



# Erfassung und Quantifizierung von windgeworfenen Baumstämmen auf UAV-Orthomosaiken

Stefan Reder, Jan-Peter Mund

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

*Umweltinformationssysteme 2024:  
Digitalisierung für eine nachhaltige  
Planetare Zukunft*

*Bamberg 10. bis 12. April 2024*





## ZIELE:

### Verbesserung des

#### Sturm-RISIKO-Management

Vermeidung und Reduktion von  
Sturmschäden in  
bewirtschafteten Wäldern

#### Sturm-KRISEN-Management

Schnelle Erfassung und  
Bewertung von  
sturmgeschädigten Wäldern



Hochschule  
für nachhaltige Entwicklung  
Eberswalde



### Sturmschadens- erkennung

- Erkennung von Sturmschäden auf Basis von Copernicus Satellitendaten (Sentinel 1 & 2)
- Schadensbewertung durch KI-Analysen von UAV-Orthomosaiken



### Sturmschadens- vulnerabilität

- Waldwachstums- und Vulnerabilitätsmodellierung auf Bestandesebene



Sozialwissenschaftliche Begleitforschung

# Integrierter 2-skaliger Ansatz für die Erkennung und Bewertung von Sturmschäden in Wäldern

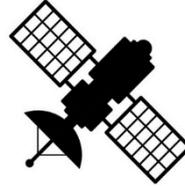


Projektziel:

Verbesserung des  
**Sturm-KRISEN-  
Management**

Schnelle Erfassung und  
Bewertung von  
sturmgeschädigten  
Wäldern

Scale



Identifizierung von Sturmschadensflächen mit  
Copernicus Sentinel 1

Detektion und Quantifizierung von  
windgeworfenen Baumstämmen auf UAV-  
Orthomosaiken



# Detektion und Quantifizierung von windgeworfenen Baumstämmen auf UAV-Orthomosaiken



## Projektziel:

### Verbesserung des Sturm-KRISEN- Management

Schnelle Erfassung und  
Bewertung von  
sturmgeschädigten  
Wäldern

Verbesserung des Krisenmanagements durch  
Bereitstellung von Informationen über die räumliche  
Verteilung und das Volumen der geworfenen Stämme

- Unterstützung bei der Planung der Aufarbeitung
- Verringerung des Unfallrisikos
- Verringerung des Risikos von Folgeschäden (z. B. durch Borkenkäferbefall)
- ...

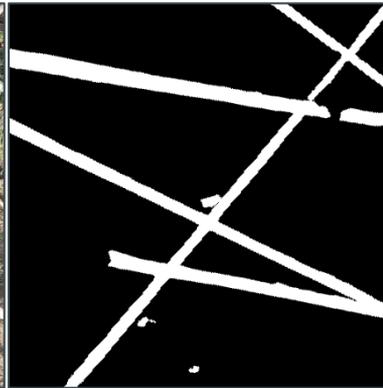
# Detektion und Quantifizierung von windgeworfenen Baumstämmen auf UAV-Orthomosaiken



UAV -  
Orthomosaic



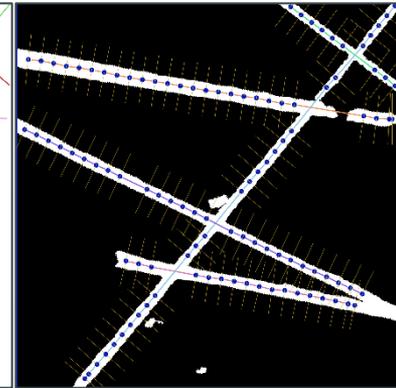
Semantische  
Segmentierung



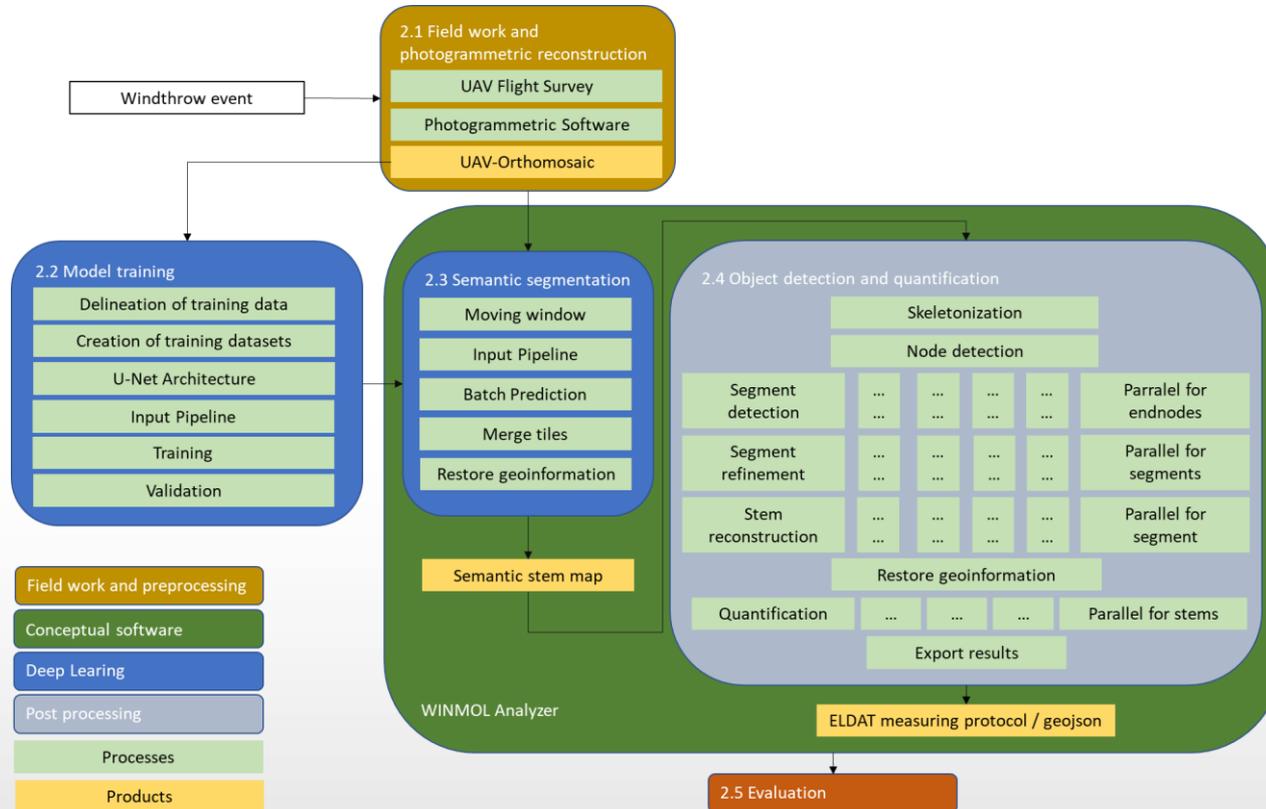
Objekterkennung und  
Rekonstruktion



Quantifizierung



# Detektion und Quantifizierung von windgeworfenen Baumstämmen auf UAV-Orthomosaiken



WINMOL Analyzer QGIS Plugin  
available on Github  
[https://github.com/StefanReeder/WINMOL\\_Analyzer](https://github.com/StefanReeder/WINMOL_Analyzer)  
OR  
[https://stefanreeder.github.io/WINMOL\\_Analyzer/index.html#gallery02-v](https://stefanreeder.github.io/WINMOL_Analyzer/index.html#gallery02-v)

