



KI in der Holzforschung – „Das gläserne Holz“ ein Blick ins Holz und auf andere Anwendungen

Franka Brüchert
FVA Baden-Württemberg, Abteilung Waldnutzung

.....befasst sich fachlich mit einem breiten Strauß an
Fragestellungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette

- vom Baum zum Produkt





- der Erkennung und Quantifizierung von Holzstrukturen und Holzmerkmalen
- Analyse unterschiedlicher anatomischer und morphologischer Ausprägungen im Holz
- Einsatz von **Foto**
- andere bildgebende Verfahren



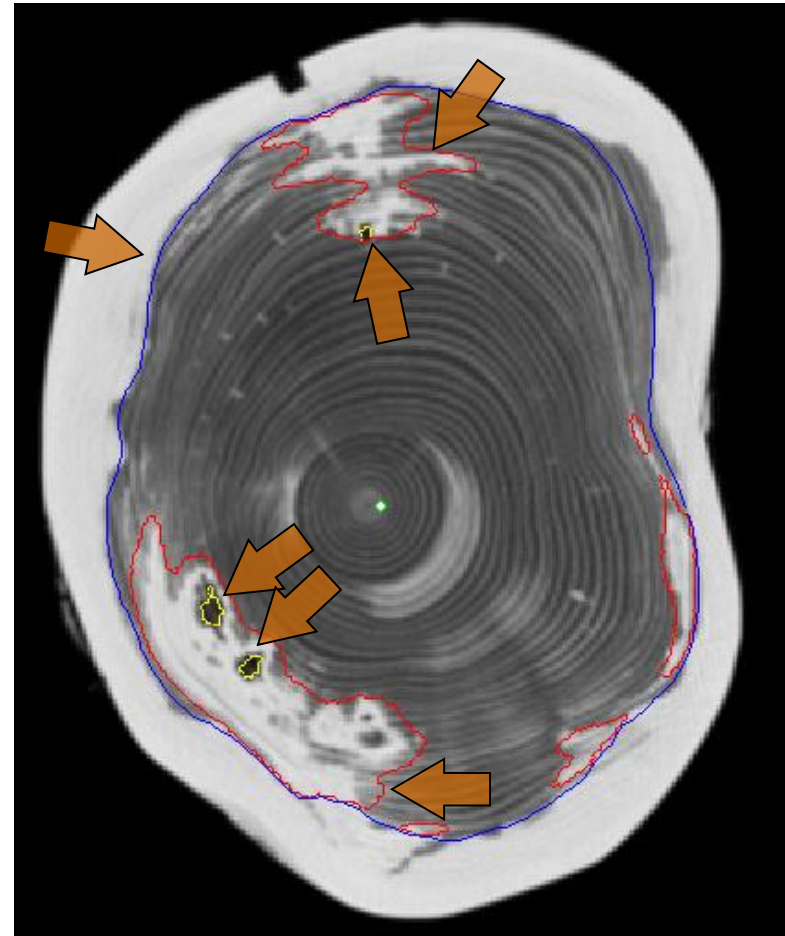
n Blick ins Holz

>> KI – Automatisierung
bildgestützter Analysen

Automatisierte Erkennung ≠ KI

Erkennung von Fäule

- Kernholz- / Splintholzgrenze erkannt
- Regionen aktiver Fäule erkannt
- Fortgeschrittene Fäule erkannt



Fichte

Digitalisierung – Automatisierung – Künstliche Intelligenz

Digitalisierung

- Prozesse, bei denen analoge Informationen in digitale Formate umgewandelt werden, damit ein Rechner / eine Maschine für uns Dinge tut

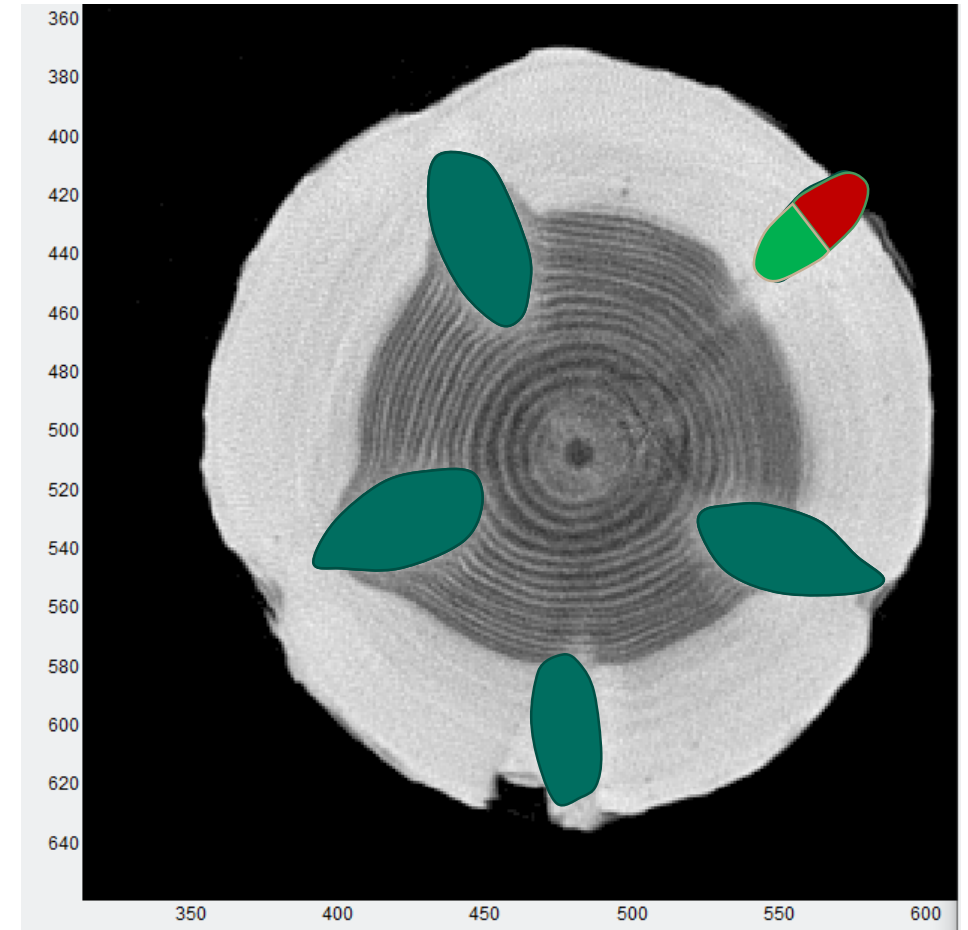
Automatisierung

- es ist zu langsam und aufwändig mit der Hand /
der Rechner / die Maschine kann die Aufgabe doch bitte selbständig schneller bearbeiten

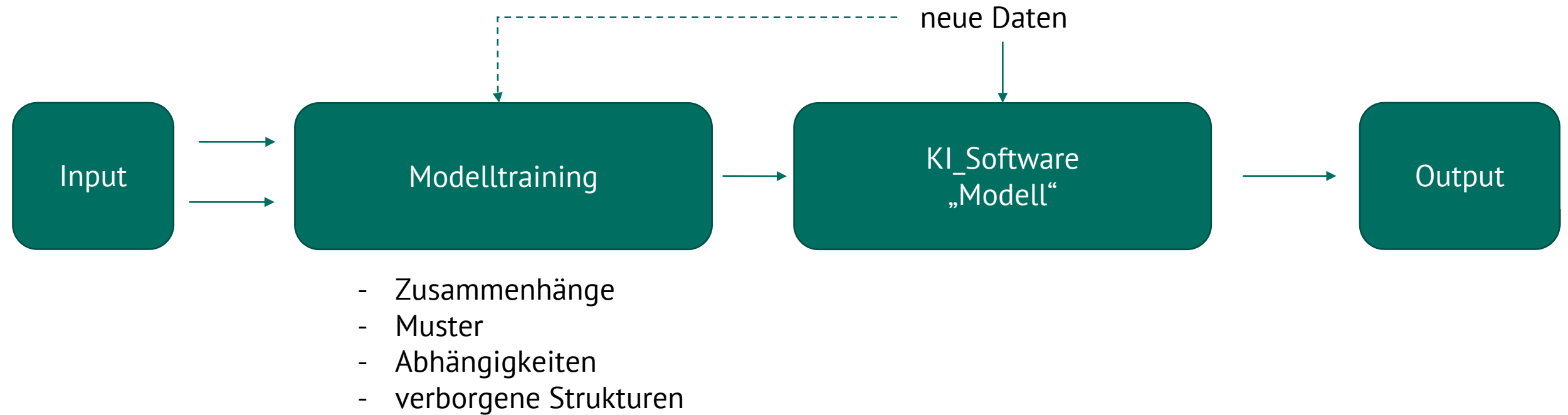
KI – Künstliche Intelligenz

- nutzt Computer und Maschinen, um die Problemlösungs- und Entscheidungsfähigkeiten des menschlichen Geistes zu imitieren
- die Fähigkeit von Computern und Maschinen, menschenähnliche Intelligenz zu simulieren, um so komplexe Aufgaben zu erledigen, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordern
- Machine learning: unterscheidet zwischen überwachtem Lernen und nicht-überwachtem Lernen
- notwendiger Lernprozess, damit der Rechner / die Maschine auch selbständig arbeiten kann

- Verarbeitung und Analyse von Bildern
- Lokalisierung oder Klassifizierung von Objekten in Bildern zu bewältigen
- bereits leistungsfähige KI Tools, die über die klassische Bildanalyse hinausgehen
- Machine learning - Ansätze
 - lernt Muster zu erkennen
 - Automatisierung der Analyse durch Mustererkennung



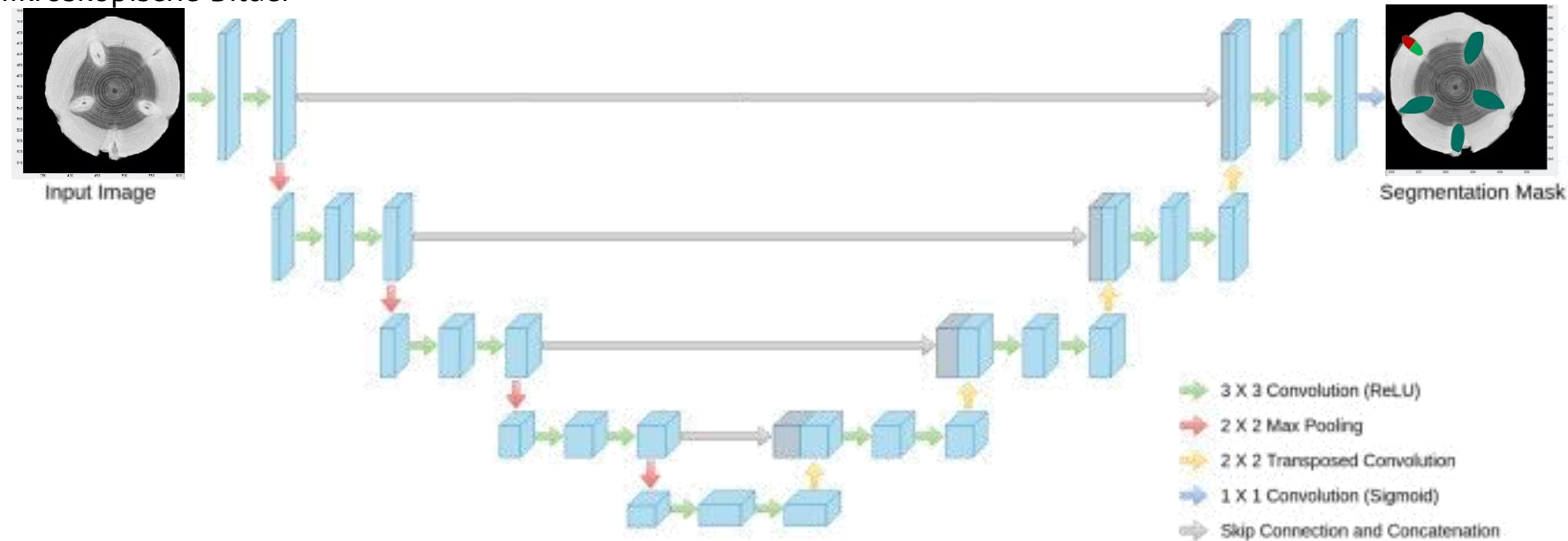
Maschinelles Lernen: Lernen aus Daten (selbständig oder überwacht)



Convolutional Neuronal Networks (CNN) mittels U-Net

UNet

- CT-Analysen
- Bildanalyse makroskopischer Stammbilder
- Mikroskopische Bilder



UNet

- Ronneberger O. U-Net: *Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*, 2015, University of Freiburg
- added skip connections for preserving features at all scales, thus enabling it to learn local and global features

