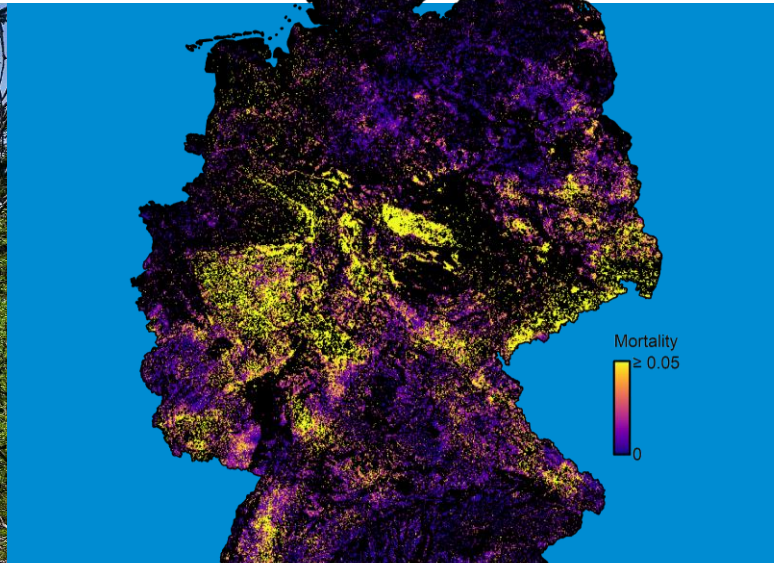
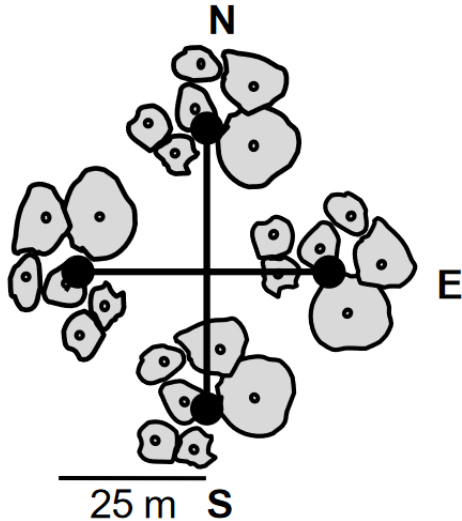


# Zustand und Herausforderungen der Wälder

Nikolai Knapp, Nicole Wellbrock  
Thünen-Institut für Waldökosysteme



# Waldzustandserhebung



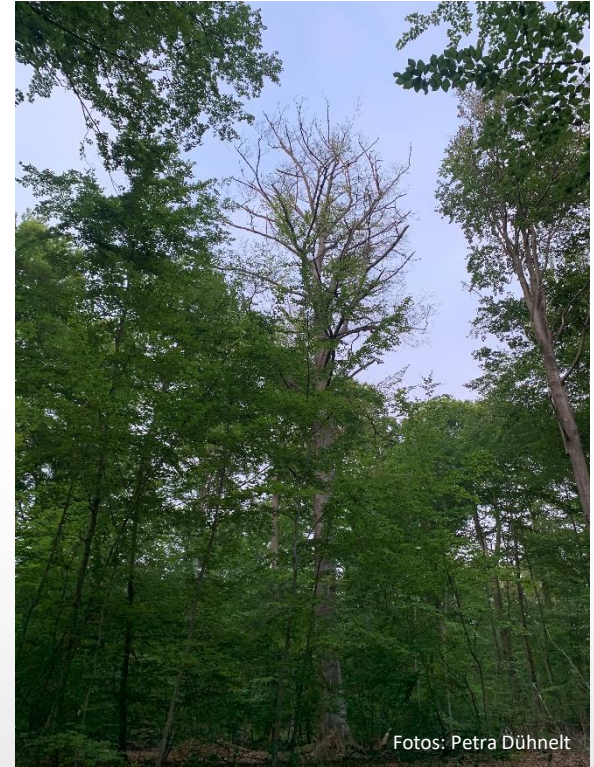
ICP Forests Manual Part II

- Waldzustandserhebung (WZE) ist Teil des Europäischen ICP Forests Monitorings
- Findet jährlich auf 16 km x 16 km Gitter statt
- Kronenzustand von je 24 Bäumen an ca. 400 Trakten durch Feldteams
- Zeitreihe seit Ende der 1980er





# Schadstufen der Kronenverlichtung



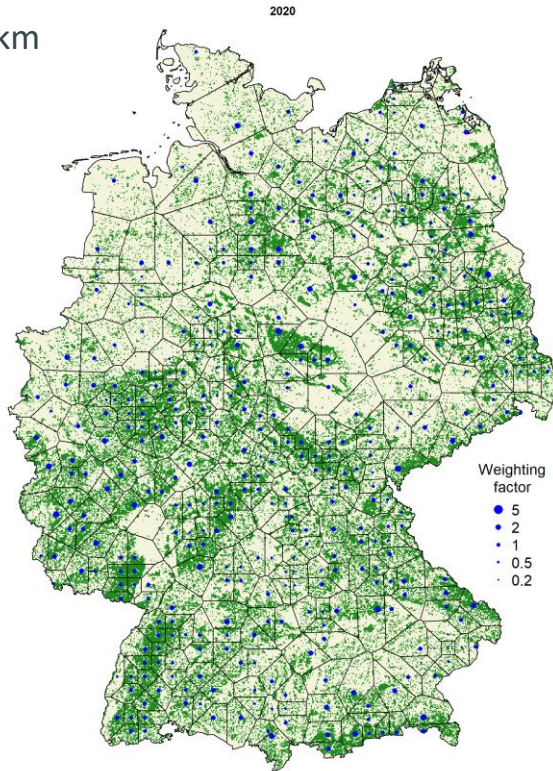
Fotos: Petra Dühnelt

Ohne Verlichtung	Warnstufe	Deutliche Verlichtung	Abgestorben
0 – 10% Blattverlust	>10 – 25% Blattverlust	>25 – 100% Blattverlust	100% Blattverlust

