

Abschlusspräsentation

„Erkennung stressbedingter Veränderungen des Vitalitäts- und Stoffwechsellzustandes von spezifischen Baumarten auf Basis von Hyperspektralaufnahmen“



© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Projektsteckbrief

- **Projekttitle:** „Erkennung stressbedingter Veränderungen des Vitalitäts- und Stoffwechsellzustandes von spezifischen Baumarten auf Basis von Hyperspektralaufnahmen“
- **Kurztitel:** Hyperspektrale Waldzustandsermittlung
- **Kennnr.:** A 02/2014
- **Laufzeit:** 01.09.2014 - 30.11.2015
- **Förderung:** Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt
Flugkostenübernahme durch LFB LSA und ThüringenForst
- **Partner:** ThüringenForst – Anstalt öffentlichen Rechts, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (im Unterauftrag)



SACHSEN-ANHALT

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Gliederung

- Einführung
 - Motivation
 - Zielstellung
- Vorgehen für die beiden Versuchsstränge
 - Vorbereitung
 - Durchführung
 - Auswertung
- Ergebnisse
- Handlungsempfehlungen

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Motivation und Zielstellung des Projektes

- Motivation:
 - Erfolgreiche Entwicklungen zur Anwendung der Hyperspektraltechnik zur Lösung spezifischer Fragestellungen in der Landwirtschaft
- Ziel:
 - Erforschung der Anwendungsmöglichkeiten der Hyperspektraltechnik mit nachgelagerter spezifischer Mustererkennung in ausgewählten forstlichen Anwendungsfeldern
- Forstliche Anwendungsfelder und Versuchsstränge im Projekt:
 - Erkennung stressbedingter Veränderungen durch Eichenfraßgesellschaften
 - Erkennung des Vitalitäts- und Stoffwechselzustandes von spezifischen Baumarten (Buche, Fichte)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Vorgehen (Arbeitsplan)

- Aufgabenschwerpunkt 1:
 - Methodische Grundlagen
- Aufgabenschwerpunkt 2:
 - Datenerhebung, Analyse und Auswertung der Ergebnisse
- Aufgabenschwerpunkt 3:
 - Formulierung von Handlungsempfehlungen

5

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

- **Aufgabenschwerpunkt 1 - Methodischen Grundlagen**
 - Aufarbeitung der forstlichen Grundlagen
 - z.B. gängige Methoden zur Erfassung der Zustandsinformationen von Bäumen
 - Schaffung technischer Grundlagen
 - Herstellung der Einsatzbereitschaft und Flugfähigkeit der gesamten Ausrüstung
 - Durchführung Testflug
 - Entwicklung von Kalibrationsmodellen durch Anpassung vorhandener (primär in der Landwirtschaft verwendeter) Methoden an spezifische Anforderungen der Forstwirtschaft

6

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

- **Aufgabenschwerpunkt 2 – Durchführung der Versuchstränge**
 - Planung und Durchführung der Flüge und zeitparallele Erhebung von Referenzdaten am Boden
 - Orthorektifizierung der hyperspektralen Zeilenscannerdaten und Korrekturen zur Erreichung der erforderlichen Genauigkeit der Georeferenzierung
 - Korrektur atmosphärischer Einflüsse in den Flugdaten
 - Erstellung von Bildmosaiken für die Befliegungsgebiete
 - Erstellung von hochaufgelösten Ausschnittsbildern für ausgewählte Testflächen
 - Zuordnung der erhobenen Referenzdaten in den Bildern
 - Training und Test automatischer Klassifikations- und Regressionsverfahren für Schadens- und Vitalitätserkennung aus den hyperspektralen Luftbildern
 - Clusteranalysen zur Beurteilung der Spektraldaten und als Grundlage für die Baumartenerkennung

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



7

Vorgehen

- **Aufgabenschwerpunkt 3 - Handlungsempfehlungen**
 - Identifikation der wichtigsten Anwendungsfelder für ein hyperspektrales, flugzeug- und/oder drohnengestütztes Monitoring der Waldbestände
 - Priorisierung dieser Anwendungsfelder für zukünftige Entwicklungsarbeiten
 - Aufzeigen möglicher weiterer Entwicklungspfade auf Basis der Projektergebnisse

