



Eidg. Forschungsanstalt für Wald,  
Schnee und Landschaft WSL

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Umwelt BAFU**  
Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz WHFF-CH

**Office fédéral de l'environnement OFEV**  
Soutien à la Recherche Forêt et Bois en Suisse FOBO-CH

**Ufficio federale dell'ambiente UFAM**  
Sostegno alla ricerca sulle foreste e il legno FOLE-CH

# Bewirtschaftungseinheiten als Grundlage für die betriebliche Planung stufiger Wälder

-

## Automatisierte Ausscheidung

Leo Bont, Lioba Rath, Janine Schweier

WHFF-Projekt 2020.12 (Planstufig)

Fowala, 22.6.2023, Aarau

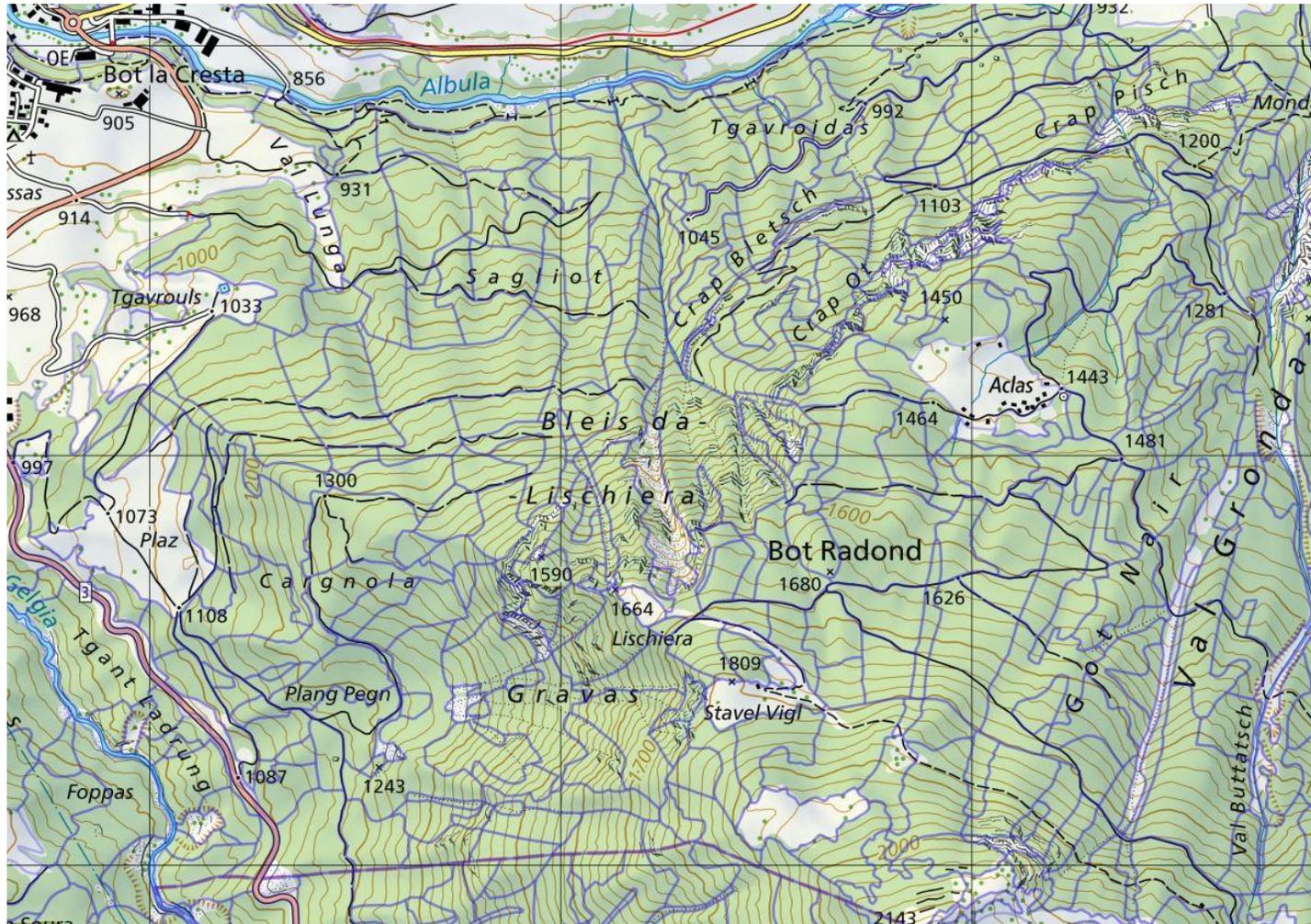
# Inhalt

- Ausgangslage
- Projektziele «Planstufig»
- Definition und Konzept BWE
- Automatische Ausscheidung
- Anwendung
- Hauptkenntnisse und Ausblick

# Ausgangslage

- Bewirtschaftungseinheiten (BWE)
- Planung, Ausführung und Kontrolle der Waldbewirtschaftung werden aufeinander abgestimmt
- Planung: **Waldfunktionen** wichtig (vom Kanton festgelegt)
- Ausführung: **effiziente Feinerschliessung** wichtig. (insb. für das Gebirge, Seillinien).

