

Lawinenmodellierung meets Euregio-Lawinen-Report

Lawinen: -klassifikation, -prozesse, -modelle und -simulation

PD Dr. Jan-Thomas Fischer
jt.fischer@bfw.gv.at



Marz 2023

Überblick

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

- Prozessverständnis und Variablen

- Lawinen und Geschwindigkeit

Modelle und Simulation

- Einfache daten- und prozessbasierte Modelle

- Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation

Klassifikation von Lawinen - Warum?

Skifahrerlawinen $\Leftrightarrow$ Katastrophenlawinen

Klassifikation von Lawinen - Warum?

Skifahrerlawinen $\Leftrightarrow$ Katastrophenlawinen

Zweck der Klassifikation

- ▶ wissenschaftlicher Zweck (Gruppierung, Analysen)
- ▶ praktischer Zweck (Informationsaustausch)

Kategorien der Klassifikation

- ▶ Avalanche Atlas: genetische Klassifikation (meist Mischung aus Ursachen, ...)
- ▶ Avalanche Atlas: morphologische Klassifikation (Zone, Kriterium, Merkmal)
- ▶ EAWS: Größenklassifikation (Kriterium, Relation)
- ▶ andere Klassifikation: Häufigkeit, Lawinenprobleme, ...

▶ **Avalanche Atlas:** <http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000480/048004MB.pdf>

▶ **European Avalanche Warning Services (EAWS)** <https://www.avalanches.org/standards/>

Lawinengrößen: Schadenspotenzial, Reichweite, Typisches Ausmaß

Lawinengröße	Schadenspotenzial	Reichweite	Typisches Ausmaß
1: Kleine Lawine (Rutsch)	unwahrscheinlich	Steilhang	< 5 m, 100 m ³
2: Mittlere Lawine	Person	Hangfuß	50-200 m, 1000 m ³
3: Große Lawine	Bäume/KFZ/kl. Gebäude	kurze, fl. Gel.	0.2-1 km, 10 ⁴ m ³
4: Sehr große Lawine	Wald/LKW/gr. Gebäude	langes, fl. Gel.	1-2 km, 10 ⁵ m ³
5: Extrem große Lawine	Infrastr./Landschaft/Dörfer	Talboden	>2 km, >10 ⁵ m ³

► EAWS <https://www.avalanches.org/standards/>

Lawinengrößen: Schadenspotenzial, Reichweite, Typisches Ausmaß

Lawinengröße	Schadenspotenzial	Reichweite	Typisches Ausmaß
1: Kleine Lawine (Rutsch)	unwahrscheinlich	Steilhang	< 5 m, 100 m ³
2: Mittlere Lawine	Person	Hangfuß	50-200 m, 1000 m ³
3: Große Lawine	Bäume/KFZ/kl. Gebäude	kurze, fl. Gel.	0.2-1 km, 10 ⁴ m ³
4: Sehr große Lawine	Wald/LKW/gr. Gebäude	langes, fl. Gel.	1-2 km, 10 ⁵ m ³
5: Extrem große Lawine	Infrastr./Landschaft/Dörfer	Talboden	>2 km, >10 ⁵ m ³

► EAWS <https://www.avalanches.org/standards/>

- Klassifikation nach Häufigkeit: Zusammenhang zwischen Intensität und Auftretenswahrscheinlichkeit
- Wichtig für z.B. Gefahrenzonenplanung → Bemessungsereignis (150y)
- andere Klassifikationen: Lawinenprobleme, Schäden, Kosten, Opfer, ...

EAWS Lawinengröße 1-5



EAWS Lawinengröße 1-5



EAWS Lawinengröße 1-5



EAWS Lawinengröße 1-5



EAWS Lawinengröße 1-5



Überblick

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

Prozessverständnis und Variablen

Lawinen und Geschwindigkeit

Modelle und Simulation

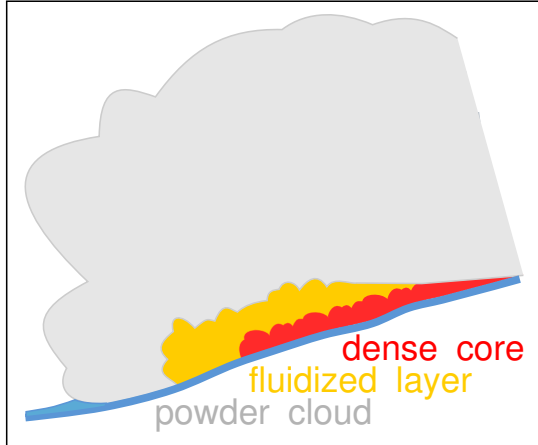
Einfache daten- und prozessbasierte Modelle

Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation

Prozessverständnis



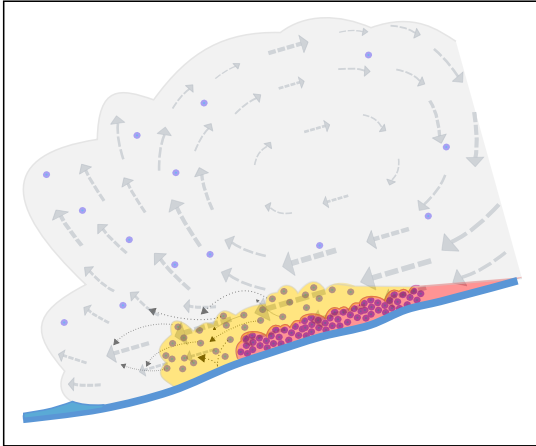
Prozessverständnis: Fließregime - Entwicklung und Übergänge



Bewegungsformen

- ▶ Fließlawine (Reibung)
- ▶ Fluidisierte Lawine (Saltation)
- ▶ Staublawine (Suspension)

Prozessverständnis: Fließregime - Entwicklung und Übergänge



Beobachtungsgrößen

- ▶ Fließmächtigkeit
- ▶ Geschwindigkeit
- ▶ Dichte

Überblick

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

Prozessverständnis und Variablen

Lawinen und Geschwindigkeit

Modelle und Simulation

Einfache daten- und prozessbasierte Modelle

Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation

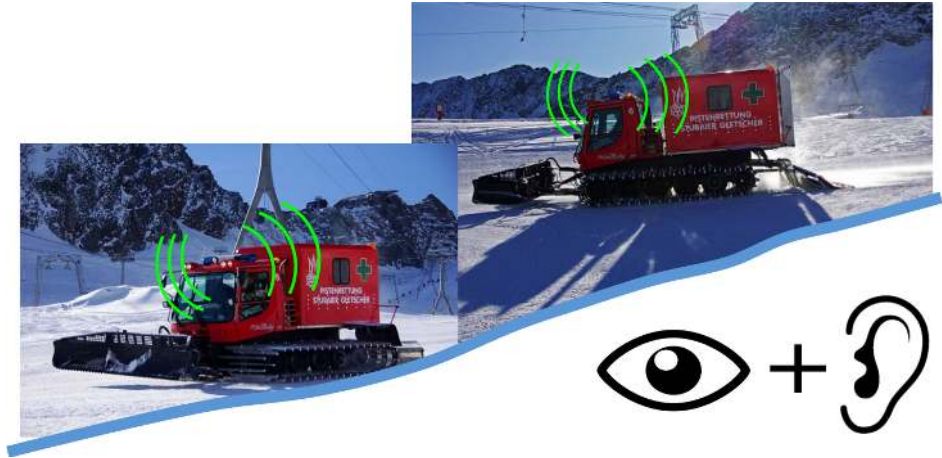
