

Critical hydro-meteorological trigger conditions for debris flow in a changing climate (ARCP Projekt Deucalion II)



David Prenner, Roland Kaitna

Universität für Bodenkultur, Wien



Markus Hrachowitz

TU Delft



Matt Switanek, Douglas Maraun

Wegener Center, Uni Graz

Wildbachgefahren lt. ONR 24800

- Hochwasser
- Extremer Sedimenttransport
- murartiger Abfluss
- Muren



Erosionsdokumentation: Erdweggeräten bei Normalfluss und Hochwasser 2005, Landkreis Berchtesgaden/ Land. Forst. BWL Traunsee

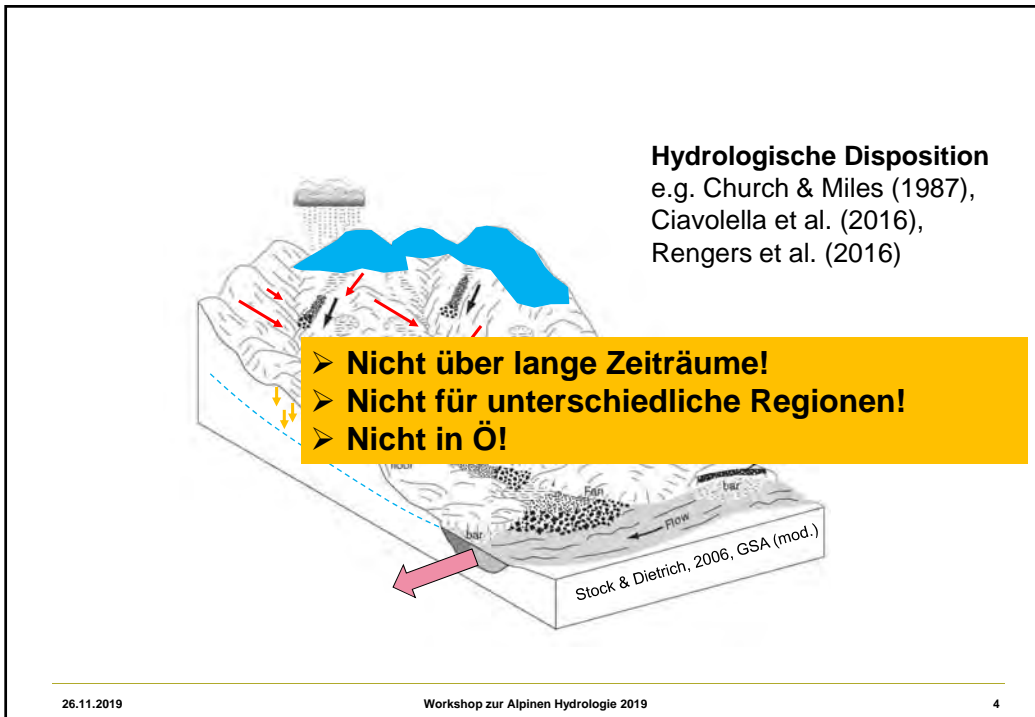
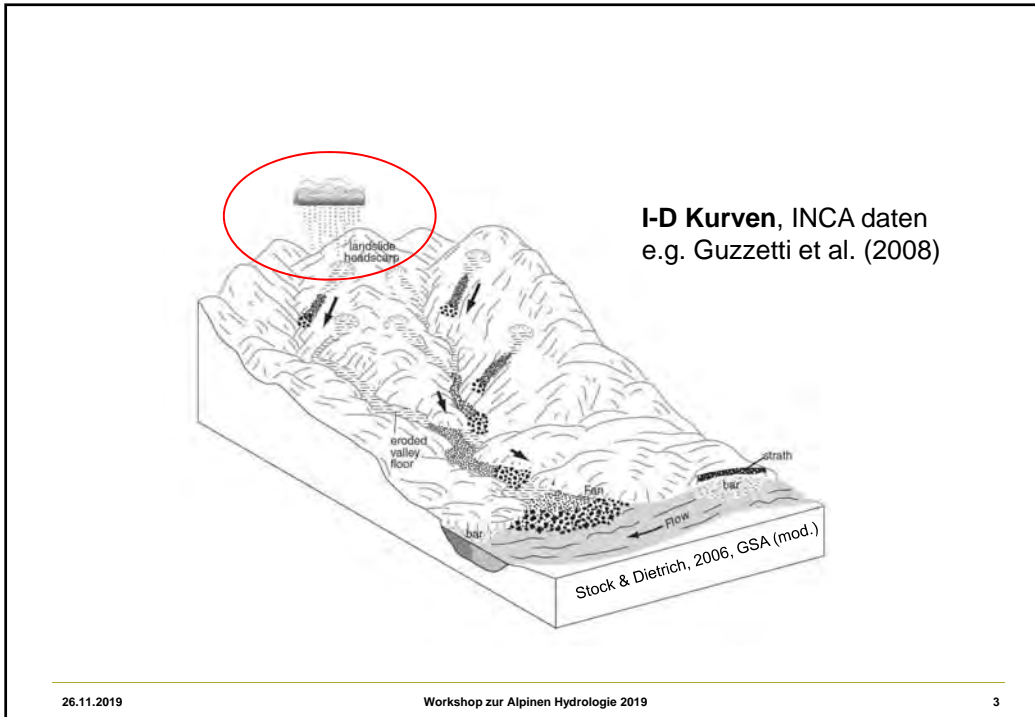
Rimböck et al., 2013. Schriftenreihe
Innerrheintal