01. | Holzstrukturen in Nadelholz

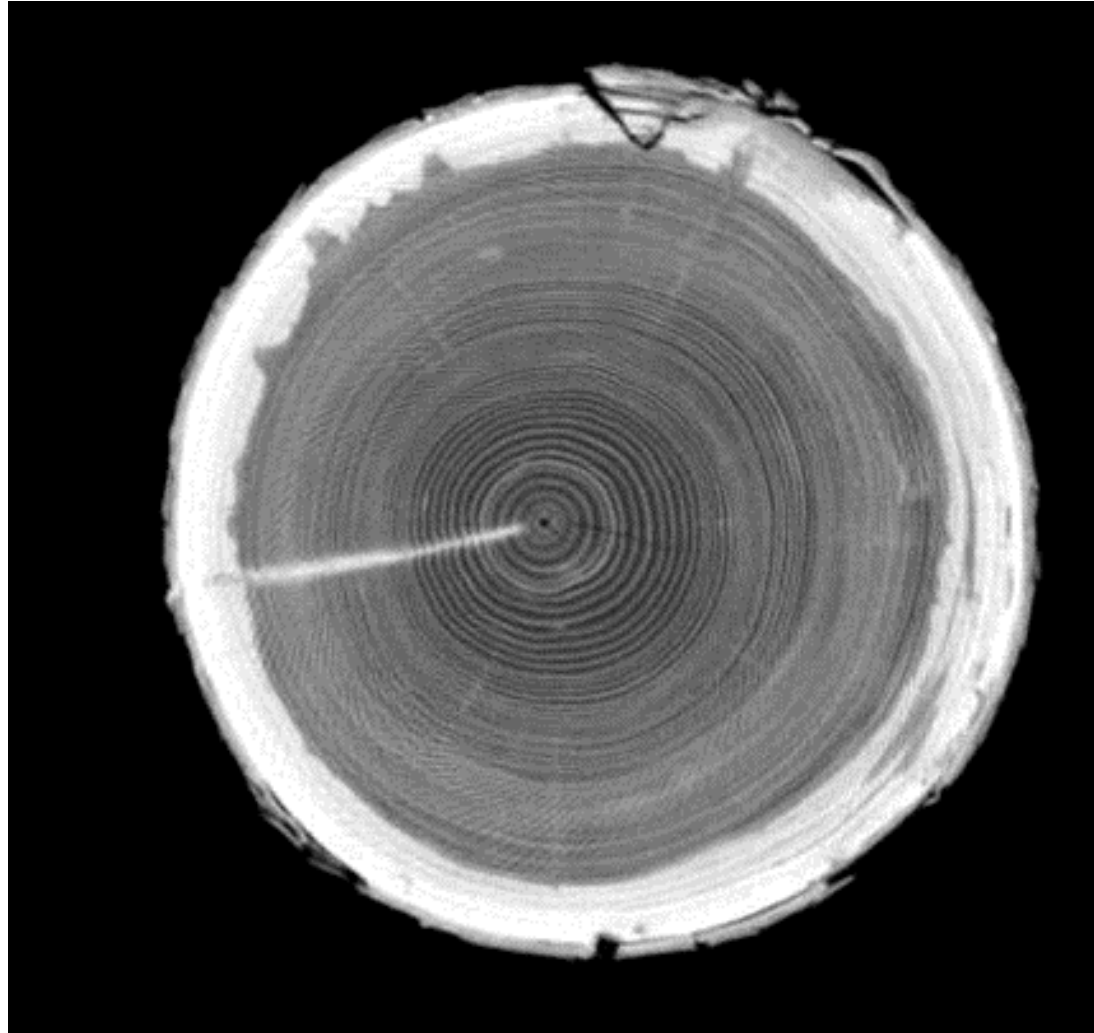
02. | Erkennung von Ästen in Laubholz:
Buche
Eiche

03. | Rückverfolgung von
Fichtenstammholz

04. | Entwicklung von automatisierten
(digitalen) Bilderkennungssystemen
zur Holzartenbestimmung mittels
künstlicher Intelligenz; KI_Wood-ID

05. | Machine-learning-basierte
mikroskopische Holzarten-
bestimmung am Beispiel von Echtem
Mahagoni (*Swietenia macrophylla*)

