

AUWADI: Auswirkungen großflächiger abiotischer und biotischer Waldschäden auf Wasserdienstleistungen

Implementierung eines langfristigen Monitoring-Systems

Bernd Ahrends, Daphné Freudiger, Birte Scheler, Jonathan Wolf, Phillip Beckschäfer, Ulrike Talkner,
Henning Meesenburg

ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DES WALDES

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dargestellt sind die Leistungen, die der Wald in Deutschland auf einem Hektar erbringt. Insgesamt ist ein Drittel Deutschlands (11,5 Mio. Hektar) bewaldet.

Infografik: helengruber.de

Basisleistungen

- ① Photosynthese
- ② Sauerstoffproduktion $3\text{ t O}_2/\text{ha}^{\text{a}}$
- ③ Kohlenstoffspeicher Biomasse $112,2 \text{ t C/ha}$
- ④ Holzvorrat 335 Vfm/ha

- ⑤ Biodiversität

- ⑥ Bodenbildung $1\text{ cm}/100\text{a}$

- ⑦ Kohlenstoffspeicher Waldboden $119,2 \text{ t C/ha}$

Versorgungsleistungen

- ⑧ Holzuwwachs $9,4 \text{ Vfm/ha}^{\text{a}}$

- ⑨ Stoffliche Holznutzung $4,6 \text{ m}^3/\text{ha}^{\text{a}}$



Trinkwasser

Regulationsleistungen

- ⑭ Luftfilter $60 \text{ t/ha}^{\text{a}} (\text{Staub, Ruß})$

- ⑮ Klimaschutz $\text{CO}_2\text{-Aufnahme: } 10 \text{ t CO}_2/\text{ha}^{\text{a}}$

- ⑯ Wasserfilter $3 \text{ Mio. l/ha}^{\text{a}}$
- ⑰ Bodenschutz verhindert Erosion/Hochwasser
- ⑱ Biotopfläche $576 \text{ m}^2/\text{ha}$ (gesetzlich geschützt)

- ⑲ Totholz $29,4 \text{ m}^3/\text{ha}$

- ⑳ Wirtschaft $16.000 \text{ €/ha}^{\text{a}}$
Umsatz im Cluster Forst & Holz

Quelle: FNR 2020
[https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten- und-fakten/forstwirtschaft/infografik-oekosystemleistungen.html](https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/infografik-oekosystemleistungen.html)

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe | OT Gützow, Hofplatz 1 | 18276 Gützow-Prüzen | www.fnr.de

© FNR 4. Auflage 2025 | Artikelnummer 1.138 | Quellen: Thünen-Institut, BMEL



NW-FVA
Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

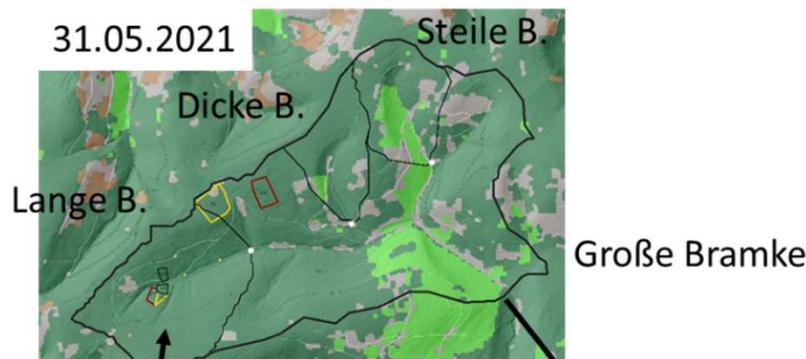
Stadt.Land.Zukunft-Abschlusstagung am 25.11.2025 in Göttingen

2

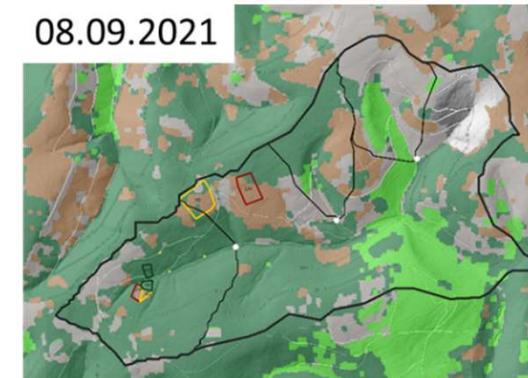


Veränderung der Bestockung im Oberharz

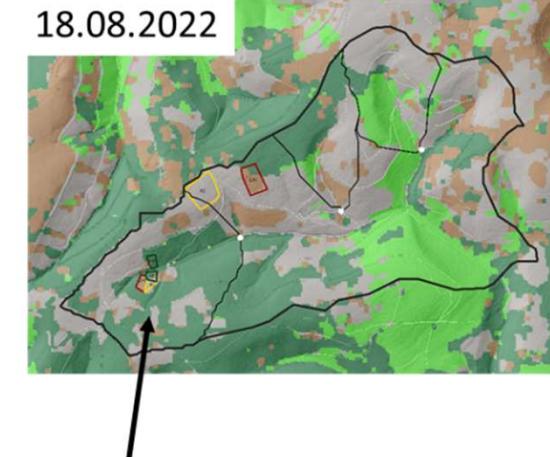
➤ SG Fernerkundung & GIS (Abt. B) auch Teil von AUWADI



Lange Bramke:
Bis Sommer 2021
95-100 % vitale Fichte
(*Picea abies* Karst.)

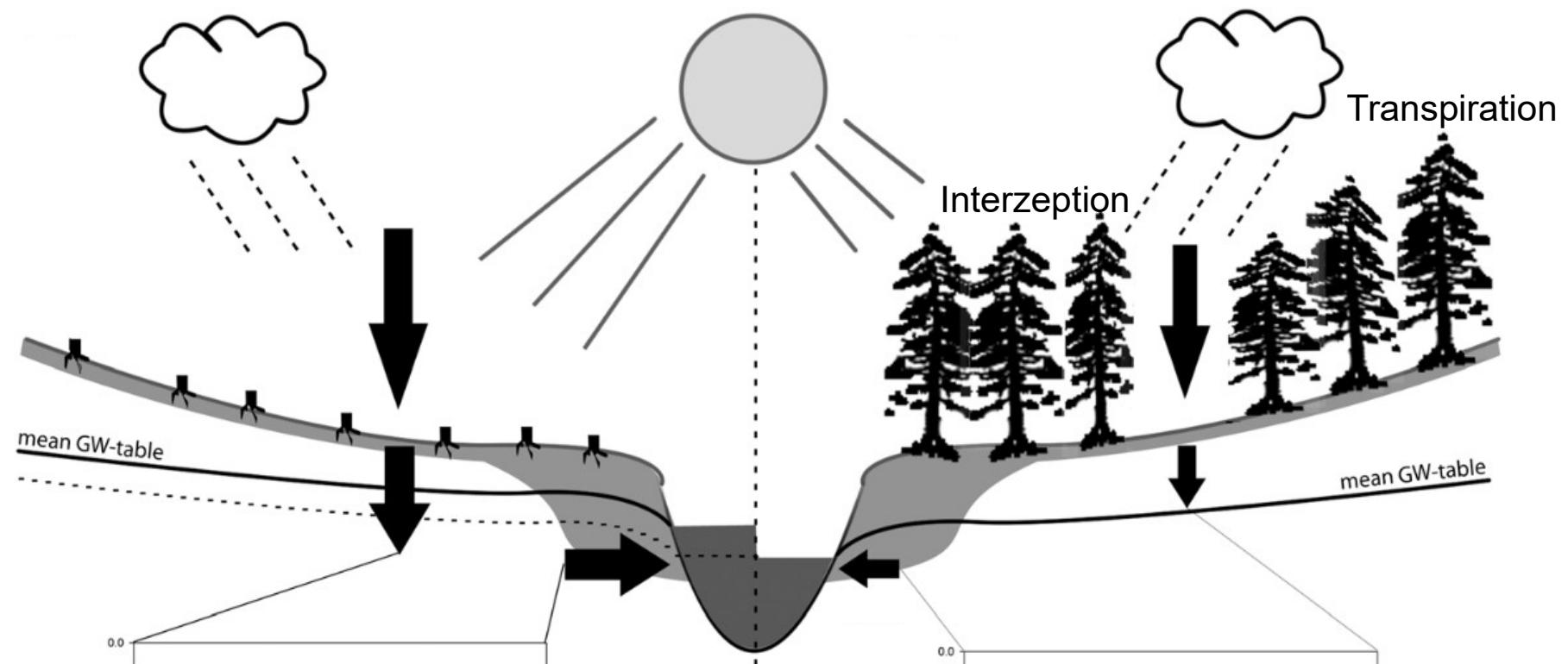


- Fichte
- Buche
- Dürrständer
- Kahlfächen



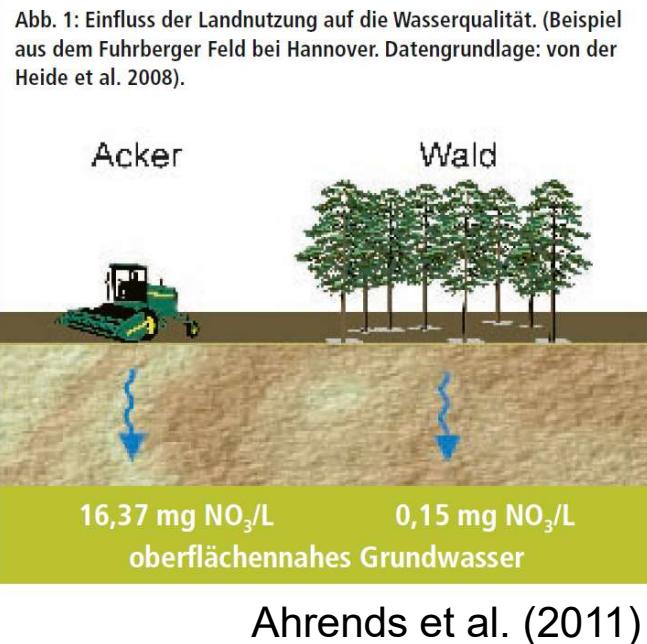
Lange Bramke:
Sommer 2022
56 % vitale Fichte

Wasserkreislauf



Grundlage: Schelker et al. (2013)