Lawinen und Geschwindigkeit



Lawinen und Geschwindigkeit

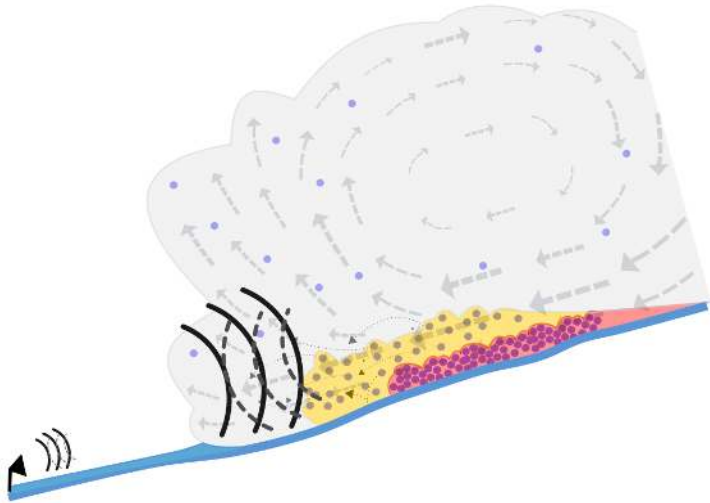


Lawinen und Geschwindigkeit



Geschwindigkeitsmessung von Lawinenfront und Lawinenschnee

Blick in die Lawine - Radar







EAWS Größe $\approx 2-3$
 $\approx 50-100 \text{ km/h}$

EAWS Größe $\approx 4-5$
 $\approx 300 \text{ km/h}$





EAWS Größe $\approx 2-3$
 $\approx 50-100 \text{ km/h}$



EAWS Größe $\approx 4-5$
 $\approx 300 \text{ km/h}$

$\approx 100 \text{ km/h}$



$\approx 200 \text{ km/h}$



$\approx 300 \text{ km/h}$



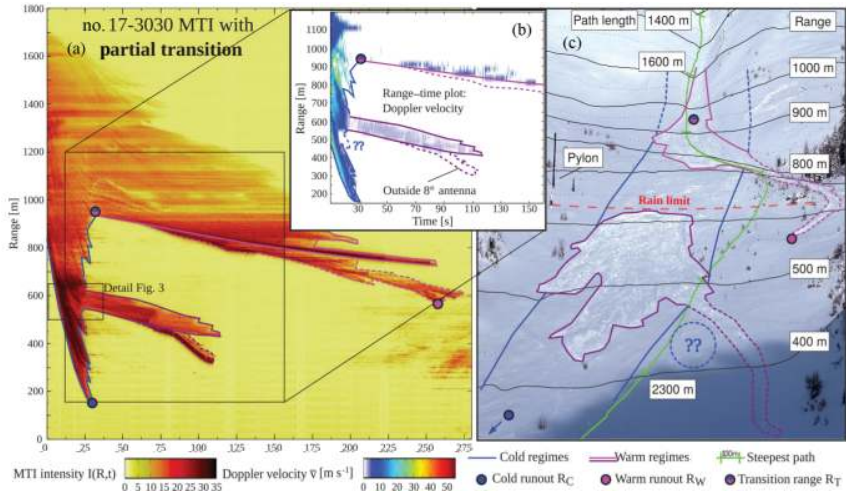
Radar (GEODAR) - Vdls 2015



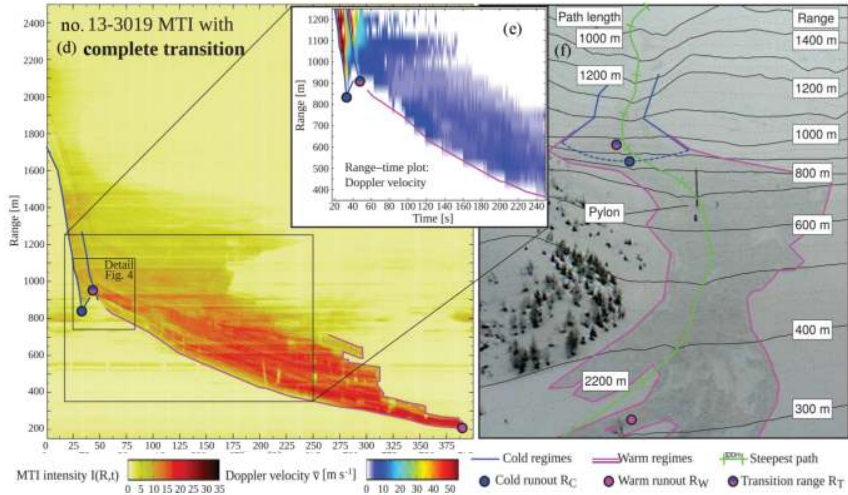
► <https://www.youtube.com/watch?v=m8sUOEV--pA>

Koehler et. al 2016

Partieller Fließregimeübergang



Kompletter Fließregimeübergang



flow regimes - classification

kalt - StaUBLawine



warm - Fließlawine



- ▶ oft auch Mischformen
- ▶ normalerweise dominiert ein Fließregime (kalt/warm) die Mobilität und Auslauf
- ▶ Temperaturabhängige Entwicklung und Übergänge von Fließregimen: kalt → warm

Moos avalanche 2014 (Passeiertal, Südtirol), <https://www.youtube.com/watch?v=f5waSw2mMfY>

▶ Koehler et al. 2018

Überblick

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

Prozessverständnis und Variablen

Lawinen und Geschwindigkeit

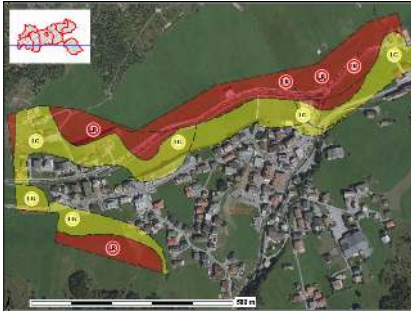
Modelle und Simulation

Einfache daten- und prozessbasierte Modelle

Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation

Lawinendynamik?

Gefahrenzonen



Wie weit?
→ **Auslauf**

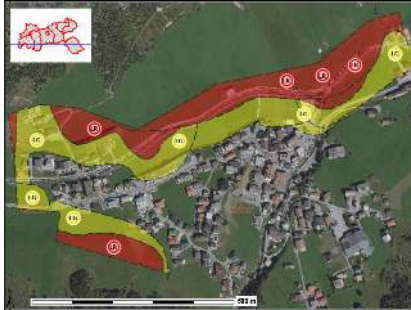
Schutzmaßnahmen



Wie zerstörerisch?
→ **Wirkung**

Lawinendynamik?

Gefahrenzonen



Wie weit?
→ **Auslauf**

Schutzmaßnahmen



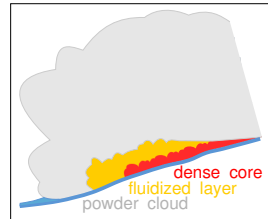
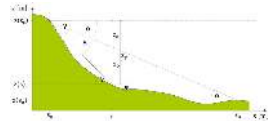
Wie zerstörerisch?
→ **Wirkung**

ONR 24800 - Technischer Lawinenschutz:

historische, numerisch-mathematische, empirisch-statistische, morphologische und physikalische
Methode

Relevante Variablen und Zielgrößen

- ▶ Auslauf (statisch, global)
 - ▶ Auslaufwinkel α
 - ▶ Auslauflänge: Horizontal projizierte Lauflänge L, S
 - ▶ Fallhöhe H
- ▶ Fließgrößen und Wirkung (dynamisch, lokal)
 - ▶ Fließgeschwindigkeit, -mächtigkeit
→ Energie / Druck
 - ▶ Volumen, Dichte, Massenbilanz:
 - ▶ Auslösegebiet
 - ▶ Deposition



Modelle - the *simple* case



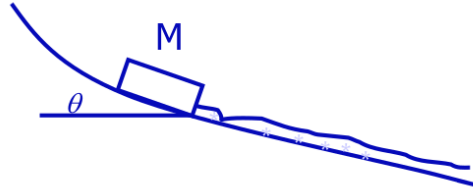
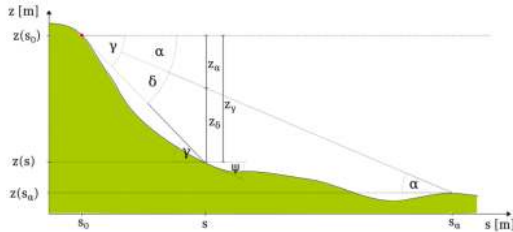
Aufgabe:
einfaches Modell zur Vorhersage des Auslauf
Datenbasiert $\Leftrightarrow$ Prozessbasiert

Beobachtung - Modellvariable



relevante Größen: *Auslauf-Winkel* α

Pauschalgefälle $\Leftrightarrow$ Block-Modell



Datenbasiert $\Leftrightarrow$ Prozessbasiert
 $\alpha = \arctan \frac{H}{L}$ $\delta = \arctan \frac{H}{L}$

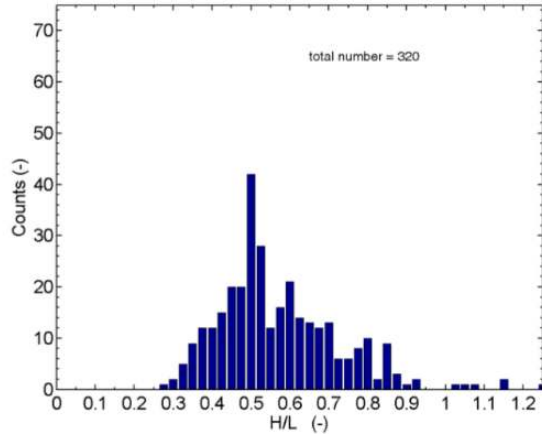
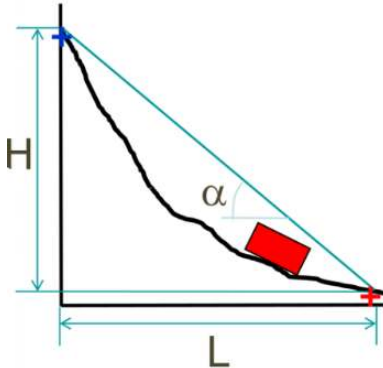
Pauschalgefällewinkel - $\alpha \stackrel{?}{=} \delta$ - Reibungswinkel

Pauschalgefälle $\Leftrightarrow$ Block-Modell



Pauschalgefällewinkel vs. Reibungswinkel
 $\alpha \stackrel{?}{=} \delta$ Modelltest anhand von **Beobachtungen**

Modellvorhersage gegen Beobachtung



Ergebnis Modelltest: $\alpha = \delta = \arctan \frac{H}{L}$ **nicht konstant**
Modelle zu einfach? → **bessere Modelle**

► Gauer et al. 2010

Überblick

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

Prozessverständnis und Variablen

Lawinen und Geschwindigkeit

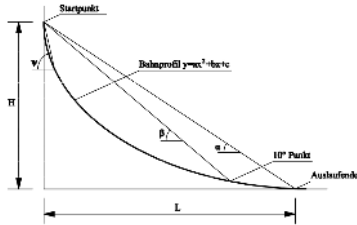
Modelle und Simulation

Einfache daten- und prozessbasierte Modelle

Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation

Komplexere Modelle

α - β Modell



dynamisches Modell

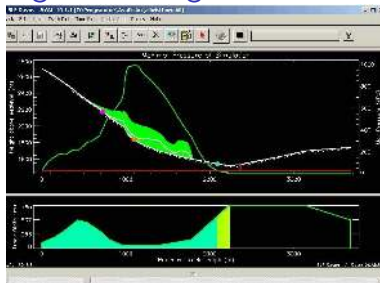
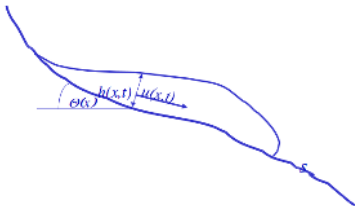


- ▶ Datenbasiert, konzeptuell: Pauschalgefälle $\rightarrow \alpha$ - β Modell
- ▶ Prozessbasiert, physikalisch: Block-Modell $\rightarrow$ dynamisches Modell
- ▶ Übergang von Lawinenpfad (2d-Thalweg) in Gelände (3d-Topographie)
- ▶ ...

