



# Bachelorarbeit

**Drohnenunterstützung zur Baumartenerkennung in jungen,  
ausgewählten Beständen im Revier Meersburg im Bodenseekreis**

Thomas Hansen, 201787

04.07.2023

Rottenburg am Neckar

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Material
3. Methoden
4. Ergebnisse
5. Diskussion
6. Folgerungen
7. Entwicklungen

# 1. Einleitung

- Ausgangslage
- Zielsetzung



# 1. Einleitung - Ausgangslage

- **Forstbranche in der Digitalisierungsphase**
- **Saat, Käferbaumsuche, Sturmwurf, Digitalisierung der Forstwege**
- **Drohneneinsatz ist Neuland in der Forstwelt**
- **Erhebliches Potential noch verborgen**
- **Viele Forschungen laufen zum Drohneneinsatz im Forst**

# 1. Einleitung - Zielsetzung

- **Erfolgreiche Baumartenerkennung in jungen Beständen durch Drohnen aufgenommene Orthophotos**
- **Untersuchung der Auswirkungen einzelner Baumeigenschaften auf die Erkennung der Bäume**
- **Grenzen der Drohnenbefliegung bei Baumartenerkennung aufzeigen**

# Einleitung - Hypothesen

- 1. Bäume auf Kulturflächen werden weniger oft erkannt als in geschlossenen Beständen**
- 2. Nadelbaumarten sind leichter erkennbar als Laubbaumarten**
- 3. Zwischen- und unterständige Bäume werden nur im geringem Maße erkannt**
- 4. Erkennungswahrscheinlichkeit maximal 90 %**

## 2.Material



## 2.Material

- **WoodInVision + Tablet**
- **RTK-Signalempfänger RoyalFix**
- **Farbe + Maßband**
- **Flugplanprogramm Terra**
- **RTK-Antenne RoyalBase + Drohne Phantom 4 RTK**
- **1400 Bäume, 70 Probekreise im Revier Meersburg**



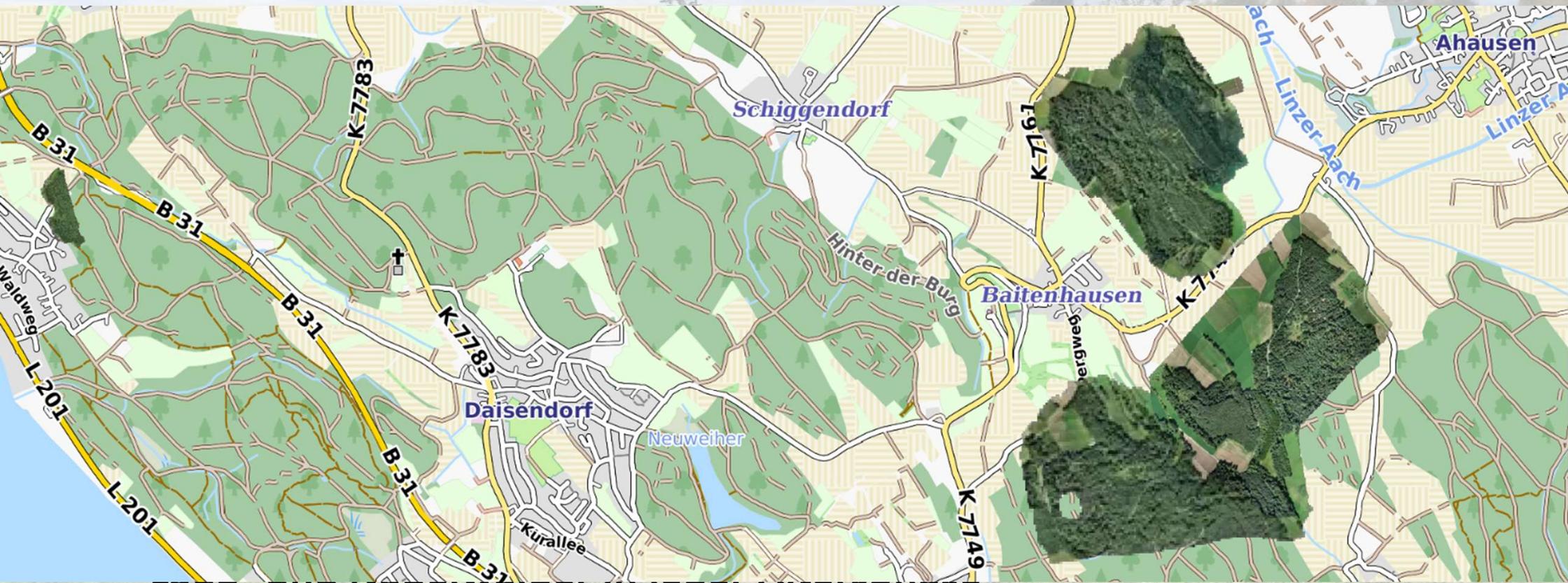
# 3. Methoden

- **Pilotstudie**
- **Flächenauswahl**
- **Aufnahme der Bäume**
- **Parameter**
- **Drohnenbefliegung**
- **Baumartenerkennung auf Orthophotos**

# 3. Methoden - Pilotstudie

- **Beständen mit unterschiedlichen Höhen und möglichst vielen Baumarten**
- **Einarbeitung in die Systeme**
- **Überprüfung der Erreichbarkeit der Ziele**
- **Folgerungen;**
  - **zwischen- und unterständige Bäume nur selten erkennbar**
  - **Kulturflächen mit hoher Konkurrenzvegetation oft keine Bäume erkennbar**

# 3.Methoden - Flächenauswahl



Aufgenommene Bestände, Quelle: WoodInVision OSM Standardkarte



# 3. Methoden - Aufnahme der Bäume

- **Probekreise**

- In WoodInVision erstellt vor der Aufnahme der Bäume
- Radius 5 m
- Abstand 20 m der Mittelpunkte
- Wenn sinnvoll, stratifiziert
- In Altbestände Radius 10 m, Abstand 40 m

# 3. Methoden - Aufnahme der Bäume

- **Aufnahme der Bäume**

- **Aller Bäume innerhalb des Probekreises**
- **Farbige Markierung der untersuchten Bäume**
- **Aufnahme der Parameter des Baumes**

# 3. Methoden - Parameter

- **Baumart -> Hauptparameter**
- **Geschätze Baumhöhe**
- **Kraft'sche Baumklasse**
- **BHD**

# 3. Methoden - Drohnenbefliegung

- **Flugprogramm Terra; Befliegung mit einer Auflösung von 4 cm<sup>2</sup>/Pixel**
- **Drohne Phantom 4 RTK**
- **RTK-Antenne RoyalBase**
- **RoyalBase und RoyalFix haben einige Meter Verschiebung zueinander**

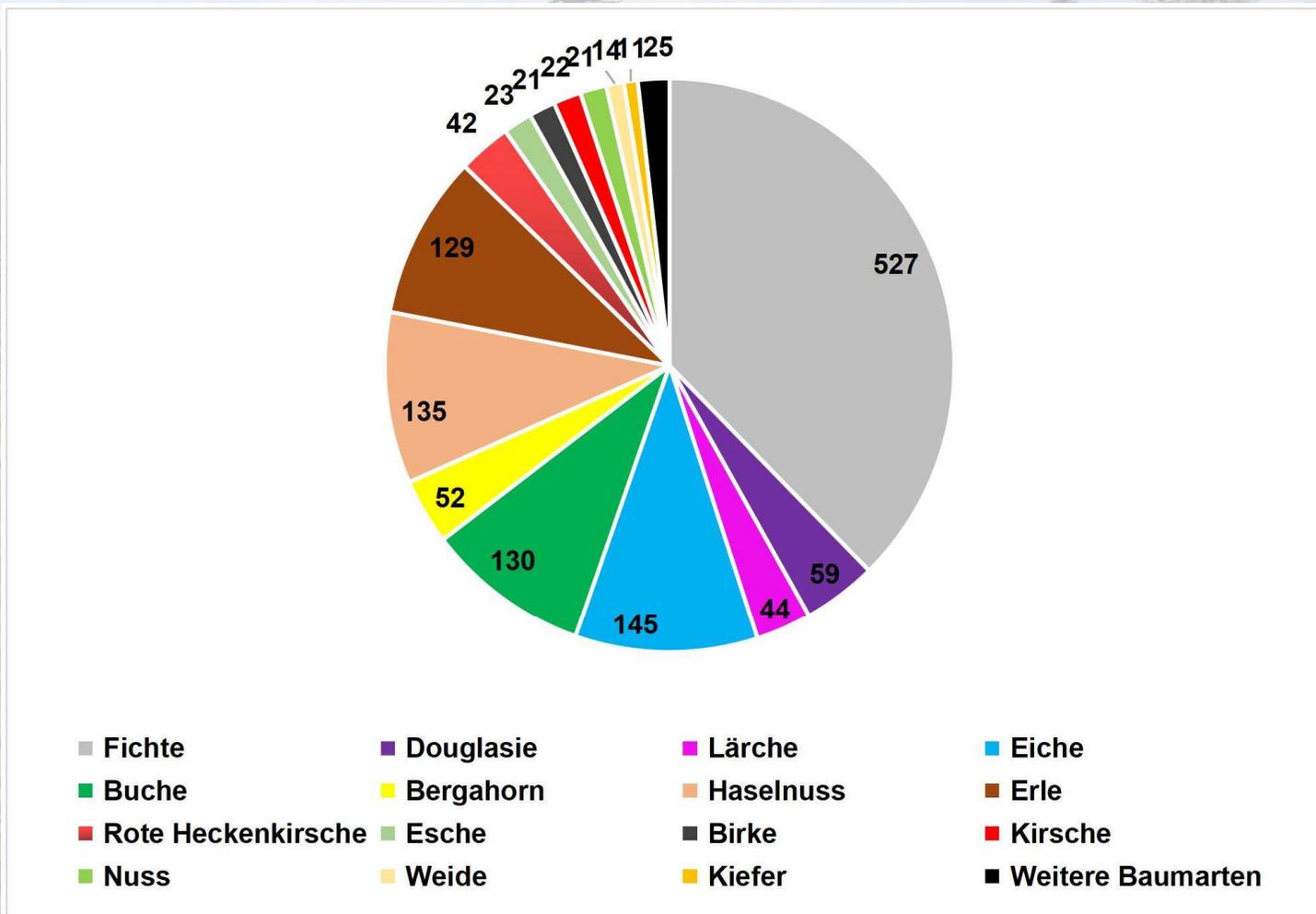
### 3.Methoden - Baumartenerkennung auf Orthophotos

- **6 monatige Pause zwischen Aufnahmen und Auswertung**
- **Erkannte Bäume mit Baumart auf Orthophotos markiert**
- **Nach jedem Probekreis Vergleich, welche Bäume richtig erkannt wurden**

