

LARSIM-Schulung im Rahmen des Internationalen LARSIM-Anwenderworkshops 2018:

Modellierung von schnee- und gletscherbeeinflussten Einzugsgebieten

Dirk Aigner

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft

März 2018

Auftraggeber: Bundesanstalt für Gewässerkunde



1. Schneemodellierung in LARSIM

- Akkumulation von Schnee
- Potentielle Schneeschmelze
- Setzung und Wasserabgabe der Schneedecke
- Auswahl von LARSIM-Schneeooptionen

2. Gletschermodellierung in LARSIM

- Grundlagen des Gletschermoduls
- Schneedynamik auf Gletscherflächen
- Eisschmelze und Abflussdynamik auf Gletscherflächen

3. Interaktive Rechenbeispiele

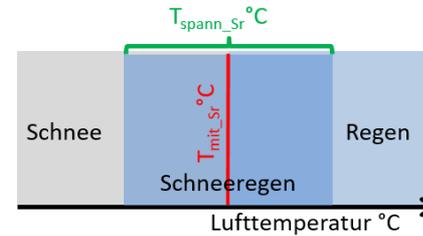
4. Diskussion

Schneemodellierung in LARSIM

Betrachtete Teilprozesse:

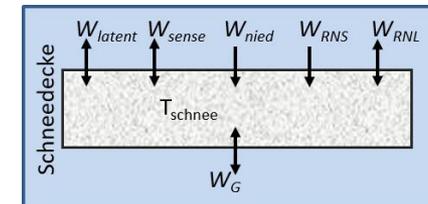
1. Akkumulation von Schnee

- SCHNEEREGEN
- SCHNEEINTERZEPTION



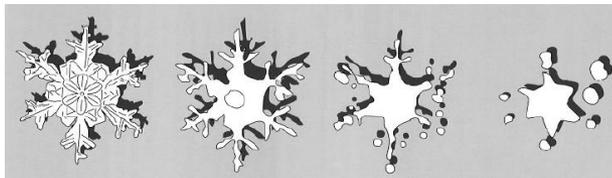
2. Potentielle Schneeschmelze durch Wärmezufuhr (Energiebilanz)

- SCHNEE: KNAUF, 2006



3. Setzung und Wasserabgabe

- SNOW-COMPACTION 3



Akkumulation von Schnee

Die Akkumulation von Schnee wird in LARSIM im wesentlichen gesteuert durch...

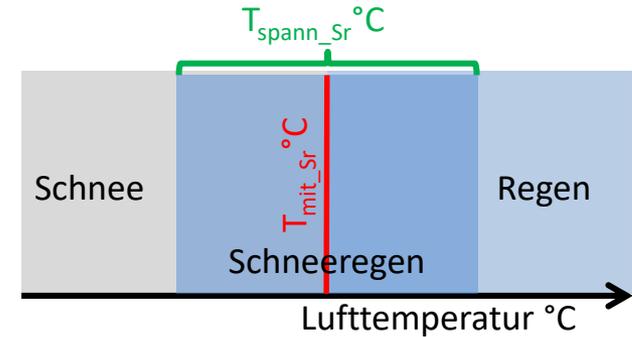
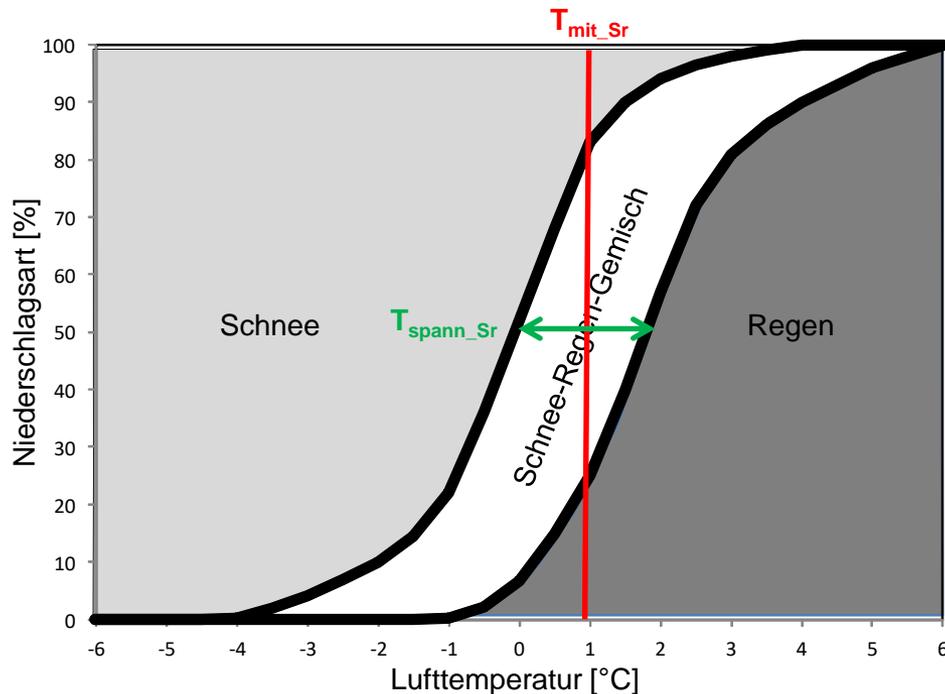
- a) Grenztemperatur für den Übergang zwischen flüssigem und festen Niederschlag
- b) Schneeeinterzeption (nur Waldstandorte)