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



8

Ausgangslage

Stand der Technik in landwirtschaftlichen Anwendungen

■ Technik - Sensoren:

- Messsysteme für einzelne bekannte Wellenlängen des Lichts
 - normale Kameras mit breitbandigen Kanälen
 - Multispektralkameras mit speziellen Wellenlängenbereichen
 - Hyperspektralsensoren für eine feinaufgelöste wellenlängenabhängige Betrachtung der Lichtreflexion

■ Technik – Trägersysteme für Sensoren:

- Feldspektrometer für den mobilen Einsatz (tragbar)
- speziell ausgerüstete Flugzeuge
- Landmaschinen (z.B. Traktoren, Erntefahrzeuge)
- Multikopter, Modellflugzeuge bzw. Drohne

für Hyperspektralkameras nur eingeschränkt nutzbar

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ausgangslage

Entwicklungsstand für landwirtschaftliche Anwendungen

- Reflexionseigenschaften von Pflanzen variieren in Abhängigkeit von u.a. Ernährungszustand, Pathogeninfektionen, Fraßschädlingen, Geschlecht
- Mit geeigneter Messtechnik kann man diese im sichtbaren und nicht sichtbaren Wellenlängenbereich des Lichts erfassen und analysieren
 - im Labor
 - unter Feldbedingungen an Einzelpflanzen
 - drohnen-, flugzeug- oder satellitengestützt für große Flächenleistungen

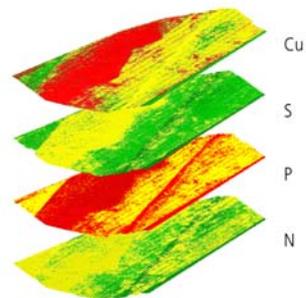


Abbildung: Fraunhofer IFF

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ausgangslage

Entwicklungsstand für landwirtschaftliche Anwendungen

Visualisierung der Hyperspektralaufnahme eines Gebietes, bei der die Reflexionswerte nach Ähnlichkeit gruppiert und eingefärbt wurden

- Grundsätzliche Unterschiede einzelner Flächen sind „direkt“ visualisierbar, jedoch ohne spezifische Aussage
- Für Detailaussagen muss ein Auswertesystem anhand von Referenzdaten „trainiert“ werden

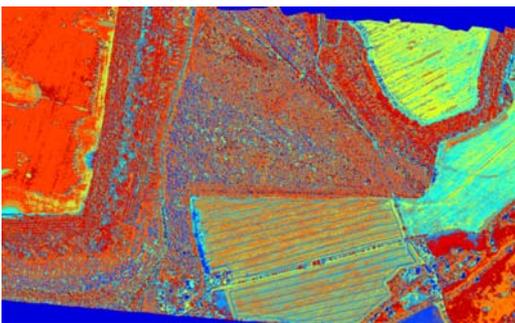


Bild: Fraunhofer IFF

11

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ausgangslage

Entwicklungsstand für landwirtschaftliche Anwendungen

- Anwendungsbeispiele der Hyperspektraltechnik in der Landwirtschaft
 - Ermittlung der Nährstoffversorgung der Pflanzen auf Flächen für gezielte Düngung
 - Ermittlung der Schädlings- und Pilzbefall für selektive Bekämpfungsmaßnahmen (Reduzierung des Mitteleinsatzes)
 - Ermittlung des Reifegrads von Früchten für selektive Erntemaßnahmen (Spargel, ...)
 - ...

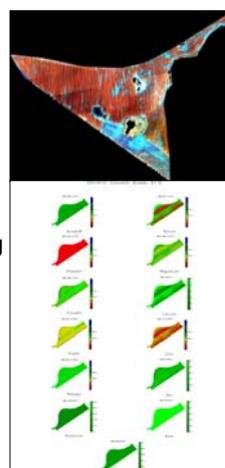


Bild: Fraunhofer IFF

12

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ausgangslage - Forstwirtschaft

Unterschiede und Gemeinsamkeiten zur Landwirtschaft

- Unterschiede (Auswahl):
 - Landwirtschaft: größere Flächen, homogene Bestände, flächenbasierte Analysen
 - Forstwirtschaft: Anwendungsfälle des Projektes erfordern Aussagen auf Objektebene (Baum), grundlegende Unterschiede bei Nadel- und Laubbaumarten (z.B. Plastizität), ...
- Gemeinsamkeit:
 - Notwendige Schritte im technischen Ansatz:
 - Orthorektifizierung
 - Georeferenzierung
 - Atmosphärenkorrektur
 - Zuordnung von Referenzdaten

13

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



THÜRINGENFORST



Fraunhofer
IFF

Vorgehen allgemein

Erhebung von Messdaten und Referenzdaten

Detailbetrachtungen - Eichenfraßgesellschaften

- Flächenauswahl
- Befliegungsplanung
- Bodenaufnahmen zur Erhebung der Referenzdaten
- Durchführung der Befliegung
- ... Auswertung ...