Digitale Werkzeuge: Modell → Simulation

Implementierung / Programmierung

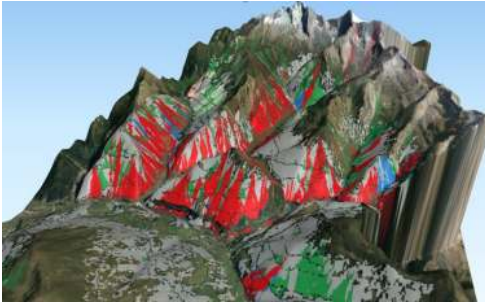
Mathematische Beschreibung



Simulation bedingt die (Software) Implementierung von:

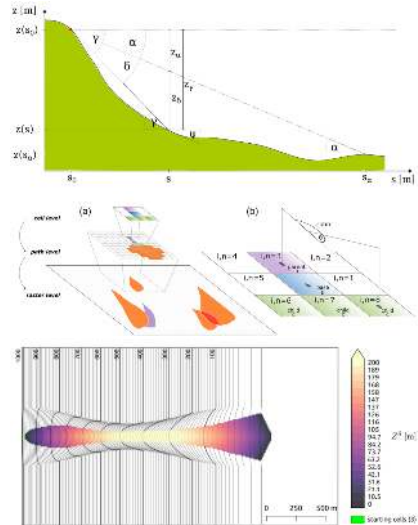
- ▶ **Model** - Annahmen und Formulierung der Modellgleichungen
- ▶ **Implementierung und Numerik** - mathematische Lösung
- ▶ **Geodaten und Visualisierung** - GIS daten

Digitales Werkzeug: AvaFrame FlowPy (datenbasiert)

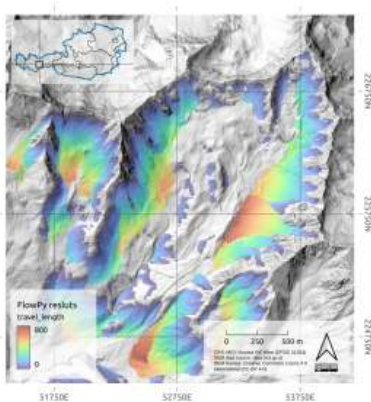


- ▶ notwendiges und hinreichendes Maß an Komplexität?
- ▶ regionale Identifikation von Schutzwald oder Lawinengelände ...
- ▶ einfache, open source Werkzeuge für Praxis, Forschung und Ausbildung ...

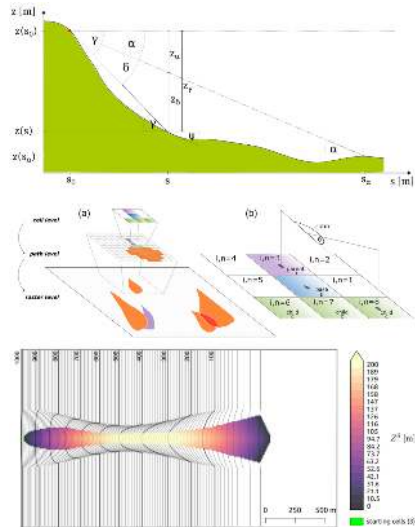
▶ www.avaframe.org – Flow-Py



Digitales Werkzeug: AvaFrame FlowPy (datenbasiert)



- Grundlage zur Klassifizierung von Lawinengelände



Digitales Werkzeug: Lawinensimulation SamosAT (prozessbasiert)



- ▶ Wie kann man die Modelparameter messen?
- ▶ Wie kann man Unsicherheiten identifizieren und im Ergebnis quantifizieren?
- ▶ ...

