

LARSIM Workshop 2015

LARSIM-Weiterentwicklungen im Bereich der Schneesimulation

Ingo Haag, Dirk Aigner, Nicole Henn, Angela Sieber

HYDRON Ingenieurgesellschaft für
Umwelt und Wasserwirtschaft mbH

Margret Johst

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz LUWG

Einführung

- **Unter-Arbeitsgruppe „Schnee“ der LARSIM-Entwicklergemeinschaft**

Ziele:

- Identifikation von Schnee-Problemen im operationellen Betrieb
- Aufzeigen von Verbesserungspotentialen
- Priorisierung der Arbeiten

➔ Umsetzung in **LARSIM** und **externer Schneenachführung**

Dieser Vortrag

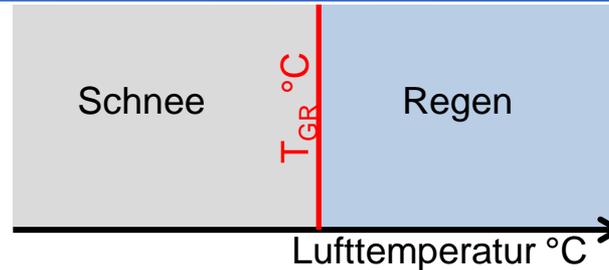
separater Vortrag:
Aktuelle Verbesserungen der
externen Schneenachführung

- **Auftraggeber: LUBW und LUWG**

Grundlagen: Schnee in LARSIM

• Akkumulation von Schnee

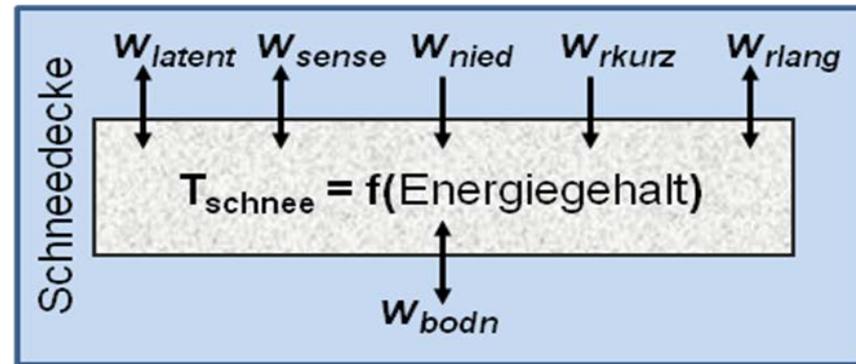
$T_{\text{Luft}} < T_{\text{GR}} \rightarrow$ Schneefall
 Aufbau der Schneedecke mit trockenem Neuschnee



• Energiebilanz der Schneedecke

Temperatur der Schneedecke und potentielle Schmelze

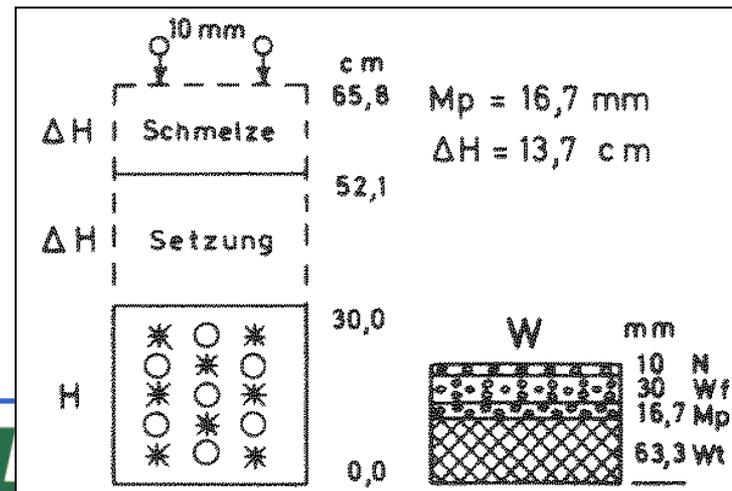
- Grad-Tag-Verfahren
- Knauf vereinfacht
- Knauf erweitert
- UEB-Energiebilanz-Ansatz
- Vollständige Energiebilanz



• Setzung und Wasserabgabe

Rückhalt flüssigen Wassers in der Schneedecke und tatsächliche Wasserabgabe

- UEB-Setzungs-Ansatz
- Bertle-Verfahren



Grundlagen: Schnee in LARSIM

Kombinationsmöglichkeiten Energiebilanz – Setzung
je nach Aufgabenstellung und Datenverfügbarkeit

		Setzung und Wasserabgabe		
		ohne	Bertle-Verfahren	UEB-Retention
Energiebilanz	Grad-Tag-Verfahren	X	X	
	Knauf vereinfacht	X	X	
	Knauf erweitert	X	X	
	Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model UEB	X		X
	Vollständige Energiebilanz (mit Zusatzoptionen)	X	X	X

**→ In Operationellen Modellen der Länder:
Vollständige Energiebilanz + Bertle-Verfahren**

Überblick

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Akkumulation von Schnee

→ In LARSIM umgesetzte Option SCHNEEEREGEN

Setzung und Wasserabgabe

→ Analyse und Vereinfachung des Bertle-Verfahrens

→ In LARSIM umgesetzte Option SNOW-COMPACTION 3

Energiebilanz der Schneedecke

→ Validierung der Energiebilanz unter Wald

→ Konzeption zur verbesserten/flexibleren Umsetzung in LARSIM

Akkumulation von Schnee / zusätzlicher Aspekte

→ Analyse von Schneeeinterzeption (und -sublimation) von Baumkronen

→ Konzeption zur Integration in LARSIM

Überblick

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Akkumulation von Schnee

→ In LARSIM umgesetzte Option SCHNEEEREGEN

Setzung und Wasserabgabe

→ Analyse und Vereinfachung des Bertle-Verfahrens

→ In LARSIM umgesetzte Option SNOW-COMPACTION 3

Energiebilanz der Schneedecke

→ Validierung der Energiebilanz unter Wald

→ Konzeption zur verbesserten/flexibleren Umsetzung in LARSIM

Akkumulation von Schnee / zusätzlicher Aspekte

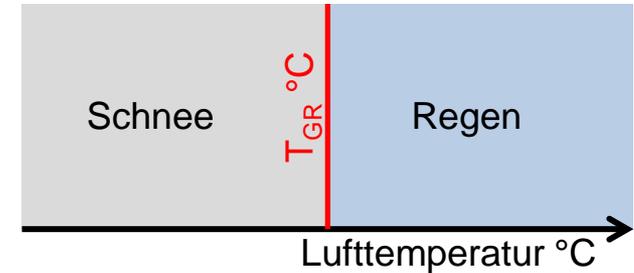
→ Analyse von Schneeeinterzeption (und -sublimation) von Baumkronen

