



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 Meeseburg

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
31 O₂/ha*a
- 3 Kohlenstoffspeicher
Biomasse
112,2 t C/ha
- 4 Holzvorrat
335 Vfm/ha

- 5 Biodiversität
- 6 Bodenbildung
1 cm/100a
- 7 Kohlenstoffspeicher
Waldboden
119,2 t C/ha

Versorgungsleistungen

- | | | |
|--|--|--|
| 8 Holzzuwachs
9,4 Vfm/ha*a | 10 Energieholz
2,1 m ³ /ha*a | 12 Wildfleisch
1 kg/ha*a |
| 9 Stoffliche Holznutzung
4,6 m ³ /ha*a | 11 Pilze & Beeren
Haushaltsübliche Mengen | 13 Trinkwasserschutzgebiet
1.835 m ² /ha |

Regulationsleistungen

- | | |
|---|--|
| 14 Luftfilter
60 t/ha*a (Staub, Ruß) | 16 Wasserfilter
3 Mio. l/ha*a |
| 15 Klimaschutz
CO ₂ -Aufnahme: 10 t CO ₂ /ha*a | 17 Bodenschutz
verhindert Erosion/Hochwasser |
| | 18 Biotopfläche
576 m ² /ha (gesetzlich geschützt) |
| | 19 Totholz
29,4 m ³ /ha |

a = Jahr || Vfm = Vorratsfestmeter (Holzvorrat stehender Baumbestand mit Holz > 7 cm Durchmesser) || lfm = Laufender Meter || t = Tonne (1.000 kg) || ha = Hektar (Flächenmaß 10.000 m² [100 x 100 m], ca. 1,4 Fussballfelder) || m³ = Kubikmeter (Volumen eines Würfels mit 1m Kantenlänge, entspricht 1.000 Liter)

Trinkwasser

Quelle: FNR 2020
<https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/forstwirtschaft/infografik-oekosystemleistungen.html>

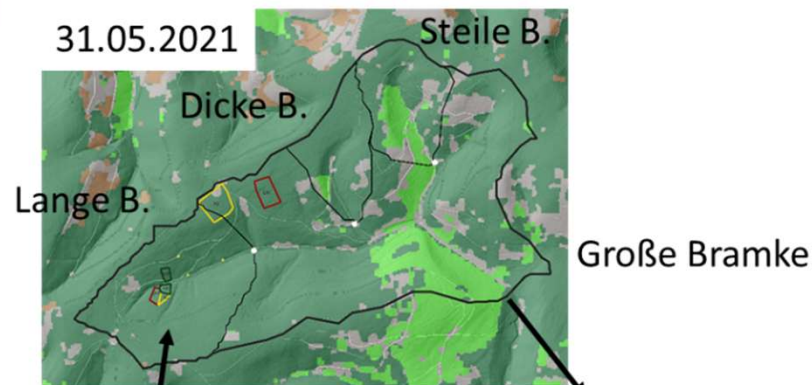
- 22 Wirtschaft
16.000 €/ha*a
Umsatz im Cluster Forst & Holz

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe | OT Gülzow, Hofplatz 1 | 18276 Gülzow-Prützen | www.fnr.de

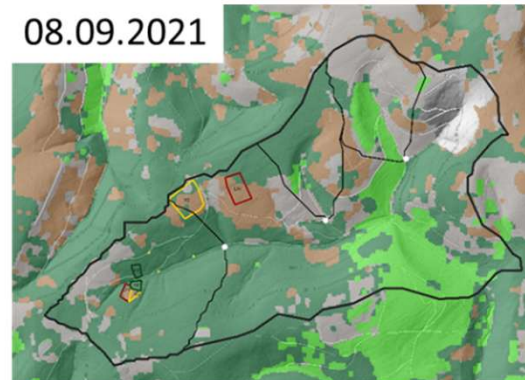
© FNR 4. Auflage 2025 | Artikelnummer 1.138 | Quellen: Thünen-Institut, BMEL

Veränderung der Bestockung im Oberharz

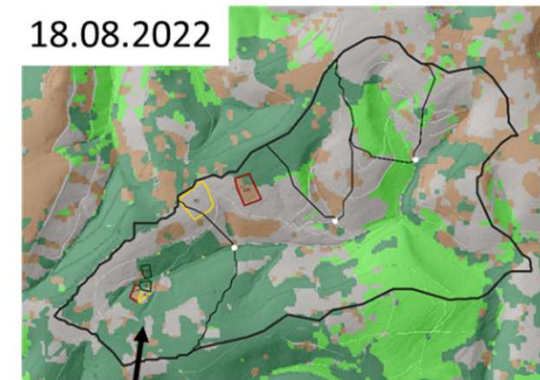
- SG Fernerkundung & GIS (Abt. B) auch Teil von AUWADI



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

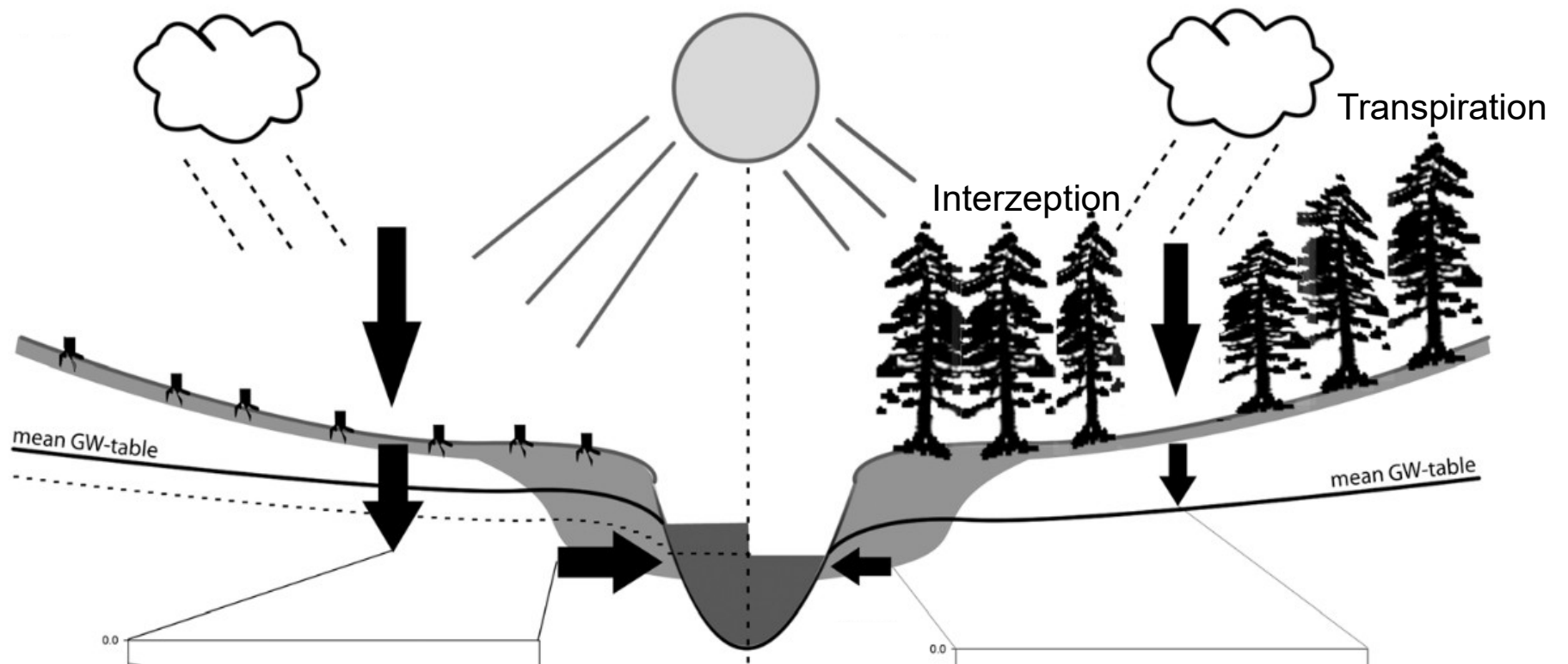


■ Fichte
■ Buche
■ Dürrständer
■ Kahlflächen



Lange Bramke:
Sommer 2022
56 % vitale Fichte

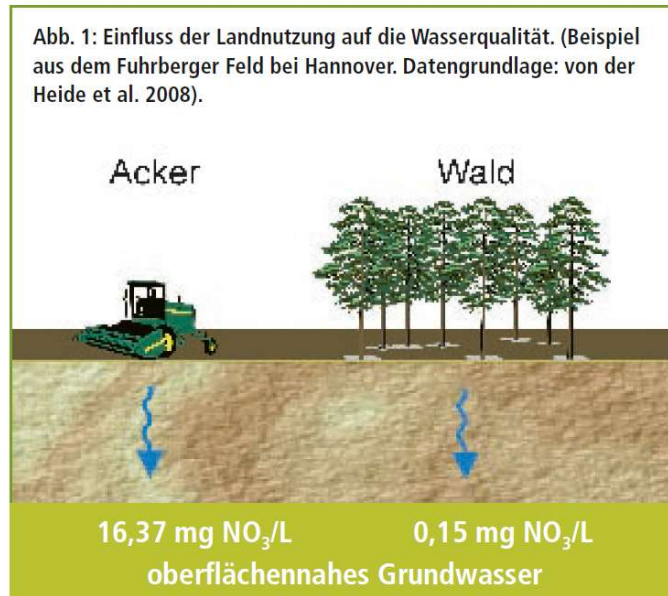
Wasserkreislauf



Grundlage: Schelker et al. (2013)

Wald beeinflusst die Wasserqualität

Abb. 1: Einfluss der Landnutzung auf die Wasserqualität. (Beispiel aus dem Fuhrberger Feld bei Hannover. Datengrundlage: von der Heide et al. 2008).

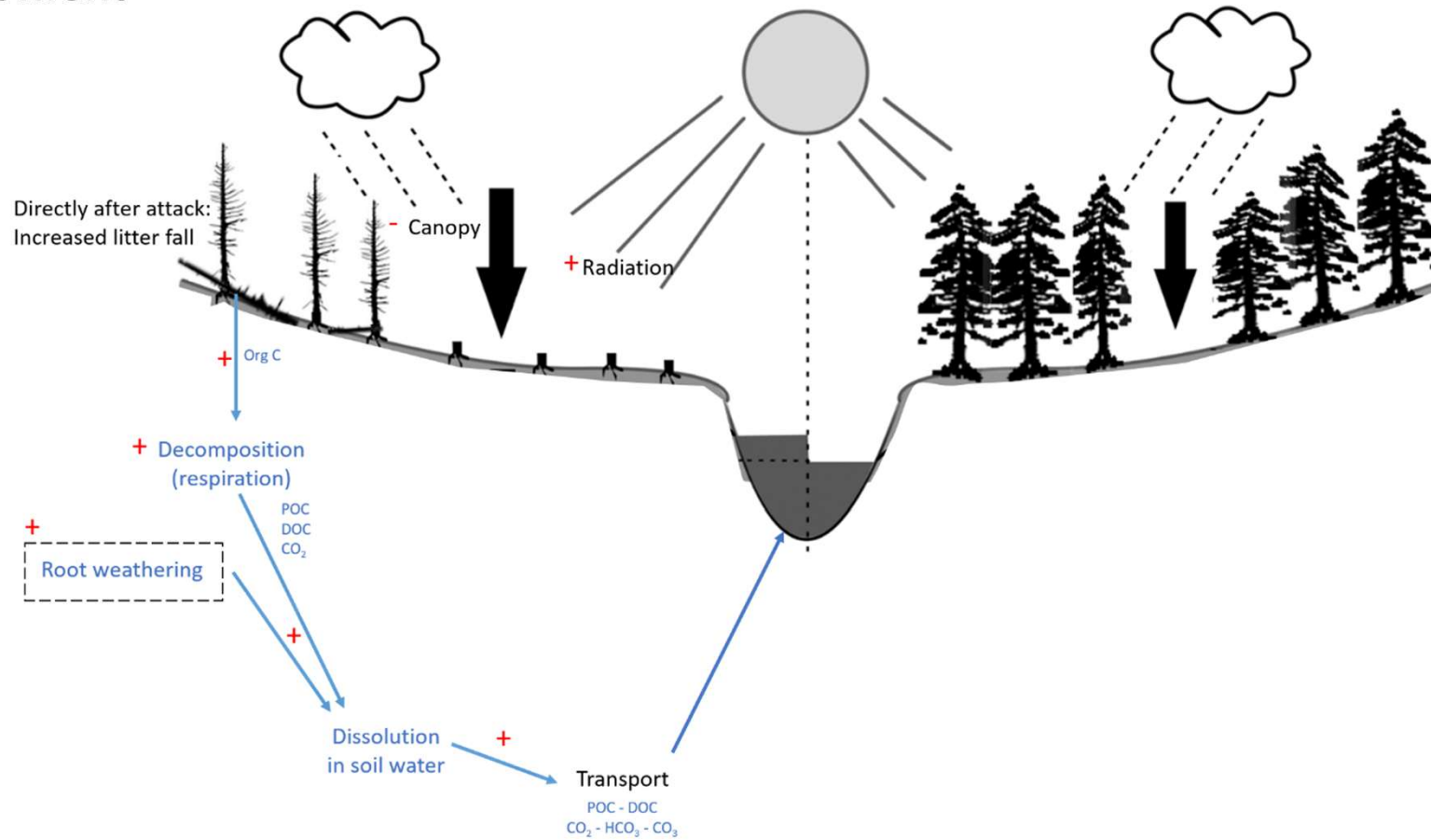


Ahrends et al. (2011)

- 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 Gewässergute (Verschlechterungsverbot)

