

LARSIM-Anwenderworkshop 2007

Weiterentwicklung der LARSIM- Schneemodule

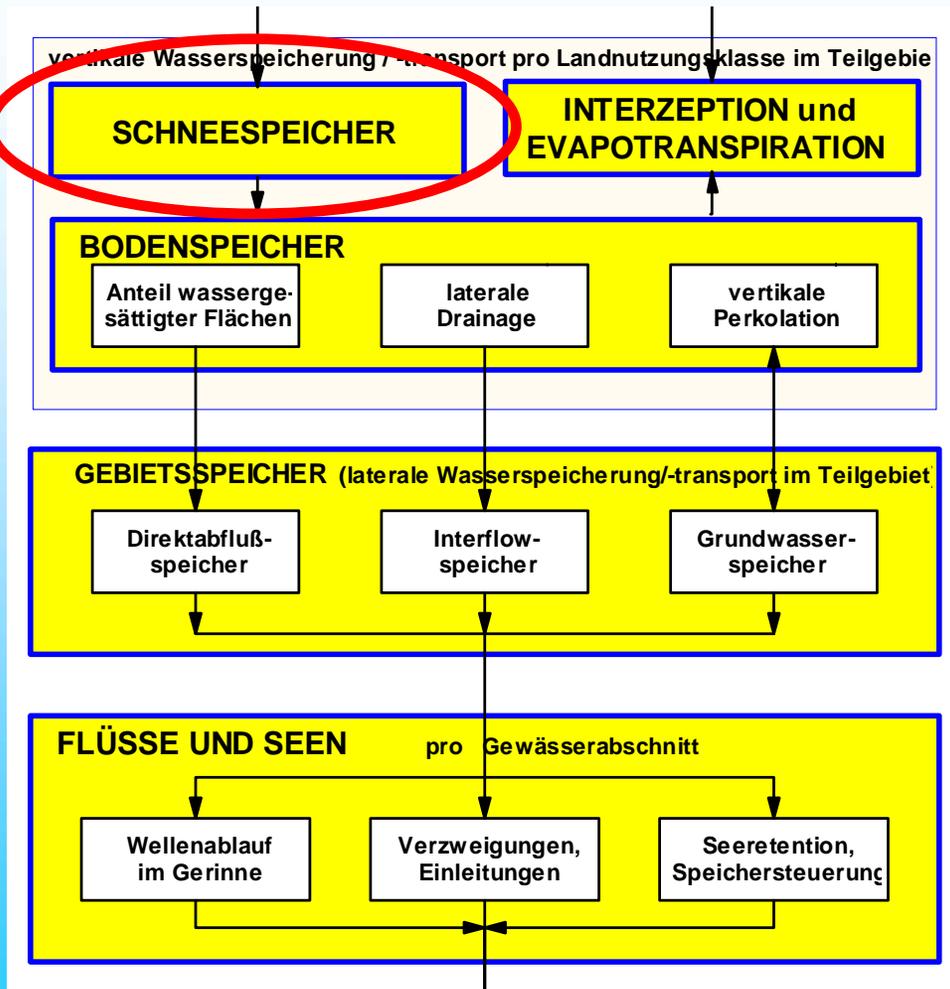
*Ingo Haag
Ingenieurbüro Dr.-Ing. Karl Ludwig, Karlsruhe*

15. Februar 2007

– INHALT –

- (1) Überblick und Einordnung**
- (2) Energiebilanz der Schneedecke**
 - SCHNEE: KNAUF, 2006
 - SCHNEEALBEDO
 - SCHNEE: OBERFL-TEMP
- (3) Bodenwärmestrom und Frostversiegelung**
 - BODENTEMPERATUR
- (4) Setzung der Schneedecke**
 - SNOW COMPACTION UEB
- (5) Fazit**

Überblick und Einordnung



Schneespeicher und -schmelze

- Abflussregime
- Wasserdargebot Einzelereignis

Bodenwärmestrom und Bodengefrorenis

- Schneeschmelze
- Frost-Versiegelung
➔ Abflussbildung



Überblick und Einordnung

Abfluss- bildung

Schneedecke

Energiebilanz

Setzung und Schmelze

SCHNEE: KNAUF, VER.
SCHNEE: KNAUF, ERW.

SNOW COMPACTION
SNOWCOMPACTION 2

SCHNEE: KNAUF, 2006
SCHNEEALBEDO
SCHNEE: OBERFL-TEMP

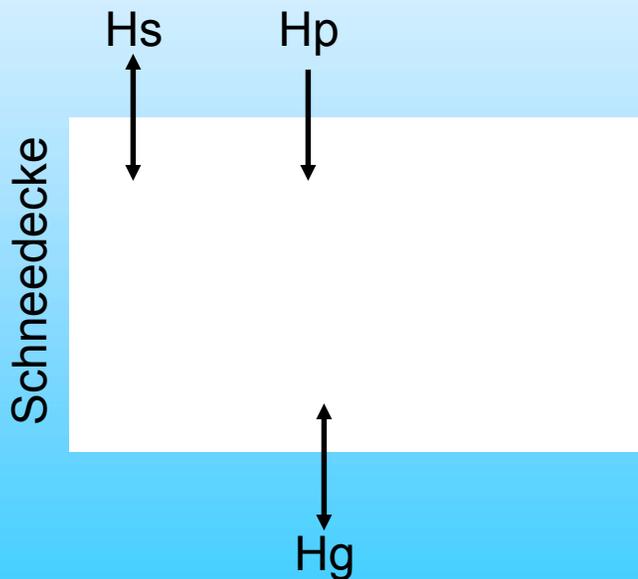
SNOW-COMPACTION UEB

BODENTEMPERATUR
(FROST-VERSIEGEL-FAK)



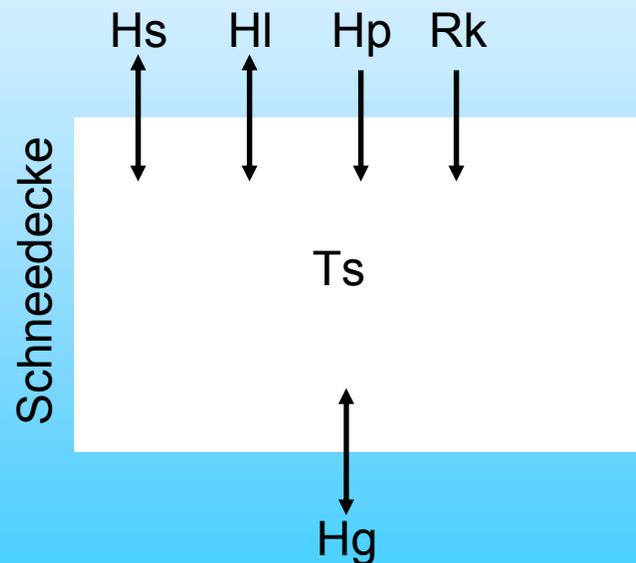
Energiebilanz der Schneedecke: Bislang

SCHNEE: KNAUF, VER.



FGMOD + WHM

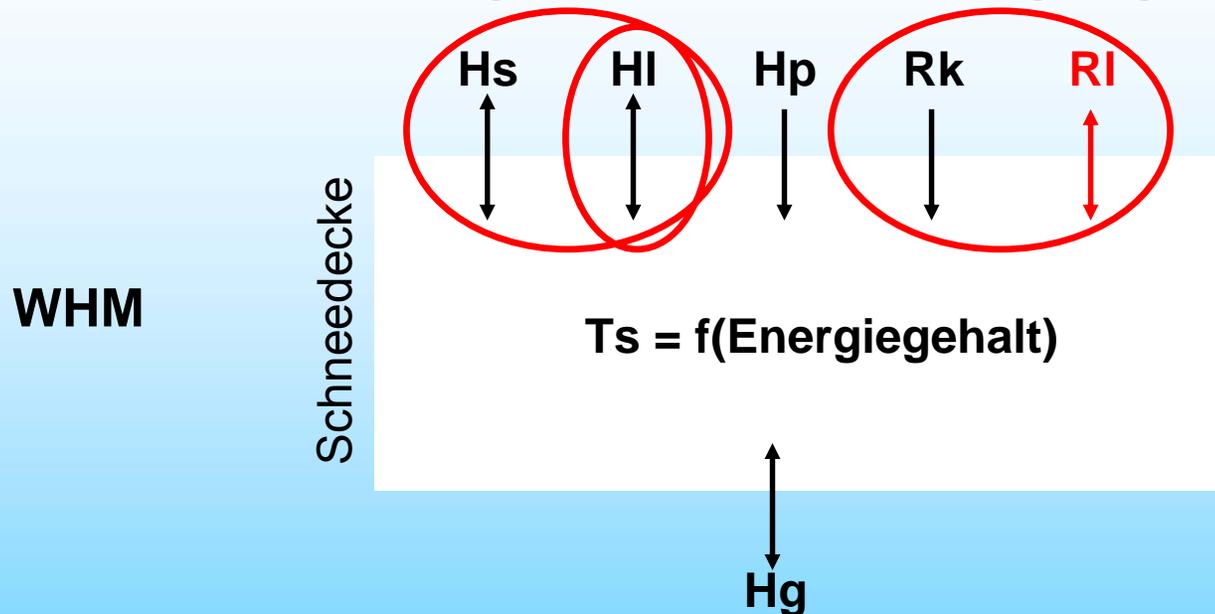
SCHNEE: KNAUF, ERW.
(SCHNEETEMP)
(ABSCHATTUNG RGLOB)
(SCHNEEVERDUNSTUNG)



