



Teil der WSL und
damit des ETH-Bereichs

«Vom Pilzfaden zur Hangstabilität»

Frank Graf & Alexander Bast



- Pflanzen-/Schutz-Wald-Funktionen
- Pilzwurzel-Eigenschaften → Aggregat-/Hangstabilität
- Waldstruktur → Bestandescode → Hangneigung α_{lim}
- Bodenhydrologie, Lücken, 3^d-Diversität
- Räumliche (Wald-)Informationen → «maps.wsl.ch»
- Folgerungen NaiS-Profil «Rutschungen»

Pflanzen-/Schutz-Wald-Funktionen



Illustration: Véronique Graf-Morgen



Wachstum und Entwicklung ↔ Klimawandel



Aufnahme: Frank Graf



Aufnahme: Ueli Wasem



Die «Pilzwurzel» ... eine starke Gemeinschaft!

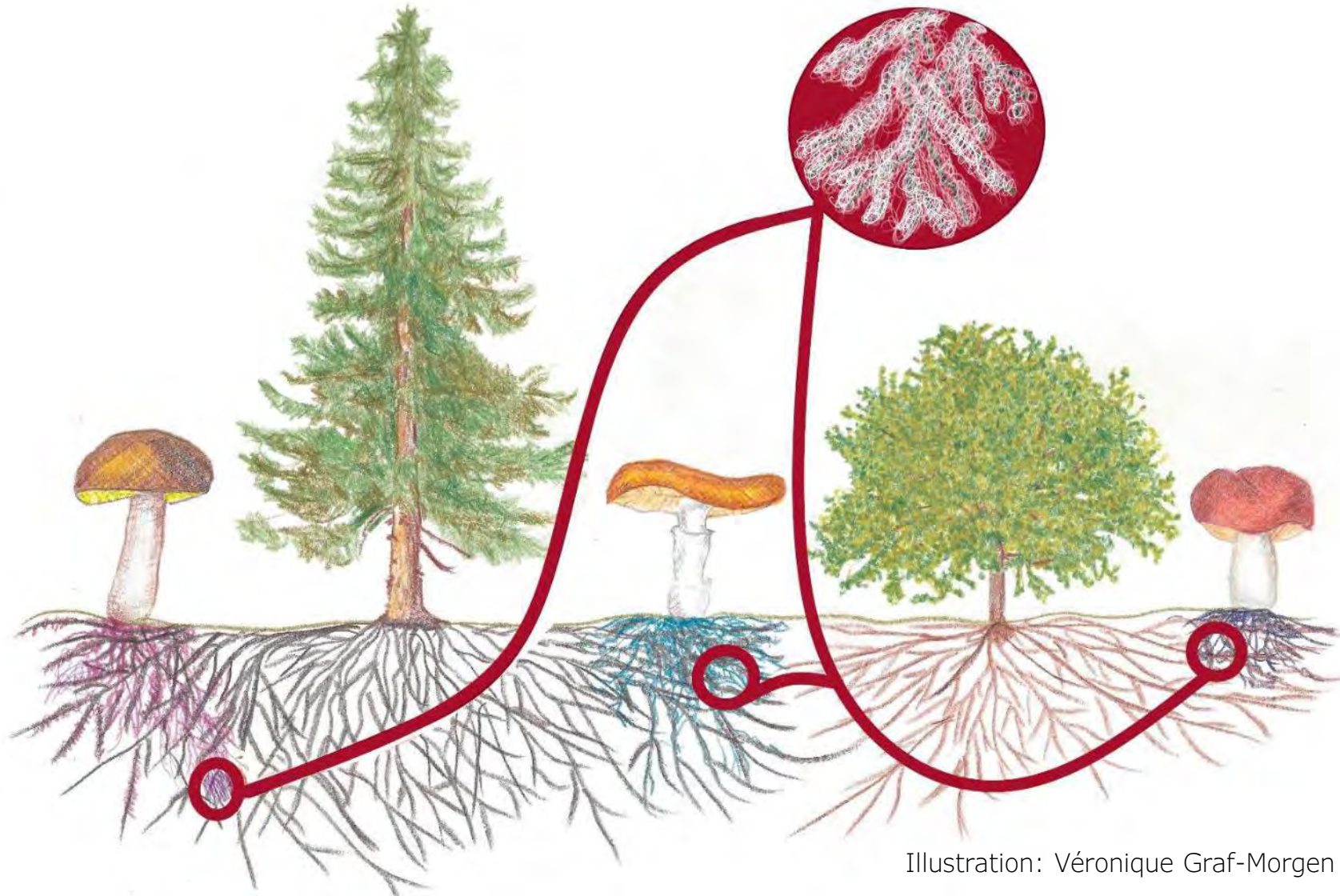


Illustration: Véronique Graf-Morgen

Der Pilzpartner als «Gärtner»



Illustration: Véronique Graf-Morgen

Der Pilzpartner als «Samariter»

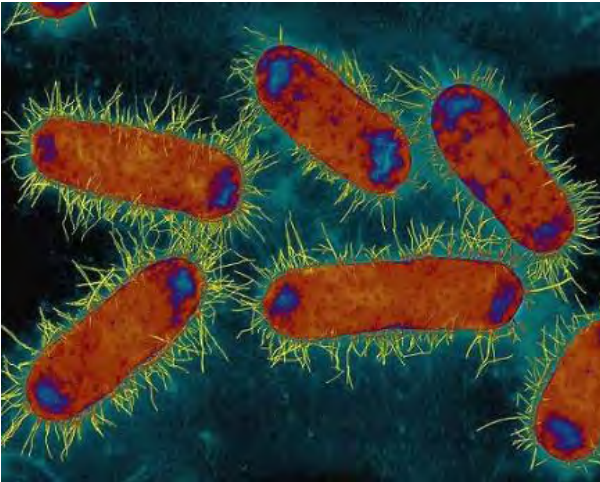
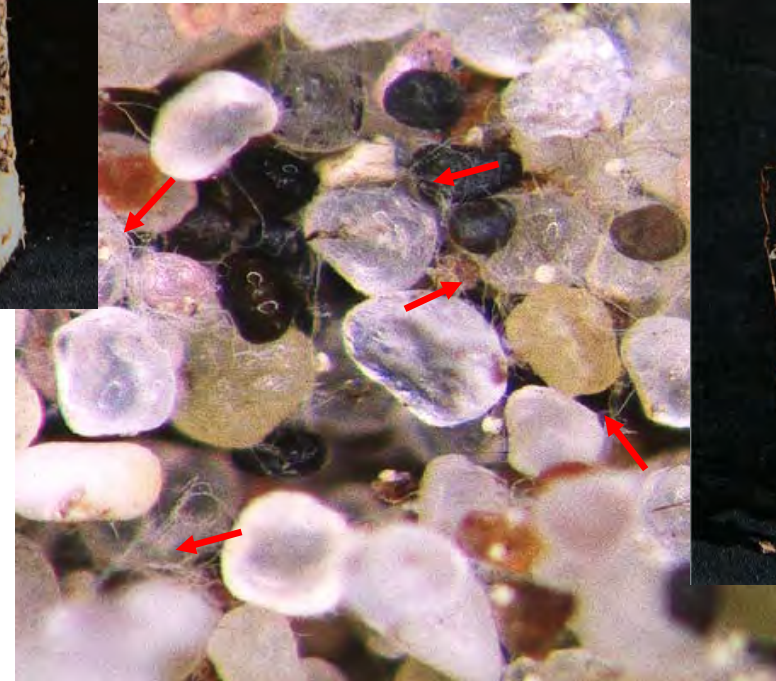


Illustration: Véronique Graf-Morgen

Der Pilzpartner als «Maurer»



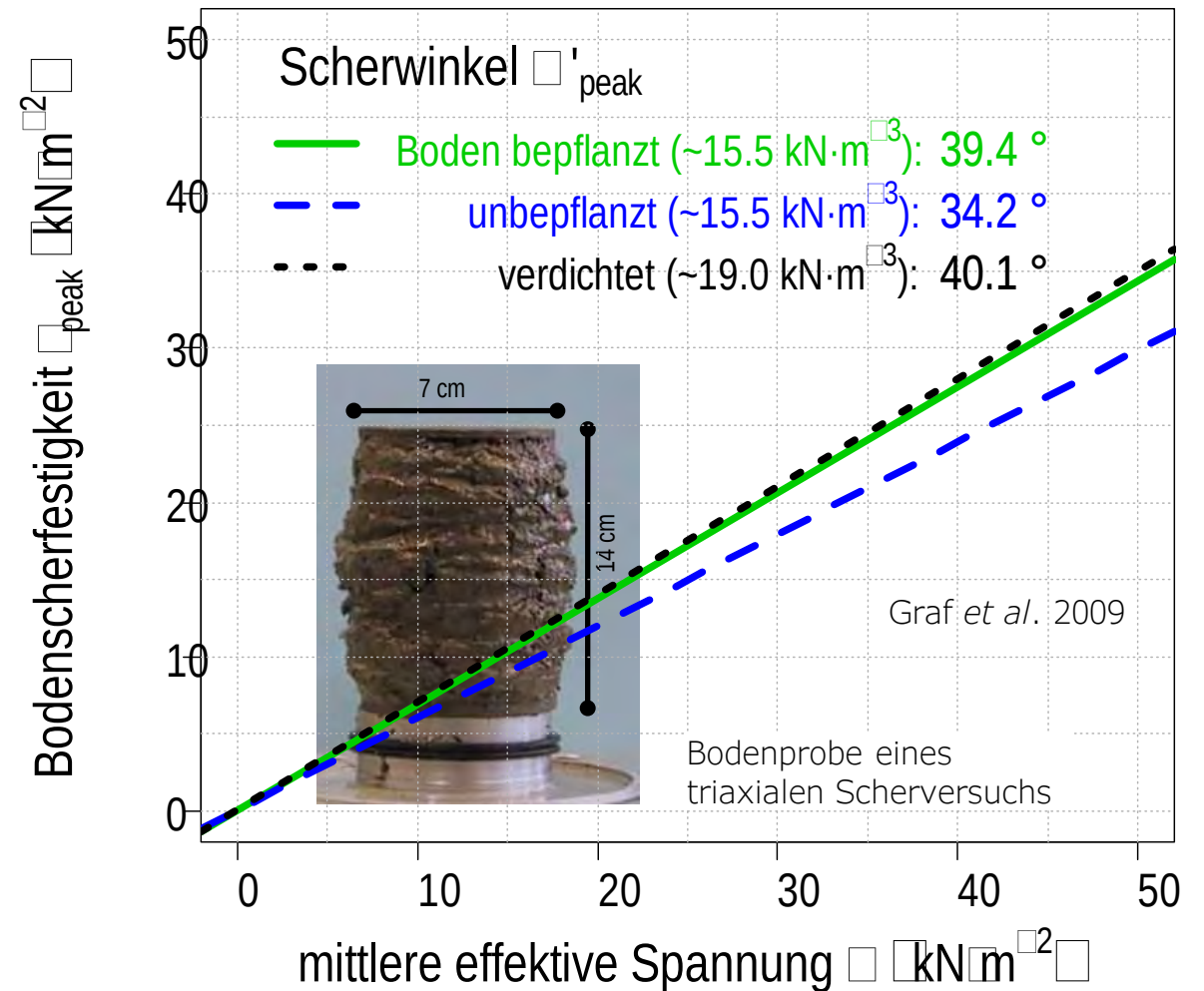
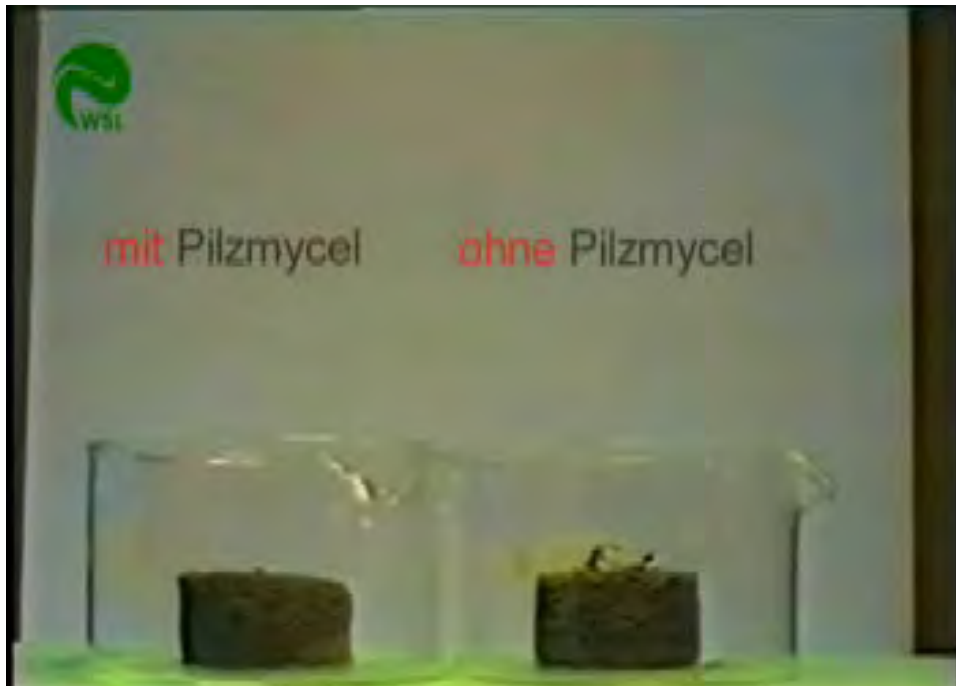
Illustration: Véronique Graf-Morgen



Aggregatstabilität → Bodenmechanik

⇒ Mykorrhizapilze fördern das Wurzelwachstum und somit die Boden-Aggregatstabilität. Die Zunahme im Vergleich zu «Roh-Boden» entspricht einer Verdichtung um $\sim 5 \text{ kNm}^{-3}$ – $15.5 \rightarrow 19.0 \text{ kNm}^{-3}$.

