

Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf Abfluss, Hydrologie, Erosionsvorbeugung

Gerhard Markart, Bernhard Kohl, Maximilian Behringer, Veronika Lechner, Christian Scheidl, Leon Schleich, Clemens Geitner

Wald im Wandel

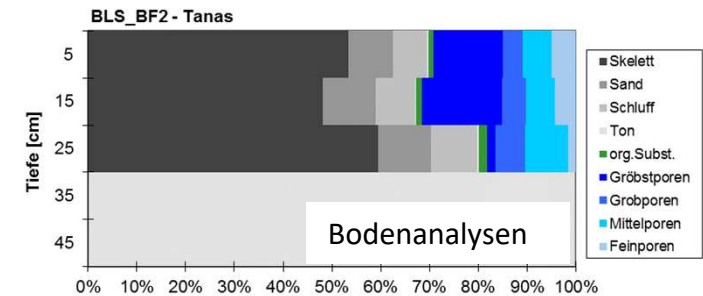
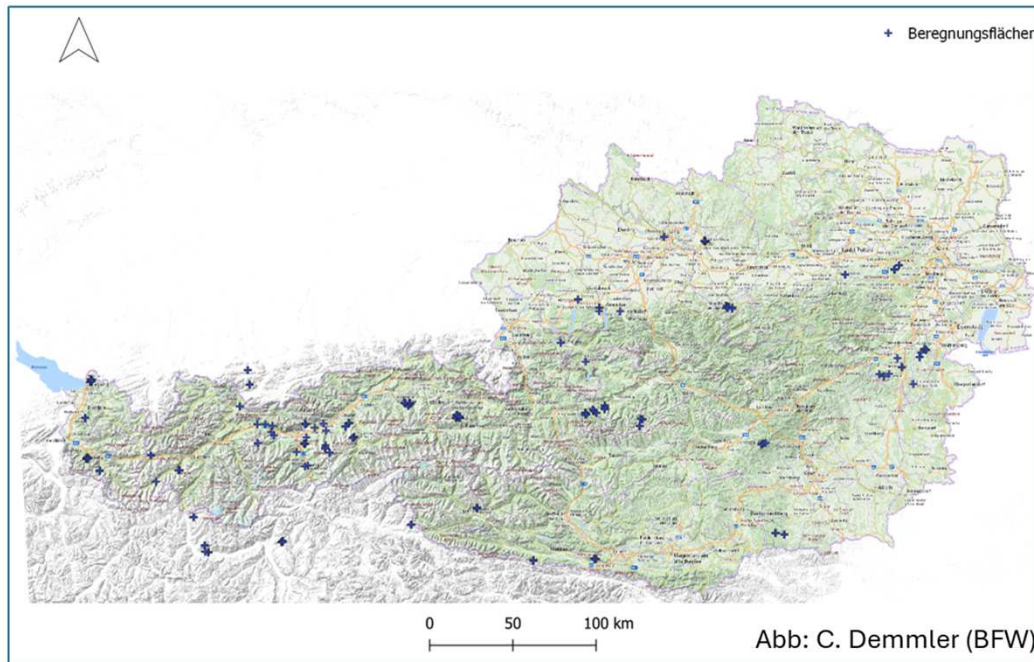
Schlanders
21. Mai 2021

Inhalt

1. Datengrundlagen
2. Wasserumsatz im Bestand
3. Oberflächenabfluss bei Starkregen
4. Landbedeckung / Bewirtschaftung - Bodenfeuchte
5. Holzernte
6. Forststraßen, Retentionsmaßnahmen im Wald
7. Erosion, Rutschungen, Störungen
8. Sekundäre Waldnutzungen (Streurechen, Weide)
9. FAZIT - Der (Wildbach)hydrologisch „ideale“ Bestand

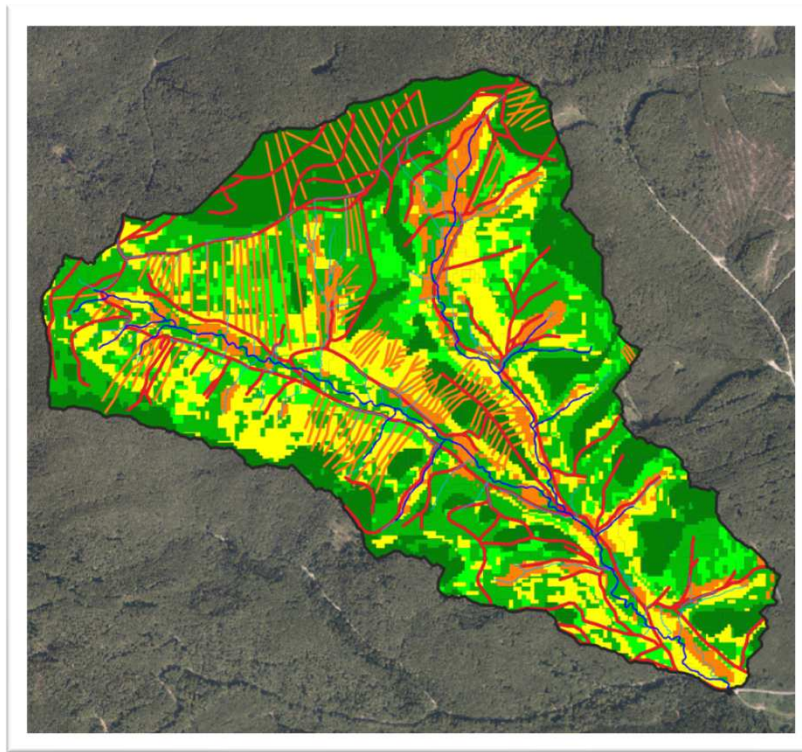
Datengrundlagen

1) >> 450 Beregnungen – mit begleitenden Untersuchungen (Bodenfeuchtemessungen, Bodenphysikalische Kennwert, Bewirtschaftung)



2) Einzugsgebietsstudien, Projektkooperationen

Erhebungen in >> 50 Gebieten / Regionen in den Ostalpen (z.B. Abflussbeiwertkartierung)



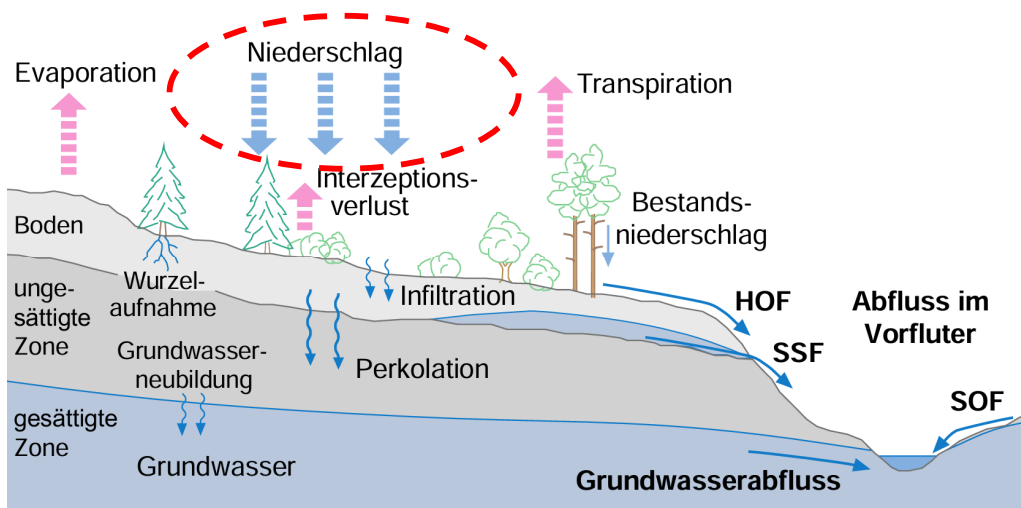
AKL = Abflussbeiwertklasse,
gerade orange Linien: aus dem Luftbild
kartierte Rückkassen.

Rote Linien: Forststraßen, Wege.

Blaue Linien: Hauptbäche

AKL	%
0	0
1	0 – 10
2	10 – 30
3	30 – 50
4	50 – 75
5	75 – 100
6	100

Wasserumsatz im Bestand



Quelle: DWA-Merkblatt 922 (2020) – nach Bronstert (2005) - verändert

Niederschlag: nicht beeinflussbar

Andere Kenngrößen des Wasserumsatzes bis zu einem gew. Grad steuerbar – durch Art der Bewirtschaftung