→ Konzeption zur Integration in LARSIM

Schneeregen

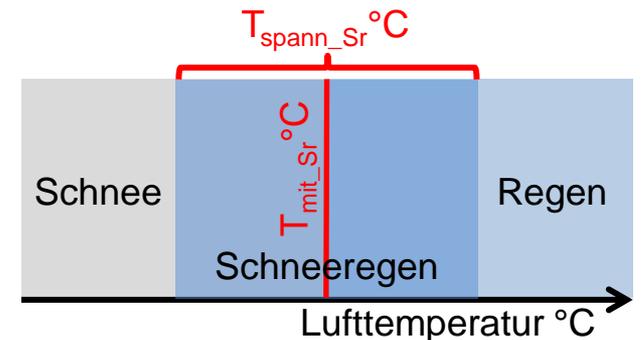
Ausgangslage:

- Bislang starre Grenze (T_{GR}):
Regen oder (trockener!) Schnee
- T_{GR} sehr sensitiv, abrupte Änderung der Abflussreaktion
- Bei Schneefall immer komplett trockene Schneedecke und damit tendenziell zu späte und zu langsame Wasserabgabe aus Schneedecke

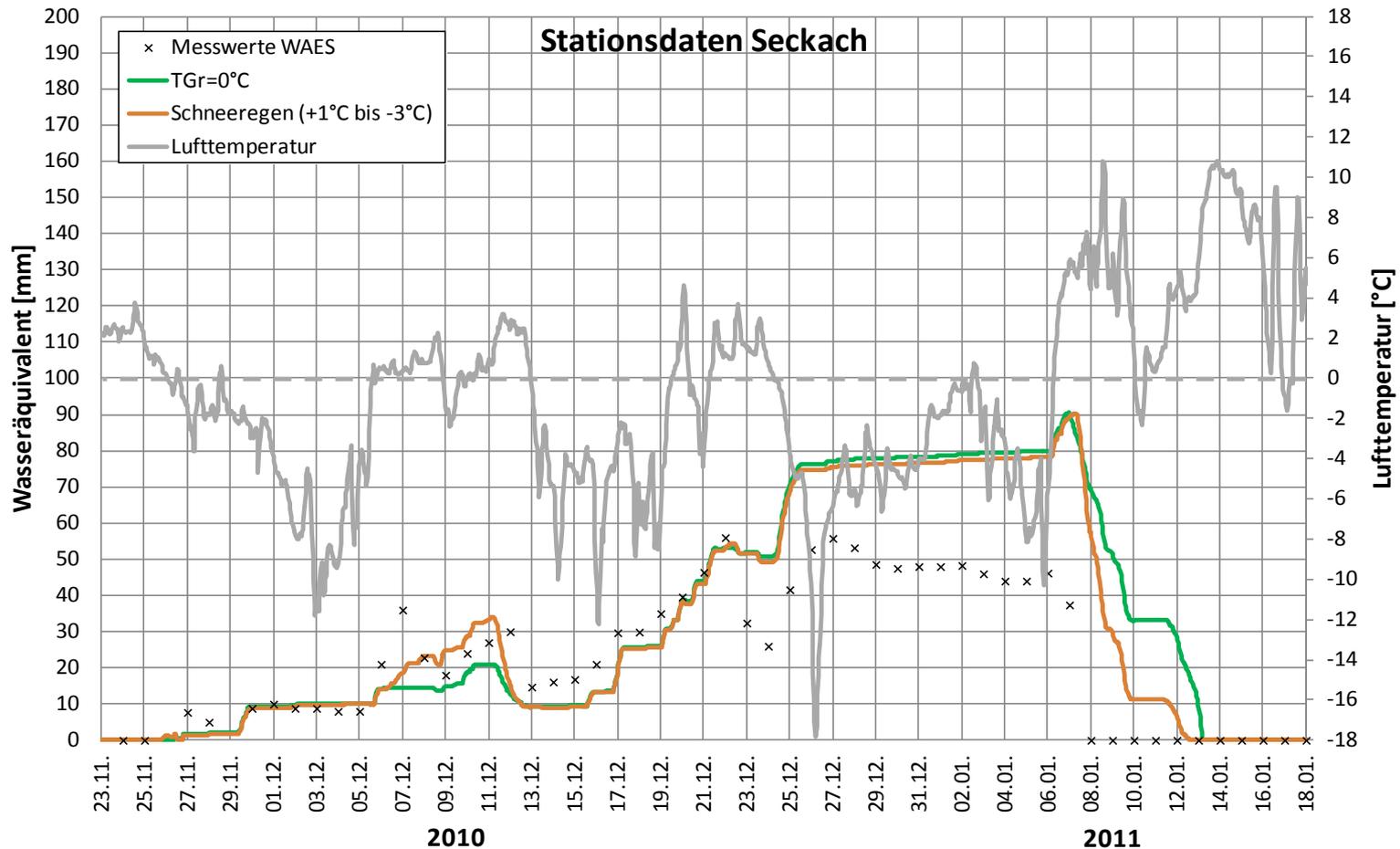


LARSIM-Option SCHNEEREGEN:

