

Arnsberger Waldforum 2024 „Digitalisierung in der Forstwirtschaft“

Ansätze zur digitalen Walderschließung

Dr. Ina Ehrhardt
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Waldwege Walderschließung

Waldwege

- machen den Wald zugänglich
- durch **Groberschließung** und **Feinerschließung**

für

- den Forstbetrieb,
- betriebliche Dienstleister,
- Dritte.



Digitale Waldwege

Groberschließung



Historie

Digitale Kartenwerke

Historie

Kartenwerke wurden digital durch ...

- Abfotografieren / Scannen
- Umwandeln / Digital Nachzeichnen / Korrigieren
- Zuordnen von Eigenschaften und Merkmalen (Attribute)
- Verbessern / Verfeinern
- Standardisieren
- Pflegen / Verbessern / Aktualisieren / Ergänzen
- ...



Digitale Waldwege

Ein erster Meilenstein

Ziel: Verbesserung der Logistik durch Navigation im Wald

Basis:

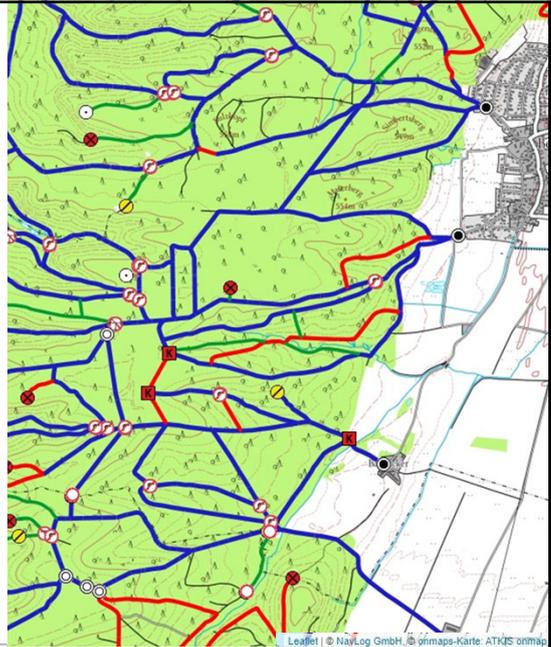
- GeoDat-Standard: Bundesweit einheitlicher Standard zur Erfassung

Umsetzung:

- „NavLog-Initiative“
- Datenerhebung in Zusammenarbeit von Forst & Holz
- Navlog GmbH

Heute:

- ...



Digitale Waldwege

NavLog-Datensatz: Grundlage für Anwendungen zum Routing und zur Navigation im Wald



Heute

Digitale Waldwege

Grundlage für künftige Anwendungen zur Wegeinstandhaltung



Seite 7

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

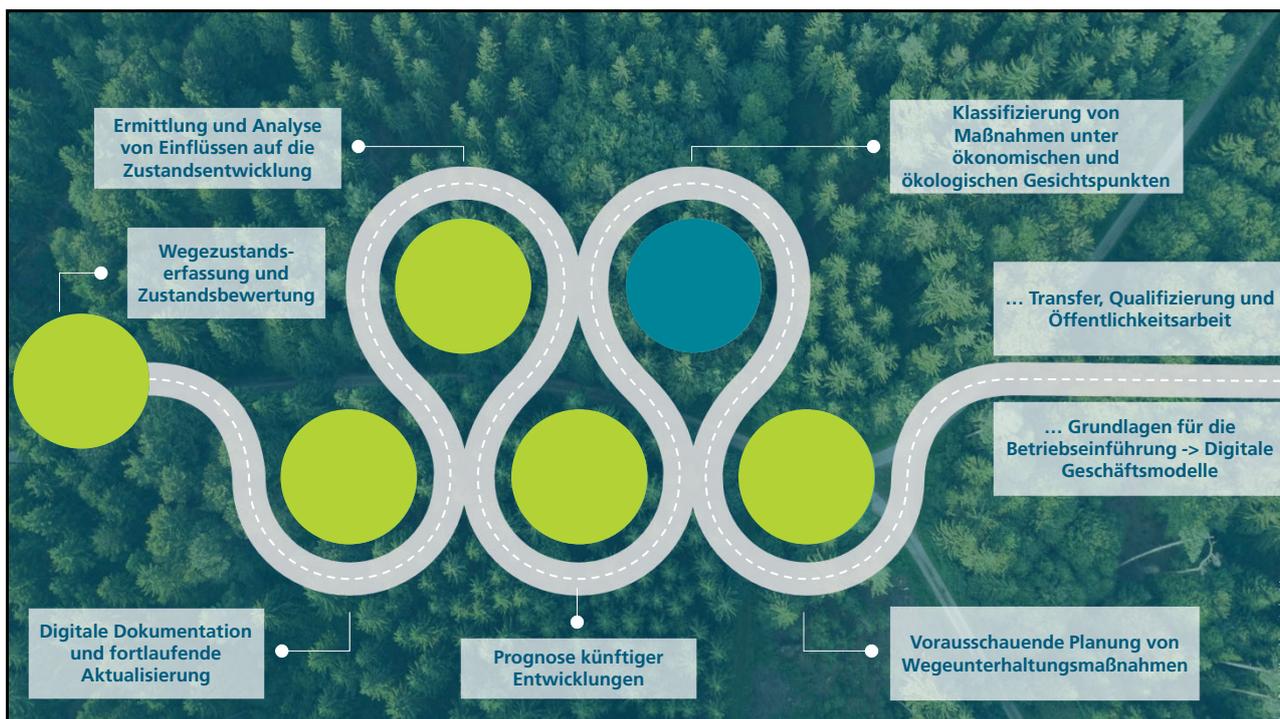


Motivation:
Wegeunterhaltung und -instandsetzung
stellen nach den Holzerntekosten oft den
zweitgrößten Kostenblock eines
Forstbetriebes dar.