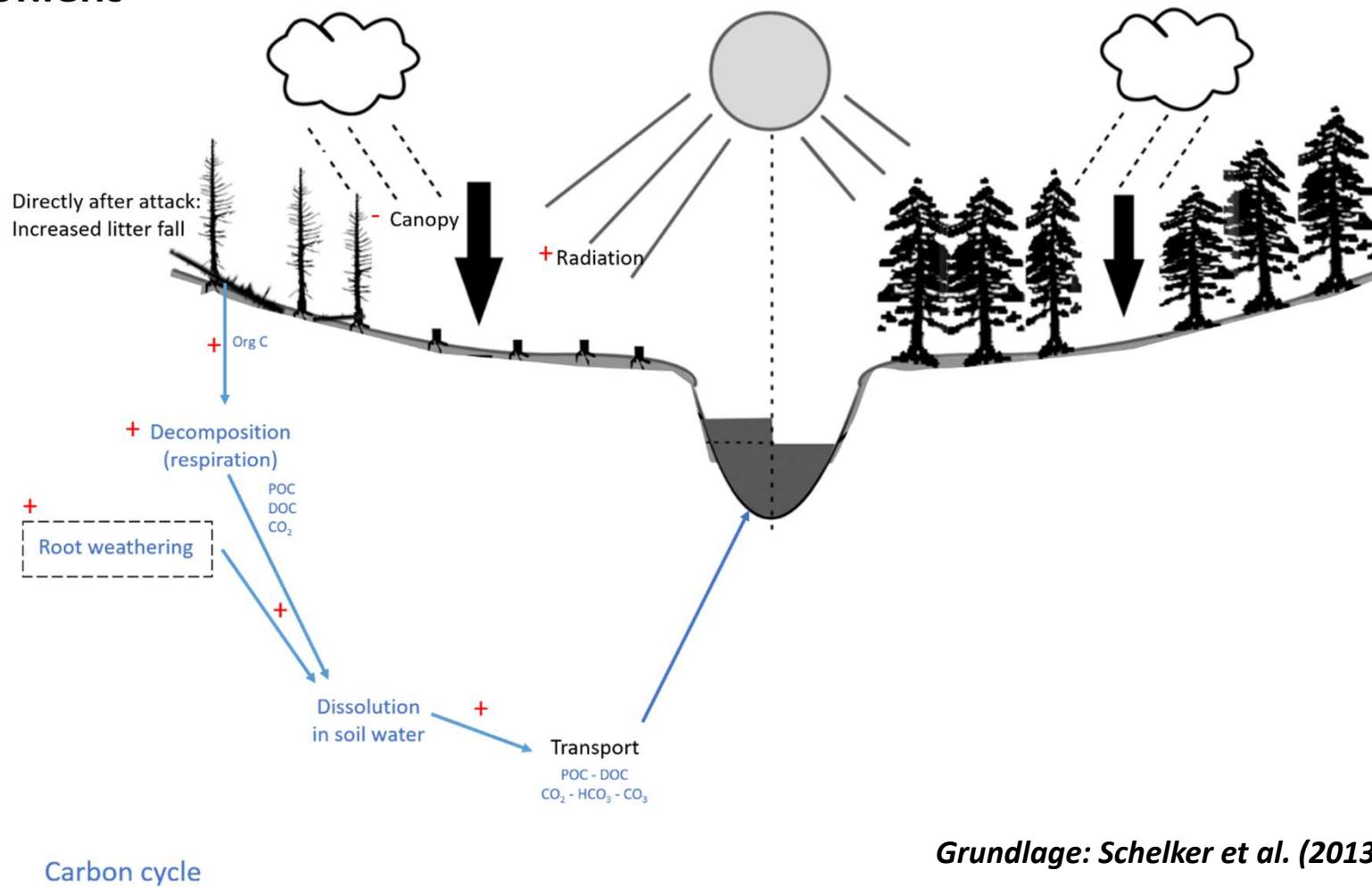
Wald beeinflusst die Wasserqualität



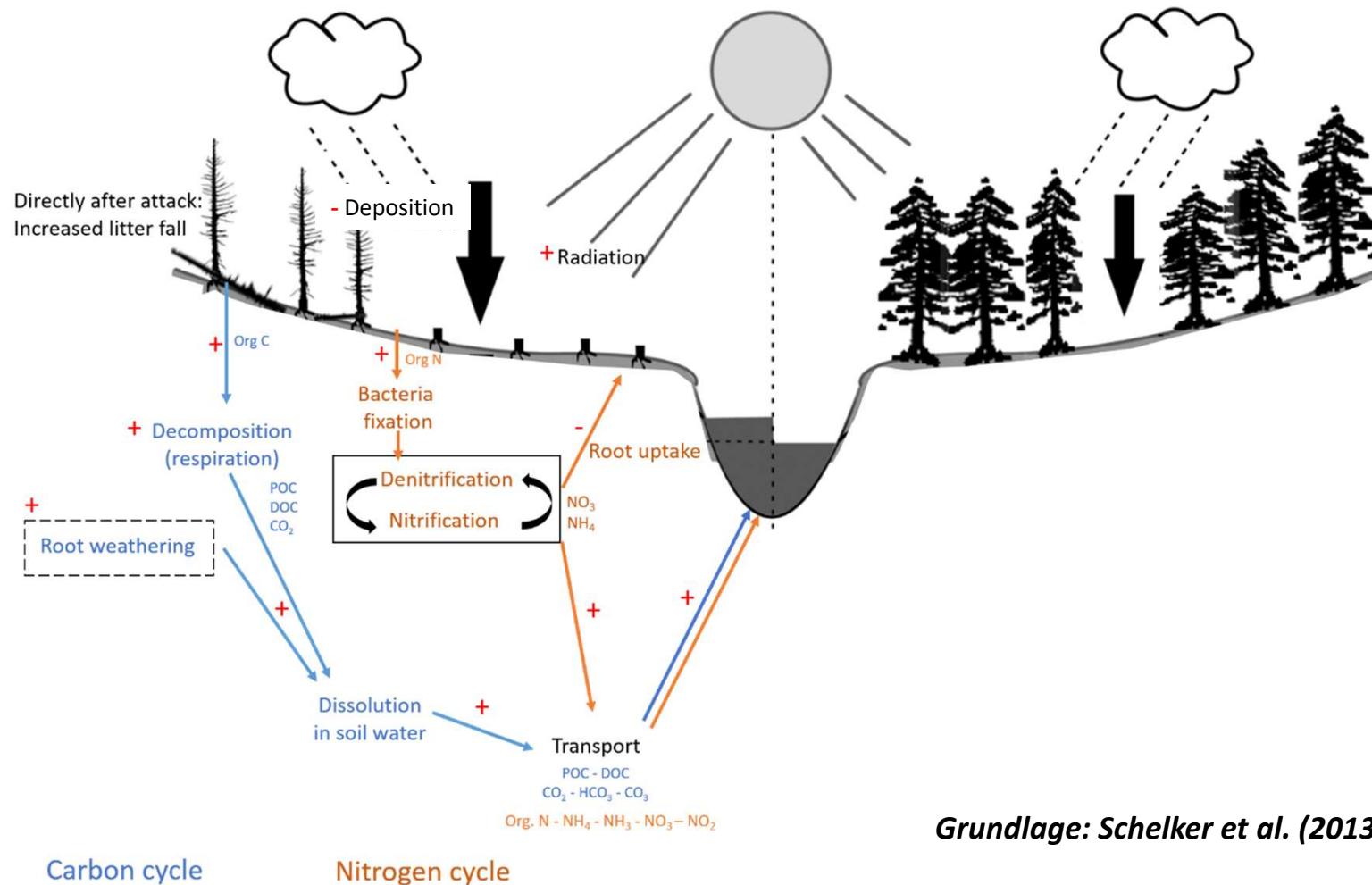
- viele Wasserversorger blickten sehr beunruhigt auf die Waldentwicklungen.
- Studien haben gezeigt, dass infolge der Bestandesstörungen nach Borkenkäferausbrüchen die Konzentration von gelöstem organischen Kohlenstoff (**DOC**), gelöstem organischen Stickstoff (**DON**) und Nitrat (**NO₃⁻**) in Bodenlösung, Fließgewässer und Grundwasser für mehrere Jahre **ansteigen**

→ Einfluss auf die Gewässergüte (Verschlechterungsverbot)

Kohlenstoffkreislauf



Stickstoffkreislauf

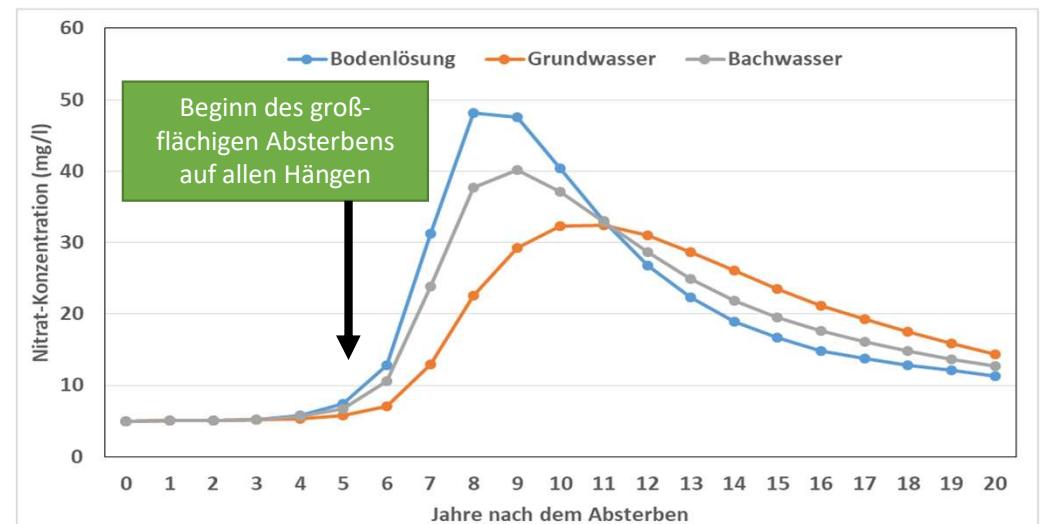
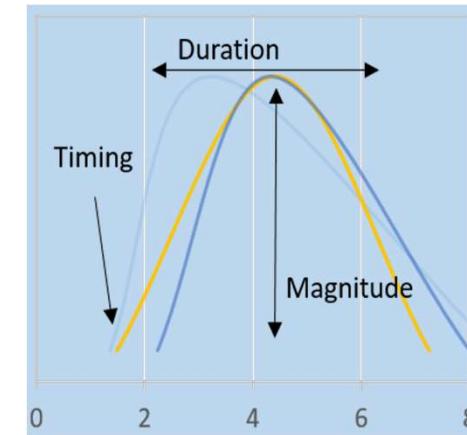
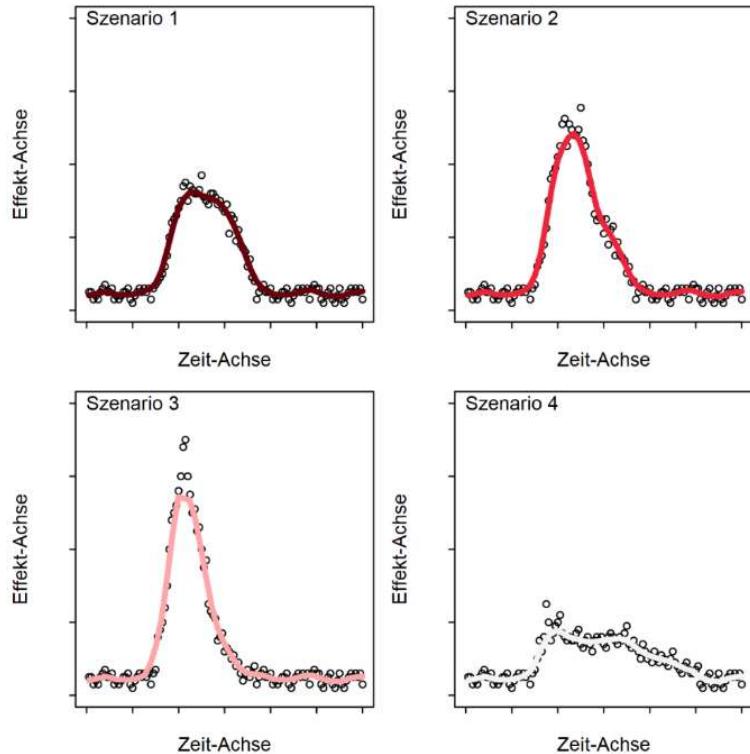


Grundlage: Schelker et al. (2013) & Hélie et al. (2012)

Carbon cycle

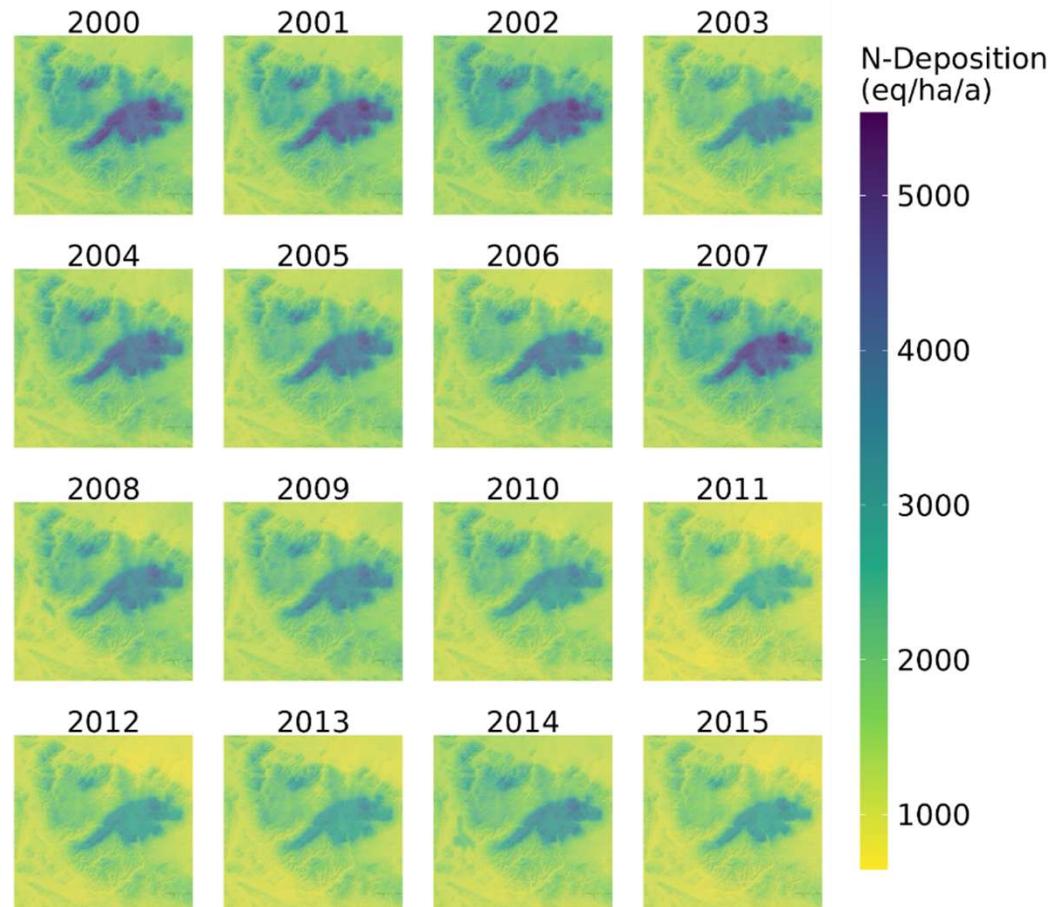
Nitrogen cycle

Fragestellungen



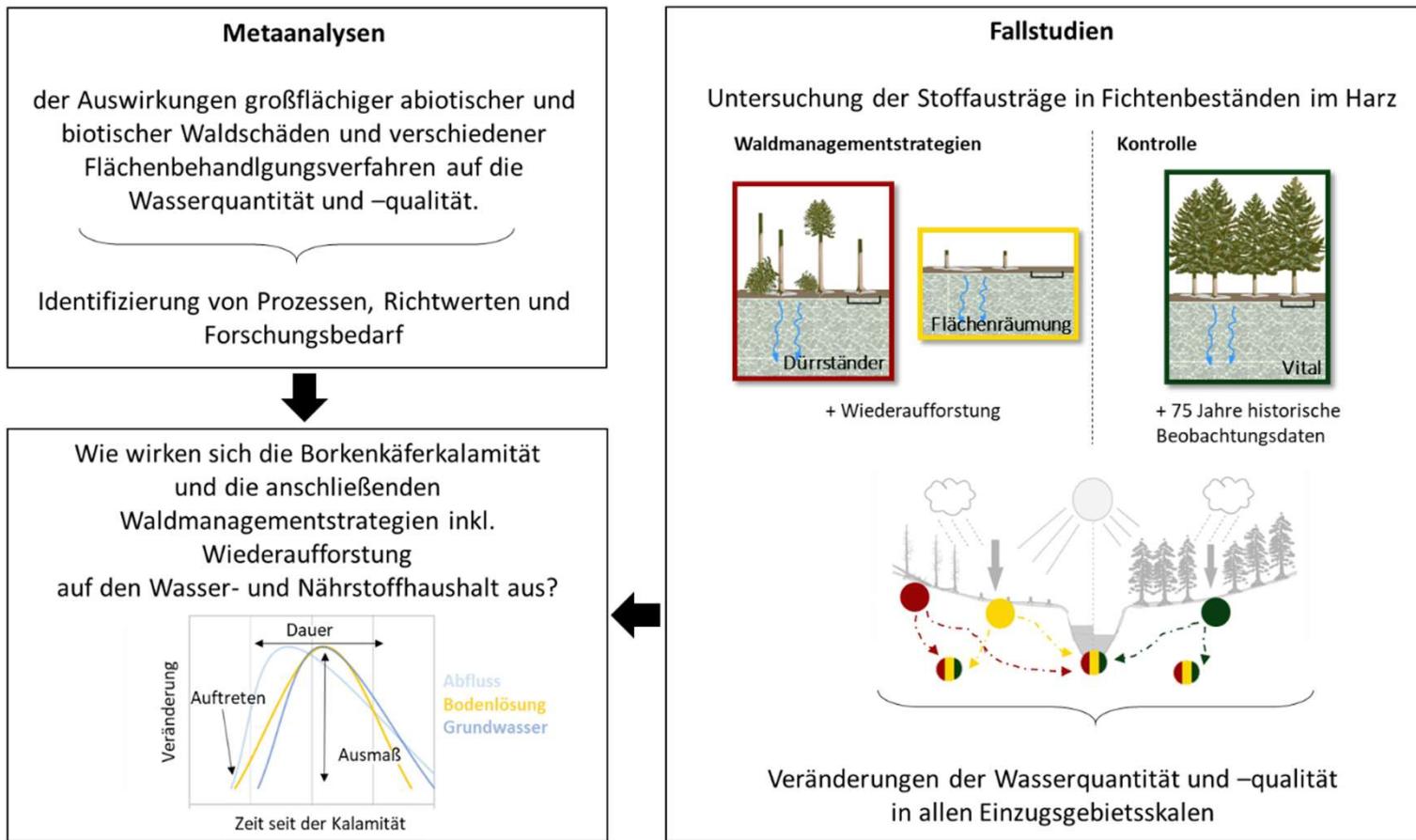
Modellierte Zeitreihe der Nitratkonzentrationen im Einzugsgebiet der „Große Ohe“ für ein Absterbeszenario (Zimmermann et al. 2000)

