



Windwurf im Nationalpark Sächsische Schweiz (Foto: Hodel/Sachsenforst, 2018)



Redaktion
Staatsbetrieb Sachsenforst

Risiken und Chancen der Fichte in den Mittelgebirgen Thüringens und Sachsens

Die Fichtenforsten in tieferen Lagen sind durch die Kalamitäten der letzten Jahre flächenhaft abgängig. In Anbetracht der weiteren Verschlechterung der klimatischen Bedingungen für die Fichte sind diese Anbauggebiete keine Option für die Zukunft. Wie aber stehen die Chancen in den Mittelgebirgen insgesamt? Für Thüringen und Sachsen wurde diese Frage 2016 bis 2021 in einem gemeinsamen FNR-Projekt untersucht.

Inhalt:

- Ziele und Inhalte des Projektes „FIRIS“
- Ausgangssituation bei Projektbeginn
- Ableitung von Bestandesparametern mithilfe von Fernerkundung
- Risikoabschätzung mit PAS
- Standort-Leistungsmodellierung: Feuchtigkeit und Temperatur als wachstumslimitierende Faktoren
- Jahrringanalysen zu Klima-Wachstums-Beziehungen
- Unterstützung waldbaulicher Entscheidungen

Ziele und Inhalte des Projektes „FIRIS“

Ziel der Projekt-Teams aus dem Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft im Staatsbetrieb Sachsenforst und aus dem Forstlichen Forschungs- und Kompetenzzentrum der ThüringenForst AÖR war es, das Fichten-Wachstum im thüringisch-sächsischen Mittelgebirgsraum zu analysieren und zu modellieren, die Risiken biotischer und abiotischer Stressoren für die Fichtenbestände abzuschätzen und waldbauliche Handlungsoptionen zur Risikominimierung und Wachstumsoptimierung vorzulegen.

Ausgangssituation bei Projektbeginn

Die Stabilität und Funktionalität der fichtendominierten Bestände in der Projektregion wurde (und wird) durch einen steigenden Flächenanteil von Hochrisikobeständen durch Sturm, Schnee und Buchdruckerbefall gefährdet. Die hohe Prädisposition ergibt sich aus dem Alter und dem historisch bedingten Zustand (u.a. schlechte H/D-Verhältnisse, fehlende Vorausverjüngung, zu hohe Grundflächen, Rotfäule durch Schäl-schäden, nicht standortgerecht, falsche Herkünfte) dieser Bestände. Die Umwandlung in dauerwaldartige, standortgerechte Mischbestände (Waldumbau) war und ist in Gange, aufgrund der großen Bestände aber ein problematischer und langwieriger Prozess.

Die Ergebnisse der Bundeswaldinventur 2012 bestätigten einen weiteren starken Zuwachs von „Risikovorräten“ in den Mittelgebirgslagen. Diese Entwicklung musste durch eine funktional ausgerichtete, räumlich und zeitlich differenzierte Intensität des Waldumbaus gepuffert werden. Hier sollte das Projekt FIRIS unterstützen. Im Fokus des geplanten Kooperationsprojektes standen dabei bewusst länderübergreifend die Fichten des sächsisch-thüringischen Mittelgebirgsraums. Die unterschiedliche Geologie der Untersuchungsgebiete in Sachsen und Thüringen eröffnet die Möglichkeit, einen breiten ökologischen Gradienten abzubilden, der jedoch ähnliche Waldgesellschaften und waldbauliche Situationen aufweist. Aus den zu Projektbeginn detektierten Risikovorräten wurden infolge starker Sturmereignisse 2017/18 und einer extremen Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 mit anschließender starker Massenvermehrung des Buchdruckers noch während der Projektlaufzeit vielerorts reale Schadhohlmengen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Blick auf den Südthüringer Wald 2021: Dramatische Entwaldung durch Trockenstress und Borkenkäferbefall (Foto: Ralf Wenzel/ThüringenForst AöR)

Die Situation förderte und erforderte neue Ansätze der Datenerhebung, um mit möglichst aktuellen Daten länder- und eigentumsübergreifend die Bestockungssituation (minimal: Baumart, Höhe, Vorrat, Struktur) und deren Veränderung abzuschätzen und als Grundlage für die Risikobewertung zu nutzen. Die Methoden der Fernerkundung boten dafür die Möglichkeiten.