# Bisherige Planung: mittels Bestandeskarte



Bestandeskarte,  
Forstbetrieb Albula GR

# Planung ohne Bewirtschaftungseinheiten (BWEs)

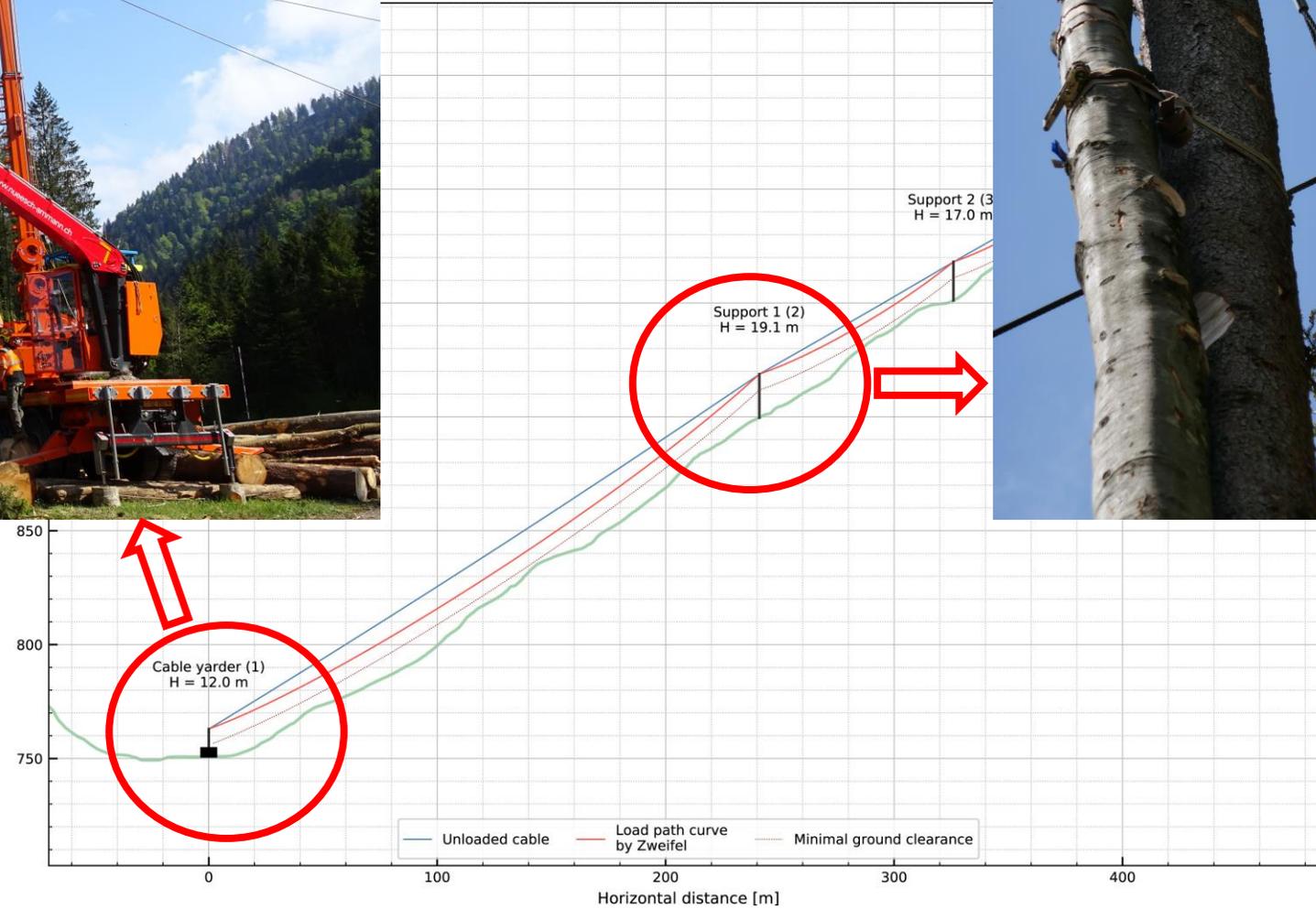
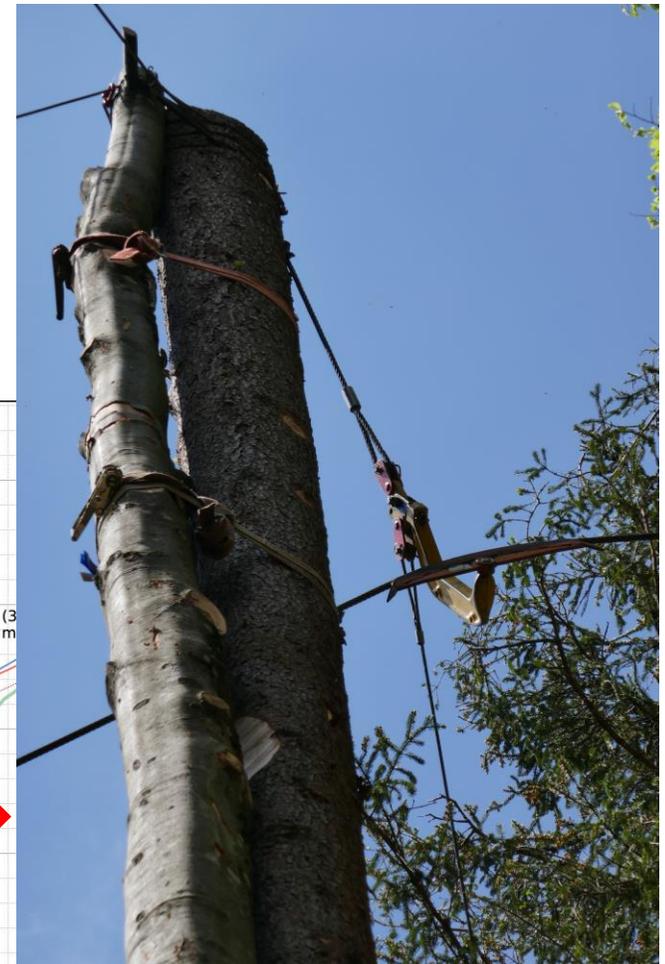


Einzelne, unabhängige  
Seillinien

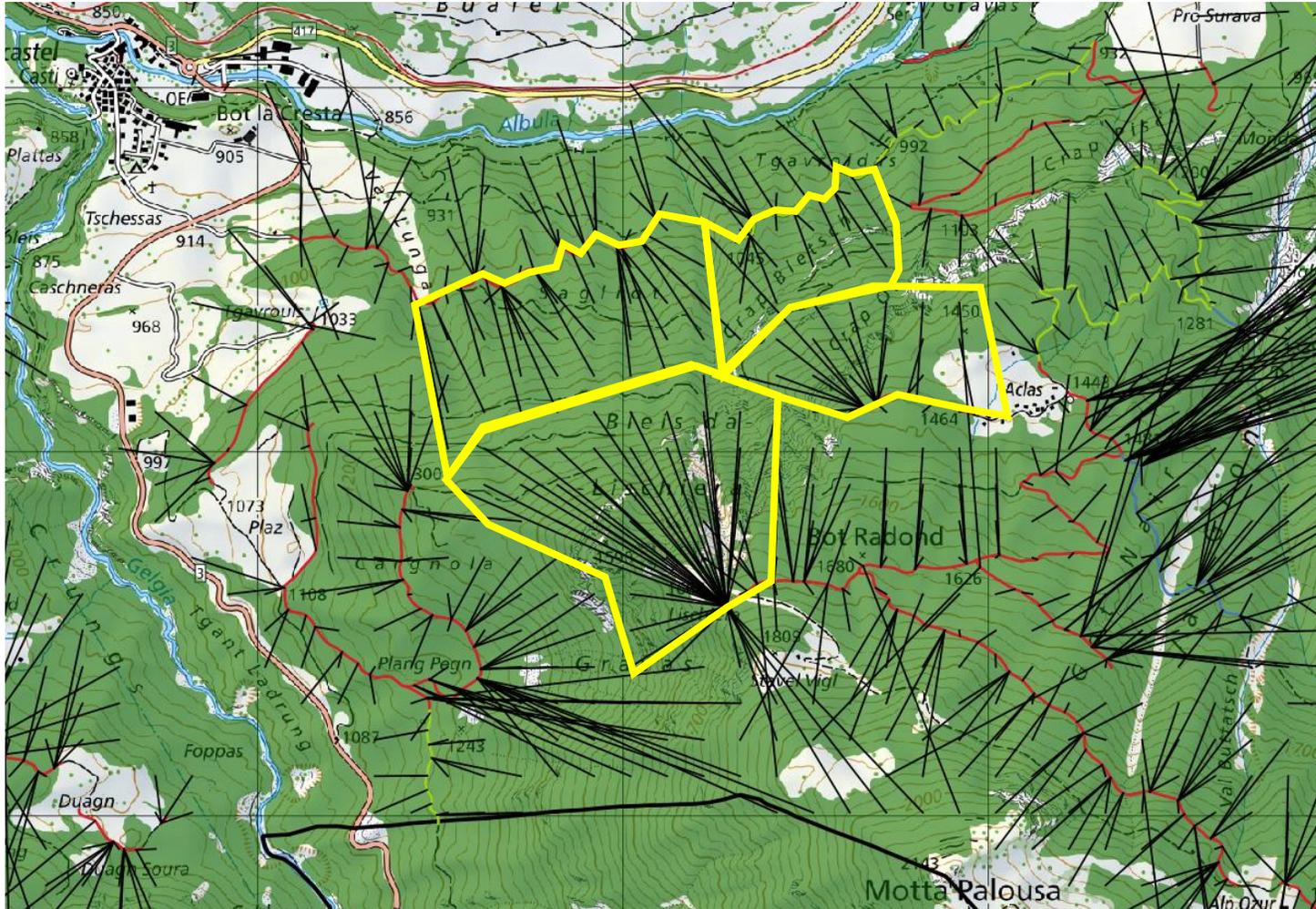
Quelle: Riet Gordon



Seilaplan plot - Buriwand\_2



# Ausscheidung von BWEs aufgrund der Feinerschliessung



Modellierung  
Transportrichtungen, GR

# Projektziele Planstufig

Objektive Methode zur  
räumlichen  
Abgrenzung von BWEs  
entwickeln

BWEs als Grundlage für  
die betriebliche  
Planung etablieren

- Gebirge
- Stufige Wälder

Prototyp für  
automatisierte  
Ausscheidung

# Workshop (April 2022)



# Definition von BWEs

- Eine Bewirtschaftungseinheit – BWE – ist eine Fläche, auf der die forstbetriebliche (Massnahmen-)Planung in sich abgeschlossen erfolgen kann.
- Langfristige Ausrichtung.
- Geeignet für Controlling.