Fragestellungen- Veränderte Rahmenbedingungen

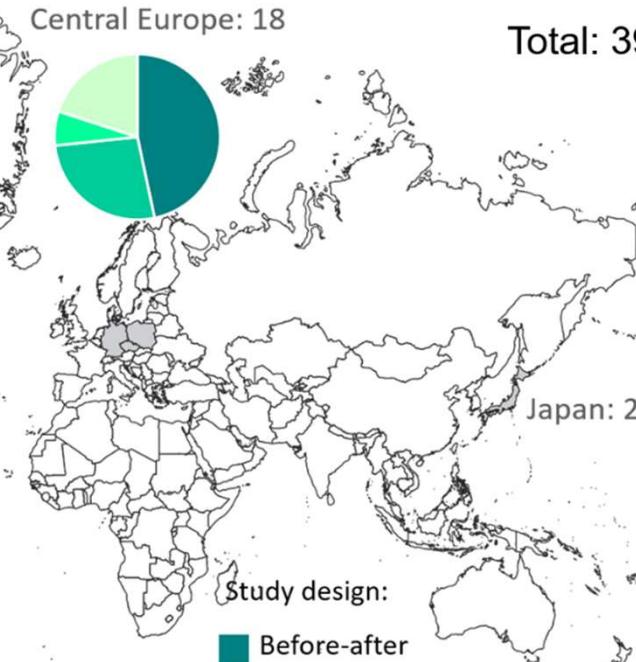
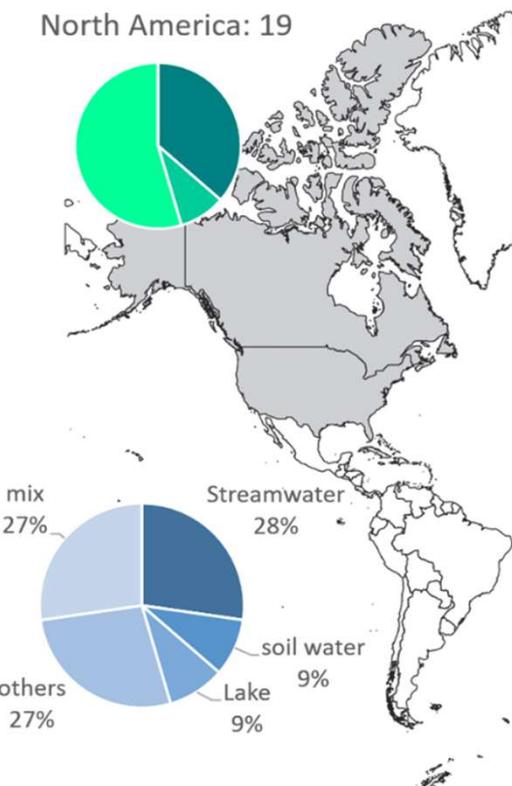


Datengrundlage: Projekt STWM-KPW (FKN: 2220NR269C)

Untersuchungsansatz - Gesamtkonzept



Metaanalyse

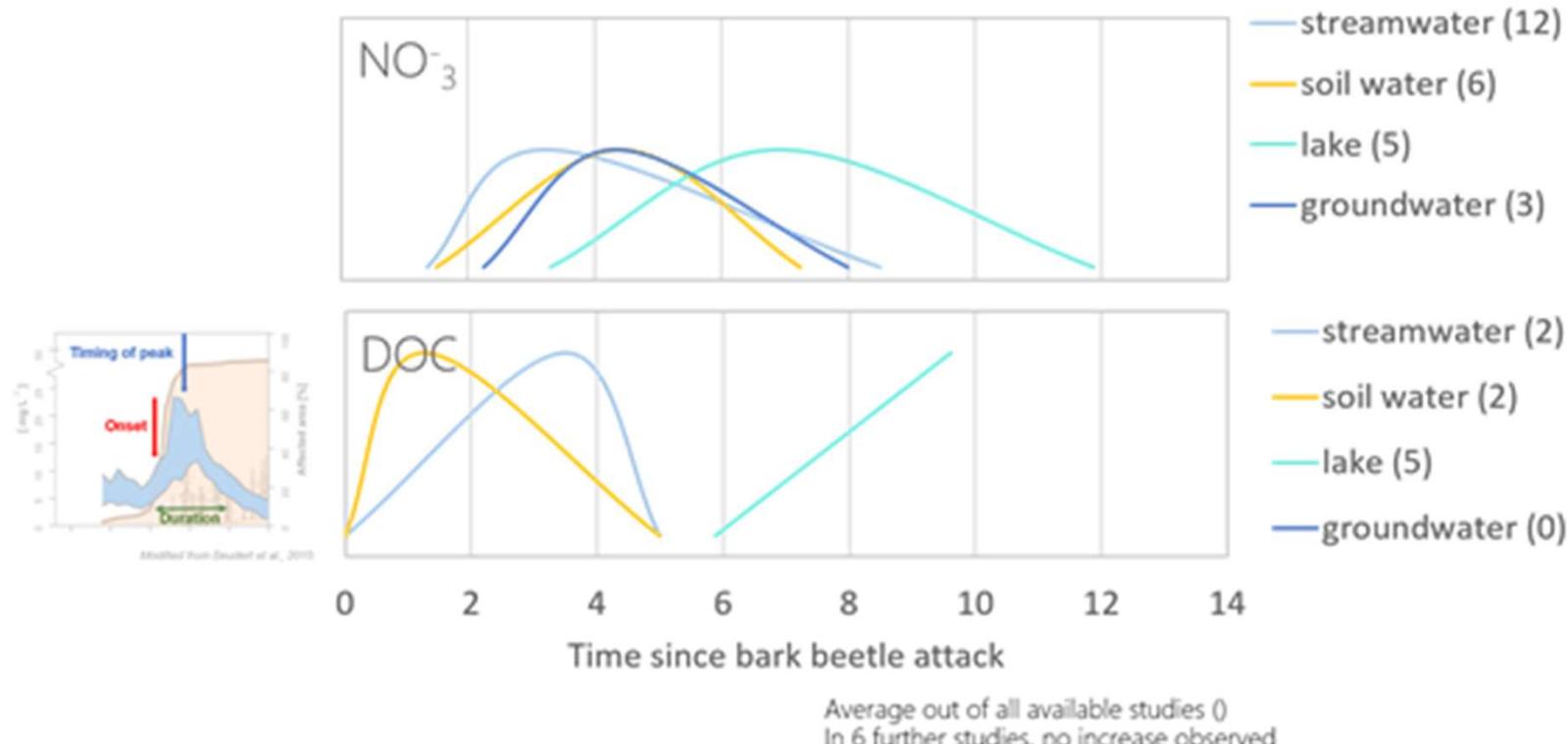


Total: 39 scientific articles

- Study design:
- Before-after
 - Before-after-control-impact
 - Control-impact
 - Modeling
- Countries with selected papers

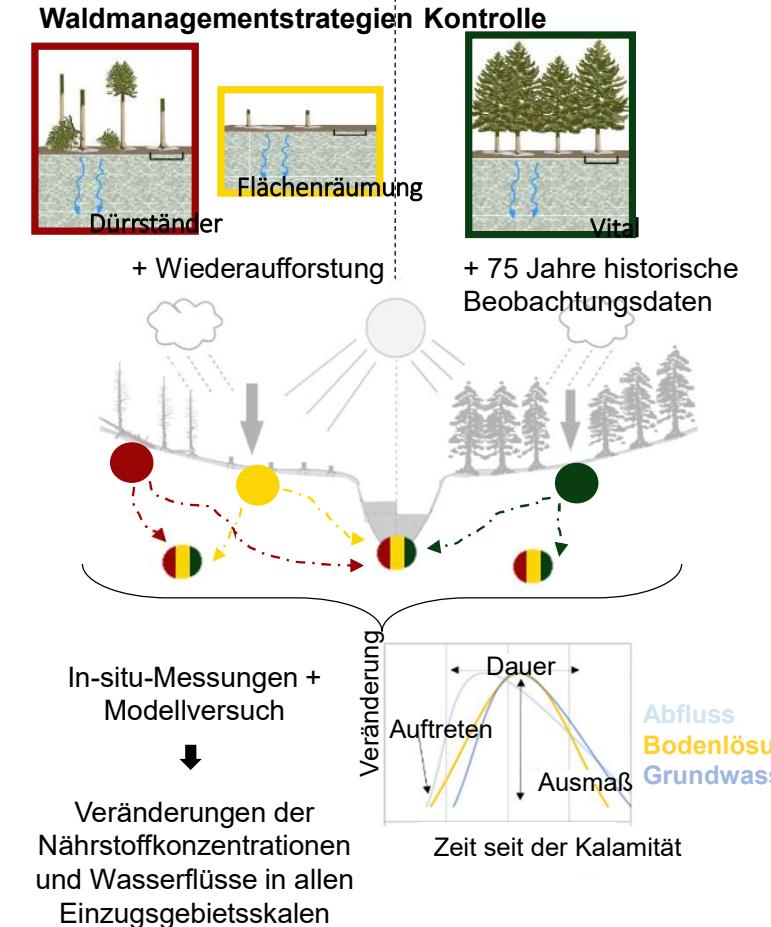


Metaanalyse

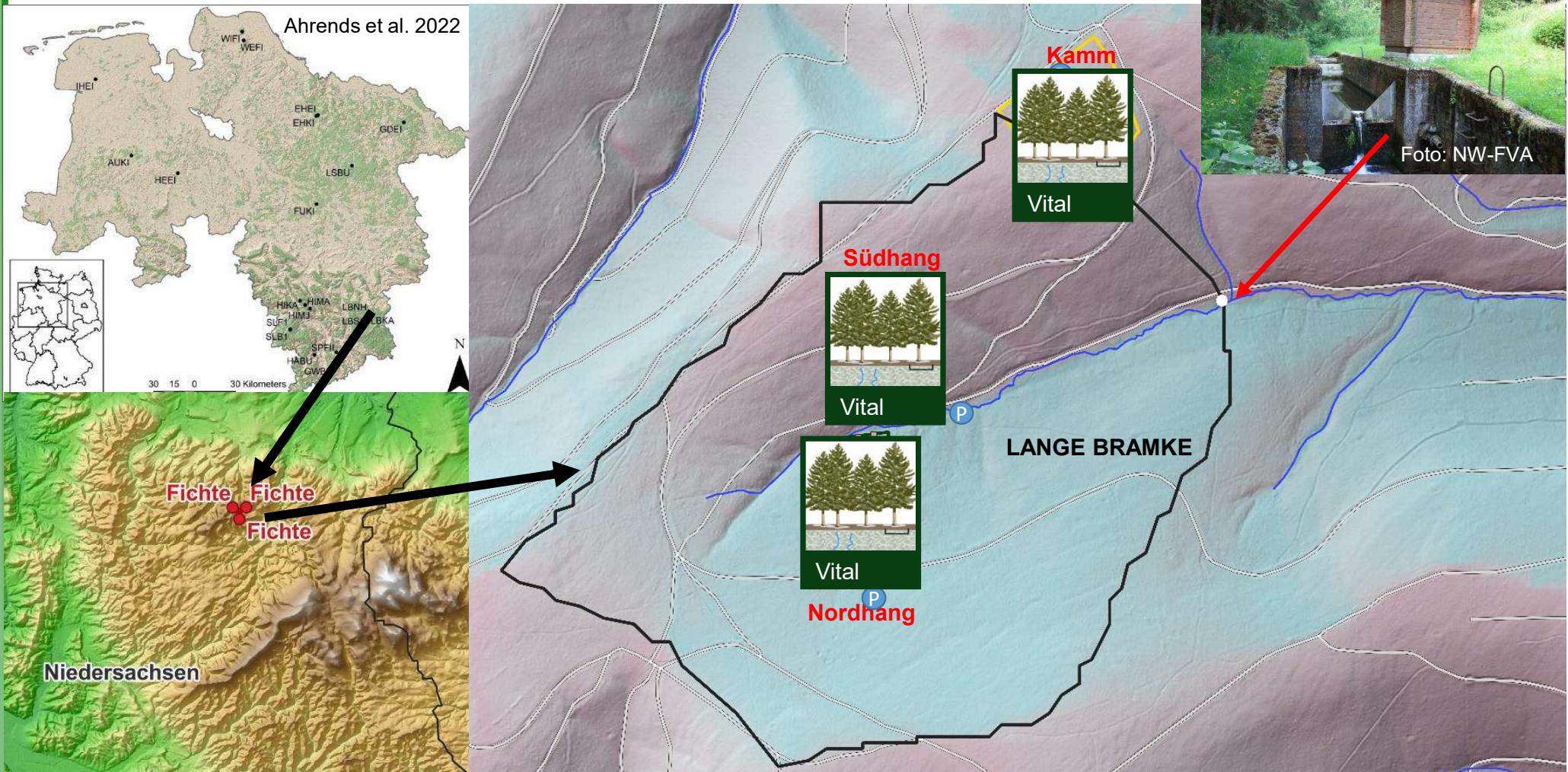


- wenig Studien über DOC
- Bodenlösung reagiert bei DOC schneller als beim Nitrat