Pfunds, 2005

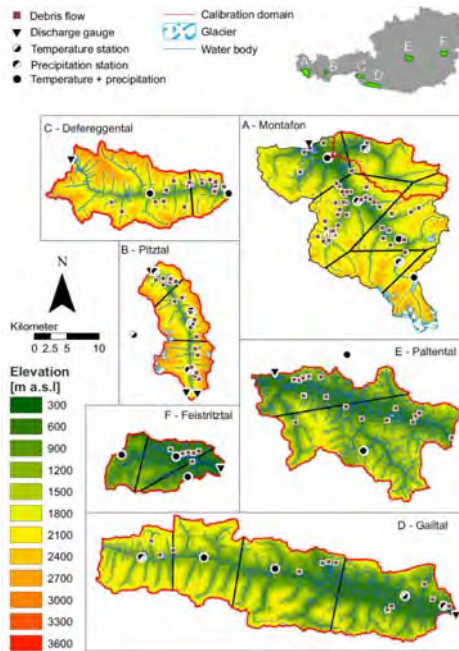


Tronitzerbachs, Gemeinde Aflitz am See (Quelle: GLB
Kärnten Nordost, WL.V).



Regionale hydrologische Modellierung

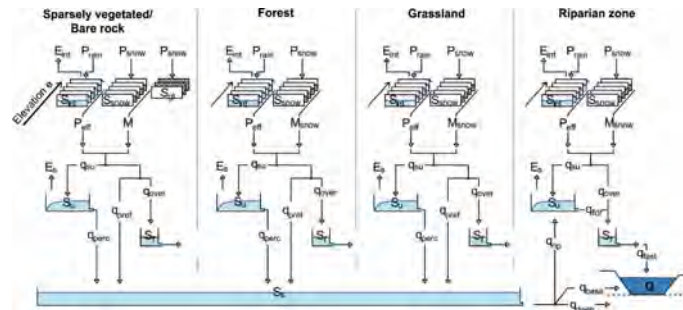
Region	Ereignistage (50+ Jahre)	
	Muren	Fluvial
Montafon	43	22
Pitztal	13	3
Defregental	10	15
Galltal	10	18
Paltental	12	22
Feistriztal	3	12



Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Hydrologisches Modell

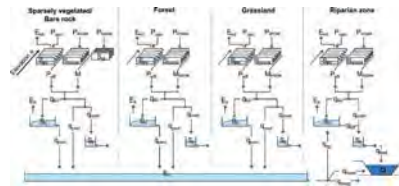
- Konzeptionelles Niederschlag-Abfluss Modell
 - verschiedene „rainfall units“
 - verschiedene „response units“



