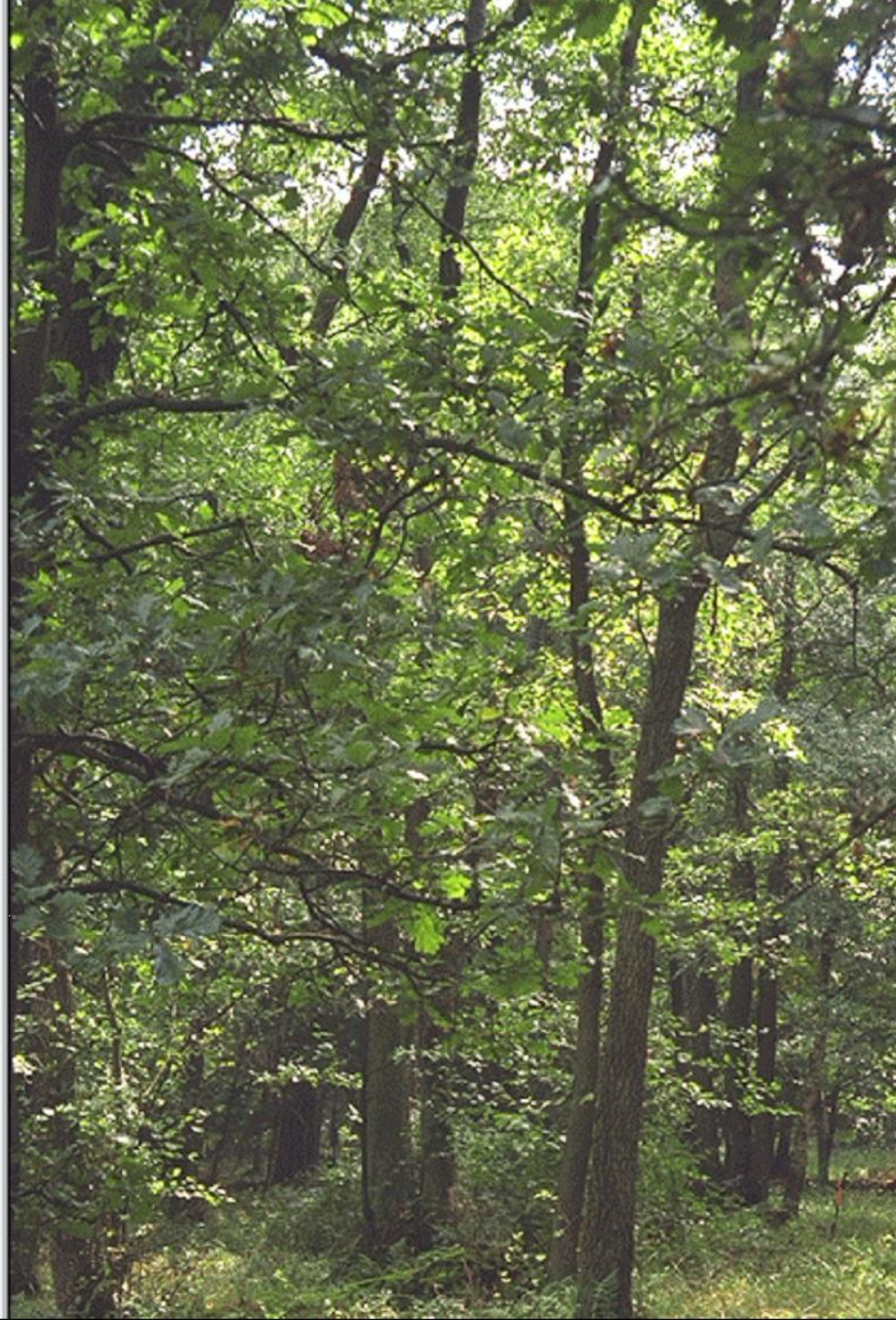




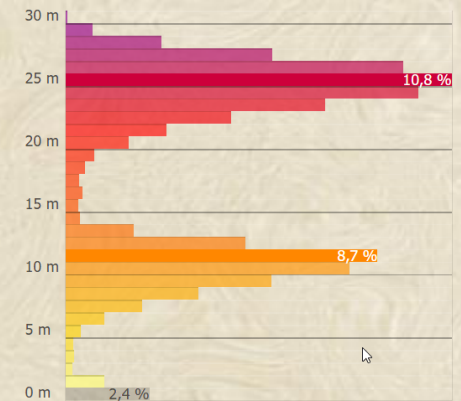
Das nDOM als Hilfsmittel

bei

- ✓ *Geländeaufnahmen*,
- ✓ *Datenprüfungen* und
- ✓ *Modellierungen*

in der Forsteinrichtung

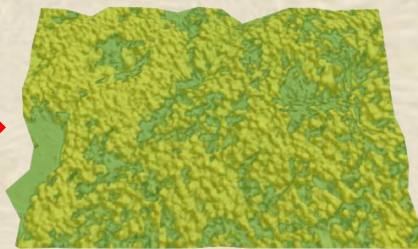
Bestandeshöhenverteilung



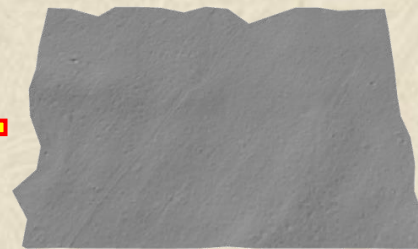
DOP



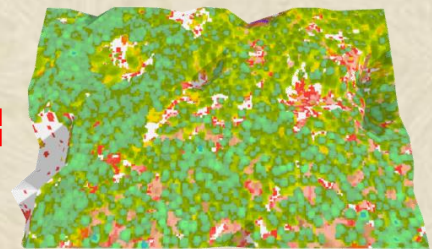
bDOM



DGM



nDOM



Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

Forsteinrichtung (FE)