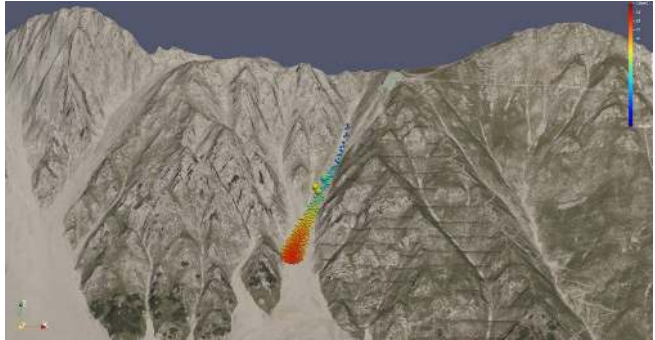
Lawinensensorik und -simulation



Sensoren bestimmen Position und Geschwindigkeit während Lawinenbewegung



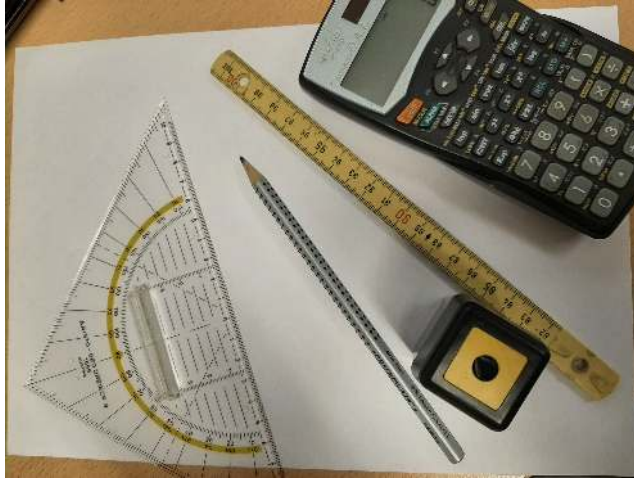
Lawinensensorik und -simulation



► Neuhauser et al. 2022

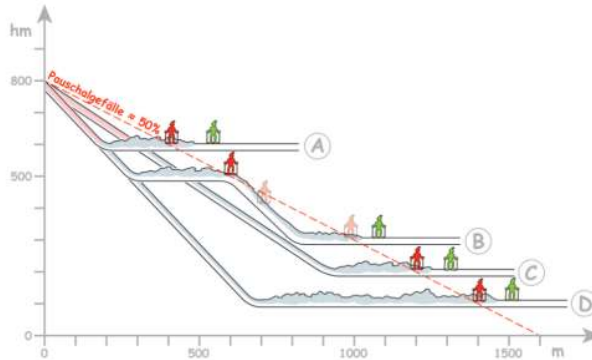
- 3 AvaNodes mit unterschiedlicher Dichte
- Vergleich von Messung und Simulation

Aufgabe 1: Lawinenpfad



Zeichnen Sie einen idealisierten / generischen *hokey-stick* Lawinenpfad:
mit 30° Hangneigung für eine Lauflänge von 1300 m und darauf folgenden, horizontalen
Auslaufbereich (Fallhöhe = 750 m)...

Aufgabe 1: Lawinenpfad



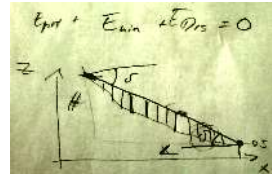
Zeichnen Sie einen idealisierten / generischen *hokey-stick* Lawinenpfad:
mit 30° Hangneigung für eine Lauflänge von 1300 m und darauf folgenden, horizontalen
Auslaufbereich (Fallhöhe = 750 m) ...
→ Festlegung der Skala (Seehöhe, Länge)

Aufgabe 2: Auslauf

Abschätzung des Auslauf durch Bestimmung von **projizierter Auslauflänge** L und Fallhöhe H mittels einfachem Pauschalgefälle bzw. Block-Modell (Coulomb Reibung) mit Auslaufwinkel
 $\alpha = \arctan \mu$

Methoden

- ▶ $\alpha = \delta = \arctan \mu = \arctan H/L = 25^\circ$
- ▶ $\alpha = \delta = \arctan \mu = \arctan H/L = 28^\circ$
- ▶ ...



Unterlagen

► Online Quellen:

► **Avalanche Atlas:** <http://unesdoc.unesco.org/images/0004/000480/048004MB.pdf>

► **EAWS** <https://www.avalanches.org/standards/>

► **CAA** www.avalancheassociation.ca/resource/resmgr/standards_docs/tasarm_english.pdf

► **AAA** <https://www.americanavalancheassociation.org/swag/>

► **ÖGSL** <https://www.oegsl.at>

► **AvaFrame** docs.avaframe.org/

► zusätzliche Quellen:

► ► **ISSW:** <http://arc.lib.montana.edu/snow-science/workshops.php>

► einfach fragen: jt.fischer@bfw.gv.at

► Interesse? AvaFrame-r.avaflow, ...

Zusammenfassung

Klassifikation von Lawinen

Prozesse

- Prozessverständnis und Variablen
- Lawinen und Geschwindigkeit

Modelle und Simulation

- Einfache daten- und prozessbasierte Modelle
- Komplexere Modelle und digitale Werkzeuge zur Lawinensimulation