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

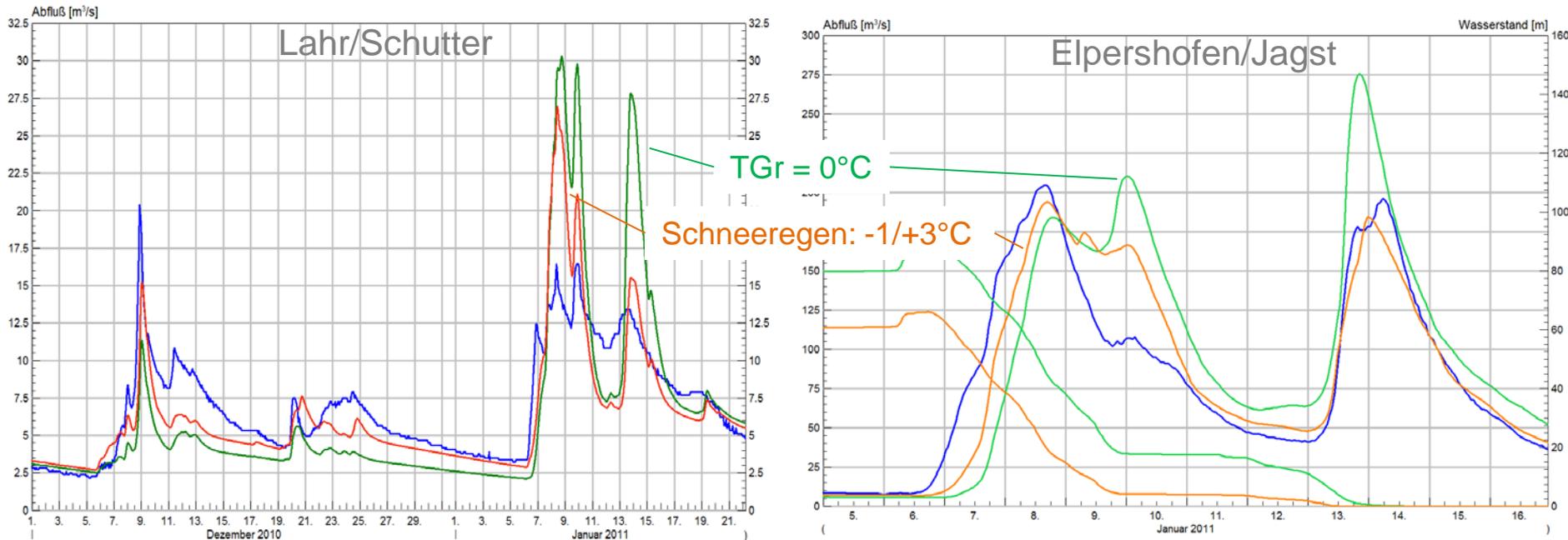


Schneeregen



- Sensitiv (vor allem bei nicht perennierender Schneedecke, nahe TGr / Tmit_Sr)
- Dämpfung der Reaktion im Bereich von TGr / Tmit_Sr
- Tendenziell größere Feuchte der Schneedecke → intensivere Wasserabgabe

Schneeregen



- Test für Oberrheinzuflüsse + Jagst vor allem Winter 2010/2011
- Mit SCHNEEREGEN können Verbesserungen erzielt werden
- 2010/2011: Bessere Aufteilung des Abflusses zwischen Dez.- und Jan.-Ereignis
- Frühere und intensivere Wasserabgabe (Verringerung Lag)
- Tspann_Sr von 4 °C hat sich bisher bewährt
- Übergangsbereich nicht symmetrisch um bisherige TGr, sondern tendenziell tiefer z.B. TGr = 0 °C → -3 °C bis +1 °C (Tmit_Sr = -1 °C, Tspann_Sr = 4 °C)

Überblick

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Akkumulation von Schnee

→ In LARSIM umgesetzte Option SCHNEEEREGEN

Setzung und Wasserabgabe

→ Analyse und Vereinfachung des Bertle-Verfahrens

→ In LARSIM umgesetzte Option SNOW-COMPACTION 3

Energiebilanz der Schneedecke

→ Validierung der Energiebilanz unter Wald

→ Konzeption zur verbesserten/flexibleren Umsetzung in LARSIM

Akkumulation von Schnee / zusätzlicher Aspekte

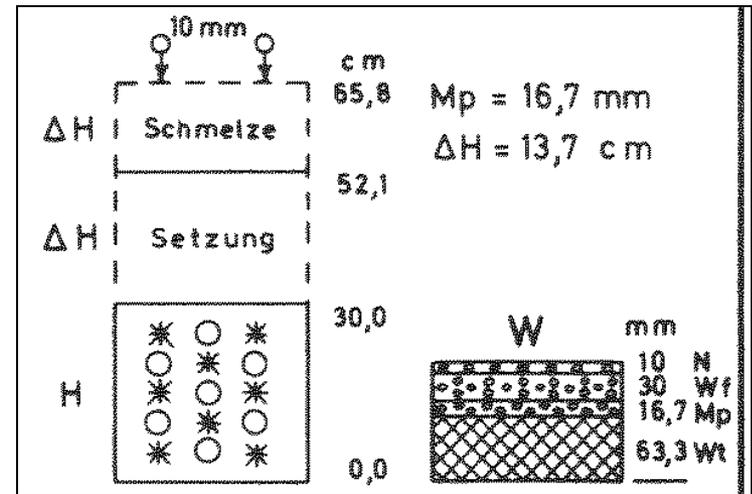
→ Analyse von Schneeeinterzeption (und -sublimation) von Baumkronen

→ Konzeption zur Integration in LARSIM

Bertle-Verfahren

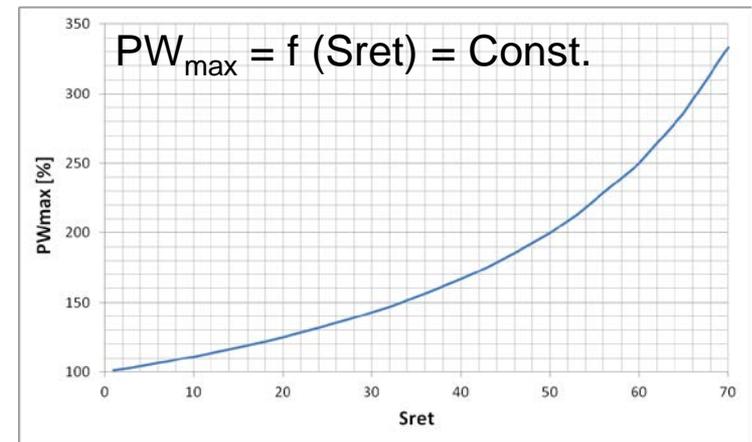
Ausgangslage:

- Bertle-Verfahren (SNOW-COMPACTION 2) sehr kompliziert und undurchsichtig
- Weiterentwicklung/Modifikation dadurch schwierig (z.B. Eingriff in Schneezustand)