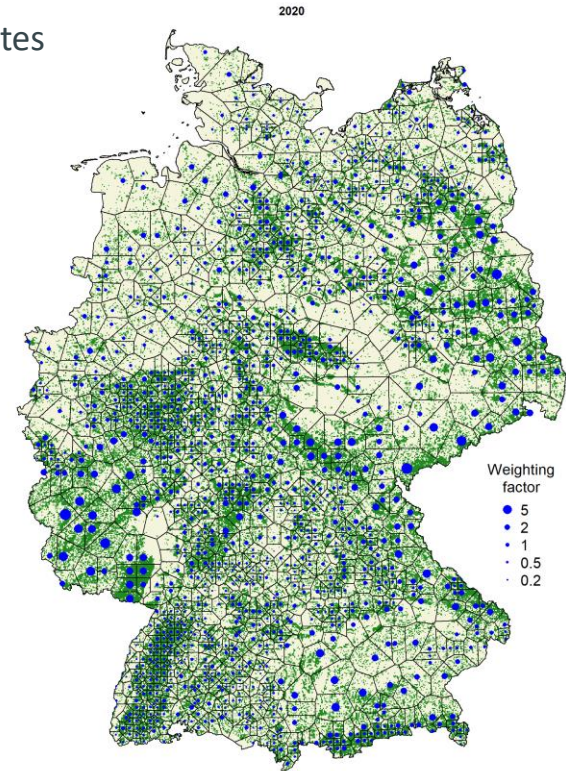


# Stichprobendichte

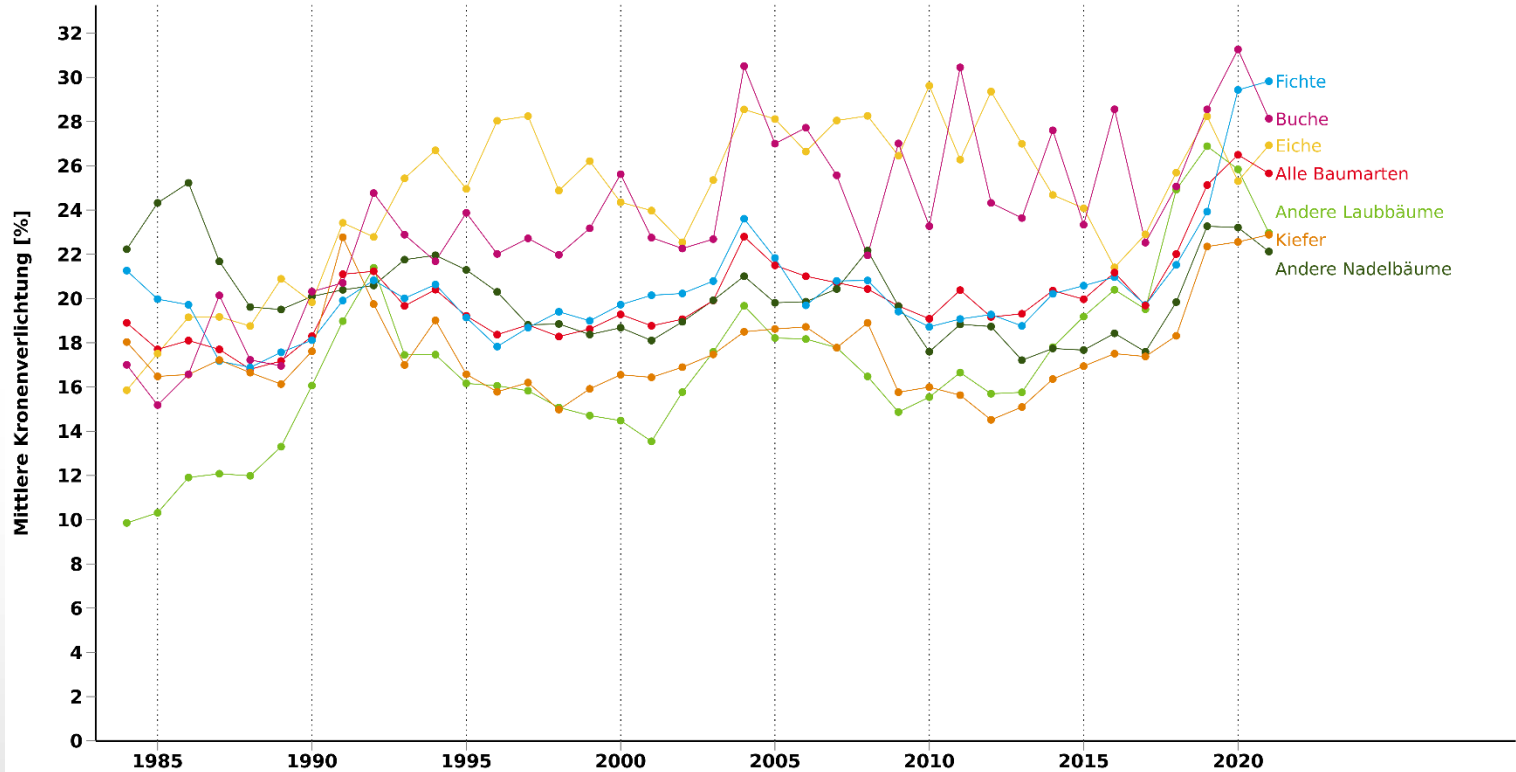
16 km × 16 km  
Gitter



Verdichtetes  
Gitter



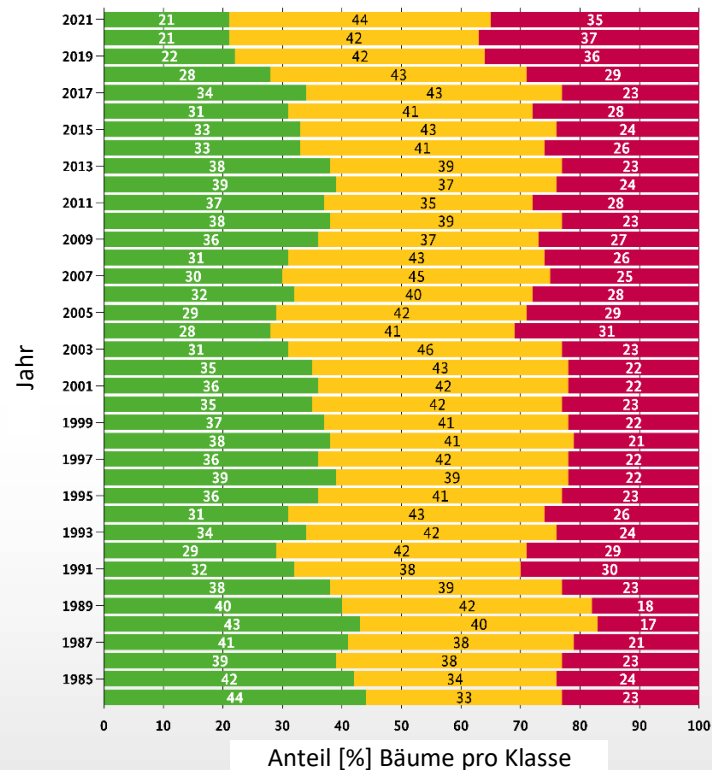
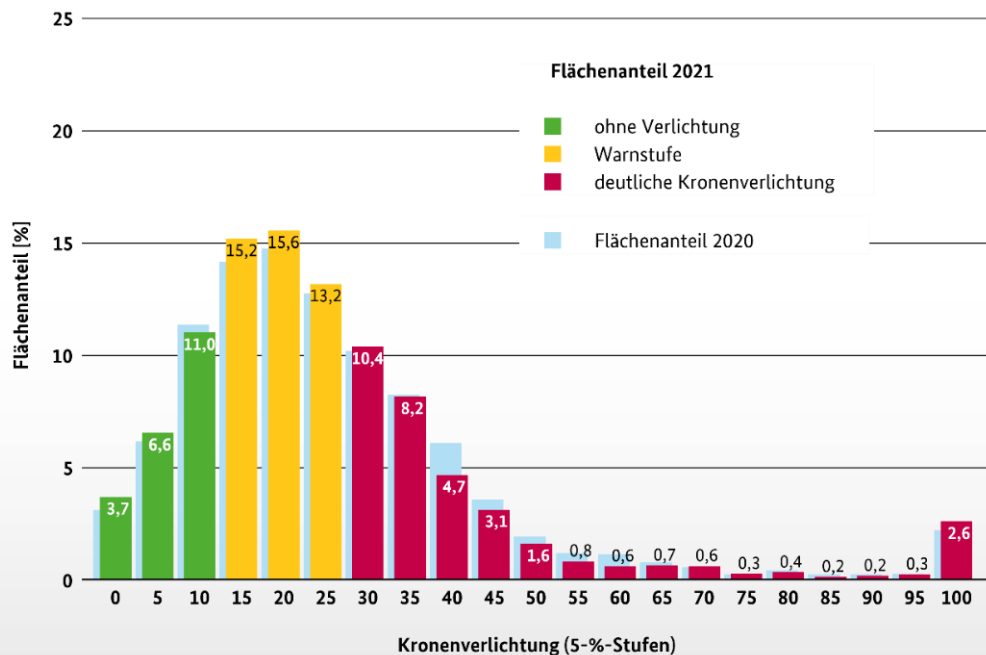
# Zeitreihe der mittleren Kronenverlichtung



Quelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, 2022

# Kronenzustand aller Bäume

## Alle Baumarten 2021

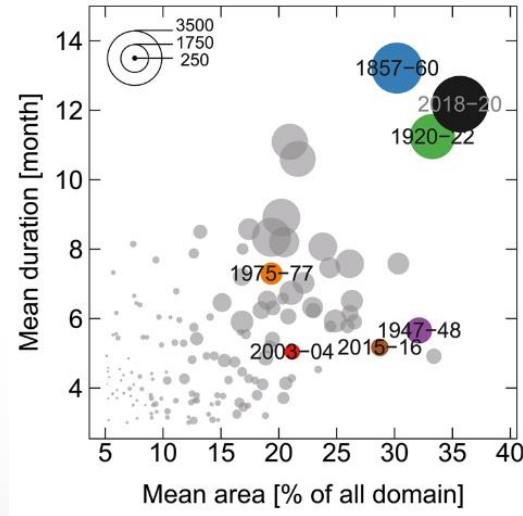


Ohne Verlichtung	Warnstufe	Deutliche Verlichtung	Abgestorben
0 – 10% Blattverlust	>10 – 25% Blattverlust	>25 – 100% Blattverlust	100% Blattverlust

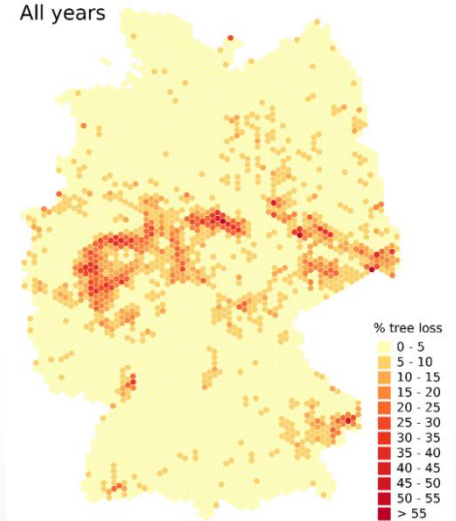
# Dürre 2018-2020



Foto: Frank Preiß - preiss-foto.de



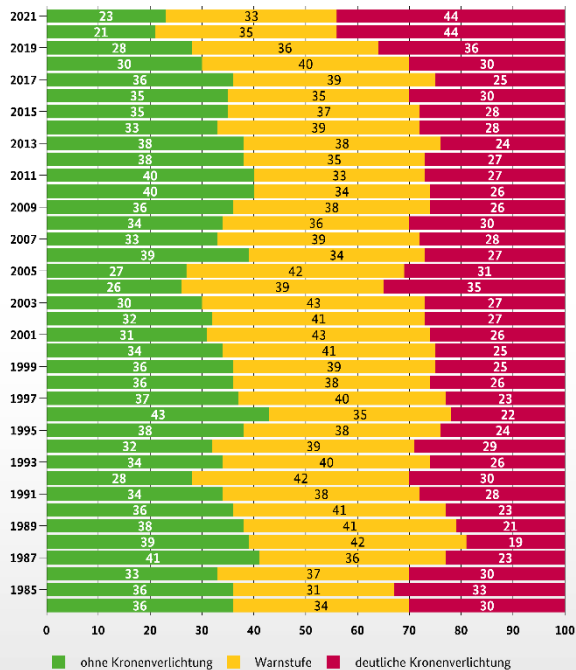
Rakovec et al. (2022) *Earth's Future*



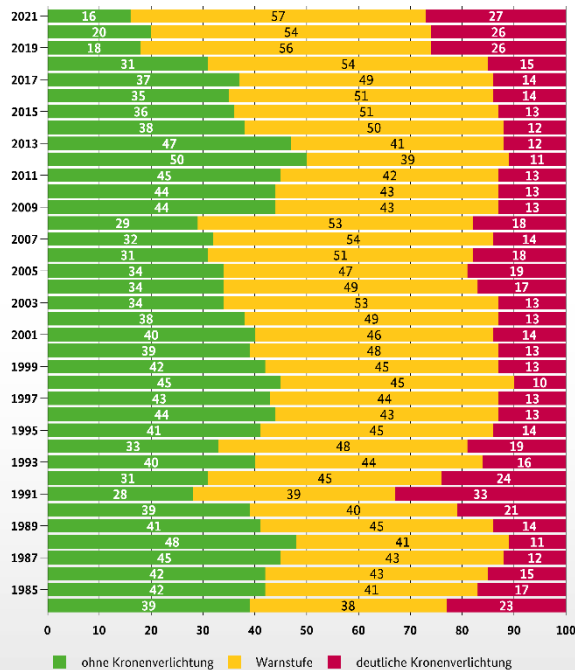
Thonfeld et al. (2022) *Remote Sensing*

# Kronenzustand der Nadelbäume

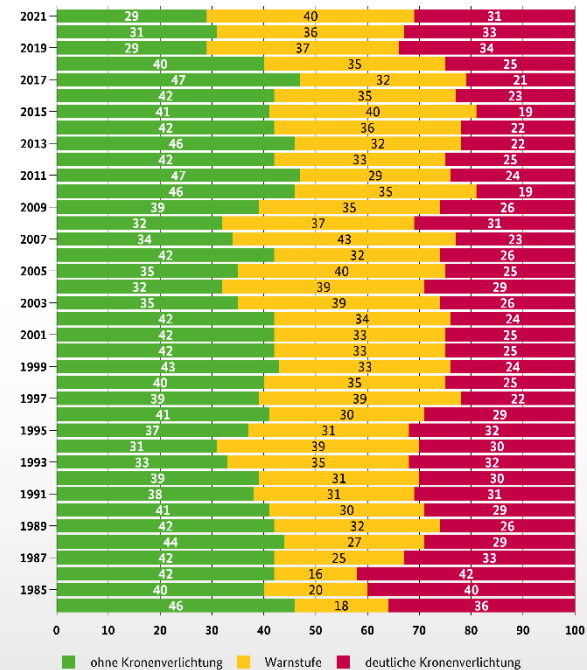
## Fichte



## Kiefer



## Andere Nadelbäume

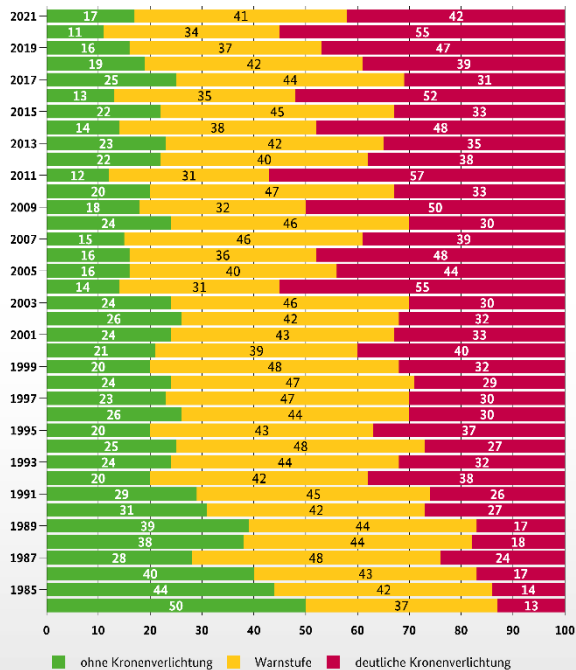


Ohne Verlichtung	Warnstufe	Deutliche Verlichtung	Abgestorben
0 – 10% Blattverlust	>10 – 25% Blattverlust	>25 – 100% Blattverlust	100% Blattverlust