Früher oft Konzentration auf

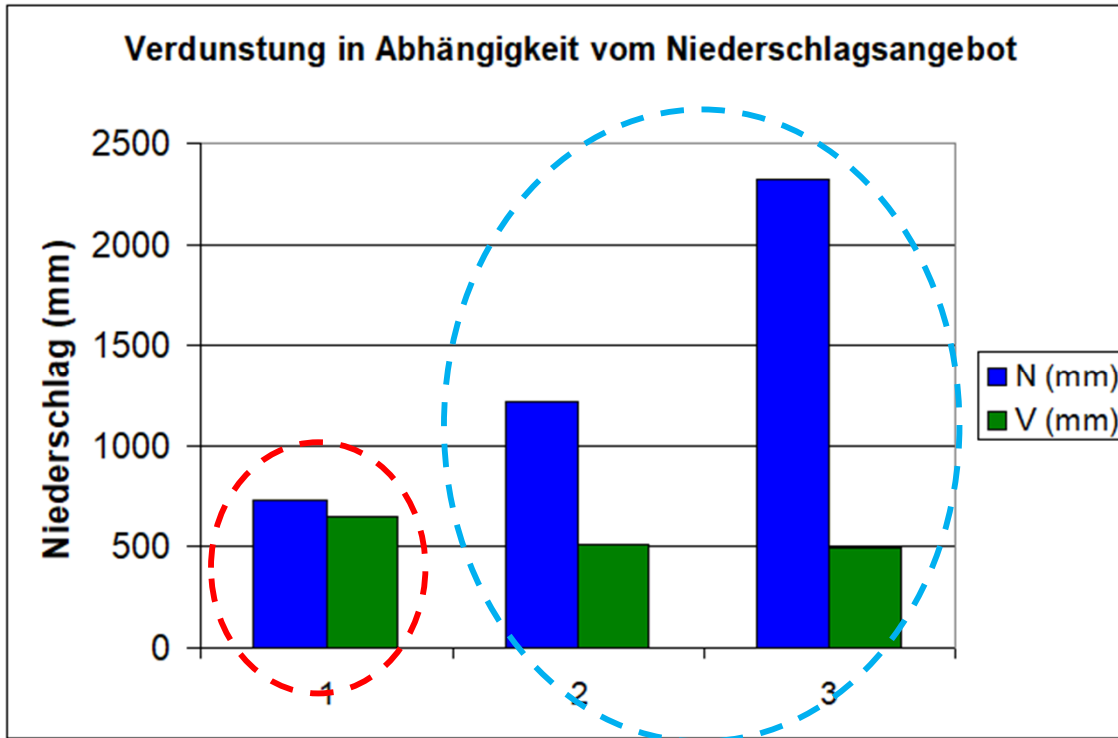
Holznutzung

Hochwasserschutz

⇒ **Zunehmende Bedeutung:**

Klimawandel – Resilienz bei Trockenheit

Grundwasser-Bereitstellung



Interzeption pro Starkregenereignis: 4-6 mm

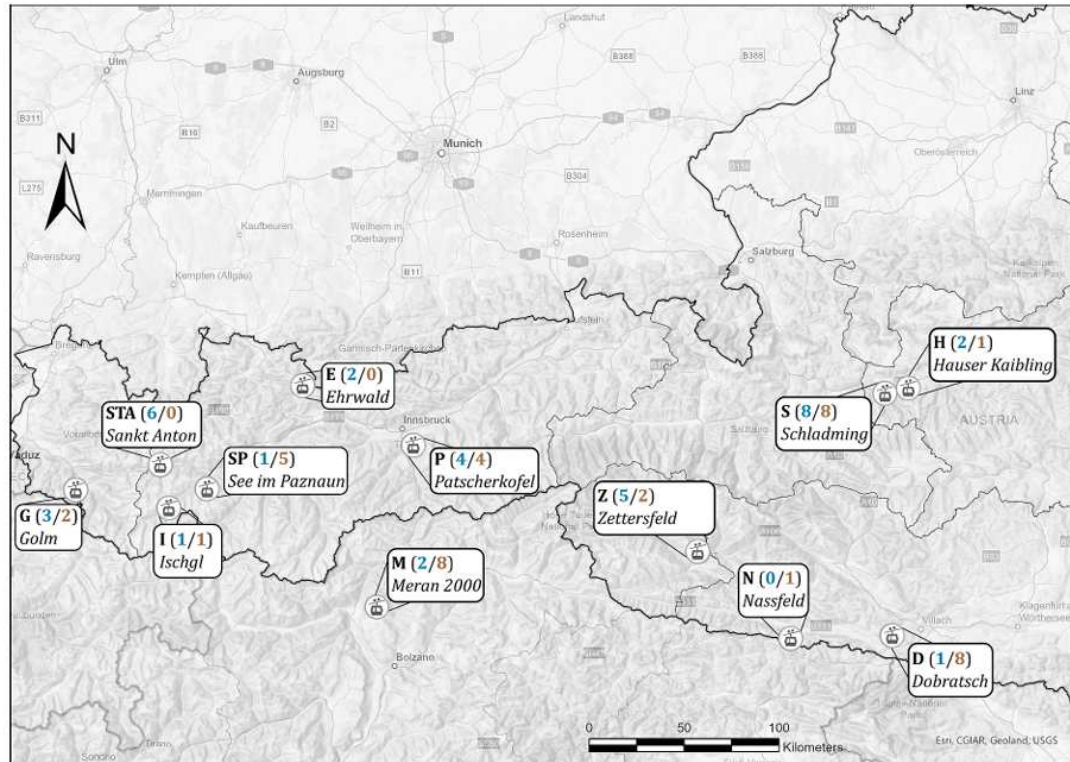
Je **niedriger der Jahresniederschlag**, umso mehr davon geht in **Interzeption** und in die **aktive Verdunstung**:

Tanaser Berg: ca. 550 mm N p.a.

Hochwasserschutz mit transpirationsintensiven Baumarten möglich

Breitere Palette an Baumarten notwendig – keine „Säufer...“

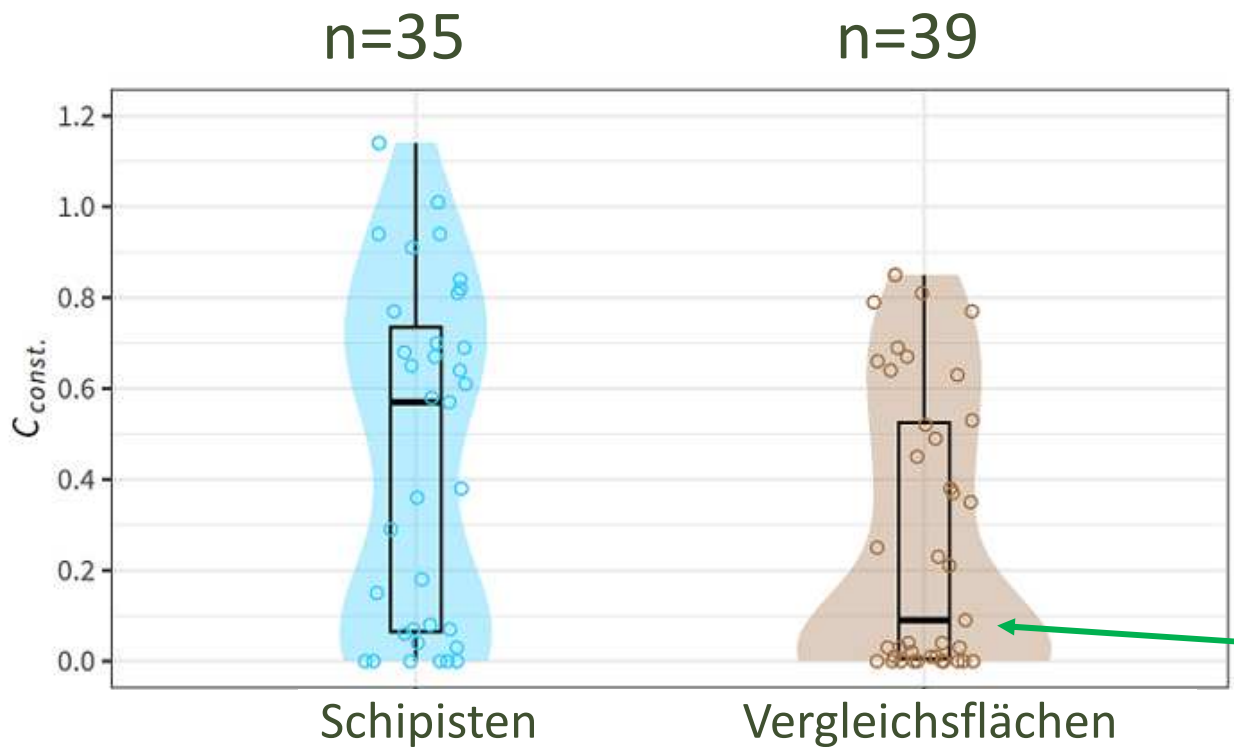
Oberflächenabfluss



Starkregensimulationen in 12 Gebieten mit **Schipisten**

Blau: Anzahl der Schipisten

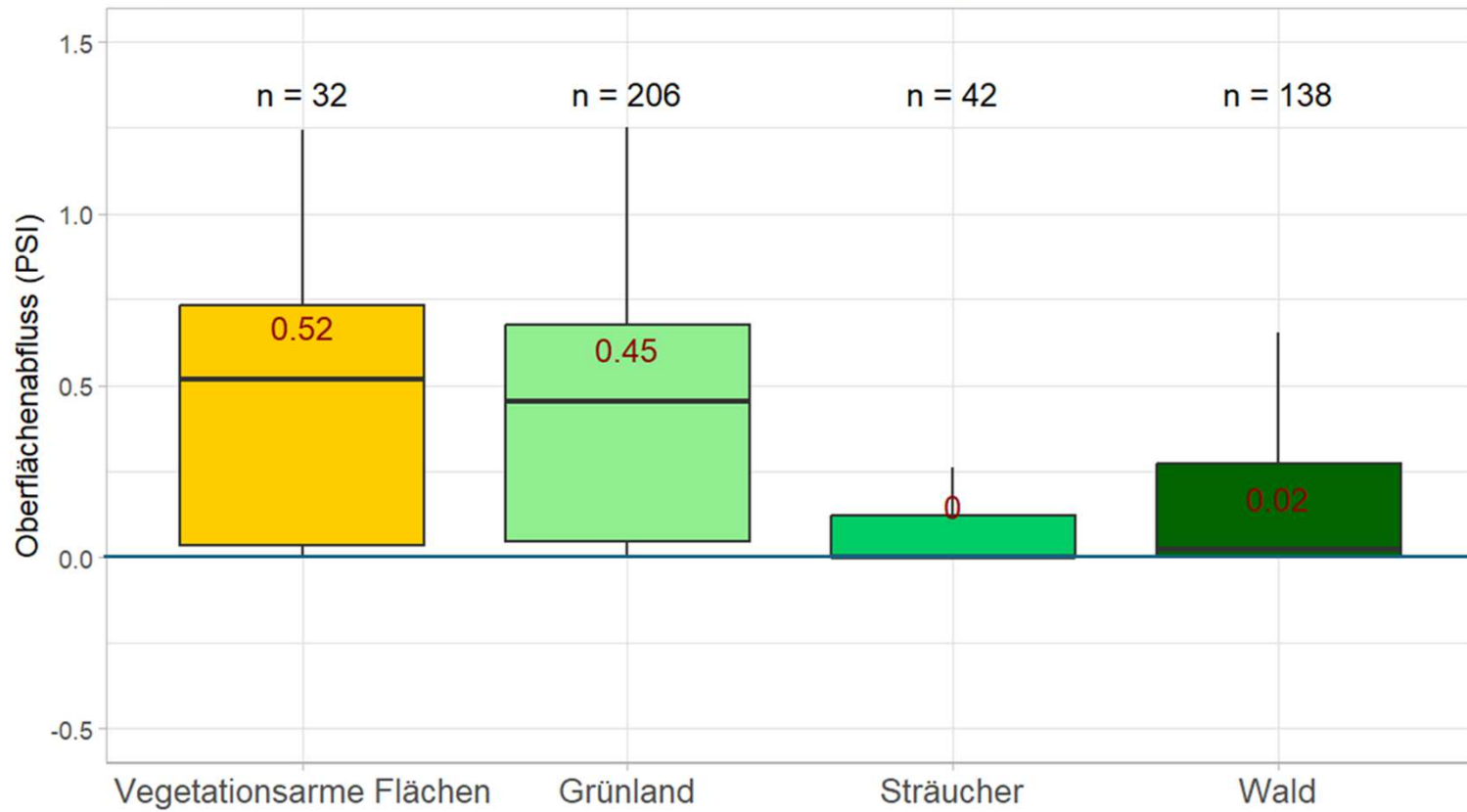
Rot: Anzahl der Vergleichsflächen



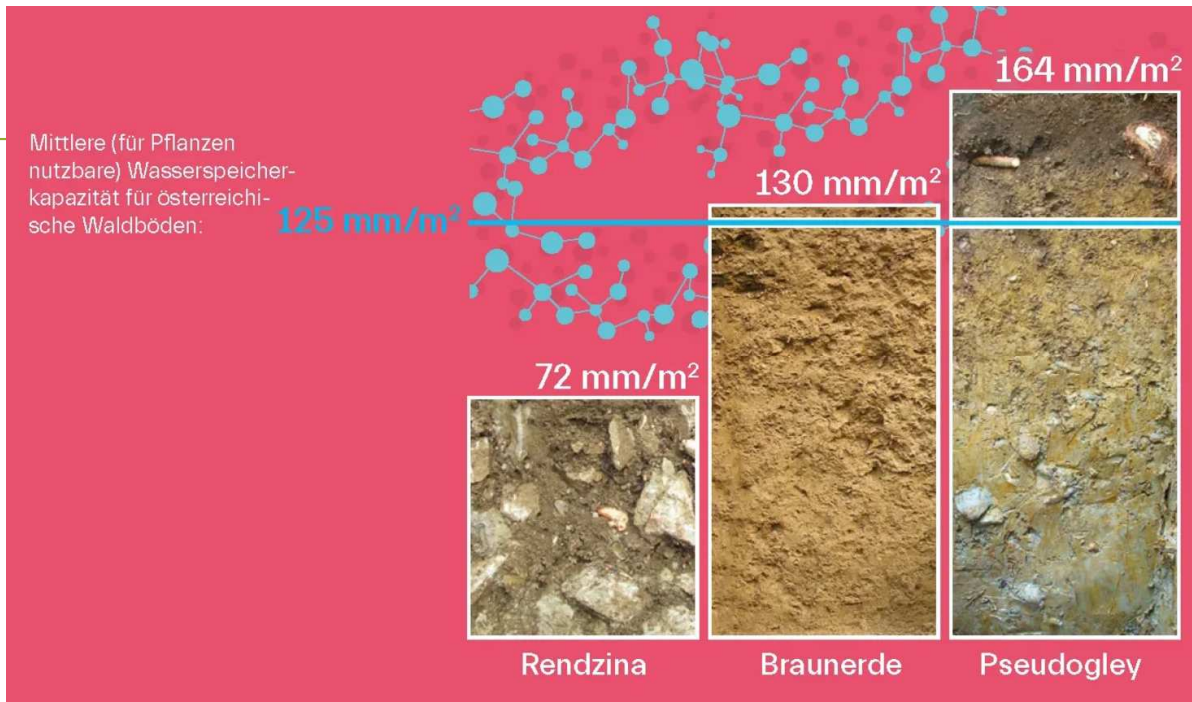
Oberflächenabfluss
 ⇒ auf technisch
 veränderten/planierten
 Flächen deutlich höher