# UAV-Datenaufnahme



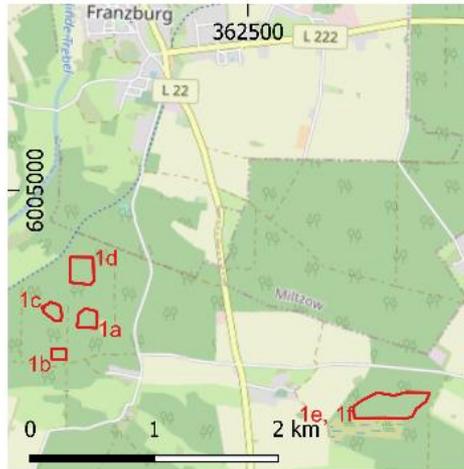
21 Schadflächen in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg

UAVs: Phantom 4 RTK, Phantom 3, Mavic 2 Pro, Mavic Pro

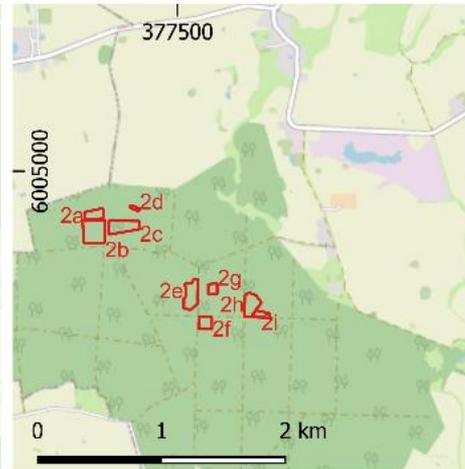
Flugplan Templates: "nadir" oder "oblique"

Flughöhe: 50 m – 100 m

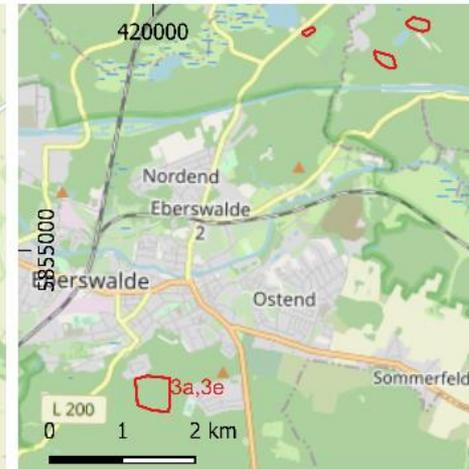
Ground Sampling Distance (GSD): 1,2 cm – 2 cm (17 Flächen im Feb. 2022); 4,3 cm - 6,3 cm (4 Flächen 2017)



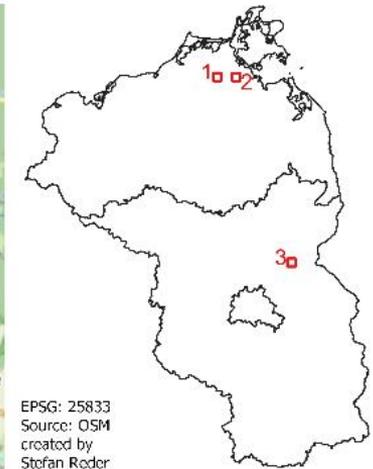
1 Barnekow



2 Bremerhagen



3 Eberswalde



EPSG: 25833  
Source: OSM  
created by  
Stefan Roder

Windthrow areas

# Erzeugen von Trainingsdaten





- **Markierung der Stämme mit Polygonen**
- **1747 Stämme**



- **Markierung der Stämme mit Polygonen**
- **1747 Stämme**
- **Rotierte Kacheln 15m x 15m**

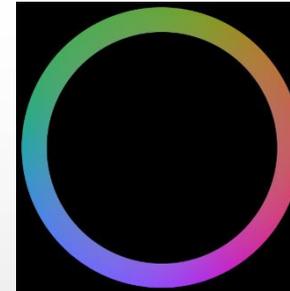


- Markierung der Stämme mit Polygonen
- 1747 Stämme
- Rotierte Kacheln 15m x 15m
- 450 Kacheln/ha

\*Abb. 45 Kacheln/ha



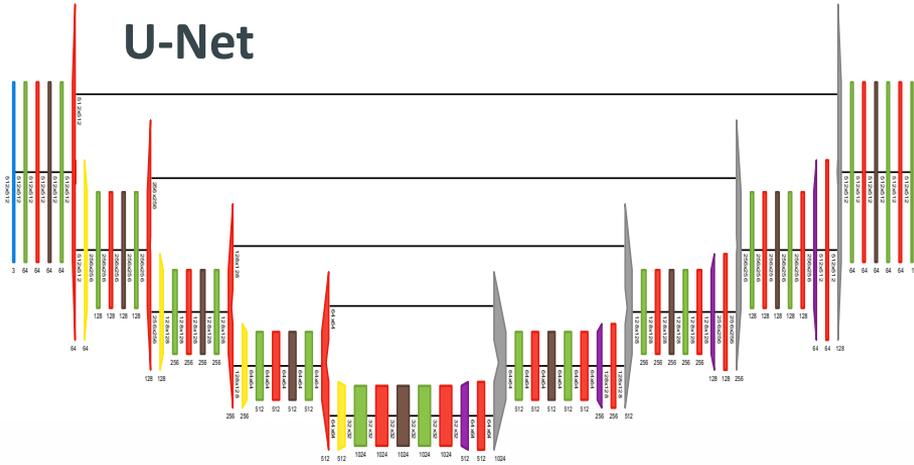
- **Helligkeit**      **+/-10%**
- **Sättigung**      **+/-5%**
- **Kontrast**      **+/-5%**
- **Hue**              **+/-10%**



# Modell Training



## U-Net



- 3 Modelle:
  - Fichte (GSD < 2cm)
  - Universal (kombiniert)
  - Buche (GSD > 4,3 cm)
- 10k – 25k Kacheln / Modell
- Trainingszeit 3 - 5 Stunden
- NVIDIA Geforce 3090

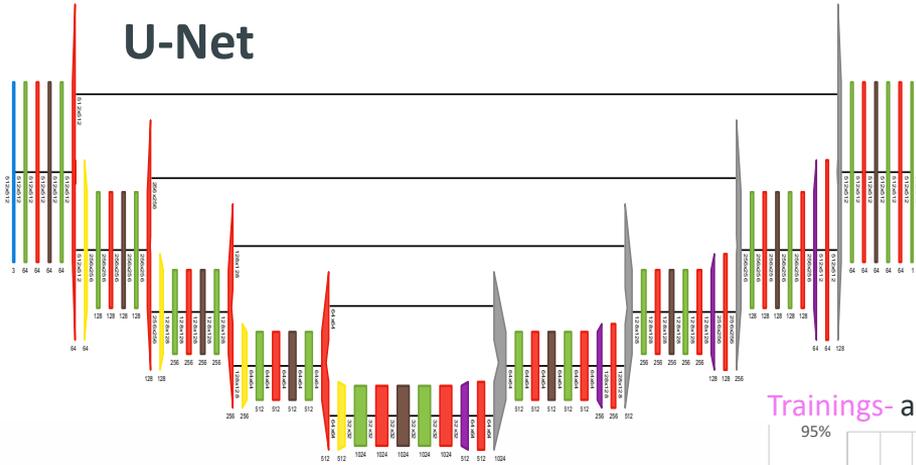
Reder, S.; Mund, J.-P.; Albert, N.; Waßermann, L.; Miranda, L. (2022). Detection of Windthrown Tree Stems on UAV-Orthomosaics Using U-Net Convolutional Networks. <https://doi.org/10.3390/rs14010075>

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)

# Modell Training

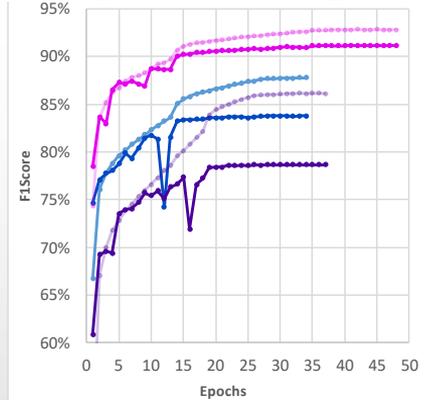


## U-Net



- 3 Modelle:
  - Fichte (GSD < 2cm)
  - Universal (kombiniert)
  - Buche (GSD > 4,3 cm)
- 10k – 25k Kacheln / Modell