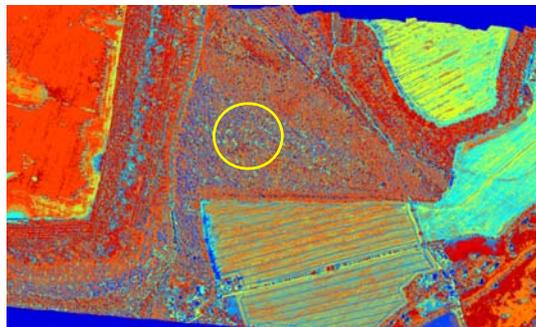


Bild: Fraunhofer IFF

14

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



THÜRINGENFORST



Fraunhofer
IFF

Vorgehen allgemein

Flächenauswahl

Kriterien (Anforderungen) für die Flächenauswahl

- repräsentativ für die Versuchsstränge
- hinreichend hohe Anzahl geeigneter Referenzbäume bzgl. der jeweiligen Aufgabenstellung (Vitalität, Schäden)
- Bestockung mit Bäumen einer bestimmten Kronenfläche/-größe (auf Grund der Bildauflösung)

Anmerkung: Entsprechende Informationen waren für die Bearbeitung des Projektes nicht verfügbar. Als Alternative wurde eine Charakteristik auf Basis der Altersklasse der Bestände (mind. 60 Jahre) und des Kronendachs (geschlossen) zugrunde gelegt. Für Referenzbäume war zusätzlich eine Sichtbarkeit der Krone im Luftbild (geeignete physiologische Stellung) gefordert.

- räumliche Nähe der Untersuchungsgebiete zueinander (kostenoptimale Befliegungsrouten)

15

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

Befliegungsplanung

Rahmenbedingungen und Restriktionen bei der Befliegungsplanung

- Zeitraum
 - Für die Erfassung von Fraßschäden an der Baumart Eiche ist ein Vergleich der vollen Belaubung mit der durch den Fraß reduzierten Belaubung nötig
 - zwei Befliegungs-/Untersuchungstermine
 - Ein Termin im Zeitraum der Waldzustandserfassung, daher: Kopplung der Befliegung mit der Erfassung der Vitalitätszustände der Baumarten Buche und Fichte (Kostengründe)
- Wetter
 - Bewölkung, Regen, Wind, ...
- Verfügbarkeit des Fluganbieters und des Flugzeugs

16

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

Festlegung von Untersuchungsgebieten

Basis der Flächenauswahl

- umfangreiche Datenanalyse (Lage und Charakteristik der Flächen, Schadensprognose bzw. Schädigungsgrad lt. Auswertung WZE 2014, Daten von Waldmessstationen in Thüringen, ...)
- zusätzlich: Erhebung von ergänzenden Daten durch FFK Gotha für drei ausgewählte Bereiche (je 100 Bäume nach WZE Methode)

Ausgewählte Befliegungsgebiete

- **Untersuchungsstrang Eichenfraßgesellschaften**
 - Bereich Ziegelroda (Privatwaldfläche)
 - Revier Lucka im Forstamt Weida (Frostspanner-Prognose „Kahlfraß“)
 - Marienroda (Privatwaldfläche)
- **Untersuchungsstrang Vitalitätsbetrachtung**
 - Im Harz die WZE-Punkte ST04724, ST04793 und ST04862
 - Zusätzlich: Waldmessstationen Possen, Kyffhäuser und Harz