⇒ Die Verdichtung des Bodens um $\sim 5 \text{ kNm}^{-3}$ – $15.5 \rightarrow 19.0 \text{ kNm}^{-3}$ ist vergleichbar mit der Erhöhung des Reibungswinkels um $\sim 5^\circ$.



Mit der Pilzwurzel wachsen, überleben, entwickeln ...

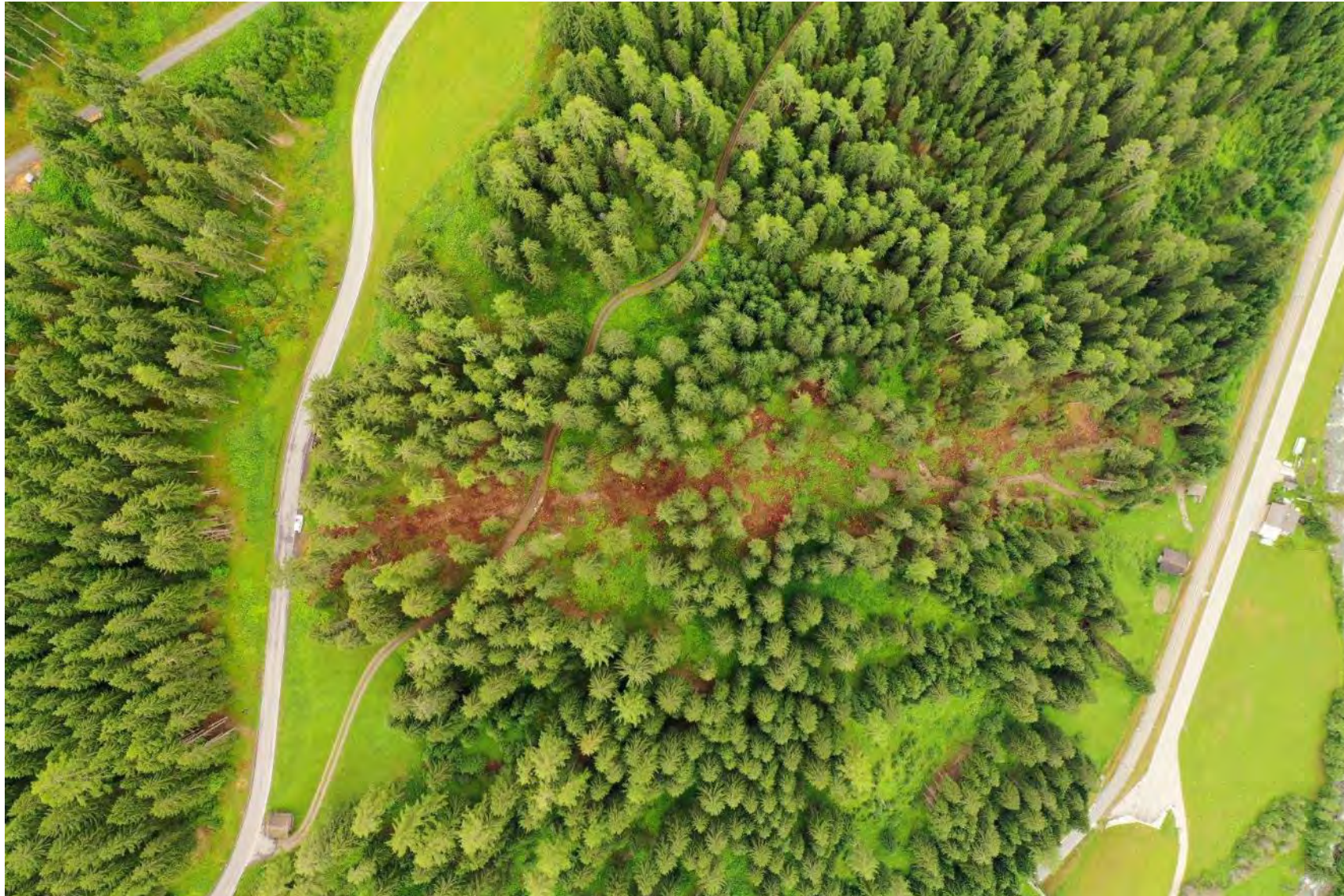


Bast *et al.* 2022

Aufnahmen: Alexander Bast



Der Einfluss der Waldstruktur



Aufnahme: Alexander Bast



Waldstruktur, Bestandescode → provisorische Grenzwerte

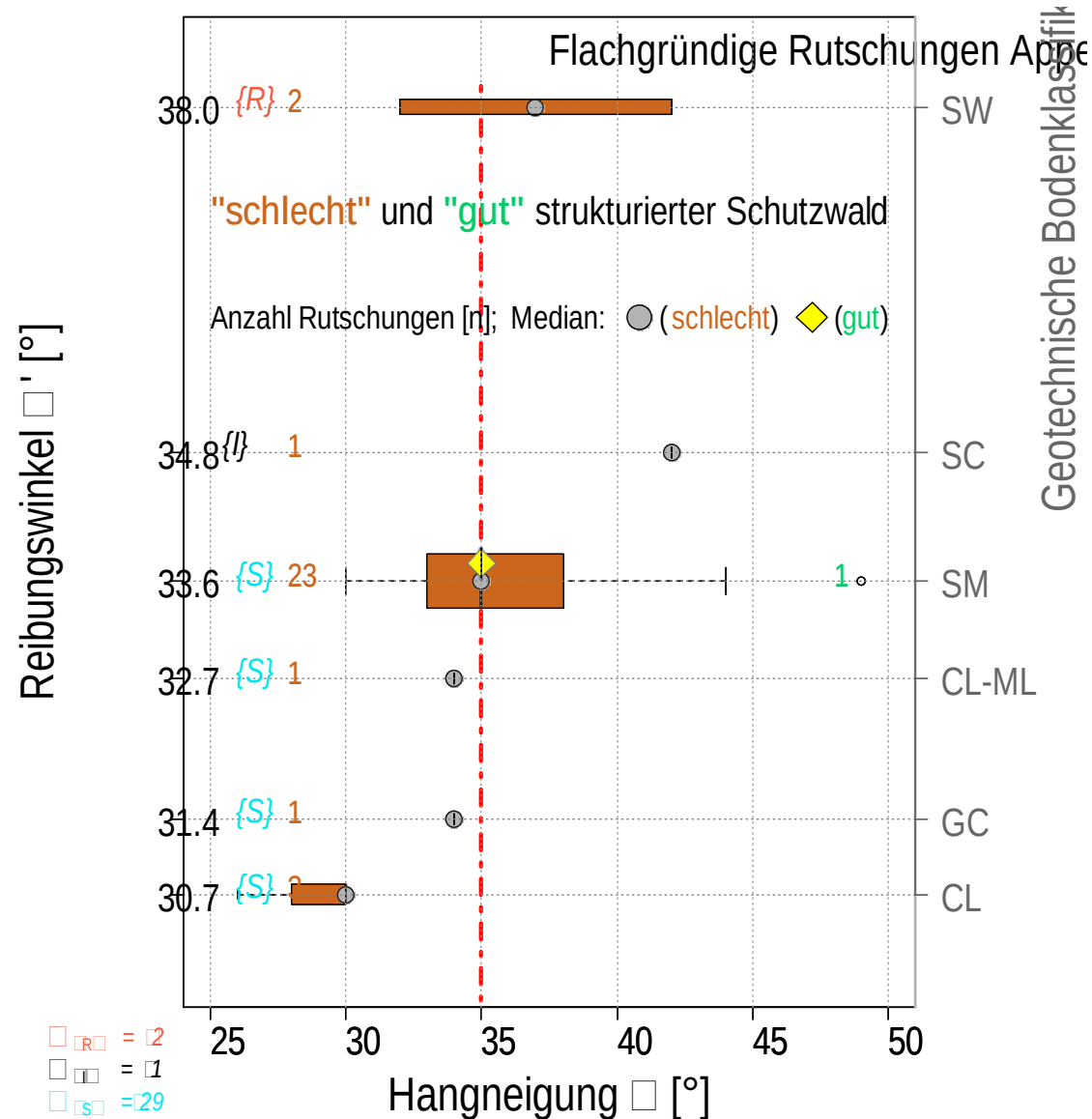


Schichtung		Entwicklungsstufe	
0xxx	unbestockt	x0xx	unbestockt
1xxx	1 einschichtig	x1xx	1 Jungwuchs / Dickung
2xxx	2 mehrschichtig	x2xx	2 Stangenholz
3xxx	2 gut strukturiert	x3xx	3 Baumholz I (BHD 20-35 cm)
		x4xx	3 Baumholz II (BHD 35-50 cm)
		x5xx	3 Baumholz III BHD >50 cm)
		x6xx	4 gut strukturierter Bestand
Mischung		Deckungsgrad (DG; Kronendeckung)	
Xx0x	unbestockt	Xxx0	unbestockt
Xx1x	1 > 80% Nadelholz	xxx1	1 (2) gedrängt (DG=90%)
xx2x	2 Mischbestand	Xxx2	2 normal (DG=80%)
xx3x	3 > 80% Laubholz	xxx3	2 locker (DG=60%)
		xxx4	3 (2) lückig (DG=40%)
		xxx5	3 aufgelöst (DG=20%)

Graf et al. 2017

Aufnahmen: Alexander Bast

Provisorischer «Grenzwert» für Hangneigung: $\alpha_{lim} \equiv 35^\circ$



Rutschungen «Appenzell» gruppiert nach Bodentyp (**R=Reibung**, **I=Intermediär**, **S=Saugspannung**) in Abhängigkeit von Hangneigung α und Waldstruktur (**gut**, **schlecht**; Median: **gut** ◆, **schlecht** ●) mit Angabe von Bodenklassifikation und zugehörigem Reibungswinkel sowie dem Grenzneigungswinkel $\alpha_{lim}=35^\circ$ (strichpunktierte rote Linie).

Waldstruktur und Hangneigung ($\alpha_{lim} \equiv 35^\circ$); Bodentyp

	$\alpha \leq 35^\circ$			$25^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$	
	Waldstruktur		Summe Σ	Alle Rutschungen [n / %]	
	gut	schlecht	[n / %]	gut	schlecht
Sachseln 1997	n=2, 10.0%	n=17, 90.0%	19 / 100	14 / 12.8	95 / 87.2
Appenzell 2002	n=1, 5.0%	n=20, 95.0%	21 / 100	1 / 3.1	31 / 96.9
St. Antönien 2005	n=1, 5.9%	n=16, 94.9%	17 / 100	1 / 4.5	22 / 95.5
$\Sigma_{\text{Total n}}$	4	53	57	16	148
%-Anteil	7	93	100	9.8	90.2