# Konzept BWEs

1) Holzernte- konzept		7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport- grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs- grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse

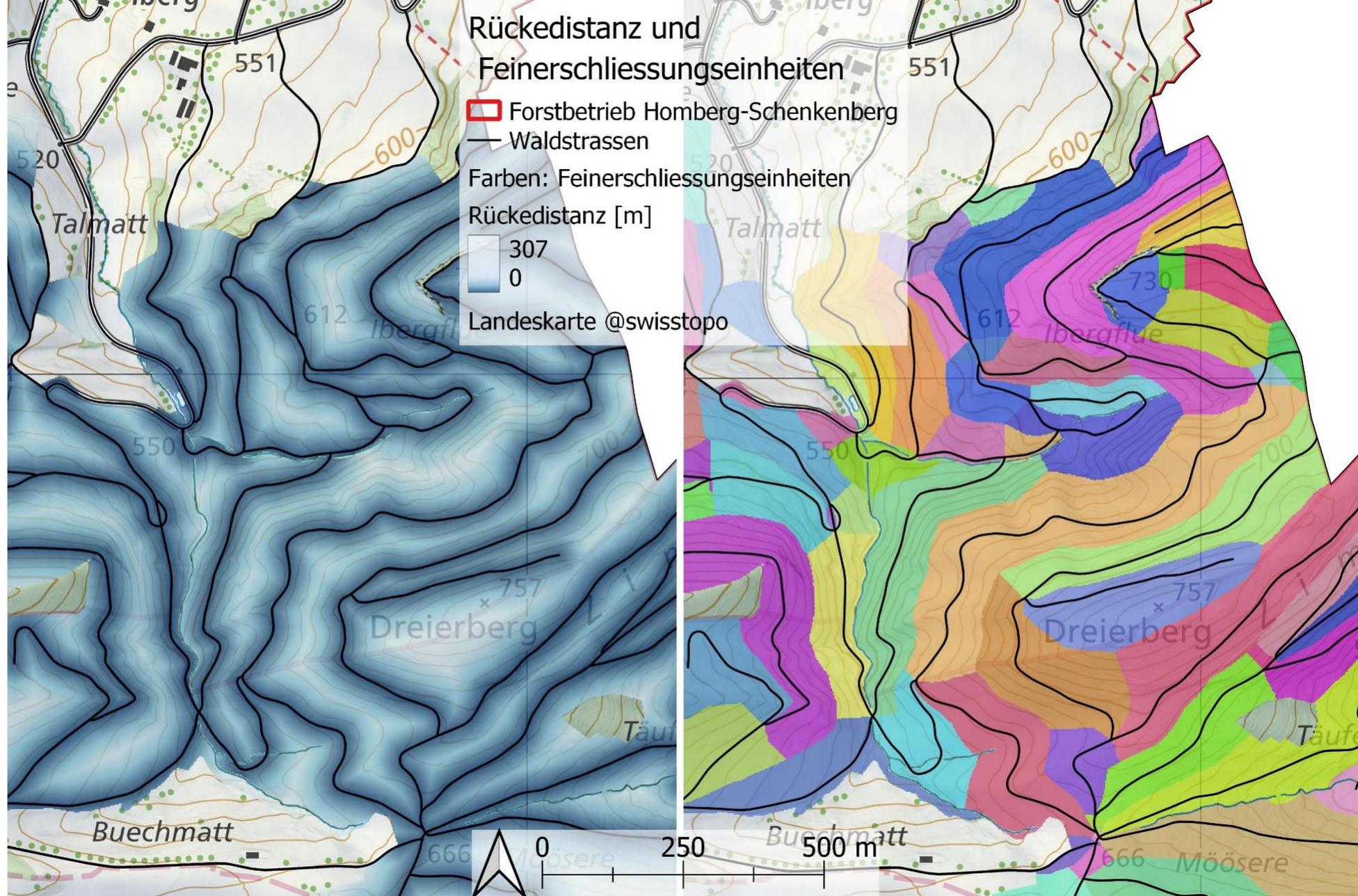
*Set an Kriterien, das für die  
Ausscheidung der BWEs  
verwendet werden kann.*

# Wichtige Grundlagen

1) Holzernte-konzept		7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport-grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs-grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse

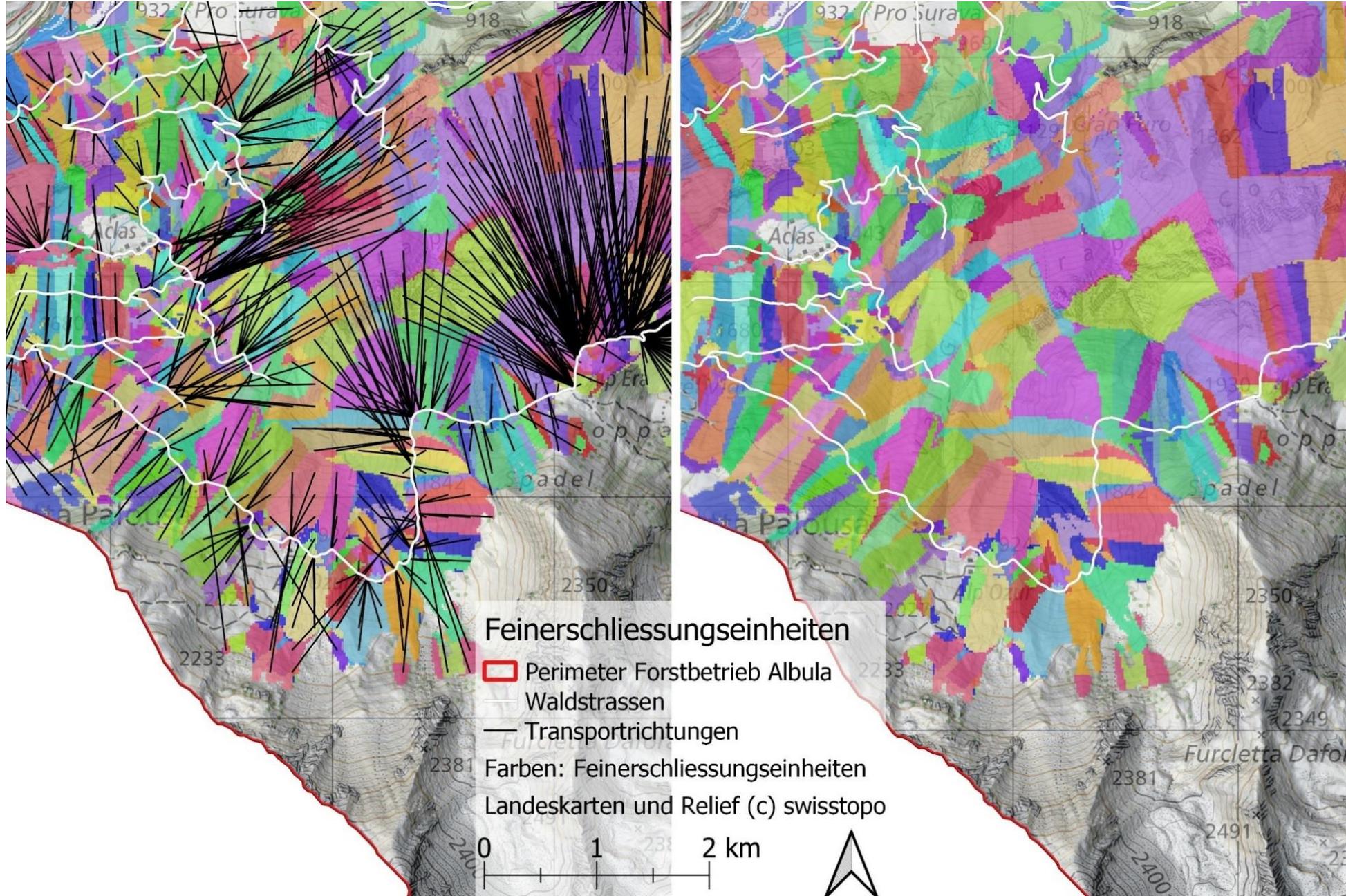
**Operationelle Grössen  
Holzernte!**

# Bodengestützte Systeme



Links: Rückedistanzen (Homberg-Schenkenberg, Kt. AG (Ausschnitt)). Je dunkler das blau, desto kleiner die Distanz zur Waldstrasse. Rechts: Feinerschliessungseinheiten © swisstopo 2022.

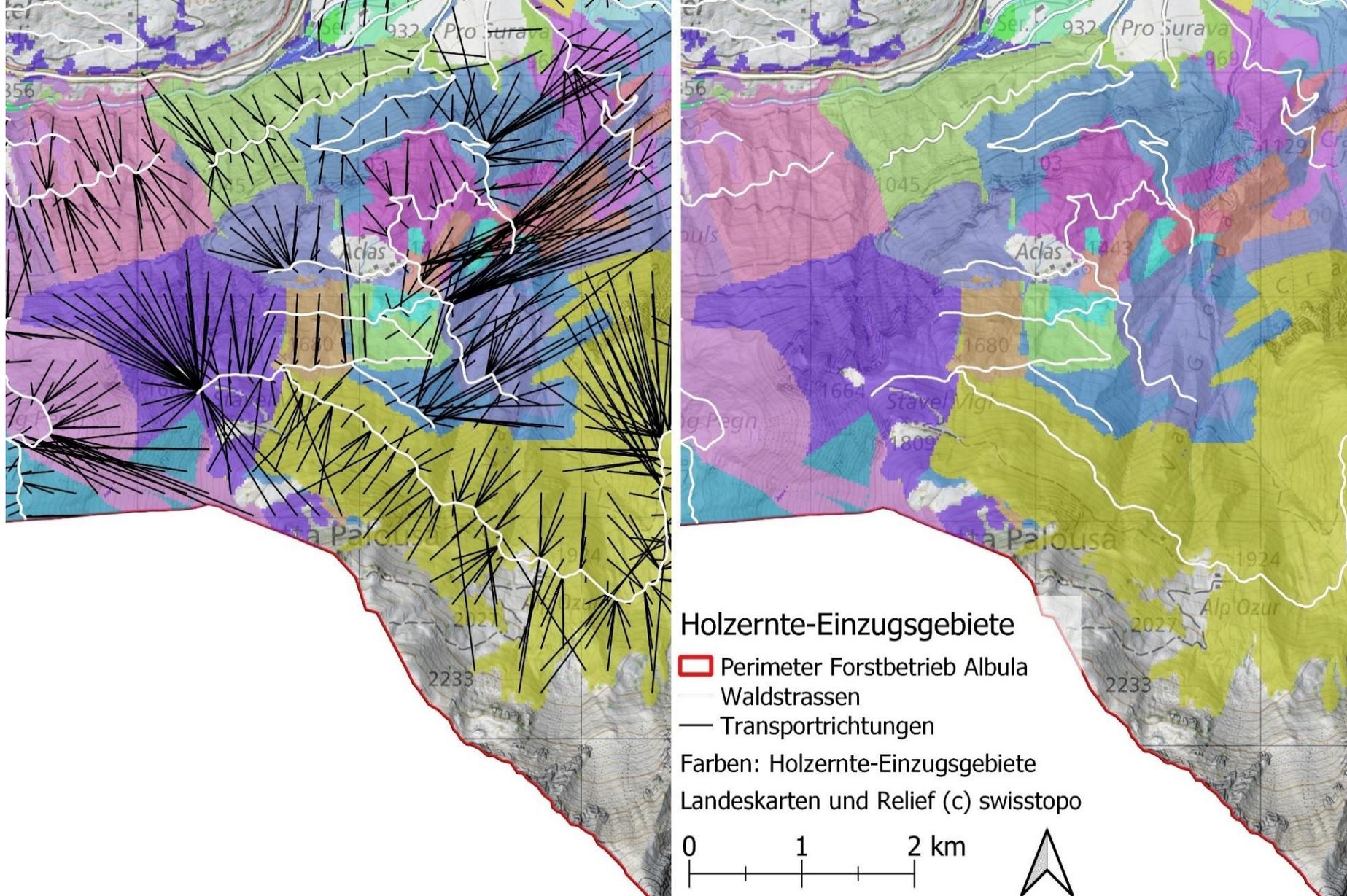
# Seilgestützte Systeme



Rechts: Modellierung Feinerschliessungseinheiten für den Seilkran im Betrieb Albula.

Links: Mit hinterlegten Transportrichtungen © swisstopo 2022.

# Holzernte Einzugsgebiete



Rechts: Modellierung der Holzernteeinzugsgebiete für den Betrieb Albula (Ausschnitt).

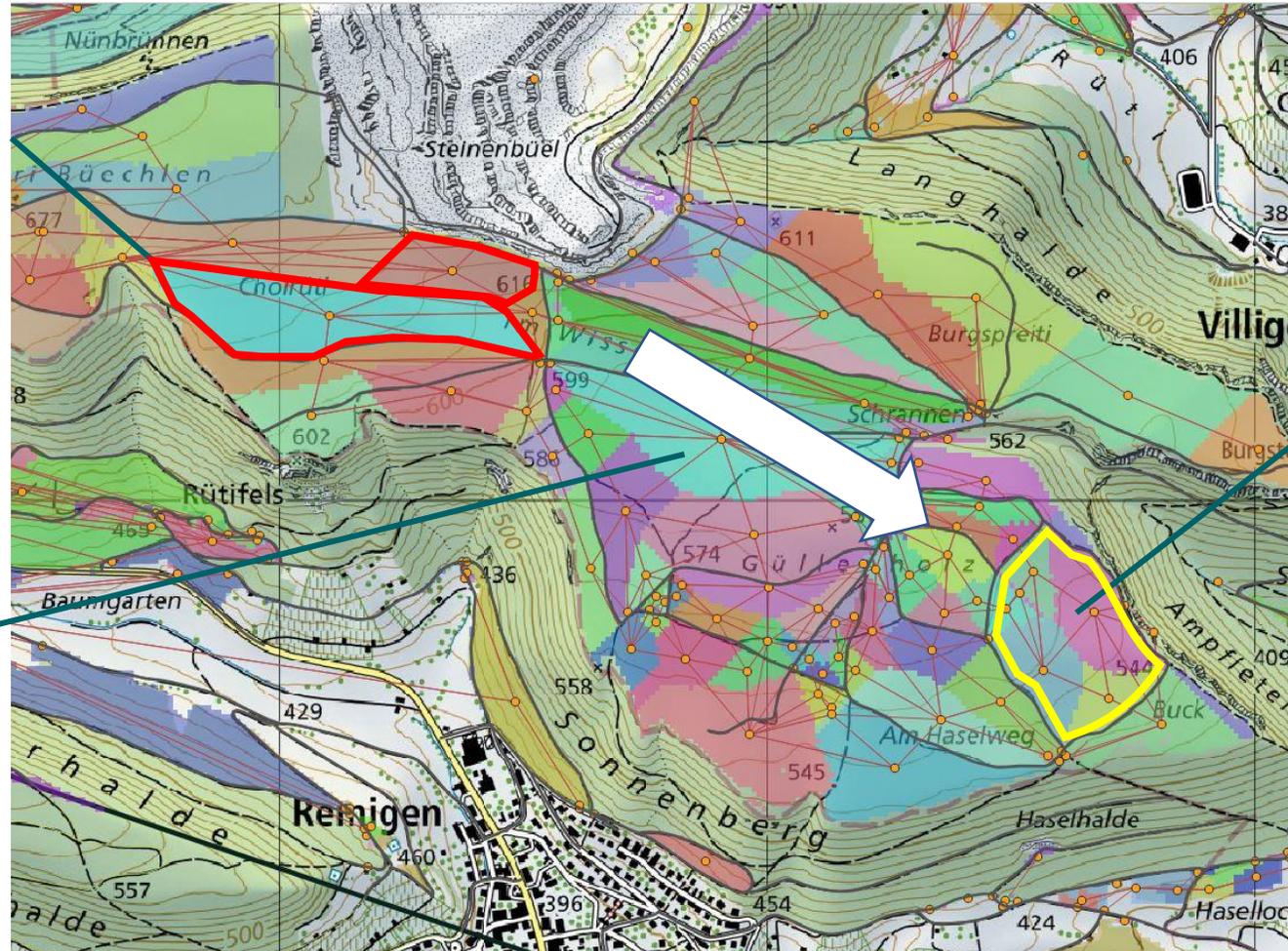
Links: Mit Transportrichtungen © swisstopo 2022.

