

LARSIM-Anwendertreffen 2011

Modellierung des Schnees im Wasserhaushaltsmodell LARSIM: Berechnung der Setzung und der aktuellen Schneeschmelze

Kai Gerlinger & Ingo Haag

HYDRON Ingenieurgesellschaft für Umwelt und Wasserwirtschaft mbH

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz



Modélisation de la neige

Processus considérés:

1. fonte potentielle des neiges par apports thermiques
2. accumulation de neige
3. compactage de la couverture de neige en raison de la part croissante d'eau liquide
4. fonte des neiges momentanée en fonction de la part d'eau liquide dans la couverture de neige

Betrachtete Teilprozesse:

1. Potentielle Schneeschmelze durch Wärme und Strahlung
2. Akkumulation von Schnee
3. Setzung (Kompaktion) der Schneedecke als Folge des zunehmenden Anteils von flüssigem Wasser
4. Aktuelle Schneeschmelze in Abhängigkeit vom Anteil des flüssigen Wassers innerhalb der Schneedecke

Aperçu options neige

Création de
l'écoule-
ment

***Abfluss-
bildung***

← **Couche de neige / *Schneedecke***

**Bilan de l'énergie
*Energiebilanz***

**Compaction et fonte
*Setzung und Schmelze***

SCHNEE: KNAUF, VER.
SCHNEE: KNAUF, ERW.
SCHNEE: OBERFL-TEMP

SNOW-COMPACTION
SNOW-COMPACTION UEB

SCHNEE: KNAUF, 2006
SCHNEEALBEDO

SNOW-COMPACTION 2

BODENTEMPERATUR
(FROST-VERSIEGEL-FAK)

MAX. SCHNEE-RET. TAPE35
EINGABE KNAUF-PARAMETER

Aperçu options neige

Création de
l'écoule-
ment

***Abfluss-
bildung***

← **Couche de neige / *Schneedecke***

Bilan de l'énergie
Energiebilanz

SCHNEE: KNAUF, VER.
SCHNEE: KNAUF, ERW.
SCHNEE: OBERFL-TEMP

Compaction et fonte
Setzung und Schmelze

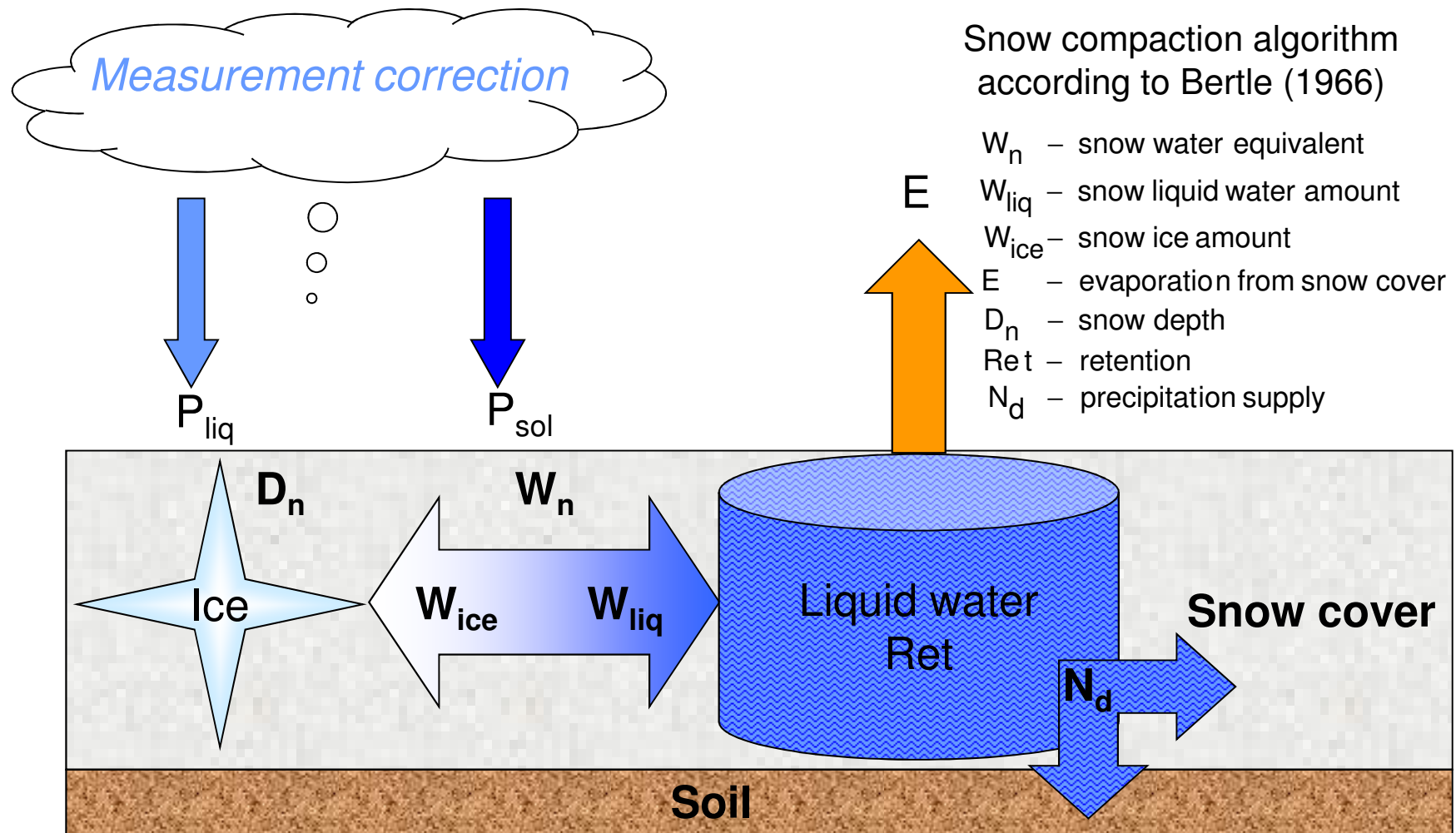
SNOW-COMPACTION
SNOW-COMPACTION UEB

SNOW-COMPACTION 2

MAX. SCHNEE-RET. TAPE35

Accumulation de la neige

Mass balance

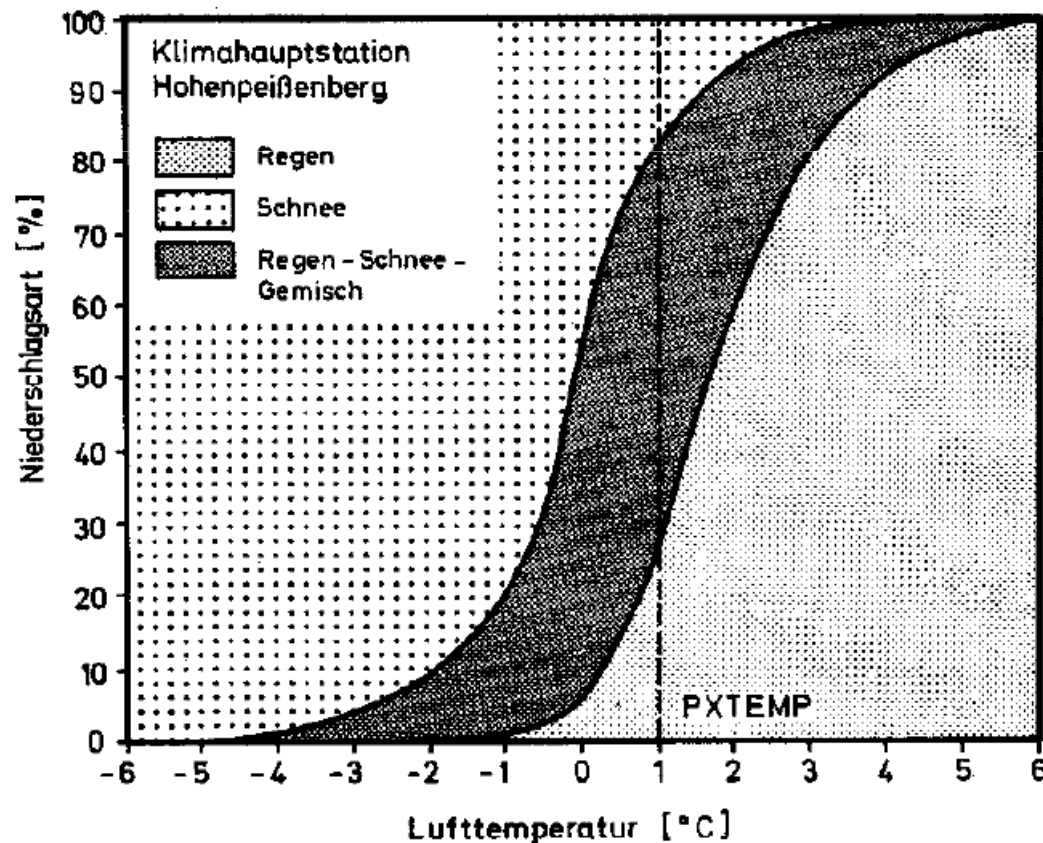


Böhm 2011

Accumulation de la neige

Accumulation de neige : la température limite neige T_{Gr} détermine si les précipitations régionales tombent sous forme solide ou liquide

Akkumulation von Schnee: Grenztemperatur Schnee T_{Gr} entscheidet, ob Gebietsniederschlag in fester oder flüssiger Form fällt



Accumulation de la neige

Accumulation de neige : la température limite neige T_{Gr} détermine si les précipitations régionales tombent sous forme solide ou liquide

précipitations de neige pour $T_{Luft} \leq T_{gr}$

précipitations de pluie pour $T_{Luft} > T_{gr}$

T_{Luft} [°C]

température mesurée près du sol (à 2 m du sol)

T_{gr} [°C]

valeur seuil pour la température atmosphérique (à 2 m du sol), au dessous de laquelle les précipitations tombent sous forme de neige

Akkumulation von Schnee: Grenztemperatur Schnee T_{Gr} entscheidet, ob Gebietsniederschlag in fester oder flüssiger Form fällt

Schneeniederschlag für $T_{Luft} \leq T_{gr}$

Regenniederschlag für $T_{Luft} > T_{gr}$

T_{luft} [°C]

gemessene bodennahe Lufttemperatur (2 m über Boden)

T_{gr} [°C]

Grenzwert für die Lufttemperatur (2 m über Boden), unterhalb derer Niederschlag als Schnee fällt

Accumulation de la neige

- Les précipitations se forment dans les couches d'air supérieures → même si T_{Luft} monte jusqu'à 2° C, les précipitations sont encore neigeuses → T_{Gr} de 0°C à 2°C (recommandé 1°C).
 - La température limite T_{Gr} est une valeur de calibrage qui peut être définie pour chaque zone.
- Niederschlag wird in höheren Luftschichten gebildet → auch bei T_{Luft} bis 2°C noch Schneeniederschlag → T_{Gr} 0°C bis 2°C (empfohlen 1°C).
 - Die Grenztemperatur T_{Gr} ist eine Kalibriergröße, die bereichsweise festgelegt werden kann.

