

# Methoden zur Abschätzung von Bodenfeuchte und Schnee-Eigenschaften basierend auf passiver Mikrowellen-Fernerkundung



Mike Schwank<sup>1,2</sup>



Reza Naderpour<sup>2</sup>



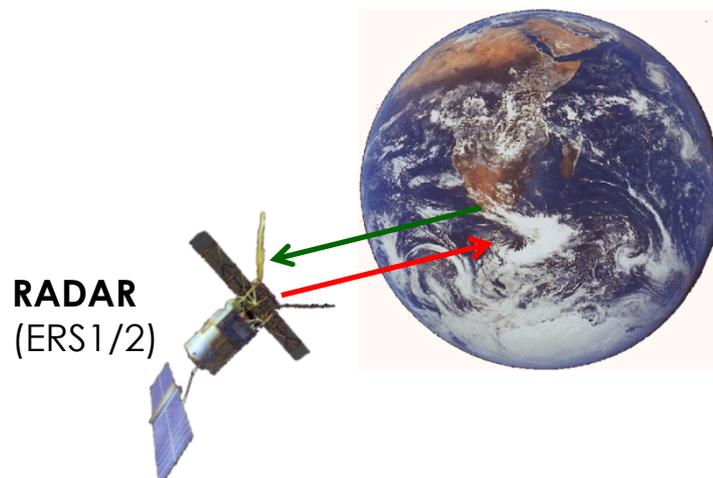
Christian Mätzler<sup>1</sup>



- 1) **Was ist passive Mikrowellen-Fernerkundung (= Mikrowellen-Radiometrie)**  
*Grundlagen: Theoretisch und technisch*
- 2) **SMOS Anwendungen**  
*Bodenfeuchte, Meeres-Salinität, Lake Vostok, Hurrikan-Verfolgung*
- 3) **Aktuelle eigene Forschung zur Fernerkundung von Schnee mittels Mikrowellen-Radiometrie im L-band** (*Entwicklung neuer Retrieval-Methoden*)

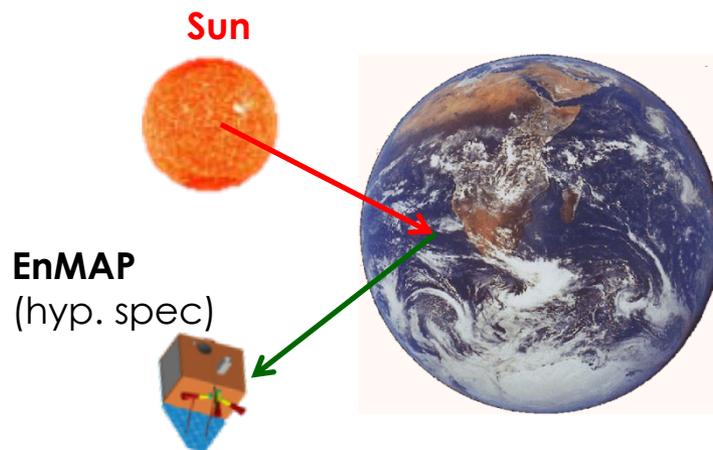
## Aktive Sensoren (RADAR):

- **RADAR** = **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging
- Nutzung **eigener Energie-Quelle**
- Messung des **reflektierten Signals** (Energie / Phase / Polarisierung)
- Mikrowellen-Bereich ( $\lambda = 1 \text{ cm} - 1 \text{ m}$ )
- Durchdringt Wolken
- Info. von unterhalb der Oberfläche (Volumen-Information)
- Kurze Wiederholungszeiten (hohe zeitliche Auflösung)
- 5 – 250 m räumliche Auflösung



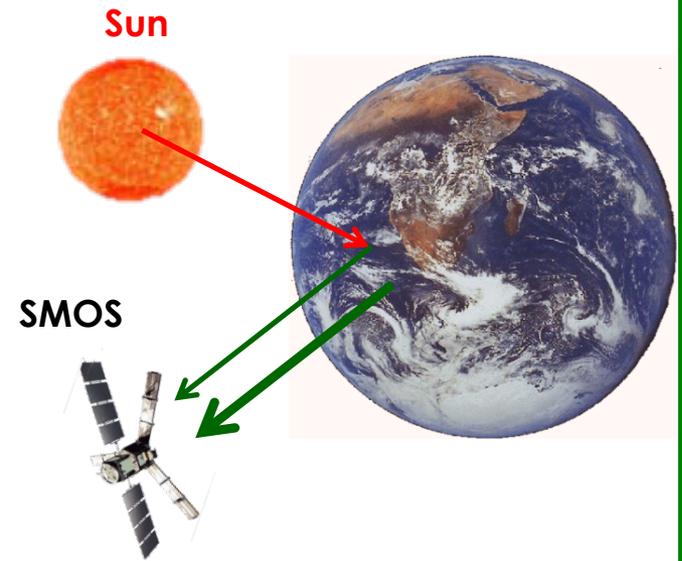
## Passive Sensor (optisch / spektral):

- Nutzung **reflektierter Sonnen-Strahlung**
- Wellenlängen-Bereich ( $\lambda = 100 \text{ nm} - 10 \text{ }\mu\text{m}$ , sichtbar, NIR)
- Messungen beeinflusst durch: Atmosphäre, Wolken, Regen,...
- Lange Wiederholungszeit (geringe zeitliche Auflösung)
- 0.3 – 5 m räumliche Auflösung



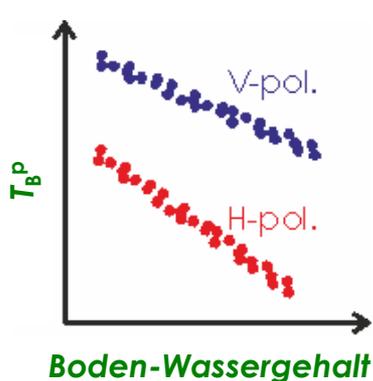
## Passive Sensor (Mikrowellen-Radiometrie):

- Messung der thermischen Emission  
= Eigenstrahlung der beobachteten Szene  
= Strahlungs-Temperatur  $T_B^p(\theta)$
- Durchdringt Wolken  
Info. von unterhalb der Oberfläche  
(Volumen-Information)
- Kurze Wiederholungszeiten  
(hohe zeitliche Auflösung)
- 1 km – 250 km räumliche Auflösung



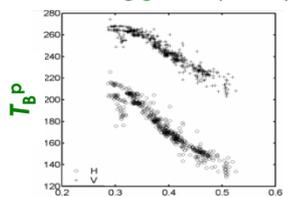
## Mikrowellen-Radiometrie ist eine indirekte Messmethode:

- ⇒ Nutzung von Zusammenhängen zwischen Strahlungs-Temperatur  $T_B^p(\theta)$  und Parameter die quantifiziert werden sollen.  
(z.B. Boden-Feuchte, Vegetations-Wassergehalt, Schnee-Dichte & -Feuchte,...)