- Lehre von der Untersuchung, Herstellung und Sicherung der Nachhaltsbedingungen des Forstbetriebes
- Lehre von der periodischen Zustandserfassung, mittel- und langfristigen **Planung** und der periodischen Leistungsprüfung im Forstbetrieb

(RICHTER 1952)

- **Inventur** des aktuellen Waldzustandes
- Mittel- bis langfristiger **Entwurf** [...] der Waldentwicklung
- **Analyse** der Waldentwicklung

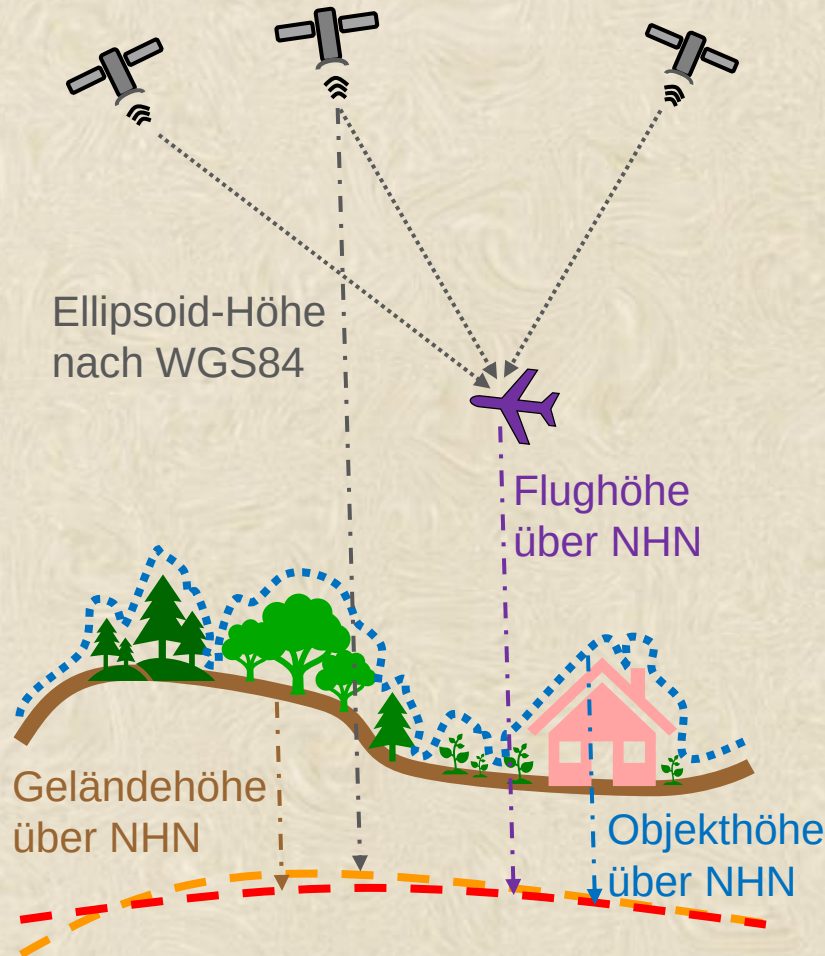
(von GADOW 2005)

- **Nachhaltige Regelung des Waldes**

(KURTH 1969)

Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

Höhenangaben und Höhenbezüge



Navigationssatelliten (GNSS)
in Erdumlaufbahn

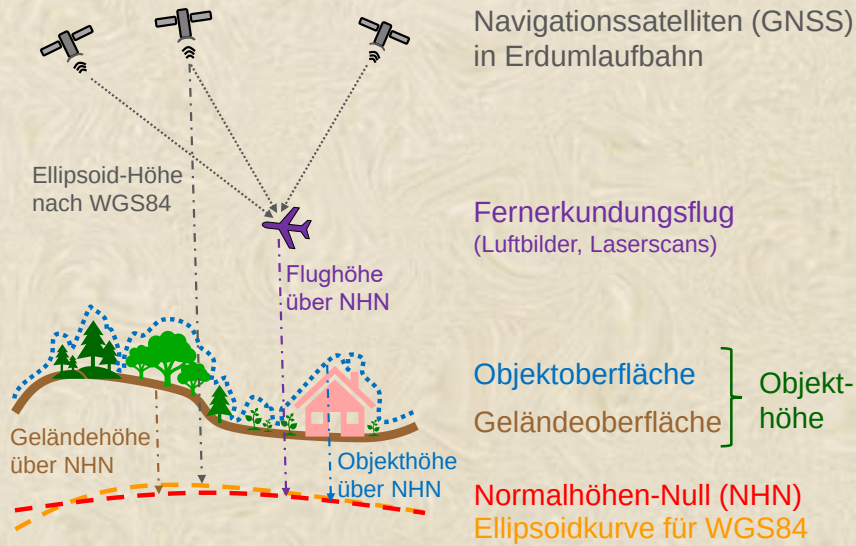
Fernerkundungsflug
(Luftbilder, Laserscans)

Objektoberfläche
Geländeoberfläche
} Objekt-
höhe??

Normalhöhen-Null (NHN)
Ellipsoidkurve für WGS84

Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

Referenzierte Höhen → Höhenmodelle



Höhenmodelle (Auswahl):

Geländehöhe über NHN

→ **D**igitales **G**elände**M**odell

Objekthöhe über NHN

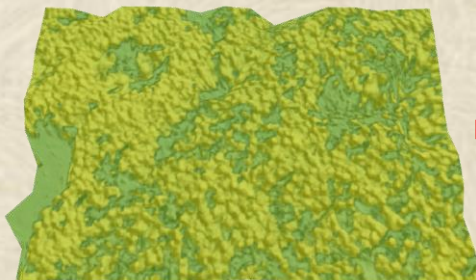
→ **D**igitales **O**berflächen**M**odell