Métamorphose de la neige

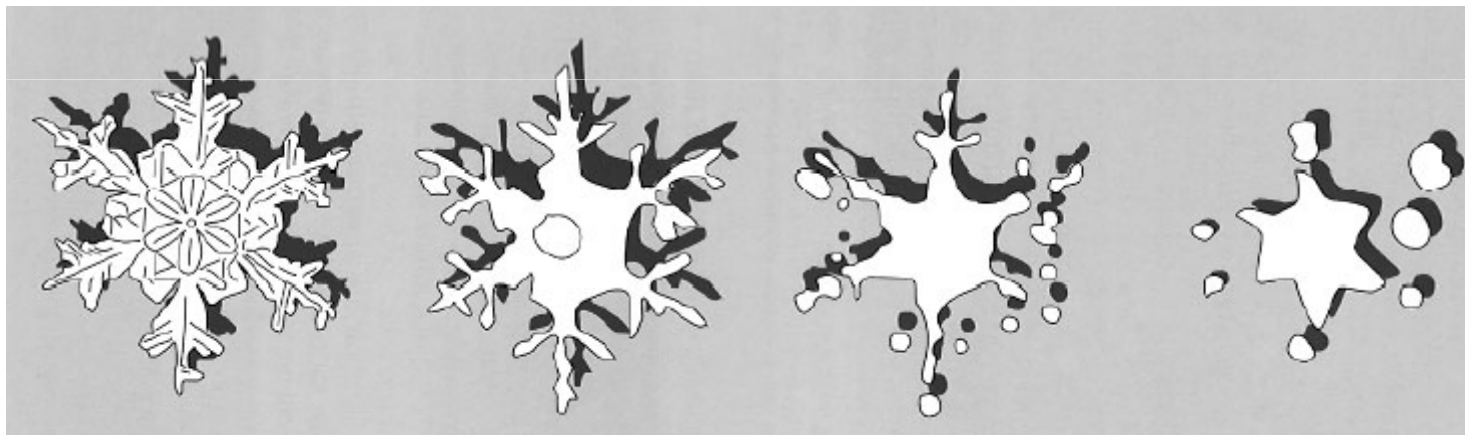


Keuschnig & Schatzl 2009

Métamorphose de la neige



Caltech 2011



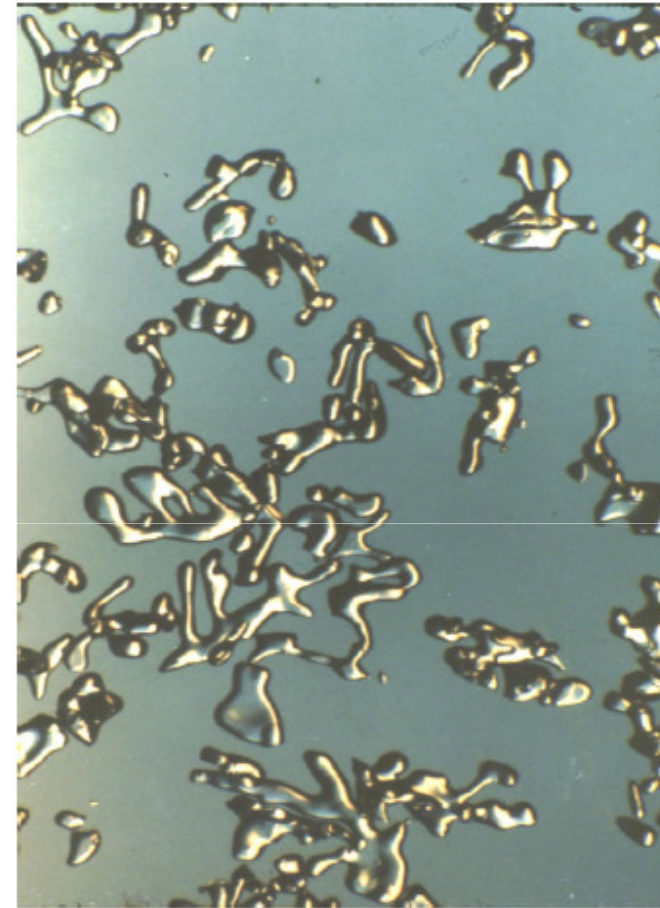
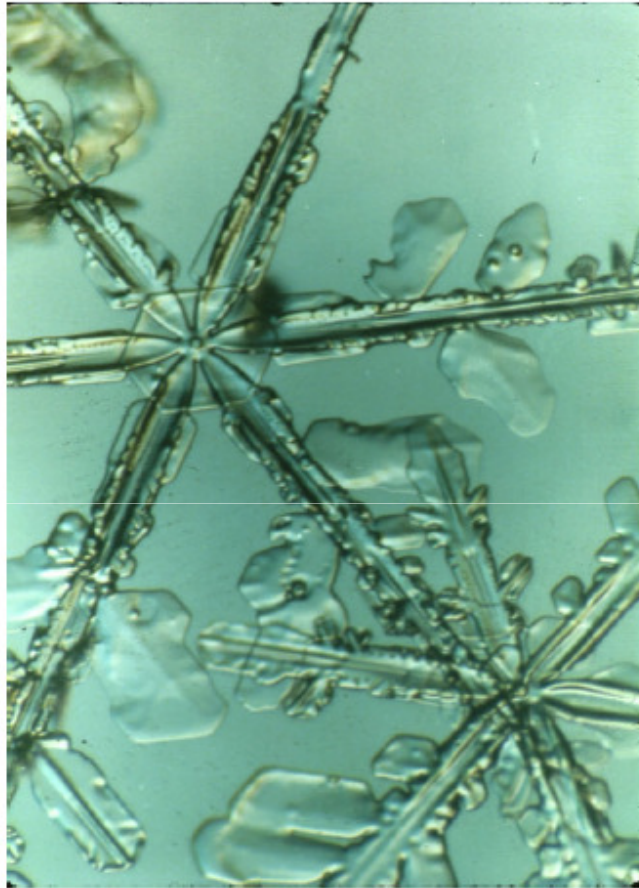
Brgkepker 2011

Les métamorphoses de la neige



Schneemetamorphose

Métamorphose de la neige



Les métamorphoses de la neige

Schneemetamorphose

Keuschnig & Schatzl 2009

Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

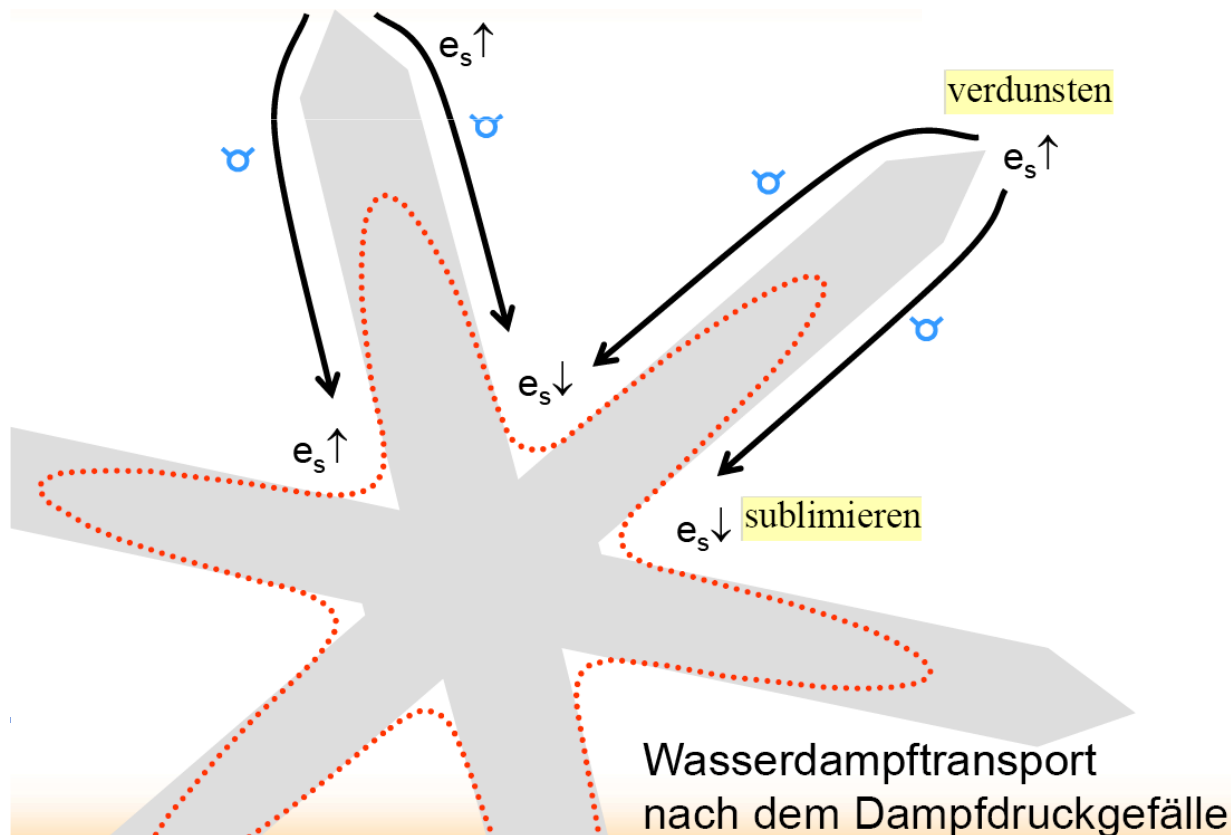
1. Zerknicken durch Windeinwirkung (Windumwandlung)
2. Diffusion von Wasserdampf von konvexen zu konkaven Oberflächenpartien (von Spitzen zu Einbuchtungen) (abbauende Umwandlung)



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

1. Zerkochen durch Windeinwirkung (Windumwandlung)
2. Diffusion von Wasserdampf von konvexen zu konkaven Oberflächenpartien (von Spitzen zu Einbuchtungen) (abbauende Umwandlung)



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

1. Zerknicken durch Windeinwirkung (Windumwandlung)
2. Diffusion von Wasserdampf von konvexen zu konkaven Oberflächenpartien (von Spitzen zu Einbuchtungen) (abbauende Umwandlung)

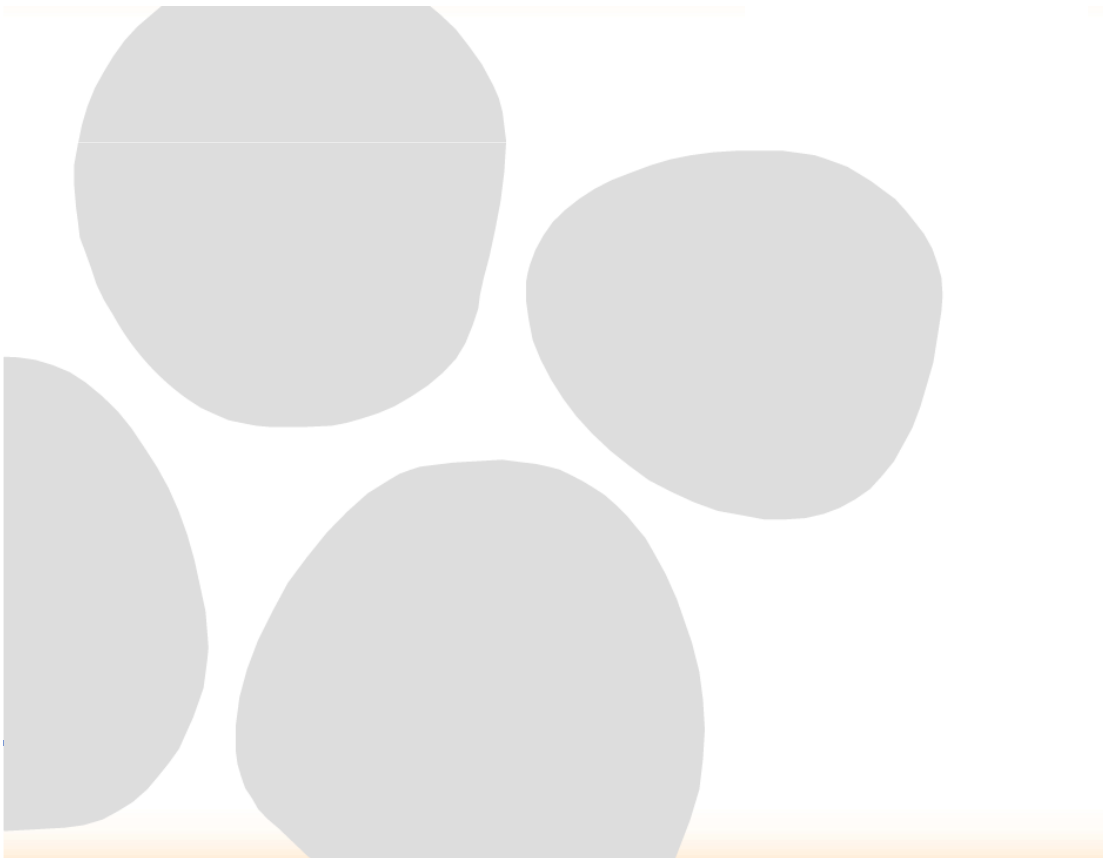
Bestreben der Eiskristalle,
die kleinstmögliche Oberfläche
zu erreichen



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

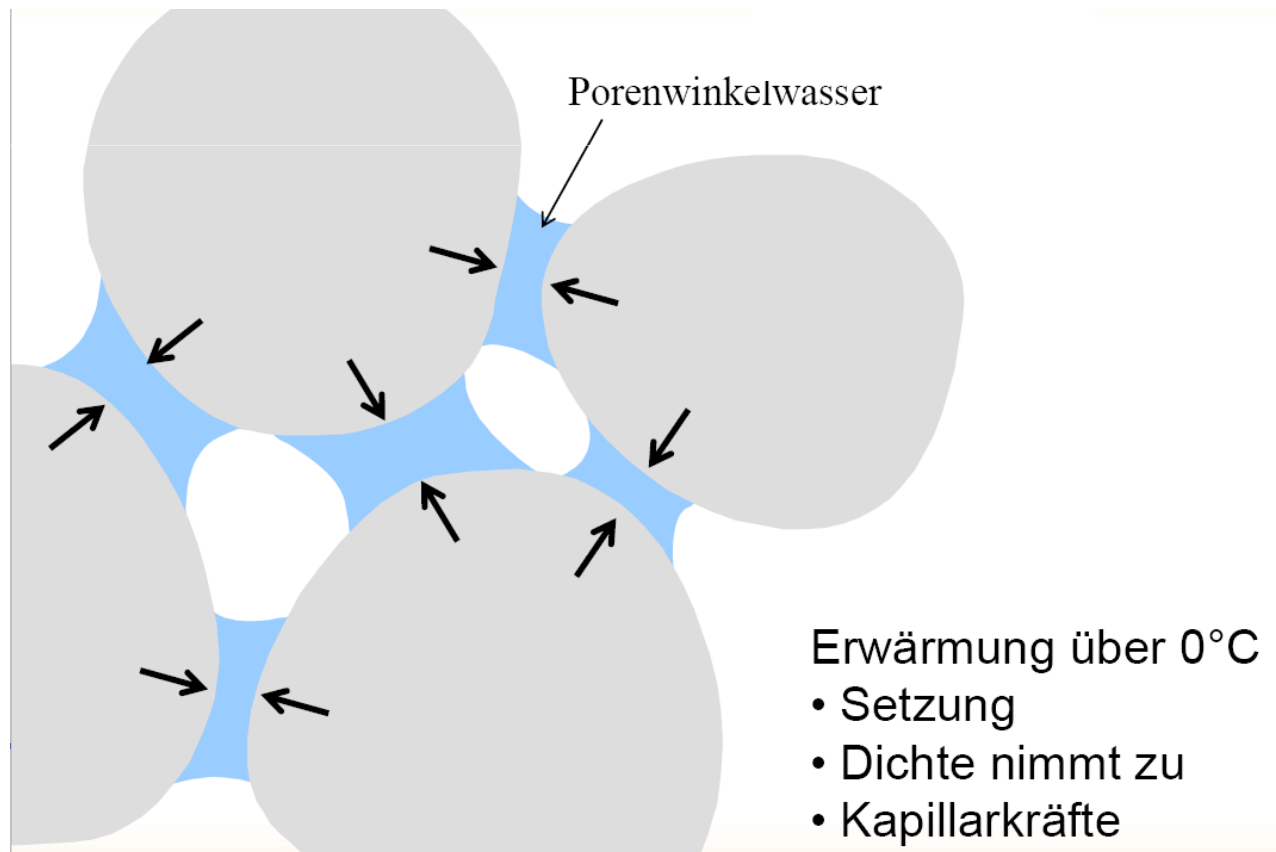
4. Verdichtung durch die Last der Schneedecke (Sintern)
5. Einsickern und Wiedergefrieren von Schmelzwasser (Schmelzumwandlung und Verfirnung)



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

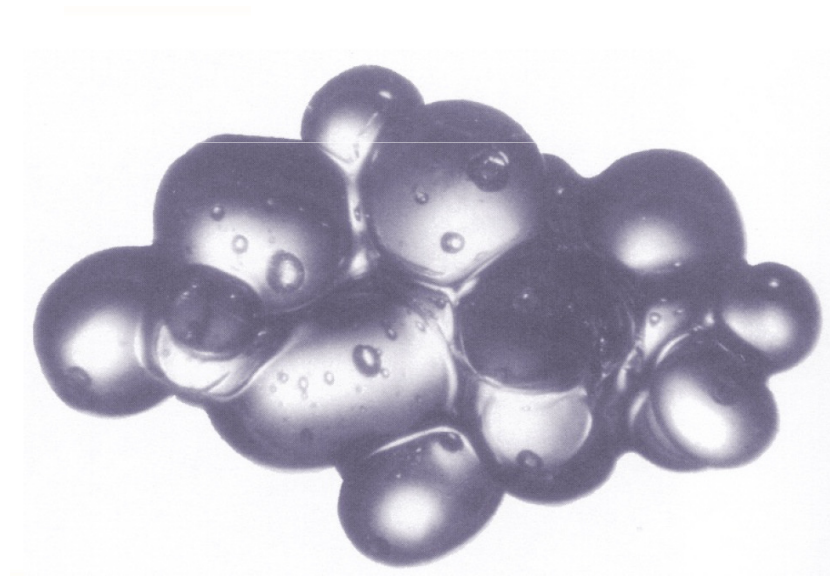
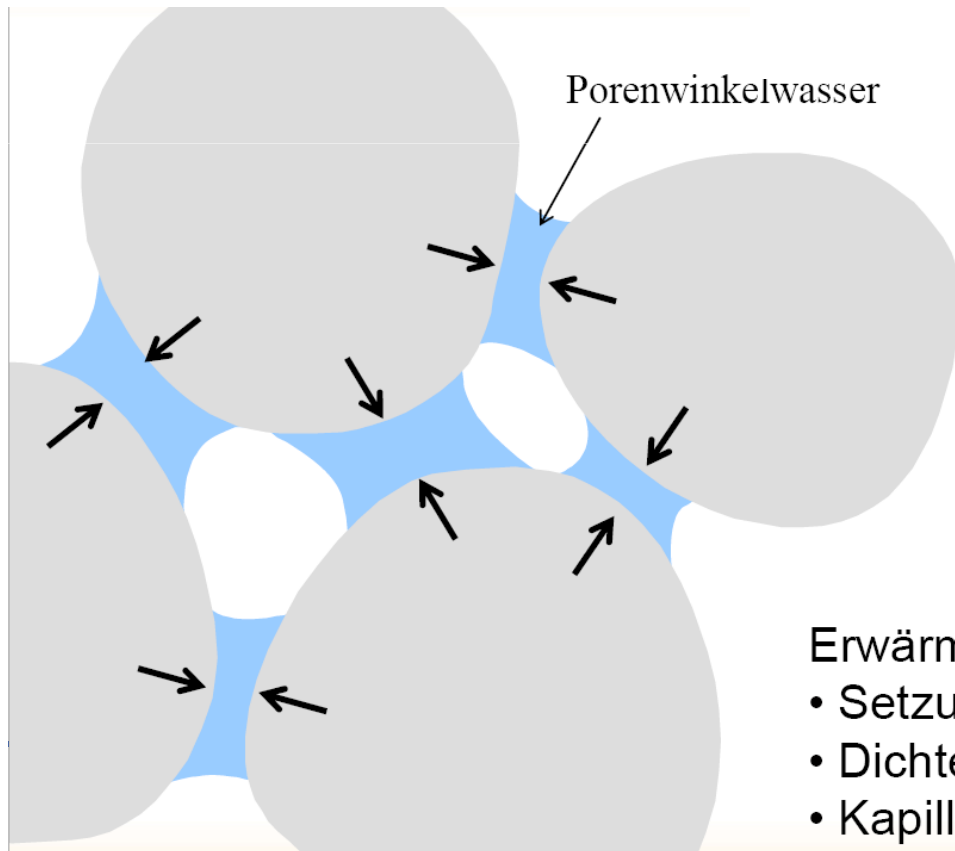
4. Verdichtung durch die Last der Schneedecke (Sintern)
5. Einsickern und Wiedergefrieren von Schmelzwasser (Schmelzumwandlung und Verfirnung)



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

4. Verdichtung durch die Last der Schneedecke (Sintern)
5. Einsickern und Wiedergefrieren von Schmelzwasser (Schmelzumwandlung und Verfirnung)