## Lange Geschichte der Mikrowellen-Radiometrie Forschung

Shutko, A. M. (1982)  
Schmugge, T. (1988)



Kerr, Y. (2001, 2009)



Soil Moisture and Ocean Salinity Mission (SMOS)

Mätzler, Ch. (1987 - 2017)  
Schwank, M. (2004 - 2017...)



## Was ist ein Mikrowellen-Radiometer?

- Misst thermische Emission = Strahlungs-Temperatur  $T_B^p$  ( $p = H, V$ )
- Ursache von  $T_B^p$  ist die thermische Bewegung von Ladungsträgern
- Ein äusserst empfindlicher Mikrowellen-Empfänger (schmal-bandig)  
 !!  $P = k T B \approx 1 \cdot 10^{-13} \text{ W}$  !!      ( $T = 300 \text{ K}, k = 1.380658 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  (Boltzmann Konst.))

**Beispiel:** Mikrowellen-Radiometer: L-band ( $f = 1.4 \text{ GHz}, \lambda = 21 \text{ cm}, B = 27 \text{ MHz}$ )

Soil **M**oisture & **O**cean **S**alinity Mission  
 operationell seit November 2009

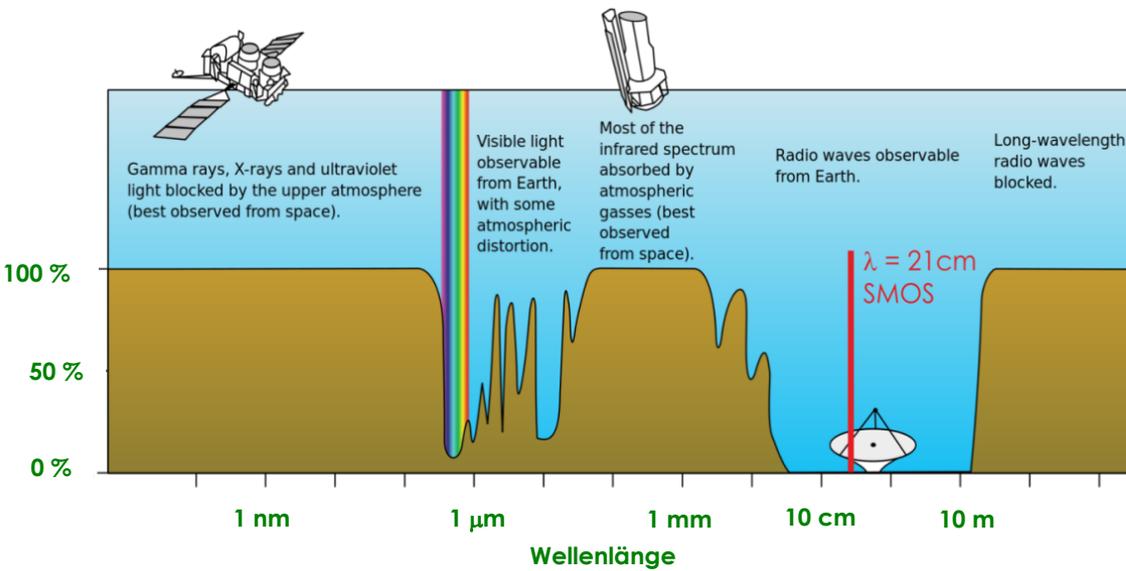
Forschung, Methoden-Entwicklung,  
 Kalibrierung / Validierung



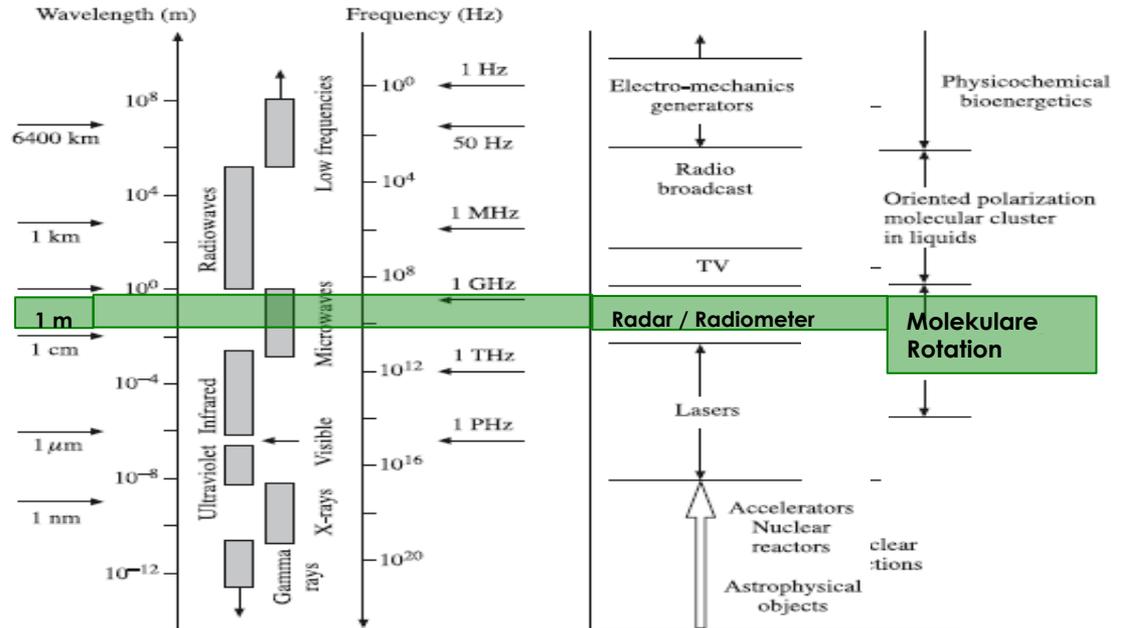
Angewandte Forschung  
 Operationelle Anwendungen