E_{int} = elevation resolved interception evaporation, P_{rain} = elevation corrected liquid precipitation, P_{snow} = elevation and seasonal corrected snow fall, S_{int} = elevation resolved interception reservoir, S_{snow} = elevation resolved snow reservoir, S_{gl} = elevation resolved glacier reservoir, P_{eff} = effective precipitation, M = snow M_{snow} and glacier melt, E_s = soil evapotranspiration, S_u = soil reservoir, q_{su} = flux into soil reservoir, q_{pref} = preferential flow, q_{perc} = percolation into groundwater reservoir S_g , q_{over} = excess overland flow, S_f = fast responding reservoir, q_{dr} = fast soil reservoir drainage, q_{rip} = groundwater flux into riparian zone, q_{fast} = fast runoff component, q_{base} = baseflow from groundwater, q_{deep} = deep groundwater loss, and Q = channel runoff.

Hydrologisches Modell

- Konzeptionelles Niederschlag-Abfluss Modell
 - verschiedene „rainfall units“
 - verschiedene „response units“
- C / Matlab / R
- **Model forcing:** Niederschlag, Temperatur
- **Kalibrierung** auf gemessenen Durchfluss
 - Likelihood-basierter Algorithmus (DREAM, Vrugt et al., 2008);
20,000 realizations (Calibration period: 25 - 35 (5) years)
 - Objective function: Kombination aus NS coefficient, logNS, waterbalance, maximum-likelihood Ansatz
 - Berechnungen: Vienna Scientific Cluster
- **Unsicherheiten:** Simulation jeder Region mit 100 Parameter Sets (zufällig ausgewählt aus der posterior distribution der Parameter)
- **Validation period:** 1 – 2 Jahre
- **Modellierung:** ca. 60 Jahre

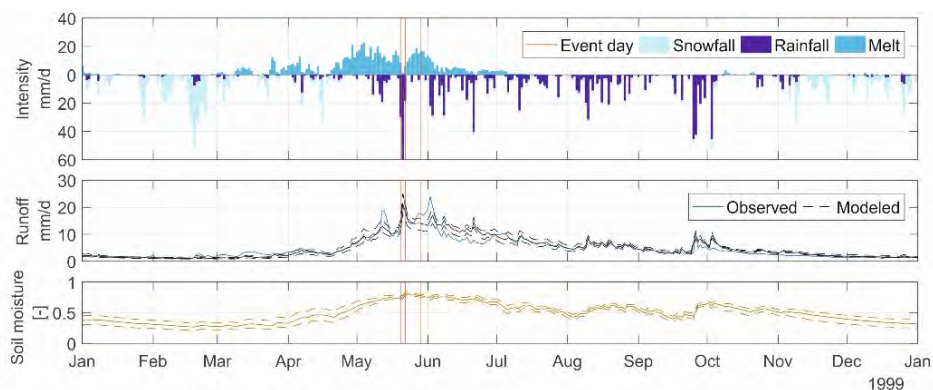


26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

7

Model Ergebnisse, Beispiel Montafon 1999



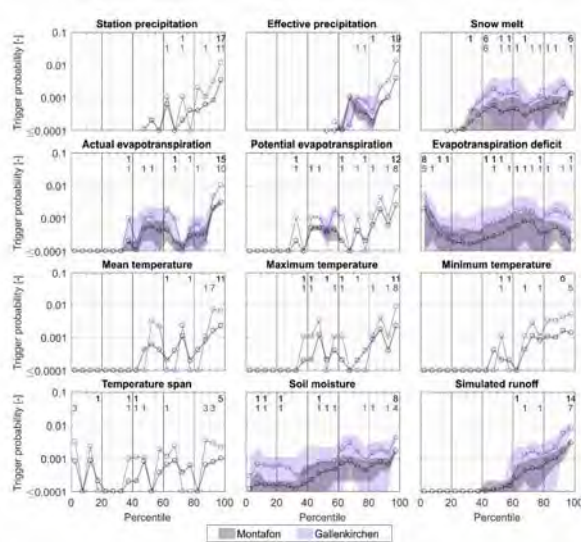
$$NSE = 0.73$$

26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

8

Auslösewahrscheinlichkeiten von Muren (Montafon)