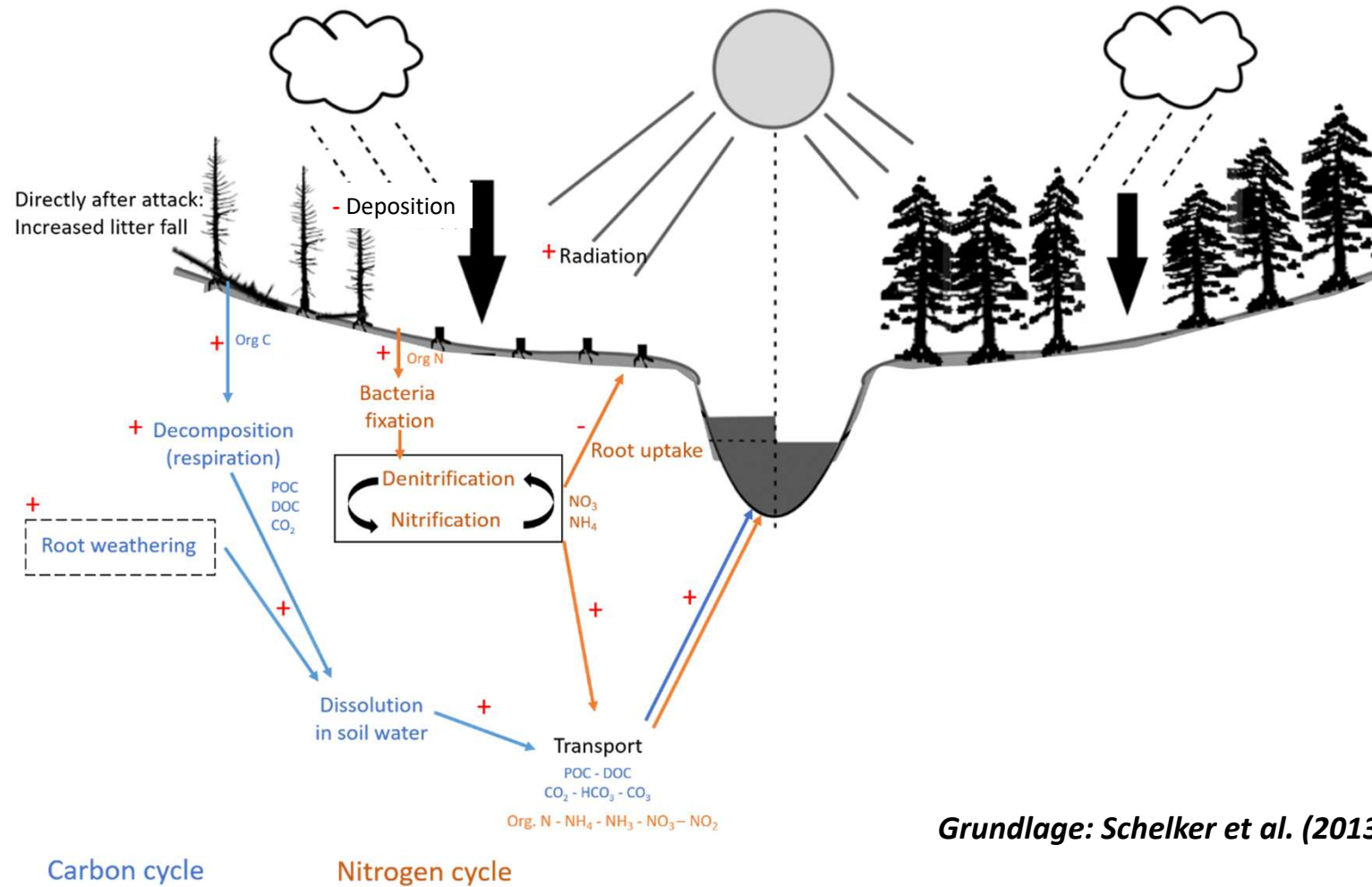
Kohlenstoffkreislauf



Carbon cycle

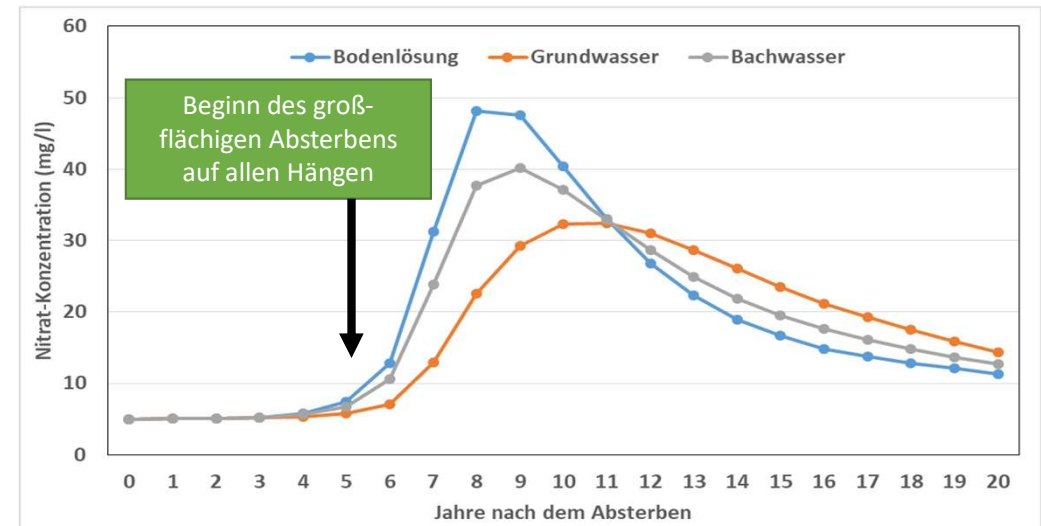
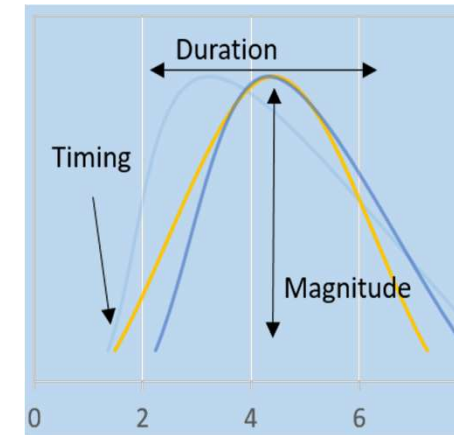
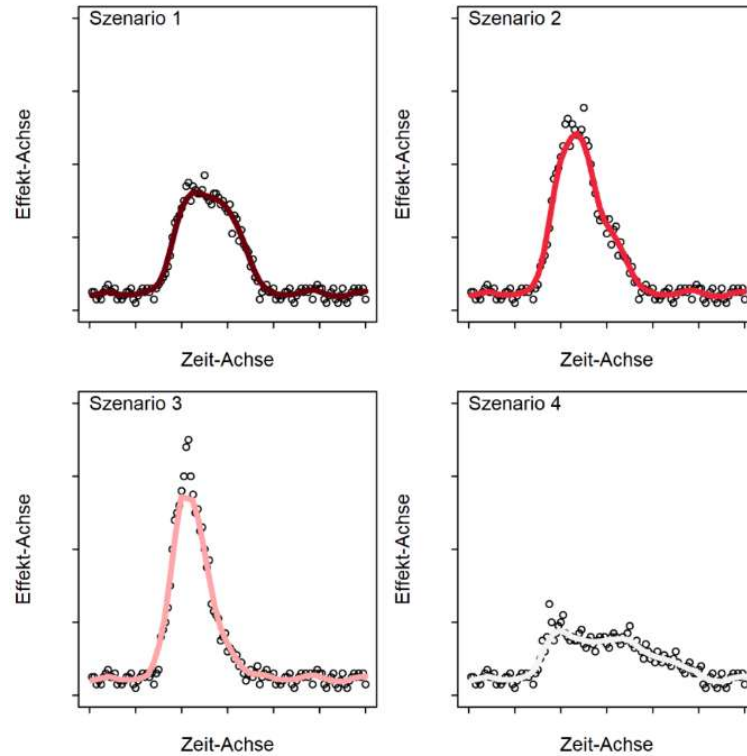
Grundlage: Schelker et al. (2013) & H  lie et al. (2012)

Stickstoffkreislauf



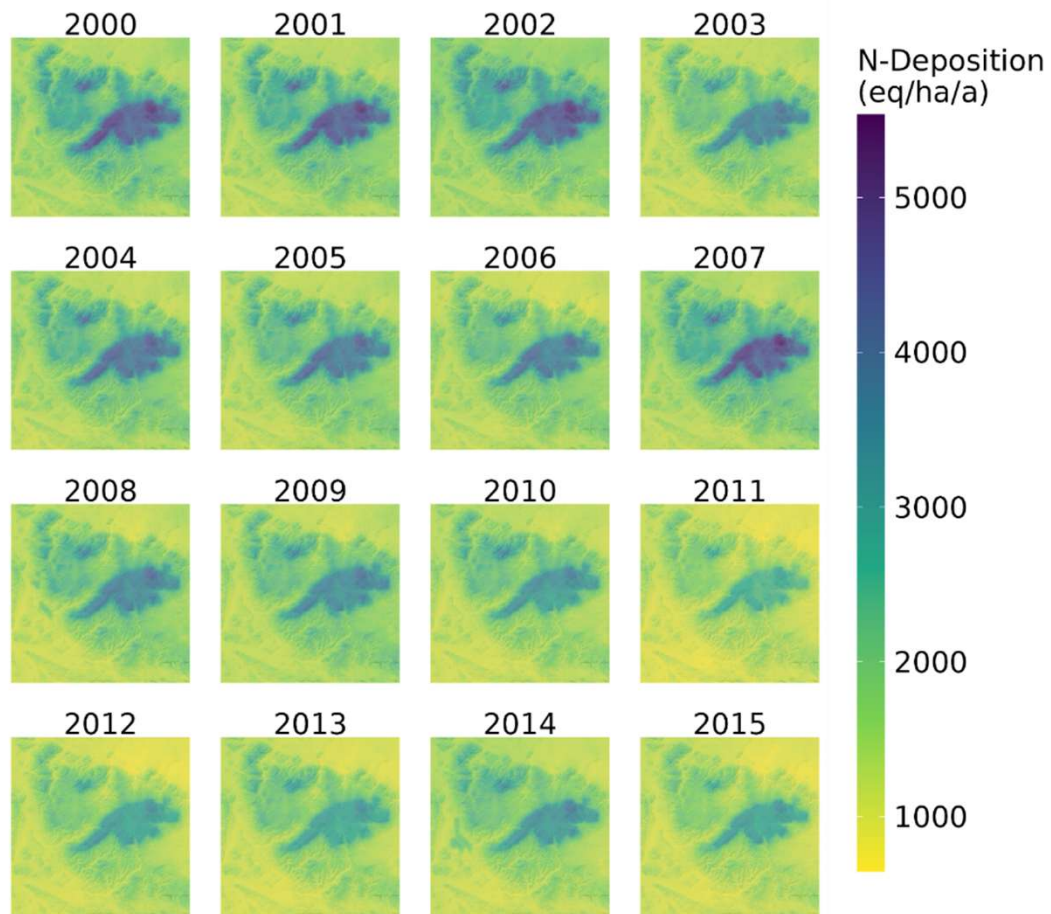
Grundlage: Schelker et al. (2013) & Hélie et al. (2012)

Fragestellungen



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

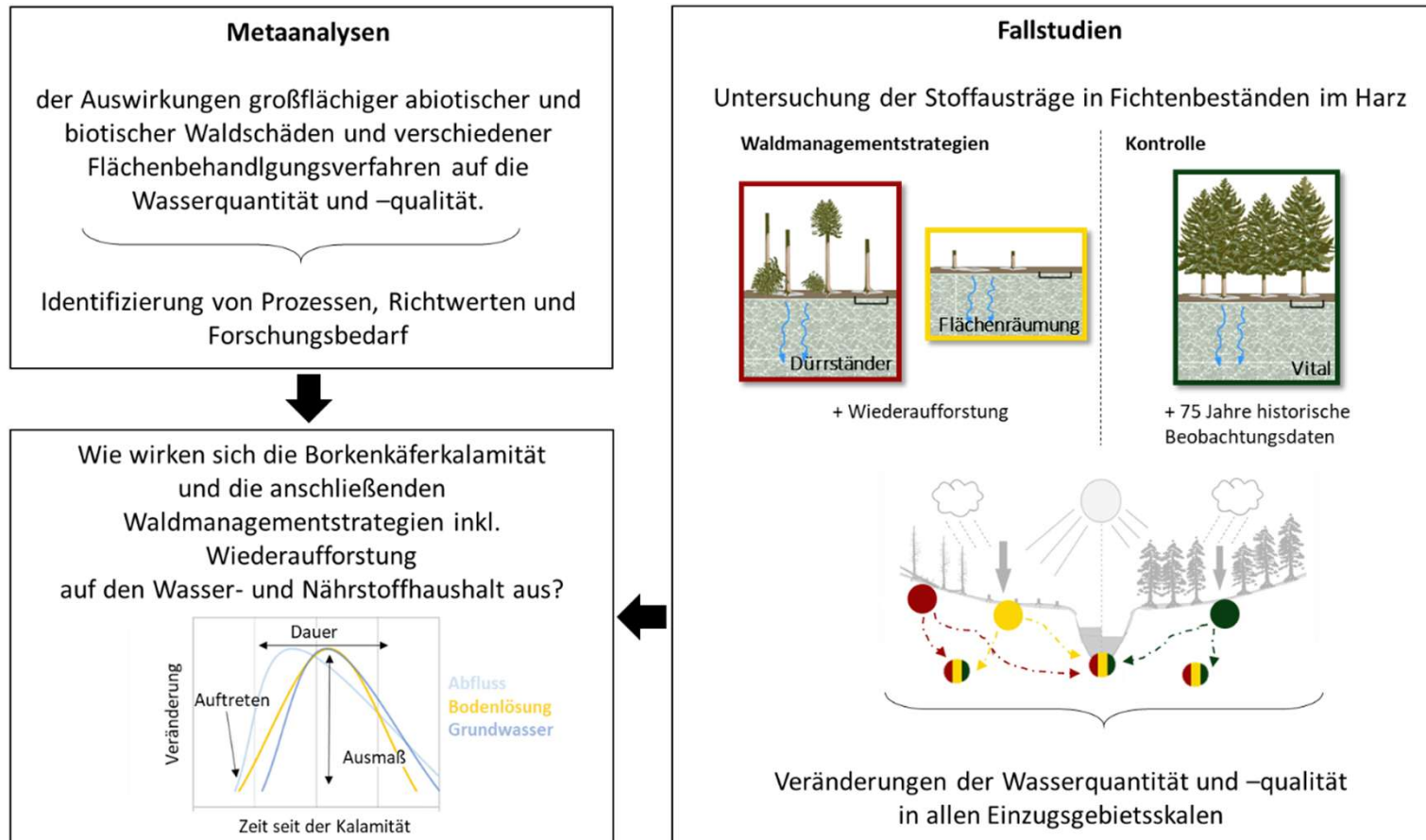
Fragestellungen- Veränderte Rahmenbedingungen