## Mikrowellen-Bereich (1400-1427MHz) ist für Beobachtung der Erdoberfläche geeignet:

- Transparente Atmosphäre
- Grosse Emissionstiefe
- Sensitiv bez. flüssigem Wasser
- Geschützter Frequenzbereich



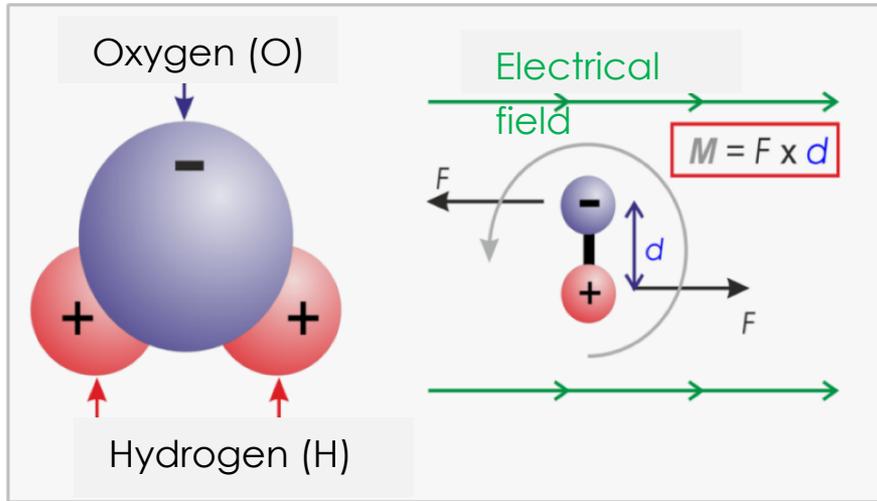
## Starke Wechselwirkung von Mikrowellen mit H<sub>2</sub>O



# Starke Wechselwirkung von Mikrowellen mit dem H<sub>2</sub>O-Molekül:

H<sub>2</sub>O ist gewinkelt

=> polar (Zentrum von neg. & pos. Ladung ist unterschiedlich); ladungs-neutral



Wenn Wasser gefriert, wird es fast unsichtbar für Mikrowellen!

**Dielektrizitäts-Konstante  $\epsilon = \epsilon' + i \cdot \epsilon''$**   
bestimmt die Ausbreitung der EM Welle im Medium:

**Grosser Real-Teil  $\epsilon'$ :**

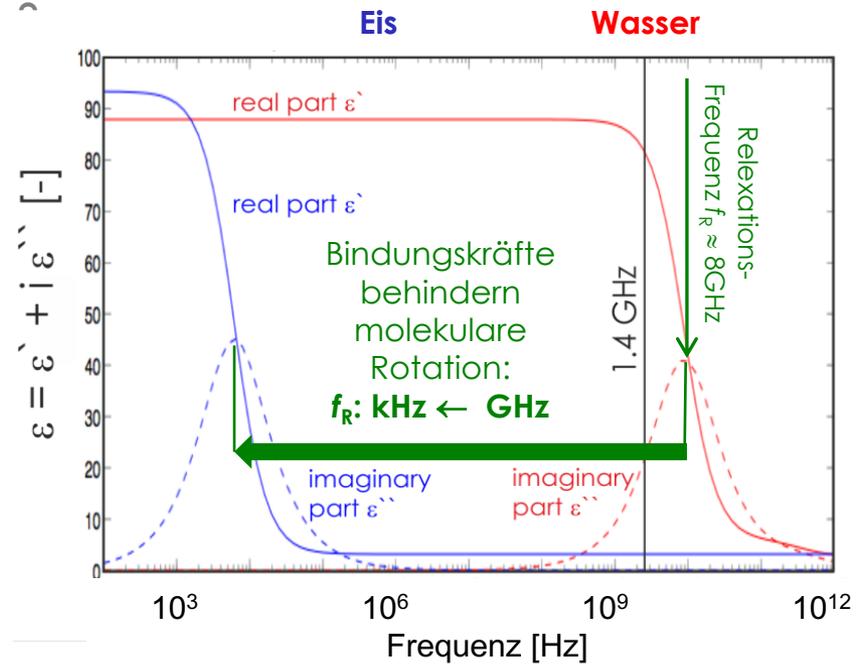
=> Kleine Ausbreitungs-Geschwindigkeit

=> Grosser Brechungs-Effekt

**Grosser Imaginär-Teil  $\epsilon''$ :**

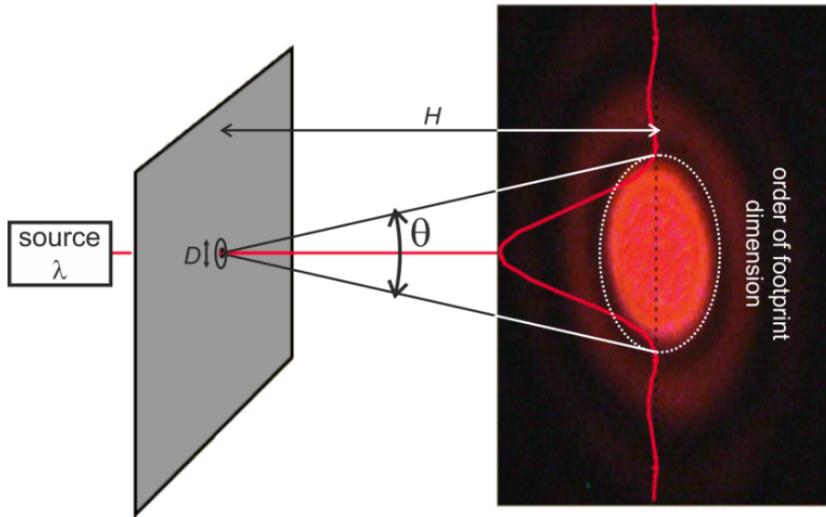
=> Grosse Dämpfung (grosse Emission)

molecular rotation



## Beugung an der Antennen-Appertur:

Beugung an einer runden Öffnung:



**Für SMOS:**

$h = 760 \text{ km};$

$\Delta = 50 \text{ km}$

$$\Rightarrow \theta = \arctan \frac{50 \text{ km}}{760 \text{ km}} \approx 4^\circ$$

$$\Rightarrow D = 1.22 \cdot \frac{0.21 \text{ m}}{\theta} \approx 4 \text{ m}$$

Langwellige Mikrowellen-Messungen bedingen grosse Antennen

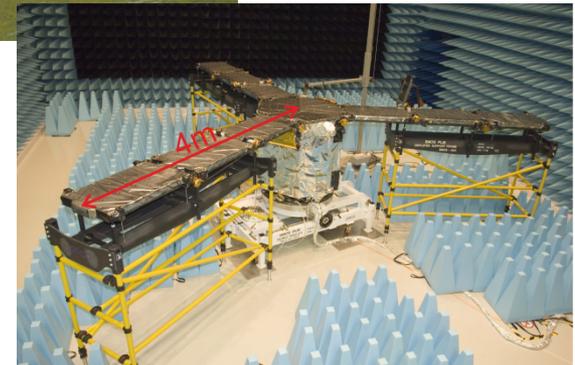
$$\theta \cong 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

Je grösser die Wellenlänge, desto grössere die Antennen-Appertur

## Synthetische Apertur-Antenne:



Konzept der Radio-Astronomie



**$T_B \rightarrow WC$**   
**(vereinfachte Annahmen)**

- Ein freier Parameter
- Keine Vegetation
- Spiegelnder Boden
- Senkrechte Beob.