Objekthöhe

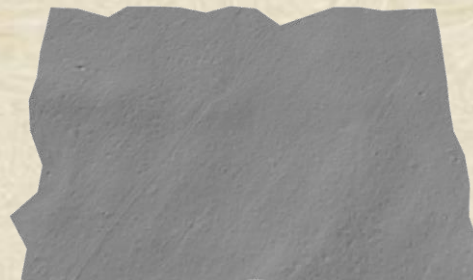
→ **n**ormalisiertes

Digitales **O**berflächen**M**odell

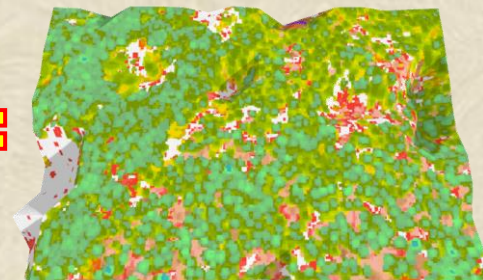
(b)DOM



DGM



nDOM



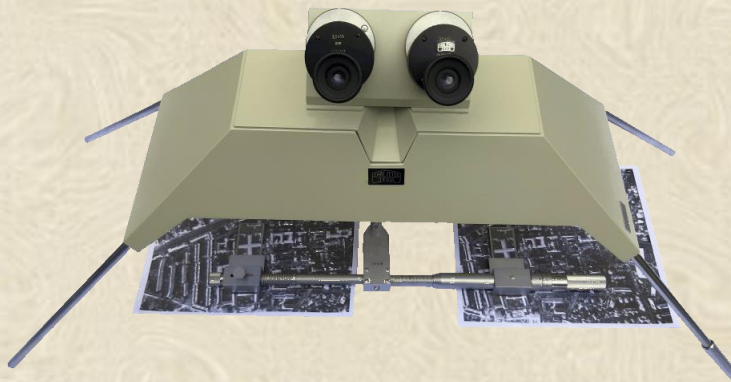
Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

Höhenmodell „nDOM“

Ein **normalisiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM)** bildet als Differenzmodell aus einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) und einem digitalen Geländemodell (DGM) die Höhe von Objekten der Landschaft ab, z. B. von **Bäumen im Wald**.

Die Höheninformation der Bildpunkte ergibt sich beim zugehörigen DOM aus aktiven Messungen (z. B. *LiDAR: Light Detection and Ranging*) oder bei sogenannten bildbasierten DOM (bDOM) durch Auswertung von passiv empfangenen Informationen (z. B. *DOP: Digitale Orthophotos*).

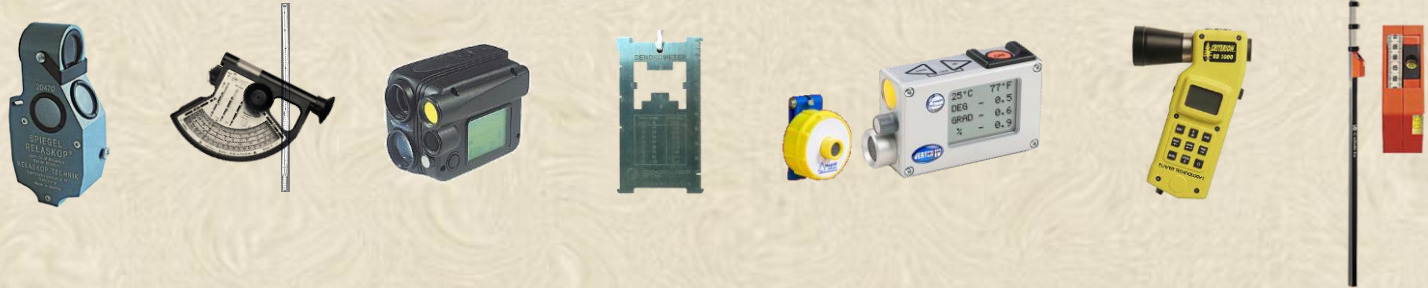
Bildpunktauswertung für bDOM nach dem Prinzip „Stereoskop“:



Durch Überlagerung von 2 Objektbildern (z. B. Luftbildaufnahmen), die aus leicht versetztem Winkel aufgenommen wurden, verschiebt sich die Beobachtungsposition (Parallaxe). Aus der veränderten Lage von jeweils identischen Bildpunkten in beiden Aufnahmen sind 3-dimensionale Abstände ableitbar.

Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

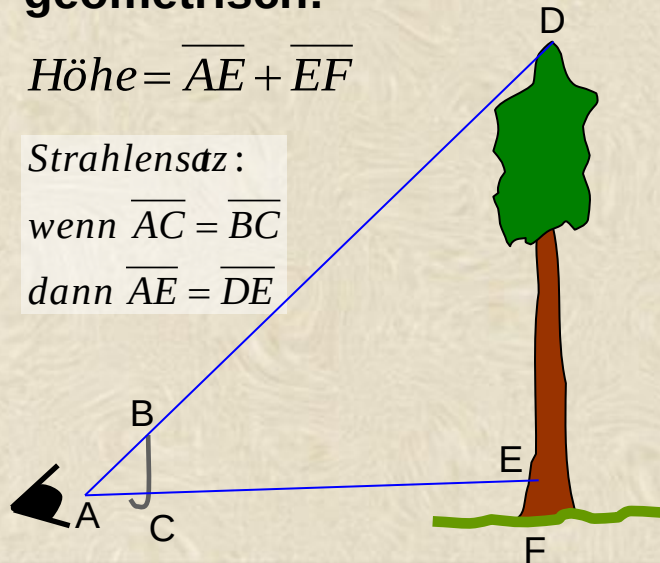
„Klassische“ Höhenermittlung im Wald



geometrisch:

$$\text{Höhe} = \overline{AE} + \overline{EF}$$

Strahlensatz:
wenn $\overline{AC} = \overline{BC}$
dann $\overline{AE} = \overline{DE}$