≈50% Wälder

Boxplot von Abflussbeiwerten unterschiedlicher Vegetationsklassen



< 20% Bodendeckung



Ein maßgeblicher Faktor: Boden

Abb. aus:
Schreck, M. (2004): Über die Kunst, den Waldboden zu lieben. Lichtung 14, S. 5-7

Rendzina: Belastbar, auch bei techn. Beanspruchung bleibt Sickerfähigkeit erhalten,

hohes Erosionspotenzial

Verlust an Filterwirkung

Braunerde:

⇒ **locker**, bei Belastung **Verlust an Grobporen**,

⇒ **hohes Erosionspotenzial**

Pseudogley: Wasser stauend,

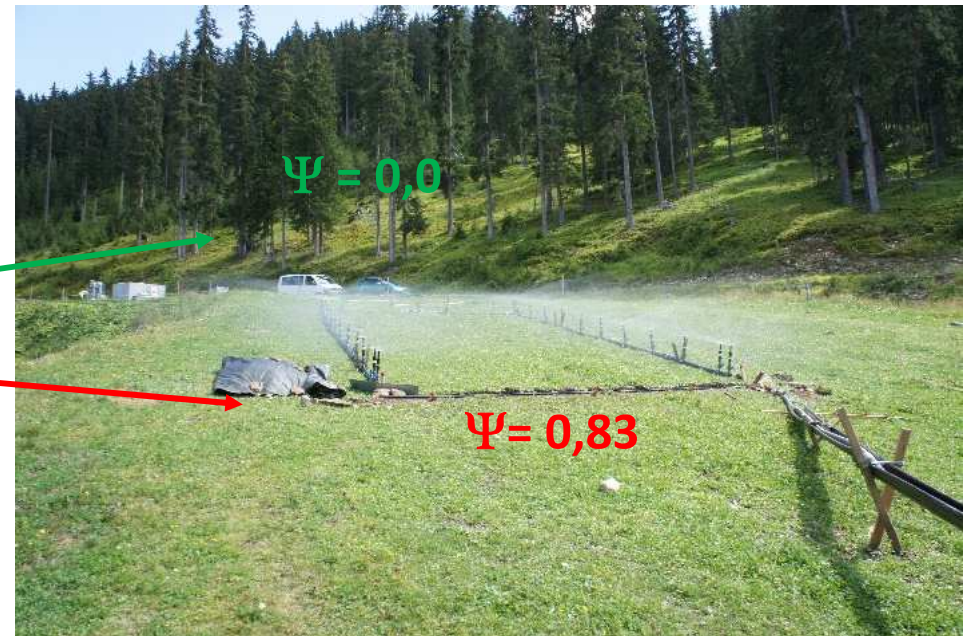
Hoher OA in feuchtem Zustand,

Hoher ZA in trockenem Zustand

Der gleiche Boden?

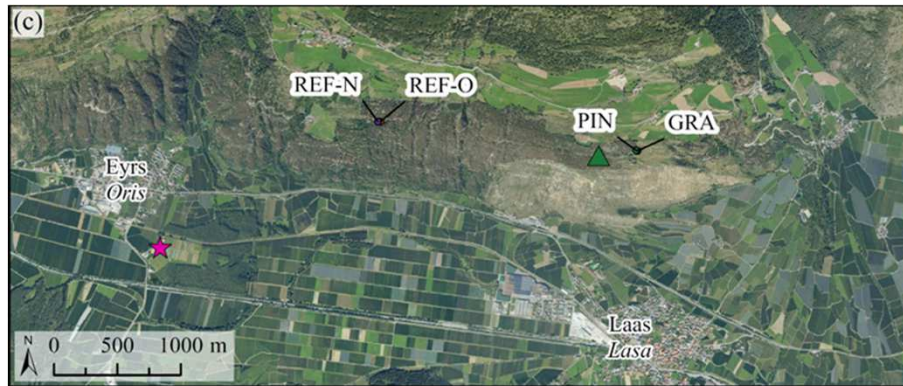


Aufgelockerter Fi-Altbestand mit Heidelbeere



Planie – Schipiste, beweidet

Einfluss Landbedeckung / Bewirtschaftung auf Bodenfeuchte/Abfluss



Legend

- ★ Meteo station
08200 MS Eys/Laas
- South Tyrol
- Settlements

TDR Sites (10 + 25 cm)

- GRA
- PIN
- REF-O
- REF-N

Infiltration experiments + soil profiles

- ▲ GRA
- ▲ PIN
- ▲ REF

Coordinate System: ETRS89 UTM 32N
(EPSG: 25832)
Creation date: January 4, 2026
Map creator: Leon Schleich

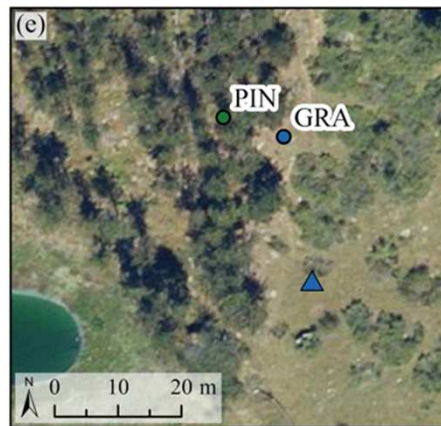
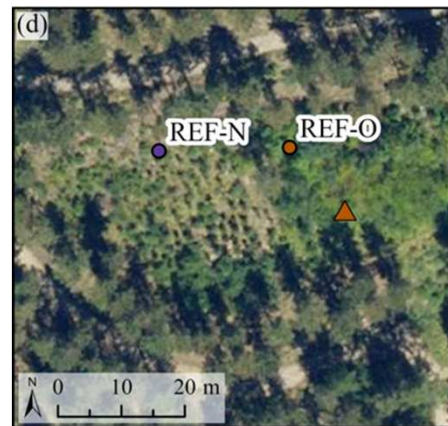


Projekt BLÖSSEN - Bsp. Tanaser Sonnenberg

Starkregen-Simulationen

In der Nähe der Berechnungsflächen:
Bodenfeuchtemessungen seit Juli 2028

Bodenphysikalische Analysen



Bsp. Tanaser Sonnenberg - Bestandesumwandlung



Bürstling – Weide
(Nardus stricta)



Schwarzkiefer (SKI), vergrast



Bestandesumwandlung – von
 SKI zum Laub-Mischwald

Markart, G., T. Rössler, C. Scheidl, V. Lechner, F. Perzl, G. Bunza, D. Klingsbigl, M. Knabl, B. Kohl, G. Meissl, G. Pircher, M. Rössel, P. Schrittwieser (2020): Verzögerte Wiederbewaldung - Auswirkung auf Abflussbildung und Hangstabilität im Schutzwald. Wildbach- und Lawinerverbau, Nr. 186, 84. Jg., Heft 186, 148-164.

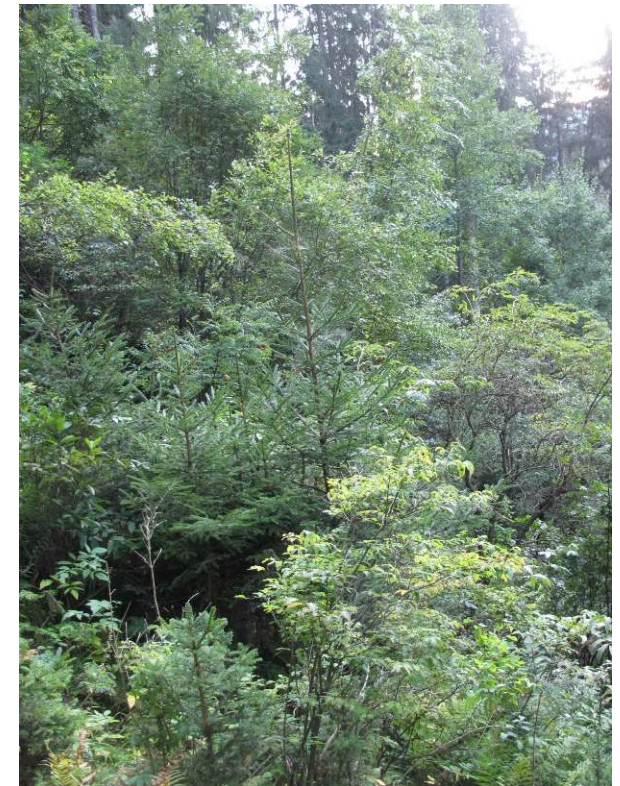
G. Markart, D. Klingsbigl, V. Lechner, F. Perzl, M. Rössel, T. Rössler, G. Bunza, A. Graf, B. Kohl, G. Meißl, F. Nagl, C. Scheidl, K. Suntinger, N. Werner (2020): Endbericht Projekt ITAT4041-BLÖSSEN - Auswirkungen verzögerter Wiederbewaldung im Schutzwald auf die Sicherheit vor Naturgefahren (insbesondere Abflussbildung). Bericht des BFW - Institut für Naturgefahren an die Auftraggeber Landesforstdienste Tirol und Südtirol.

<https://www.researchgate.net/publication/341313991> ENDBERICHT Projekt ITAT4041 BLOESSEN Auswirkung verzögerter Wiederbewaldung im Schutzwald auf Naturgefahren_032020

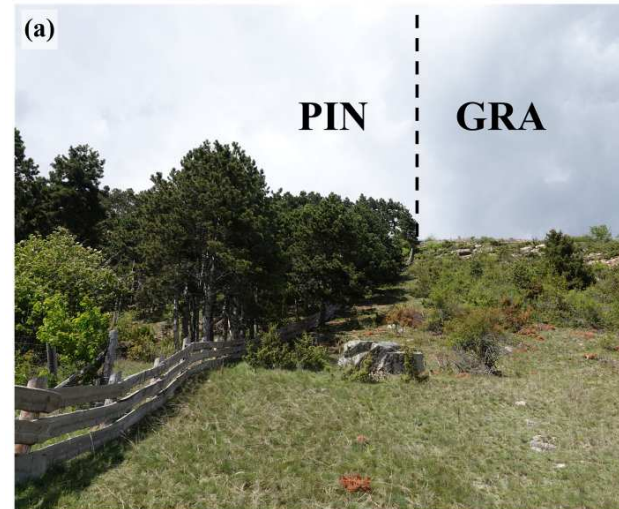
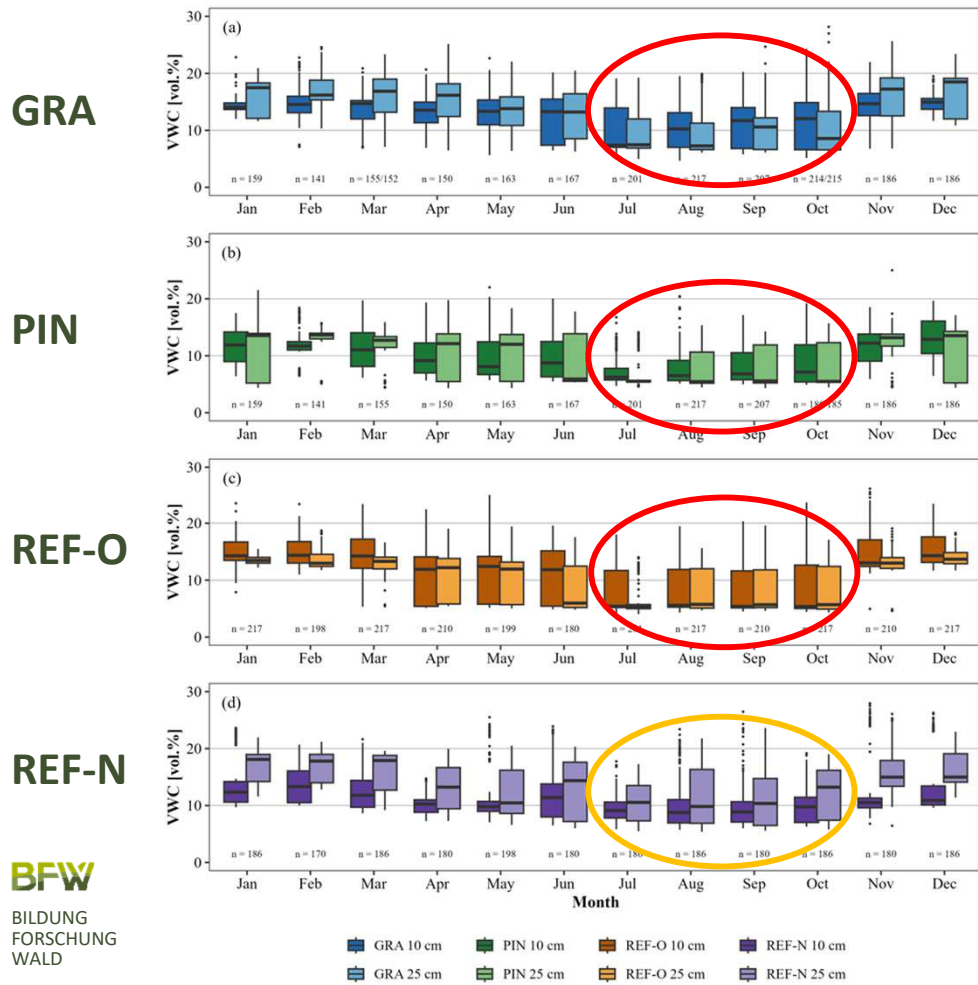