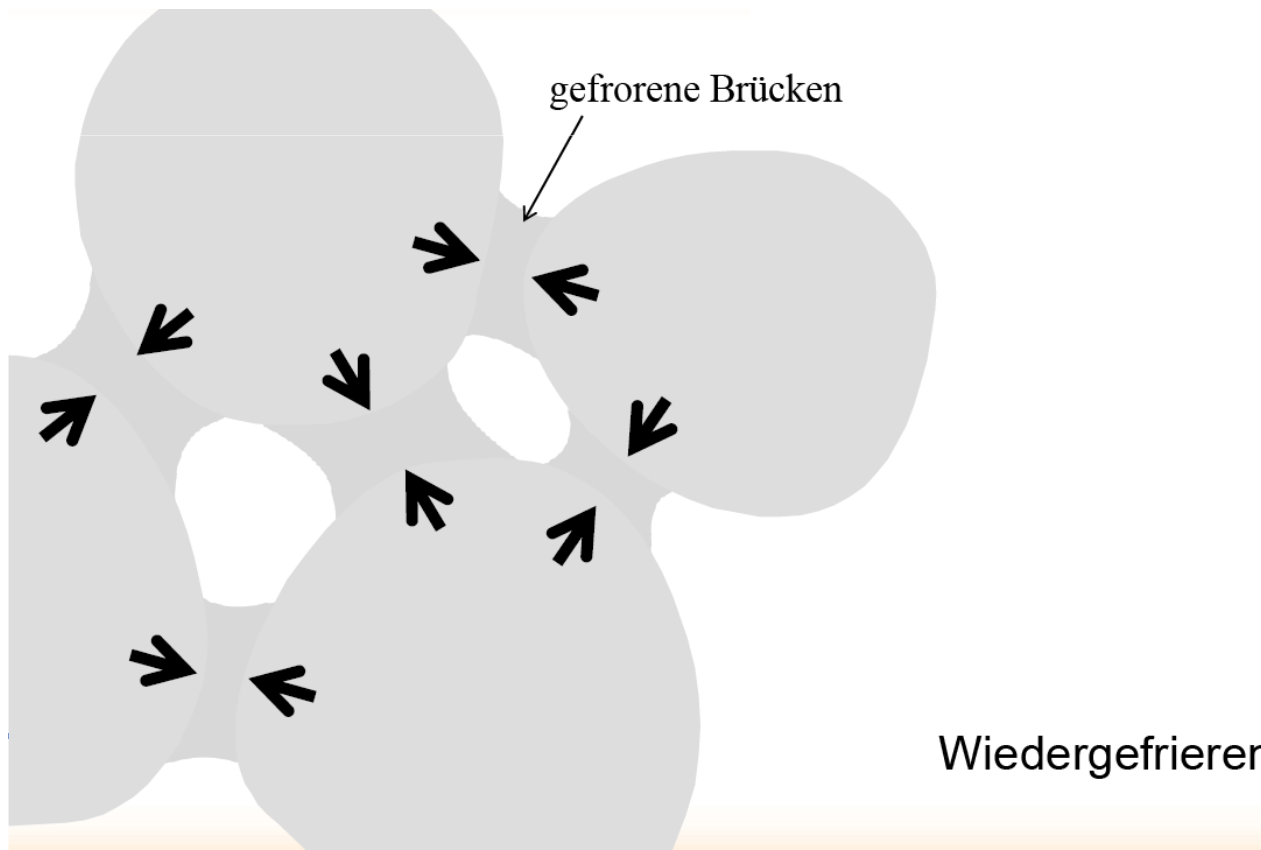
Erwärmung über 0°C

- Setzung
- Dichte nimmt zu
- Kapillarkräfte

Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

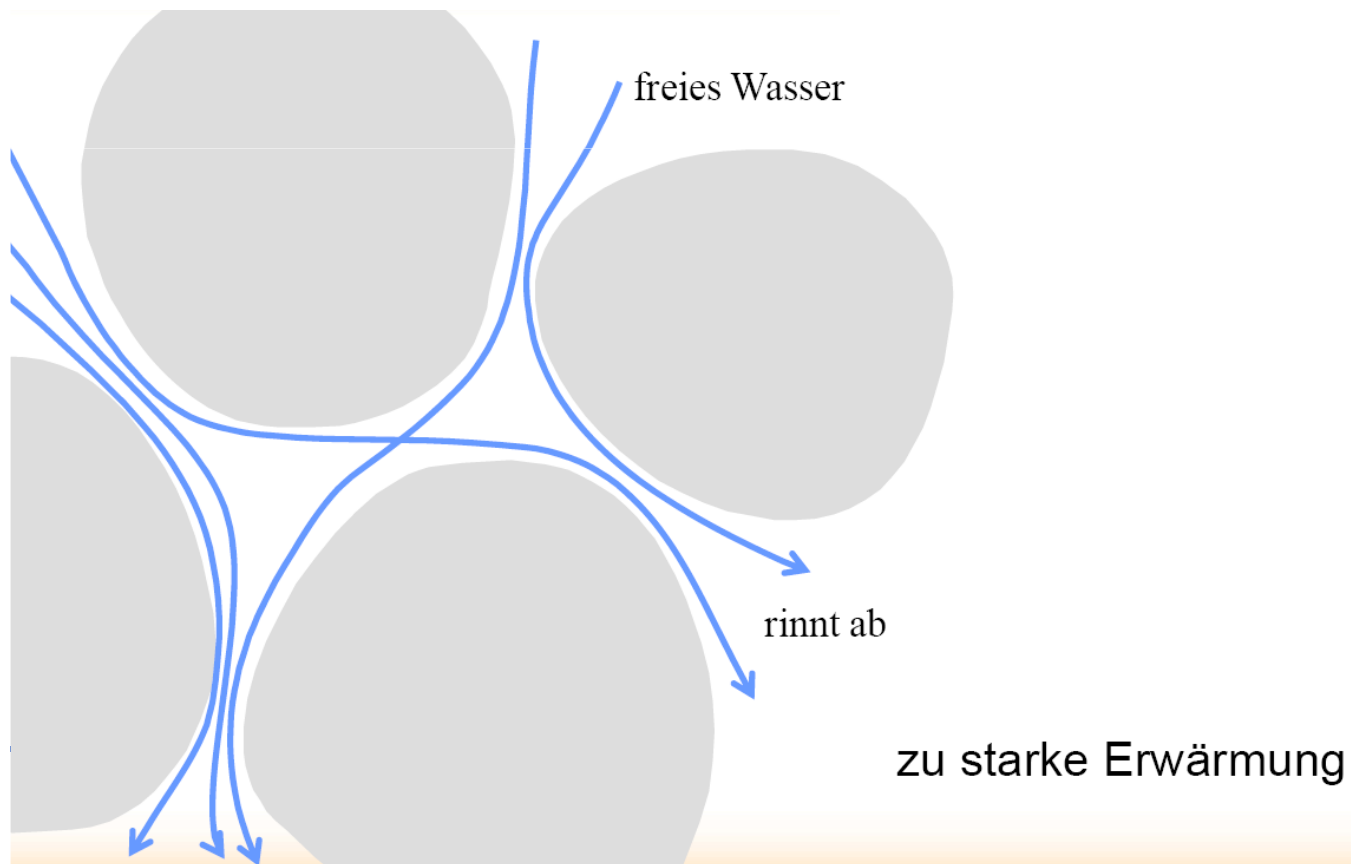
4. Verdichtung durch die Last der Schneedecke (Sintern)
5. Einsickern und Wiedergefrieren von Schmelzwasser (Schmelzumwandlung und Verfirnung)



Métamorphose de la neige

Folgende physikalische Gesetze sind für die Umwandlung von Schnee verantwortlich

4. Verdichtung durch die Last der Schneedecke (Sintern)
5. Einsickern und Wiedergefrieren von Schmelzwasser (Schmelzumwandlung und Verfirnung)



Compactage de la couche de neige

- L'eau de fonte et l'eau des précipitations de pluie sur la couverture de neige sont d'abord stockées dans la couverture de neige (notamment en cas de faible compacité de la neige)
 - ➔ la part d'eau liquide de l'équivalent en eau total de la neige augmente par rapport à celle de l'eau gelée
 - ➔ la compacité de la neige augmente
- Wasser aus Schmelzvorgang sowie aus Regenniederschlägen auf Schneedecke wird zunächst in Schneedecke gespeichert (v.a. bei geringen Lagerungsdichten des Schnees)
 - ➔ Anteil des flüssigen Wassers am gesamten Wasseräquivalent des Schnees steigt auf Kosten des gefrorenen Anteils
 - ➔ Lagerungsdichte Schnee erhöht sich

Compactage de la couche de neige

- L'eau de fonte et l'eau des précipitations de pluie sur la couverture de neige sont d'abord stockées dans la couverture de neige (notamment en cas de faible compacité de la neige)
 - ➔ la part d'eau liquide de l'équivalent en eau total de la neige augmente par rapport à celle de l'eau gelée
 - ➔ la compacité de la neige augmente

<i>Schneearten</i>	<i>Dichte</i> kg / m ³	<i>Porenanteil</i> % Luft
Neuschnee, trocken + locker	30 - 50	93 - 97
Neuschnee, schwach gebunden	50 - 100	89 - 93
filziger Schnee	150 - 300	67 - 84
rundkörniger Altschnee, trocken	200 - 400	51 - 78
rundkörniger Altschnee, feucht - naß	300 - 500	40 - 65
kantig-körniger Schnee	250 - 400	56 - 73
Schwimmschnee	150 - 300	62 - 84
Nassschnee	300 - 600	35 - 67
Firn (mehrjährig)	500 - 800	13 - 35
Gletschereis	800 - 900	2 - 13
Wasser	1000	0

Compactage de la couche de neige

- La couverture de neige ne dégage de l'eau que lorsqu'une valeur seuil de compacité de cette couverture est dépassée
 - ➔ pour la fonte effective des neiges, il est nécessaire de calculer la teneur en eau liquide dans la couverture de neige
 - ➔ l'approche de « snow compaction » selon Bertle (1966)

- Abgabe von Wasser aus der Schneedecke erst nach Überschreitung eines Grenzwertes der Lagerungsdichte der Schneedecke
 - ➔ für die aktuellen Schneesmelze Berechnung des Gehaltes von flüssigem Wasser innerhalb der Schneedecke erforderlich
 - ➔ Snow compaction-Verfahren nach Bertle (1966)

Compactage de la couche de neige

Approche de « snow-compaction » selon Bertle :

1. Calcul de la compacité de la neige à partir du rapport empirique entre la décroissance de la hauteur de neige initiale et la quantité d'eau libre apportée:

1. Berechnung der Lagerungsdichte des Schnees aus empirischem Zusammenhang zwischen Abnahme der anfänglichen Schneehöhe und Menge des zugeführten freien Wassers:

$$P_H = c1 - c2 \cdot P_W$$

$$c1 = \frac{P_{Dkrit} - P_T}{P_{Dkrit} \cdot Sret} \cdot 100$$

$$c2 = \frac{c1}{100} - 1$$

P_H [%] hauteur de neige en pourcentage de la hauteur initiale /
Schneehöhe in Prozent der Ausgangshöhe

P_W [%] équivalent en eau accumulée en pourcentage de
l'équivalent en eau gelée / *Akkumuliertes Wasser-
äquivalent in Prozent des gefrorenen Wasseräquivalents*

P_{Dkrit} [kg/cbm] compacité critique de la neige / *Kritische Lagerungsdichte des
Schnees*

P_T [kg/cbm] densité de la neige fraîche (dans LARSIM: 130 kg/cbm) /
Dichte des Neuschnees

Sret [] rétention maximale de neige / *maximale Schnee-Retention*

Compactage de la couche de neige

On calcule le rapport teneur en eau/hauteur de neige à l'aide de la méthode de « snow-compaction », de l'intensité de la fonte potentielle des neiges et des précipitations de pluie mesurées.

Mit Snow-compaction-Verfahren, potentieller Schneeschmelzintensität und dem gemessenen Regenniederschlag wird Beziehung Wassergehalt-Schneehöhe berechnet.

Compactage de la couche de neige

2. La valeur limite de compacité de la neige sèche (proportion d'eau gelée dans la couverture de neige) est calculée à l'aide de l'équation suivante :

2. Der Grenzwert für die Lagerungsdichte des Trockenschnees (gefrorener Wasseranteil in der Schneedecke) wird nach folgender Gleichung bestimmt:

$$PT_{\max} = 0,678 \cdot (PT_0 + 0,474 \cdot PD_{\text{krit}})$$

Pt_{\max} [%]	valeur maximale de la densité de neige sèche dans la couverture de neige mouillée / <i>Höchstwert für die Trockenschneedichte in der nassen Schneedecke</i>
PT_0 [%]	densité de neige sèche avant le début du compactage de la couverture de neige / <i>Trockenschneedichte vor Beginn der Schneedeckensetzung</i>
PD_{krit} [%]	valeur seuil de la compacité, à partir de laquelle la couverture de neige commence à dégager de l'eau. plage de valeurs selon Knauf (1980: 113): 40% - 45%. Selon DWD : 14 %. Dans LARSIM: 30% (modifiable). / <i>Schwellenwert der Lagerungsdichte, ab dem eine Wasserabgabe aus der Schneedecke einsetzt. Wertebereich nach Knauf (1980: 113): 40% - 45%. Laut DWD: 14 %. In LARSIM: 30% modifizierbar</i>

Compactage de la couche de neige

Fonte effective des neiges:

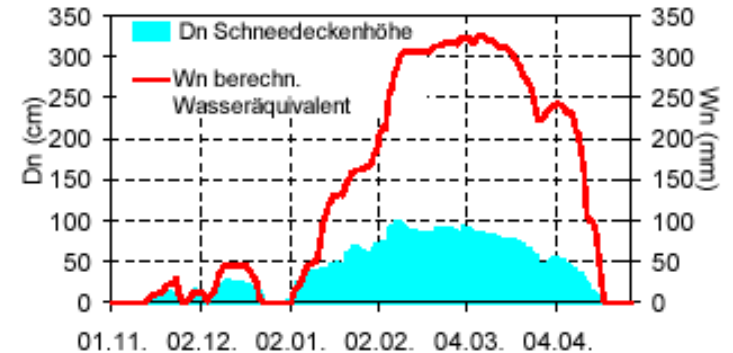
Dans la mesure où la compacité calculée de la neige atteint la valeur seuil PD_{krit} , l'eau liquide apportée par la fonte potentielle des neiges et/ou les précipitations de pluie se dégage de la couverture de neige (fonte effective des neiges).

Abgabe aus der Schneedecke:

Sofern die berechnete Lagerungsdichte des Schnees den Schwellenwert PD_{krit} erreicht, wird hinzukommendes flüssiges Wasser aus der potentiellen Schneeschmelze bzw. Regenniederschlag aus der Schneedecke abgegeben (aktuelle Schneeschmelze).

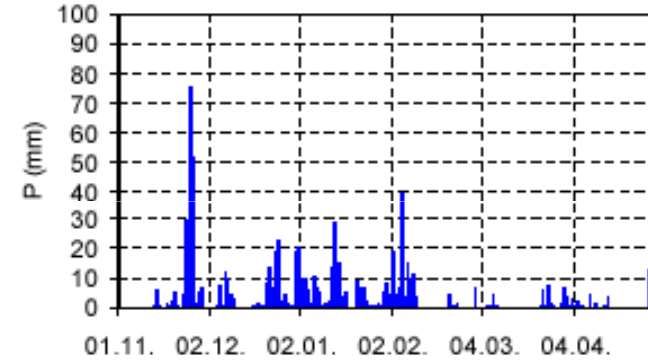
Modélisation de

- Exemple :
- Beispiel:

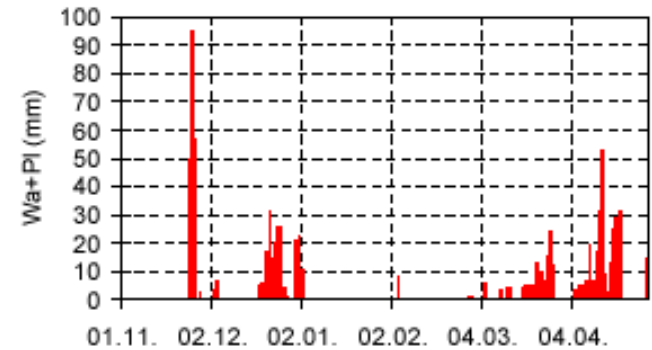


Schneedeckenhöhe (Dn) und Wasseräquivalent der Schneedecke (Wn)

hauteur de neige Dn et équivalent en eau de la couche neigeuse Wn



Niederschlagshöhe (P) précipitation P



Niederschlagsdargebot (WP=Wa+Pi)
Station: Braunlage, 1983/84

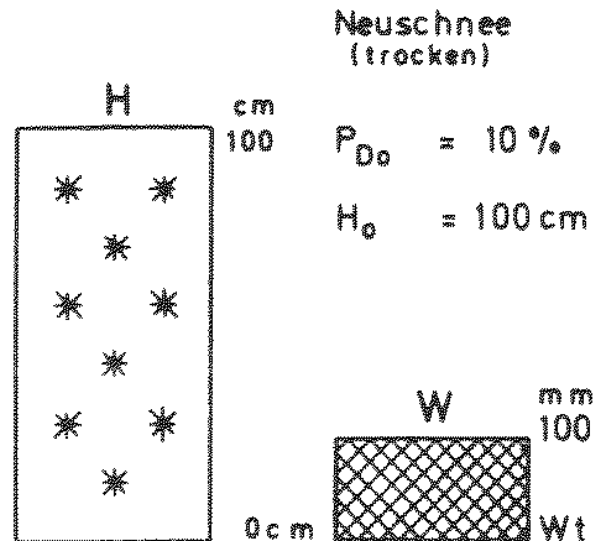
quantité en eau libre (WP = Wa+Pi)