WHM

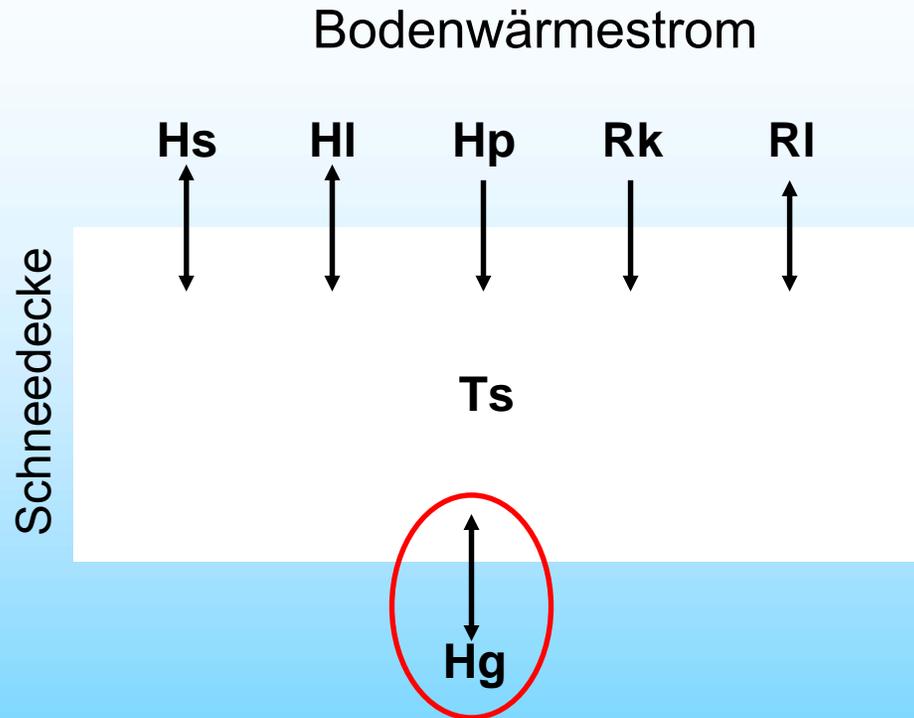
Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

Vereinheitlichung und Vervollständigung der Energiebilanz



- Langwellige Strahlungsbilanz
- Kopplung Energie- und Massenbilanz (Verdunstung, Sublimation)
- Einfluss des Waldes auf turbulenten Austausch und Strahlung
- Aufteilung Energieflüsse zwischen Schnee und Verdunstung

Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

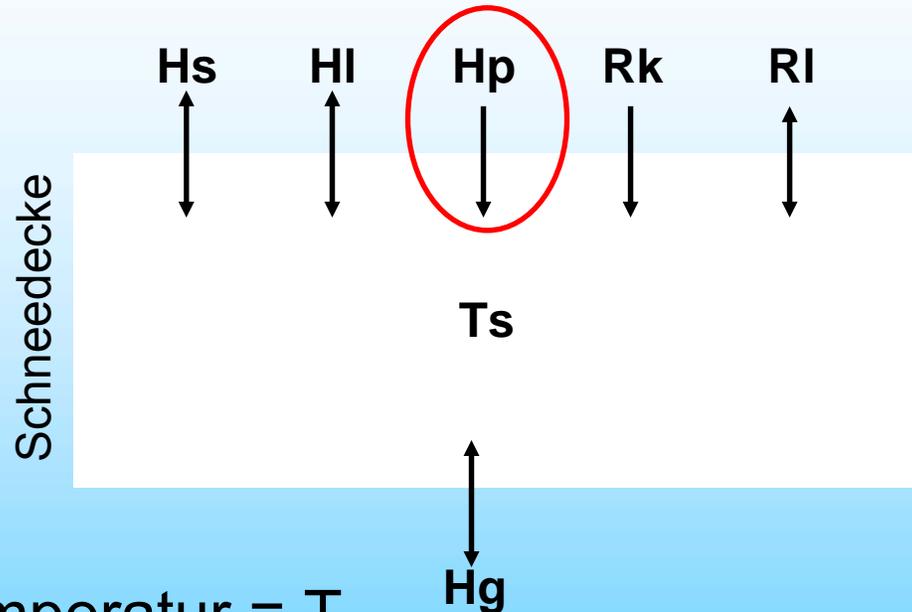


- Zeitlich konstante Kalibriergröße [mm/h]

$$h_g = \frac{i_g \cdot r_{schmelz}}{3600}$$

Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

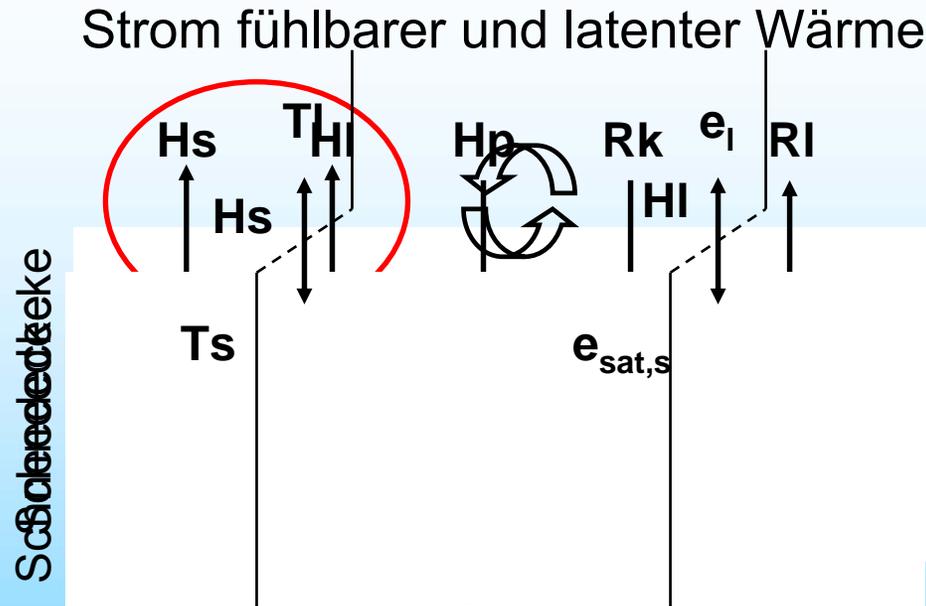
Wärmestrom durch Niederschlag



- Regentemperatur = T_{luft}
- Regentemperatur = $T_{\text{luft}} - T_{\text{gr}}$ (T GR. AUCH S-SCHMELZ)
- Schneetemperatur = $0\text{ }^\circ\text{C}$

$$H_p = \frac{N \cdot T_{\text{nied}} \cdot c_{p_{\text{wasser}}}}{ta \cdot 3600}$$

Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006



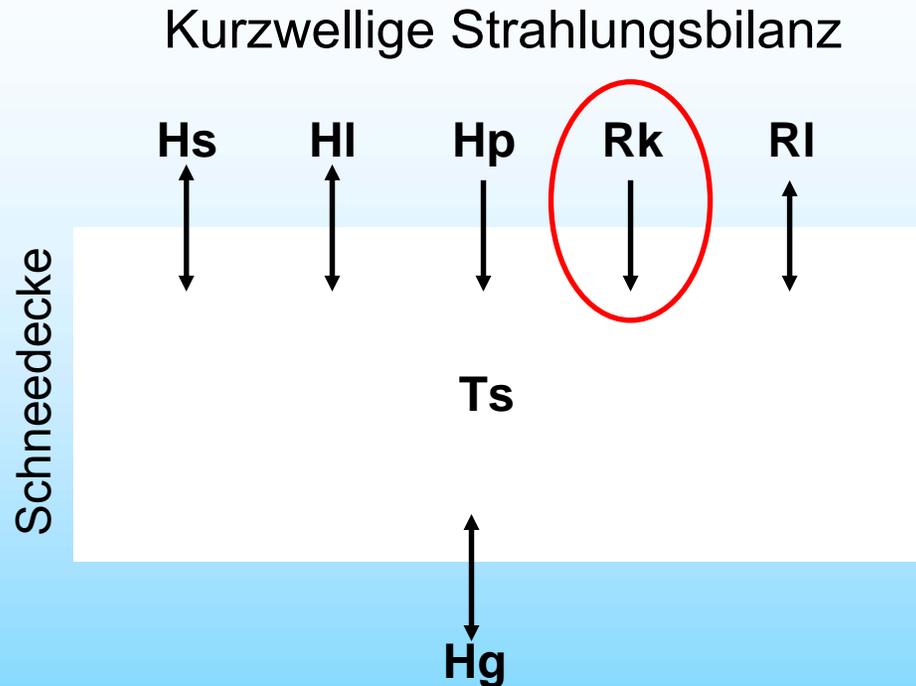
- Aerodynamischer Ansatz mit Transferkoeffizient $= f(u_{wind})$
- a_0 und a_1 Kalibriergrößen
- Latenter Wärmestrom in Massenbilanz berücksichtigt

$$K = a_0 + a_1 \cdot v_{Wind}$$

$$H_s = K \cdot (T_L - T_s)$$

$$H_l = K \cdot 1,76 \cdot (e_L - e_{sat,s})$$

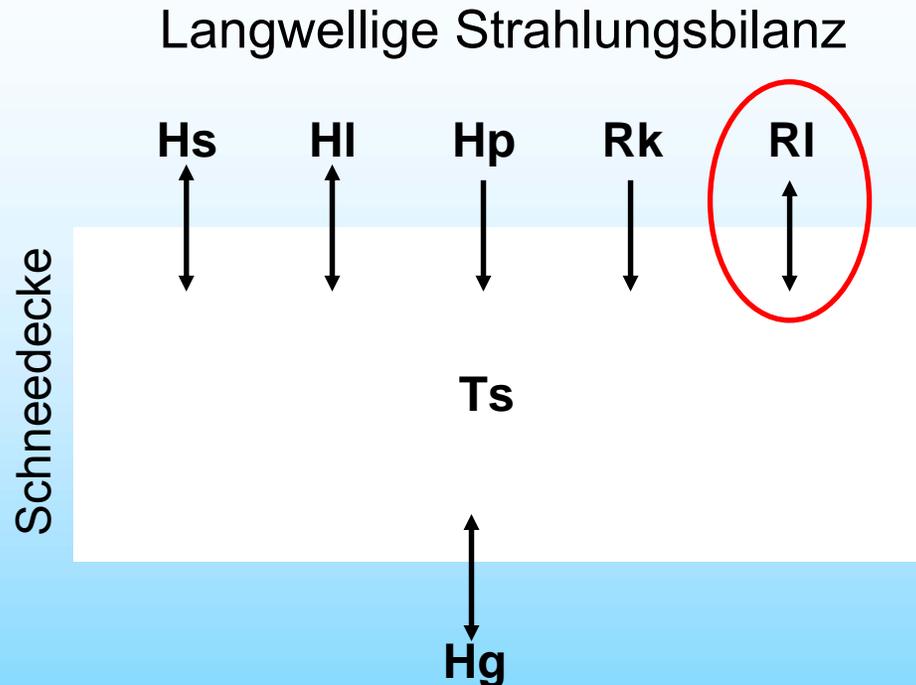
Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006