01. Computertomografie vom Nadelstammholz

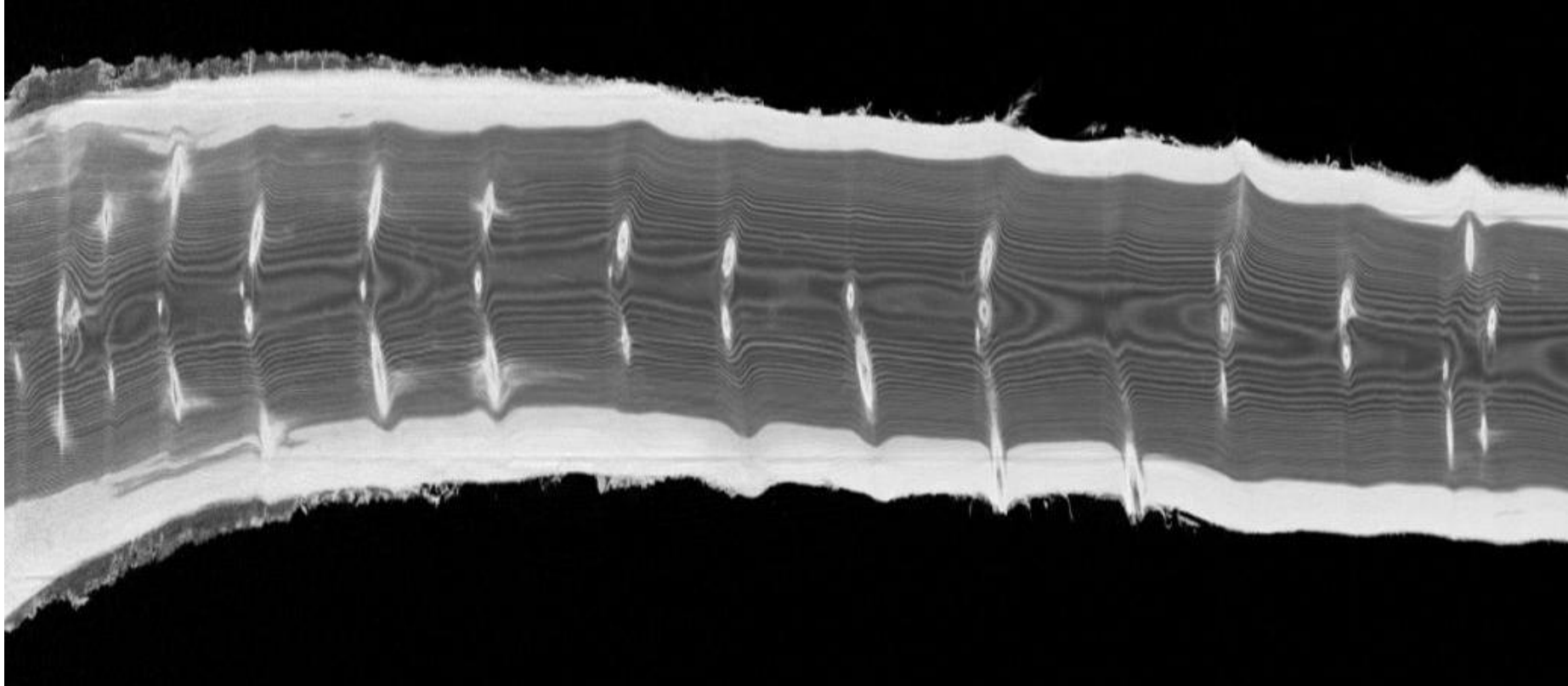


Herausforderung

- große Datenmenge je Stamm
- in der Praxis online Verarbeitung

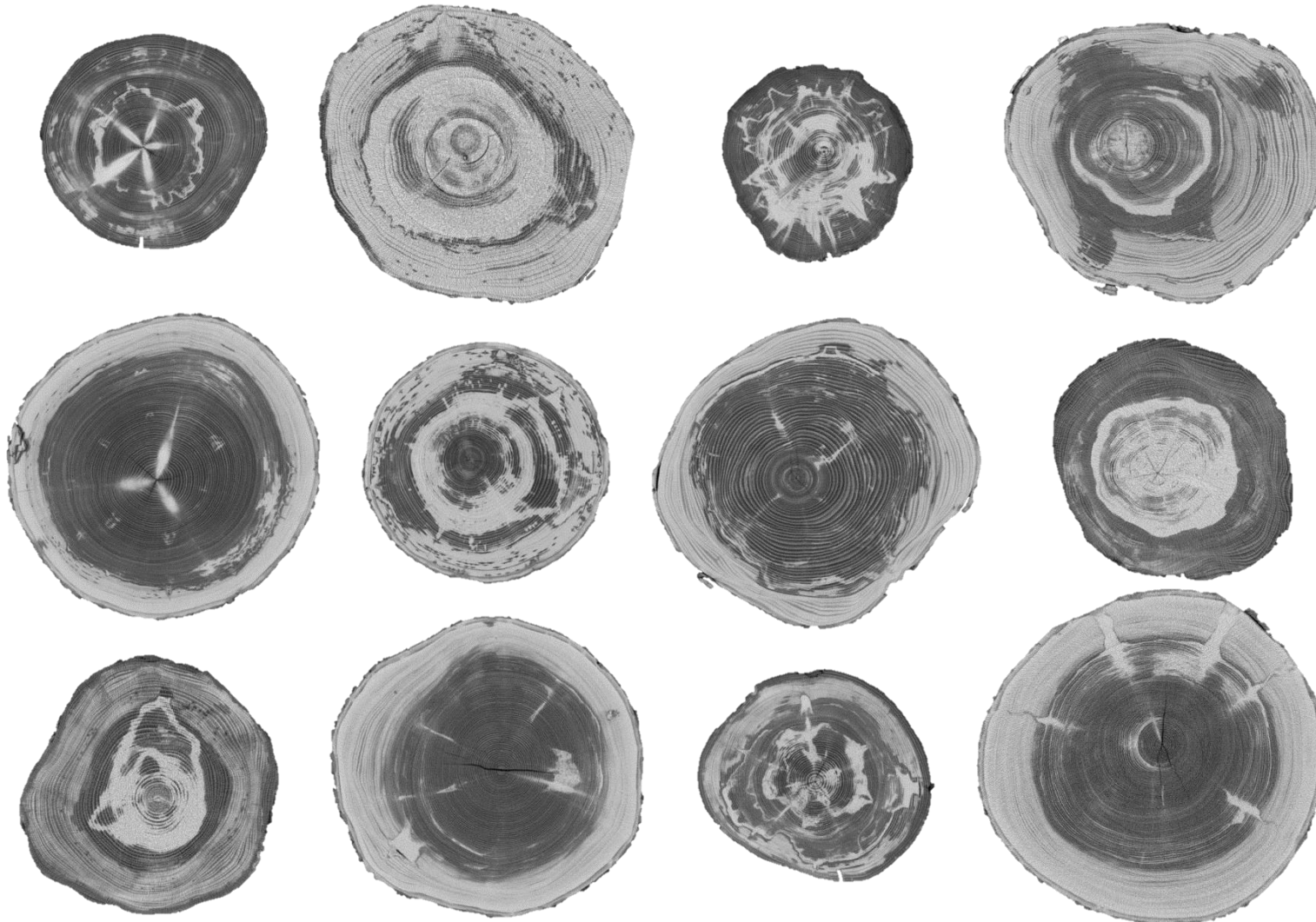
Fichte

01. Computertomografie vom Nadelstammholz



Kiefer

01. Computertomografie vom Nadelstammholz

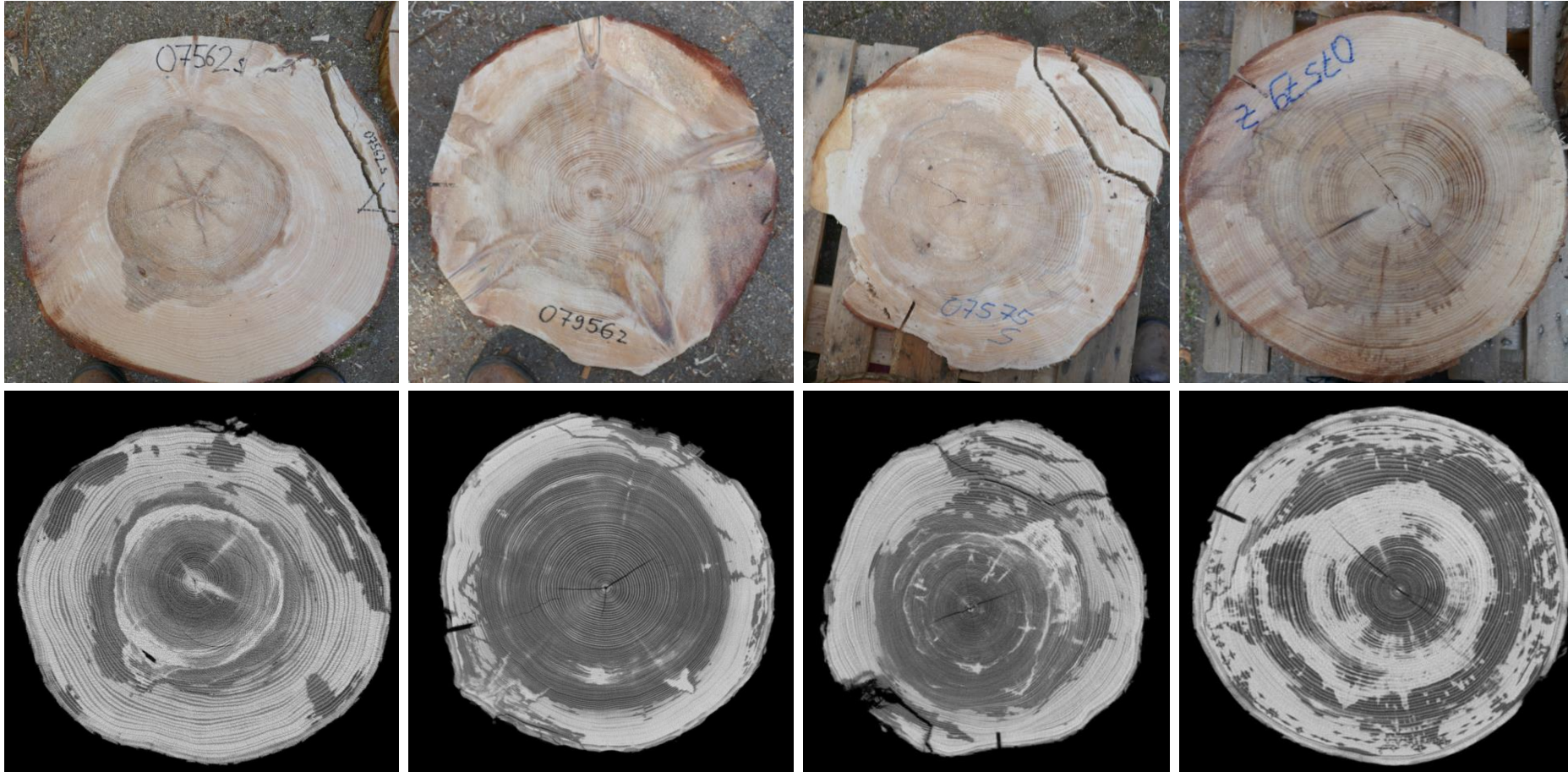


Weißtanne

Erscheinungsbild Naßkern sehr divers:

- Problem bei der Quantifizierung
- Ausprägung
- Lokalisierung
- Form

01. Computertomografie vom Nadelstammholz

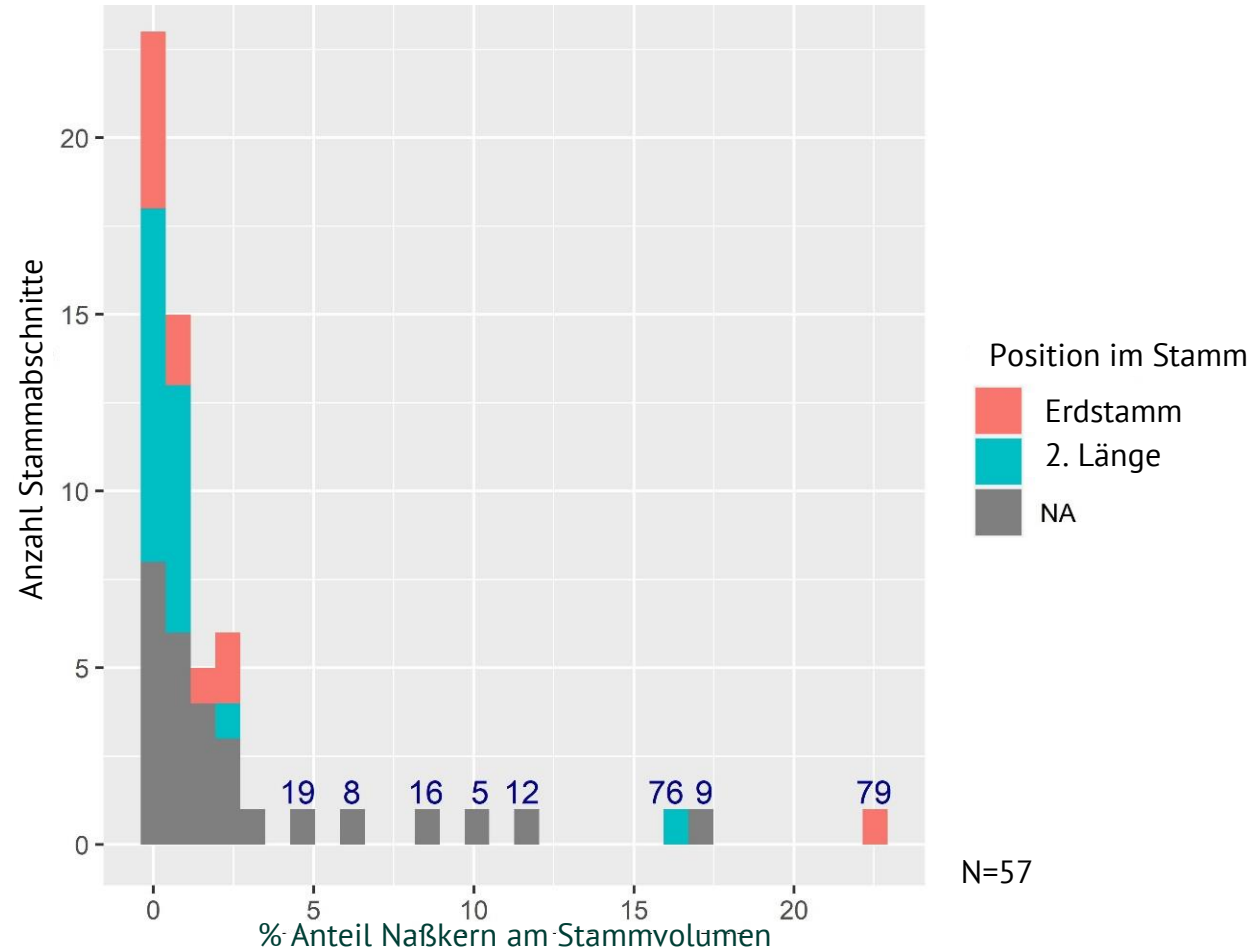


Weißtanne

Verfärbung ≠
Naßkern

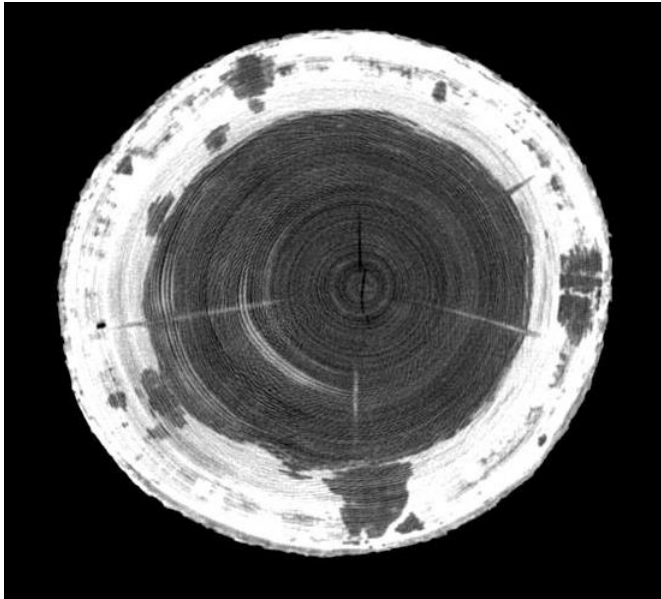
01. Computertomografie vom Nadelstammholz

Häufigkeit Naßkern in Tanne

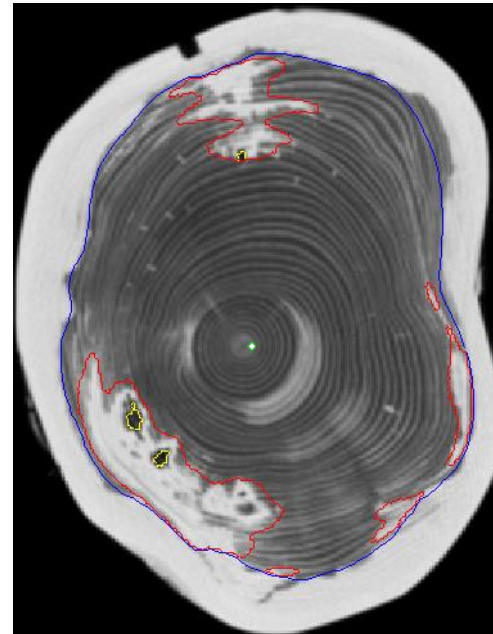


01. Computertomografie vom Nadelstammholz

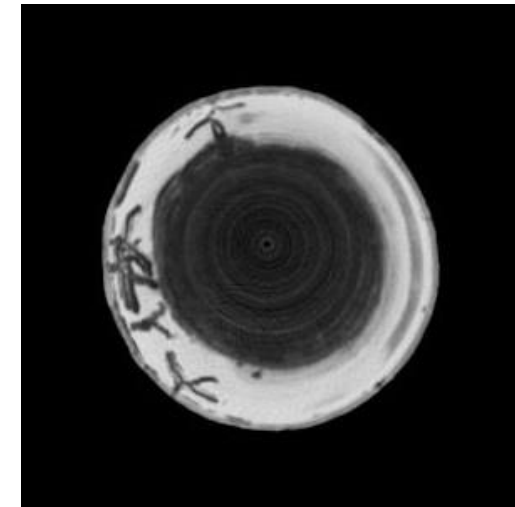
Rundholzlagerung



Sukzession
Holztrocknung



Sukzession
Pilzinfektionen



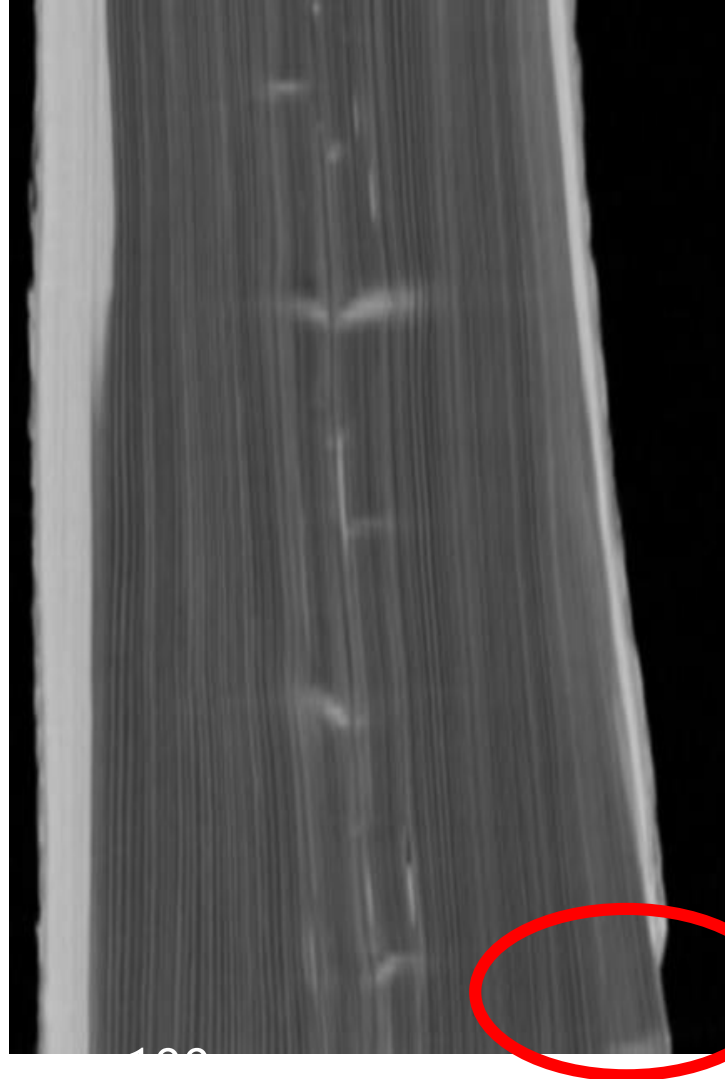
Zeitreihen
Entwicklung holzbrütende Käfer

01. Computertomografie vom Nadelstammholz

Rindenschäden:

- Auswirkungen auf Splint
- kleine Rindenverletzungen bewirken bereits große Veränderungen im Splint