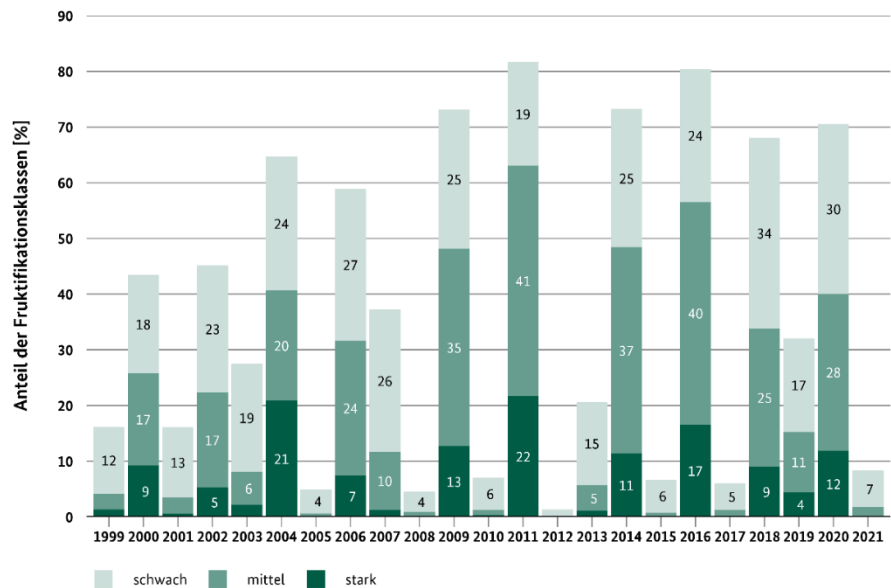


# Kronenzustand der Laubbäume

## Buche



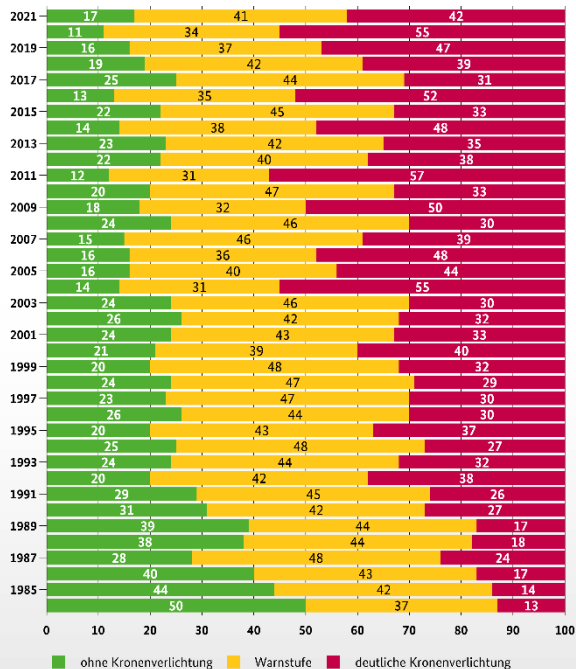
## Mastjahre der Buche



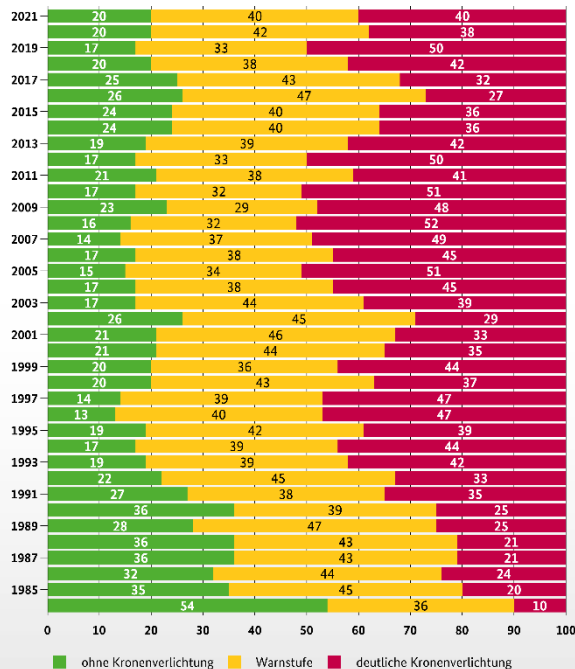
Ohne Verlichtung	Warnstufe	Deutliche Verlichtung	Abgestorben
0 – 10% Blattverlust	>10 – 25% Blattverlust	>25 – 100% Blattverlust	100% Blattverlust

# Kronenzustand der Laubbäume

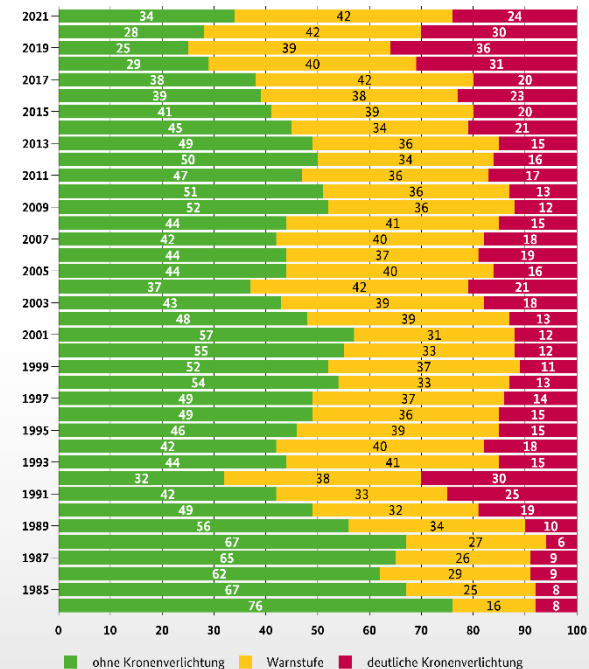
## Buche



## Eiche

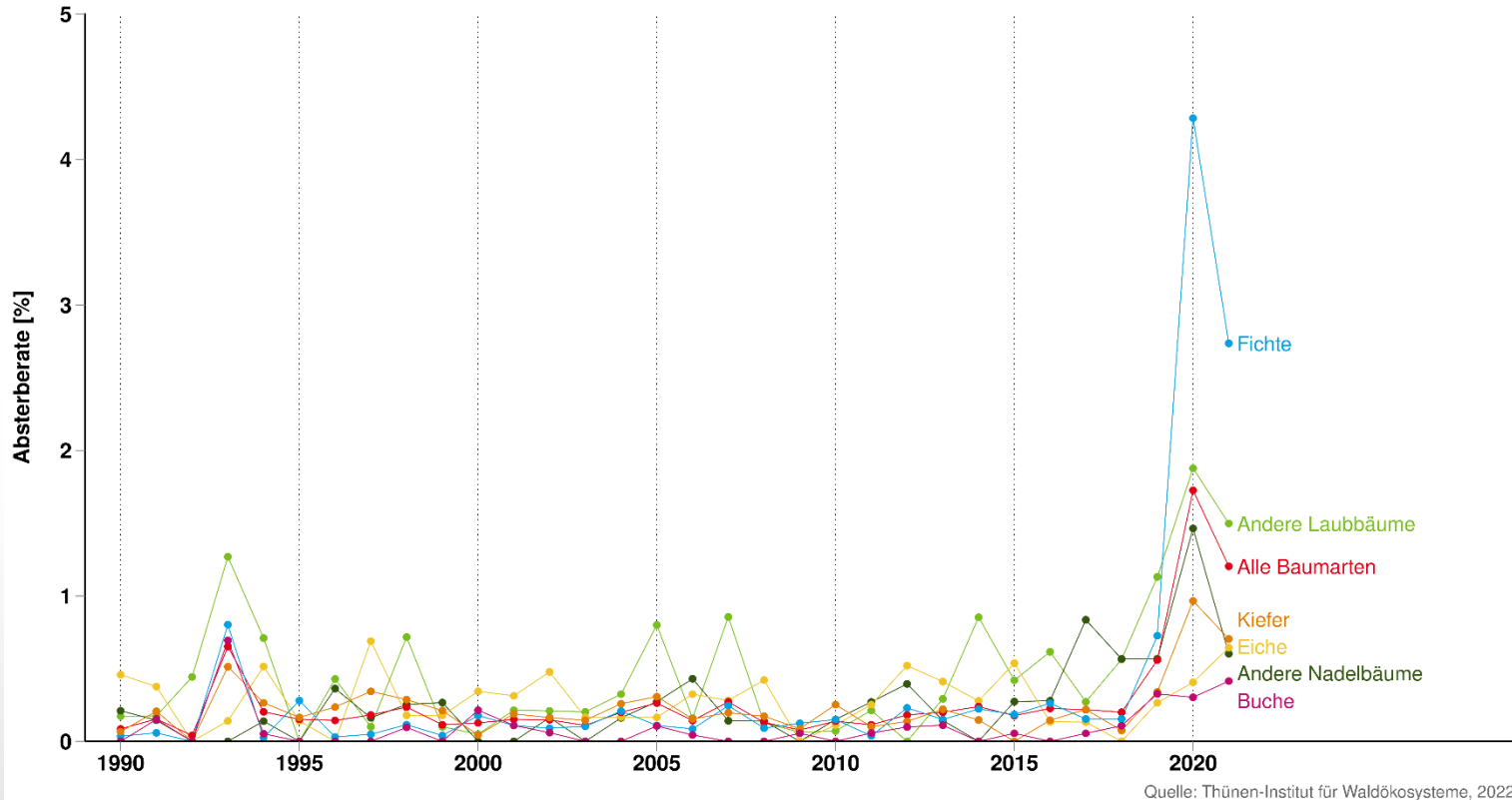


## Andere Laubbäume



Ohne Verlichtung	Warnstufe	Deutliche Verlichtung	Abgestorben
0 – 10% Blattverlust	>10 – 25% Blattverlust	>25 – 100% Blattverlust	100% Blattverlust