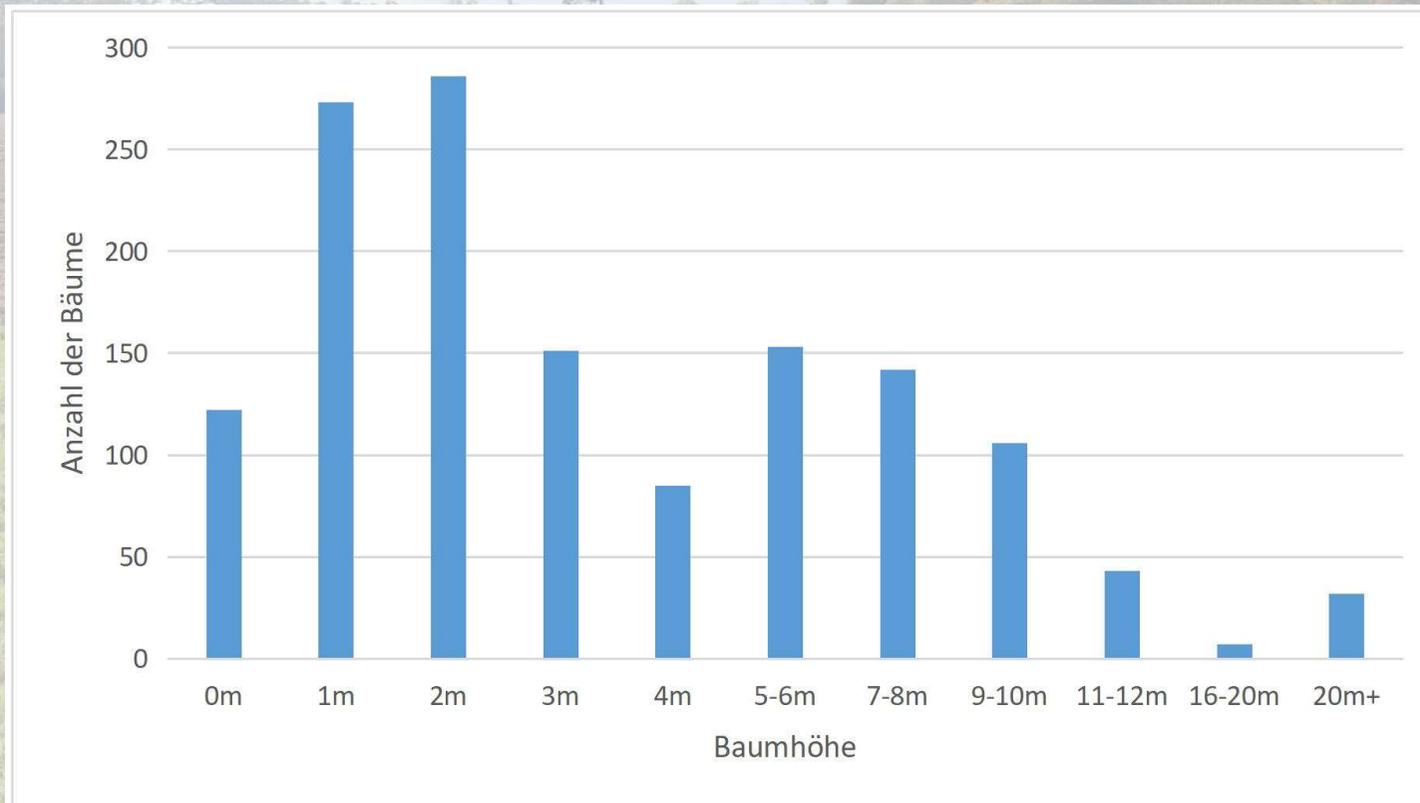
# 4. Ergebnisse

- **Terrestrische Aufnahme**
- **Drohnenbilder Auswertung**

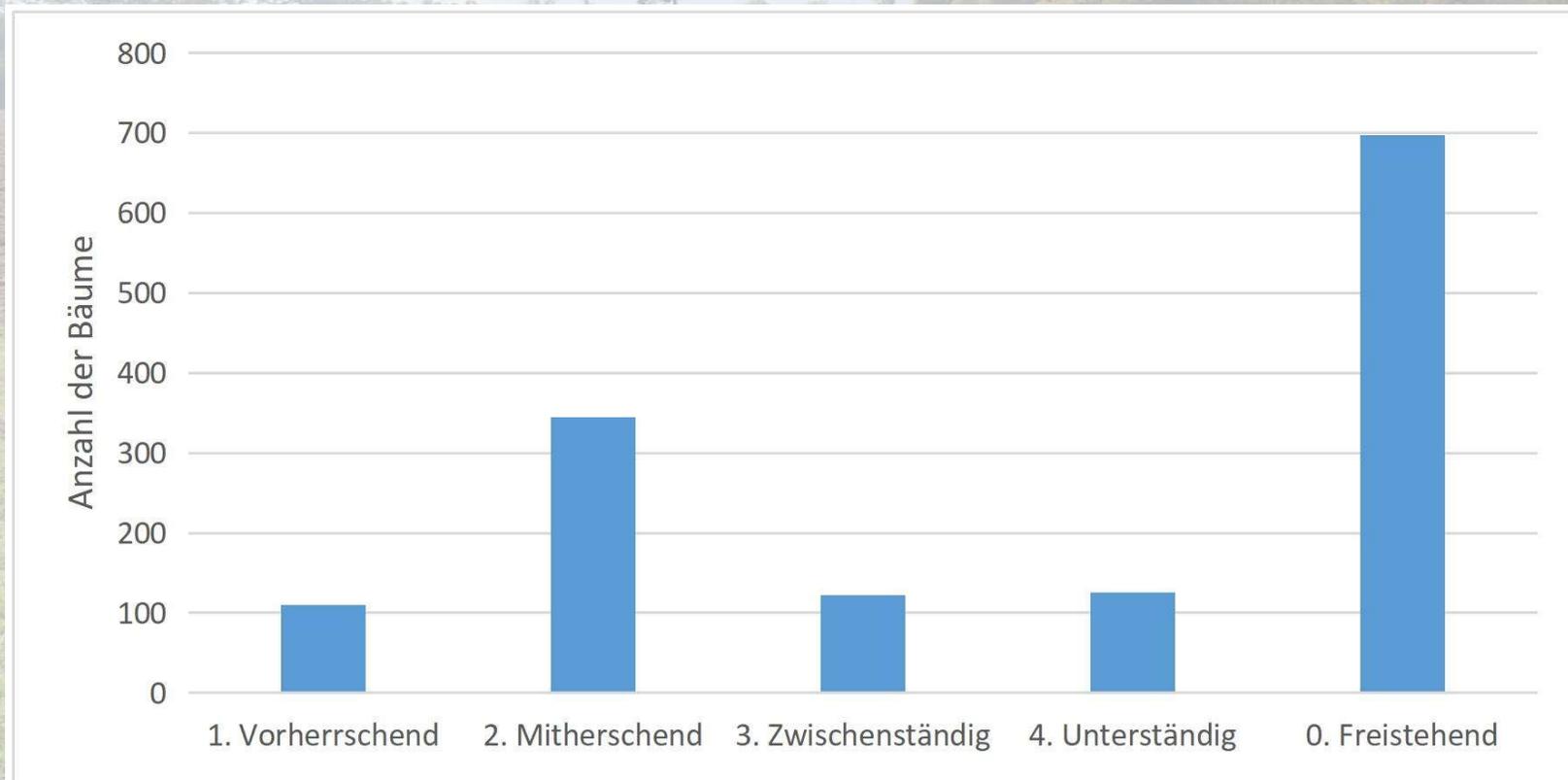
# 4. Ergebnisse - Terrestrische Aufnahme



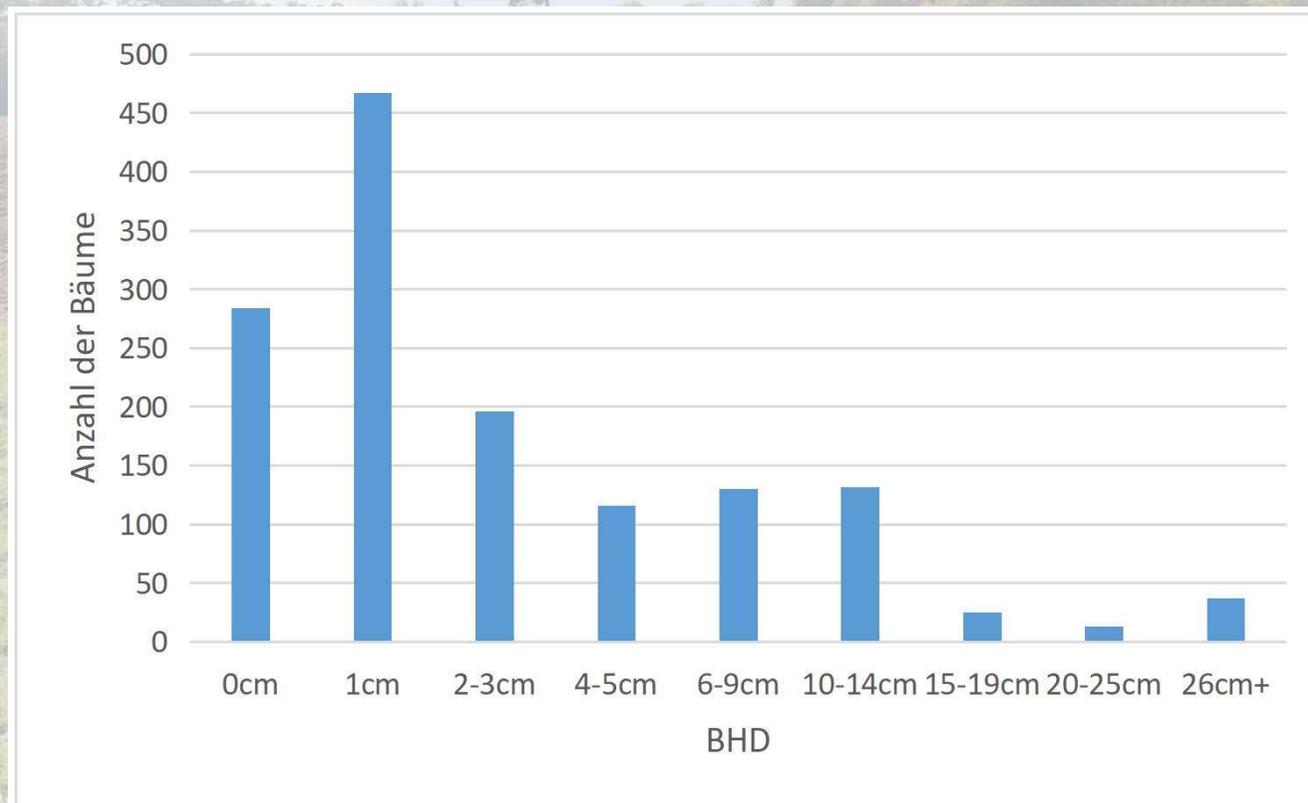
# 4. Ergebnisse - Terrestrische Aufnahme



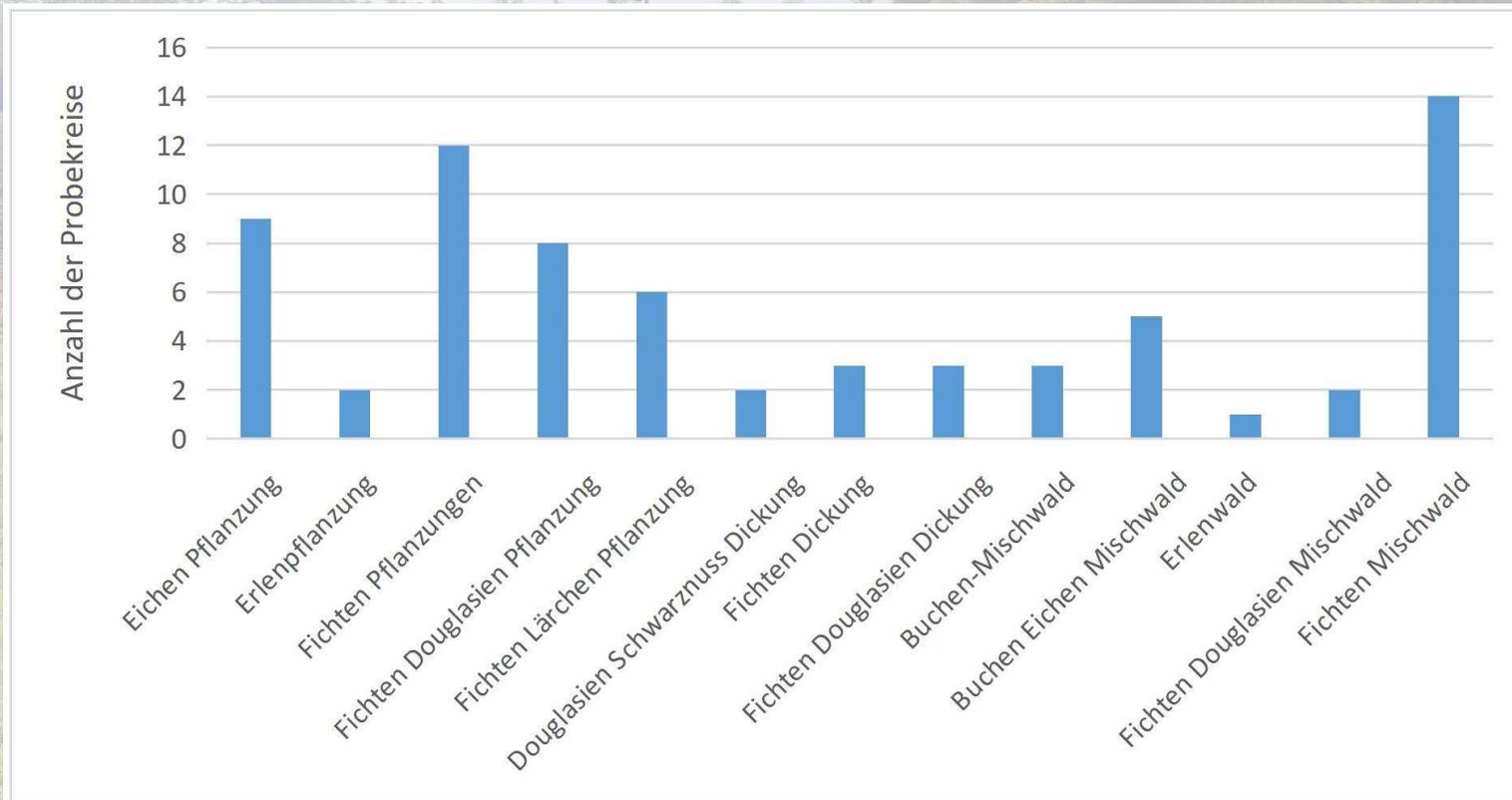
# 4. Ergebnisse - Terrestrische Aufnahme



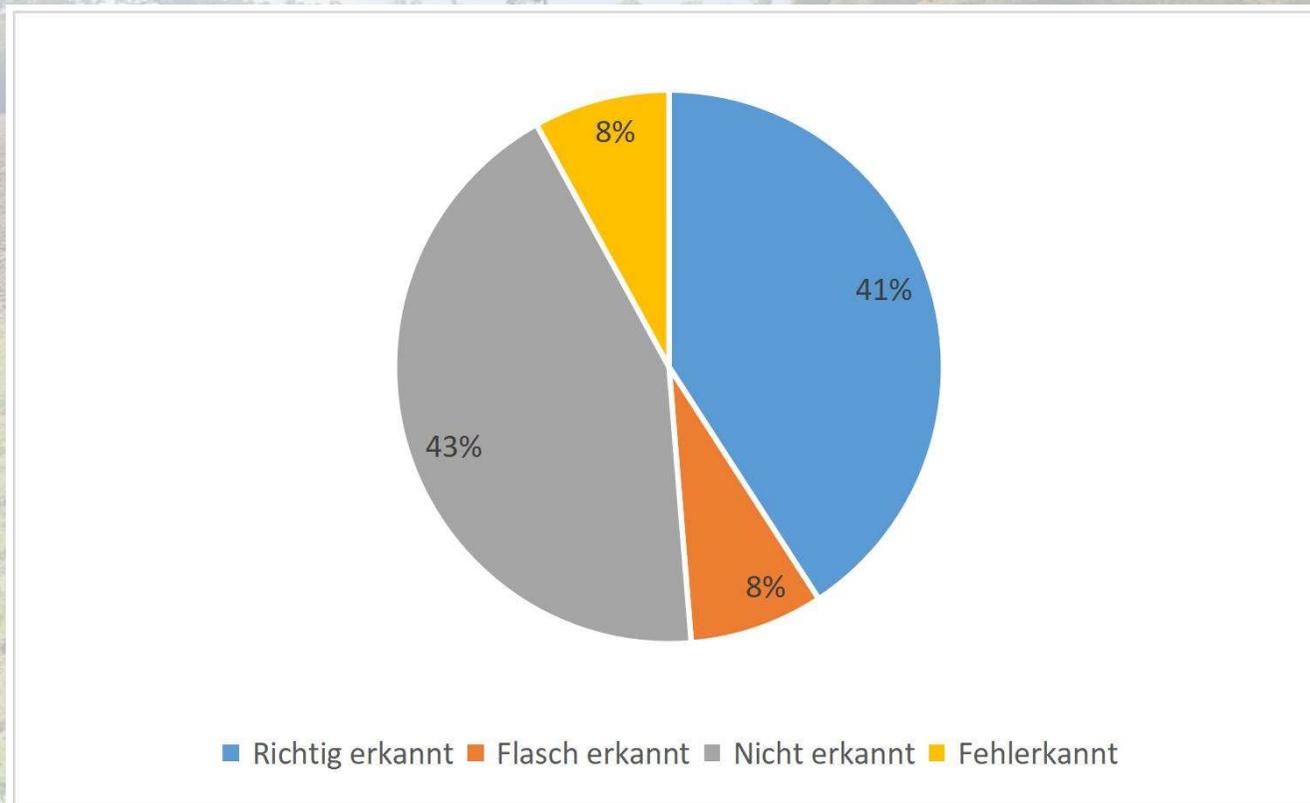
## 4. Ergebnisse - Terrestrische Aufnahme