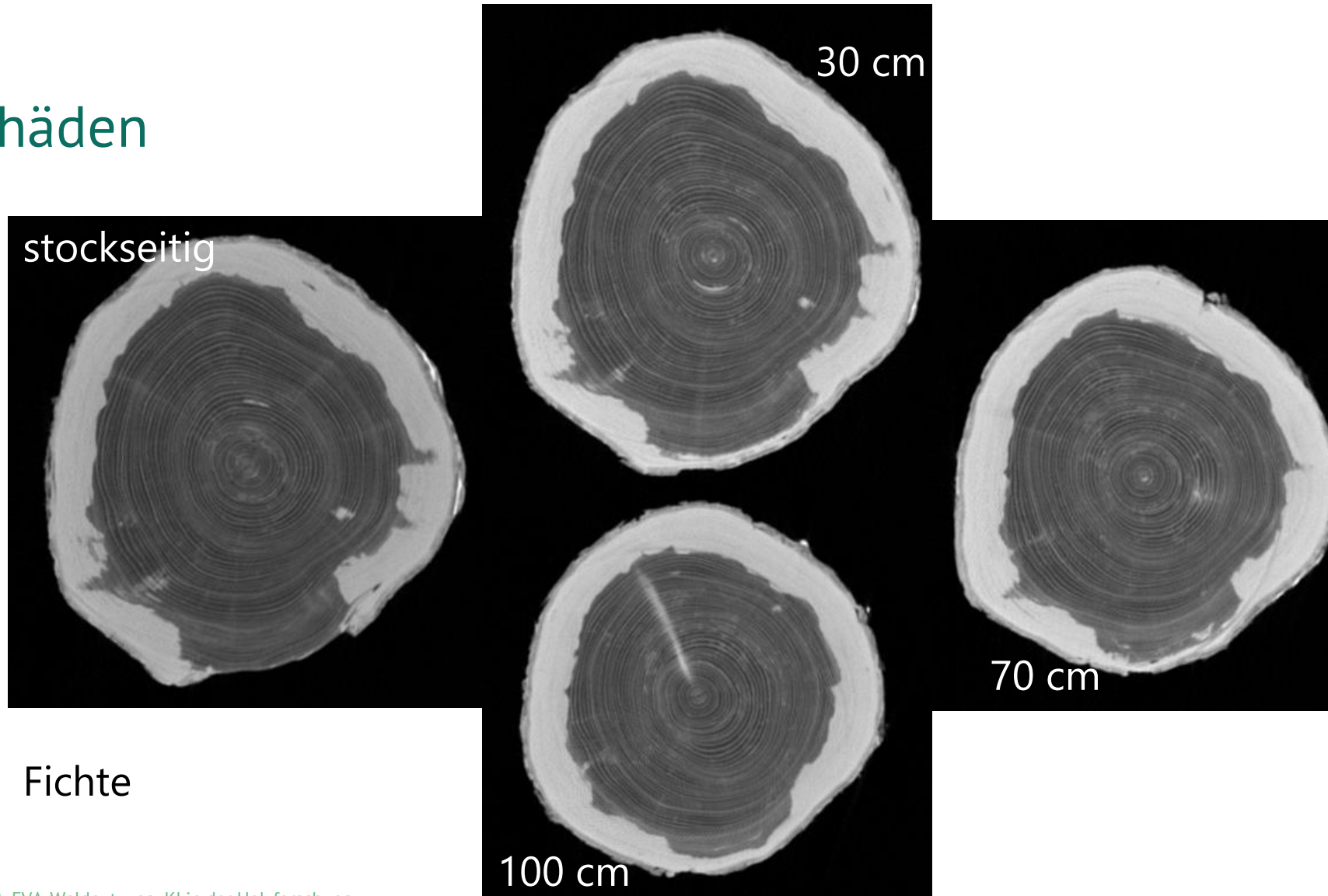
Fichte



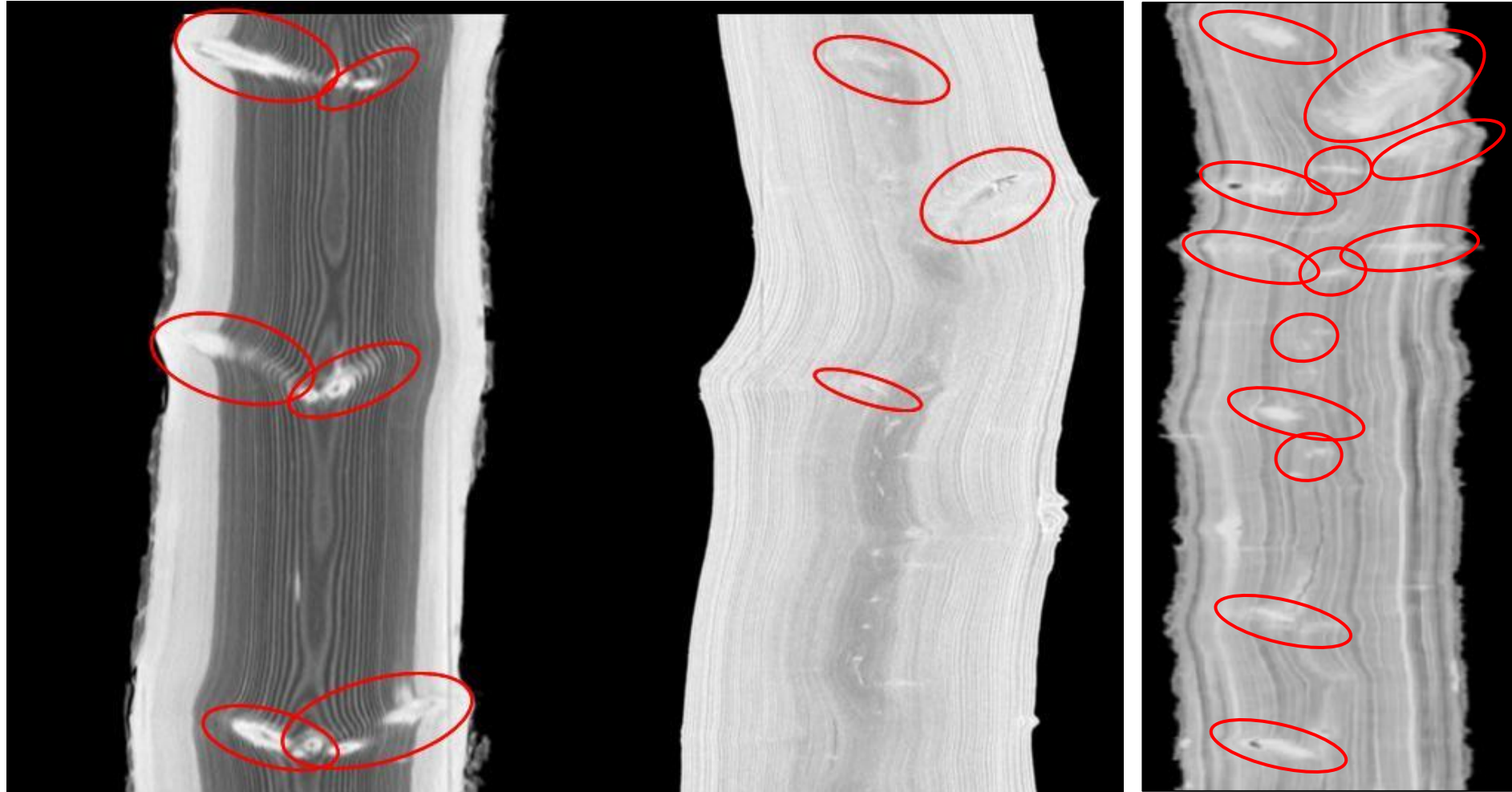
20 x 20 cm

01. Computertomografie vom Nadelstammholz

Rindenschäden



01. / 02. Computertomografie zur Asterkennung im Stammholz FVA

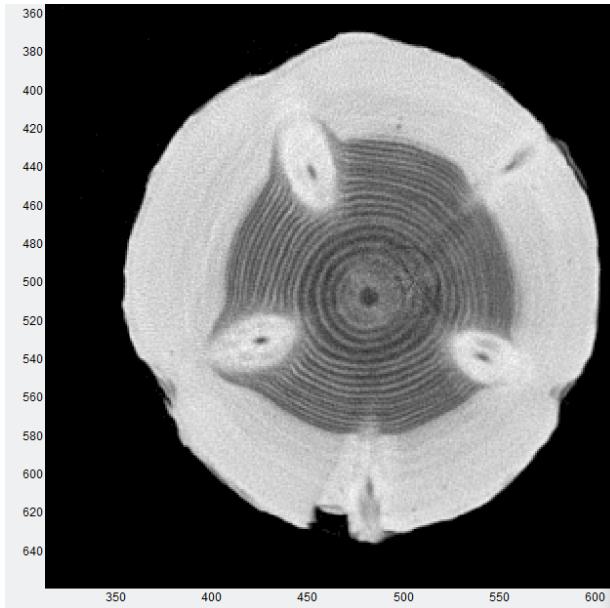


Kiefer

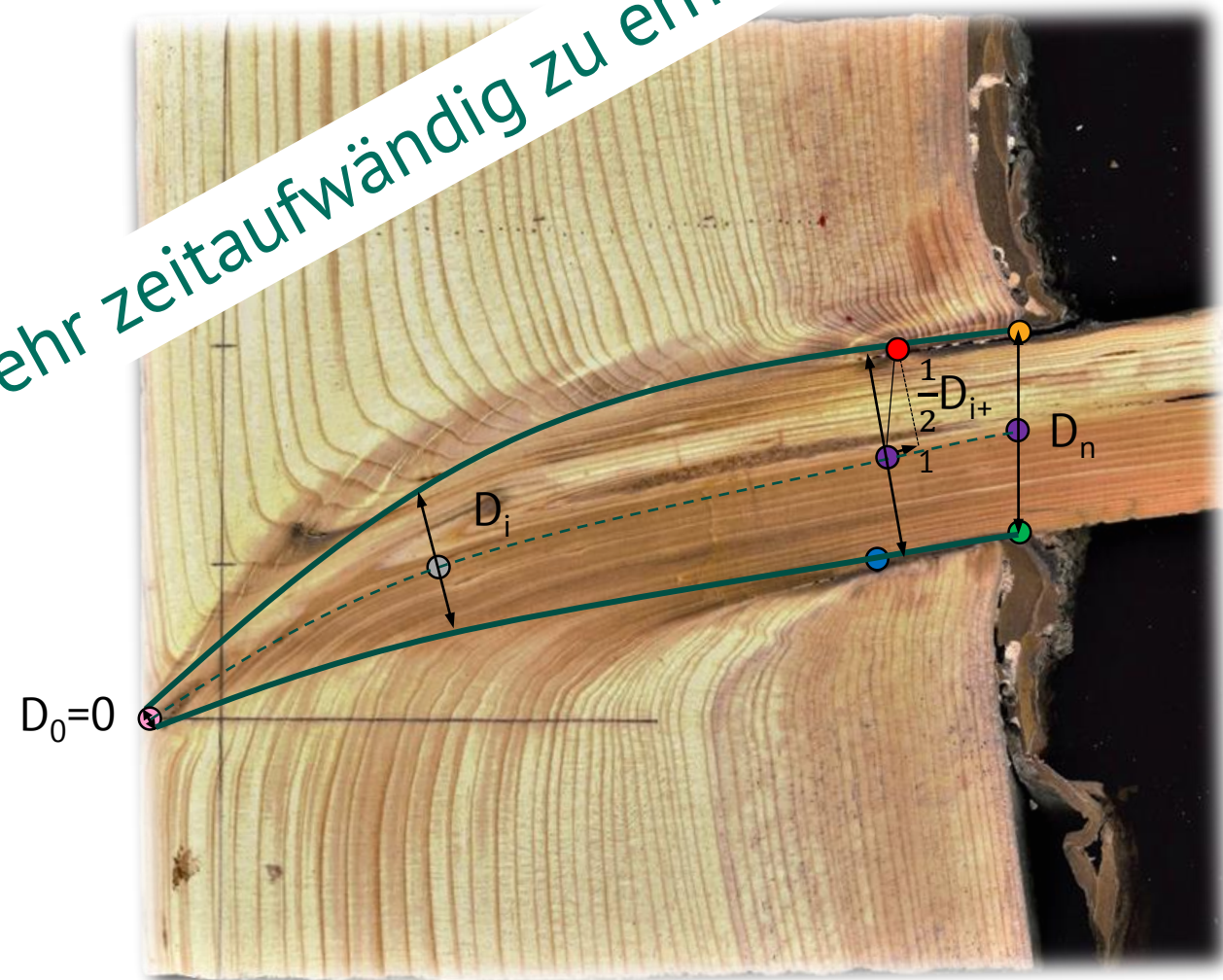
Buche

Eiche

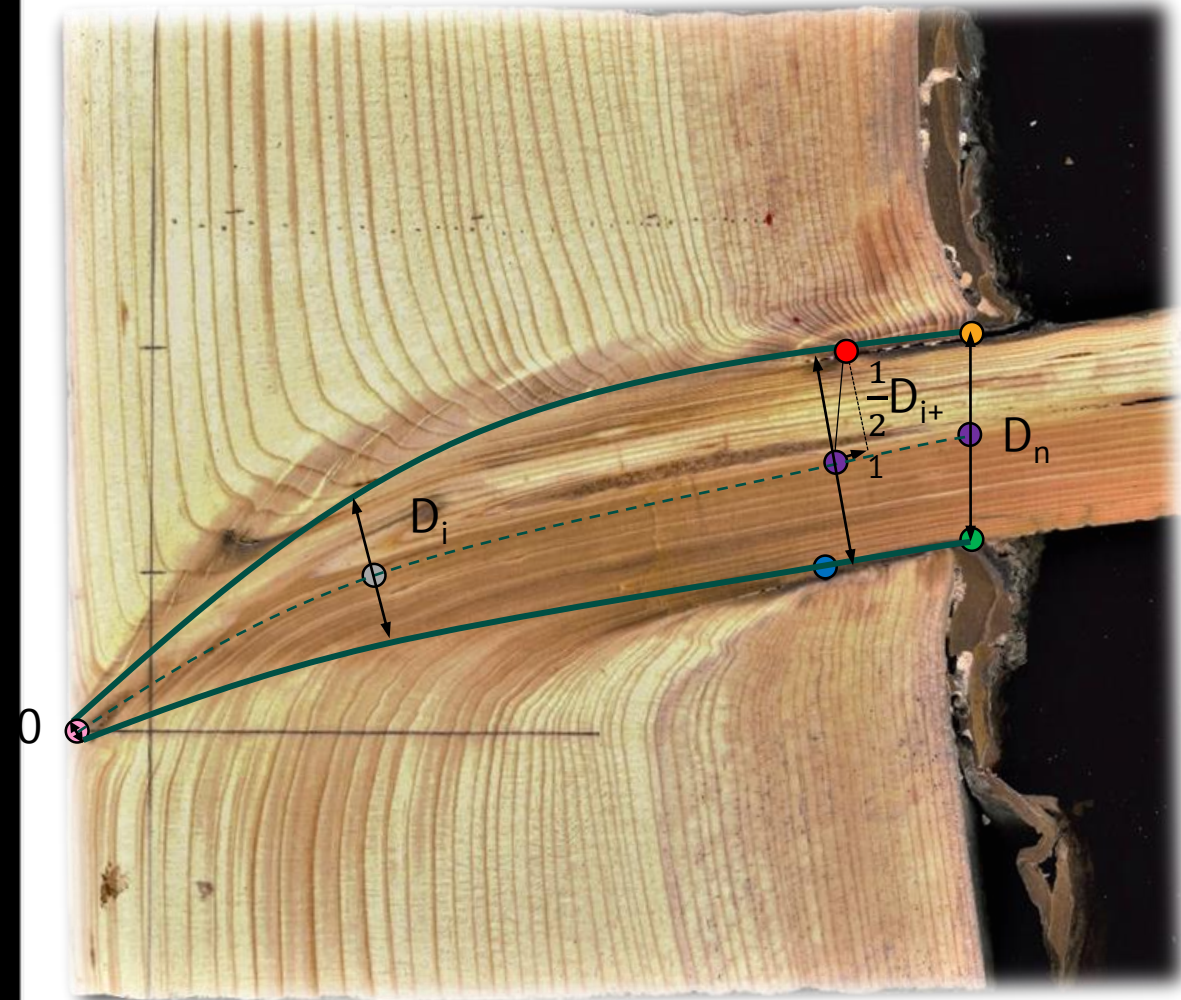
01. Asterkennung im Splintholz und Totastgrenze



Referenzdatensatz für KI-Modell sehr zeitaufwändig zu erheben



Example surface, knot-id: 7720-10-1

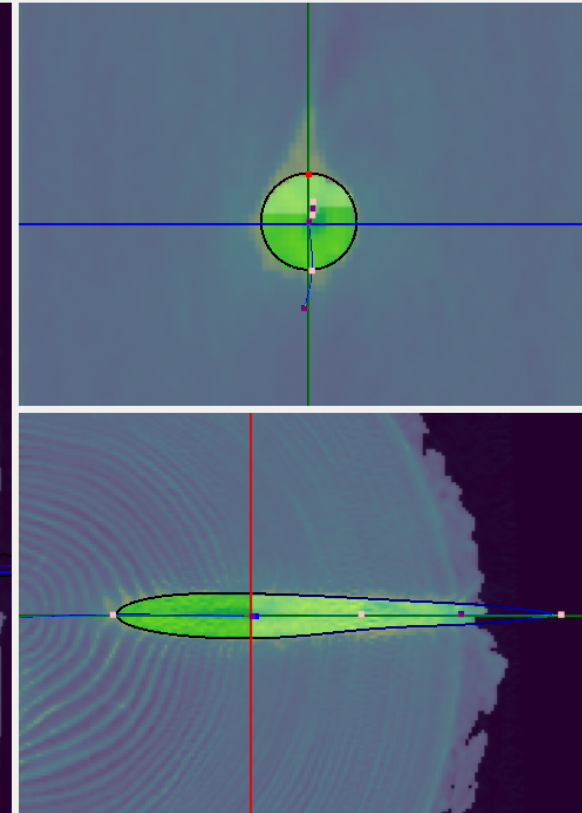
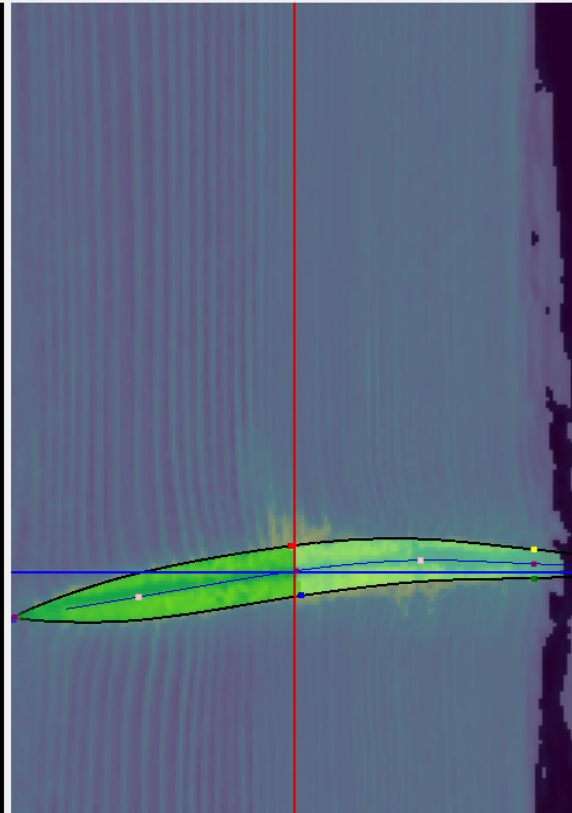
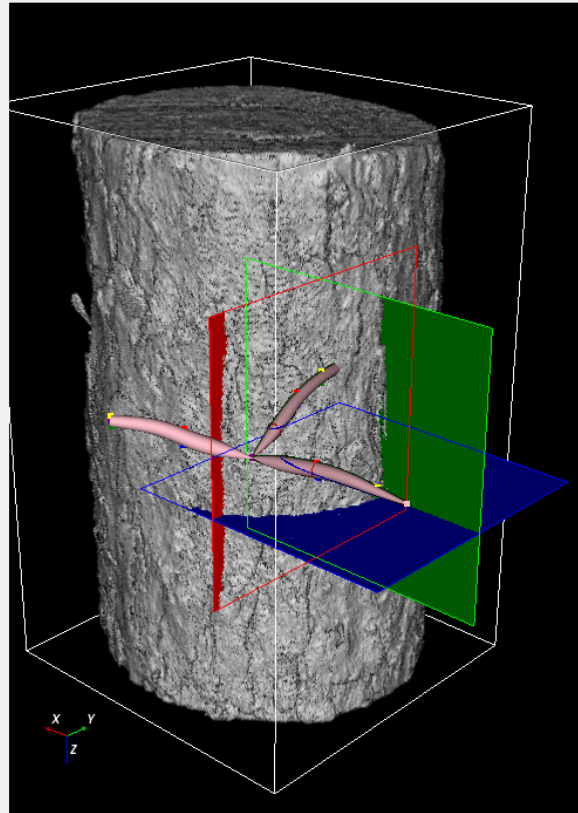


31.01.2025 | Brüchert, FVA-Waldnutzung, KI in der Holzforschung

01. Asterkennung im Splintholz und Totastgrenze

Segment Mask Creator v0.2.4 - [...]dry\Drydisk07.2_nhdr - [...]green\Green Disk_07.2_mod.nhdr

File View Settings



Segmentation/Green-Dry

Radial Section ☒ Show
Axis-Position (ΔR) 0,00

Tangential Section ☒ Show
Axis-Position (ΔT) 0,00