## Trainings- and Validierungsmetrik



$$F1Score = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall + \epsilon}$$

$$with\ precision = \frac{true\ predictions}{total\ number\ of\ predicitions'}$$

$$recall = \frac{true\ predictions}{total\ number\ of\ instances}$$

and  $\epsilon \rightarrow \lim 0$ ; F1Score  $\in [0,1]$

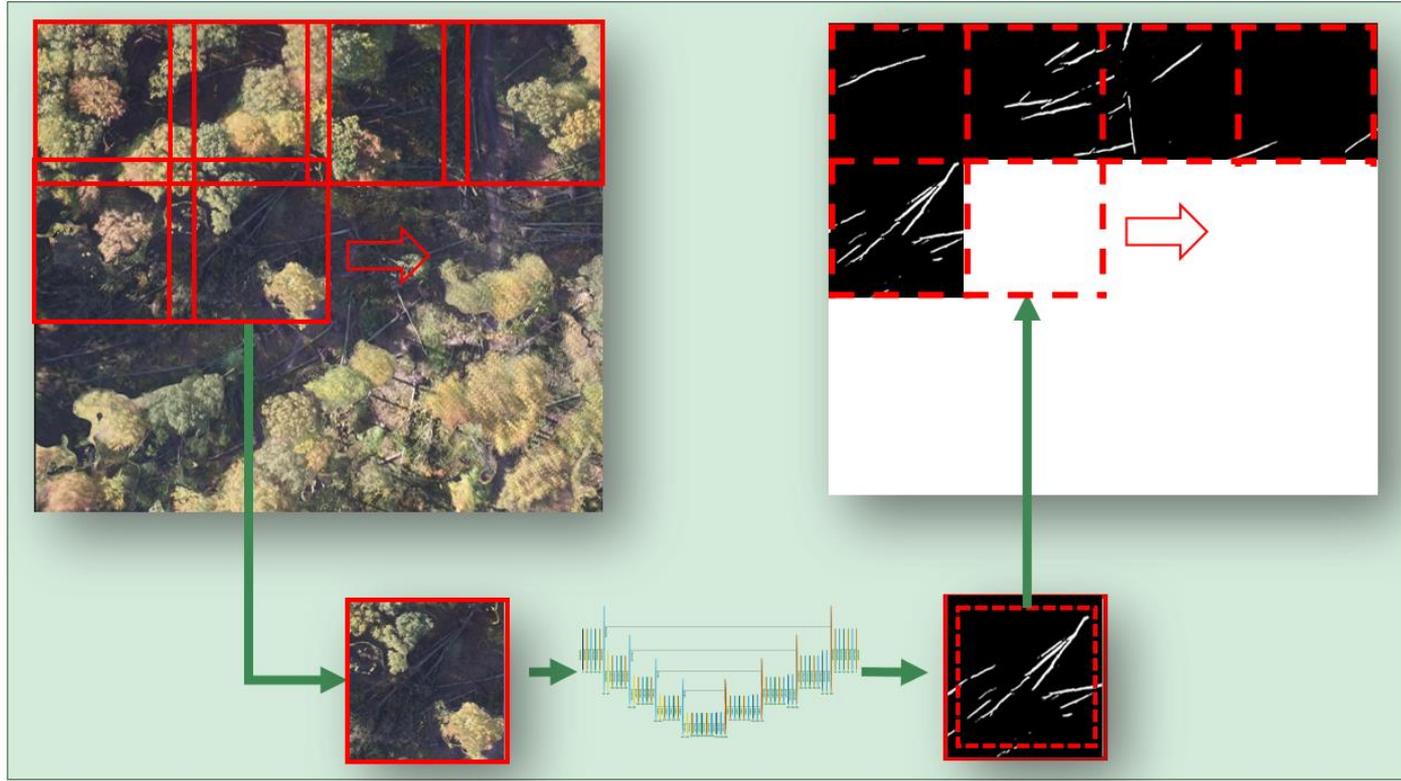
Reder, S.; Mund, J.-P.; Albert, N.; Waßermann, L.; Miranda, L. (2022). Detection of Windthrown Tree Stems on UAV-Orthomosaics Using U-Net Convolutional Networks. <https://doi.org/10.3390/rs14010075>

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28)