# 4. Ergebnisse - Terrestrische Aufnahme



# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

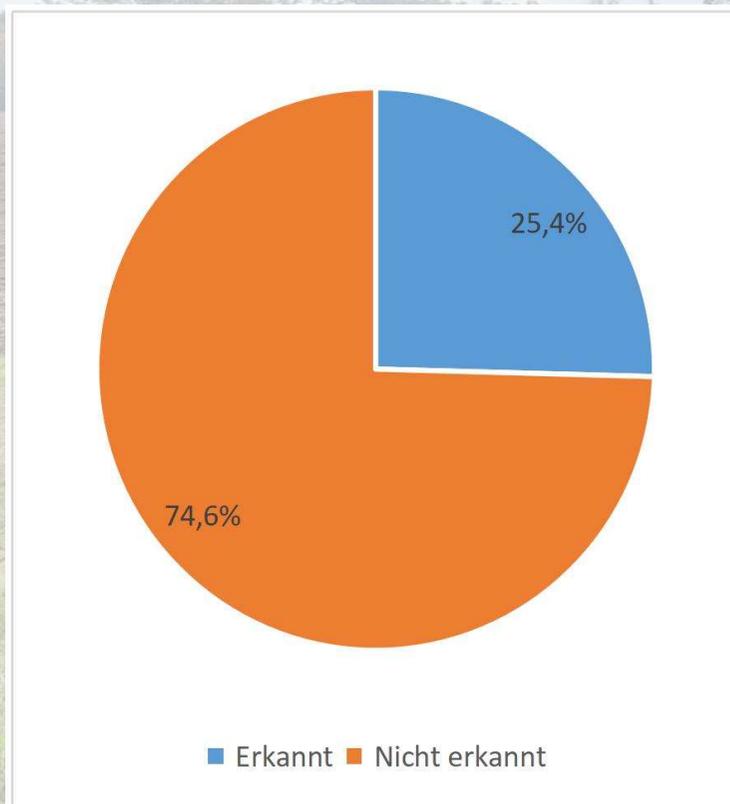


# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

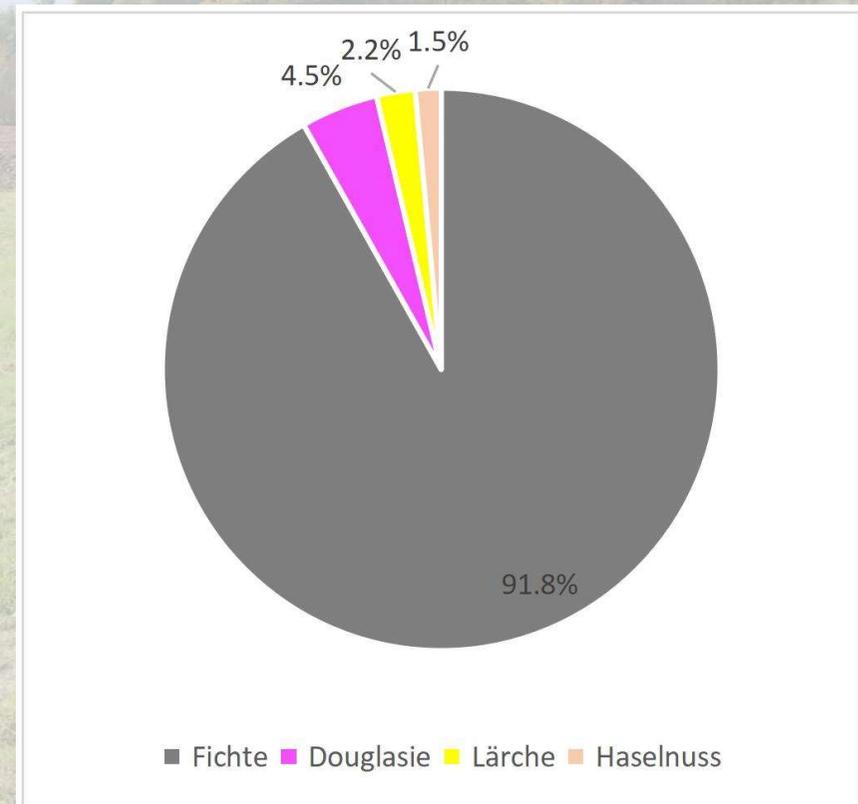
		Terrestrische Aufnahme	
		X	Falsch
Erkennung auf Orthofoto	Wahr	Richtig erkannte Bäume: 631	Fehler 2. Art: 246 124 Fehlerkannt 122 falsche Baumart
	Falsch	Fehler 1. Art: 669 nicht erkannter Baum	X
	X	Wahr	