Cross (Transverse) Section ☒ Show
Axis-Position (ΔL) 0,00

Origin Polar Coordinates
Angle L 180,00
Angle T 0,00
X-Position 45,00
Y-Position 76,15
Z-Position 157,00

☐ Clip to size ☐ Follow Branch Pith ☒ Show Overview
Branch Pith Position 0,400

Green/Dry View
Image View ☒ Dry ☐ Both ☐ Green
Knot View ☒ Dry ☐ Green ☒ link changes
X: 45.00 Y: 54.35 Z: 170.31
Scalar: 684.6 Segment: 255

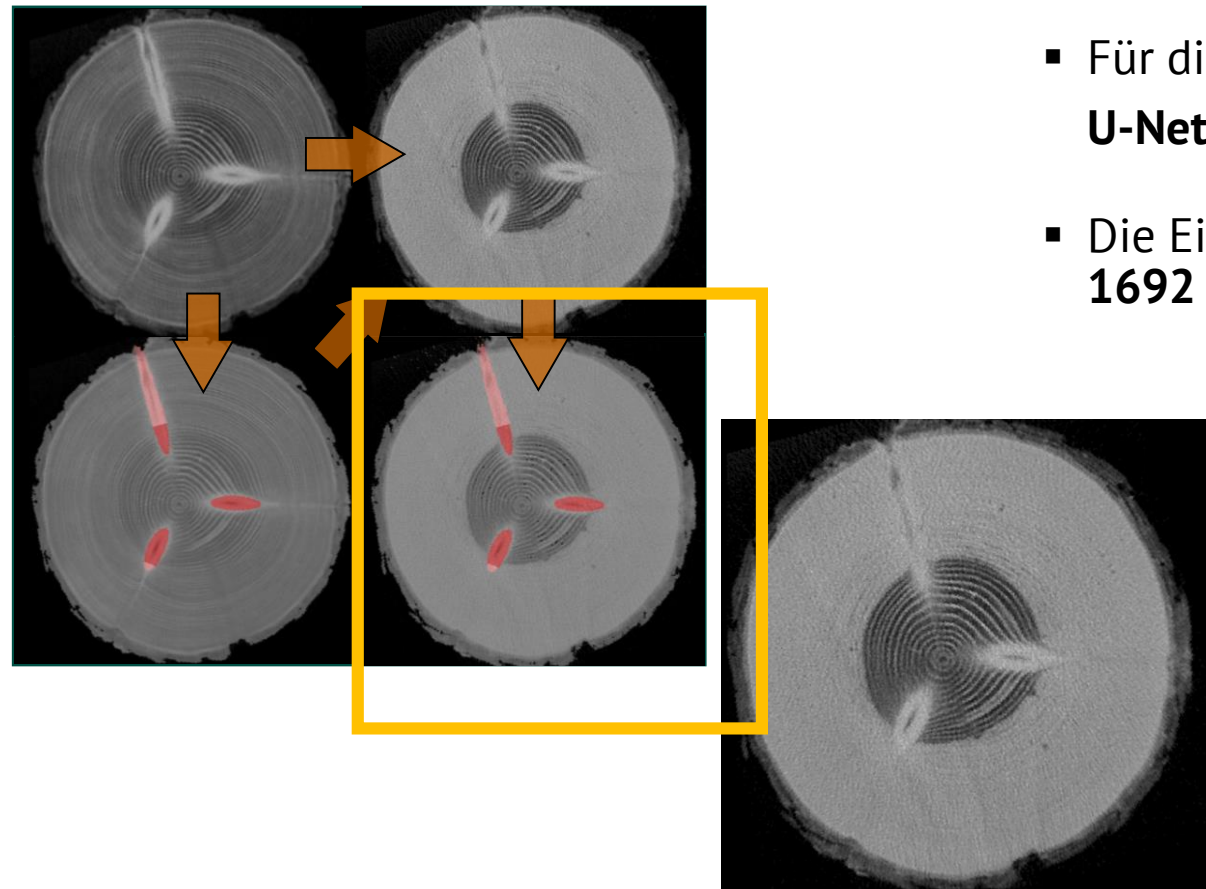
Knots/Points Alignment

	KnotNo	KnotID	Diam. [mm]	Knot Type	Knot start (x-coord) [mm]	Knot start (y-coord) [mm]	Knot start (z-coord) [mm]	Azimuth/[°]	Azimuthc/[°]	L1a [mm]	L1b [mm]	L1c [mm]	L3 [mm]	L4 [mm]	L4c [mm]	L5 [mm]	L6 [mm]	L2 [mm]	Set coord	
1	1.0	P.M.3.07.1.2.1	6.7	D	85.5	76.5	163.5	75.0	75.0	74.8	45.5	46.4	72.4	0.0	16.3	17.8	6.7	6.2	26.4	Set coord
2	2.0	P.M.3.07.1.2.2.3.7		D	85.5	76.5	163.5	180.5	180.5	39.9	41.4	75.0	0.0	10.3	9.8	7.2	4.2	28.6	Set coord	
3	3.0	P.M.3.07.1.2.3	5.1	D	85.5	76.5	164.0	315.9	318.5	31.4	32.0	65.0	0.0	15.3	21.0	8.1	5.5	34.5	Set coord	
4	Add Knot																			