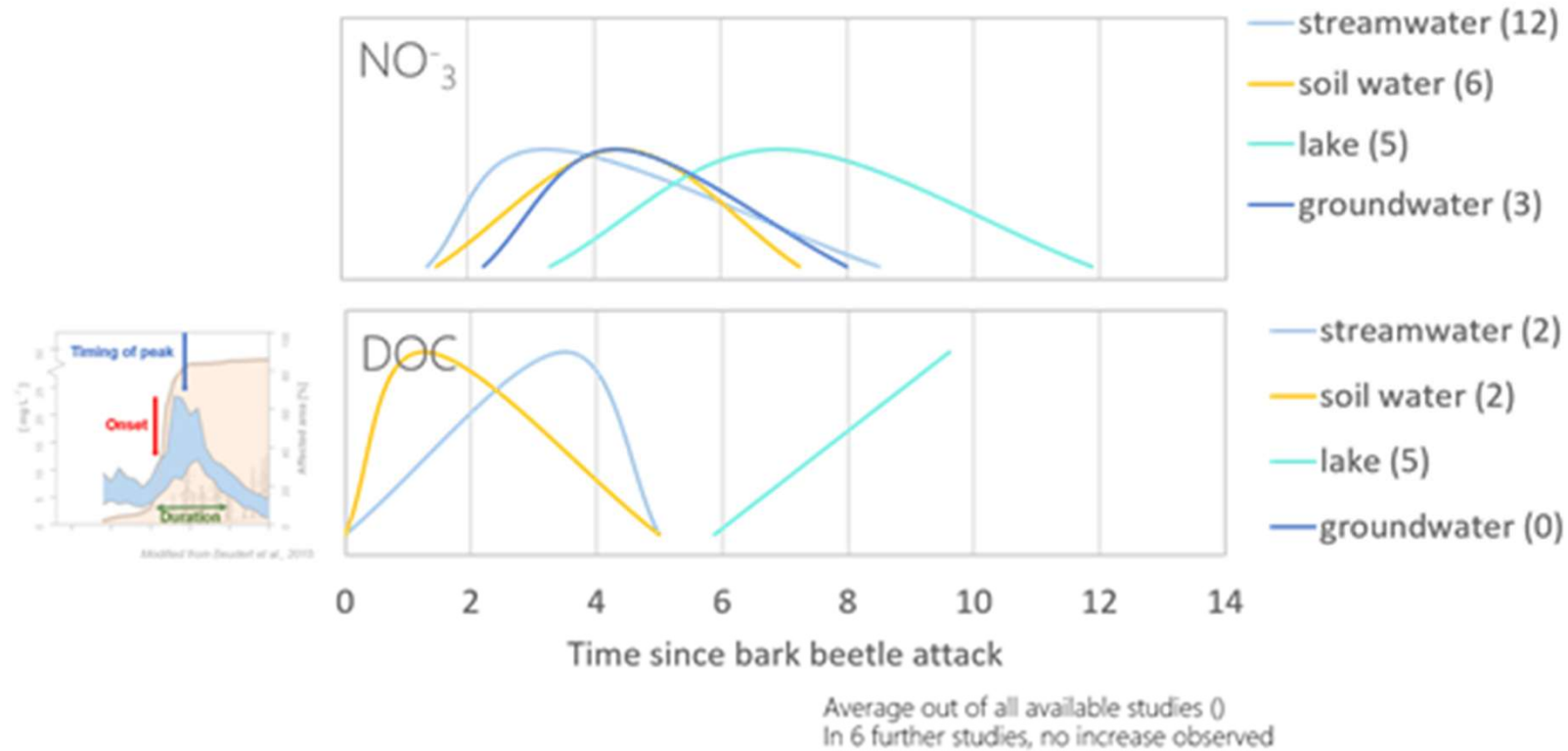
Gesamtstickstoffdeposition im Harz

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

Untersuchungsansatz - Gesamtkonzept



Metaanalyse

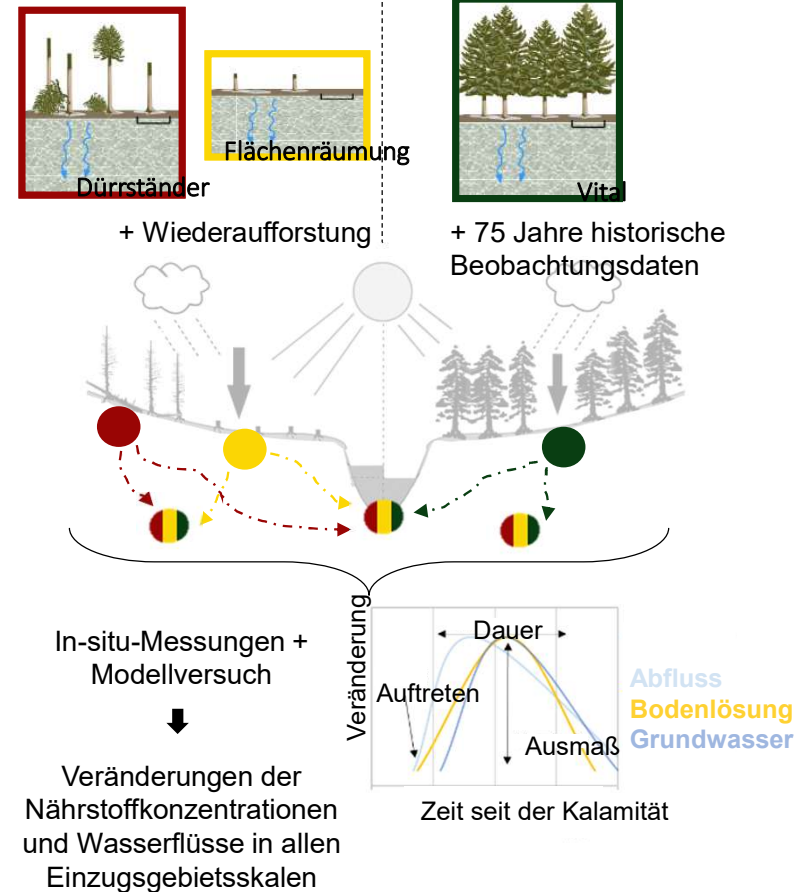


- wenig Studien über DOC
- Bodenlösung reagiert bei DOC schneller als beim Nitrat

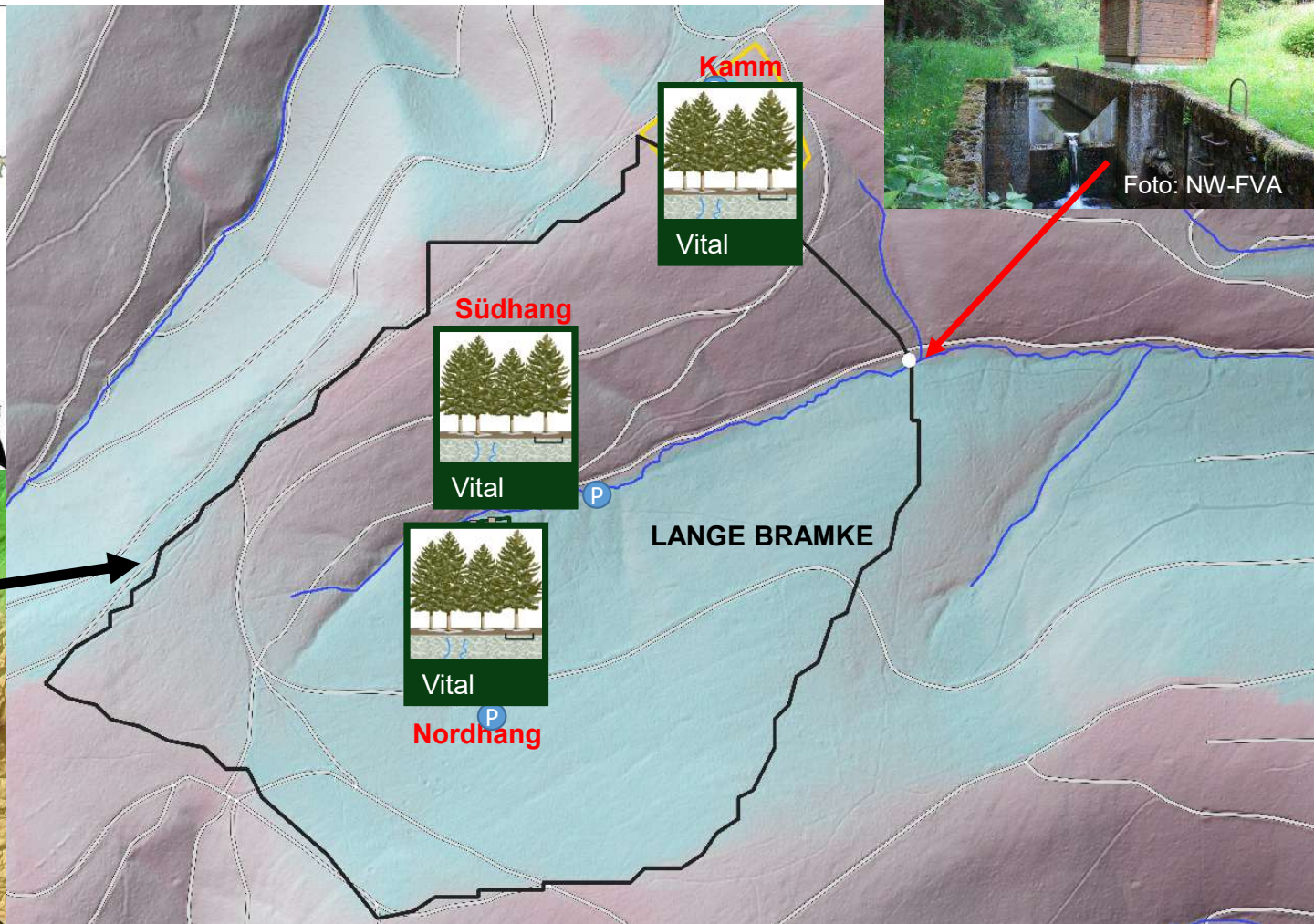
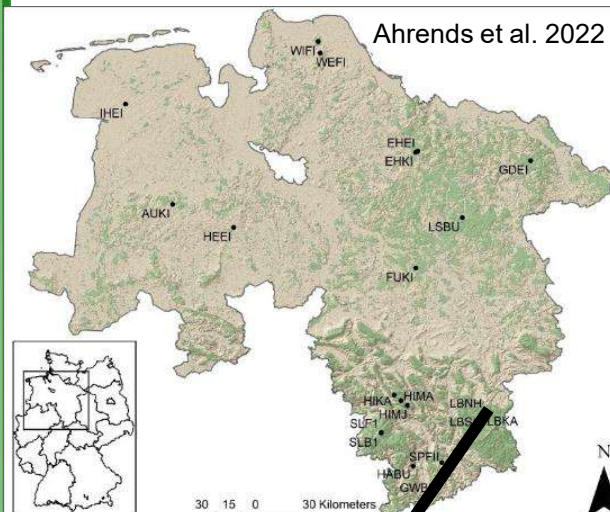
Fallstudien – Untersuchungen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen



Waldmanagementstrategien Kontrolle

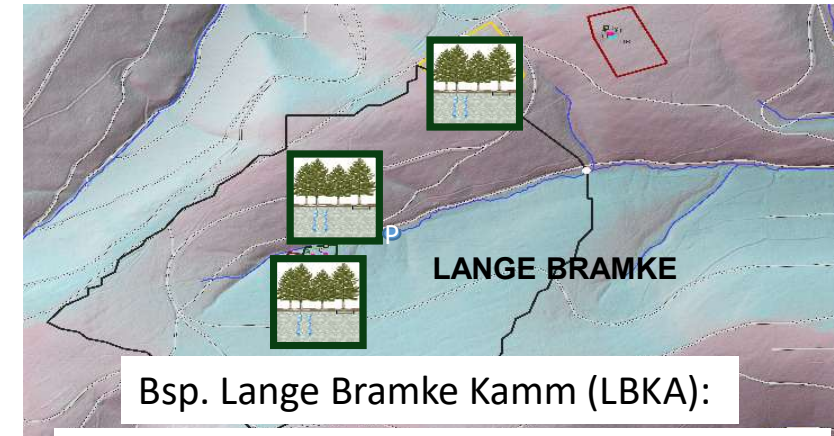


Fallstudien – In der Langen Bramke



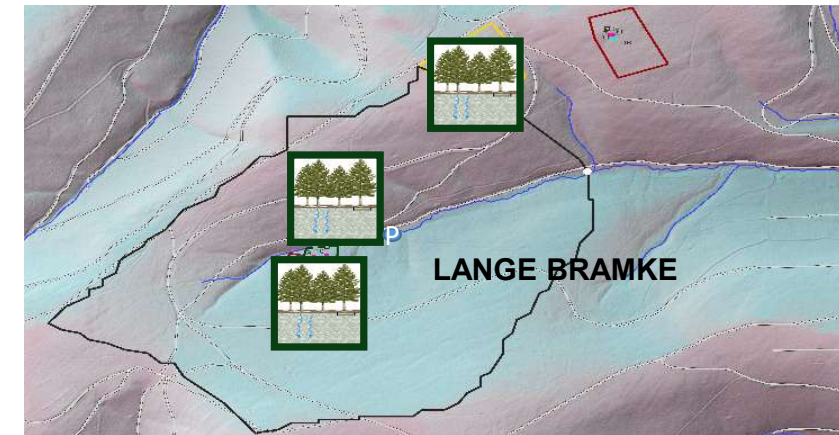
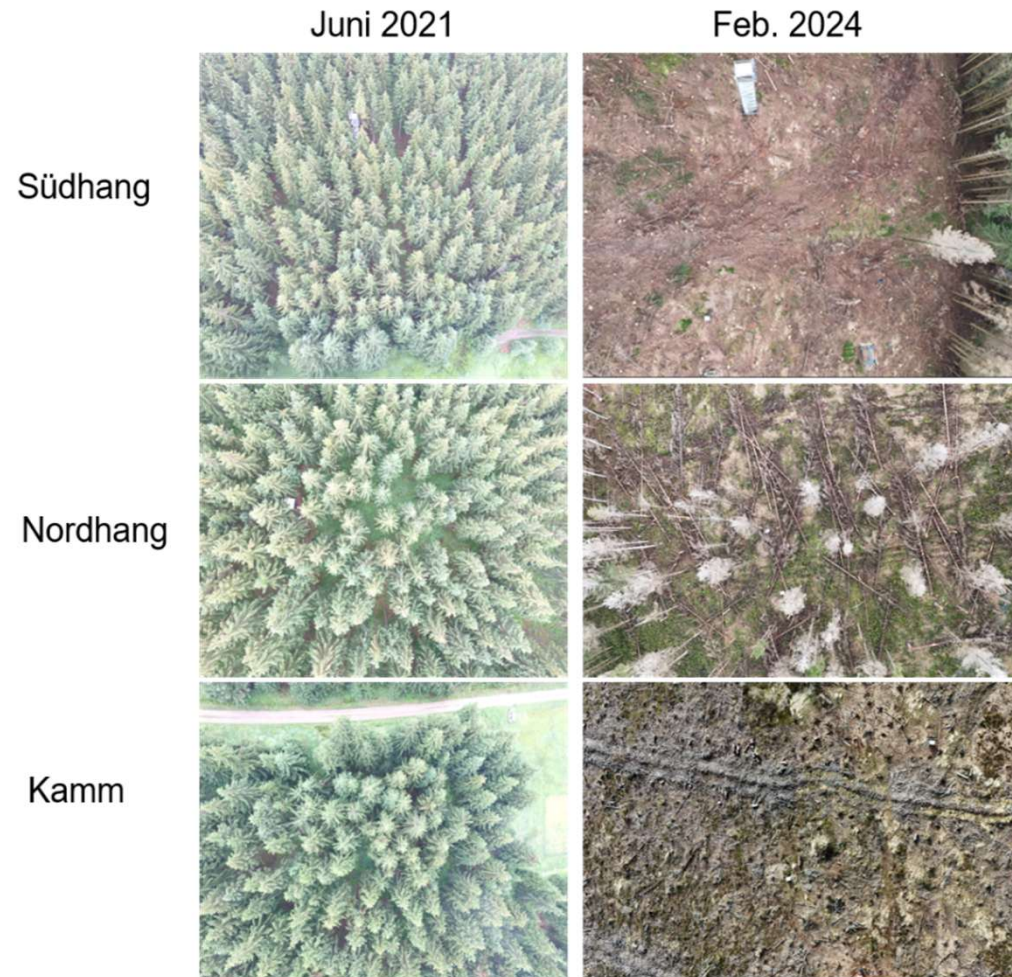
Fallstudien – Ausgangslage

- 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



Ertragsklasse (Hauptbaumart)	II.5
Höhe über NN	660
Wuchsgebiet	Harz
Wuchsbezirk	Montaner Mittel- und Oberharz
Substratgruppe	Quarzit
Bodentyp	Braunerde-Podsol
Humusform	feinhumusreicher Moder
Standortstyp	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

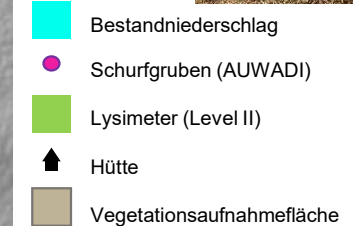
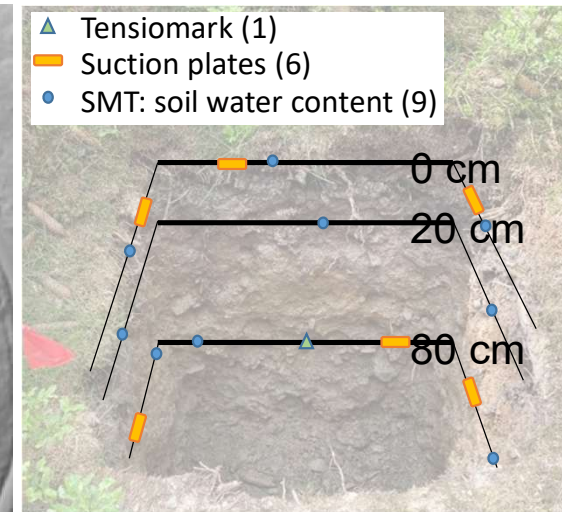
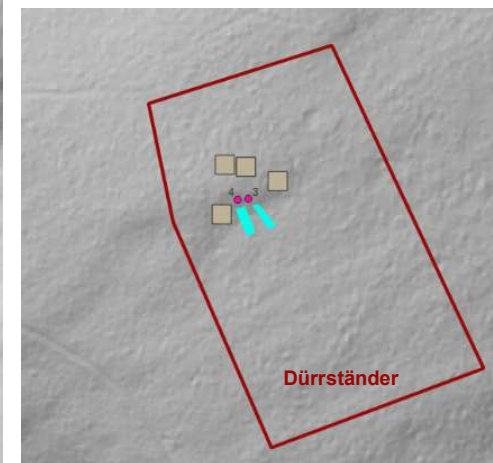
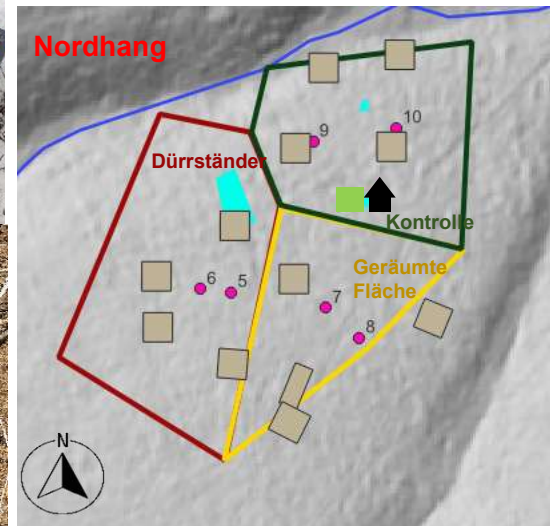
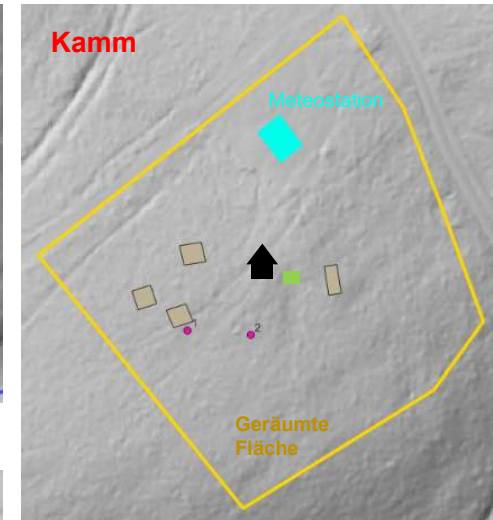
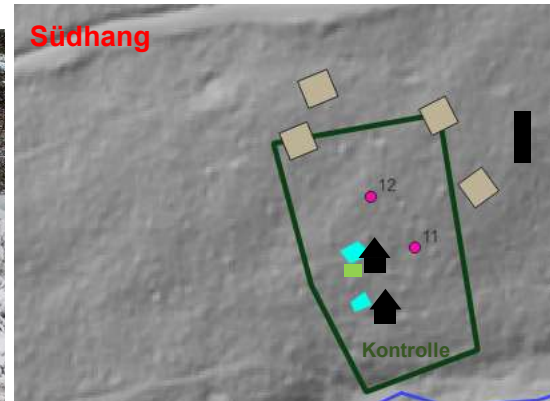