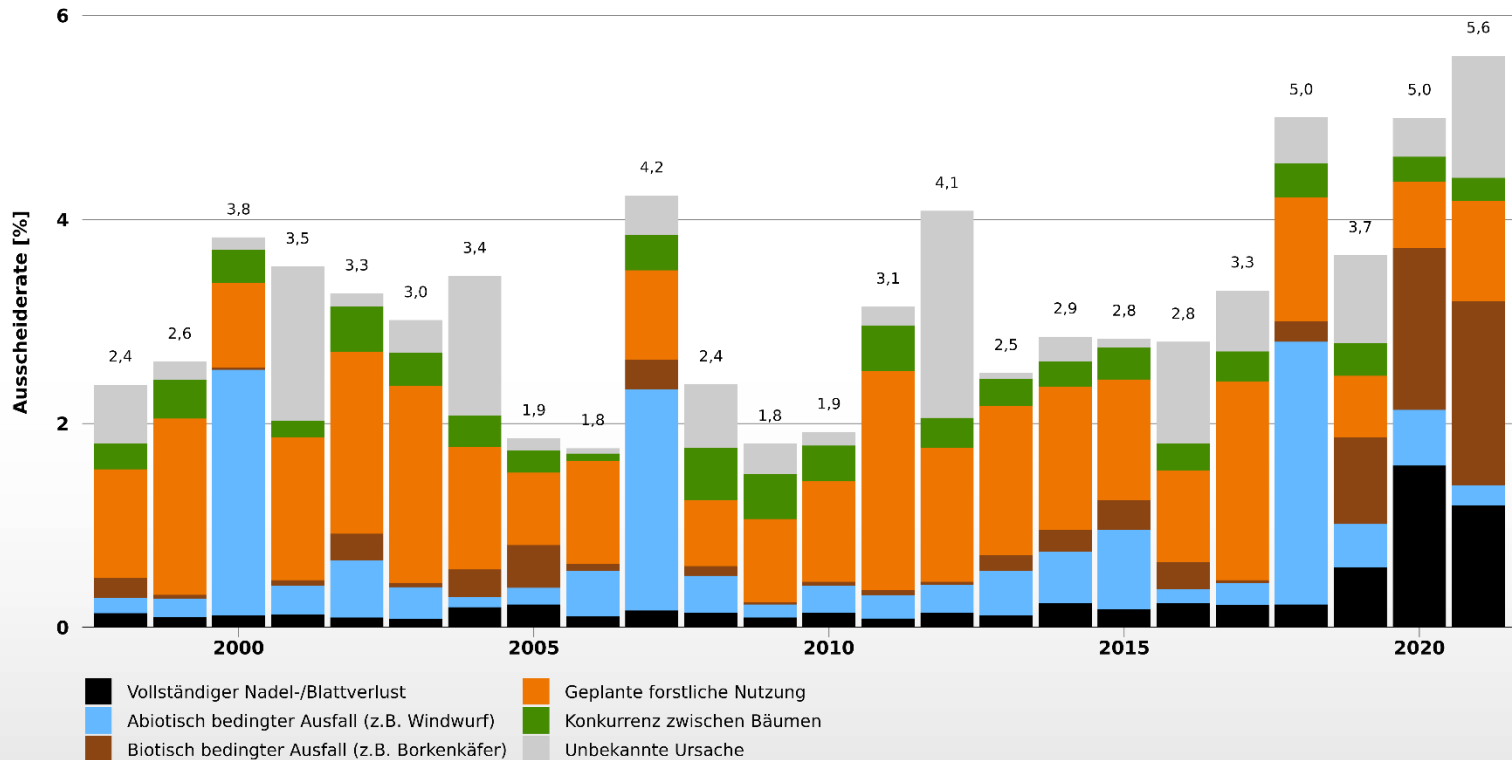
# Zeitreihe der Absterberaten



Quelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, 2022

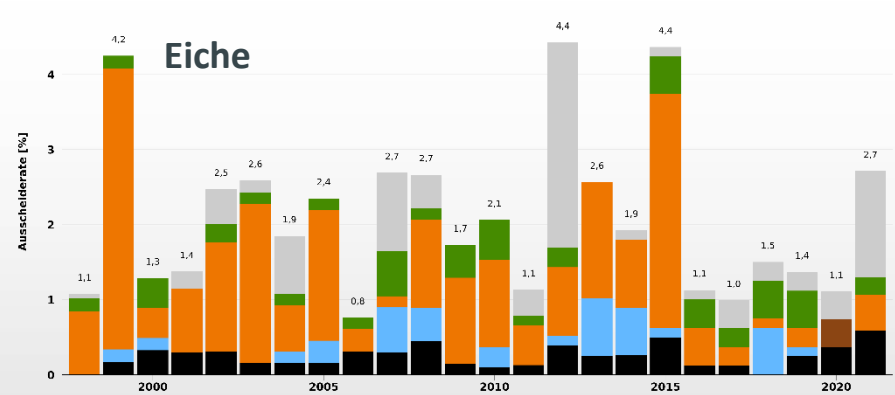
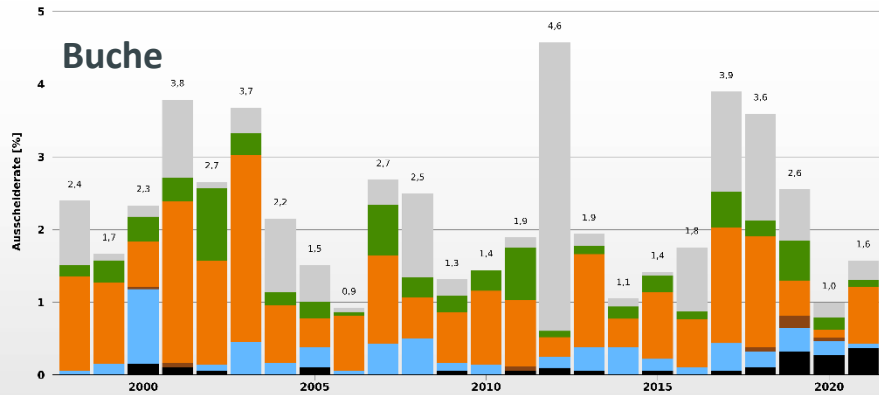
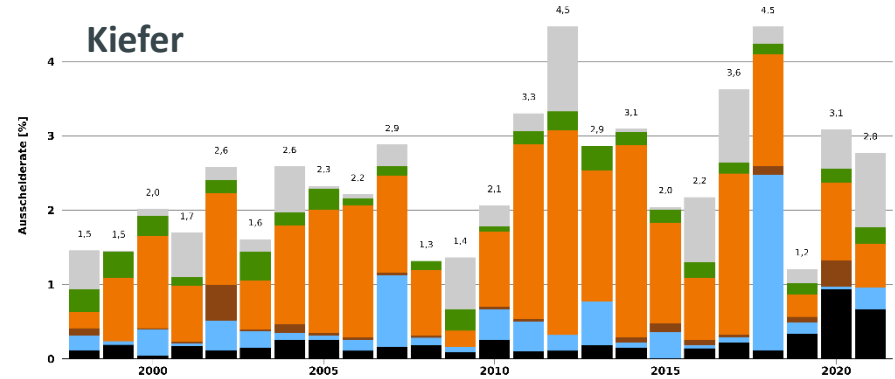
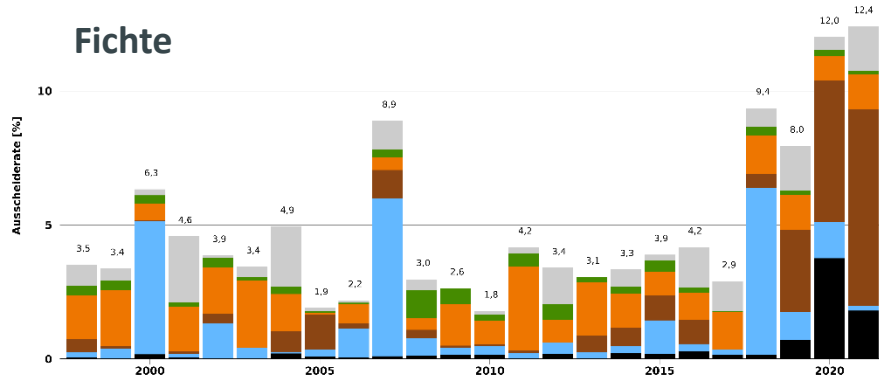