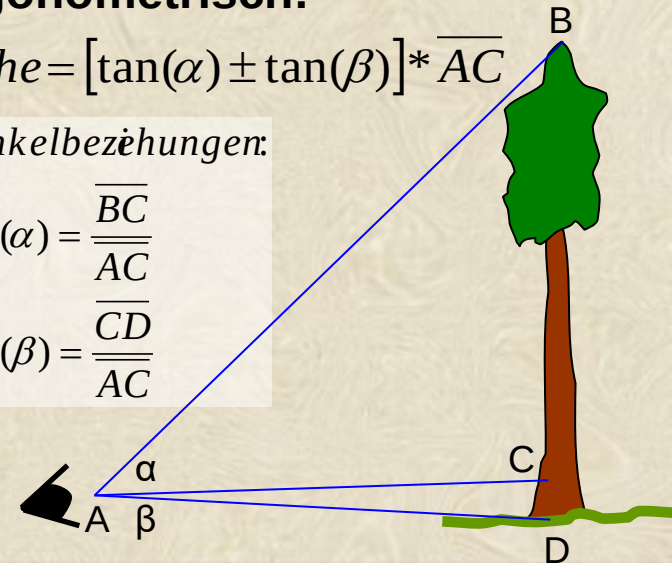
trigonometrisch:

$$\text{Höhe} = [\tan(\alpha) \pm \tan(\beta)] * \overline{AC}$$

Winkelbeziehungen:

$$\tan(\alpha) = \frac{\overline{BC}}{\overline{AC}}$$

$$\tan(\beta) = \frac{\overline{CD}}{\overline{AC}}$$



Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

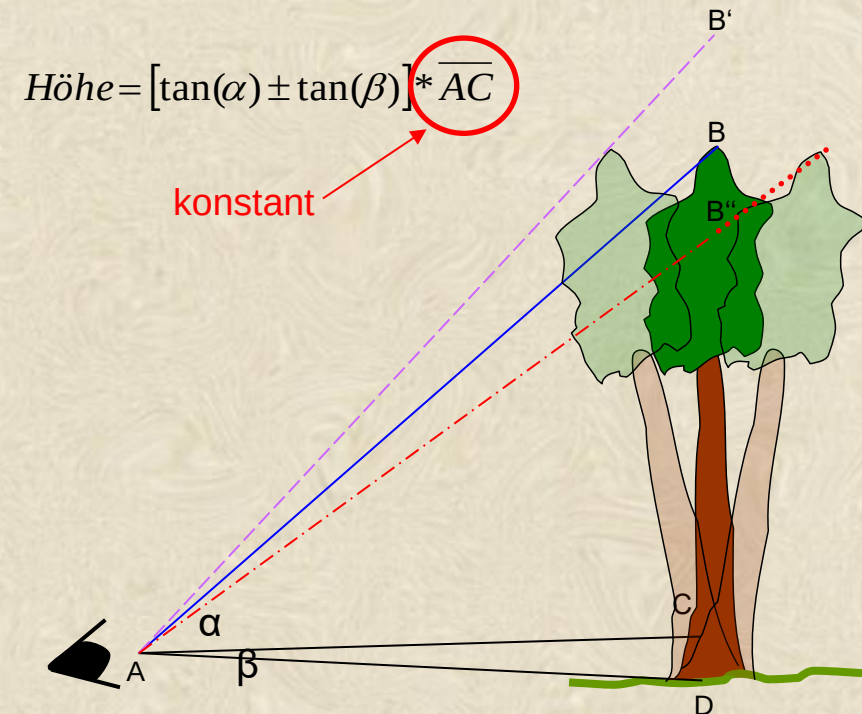
Modellierung

Ausblick

Wünsche



Fehler bei der Höhenmessung



Beispiel:

(Entfernung jeweils 30 m, β jeweils 3°)

$\alpha = 35^\circ \rightarrow \text{Höhe} = 22,6 \text{ m}$

$\alpha = 40^\circ \rightarrow \text{Höhe} = 26,7 \text{ m}$

$\alpha = 45^\circ \rightarrow \text{Höhe} = 31,6 \text{ m}$

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

Modellierung

Ausblick

Wünsche

Höhenmessung über Fernerkundung?

- DDR: Höhenermittlung nach 3D-Luftbildern über Stereoskop
Fazit: *fehlende Verfügbarkeit überlappender Luftbilder; unpraktikabel*
- 2007: Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung des Bundes und der Länder:
„Einsatz von Laserscannerdaten im Staatsbetrieb Sachsen-Forst“
Fazit: *„könnte ein geeignetes Verfahren sein“ (Datenqualität, Kosten)*
- 2008: Erlass der Obersten Forstbehörde zum Datenspeicher Wald 2 (DSW2)
Vorgabe: *„Mittelhöhe und Durchmesser werden [...] modellhaft auf die Einzelflächen zurück übertragen“ (Modellierung: ggf. nDOM-gestützt)*
- 2011: INTERREG-IVa-Projekt ForseenPOMERANIA (mit M-V und Polen):
„Biomasseschätzung [...] mittels Fernerkundung und Modellierung“
(u. a. Auswertung der LiDAR-Befliegungen 2002–2012 für das DGM1)
Versuch: *Nutzung für DSW2-Aktualisierung → scheiterte an Kosten*
- 2019: FE-Verfahrenstest mit nDOM (aus den ersten Test-bDOM der LGB)
Fazit: *Höhenverteilungen je Waldbestand nützlich und verwendbar; automatisierte Schicht- und Baumartenzuordnung bisher zu fehlerhaft*
- 2021: Höhenverteilungen je Waldbestand aus nDOM werden zum Standard
in allen Forsteinrichtungsprojekten für den Landeswald Brandenburgs
- 2025: Modellierung: Höhenänderungen und aktuelle Schlussgrade mit nDOM
zum LUP-Projekt einer Holzpotenzialanalyse bis 2045 für Brandenburg