SKI-Bestände sind nicht in der Lage konzentrierte Abflüsse aus überliegenden Bereichen zu puffern

- ⇒ Benetzungswiderstände
- ⇒ geringere Rauigkeit der Oberfläche
- ⇒ rasche Konzentration in den Tiefenlinien

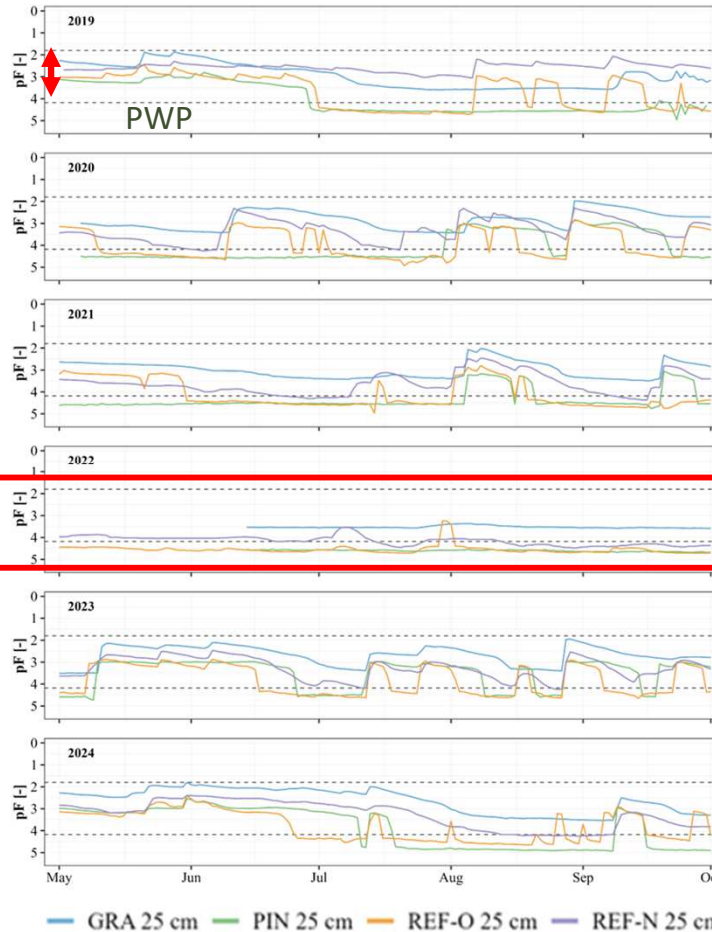
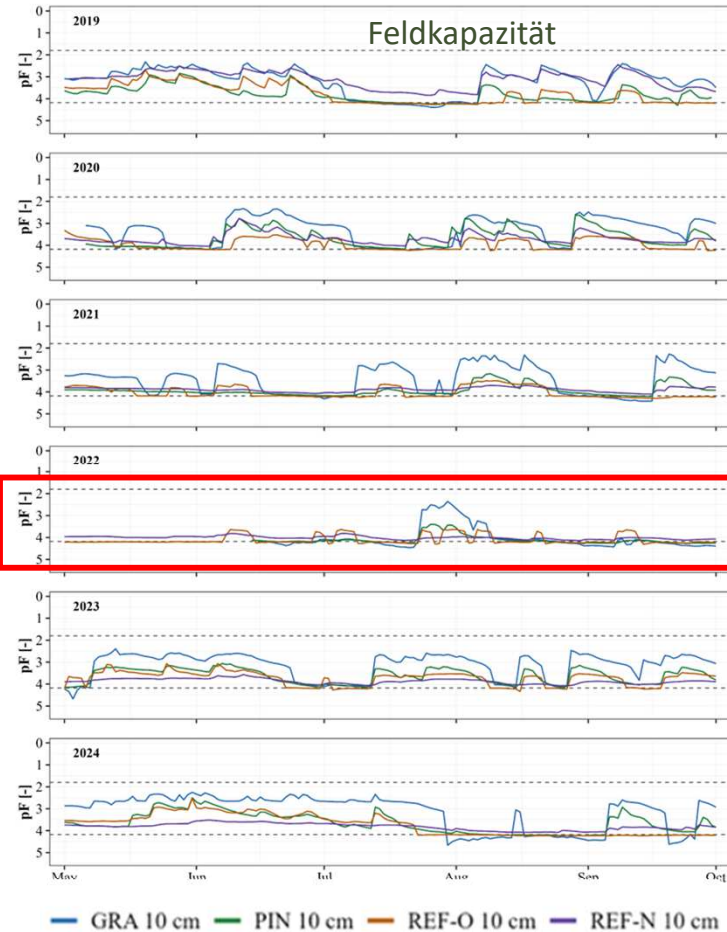


Mittlere Bodenfeuchte von 2019-2024



10 cm Tiefe

25 cm Tiefe



FK
PWP

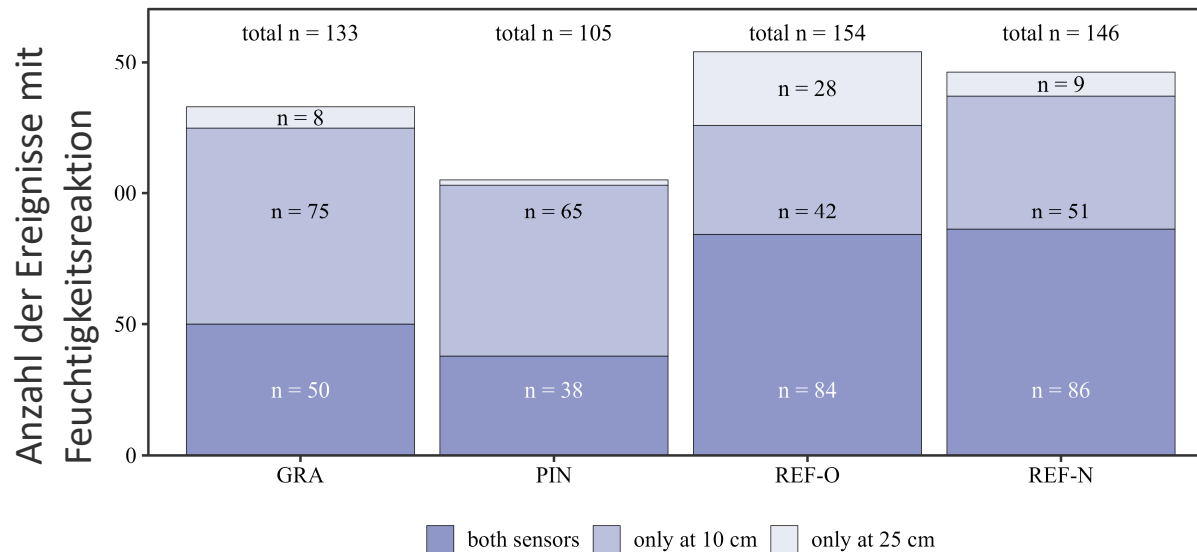
Lange Perioden mit Wasserversorgung unter dem Limit –

am permanenten Welkepunkt (PWP - pf 4,2) (Totwasser – für die Pflanzen nicht nutzbares Wasser)

Absolutes „Horror“-Jahr: 2022

Quelle: Schleich L. (2026)

- ⇒ SKI und ältere Laubholz-Aufforstung zeigen vergleichbaren Wasserverbrauch
- ⇒ Jüngere Aufforstung (2019) etwas weniger, aber eine Frage der Zeit..., aber
- ⇒ Laubholz-Aufforstungen nützen Niederschläge besser aus, Wasser geht tiefer als bei Schwarzkiefer und Bürstling- Rasen (Hydrophobizität nach Austrocknung)



Quelle: Schleich L. (2026): Soil moisture dynamics across contrasting land cover types (2018-2025): An ecohydrological assessment at Tanaser Berg, South Tyrol. Masterarbeit, Institut für Geographie, Universität Innsbruck

Hydrologisch „günstige“ Bestände



Fi/Zi Baum- / Altholz mit Heidelbeere
Moder-Rohhumus-Braunerde (Stummerberg / Zillertal)



Bu Baum-Altholz mit dichter Verjüngung auf pseudovergleyter Braunerde (Flysch) (Klausen-Leopoldsdorf, Wienerwald)

Aber: hoher Zwischenabfluss!



Bu Baumholz auf Mullrendzina / Mullbraunerde (Rindbach bei Ebensee)

Standortswidrige Bestände



Foto: H. Schume, BOKU

Fichte auf Pseudogley

= standortswidrige Baumart – nur eingeschränktes Tiefen-Wachstum der Wurzeln aufgrund des Wasserstaus



Vol% -Verfüllungsgrad im Boden

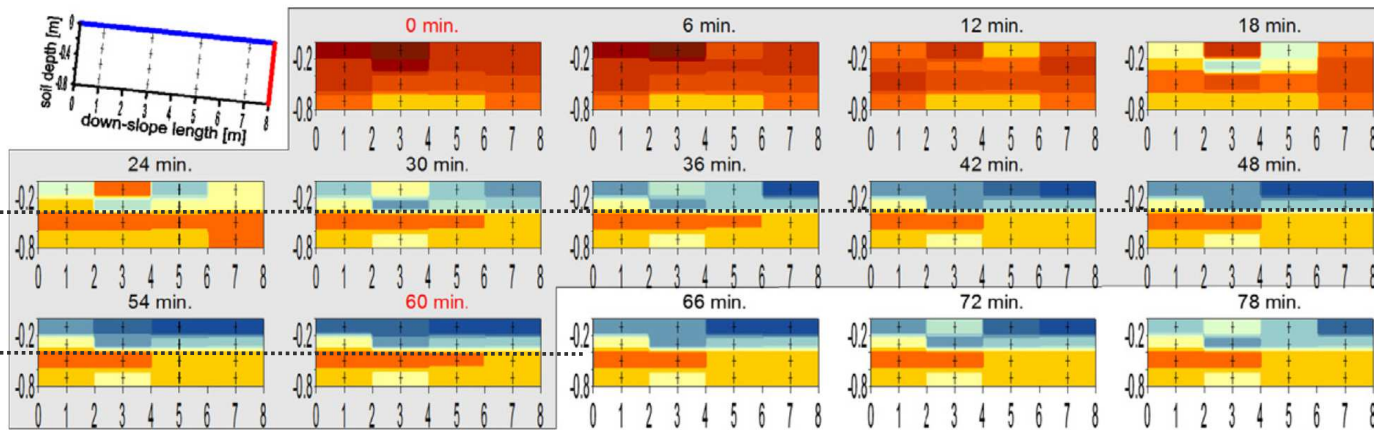


Foto: G. Reiter BFW

Aus: Jost, G., H. Schume, H. Hager, G. Markart and B. Kohl (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff process during intense rainfall. *J. Hydrol.*, 420-421, 112-124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411008766>

Tiefensickerung: 40%



Buche auf Pseudogley (Wasser stauender Boden)

= standortstaugliche Baumart.