geräumte Fläche



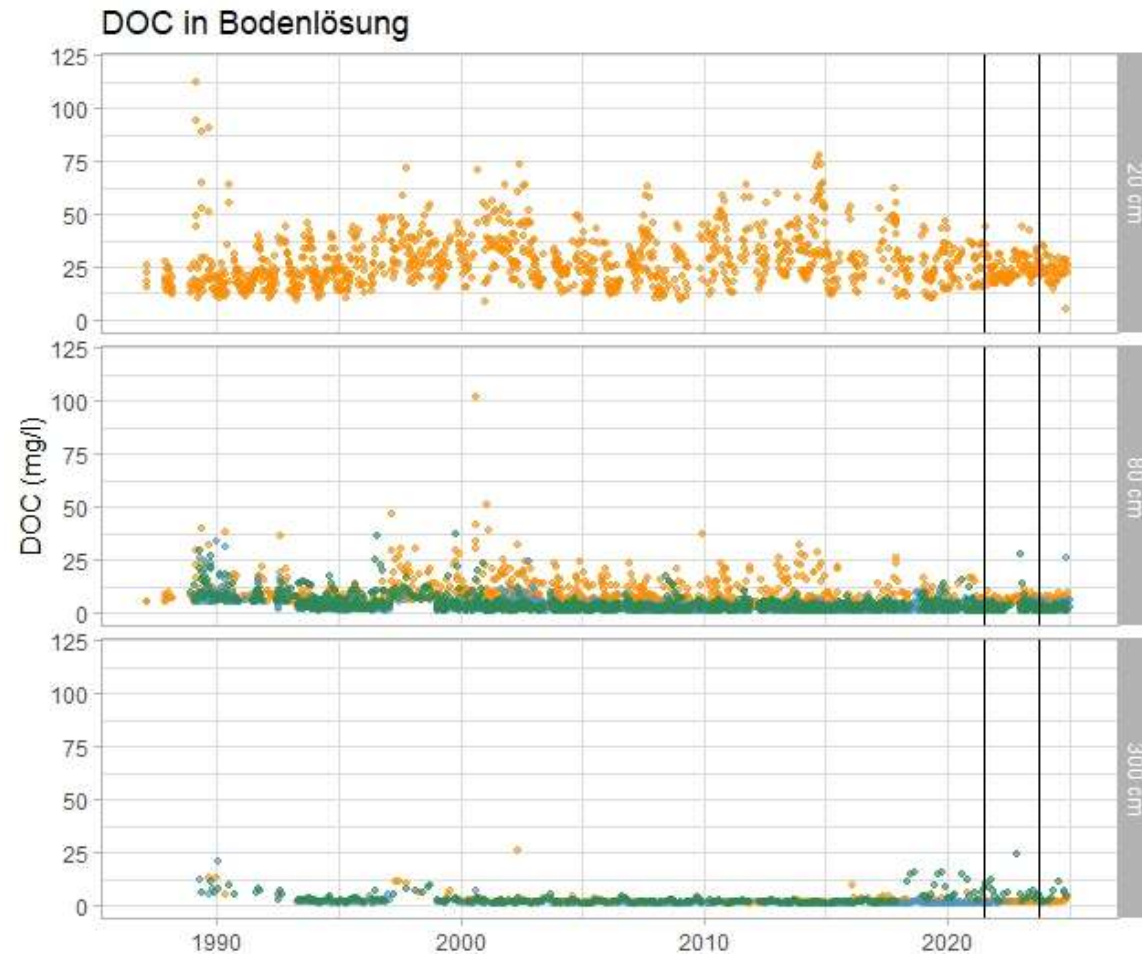
Fotos: NW-FVA

Fallstudien - – Zusätzliche Installationen



Fotos: NW-FVA

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung - DOC

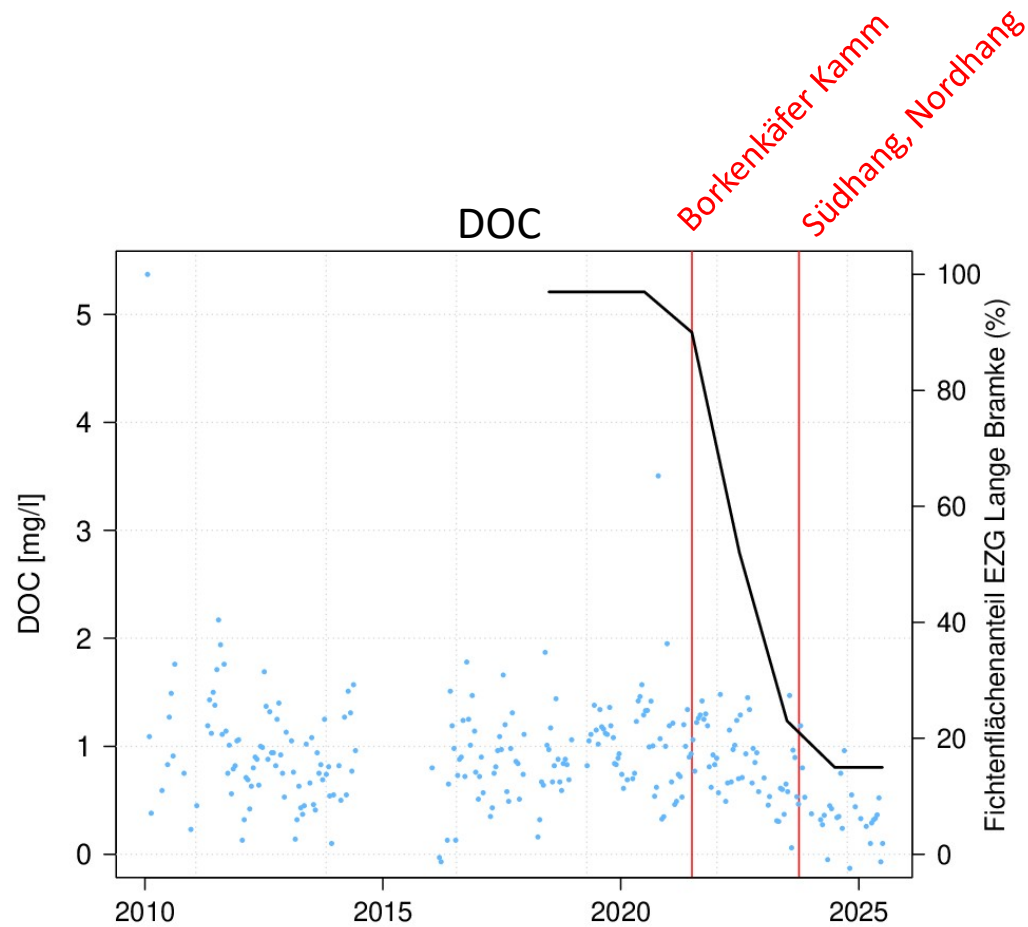


Standort

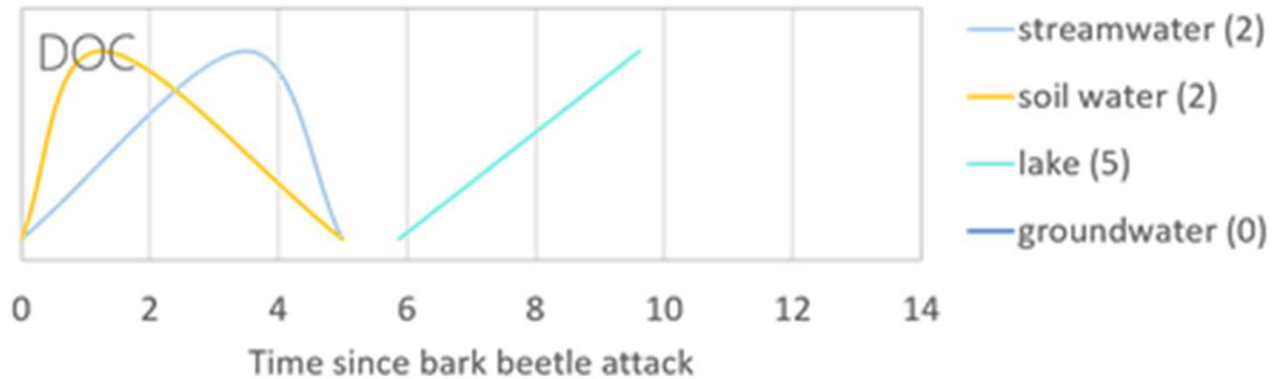
- Kamm
- Nordhang
- Südhang

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

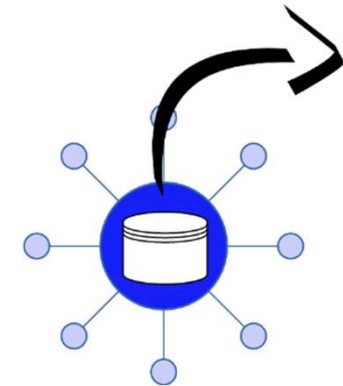


Zwischenfazit - DOC



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

Metaanalyse

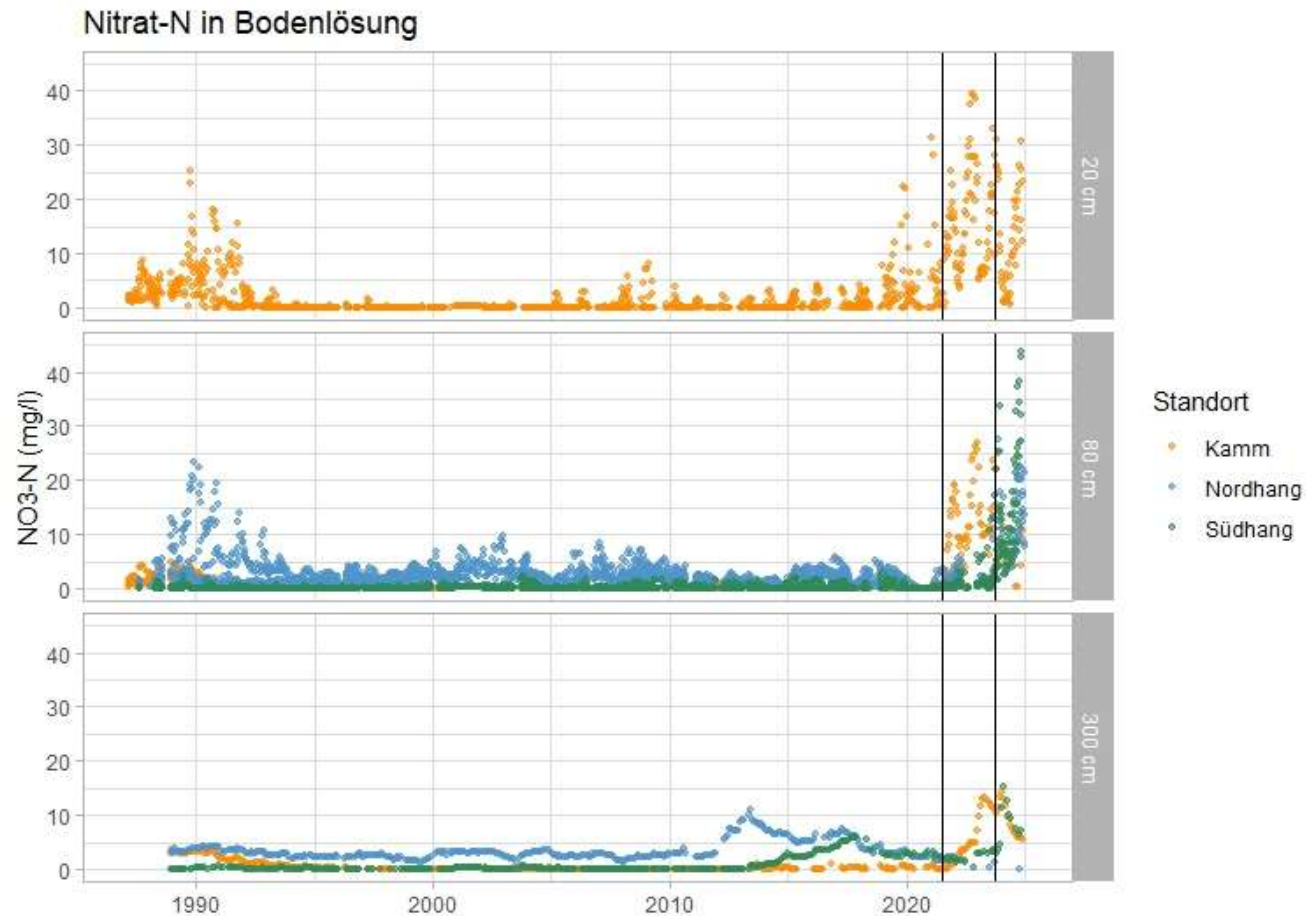


Fallstudie



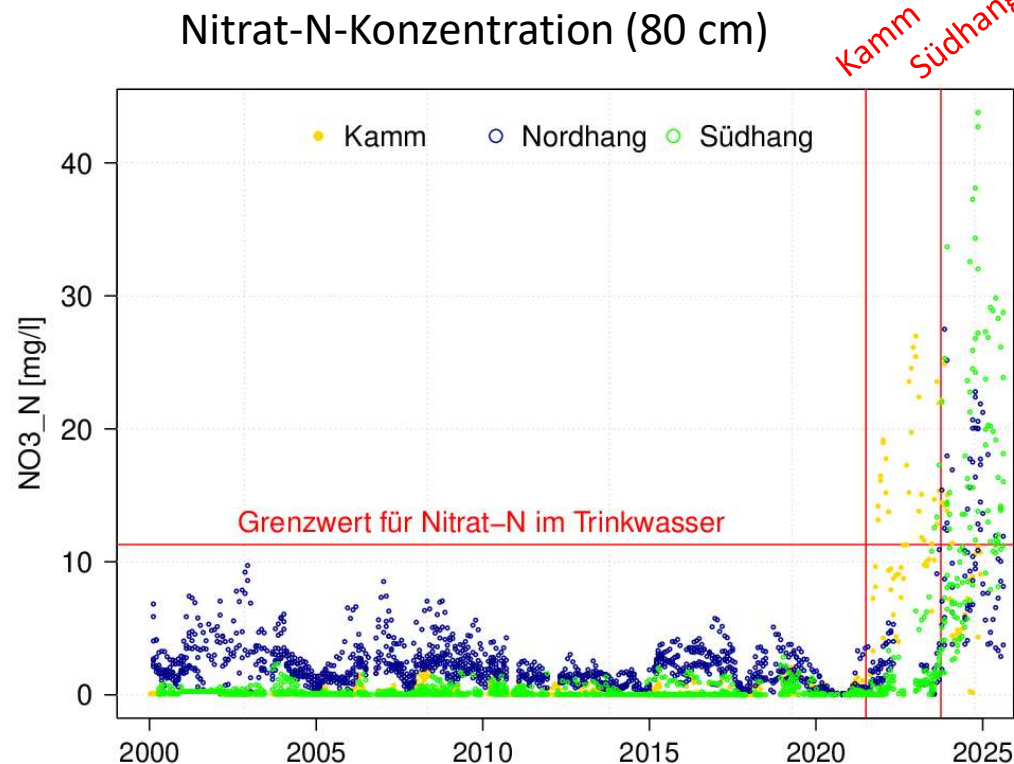
Foto: NW-FVA

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung - Nitrat



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

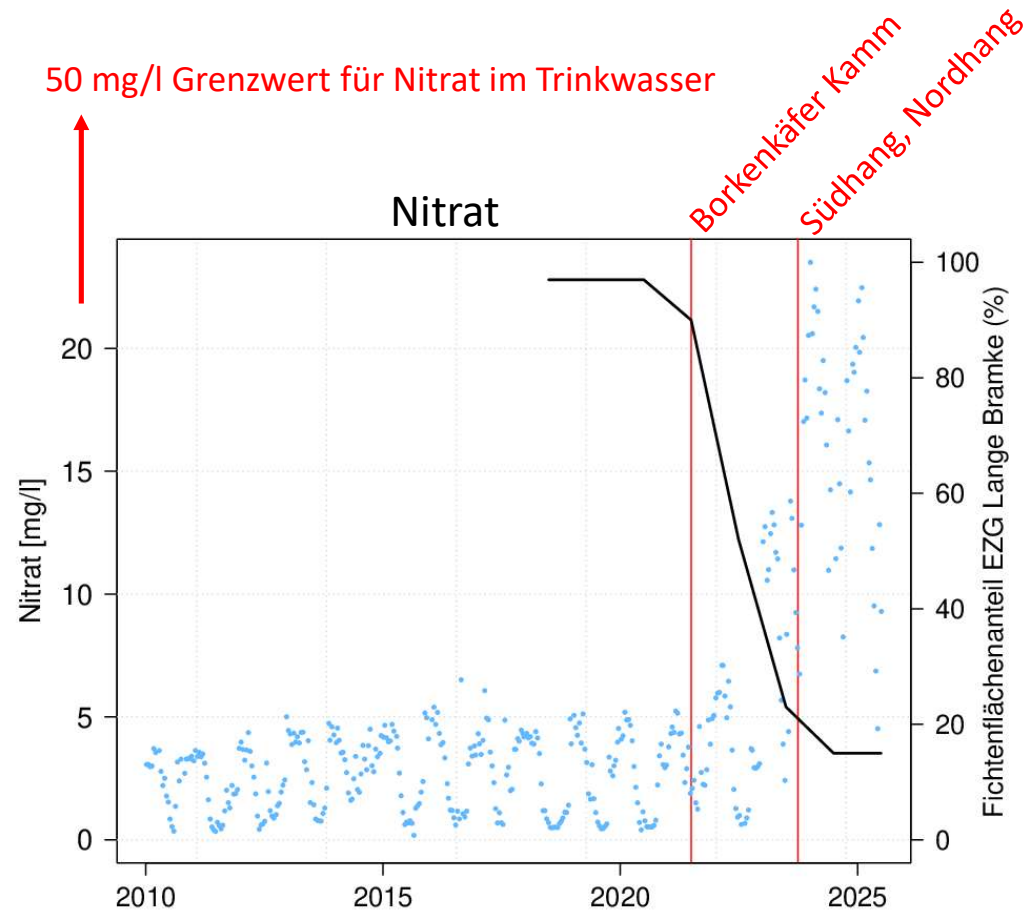
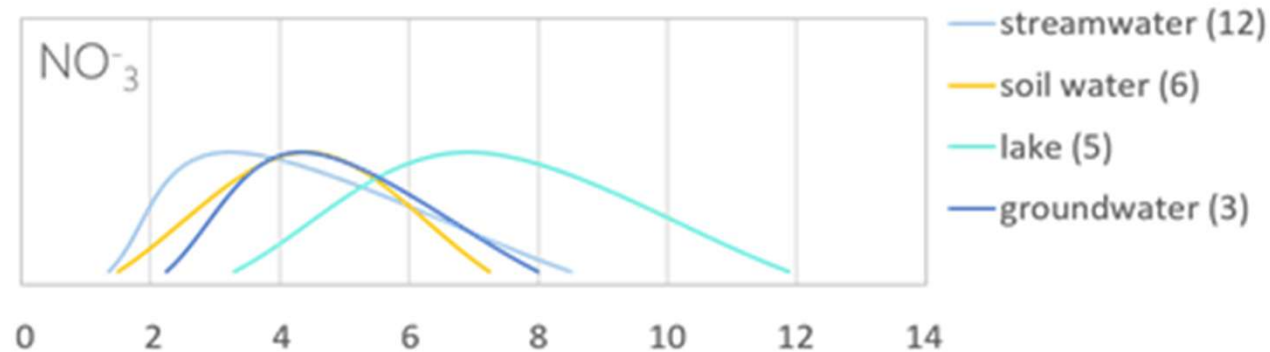


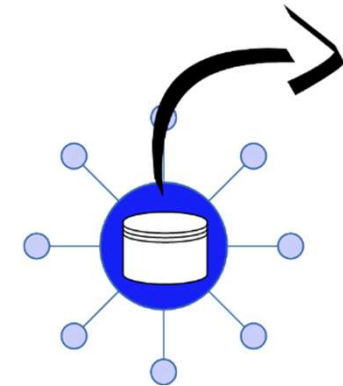
Foto: NW-FVA

Zwischenfazit - Nitrat



- 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.