Ableitung von Bestandesparametern mithilfe von Fernerkundung

Aufbauend auf bisherigen Forschungen konnten neue Anwendungen und Routinen entwickelt werden. Mit dem Ziel einer möglichst automatisierten und leicht anzuwendenden Ableitung von Bestockungsinformationen wurden verschiedene Verfahren der passiven und aktiven Fernerkundung kombiniert und zu anwendungsbereiten Produkten weiterentwickelt. Dies betrifft folgende Teilaspekte:

- Multitemporale Baumartenklassifikation (Sentinel2)
- Sentinel2-basierte Veränderungsanalyse (engl.: change detection)
- Ableitung waldwachstumskundlicher Parameter (BHD, Höhe, Vorrat, Strukturparameter) durch aktive Fernerkundung (LiDAR)

Die Baumartenklassifikation, und damit die Kenntnis über die Baumartenverteilung, ist essentieller Bestandteil einer jeden Forstplanung. Darüber hinaus ist die Baumartenzusammensetzung grundlegendes Element der Risikobewertung auf Bestandesebene und zentrales Steuerelement der Risikominimierung. Auch wenn die satellitengestützte Klassifikation von Baumarten inzwischen weit verbreitet ist, gab es vor dem FIRIS-Projekt in beiden Bundesländern nur regionale und kleinflächigere Auswertungen. Es fehlte eine flächendeckende und landesweite Baumartenklassifikation sowie eine festgeschriebene Anweisung zur Erstellung einer solchen Klassifikation über die Ländergrenzen hinweg. Beides wurde im Projekt FIRIS realisiert (siehe Abbildung 2). Im Zuge der ersten Baumartenklassifikation (10m- Auflösung) aber auch in der erneuten und aktuellen Klassifikation (20m-Auflösung) wurde auch der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) bestimmt. Dieser Wert gibt den Blattwassergehalt und damit Fitnesszustand der grünen Vegetation an. Die mehrfache Klassifikation mit Daten verschiedener Zeitpunkte (Multitemporalität) ermöglichte die Detektion von Schadflächen bei NDVI-Werten < 0.5 und konnte damit die Fläche abgängiger Bestände quantifizieren.

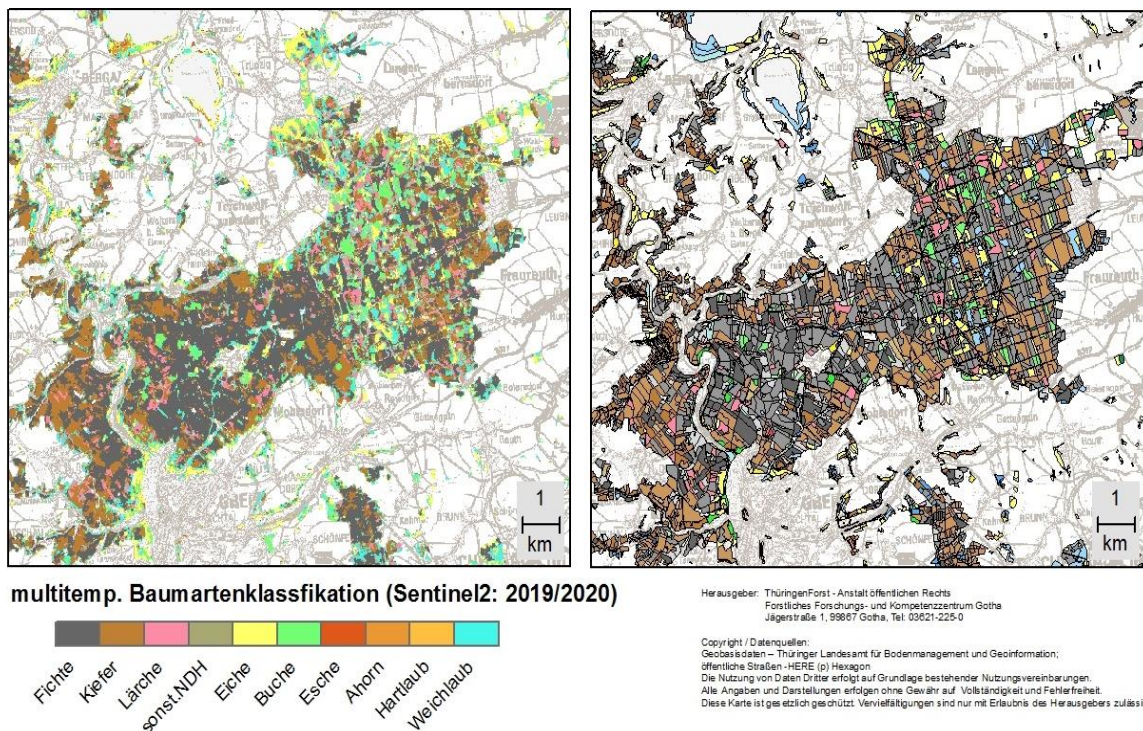


Abbildung 2: Sentinel-2 basierte, multitemporale (2019/2020) Baumartenklassifikation für Thüringen und Sachsen mit Detailansicht der Baumartenverteilung des bundeslandübergreifenden Werdauer Waldes (links Klassifikationsergebnis, rechts Auszug aus der Baumartenkarte der Forsteinrichtung beider Bundesländer)

Darüber hinaus wurde in FIRIS eine Klassifikation der Bestandesschichtigkeit über aktive Fernerkundung (ALS-LiDAR) für kleinere Testgebiete realisiert (Abbildung 3). Dadurch können Bestände mit erhöhtem Risiko funktionaler Störungen (kein Unterstand) ausgewiesen werden.

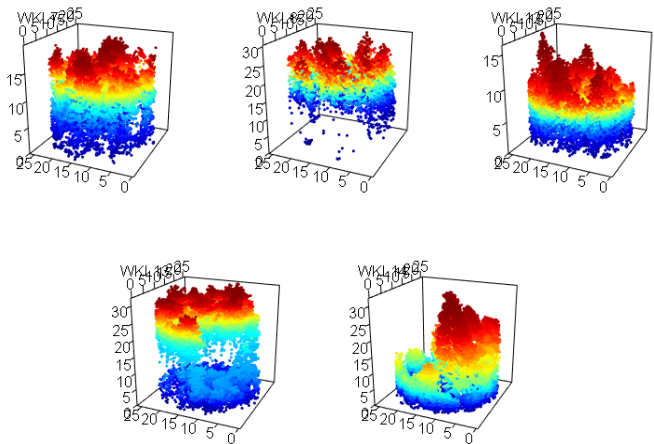
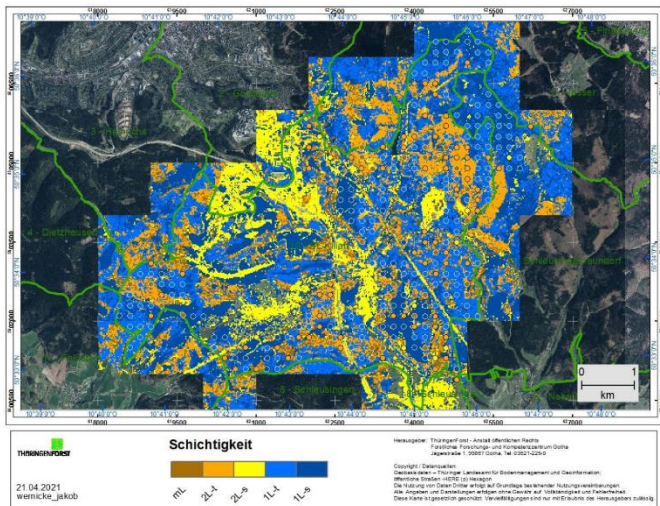


Abbildung 3: LiDAR-basierte Differenzierung in Oberstand und Unterstand, Links: exemplarisch gezeigt für ein Revier in Südthüringen (St. Kilian). Farbige Punkte zeigen Wuchsklassenzugehörigkeit, bestimmt durch die Forsteinrichtung von ThüringenForst AöR (einschichtige niedrige Bestände ("1L-s"; bis ca. 15 m Höhe), einschichtige hohe Bestände ("1L-t"; ab ca. 15 m Höhe), zweischichtige niedrige Bestände ("2L-s"; bis ca. 15 m Höhe), zweischichtige hohe Bestände ("2L-t"; ab ca. 15 m Höhe), und mehrschichtige Bestände ("mL"; befinden sich in Überführung oder sind durch Überhälter charakterisiert). Rechts: Exemplarische 3D-Darstellung der LiDAR-Punktwolken zu den einzelnen Kategorien (von links oben nach rechts unten)

Risikoabschätzung mit PAS

Zur Risikoanalyse wurde das bereits seit längerem in Sachsen angewendete System PAS verwendet. Das Prädispositionsabschätzungssystem (*PAS = predisposition assessment system*) ist ein Modell zur Einschätzung des letalen Risikos für fichtendominierte Waldbestände. Die Einschätzung der Gefährdung wird dabei getrennt nach Bestandes- (z.B. Fichtenanteil oder Alter des Bestandes) und Standortskriterien (z.B. Klima und Exposition) vorgenommen. Als Ergebnis des PAS entstehen Karten auf Basis von Forsteinrichtungsdaten, aus denen je Bestand die jeweilige Prädisposition für Windwurf, Schneebruch und den Befall durch den Buchdrucker (*Ips typographus* L.) hervorgeht. Das System wurde an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU Wien, Schopf et al. 2009; Schopf et al. 2013) entwickelt. Im Rahmen von FIRIS wurde es für die Anwendung mit Rasterdaten angepasst und für Sachsen und Thüringen (Baier et al. 2019) angewendet. Abbildung 4 zeigt als Ergebnis die länderübergreifende Klassifizierung der Prädisposition für den Befall durch den Buchdrucker.

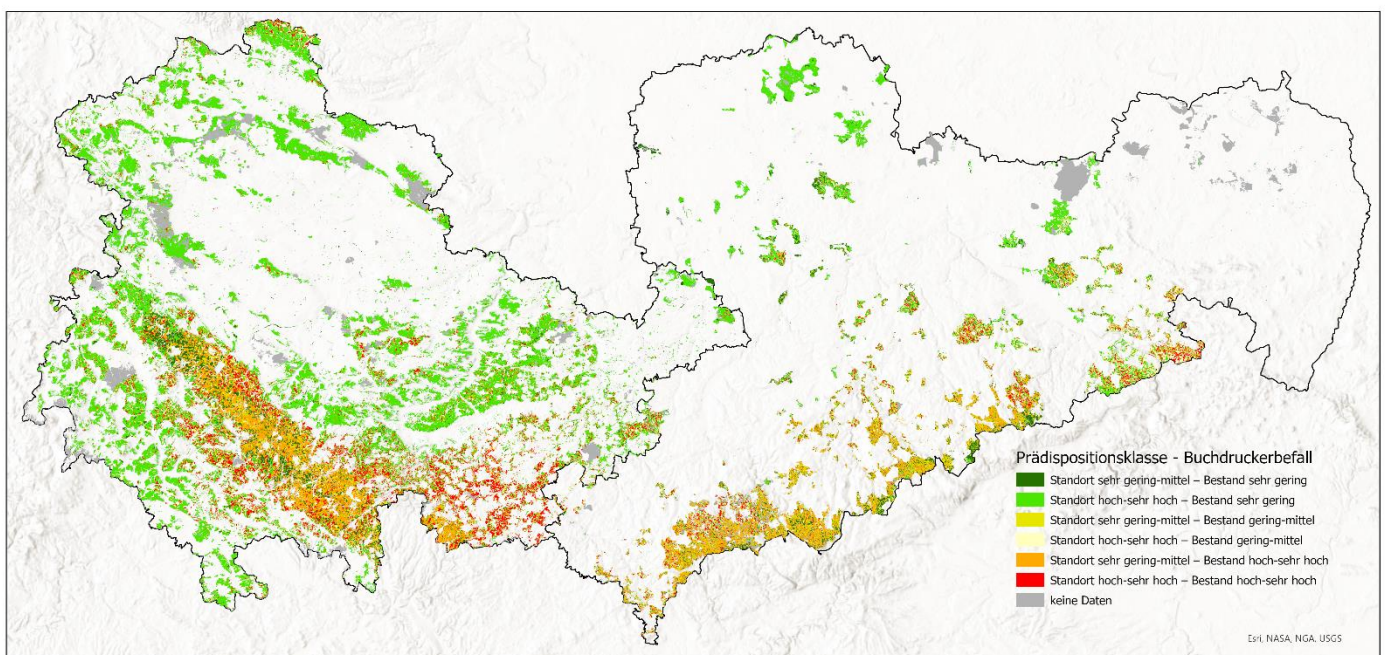


Abbildung 4: Abschätzung der Gesamtprädisposition für den Befall durch den Buchdrucker (*Ips typographus* L.) in den thüringischen und sächsischen Wäldern (in Sachsen beinhaltet die Darstellung nur Bestände im Landeswald). Die aktuelle Entwicklung des Befalls im Jahr 2022 bestätigt den auch in der Prädisposition erkennbaren landesübergreifenden Gefährdungsschwerpunkt in der Region Südthüringen/Vogtland (Bildmitte unten).

Durch die in FIRIS umgesetzte neue Möglichkeit der Nutzung von Rasterdaten zur Prädispositionsabschätzung wurde die Voraussetzung geschaffen, mit regelmäßig aktualisierten, aus der Fernerkundung abgeleiteten Daten eigentums- und länderübergreifend die aktuelle Prädisposition abzuschätzen. So können mögliche Veränderungen im Zeitverlauf erkannt und künftige Entwicklungen - z.B. infolge des Klimawandels - prognostiziert werden.

Standort-Leistungsmodellierung: Feuchtigkeit und Temperatur als wachstumslimitierende Faktoren

Einen weiteren Arbeitsschwerpunkt bildete die Analyse des standortabhängigen Wachstums der Fichte im Untersuchungsgebiet. Der dekadische relative Einzelbaumgrundflächenzuwachs wurde auf der Grundlage von Daten aus der Bundeswaldinventur (BWI), Klimadaten aus dem regionalen Klimainformationssystem (ReKIS) und der Regionalisierung von Bodenparametern aus dem Projekt WP-KS-KW (Waldproduktion-Kohlenstoffspeicher-Klimawandel) modelliert. Zur Methodenentwicklung wurden die Modelle zuerst für das sächsische Untersuchungsgebiet entwickelt (Seltmann et al. 2019) und anschließend für das gesamte Untersuchungsgebiet in Sachsen und Thüringen angewendet (Seltmann et al. 2021). Die Modellierung wurde mit „boosted regression trees“, einer Methode des „machine-learning“, durchgeführt. Diese erlaubt es, die wichtigsten Einflussgrößen auf den Zuwachs zu identifizieren, namentlich Relief- und Klimafaktoren, die abhängig vom Standort variieren (Abbildung 5).

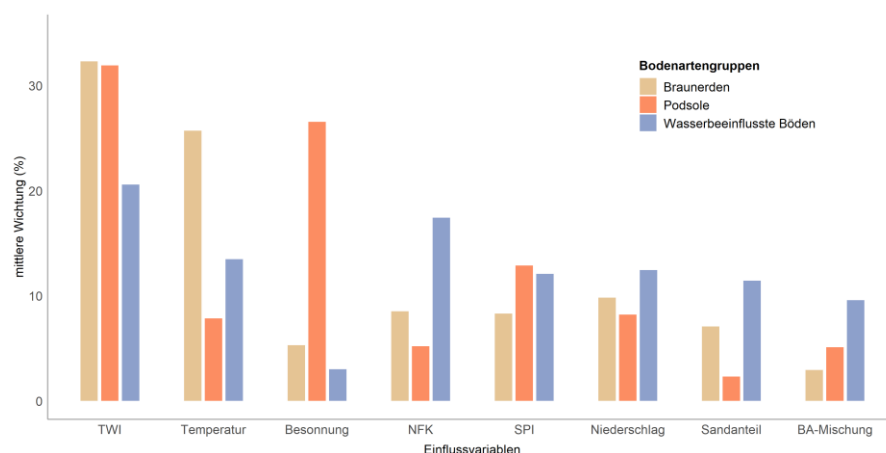


Abbildung 5: Wichtung der Haupt-Einflussfaktoren auf den relativen Grundflächenzuwachs an BWI Punkten mit unterschiedlichen Bodenverhältnissen (TWI: Topographic Wetness Index, NFK: nutzbare Feldkapazität, SPI: Standardized Precipitation Index).