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Gemeine Fichte



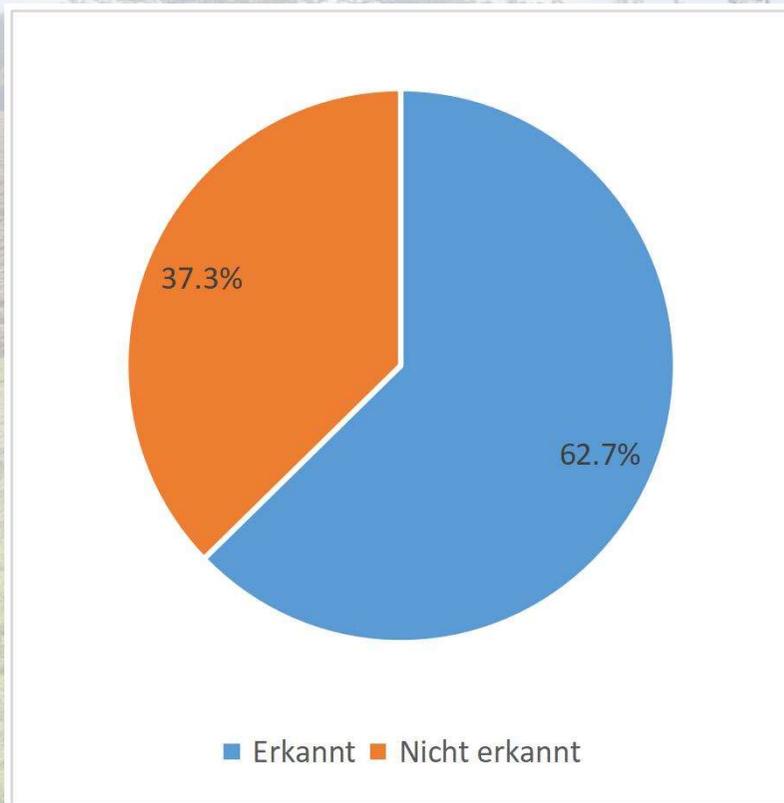
Erkennbarkeit der Baumart



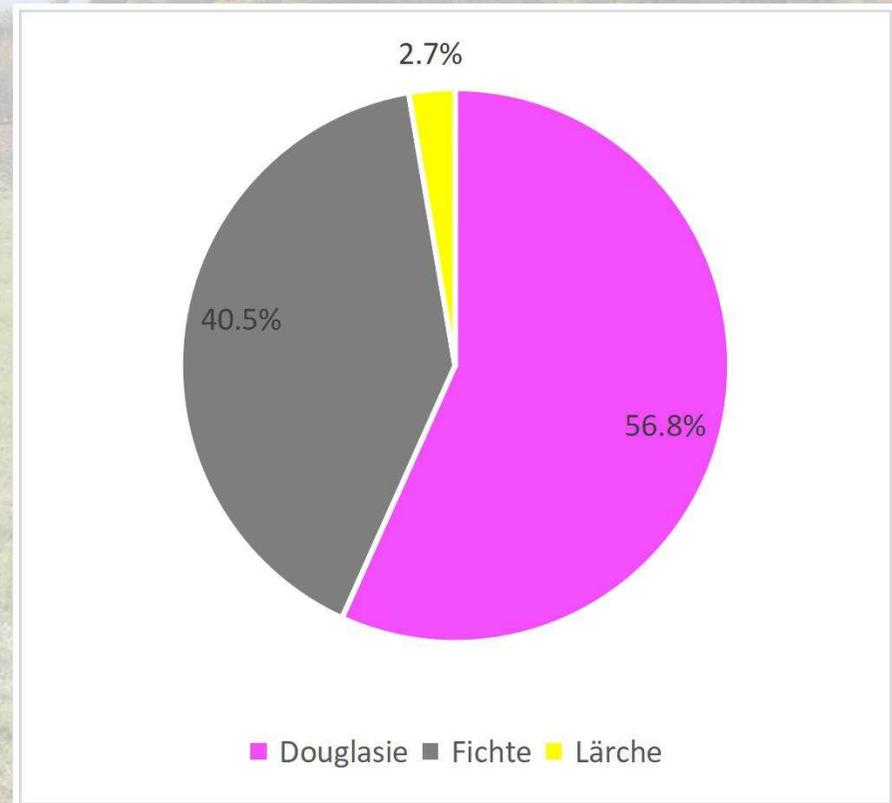
Verwechselbarkeit der Baumart

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Gewöhnliche Douglasie



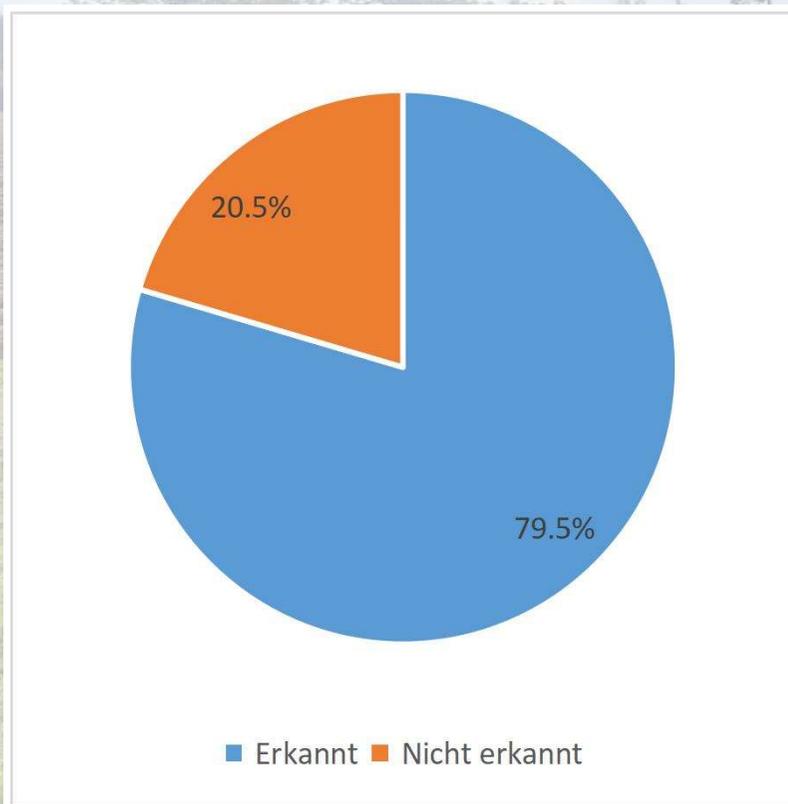
Erkennbarkeit der Baumart



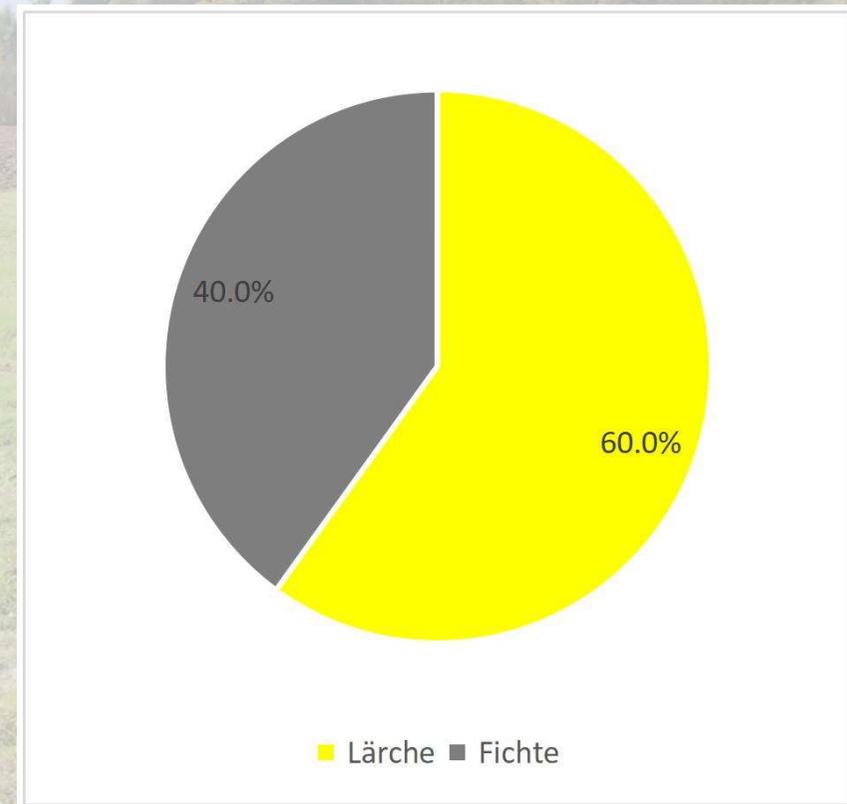
Verwechselbarkeit der Baumart

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Europäische Lärche



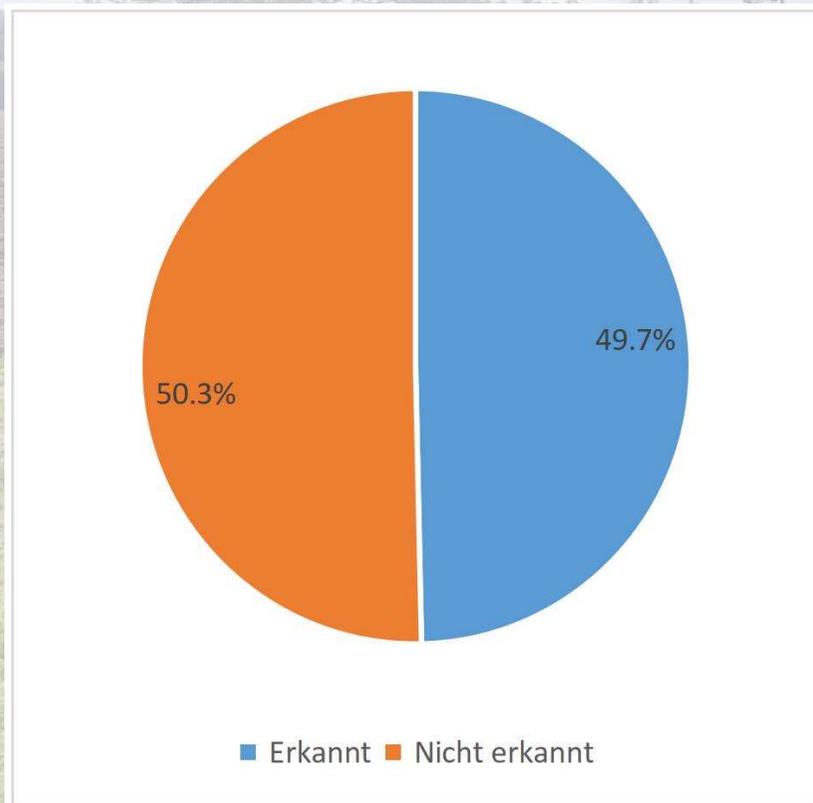
**Erkennbarkeit der Baumart**



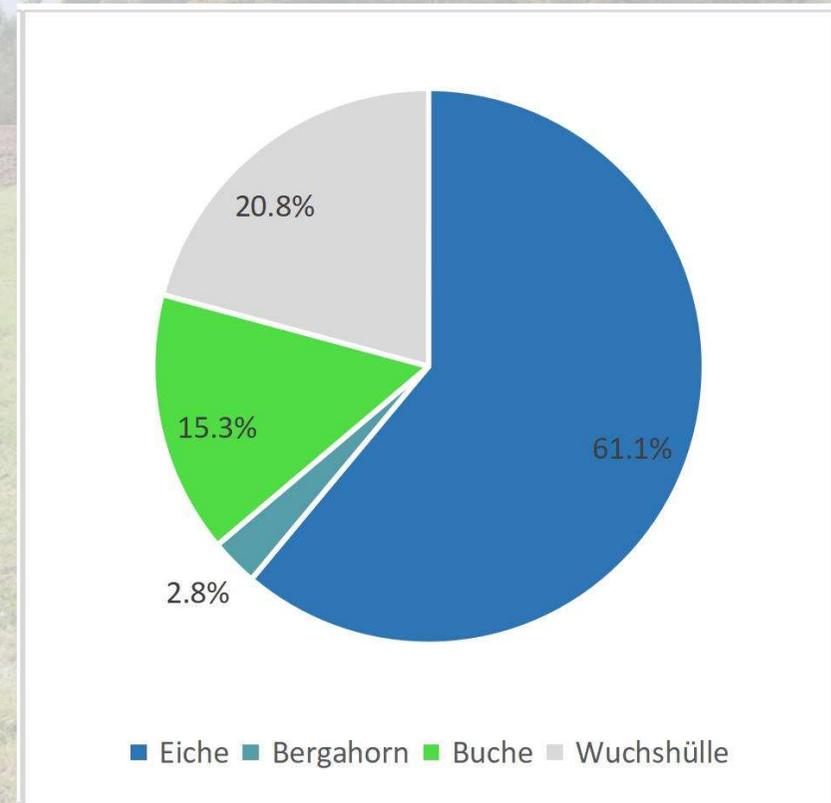
**Verwechselbarkeit der Baumart**

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Stiel-Eiche



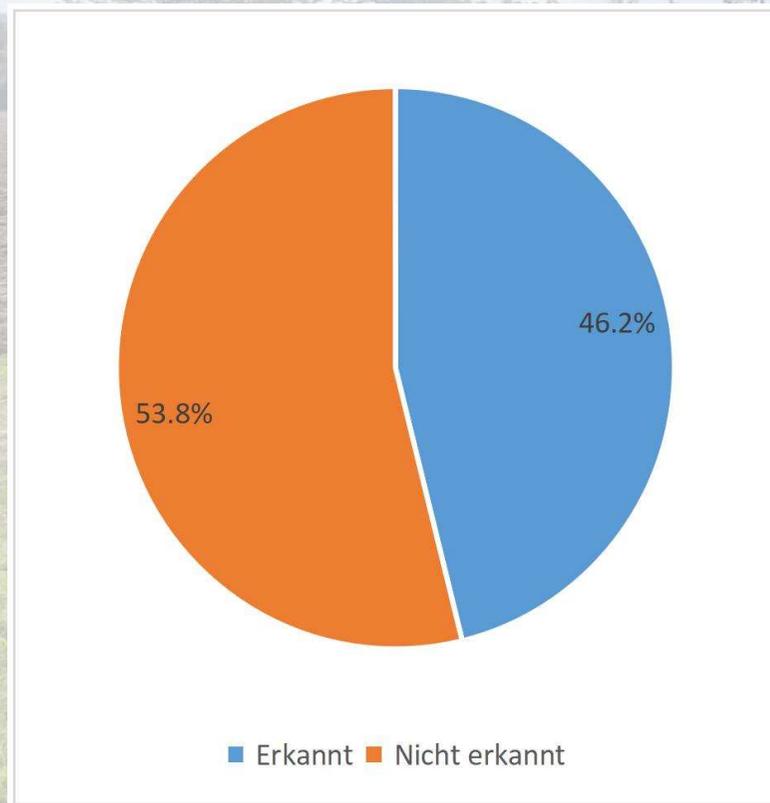
Erkennbarkeit der Baumart



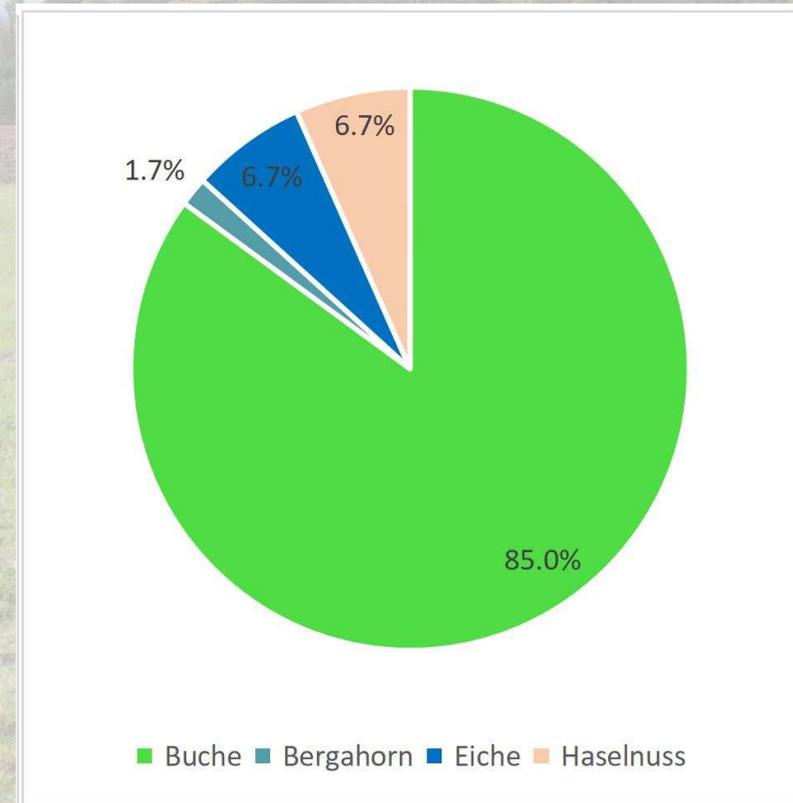
Verwechselbarkeit der Baumart

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Rot-Buche



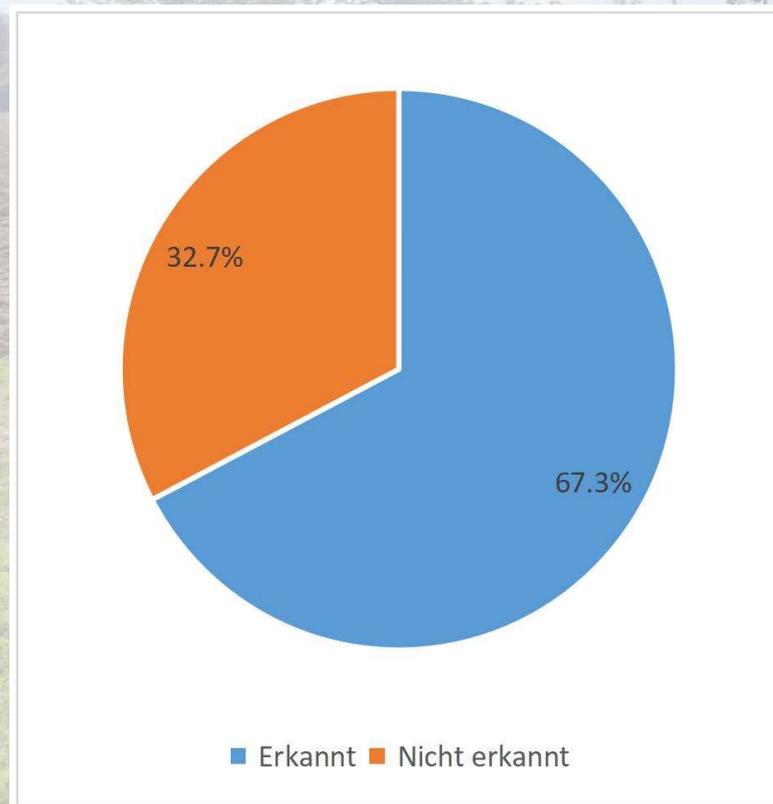
Erkennbarkeit der Baumart



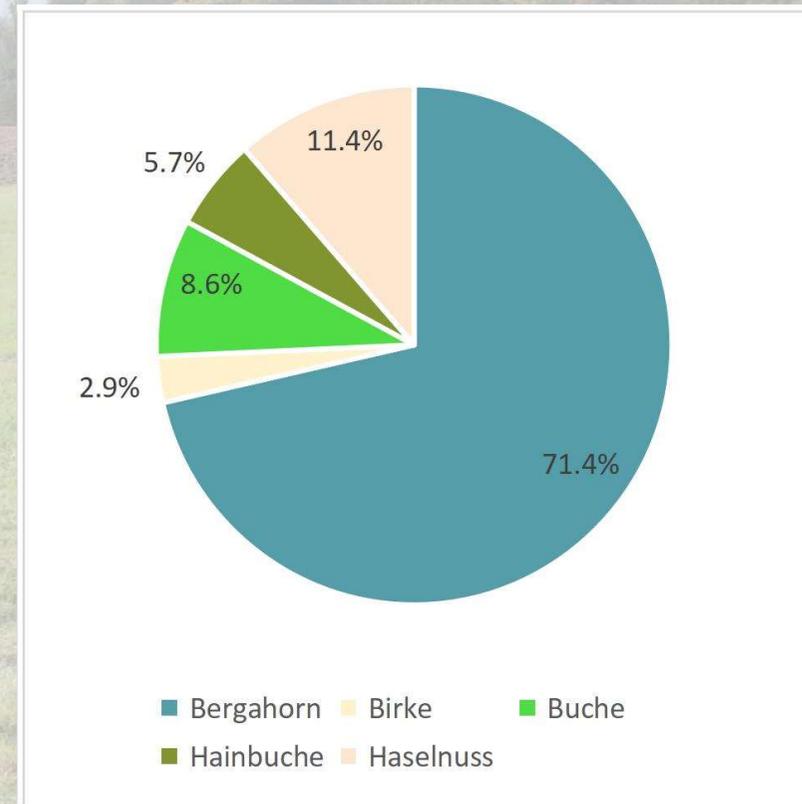
Verwechselbarkeit der Baumart

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Berg-Ahorn



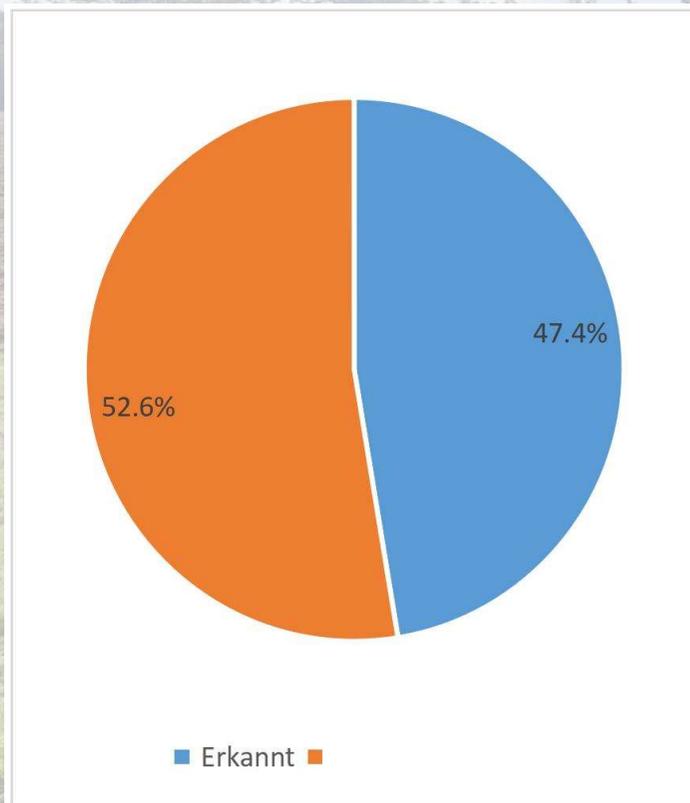
**Erkennbarkeit der Baumart**



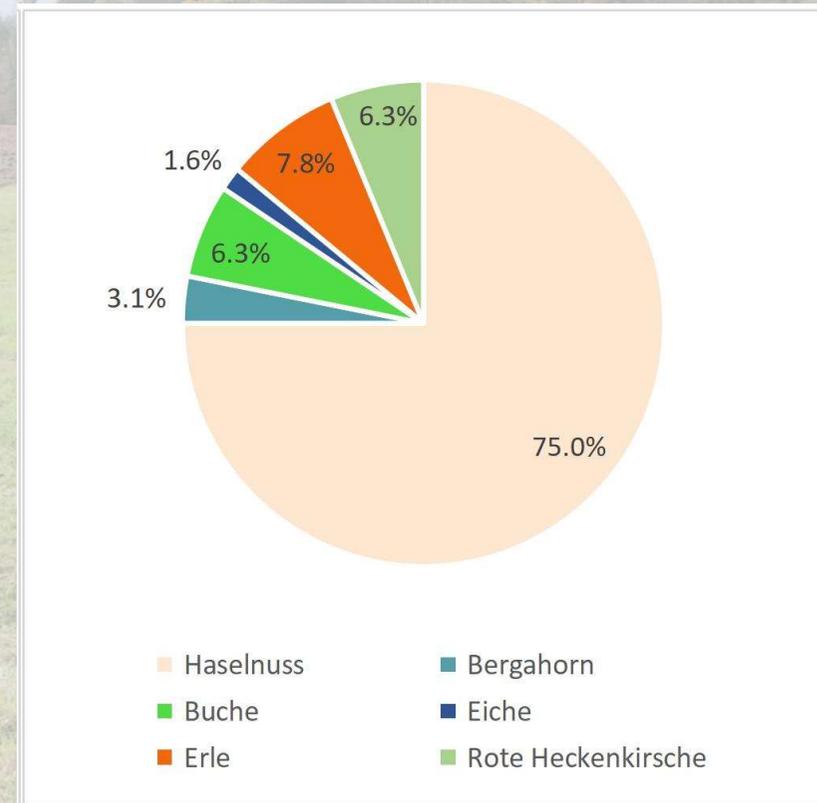
**Verwechselbarkeit der Baumart**

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Gemeine Hasel



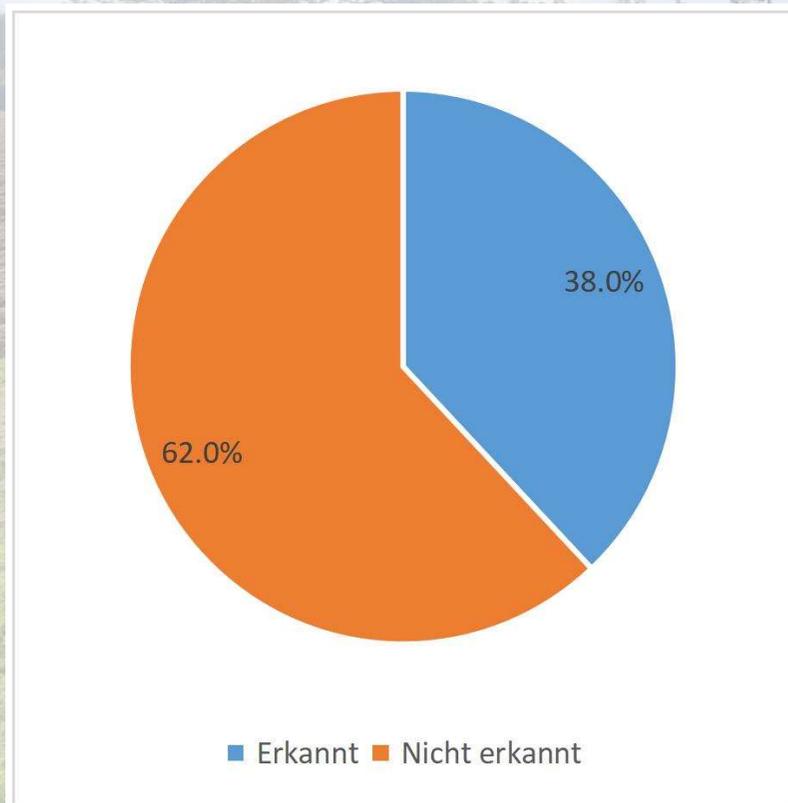