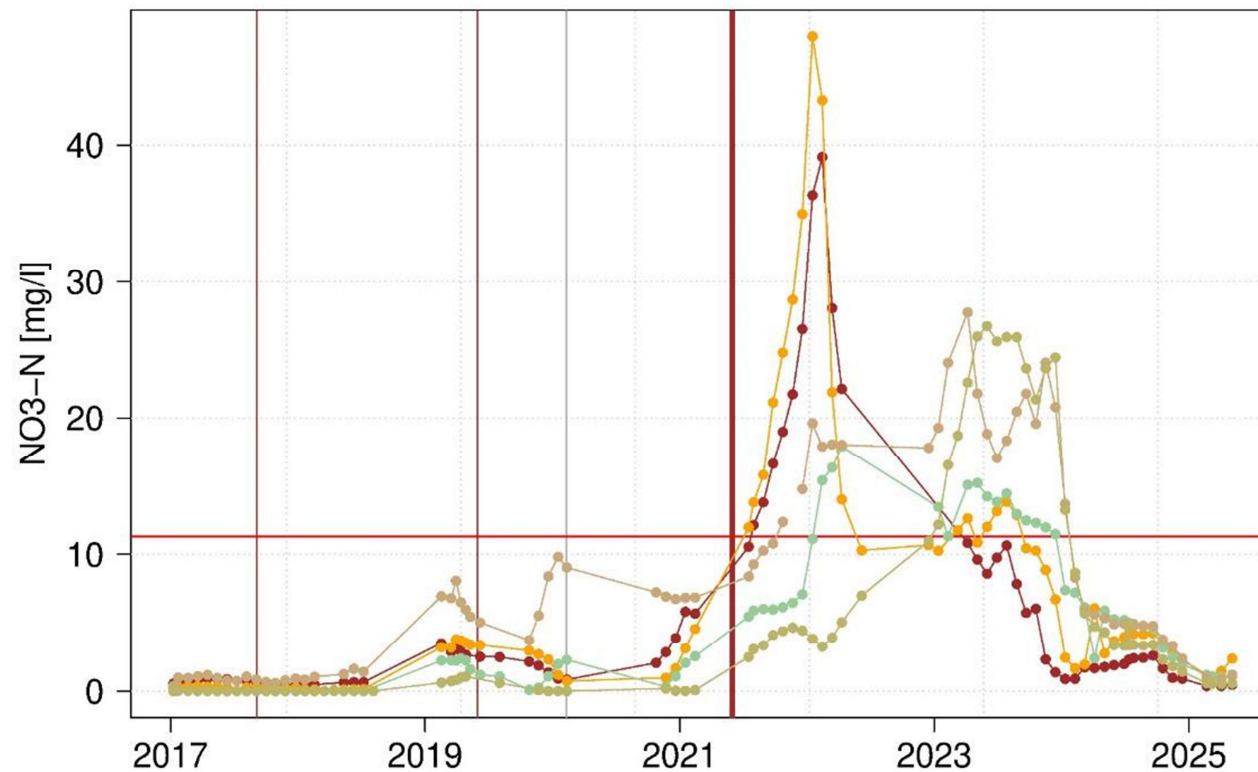
Metaanalyse



Fallstudie



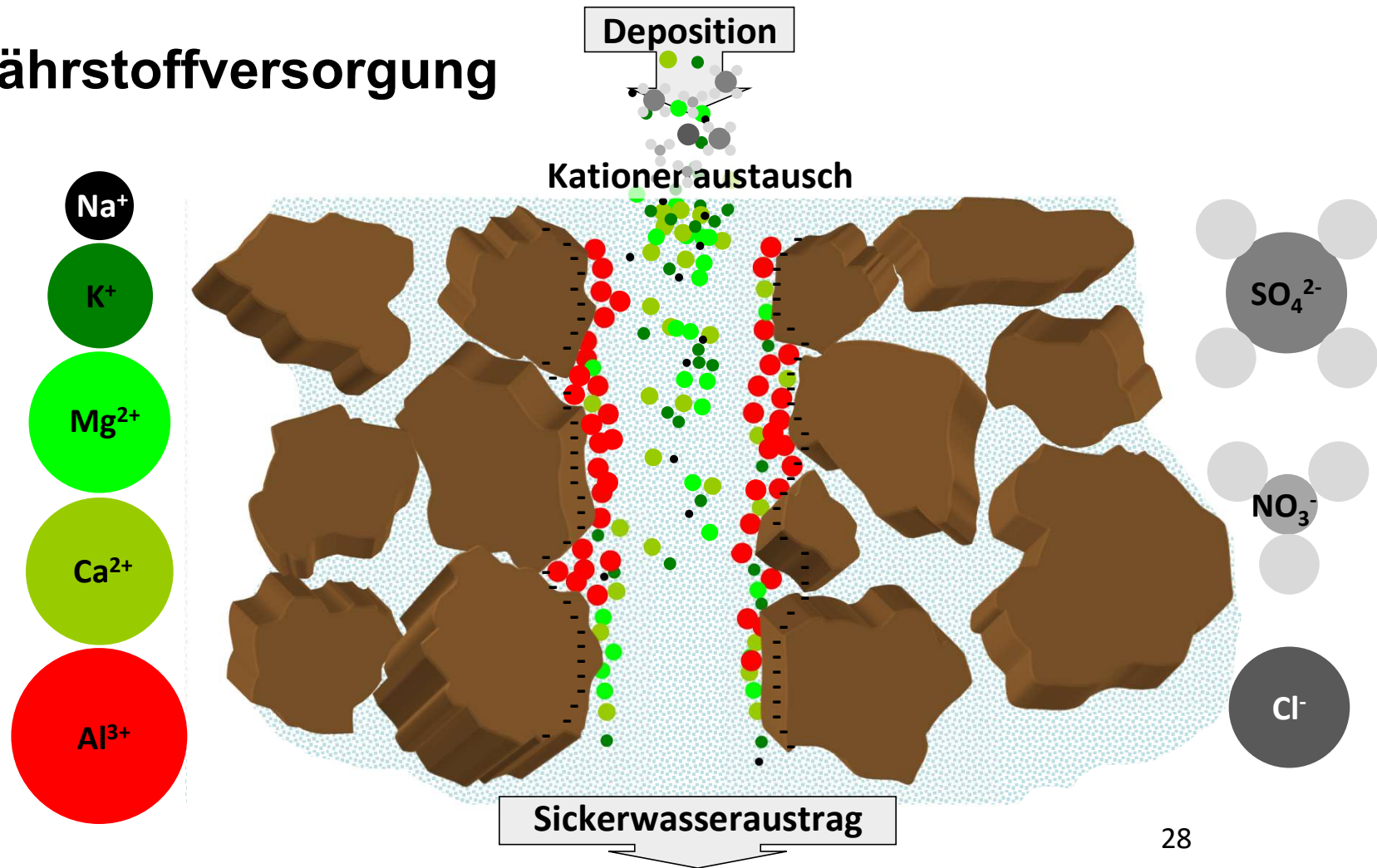
Übertragbarkeit der Ergebnisse – Bsp. Königstein



Zwischenfazit Nitrat

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

Nährstoffversorgung

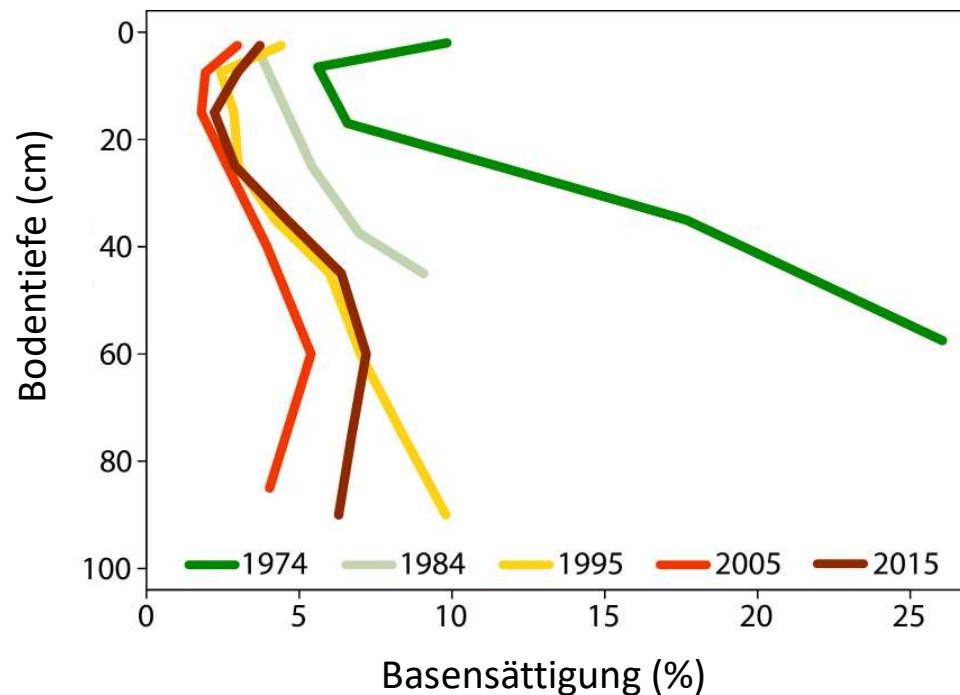


Transport starker Anionen gemeinsam mit Kationen

Weis et al. (2018)

Nährstoffausstattung der Standorte

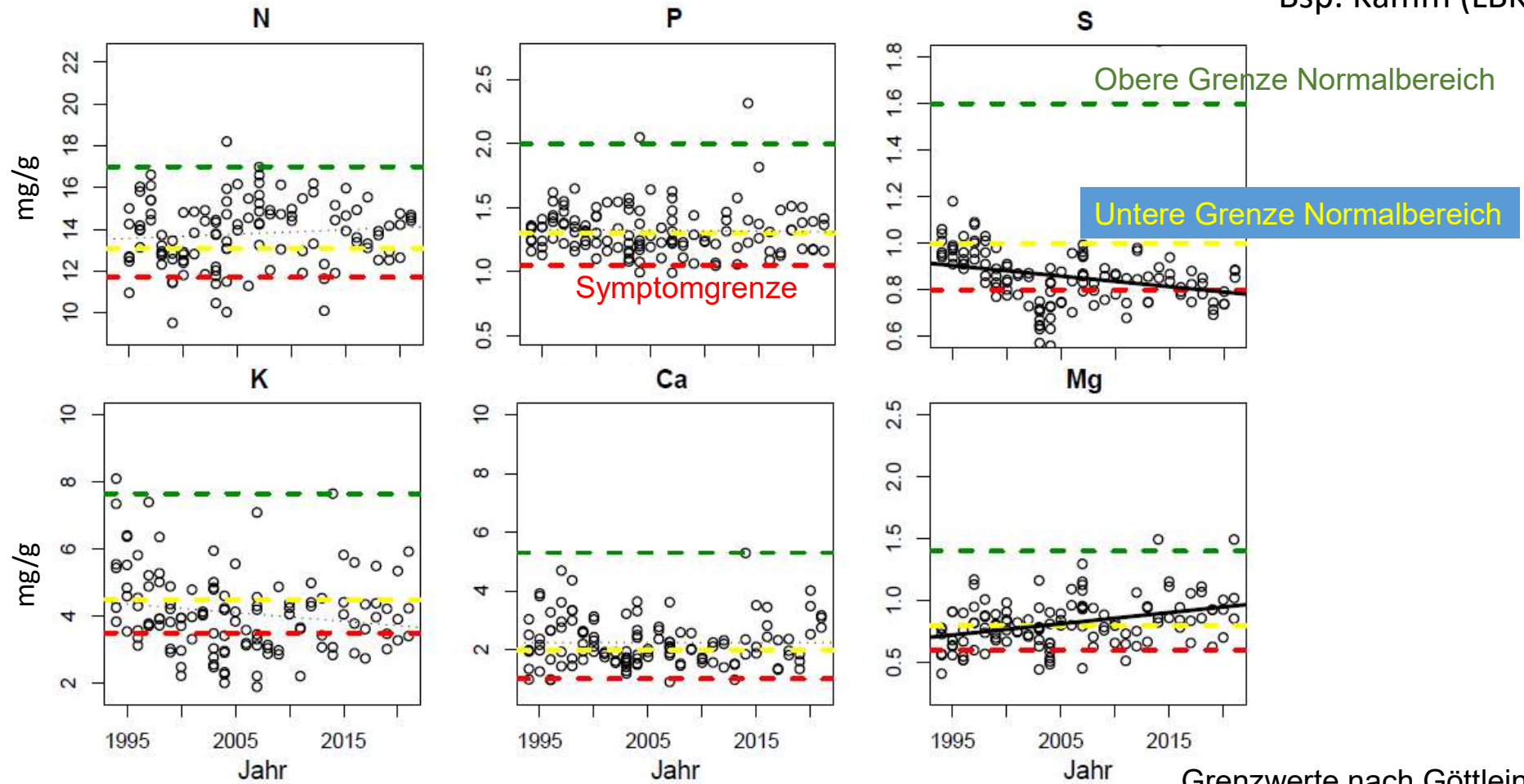
Bsp. Lange Bramke Nordhang (LBNH):