Akkumulation von Schnee: Schneeregen

Option SCHNEEREGEN:

- Kalibrierparameter T_{mit_Sr} und T_{spann_Sr} für Übergangsbereich von trockenem Schnee zu Regen
- Im Übergangsbereich lineare Interpolation des flüssigen Anteils

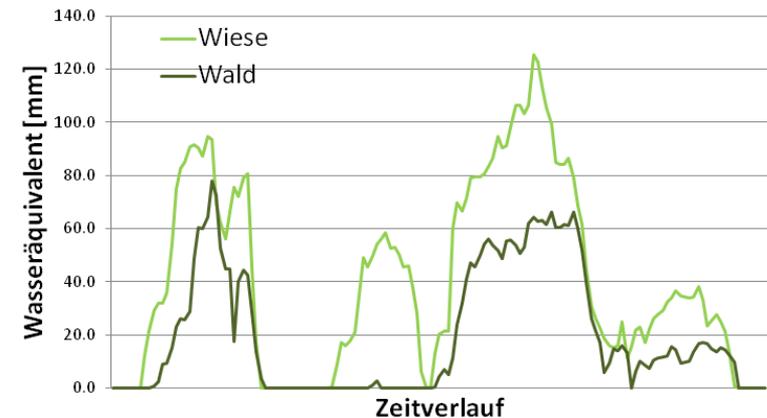


- In LARSIM:
 T_{mit_Sr} oft -1 bis +1 °C
 T_{spann_Sr} ca. 4 °C
- ABER:
in Realität zeitlich variabel

Akkumulation von Schnee: Schneeinterzeption

Option SCHNEEINTERZEPTION:

- An Waldstandorten erfolgt die Berechnung einer Schneedecke im Kronendach zusätzlich zur Schneedecke am Boden
- Berücksichtigt werden...
 - a) Rückhalt des fallenden Schnees
Schneeakkumulation im Kronendach wird über Einzelparameter SCHNEEINZ KAPAZITAET und SCHNEEINZ RATE gesteuert (tape10) und ist u.a. Funktion des Blattflächenindex (LAI)
 - b) Reifungsprozesse des Schnees im Kronendach
Berechnung der Schneedecke im Kronendach anhand vollständiger Energiebilanz inkl. Teilprozesse Sublimation, Verdunstung, Setzung und Schmelze (Optionen SCHNEE: KNAUF, 2006 und SNOW-COMPATION 3)

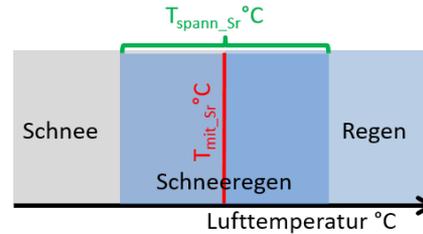


Schneemodellierung in LARSIM

Betrachtete Teilprozesse:

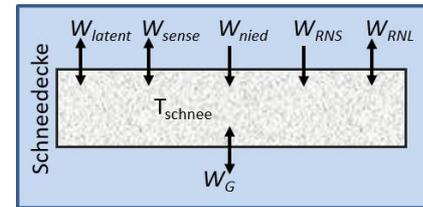
1. Akkumulation von Schnee

- SCHNEEREGEN
- SCHNEEINTERZEPTION



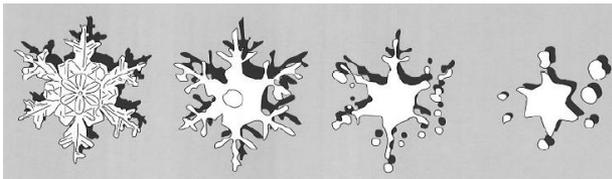
2. Potentielle Schneeschmelze durch Wärmezufuhr (Energiebilanz)

- SCHNEE: KNAUF, 2006



3. Setzung und Wasserabgabe

- SNOW-COMPACTION 3

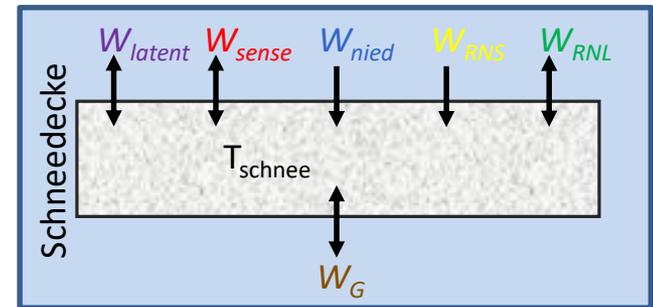


Potentielle Schneeschmelze

Option SCHNEE: KNAUF, 2006:

Berechnung der potentiellen Schneeschmelze durch Modellierung der Energiebilanz der Schneedecke unter Berücksichtigung von:

- Bodenwärmestrom W_G
- Eingetragene Wärme aus Niederschlag W_{nied}
- Turbulenter Strom fühlbarer Wärme W_{sense}
- Turbulenter Strom latenter Wärme W_{latent}
- Kurzwellige Strahlungsbilanz W_{RNS}
- Langwellige Strahlungsbilanz W_{RNL}