17

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

Erhebung von Referenzdaten für das Auswertesystem

- Geländearbeit für die beiden Versuchsstränge (FFK Gotha):
 - Vorbereitung
 - Unterstützung der Lokalisierung bzw. Georeferenzierung der Bilddaten
 - Ermittlung von Landmarken, Auslegen von Boden-/Messmarken
 - Lokalisierung, d.h. genaue Lagebestimmung der Referenzbäume (Einmessen)

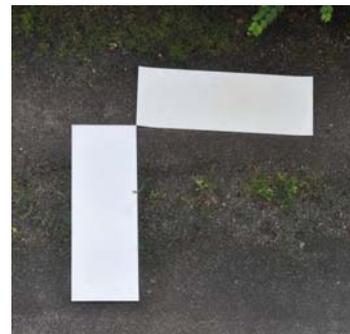


Bild: Messmarke (Foto: FFK Gotha)

19

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

Erhebung von Referenzdaten für das Auswertesystem

- Geländearbeit zur Datenerhebung für den Versuchsstrang **Eichenfraß-gesellschaften** (Durchführung FFK Gotha):
 - Temporäre Markierung der Referenzbäume
 - Erfassung des Blattverlustes je Referenzbaum und Zuordnung zu Schadensklassen
 - Erfassung des Unterstandes der Bäume, da dieser zu Verfälschungen in der Auswertung speziell bei starkem Blattverlust des Baumes führen kann

20

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Vorgehen

Erhebung von Referenzdaten für das Auswertesystem

- Geländearbeit und Datenerhebung für den Versuchsstrang **Vitalitätsbetrachtung** für Fichte und Buche (Durchführung FFK Gotha):
 - Erhebung der Daten angelehnt an WZE mit ergänzenden Informationen
 - Flächenbezogene Daten, u.a.:
Informationen zur Witterung bei der Schadansprache, den Bodenbewuchs, ...
 - Referenzbaumspezifische Daten, u.a.:
Nachbarschaftsinformationen, Nadel- bzw. Blatteigenschaften, Informationen zur Blüte bzw. Fruktifikation, Insekten- und Pilzbefall sowie zu abiotischen Schäden und Besonderheiten

21

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse Durchführung der Befliegung

- Termine der durchgeführten Befliegungen:
 - Versuchsstrang Eichenfraßgesellschaften in Sachsen-Anhalt: 4. Juni 2015
 - Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung: 3. August 2015

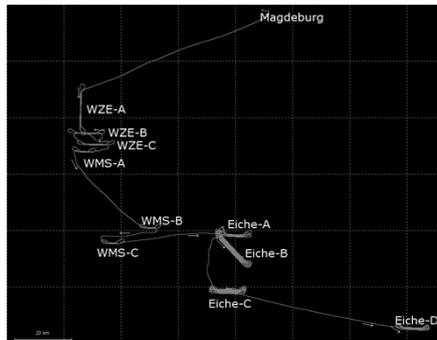


Bild: Flugverlauf für den Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung am 3. August 2015, (Quelle: Fraunhofer IFF)

22

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse Verarbeitung der Hyperspektraldaten

Bildmosaik der Flugdaten (zweiter Flug, 484 GB Datenvolumen) für das Gebiet Rastenberg/Marienrode, Visualisierung des Vegetationsindex (NDVI)

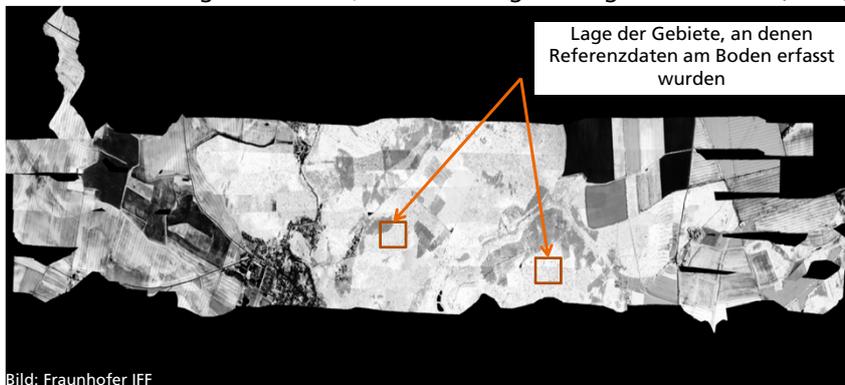


Bild: Fraunhofer IFF

23

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse Klassifikation von Schäden (Lernstichprobe)