# Automatische Ausscheidung / Optimierung

# Modell Representation

Grundeinheiten  
gemäss Kriterienset

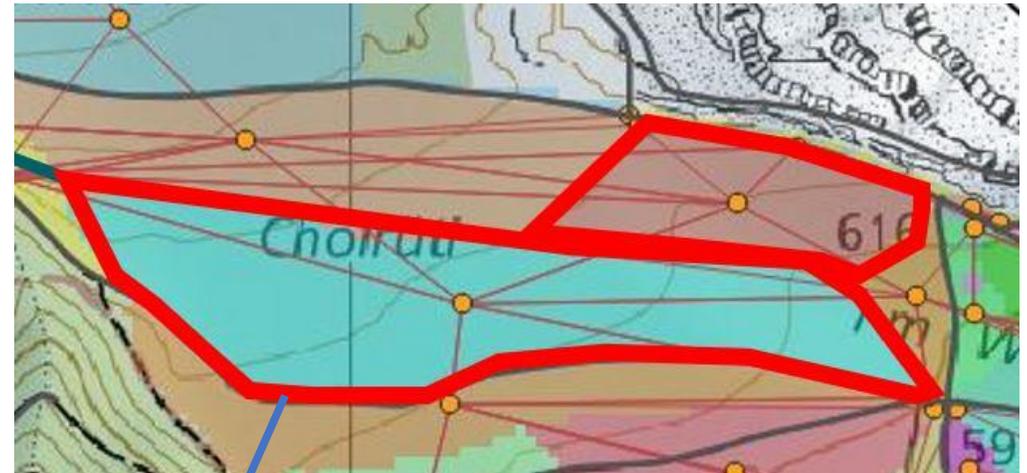
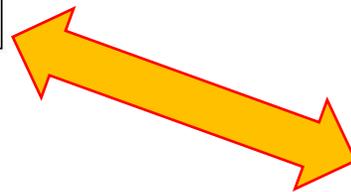
Darstellung  
als Netzwerk



Aggregation der  
Grundeinheiten zu  
BWEs

# Grundeinheit

1) Holzernte-konzept		7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport-grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs-grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse



Bsp.: Jede Grundeinheit hat nur eine ...  
... Feinerschliessungseinheit  
... Waldfunktion

# Aggregation / Optimierung

## **Ziele:**

- [1] Kompakte, räumlich zusammenhängende Fläche
- [2] Operationell / technisch aufeinander abgestimmt
- [3] Möglichst homogene Eigenschaften (Kriterienset)

## **Nebenbedingungen:**

Anzahl BWEs

*oder*

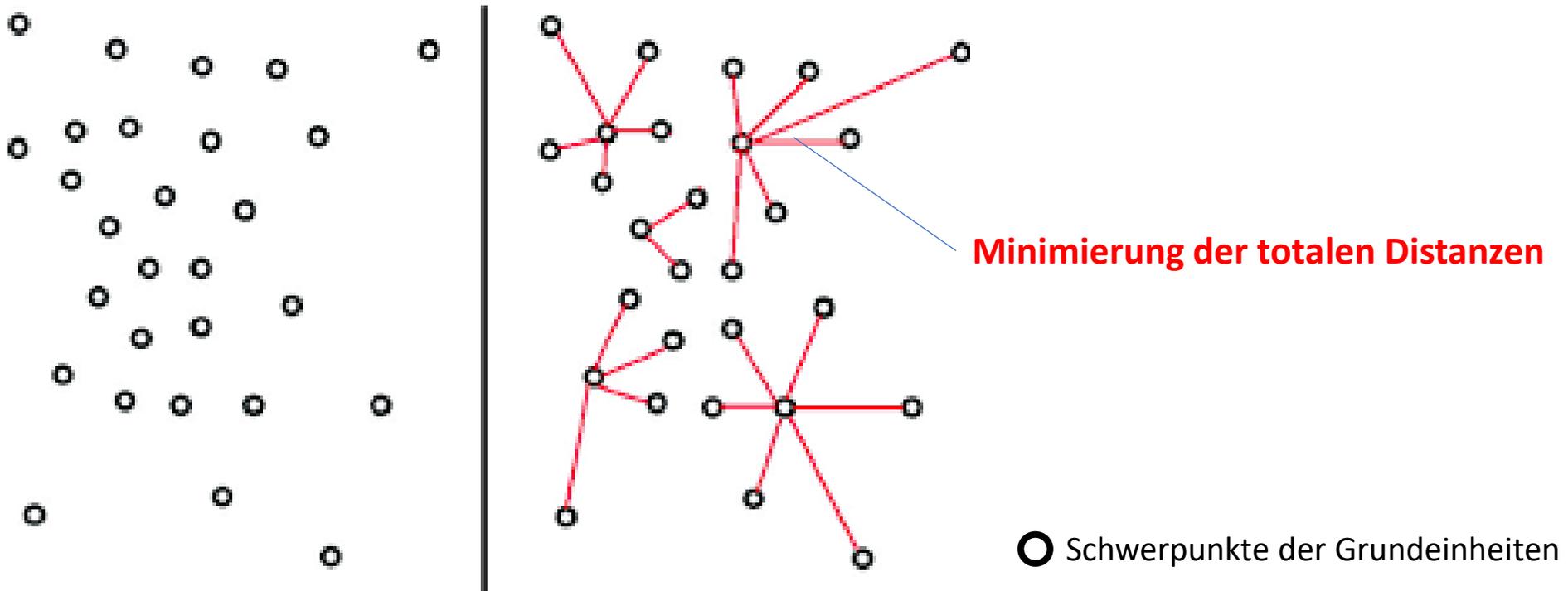
Minimale und maximale Grösse einer BWE

## **Methode:**

Gemischt Ganzzahlige Optimierung  
(Mixed Integer Linear Programming)

# Optimierung im Detail

[1] Kompakte, räumlich zusammenhängende Fläche (P-Median)