---

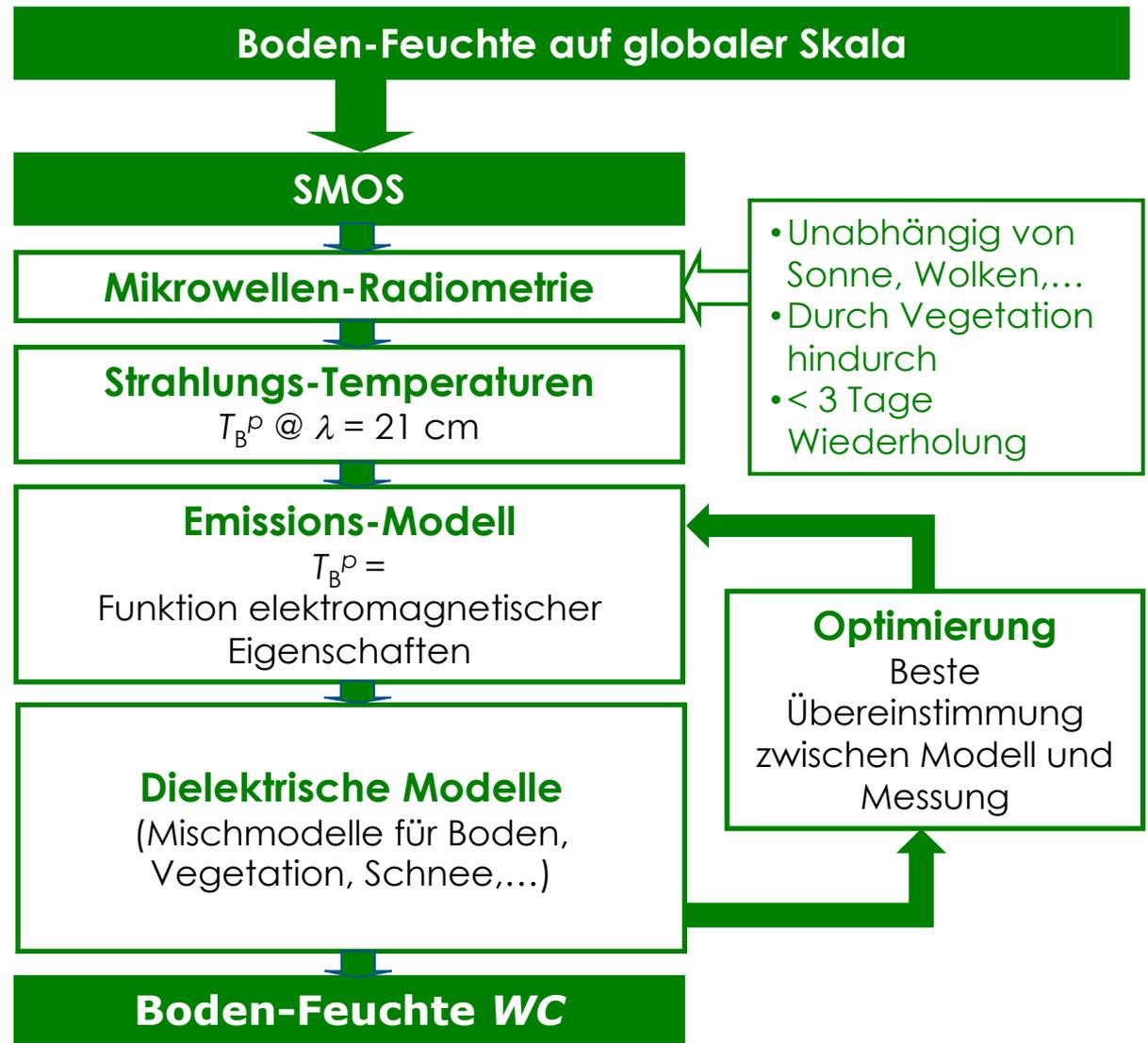
**Messung:**  
 Brightness Temp.  $T_B$

---

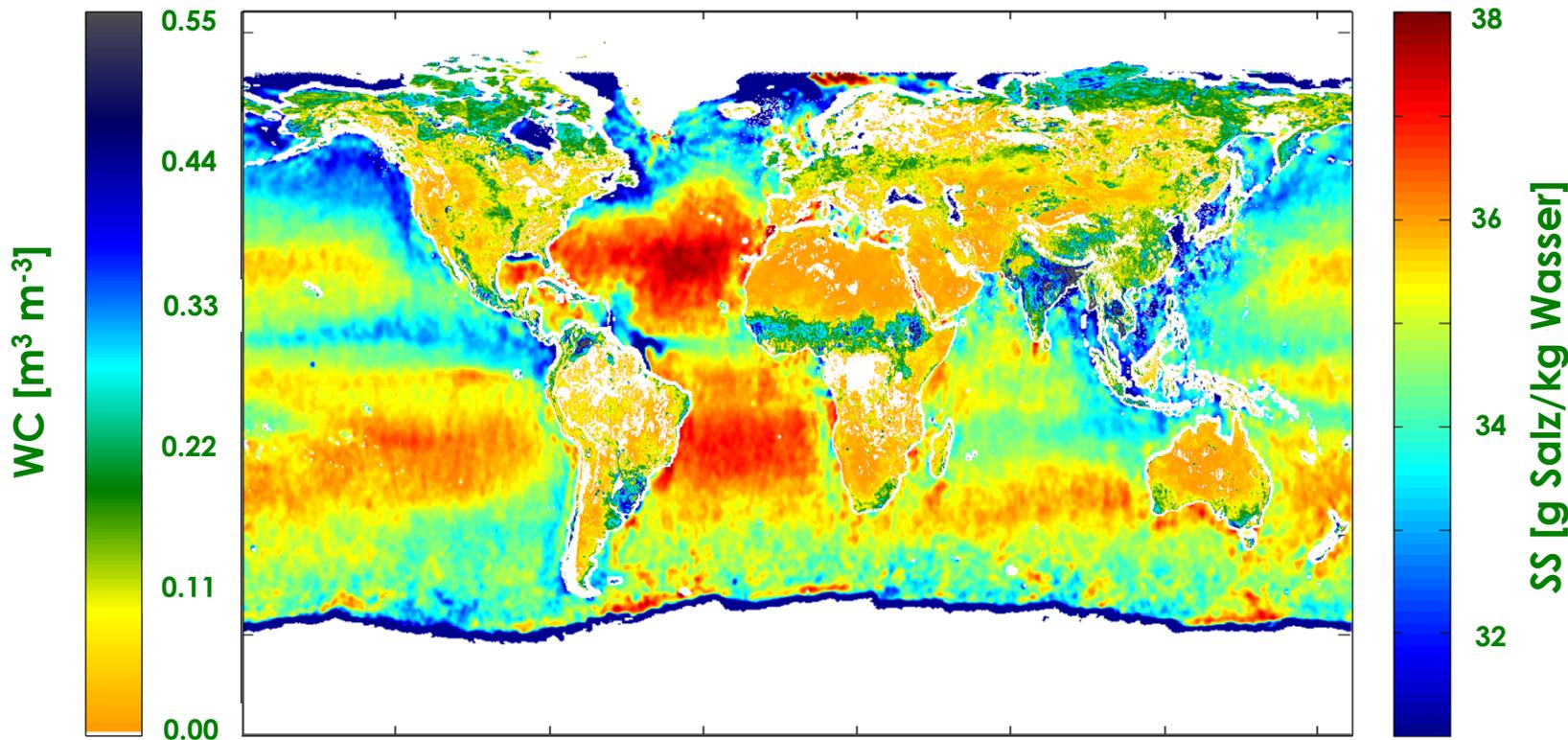

$$T_B = T \cdot (1-r) + T_{sky} \cdot r$$

$$r = \left| \frac{1 - \sqrt{\epsilon}}{1 + \sqrt{\epsilon}} \right|^2$$


---

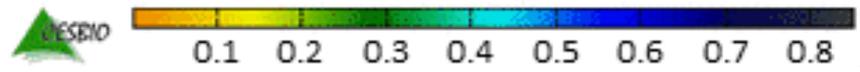
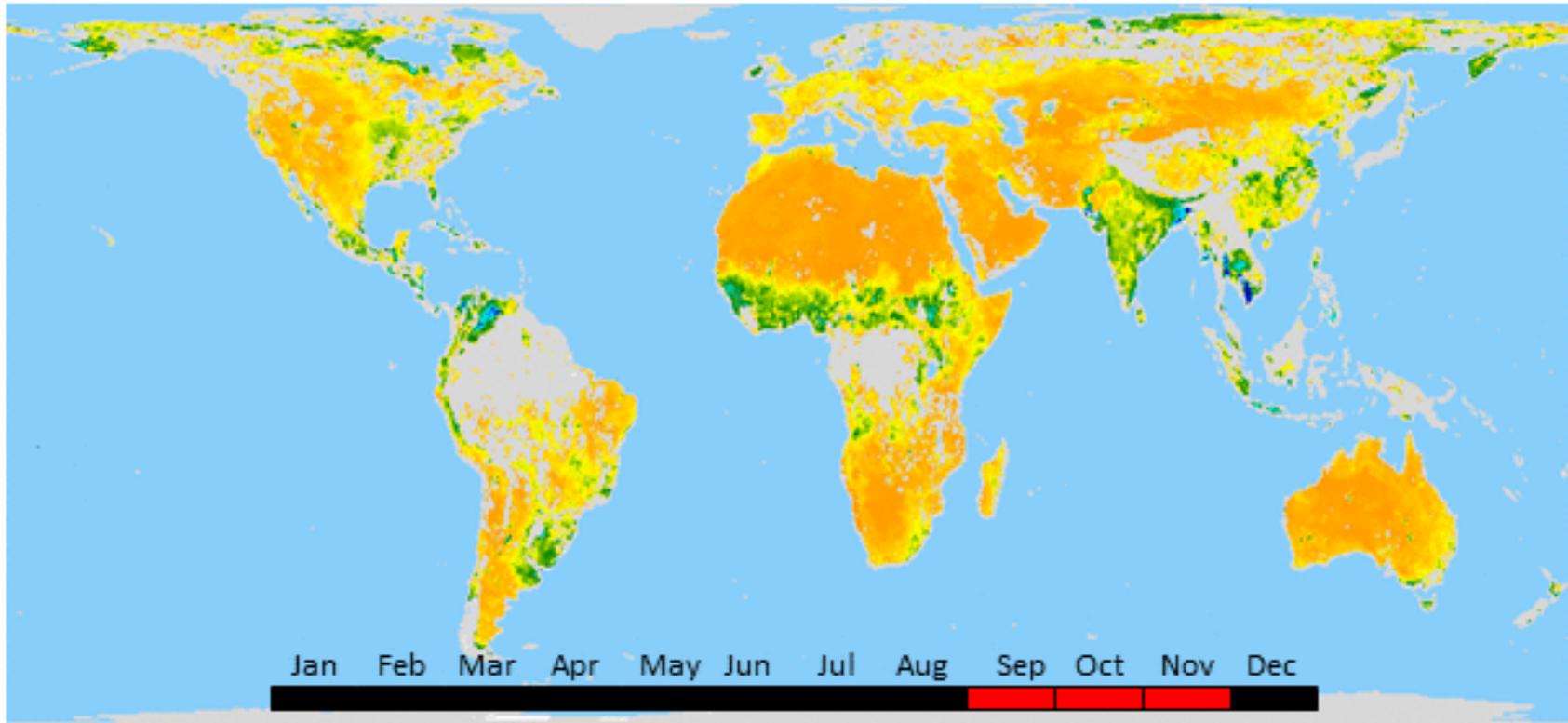