Fallstudien – Untersuchungen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen



Fallstudien – In der Langen Bramke

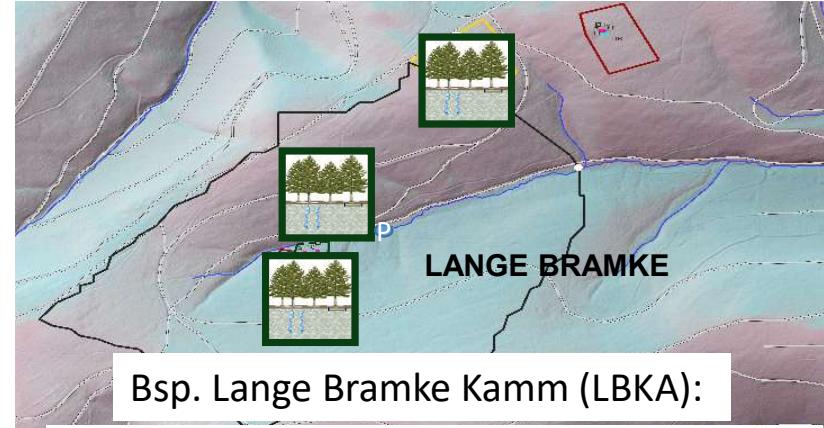


Fallstudien – Ausgangslage

- 3 Flächen des Intensiven Forstlichen Monitorings im westlichen Harz (BDF, ICP Forests Level II, LTER)
- Lange Zeitreihen (> 70 Jahre):
 - Stoffkonzentrationen in Freiflächen- und Bestandesniederschlag, Bodenlösung, Bach- und Grundwasser
 - Depositionsraten
 - Waldernährungszustand
 - Bodenchemischer Zustand
- Fläche: 0,77 ha

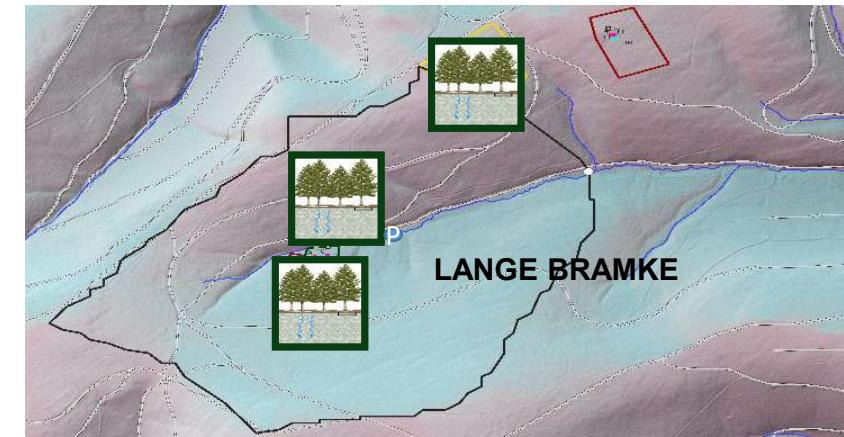
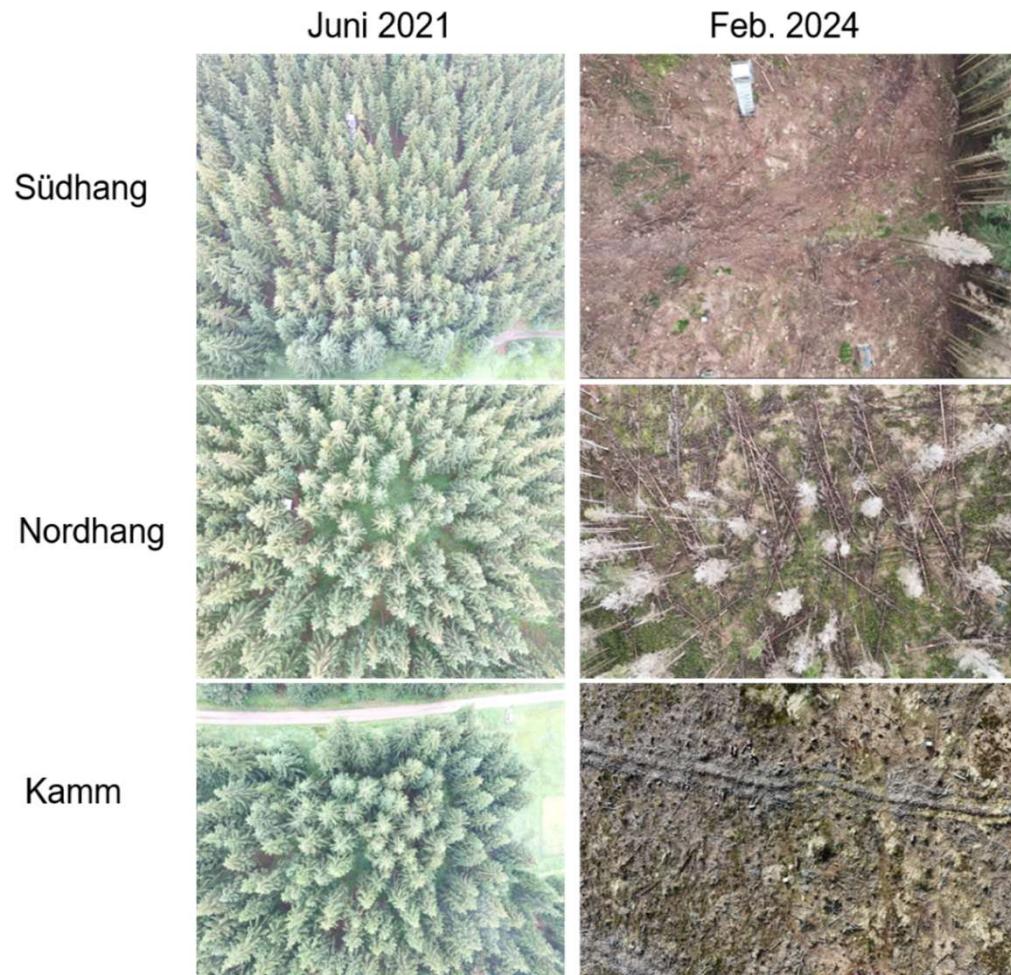


Foto: NW-FVA



Ertragsklasse (Hauptbaumart)	II.5
Höhe über NN	660
Wuchsgebiet	Harz
Wuchsbezirk	Montaner Mittel- und Oberharz
Substratgruppe	Quarzit
Bodentyp	Braunerde-Podsol
Humusform	feinhumusreicher Moder
Standorttyp	23.2+2.2t
GWH	mäßig/ziemlich frisch
Trophie	schwach mesotroph
Kalkung (Menge/Jahr)	nein

Fallstudien – Entwicklung



Fotos aus Drohnenbefliegungen: 2021: NW-FVA;
2024: Tilman Curd (Iglu – Ingenieurgemeinschaft für
Landwirtschaft und Umwelt)

Fallstudien – Zusätzliche Installationen

Fichte



Fläche mit Dürständern

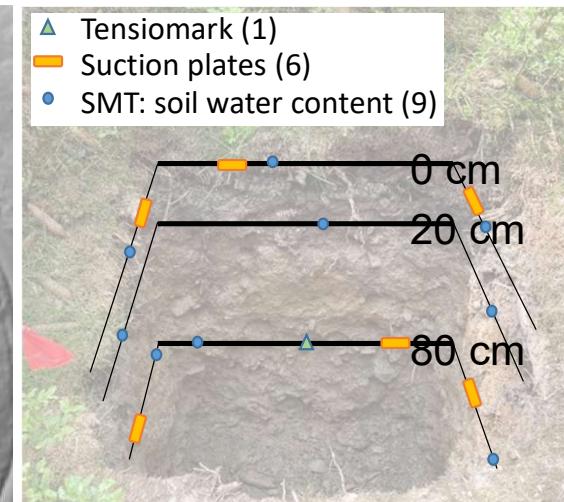
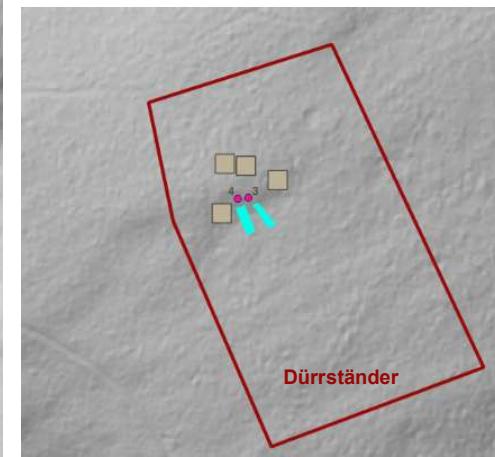
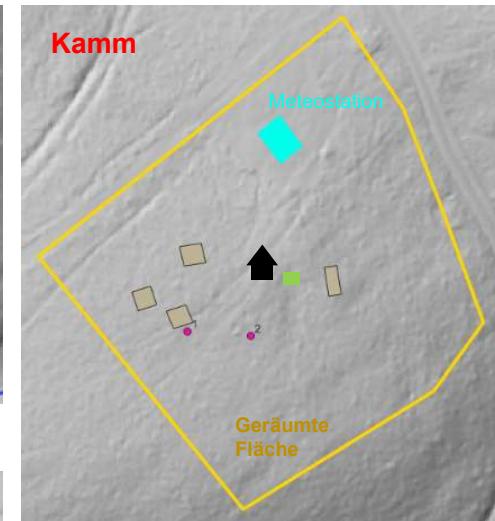
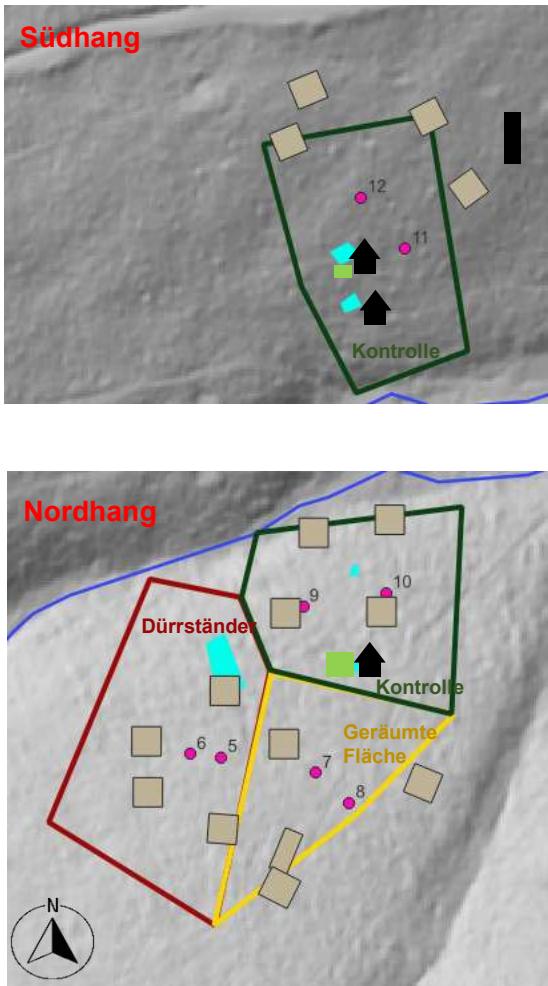


geräumte Fläche



Fotos: NW-FVA

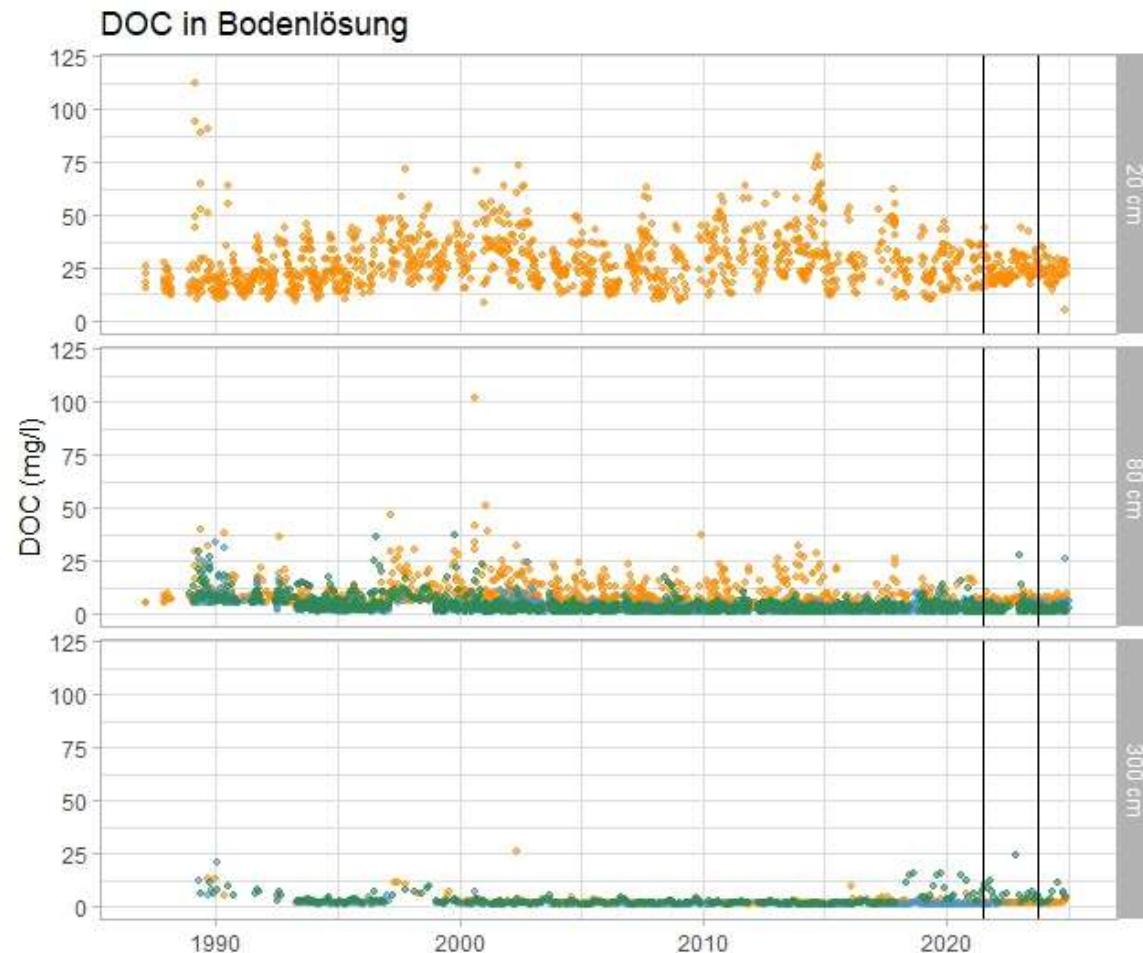
Fallstudien -- Zusätzliche Installationen



