

► Project brief

Thünen-Institut für Waldökosysteme

2025/19

Sturmschäden im Forst: Das Windwurfrisiko für Deutschland mit ForestGALES modellieren

Catrin Stadelmann¹, Line Grottian¹, Marco Natkhin¹

- **Vorhersage der Sturmschadenswahrscheinlichkeit durch statistische Anpassung verbessert.**
- **Modell für Fichte, Buche und Douglasie regional parametrisiert.**
- **Gesamtgenauigkeit der Schadensvorhersage steigt um 2% (Buche) bis 6% (Fichte, Douglasie).**

Hintergrund und Zielsetzung

In der Vergangenheit haben Winterstürme, wie Lothar (1999) und Friederike (2018), schwerwiegende Schäden in Wäldern in ganz Europa verursacht. Von 1950 bis 2000 waren 53% des gesamten geernteten Holzvolumens auf Sturmschäden zurückzuführen, was zu hohen ökologischen und wirtschaftlichen Verlusten führte (Patacca et al., 2023). Schwere Winterstürme verursachen bereits jetzt große Schäden in bewirtschafteten Wäldern. Für die mitteleuropäische Region wird zudem unter dem Einfluss des Klimawandels eine Zunahme der Sturm- schwere projiziert. Folgeschäden, zusammengesetzte Störungen und Störungsinteraktionen, sind ebenfalls relevant, da beispielsweise sturmgeschädigte Gebiete auch durch nachfolgende Störungen, wie Borkenkäferbefall, beeinträchtigt werden können. Jedoch sind Sturmereignisse schwer vorherzusagen (Möller et al., 2016) und nicht vermeidbar.

Stattdessen werden Modelle zu Hilfe genommen, um Gebiete zu identifizieren, für die ein hohes Risiko vorliegt, von Stürmen geschädigt zu werden. Neben rein statistischen Modellen, gibt es auch hybrid-mechanistische Modelle, mit denen die

Prozesse im Zusammenhang mit der Entstehung von Sturmschäden betrachtet werden können. Das hier verwendete Modell ForestGALES (Gardiner et al., 2008) ist ein solches hybrid-mechanistisches Modell, welches für Wälder in Großbritannien entwickelt wurde. Eine wichtige Zielgröße des Modells ist die kritischen Windgeschwindigkeit (CWS), also die Geschwindigkeit, bei der ein Schaden durch Entwurzelung oder Stammbruch auftritt. Durch die Berechnung der CWS und der Abschätzung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der lokalen Windklimatologie können solche Modelle für das Management von Forstbeständen hinsichtlich Sturmschäden eingesetzt werden.

Im Projekt WINMOL haben wir ForestGALES für deutsche Wälder angepasst und getestet ob und wie diese Anpassung die Vorhersagekraft des Modells verbessert (Stadelmann et al., 2025).

Vorgehensweise

Für die Anpassung des Modells haben wir einen großen Datensatz bestehend aus 123369 Einzelbäumen, verteilt auf 1259 Standorte, verwendet (Abb. 1; gelbe Punkte). Die Daten stammen von waldwachstumskundlichen Versuchsflächen aus Baden-Württemberg (Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung für Waldwachstum) und aus dem Netzwerk des intensiven forstlichen Monitorings (Level II; basierend auf ICP forest Daten) und beinhalteten neben Informationen über die Einzelbäume auch Informationen über Schädigung durch Stürme. Für unsere Analyse betrachteten wir die Baumarten Fichte (*Picea abies*), Buche (*Fagus sylvatica*) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), da für diese Baumarten eine ausreichende Datengrundlage vorhanden war. An allen Standorten (Abb. 1, gelbe Punkte) extrahierten wir zudem Bodeninformationen aus der deutschen Bodenübersichtskarte (BÜK200) und topographische Informationen aus dem digitalen Geländemodell (© GeoBasis DE / BKG 2024). Für die Berechnung der CWS nutzen wir die in ForestGALES implementierte „TMC Methode“ um das Sturmschadensrisiko für einzelne Bäume basierend auf einer Vielzahl von Bestandes- und Standortparametern zu bestimmen. Basierend auf der CWS wird anschließend in einem Vergleich mit historischen Windgeschwindigkeiten (GeWiSA; Jung und Schindler 2019) die Schadenswahrscheinlichkeit berechnet.

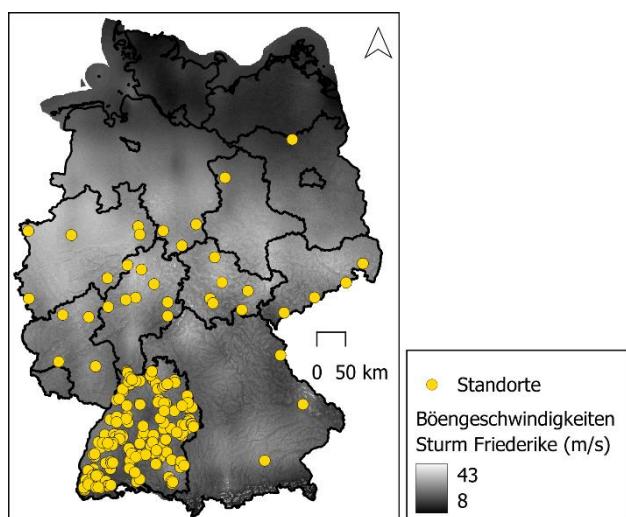


Abbildung 1: Standorte der Eingangsdaten aus Einzelbäumen (gelbe Punkte). Die Böengeschwindigkeiten (m/s) des Sturms Friederike sind im Hintergrund abgebildet (Quelle: GeWiSA; Jung und Schindler 2019).