- **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)**

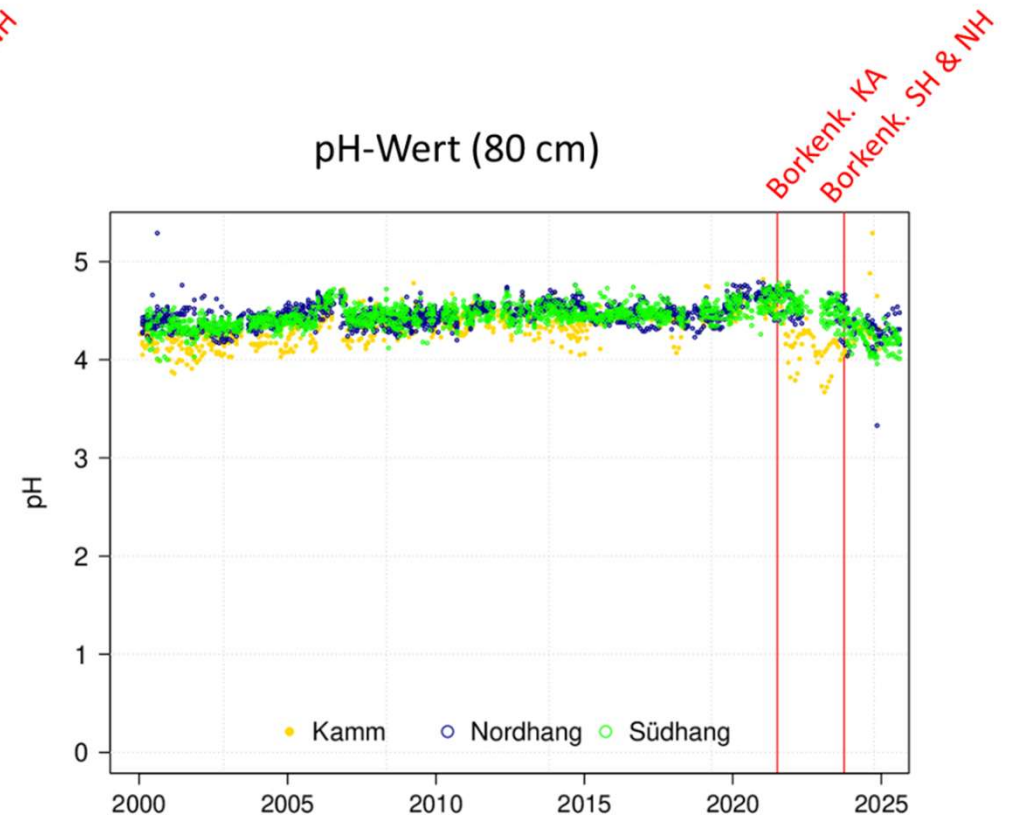
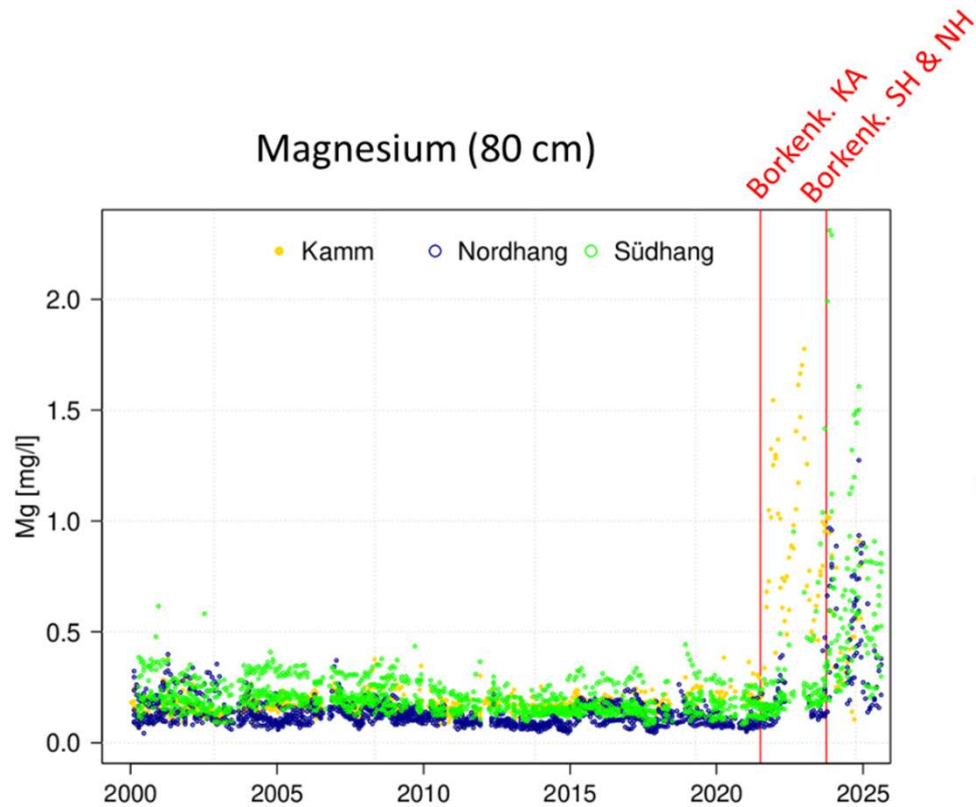
Waldernährungszustand der Fichte bis 2021

Bsp. Kamm (LBKA)

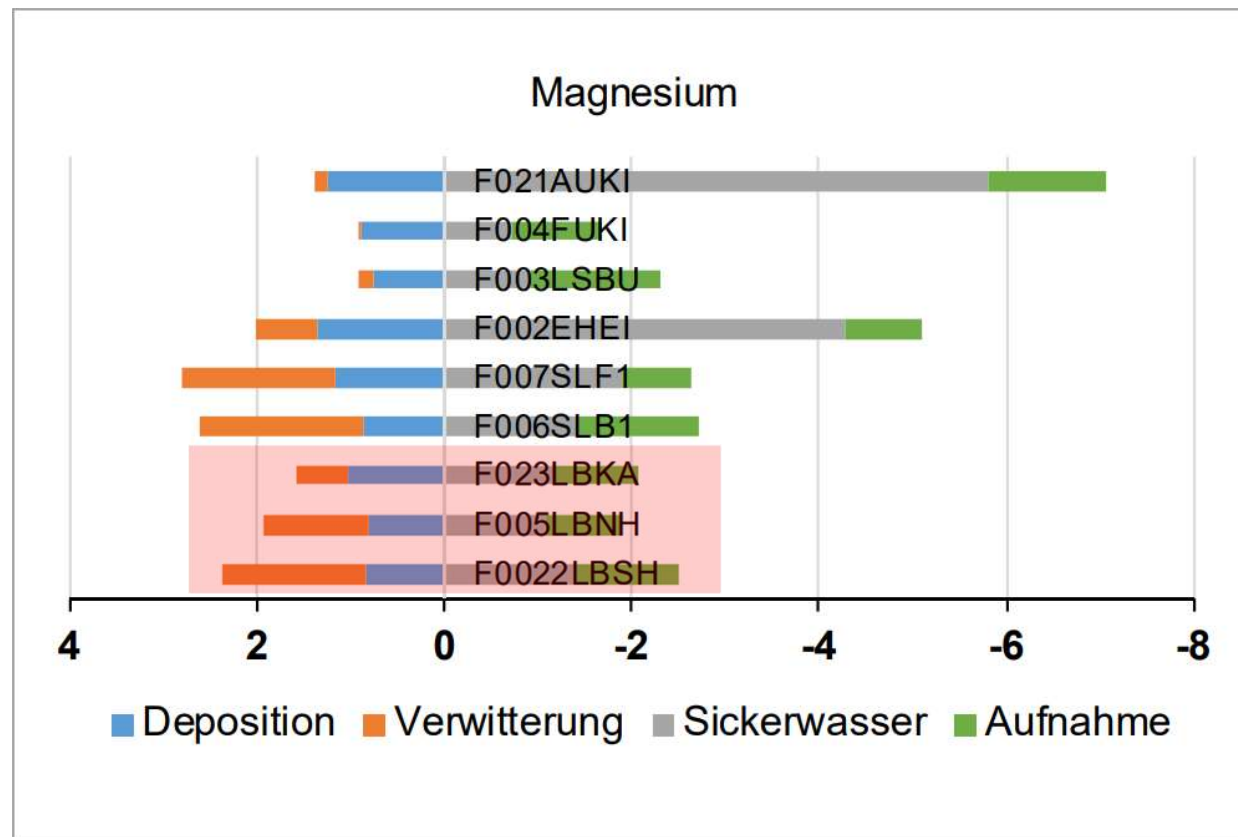


Grenzwerte nach Göttlein (2015)

Reaktionen auf Borkenkäferkalamität – Bodenlösung – Magnesium und pH-Wert



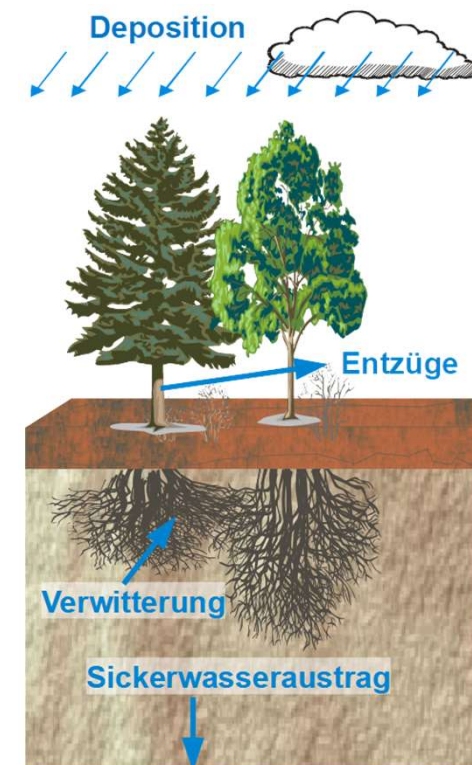
Stoffbilanz vor der Kalamität – Beispiel Magnesium



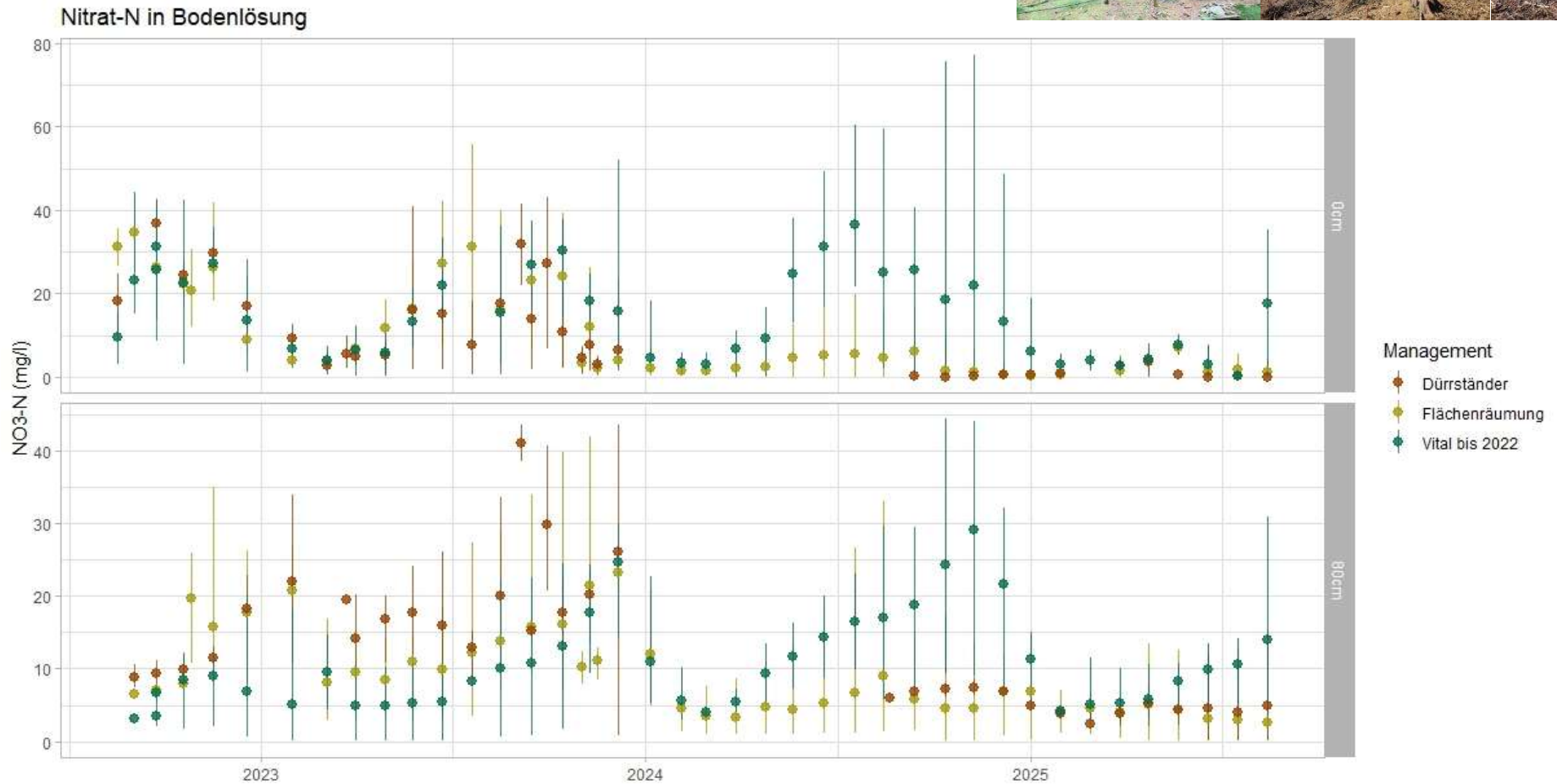
Ahrends et al. (2021)