Energiebilanz der Schneedecke:

$$W_{tot} [W/m^2] = W_G + W_{nied} + W_{sense} + W_{latent} + W_{RNS} + W_{RNL}$$

Potentielle Schneeschmelze

Option SCHNEE: KNAUF, 2006:

$$W_G = f(\text{Parameter } ScRa)$$

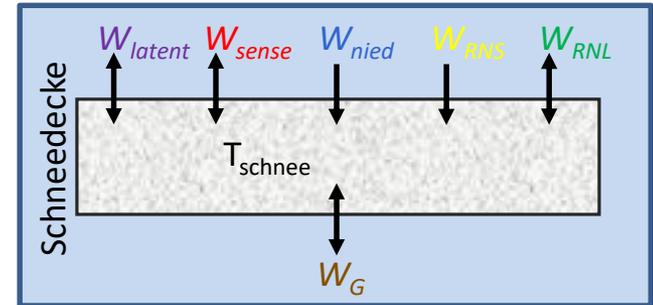
$$W_{nied} = f(\text{Niederschlag, Lufttemperatur } T_{Luft})$$

$$W_{sense} = f(T_{Luft}, T_{schnee}, \text{Windgeschwindigkeit } v)$$

$$W_{latent} = f(\text{Wasserdampfdruck an Schneeoberfläche } e_{Schnee}, e_{Luft}, v)$$

$$W_{RNS} = f(\text{Globalstrahlung})$$

$$W_{RNL} = f(e_{Luft}, T_{Luft}, T_{schnee})$$



Energiebilanz der Schneedecke:

$$W_{tot} [W/m^2] = W_G + W_{nied} + W_{sense} + W_{latent} + W_{RNS} + W_{RNL}$$

Potentielle Schneeschmelze

Mittels Option EINGABE KNAUF-PARAMETER können Parameter der Energiebilanz-Berechnung als Kalibriergrößen vorgegeben werden:

W_G	ScRa (Schmelzrate des Bodenwärmestroms)
W_{nied}	-
W_{sense}	A0 (Konstante im turbulenten Übergangskoeffizient) A1 (Konstante zur Berechnung des windabhängigen Terms des turbulenten Übergangskoeffizient)
W_{latent}	A0, A1
W_{RNS}	Abso (Absorptionskoeffizient, entspricht: 1 – Albedo)
W_{RNL}	-

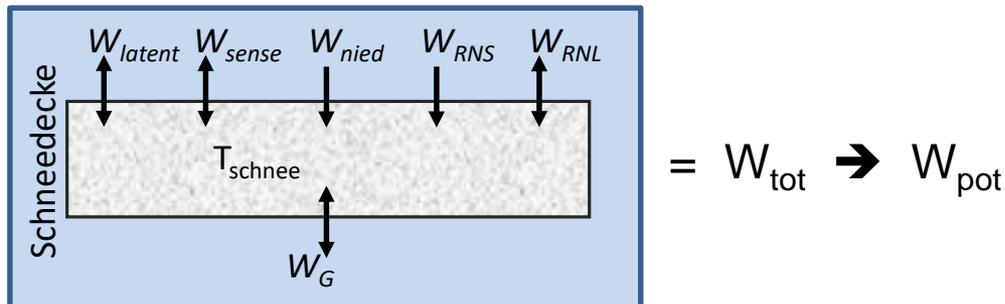
Energiebilanz der Schneedecke:

$$W_{tot} [W/m^2] = W_G + W_{nied} + W_{sense} + W_{latent} + W_{RNS} + W_{RNL}$$

Potentielle Schneeschmelze

Sofern im aktuellen Zeitschritt mehr Energie W_{tot} zugeführt wird, als für die Erwärmung der Schneedecke auf 0 °C erforderlich ist, steht die verbleibende Energie W_{pot} für die potentielle Schneeschmelze zur Verfügung:

- W_{tot} negativ: Schneetemperatur sinkt
- W_{tot} positiv: Schneetemperatur steigt bis max. 0 °C
ggf. Überschüssige Energie = W_{pot}

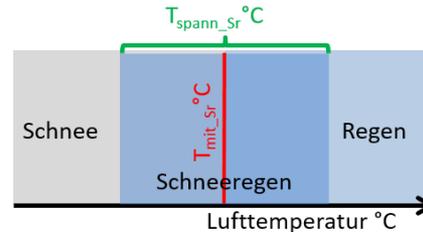


Schneemodellierung in LARSIM

Betrachtete Teilprozesse:

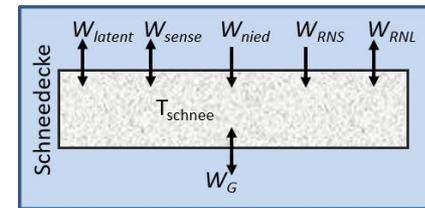
1. Akkumulation von Schnee

- SCHNEEREGEN
- SCHNEEINTERZEPTION



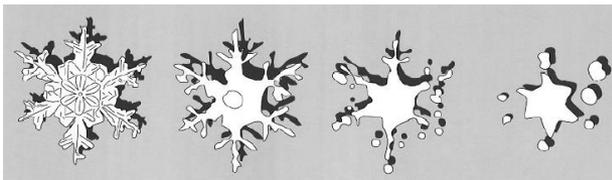
2. Potentielle Schneeschmelze durch Wärmezufuhr (Energiebilanz)

