgHeight > 1 &
AvgHeight < 2)

  if(nrow(b)==0) next ## falls kein BHD ermittelt werden kann
  bpos[bpos$TreeID == i,]$bhd_cm <- round(mean(b$Radius)*200, digits = 1)

}
rm(i, b)

## Koordinatenberechnung ----
## Polarkoordinaten (Winkel, Abstand) berechnen

## Distanzberechnung, Satz des Pythagoras
bpos$dist <- sqrt(bpos$X^2 + bpos$Y^2)

## Winkelberechnung, entgegen dem Uhrzeigersinn!
bpos$winkel_rad <- foreach(j = 1:nrow(bpos), .combine = "c") %do%
winkelberechnung(df = bpos)

## Berechnung der temporären Koordinaten
bpos$x <- koord[1] + bpos$dist * cos(bpos$winkel_rad)
bpos$y <- koord[2] + bpos$dist * sin(bpos$winkel_rad)

# plot(bpos$x, bpos$y, pch = 16, col = "blue")

## Überprüfung der Baumabstände ----

## auf Basis temporärer Koordinaten, aber die Relation ändert sich ja nicht

```

```

## es gibt Punkte die sehr nah beieinander liegen, Berechnung der Distanz
und dann filtern nach mindestabstand
entfernung <- st_distance(st_geometry(st_as_sf(bpos, coords = c(x = "x", y
= "y")), crs = epsg_ziel)), which = "Euclidean")
## Matrix mit den Entfernungen jedes einzelnen Punktes zu allen anderen
Punkten
# class(entfernung)

units(mindestabstand) <- units::as_units("m")
output <- vector(mode = "list", length = ncol(entfernung))

for(i in 1:ncol(entfernung)){
  ## i <- 172
  k <- which(entfernung[,i] < mindestabstand)
  k <- k[!k %in% i] ## Nulldiagonale in der Entfernungsmatrix, Entfernung
zu sich selbst = 0 m

  output[[i]] <- k
  print(i)
}
rm(i, k)

## Neuberechnung bei Bäumen mit einem Abstand unter dem Mindestabstand
bpos_temp <- bpos ## Datensatz zum speichern der gemittelten Durchmesser
und der nicht veränderten Werte

for(i in 1:nrow(bpos)){
  # i <- 36
  ii <- output[[i]]
  if(length(ii) == 0) next
  # plot(bpos[c(i, ii),]$X, bpos[c(i, ii),]$Y)
  # entfernung[i, c(i, ii)]

  ## Prüfen ob die ID noch in bpos_temp vorhanden ist
  if(nrow(bpos_temp[bpos_temp$TreeID == bpos[i,$TreeID,]) == 0) next

  ## Mittelwert der BHDs wird auf Baum i übertragen
  bpos_temp[bpos_temp$TreeID == bpos[i,$TreeID,$bhd_cm <-
round(mean(bpos[c(i, ii),]$bhd_cm, digits = 1))

  ## alle Bäume der Mittelwertbildung außer i aus bpos_temp löschen
  bpos_temp <- bpos_temp[!bpos_temp$TreeID %in% bpos[ii,$TreeID,]

  print(c(i, ii))
}

bpos <- bpos_temp
rm(i, ii, bpos_temp)

## nur Derbholz
bpos <- bpos[bpos$bhd_cm >= 7,]

## Einzelbaumgrundfläche
bpos$g_m2 <- round(pi*(bpos$bhd_cm/200)^2, digits = 3)
# round(sum(bpos$g_m2), digits = 1)

## Rotation der temporären, geschätzten Baumpositionen ----

```

```

## Wenn der Scan Richtung Norden gestartet wurde, dann befindet sich Norden
bei Y = 0 und auf der X-Achse.
## D.h. die Punkte müssen um 270° im Uhrzeigersinn gedreht werden, damit
Norden bei X = 0 und auf der Y-Achse liegt.
koord_geom <- st_geometry(st_as_sf(as.data.frame(koord), coords = c("X",
"Y"), crs = epsg_ziel, agr = "identity"))
bpos_geom <- st_geometry(st_as_sf(bpos, coords = c("x", "y"), crs =
epsg_ziel, agr = "identity"))

# plot(bpos_geom)
# plot(koord_geom, pch = 16, col = "blue", add = TRUE)

x <- (bpos_geom - koord_geom) * rotation(270) + koord_geom ## Drehung der
Koordinaten um 270° im Uhrzeigersinn, Voraussetzung Scanrichtung bei
Beginn der Messung Norden!
st_crs(x) <- epsg_ziel
# mapview::mapview(x)

bpos <- st_set_geometry(bpos, x) ## alte Geometrie/Koordinaten durch
gedrehte ersetzen