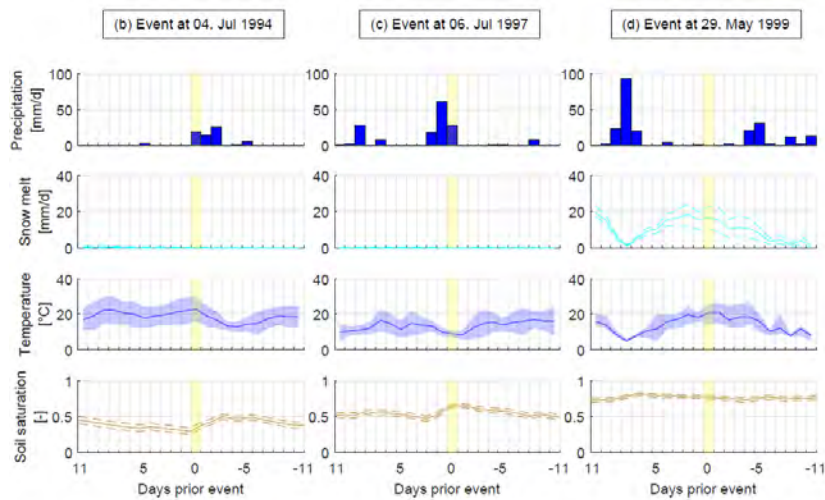


26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Prenner et al. (2018), WRR 9

Unterschiedliche Auslösetypen!



Gewitter

langanh. NS

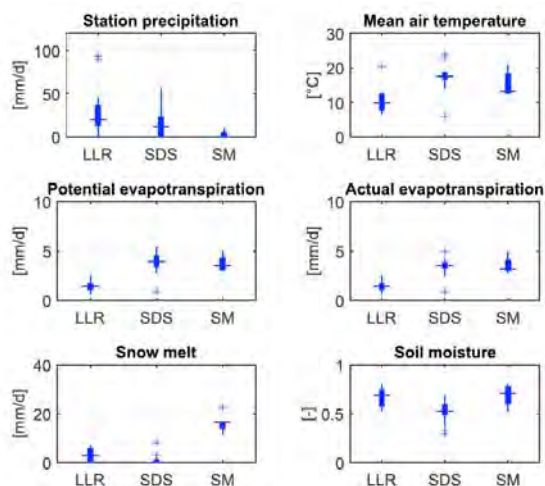
Schneesmelze

26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

10

Statistisch unterschiedlich! (Beispiel Montafon)



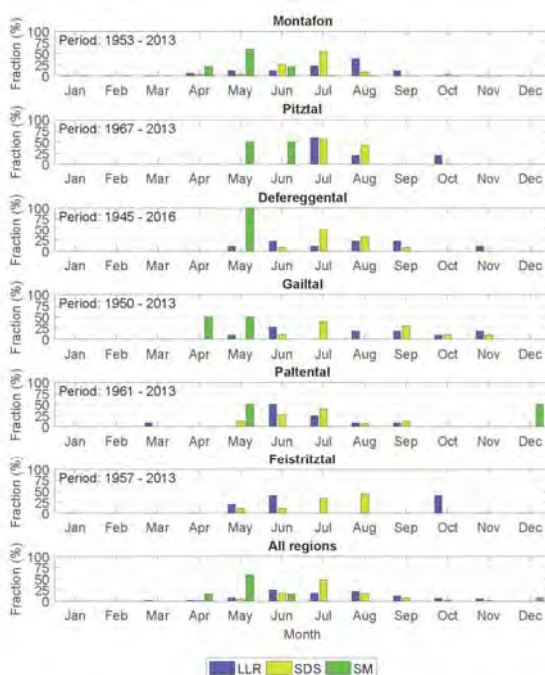
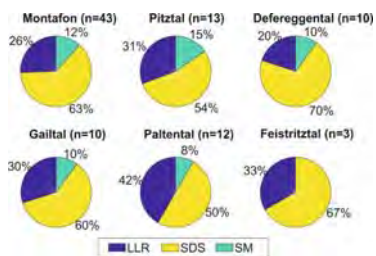
Prenner et al. (2018), WRR