- ▲ Tensiometer (1)
- Suction plates (6)
- SMT: soil water content (9)
- Bestandniederschlag
- Schurfgruben (AUWADI)
- Lysimeter (Level II)
- ↑ Hütte
- Vegetationsaufnahmefläche

Fotos: NW-FVA

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung - DOC



Standort

- Kamm
- Nordhang
- Südhang

DOC-Konzentrationen je nach Bodentiefe und Standort. Die erste vertikale Linie ist die Borkenkäferkalamität auf dem Kamm (Sommer 2021), die zweite Linie ist der Zeitpunkt der Borkenkäferkalamität auf dem Südhang und dem Nordhang (Herbst 2023).

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bachwasser - DOC

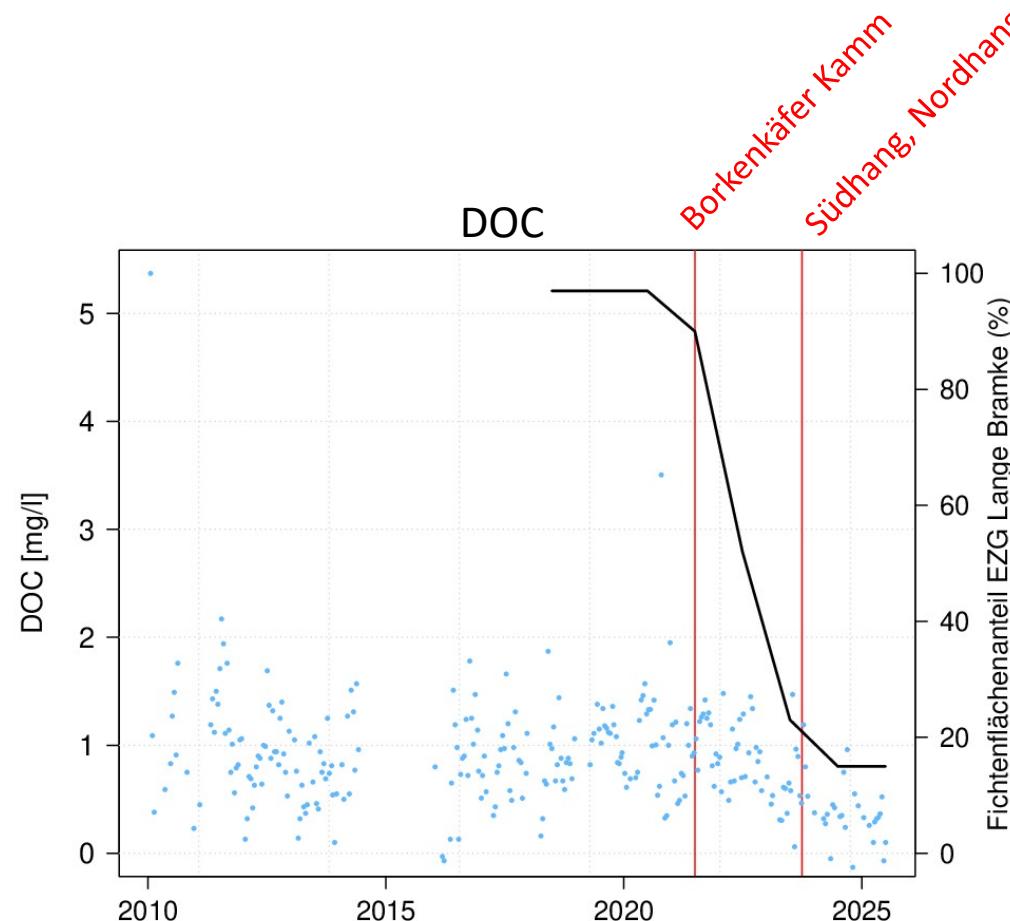
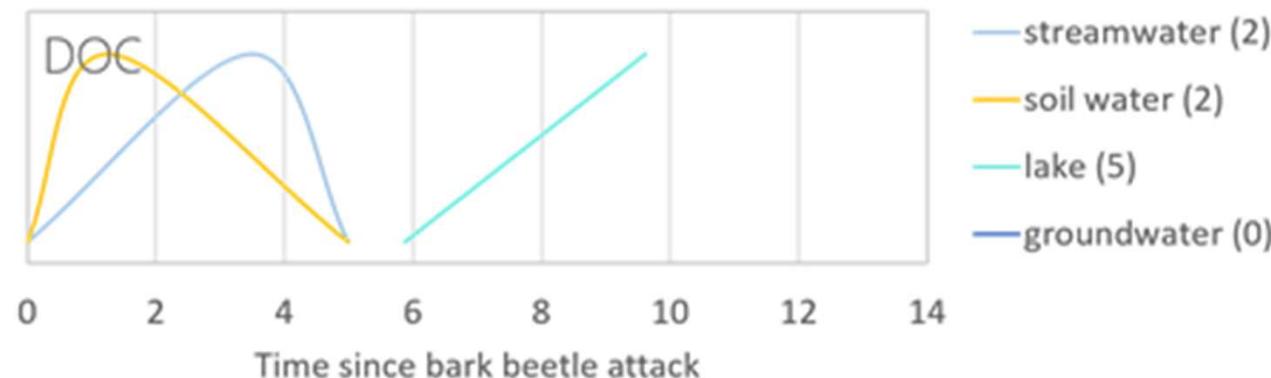
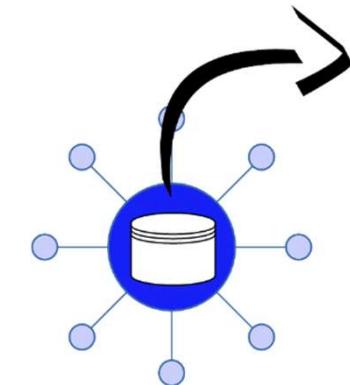


Foto: NW-FVA

Zwischenfazit - DOC



Metaanalyse



Fallstudie



Foto: NW-FVA

- kein Anstieg der DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung und im Bachwasser
- tendenziell zeigt sich eher ein Verdünnungseffekt durch den höheren Abfluss

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung - Nitrat

Nitrat-N in Bodenlösung

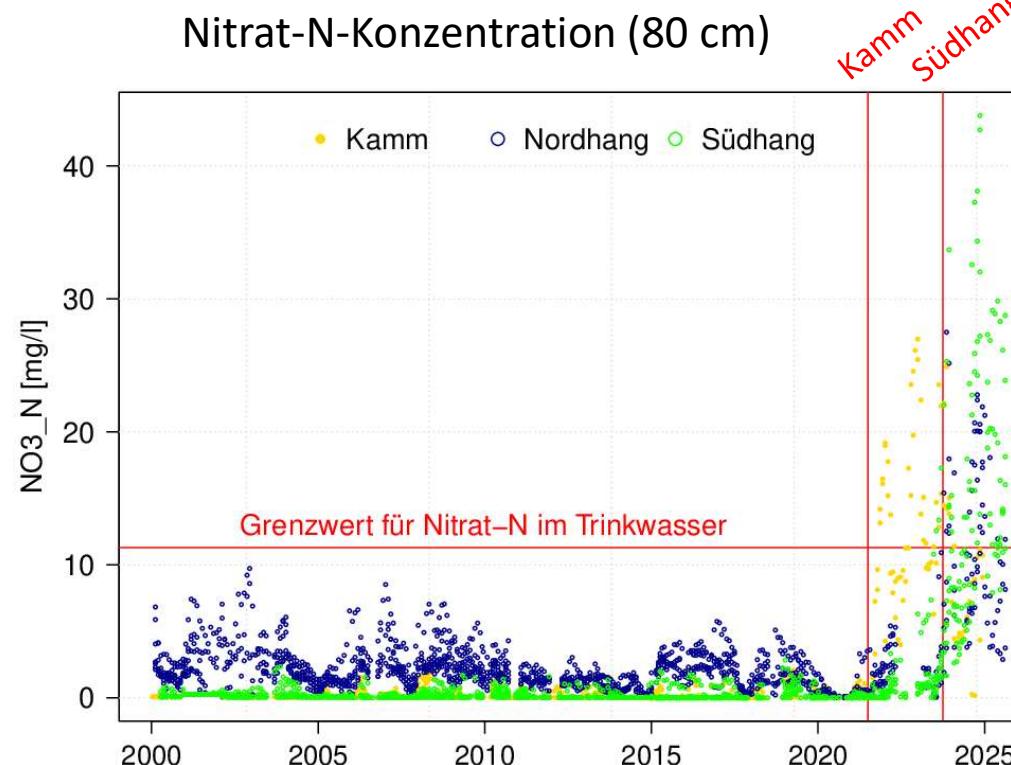


Standort

- Kamm
- Nordhang
- Südhang

NO₃-N-Konzentrationen je nach Bodentiefe und Standort. Die erste vertikale Linie ist die Borkenkäferkalamität auf dem Kamm (Sommer 2021), die zweite Linie ist der Zeitpunkt der Borkenkäferkalamität auf dem Südhang und dem Nordhang (Herbst 2023).

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung - Nitrat



Die erste vertikale Linie ist die Borkenkäferkalamität auf dem Kamm (Sommer 2021), die zweite Linie ist der Zeitpunkt der Borkenkäferkalamität auf dem Südhang und dem Nordhang (Herbst 2023).
Rückgang!?

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bachwasser - Nitrat

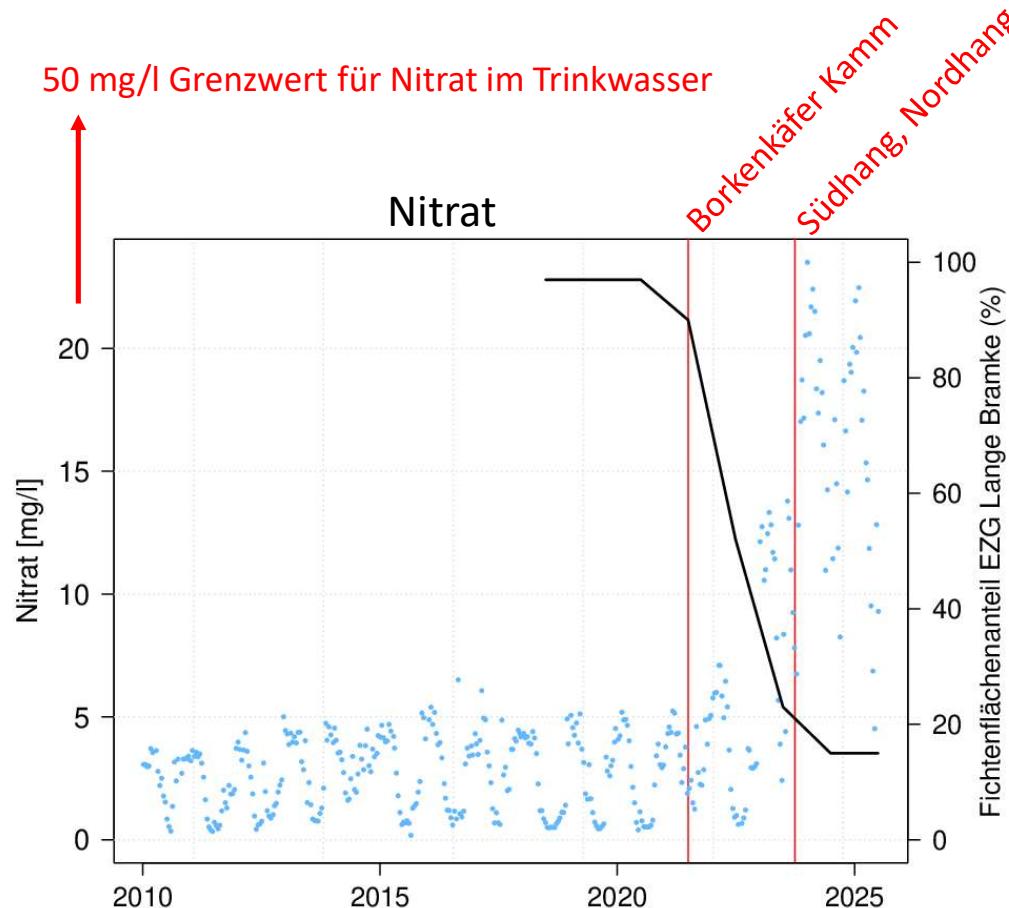
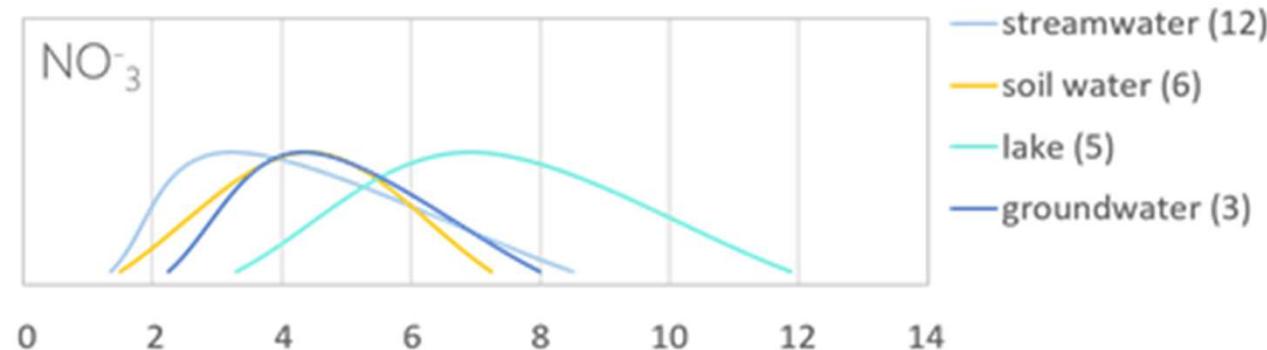
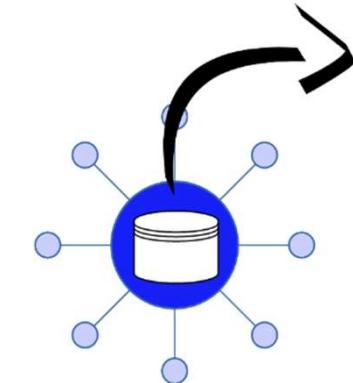