Erkennbarkeit der Baumart



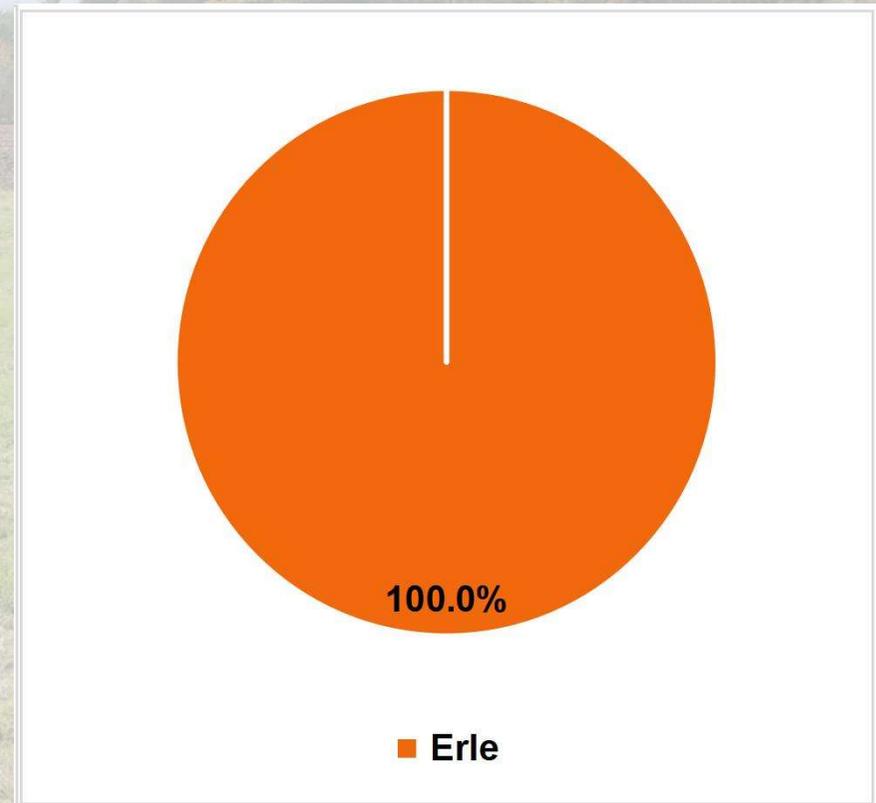
Verwechselbarkeit der Baumart

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Grün-Erle



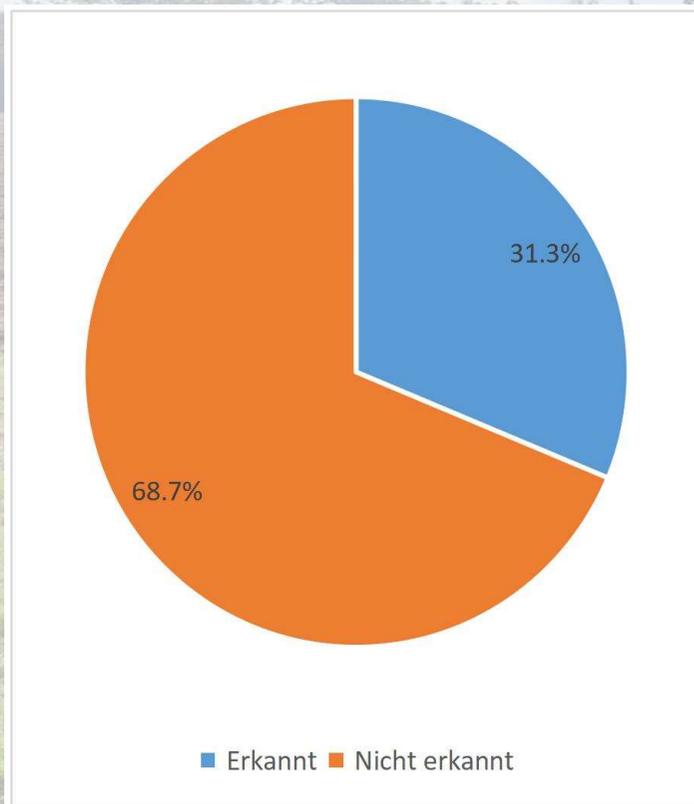
**Erkennbarkeit der Baumart**



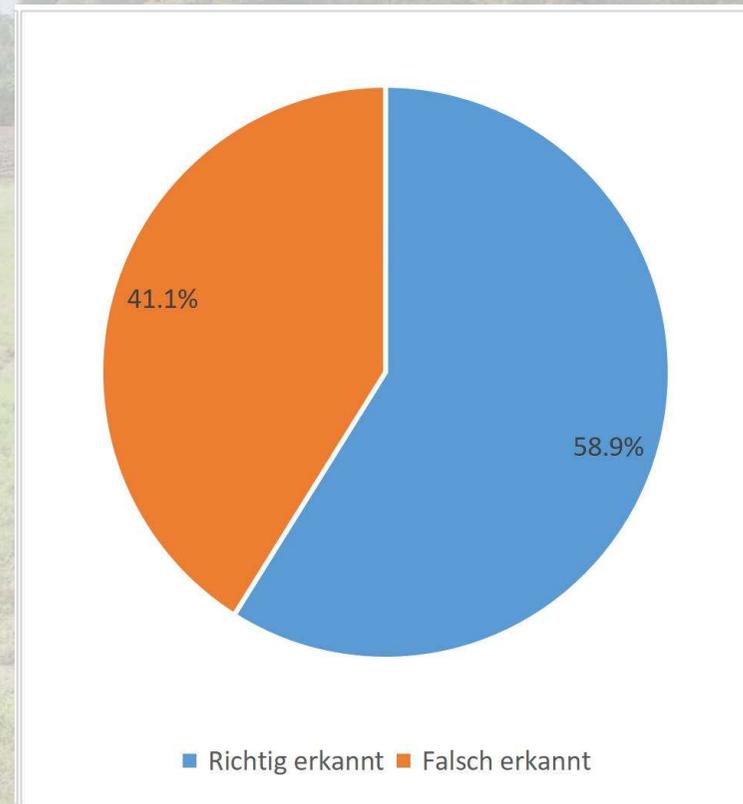
**Verwechselbarkeit der Baumart**

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Sonstige Baumarten



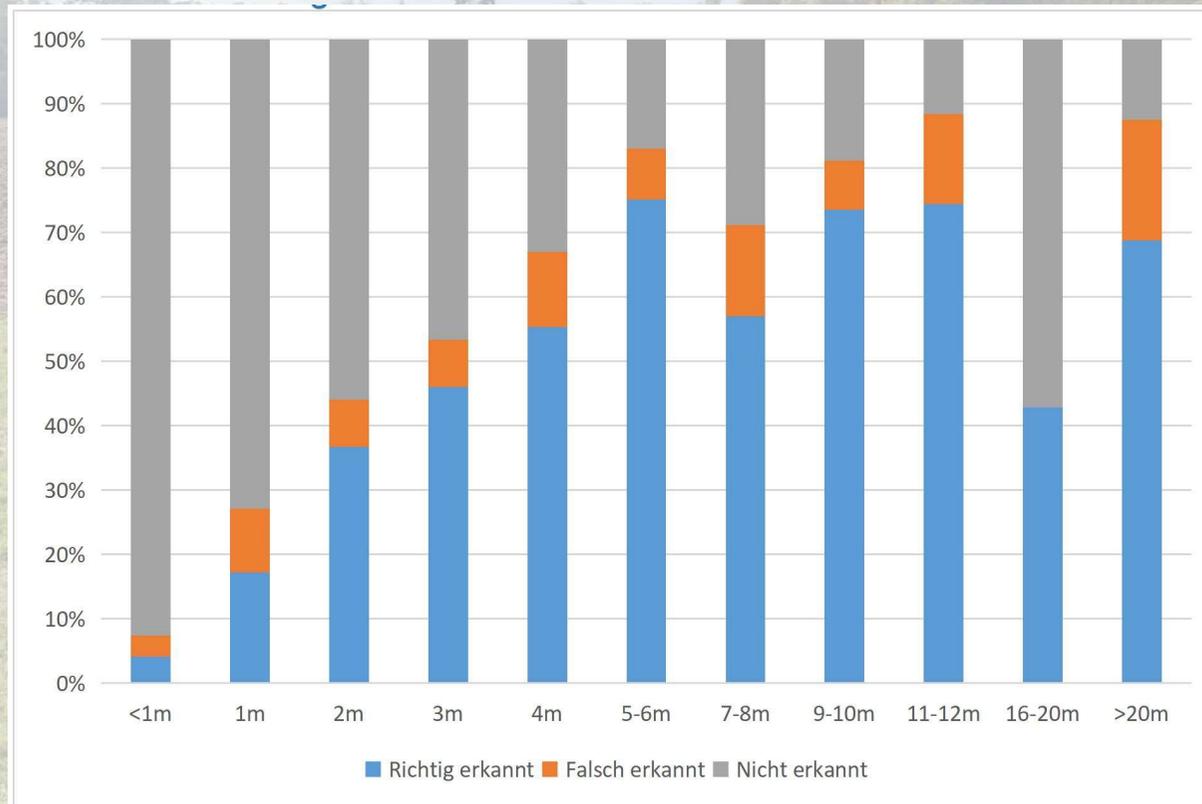
**Erkennbarkeit der Baumart**



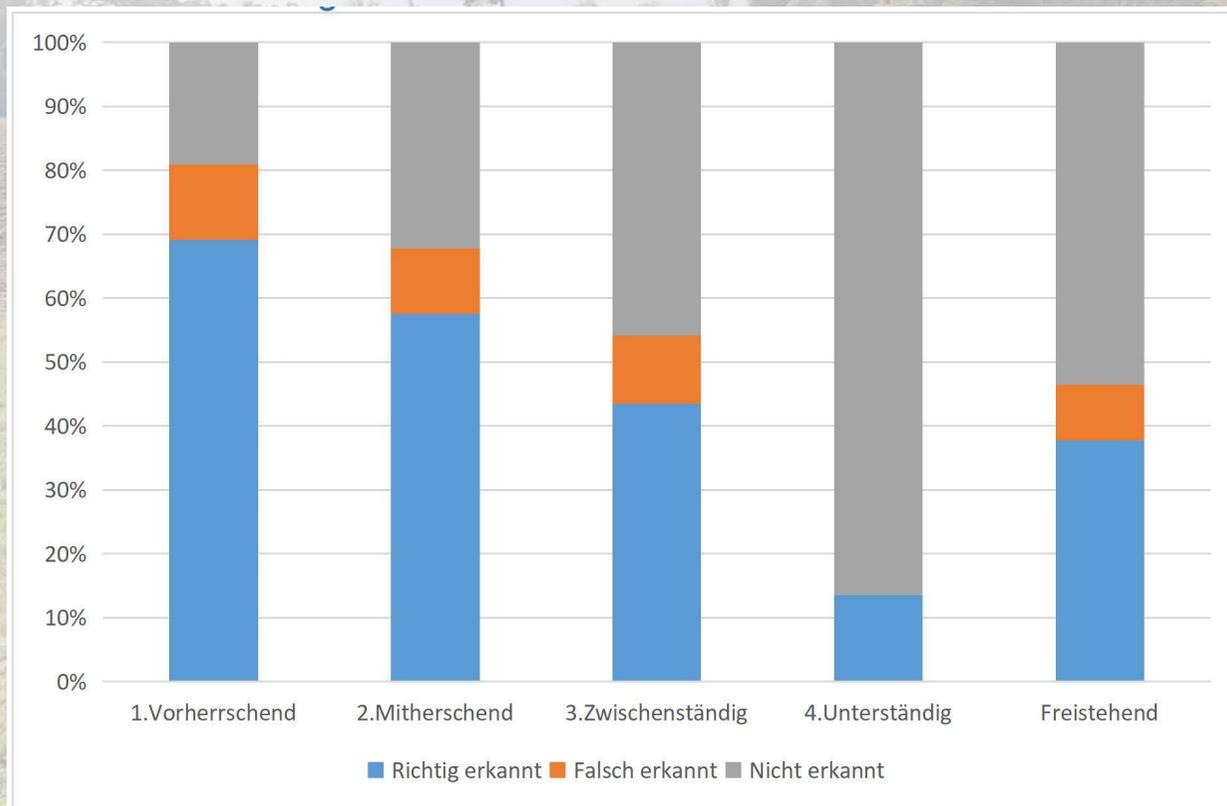
**Verwechselbarkeit der Baumart**

# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Baumhöhen

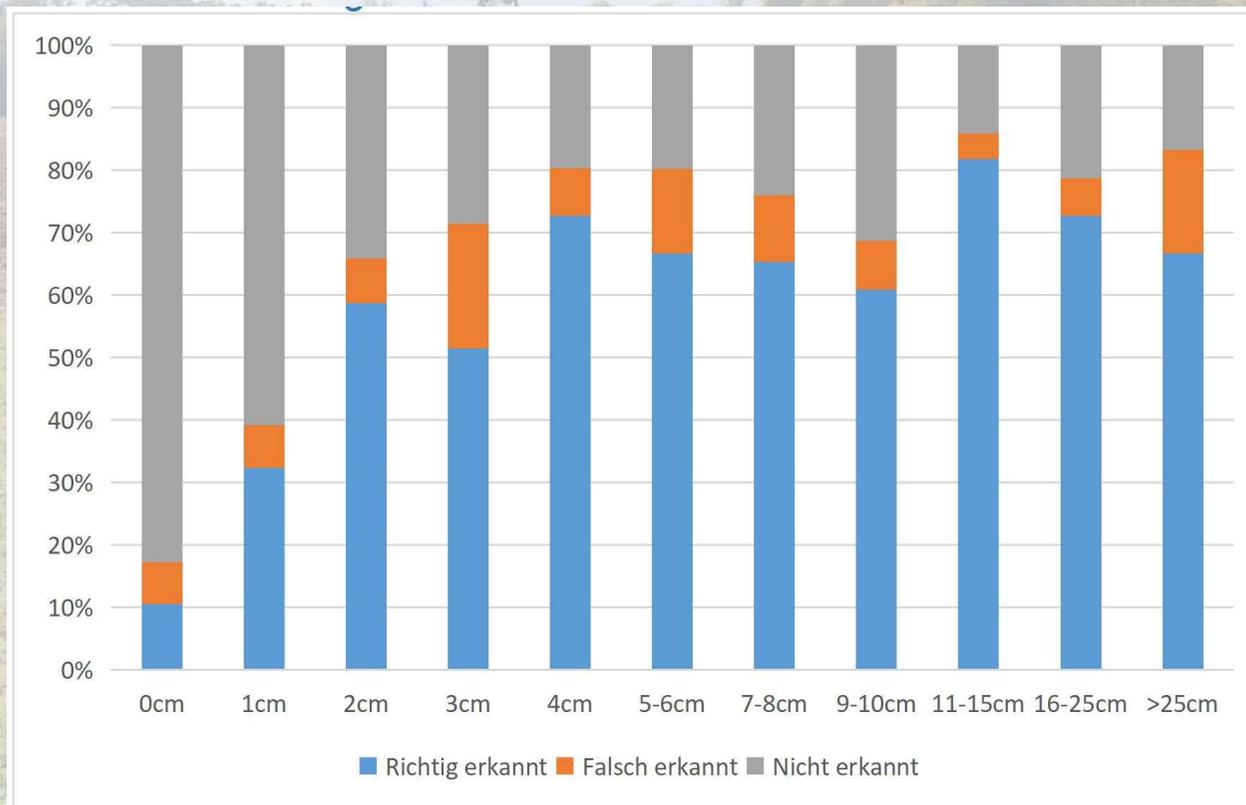


# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung Kraft'sche Baumklassen



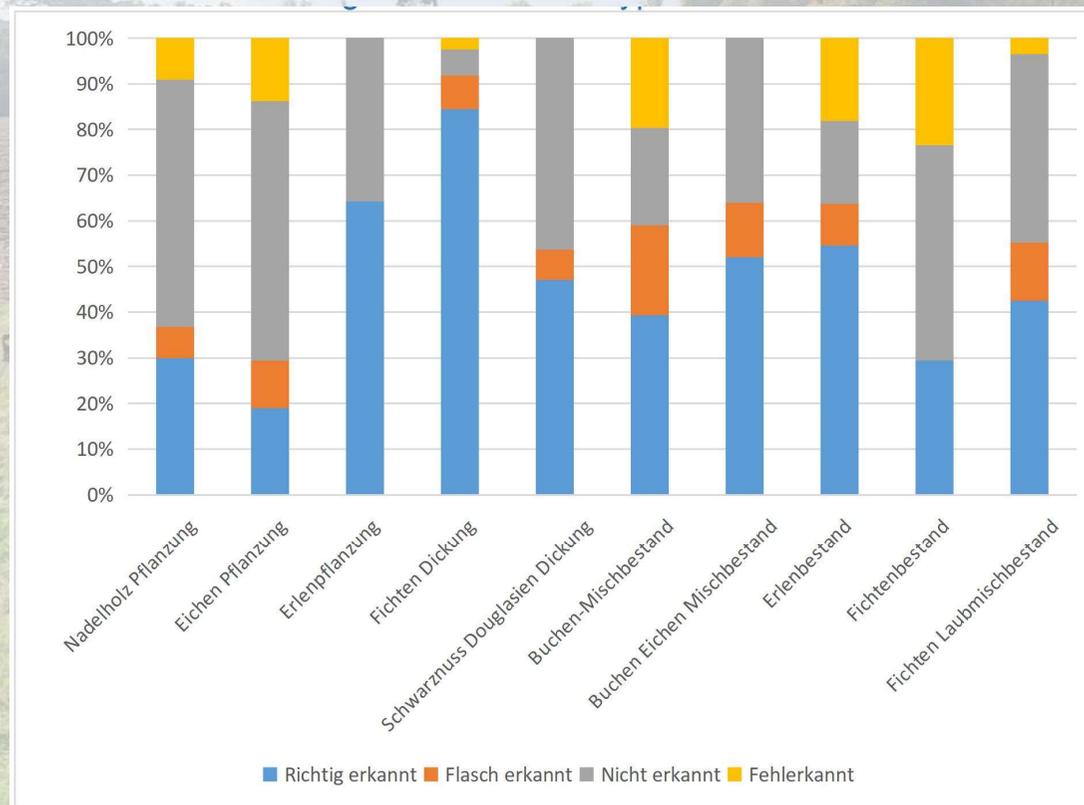
# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## BHD



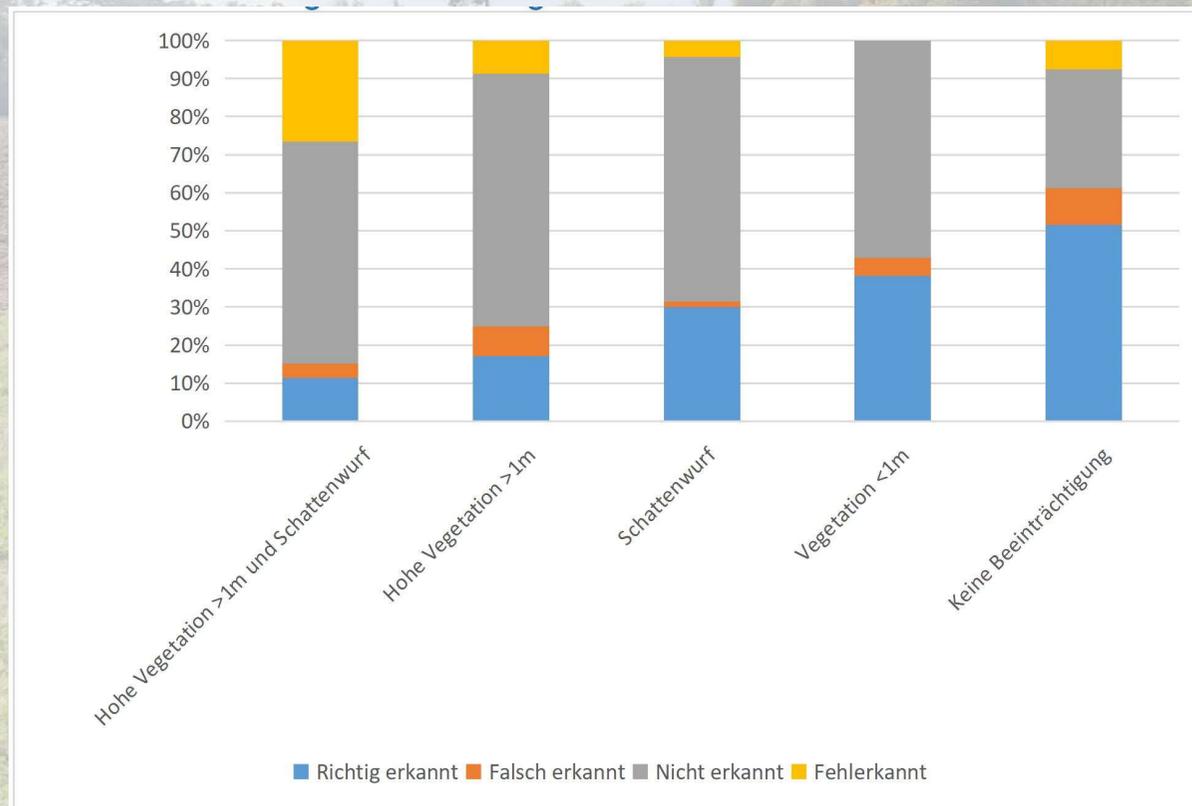
# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Bestandestyp



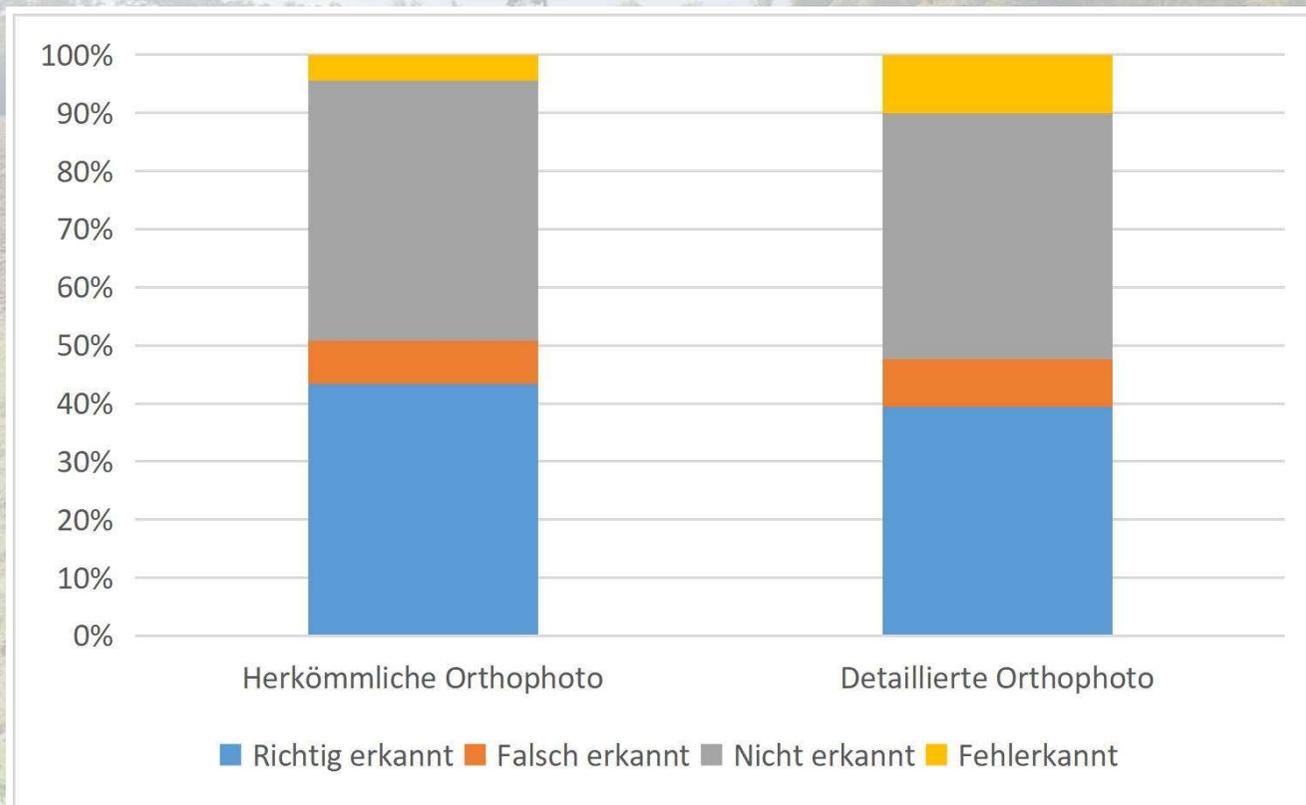
# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Störungseinflüsse



# 4. Ergebnisse - Drohnenbilder Auswertung

## Orthophoto-Qualität



# 5. Diskussion

- **Material**
- **Methodik**
- **Terrestrische Aufnahmen**
- **Auswertung Drohnenbilder**

## 5. Diskussion - Material

- **Nur 1400 Bäumen unterschiedlicher Baumarten und Altersstufen**
- **wüchsiger Standort**
- **Ungenauigkeit des Standortes, Internetverbindung**