# Ausscheideraten (alle Baumarten)

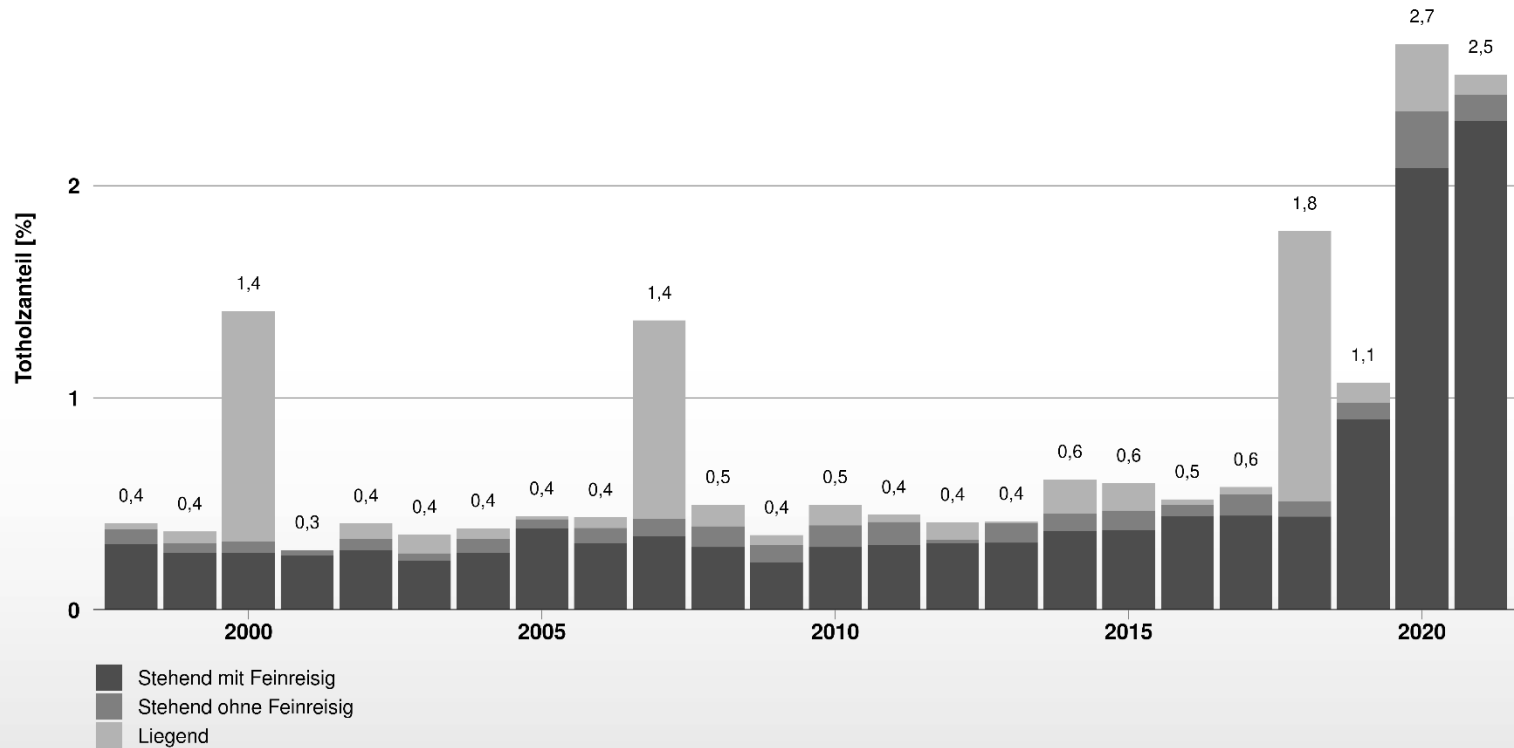


Quelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, 2022

# Ausscheideraten (Hauptbaumarten einzeln)



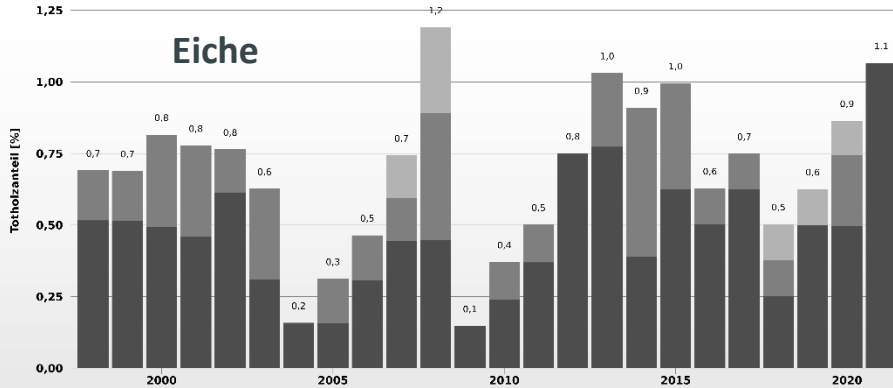
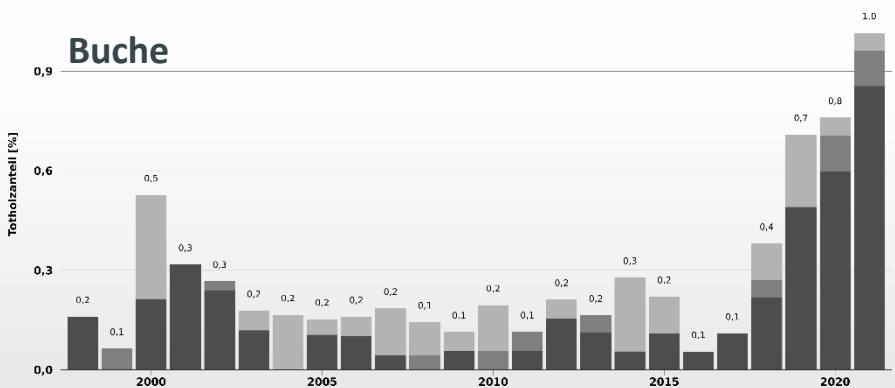
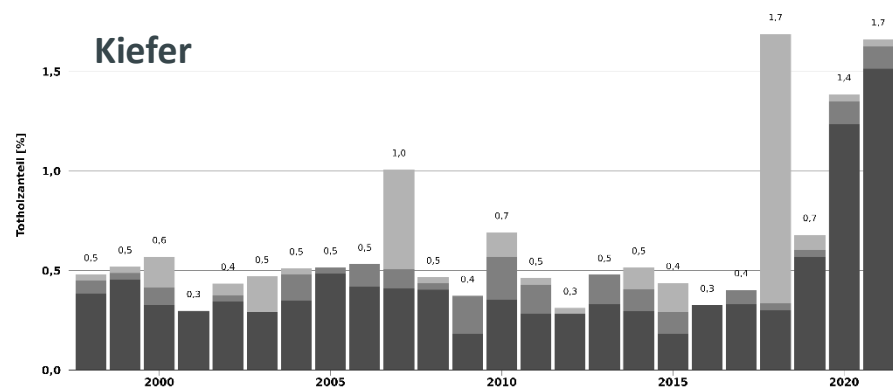
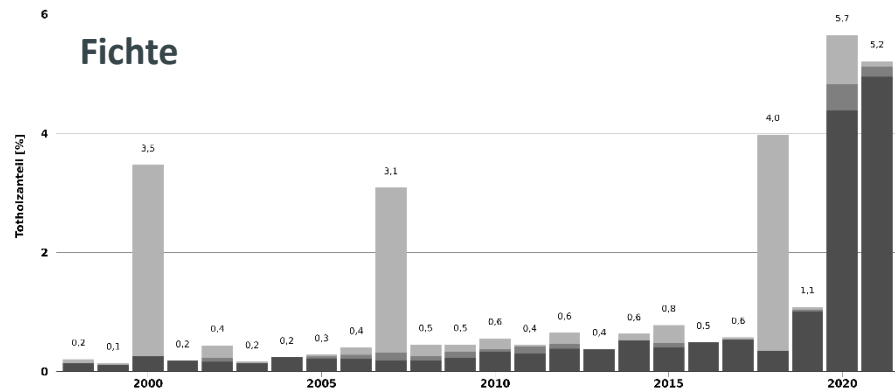
# Totholzanteil (alle Baumarten)



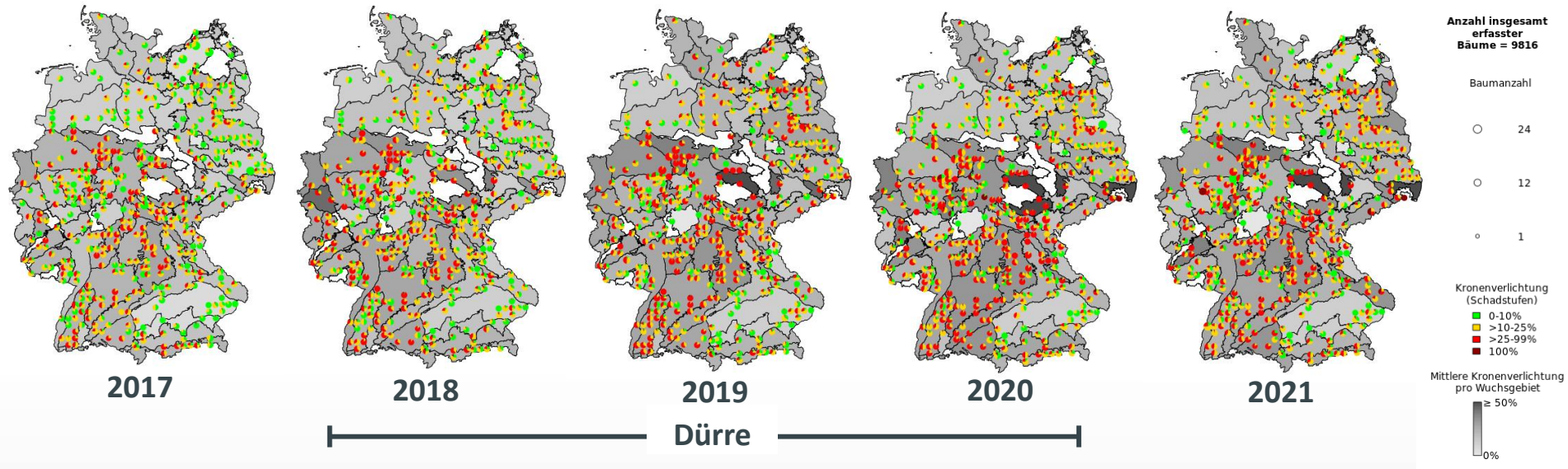
Quelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, 2022