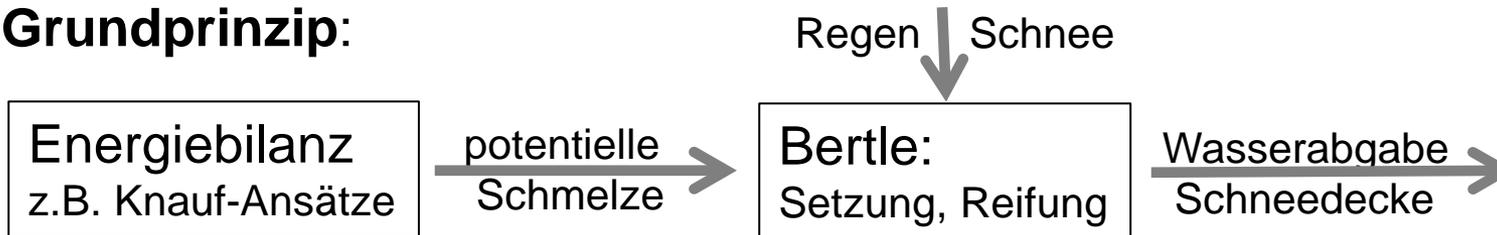
Ziele:

- Analyse des Bertle-Verfahrens
- Vereinfachung des Bertle-Verfahrens (→ SNOW-COMPACTION 3)
- Vereinfachung späterer Weiterentwicklungen
- Direkten Eingriff in Schneezustand ermöglichen



Bertle-Verfahren

Grundprinzip:



Wichtigste Größen im (vereinfachten) Bertle-Ansatz:

- $W\ddot{A}_{GS}$ [mm] Wasseräquivalent des (Gesamt-)Schnees
- $W\ddot{A}_{TS}$ [mm] Wasseräquivalent des Trocken-Schnees
- PW [%] Verhältnis Gesamt-Wasseräquivalent zu Wasseräquivalent Trockenschnee

$$PW = 100 \frac{W\ddot{A}_{GS}}{W\ddot{A}_{TS}}$$

- PW_{\max} [%] Maximal mögliches Gesamt-Wasseräquivalent bei gegebenem Wasseräquivalent Trockenschnee

$PW > PW_{\max}$ → Wasserabgabe aus Schneedecke

Bertle-Verfahren

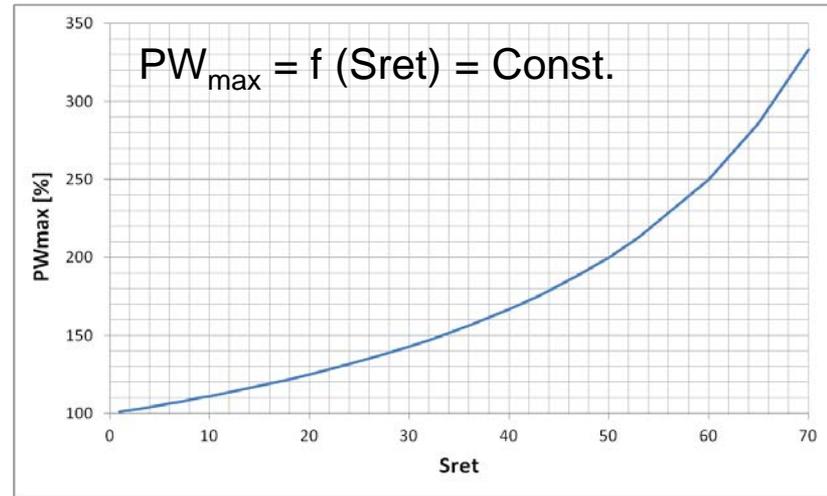
Empirische Grundlage nach Bertle (1966):

$$PW_{\max} = f(c1, c2, \rho_{TS}, \rho_{\max} \dots)$$

$$c1, c2 = f(S_{ret})$$

... →

$$PW_{\max} = \frac{10000}{100 - S_{ret}}$$



Setzung:

Eingangsgröße	WÄ _{GS}	WÄ _{TS}
Potentielle Schmelze		-
Regen	+	
Schnee	+	+
Re-/Sublimation Verdunst./Kondensat.	+ -	+ -

→ Alle anderen Größen (Schneehöhe, Dichte ...) werden hieraus berechnet

Wasserabgabe aus Schneedecke:

$$\rightarrow 100 \frac{W\ddot{A}_{GS}}{W\ddot{A}_{TS}} = PW$$

Wenn $PW > PW_{\max}$

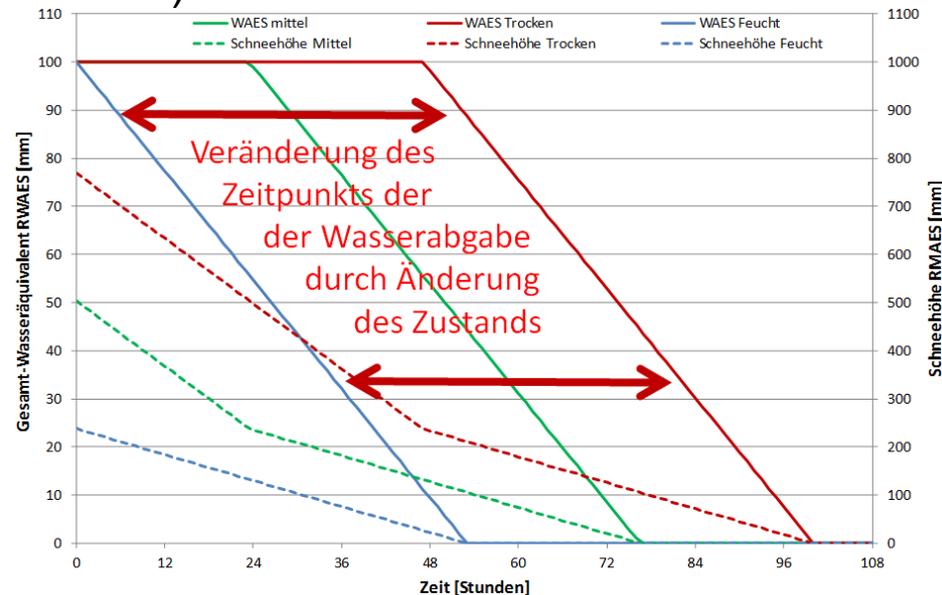
→ Wasserabgabe

→ Reduktion von WÄ_{GS}

Bertle-Verfahren

Ergebnisse:

- SNOW-COMPACTION 2 und 3 liefern nahezu identische Ergebnisse (Rundungsungenauigkeiten, Behebung kleiner Fehler bei SNOW-COMPACTION 2)
 - SNOW-COMPACTION 3 vereinfacht zukünftige Anpassungen (zeigte sich bereits bei Umsetzung SCHNEEREGEN)
 - Mit SNOW-COMPACTION 3 wird gezielter Eingriff in Schneezustand möglich (externe Nachführung über WHM-Zustandsdatei)
- Reifegrad kann über $WÄ_{GS}/WÄ_{TS}$ direkt gesteuert werden
- Zeitpunkt der Wasserabgabe kann beeinflusst werden
- Mögliche zukünftige Weiterentwicklung