# Semantische Segmentierung



UAV -  
Orthomosaik

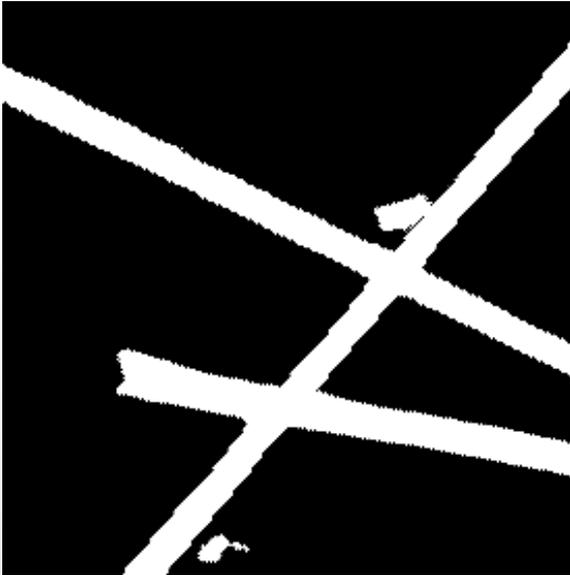


Semantische  
Stammkarte

# Objekterkennung - Skeletonisierung



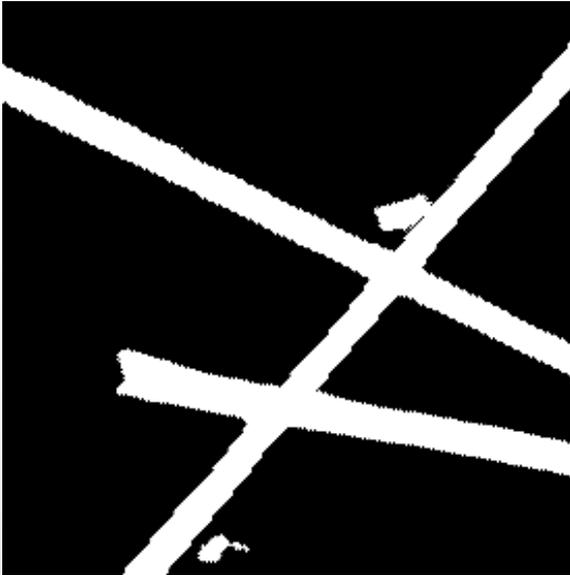
Semantische  
Stammkarte



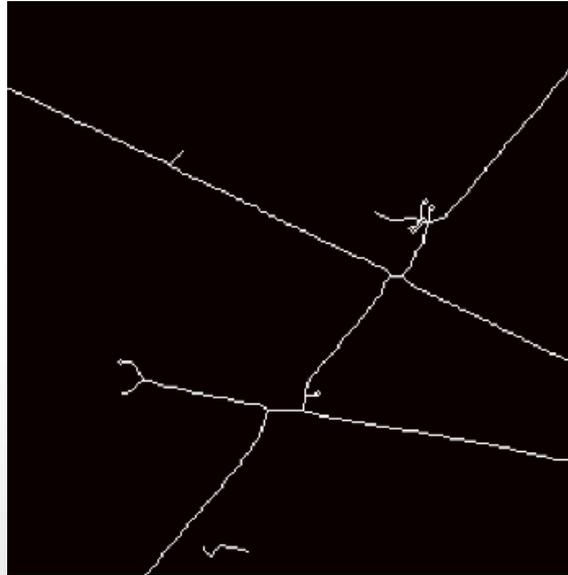
# Objekterkennung - Skeletonisierung



Semantische  
Stammkarte



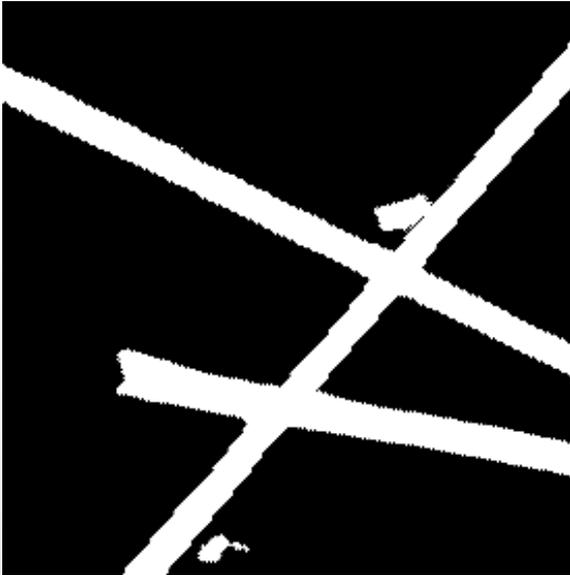
Skeletonisierung  
(Zhang 84)



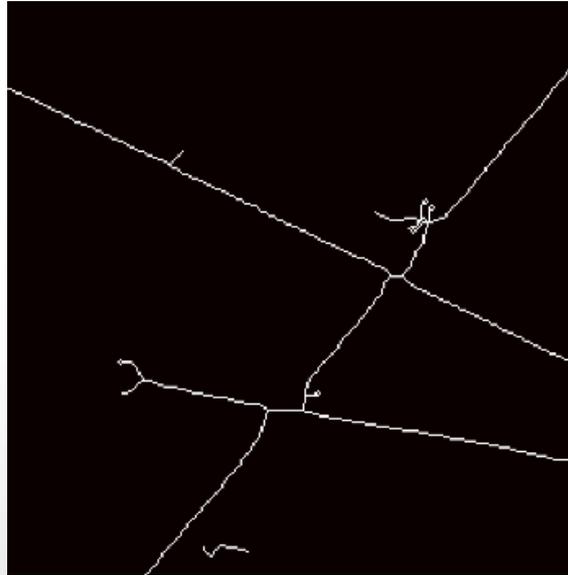
# Objekterkennung - Skeletonisierung



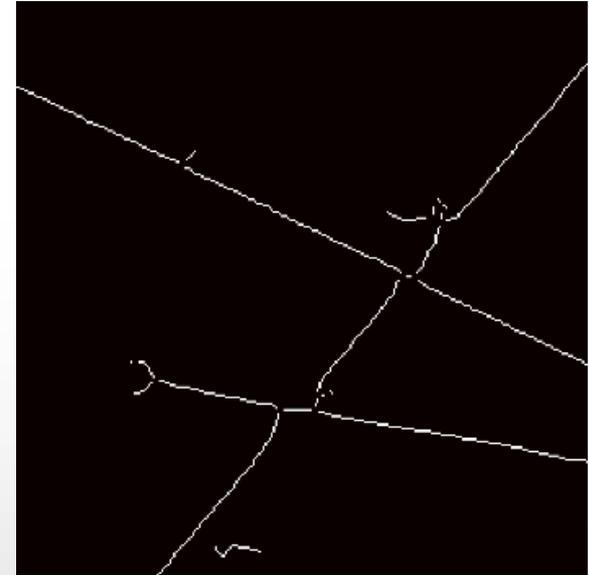
Semantische  
Stammkarte



Skeletonisierung  
(Zhang 84)



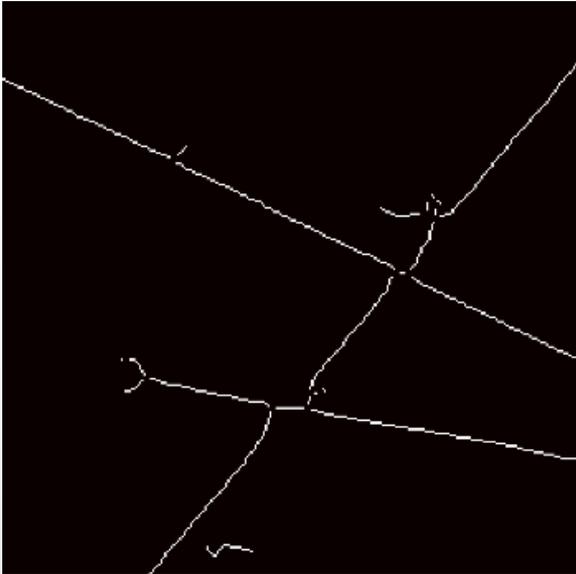
Konnektivität  
aufheben



# Objekterkennung – Definition von Messpunkten



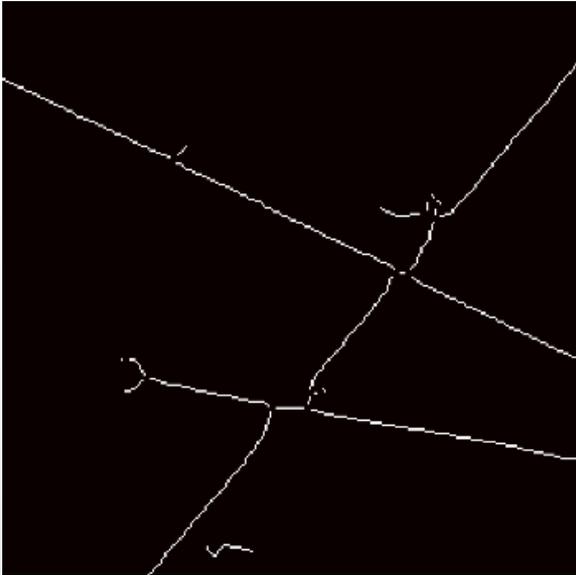
Skeletonsegmente



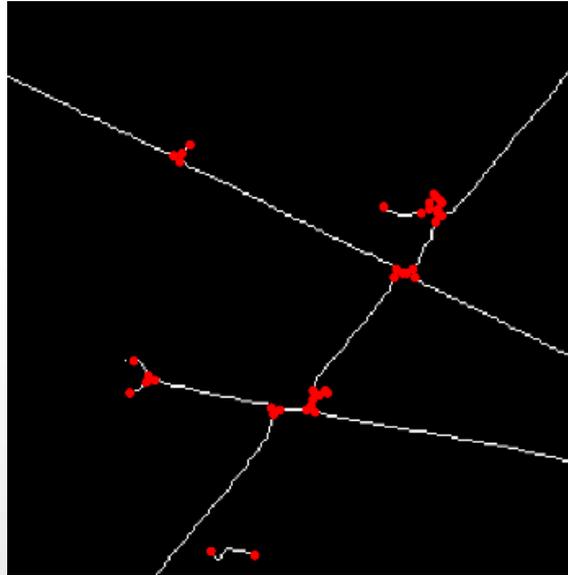
# Objekterkennung – Definition von Messpunkten