Boden nimmt mehr auf und leitet zumindest stellenweise weiter in die Tiefe

(Beregnung durch BFW; Bodenfeuchtemessungen und Bodenanalytik durch BFW und Inst. f. Waldökologie-BOKU)



Vol% -Verfüllungsgrad im Boden

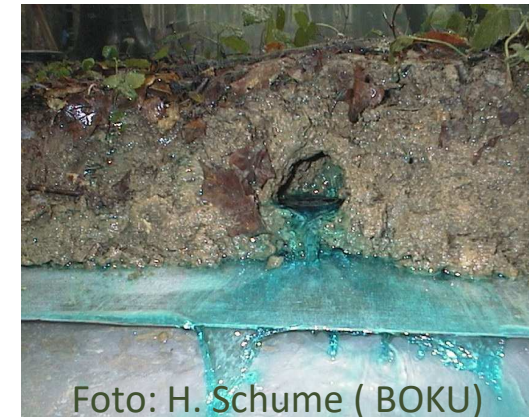
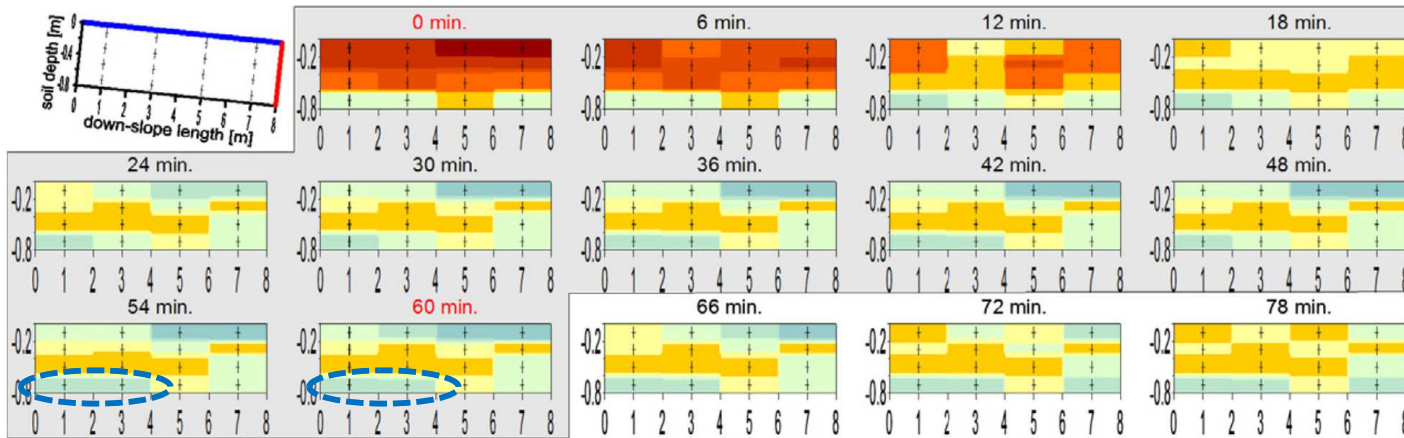


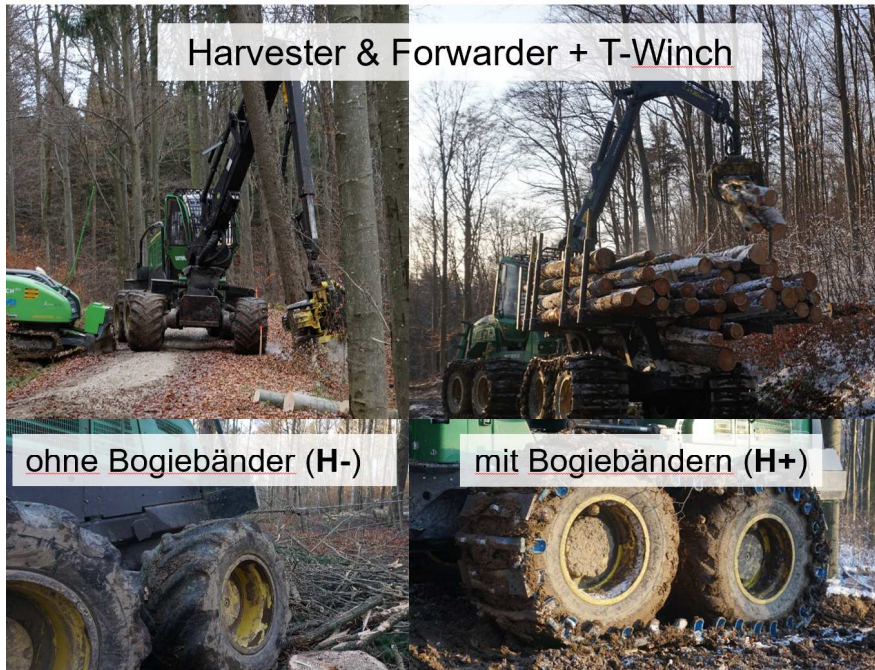
Foto: H. Schume (BOKU)

Aus: Jost, G., H. Schume, H. Hager, G. Markart and B. Kohl (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff process during intense rainfall. *J. Hydrol.*, 420-421, 112-124. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169411008766>

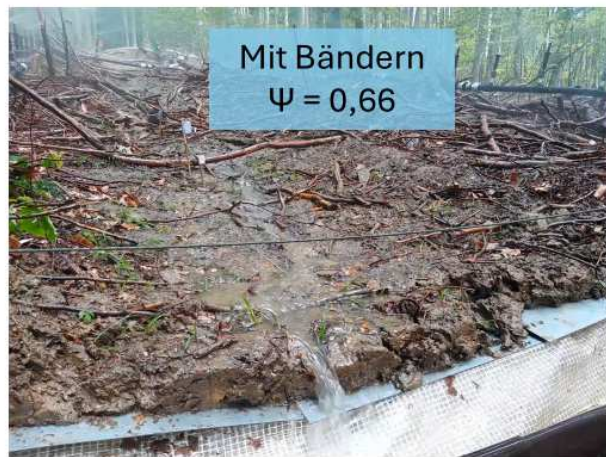
Tiefensickerung: 90%

Holzernte

Bsp. Flysch-Wienerwald (schwere / bindige Böden)



Oberflächenabfluss nach Befahren mit Harvester



Fahrspur Ψ_{const} nach der Holzernte = 1,0

Größere Aufstandsfläche der Bogie-Bänder – Hinweise auf raschere Regeneration (Ausgasungs-Messungen) – aber noch keine Abflussdaten

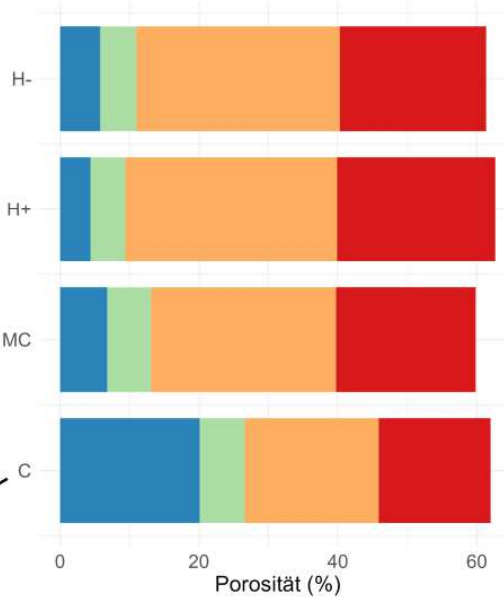
Rückegassen sind für die Ewigkeit: 20 J. nach Befahren $\Psi_{const} \gg 0,2$, in der Fahrspur $> 0,4$

M. Behringer, C. Scheidl, G. Meißl, B. Kohl, G. Markart (2025): Wie beeinflusst die Holzernte den Wasserhaushalt von Waldstandorten mit schweren Böden? Vortrag Waldfonds-Projekt HoBo-Abschluss-Workshop, Purkersdorf, 10-09-2025.

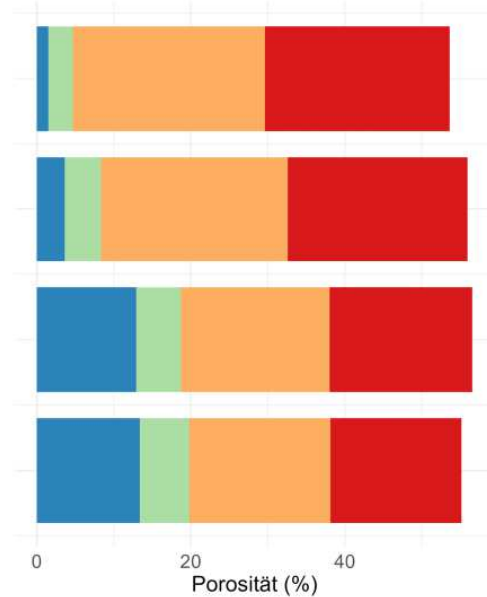
Ergebnisse Bodenphysik: Poren



5 cm



15 cm



- Belüftung & Sickerwasser > 50 µm
- Pflanzenverfügbares Wasser 0,2 – 50 µm
- Totwasser < 0,2 µm

- Porengröße
- Größtporen
 - Grobporen
 - Mittelporen
 - Feinporen

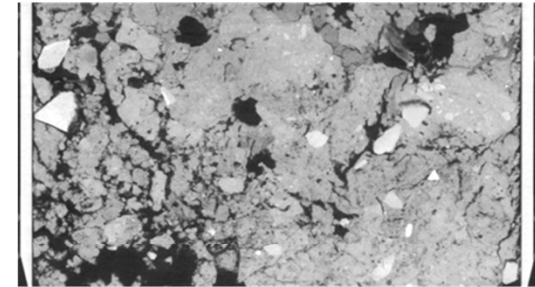
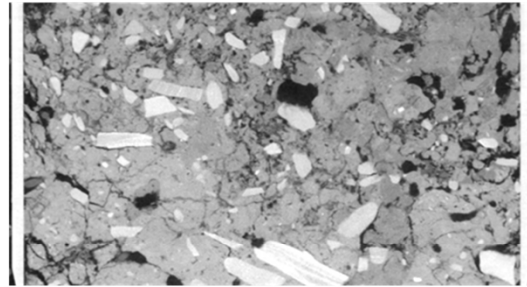
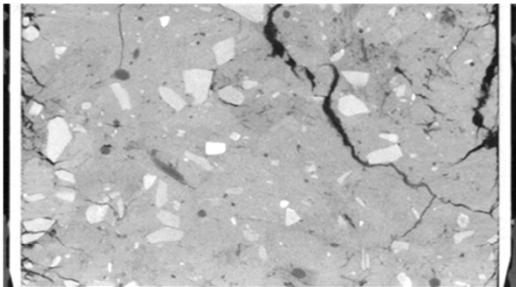
CT-Scan: Bodenporen in Harvester-Trassen