# mapview::mapview(bpos)
# ggplot(bpos) + geom_sf(aes(col = bhd_cm))

## Größe der Scan-Fläche ermitteln ----

huelle <- st_convex_hull(st_multipoint(x = matrix(st_coordinates(bpos),
ncol = 2)))

# plot(huelle)
# plot(bpos, col = "green", pch = 16, add = TRUE)

scanflaeche <- round(st_area(huelle)/10000, digits = 4) ## [ha]

## Hangneigung extrahieren ----

grund <- lasground(sdf0, csf())
grund <- lasfilter(grund, Classification == 2L) ## nur Bodenpunkte
dtm <- grid_terrain(grund, res = 1, algorithm = knnidw(k = 10, p = 2))
# plot_dtm3d(dtm)

poiOut <- as.data.frame(rasterToPoints(dtm)) ## Zentroide werden ausgewählt
## Distanzen zwischen den Zentroiden
poiOut$dist <- sqrt(poiOut$x^2 + poiOut$y^2)
# boxplot(poiOut$dist)
poiOut$winkel_rad <- foreach(j = 1:nrow(poiOut), .combine = "c") %do%
winkelberechnung(df = poiOut)

## Berechnung der Koordinaten der Zentroide ausgehend vom Startpunkt
poiOut$x <- koord[1] + poiOut$dist * cos(poiOut$winkel_rad)
poiOut$y <- koord[2] + poiOut$dist * sin(poiOut$winkel_rad)

poiOut_geom <- st_geometry(st_as_sf(poiOut, coords = c("x", "y"), crs =
epsg_ziel, agr = "identity"))
x <- (poiOut_geom - koord_geom) * rotation(270) + koord_geom ## Drehung der
Koordinaten der Zentroide um 270° im Uhrzeigersinn, Voraussetzung
Scanrichtung N!
st_crs(x) <- epsg_ziel

```

```

poiOut <- st_set_geometry(poiOut, x) ## alte Geometrie/Koordinaten durch
gedrehte ersetzen
# ggplot(poiOut) + geom_sf(aes(col = Z))
poiOut <- as_Spatial(poiOut) ## umwandeln in SpatialPointsDataFrame

## die neuen Koordinaten auf ein Raster übertragen
rast <- raster(ext = extent(poiOut), resolution = 1)
rasOut2 <- rasterize(poiOut, rast, poiOut$Z)
values(rasOut2) <- values(rasOut2) + dgm_hoehe
# projection(rasOut2) <- st_crs(poiOut)$proj4string
crs(rasOut2) <- paste0("+init=epsg:", epsg_ziel)
# mapview::mapview(rasOut2)
st_as_sf(koord_geom)

## Geländemodell abspeichern
writeRaster(rasOut2, filename = file.path(ergebnisse, paste0("dtm_", scan,
".tif")), format = "GTiff", overwrite = TRUE, options=c("COMPRESS=NONE",
"TFW=YES"))

## Hillshade abspeichern
slope <- terrain(rasOut2, opt='slope')
aspect <- terrain(rasOut2, opt='aspect')
hill <- hillShade(slope, aspect, 45, 315)
# plot(hill, col=grey(0:100/100))
writeRaster(hill, filename = file.path(ergebnisse, paste0("hillshade_",
scan, ".tif")), format = "GTiff", overwrite = TRUE,
options=c("COMPRESS=NONE", "TFW=YES"))

# mean(getValues(terrain(rasOut2, opt = "slope", unit = "degrees")), na.rm
= TRUE)
mean_slope_rad <- mean(getValues(terrain(rasOut2, opt = "slope", unit =
"radians")), na.rm = TRUE)

## Scanfläche mit der Hangneigung korrigieren
scanflaeche <- scanflaeche * (1/cos(mean_slope_rad))

## Stand-Tabelle ----
stand <- data.frame("#scan_id" = scan_id,
  "scan" = scan,
  "area_ha" = round(scanflaeche, digits = 4),
  "neig_grad" = round(mean_slope_rad * 180/pi),
  "n" = nrow(bpos),
  "nha" = round(nrow(bpos)/scanflaeche),
  "g" = round(sum(bpos$g_m2), digits = 1),
  "gha" = round(sum(bpos$g_m2)/scanflaeche, digits = 1),
  "dg" = round(sqrt(sum(bpos$bhd_cm^2)/length(bpos$bhd_cm)), digits = 1),
## alternativ: sqrt((stand$gha/stand$nha)/pi)*200
  "d_med" = round(median(bpos$bhd_cm), digits = 1),
  "epsg_code" = epsg_ziel)

write.csv2(stand, file = paste0(ergebnisse, "st_", scan, ".csv"), row.names
= FALSE, fileEncoding = "UTF-8")