Skeletonsegmente



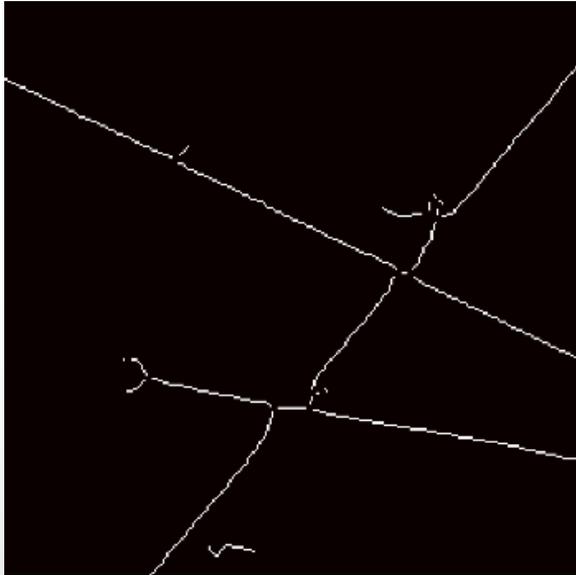
Detektion von Endpunkten



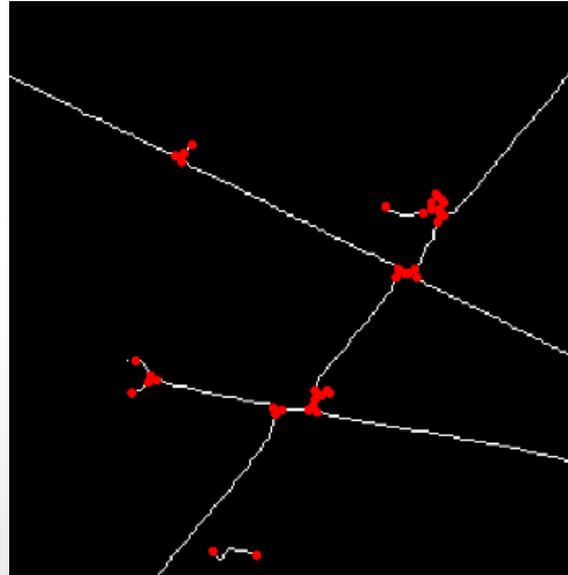
# Objekterkennung – Definition von Messpunkten



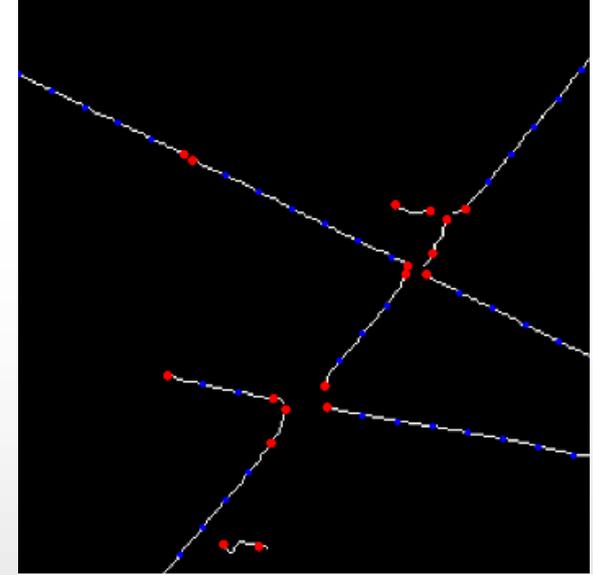
Skeletonsegmente



Detektion von Endpunkten



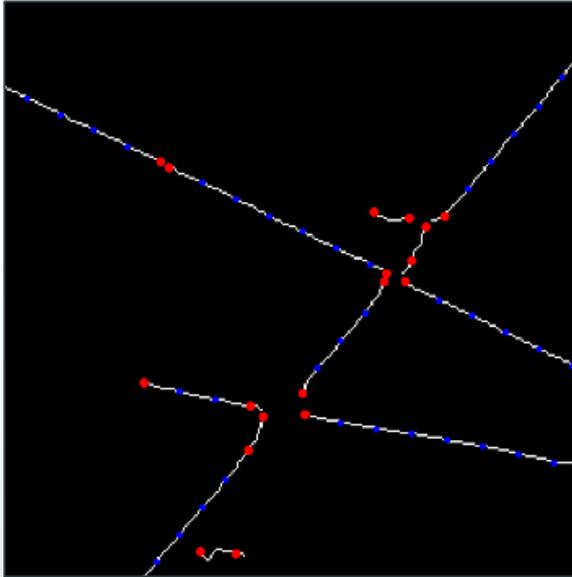
Definition von Messpunkten



# Objekterkennung – Vektorisierung und Stammrekonstruktion



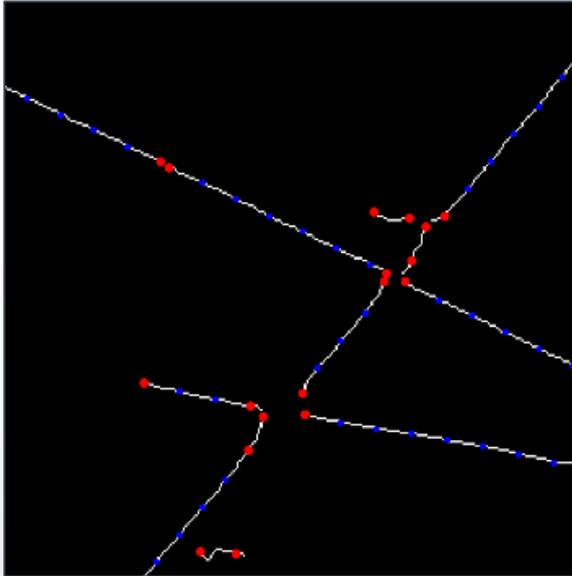
Skeletonsegmente mit  
Messpunkten



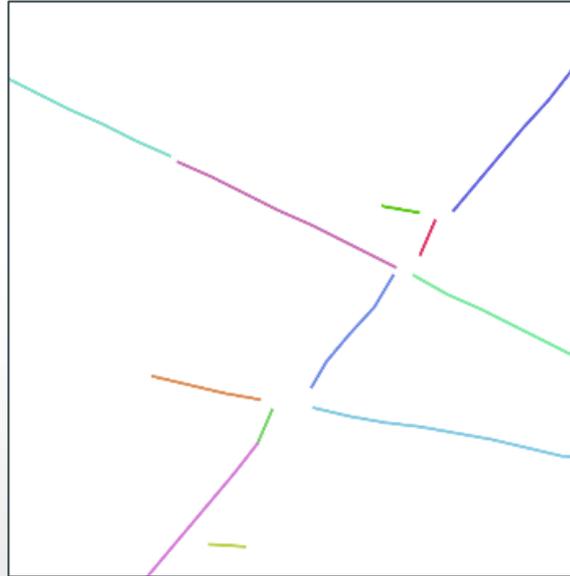
# Objekterkennung – Vektorisierung und Stammrekonstruktion



Skeletonsegmente mit  
Messpunkten



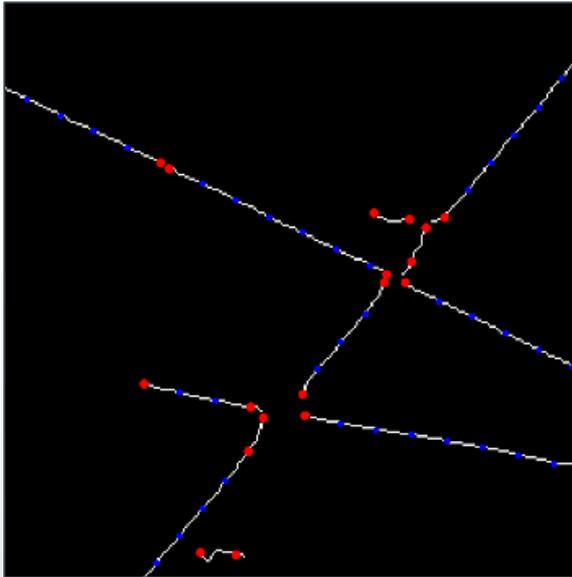
Vektorisierung der  
Segmente



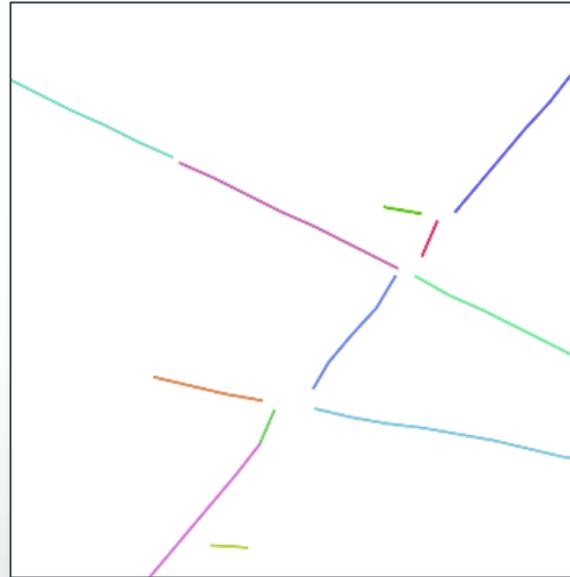
# Objekterkennung – Vektorisierung und Stammrekonstruktion