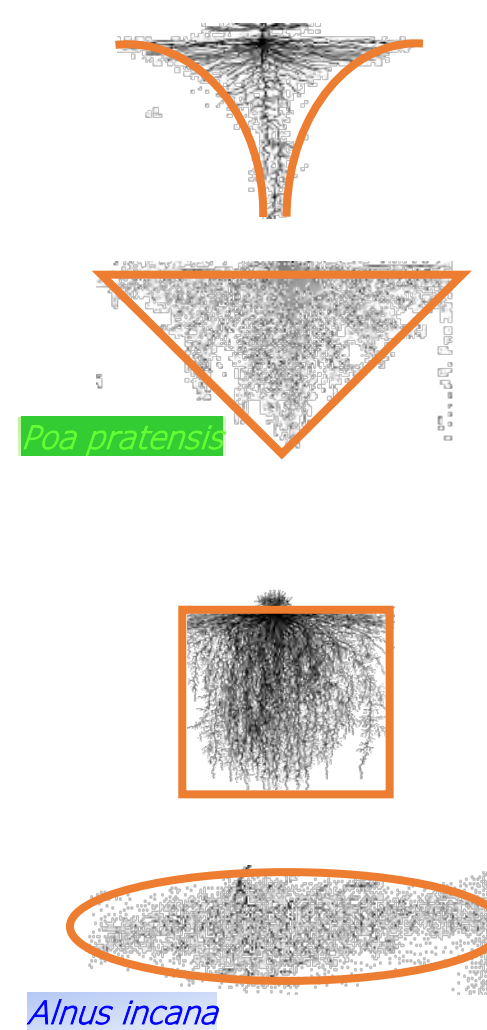
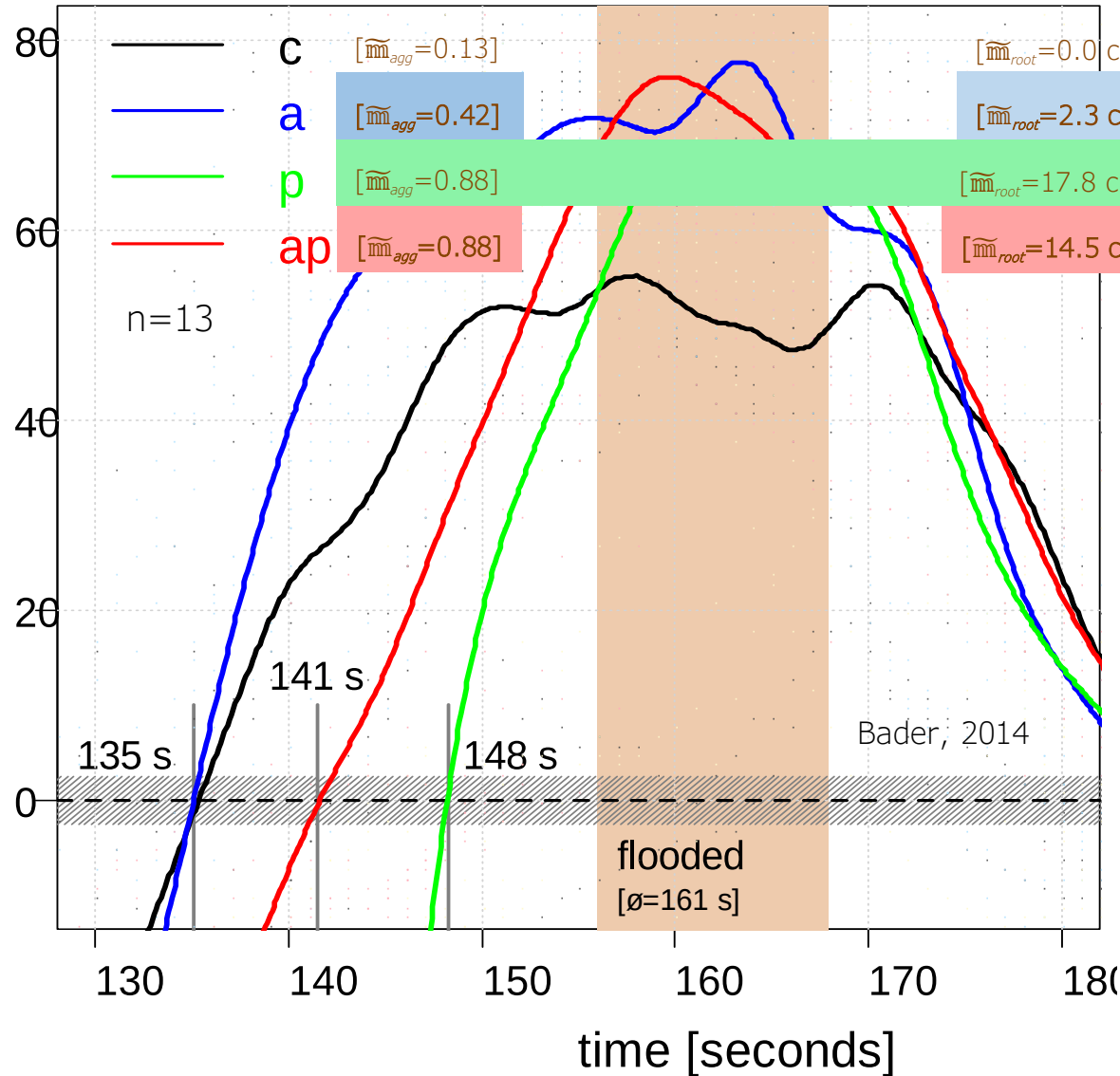
Sachseln 1997
Appenzell 2002
St. Antönien 2005
$\Sigma_{\text{Total n}}$
%-Anteil

Saugspannung (suction, S)
n=73, 67.0%
n=29, 90.6%
n=17, 73.9%
119
72.6



Aggregatstabilität, Porenwasserdruck, Wurzeln

pore water pressure [hF]



Sinkende Widerstandskraft (Boden-Matrix)
mit steigendem Porenwasserdruck

c: Kontrolle (Bodenmaterial unbehandelt) a: bepflanzt mit *Alnus incana*
p: bepflanzt mit *Poa pratensis* ap: bepflanzt mit *A. incana* + *P. pratensis*

Ng et al. 2015



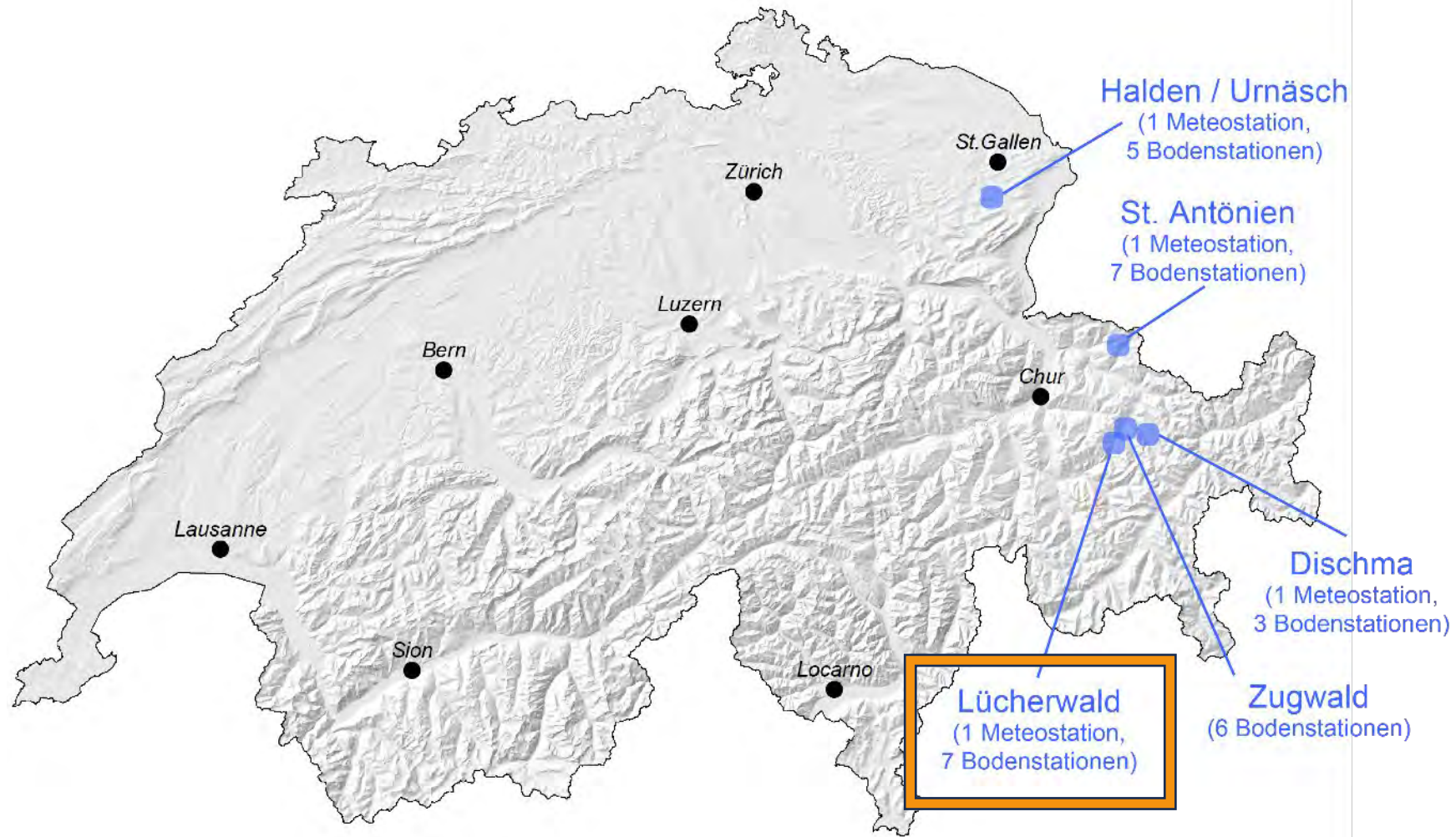
Bodenhydrologie: Messinfrastruktur



Aufnahmen: Alexander Bast



Bodenhydrologie: Untersuchungsstandorte

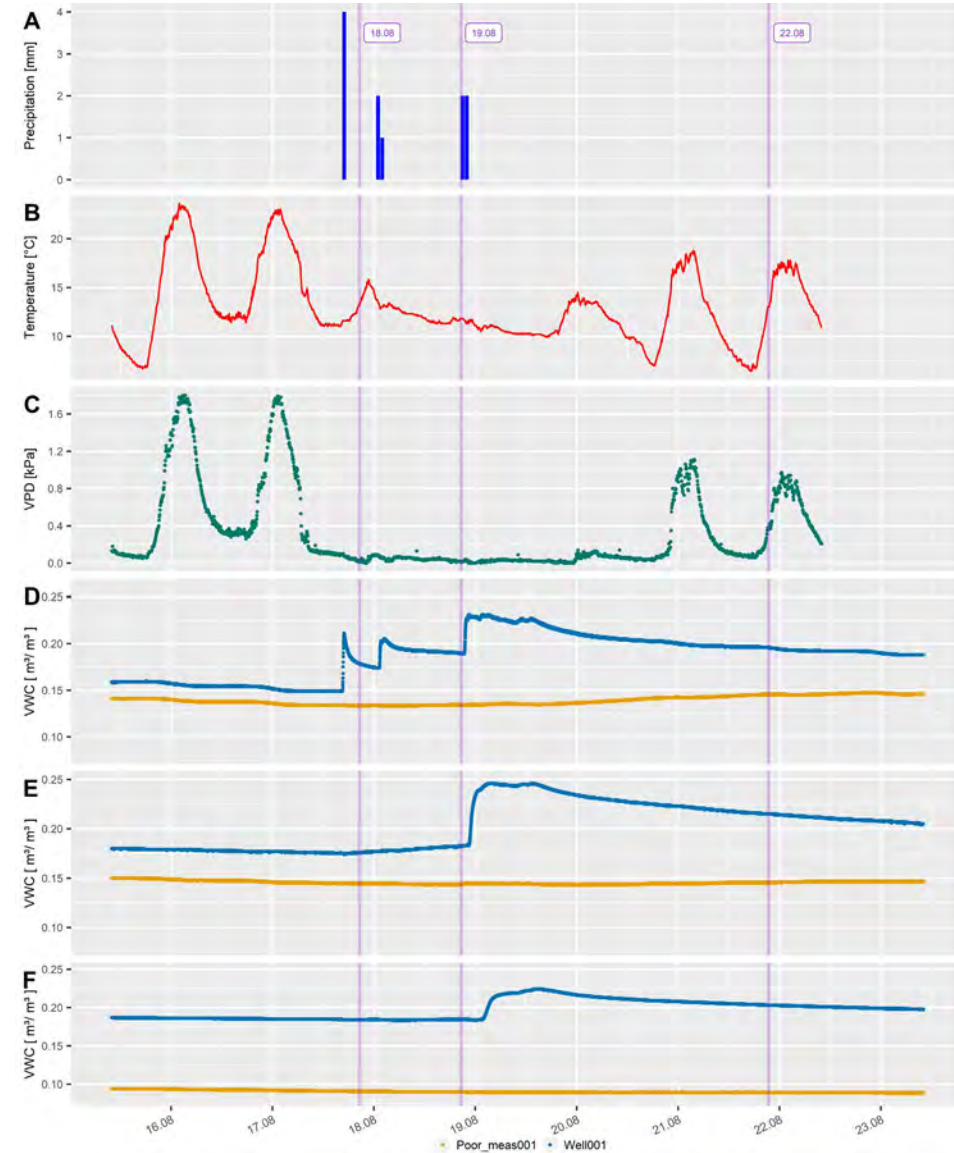




Bodenhydrologie: Lücherwald



Aufnahmen: Alexander Bast



A. Temperli (2022; MSc Arbeit)



Bodenhydrologie: «Veränderung»