- SCHNEE: KNAUF, 2006



3. Setzung und Wasserabgabe

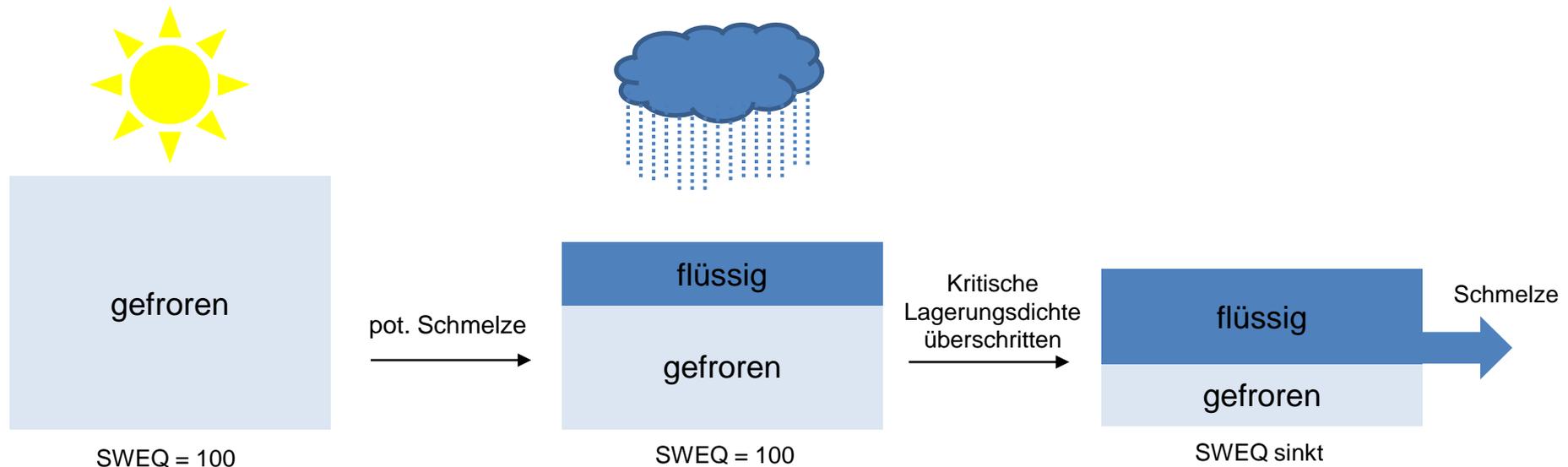
- SNOW-COMPACTION 3



Setzung der Schneedecke

Option SNOW-COMPACTION 3:

- Wasser aus potentieller Schneeschmelze und ggf. Regen wird zunächst in Schneedecke gespeichert
 - Setzung tritt ein und Lagerungsdichte des Schnees erhöht sich (höherer Anteil flüssigen Wassers am gesamten Schnee-Wasseräquivalent auf Kosten des gefrorenen Anteils)
- Aktueller Wassergehalt der Schneedecke übersteigt den maximal möglichen Wassergehalt der Schneedecke (abhängig von Parameter S_{ret}) → Wasserabgabe aus der Schneedecke (tatsächliche Schneeschmelze)