- Absorptionskoeffizient (1-albedo) konstante Kalibriergröße

$$R_k = \varepsilon \cdot R_{Glob}$$

Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006



- Funktion von Schneetemp., Lufttemp., Luftfeuchte und Wolken

$$R_I = R_{Atm} - R_S$$

$$R_S = \sigma \cdot (T_S + 273,15)^4$$

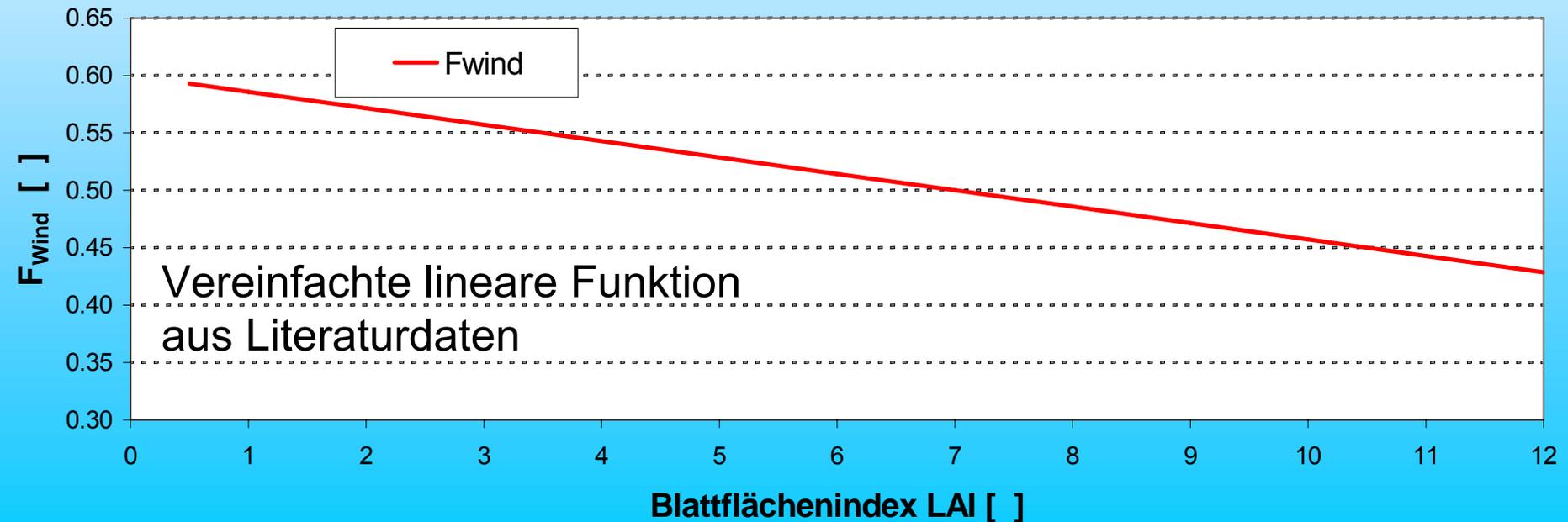
$$R_{Atm} = 1,28 \cdot \sigma \cdot (T_{Luft} + 273,15)^4 \cdot \left(\frac{e_I}{T_I + 273,15} \right)^{1/7} \cdot (1 + 0,22 \cdot r_{bew}^2)$$

Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

Einfluss des Waldes: Windgeschwindigkeit → turbulente Massenströme

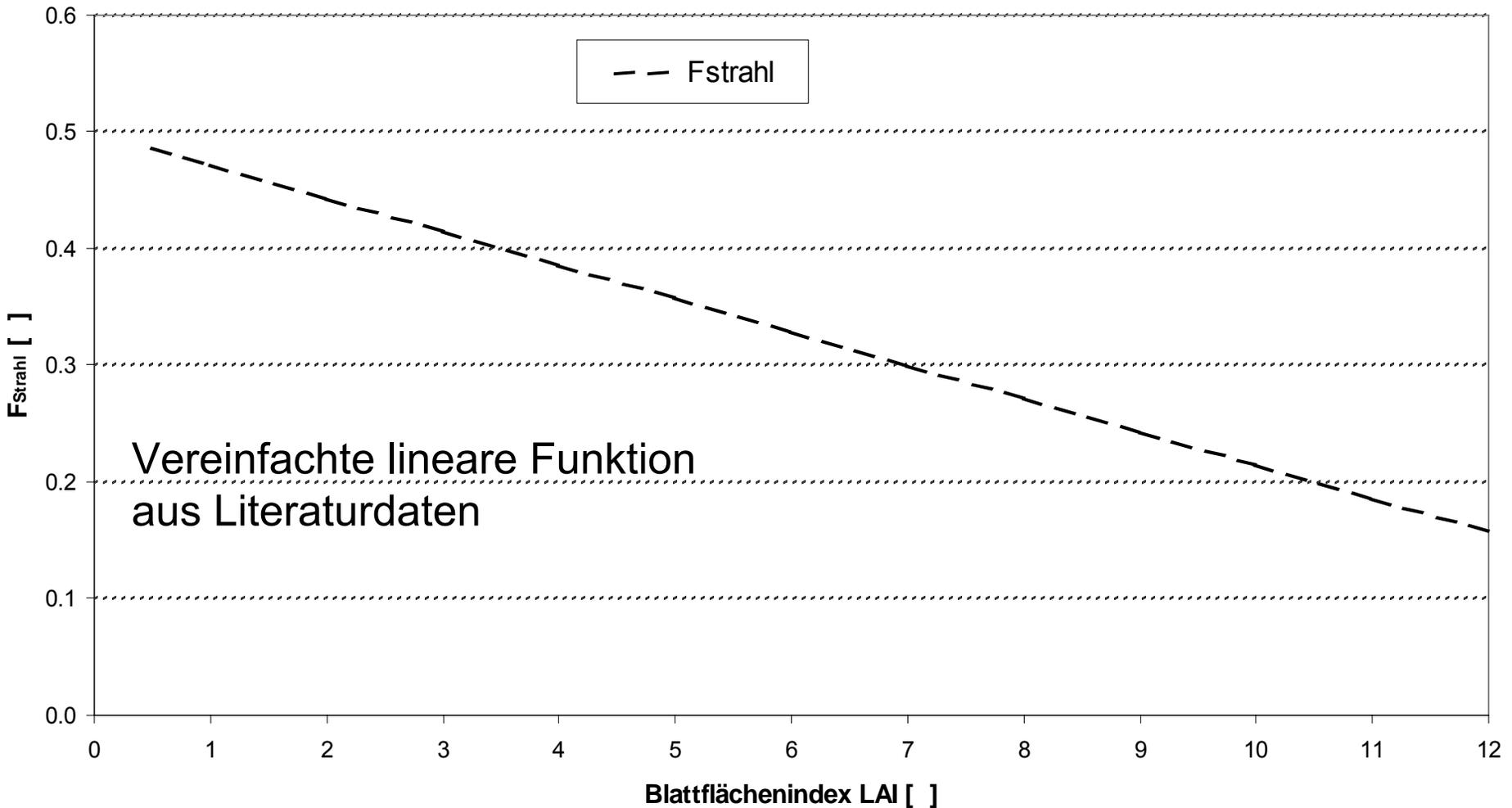


$$v_{Wind,Wald} = F_{Wind} \cdot u_{Wind,Freiland}$$



Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

Einfluss Wald: Abschattung der Strahlung und Wärmestrahlung der Bäume



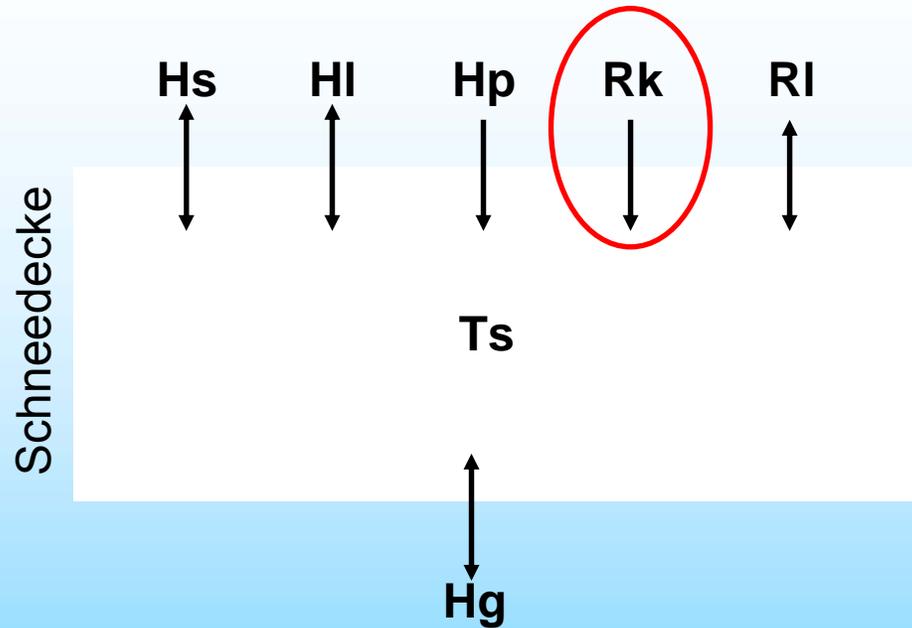
Energiebilanz: SCHNEE: KNAUF 2006

Aufteilung der Energieströme zwischen Schnee- und Verdunstungsmodul:

- Im Freiland: keine Evapotranspiration von Boden bzw. Vegetation solange Schnee liegt
 - Bei Wald:
Energieströme zur Schneedecke in [mm] = $ETA_{\text{reduktion}}$
Verminderung der Interzeptionsverdunstung um $ETA_{\text{reduktion}}$
Verminderung der Transpiration um restliche $ETA_{\text{reduktion}}$
- Doppelte „Nutzung“ der Energieströme ausgeschlossen



Energiebilanz: SCHNEEALBEDO



- R_k wichtige Größe der Energiebilanz
- Albedo stark variabel (ca. 0,6 – 0,98)
- Abnahme der Albedo mit Alterung der Schneeoberfläche

→ Dynamische Berechnung der Albedo als Funktion der Alterung

Energiebilanz: SCHNEEALBEDO

Alterung der Schneeoberfläche (Abnahme der Albedo) durch 3 Faktoren empirisch, vereinfacht abgebildet:

Umkristallisation durch Diffusion:

$$r_1 = \exp\left(5000 \cdot \left(\frac{1}{273,15} - \frac{1}{273,15 + T_s}\right)\right)$$