Modélisation de la neige

- Exemple de calcul :
- Berechnungsbeispiel:

Modélisation de la neige

a) Ausgangszustand



Schneehöhe Wasseräquivalent

$$P_D = P_{D0} \quad W_t = 100 \text{ mm}$$

$$H = 100 \text{ cm}$$

$$P_D = \frac{W_{akk}}{H} \cdot 100 = 100 \%$$

$$P_t = \frac{W_t}{H} \cdot 100 = 10 \%$$

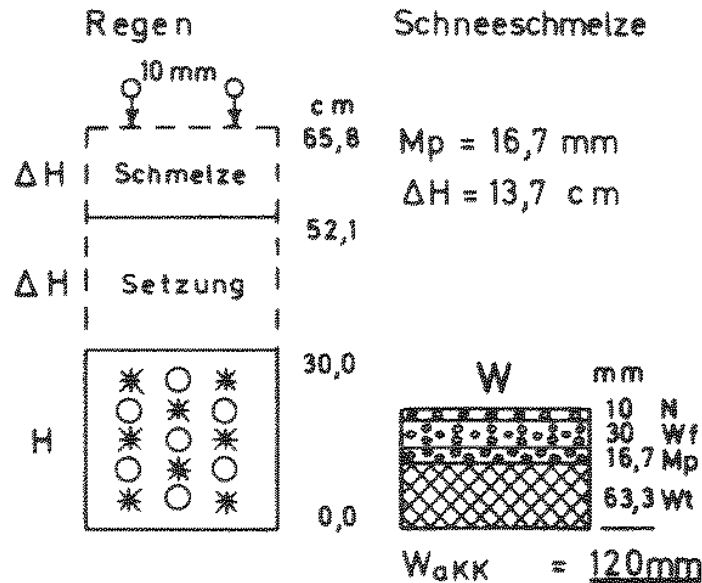
Knauf 1980

- compacité neige sèche (= densité neige fraîche), plage de valeurs 5 % - 20 %, ici : $P_t = 10 \%$
- hauteur de neige : $H = 100 \text{ cm}$
- équivalent en eau : $W = 100 \text{ mm} (= W_{akk} = W_t)$
- taux d'humidité : $W_f = 0 \%$

- Lagerungsdichte Trockenschnee (=Neuschneedichte), Wertebereich 5 % - 20 %, hier: $P_t = 10 \%$
- Schneehöhe: $H = 100 \text{ cm}$
- Wasseräquivalent: $W = 100 \text{ mm} (= W_{akk} = W_t)$
- Feuchtegehalt: $W_f = 0 \%$

Modélisation de la neige

c) Grenzzustand



$$P_W = \frac{120}{63,3} \cdot 100 = 189,6 \%$$

$$P_H = 57,5 \% \quad (Gl. 7)$$

$$H = 0,575 \cdot 52,1 = 30 \text{ cm}$$

$$P_D = \frac{12}{30} \cdot 100 = 40 \% = P_{Dkrit}$$

$$P_t = \frac{6,33}{30} \cdot 100 = 21,1 \%$$

- taux de fonte potentielle par chaleur :

$$M_p = 16,7 \text{ mm}$$

- avec $P_t = 12,16 \%$ tiré de b) la modification de hauteur de neige sèche est : $dH = 16,7 \text{ mm} / 0,1216 = 137 \text{ mm}$

$$\rightarrow H \text{ avant compactage} = 65,8 \text{ cm} - 13,7 \text{ cm} = 52,1 \text{ cm}$$

- M_p provient de l'équivalent en eau W_t de la neige sèche, on obtient donc : $W_t = 80 \text{ mm} - 16,7 \text{ mm} = 63,3 \text{ mm}$

- Poursuite de l'apport de pluie : $N = 10 \text{ mm}$ auquel s'ajoute W_f de b) = 30 mm -> teneur en eau momentanée : $W_{akk} = 120 \text{ mm}$

$$\rightarrow \text{eau libre} : W_f = 56,7 \text{ mm}$$

- équivalent en eau accumulée dans la couverture de neige :

$$P_W = W_{akk} / W_t = 189,6 \%$$

- Potentielle Schmelzrate aus Wärme:

$$M_p = 16,7 \text{ mm}$$

- Mit $P_t = 12,16 \%$ aus b) ergibt sich Trockenschneehöhenänderung: $dH = 16,7 \text{ mm} / 0,1216 = 137 \text{ mm}$

$$\rightarrow H \text{ vor Setzung} = 65,8 \text{ cm} - 13,7 \text{ cm} = 52,1 \text{ cm}$$

- M_p stammt aus Wasseräquivalent Trockenschnee W_t , somit $W_t = 80 \text{ mm} - 16,7 \text{ mm} = 63,3 \text{ mm}$

- Weiterhin Regen: $N = 10 \text{ mm}$, zudem W_f aus b) = 30 mm -> Aktueller Wassergehalt: $W_{akk} = 120 \text{ mm}$

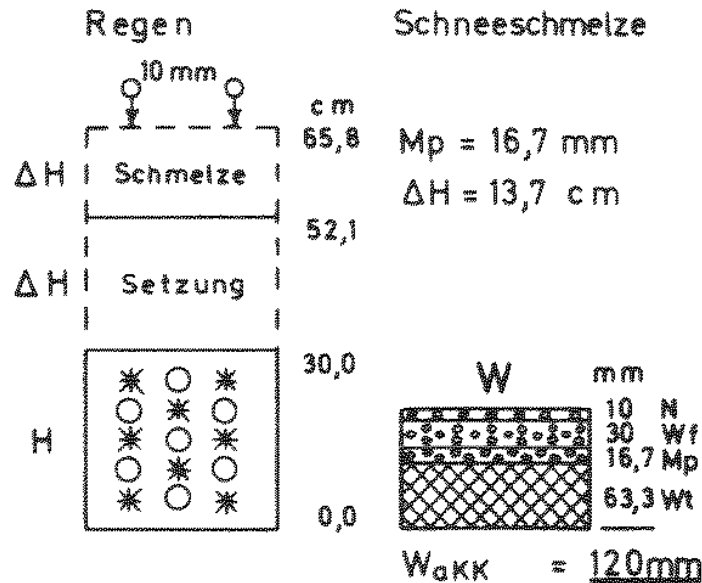
$$\rightarrow \text{Freies Wasser} : W_f = 56,7 \text{ mm}$$

- Akkumuliertes Wasseräquivalent in Schneedecke:

$$P_W = W_{akk} / W_t = 189,6 \%$$

Modélisation de la neige

c) Grenzzustand



$$P_W = \frac{120}{63,3} \cdot 100 = 189,6\%$$

$$P_H = 57,5\% \quad (Gl. 7)$$

$$H = 0,575 \cdot 52,1 = 30 \text{ cm}$$

$$P_D = \frac{12}{30} \cdot 100 = 40\% = P_{Dkrit}$$

$$P_t = \frac{6,33}{30} \cdot 100 = 21,1\%$$

→ hauteur de neige en % de la hauteur initiale selon l'équation : $P_H = 57,5\%$

→ hauteur de neige : $H = 0,575 \cdot 52,1 = 30 \text{ cm}$

→ compacité neige momentanée $P_D = W_{akk}/H \cdot 100 = 40\%$

• compacité critique $P_{Dkrit} = 40\%-45\%$, toute l'eau est donc encore dans la couverture de neige
→ compacité neige sèche : $P_t = W_t/H \cdot 100 = 21,1\%$

→ Schneehöhe in % von Ausgangshöhe nach Gleichung: $P_H = 57,5\%$

→ Schneehöhe: $H = 0,575 \cdot 52,1 = 30 \text{ cm}$

→ Lagerungsdichte Schnee aktuell $P_D = W_{akk}/H \cdot 100 = 40\%$

• Kritische Lagerungsdichte = $P_{Dkrit} = 40\% - 45\%$, daher bisher noch alles Wasser in Schneedecke

→ Lagerungsdichte Trockenschnee:

$$P_t = W_t/H \cdot 100 = 21,1\%$$

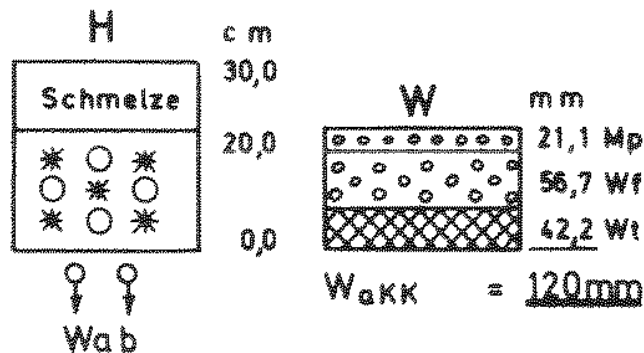
Modélisation de la neige

d) Wasserabgabe

Schneeschnmelze

$$M_p = 21,1 \text{ mm}$$

$$\Delta H = 10,0 \text{ cm}$$



$$W_{\max} = P_{D_{\text{krit}}} \cdot H = 80 \text{ mm}$$

$$W_{\text{ab}} = W_{\text{akk}} - W_{\max} = 40 \text{ mm}$$

$$P_D = \frac{80}{20} \cdot 100 = 40 \%$$

$$P_t = \frac{42,2}{20} \cdot 100 = 21,1 \%$$

Knauf 1980

- taux de fonte potentielle par chaleur : $M_p = 21,1 \text{ mm}$
- avec $P_t = 21,1 \%$ tiré de c), on obtient une modification de la hauteur de neige sèche de $dH = 21,1 \text{ mm} / 0,211 = 100 \text{ mm}$
- hauteur après fonte
 $= 30,0 \text{ cm} - 10,0 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$
- M_p provient de l'équivalent en eau de la neige sèche W_t , ce qui donne $W_t = 63,3 \text{ mm} - 21,1 \text{ mm} = 42,2 \text{ mm}$.
- pas de pluie, mais $W_f = 56,7 \text{ mm}$ de c) → teneur momentanée en eau : $W_{\text{akk}} = 120 \text{ mm}$
- teneur maximale possible en eau libre : $W_{\max} = \text{compacité critique} \cdot \text{hauteur de neige} = 0,4 \cdot 200 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$

- Potentielle Schmelzrate aus Wärme: $M_p = 21,1 \text{ mm}$
- Mit $P_t = 21,1 \%$ aus c) ergibt sich Trockenschneehöhenänderung $dH = 21,1 \text{ mm} / 0,211 = 100 \text{ mm}$
- H nach Schmelze = $30,0 \text{ cm} - 10,0 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$
- M_p stammt aus Wasseräquivalent Trockenschnee W_t , somit $W_t = 63,3 \text{ mm} - 21,1 \text{ mm} = 42,2 \text{ mm}$.
- Kein Regen, aber $W_f = 56,7 \text{ mm}$ aus c) → Aktueller Wassergehalt: $W_{\text{akk}} = 120 \text{ mm}$
- Maximal möglicher Gehalt an freiem Wasser: $W_{\max} = \text{Kritische Lagerungsdichte} \cdot \text{Schneehöhe} = 0,4 \cdot 200 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$