$$\epsilon = 3.03 + 9.3 WC + 146.0 WC^2 - 76.7 WC^3$$


August 2011



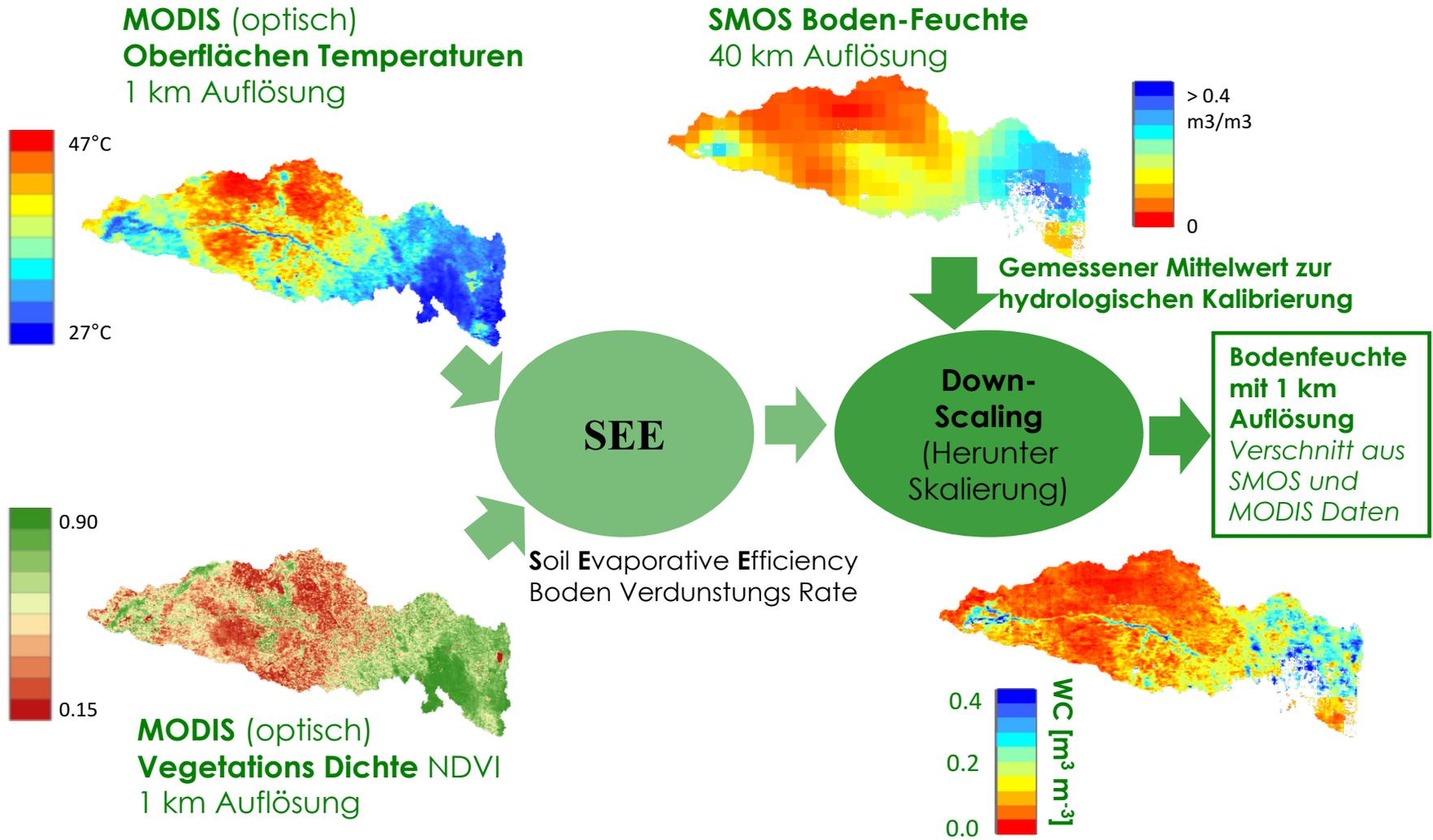
Räumliche Auflösung  $\approx 40$  km  
 Zeitliche Wiederholzeit  $< 3$  Tage

2011



WC [m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>]