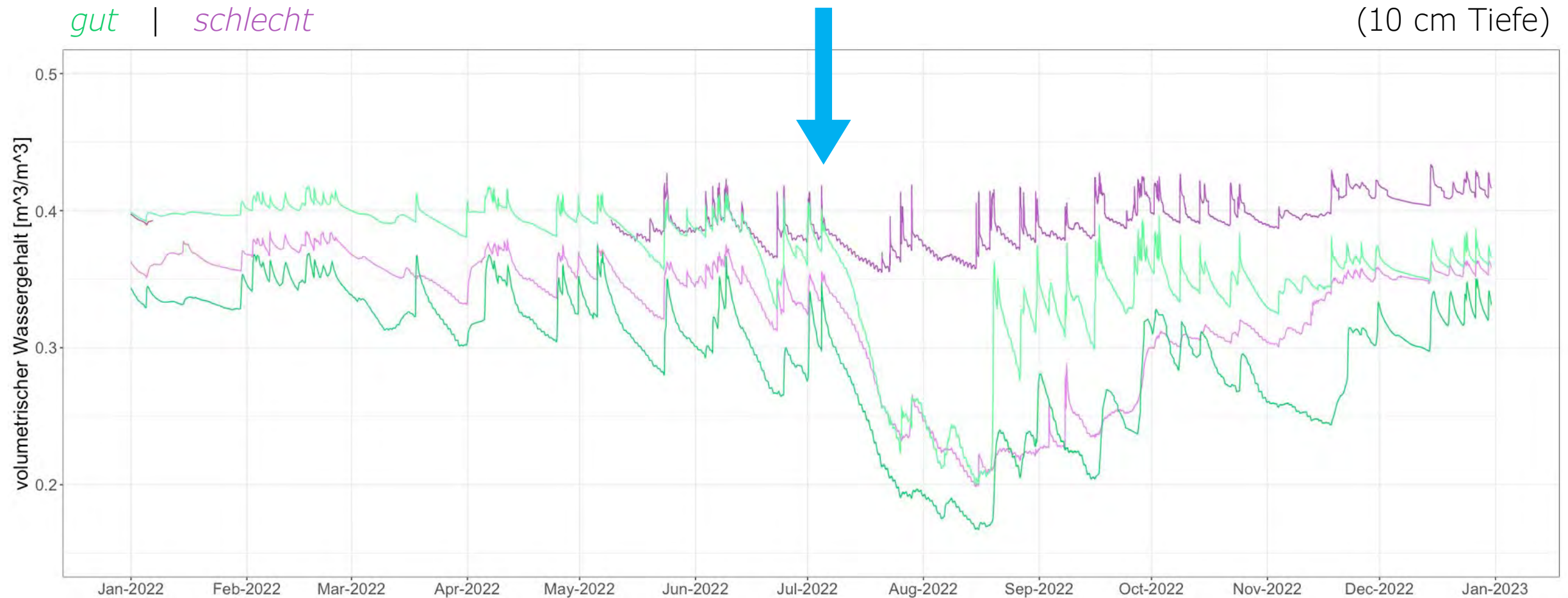
November 2020, Aufnahmen: Alexander Bast

Bodenhydrologie: «Veränderung»



Mai 2022, Aufnahmen: Alexander Bast

Bodenhydrologie: «Veränderung»

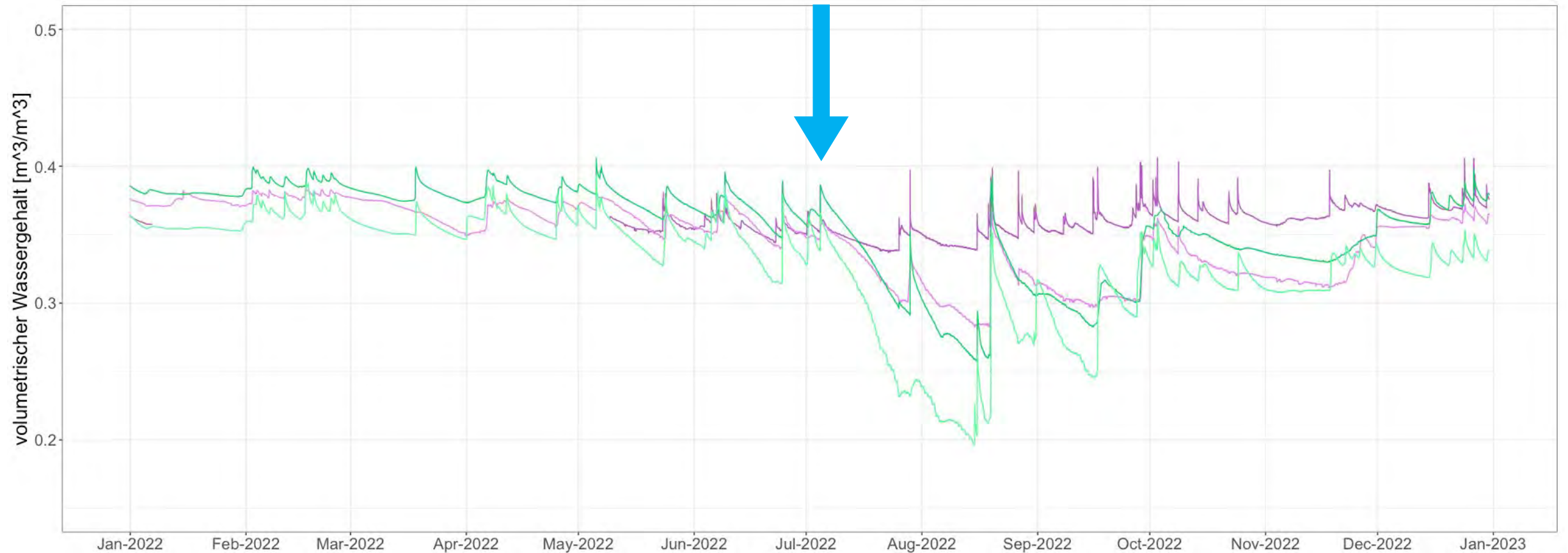


Bast & Graf (in prep.)

Bodenhydrologie: «Veränderung»

gut | schlecht

(50 cm Tiefe)

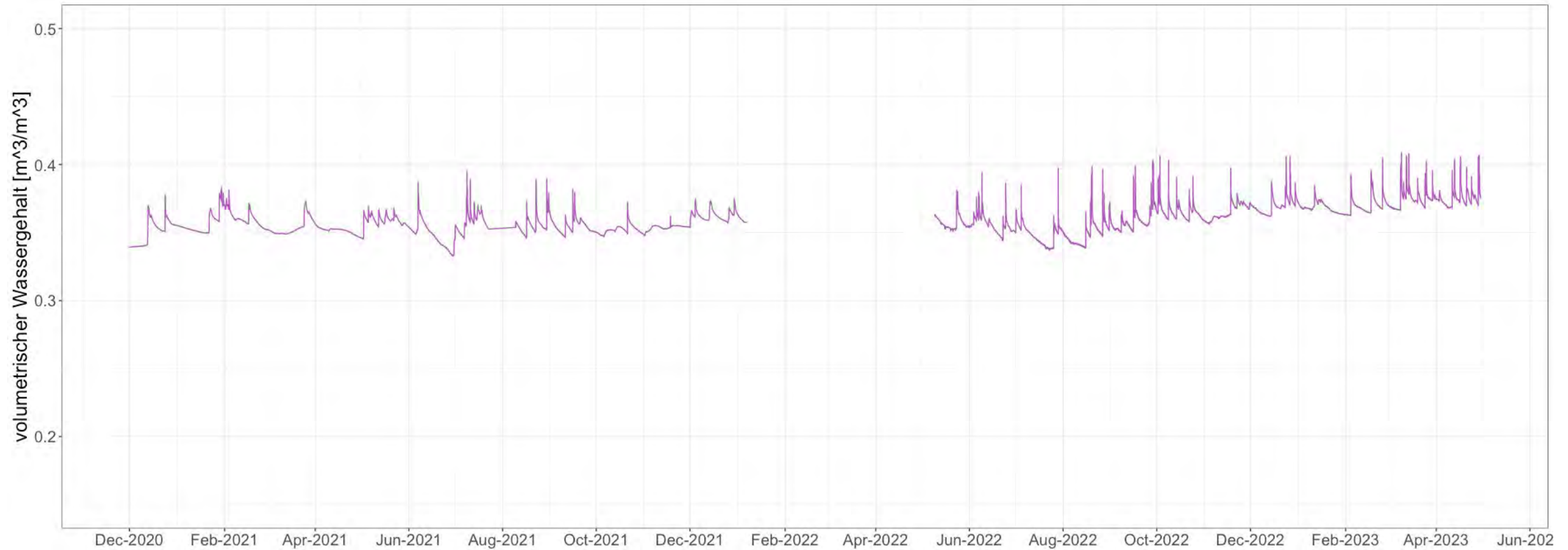


Bast & Graf (in prep.)

Bodenhydrologie: «Veränderung»

schlecht

(50 cm Tiefe)

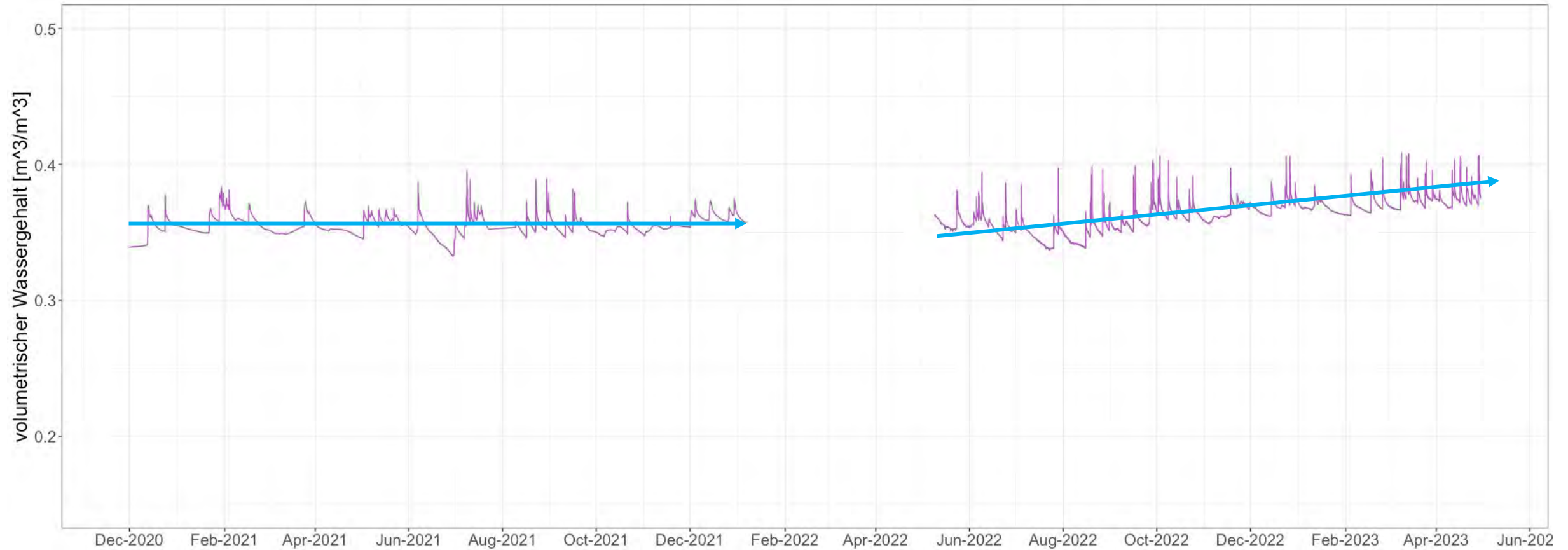


Bast & Graf (in prep.)

Bodenhydrologie: «Veränderung»

schlecht

(50 cm Tiefe)



Bast & Graf (in prep.)

Waldlücken



Swisstopo / SwissImage (map.geo.admin.ch)

Waldlücken



Swisstopo / SwissImage (map.geo.admin.ch)

How does forest structure affect root reinforcement and susceptibility to shallow landslides?

Christine Moos,^{1,2*} Peter Bebi,² Frank Graf,² Josias Mattli,^{1,2} Christian Rickli³ and Massimiliano Schwarz¹

¹ Berne University of Applied Sciences, School of Agricultural, Forest and Food Science HAFL, Zollikofen, Switzerland

² WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos Dorf, Switzerland

³ Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf, Switzerland

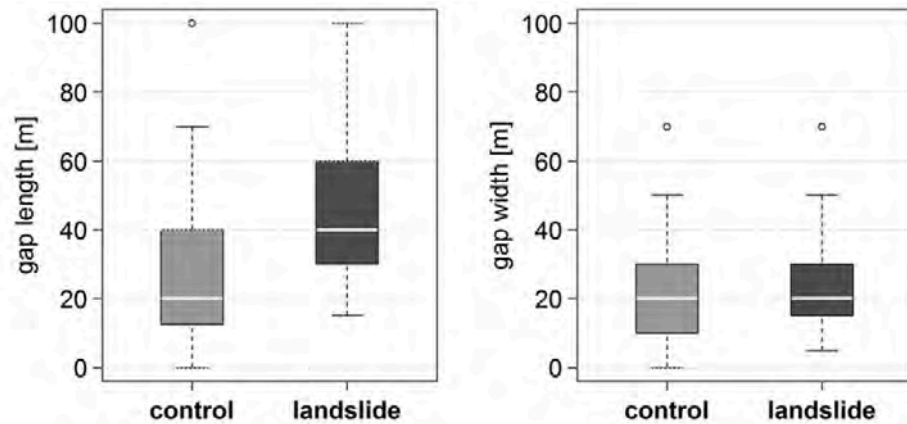


Figure 4. Distribution of lengths (left; significant) and widths (right; not significant) of the largest gaps in control and landslide plots.