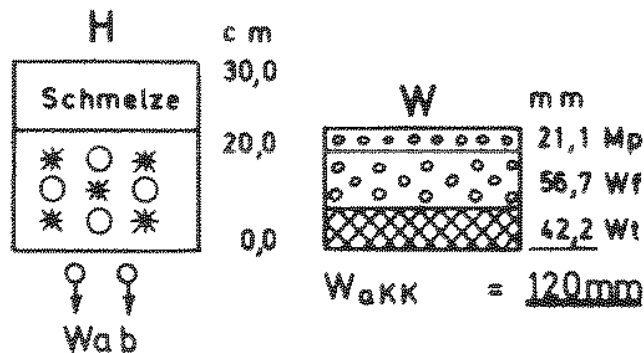
Modélisation de la neige

d) Wasserabgabe

Schneeschnmelze

$$M_p = 21,1 \text{ mm}$$

$$\Delta H = 10,0 \text{ cm}$$



$$W_{\max} = P_{D_{\text{krit}}} \cdot H = 80 \text{ mm}$$

$$W_{\text{ab}} = W_{\text{akk}} - W_{\max} = 40 \text{ mm}$$

$$P_D = \frac{80}{20} \cdot 100 = 40 \%$$

$$P_t = \frac{4,22}{20} \cdot 100 = 21,1 \%$$

Knauf 1980

- Puisqu'il n'y a pas compactage, l'équivalent en eau excédentaire peut se dégager de la couverture neige sous forme de W_{ab} :
- $W_{\text{ab}} = 120 \text{ mm} - 80 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$
- Compacité momentanée de la neige :
 $PD = W_{\text{akk}}/H \cdot 100 = 40 \%$
- Compacité de la neige sèche:
 $P_t = W_t/H \cdot 100 = 21,1 \%$

- Da keine Setzung erfolgt, kann aus dem überschüssigen Wasseräquivalent eine Entleerung der Schneedecke durch die Wasserabgabe W_{ab} erfolgen:

$$W_{\text{ab}} = 120 \text{ mm} - 80 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

- Lagerungsdichte Schnee aktuell: $PD = W_{\text{akk}}/H \cdot 100 = 40 \%$

- Lagerungsdichte Trockenschnee:

$$P_t = W_t/H \cdot 100 = 21,1 \%$$

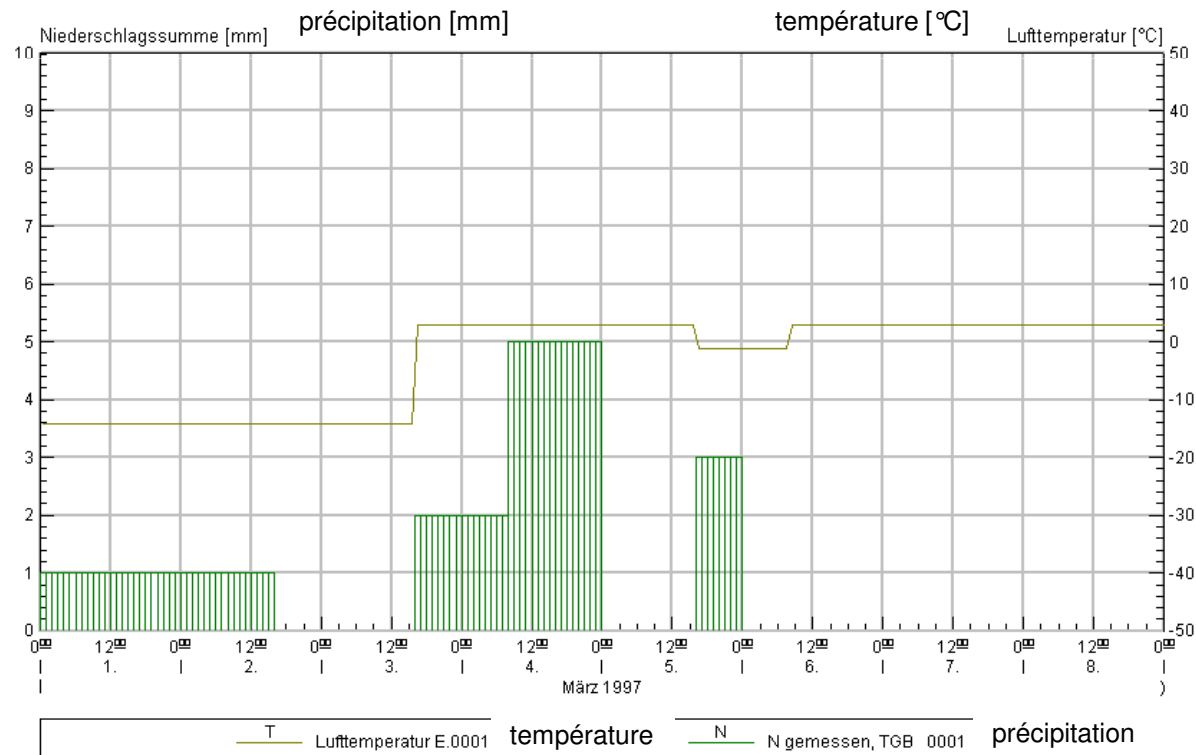
Modélisation de la neige

Exemple :

Données d'entrée suivantes : début de la neige, de la pluie, de la fonte?

Beispiel:

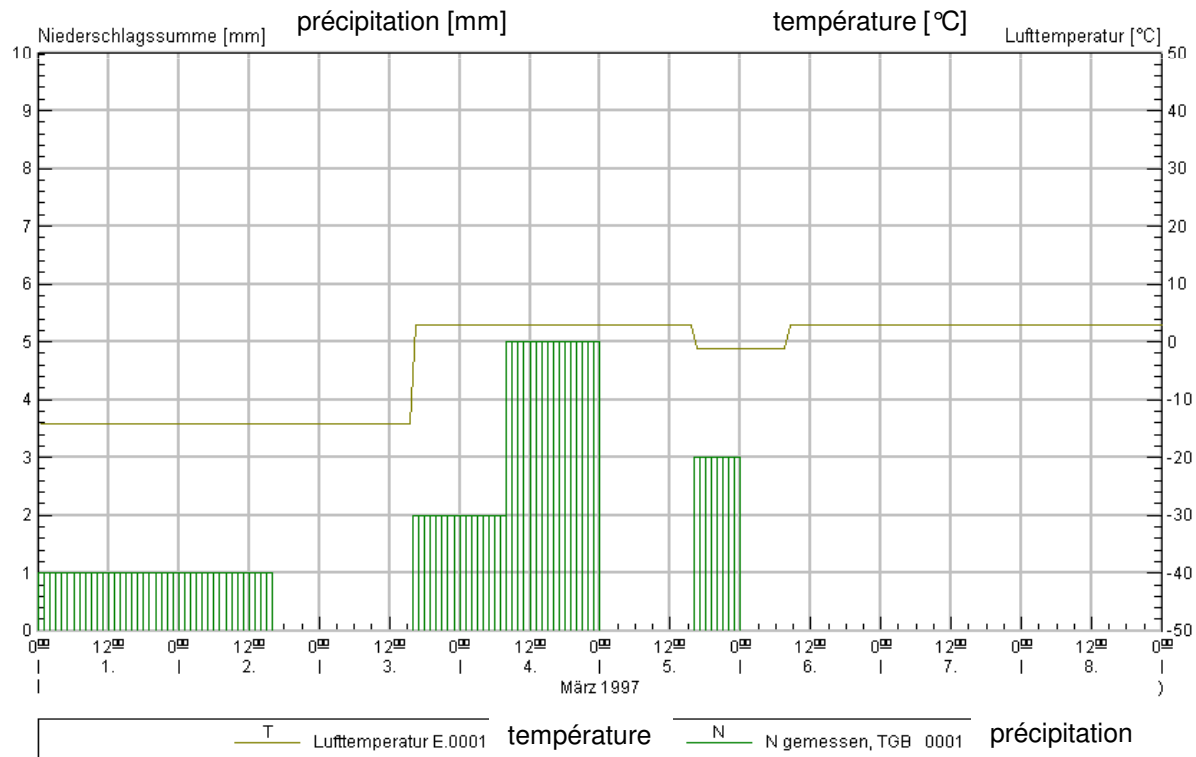
Folgende Eingangsdaten: wann Schnee, wann Regen, wann Schmelzbeginn?



Modélisation de la neige

Premières précipitations sous forme de neige; à partir du 03/03 à 16h : hausse de température et pluie, début de la fonte des neiges ; à partir du 05/03 à 15h : deuxième phase de précipitations, à nouveau sous forme neigeuse, puis nouvelle hausse de température à partir du 06/03 à 8h (fonte éventuelle)

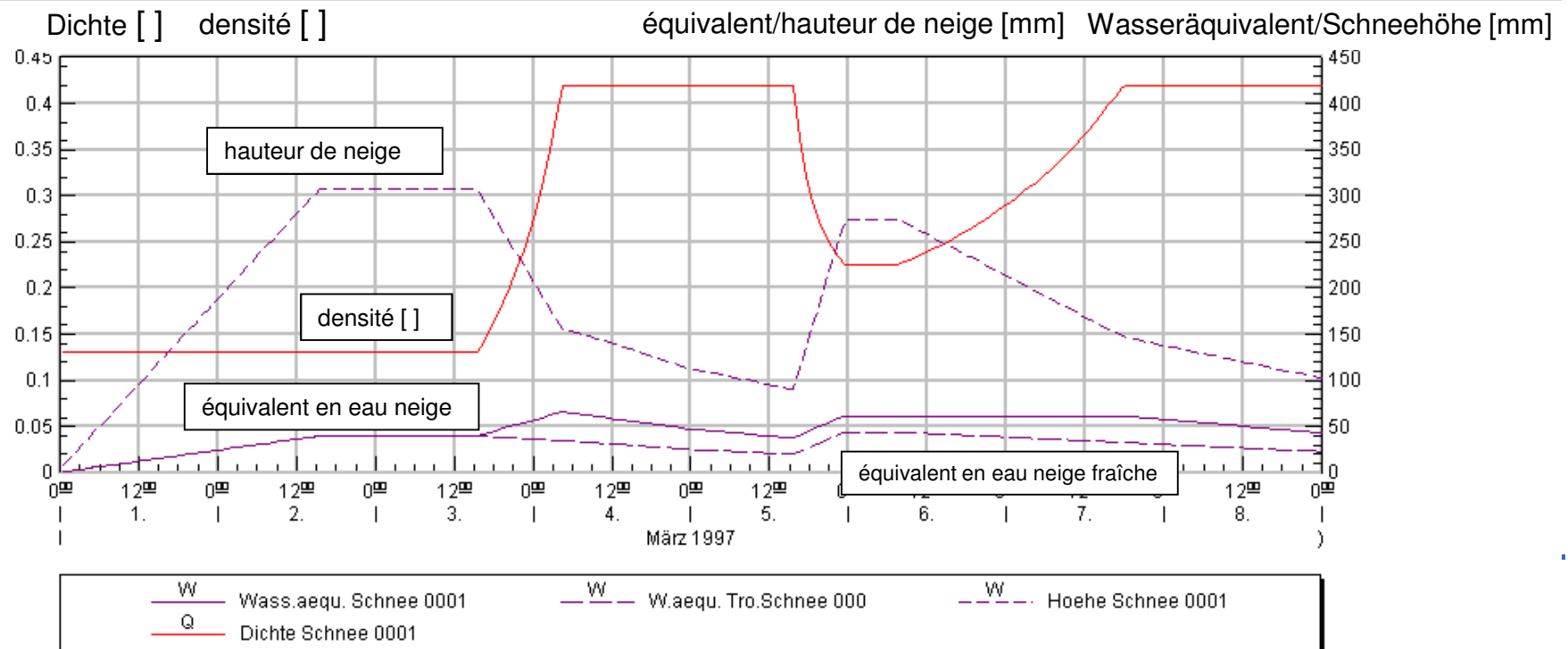
Erster Regenniederschlag als Schnee, ab 3.3. 16 Uhr Temperaturerhöhung und Regen, Beginn Schneeschmelze, ab 5.3. 15 Uhr zweiter Niederschlag wieder als Schnee, dann wieder ab 6.3. 8 Uhr Temperaturerhöhung (evtl. Schmelze)



Modélisation de la neige

Durant les premières heures : neige ; à partir du 03/03 à 16h : début de fonte des neiges et pluie (l'équivalent en eau de la neige augmente), mais d'abord compactage (réduction de la hauteur de neige, hausse de densité de 13% à 42%); avec $Sret = 47\%$, la fonte des neiges commence dès le 04/03 à 6h. La 2e phase de précipitations neigeuses fait augmenter la densité et la hauteur de neige atteint 27 cm.