# DISPATCH Algorithmus (O. Merlin)



# Einzig mittels L-Band Radiometrie ist es möglich Information von mehreren 100 Metern unterhalb des Eises zu gewinnen!

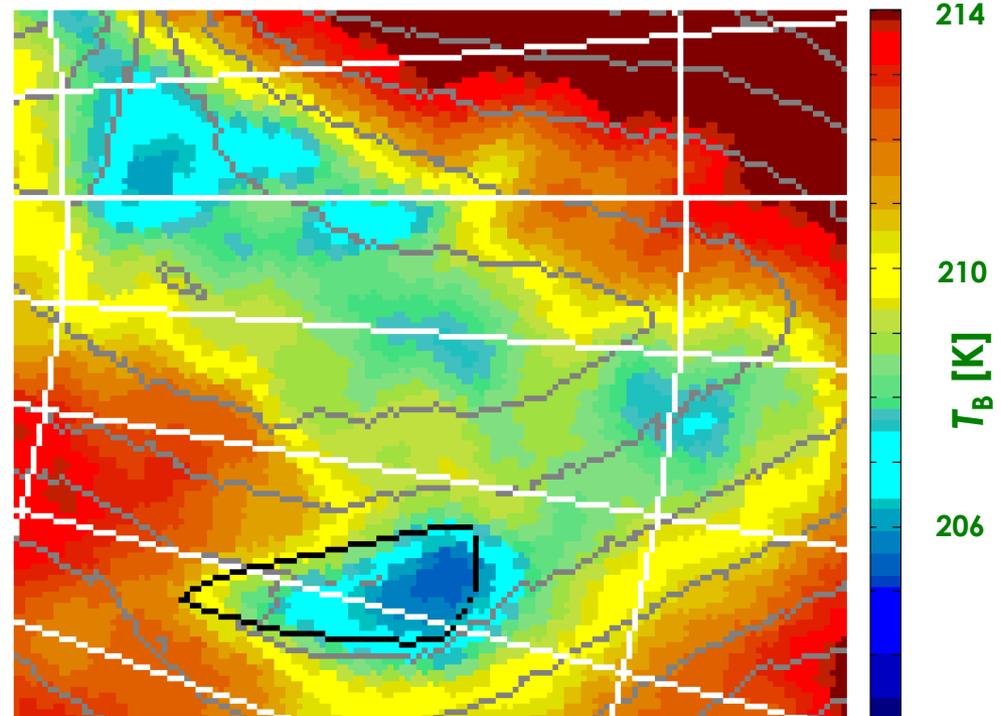
Streu- und Absorptions-Effekte bei höheren Frequenzen verunmöglichen dies.



## Lake Vostok

Länge: 250 km  
Breite: 40–50 km  
Tiefe unter Eis: 3700–4100 m

## Tiefere Strahlungs-Temperatur $T_B$ über Lake Vostok



Flüssig-Wasser bei  $-3^\circ\text{C}$  aufgrund  
Geo-Thermischer Wärme und hohem Druck



# Einzig mittels L-Band Radiometrie ist es möglich in das Auge extrem starker Stürme zu “schauen”!

Streu- und Absorptions-Effekte bei höheren Frequenzen verunmöglichen dies.

 Das Bild kann derzeit nicht angezeigt werden.

Hohe zeitliche Auflösung von SMOS (< 3 Tage)



Verfolgung der Position & Intensität

# Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule in Schneedecken basierend auf L-band Radiometrie:

*"Hinweise auf ein mögliches neues SMOS Daten-Produkt"*

## Zwingende Voraussetzungen um Information über die gesamte Tiefe (Säule) einer Schneedecke zu erhalten:

- Teil-Durchsichtigkeit der Schneedecke  
*"messbarer Beitrag des Untergrundes zur gesamten Strahlungs-Temperatur  $T_B$ "*
- Sensitivität von  $T_B$  bezüglich des Parameters der geschätzt werden soll  
*"muss grösser als die Mess- resp. Modell-Unsicherheit sein."*

## L-band $T_B$ 's erfüllen diese Bedingungen:

⇒ Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule  $WC_s$  einer Schneedecke sollte möglich sein

- Feuchter Schnee mit Wassergehalt  $W_s = 1\% \Rightarrow$  L-band Emissionstiefe  $\approx 2$  m
- L-band  $T_B$ 's sind sensitiv bezüglich Flüssig-Wasser.  
Via: i) Schnee-Emission, ii) Brechungs-Effekt, iii) Impedanz-Anpassung

## Nutzungspotential der Fernerkundung von Flüssig-Wasser in Schnee:

- Bestimmung des Zeitpunktes der Schneeschmelze  
Unterscheidung zw. trockenem und feuchtem Schnee
- Quantifizierung der Flüssig-Wasser-Säule von Schneedecken  
Schnee-Hydrologie, Wasser-Ressourcen und Management, Umwelt-Risiken, Parameter in Modellierungen

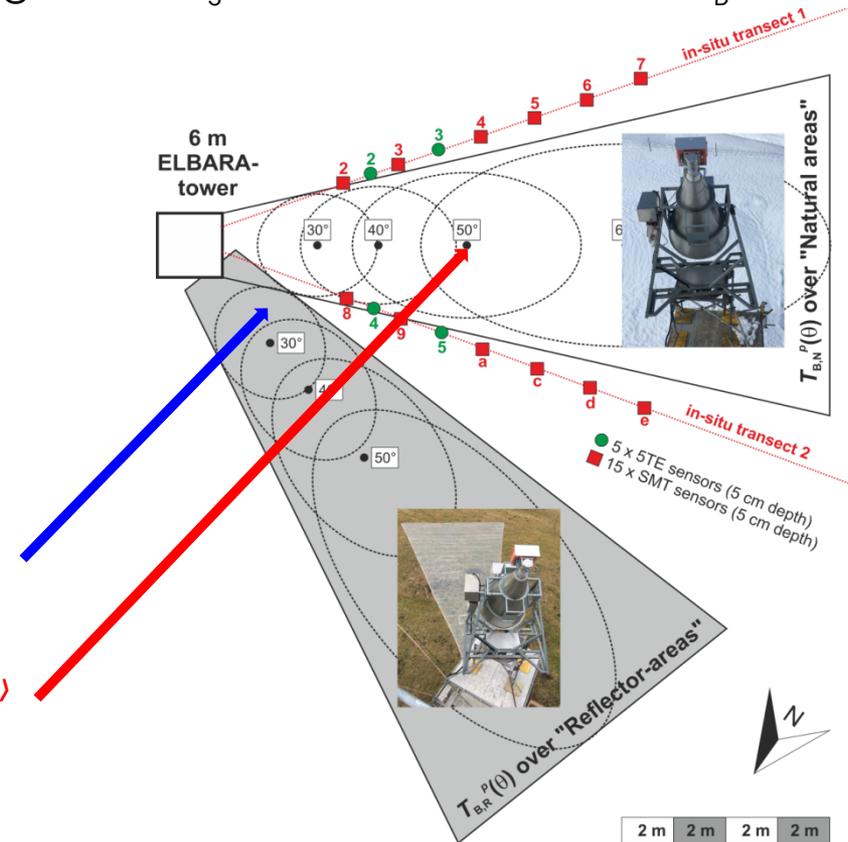
# Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule in Schneedecken basierend auf L-band Radiometrie:

"Hinweise auf ein mögliches neues SMOS Daten-Produkt"