Zwischenfazit - Nährstoffbilanz

- Eine standörtlich nachhaltige Nährstoffversorgung setzt ein Gleichgewicht zwischen Nährstoffverlusten und Nachlieferung voraus.
- Durch die gestiegenen Nitratausträge 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“)



Foto: NW-FVA

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

Weiterentwicklung der Flächen – Südhang („vital“)



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

Nov. 2023: Flächenräumung nach Käfer

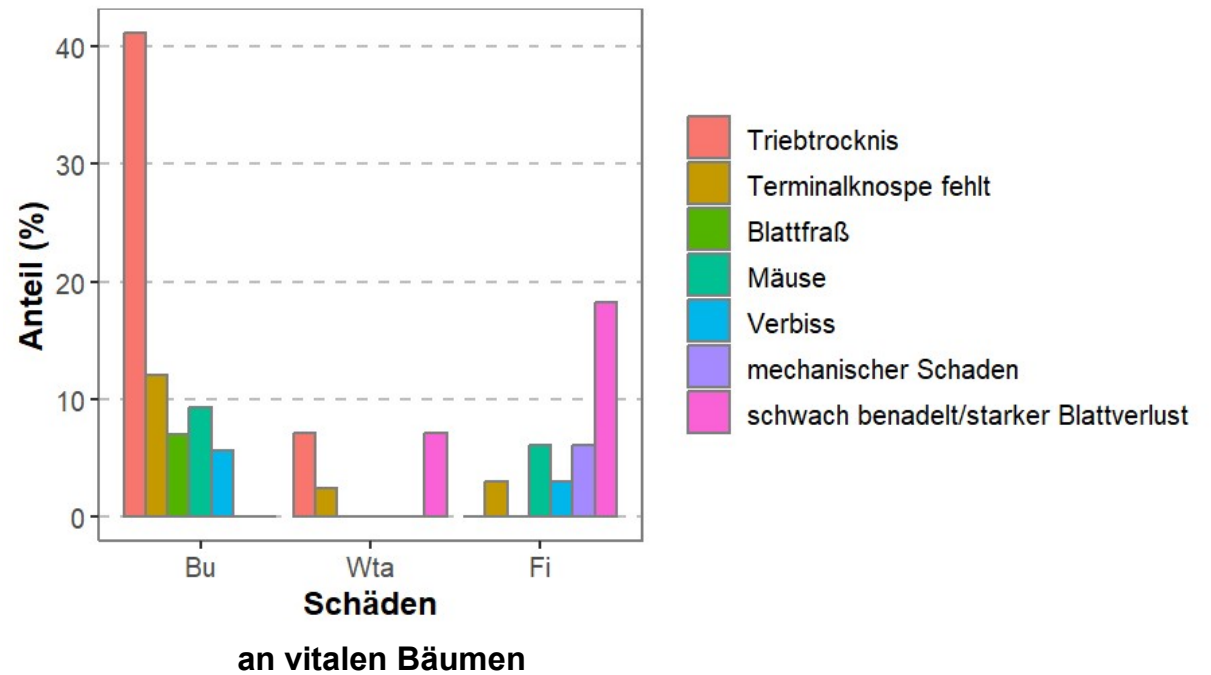
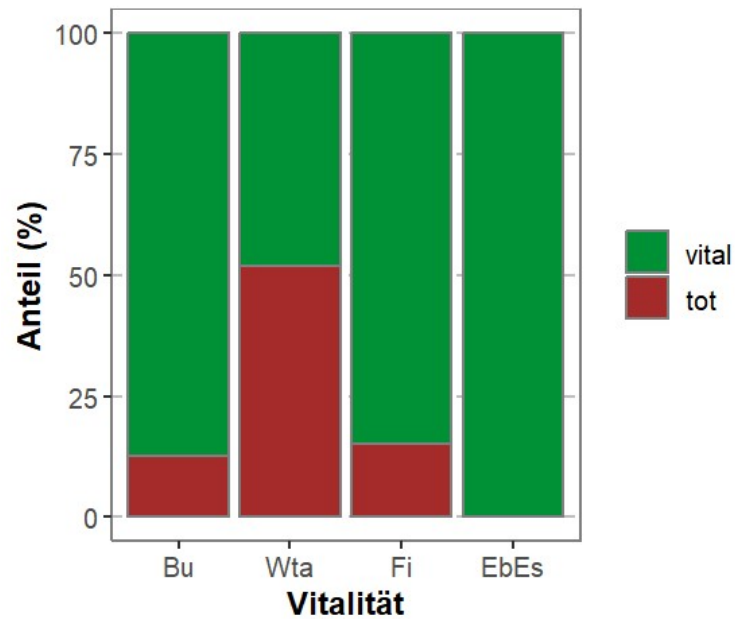
April 2024: Nachbesserung (1375 Stück)
Tanne nach nahezu Komplettausfall
Tanne

Mai 2024: Bekämpfung Rüsselkäfer

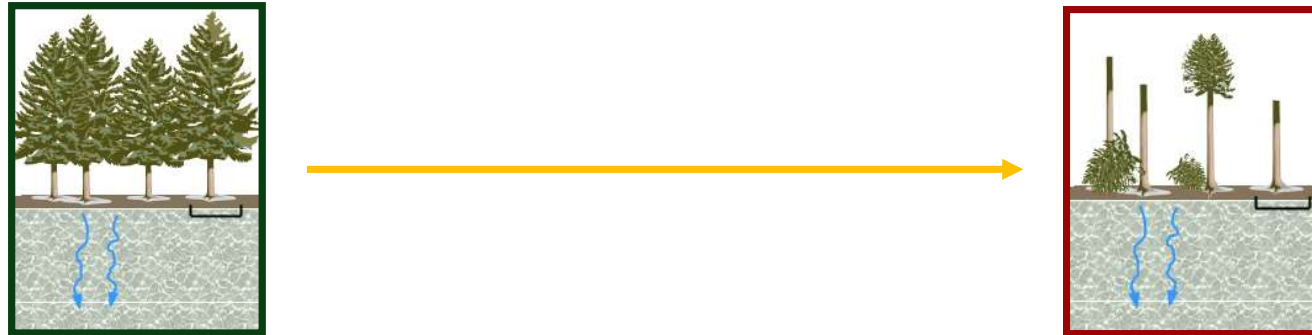
Juni 2025: Aufnahme der Pflanzung

August 2025: Foto

Weiterentwicklung der Flächen – Südhang („vital“)

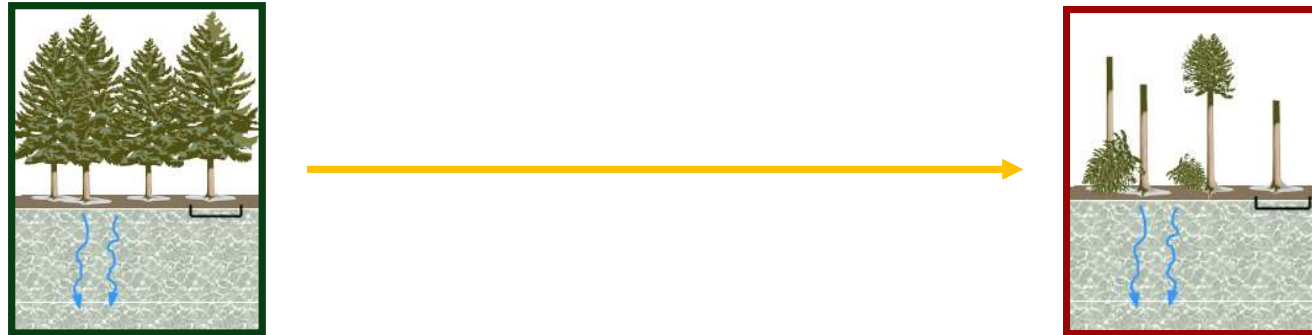


Zusammenfassung



- Nach der Borkenkäferkalamität nahmen die NO_3^- -, 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 deutlicher Anstieg der NO_3^- -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 Borkenkäferkatastrophe in einer Größenordnung, die für die Nährstoffversorgung der nachfolgenden Waldgeneration nachteilig sein könnte.

Ausblick

AUWADI



Foto: Simon Drollinger

Ausblick

AUWADI

SURVEY

OPTALS

FoResLab

WASWADI



Fotos: Simon Drollinger

**Danke
Stadt.Land.Zukunft**



Juni 2021



Mai 2022



Okt. 2022



Sept. 2023

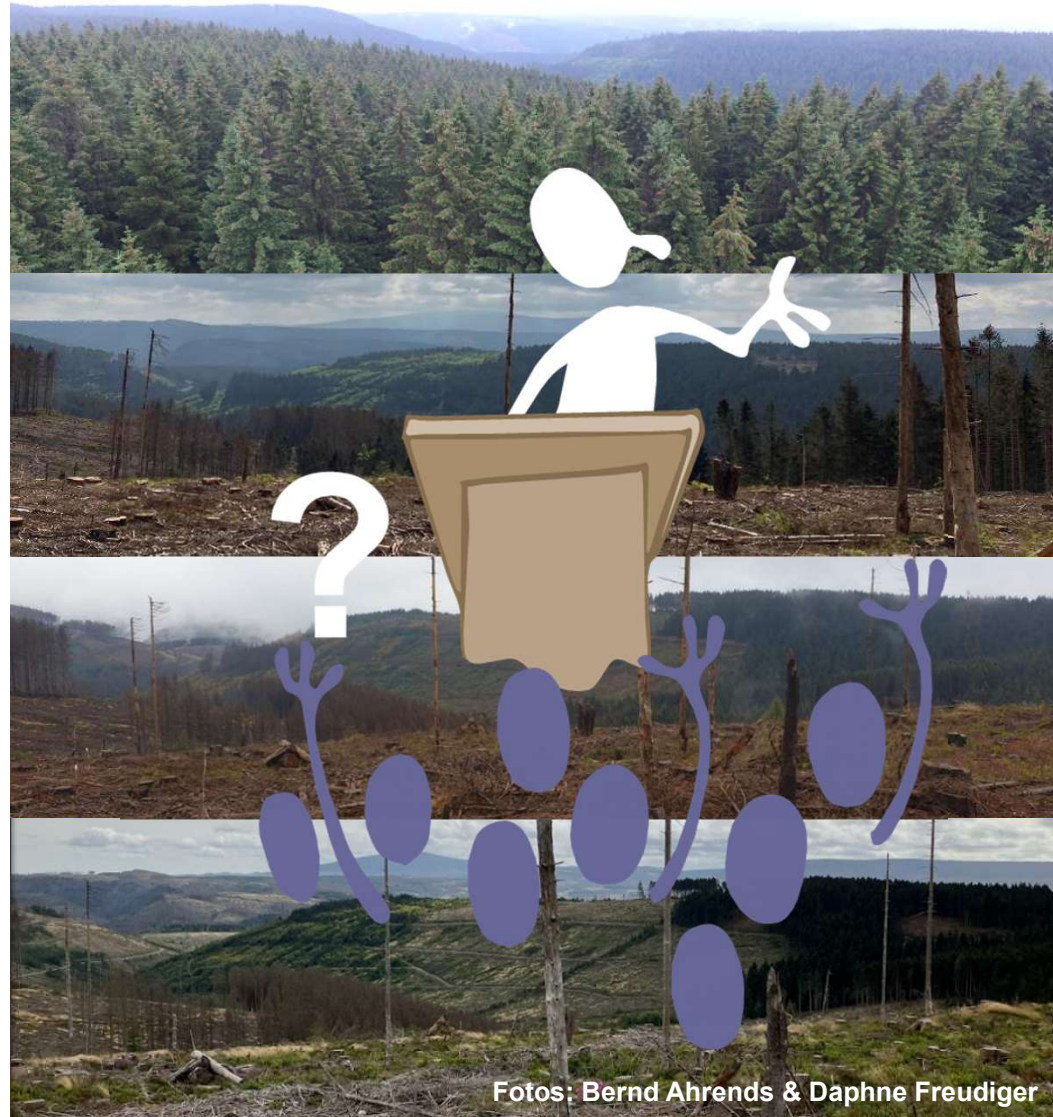
Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Fotos: Bernd Ahrends & Daphne Freudiger

Fragen?



Foto: Bernd Ahrends



Fotos: Bernd Ahrends & Daphne Freudiger

Juni 2021

Mai 2022

Okt. 2022

Sept. 2023