Die Regionalisierung des Modells für deutsche Wälder haben wir mittels einer automatischen statistischen Kalibrierung durchgeführt, die iterativ einzelne modellinterne Parameter verändert und eine Kombination dieser Parameter findet, um die Schäden in den Referenzdaten bestmöglich abzubilden ([Stadelmann et al., 2025](#)).

Tabelle 1: Vergleich der Modellergebnisse für Buche, Fichte und Douglasie für die statistisch angepasste Version (angepasst) und die Standardversion von ForestGALES (Standard). Die gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf den Validierungsdatensatz. ACC: Gesamtgenauigkeit (Verhältnis der richtig modellierten Bäume zu allen Bäumen), AUC: Fläche unter der Receiver-Operator Characteristics Kurve, MCC: Matthew's correlation coefficient. Die grün hinterlegten Felder zeigen jeweils den besseren Wert für den entsprechenden Parameter.

		ACC	AUC	MCC
Buche	Standard	0,65	0,69	0,41
	angepasst	0,67	0,74	0,43
Douglasie	Standard	0,54	0,58	0,11
	angepasst	0,60	0,65	0,33
Fichte	Standard	0,54	0,78	0,20
	angepasst	0,60	0,78	0,29

Ergebnisse

Für die "TMC-Methode" konnten wir durch die automatische Kalibrierung bessere Ergebnisse in der Modellperformance für alle drei betrachteten Baumarten erreichen (Tab. 1, grün hinterlegt). Für alle drei Baumarten konnten der Großteil der ausgewählten Kenngrößen der Modellperformance verbessert werden. Einen besonderen Fokus legten wir hier auf die Verbesserung des Matthew's Correlation Coefficient (MCC), welcher als Gütemaß alle Felder einer Konfusionsmatrix einbezieht und dadurch sowohl richtige als auch falsch modellierte geschädigte und nicht geschädigte Bäume gleichermaßen in die Bewertung einbezieht.

Die größte Verbesserung erzielten wir bei der Douglasie. Für diese Baumart unterschätzt das angepasste Modell weniger häufig die Schadwahrscheinlichkeit durch Sturmschäden als zuvor, gleichzeitig werden aber auch etwas häufiger Bäume fälschlicherweise als geschädigt klassifiziert.

Im Falle der Buche und der Fichte neigt das Standardmodell dazu, die Schadwahrscheinlichkeit zu hoch einzuschätzen. Dies wurde im angepassten Modell deutlich verbessert. Einher geht diese Verbesserung mit einer etwas geringeren Rate bei der korrekten Einschätzung der Schadwahrscheinlichkeit für geschädigte Bäume. Ausführlichere Ergebnisse und die endgültigen angepassten artenspezifischen Parameter sind in [Stadelmann et al. \(2025\)](#) zu finden.

Fazit

Eine Optimierung der regional- und artenspezifischen Parameter von ForestGALES kann die Vorhersagekraft des Modells verbessern. Mit verbesserten Vorhersagen für gefährdete Waldbestände und Bäume können Sturmschäden durch die rechtzeitige Anwendung verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen verringert werden.

Wir halten weitere Forschungsarbeiten zur Risikobewertung von Sturmschäden für sehr wichtig, auch im Hinblick auf klimatische Entwicklungen und Sekundärschäden.

Einige Schlüsselemente für zukünftige Forschungsschwerpunkte könnten sein:

- Verwendung von Lidar-Daten vor und nach einem Sturm, um Einzelbaum-Daten für große zusammenhängende Gebiete zu generieren
- Evaluierung des ForestGALES -Modells für Mischwaldbestände
- Genauere Untersuchung des Einflusses von Bodentypen und Bodenfeuchte sowie von wassergesättigten Böden auf das Sturmschadensrisiko
- Genauere Betrachtung des Einflusses von Waldrändern und Waldkanten auf Sturmschadensrisiko und CWS
- Validierung der durch die automatische Kalibrierung erzeugten artenspezifischen Parameter mit experimentellen Daten.

zitierte Literatur:

- Gardiner et al., 2008. A review of mechanistic modelling of wind damage risk to forests. *Forestry* 81, 447–463.
- Jung, C., Schindler, D., 2019. Historical Winter Storm Atlas for Germany (GeWiSA). *Atmosphere* 10, 1–17.
- Möller et al., 2016. Review on the Projections of Future Storminess over the North Atlantic European Region, *Atmosphere*, 7, 60,
- Patacca et al., 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global change biology* 29, 1359–1376.

Weitere Informationen

Kontakt

¹Thünen-Institut für Waldökosysteme
catrin.stadelmann@thuenen.de
winmol.thuenen.de

Laufzeit

7.2020-12.2023

Veröffentlichungen

Stadelmann et al., 2025. Improving the predictive capacity of the windthrow risk model ForestGALES with long-term monitoring data - A statistical calibration approach. *Forest Ecol Manag* 576:122389, DOI:10.1016/j.foreco.2024.122389.

Gefördert durch

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
 Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft