

Management von Störungsflächen: Einfluss auf das standortsgebundene Mikroklima, die Struktur von Waldböden und die Nährstoffverteilung

Philipp Koal¹, Simon George¹, Ingolf Profft¹ und Birgitta Putzenlechner²

¹ Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha; Referat Waldschutz, Umweltmonitoring und Standortkunde
² Georg-August-Universität Göttingen; Institut für Geographie, Abteilung Kartographie, GIS und Fernerkundung

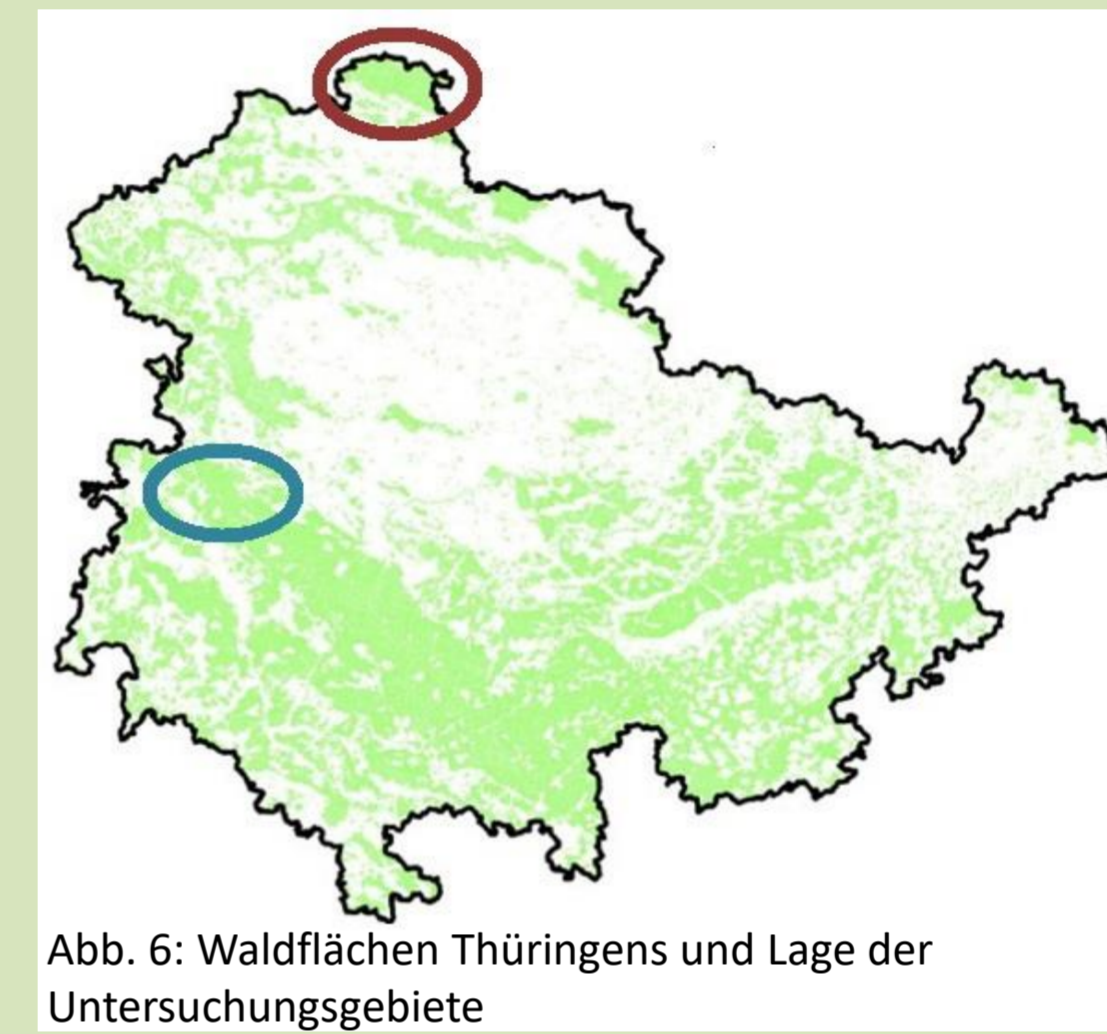
Ausgangssituation: Eine „geregelte“ Forstwirtschaft ist immer seltener umsetzbar, da die Geschwindigkeit klimabedingter Veränderungen das Reaktionsvermögen vieler Waldökosysteme übersteigt [1]. Der Einfluss von Wetterextremen (Trockenperioden und Stürme) wirkt sich besonders auf strukturarme Fichtenforste fern ihrer natürlichen Standorte aus [2]. Die Folge sind Borkenkäfermassenvermehrungen und großflächige Störungsflächen und stellen Waldbewirtschaftende vor extreme Herausforderungen [3]. Wenn es die forstsanitäre Situation, Aspekte der Gefahrenabsicherung und der aktuelle ökonomische Rahmen der Betriebe zulassen, kommen **alternative Managementmaßnahmen** – anstatt flächiger Räumung – infrage.



Im Rahmen der **Dürrständer-Initiative** wurden Untersuchungen auf großflächigen Fichten-Störungsflächen betroffener Mittelgebirgsregionen in Thüringen durchgeführt. Es wurden verschiedene **Managementvarianten** – angefangen bei vollständig belassenem stehendem Totholz (**Dürrständer [DS]**), über **Hochstubben [HS]**, Mischvarianten (Totholzinseln/ **Hochstubben-Dürrständer [HS-DS]**), bis zu **gemulchten [GF]** und **geräumten Kahlfelder [KF]** – mit einem **vitalen Fichtenwald [VF]** verglichen (Abb. 1-5). Die Zielsetzung beinhaltet u.a. die Untersuchung von Veränderungen des standortsgebundenen Mikroklimas in Abhängigkeit von der forstwirtschaftlichen Behandlung.



Methodik: Standorte der Versuchflächen in den Mittelgebirgsregionen wurden nach Repräsentativität und Vergleichbarkeit der Klima- und Geländebedingungen, Ausgangssubstrate und Bodentypen sowie anhand von Vitalitätsverläufen über die Jahre 2017-2021 ausgesucht [4]. Verschiedene Managementvarianten für erste Studien befinden sich im Untersuchungsgebiet **Südharz in Nordthüringen** und im Untersuchungsgebiet **Westlicher Thüringer Wald** (siehe Abb. 6). Beide Untersuchungsgebiete lassen sich durch ähnliche Standortbedingungen (saures silikatisches Ausgangssubstrat; mittelgründige, skelettärmere Braunerden), vergleichbaren Bestandesmerkmalen (Fichtenbestockung mit mittlerer Grundflächenhaltung zwischen 45 und 65 Jahren) sowie Zeitpunkt des Vitalitätsverlustes (Frühjahr/Sommer 2021) charakterisieren. Für die **Ermittlung des standortsgebundenen Mikroklimas** wurden Datenlogger (TOMST® TMS-4, [5]) auf den verschiedenen Versuchflächen und Managementvarianten eingebaut (siehe Abb. 7). Seit Sommer 2021 wurden alle 15 Minuten **Temperaturmessungen** in 15 cm und 1 cm über Geländeoberfläche (GOF) sowie **Bodentemperatur und Bodenfeuchtemessungen** 8 cm unter GOF erfasst. Im Zuge dieser Studie wurden entlang von Transekten die **organische Auflage** (L und Ofh) und der **Mineralboden** bis 10 cm Tiefe (T1) sowie 10 bis 30 cm Tiefe (T2) mehrmals je Untersuchungsfläche entnommen.



Ergebnisse (1): Oberflächen- und Bodentemperatur sowie Bodenfeuchte am Beispiel des Untersuchungsgebiets **Südharz in Nordthüringen** mit den Managementvarianten VF, DS, HS, GF und KF; Zeitraum: Dezember 2021 bis Dezember 2023 (Abb. 8a-c).

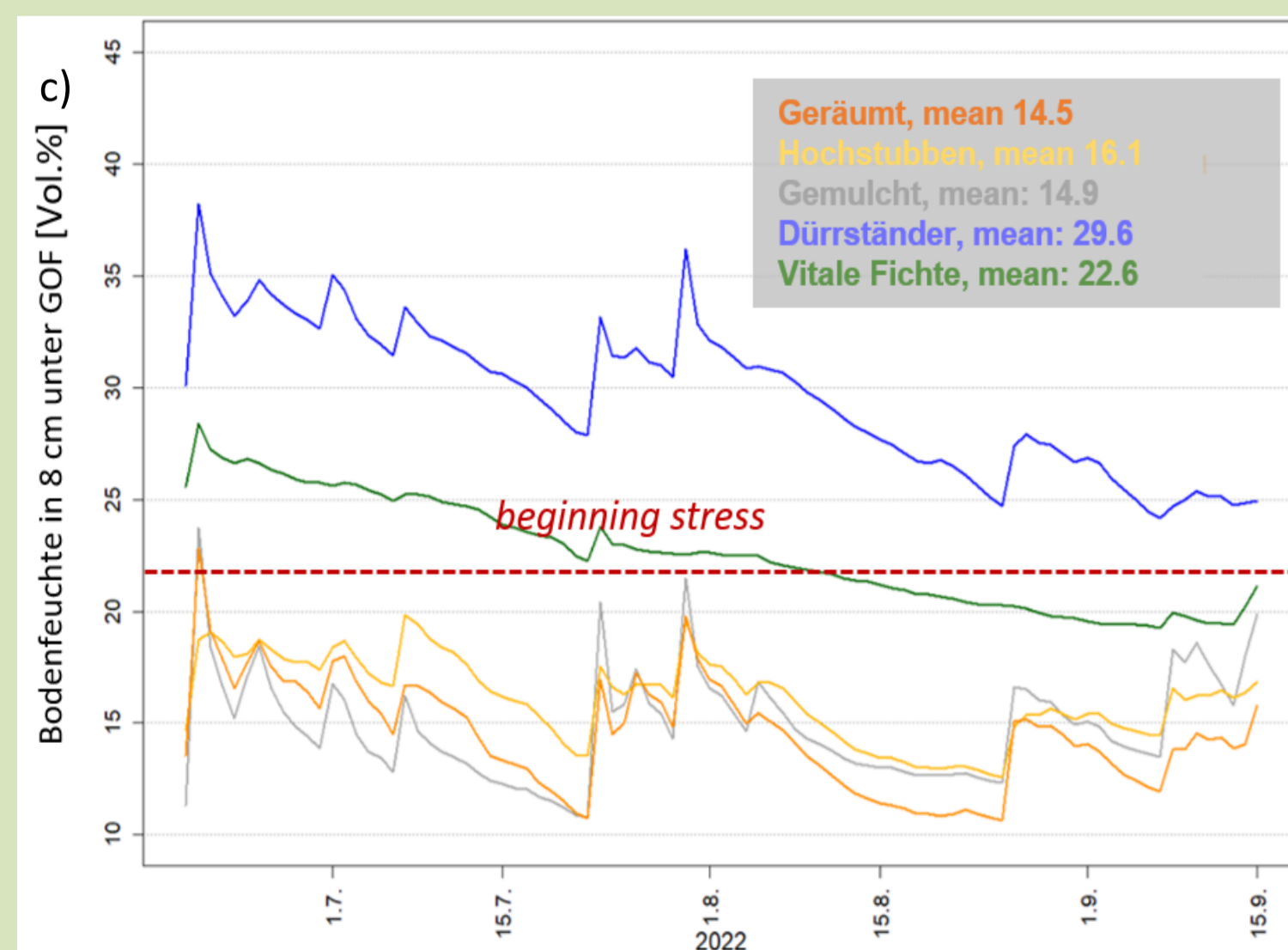
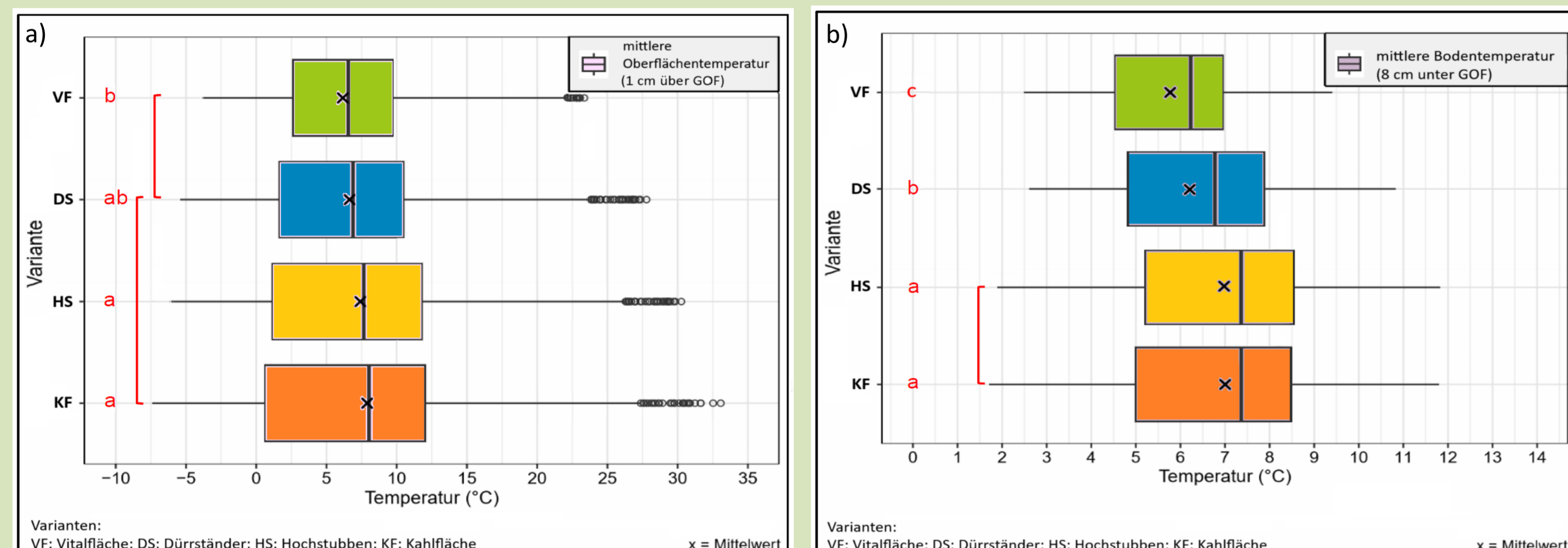
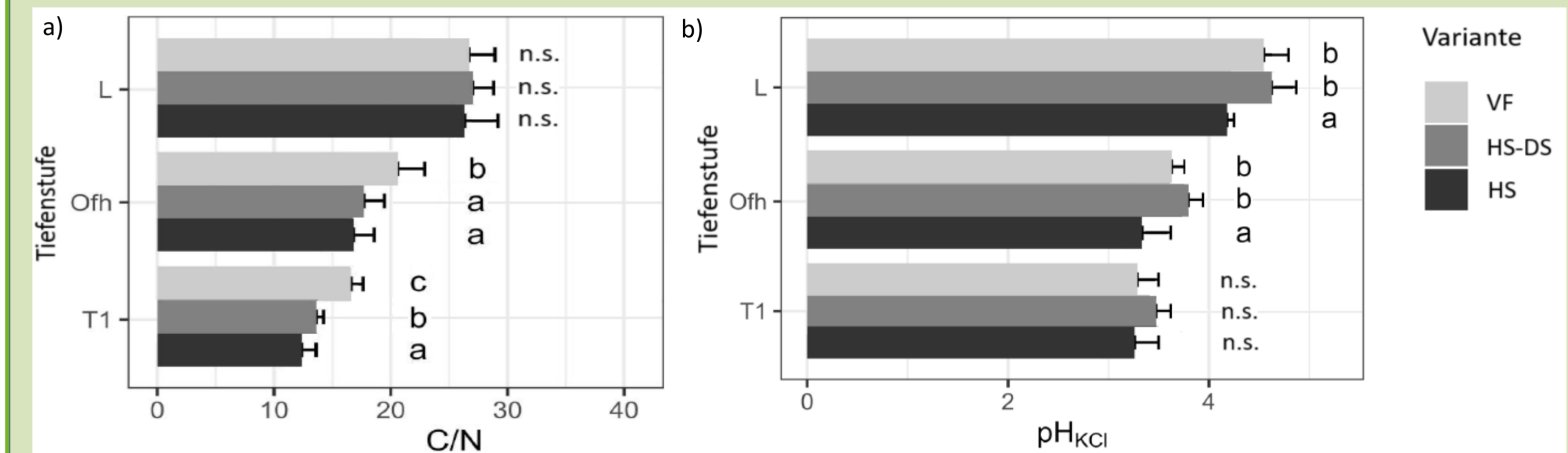


Abb. 8a-b: Boxplot mit Median und Mittelwert der mittleren viertelstündlichen Oberflächen- und Bodentemperaturmessungen [°C] in 1 cm über bzw. 8 cm unter GOF der Varianten Vitalfläche (VF), Dürrständer (DS), Hochstubben (HS), und geräumte Kahlfelder (KF) im Zeitraum Dez. 2021 bis Dez. 2023; signifikante Unterschiede zwischen den Varianten rot gekennzeichnet ($p < 0,05$; aus Kruskal-Wallis-Test).
Abb. 8c: Zeitverläufe der (Ober-)Bodenfeuchte [Vol. %] im Sommer 2022 (8 cm unter GOF) der Varianten Vitalfläche (VF), Dürrständer (DS), Hochstubben (HS) und gemulchten (GF) geräumte Kahlfelder (KF).

Signifikante Unterschiede zeigen sich bei Oberflächen- und Bodentemperatur zwischen VF und den restlichen Managementvarianten. Varianten zeigen deutlich verschiedene Verläufe der Bodenfeuchte während der langanhaltenden Trockenheit im Sommer 2022.

Ergebnisse (2): Bodenkennwerte verschiedener Tiefenstufen am Beispiel des Untersuchungsgebiets **Westlicher Thüringer Wald** mit den Managementvarianten HS, HS-DS und VF; Zeitraum: März 2022 bis März 2024 (Abb. 9a-b und Tabelle 1).



Mineralboden	Management	Mikroaggregate [%]	pH (KCl) [-]	C _{org} [g kg ⁻¹]	N _t [g kg ⁻¹]	P _t [mg kg ⁻¹]	P _{ex} [mg kg ⁻¹]
Tiefe T1 0-10 cm	VF Vitalfläche	27,4 ± 1,0 ^a	3,6 ± 0,1 ^{n.s.}	48,8 ± 0,9 ^a	3,0 ± 0,6 ^a	791 ± 94 ^a	184 ± 27 ^c
	HS-DS Hochstubben-Dürrständer	29,6 ± 0,3 ^{ab}	3,7 ± 0,3 ^{n.s.}	55,1 ± 1,4 ^b	4,2 ± 0,1 ^b	811 ± 88 ^a	156 ± 19 ^b
	HS Hochstubben	32,7 ± 0,5 ^b	3,6 ± 0,2 ^{n.s.}	59,9 ± 0,8 ^c	5,0 ± 0,5 ^c	978 ± 53 ^b	104 ± 11 ^a
Tiefe T2 10-30 cm	VF Vitalfläche	24,2 ± 0,5 ^a	3,9 ± 0,4 ^{n.s.}	23,1 ± 1,1 ^a	1,5 ± 0,2 ^{n.s.}	615 ± 53 ^{n.s.}	34 ± 17 ^{n.s.}
	HS-DS Hochstubben-Dürrständer	24,6 ± 0,5 ^a	4,1 ± 0,3 ^{n.s.}	23,5 ± 0,6 ^a	1,6 ± 1,1 ^{n.s.}	647 ± 69 ^{n.s.}	40 ± 30 ^{n.s.}
	HS Hochstubben	27,2 ± 0,8 ^b	4,0 ± 0,4 ^{n.s.}	26,3 ± 1,0 ^b	2,2 ± 1,8 ^{n.s.}	608 ± 70 ^{n.s.}	55 ± 28 ^{n.s.}

Tabelle 1: Anteil der Mikroaggregate, pH-Wert (KCl), organischer Kohlenstoff (C_{org}), Gesamtstickstoff (N_t), Gesamtphosphor (P_t), zitronensäurelöslicher Phosphor (P_{ex}) je Kompartiment im Vergleich der Varianten; Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tukey-Test $p < 0,05$).

Abb. 9a-b: C/N-Verhältnis und pH-Wert in KCl-Lösung der Kompartimente für die Varianten Vitalfläche (VF), Hochstubben-Dürrständer (HS-DS) und Hochstubben (HS) 24 Monate nach Umsetzung der Maßnahmen; signifikante Unterschiede durch Kleinbuchstaben gekennzeichnet (Tukey-Test $p < 0,05$).

Der kalamitätsbedingte Streufall und dessen Umsetzung sorgt mittelfristig für ein engeres C/N-Verhältnis bei den Varianten HS-DS und HS und unterscheiden sich im Mineralboden signifikant von der Vitalfläche VF (Abb. 9a). Die DS-HS und HS Varianten verzeichnen einen teils signifikant höheren Corg- und Nt-Gehalt sowie eine Erhöhung der Mikroaggregate in den oberen Mineralbodenhorizonten. Flächen mit Eingriff von Maßnahmen zeigen Trends einer Verlagerung nach unten (Tabelle 1).

Schlussfolgerungen und Ausblick: Der Einfluss des Managements von Störungsflächen ist aufgrund der stetigen Zunahme von Fichtenschadholzflächen von besonderer Bedeutung. Erste Rückschlüsse des Einflusses verschiedener Managementvarianten auf das standortsgebundene Mikroklima konnten durch die **Dürrständer-Initiative** gezogen werden. Die (boden-)mikroklimatischen Bedingungen im Vergleich zu einem intakten Fichtenbestand VF sind bei Flächen mit belassenem Totholz (Dürrständer, [DS]) meist signifikant unterschiedlich, jedoch werden Hitze- und Trockenheits-Extrema eher vermieden als bei den anderen Varianten. Vergleicht man die Fläche mit Hochstubben [HS] und die abgeräumte Fichtenfläche [KF] zeigen sich nur geringe Unterschiede – der mögliche mikroklimatische Vorteil für mögliche **Stockachsel-Pflanzungen** bei Flächen mit Hochstubben muss Bestandteil zukünftiger Untersuchungen werden. Generell zeigen Flächen mit stärkerem Eingriff eine deutliche Anfälligkeit für **mikroklimatische Extrema** bezogen auf Hitze und Trockenheit und werfen die Frage nach **unterstützenden Maßnahmen** (z.B. Einsatz von Bodenhilfsstoffen) für eventuell benötigte **Pflanzungen** auf.

Die Bodenchemie und Bodenstruktur wird durch die Managementvarianten stark beeinflusst, wobei auf Varianten mit mehr stehendem Totholz die Mineralisierung und die damit verbundene **starke Freisetzung bzw. mögliche Verlagerung** von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor gemindert wird. Generell sind Managementvarianten die eine Kombination aus günstigeren und **stabileren mikroklimatischen, bodenchemischen sowie bodenstrukturellen Verhältnissen** bezogen auf die individuellen Standortgegebenheiten anzustreben. Die Vor- und Nachteile von Maßnahmen werden gegenwärtig kontrovers diskutiert; **standortsbedingte und -gebundene Empfehlungen** für den Umgang mit Störungsflächen, welche sich aus gesammelten Daten ähnlich dieser Studie wie die **Dürrständer-Initiative** zusammensetzen, könnten künftig Entscheidungen und Abwägungen für nachhaltige Maßnahmen zur Wiederbewaldung und einen erfolgreichen Waldbau erleichtern.

Referenzen:

- Spinozi, J.; Vogt, J. V.; Naumann, G.; Barbosa, P.; Dosio, A. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? In: Int. J. Climatol 38 (4), S. 1718–1736. DOI: 10.1002/joc.5291.
- Senf, C.; Buras, A.; Zang, C. S.; Rammig, A.; Seidl, R. (2020). Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. In: Nature communications 11 (1), S. 6200. DOI: 10.1038/s41467-020-19924-1.
- BMEL (2022). Wald in Deutschland - Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/waldzustandserhebung.html>, zuletzt aktualisiert am 13.10.2022.
- Putzenlechner, B. & Koal, P.; Kappas, M.; Löw, M.; Mundhenk, P.; Tischer, A.; Wernicke, J.; Koukal, T. (2023). Towards precision forestry: drought response from remote sensing-based disturbance monitoring and fine-scale soil information in Central Europe. Science of the Total Environment, 2023, Volume 880, 163114. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163114.
- Wild J.; Kopecky M.; Macek M.; Sanda M.; Jankovec J.; & Haase T. (2019). Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. Agricultural and Forest Meteorology, 268, 40–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.12.018.

Danksagung:

Die Autoren danken dem „Sonderprogramm **Wiederbewaldung und Waldbau (SPWW)**“ des Freistaates Thüringen zur Aufstockung der Personalressourcen in der Waldforschung und allen Beteiligten an der Umsetzung des Fachprogramms „**Dürrständer-Initiative**“.



Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha
Jägerstraße 1
99867 Gotha
Tel.: +49 3621225233
E-mail: philipp.koal@forst.thueringen.de
simon.george@forst.thueringen.de
Internet: www.thueringenforst.de

Geographisches Institut; Abteilung Kartographie, GIS & Fernerkundung
Goldschmidtstraße 5
37077 Göttingen
E-mail: birgitta.putzenlechner@uni-goettingen.de