Schmelzen und Wiedergefrieren:

$$r_2 = \text{Min}\left\{\begin{matrix} r_1^{10} \\ 1 \end{matrix}\right\}$$

Staub-Deposition: $r_3 = 0.03$

→ Dimensionsloses Alter der Schneeoberfläche:

$$\tau = \tau + \left(\frac{r_1 + r_2 + r_3}{10^6} \cdot 3600 \cdot ta\right)$$

Nach Tarboton und Luce (1996), modifiziert



Energiebilanz: SCHNEEALBEDO

Neuschnee verringert „Schneealter“
bzw. setzt dieses zurück auf 0:

$$\tau = \text{Max} \left\{ \begin{array}{c} \tau \cdot (1 - 0,1 \cdot W\ddot{A}_{\text{Neuschnee}}) \\ 0 \end{array} \right\}$$

Albedo ergibt sich aus „Schneealter“:

$$\alpha_{\text{Schnee}} = \left(1 - C_v \cdot \frac{\tau}{1 + \tau} \right) \cdot \alpha_0$$

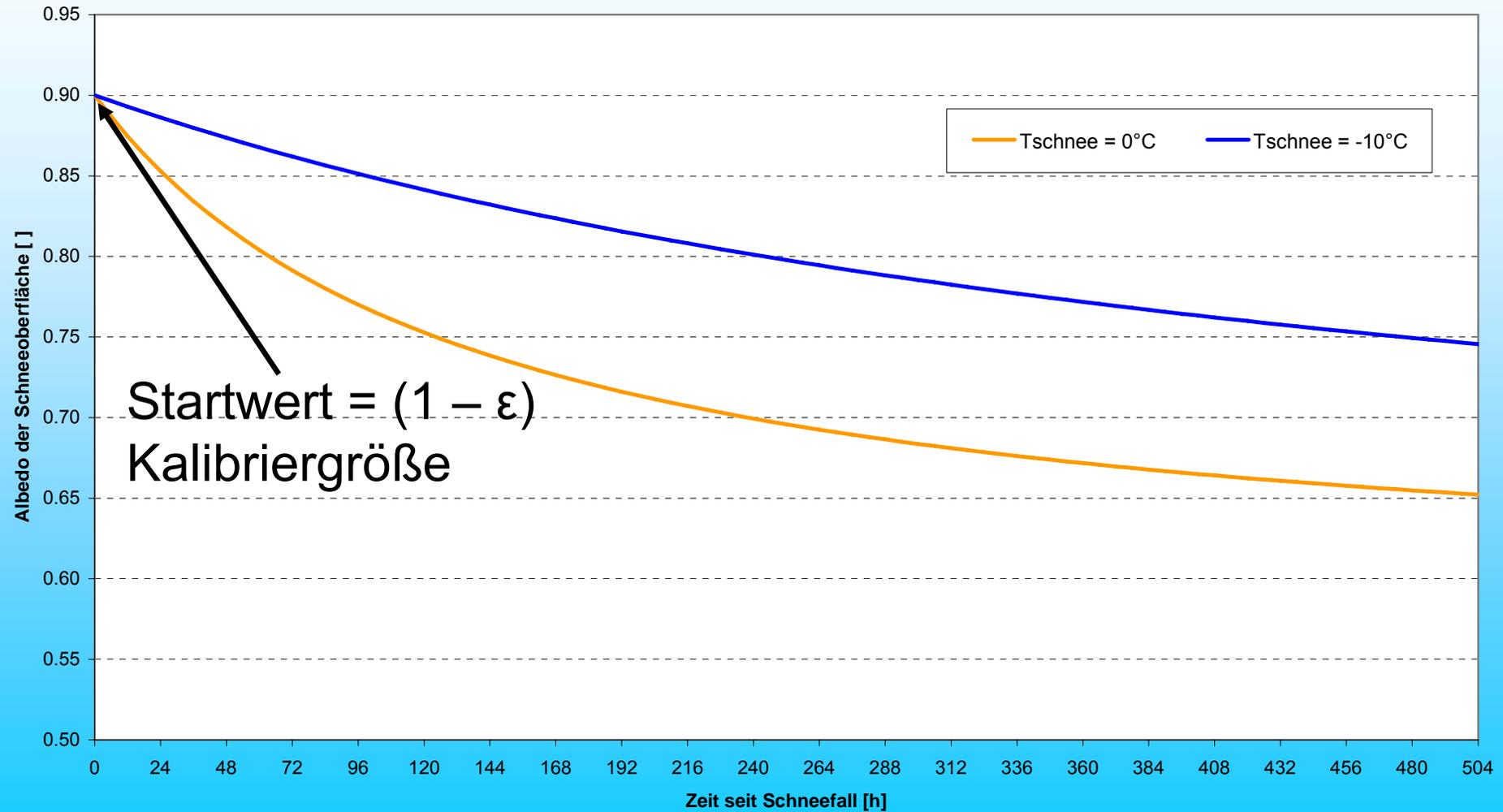
Alterungsfaktor C_v für $R_{\text{Glob}} = 0,2$

Nach Tarboton und Luce (1996), modifiziert

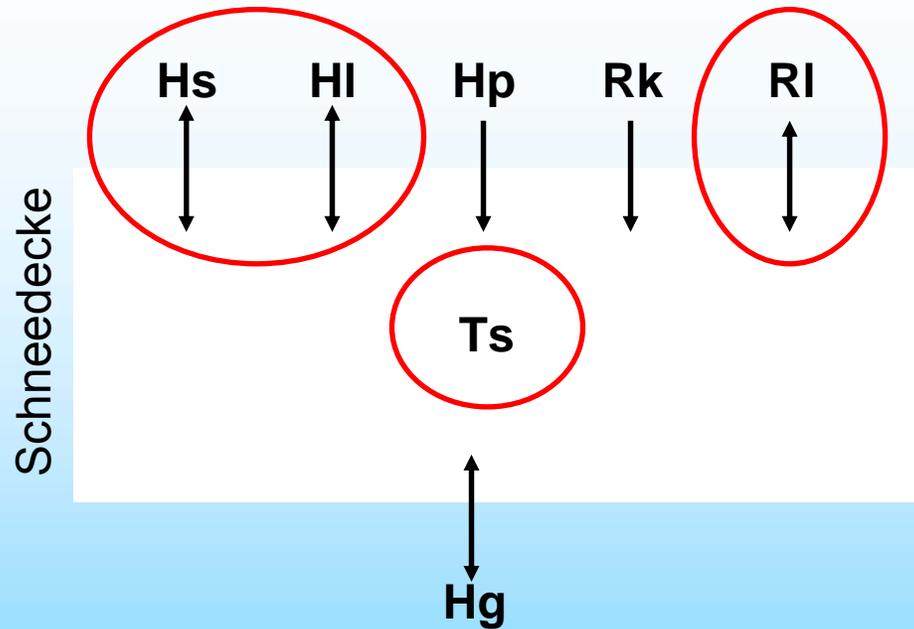


Energiebilanz: SCHNEEALBEDO

Abnahme der Albedo vor allem Funktion der Schneetemperatur:



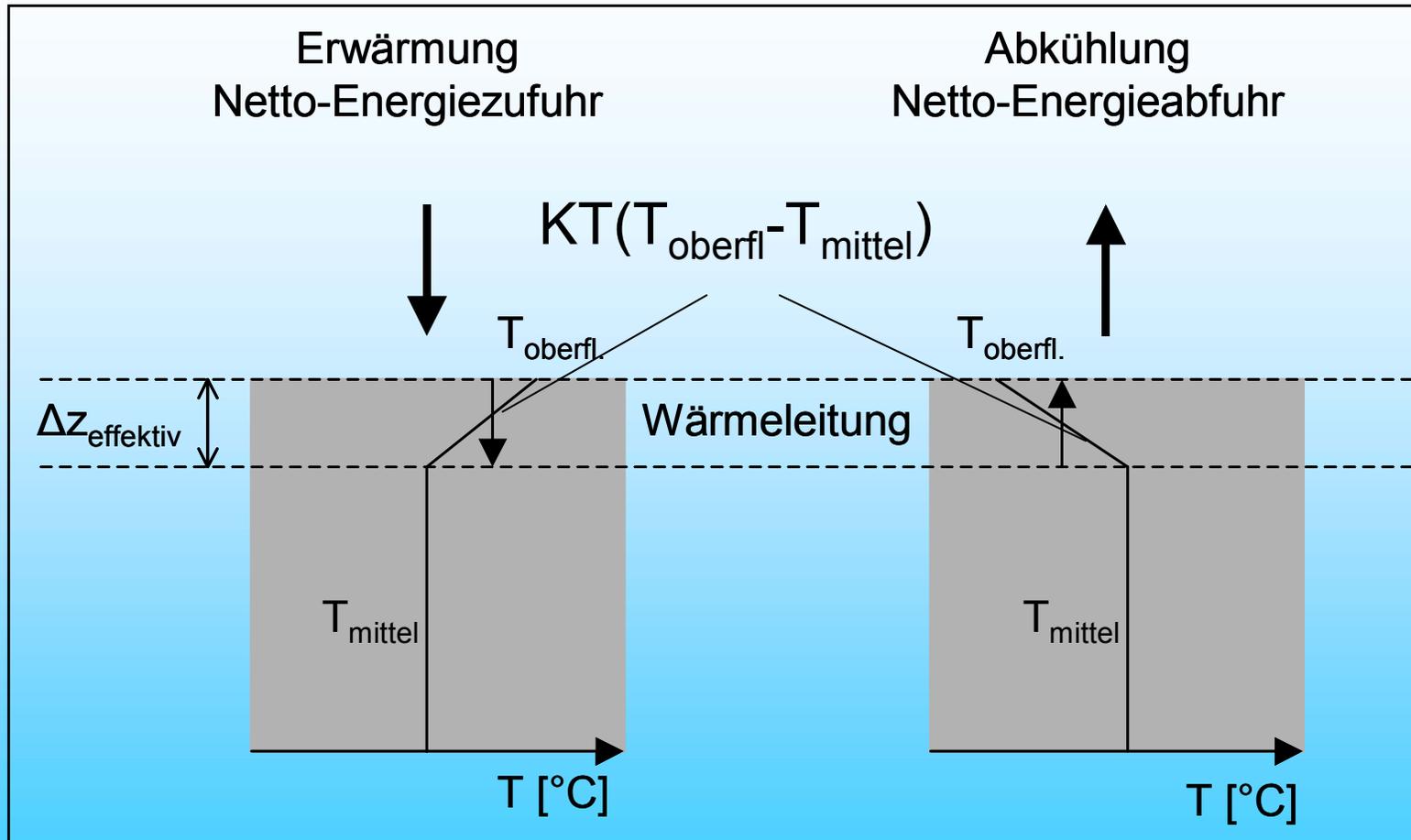
Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP



- 1-Schicht-Schneemodell, keine vertikale Differenzierung von T_s
- Wärmetransport durch Schneedecke
- Oberflächentemp. \neq Mittlere T_s (häufig 5 ... 10 °C)
- Unrealistische Energieflüsse bei Verwendung mittlerer T_s

➔ Abschätzung der Oberflächentemp. mit Gleichgewichtsansatz

Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP



Wärmeleitung in die (oder aus der) Schneedecke muss gleich sein wie Energiebilanz an Schneeoberfläche

Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP

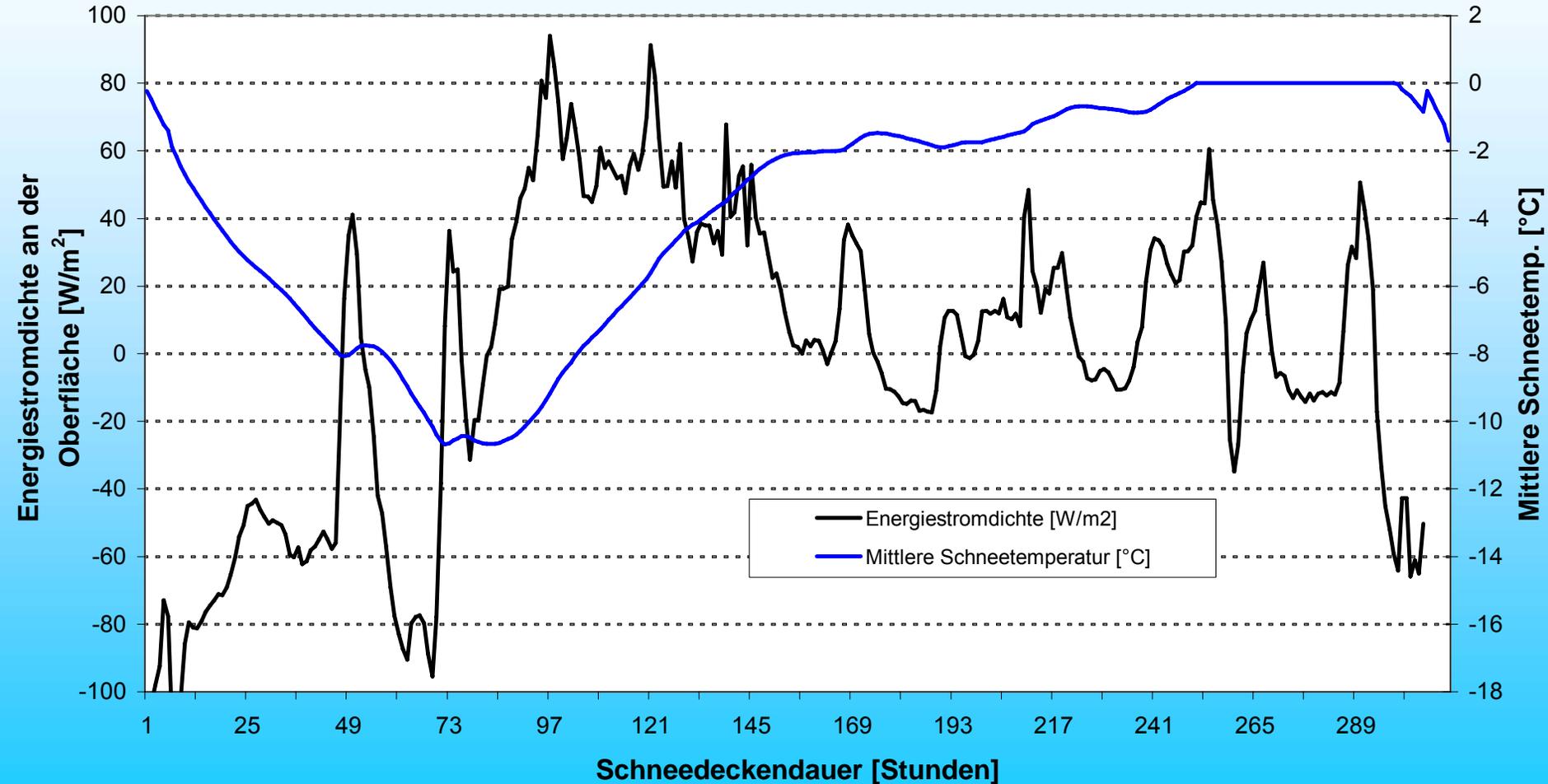
$$\begin{aligned} H_p + R_k + R_l(T_{\text{oberfl}}) + H_s(T_{\text{oberfl}}) + H_l(T_{\text{oberfl}}) \\ = KT_{\text{schnee}}(T_{\text{oberfl}} - T_{\text{mittel}}) \end{aligned}$$

- Vorgegebenes Gleichgewicht an Oberfläche
- Iterative Bestimmung T_{oberfl} (Newton-Verfahren)
- Verwendung T_{oberfl} für H_s , H_l und R_l



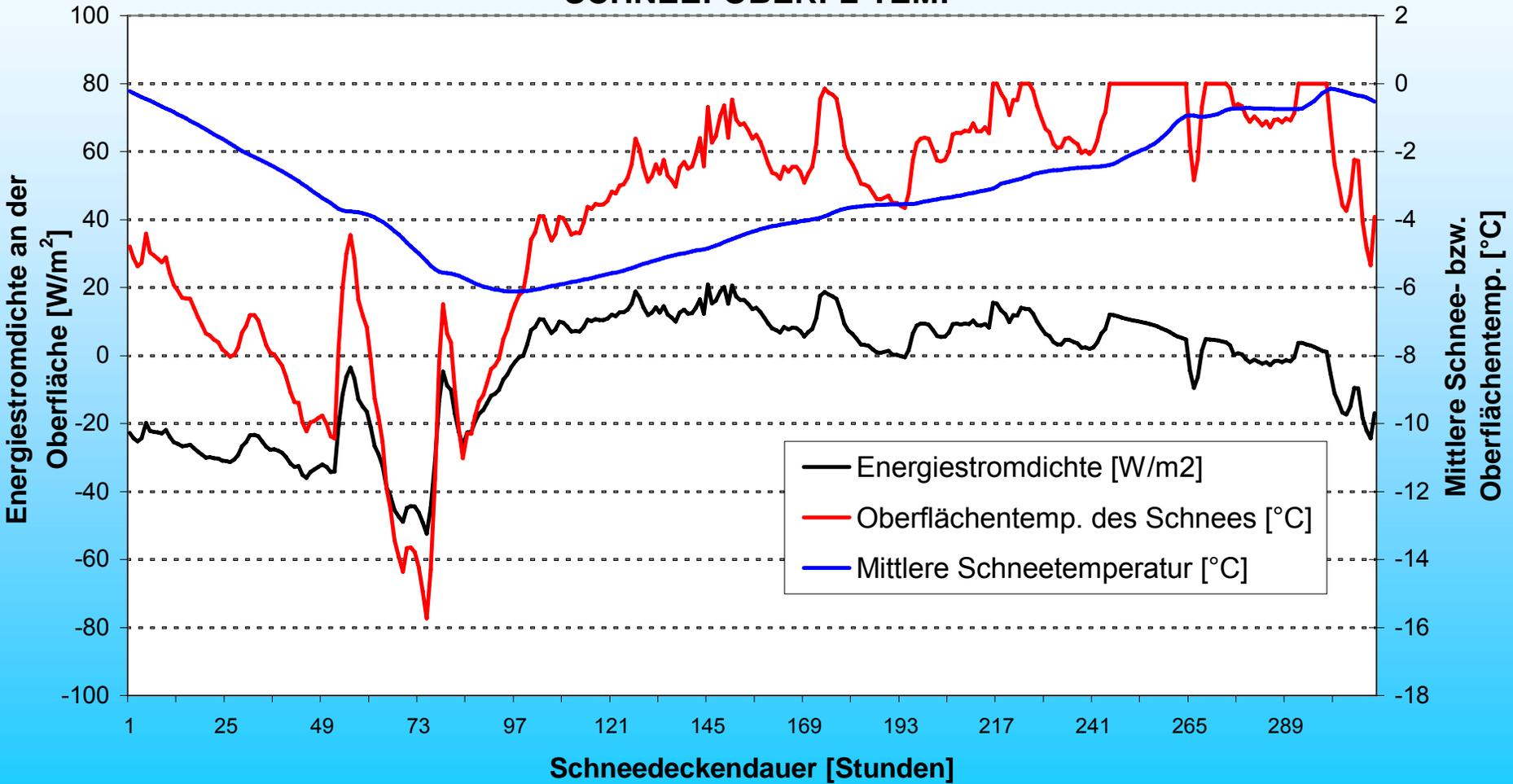
Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP

Verlauf der Schneetemperatur **ohne** die Option
SCHNEE: OBERFL-TEMP



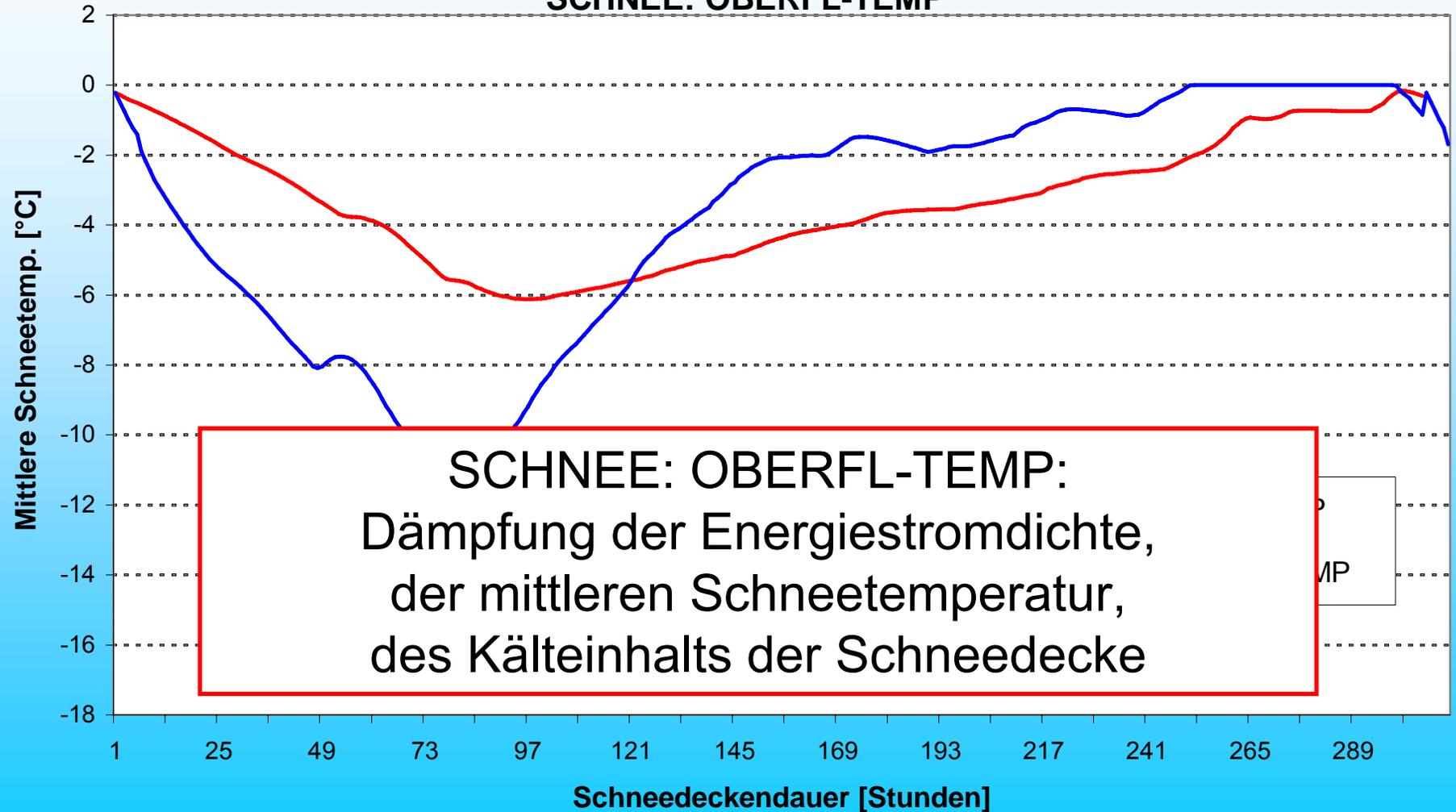
Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP

Verlauf der Schneetemperatur **mit** der Option
SCHNEE: OBERFL-TEMP

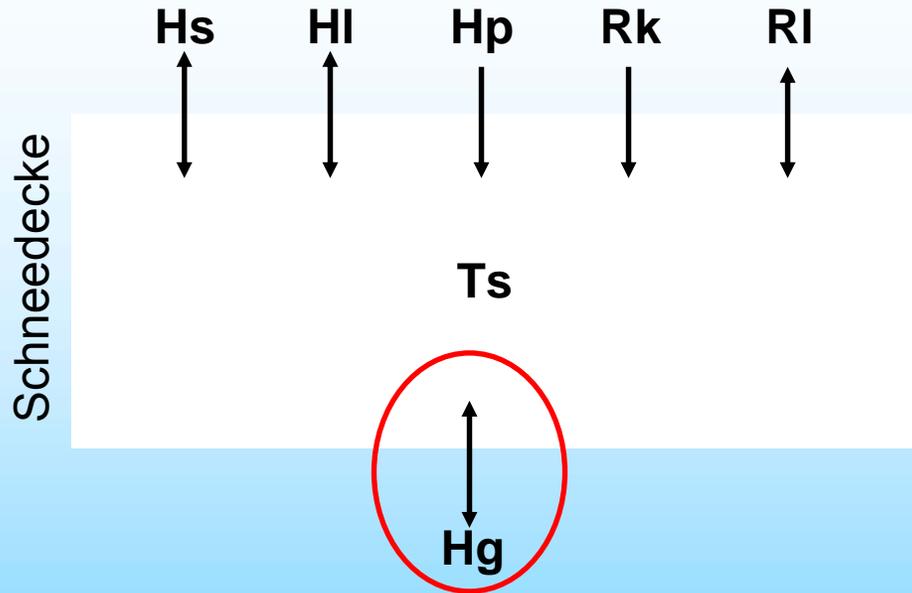


Energiebilanz: SCHNEE: OBERFL-TEMP

Vergleich der Schneetemperatur **mit und ohne** die Option
SCHNEE: OBERFL-TEMP



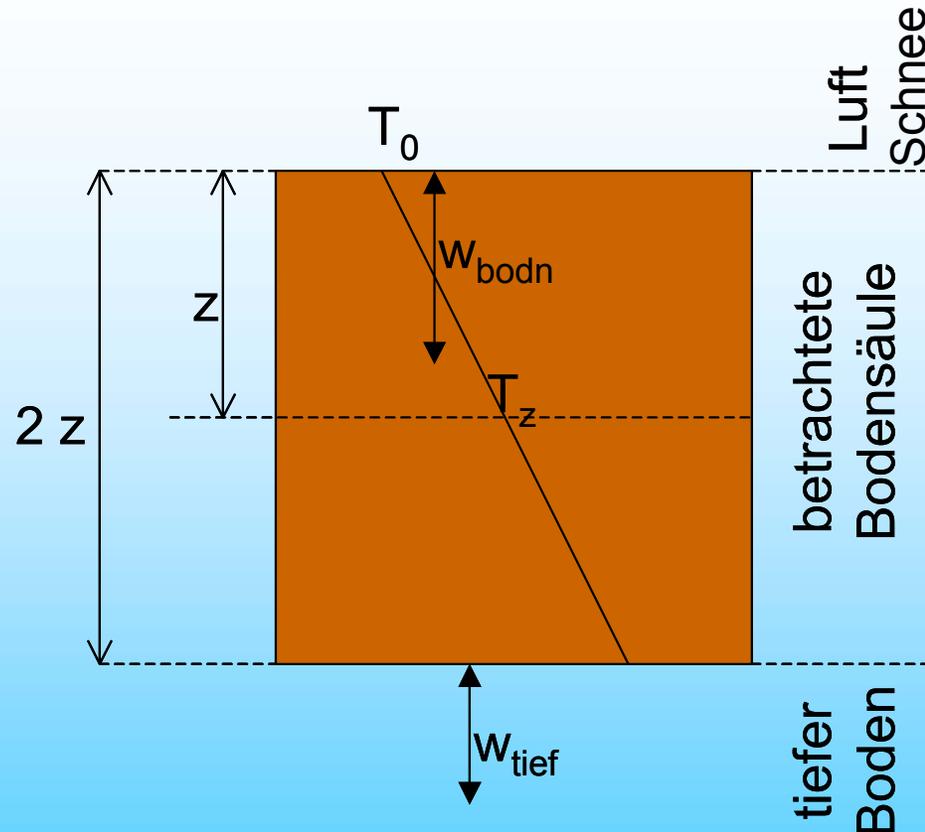
Bodenwärmestrom und Frostversiegelung



- Bodenwärmestrom für Schneeschmelze relevant
- Mögliche „Frostversiegelung“ des Bodens für Abflussbildung relevant

→ Option **BODENTEMPERATUR**
→ Einzelparameter **FROST-VERSIEGEL-FAK**

Bodenwärmestrom und Frostversiegelung



Vereinfachte dynamische Berechnung des Bodenwärmestroms für oberflächennahes Bodenvolumen

$$H_g = -\lambda_{\text{bodn}} \cdot \frac{T_0 - T_z}{z} \cdot \Delta t$$

Bodenwärmestrom und Frostversiegelung

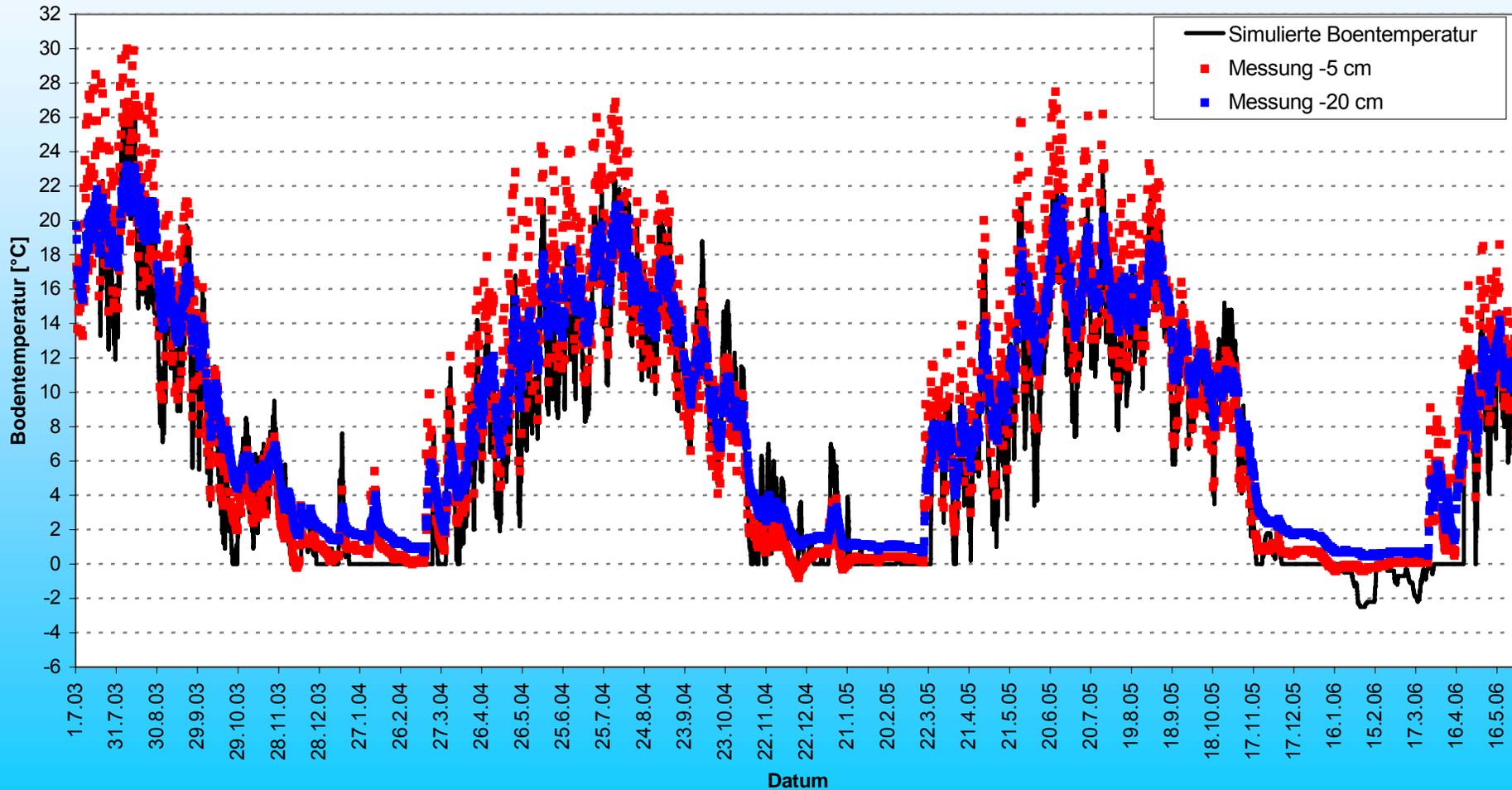
- Oberflächennahe Schicht $2z = 20$ cm
 - Energiegehalt Bodenschicht aus $H_g + H_{\text{tief}}$
 - Mit Energiegehalt
 - + Wärmekapazität des Bodens
 - + Gefrieren und Tauen des Bodenwassers
 - T_z (Mittlere Bodentemperatur)
 - SFF (Anteil gefrorenen Wassers)
 - Wärmestrom aus tiefer Schicht H_{tief} nach MORECS
- So ermittelter H_g wird in Schneemodell verwendet
- SFF kann für Frost-Versiegelung verwendet werden