- Bild: Lernstichprobe für Schädigung durch Eichenfraßgesellschaften

Legende

- rot: gesund/geringe Schäden
- gelb: stark geschädigt
- grün: Nadelbäume

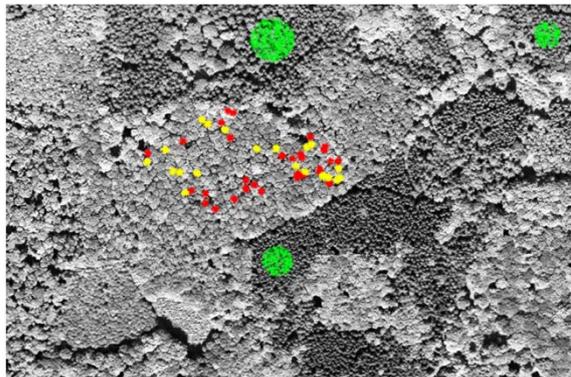
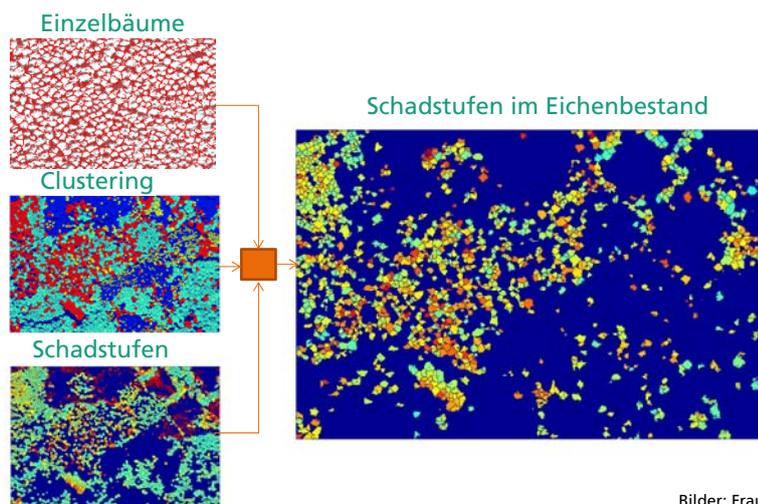


Bild: Fraunhofer IFF

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse Einzelschritte der Datenanalyse und -auswertung



Bilder: Fraunhofer IFF

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse

Visualisierung des Ergebnisses Eichenfraßgesellschaft

- Bild: Schadens-Index für jede Eiche als Flächenanteil der als schadhaft klassifizierten Bildpunkte (Fläche Eiche C)
-> korrekte Klassifikation der Schädigung lt. Stichprobe 70%

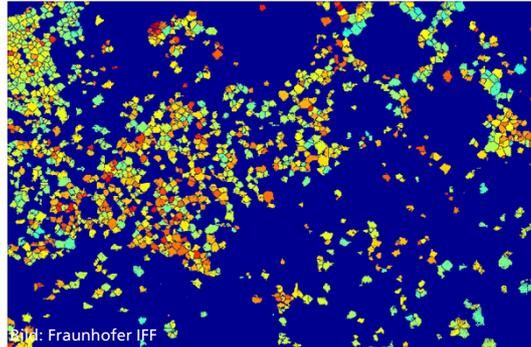


Bild: Fraunhofer IFF

26

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ergebnisse

Visualisierung des Ergebnisses Eichenfraßgesellschaft

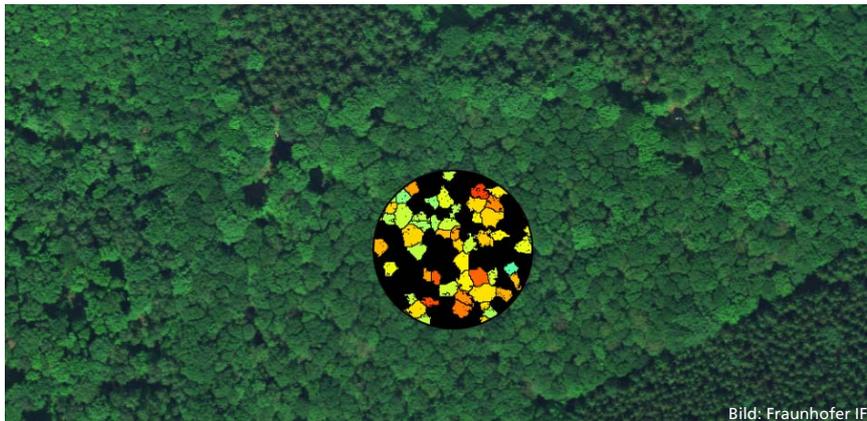


Bild: Fraunhofer IFF

27

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ergebnisse

Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung (Buche, Fichte)

- Real ermittelte Vitalitätswerte (mittlerer Blatt-/Nadelverlust)

Fläche	Hauptbaumart	Mittlerer Blatt-/Nadelverlust
ST04724	Fichte	25,6%
ST04793	Fichte	34,9%
ST04862	Fichte	27,6%
WMS-Possen	Buche	24,8%
WMS-Harz	Buche	27,1%
WMS-Kyffhäuser	Buche	26%

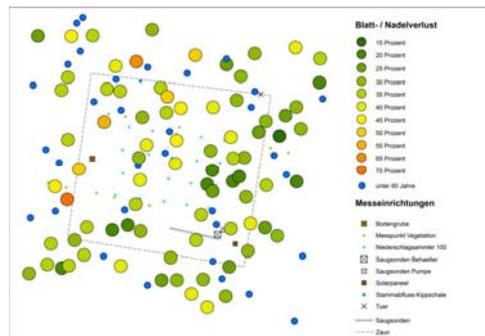


Bild: Lage der eingemessenen Bäume und Zuordnung von Schadstufen in der Waldfläche der WMS Harz (Quelle: ThüringenForst)

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer IFF

Ergebnisse

Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung (Buche, Fichte)

- Aufbereitung der Hyperspektraldaten
 - Vorgehen grundsätzlich analog zum Versuchsstrang Eichenfraßgesellschaften
 - Feinkorrektur nur anhand der Landmarken**, da eine visuelle Differenzierung der Baumarten aufgrund des homogenen Baumbestands (Alter, Baumart) im Luftbild nicht möglich war
 - automatische Analyse** (Clusterzuordnung aufgrund spektraler Ähnlichkeit) erfolgte **auf Basis des Merkmals „Blatt- bzw. Nadelverlust“ als Indikator** für verschiedene Stressfaktoren (durchgängig erfasst)



Bild: Holzindustrie Templin

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer IFF

Ergebnisse

Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung (Buche, Fichte)

- Auswertung der Hyperspektraldaten
 - Erkenntnisse
 - 80%-90% korrekte **Klassifikation des Blatt-Nadelverlustes** für die Stichprobe auf Pixelebene (durchgehend bessere Ergebnisse für Fichte)
 - deutliche Unterschiede im Spektrum der Baumarten (Fichte und Buche) und Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen
 - **auf Baumebene kann die o.g. am Boden ermittelte Vitalitätsstufe mit der hohen Klassifikationsgenauigkeit noch nicht erreicht werden**
 - Gründe
 - Varianz der **Aufnahmebedingungen** (Verbesserungen durch Korrekturmaßnahmen möglich)
 - Mögliche **Fehlzuordnungen** der Baumkronen (fehlende Kontrollpunkte am Boden)
 - **Witterungsverlauf** und die Anpassung der Bäume an den **Standort** (regionale Unterschiede im Phänotyp)

30

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse

Versuchsstrang Vitalitätsbetrachtung (Buche, Fichte)

- Abbildung:
Mittels des mathematischen Modells ermittelter Blattverlust für Untersuchungsgebiete der Vitalitätsuntersuchung
- Legende:
von grün über gelb nach orange steigender Blattverlust

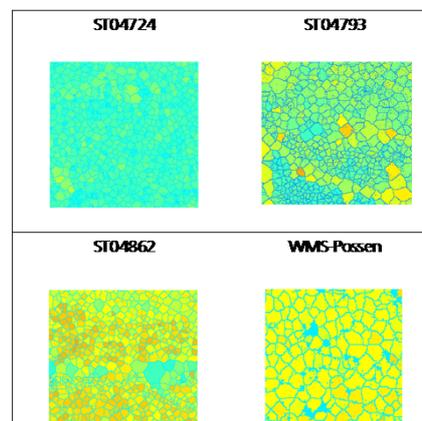


Bild: Fraunhofer IFF

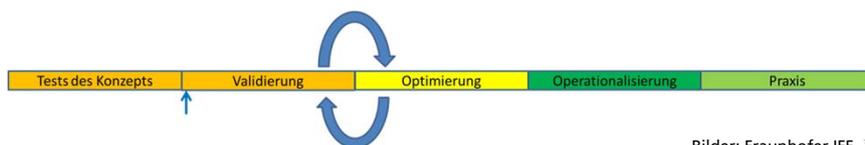
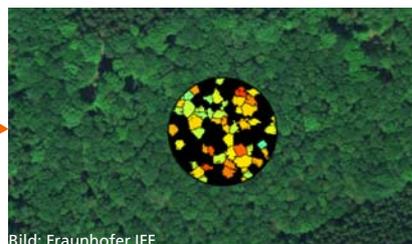
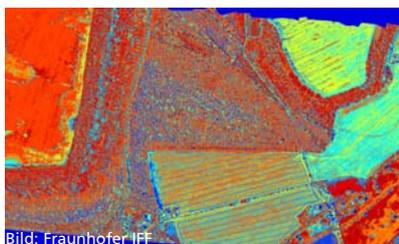
31

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Ergebnisse Zusammenfassung

■ Erreichter Stand im Überblick



Bilder: Fraunhofer IFF ³²

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ergebnisse Zusammenfassung (I)

- *Proof of Concept* wurde im Projekt *erfolgreich getestet*
Entwurf und prototypische Realisierung einer Verarbeitungskette vom hyperspektralen Luftbild zu den themenbezogenen Karten (Fraßschäden, Vitalität).
- *Kritischer Faktor sind Wetterbedingungen am Flugtag*
Korrekturverfahren zur Reduzierung des Einflusses von Bewölkung, Sonnenstand und Verschattung müssen verbessert werden.
- *Erhebung von Referenzdaten sehr aufwändig und kostenintensiv*
gewählte Betrachtung auf Einzelbaumebene sollte aufgrund baumartenspezifischer Unterschiede beibehalten werden, auch für Anwendungsfälle, primär Aussagen auf Bestandsebene relevant sind.

33

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016

THÜRINGENFORST

Fraunhofer
IFF

Ergebnisse

Zusammenfassung (II)

- *Georeferenzierung ist eine mögliche Fehlerquelle*
Genauigkeit der Verfahren zum „in-Deckung-bringen“ von hyperspektralem Luftbild und am Boden eingemessenen Baumpositionen (Georeferenzierung) muss verbessert werden (im Projekt waren zeitintensive manuelle Korrekturschritte nötig)
- *Die Methode für die Erkennung der Fraßschäden an Eichen zeigt erfolgversprechende Ergebnisse*
Weitere Arbeiten sollten sich zunächst auf die Baumart Eiche konzentrieren, da sowohl aus technischer als auch aus forstlicher Sicht **mittelfristig in die Praxis umsetzbare Ergebnisse zu erwarten** sind.
Vorteil: Identifikation und Prävention in Bezug auf Eichenfraßgesellschaften erfordern **primär bestandsbezogene Aussagen** (wie viele Eichen stehen auf einer zu betrachtenden Fläche und wie viele von diesen weisen einen bestimmten Schädigungsgrad auf)

34

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Handlungsempfehlungen

Weiterentwicklung und Priorisierung

- *Empfehlung für Schwerpunkte und Schritte weiterer Arbeiten*
 1. Technische Verbesserungen und Qualifizierung für den Anwendungsfall Eichenfraßgesellschaften
 2. Validierung der Ergebnisse im Hinblick auf zeitliche und örtliche Variation des Stoffwechszustandes der Bäume
 3. Arbeiten zur Prüfung der Methoden und Verfahren bezogen auf andere Schadfälle, Baumarten und Szenarien
 4. Weiterentwicklung der Anwendung der Verfahren im Bereich Waldzustandsermittlung

35

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Handlungsempfehlungen

Technische Verbesserungen und Qualifizierung für den Anwendungsfall Eichenfraßgesellschaften

■ Ziel und mögliches Ergebnis weiterführender Arbeiten

- Flächendeckende Kartierungen von Eichenbeständen als Grundlage für das Monitoring von Veränderungen in den Beständen