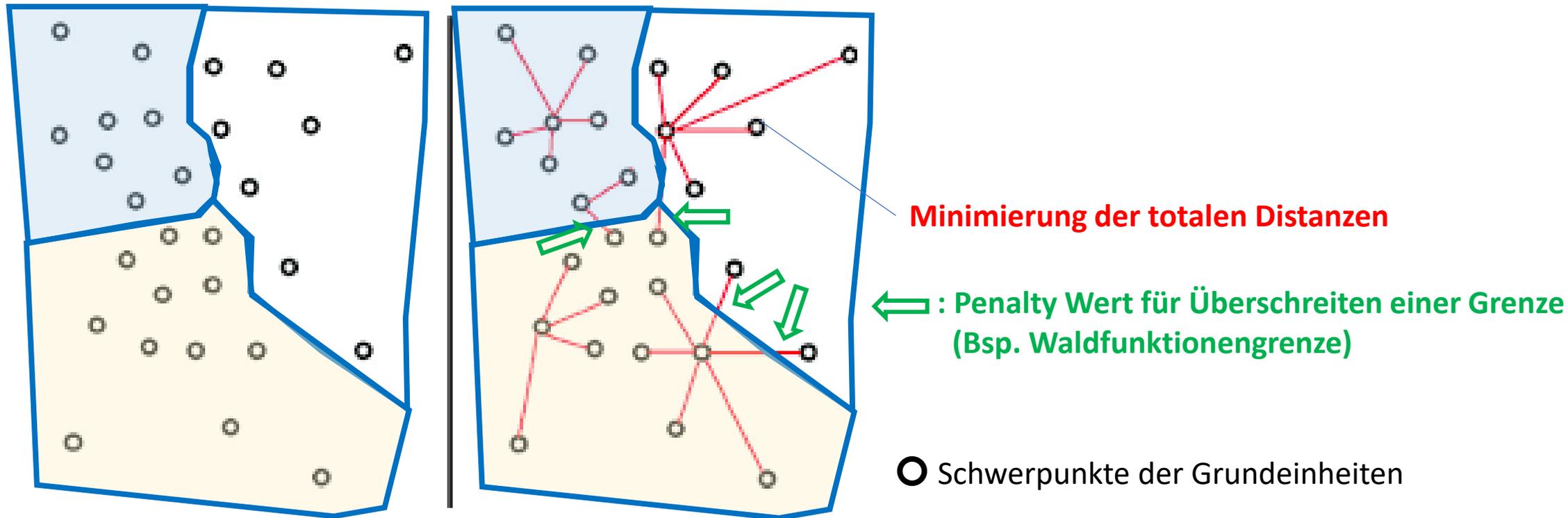


© Bernábe-Loranca et al. (2021)

# Optimierung im Detail

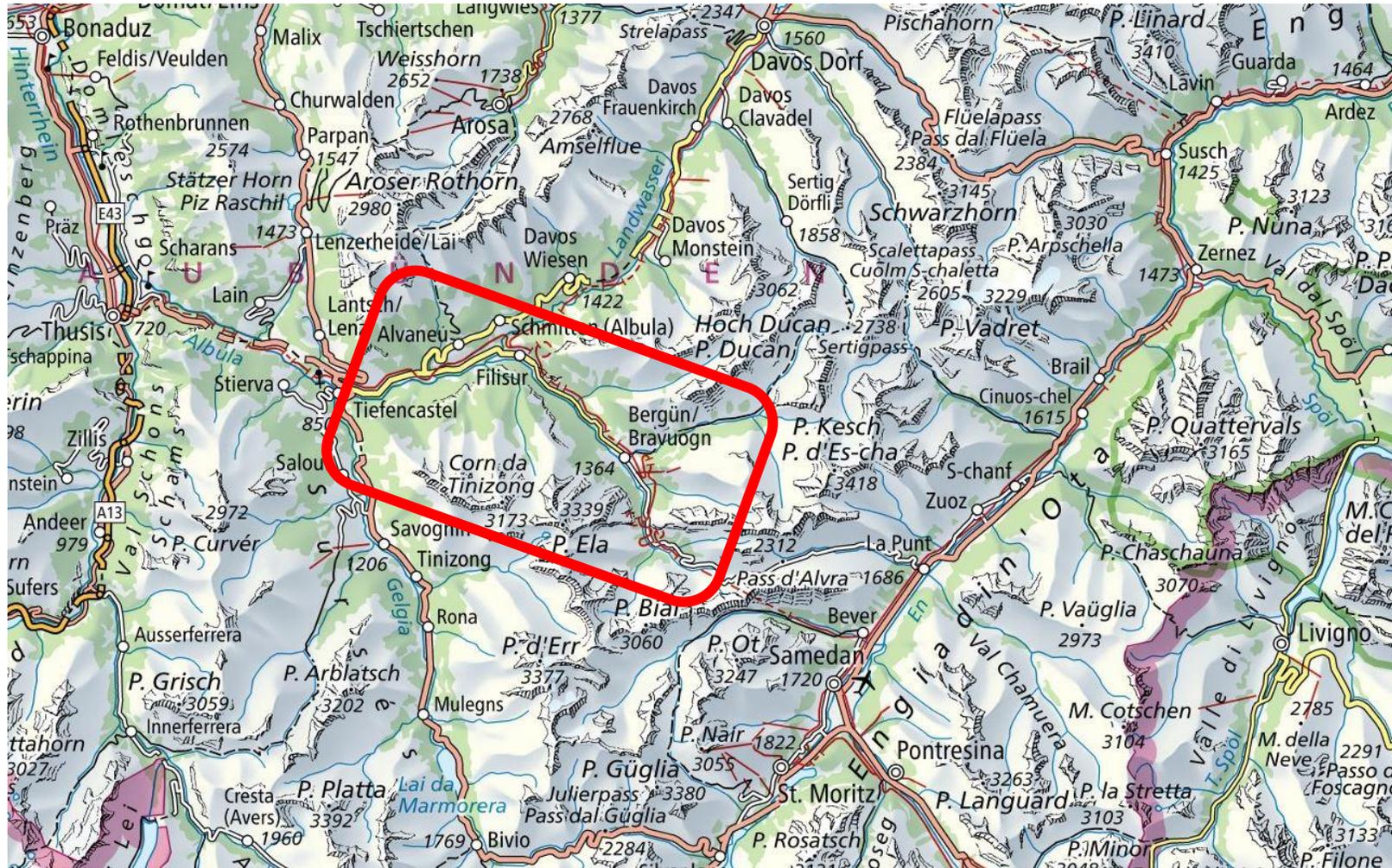
[3] Möglichst homogene Eigenschaften (Kriterienset)