Die Ergebnisse weisen für die drei Bodenartengruppen eine unterschiedliche Wichtung der untersuchten Einflussvariablen auf das Wachstum der Fichte aus. Die Untersuchungen bestätigen prinzipiell eine starke Zuwachsabhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit (TWI, NFK, SPI, Niederschlag) und von Einflüssen des Reliefs bzw. davon abgeleiteten Indizes (z.B. TWI, Besonnung). Darüber hinaus wurden Interaktionen zwischen den jeweiligen Einflussfaktoren untersucht. Die Betrachtung von Interaktionen liefert dabei genauere Modellergebnisse als die Betrachtung individueller Einflussfaktoren. Die Modelle wurden anschließend genutzt, um den Zuwachs in Sachsen und Thüringen an Hand von Klimaszenarien zu prognostizieren. Aus den Ergebnissen wird ersichtlich, dass die Fichte bei zunehmender Trockenheit in der derzeitigen Bestandesform nur noch in den oberen Lagen der untersuchten Mittelgebirge Steigerungen des relativen Zuwachses verzeichnen kann (Seltmann et al. 2021).

Jahrringanalysen zu Klima-Wachstums-Beziehungen

Das Zusammenspiel von Bodeneigenschaften, Klima, Relief, Konkurrenz sowie genetischer Anpasstheit beeinflusst das Einzelbaumwachstum. Dabei bestimmen klimatische Einflüsse das Wachstum von Bäumen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen. Dies gilt besonders für extreme klimatische Verhältnisse, die sich häufig bestandes- und baumartenübergreifend über weite Distanzen in den Jahrringbreiten nachverfolgen lassen. Um die Reaktion des Radialwachstums auf extreme Witterung zu untersuchen, wurden Zuwachsbohrungen an 30 Fichtenstandorten entlang von drei Höhen transekten des westlichen, zentralen und östlichen Thüringer Waldes vorgenommen. Die Daten ergänzen die Zuwachsuntersuchungen an Thüringer Fichten von Beck (2012) und Jetschke (2020) und dienen bereits als empirische Datengrundlage einer Radialzuwachsmodellierung (Wernicke et al. 2020a).

Die Klima-Wachstums-Beziehungen zeigten signifikante Zusammenhänge vor allem in der Vegetationsperiode, speziell zu den Verhältnissen im Mai, Juni und Juli. Die Klima-Wachstums-Beziehungen sind nicht über alle Höhenstufen gleich nachweisbar und zeigen starke Hinweise auf den von Koch (1957) bereits beschriebenen Sensitivitätswechsel des Radialwachstums Thüringer Fichten. Demnach hängt das Radialwachstum unterhalb von ca. 600 m u. NN stark vom Feuchtigkeitsangebot (Niederschlag, relative Luftfeuchte, nutzbare Feldkapazität, klimatische Wasserbilanz) ab. In höheren Lagen (> 600 m u. NN) bestimmt die Lufttemperatur (Globalstrahlung, Länge der Vegetationsperiode) das Radialwachstum maßgeblich.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass sich extreme Trockenheit negativ auf das Radialwachstum in allen Wuchsgebieten und Höhenlagen des Thüringer Waldes auswirkt. Die negativen Folgen sind jedoch in den oberen Lagen weniger stark ausgeprägt, da höhere Niederschlagssummen, verminderte Evapotranspirationsraten (niedrigere Temperaturen) und teilweise Schmelzwasser zu insgesamt verbesserten Bodenfeuchteverhältnissen beitragen. Diese Zusammenhänge werden jedoch nicht nur in Jahren mit extremer Witterung offensichtlich, sondern konnten auch als systematischer Zusammenhang anhand der Korrelationsanalysen bestätigt werden.