Überblick

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Akkumulation von Schnee

→ In LARSIM umgesetzte Option SCHNEEEREGEN

Setzung und Wasserabgabe

→ Analyse und Vereinfachung des Bertle-Verfahrens

→ In LARSIM umgesetzte Option SNOW-COMPACTION 3

Energiebilanz der Schneedecke

→ Validierung der Energiebilanz unter Wald

→ Konzeption zur verbesserten/flexibleren Umsetzung in LARSIM

Akkumulation von Schnee / zusätzlicher Aspekte

→ Analyse von Schneeeinterzeption (und -sublimation) von Baumkronen

→ Konzeption zur Integration in LARSIM

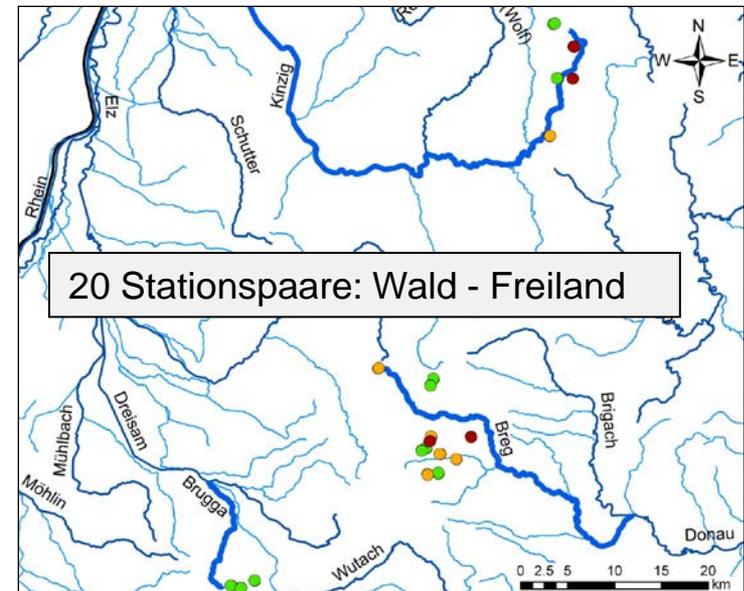
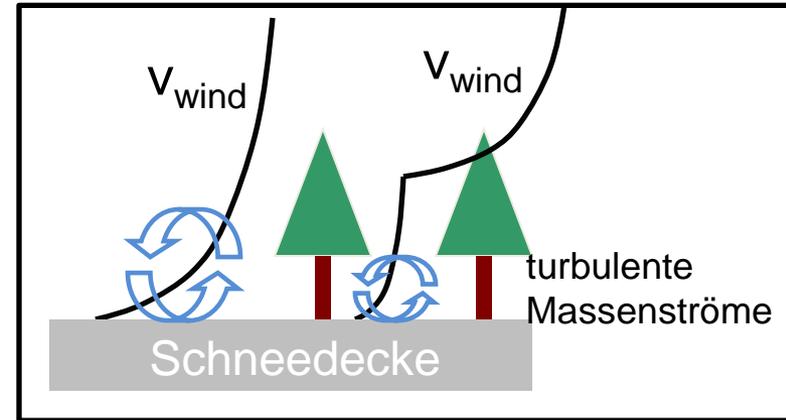
Energiebilanz unter Wald

Ausgangslage:

- In LARSIM Energiebilanz der Schneedecke unter Wald modifiziert
- Reduktion Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit + Modifikation langwellige Strahlung
- Interne Parametrisierung der Verfahren mit wenigen internationalen Literaturangaben
- Messdaten der Uni Freiburg zu Glob. und Wind an zahlreichen Schwarzwaldstandorten

Ziele:

- Überprüfung der Ansätze für Glob. und Wind
- Überprüfung der Parametrisierung
- Verbesserungsvorschläge (Konzeption)

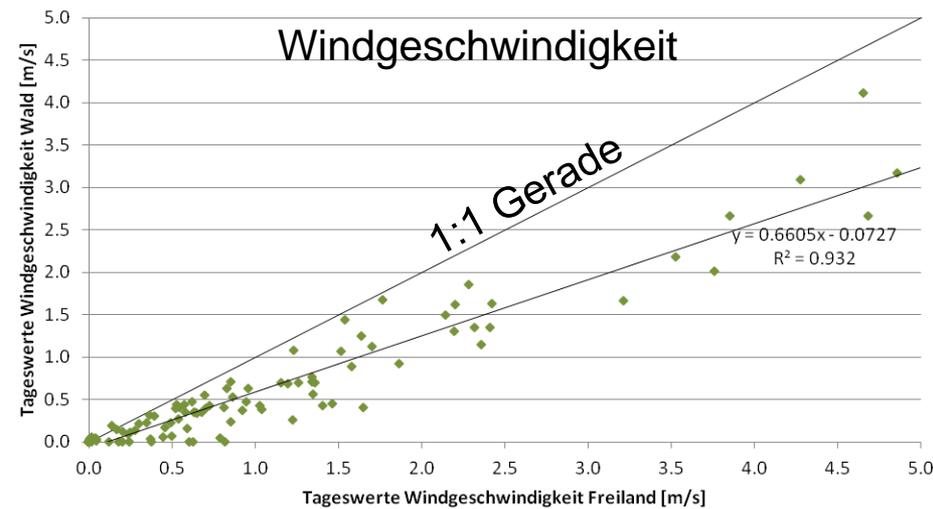
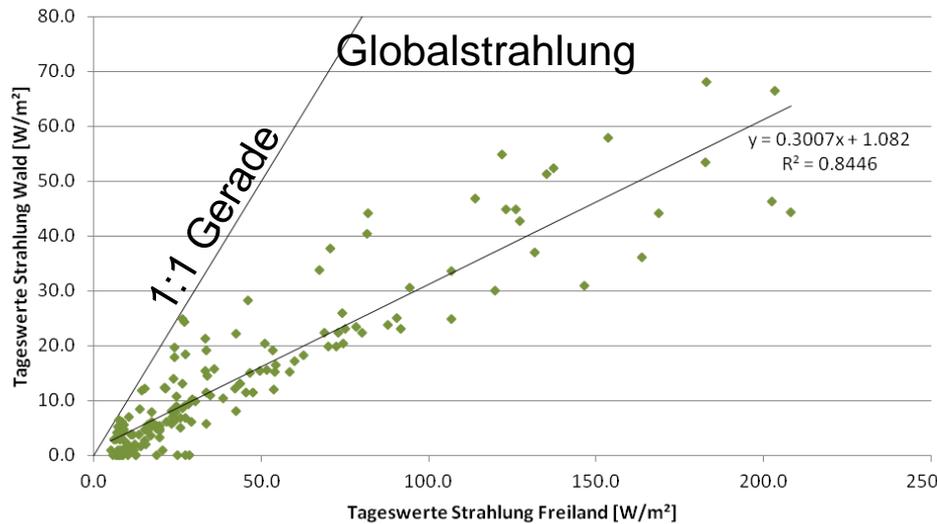


Energiebilanz unter Wald

In LARSIM implementierter einfache lineare Reduktion zulässig?

Wald = Freiland x Faktor

Repräsentative Stationspaare



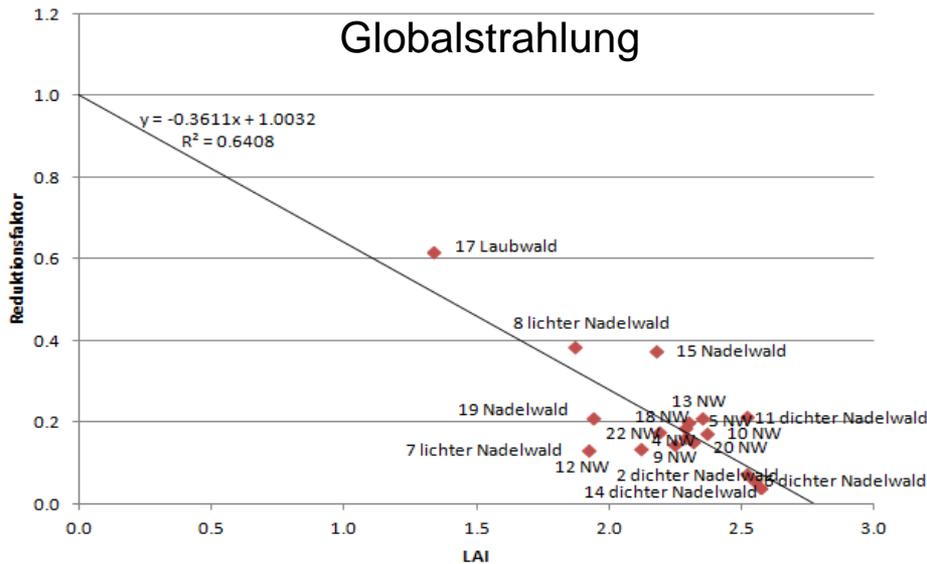
➔ Linearer Reduktionsfaktoren in LARSIM zulässig

$$RGlob_{wald} = RGlob_{Freiland} \cdot F_{Strahl}$$

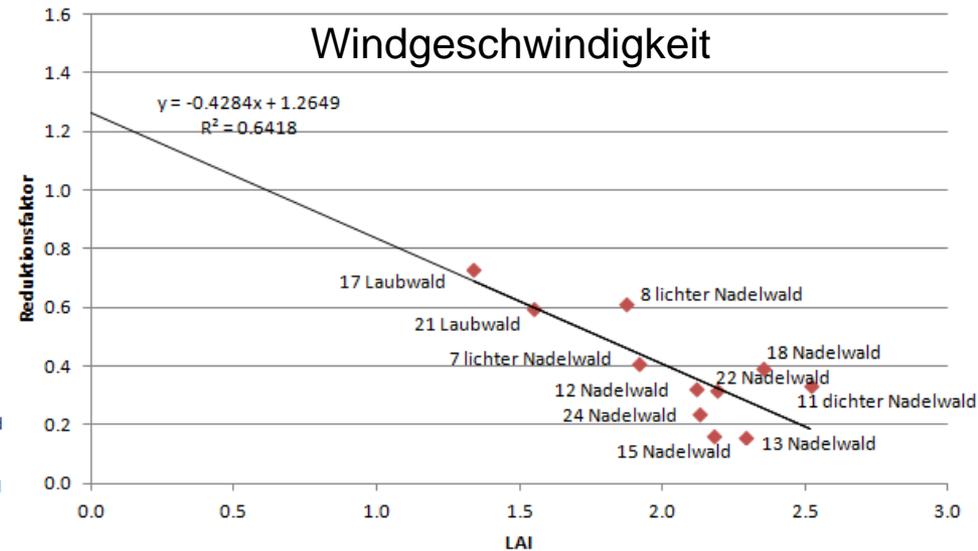
$$VWind_{wald} = VWind_{Freiland} \cdot F_{Wind}$$

Energiebilanz unter Wald

Linearer Zusammenhang zwischen Reduktionsfaktor und LAI?



$$F_{Strahl} = \text{MAX} \left(0,5 - \frac{1}{35} \cdot LAI; 0 \right)$$



$$F_{Wind} = \text{MAX} \left(0,6 - \frac{1}{70} \cdot LAI; 0 \right)$$

- ➔ Näherungsweise linearer Zusammenhang zwischen Faktoren und LAI
- ➔ Klare Unterschiede zwischen (winterlichem) Laub- und Nadelwald
- ➔ Glob.- und Wind-Reduktion meist in etwa korrekt
- ➔ **Aber** zu geringe Wind-Reduktion bei Nadelwald

Energiebilanz unter Wald

Generell:

- Reduktion von Glob. und Wind in LARSIM gut umgesetzt

Problematisch:

- F_{Wind} für Nadelwald etwas zu hoch
- Anpassung durch fixe LARSIM-interne Parametrisierung erschwert
- Reduktionsfaktoren hängen von verwendeter LANU.PAR ab

Verbesserungsvorschlag:

- Modellspezifische Einzelparameter (a_0 und a_1) für:

$$F_{Strahl} = MAX(a_{0_{Strahl}} - a_{1_{Strahl}} \cdot LAI; 0)$$

$$F_{Wind} = MAX(a_{0_{Wind}} - a_{1_{Wind}} \cdot LAI; 0)$$

→ Kompatibilität mit unterschiedlichen LANU.PAR

→ Einfache Verbesserung F_{Wind} für Nadelwald

Überblick

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Akkumulation von Schnee

→ In LARSIM umgesetzte Option SCHNEEEREGEN

Setzung und Wasserabgabe

→ Analyse und Vereinfachung des Bertle-Verfahrens

→ In LARSIM umgesetzte Option SNOW-COMPACTION 3

Energiebilanz der Schneedecke

→ Validierung der Energiebilanz unter Wald

→ Konzeption zur verbesserten/flexibleren Umsetzung in LARSIM

Akkumulation von Schnee / zusätzlicher Aspekte

→ Analyse von Schneeeinterzeption (und -sublimation) von Baumkronen

→ Konzeption zur Integration in LARSIM

Schneeinterzeption

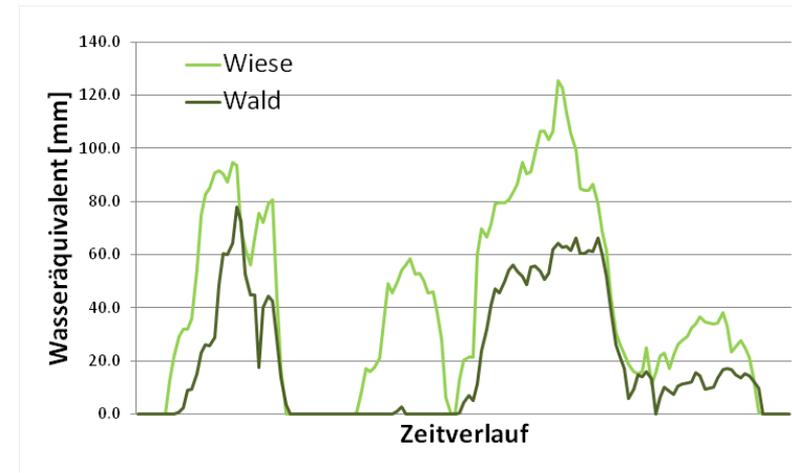
Ausgangslage:

- Interzeption von Schnee wird in LARSIM wie Regen betrachtet
- Schnee auf Kronendach und Sublimation von dort wird nicht gesondert simuliert
- Schneedecke wird nur **unter** Wald simuliert
- Messdaten der Uni Freiburg für Stationspaare Freiland-Wald im Schwarzwald



Ziele:

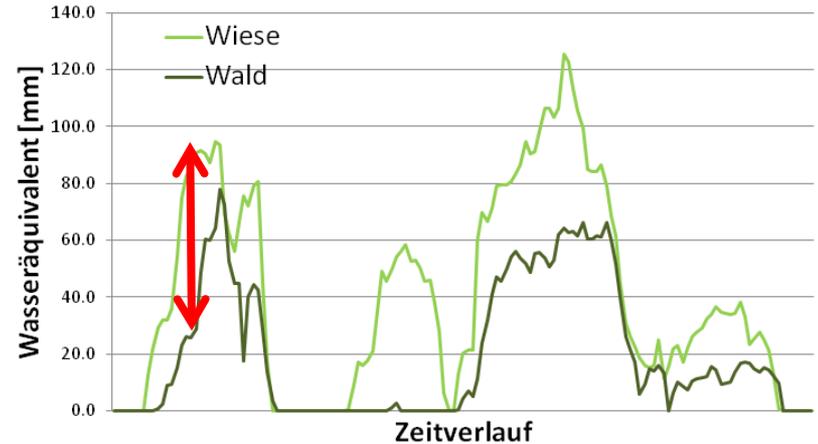
- Prüfung des LARSIM-Ansatzes (für Regen)
- Relevanz der Schneeinterzeption für typische Mittelgebirgsstandorte
- Grundlage für Verbesserungsvorschläge (Konzeption)



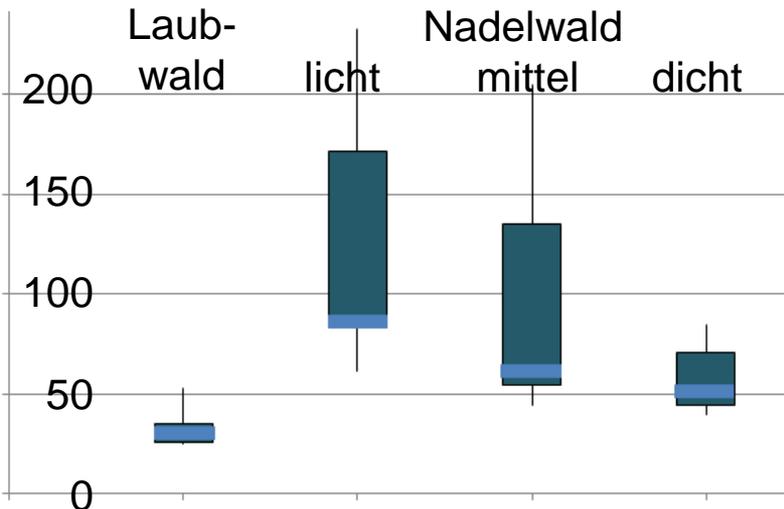
Schneeinterzeption

Akkumulierter Schneerückhalt durch das Kronendach:

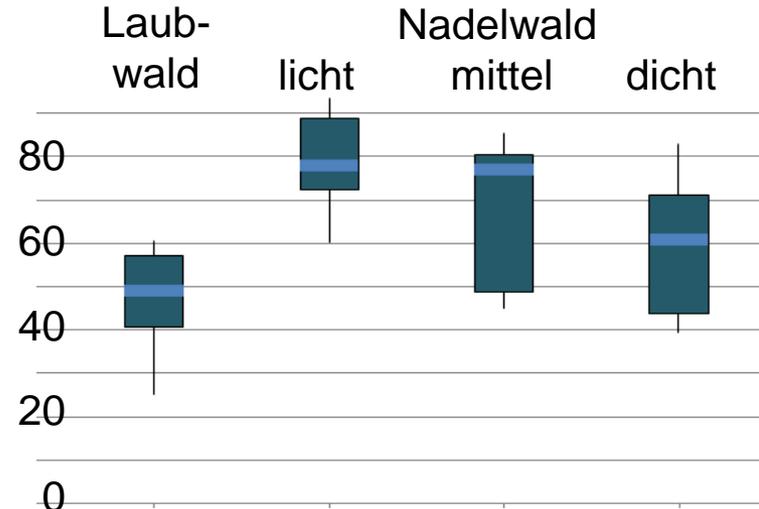
- Maximale Differenz Freiland – unter Wald während Akkumulationsphase
- Indikator für: Max. Schneeinterzeption + Sublimation von Kronendach



Absolut [mm WÄ]



Relativ [% vom WÄ_{Freiland}]