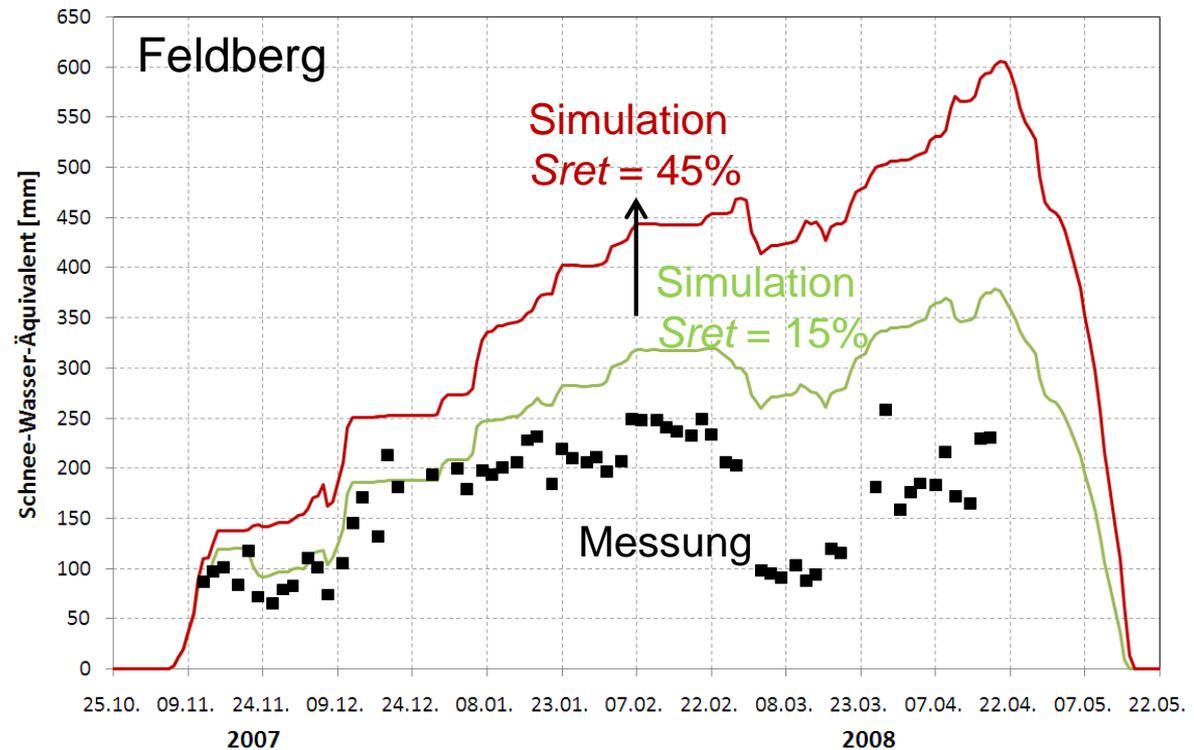


Setzung der Schneedecke

Maximale Schnee-Retention kann durch *Sret* gesteuert werden:

Je höher *Sret*...

- desto mehr Rückhalt in Schneedecke
- desto intensivere Wasserabgabe aus Schneedecke



Mittels Option MAX. SCHNEE-RET. TAPE35 kann *Sret* als Kalibrierparameter vorgegeben werden.

Auswahl weiterer Schneeoptionen

Bei begrenzter Datenverfügbarkeit:

- Option SCHNEE: GRAD-TAG-VERFAHREN (alternativ zu SCHNEE: KNAUF, 2006)
 - Energiebilanz nur anhand Lufttemperatur und Niederschlag: $w_{\text{tot}} = w_{\text{GTF}} + w_{\text{Nied}}$
 - Kalibrierparameter GTF

In gebirgsreichen Gebieten:

- Option SCHNEE: H-ZONEN EXTERN
 - Separate Berechnung der Schneedecke für Höhenschichten
 - Lufttemperatur für Höhenschicht anhand Höhengradient $0.65 \text{ °C} / 100 \text{ m}$

In alpinen Gebieten:

- Option SCHNEE-MASSENTRANSPORT
 - Verfrachtung von Schnee talabwärts bei Überschreitung kritischer Schneehöhe zur Vermeidung des sukzessiven Aufbaus von „Schneebergen“ bei positiver Massenbilanz
- Option GLETSCHERMODUL

Schneemodellierung in LARSIM

Zusammenfassung Schneemodellierung:

1. Akkumulation von Schnee

- SCHNEEREGEN
- SCHNEEINTERZEPTION

2. Potentielle Schneeschmelze durch Energiezufuhr

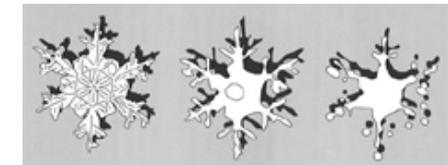
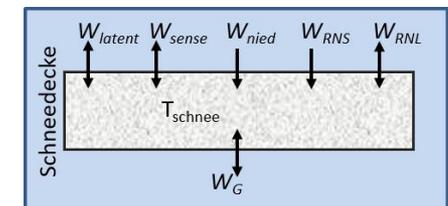
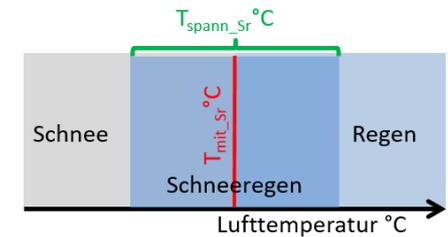
- SCHNEE: KNAUF, 2006
- (EINGABE KNAUF-PARAMETER)

3. Setzung und Wasserabgabe der Schneedecke

- SNOW-COMPACTION 3
- (MAX. SCHNEE-RET. TAPE35)

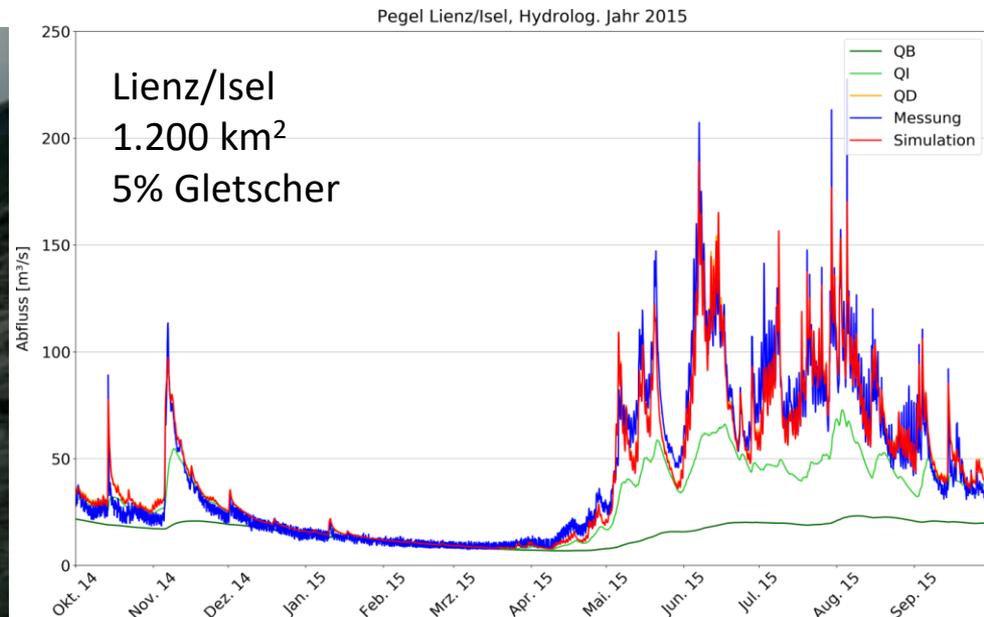
4. Höhenzonen-spezifische Berechnung und Schnee-Massentransport