Unterstützung waldbaulicher Entscheidungen

Die vorgestellten Modelle und rasterbasierten FIRIS-Produkte erlauben eine waldbesitzübergreifende Evaluierung des Waldzustandes und können damit im Rahmen der forstlichen Planung und Steuerung eingesetzt werden. Die Anwendung geeigneter Prognosemodelle ist besonders unter sich ändernden Umwelteinflüssen wichtig. Die Katastrophen der letzten Jahre führten in Sachsen und Thüringen zu großflächigen Störungen in der Waldstruktur, insbesondere in den Fichtenbaumhölzern. Dies beeinflusst das waldbauliche Vorgehen im Zuge des Waldumbaus, der das Ziel verfolgt, die bestehenden Fichtenreinbestände über lange Zeiträume zu standortgerechten Kulturwäldern zu entwickeln.

Bei der zukünftigen Bewirtschaftung der sächsischen und thüringischen Fichtenvorkommen in den Mittelgebirgen muss dem zunehmenden Auftreten von Trockenperioden als auch dem erhöhten Risiko starker Sturmereignisse konsequent Rechnung getragen werden. Dabei kommt es darauf an, durch geeignete Vorgaben in der forstlichen Planung und durch waldbauliches Handeln im Vollzug der Risikoentwicklung aktiv entgegenzuwirken. Die Ergebnisse des Projektes erweitern hier die Möglichkeiten, zielgerichtet und auch räumlich stärker differenziert auf sich verändernde Umweltbedingungen zu reagieren. Insbesondere können durch eine flächendeckende Analyse des Waldzustandes (Baumartenzusammensetzung und Bestandsschichtung) in Verbindung mit einer Risikobewertung die Forsteinrichtungsplanung sowie die Steuerung des Ressourceneinsatzes unterstützt werden.

Eine Klassifizierung der Ausgangsbestände nach ihrem Risiko ist in Sachsen bereits Grundlage für eine differenzierte Anwendung der waldbaulichen Behandlungskonzepte der WET-Richtlinie. Ein möglichst planmäßiger Abbau von bestehenden Risikovorräten ist für Sachsenforst eine betriebliche Kernaufgabe in den

nächsten Jahren. Auch in Thüringen soll zukünftig die Ausweisung von Risikobeständen zur Potentialplanung in der Forsteinrichtung genutzt werden.

Verlinkte Texte:

- Schlussbericht zum Verbundvorhaben: Bewirtschaftung der Fichte im Mittelgebirge unter Berücksichtigung des aktuellen Wachstumsgangs und Risikoabschätzung (DOI: 10.13140/RG.2.2.19056.12804)
- Wernicke, J., Seltmann, C.T., Wenzel, R., Jetschke, G., Körner, M. (2020b): Jahrringuntersuchungen an Fichtenaltbeständen entlang von Höhen transekten des östlichen, mittleren und westlichen Thüringer Waldes. In: *Neue Ergebnisse aus der angewandten Waldforschung*. Vol. 39. ThüringenForst AÖR.
- Seltmann, C.T., Wernicke, J., Petzold, R., Baumann, M., Münder, K., Martens, S. (2021): The relative importance of environmental drivers and their interactions on the growth of Norway Spruce depends on soil unit classes: A case study from Saxony and Thuringia, Germany. *Forest Ecology and Management*. 480. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118671>.

Kontakt:

Dr. Kristian Münder
Staatsbetrieb Sachsenforst
Bonnewitzer Strasse 34
D - 01796 Pirna
Tel: +49 3501 542 313

E-Mail

(Link: kristian.muender@smekul.sachsen.de)

Ralf Wenzel
ThüringenForst AÖR
Forstl. Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha
Jägerstraße 1
99867 Gotha
Tel.: +49 3621 225 318

E-Mail

(Link: ralf.wenzel@forst.thueringen.de)

Literaturliste:

- Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. (2019): Risikoabschätzung fichtenreicher Waldbestände in Thüringen gegenüber Kalamitäten des Buchdruckers anhand eines Prädispositionsschätzsystems. Universität für Bodenkultur Wien (Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz).
- Beck, W. (2012): Auswirkungen von Trockenheit und Hitze auf die Produktivität von Waldbeständen in Thüringen. Wie belastbar ist unser Wald? Ergebnisse des Forstlichen Umweltmonitoring in Thüringen: ThüringenForst AÖR.
- Eisenhauer, D.-R., Gemballa, R., Petzold, R., Wolf, H., Schlutow, A., Otto, L.-F., Baier, P. (2016): Klimarisiken und Anpassungsmöglichkeiten für Fichten- und Kiefernforste in Sachsen. In: Johannes Eichhorn, Martin Guericke, Dirk-Roger Eisenhauer (Hrsg.) KLIMZUG Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten Band 10: Waldbauliche Klimaanpassung im regionalen Fokus. Sind unsere Wälder fit für den Klimawandel?