# Totholzanteil (Hauptbaumarten einzeln)

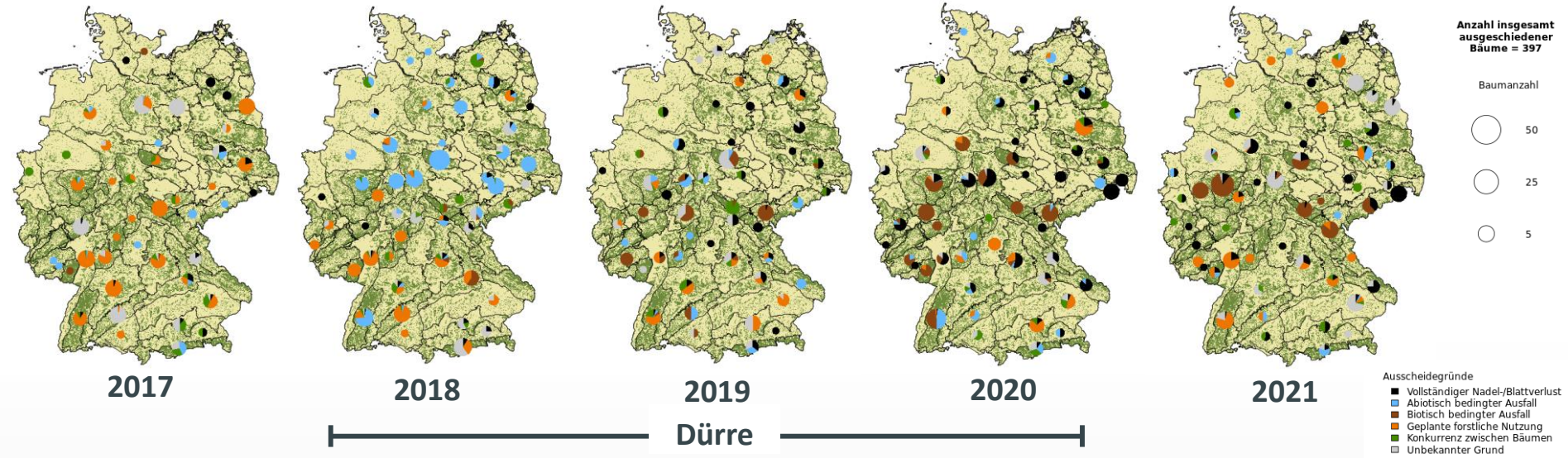


# Punktbasierte Schadstufenkarten (alle Baumarten)



- Visualisierung der Kronenverlichtungsdaten zur Erkennung raumzeitlicher Muster
- Tortendiagramme: Häufigkeit der Schadstufen an jedem Punkt
- Hintergrund: Mittlere Kronenverlichtung pro Wuchsgebiet

# Wuchsgebietsbasierte Ausscheidekarten (alle Baumarten)



- Visualisierung der Ausscheidendaten zur Erkennung raumzeitlicher Muster
- Tortendiagramme: Häufigkeit der Ausscheidegründe in jedem Wuchsgebiet
- Hintergrund: Waldbedeckung



# Regionalisierung der Waldzustandserhebung

Nutzung von **Umweltvariablen** um **Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge** mit Verfahren des **maschinellen Lernens** zu modellieren

- Erstellung von **flächendeckenden Karten** der **Kronenverlichtung** und **Mortalität** für die verschiedenen **Baumarten** basierend auf den punktuellen **WZE-Daten**
- Parametrisierung von **Simulationsmodellen** der **zukünftigen Waldentwicklung** unter verschiedenen **Klima-** und **Managementszenarien**

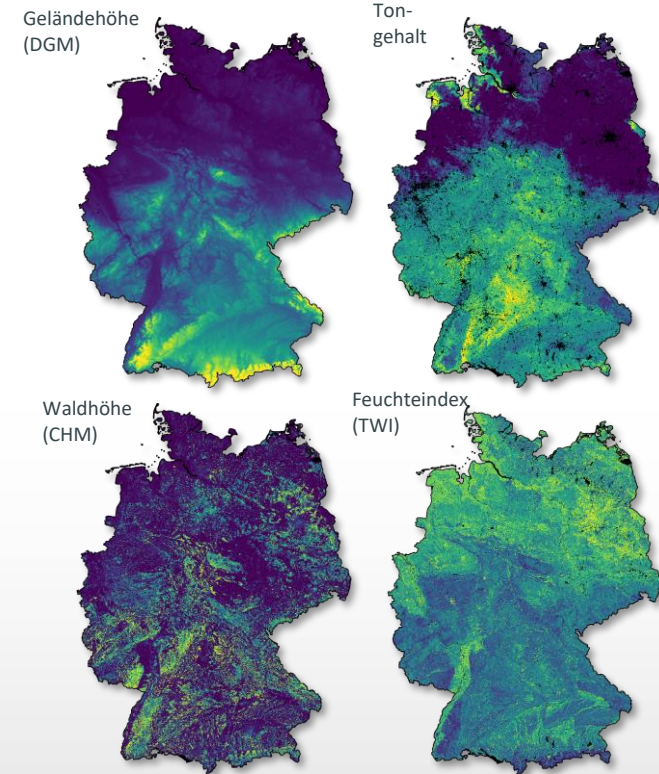
# Umweltvariablen und Modellansatz

## Prädiktoren

- Klimazeitreihen (DWD: Temperatur, Niederschlag, Evapotranspiration,... , aggregiert pro Jahreszeiten, auch für Vorjahre, langjährige Mittel und Abweichungen davon)
- Bodeneigenschaften (SoilGrids: Textur, PH, Kohlenstoff- und Stickstoff-Gehalt,...)
- Geländemodell (ALOS: Geländehöhe, Neigung, Himmelsrichtung, JKI: Topographischer Feuchteindex,...)
- Oberflächenmodell (BKG DOM1: Waldhöhe, Struktur, Lückenanteil,...)
- Distanzen zu Waldrändern und Wegen
- Lokale Baumartendiversität
- Deposition von Stickstoff- und Schwefel-Verbindungen
- 285 Prädiktoren, 100-m Auflösung

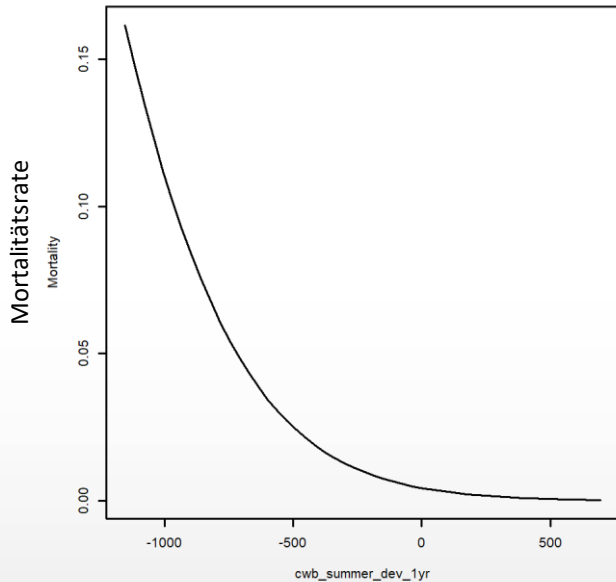
## Machine Learning Modelle

- Random Forest Regression der Kronenverlichtung
- Logistische Regression der Mortalität