Bodenwärmestrom und Frostversiegelung

Validierung anhand Bodentemperatur:

Klippeneck



Anteil gefrorenes Bodenwasser (SFF)

→ Mögliche Wirkung der Frostversiegelung:

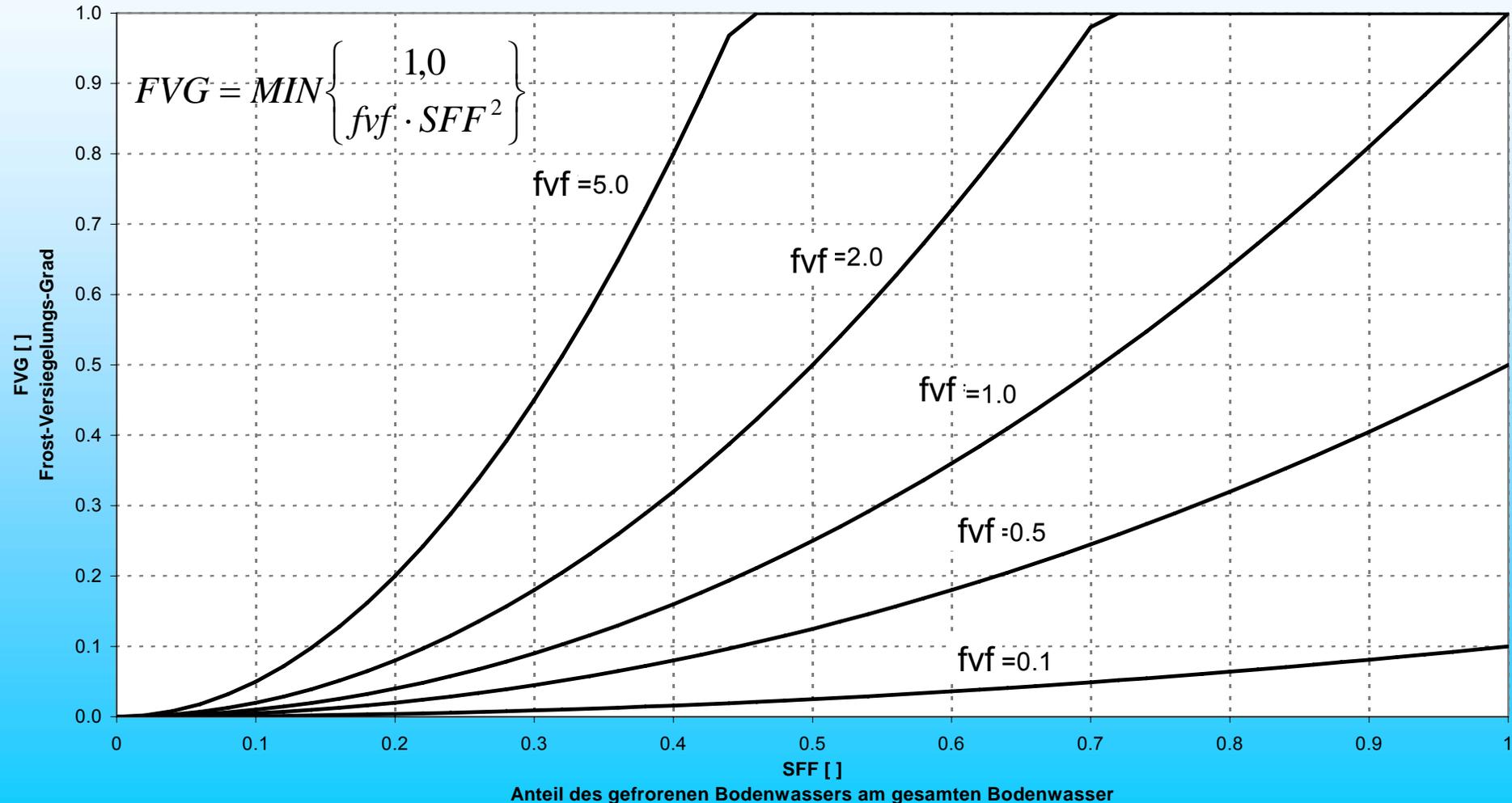
- Wirkung ?
Wenn, dann nur wenige Ereignisse
- Steuerung über Einzelparameter
FROST-VERSIEGEL-FAK (fvf)