Kurz nach Befahrung

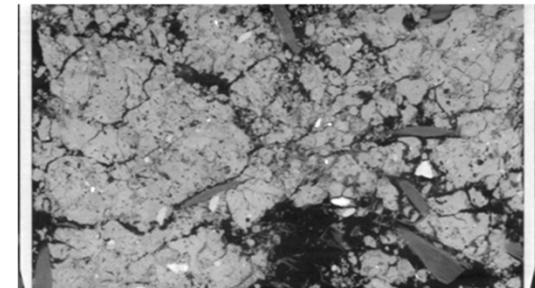
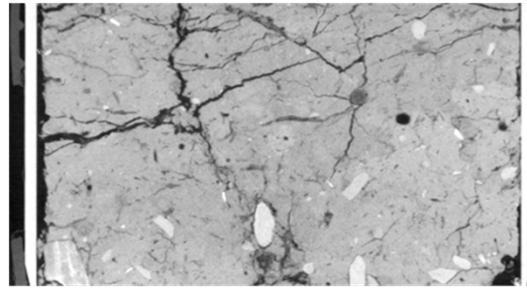
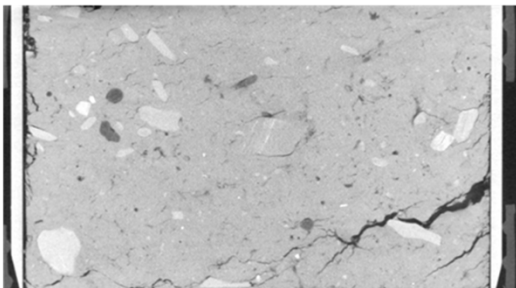
18 Jahre danach

Unbefahren

5 cm



15 cm



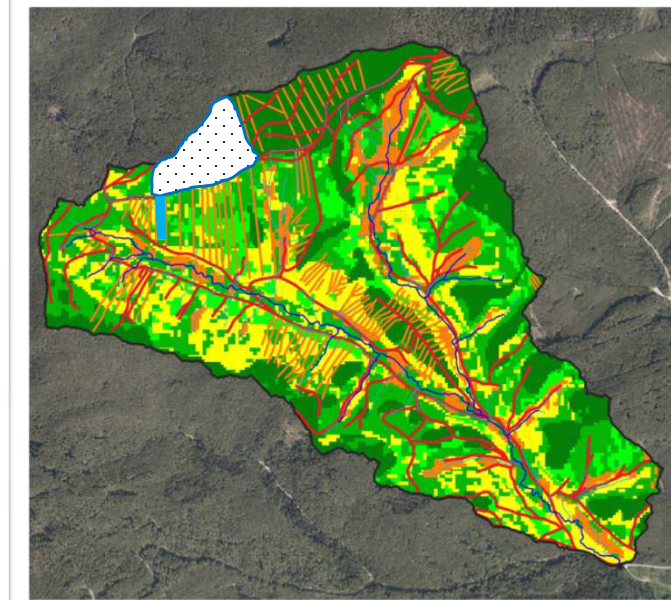
Selbst 18 Jahre nach Befahren fehlen größere Makroporen

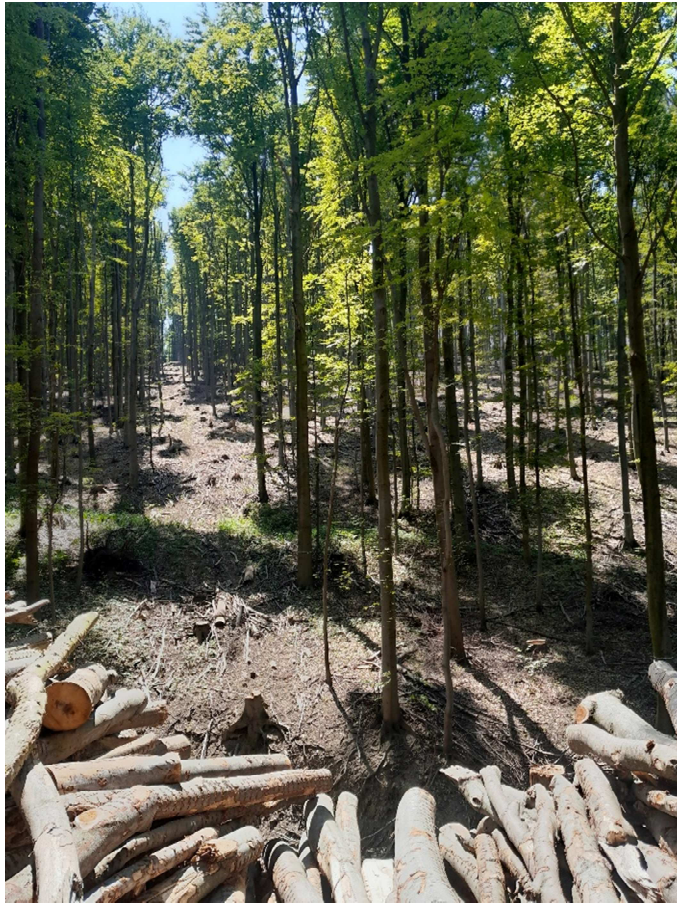
Straßenentwässerung / Durchlass mündet in Rückegasse:

Reaktion bei einem kurzen Gewitterregen
Wald kann seine Retentionsfunktion nicht wahrnehmen

Problem: **Vergrößerung des Einzugsgebietes** –
raschere und stärkere Abflussreaktion am EZG-
Auslass

⇒ **Abfluss-Konzentrationen vermeiden!!!**





Seiltrassenschützen schützen effektiv vor Verdichtung:

- Sicherer Schutz auch bei nassen Böden
- Nur oberflächlich verdichtet – natürliche Erholung schnell möglich (laufender Versuch)
- Tiefere Schichten bleiben intakt, Bodenfunktionen langfristig erhalten

M. Behringer, C. Scheidl, G. Meißl, B. Kohl, G. Markart (2025): Wie beeinflusst die Holzernte den Wasserhaushalt von Waldstandorten mit schweren Böden? Vortrag Waldfonds-Projekt HoBo-Abschluss-Workshop, Purkersdorf, 10-09-2025.

Forststraßen

Wegebau, Holzlagerplatz...:

- Fahrbahn = Abflussbeiwert (Ψ_{const}) = **1,0**
- Böschung bergseitig - Ψ_{const} = **0,8-1,0** (lokal auch Mehranfall durch austretendes Hangwasser - - ->)
- Böschung, talseitig - Ψ_{const} = **0,5-0,8**
- Wald - Ψ_{const} = **0-0,3**

Abtragsraten auf Wegen vergleichbar intensiv genutzten Ackerflächen

bis > 90 to/ha/Jahr (Zemke 2014)

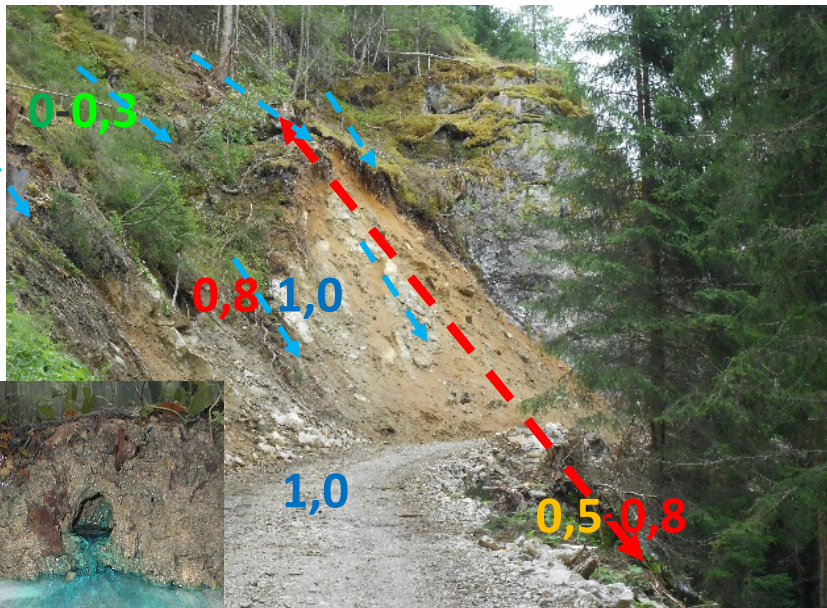


Foto: H. Schume (BOKU)

Aus: Markart, G., F. Perzl, V. Lechner, B. Kohl, P. Hauser, C. Geitner, G. Meißl, G. Pircher, C. Scheidl, L. Stepanek and M. Teich (2020): Handlungsanleitung – Optimierung der hydrologischen Wirkung von Schutzwäldern. Interreg Italia-Österreich, European Regional Development Fund, BFW, DOI: 10.13140/RG.2.2.19306.06083. https://www.bfw.gv.at/wp-content/uploads/BFW_Handlungsanleitung_Optimierung_hydrologischer_Wirkung_Schutzwaldern_2020.pdf

-
- ⇒ Landschaft **schonender Wegebau** (z.B. Abziehen des Oberbodens mit Vegetation und Wiederaufbringung ungestörter Boden- / Vegetationsziegel)
 - ⇒ Bombierung für alle Wege notwendig?
 - ⇒ **Talseitig hängende Wege**?

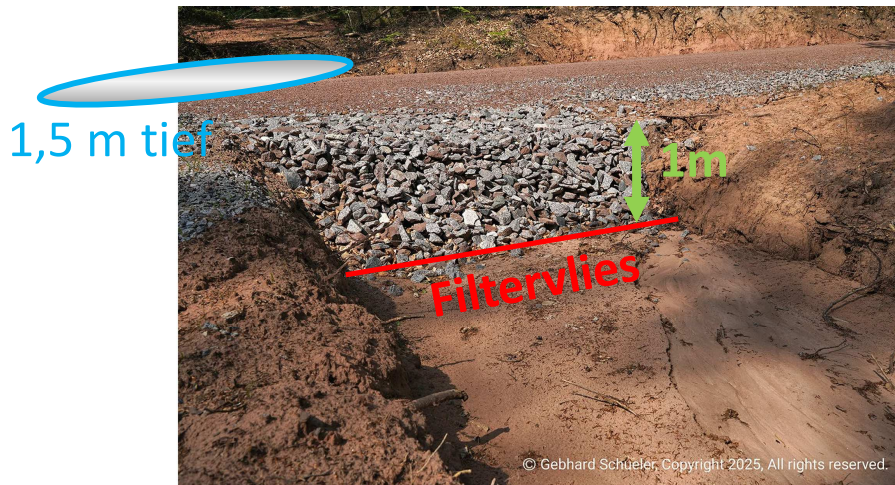


Foto: Alois Loidl



Foto: Albert Pichler, WLV Osttirol

Hydrologische Optimierung im Forstraßenbau



Durchströmbarer Wegkörper - Entwässerungs-Rigole – statt Durchlass

(grobe Körnung z.B. 50/100)

Bei viel befahrenen Straßen Aufbringen einer Decksicht möglich – die Feinteile dürfen aber nicht in das unterliegende grobkörnige Material eingewaschen werden.

Schüler, G. (2026): Wasser im Wald. In: Dohmann, J. (Hsg.): Umweltimpulse – 19 Wege in eine lebenswerte Zukunft. Springer Nature, 93-114.