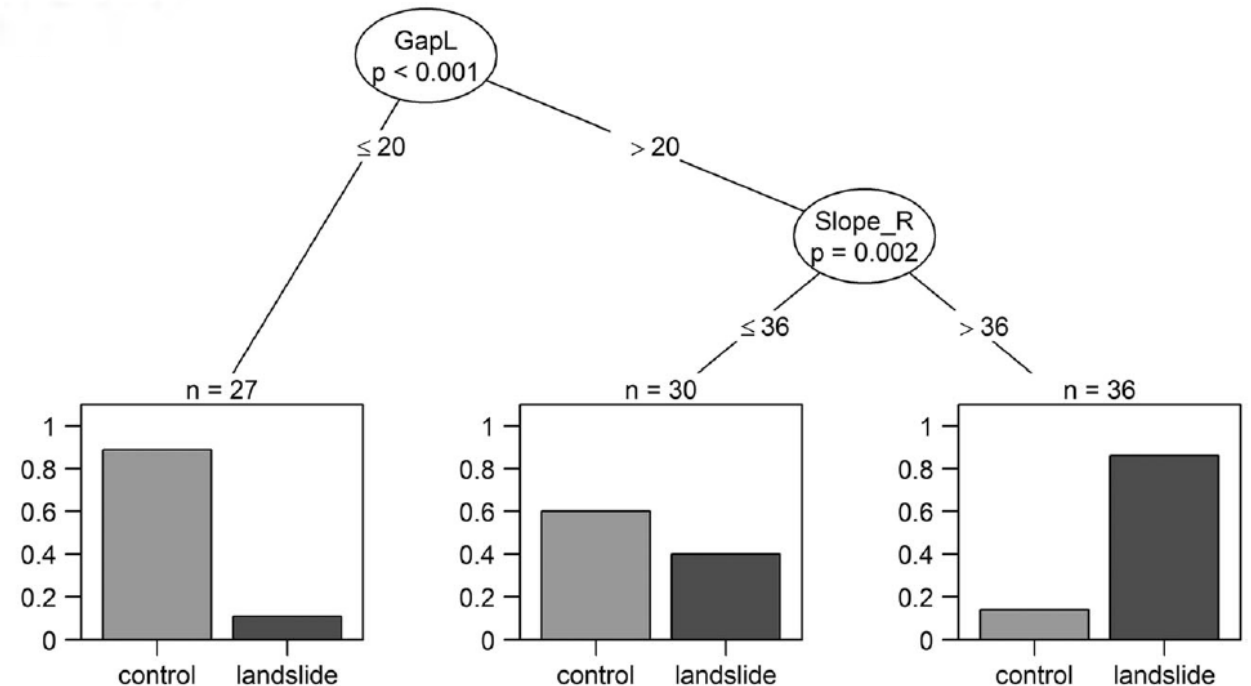
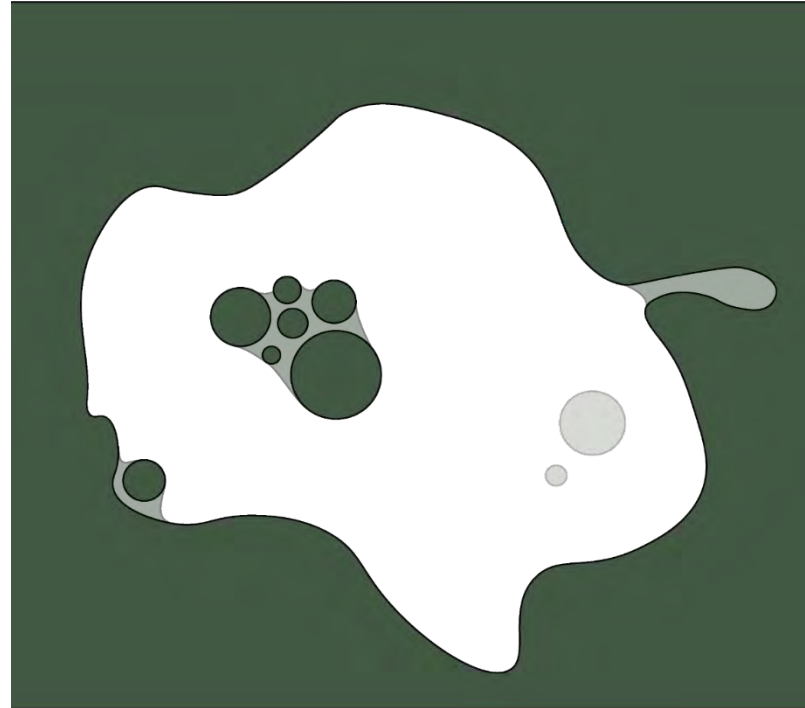


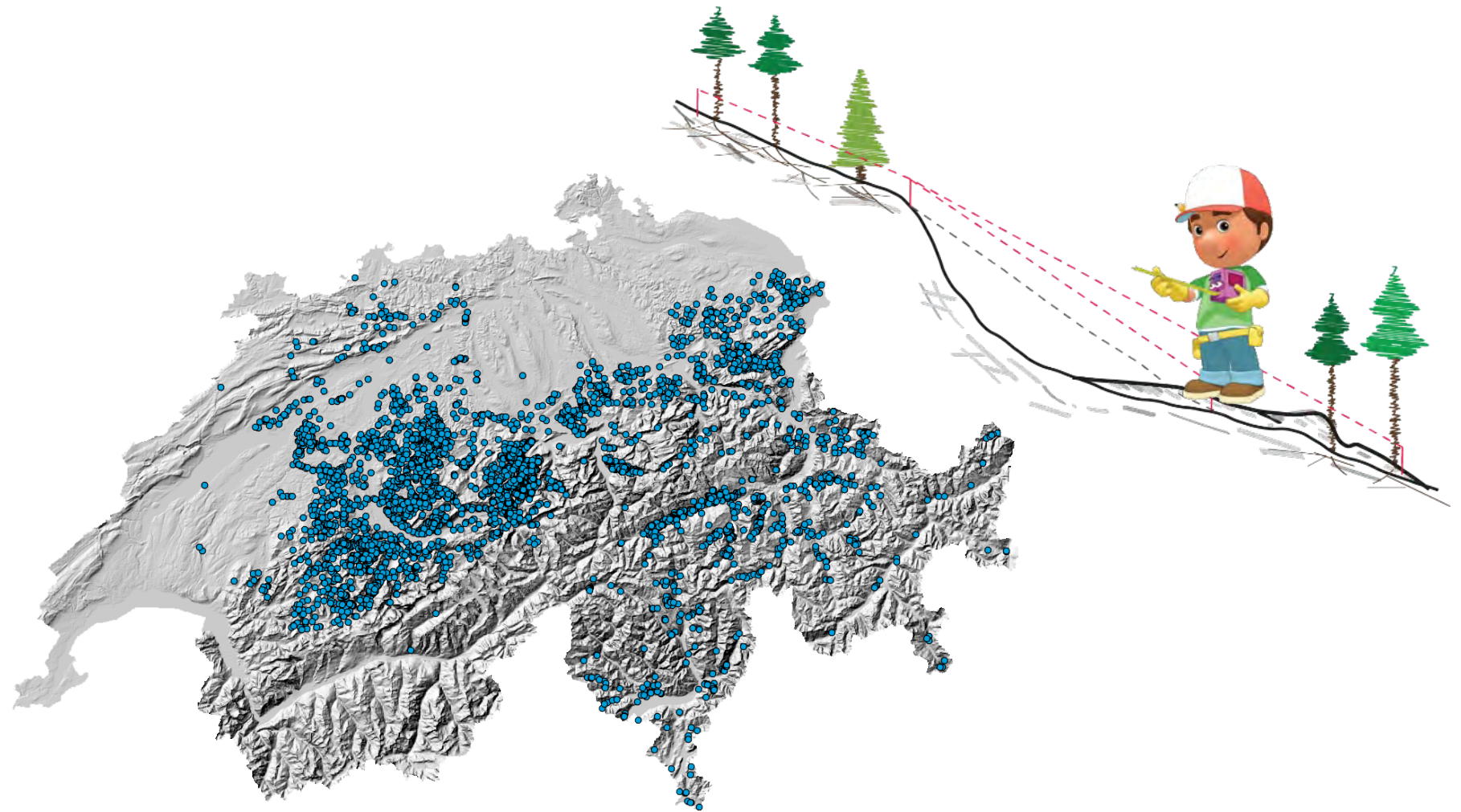
Figure 6. Classification trees to predict landslide occurrence in St Antoenien based on significant forest structural variables and selected terrain variables. The models were fitted with the whole data set ($n = 93$). The n -values exhibit the number of cases explained by the corresponding variable. GapL: length of largest gap; Slope_R: slope at the release point; tree1: distance to the nearest tree; WLno: no signs of water logging.