$fvf = 0$ → Keine Frostversiegelung bei Abflussbildung

$fvf > 0$ → Mehr Direktabfluss bei gefrorenem Boden

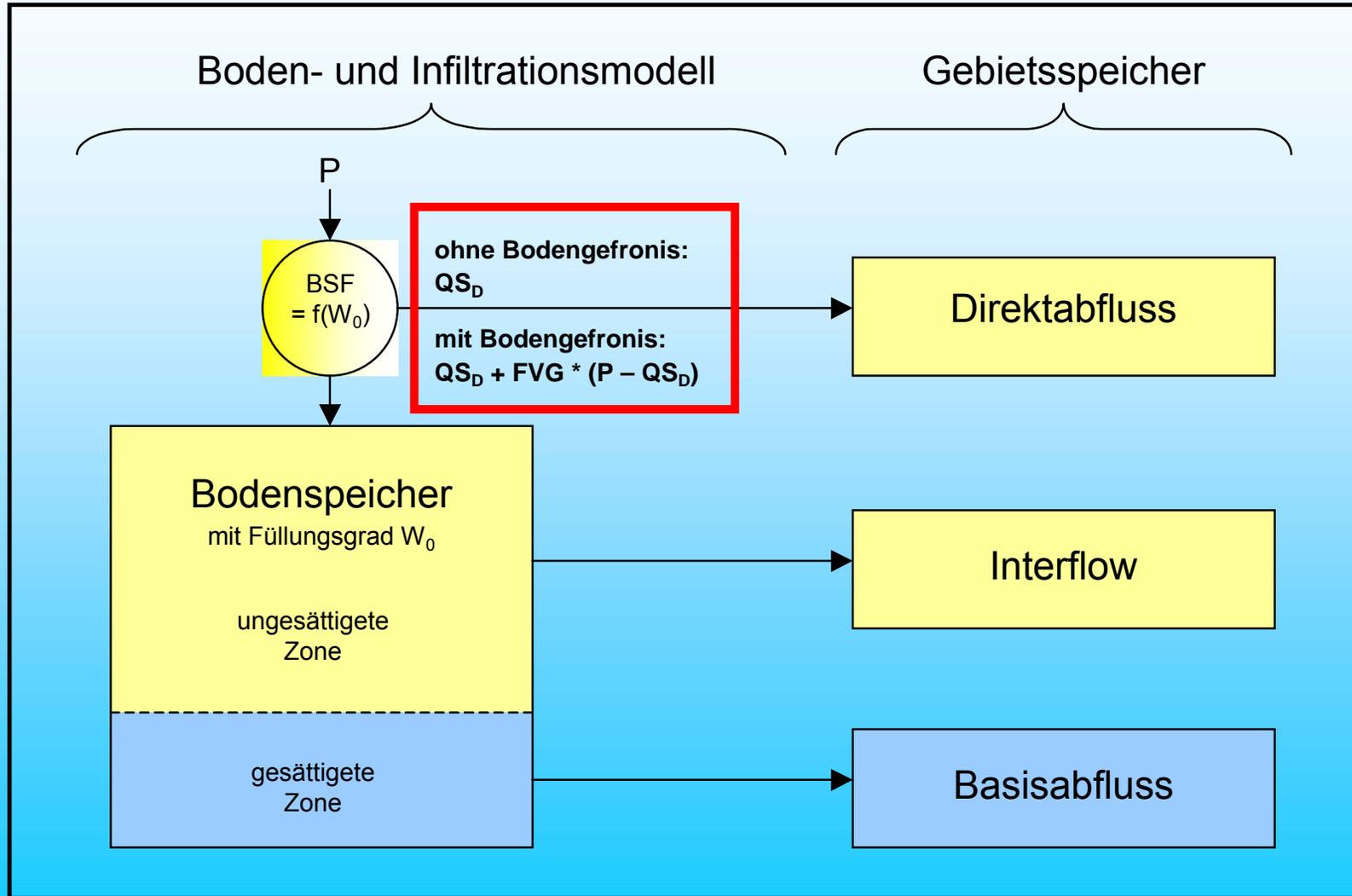
Bodenwärmestrom und Frostversiegelung

Versiegelungsgrad = f(Anteil gefrorenem Bodenwasser)
für unterschiedliche fvf



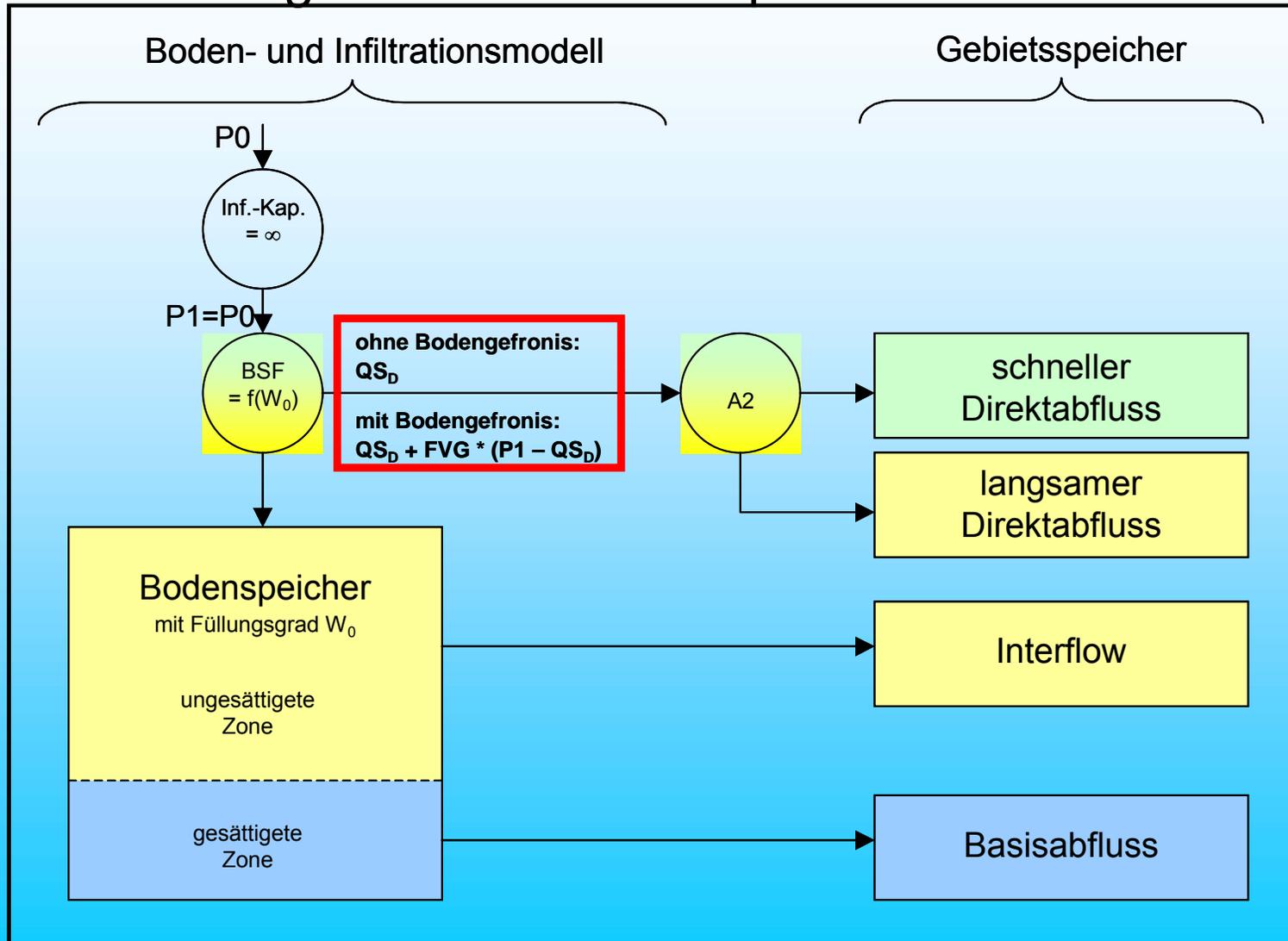
Bodenwärmestrom und Frostversiegelung

Wirkung bei 3 Abflusskomponenten:



Bodenwärmestrom und Frostversiegelung

Wirkung bei 4 Abflusskomponenten mit A2:



Setzung der Schneedecke

- Bislang von Bertle-Verfahren abgeleitet
SNOW-COMPACTION
SNOW-COMPACTION 2
Detaillierte Simulation des Setzungsvorgangs
 - Bereitstellung eines anderen Setzungsmodells
(keine Weiterentwicklung sondern Alternative)
- ➔ Option SNOW COMPACTION UEB
- ➔ Nach „Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model UEB“ (Tarboton & Luce 1996)



Setzung der Schneedecke

- Energiebilanz nach SCHNEE: KNAUF, 2006
- Zusätzlich Energieverlust durch Schmelzwasser
- Einbeziehung einer oberflächennahen Bodenschicht
- Zustand der Schneedecke ausschließlich durch Wasseräquivalent und Energiegehalt bestimmt
→ Wesentlich einfacher als Bertle-Verfahren
- Wiedergefrieren von geschmolzenem Schnee möglich



Setzung der Schneedecke

Anteil flüssigen Wassers = $f(\text{Energiegehalt})$:

Für $E_{\text{schnee}} \leq 0$ (Alles gefroren)

$$Lf = 0$$

Für $E_{\text{schnee}} > 0$ und $E_{\text{schnee}} < \frac{W\ddot{A}}{1000} \cdot r_{\text{schmelz}} \cdot \rho_{\text{wasser}}$
(Schnee mit flüssigem Wasser):

$$Lf = \frac{E_{\text{schnee}}}{\frac{W\ddot{A}}{1000} \cdot r_{\text{schmelz}} \cdot \rho_{\text{wasser}}}$$

Für $E_{\text{schnee}} \geq \frac{W\ddot{A}}{1000} \cdot r_{\text{schmelz}} \cdot \rho_{\text{wasser}}$
(Vollständig geschmolzene Schneedecke):

$$Lf = 1$$



Setzung der Schneedecke

Sättigungsgrad der Schneedecke:

$$SATS = \frac{\left(\frac{Lf}{1-Lf} - Lc \right)}{\frac{\rho_{wasser}}{\rho_{schnee}} - \frac{\rho_{wasser}}{\rho_{eis}} - Lc}$$

Ausfluss aus Schneedecke:

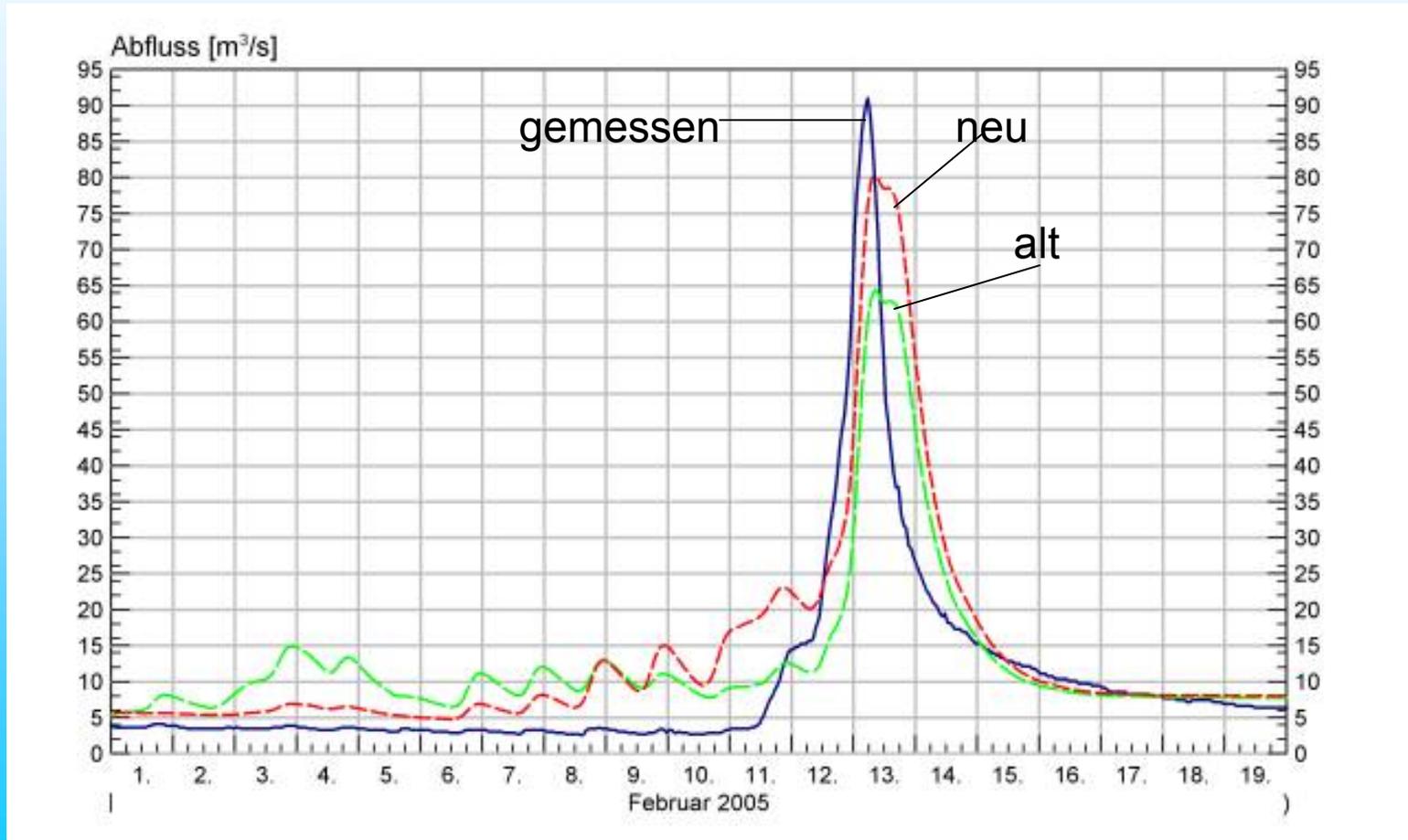
$$xmelta = K_{sat} \cdot SATS^3$$

→ Rückhaltewirkung wesentlich einfacher als bei Bertle-Verfahren



Fazit

Vergleich SCHNEE: KNAUF ERW. SCHNEE: KNAUF 2006



Fazit

- Physikalisch verbesserte Energiebilanzansätze
- Alternatives (einfacheres) Setzungsmodell
- Mögliche Berücksichtigung Frostversiegelung

Ergebnisse:

Offline im Mittel leichte Verbesserung

Operationell Wegdriften von Messdaten
nach wie vor möglich

→ Operationell Nachführung anhand
von Messdaten wichtig