Bsp.: 3 Waldfunktionen





# Anwendung: im Forstbetrieb Albula



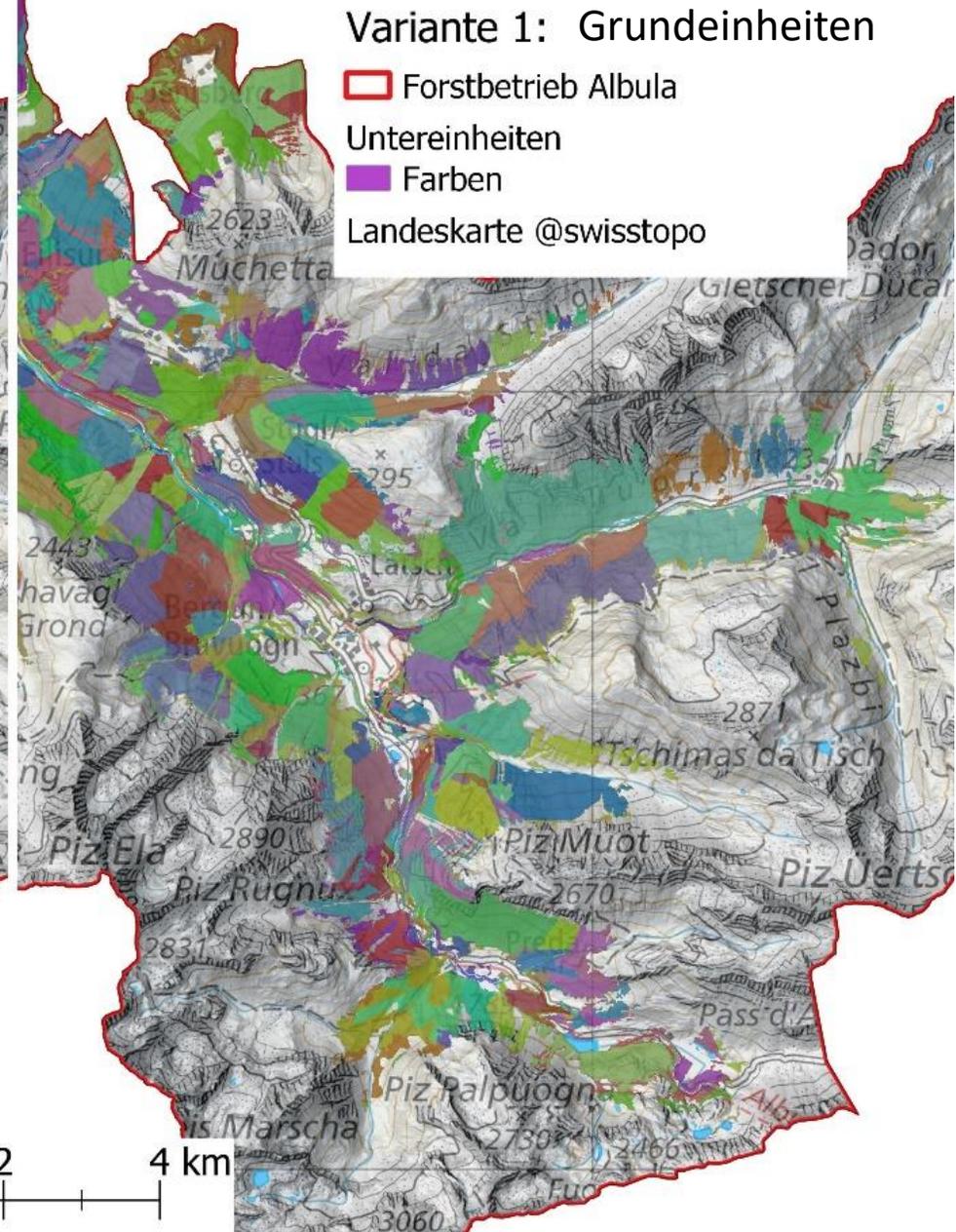
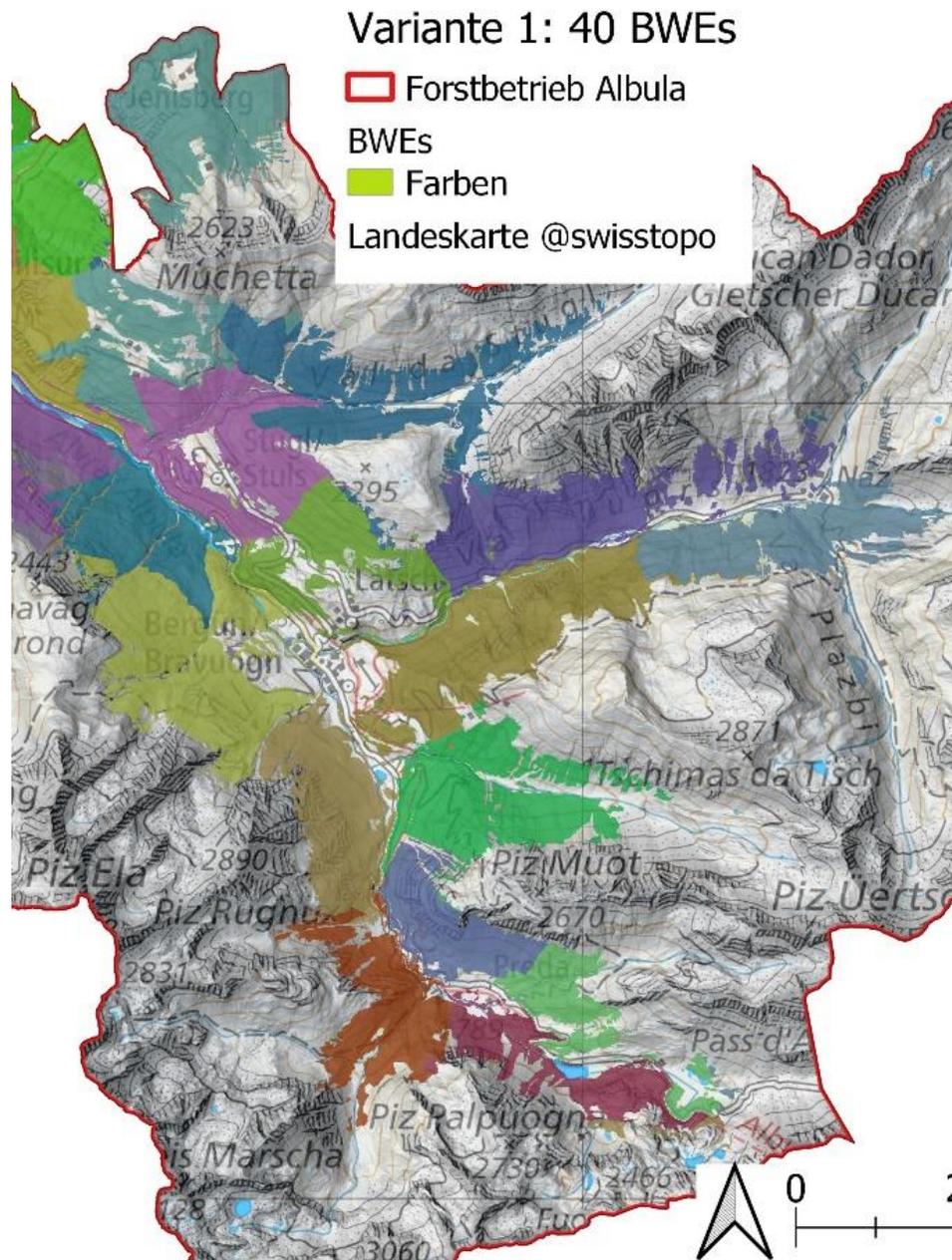
Einführung Konzept BWE  
im Rahmen der  
Überarbeitung des  
Betriebsplans.