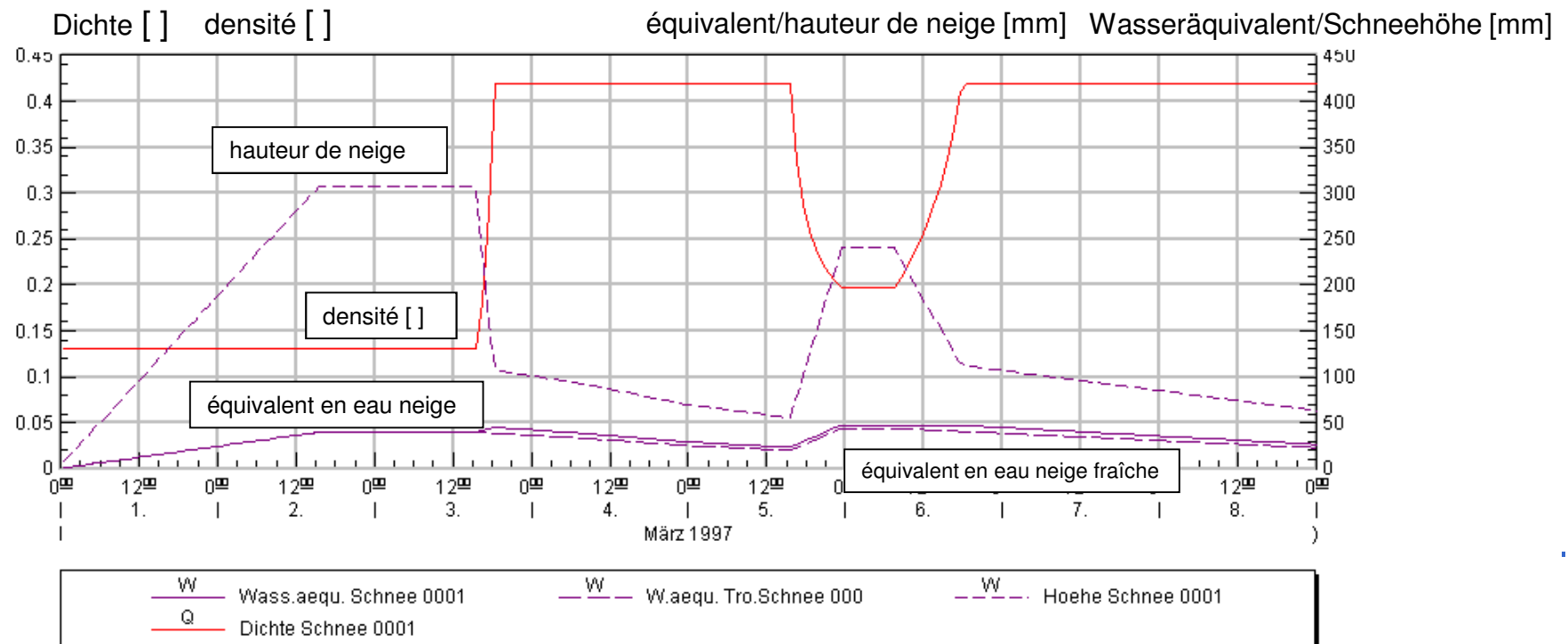
In den ersten Stunden Schnee, ab 3.3. 16 Uhr Schmelzbeginn und Regen (Wasseräquivalent Schnee steigt), aber erst Setzung (Höhenverringerung, Dichteerhöhung von 13 % auf 42 %). $Sret = 47\%$: Schneeschmelze setzt am 4.3. 6 Uhr ein. 2. Schneefall erhöht Dichte und Schneehöhe erreicht 27 cm.



Modélisation de la neige

Avec $Sret = 14 \%$, la fonte des neiges commence dès le 03/03 à 18h. La 2e phase de précipitations neigeuses fait augmenter la densité et la hauteur de neige atteint 24 cm.

Mit $Sret = 14 \%$ setzt Schneeschmelze bereits am 3.3. 18 Uhr ein. 2. Schneefall erhöht Dichte und Schneehöhe erreicht 24 cm.



Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige :

Possibilité de mettre à jour l'état de la couverture de neige (adaptation des équivalents en eau) dans le fichier d'état de LARSIM:

- avec données de mesure (équivalent en eau et hauteur de neige)
- avec résultats du modèle SNOW4 (équivalent en eau)
- avec images satellites (limites de la neige)

Nachführen der Schneedaten:

Bei Bedarf im operationellen Fall Anpassung der Wasseräquivalente in der LARSIM-Zustandsdatei möglich:

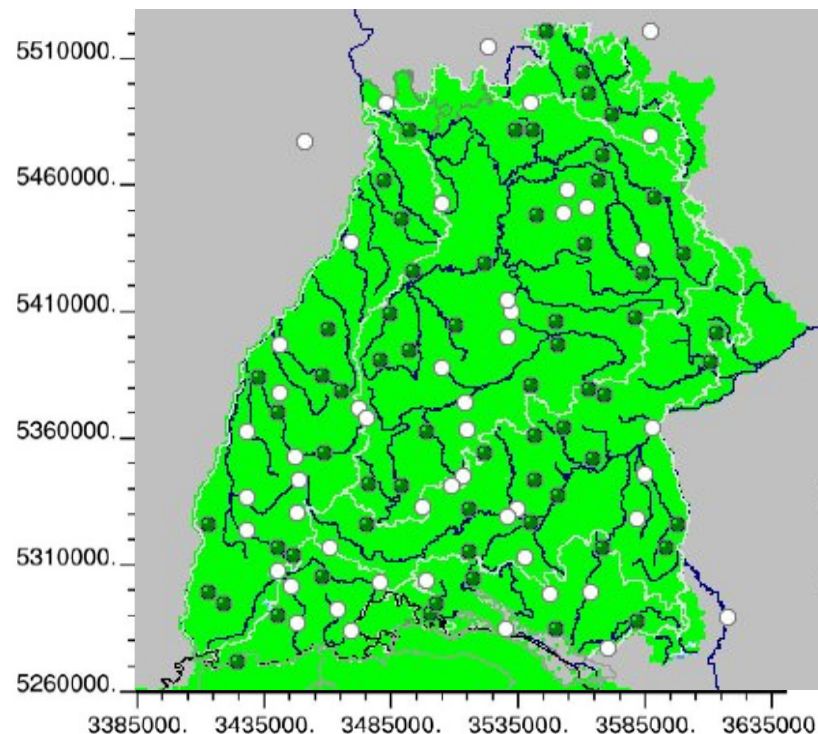
- An Hand von Punktmessungen (Schnee-Wasseräquivalente und Schneehöhe)
- An Hand der Simulationsergebnisse des SNOW4-Modells (Schnee-Wasseräquivalente)
- Schneegrenze aus Fernerkundungsdaten

Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige avec données de mesure (équivalent en eau et hauteur de neige) dans le fichier d'état de LARSIM

Nachführen der Schneedaten an Hand von Punktmessungen (Schnee-Wasseräquivalente und Schneehöhe) in der LARSIM-Zustandsdatei

Snow stations in the federal state of Baden-Wuerttemberg

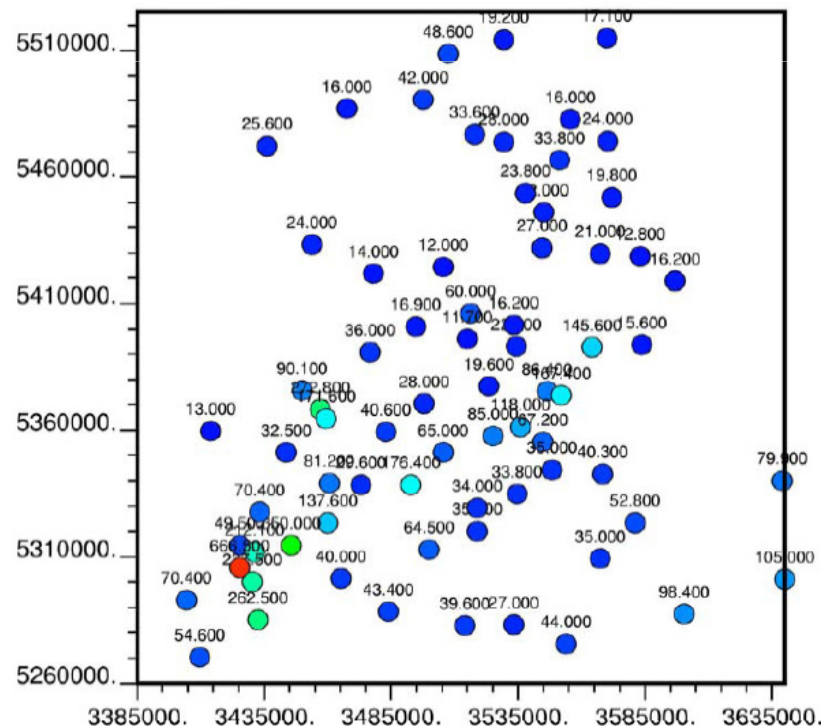


Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige avec données de mesure (équivalent en eau et hauteur de neige) dans le fichier d'état de LARSIM

Nachführen der Schneedaten an Hand von Punktmessungen (Schnee-Wasseräquivalente und Schneehöhe) in der LARSIM-Zustandsdatei

Observed values (water equivalent)
at the snow stations (06.03.2006)

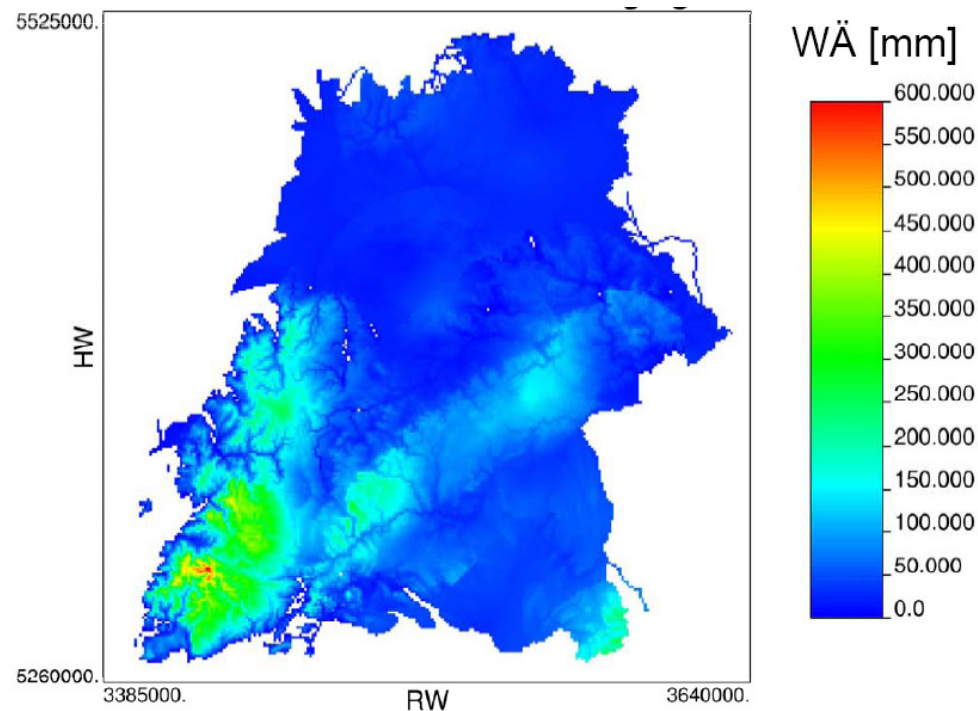


Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige avec données de mesure (équivalent en eau et hauteur de neige) dans le fichier d'état de LARSIM

Nachführen der Schneedaten an Hand von Punktmessungen (Schnee-Wasseräquivalente und Schneehöhe) in der LARSIM-Zustandsdatei