26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

11

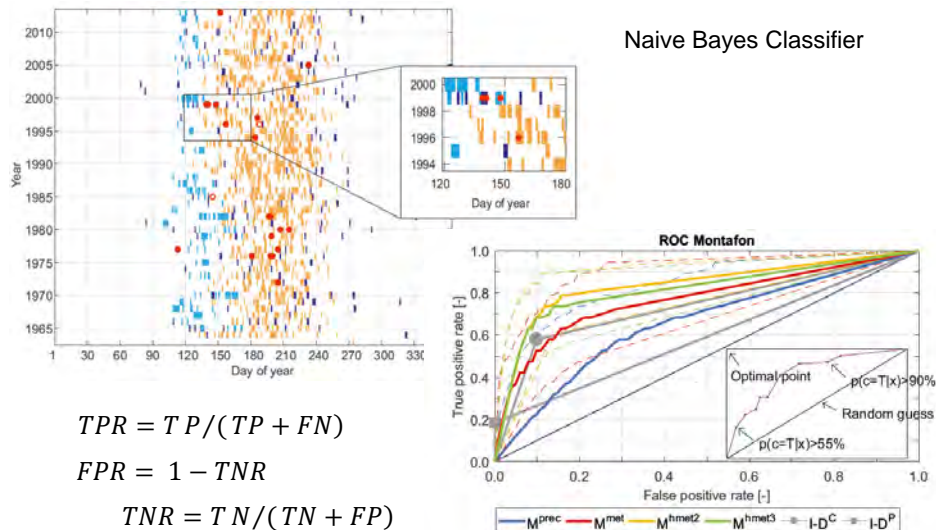
Auslösetypen in den Regionen (50+ Jahre)



26.11.2019

1

Suszeptibilitätsmodell Montafon



26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Prenner et al. (2018), WRR

13

Klimaprojektionen (Wegener Center, Uni Graz)



- Basierend auf regionalen Klimaprojektionen der EURO-CORDEX Initiative
- 14 Klimaprojektionen, jeweils 2 Emissionsszenarien (RCP4.5 und RCP8.5)
- Neue Methode für das räumlich-korrelierte Downscaling und Bias-Korrektur, wodurch die Trends für alle Quantile garantiert werden
- Zeitliche Auflösung: 1 Tag
- Kalibrierung: 1971 – 2000
- Modellierungszeitraum: 1971 – 2100

26.11.2019

Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

14

Modellierung der Zukunft

- 25 Parameter Sets des kalibrierten Modell
 - 28 Klimaprojektionen (P und T aller Wetterstationen)
→ 700 (= 25*28)
 - 6 Regionen
 - Potentielle Änderungen der hydrologischen Systems aufgrund Veränderungen der Vegetation oder Landnutzung wurden ignoriert
- Nahe Zukunft: 2021 – 2050 Ferne Zukunft: 2071 – 2100
 - Referenzperiode: 1971 – 2000
 - Statistische Unterschiede: Wilcoxon Rank Sum test (Wilcoxon, 1945)

Änderung der kritischen Auslösebedingungen

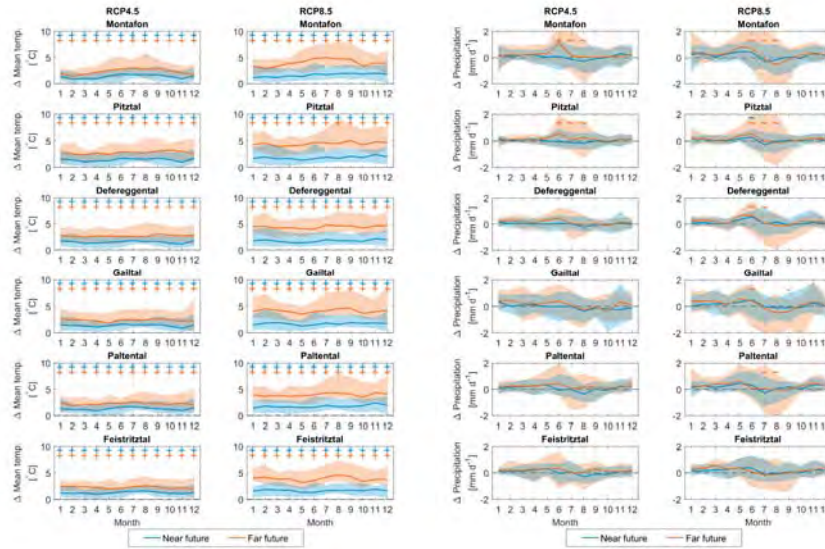
- Unterscheidung nach Auslösetyp:
 - Langanhaltender Niederschlag (LLR)
 - Gewitter (SDS)
 - Schneeschmelze (SM)
 - Regen-auf-Schnee (RS)
- Leicht adaptierte Kriterien
 - Für Referenzperiode
 - Nahe Zukunft + Ferne Zukunft