- **Auswahl von Orhtophotos, RGB Bilder**

## 5. Diskussion - Methodik

- **Pilotstudie zur Einarbeitung in die Programme erfolgreich**
- **Diverse Flächenauswahl mit vielen Baumarten und Altersstufen**
- **Probekreise nicht immer stratifiziert, 5 m Radius, 20 m Abstand**

# 5. Diskussion - Methodik

- **Aufnahme der Bäume**
  - Probleme bei der Stromversorgung
  - Probleme mit der Internetverbindung
  - Verzögerungen bei der Standortaufnahme

# 5. Diskussion - Methodik

- **Aufnahmeparameter**

- **Alle Parameter zeigen einen Einfluss auf die Erkennbarkeit der Bäume**
- **Quantität vs. Qualität**
- **Baumhöhe nur geschätzt**

# 5. Diskussion - Methodik

- **Drohnenbefliegung**

- mehrere Befliegungen mit unterschiedlichen Einstellungen angedacht -> zu viel Aufwand
- Sehr gute Auflösung des Orthophotos
- Zeitpunkt der Aufnahme Ende September
- Fehler in der Bildbearbeitung

# 5. Diskussion - Methodik

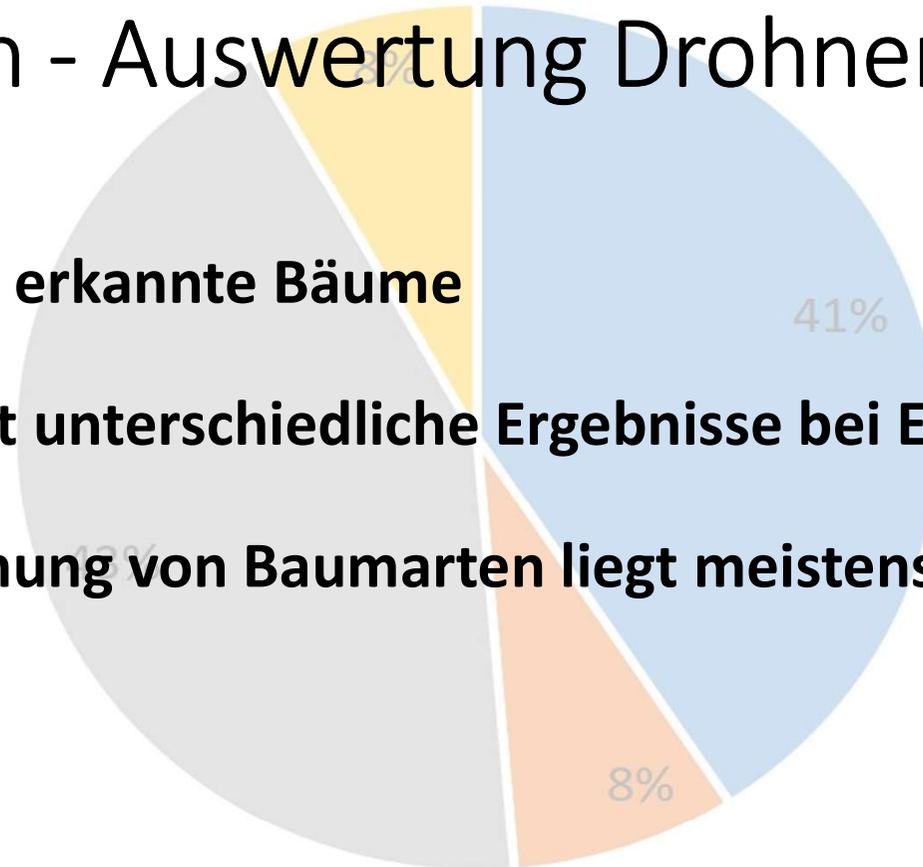
- **Baumartenerkennung auf Drohnenbilder**
  - **Nur der Autor, sehr subjektive Erkennung**
  - **systematische Verschiebung und Ungenauigkeit des Standorts**

## 5. Diskussion - Terrestrische Aufnahmen

- **Sehr hoher Fichtenanteil**
- **Gute Laub - Nadelbaummischung**
- **Hohe Anzahl Laubbäume aus heckenartigen Wüchsen der Erle/Hasel**
- **starker Fokus auf jüngere Bäume bei den Aufnahmen**
- **begrenzt aussagenkräftige Werte außerhalb der jüngeren Bestände**