Waldfonds-Projekt RETFORST (BOKU Klimafitte Wasserableitung von Forstraßen). Ergebnisse sollten Anfang 2026 vorliegen

Quelle: **Stampfer et al. (2025):**

https://boku.ac.at/fileadmin/data/H01000/H10090/H10400/H10420/BOKU_Magazin/2025/BOKU_Mag_4_2025_web_BF.pdf

Retentionsmaßnahmen im Wald

Reduktion des Gebietsabflusses durch Schaffung von **Verdunstungsflächen**

⇒ Wasser wird bei stärkerem Niederschlag gefasst und **zeitverzögert** der Atmosphäre oder dem Hang zurückgegeben

⇒ Gleichzeitig Maßnahme zur **Erhöhung der Biodiversität**



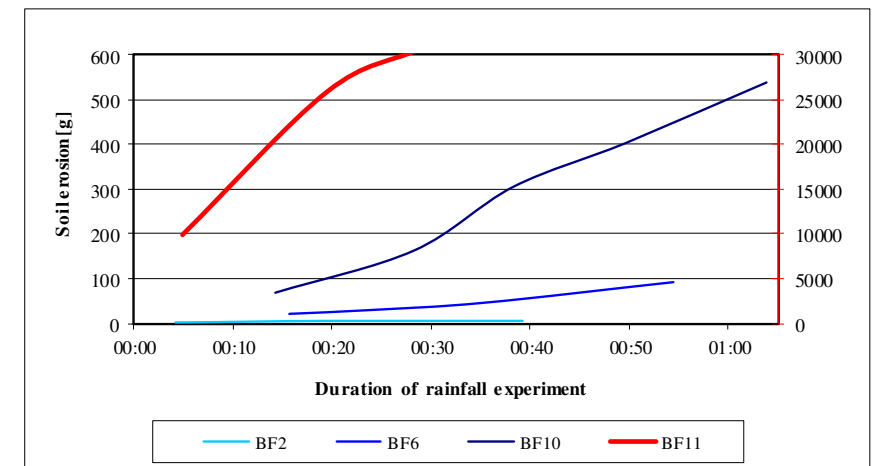
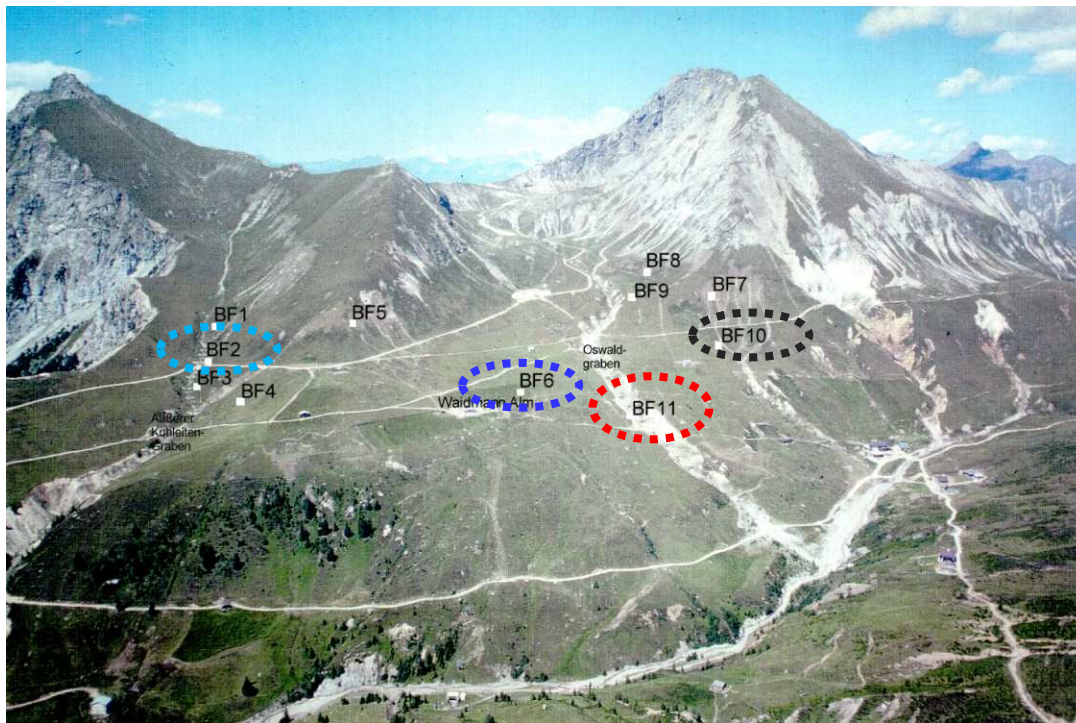
Auch unterhalb von Rohrdurchlässen im geneigten Gelände möglich



Bsp.: 100 Rohrdurchlässe, 2m^3 Retentionsvolumen je Durchlass = $200\text{ m}^3 = 20.000$ Liter
Anlage in kürzeren Abständen ($1\text{-}6\text{ m}^3$ Volumen)

Wichtig: Pflegaufwand bei den Forststraßen um 35% reduziert (Forstbetrieb Schenker, Wechsel, NÖ)

Erosion



BF2, 1989 mit Hochlagen-Saatgut begrünt, weidefrei seit 1986

BF6, einschnittige Mähwiese, 10 Tage Beweidung im Spätsommer

BF10, 1988 mit Hochlagen-Saatgut begrünt, nicht beweidet 1988-1996, 14 Tage Beweidung p.a. seit 1996

BF11, für die Begrünung vorbereitete Fläche (vegetationslos – offen)

Meran 2000, BF 11



Splash Erosion Effekt,
beginnende lineare Erosion
nach 10 min



Lineare Erosion mit Hangmure
 $\psi_{\text{const}} = 0,1$
Abbruch nach 31 min

Offene Flächen = hohes Erosionspotenzial!

Wald und Rutschungen



Seigesbach / Sellrain (Tirol) - Schadereignis 7./8. Juni 2015:

- **Jahre vorher:** Wildholzbewirtschaftung entlang des Bachlaufes, Aufräumarbeiten nach **Windwurf** und „**Arrondierungsschläge**“, **fehlende Verjüngung** – hoher Wildstand
- **positiv:** Kaum Wildholz im Graben
- **negativ:** Rutschungen reichen in den geschlägerten Bereichen oft deutlich weiter nach oben als in den bestockten Einheiten – extrem schwierige Wiederbewaldung³⁴

Rasche
Wiederbewaldung!

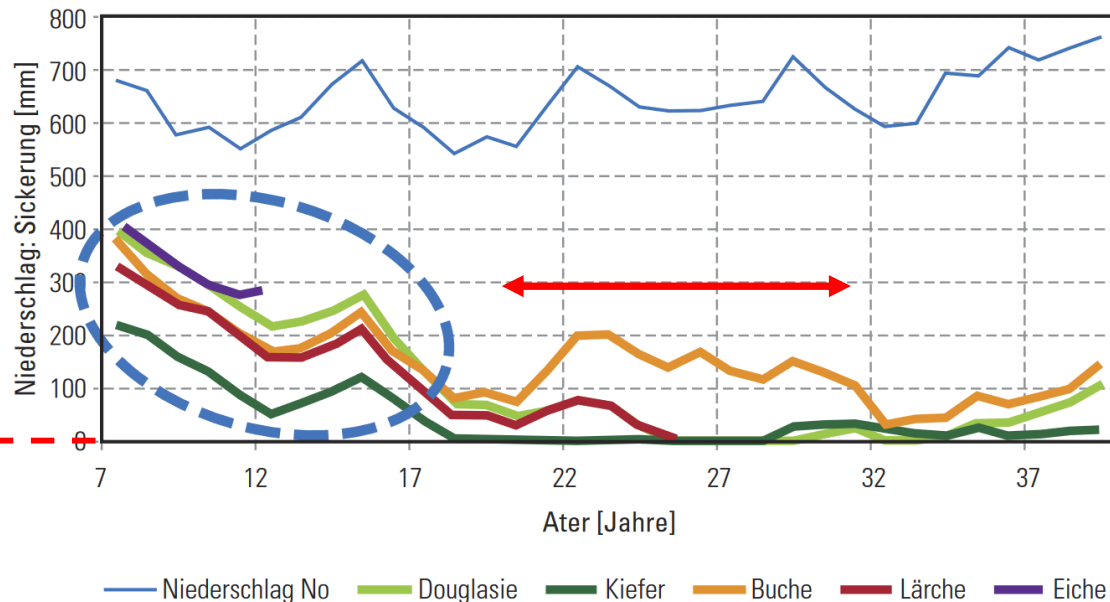
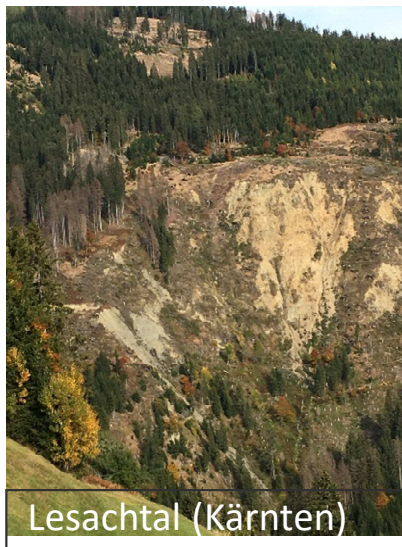


Abb.: Müller, J. (2013): Die Bedeutung der Baumarten für den Landschaftswasser-haushalt; 15. Gumpensteiner Lysimetertagung 2013, 49-56. (verändert)

- ⇒ **Junge Bestände – höheres Rutschungspotenzial**
- ⇒ Geringere Transpirationsleistung
- ⇒ Schwächer ausgebildetes Wurzelnetzwerk
- ⇒ Wurzeln des ehemaligen Bestandes werden allmählich abgebaut (in ca. 20 Jahren zersetzt)

Störungen auf silikatischem Untergrund / Windwurf



Keine Daten aus Beregnungsversuchen:

- Erwartung: nach Einstellen einer Schlagflora wird sich das Abflussverhalten jenem von Kahlschlägen annähern
- Höherer Sedimenteintrag in Quellen
- Zunahme von Hang-Instabilitäten / Rutschungen – insbesondere bei verzögerter Wiederbewaldung
- Belassen von liegenden Bäumen zur Verminderung des Bodenabtrags – ggf. Verankern mit Seilen
- Befürchtung: „Wildholz von morgen...“
- Rasche Wiederbewaldung

Störungen auf karbonatischem Untergrund / Windwurf



30 ha Windwurffläche im Hölleengebirge (Oberösterreich) auf flachgründigen Böden.

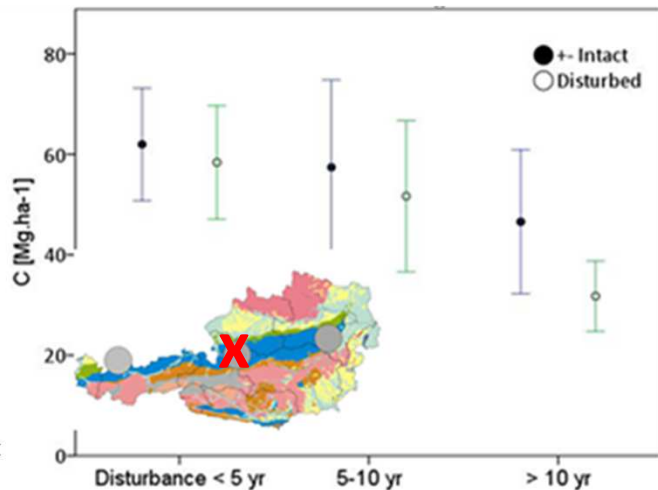
Humusschwund – bei verzögerter Wiederbewaldung sind bereits **nach 10 Jahren 60 % des Kohlenstoffvorrates abgebaut**;

die **Auflagemächtigkeit** verringert sich von durchschnittlich **12 auf 4 cm!**

⇒ Keine vollständige Räumung, keine Vollbaumnutzung

⇒ Belassen von stehendem totem Holz (20% mehr Bodenfeuchte)

⇒ Rasche Wiederbewaldung!