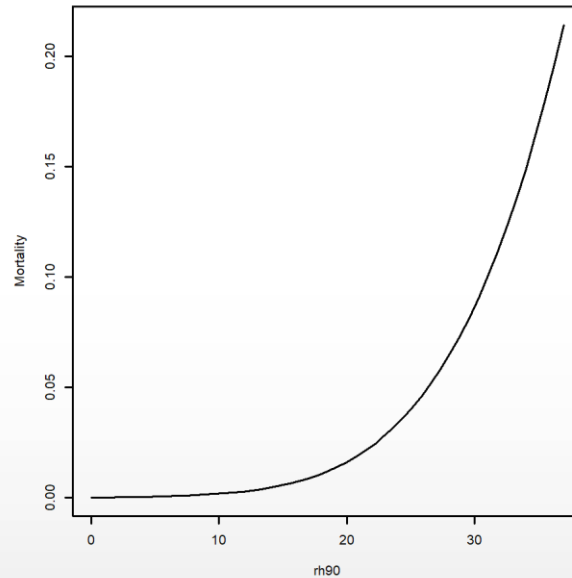


# Mortalitätsmodell (alle Baumarten)

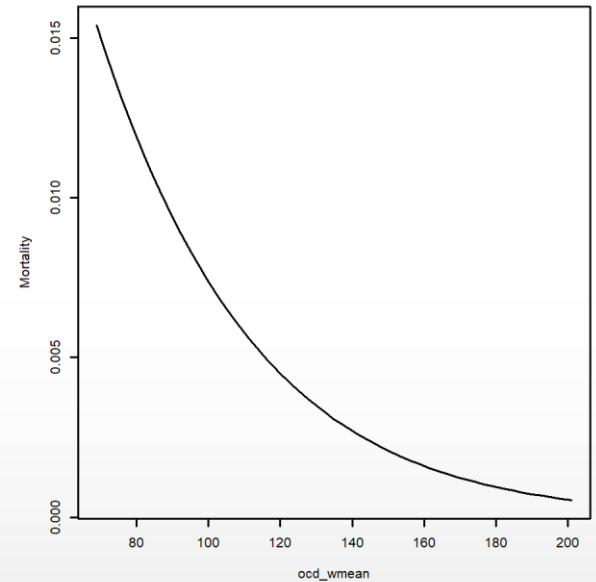
Zusammenhänge zwischen einzelnen Prädiktoren und der Mortalität (partial dependence plots)



Abweichung der klimatischen Wasserbilanz des Vorjahressommers vom langjährigen Sommermittel [mm]



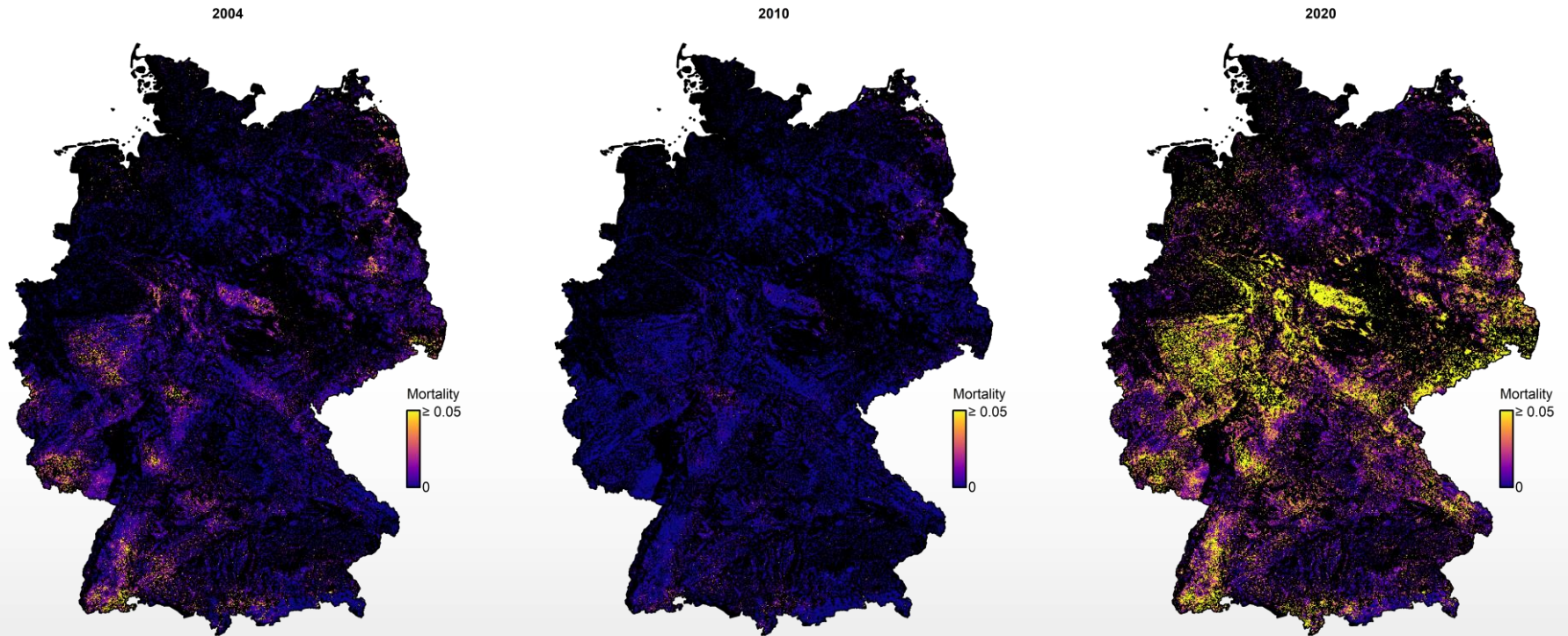
Kronendachhöhe der hohen Bäume (RH90) [m]



Bodenkohlenstoffdichte [g dm<sup>-3</sup>]

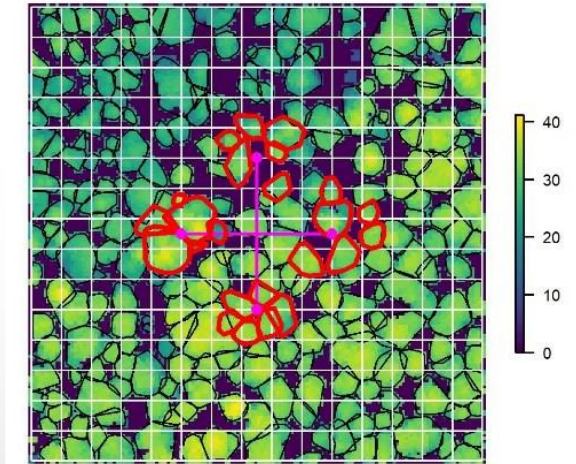


# Mortalitätskarten über die Zeit



# Ausblick: Integration von Fernerkundung

- **Vegetationsindex-Zeitreihen** multispektraler Sensoren (Sentinel-2)  
(Waldzustandsmonitor-Projekt des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung)
- **Laserscanningbasierte Einzelbaumerkennung** zur Ableitung der Kronenpolygone für die pixelgenaue **Verschneidung** mit **Satellitendaten** und zur Analyse des **Einflusses** von **Konkurrenz** auf die Kronenverlichtung



Aus Laserscanning abgeleitete Kronenprojektionsflächen von WZE-Bäumen

# Zusammenfassung

- **Waldzustand** in Deutschland hat sich seit den **Dürrejahren 2018-2020** erheblich **verschlechtert**
- Nur noch jeder fünfte Baum **voll vital (21%)**, jeder dritte Baum mit **deutlicher Kronenverlichtung (35%)** und jeder vierzigste Baum **abgestorben (2,5%)**
- Historisch hohe **Absterberate** von **1,7%** in 2020 (Fichte 4,3%)
- Vier Jahre in Folge (**2018-2021**) **Ausfallraten** von je **8-12%** bei der **Fichte**. Davon durch **Stürme 22%**, **Trockenheit 17%**, **Borkenkäfer 39%** und geplante Nutzung 12%
- Statistisch **Modellierung** der **Mortalität** soll Folgendes ermöglichen:
  - Besseres **Ursache-Wirkungsverständnis**
  - **Flächendeckende Karten**
  - **Simulationen** der **zukünftigen Waldentwicklung**

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

## Danksagung

Wir danken allen WZE-Verantwortlichen in den Bundesländern, allen Aufnahmeteams und dem WZE-Team des Thünen-Instituts.

## Referenzen

ICP Forests Manual [WWW Document], n.d. URL <http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual> (accessed 8.24.22).

Rakovec, O., Samaniego, L., Hari, V., Markonis, Y., Moravec, V., Thober, S., Hanel, M., Kumar, R., 2022. The 2018–2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe. *Earths Future* 10, e2021EF002394. <https://doi.org/10.1029/2021EF002394>

Thonfeld, F., Gessner, U., Holzwarth, S., Kriese, J., da Ponte, E., Huth, J., Kuenzer, C., 2022. A First Assessment of Canopy Cover Loss in Germany's Forests after the 2018–2020 Drought Years. *Remote Sens.* 14. <https://doi.org/10.3390/rs14030562>

## Links

Aktueller Waldzustandsbericht: <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html>

Interaktive Graphiken und Datendownload: <https://wo-apps.thuenen.de/apps/wze/>

Hintergrundinformation zur WZE: <https://blumwald.thuenen.de/>