Seite 8

03.12.2024

© Fraunhofer IFF



Waldwege-Zustandserfassung

Condition Monitoring

Effektive Erfassung des Zustands von forstlichen Abfuhrwegen mit sensorbasierten, technischen Lösungen

- flächenhafte, möglichst automatisierte und damit kostengünstige Erfassung des Wegezustands

Effektive Analyse und Bewertung des Zustands von forstlichen Abfuhrwegen (Schadklassenermittlung)

- Datenauswertung mit **Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) und des maschinellen Lernens (ML)**.



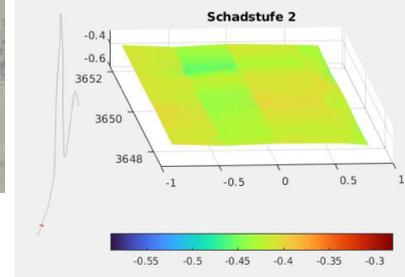
Waldwege-Zustandserfassung

Condition Monitoring – Sensorbasierte Datenerhebung



Visualisierung der erhobenen Lanzendaten

Sensorwerte einer Beispielbefahrung aus NRW 12 / 2023



Waldwege-Zustandserfassung

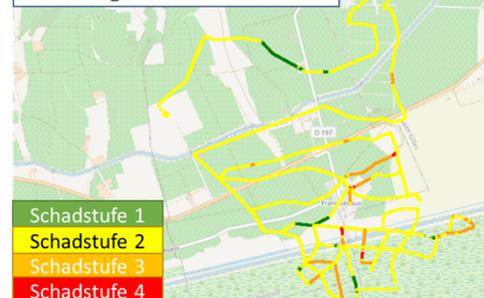
Condition Monitoring – KI-basierte Auswertung

Im Projekt:

- Erhebung von Trainingsdaten
- Aufbau der KI-Modelle
- Aufbau und Nutzung eines einheitlichen Schadklassenkatalogs
- KI-basierte Ermittlung der Schadklassen
 - **Kosten-sensitives Training** durch Einbindung von praxisorientierten Fehlergewichtungen in das Training des Klassifikators

Befahrung:

- Meßlanze NRW
- Region: Baden-Württemberg
- 30. August 2023



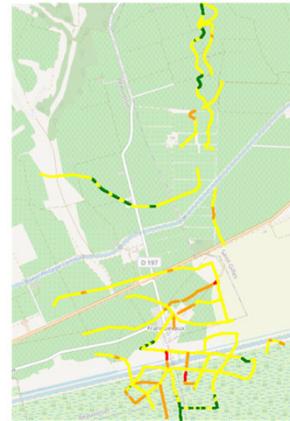
Referenzdaten: Wegezustände aus gutachterlicher Einstufung

Waldwege-Zustandserfassung

Condition Monitoring – KI-basierte Auswertung

Im Projekt:

- Erhebung von Trainingsdaten
- Aufbau der KI-Modelle
- Aufbau und Nutzung eines einheitlichen Schadklassenkatalogs
- KI-basierte Ermittlung der Schadklassen
 - **Kosten-sensitives Training** durch Einbindung von praxisorientierten Fehlgewichtungen in das Training des Klassifikators
 - **Zwischenergebnis:** >90 % der Wege korrekt klassifiziert, wobei die für die Kosten der Wegeinstandhaltung besonders schwerwiegenden Klassifikationsfehler erfolgreich vermieden werden.



ML klassifiziert
97% der
befahrenen
Wege korrekt

Stufe 1: 68%
korrekt
(32% als Stufe 2
klassifiziert)

Stufe 2:
99% korrekt

Stufe 3
99,9% korrekt

Stufe 4
100% korrekt

ML-klassifizierte
Wegezustände

Seite 13

03.12.2024

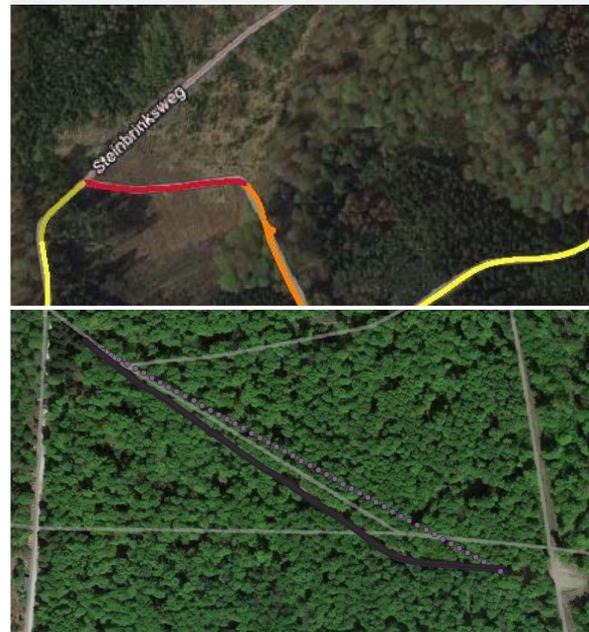
© Fraunhofer IFF

Digitale Waldwege

Dokumentation und Aktualisierung des Zustands

Dokumentation des Wegezustands in digitalem geodatenbasierten Kartenmaterial mittels GIS

- Zuordnung zu digitalen Wegen auf Basis z.B. NAVLOG-Datensatz, Forstgrundkarte, ...



Seite 14

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

Digitale Waldwege

Dokumentation und Aktualisierung des Zustands

Aktuelle Herausforderungen (LKW-Wege)

- Lageungenauigkeiten und (historisch gewachsener) Versatz zwischen unterschiedlichen Kartenwerken, teils unterschiedliche Koordinatensysteme



Digitale Waldwege

Dokumentation und Aktualisierung des Zustands

Aktuelle Herausforderungen (LKW-Wege)

- Lageungenauigkeiten und (historisch gewachsener) Versatz zwischen unterschiedlichen Kartenwerken, teils unterschiedliche Koordinatensysteme
- Vollständigkeit, Aktualität, Genauigkeit, Granularität, ... ausgerichtet auf den Zweck Navigation
- Granularität und Attribuierung unterkomplex für bestimmte Anwendungen



Digitale Waldwege

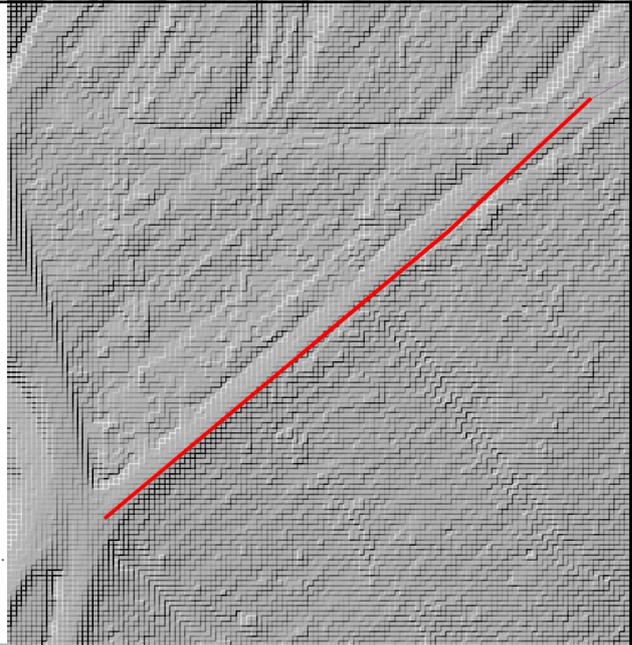
Dokumentation und Aktualisierung des Zustands

Aktuelle Herausforderungen (LKW-Wege)

- Lageungenauigkeiten und (historisch gewachsener) Versatz zwischen unterschiedlichen Kartenwerken, teils unterschiedliche Koordinatensysteme
- Vollständigkeit, Aktualität, Genauigkeit, Granularität, ... sind oft noch ausgerichtet auf den Zweck Navigation
- Granularität und Attribuierung unterkomplex für weitergehende Anwendungen

Aktuelle Chancen

- Moderne („mächtige“) Werkzeuge: Algorithmen, Sensoren, ...
- umfangreiche Daten (Geodaten und Satellitendaten, Maschinendaten)