Foto: NW-FVA

Zwischenfazit - Nitrat



Metaanalyse



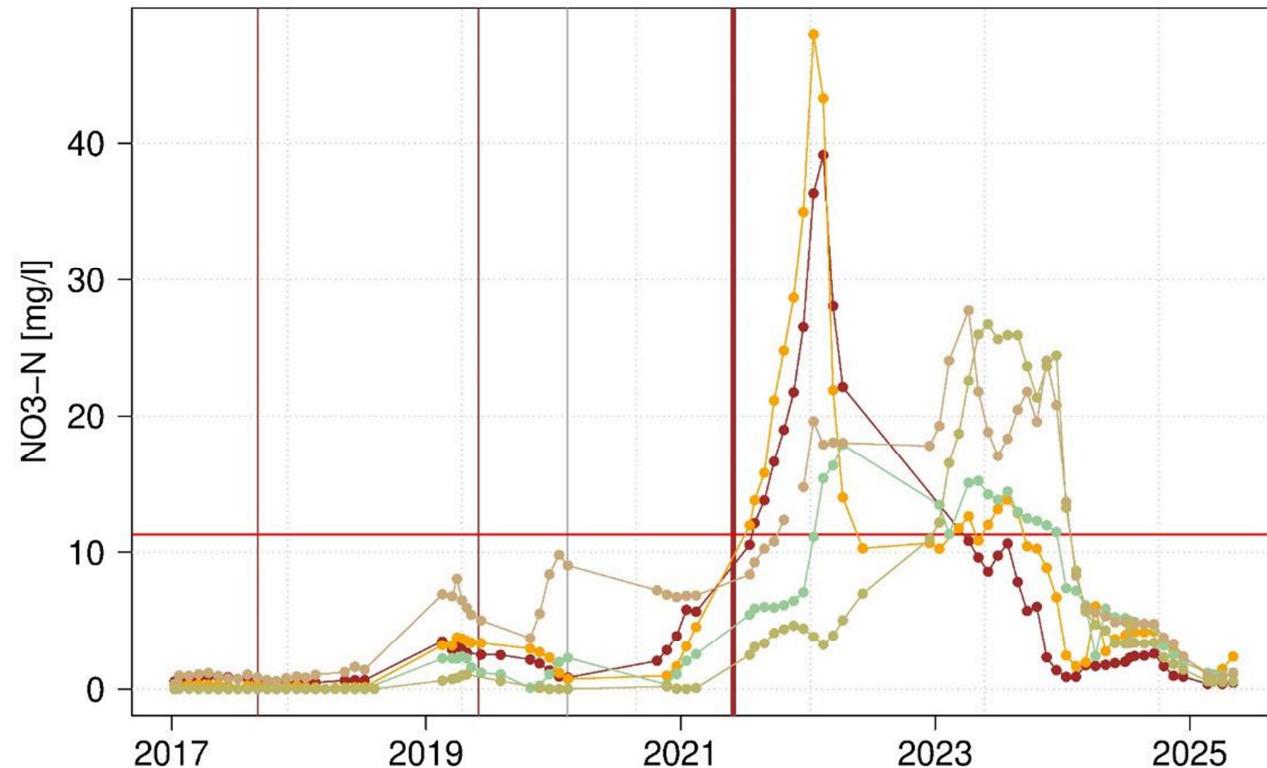
Fallstudie



Foto: NW-FVA

- Anstieg der Nitrat-Konzentrationen in der Bodenlösung und im Bachwasser sehr schnell nach dem Schadereignis
- Wie schnell und nachhaltig der Rückgang ist, kann aktuell noch nicht abschließend bewertet werden.

Übertragbarkeit der Ergebnisse – Bsp. Königstein

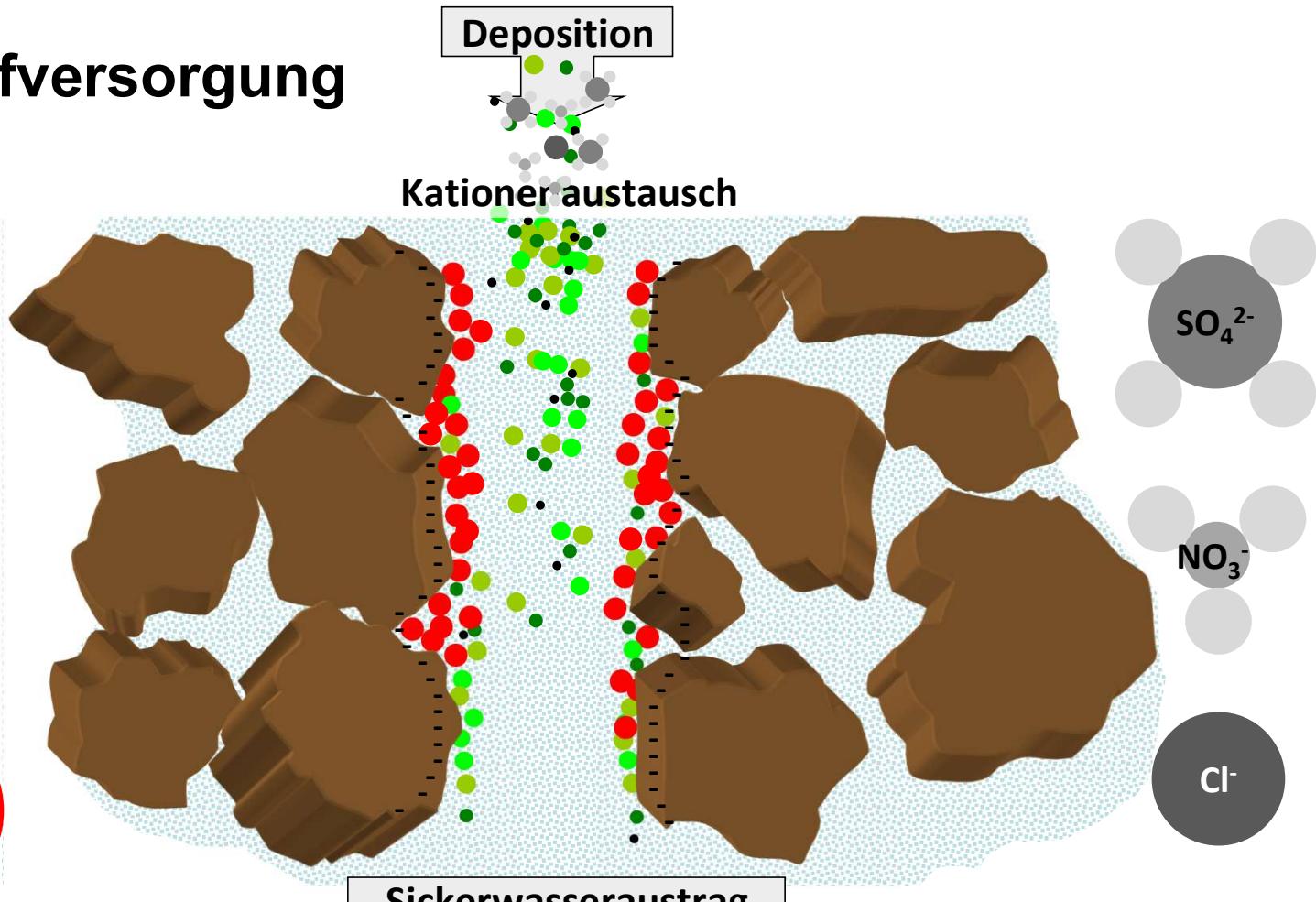
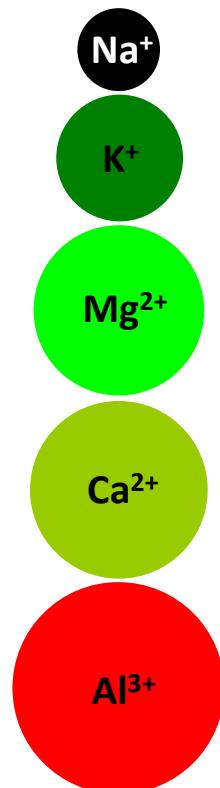


Fotos: NW-FVA

Zwischenfazit Nitrat

- DOC und Nitrat-Gehalte in der Langen Bramke unter den Trinkwassergrenzwerten
- aber was bedeutet das für den forstlichen Standort?