- Änderungen:
$$\Delta N = \frac{\overline{N}_F + 1}{\overline{N}_R + 1}$$

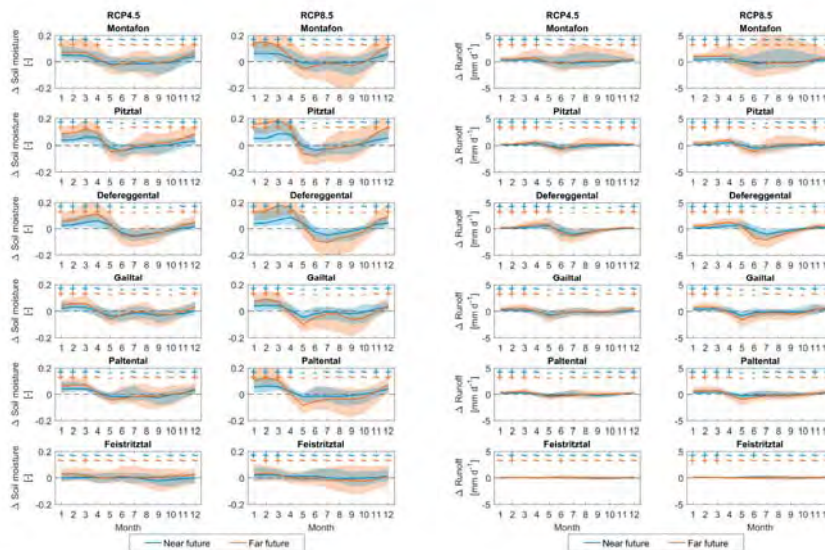
Klimaprojektionen

Near future (2021-2050)
Far future (2071-2100)



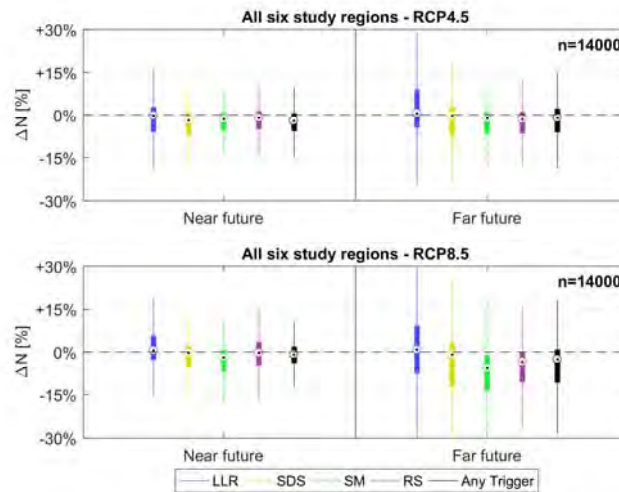
Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Ergebnisse hydrologische Modellierung



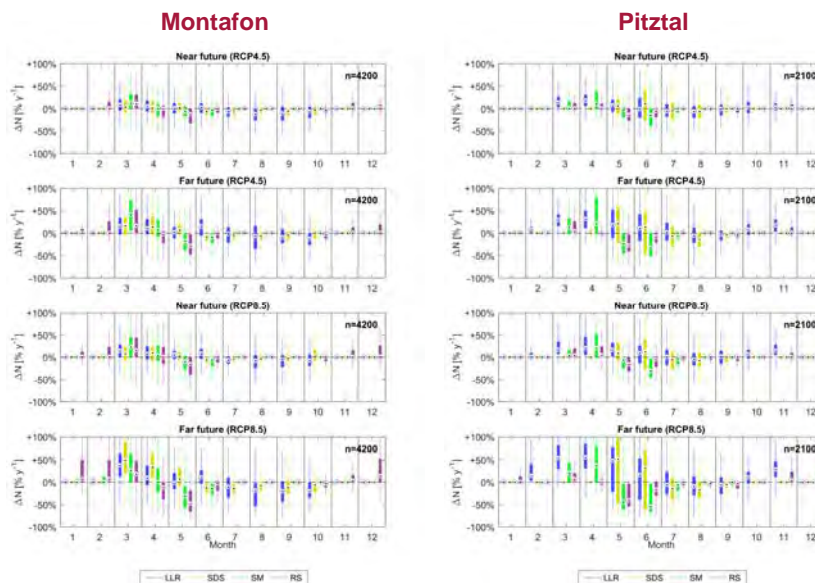
Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Auswirkung auf kritische Auslösebedingungen von Muren



Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

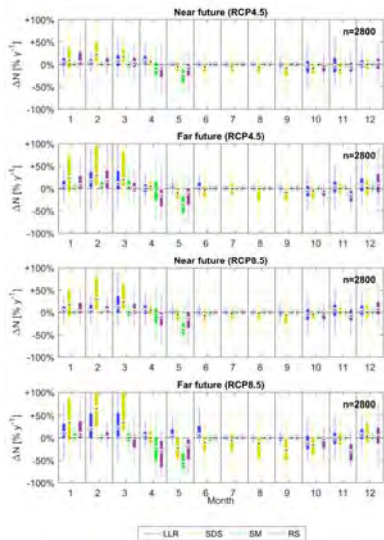
Saisonal & regional unterschiedlich!



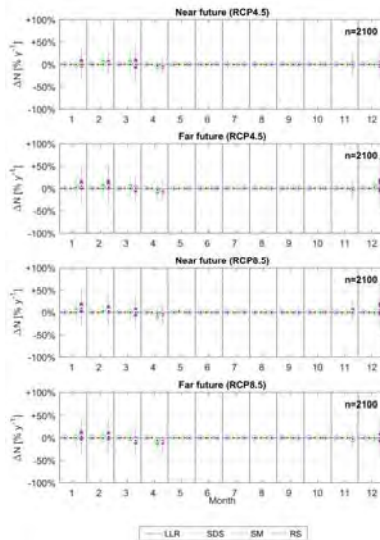
Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Saisonal & regional unterschiedlich!

Gailtal



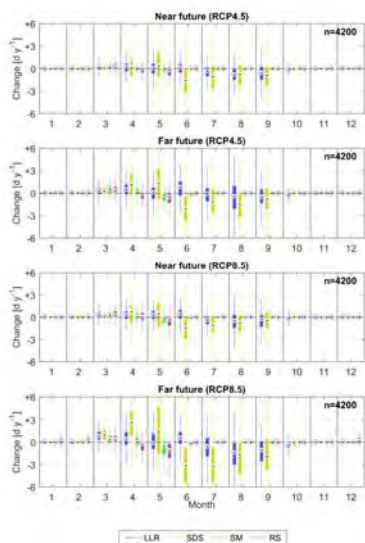
Feistritztal



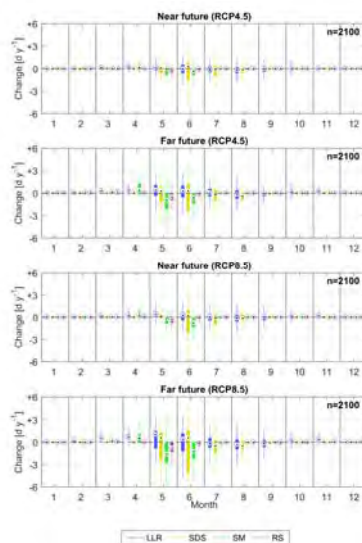
Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Saisonal & regional unterschiedlich!

Montafon



Pitztal



Workshop zur Alpen Hydrologie 2019

Zusammenfassung

- Auslösung**
- Unterschiedliche Auslösetypen!
2/3 Gewitter, 1/4 langanhaltender Regen
 - Einbeziehung der Hydrologie → verbesserte Vorhersage
- Muren und CC**
- Auslösebedingungen im Mittel stabil
 - Saisonale Verschiebung, v.a. früher im Jahr
 - Regionale Unterschiede!
 - Sensitiv auf Starkregen, Regen-auf-Schnee
 - Konvektive Auslöser indirekt erfasst!