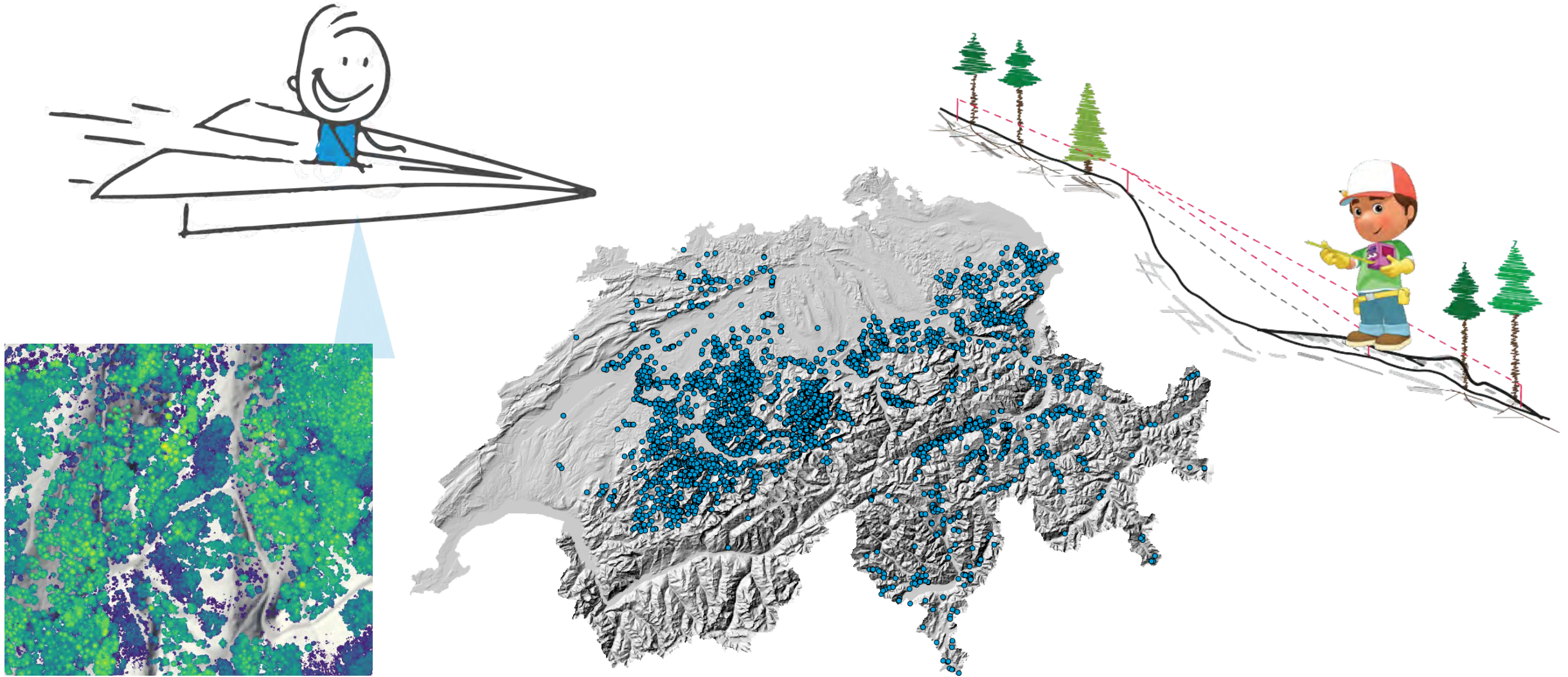
Waldlücken



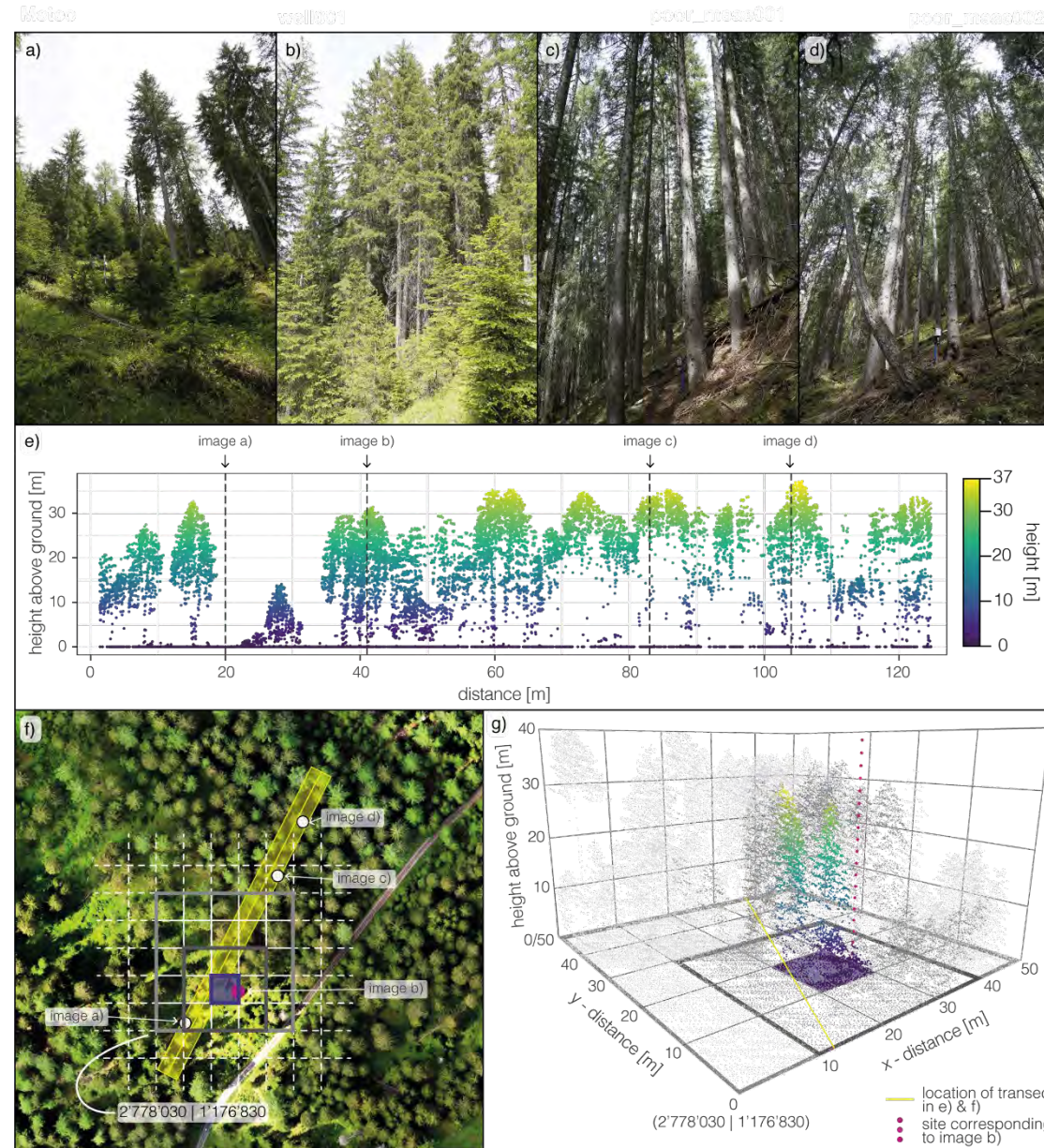
Waldlücken



Waldlücken



flächendeckende (Wald)Informationen

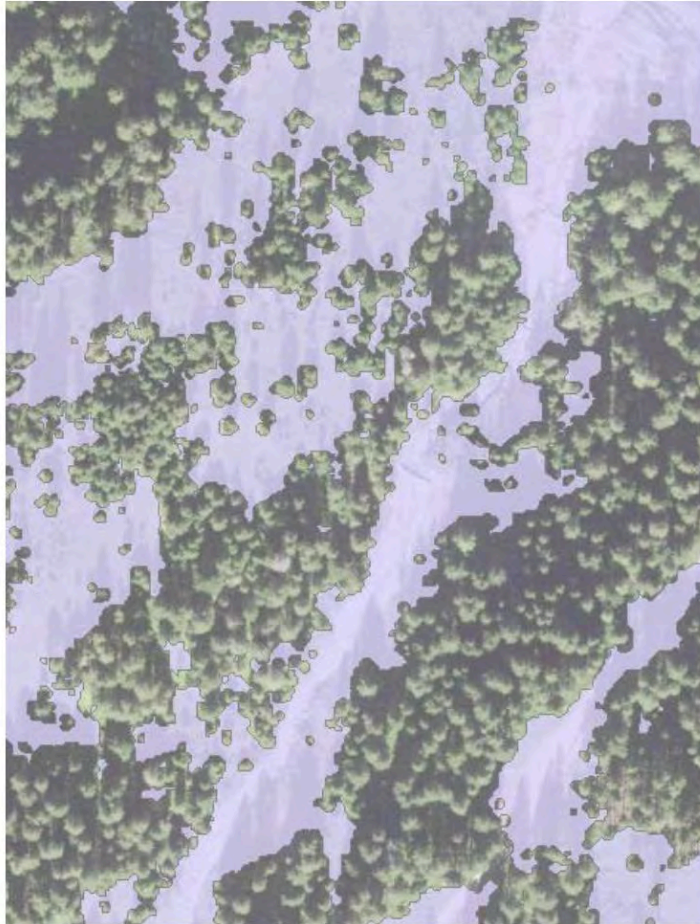


Bast *et al.* (in prep)

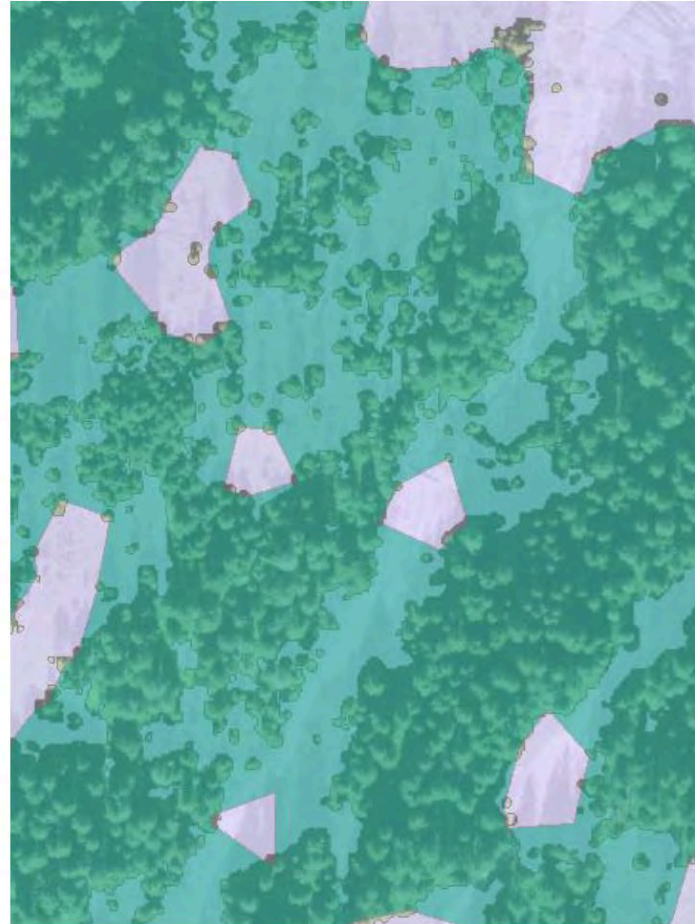


Waldlücken

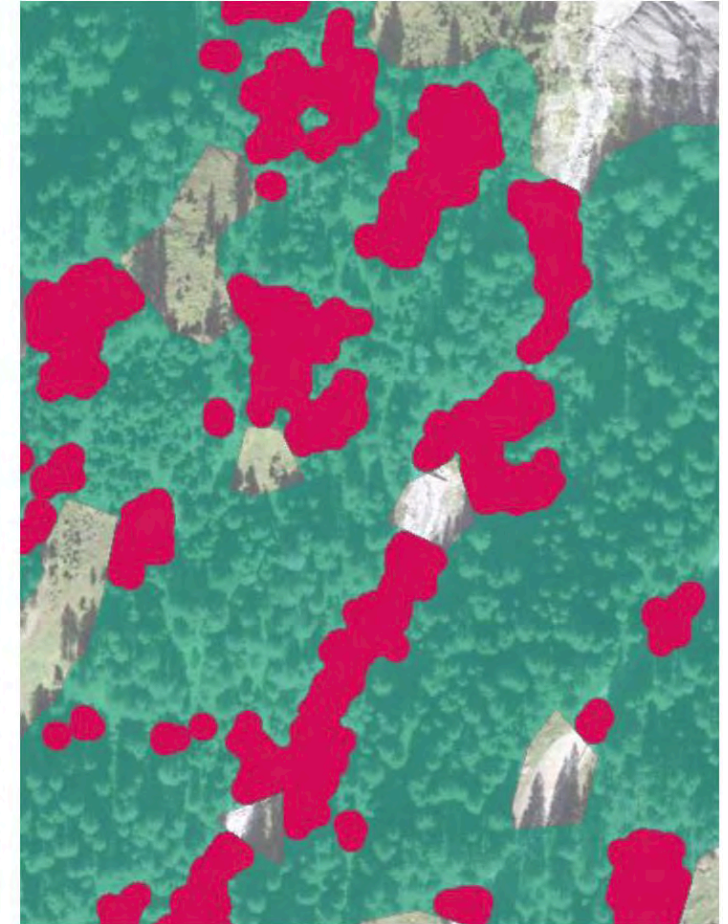
 Gaps (opening)



 Forest cover



 Forest gaps within forest

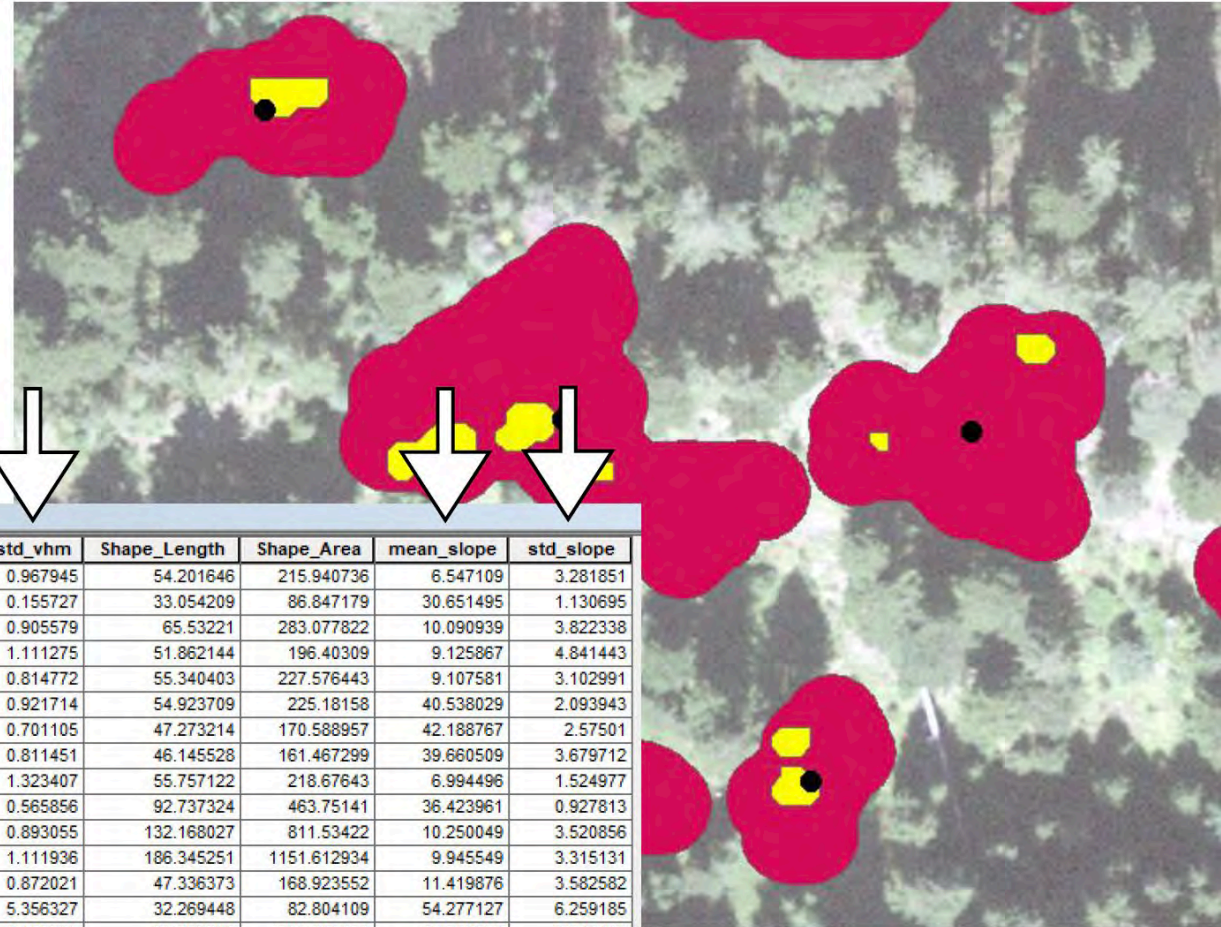


Piermattei *et al.* (in prep.)