## 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

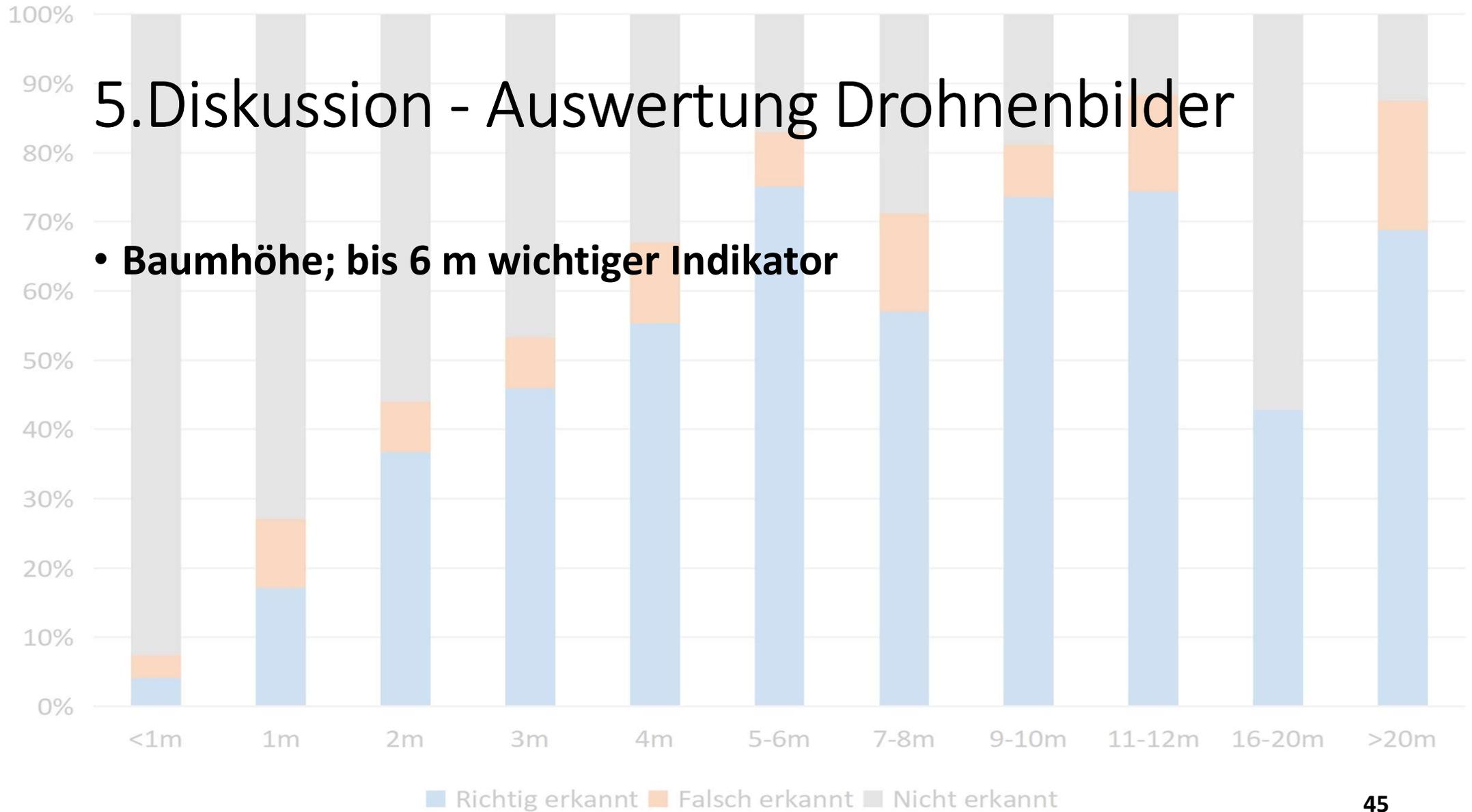
- Nur 41 % richtig erkannte Bäume
- Je nach Baumart unterschiedliche Ergebnisse bei Erkennbarkeit
- Korrekte Zuordnung von Baumarten liegt meistens bei 60-75 %



■ Richtig erkannt ■ Flasch erkannt ■ Nicht erkannt ■ Fehlerkannt

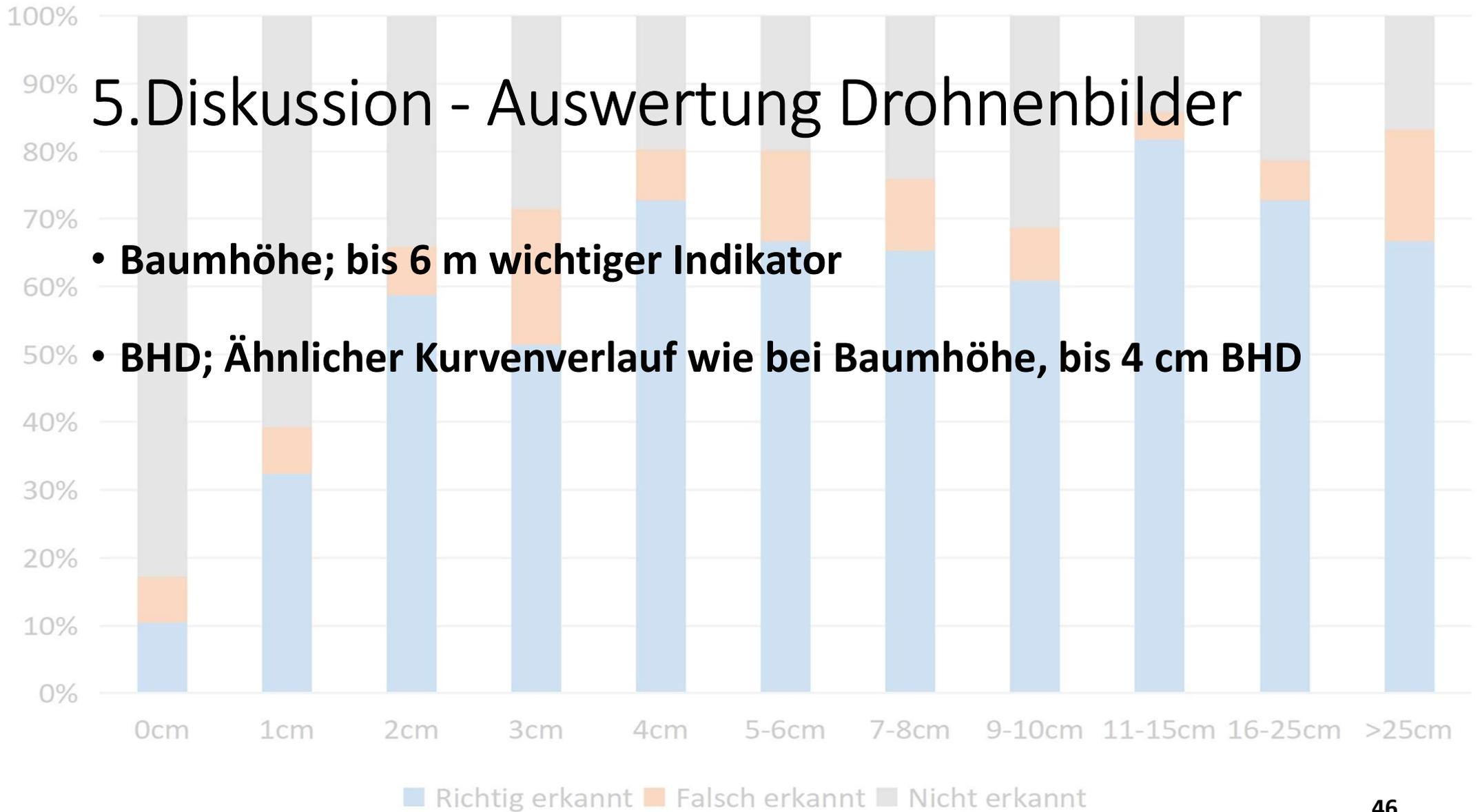
# 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

- **Baumhöhe; bis 6 m wichtiger Indikator**



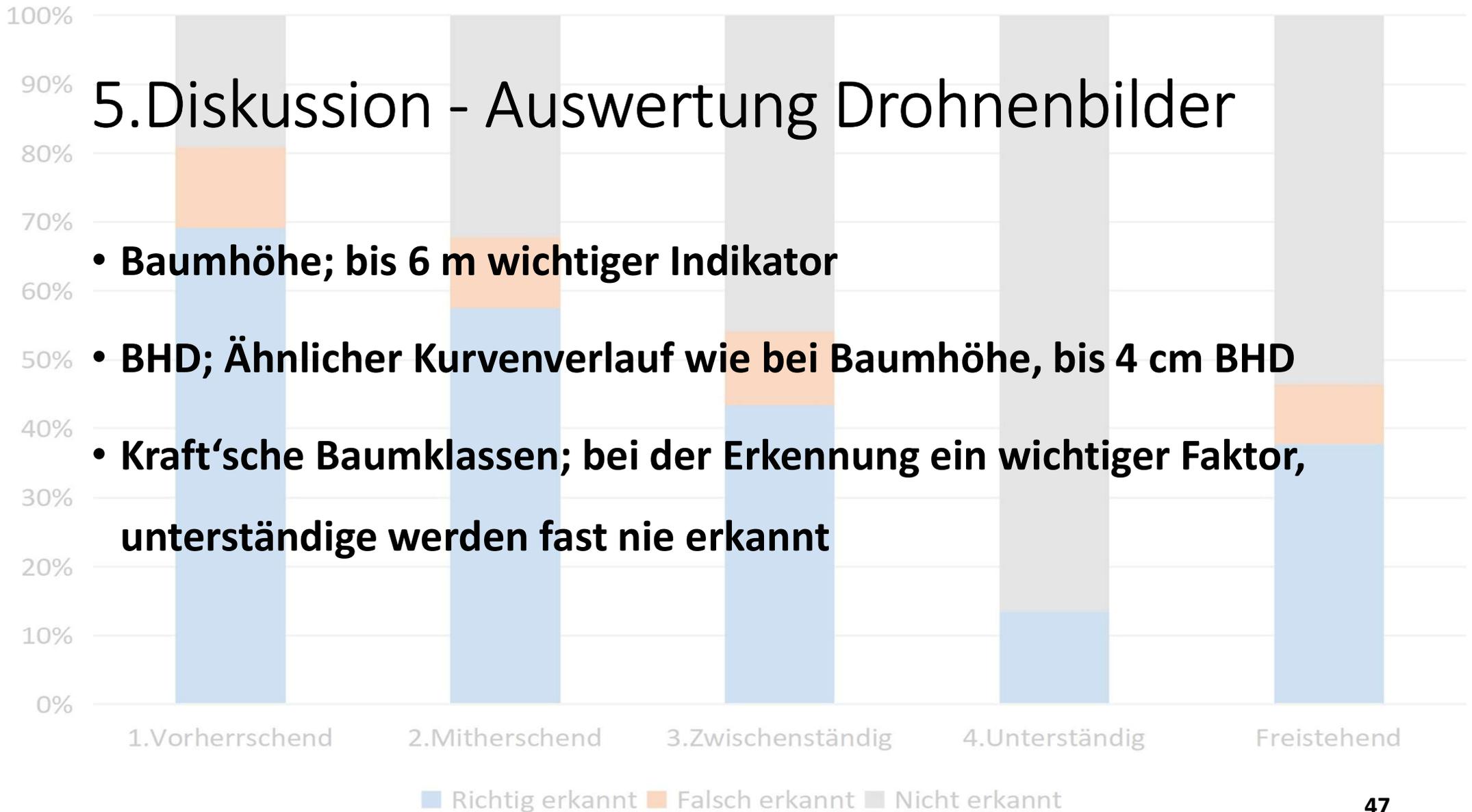
## 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

- **Baumhöhe; bis 6 m wichtiger Indikator**
- **BHD; Ähnlicher Kurvenverlauf wie bei Baumhöhe, bis 4 cm BHD**

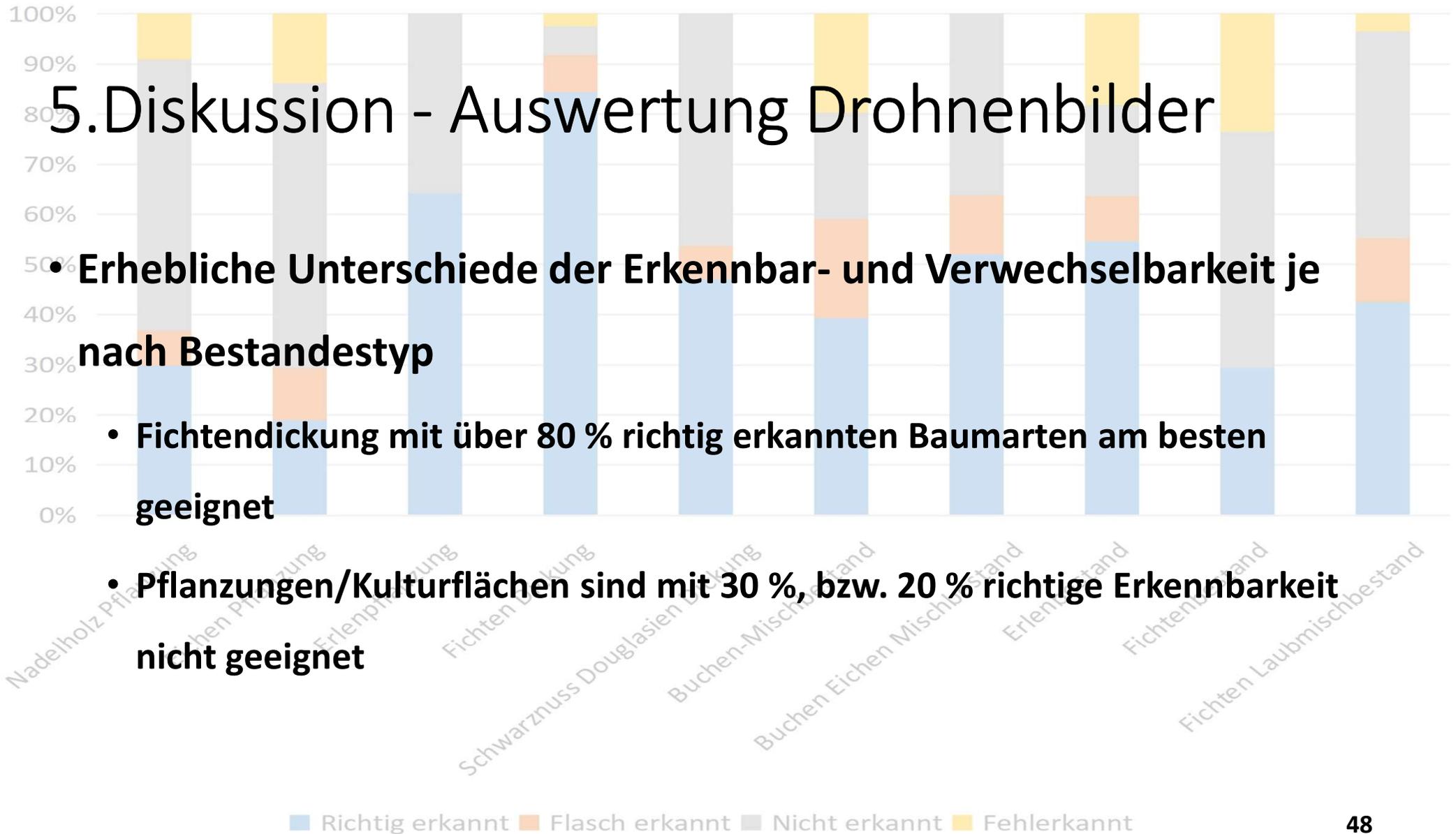


## 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

- **Baumhöhe; bis 6 m wichtiger Indikator**
- **BHD; Ähnlicher Kurvenverlauf wie bei Baumhöhe, bis 4 cm BHD**
- **Kraft'sche Baumklassen; bei der Erkennung ein wichtiger Faktor, unterständige werden fast nie erkannt**