Ausblick

Geomorphologische Disposition?

- Topographie?
- Variable Sedimentverfügbarkeit?
- Warum sind manche EZGs aktiv, manche nicht/wenig?
- Möglichkeit von großen Ereignissen in Regionen die bisher stabil waren?
- Verbesserung des Suszeptibilitätmodells möglich?

→ **Deucalion III (2019-2022)**



Dank an



Fördergeber: Österreichischer Klima- und Energiefonds

Unterstützung, Beratung, Datenbereitstellung: Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Hannes Hübl

Datenbereitstellung: ZAMG, HD, Illwerke, Tiwag

Datenhandling, Diskussion: Micha Heiser, Christian Scheidl

Datenverarbeitung: Vienna Scientific Cluster



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Based on:

Mostbauer, K., Kaitna, R., Prenner, D., Hrachowitz, M. (2018): The temporally varying roles of rainfall, snowmelt and soil moisture for debris flow initiation in a snow-dominated system. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 22, 3493-3513, (doi: 10.5194/hess-22-3493-2018).

Prenner, D., Kaitna, R., Mostbauer, K., Hrachowitz, M. (2018): The value of using multiple hydrometeorological variables to predict temporal debris flow susceptibility in an Alpine environment. *Water Resources Research* 54 (doi: 10.1029/2018WR022985).

Prenner, D., Hrachowitz, M., Kaitna, R. (2019): Trigger characteristics of torrential flows from high to low alpine regions in Austria. *Science of the Total Environment* 658, 958-972 (doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.206).

Other references:

Church, M., & Miles, M. J. (1987). Meteorological antecedents to debris flow in southwestern British Columbia: some case studies. *Reviews in Engineering Geology*, 7, 63–80.

Ciavolella, M., Bogaard, T., Gargano, R., & Greco, R. (2016). Is there Predictive Power in Hydrological Catchment Information for Regional Landslide Hazard Assessment? *Procedia Earth and Planetary Science*, 16, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2016.10.021>.

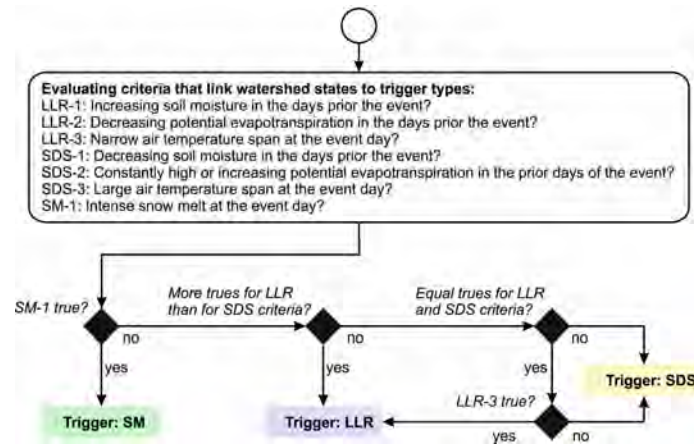
Rengers, F. K., McGuire, L. A., Kean, J. W., Staley, D. M., & Hobley, D. E. J. (2016). Model simulations of flood and debris flow liming in steep catchments after wildfire. *Water Resources Research*, 52(8), 6041–6061. <https://doi.org/10.1002/2015wr018176>

Stock, J. D. and Dietrich, W. E. (2006): Erosion of steepland valleys by debris flows. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 118, no. 9–10, pp. 1125–1148

Vrugt, J. A., ter Braak, C. J. F., Clark, M. P., Hyman, J. M., & Robinson, B. A. (2008). Treatment of input uncertainty in hydrologic modeling: Doing hydrology backward with Markov chain Monte Carlo simulation. *Water Resources Research*, 44(12), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2007WR006720>

Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80. <https://doi.org/10.2307/3001968>

Kriterien für Trigger-Klassen



Prenner et al. (2019), STOTEN

- Kein Niederschlag!
- Keine a priori Definition von Grenzwerten, sondern 1000x aus gleichförmiger Verteilung gesampelt (in einem plausiblen Wertebereich)