Waldlücken

- Forest gaps within forest
- Single trees within the gap
- gap_centroid (point shapefile)



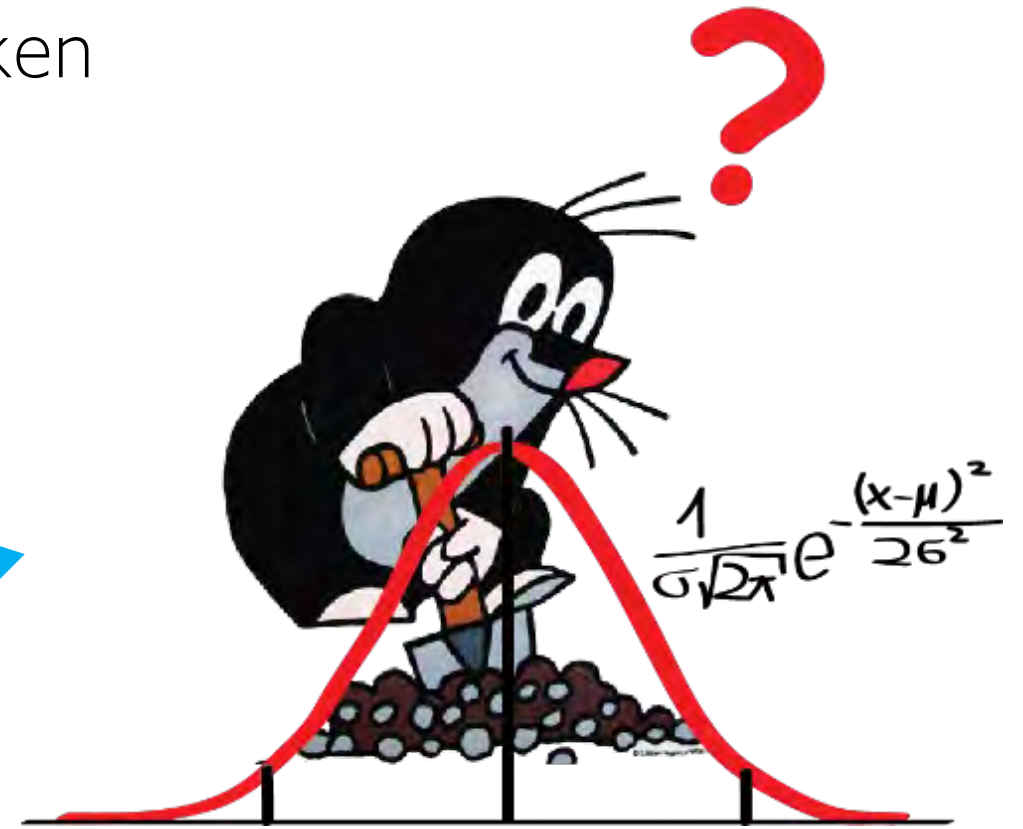
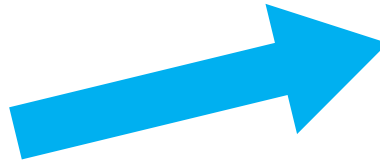
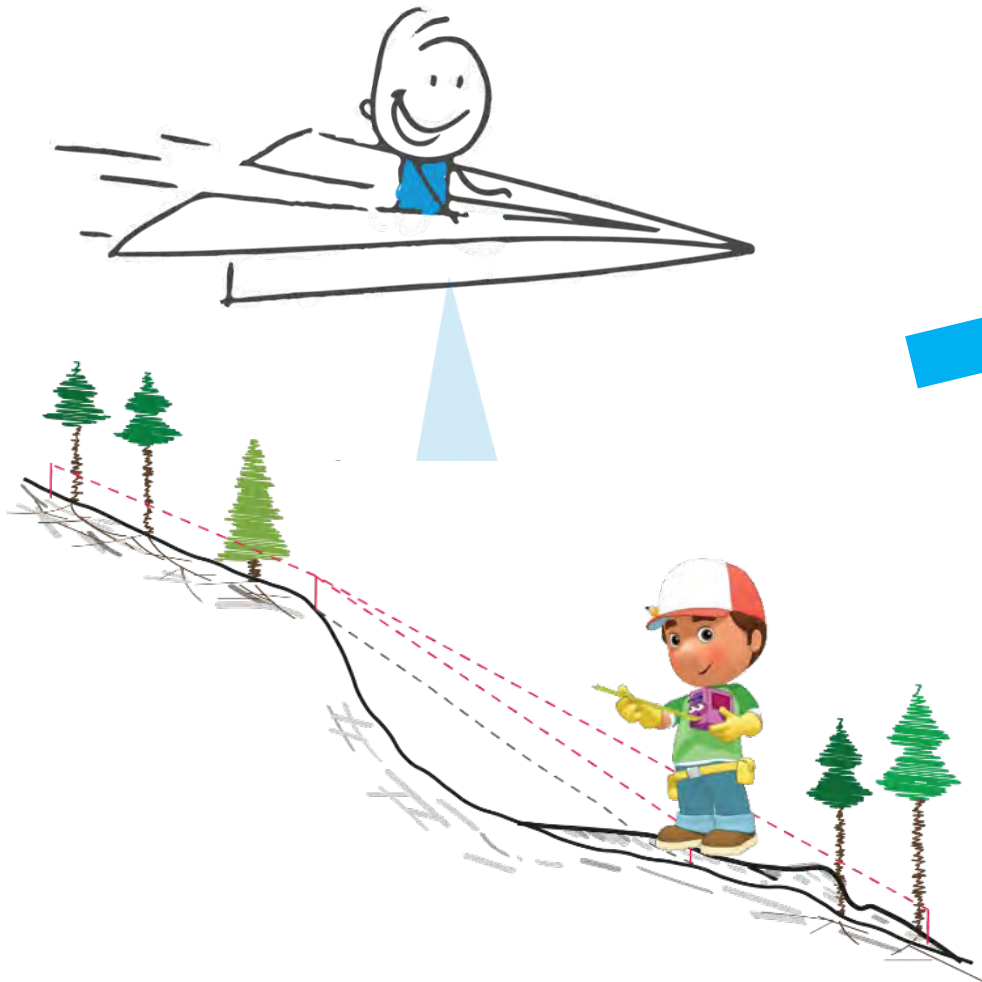
Gaps attributes

gapsInForest_singleF_countTree50m2_ZonalStat

	OBJECTID *	Shape *	tree_count	GAP_ID	AREA_m2	mean_vhm	std_vhm	Shape_Length	Shape_Area	mean_slope	std_slope
▶	1	Polygon ZM	1	1	215.940736316145	0.429346	0.967945	54.201646	215.940736	6.547109	3.281851
	2	Polygon ZM	0	2	86.847179435439	0.030498	0.155727	33.054209	86.847179	30.651495	1.130695
	3	Polygon ZM	1	3	283.077821880344	0.99334	0.905579	65.53221	283.077822	10.090939	3.822338
	4	Polygon ZM	1	4	196.40309013742	0.248927	1.111275	51.862144	196.40309	9.125867	4.841443
	5	Polygon ZM	0	5	227.576443380821	0.688946	0.814772	55.340403	227.576443	9.107581	3.102991
	6	Polygon ZM	1	6	225.18158045889	1.029597	0.921714	54.923709	225.18158	40.538029	2.093943
	7	Polygon ZM	0	7	170.588957231341	0.40799	0.701105	47.273214	170.588957	42.188767	2.57501
	8	Polygon ZM	0	8	161.467299012959	0.747697	0.811451	46.145528	161.467299	39.660509	3.679712
	9	Polygon ZM	2	9	218.676430297873	1.474327	1.323407	55.757122	218.67643	6.994496	1.524977
	10	Polygon ZM	0	10	463.751409814788	0.558834	0.565856	92.737324	463.75141	36.423961	0.927813
	11	Polygon ZM	3	11	811.534220111828	0.633424	0.893055	132.168027	811.53422	10.250049	3.520856
	12	Polygon ZM	6	12	1151.61293353053	0.895738	1.111936	186.345251	1151.612934	9.945549	3.315131
	13	Polygon ZM	0	13	168.92355240575	0.734923	0.872021	47.336373	168.923552	11.419876	3.582582
	14	Polygon ZM	1	14	82.8041093154371	2.345785	5.356327	32.269448	82.804109	54.277127	6.259185
	15	Polygon ZM	0	15	261.380033263102	0.339373	0.466782	60.237742	261.380033	38.357993	0.936413
	16	Polygon ZM	0	16	211.263053363969	0.277412	0.404385	54.795533	211.263053	44.501205	4.555736
	17	Polygon ZM	0	17	508.599007455533	0.837898	0.675387	91.284303	508.599007	38.904383	1.420656

Piermattei *et al.* (in prep.)

Waldlücken

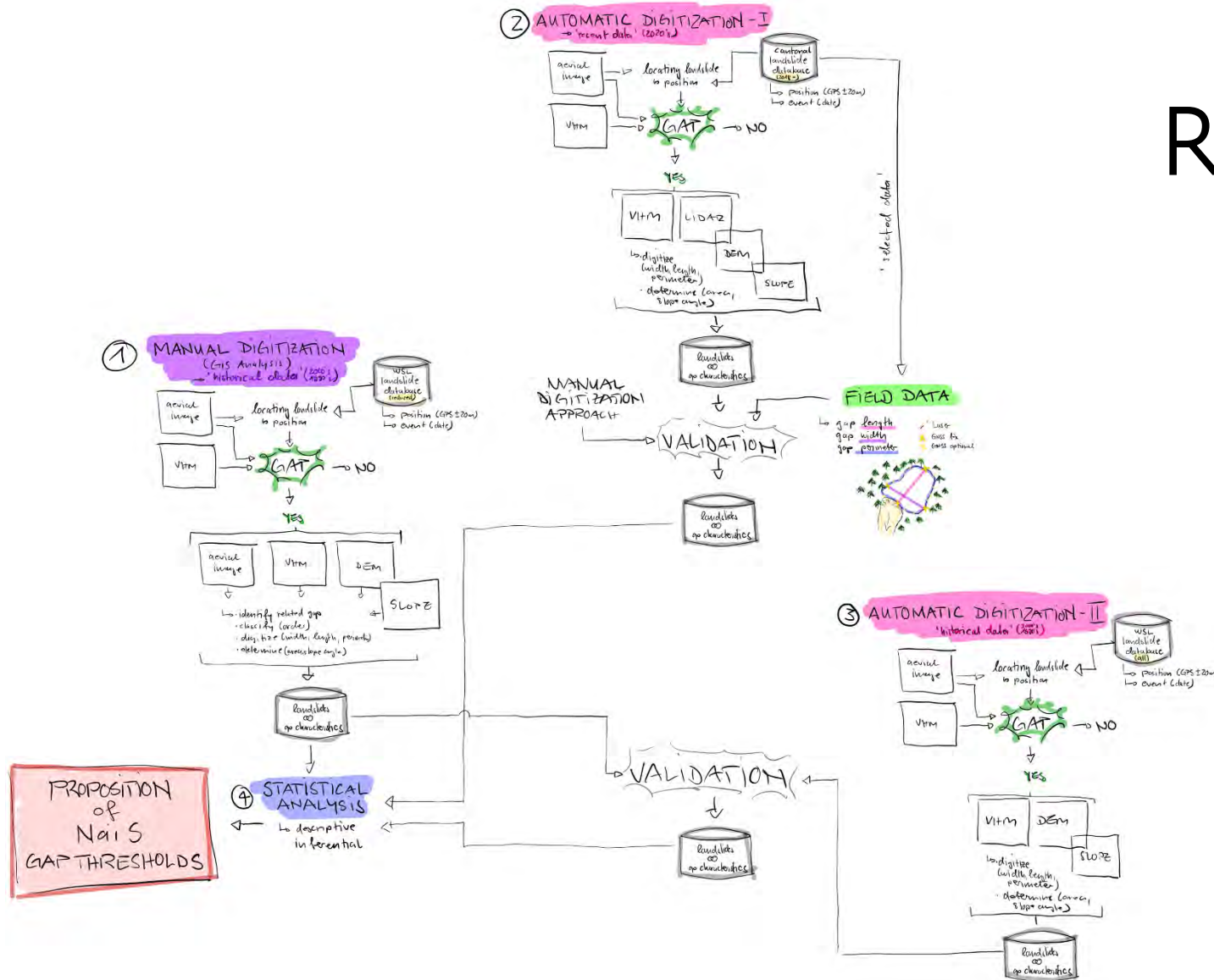


Ableitung der relevanten
Lückeneigenschaften

Waldlücken

(Kantonale) Rutschungsdaten?!

bast@slf.ch
graf@slf.ch



3^d-Diversität → ober-, unterirdisch, zeitlich, ...