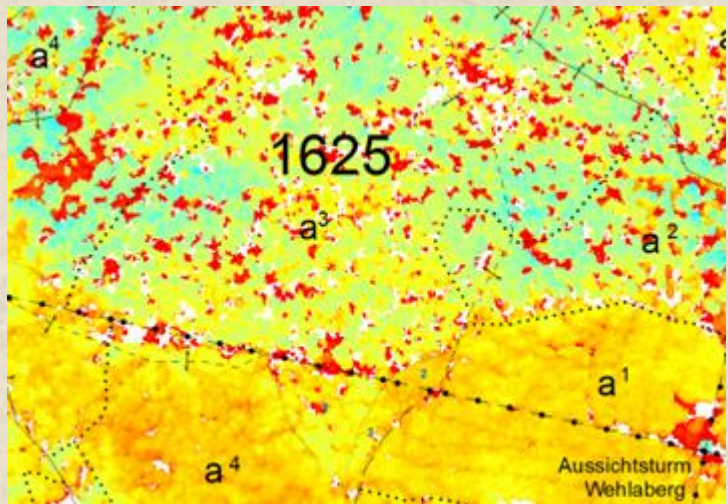
Inhalt
Einführung
Forsteinrichtung
Höhenbezüge
bDOM → nDOM
Forstpraxis
Höhenmessung
Fernerkundung
nDOM vor Ort
Geoportal
Prüfung
Modellierung
Ausblick
Wünsche

Einsatz des nDOM bei FE-Geländearbeiten

Übersicht zum Flächenanteil der Höhenstufen je Waldbestand (seit 2021)

WAG	ABT	UA	TF	BHE	FLAE	≤ H_01	H_02	H_03	H_04	H_05	H_06	H_07	H_08	H_09	H_10	H_11	H_12	H_13	H_14	H_15	H_16	H_17	H_18	H_19	H_20	H_21	H_22	H_23	H_24	H_25	H_26	H_27	H_28	H_29	H_30	H_31	H_32	H_33	H_34	H_35	H_36	H_37	H_38	H_39	≥ H_40	Bildflug		
305	3461	a	1	1	1,25	1	0	0	1	1	1	2	2	2	2	3	5	9	10	4	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	5	7	8	10	8	3	1	0								2022-07-20		
305	3461	a	2	1	2,68	1	0	0	0	0	0	1	2	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	3	5	6	8	10	12	14	10	5	2	1	0								2022-07-20	
305	3461	a	3	1	1,77												0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	5	6	9	7	8	13	15	14	9	4	2	0	0								2022-07-20	
305	3461	a	4	1	1,29	0							0					0	0	0		0	0	0	0	0	1	2	3	5	9	16	23	23	11	4	1									2022-07-20		
305	3461	a	5	1	3,84	11	2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3	5	8	10	14	15	11	6	2	1	0									2022-07-20	
305	3461	a	5	2	0,17																					1	3	4	5	43	37	5	1	1												2022-07-20		
305	3461	a	6	1	14,20	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	6	9	11	13	12	8	4	1	1	0								2022-07-20
305	3461	a	7	1	3,81	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	4	6	8	8	8	10	8	7	6	5	5	4	2	2	1	0	0												2022-07-20

Visualisierung der Höhenverteilung mit überlagerter Forstgrundkarte (seit 2025)



Visualisierung der Höhenverteilung mit Höhenanzeige bei Zoom (seit 2026)



Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

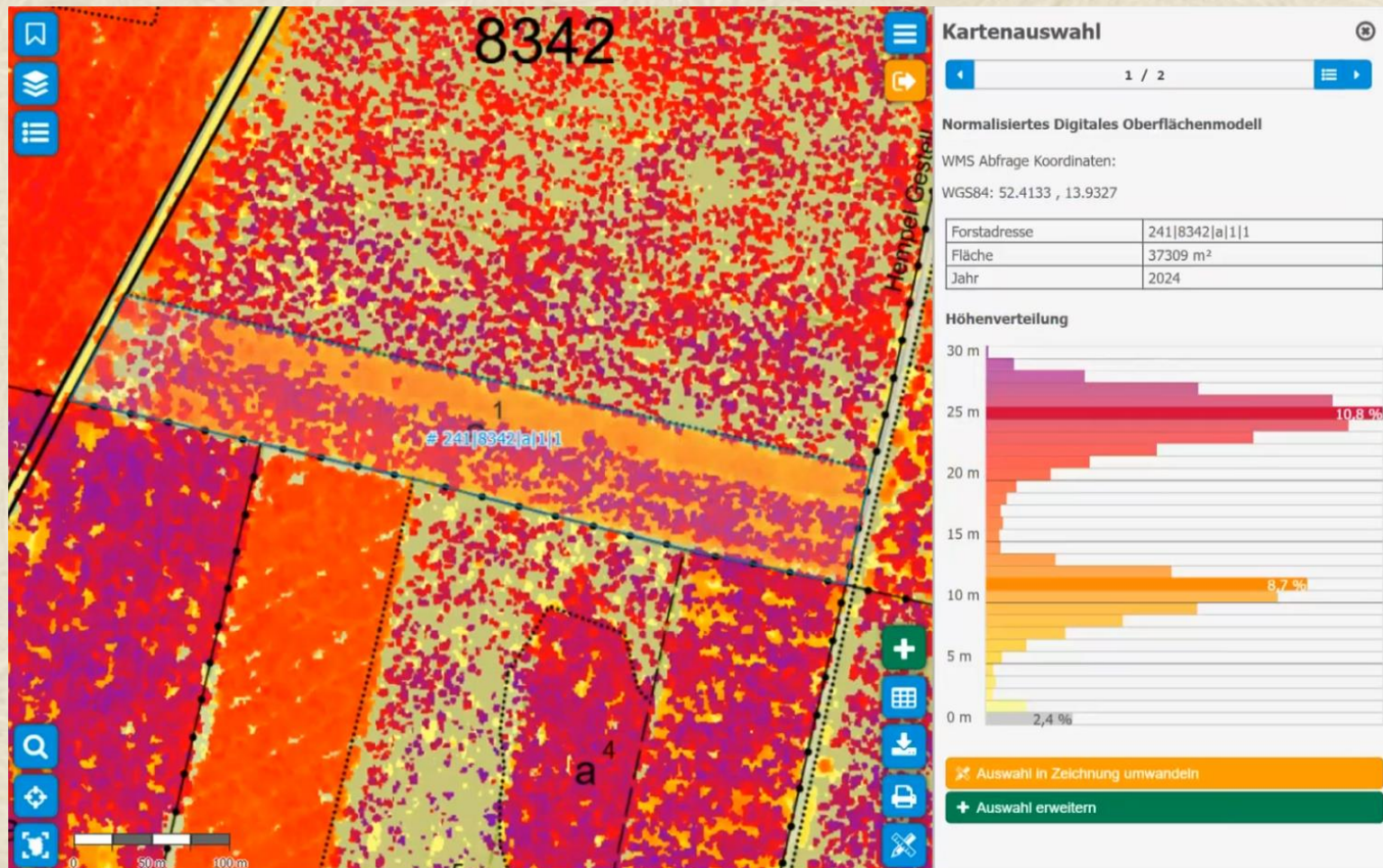
Prüfung

Modellierung

Ausblick

Wünsche

Geoportal Forst Brandenburg mit nDOM



Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

Modellierung

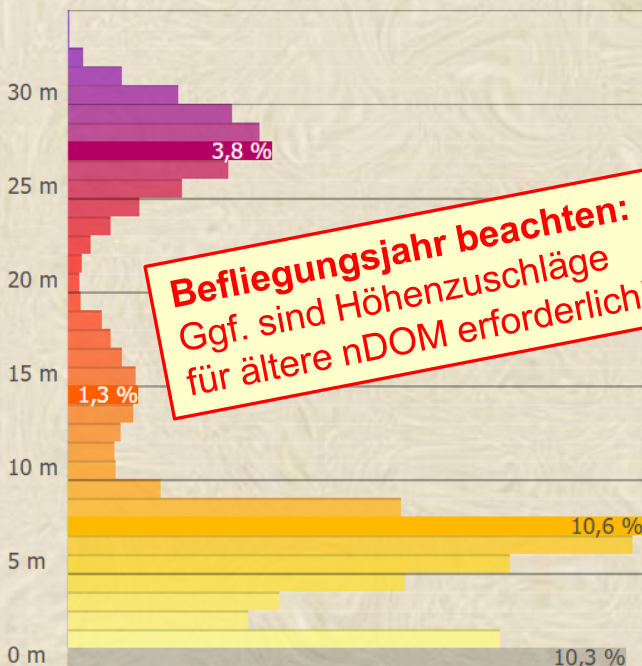
Ausblick

Wünsche

Einzeldatenprüfung mit nDOM

Beispiel-Waldbestand (Fläche: 5,39 ha)

Höhenverteilung



Bewertungsvorgang:

Schichtung:

- * zwei- bis dreigipflige Verteilung
 - (mind.) 2 Schichten; ggf. dritte Schicht im mittleren Höhenbereich
- * Bestockungsdaten lt. DSW2: Oberstand SEI (24 Jahre), TEI (24 Jahre), WLI (24 Jahre), GDG (14 Jahre); Überhalt GKI (132 Jahre); ➔ **Okay**

Höhen:

- * Oberstand (jung): 4 m ... 8 m; Grundflächenmittelstamm : 7 m
 - lt. DSW2: SEI und TEI (jew. 24 Jahre): jew. 10,6 m ➔ **Prüfen!**
 - lt. DSW2: WLI (24 Jahre): 6,2 m ➔ **Plausibel**
 - lt. DSW2: GDG (14 Jahre): 1,1 m ➔ **Unplausibel: überprüfen!**
 - Höhenbereich 1 m ... 3 m: neue Naturverjüngung? ➔ **Prüfen!**
- * Überhalt 1 (ehem. Oberstand): 24 m ... 31 m; Grundflächenmittelstamm: Höhe ca. 29 m ... 30 m
 - lt. DSW2: GKI (132 Jahre): 29,8 m ➔ **Okay**
- * Überhalt 2 (ehemaliger Unter- / Zwischenstand): 10 m ... 23 m

Schlussgrade:

- * Oberstand: 10 % Lücken; unklare Dichte unter Überhalt 1 & 2: um 0,8
 - lt. DSW2: Schichtschlussgrad 0,82 ➔ **Okay**
- * Überhalt 1: knapp 1 Drittel aller Höhen: SG bei Alt-GKI ca. 0,35
 - lt. DSW2: Schichtschlussgrad 0,65 ➔ **Falsch: korrigieren!**
- * Überhalt 2: gut 15 % aller Höhen: (zu) gering für eigene Schicht

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

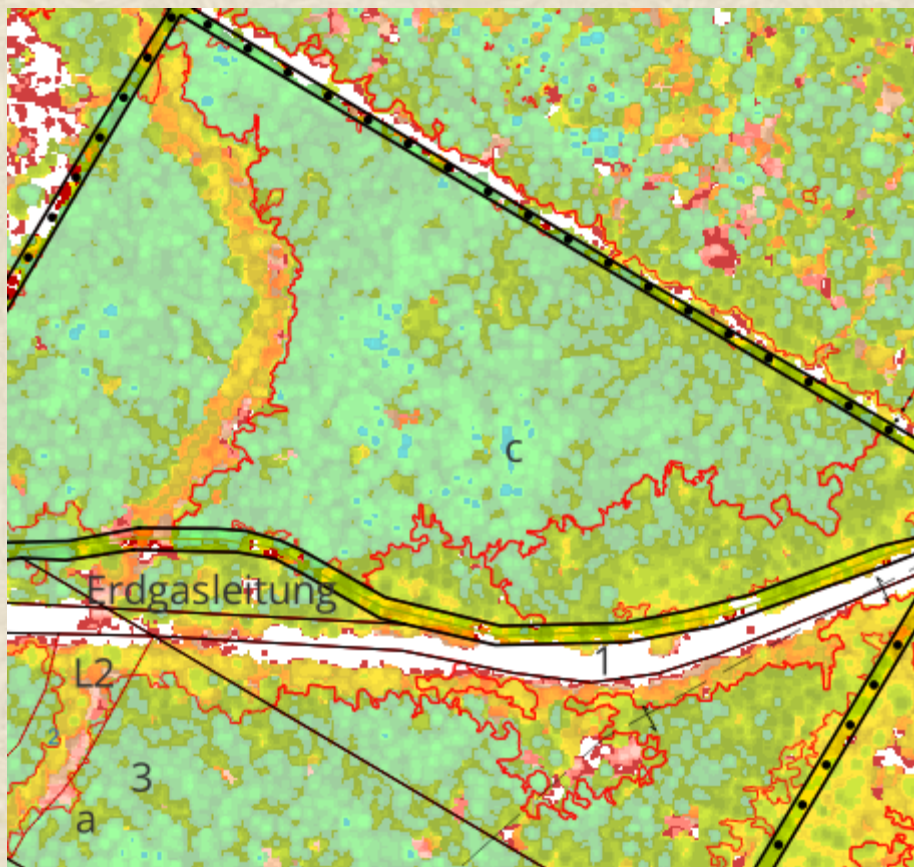
Modellierung

Ausblick

Wünsche

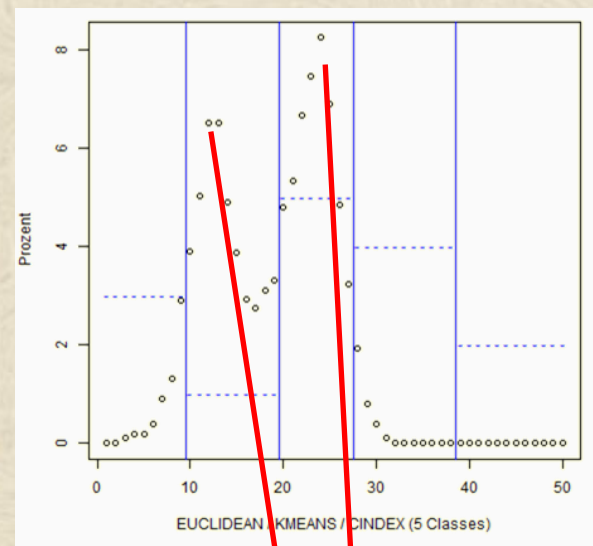
Massendatenprüfung mit nDOM

Automatisierte Erkennung von potenziellen neuen Bestandesgrenzen
(Bestockungsänderungen, Kalamitäten, ...) mittels Raster-Segmentierung



Segmentierung des nDOM-Rasters: Luftbild Umwelt Planung GmbH (2024)

Bestandesweise Schichterkennung; Ableitung
statistischer Kenngrößen zur Höhenverteilung



Abgleich / Korrektur

DSW2

BAUM	ET	ALT	AltSp	MHö	OHö	RBon	DM	%ZL
ELA	ELA	53		27,6	28,6	0,3	35	100%
GDG	DGL mDF	28		10,6	12,7	3,4	13	20%
KTA	DGL mDF	31		15,1	17,2	2,6	18	71%
TEI	EI	28		9,5	10,8	0,8	11	9%

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

Modellierung

Ausblick

Wünsche

Modellierungen auf Basis des nDOM

Auslöser:

- Zuarbeit zum Projekt „*Potenzialanalyse verfügbarer Ressourcen von Holz bis 2045 im Land Brandenburg*“ der Luftbild Umwelt Planung GmbH (2025)
- Interesse der Landesforstverwaltung Brandenburgs an einem Verfahrenstest zur automatisierten Datenkontrolle (+ ggf. Fehlerberichtigung) für den DSW2

Voraussetzungen:

- Flächendeckende Verfügbarkeit (für alle Waldeigentumsarten) von
 - bestandesweisen Bestockungsinformationen im DSW2
 - digitaler Forstgrundkarte mit Waldeinteilung bis mindestens zur Teilfläche
- Baumartenübersichtskarten aus Fernerkundung (2 Versionen; erzeugt aus multispektralen und multitemporalen Satellitendaten) ← **grob!**
- Vollständiges nDOM für das Land Brandenburg (Berechnung „In-House“)

Probleme:

- Teilweise schlechte Datenqualität im Nichtlandeswald
- Keine Vorratsinformationen für Nichtlandeswald

Lösung:

- Automatisierte Qualifizierung des DSW2 über nDOM (und Baumartenkarten)

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

Modellierung

Ausblick

Wünsche

Modellierungen auf Basis des nDOM

Vorgehen:

- 1) Verschnitt von satellitenbasierter Baumarten(gruppen)erkennung und nDOM mit der Forstgrundkarte (FGK)
- 2) Ermittlung der Höhenstrukturgliederung der bestockten Bestandesteile
- 3) Abgrenzung von Schichten nach Höhenbereichen der nDOM-Auswertungen
- 4) Übertrag der abgeleiteten Informationen auf vorhandene Bestockungszeilen:
 - *Baumartenmischungsanteile je Schicht*
 - *relative Höhen- und Durchmesseränderungen – auf Basis einer mittleren Bonitätsänderung (Fernerkundung im Vergleich zu den alten DSW2-Daten)*
- 5) Anlage von neuen Bestockungszeilen:
 - *virtuelle „Taxation“ für (lt. Fernerkundung bestockte) Sonstige Waldflächen, z. B. nicht betretbare Flächen, Heiden, Moore und Brücher*
 - *Ausweisung neuer Schichten (v. a. Unterstände) mittels Höhenklassifikation luftbildsichtbarer Pixel*
- 6) Zusammenführung der Ergebnisse und Re-Import in eine nicht-produktive Version des DSW2 als neue (aktuelle) Bestockungsdaten
- 7) Sekundärdatenberechnung für abhängige Merkmale und Werte

➔ **Modellierung der Waldentwicklung im Planungsmodul des DSW2**

Modellierungen auf Basis des nDOM

Ausgewählte Zahlen:

- 180.271 Baumartenzeilen in 24.390 neu „fern-taxierten“ Waldbeständen (Moore, Heiden, nicht betretbare Flächen [z. B. Kampfmittelbelastung] usw.)
- 474.227 Oberstands-Baumartenzeilen mit Bonitätsänderung lt. nDOM (im Mittel: +0,02)
- Änderung der Anzahl der Baumartenzeilen (ohne die neu „fern-taxierten“ Waldbestände):
Oberstand: -8,1 % | Überhalt: -11,8 % | Zwischenstand: 25-fach | Unterstand: 6-fach
→ *Extremzunahme im Zwischen- und Unterstand wegen fehlender Ausgangsdaten*

Beispiel-Steuerdaten zur Übertragung der Fernerkundungsergebnisse (Baumartenkarten, nDOM)

Baumartengruppen (Fernerkundung)	Baumarten-Zuordnungsgruppen			Referenzbonitäten	
	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Oberstand	Unterstand
o. A.	nicht erkannt	nicht erkannt	Alle	2,0	2,0
Kiefer	Nadel	Nadel	Alle	0,9	2,5
Lärche	Lärche / Eiche	Laub	Alle	0,8	1,4
Fichte	Nadel	Nadel	Alle	1,9	3,2
Sonstige Nadel	Nadel	Nadel	Alle	1,9	2,4
Eiche	Lärche / Eiche	Laub	Alle	1,0	0,4
Buche	Sonst. Hartlaub	Laub	Alle	1,9	1,8
Sonstiges Hartlaub	Sonst. Hartlaub	Laub	Alle	2,3	2,3
Birke	Weichlaub	Laub	Alle	3,0	3,1
Erle	Weichlaub	Laub	Alle	1,6	2,2
Sonstiges Weichlaub	Weichlaub	Laub	Alle	1,9	2,3

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

Modellierung

Ausblick

Wünsche

Inhalt

Einführung

Forsteinrichtung

Höhenbezüge

bDOM → nDOM

Forstpraxis

Höhenmessung

Fernerkundung

nDOM vor Ort

Geoportal

Prüfung

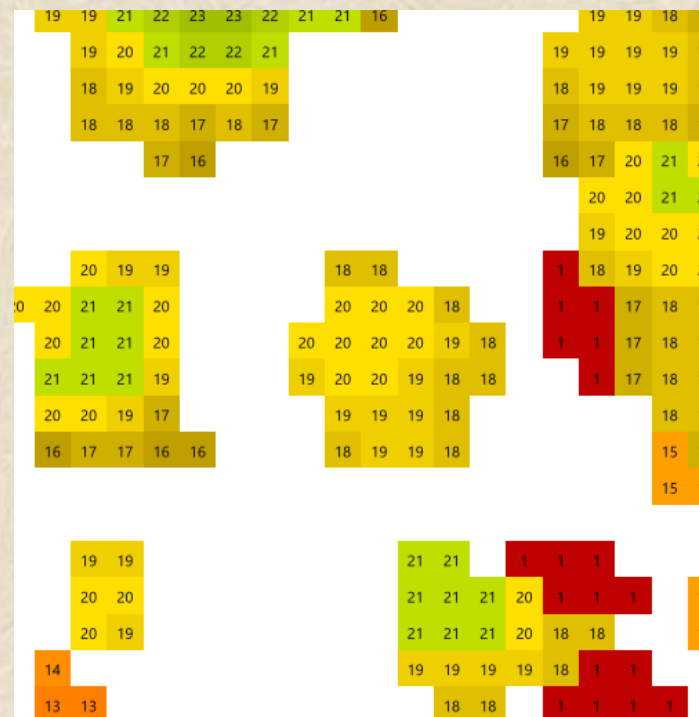
Modellierung

Ausblick

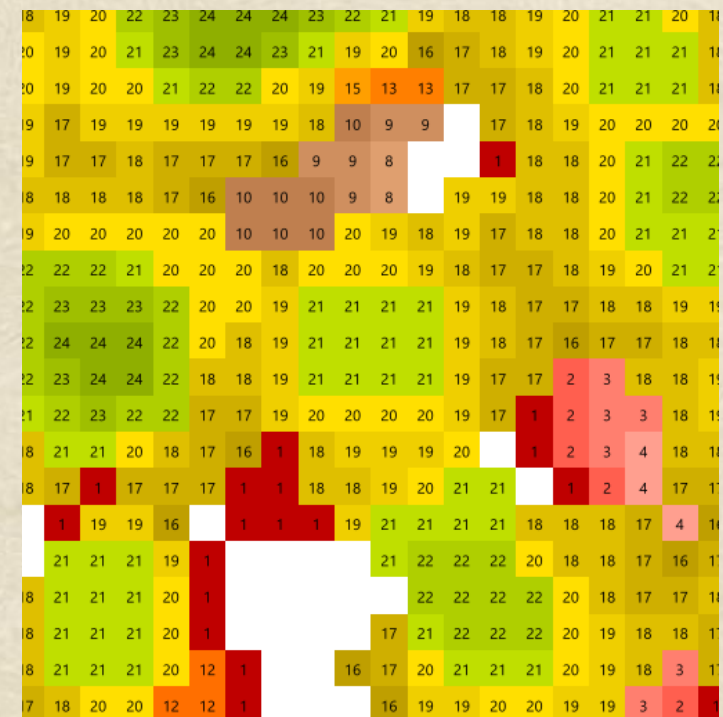
Wünsche

Zukunftswünsche 😊

Mischwald: 27.04.2021 (stetig Nachtfröste bis 29.04.2021)



Mischwald: 21.07.2024



- ➔ nDOM-Archivdaten (verrechenbares Datenformat in voller Auflösung)
- ➔ DOP-Befliegungen außerhalb der Vegetationszeit (Details unter Laubwald)

Das nDOM als Hilfsmittel in der Forsteinrichtung für den Landeswald des Landes Brandenburg

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Geländeaufnahmen

Datenprüfungen

Modellierungen