## 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder



• **Erhebliche Unterschiede der Erkennbar- und Verwechselbarkeit je nach Bestandestyp**

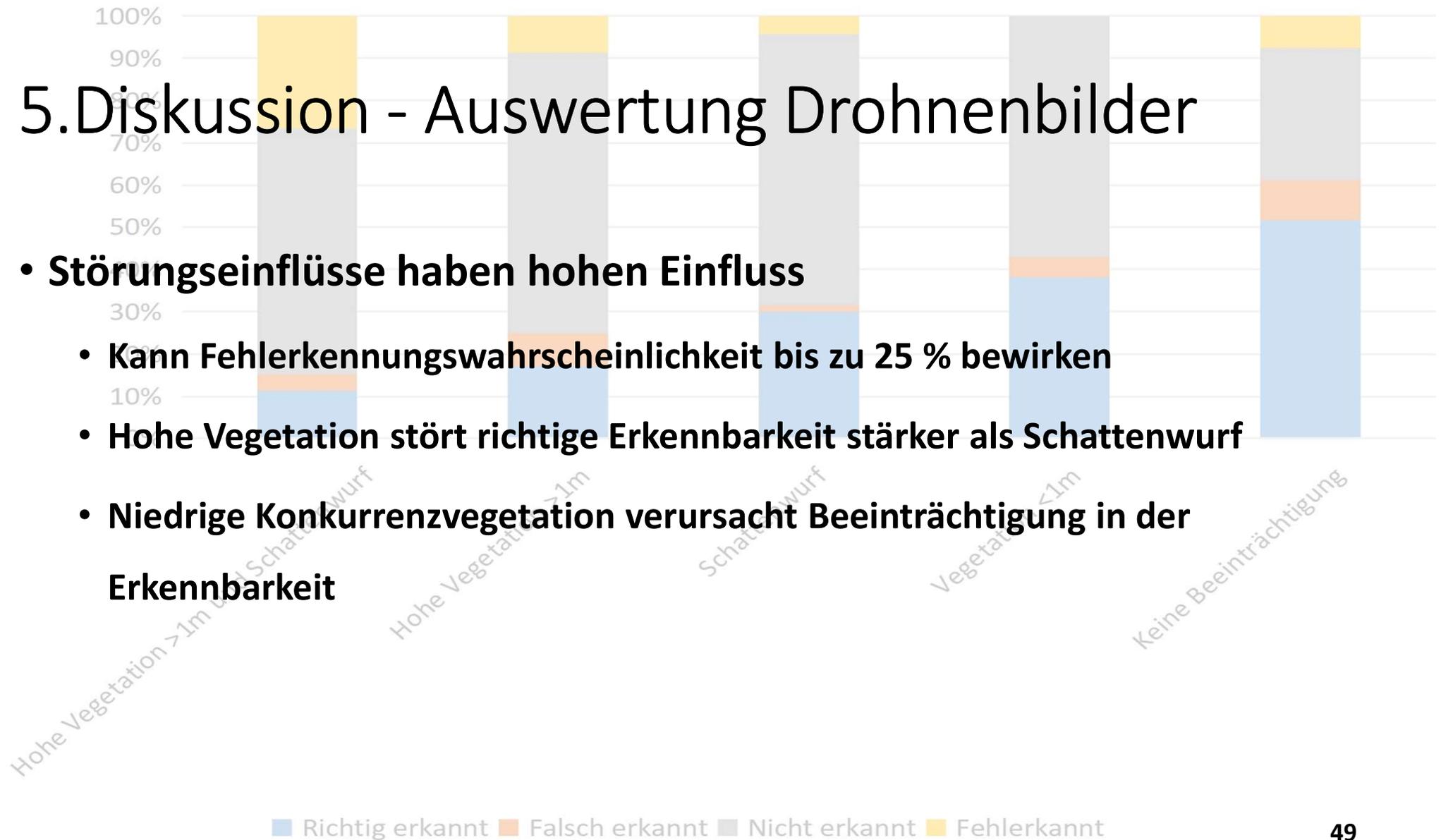
• **Fichtendickung mit über 80 % richtig erkannten Baumarten am besten geeignet**

• **Pflanzungen/Kulturflächen sind mit 30 %, bzw. 20 % richtige Erkennbarkeit nicht geeignet**

# 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

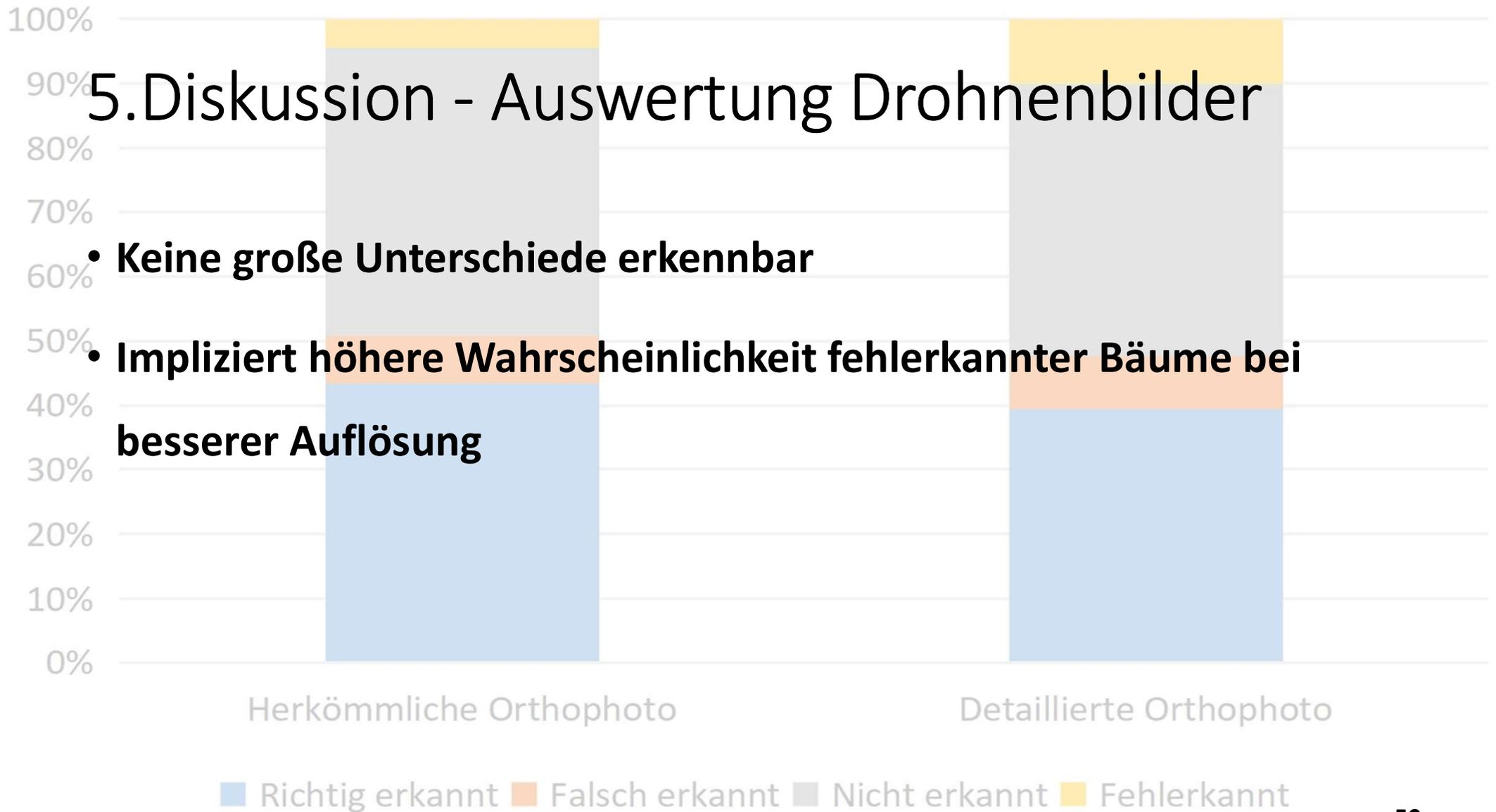
- **Störungseinflüsse haben hohen Einfluss**

- Kann Fehlerkennungswahrscheinlichkeit bis zu 25 % bewirken
- Hohe Vegetation stört richtige Erkennbarkeit stärker als Schattenwurf
- Niedrige Konkurrenzvegetation verursacht Beeinträchtigung in der Erkennbarkeit



## 5. Diskussion - Auswertung Drohnenbilder

- Keine große Unterschiede erkennbar
- Impliziert höhere Wahrscheinlichkeit fehlerkannter Bäume bei besserer Auflösung



# 6. Folgerungen



## 6. Folgerungen

- **Gesamtergebnis: Baumartenerkennung mit Orthophotos mit Drohnenbilder nicht flächig einsetzbar**
- **Genaueste Erkennbarkeit bei einer Baumhöhe von 5-6 m**
- **Gewisse Bestände sind besser für Baumartenerkennung geeignet**
- **Laub- und Nadelwälder gleich gut geeignet**
- **Unterstand wird kaum erkannt**

## 6. Folgerungen

- **Drohnenbilder zur Unterstützung des Forstbetriebs brauchbar für Bestände über 4 m Höhe**
- **Befliegungen mit Bodenmodell kann tiefere Flughöhen und höhere Auflösung ermöglichen**
- **Aufnahme einer Zeitreihe zu unterschiedlichen Jahreszeiten für unterschiedliche Baumarten**

# 7. Entwicklungen

- **Weitere Forschungen mit anderen Spektralfarben evtl. bessere Ergebnisse**
- **Künstliche Intelligenz**
- **Technologie entwickelt sich ständig**

# Quellen

- Ackermann, J.; Adler, P.; Engels, F.; Hoffmann, K., Jütte, K.; Rüffer, O.; Sagischewski, H.; Seitz, R. (2014): Gründung der Arbeitsgruppe Forstliche Fernerkundung der Länder. Forstliche Fernerkundung in den Bundesländern auf neuen Wegen. In: AFZ-DerWald. Online verfügbar unter [https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfv/publikationen/pdf/ackermann\\_2014\\_forstliche\\_fernerkundung.pdf](https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfv/publikationen/pdf/ackermann_2014_forstliche_fernerkundung.pdf), zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- Ackermann, J.; Adler, P.; Hoffmann, K.; Hurling, R.; John, R.; Otto, L-F.; Sagischewski, H.; Seitz, R.; Straub, C.; Stürtz, M. (2018): Früherkennung von Buchdruckerbefall durch Drohnen. AFZ-DerWald (19), S. 50-53. Adler, P. (2020): Die Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten – AFL. FVA, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg -. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/waldinventur/fernerkundung-im-forst>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- Albertz, J. (2009): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. 4., aktualisierte Aufl. Darmstadt: WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Programm des BMEL zur Fernerkundung. Chancen für Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft, für Politik und Verwaltung. Online verfügbar unter [https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf?__blob=publicationFile&v=8), zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2022): Wald in Deutschland - Waldbericht der Bundesregierung 2021. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldbericht2021.html>, zuletzt aktualisiert am 12.10.2022, zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- Dieings (2022): HOME - Dieings. Online verfügbar unter <https://dieings.de/>, zuletzt aktualisiert am 17.10.2022, zuletzt geprüft am 06.06.2023. DJI (2023): P4 RTK - DJI. Online verfügbar unter <https://enterprise.dji.com/de/phantom-4-rtk>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- DJI Official (2023): DJI Terra - Produktinformationen - DJI. Online verfügbar unter <https://www.dji.com/de/dji-terra/info#faq>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023.
- DJI Official (2023): P4 RTK - Produktinformationen - DJI. Online verfügbar unter <https://www.dji.com/de/phantom-4-rtk/info>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023.

# Quellen

- Heitz, R.; Dempewolf, J.; Forstner, F.; Schwaller, A. (2023): Drohnen für den Schutzwald. Online verfügbar unter <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/324536/index.php>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023. Hildebrandt, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung. Für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. 1. Aufl. Heidelberg: Wichmann.
- Huss, J. (Hg.) (1984): Luftbildmessung und Fernerkundung. Unter Mitarbeit von Akça A., Hildebrandt G., Huss J., Kenneweg H., Peerenboom H. und Rhody B. Arbeitskreis Forstliches Karten- und Luftbildwesen. Karlsruhe: Herbert Wichmann Verlag. Keil, M., VOß, H.-H. (HRSG.), 1990, Untersuchung und Kartierung von Waldschäden mit Methoden der Fernerkundung. Abschlussdokumentation Teil B7, 071-135
- Kleiner, M., (noch nicht veröffentlicht), Masterarbeit, Uni Augsburg
- NETWAKE GMBH (2021a): Bedienungsanleitung\_POI\_Mobiler\_Zugang. NETWAKE GMBH (2021b): Bedienungsanleitung\_Webportal. NETWAKE GMBH (2021c): Mobiles, hochpräzises GPS-Modul mit RTK Technologie. URL: [www.netwakevision.com](http://www.netwakevision.com). (abgerufen am: 22.7.2021). NETWAKE GMBH (2021d): NetwakeVision-RoyalFix-UserGuide. Oesten, G.; Kuntz, S.; Gross, C. (Hg.) (1991): Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Stand und Entwicklungen. Karlsruhe: Wichmann.
- Roloff, A., Bärtels, A. (2018): Flora der Gehölze. 5., aktual. Aufl. Stuttgart: Ulmer. Roth, M., (2023): Rückegassen aus Drohnen Befliegungen kartieren, Online verfügbar unter <http://www.foerstertreff.de/category/rueckegassen/>, zuletzt geprüft am 10.06.2023 Skyseed (2023): Waldumbau & -Aufbau, Online verfügbar unter <https://www.skyseed.eco/>, zuletzt geprüft am 10.06.2023.
- Was ist ein Gimbal (Bildstabilisierung)? | Drohnen und Technik (2023). Online verfügbar unter <https://www.drohnen.de/4602/was-ist-ein-gimbal-bildstabilisierung/>, zuletzt aktualisiert am 06.06.2023, zuletzt geprüft am 06.06.2023. WAGNER, J. (2021): Genauigkeiten von vier verschiedenen GNSS-Systemen bei unterschiedlichen Überschirmungsbedingungen.
- Wingartz, M. (2020): Digitale Aufnahme von Schadholz mittels Drohne und anschließende Datenverarbeitung und -weitergabe mittels Softwarelösung. Eine Vergleichsstudie zwischen terrestrischem und digitalem Schadholzmonitoring. Online verfügbar unter [https://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Wingartz\\_Moritz.pdf](https://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Wingartz_Moritz.pdf), zuletzt geprüft am 06.06.2023.

# Quellen

- Mündliche Quellen
  - Roth, M. (2023): Experteninterview
  - Heistermann, J. (2023): Experteninterview
- Abbildungsverzeichnis/Tabellenverzeichnis/Bildquellen
  - Thomas Hansen, eigene Darstellung
  - Thomas Hansen, eigene Aufnahmen
  - Aufgenommene Bestände; Quelle: WoodInVision OSM Standardkarte