- Jetschke, G.; Wilhelm, B.; Wagner, M.; Kahlert, K. (2020): Oberhofer Schlossberg-Fichten und Methusalem-Kiefern von Paulinzella: zwei bemerkenswerte Altbestände von Nadelbäumen, Beiträge aus der angewandten Forschung in Thüringer Wäldern und deren Bewirtschaftung, 38, ThüringenForst AöR.
- Netherer, S. & Nopp-Mayr, U. (2005): Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. – In: Forest Ecology and Management 207(1-2): 99-107.
- Schopf A., Pennerstorfer J., Baier P. (2009): Entwicklung eines Systems zur örtlich und zeitlich differenzierten Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch den Buchdrucker (*Ips typographus* L.) in Sachsen auf Basis des Modells *Phenips*. Universität für Bodenkultur Wien.
- Schopf A., Pennerstorfer J., Baier P. (2013): Modellbasierte Abschätzung der Prädisposition fichtenreicher Waldbestände gegen biotische Kalamitäten insbesondere durch rindenbrütende Borkenkäfer. Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien.
- Seltmann, C.T., Wernicke, J., Münder, K., Martens, S. (2019): Einzelbaumweise Zuwachsmodellierung der Fichte im sächsischen Mittelgebirge mit Boosted Regression Trees. Beiträge zur Jahrestagung der DVFFA - Sektion Ertragskunde, http://sektionertragskunde.fvabw.de/2019/15_Seltmann.pdf
- Seltmann, C.T., Wernicke, J., Petzold, R., Baumann, M., Münder, K., Martens, S. (2021): The relative importance of environmental drivers and their interactions on the growth of Norway Spruce depends on soil unit classes: A case study from Saxony and Thuringia, Germany. Forest Ecology and Management. 480. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118671>.
- Sonnemann, S., Otto, L.-F., Seltmann, C.T., Wenzel, A. (2020): Wesentliche Steuerungsfaktoren der Befallsdynamik des Buchdruckers. AFZ-DerWald 18: 15–18.
- Wernicke, J., Körner, M., Möller, R., Seltmann, C.T., Jetschke, G., Martens, S. (2020a): The potential of Generalized Additive Modelling for the prediction of radial growth of Norway Spruce from Central Germany." *Dendrochronologia*, 125743. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786520300825>. 69
- Wernicke, J., Körner, M., Wenzel, R., Martens, S. (2018): Verbundprojekt „FIRIS“- Die thüringisch-sächsischen Fichtengebiete im Spannungsfeld von Waldbau und Klimawandel. In: Neue Ergebnisse aus der angewandten Waldforschung. Vol. 38. ThüringenForst AöR.
- Wernicke, J., Seltmann, C.T., Wenzel, R., Becker, C., Körner, M. (2022): Forest canopy stratification based on fused, imbalanced and collinear LiDAR- and Sentinel-2 metrics. *Remote Sensing of Environment*.
- Wernicke, J., Seltmann, C.T., Wenzel, R., Jetschke, G., Körner, M. (2020b): Jahrringuntersuchungen an Fichtenaltbeständen entlang von Höhen transekten des östlichen, mittleren und westlichen Thüringer Waldes. In: Neue Ergebnisse aus der angewandten Waldforschung. Vol. 39. ThüringenForst AöR.
- Wernicke, J., Storch, S. (2021): Fernerkundungsbasierte Klassifikation der Bestandesschichtigkeit im Waldumbauprojekt der mittleren, Hoch- und Kammlagen des Thüringer Waldes. In: Neue Ergebnisse aus der angewandten Waldforschung. Vol. 41. ThüringenForst AöR.