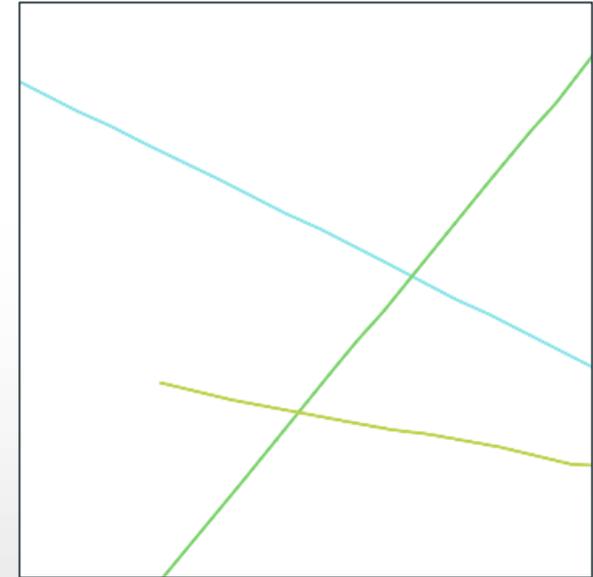
Skeletonsegmente mit  
Messpunkten



Vektorisierung der  
Segmente

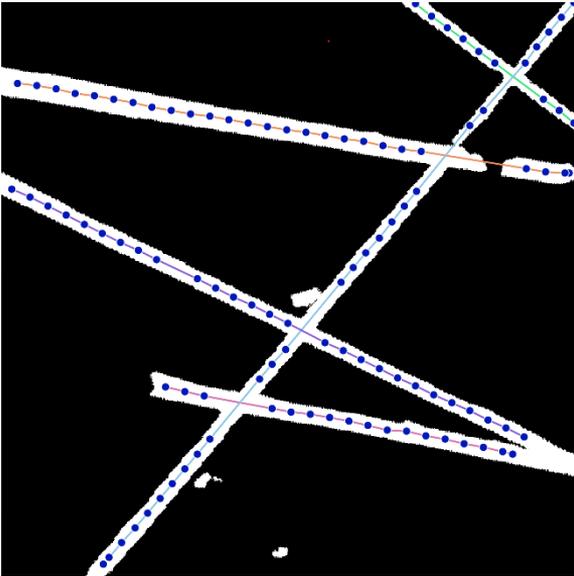


Rekonstruktion der Stämme basierend auf  
einem heuristischen Bewertungssystem



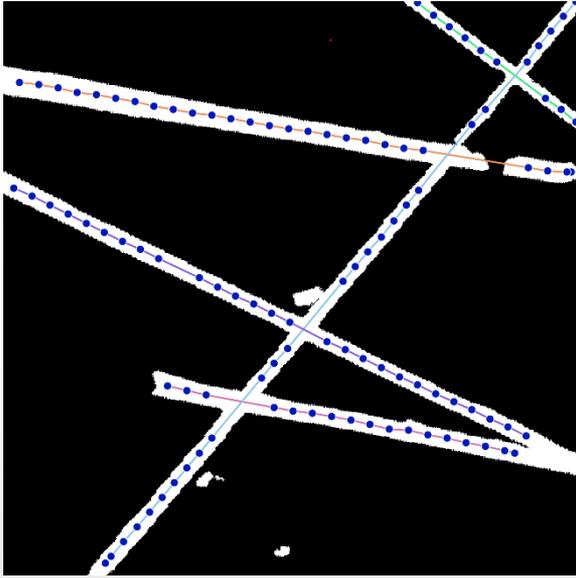


Rekonstruierte Stämme mit  
Messpunkten

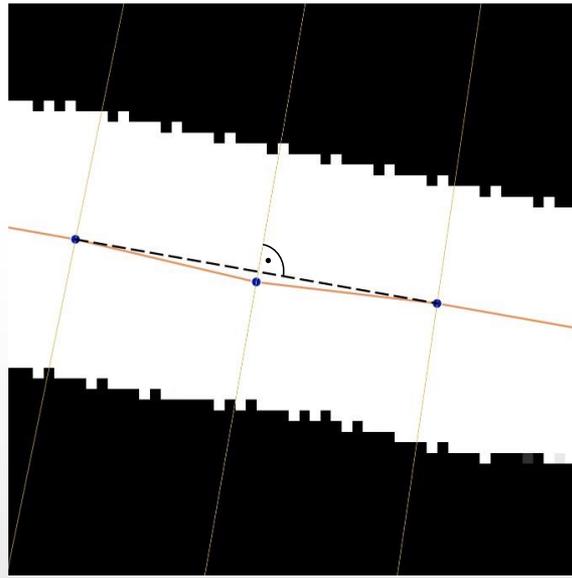




Rekonstruierte Stämme mit  
Messpunkten

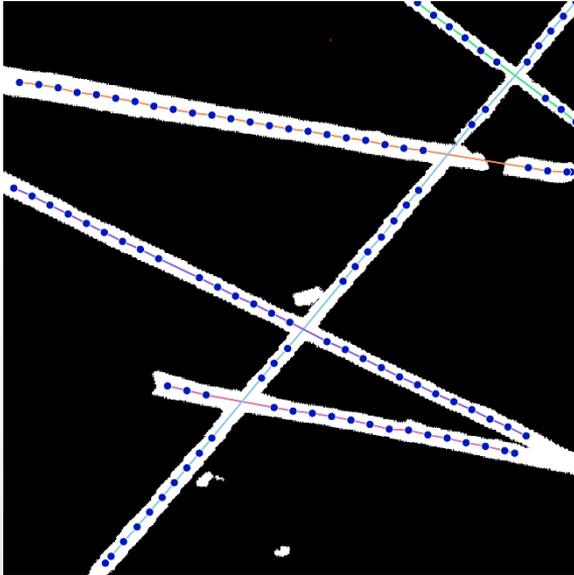


Ermittlung der  
Stammdurchmesser

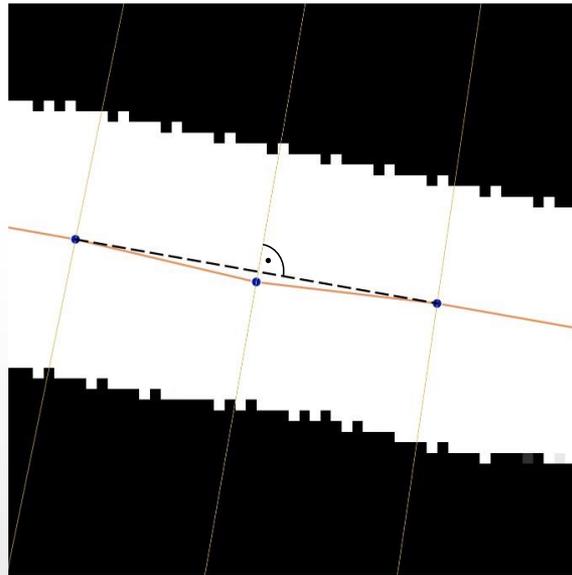




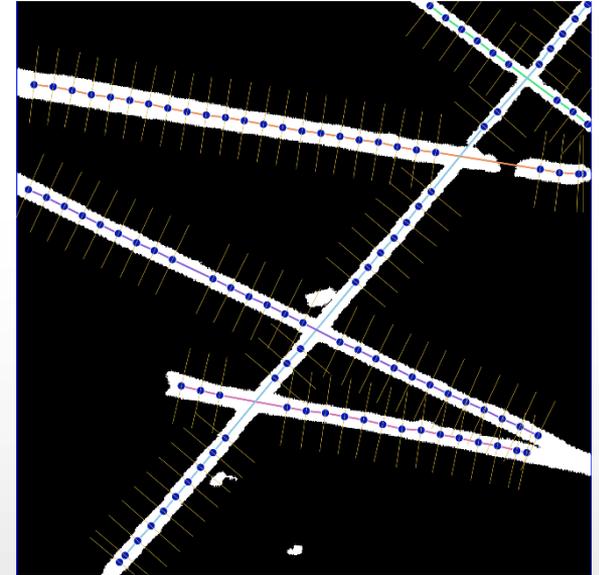
Rekonstruierte Stämme mit  
Messpunkten



Ermittlung der  
Stammdurchmesser



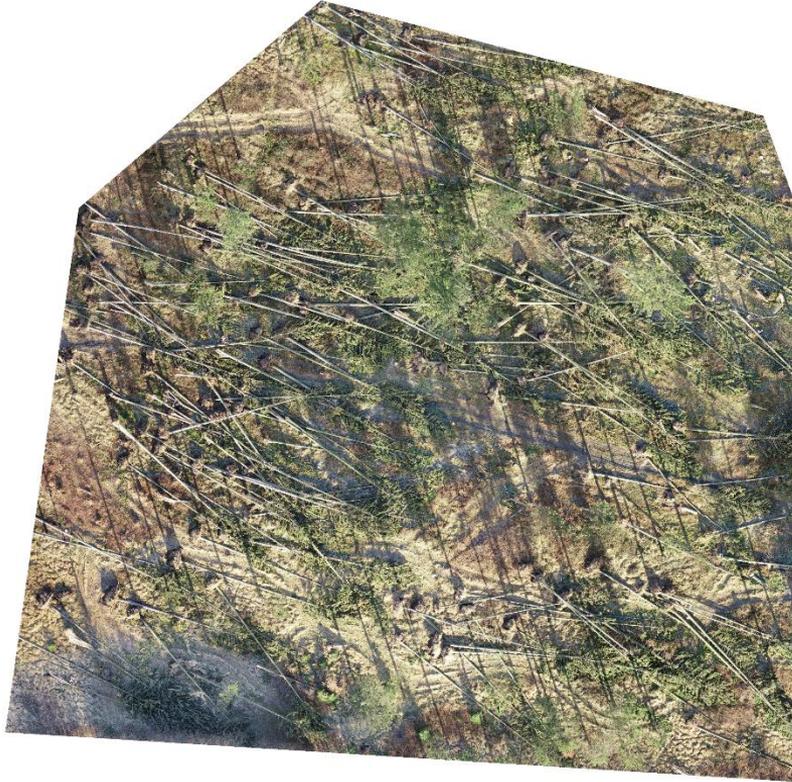
Berechnung der Stammvolumina als  
Summe von Kegelstumpfvolumen



# Quantifizierung



# Ergebnisse – Beispielfläche Barnekow 1



**Fläche:**

2.14 ha