Auswirkungen von sekundären Waldnutzungen

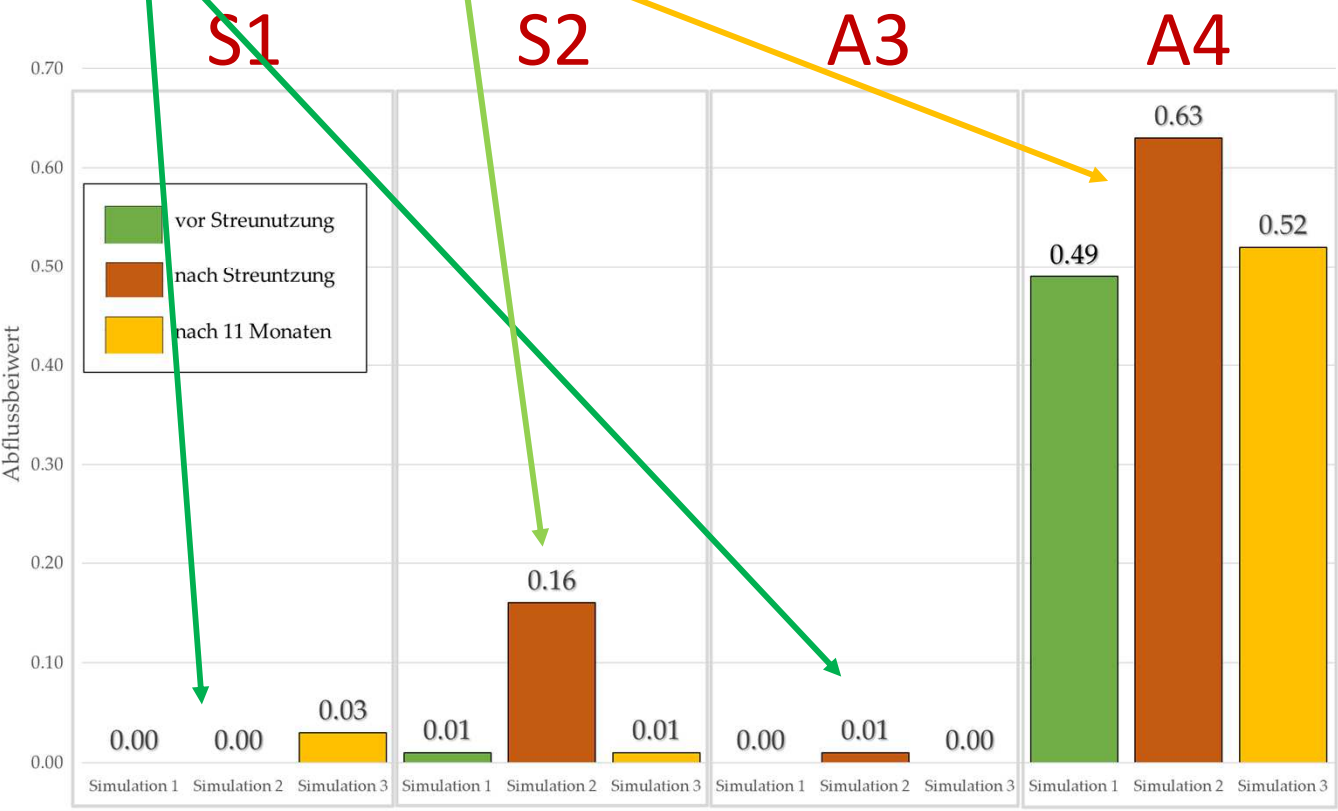


ÖAW-Projekt **HILUC**: Hydrologische
Auswirkungen historischer Landnutzung

Ltg. Prof. C. Geitner, Inst. f. Geographie, Universität Innsbruck

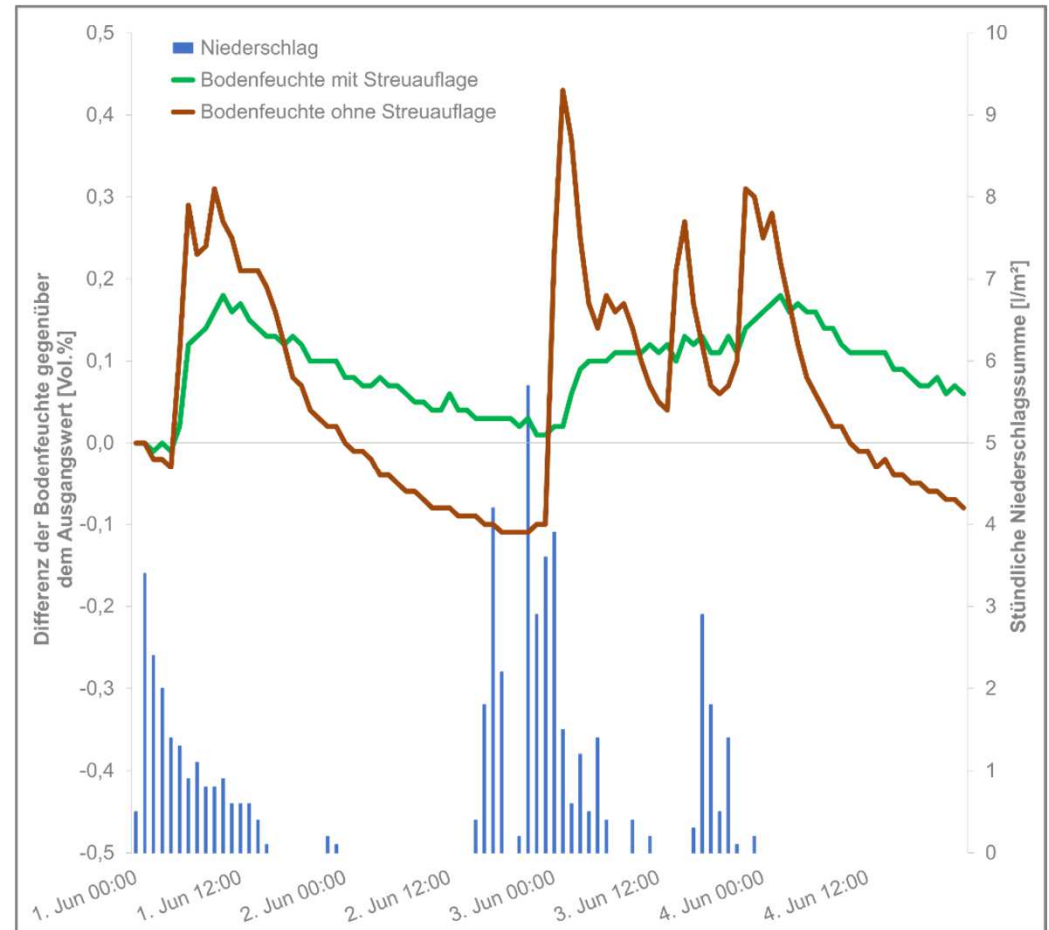


Streunutzung: **Kein** oder **nur gering** erhöhter Oberflächenabfluss



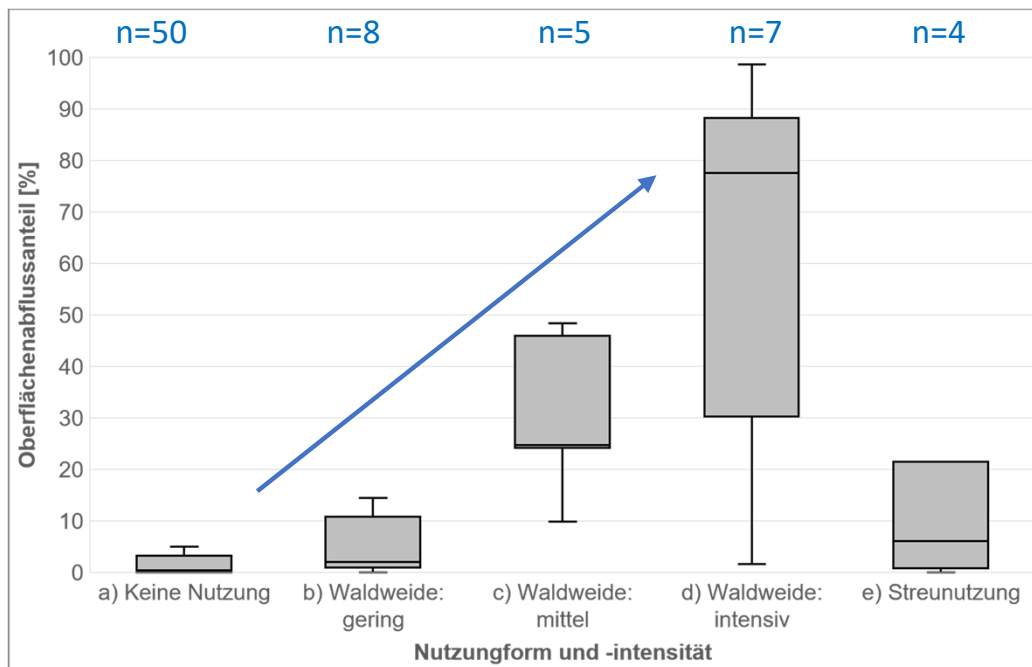
Aber...

- Starke Reduktion des Wasserspeichers der Auflage (65 l/m² bei 17 cm Auflage)
- Mehr Tiefensickerung oder Interflow
- Reduzierte Oberflächenrauigkeit – wenn OA, dann fließt er viel schneller



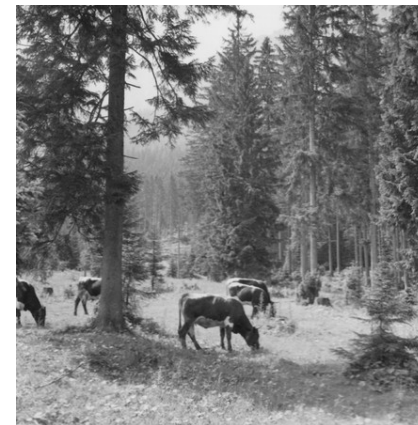
Müller et al: How does forest litter extraction commonly used in the past affect the runoff reaction to heavy rainfalls? Hydrol. Processes, in Review.

Waldweide



die **Nutzungsintensität** hat einen entscheidenden Einfluss auf den Oberflächenabfluss.

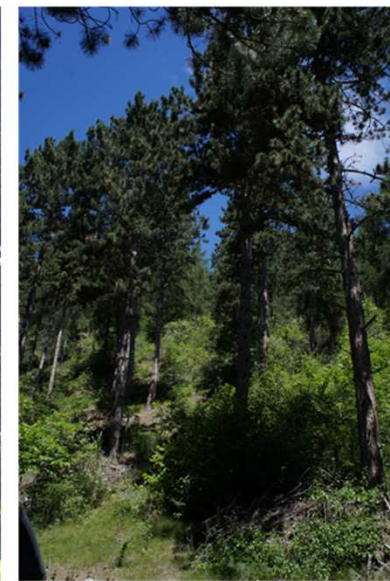
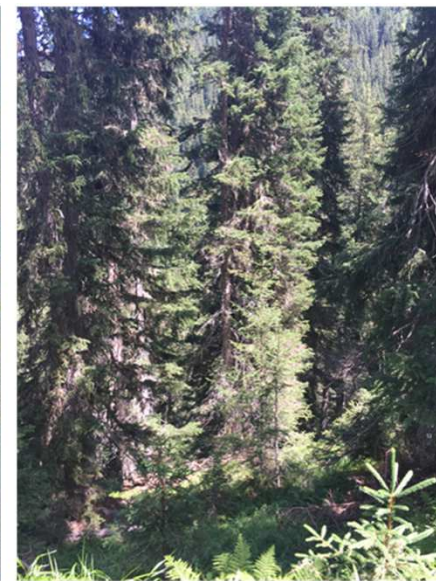
- Bodenverdichtung
- Verlust an Bodendeckung – geringere Oberflächenrauigkeit



Fotos: Baschny (BFW)

Fazit – wie sollte der (Wildbach)hydrologisch „ideale“ Bestand aussehen?

- ⇒ **Vertikale / horizontale Struktur – mehrschichtig**
- ⇒ **Mischwald – Kombination unterschiedlicher Wurzeltypen** (Flach-, Herz, Tiefwurzler...), Mischung mit **Baumarten mit geringem Wasserverbrauch** bzw. höherer Trockenheitstoleranz
- ⇒ **Keine volle Überschildung** (0,7-0,9)
- ⇒ **Raue Oberfläche – dichte Bodendeckung** (Zwergsträucher, krautige Vegetation, Ast-/Totholz...)



Fazit – wie sollte der (Wildbach)hydrologisch „ideale“ Bestand aussehen?

- ⇒ **Gleichmäßige Kronenausbildung** – größtmögliche Stabilität des Einzelbaumes – **frühe, rechtzeitige Eingriffe...**
- ⇒ **Kleinflächige Bewirtschaftung** – durchgehende Schutzwirkung auf großer Fläche, z.B. Vorverjüngung unter Schirm
- ⇒ In Grabeneinhägen: **Dauerwaldartige Bewirtschaftung**
- ⇒ **Boden schonende Holzernte und Erschließung**
- ⇒ **Sofortige Wiederbewaldung** nach der Holzernte / nach Störungen



Danke!