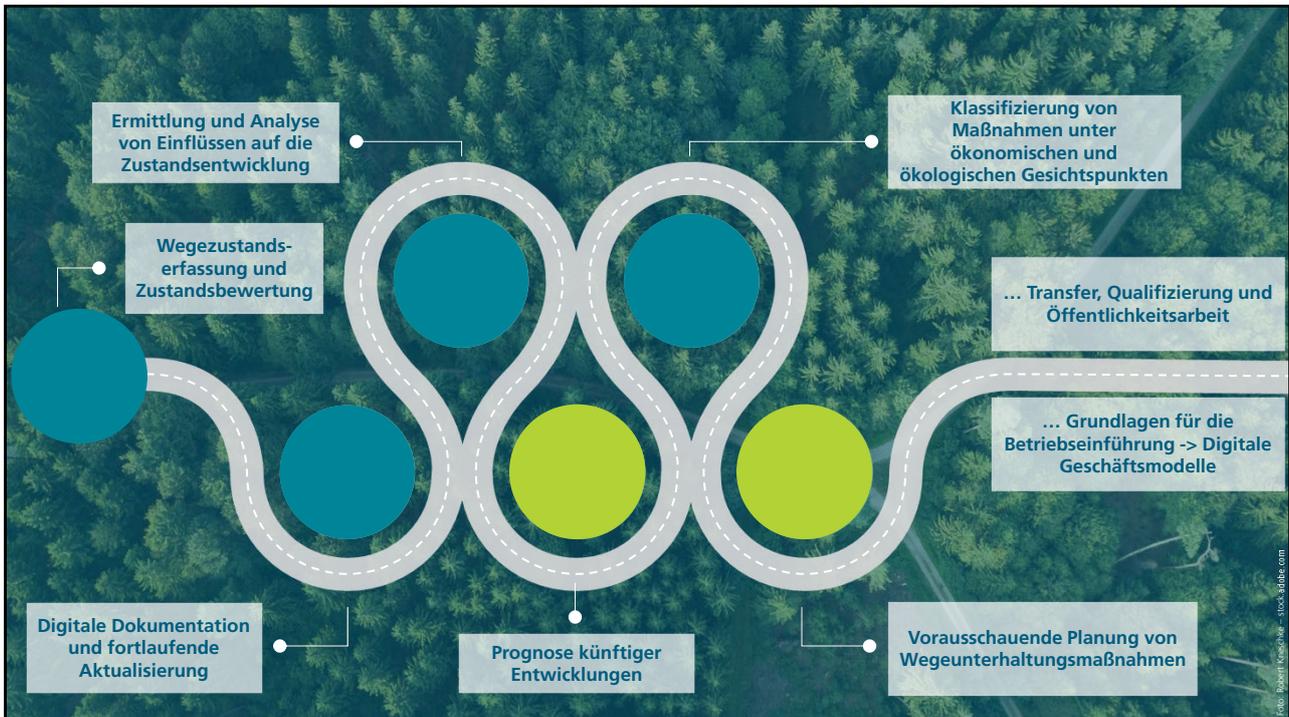


Seite 17

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

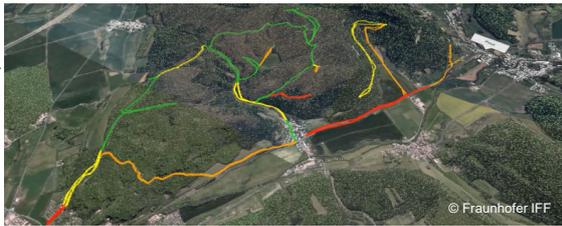
Fraunhofer
IFF



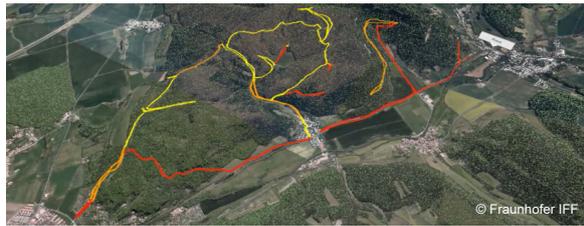
Digitale Waldwege

Anwendungen zur Prognose des künftigen Wegezustands

- Abschätzung der Zustandsentwicklung und der Entwicklung von Kosten für Instandsetzungsmaßnahmen
- Planung von Maßnahmen zur Wegeinstandsetzung und -pflege (Kostenplanung, Sicherung der Holzabfuhr, ...)
- Für strategische Entscheidungen im Wegebau (Wo muss man Wege „besser“ bauen, weil sie stärker belastet sind oder von höherer Bedeutung für den Betrieb?)



IST-Zustand



Prognose plus 1 Jahr

Digitale Waldwege

Prognose künftiger Zustandsentwicklungen

Analyse von Einflussfaktoren und historischen Daten

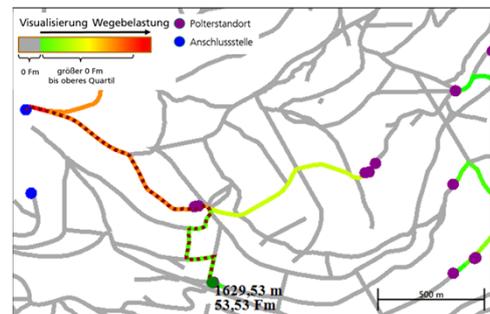
- Wegezustandsentwicklung im Kontext von Klima/Wetter, Holzernte/-Abfuhr, Funktion und Eigentumsart der Wege, Neigungen, Starkregenereignisse, ...

Aufbau von Holzabflussmodellen

- Ermittlung der Wegebelastung durch Holzabfuhr
 - a. Anhand von Polterdaten
 - b. Anhand von Vorratsdaten

Aufbau KI-basierter Regelwerke und Prognosemodelle

- KNN - Mehrschichtiges Perzeptron (MLP)
- KNN - Temporal Fusion Transformer (Zeitreihenansatz mit Möglichkeit der Aufmerksamkeitsanalyse)



Digitale Waldwege

Groberschließung: Informationen zum Wegezustand

Heute neu für LKW-Wege

- Unterteilung in 50 m – Abschnitte
- Jeder Abschnitt mit individuellen Eigenschaften und Informationen zum Zustand

Morgen:

- Automatisierung der Lagekorrekturen und Attributierungen
- Automatisierung der Zustandsermittlung
- Definition von Wegetypen mit zustandsbestimmenden Merkmalen

Übermorgen:

- Belastungsabhängiger Wegebau
- Zustandsabhängige, vorausschauende Wegeinstandhaltung
- Zustandsabhängige Navigation / Holzabfuhr



© Fraunhofer IFF

Digitale Waldwege

Feinerschließung



Feinerschließung heute



Systematische Feinerschließung des Waldes ist Grundvoraussetzung für schonende Holzernte.