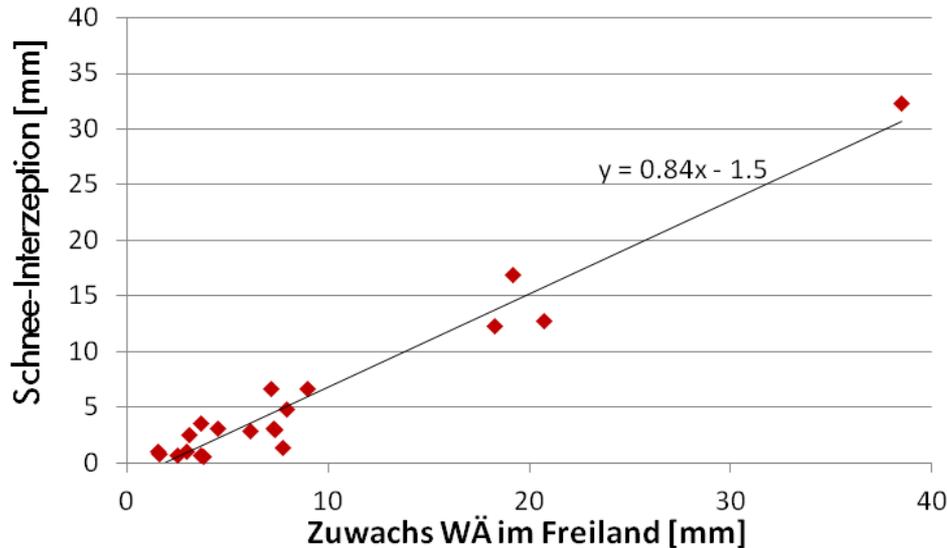


Schneeinterzeption

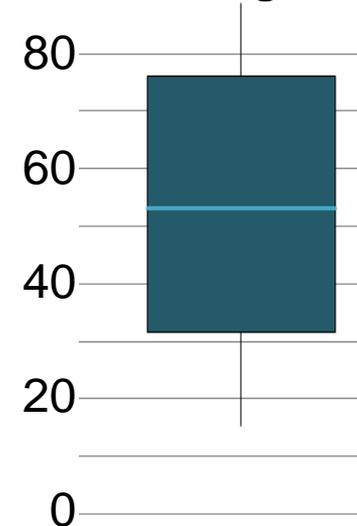
Schneeinterzeption je Ereignis (Tageszeitschritt):

- Rechnerische Schneeinterzeption: „Zuwachs Freiland“ – „Zuwachs unter Wald“
- Nur Auswertung der Akkumulationsphase

Absolute Schneeinterzeption je Ereignis [mm] für ein Stationspaar



Relative Schneeinterzeption je Ereignis für alle Stationspaare und Ereignisse [%]



- ➔ (ereignisspezifische) Schneeinterzeption kann um mehrfaches höher sein als (in LARSIM simulierte) maximale Regeninterzeption von ca. 2 mm
- ➔ Anteil Schneeinterzeption am gesamten gefallenen Nied. ~50%

Schneeinterzeption

Folgerungen:

- In LARSIM implementierter Ansatz zur (Regen-)Interzeption reicht nicht aus, um Wirkung der Schneeinterzeption adäquat abzubilden
- Die Schneeinterzeption beeinflusst Schneedynamik von Waldstandorten maßgeblich
- Eine genauere Differenzierung der Prozesse Sublimation, Abrutschen, Abtropfen etc. ist auf Grundlage der vorliegenden Daten kaum möglich

Weiteres Vorgehen - Empfehlungen:

- Vorschlag eines praktikablen Konzepts auf Grundlage der ausgewerteten Daten und veröffentlichter Modellvorstellungen
- Abstimmung von Ergebnissen, Relevanz und Prioritäten in LARSIM-Entwicklergemeinschaft
- Ggf. Implementierung und Validierung des Konzepts anhand der vorliegenden Daten und weiterer LARSIM-Modelle

Zusammenfassung

Betrachtete Aspekte der Schneemodellierung mit LARSIM

Bestehende Verfahren:

- Analyse / Validierung
- Verbesserung

Zusätzliche Verfahren:

- Relevanz
- Einpassen in LARSIM

Bertle-Verfahren
zur Setzung der
Schneedecke

Energiebilanz
der Schneedecke
unter Wald

Interzeption
und Sublimation
auf Baumkronen

Schnee-Regen
beim Aufbau der
Schneedecke

Analyse
anhand der Rain-on-Snow-Messdaten
der Uni Freiburg (Dr. Pohl)

Konzeption
zur Vereinfachung

Konzeption
zur Verbesserung bzw.
neuen Integration in LARSIM

Konzeption
zur Umsetzung

In **LARSIM** umgesetzt
SNOW-COMPACTION 3

?

In **LARSIM** umgesetzt
SCHNEEREGEN

Zusammenfassung

Option SCHNEEREGEN:

- Wird zur Anwendung empfohlen
- Empfehlungen:
 - Tspann_Sr ~ 4 °C
 - Tmit_Sr um 1°C tiefer als bisheriges TGr
- Die Problematik, dass TGr / Tspann_Sr zeitlich variabel ist, bleibt bestehen

Option SNOW-COMPACTION 3:

- Wird zur Anwendung empfohlen
- Zukünftige Weiterentwicklungen auf Basis von SNOW-COMPACTION 3 (da wesentlich vereinfacht)
- SNOW-COMPACTION 3 Voraussetzung für Nachführung des Schneesustands (Reifegrad, Beginn der Wasserabgabe)

Zusammenfassung

Energiebilanz unter Wald:

- In LARSIM implementierter Ansatz generell geeignet
- Vorschlag: Funktionen über Einzelparameter steuerbar machen
 - Verbesserte Parametrisierung F_{Wind} unter Nadelwald
 - Kompatibilität mit unterschiedlichen LANU.PAR (Entflechtung von Verdunstungsberechnung)
- Abstimmung in LARSIM-Entwicklergemeinschaft und Unter-AG Schnee

Schneeinterzeption:

- LARSIM-Regeninterzeption für Schneeinterzeption nicht ausreichend
- Schneeinterzeption (und Sublimation) maßgeblich für Schneedynamik von Waldstandorten
- Vorschlag eines praktikablen Konzepts
- Abstimmung in LARSIM-Entwicklergemeinschaft und Unter-AG Schnee

Besten Dank an Dr. Stefan Pohl (Universität Freiburg) für die Bereitstellung der Schneemessdaten.

MERCI pour votre attention!

DANKE für ihre Aufmerksamkeit!