Point Id	Coords [mm]	Diameter [mm]	Add	Remove	Set Coords
0	['85.5', '76.5', '163.5']	0.5	+	-	Set coords
1	['67.6', '75.9', '160.6']	6.7	+	-	Set coords
2	['44.9', '76.1', '156.8']	7.3	+	-	Set coords
3	['26.9', '75.8', '155.3']	6.2	+	-	Set coords
4	['10.5', '75.8', '155.8']	4.2	+	-	Set coords

01. Asterkennung im Splintholz und Totastgrenze

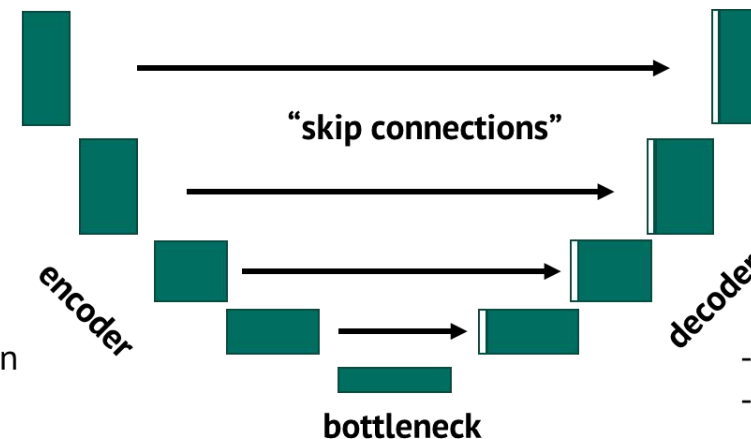
Annotation auf CT slices trocken



- Für die Entwicklung und das Training des neuronalen Netzes **U-Net** werden insgesamt ca. **3200 Einzeläste** annotiert.
- Die Eingangsgröße für die Analyse beträgt **1692 pixel x 1692 pixel**.

- Faltungsebenen
- max pooling

U-Net architecture

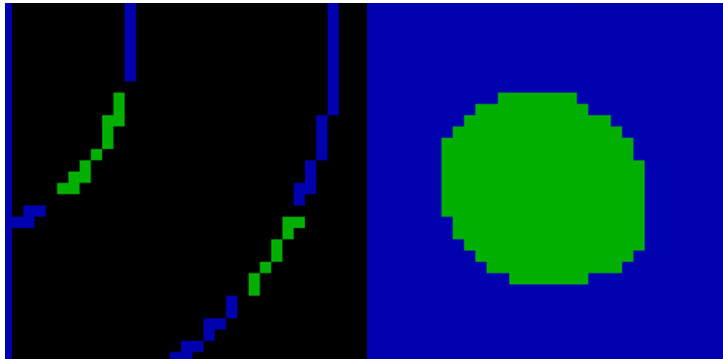


- Faltungsebenen
- up-convolution

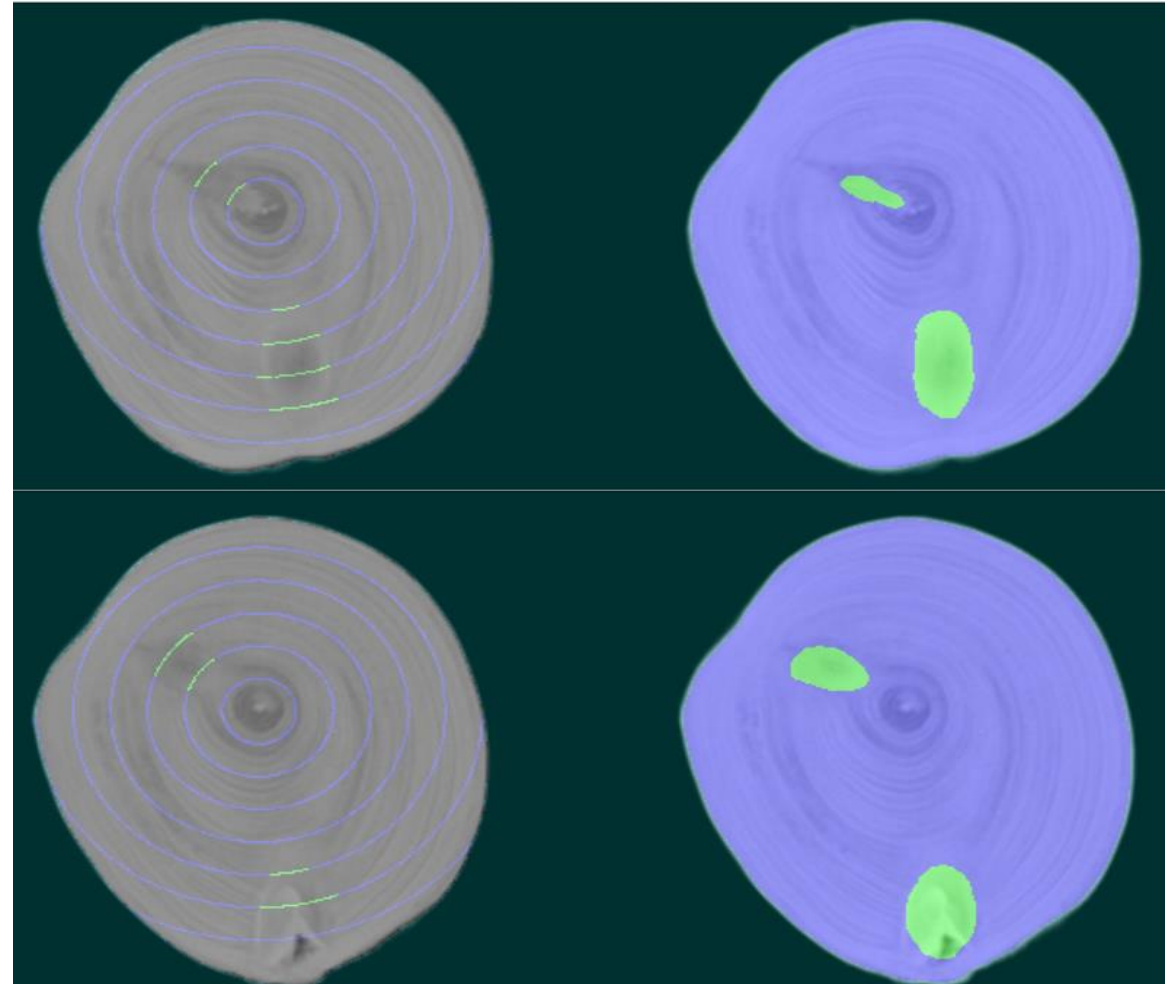
02. Asterkennung in Buche

- U-Net **3D**
- 103 Scans, 768x768x~900 Voxel
- „sparse annotations“

- Bestes Modell
 - ~37% IoU

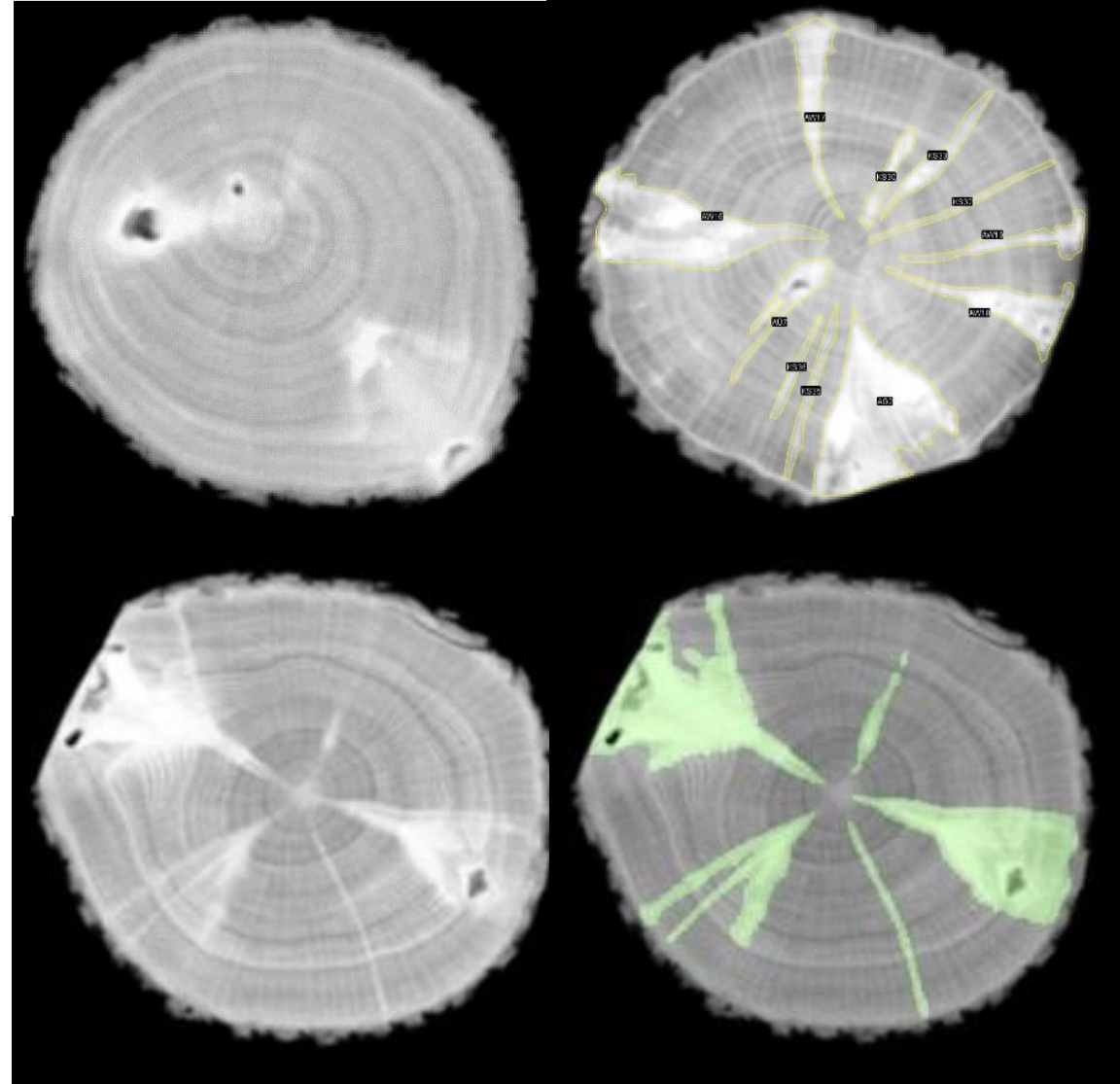
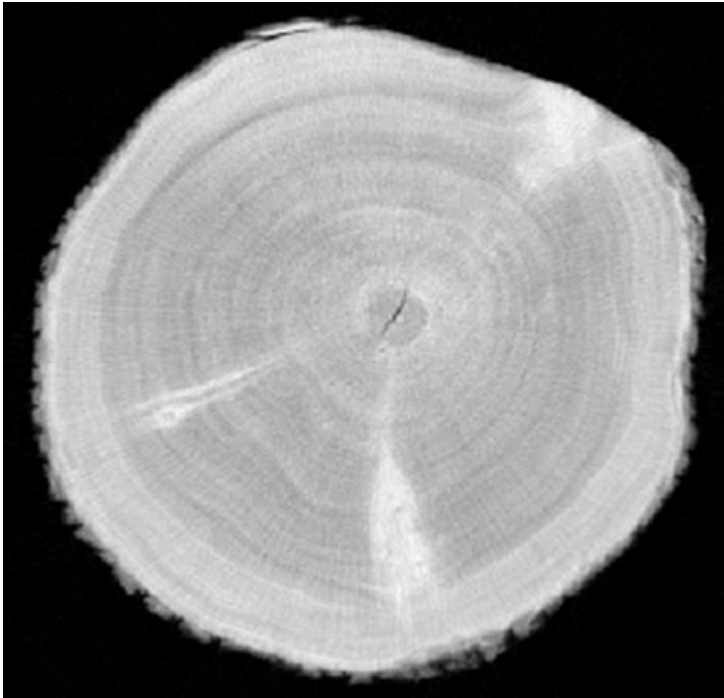


- inkorrekte Annotation führt zu niedriger Trainingsqualität
- Probleme bei Verfärbungen
- Probleme bei großen, steilen Ästen



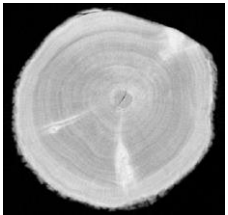
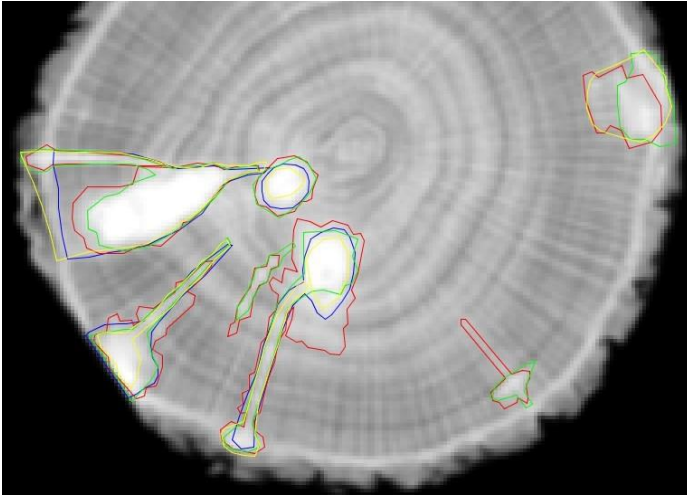
02. Asterkennung in Eiche

- U-Net
- 5 Scans, 768x768x~900 Voxel
- „große Komplexität“ der Asttypen
Vereinfachung im ersten KI-Modell
- immense Anzahl von Ästen



02. Asterkennung in Eiche

- Modellgüte abhängig von der Präzision der Trainingsdaten



- Segmentierung präzise, wo Annotation korrekt

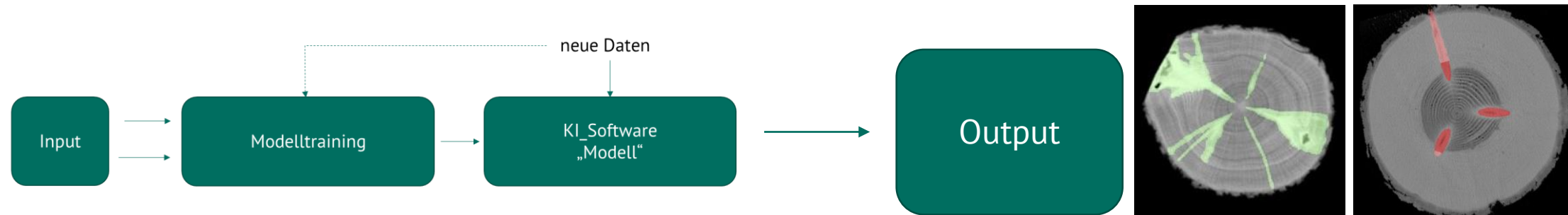


manuelle Segmentierung

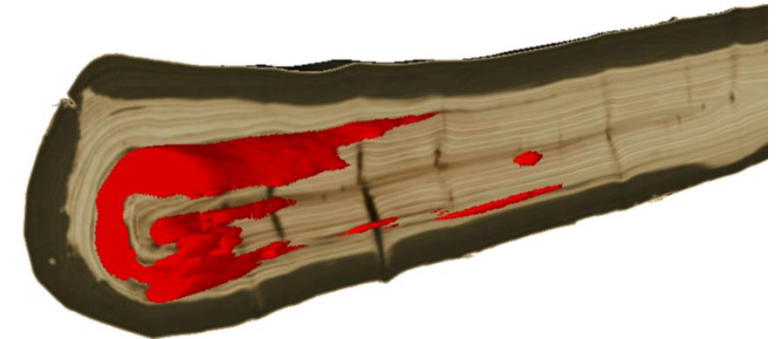


CNN-Modell

01. / 02. Computertomografie von Stammholz



- Output:
 - größter Durchmesser je Länge
 - Durchmesseränderung des Einzelasts
 - Anzahl Äste / Steiläste
 - Lokalisierung Totastgrenze
 - Stärke astfreier Mantel
 -
- **sehr viel tiefere Kenntnis der Rohholzressource**
- **differenzierter Qualitätsansprache Rohholz und Aushaltung**
- **effizienter Ressourceneinsatz**
- **auch neue Verwendungsoptionen für LH > z. B. Holzbau**

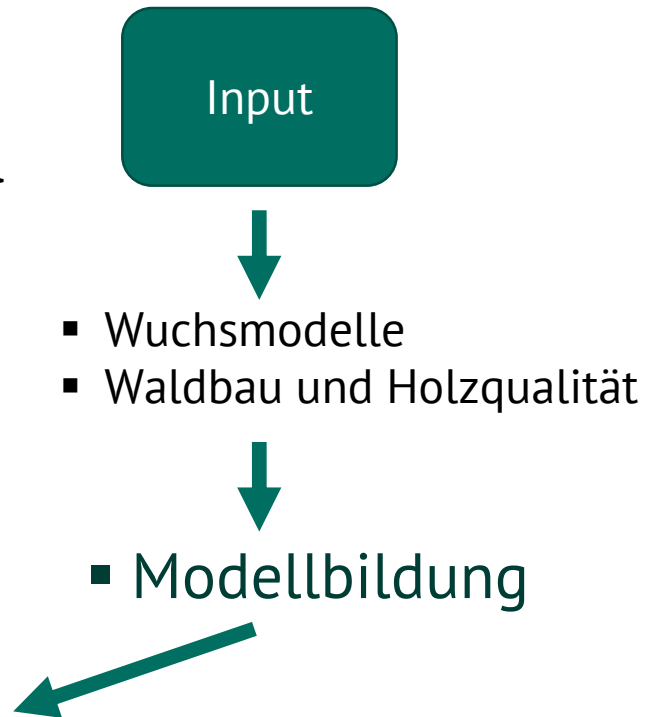


2.3	Sortierung nach Sortimenten und Sorten.....
2.3.1	Stammholz.....
2.3.2	Industrieholz.....
2.3.3	Energieholz.....
2.3.4	Sondersortimente.....
2.4	Qualitätssortierung von Stammholz.....
2.4.1	Qualitätssortierung von Nadelstammholz.....
2.4.2	Qualitätssortierung von Laubstammholz.....
2.5	Qualitätssortierung von Industrieholz.....
2.6	Sortierung von Energieholz.....

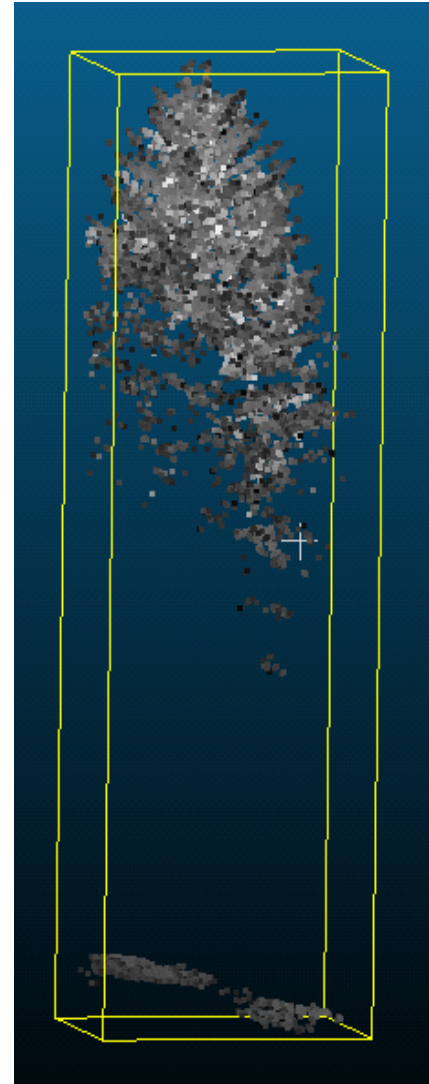
Bilder: Hochschule Trier, FAWF

01. / 02. Computertomografie von Stammholz

- Output:
- größter Durchmesser
- Durchmesseränderung
- Anzahl Äste / Steiläste
- Lokalisierung Totast
- Stärke astfreier Mantel
-



Mit weiterer KI-Anwendung:
Erweiterte Inventuroptionen
>>> Vorhersage der Stammholzqualität
(Weiterentwicklung Projekt ProQualTools)



03. Rückverfolgung Fichtenstammholz

Bei Fällung und Aufbereitung mit Lesesystem im Vollernter-Aggregat



Bei Zwischenlagerung auf Polter mit handgehaltenem Lesesystem

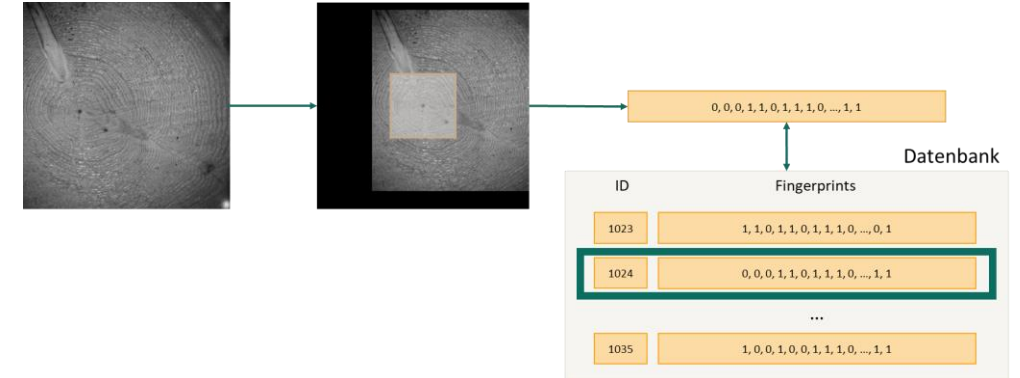


Beim Eingang ins Sägewerk vor und nach Kappschnitt

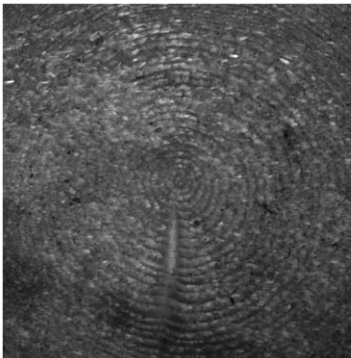


03. Rückverfolgung Fichtenstammholz

- Analyse der Mikrostrukturen der Oberflächen
- Objekte als „Fingerprints“ repräsentiert
 - Identifizierung durch Abgleich der Fingerprints
- Vorselektion durch Convolutional Neural Network (CNN) basierend auf **Inception V3 Klassifizierungsnetzwerk**
 - Hoher Einfluss großflächiger Merkmale
 - Vortrainiert mit ImageNet-Daten
 - 2 zusätzliche Schichten

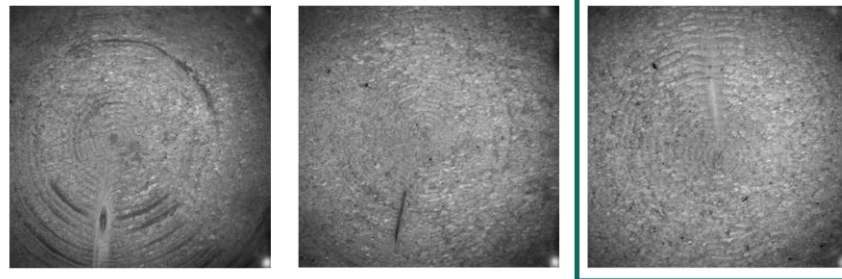


Gesuchte Stirnfläche:

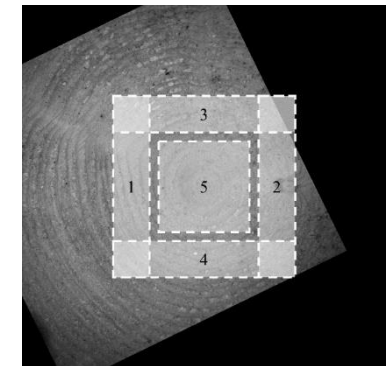


Sägewerksaufnahme

Mögliche vorselektierte Kandidaten:



Vollernteraufnahmen



03. Rückverfolgung Fichtenstammholz

- Aufteilung von 639 Stirnflächen



- Vorselektion von 10 Stirnflächen aus 65 Kandidaten per CNN
- Fingerprintabgleich der vorselektierten Stirnflächen

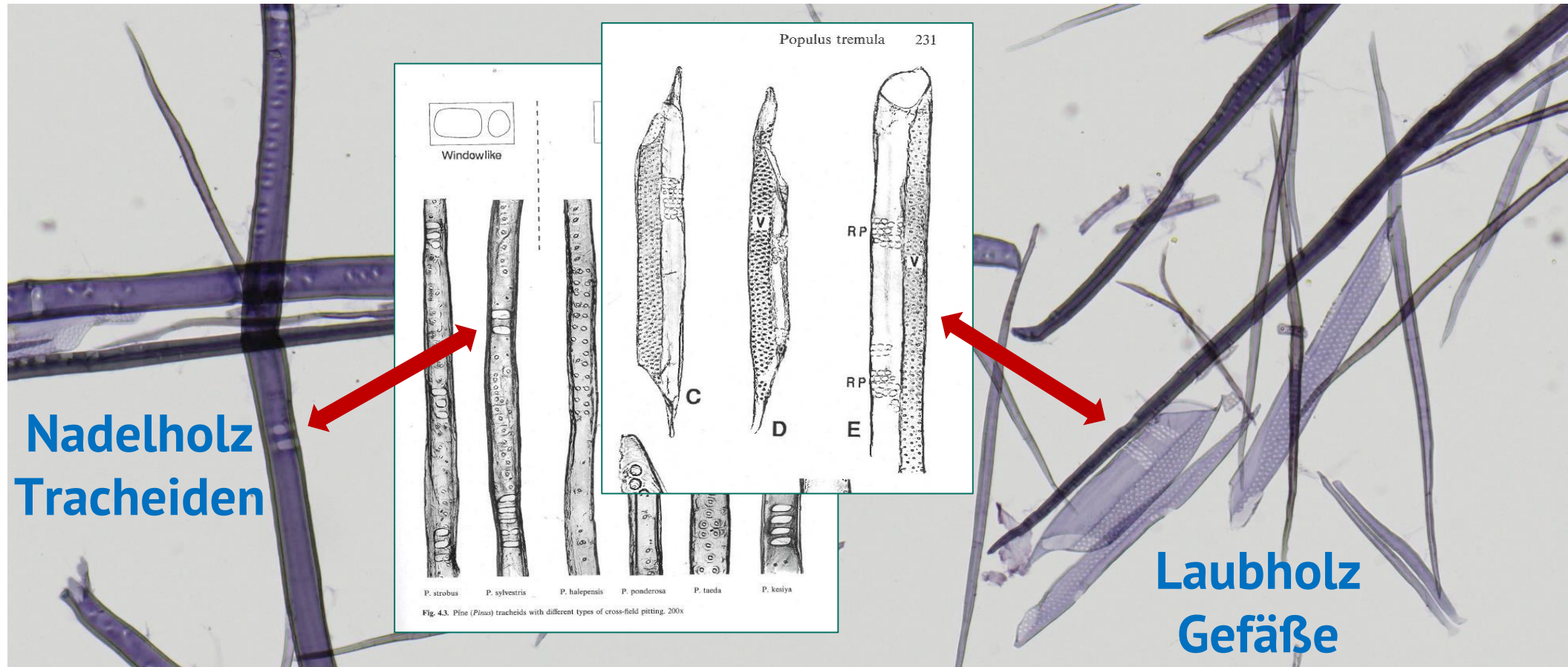
Station 1	Station 2	Anzahl Nichterkenntnisse	Anzahl Fehlerkenntnisse	Wieder- erkennungsrte
Vollernter	Sägewerk	0	0	100%
Polter	Sägewerk	0	0	100%
Vollernter	Polter	1	0	98,46%

04. KI_Wood-ID / Baumartenbestimmung in faserbasierten Materialien



- Keine makroskopische Einschätzung möglich
- Gewebeverbund ist aufgelöst
- Meist Mischpräparate
- DNA zerstört und ausgewaschen

04. KI_Wood-ID / Baumartenbestimmung in faserbasierten Materialien



04. KI_Wood-ID

WoodFiberID: Entwicklung einer Benutzeroberfläche (KI) für die automatisierte Laubholzartenerkennung



The screenshot displays the WoodFiberID software interface. On the left, a file list shows various .czi files, with '12. BP_011_AH_01.czi' selected. The central area features a microscopy image of wood fibers with numerous red rectangular detection boxes. Below this image is a 'Detection confidence threshold' slider set to 0.5, and three buttons: 'Detect', 'Classify', and 'Reset Analysis'. At the bottom left, a 'coloring' section shows the file path: '/home/workspace/holzartist_test_data/BP_011_AH_01.czi'. To the right of the central image, a table displays analysis results:

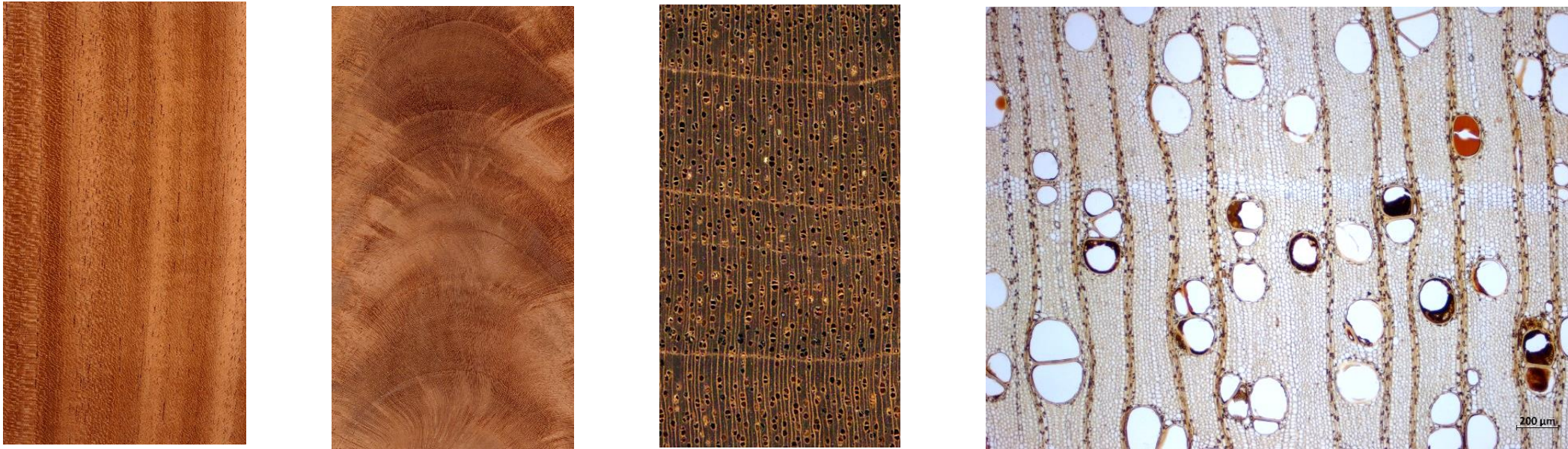
Detection confidence threshold [0.05-0.95]	
Detection confidence threshold [0.05-0.95]	0.5
Detection duration [s]	2 seconds
Number of detected vessels	184
Classification duration [s]	32 seconds
Popu	61.96%
Betu	20.65%

On the far right, a panel titled 'Popu (114)' shows a list of five entries, all labeled 'Popu 1.0'.

Kooperation Thünen-Institut mit dem Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM)

05. Machine-learning-basierte mikroskopische Holzartenbestimmung

- am Beispiel der CITES-geschützten Holzart *Swietenia macrophylla* (Echtes Mahagoni)



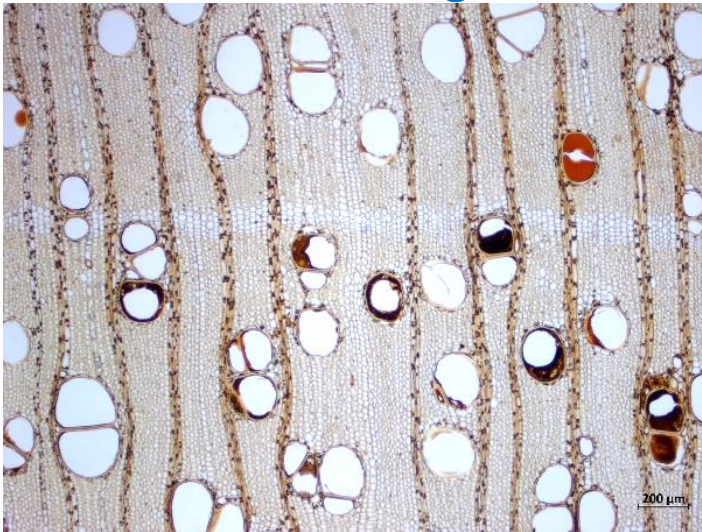
Swietenia spp. (Echtes Mahagoni, True Mahogany) - CITES II

- Familie:** MELIACEAE. Weitere handelsrelevante Arten: Arten: *S. macrophylla*, *S. mahagoni*, *S. humilis*
- CITES (EU) Schutzstatus:** Geschützt unter **Anhang II(B)**
- Ähnliche Hölzer:** Andiroba (*Carapa guianensis*); Cedro (*Cedrela* spp.); Tiama (*Entandrophragma angolense*); Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*); Sipo (*Entandrophragma utile*); Bossé (*Guarea* spp.); Khaya (*Khaya* spp.); Louro vermelho (*Sextonia rubra*)

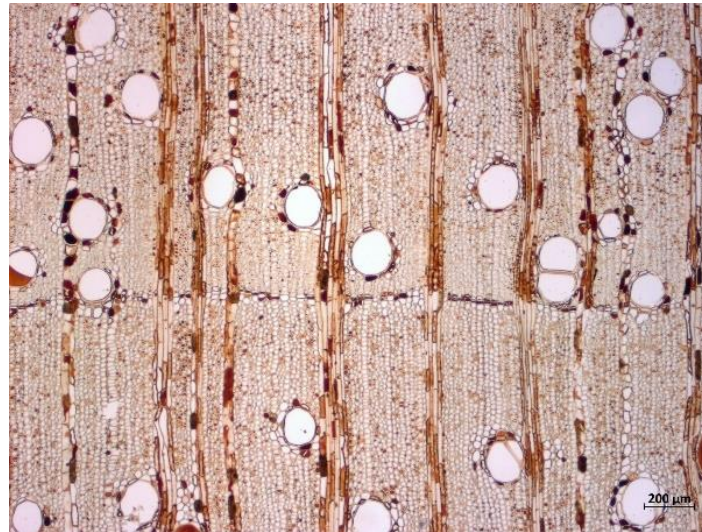
05. Machine-learning-basierte mikroskopische Holzartenbestimmung

- Entwicklung von **Convolutional Neural Networks (CNNs)** die viele Fortschritte im Bereich der Bildklassifizierung erzielt und sich als Standard für Bildklassifikationsaufgaben etabliert haben
- Für die Entwicklung und das Training des neuronalen Netzes **MobileNetV2** wurden insgesamt **6964 mikroskopische Querschnittsaufnahmen** (4-fache Objektiv-Vergrößerung) erstellt und analysiert

Echtes Mahagoni



Tiama



Kosipo



- Mikroskopische Aufnahmen zur Charakterisierung der diagnostischen Strukturmerkmale

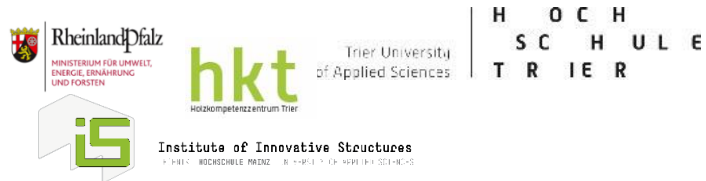
- KI kann vielfältige Fragestellungen in der Analyse bildbasierter Daten für die Holzforschung lösen
- KI-basierte forst- und holzpraktische Anwendungen sind bereits vorhanden, beziehungsweise auf dem Weg
- Der Weg zu marktreifen Lösungen setzt jedoch viel Vorarbeit voraus: Entwicklung der notwendigen Testtrainingsdatensätze benötigt viele Ressourcen und Zeit
- KI-Ansätze dort sinnvoll, wo die Datenstruktur komplex und heterogen ist

Vielen Dank für Kooperation und Förderung

01. Holzstrukturen in Nadelholz
 Projekt ReadiStrength
 Projekt WAI-KnotCT
 Projekt ProQualtools



02. Erkennung von Ästen in Laubholz (Buche, Eiche)
 Projekt EichenSysteme



03. Rückverfolgung von Fichtenstammholz
 Projekt DiGeBast



04. Entwicklung von automatisierten (digitalen) Bilderkennungssystemen zur Holzartenbestimmung mittels künstlicher Intelligenz; KI_Wood-ID



05. Machine-learning-basierte mikroskopische Holzarten-bestimmung am Beispiel von Echtem Mahagoni (*Swietenia macrophylla*)



Gefördert durch



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Vielen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!

Franka Brüchert,
franka.bruechert@forst.bwl.de
FVA Baden-Württemberg, Abteilung Waldnutzung

Dank an:
Martin Huber, FVA-WN
Thomas Reichert, FVA-WN
Jörg Staudenmaier, FVA-WN
Andrea Olbrich, Thünen-Institut
Gerald Koch, Thünen-Institut
Udo H. Sauter