**Motivationen der Digitalisierung:
Komplexe Planung und Bedeutung u.a. für Bodenschutz, Zertifizierung, Unternehmereinsatz, Kosten, ...**

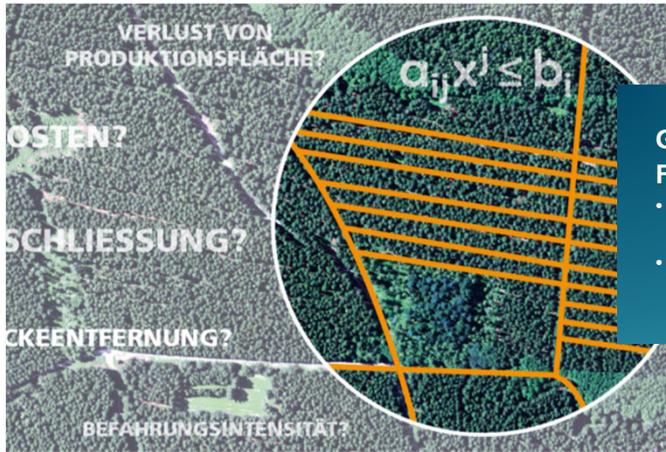
Digitale Waldwege Feinerschließung



Heute

Digitale Waldwege

Feinerschließung



Gasse 2.0

FEINERSCHLIESSUNG PLANEN & BEWERTEN

- Erzeugung von Gassennetzvarianten mit mathematischen Optimierungsalgorithmen
- Ermittlung und vergleichende Auswertung ökonomischer und ökologischer Effekte

Seite 25 03.12.2024 © Fraunhofer



Gasse 2.0 - Planung von Rückegassen

Details

alle Planungsflächen

Flächengröße: 12.50 ha
erschließbar: 11.60 ha (92)

Wegestrukturen: 2.90 ha (23)
bestehend: 0.90 ha (7.2)
geplante Gassen: 1.99 ha (15)

Sperflächen: 0.00 ha (0.0)

Anpassung des Gassenverlaufs
Planungsfläche auswählen, um den Gassenverlauf manuell zu ändern

Berechnen

Vergleichen

Bewerten

Name	techn. Erschl. grad	mittlere Rücke-entf.	Verlust an Prod.-fläche	Doppel-erschl.	Befahr.-intens.	Abw. zur opt. Gassen-richtung	Gassen-dichte	mittlere Gassen-länge	Entg. Ertrag Erschließ.	Mehr-aufwand Rücke-entf.	Mehr-aufwand Flächen-verlust	...
aktuell dargestellt	90,75 %	199,24 m	28951,66 m ²	23,00 %	0,00 %	51,55 °	842,71 m/ha	114,52 m	3,77 €	14,06 €	106,70 €	1,35 €
Ökonomisch in Summe	90,63 %	196,67 m	27838,65 m ²	22,63 %	0,00 %	45,87 °	788,24 m/ha	97,58 m	8,35 €	26,84 €	309,80 €	0,00 €
max. Erschließung	91,29 %	199,44 m	29062,11 m ²	23,36 %	0,93 %	58,15 °	842,23 m/ha	98,41 m	0,00 €	28,81 €	334,27 €	18,09 €
min. Ø-Rückeentfernung	42,71 %	137,27 m	14166,35 m ²	25,65 %	0,00 %	59,77 °	224,76 m/ha	41,33 m	607,46 €	0,00 €	36,35 €	298,82 €
min. Verlust an Prod.-fläche	36,32 %	146,45 m	12348,80 m ²	26,03 %	0,00 %	42,97 °	154,14 m/ha	35,04 m	687,37 €	8,52 €	0,00 €	350,89 €
min. Befahrungintensität	77,18 %	190,40 m	25017,68 m ²	35,72 %	0,00 %	35,89 °	681,60 m/ha	79,64 m	176,44 €	25,96 €	253,38 €	110,78 €
min. Abw. opt. Gassenrichtung	73,29 %	198,18 m	23658,82 m ²	26,20 %	0,00 %	90,00 °	624,96 m/ha	111,62 m	225,10 €	27,22 €	226,20 €	133,53 €
min. Ø-Gassenlänge	41,30 %	163,13 m	13539,79 m ²	32,75 %	0,00 %	46,31 °	197,15 m/ha	28,01 m	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Seite 26 03.12.2024 © Fraunhofer

V0.0.0 © Fraunhofer IFF



Allgemein:
**„Der überwiegende Teil unserer Wälder ist
 bereits erschlossen!“**

„... aber oft nur noch schwer erkennbar...“

Seite 28

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

Digitale Waldwege

Feinerschließung: Erweiterungen der Lösung Gasse2.0

Modul 1 - FEINERSCHLIESSUNG PLANEN & BEWERTEN

- NEU: Funktionen für den Privatwald und die Bundesforsten

NEU: Modul 2 - ERSCHLIESSUNGSSTRUKTUREN ERKENNEN & KARTIEREN

- Detektion vorhandener Strukturen im Wald auf Grundlage digitaler Basisdaten
- Bewertung vorhandener Feinerschließungen mit mathematischen Algorithmen
- Interaktive Selektion, Verifizierung und Aufbereitung digitaler Erschließungsstrukturen für die forstlicher Kartierung



Bundesforst



LANDESFORSTBETRIEB
SACHSEN-ANHALT



Landeszentrum
WALD
Sachsen-Anhalt



Landwirtschaftskammer
Niedersachsen

Projektförderung:

Die Förderung des Vorhabens „Gasse3.0“ erfolgt aus Mitteln (Innovationsfonds Forschung für Innovationen in der Agrarwirtschaft) der Landwirtschaftlichen Rentenbank

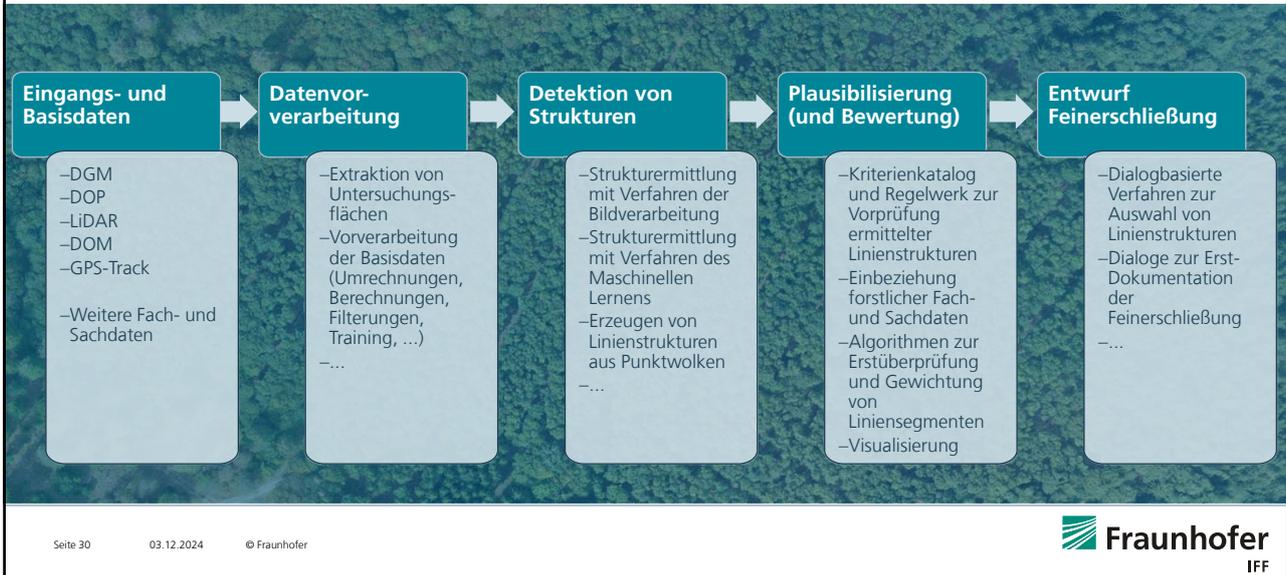


29

intern

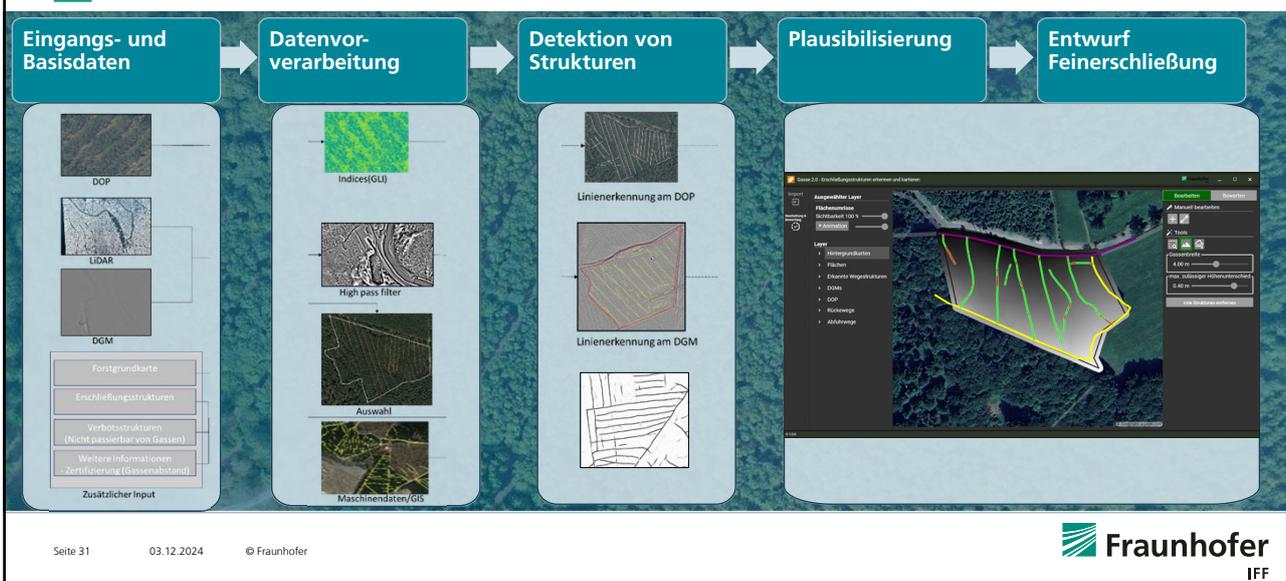
Digitale Waldwege

Erstdigitalisierung von Feinerschließungen - Schritte



Digitale Waldwege

Erstdigitalisierung von Feinerschließungen - Schritte

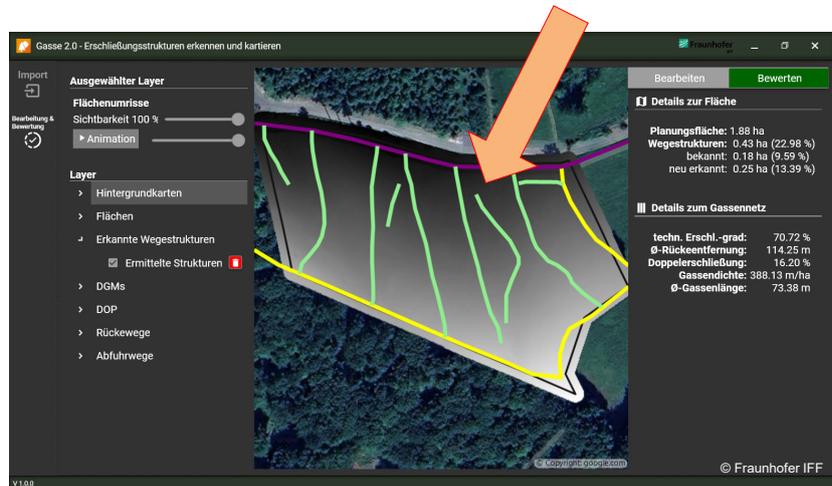


Digitale Waldwege

Feinerschließung erkennen und kartieren

Möglichkeiten und Grenzen

- Breite Datenbasis nutzen
- Algorithmen ermöglichen und unterstützen die Detektion von Strukturen

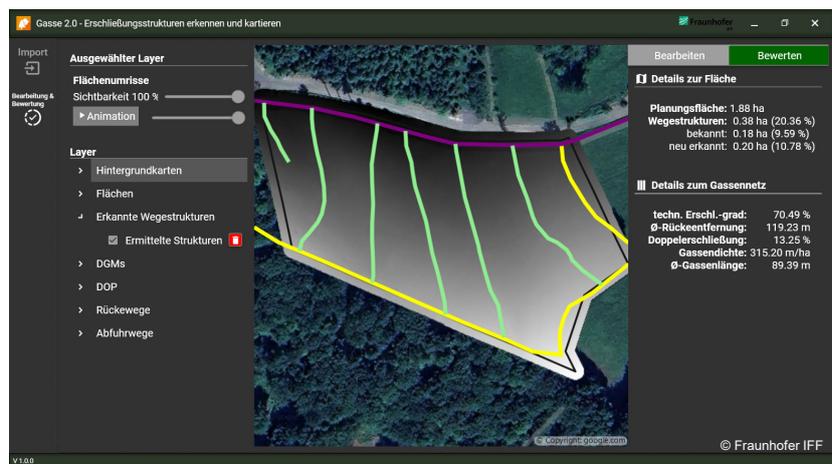


Digitale Waldwege

Feinerschließung erkennen und kartieren

Möglichkeiten und Grenzen

- Breite Datenbasis nutzen
- Algorithmen ermöglichen und unterstützen die Detektion von Strukturen
- Die (Erst-)Kartierung der Feinerschließung erfordert Interaktion
- Bewertungen unterstützen betriebliche Entscheidungen



Digitale Waldwege

Ausblick – Nutzung der digitalen Waldwegedaten



Morgen und Übermorgen

Seite 34

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

 **Fraunhofer**
IFF

Digitale Waldwege

Ausblick - Anwendungen

Digitale Prozesskette

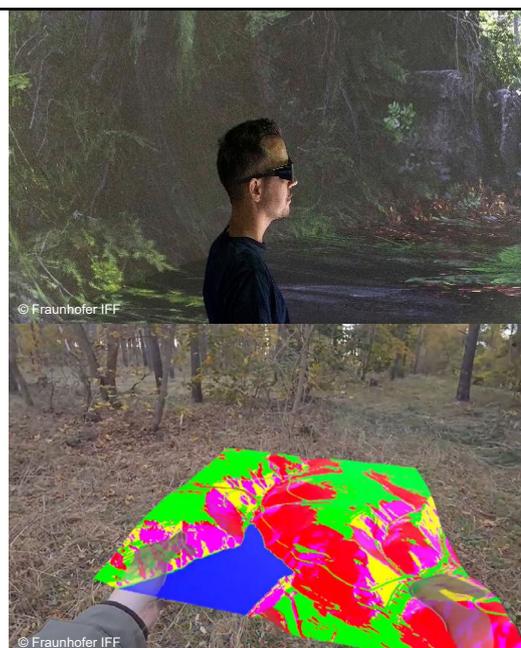
- Nutzung der Daten von der Planung bis zur Dokumentation ...
- Wegeigenschaften werden berechnet und der Wegezustand wird „nebenbei“ ermittelt

Beim Förster

- VR unterstützt die Planung und erweiterte Realität (Augmented Reality) die Umsetzung auf der Fläche

Beim Maschinenführer

- AR auf der Maschine, GPS-Steuerung und digitale Aufzeichnung der Fahrbewegung
- ...