**Flugparameter:**

65 m, Nadir,  
90% Überlappung

440 Bilder

GSD: 1,5 cm

**Flugzeit:**

0:18:14 h

**Berechnung des Orthomosaiks:**

2:52:56 h

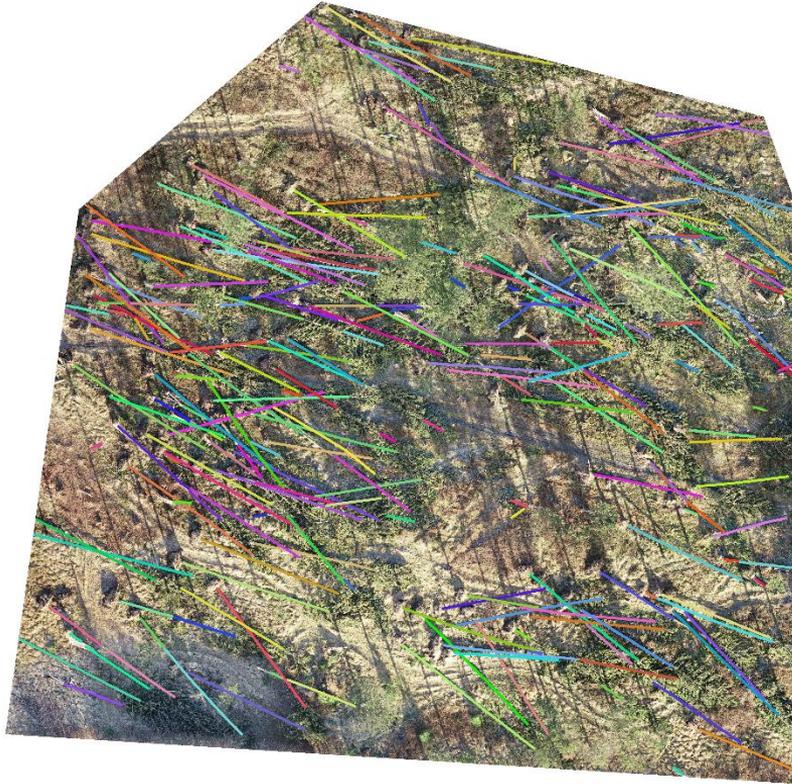
**Semantische Segmentierung:**

0:00:54 h

**Objekterkennung und Quantifizierung:**

0:03:36 h

# Ergebnisse – Beispielfläche Barnekow 1



198 geworfene Stämme(Referenzdaten)

241 Stämme erkannt

Detektionsrate ( $L > 50\%$ ) = 91,4%

Detektionsrate ( $L > 25\%$ ) = 98,5%

3 Klassifizierungsfehler

4 Rekonstruktionsfehler

Fehlerrate 3.5%

# Klassifizierungs- und Rekonstruktionsfehler



## Classification Errors



Bremerhagen 9  
water filled skidding tracks



Ruheforst  
shadows

### Stem detection

- Classification Errors
- Reconstruction Error
- Predicted stems
- ...
- ...