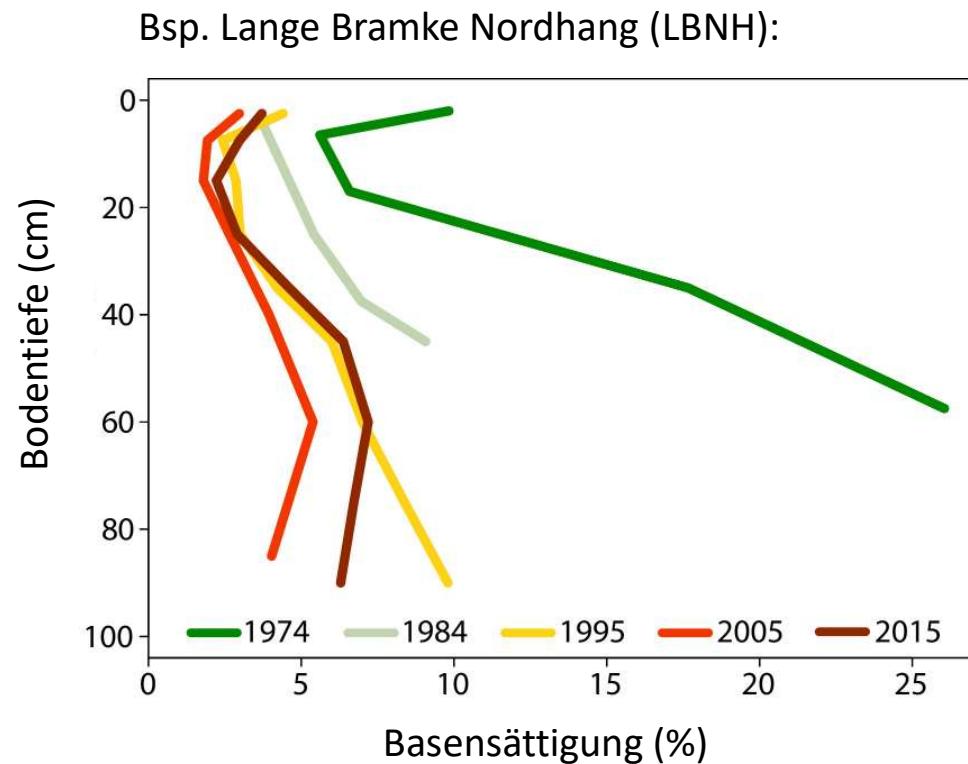
Nährstoffversorgung



28

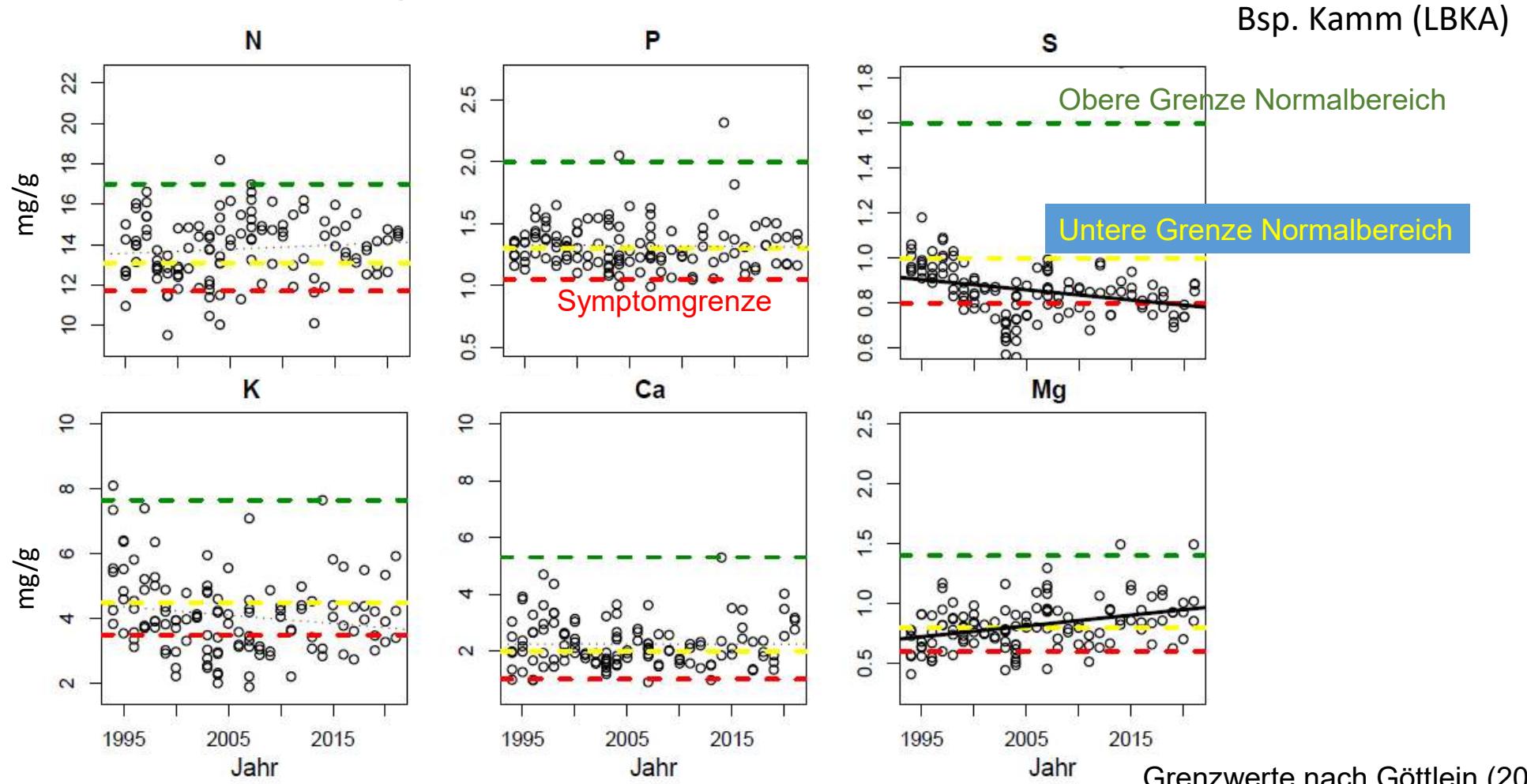
Weis et al. (2018)

Nährstoffausstattung der Standorte

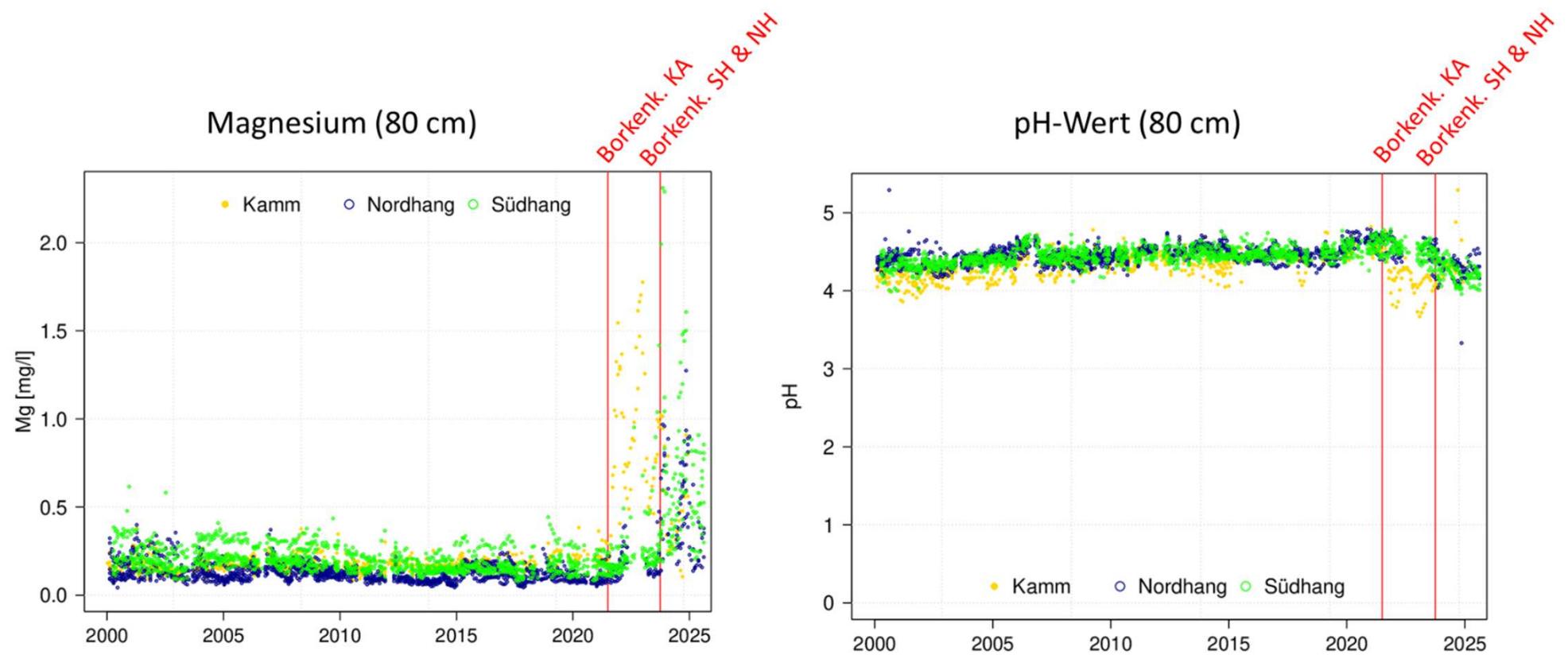


- nährstoffarme, skelettreiche Braunerde-Podsole aus Quarzit
- Nds. Nährstoffzahl 2+ bis 3+
- Ø Basensättigung ca. 5 % (0-100 cm)
- Ø pflanzenverfügbaren Bodenvorräte (Humus-100 cm)
 - K: 350 kg/a
 - Ca: 216 kg/a
 - Mg: 89 kg/ha
- sehr gering bis gering bewertet (Forstl. Standortsaufnahme 2016, 7. Auflage)

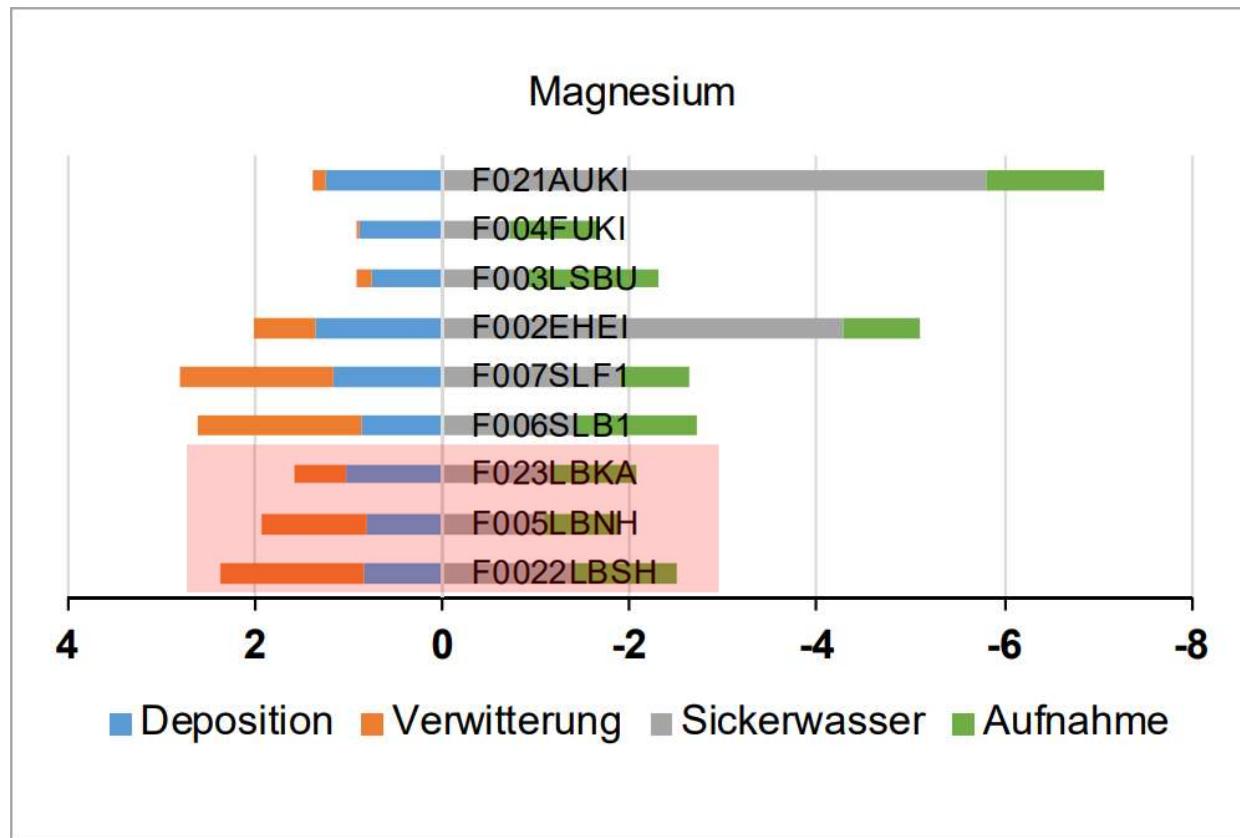
Waldernährungszustand der Fichte bis 2021



Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung – Magnesium und pH-Wert



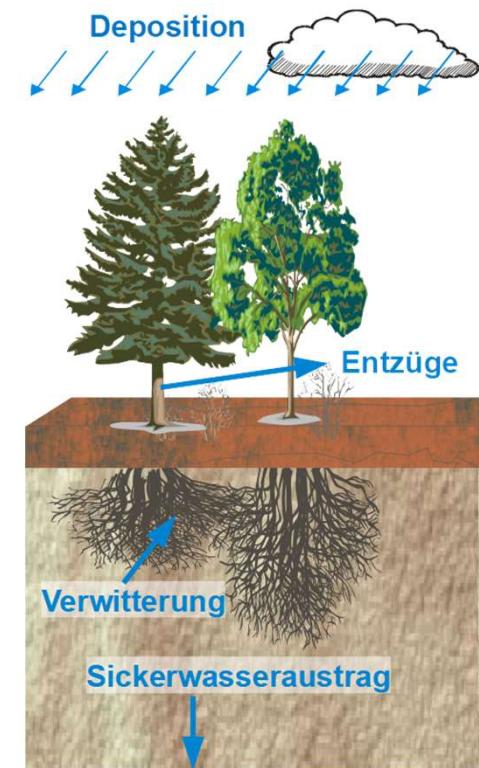
Stoffbilanz vor der Kalamität – Beispiel Magnesium



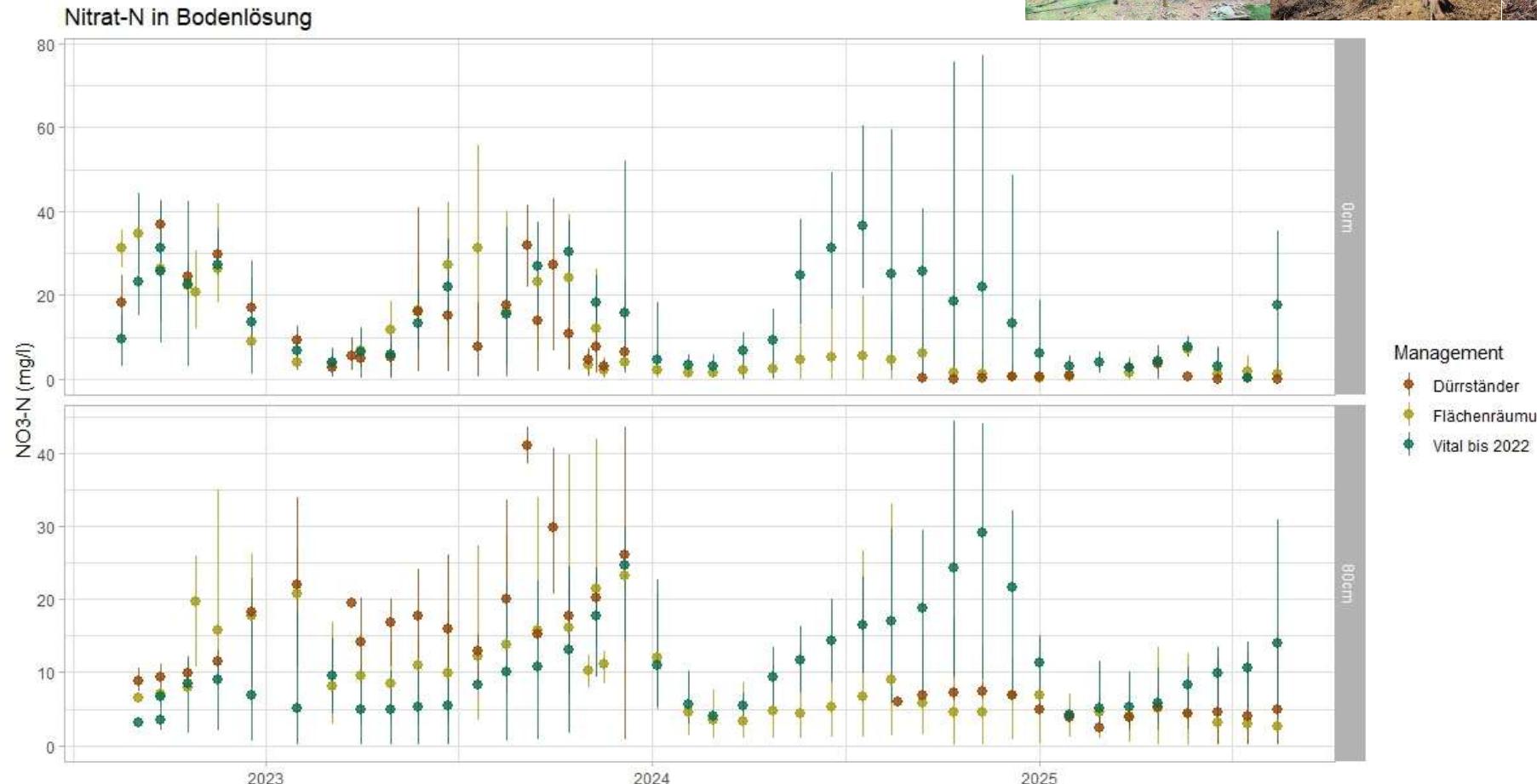
Ahrends et al. (2021)

Zwischenfazit - Nährstoffbilanz

- Eine standörtlich nachhaltige Nährstoffversorgung setzt ein Gleichgewicht zwischen Nährstoffverlusten und Nachlieferung voraus.
- Durch die gestiegenen Nitrateusträge sind die Austräge an basischen Kationen stark erhöht.
- Hinsichtlich der stoffstofflichen Nachhaltigkeit der Waldböden wird es folglich entscheidend sein, wie lange die erhöhten Austräge noch anhalten.
- Nährstoffhaushalt auch bei der Baumartenwahl beachten.