Seite 35

03.12.2024

© Fraunhofer IFF

 **Fraunhofer**
IFF

Digitale Waldwege

Ausblick - Anwendungen

Digitale Prozesskette

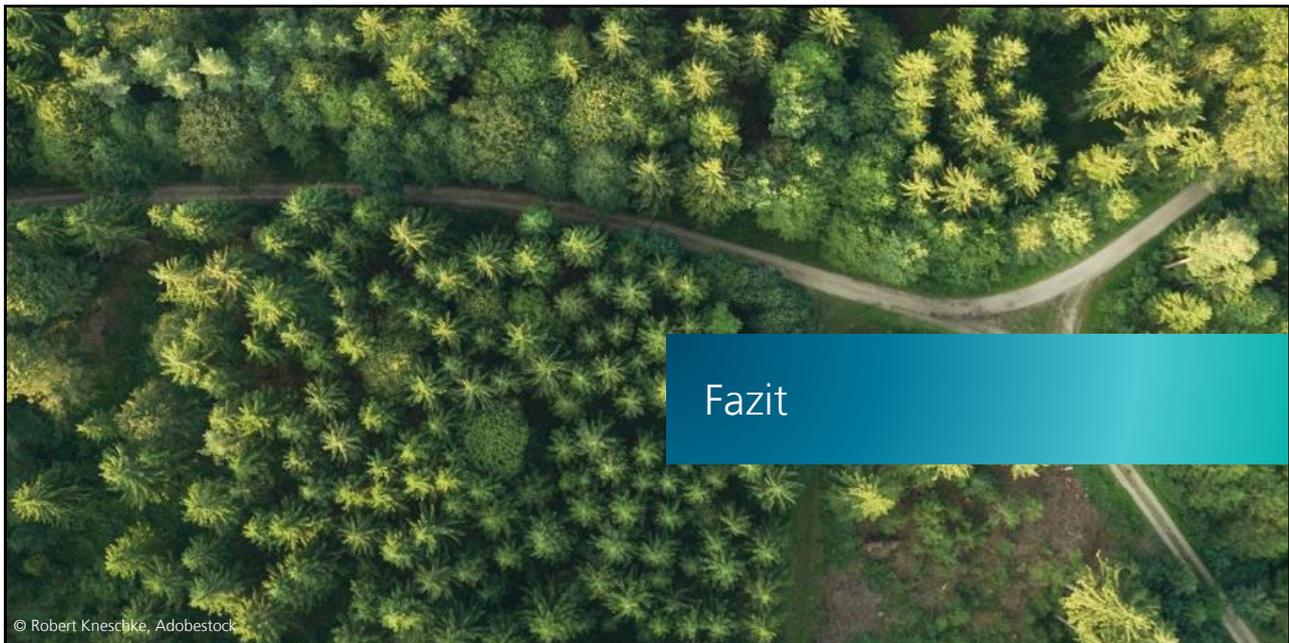
- Nutzung der Daten von der Planung bis zur Dokumentation ...
- Wegeeigenschaften werden berechnet und der Wegezustand wird „nebenbei“ ermittelt

Beim Förster

- VR unterstützt die Planung und erweiterte Realität (Augmented Reality) die Umsetzung auf der Fläche

Beim Maschinenführer

- AR auf der Maschine, GPS-Steuerung und digitale Aufzeichnung der Fahrbewegung
- ...

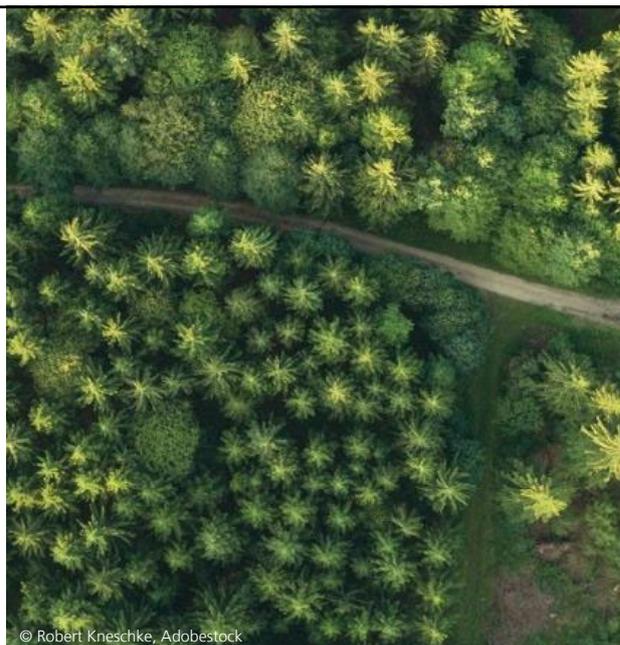


Digitale Waldwege

Fazit

Wertbringende (ökonomisch relevante) Anwendungen sind Treiber

- Technische Entwicklungen und innovative Verfahren sind (nur) der Motor
- Ansprüche wachsen schneller, als Befähigung.
- Beginnen mit dem 80% Anspruch ist wichtig.
- Neue (alte) Herausforderungen und Barrieren sind zu überwinden
(Netzabdeckung, Datenschutz, Datensicherheit, Systemsicherheit, Open Data, ...)
- Leitungsebenen haben Verantwortung für die Betriebseinführung und müssen diese Wahrnehmen!



© Robert Kneschke, Adobestock



Digitale Waldwege könnten erster digitaler Zwilling für Forst & Holz sein, der breiten Nutzen entlang der Bereitstellungskette entfaltet.

Danke für die Aufmerksamkeit!

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 1
39106 Magdeburg, Deutschland
Telefon: +49 391 4090-811
Fax: +49 391 4090-93-811
E-Mail: ina.ehrhardt@iff.fraunhofer.de