## Experiment in Davos-Laret mit u.A. folgendem Ziel:

- Messung von Sensitivitäten von L-band  $T_B$ 's bez. Schnee-Eigenschaften
- Entwicklung einer Methode zur Schätzung von  $WC_S$  basierend auf L-band  $T_B$ 's
- Validierung der «retrievten»  $WC_S$

- 4 monatige Messzeit  
26. Nov. 2016 – 23 März 2017
- Gleichzeitige in-situ und Wetter-Daten
- $T_B$ -Messungen bei Polarisation H & V, unterschiedlichen Winkeln und über «Flächen mit Reflektor unter Schnee» und «natürlichen schneebedeckten Flächen»

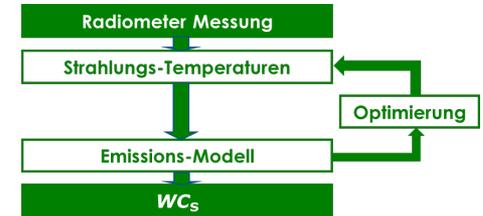


# Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule in Schneedecken basierend auf L-band Radiometrie:

”Hinweise auf ein mögliches neues SMOS Daten-Produkt”

## Emission-Modell das in der Methode zur Schätzung (retrieval) von $WC_S$ verwendet wird:

- L-band spezifische Version des «Microwave Emission Model for Layered Snowpack» (MEMLS)



## Schnee Flüssig-Wasser-Säule $WC_S$ basierend auf Messungen $T_{B,R}$ über den «Flächen mit dem Reflektor unter dem Schnee»:

- Wegen der grossen Sensitivität von  $T_{B,R}$  funktionieren diese Schätzung sehr gut und dienen als «Referenz».



## Schnee Flüssig-Wasser-Säule $WC_S$ basierend auf Messungen $T_{B,N}$ über den «Natürlichen schneebedeckten Flächen»:

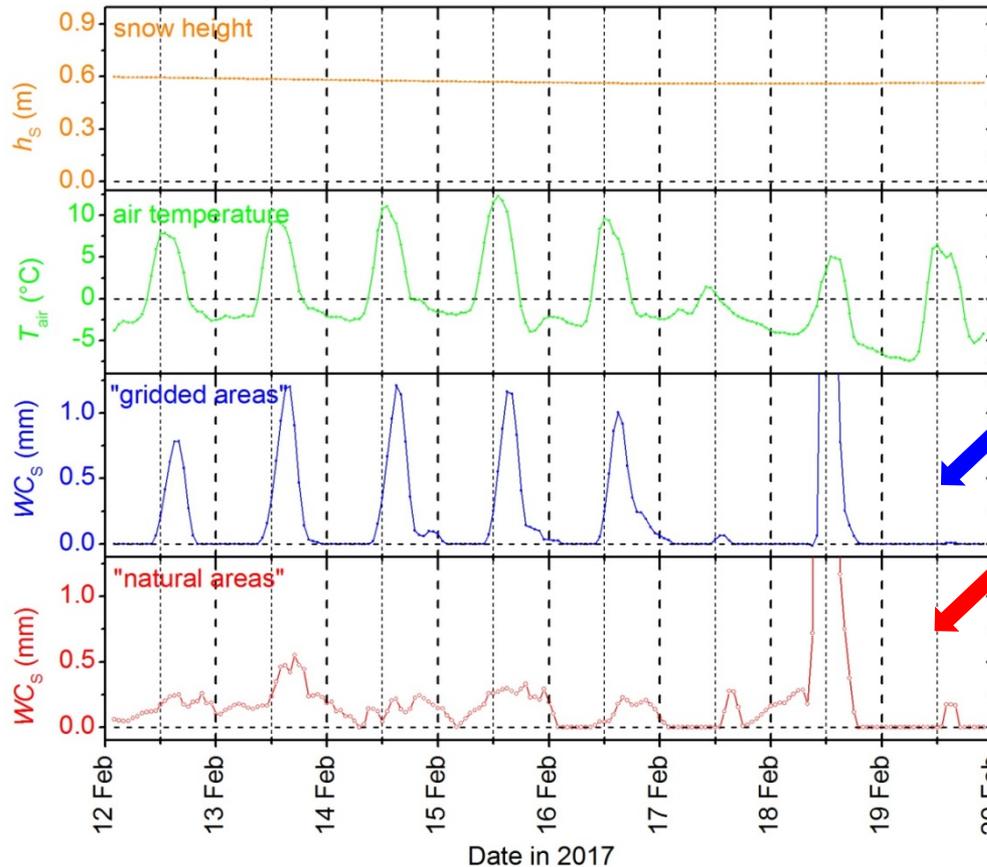
- $WC_S$  wird gleichzeitig mit Schnee-Dichte  $\rho_S$  und Boden-Permittivität  $\epsilon_G$  geschätzt resp. «retrieved».
- Interferierende Effekte von  $\rho_S$  und  $\epsilon_G$  auf modellierte  $T_{B,N}$  ⇒ Schätzungen von  $WC_S$  ist herausfordernd
- Wenn jedoch erfolgreich: ⇒ Neuartiges Fernerkundungs Datenprodukt!



# Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule in Schneedecken basierend auf L-band Radiometrie:

"Hinweise auf ein mögliches neues SMOS Daten-Produkt"

... erste erfreuliche Resultate:



- Nachmittags deutlich erhöhte Schnee-Feuchte  $WC_S$ , ausschliesslich wenn Luft-Temperatur über  $0^\circ\text{C}$  steigt.
- Zeitlicher Verlauf von  $WC_S$  ist zumindest plausibel.

- Zeitlich gut korreliert mit Referenz-Schätzungen  $WC_S$
- Für  $T_{\text{air}} \ll 0^\circ\text{C} \Rightarrow WC_S \cong 0 \text{ mm} \Rightarrow$  "Retrievals" sind kein Temperatur-Artifakt.
- Vielversprechender Hinweis, dass Schnee Flüssig-Wasser-Säule mittels L-Band Radiometrie quantifiziert werden kann.

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit und Geduld

“ELBARA-Null” im  
künstlichen Einzugs-Gebiet  
“Hühner-Wasser”  
(Cottbus, Deutschland)

*Mike Schwank*

# Schätzung der Flüssig-Wasser-Säule in Schneedecken basierend auf L-band Radiometrie:

*"Hinweise auf ein mögliches neues SMOS Daten-Produkt"*