- (SCHNEE: H-ZONEN EXTERN)
- (SCHNEE-MASSENTRANSPORT)



Bedeutung von Gletschern im Abflussgeschehen

- Grundsätzlich nivales Regime und Sommerhochwasser
- Trotz geringer Fläche großer Abflussanteil von Gletschern im Spätsommer
- Hohes Abflussniveau durch Eisschmelze bei sommerlichem Schönwetter
- Schneefreier Gletscher mit hohem Abflussbeiwert
- Bereits bei 5% Flächenanteil im Einzugsgebiet relevant



Option GLETSCHERMODUL

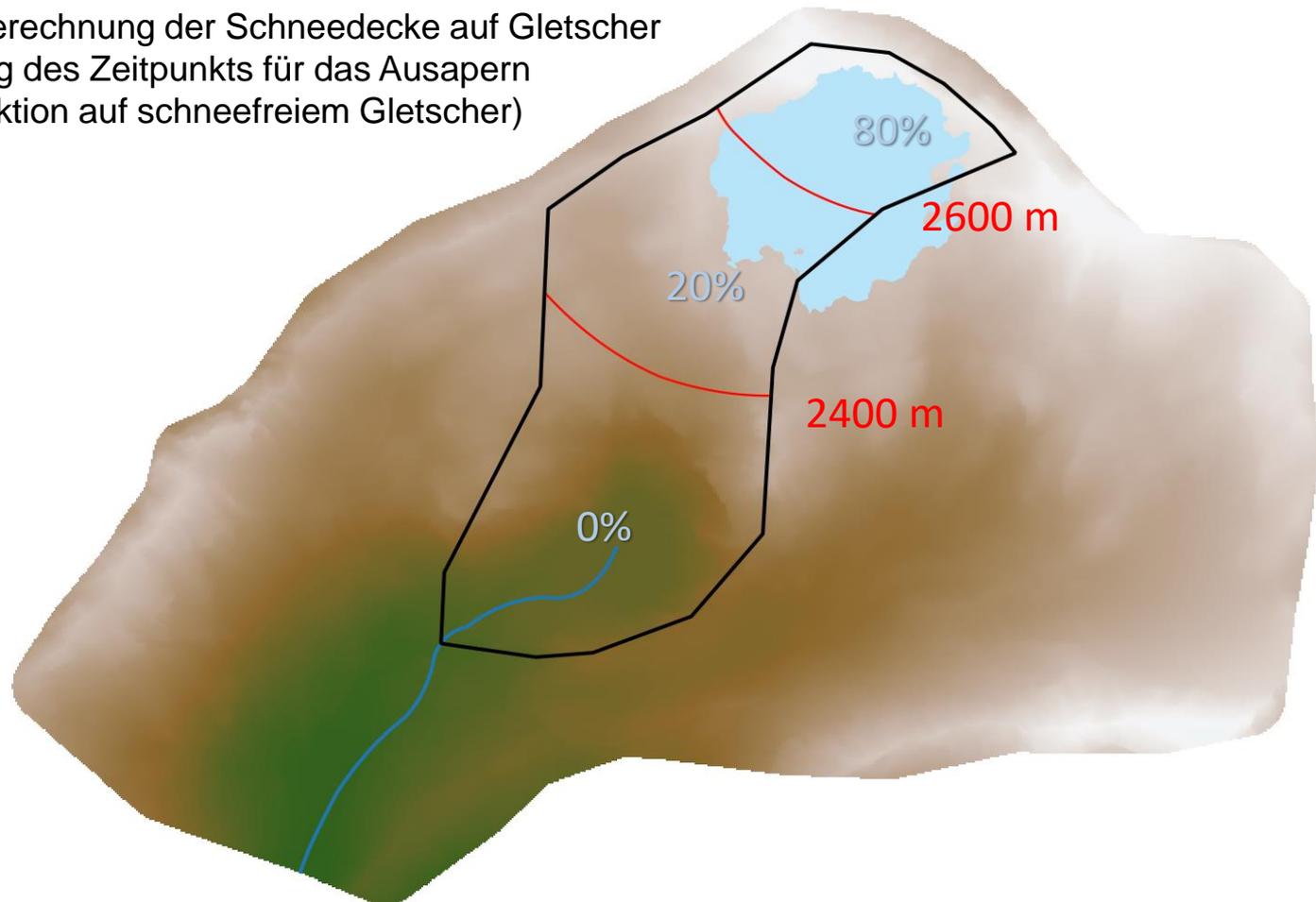
- Erfordert folgende Optionen:
 - SCHNEE: KNAUF, 2006
 - SCHNEE: H-ZONEN EXTERN
- Stationärer Gletscher mit definierter, zeitlich konstanter Ausdehnung
 - Langjährige Dynamik (Vorrücken, Abschmelzen) nicht für kurzfristige Abflussdynamik relevant
- Separate Landnutzung „Gletscher“
 - Gletscherausdehnung bei Bedarf einfach zu korrigieren

* gesamtes Einzugsgebiet [qkm]	=	2.33							
* davon vergletschert [qkm]	=	2.13							
* Gerinnebildender Abfluss [cbm/s]	=	5.24							
7011611300000	1.000	0.628	3418.135	2879.395	295.012	215.499			1
701 80185	79110	0.24138	0.71	2.27	0.00	0.00			2
701 2.27	2.27	1.32	100.00	100.00	4.00	4.00			3a
701 7.58	20.00	20.00							3b
701BP 5	0	0.200	0.0	0.0	0.0	0.10	-9	-99	
701BP 17	0	0.800	0.0	0.0	0.0	0.10	-9	-99	

5 = Fels, 17 = Gletscher

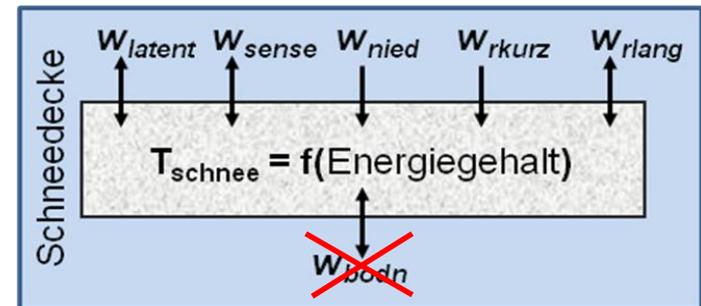
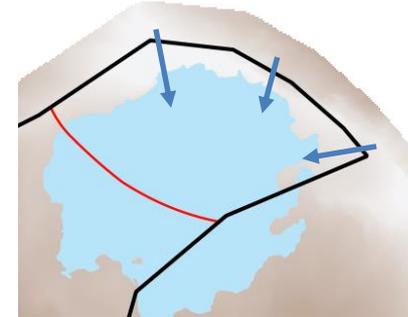
Höhenzonierung für Gletscher

- In LARSIM werden Landnutzungen über Höhenzonen gleichverteilt
- Ausnahme Gletscher: separate Höhenzonierung (h-zonen-gletscher.dat)
 - Möglichst genaue Berechnung der Schneedecke auf Gletscher wichtig zur Ermittlung des Zeitpunkts für das Ausapern (schnelle Abflussreaktion auf schneefreiem Gletscher)



Schneedynamik auf Gletscherfläche

- Massentransport Schnee bevorzugt auf Gletscherflächen
- Auf höhenzonierten Gletschern Berechnung der Schneedynamik mit vollständiger Energiebilanz analog zu anderen Freiland-Flächen
- Besonderheiten:
 - Kein Bodenwärmestrom
 - Kleiner Teil des Schnees wird in Gletschereis umgewandelt (Kalibrierparameter f_{eis})

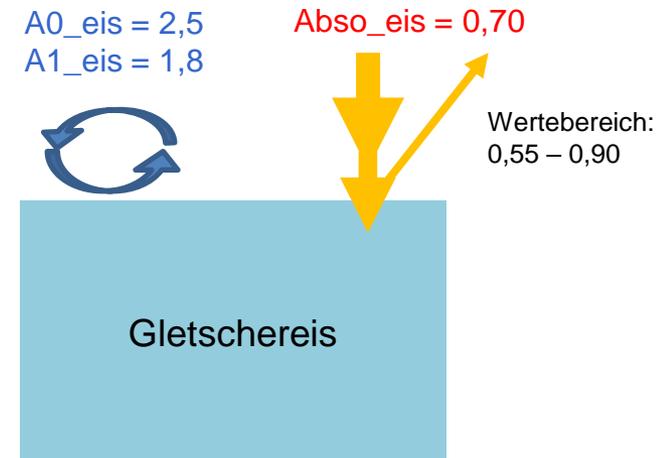
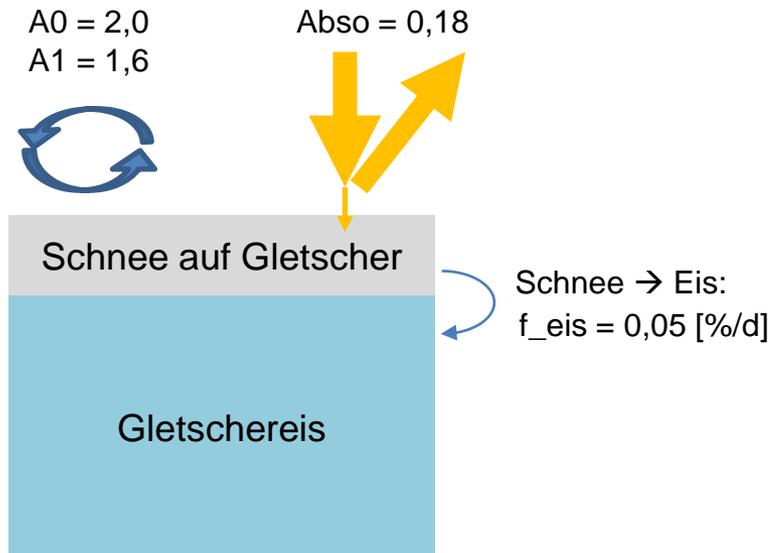
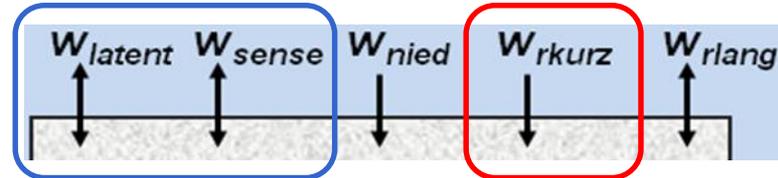