## Baumpositionen ----
st_write(bpos[,c("TreeID", "bhd_cm")], dsn = paste0(ergebnisse, "tr_",
scan, ".shp"), delete_layer = TRUE)
tree <- bpos[,c("TreeID", "bhd_cm")]

```

```
# mapview::mapview(tree)

## Tree-Tabelle ----
bpos$x <- round(st_coordinates(bpos)[,1], digits = 3)
bpos$y <- round(st_coordinates(bpos)[,2], digits = 3)
st_geometry(bpos) <- NULL
bpos$scan <- scan
tree <- bpos[,c("scan", "TreeID", "x", "y", "bhd_cm")] ##
bpos[,c("scan_id", "TreeID", "x", "y", "bhd_cm")]

write.csv2(tree, file = paste0(ergebnisse, "tr_", scan, ".csv"), row.names
= FALSE, fileEncoding = "UTF-8")
```

## Antrag auf Durchführung einer Drohnen-/UAV-Befliegung

### Forstamt:

Adresse:

Telefon:

fachlicher Ansprechpartner:

### Revier (Ansprechpartner beim Zugang zu Flächen, Problemen vor Ort):

Revierleiter:

Telefon (mobil):

E-Mail:

### Grund der Befliegung: .....

es handelt sich um eine hoheitliche Aufgabe nach ThürWaldG (Genehmigung des Flächeneigentümers nicht notwendig)

### Produkt-Nr. für die Buchung: .....

**Gewünschter Termin:** \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ (Vorlaufzeit mind. 2 Wochen beachten!)

### Der Wald im Befliegungsgebiet befindet sich in ...

- Eigentum ThüringenForst AÖR  
 privatem Besitz\*       Körperschaftswald\*

\*) bei Hoheitlichen Aufgaben keine Genehmigung notwendig, sonst Eigentümergenehmigung durch Forstamt einholen)

- eine Überfluggenehmigung des Eigentümers liegt vor (siehe Anlage)  
 wird nachgereicht

### Der Startplatz / Landeplatz befindet sich in ...

- Eigentum ThüringenForst AÖR  
 privatem Besitz\*       Kommunalbesitz\*

\* Eigentümer-Genehmigung durch Forstamt einholen

- eine Nutzungsgenehmigung des Eigentümers liegt vor (siehe Anlage)  
 wird nachgereicht

### Flugerlaubnis

Sind Gebiete betroffen, in denen die allgemeine Flugerlaubnis nicht gilt (siehe markierte Gebiete in der Drohnenbefliegungskarte)

- Nein  
 Ja; Welche Art(en) von Gebiet(en) ist/sind betroffen?

Liegen im Gebiet oder in einer Entfernung von weniger als 1,5 Kilometer

- Flughäfen/Flugzonen/Einflugschneisen von Flughäfen/Flugsperzonen

Liegen im Gebiet oder in einer Entfernung von weniger als 100 Meter

- Bundesfernstraßen und Bahnanlagen
- militärische Anlagen
- Industrieanlagen sowie Anlagen der Energieerzeugung und –verteilung,
- Justizvollzugsanstalten und Einrichtungen des Maßregelvollzugs
- Liegenschaften von Polizei und anderen Sicherheitsbehörden
- Krankenhäuser
- Bewohnte Gebiete (Siedlungen)
- Hohe Objekte (Funk- und Sendemasten, Windräder usw.)

Wenn ja, welche: \_\_\_\_\_

- andere: \_\_\_\_\_

Liegen im Gebiet oder in einer Entfernung von weniger als 100 Meter Naturschutzgebiete

- ja (Genehmigung der Naturschutzbehörde durch das Forstamt einholen)  
liegt eine Genehmigung der unteren Naturschutzbehörde vor?
  - ja (Anlage)
  - wird nachgereicht

Anlagen:

- Flug-Planungskarte (aus ForstamtsGIS)
  - Start & Landezone auf Karte markiert?
  - Befliegungsgebiet auf Karte markiert?
  - Anfahrtsweg auf Karte eingezeichnet?
- Erforderliche Genehmigungen

Datum, Unterschrift Forstamt