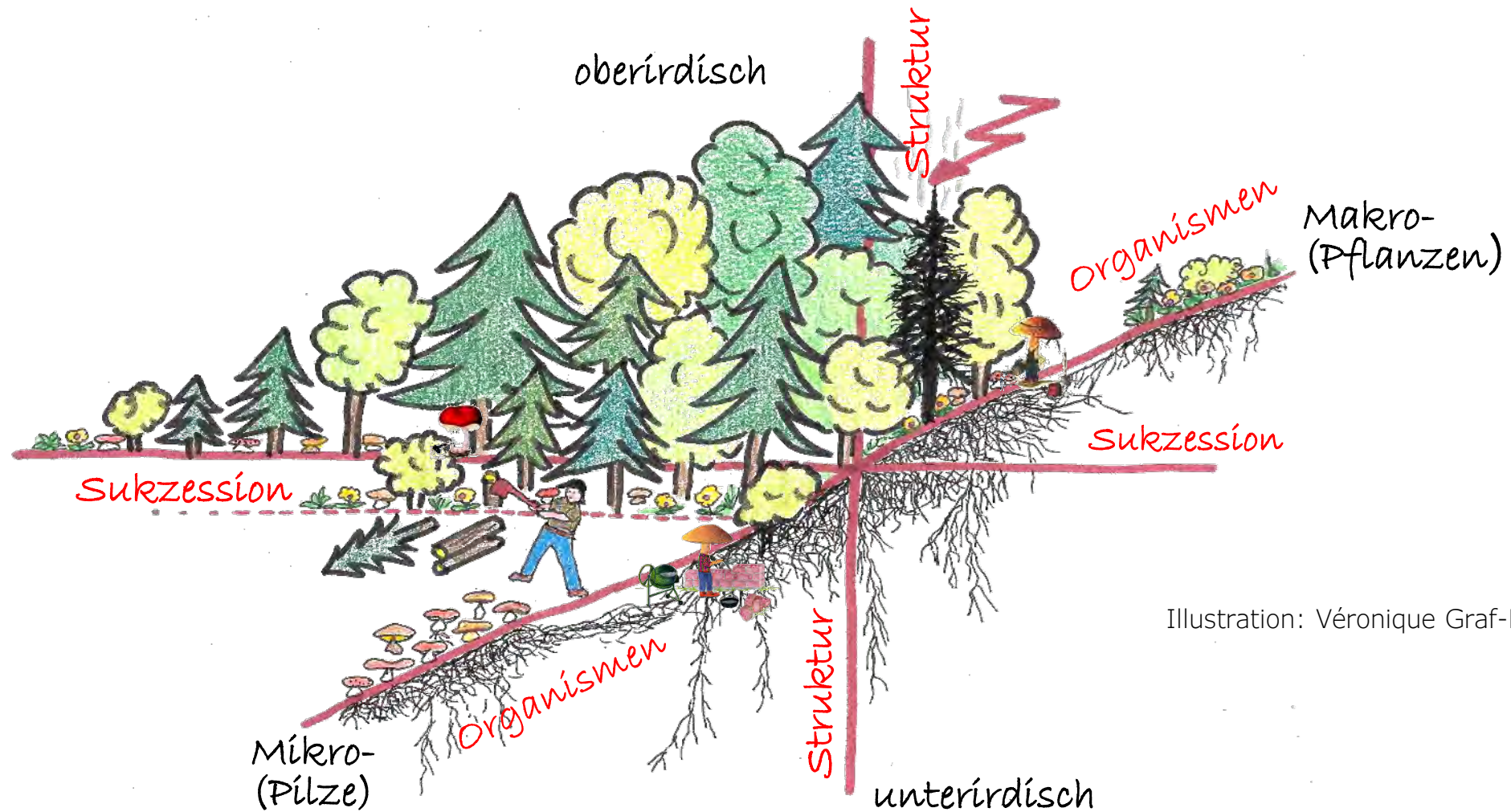
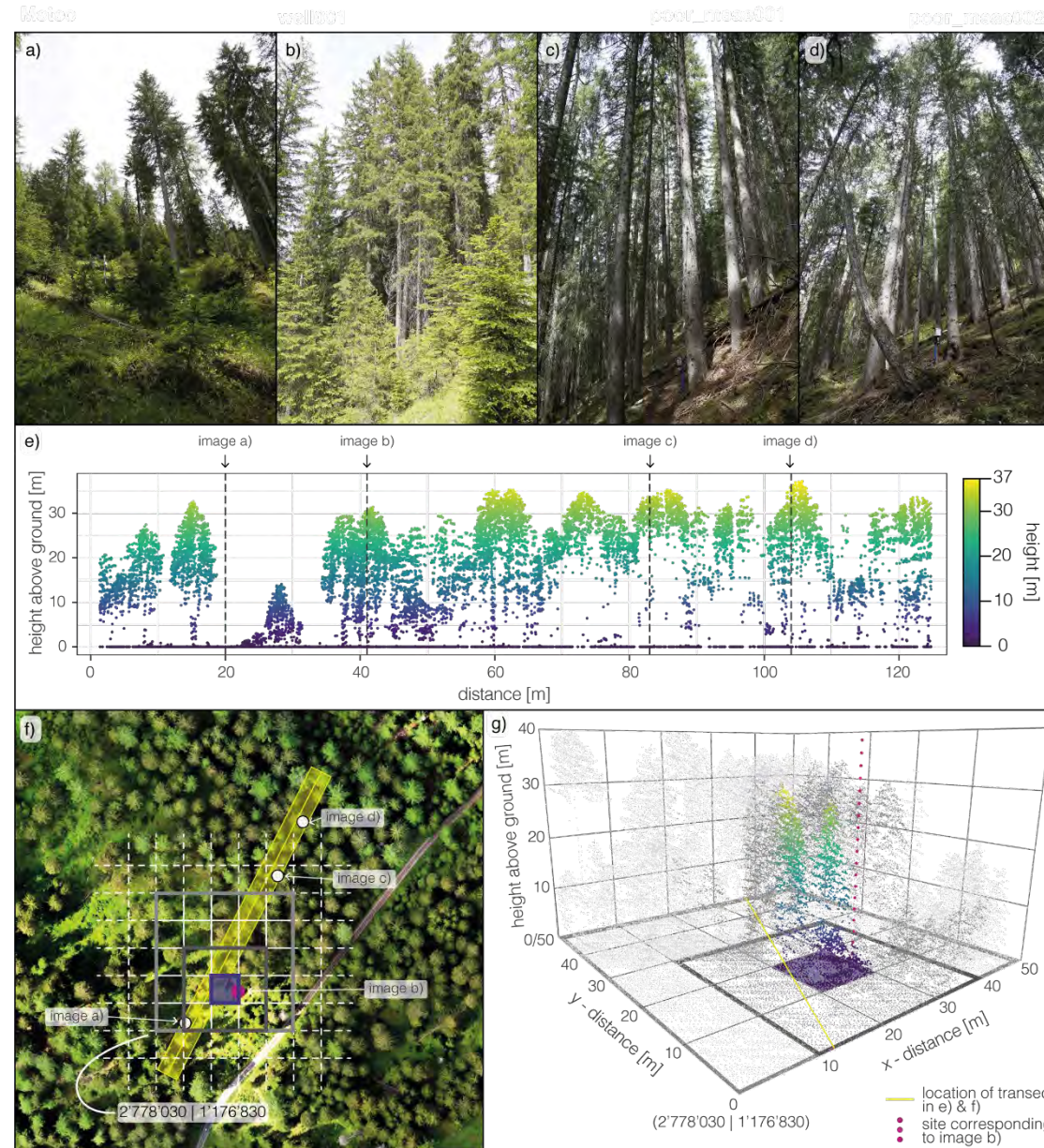


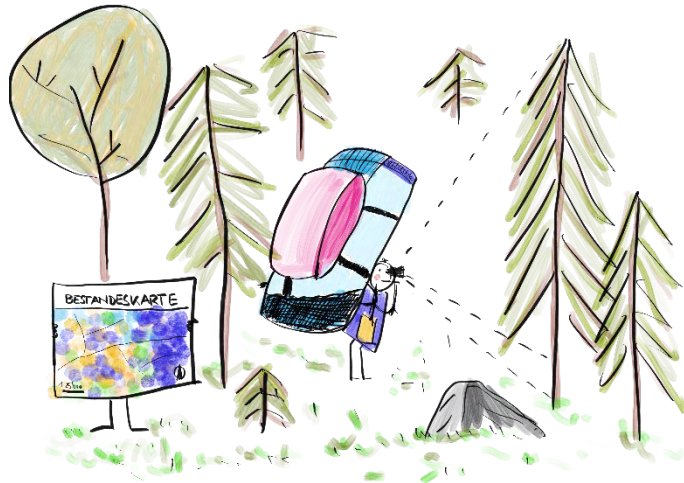
Illustration: Véronique Graf-Morgen

flächendeckende (Wald)Informationen



Bast *et al.* (in prep)

Wissenstransfer: Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft



maps.wsl.ch

Wissenstransfer: Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft



Herzlich Willkommen bei maps.wsl.ch!

Mehrere Projekte teilen sich die Idee, unsere erforschten, räumlichen Produkte möglichst verständlich und praxisnah umzusetzen. Anwenderinnen und Anwender in der Praxis und Administration sowie alle Interessierte, seien es Jugendliche, Erwachsene oder Forscherinnen und Forscher, sollen so einfachen Zugang zu unseren Resultaten erhalten.

Was ist aus der Idee geworden? - maps.wsl.ch

Nach knapp einjähriger Entwicklungsarbeit ist maps.wsl.ch im November 2021 «on air» und stellt am WSL und SLF entwickelte Produkte – namentlich räumliche Daten – kartographisch, interaktiv, agil und dynamisch dar.

Derzeit sind vier Applikationen in der Entwicklungs- und Testphase: (i) Schutzwald und flachgründige Rutschungen, (ii) Schutzwald und Lawinen, (iii) Permafrost und (iv) WSL Drohnen Logbuch.

SHALLOW LANDSLIDES

SNOW AVALANCHES

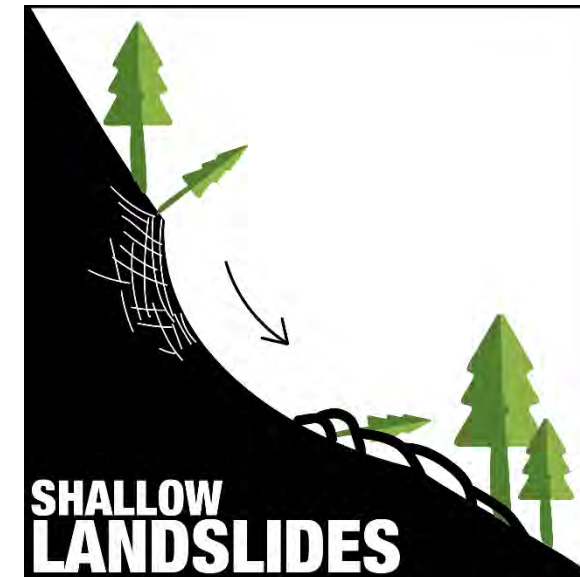
PERMAFROST

DRONE LOGBOOK

Aufgrund rechtlicher Einschränkungen können im Moment leider noch nicht alle Inhalte öffentlich zur Verfügung gestellt werden. Das wird im Verlauf des Jahres 2022 behoben. Zudem werden die Inhalte der Karten periodisch angepasst und thematisch erweitert. – Weitere Besuche auf unserer Webseite lohnen sich in jedem Fall.

WICHTIG! Unsere dargestellten Inhalte sind meist die Ergebnisse von Modellierungen. Modelle sind mit Unsicherheiten behaftet und können daher von der Realität abweichen. Zu beachten sind daher die zugehörigen Beschreibungen, Hinweise, verlinkte Publikationen und Urheberrechte. **Unsere Karten haben keine Rechtsverbindlichkeit!**

Feedback? – Karten leben von Anwenderinnen und Anwendern! Wir freuen uns daher über kritische Rückmeldungen, Ideen und Vorschläge.



Forschungsziele $\Rightarrow$ Folgerungen für NaiS-Profil «Rutschungen»

Ziele unserer Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit Hangstabilität und Waldstruktur

- o *Quantifizierung* des Schutzwald-Potentials basierend auf praxistauglichen und etablierten Kriterien $\Rightarrow$ *Bestandescode*
- o Empfehlung für *Grenzwerte von Bestandescode-Parametern, Wald-Lücken und Hangneigung* im Hinblick auf Nachhaltigkeit $\Rightarrow$ *optimaler Schutzwald*
- o *Unterstützung von Forstpraxis/Waldmanagement* im Hinblick auf regulierende Eingriffe und nachhaltige Pflege- und Unterhaltsmassnahmen $\Rightarrow$ *Verjüngung, Sukzession*
- o *Interaktive Karten* mit einfachem Zugang zu räumlichen Daten in praxistauglicher Form als Grundlage und Unterstützung für nachhaltiges Waldmanagement $\Rightarrow$ *«maps.wsl.ch»*

Folgerungen für das NaiS-Profil «Rutschungen»

- o **3^d-Diversität** $\Rightarrow$ ober-/unterirdische Arten- und Formenvielfalt (Pflanzen und [Mykorrhiza-]Pilze)
 $\Rightarrow$ mehrschichtige [Misch-]Bestände mit vielfältiger Wurzelmorphologie
 $\Rightarrow$ unterschiedliche Sukzessionsstadien in kleinräumigem Nebeneinander
- o **Deckungsgrad** $\Rightarrow$ botanischer Deckungsgrad / Einfluss von Strauch- und Krautschicht
- o **Hangneigung** $\Rightarrow$ Grenzwertempfehlung (α_{lim}) im Rahmen von «gut und schlecht strukturiert»
- o **Waldlücken** $\Rightarrow$ Grenzwertempfehlung von statistisch abgeleiteten, signifikanten Variablen

... herzlichen Dank fürs Zuhören,
gerne beantworten wir Fragen ...