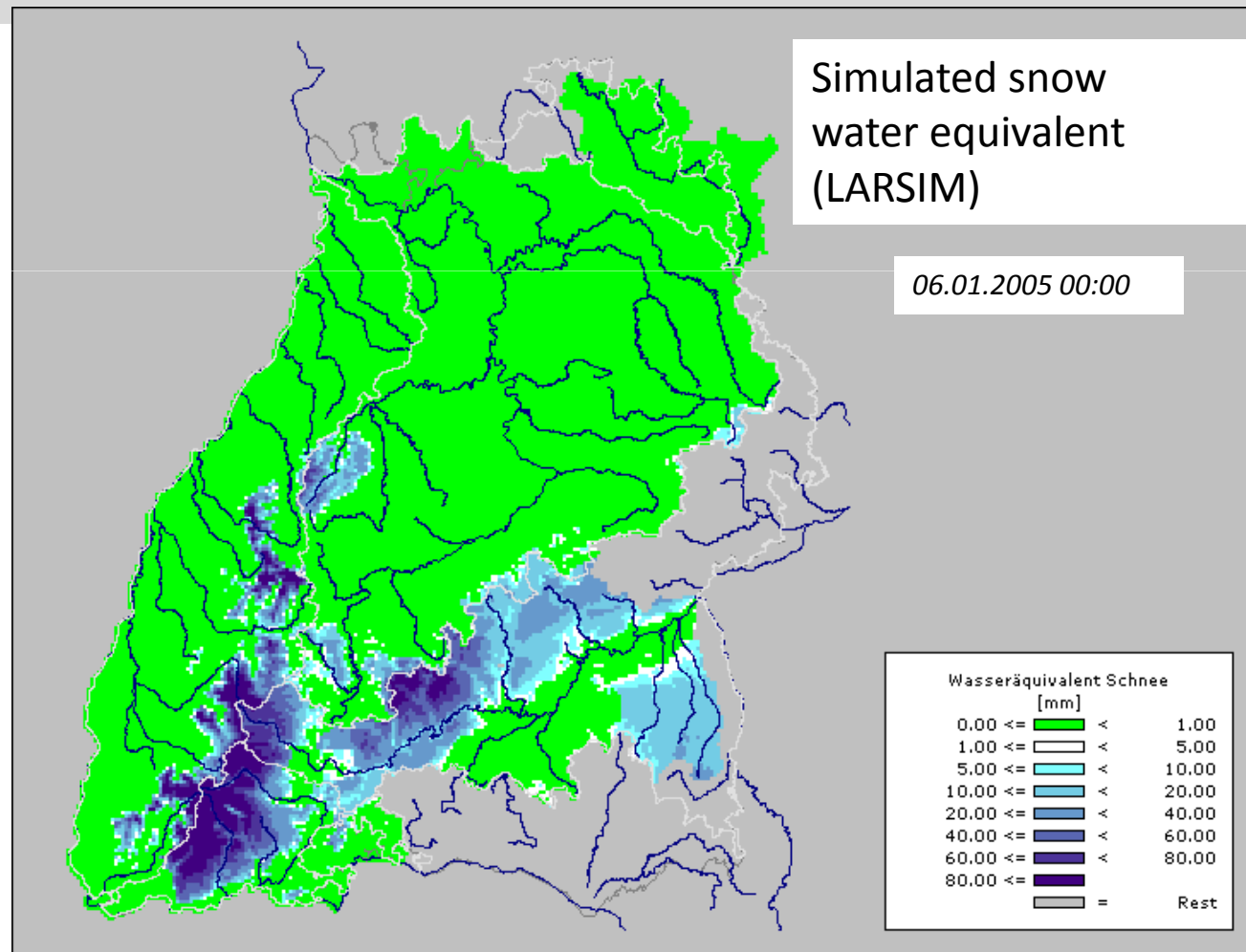
Interpolated (external drift kriging) observed values (water equivalent) (06.03.2006)



Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige avec résultats du modèle SNOW4 (équivalent en eau) dans le fichier d'état de LARSIM

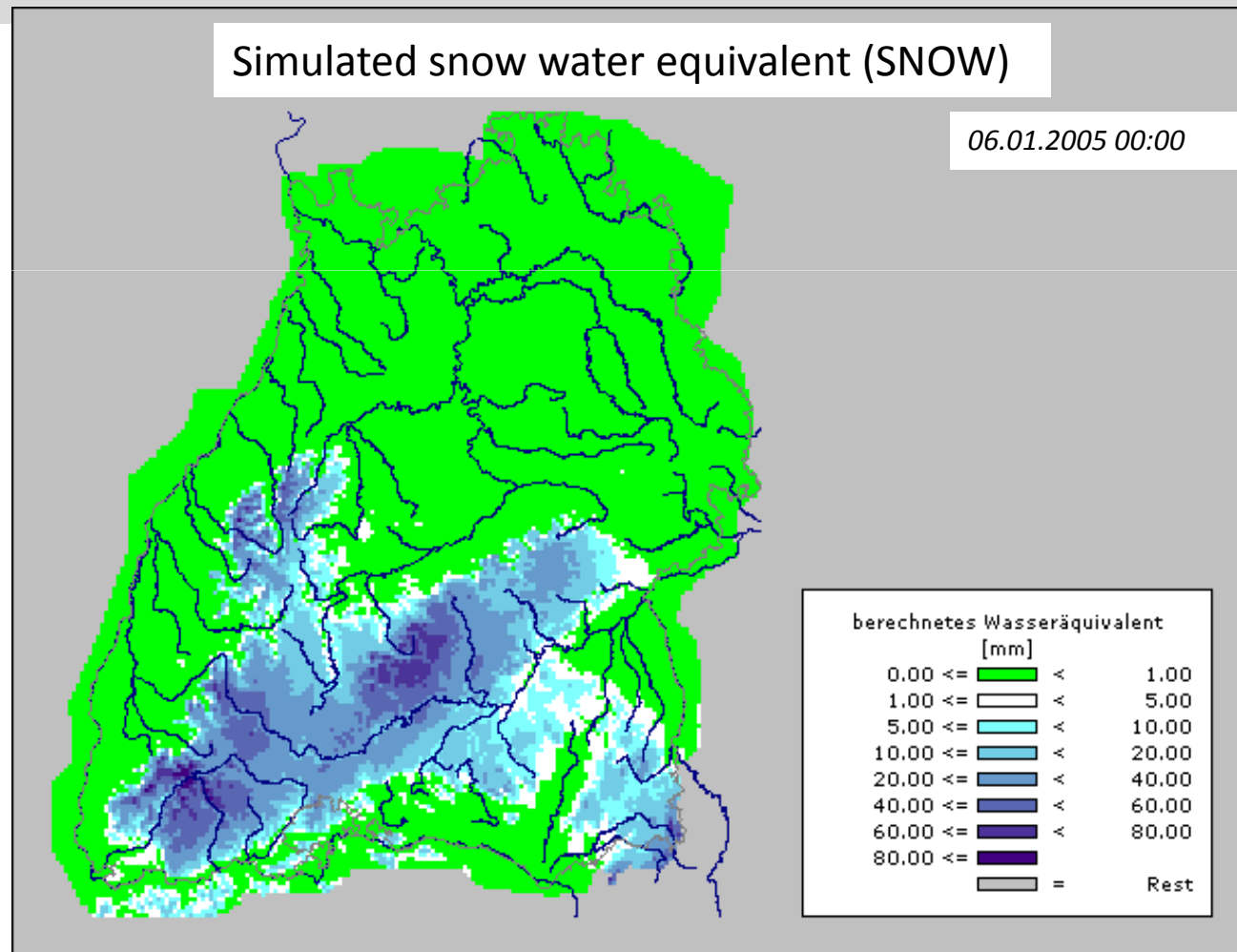
Nachführen der Schneedaten an Hand der Simulationsergebnisse des SNOW4-Modells in der LARSIM-Zustandsdatei



Modélisation de la neige

Mettre à jour l'état de la couverture de neige avec résultats du modèle SNOW4 (équivalent en eau) dans le fichier d'état de LARSIM

Nachführen der Schneedaten an Hand der Simulationsergebnisse des SNOW4-Modells in der LARSIM-Zustandsdatei



Modélisation de la neige

Conséquences pour la pratique :

- La neige peut jouer un rôle important pour la formation d'une crue.
- LARSIM dispose d'un module de neige complexe.
- Lors du calage du modèle, les périodes neigeuses sont également considérées et le modèle est adapté en conséquence (notamment, adaptation du paramètre «température limité de la neige» (T_{Gr}), «rétention maximale de neige» (S_{ret}), «coefficient de l'absorption» ($Abso$) et « coefficients de transition» $a1$ et $a0$)

Fazit:

- Schnee kann eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Hochwasser spielen
- In LARSIM ist ein aufwändiges Schneemodul implementiert
- Bei der Kalibrierung des Modells werden auch die schneebeeinflussten Perioden betrachtet und das Modell wird darauf angepasst (v.a. Anpassung des Parameters „Grenztemperatur des Schnees“ T_{Gr} , „maximale Schnee-Retention“ S_{ret} , „Absorptionskoeffizient“ $Abso$ und „Konstanten des Übergangskoeffizienten“ $a1$ und $a0$)

Modélisation de la neige

- Tâches de l'utilisateur
 - contrôler les valeurs mesurées pour la précipitation et la température
 - contrôler les valeurs calculées pour l'apport en eau et l'équivalent en eau
 - réunir des expériences dans la pratique avec le module de neige (par exemple la fonte des neiges commence trop tôt/trop tard)
 - comparer avec les données de SNOW4
 - comparer avec des données mesurées de la neige et observation de la couche de la neige
- Aufgaben des Anwenders:
 - Kontrolle der gemessenen Niederschlag- und Temperaturdaten
 - Kontrolle der berechneten Werte des Wasserdargebots und des Wasseräquivalents
 - Erfahrungen mit Schneemodell in der Praxis sammeln (z.B. Schmelzbeginn zu früh/zu spät)
 - Vergleich mit SNOW4-Daten
 - Vergleich mit Schnee-Messwerten und Schnee-Beobachtungen

Modélisation de la neige

Possibilités pour l'utilisateur de prendre une influence : lorsque l'on observe des écarts systématiques entre les résultats du modèle de neige et la réalité, il est possible d'adapter le modèle :

- paramètres modifiables : température limite T_{Gr} , rétention maximale de la neige $Sret$ et coefficient de l'absorption» $Abso$.
- méthode de calcul : plusieurs options pour le calcul de la neige sont disponibles
- possibilité de mettre à jour l'état de la couverture de neige lorsque des données de mesure ou les résultats de SNOW4 sont disponibles

Einflussmöglichkeiten des Anwenders: bei systematischen Abweichungen der Ergebnisse des Schneemodells von der Wirklichkeit sind Modell-anpassungen möglich:

- Modifizierbare Parameter: Grenztemperatur T_{Gr} , maximale Schnee-Retention $Sret$ und Absorptionskoeffizient $Abso$
- Berechnungsverfahren: mehrere Optionen für Schneeberechnung sind verfügbar
- Nachführung des Zustands der Schneedecke möglich bei Vorliegen von Schnee-Messdaten oder Ergebnisse des SNOW4-Modells

Resumé

Processus considérés:

1. fonte potentielle des neiges par apports thermiques
2. accumulation de neige (paramètre température limite T_{Gr})
3. compactage de la couverture de neige en raison de la part croissante d'eau liquide (paramètre rétention maximale de la neige $Sret$)
4. fonte des neiges momentanée en fonction de la part d'eau liquide dans la couverture de neige

Betrachtete Teilprozesse:

1. Potentielle Schneeschmelze durch Wärme und Strahlung
2. Akkumulation von Schnee (Parameter Grenztemperatur T_{Gr})
3. Setzung (Kompaktion) der Schneedecke als Folge des zunehmenden Anteils von flüssigem Wasser (maximale Schnee-Retention $Sret$)
4. Aktuelle Schneeschmelze in Abhängigkeit vom Anteil des flüssigen Wassers innerhalb der Schneedecke

Modélisation de la neige

Zitierte Unterlagen:

- Bergplus (2011): Aufbau der Schneedecke. – <http://www.bergplus.ch/pdf/schneedecke.pdf>
- Bertle F.A. (1966): Effect of snow compaction on runoff from rain on snow. United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation: Water Resources Technical Publication, Engineering Monograph No. 35
- Brgkepler (2011): http://www.brgkepler.at/~rath/pl_an/wetter/Schneekunde.pdf
- Böhm (2011): SNOW4 – an operational model for estimating precipitation supply.- International Symposium on Innovations in Flood Forecasting Systems, Antwerpen, 16.3./17.03.2011
- Caltech (2011): <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/photos/photos.htm>
- Keuschnig & Schatzl (2009): Lawinenkolloquium 2009.
- Knauf D. (1980): Die Berechnung des Abflusses aus einer Schneedecke. - In: DVWK-Schriften, Heft 46, 95-135.