■ Grundlage und Basis weiterführender Arbeiten

- Bestände mit einem hohen Anteil Eiche
- Beibehaltung der Betrachtung auf Einzelbaumebene

■ Inhalte weiterführender Arbeiten

- Verbesserung der technischen Genauigkeit der Datenauswertung und Validierung durch flächenhafte Anwendung
 - Robustere Gestaltung des Verfahrens zur eindeutigen Unterscheidung der Baumart Eiche unter verschiedensten Bedingungen von anderen Baumarten (hier: Hauptbaumarten lt. Forstgrundkarte)
 - Darauf aufbauende Optimierung des Verfahren hinsichtlich einer sicheren Separierung weiterer Baumarten

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



36

Handlungsempfehlungen

Technische Verbesserungen und Qualifizierung für den Anwendungsfall Eichenfraßgesellschaften

■ Mögliches Vorgehen weiterführender Arbeiten

- Verbesserung der Georeferenzierung durch Einsatz höher aufgelöster digitaler Oberflächenmodelle
- Erhöhung der Robustheit der Korrekturverfahren bspw. für Atmosphäreneinflüsse und Wolkenschatten
- Stabilisierung der Algorithmen zur Baumartenerkennung und zur Baumkronensegmentierung anhand **vorliegender Daten** und durch **Erhebung ergänzender Daten** (größerer Fläche, mehrere Wiederholungen über mehrere Jahre)
 - a) anhand **vorliegender Daten und ergänzender Datenerhebung ohne Befliegungen** (systematische Untersuchungen unter kontrollierten Bedingungen, z.B. Messungen mit Spektrometern)
 - b) **Ergänzender Datenerhebung durch Befliegungen** beim (akuten) Auftreten von Schäden auf einer Fläche

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



37

Handlungsempfehlungen

Übertragbarkeit der Methoden und Verfahren auf andere Schadfälle

■ Borkenkäfer:

- Aus forstlicher Sicht bietet dieser Anwendungsfall das höchste Potential
 - derzeit aber zu komplex für kurz- und mittelfristige Priorisierung
 - Grund:
 - Notwendigkeit einer Erzeugung entsprechender Bildmaterialien im 14-tägigen Zyklus (entsprechend der Entwicklung des Schädlings)

■ Fazit:

Aufgrund der großen ökonomischen und ökologischen Relevanz für den Forstbereich sollte aber die **Entwicklung hyperspektraler Verfahren im Sinne der Vorlauforschung vorangetrieben** werden.

38

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Handlungsempfehlungen

Übertragbarkeit der Methoden und Verfahren auf andere Schadfälle

■ Trockenstress von Bäumen:

- „Großflächige Überwachung und Kartierung von Trockenstress“ ist ein **erfolgsversprechender Ansatz und Grundlage weiterer Anwendungen**, da alle Baumarten betroffen sind
 - Fragestellung: wie lange können sich spezifische Baumarten unter sich verändernden Bedingungen des Klimawandels an verschiedenen Standorten halten

■ Fazit:

In diesem Anwendungsfall besteht **Potenzial für Prognosemodelle mit schnellem Effekt im forstlichen Bereich**.

Weiterentwicklung sollten sich im ersten Schritt auf Baumarten, die für einen Schädlingsbefall auf Grund von Trockenheit besonders anfällig sind, konzentrieren.

39

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2016



Handlungsempfehlungen

Übertragbarkeit der Methoden und Verfahren auf andere Schadfälle

- Anwendung im Bereich Waldzustandsermittlung (WZE):
 - Test und **Weiterentwicklung** der Verfahren für **individuelle Fragestellungen**
 - z.B. spezifische Schadbilder, Vitalität spezifischer Baumarten
 - Erforderlich: **Erfassung von weiteren Referenzdaten**
 - Beibehalten der Anlehnung an WZE-Methodik
 - Ergänzende Befliegungen zum Zeitpunkt der WZE
- **Fazit:**

Anwendung mit **mittel- und langfristiger Entwicklungsperspektive**

Kurzfristiger Effekt: Untersetzung von Aussagen des Waldzustandsberichts (Verteilung von Schäden, Zustandsveränderungen, ...) auf Basis der Daten aus Befliegungen

40