Forstliche Managementstrategien



Weiterentwicklung der Flächen – Dürrständer Kamm



April 2023: Pflanzung von Buche und Weißtanne
Mai 2024: Kappen der Dürrständer im Bereich der Technik
Fotos: 20.08.2025

Fotos: NW-FVA

Weiterentwicklung der Flächen – Nordhang („vital“)



April 2023: Pflanzung von Buchen (Voranbau)
Mai 2024: Kappen der Fichten (Verkehrssicherung)
August 2025: Foto

Weiterentwicklung der Flächen – Südhang („vital“)



April 2023:
Voranbau Buche (5200) und Tanne (1550)

Nov. 2023: Flächenräumung nach Käfer

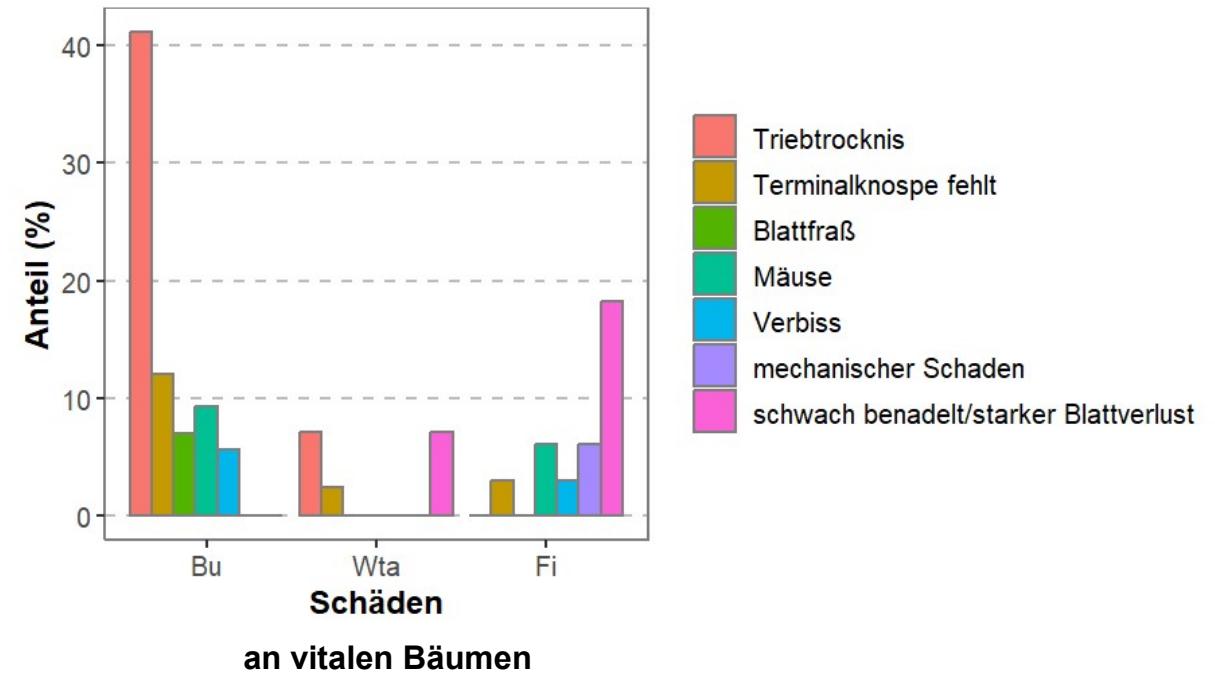
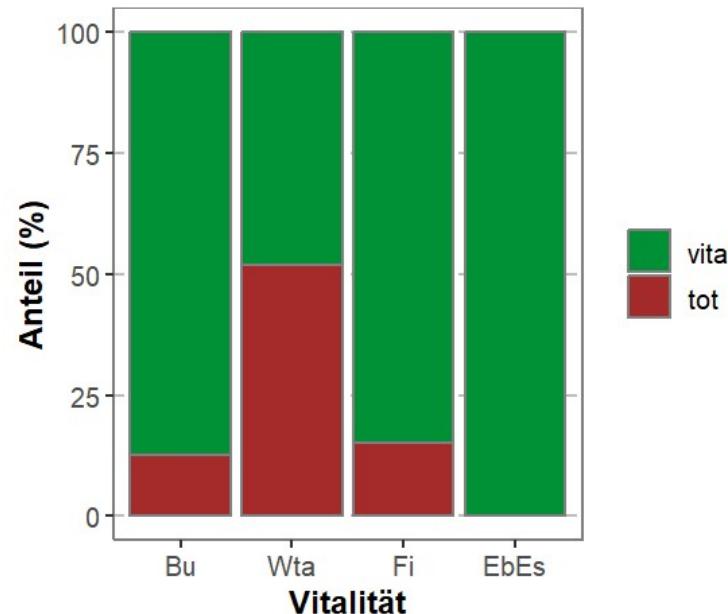
April 2024: Nachbesserung (1375 Stück)
Tanne nach nahezu Kompletausfall
Tanne

Mai 2024: Bekämpfung Rüsselkäfer

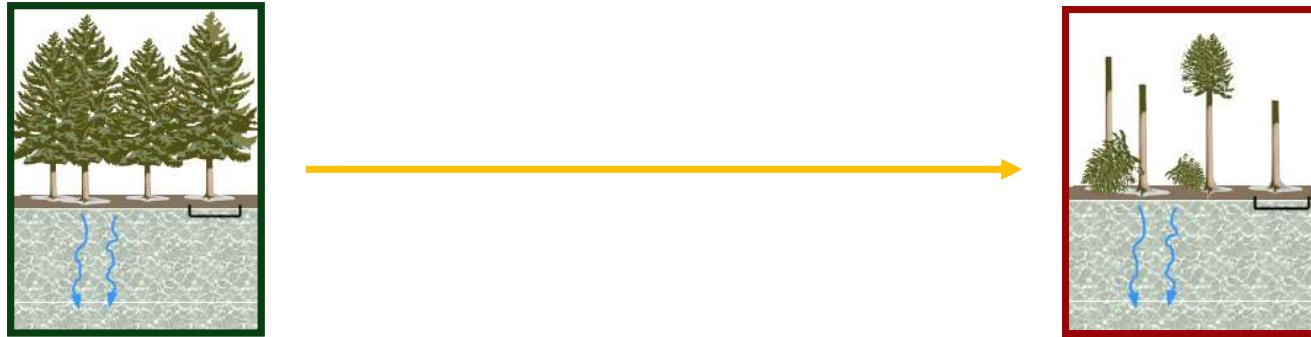
Juni 2025: Aufnahme der Pflanzung

August 2025: Foto

Weiterentwicklung der Flächen – Südhang („vital“)

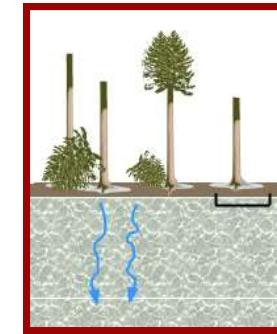
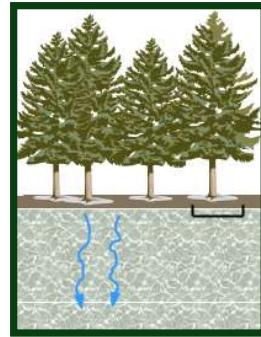


Zusammenfassung



- Nach der Borkenkäferkalamität nahmen die NO₃⁻, K-, Ca- und Mg-Konzentrationen in der Bodenlösung stark zu, wohingegen die DOC-Konzentrationen bisher unverändert blieben.
- Auch im Bachwasser war – mit zeitlicher Verzögerung – ein deutscher Anstieg der NO₃⁻-Konzentrationen, ein schwacher Anstieg der K-, Ca- und Mg-, jedoch kein Anstieg der DOC-Konzentrationen zu sehen.

Zusammenfassung



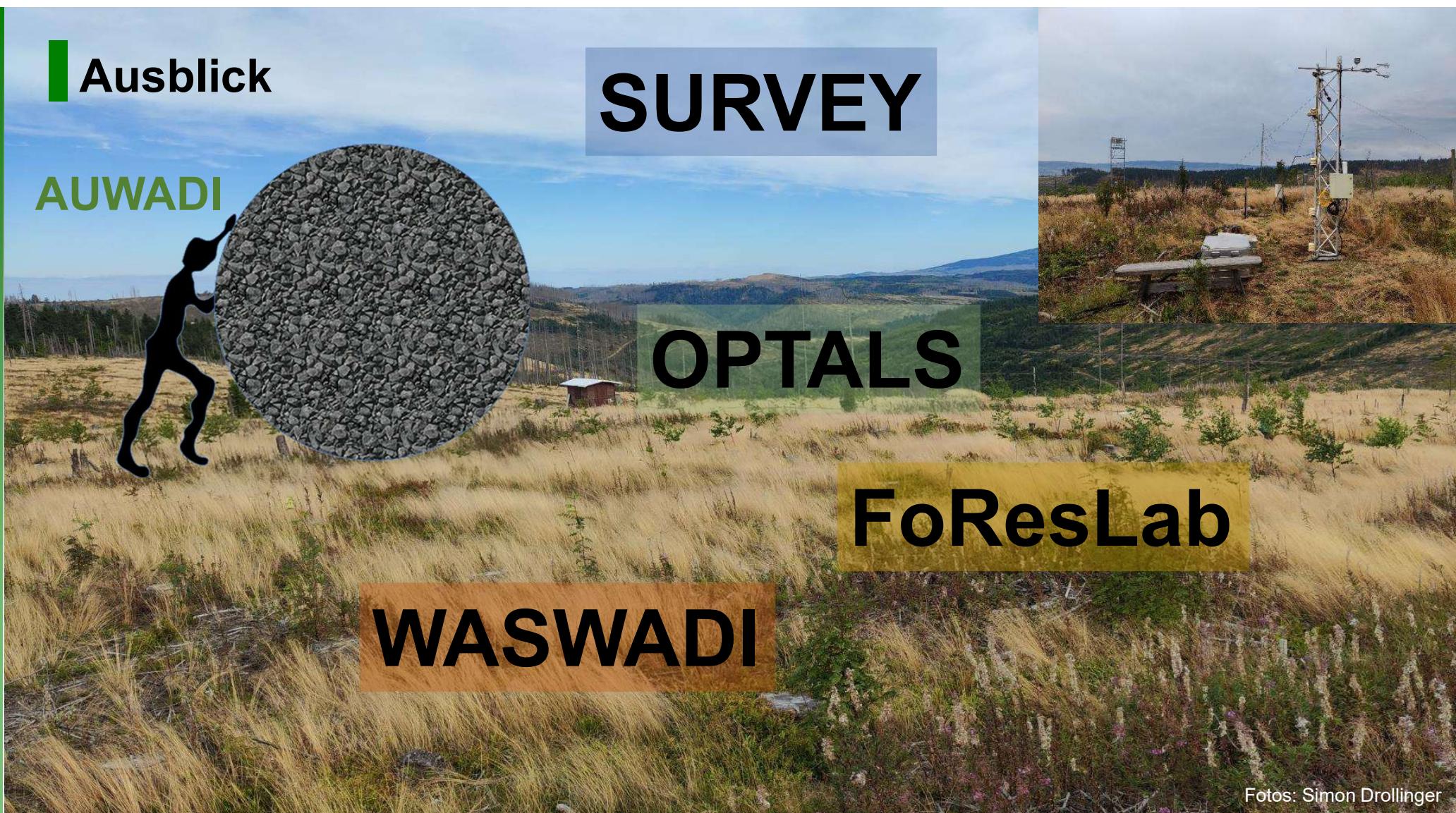
- Ein Einfluss des Waldmanagements ist teilweise zu erkennen; der Einfluss des Standorts ist jedoch groß.
- Die Nährstoffverluste – vor allem von Magnesium – waren auf dem stark versauerten Standort der Langen Bramke nach der Borkenkäferkalamität in einer Größenordnung, die für die Nährstoffversorgung der nachfolgenden Waldgeneration nachteilig sein könnte.

Ausblick

AUWADI



Foto: Simon Drollinger



Fotos: Simon Drollinger

Danke
Stadt.Land.Zukunft



Juni 2021



Mai 2022



Okt. 2022



Sept. 2023

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Fotos: Bernd Ahrends & Daphne Freudiger

Fragen?