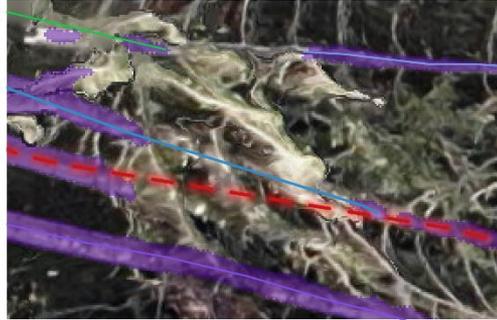
### Semantic segmentation

- General Model
- Spruce Model
- Beech Model

## Reconstruction Errors



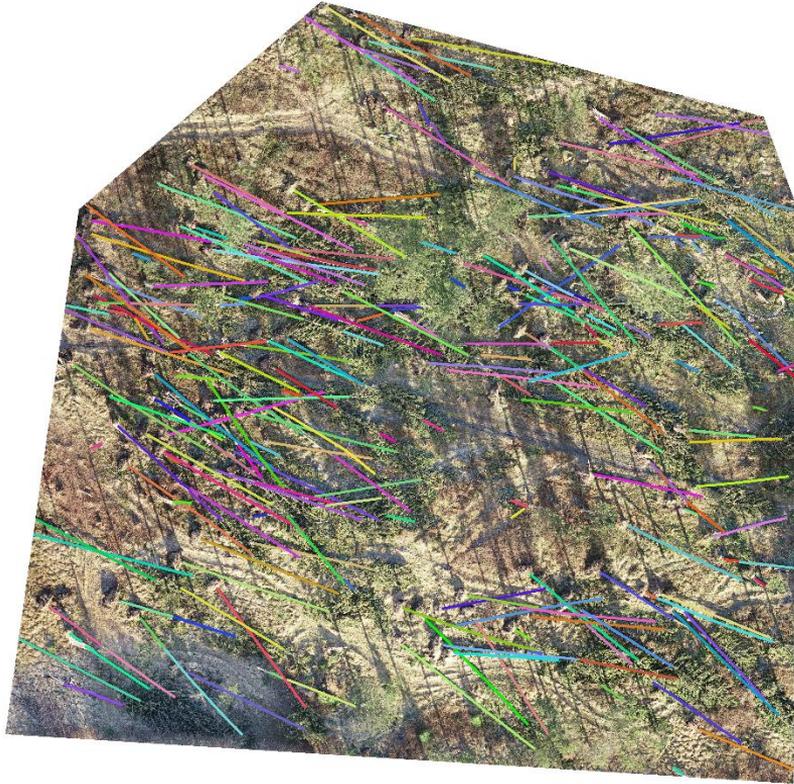
Barnekow 1  
stem parts are missed



Barnekow 4  
artificial stem parts added



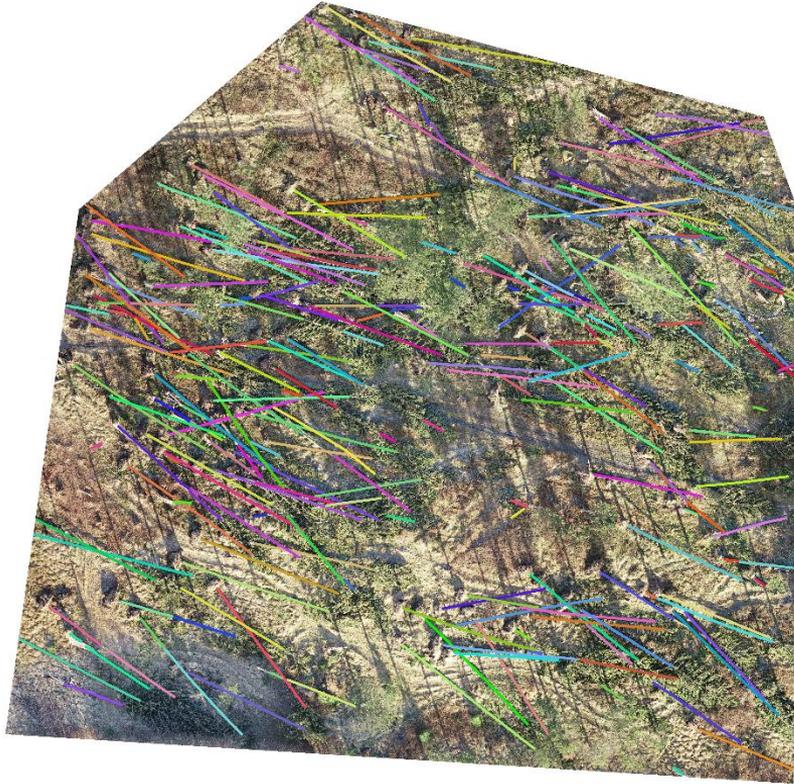
# Ergebnisse – Beispielfläche Barnekow 1



Mittlere Länge: 18,9 m (Error -17,9%, SD: 19,8%)  
(198 Referenzstämme)

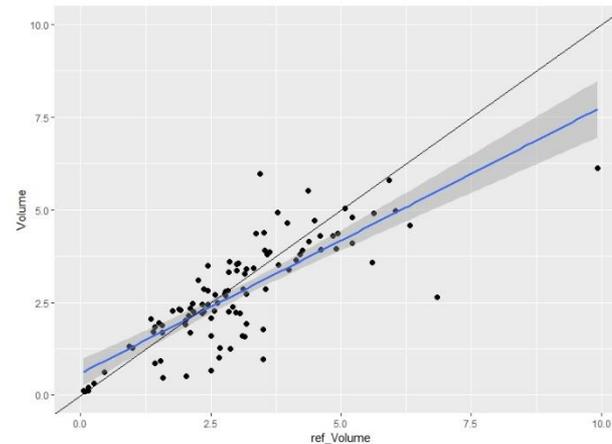
Volume: 500.75 m<sup>3</sup> (Error -3,4%; SD: 32,5%)  
(105 Referenzstämme)

# Ergebnisse – Beispielfläche Barnekow 1

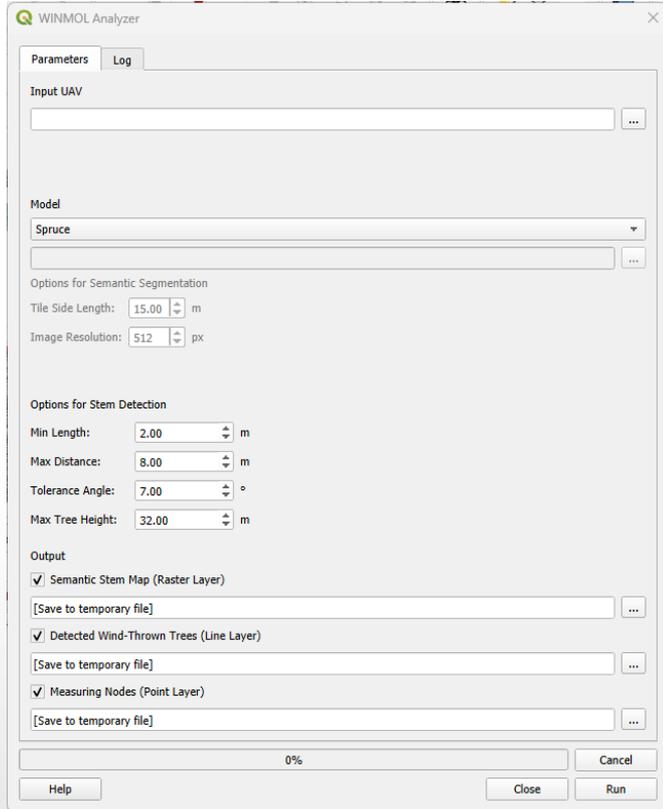


Mittlere Länge: 18,9 m (Error -17,9%, SD: 19,8%)  
(198 Referenzstämmen)

Volume: 500.75 m<sup>3</sup> (Error -3,4%; SD: 32,5%)  
(105 Referenzstämmen)



# Zusammenfassung und Ausblick



- Automatisierte Erfassung und Quantifizierung
- Rekonstruktion verdeckter Stammteile möglich
- Abschätzung des Schadholzvolumens auf Bestandesebene
- WINMOL Analyzer QGIS Plugin  
[https://stefanreder.github.io/WINMOL\\_Analyzer/index.html#gallery02-v](https://stefanreder.github.io/WINMOL_Analyzer/index.html#gallery02-v)



- Quellcode verfügbar auf GitHub  
[https://github.com/StefanReeder/WINMOL\\_Analyzer](https://github.com/StefanReeder/WINMOL_Analyzer)
- Weiterentwicklung als Open Source Projekt
  - Einbindung von Oberflächenmodellen
  - Erweiterung der Trainingsdaten



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Stefan Reder

Eberswalde University for Sustainable Development

mailto: [Stefan.reder@hnee.de](mailto:Stefan.reder@hnee.de)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Weitere Informationen auf: <https://winmol.thuenen.de/>