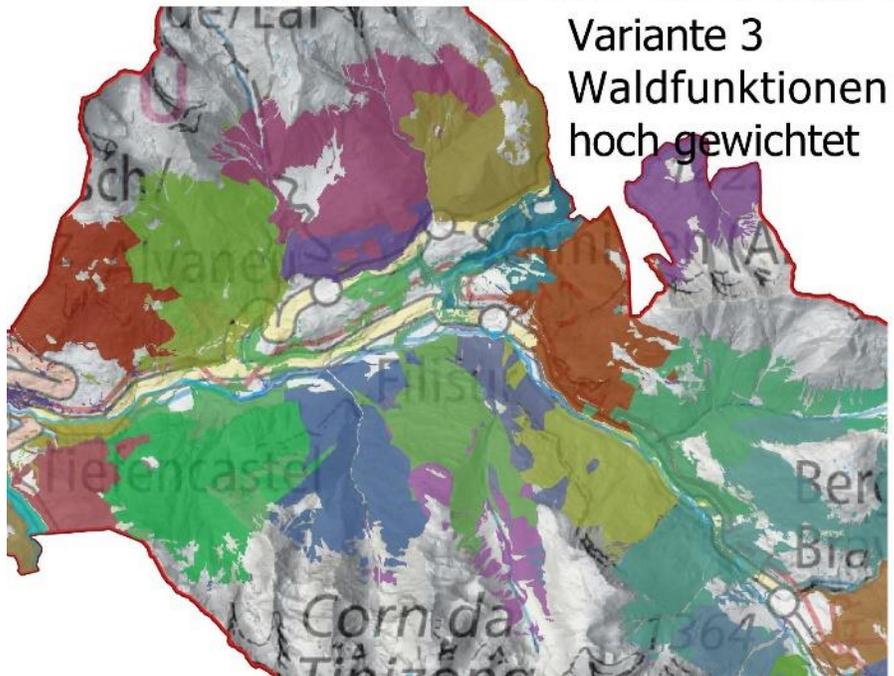
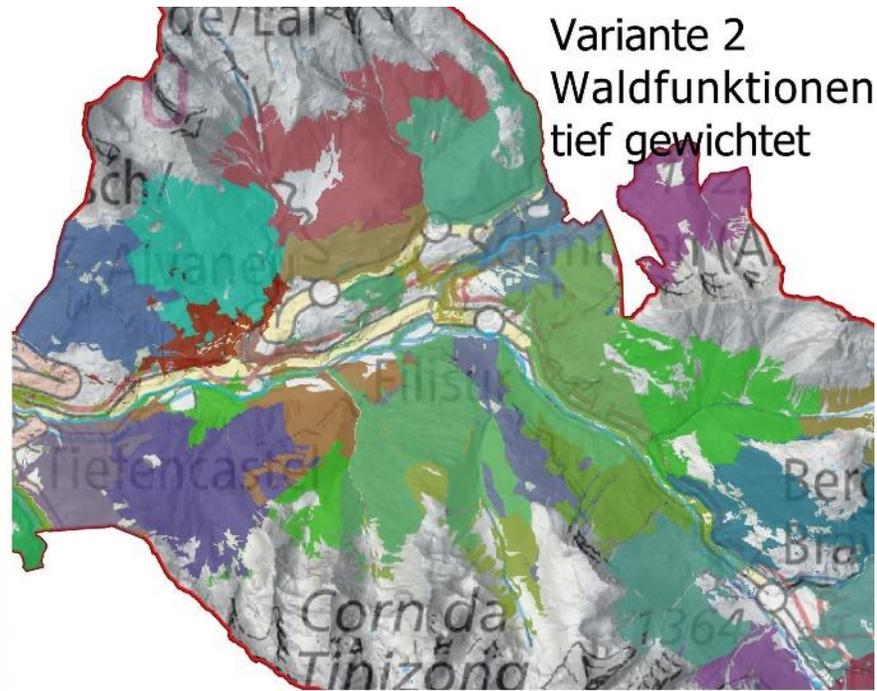
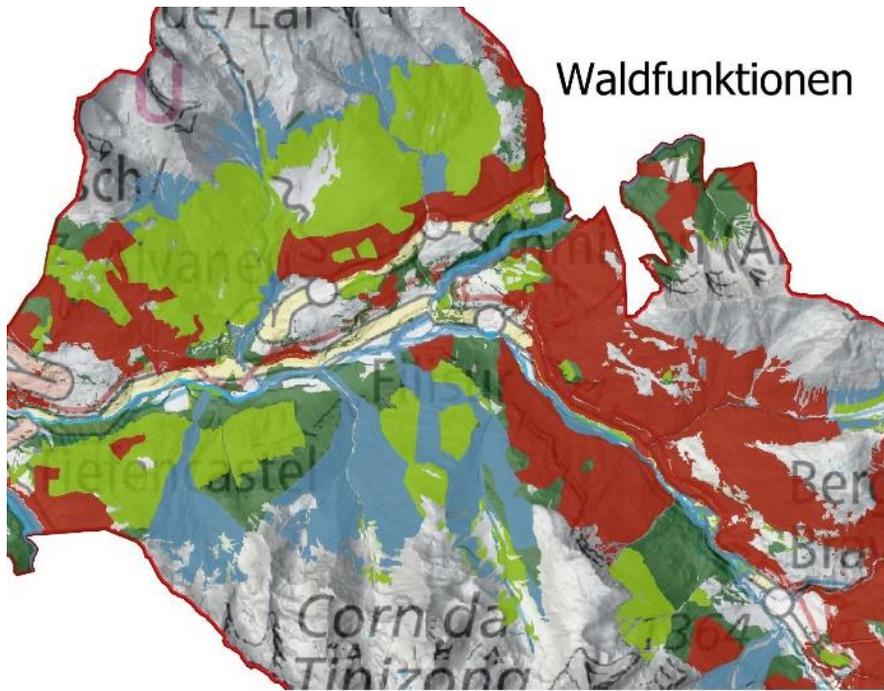
# Forstbetrieb Albula - Varianten

1) Holzernte-konzept	<b>Variante 1</b>	7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport-grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs-grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse

1) Holzernte-konzept	<b>Variante 2</b>	7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport-grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs-grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse

1) Holzernte-konzept	<b>Variante 3</b>	7) Wüchsigkeit / Standort
2) Transport-grenzen	5) Einzugsgebiet Anschlusspunkt	8) Waldmischungs-grad
3) Administrative Grenzen	6) Einheiten innerhalb Waldstrassen	9) Exposition
4) Waldfunktionen		10) Anzahl und Grösse





### 40 BWEs - Varianten 2 & 3

Forstbetrieb Albula

BWEs

Farben

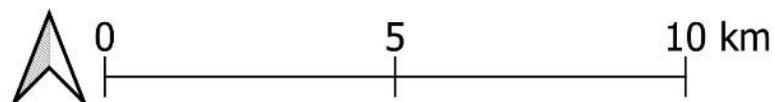
Waldfunktion

Schutzwald A & B

Naturschutzwald

Schutzwald C

Landeskarte @swisstopo



Vergleich der Varianten 2 und 3, bei denen die Waldfunktionen mit verschiedenen Gewichtungen in die Optimierung mit einbezogen werden.

© swisstopo 2022.

# Hauptkenntnisse

- Ziele des Forstbetriebs?
- Teilautomatisierung: zielgerichtetes und objektives Vorgehen (schneller Variantenvergleich)
- Zusammenspiel von Modell und Experten: **Lösung nicht 1:1 übernehmen (Limitation des Modells kennen)**
- IT-basierte Berechnung läuft unter verschiedenen Bedingungen zuverlässig und korrekt
- Gute und realistische Modellierung der «Holzernte» ist der wichtigste Baustein für gut abgegrenzte BWEs
- «Zwischenprodukte» (v.a. Holzerntemodellierung) sind hilfreich, Karte(n)...
  - der möglichen Erntemethoden,
  - der Grundeinheiten,
  - von technisch möglichen Seillinien und Rückewegen.

# Ausblick

- Weiterentwicklung im Rahmen von mehreren Projekten
- langfristiges Ziel: breit anwendbares Tool für die Forstpraxis

# Danke

Wir bedanken uns bei Riet Gordon, Viola Sala und Claudia Bieler vom Amt für Wald und Naturgefahren (GR) für das hilfreiche Feedback, sowie bei allen Partnern und Beteiligten, die im Laufe des Projekts den Bezug zur Praxis sicherten.

Dieses WSL-Projekt wurde realisiert mit Unterstützung der Konferenz für Wald, Wildtiere und Landschaft (KWL), der Wald- und Holzforschungsförderung Schweiz (WHFF-CH, Projektnummer 2020.12) und dem Kanton Graubünden.