- **Solange Schnee auf Gletscher liegt: Retention von Niederschlag in Schneedecke (keine Eisschmelze)**

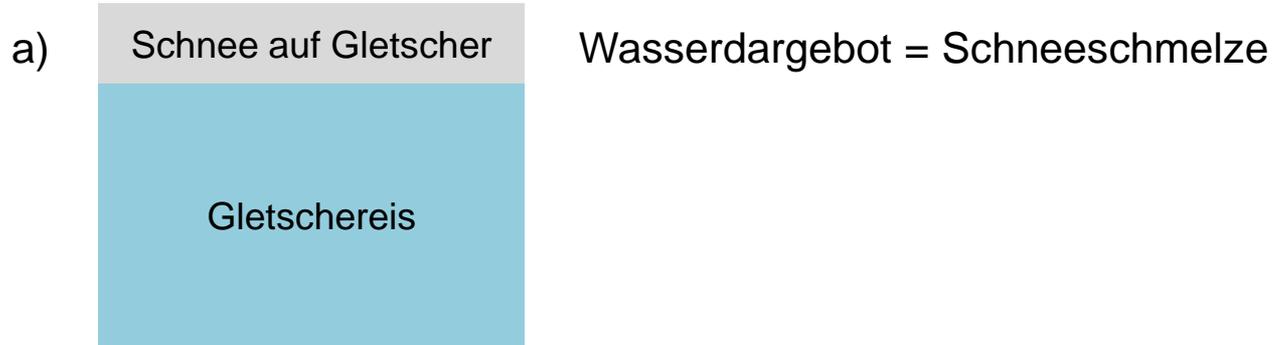
Eisschmelze

Eisschmelze erst dann, wenn kein Schnee mehr auf der Gletscherfläche liegt

- Vollständige Energiebilanzbetrachtung an der Gletscheroberfläche
- Zusätzliche Parameter für Eis:
 - Übergangskoeffizienten für turbulente Wärmeströme: $A0_eis$, $A1_eis$
 - Absorptionsanteil des Gletschereis für kurzwellige Strahlung: $Abso_eis$
- Bei positiver Energiebilanz \rightarrow Eisschmelze ($= W_{pot-eis}$)



Abflussbildung auf Gletscherflächen



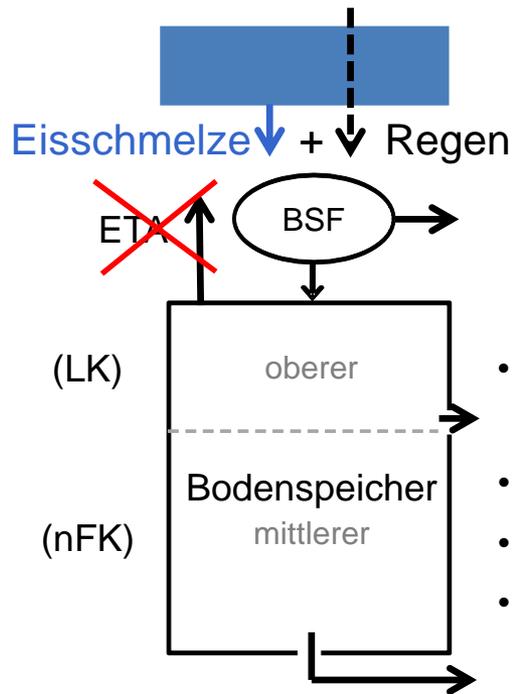
Standardmäßig kein Boden unter Gletscher → keine Retention → **nur Direktabfluss**

ABER: ggf. zu starke Abflussreaktion und im Winter zu wenig Nachlaufen

Abflussbildung auf Gletscherflächen

Parameter für Retention „in und unter“ Gletscher:

- Retention kann durch „fiktiven“ Bodenspeicher näherungsweise abgebildet werden (nFK, LK)
- Bei Landnutzung Gletscher ist Verdunstung aus Bodenspeicher ausgeschlossen



- Retention im Sommer
- Retention zu Beginn der Schmelze
- Während Sommer gefüllt → keine Retention → schnelle Reaktion
- Langsames Leerlaufen im Winter