

**Dr. Andreas Will**BTU Cottbus-Senftenberg  
FG Atmosphärische Prozesse**Physik der Verdunstung  
über Wasser- und Landoberflächen  
sowie Ergebnisse  
hochauflösender Klimamodellierung  
für die Region Lausitz**

## Überblick

1. Modellierung der Verdunstung
2. Lausitzmodell und Simulationen
3. Modellergebnisse
4. Verständnis der Ergebnisse
5. Zusammenfassung und Ausblick

# 1. Modellierung der Verdunstung

Im COSMO-CLM



## 1.1 Hydrologische Prozesse im Bodenmodell TERRA

b-tu

Brandenburgische  
Technische Universität  
Cottbus

Wasserbilanz in 10 Schichten bis 20m Tiefe ist geschlossen

### Oberflächenverdunstung:

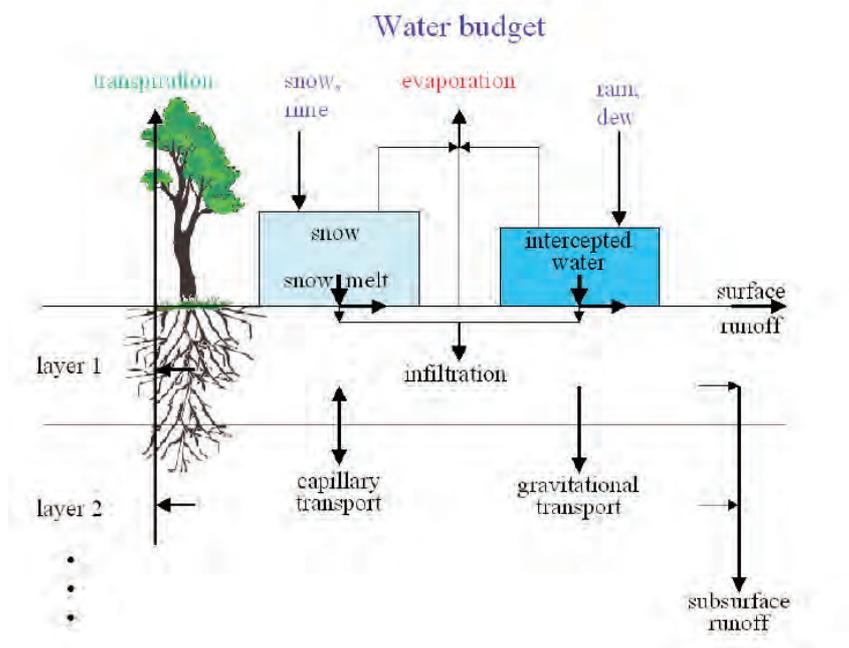
- Transpiration aus durchwurzelter Schichten ( $T_i$ )
- Verdunstung aus Schnee ( $E_s$ ), Oberflächenwasser ( $E_i$ ) und Boden ( $E_b$ )

**Niederschlag:** Schnee, Regen, Graupel, Tau, Reif)

**Infiltration** an der Oberfläche

### Bodenwasser:

- Oberflächenwasser und -schnee
- Abfluß ( $R_i$ ) aus Schicht  $i$
- Vertikale Flüsse ( $F_{i,j}$ ) aus Schicht  $i$  in Schicht  $j$ 
  - Gravitationsfluß
  - Kapillarttransport



Wissenschaftliche Dokumentation: [www.cosmo-model.org](http://www.cosmo-model.org)

## Potentielle Verdunstung

$$(F_{q^v}^3)_{sfc} = -\rho C_q^d |\mathbf{v}_h| (q^v - q_{sfc}^v), \quad (4.3)$$

$\rho$  Luftdichte

$|\mathbf{v}_h| \equiv (u^2 + v^2)^{1/2}$  Windgeschwindigkeit in der bodennahen Schicht

$C_q^d$  aerodynamischer Koeffizient

$q^v$  spezifische Feuchte in der bodennahen Schicht

$q_{sfc}^v$  spezifische Feuchte an der Erdoberfläche

Formeln von Haude (1954), Hamon (1961), Penman (1956) und weitere sind vereinfachungen dieser Formel, da die für die Berechnung notwendigen Größen im Allgemeinen nicht zur Verfügung stehen.

$$E_b = (1 - f_i) \cdot (1 - f_{snow}) \cdot (1 - f_{plnt}) \cdot \text{Min}[-E_{pot}(T_{sfc}); F_m] \quad (11.15)$$

Minimum aus potentielle Verdunstung

$$(F_{q^v}^3)_{sfc} = -\rho C_q^d |\mathbf{v}_h| (q^v - q_{sfc}^v), \quad (4.3)$$

und Bodenverdunstung nach Dickinson (1984)

$$F_m = \rho_w C_k D \frac{s_t}{(z_u z_t)^{1/2}}, \quad (11.17)$$

$C_k$  and  $D$  Parameter der Kapillarkräfte

$$s_{u,t} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{u,t}} W_k}{w_{PV} \sum_{k=1}^{n_{u,t}} \Delta z_k}, \quad (11.16)$$

$W_k$  Bodenwassergehalt der Schicht k

$z_t = 0.81$  m Dicke der Schicht t

$$Tr = f_{plnt} \cdot (1 - f_i) \cdot (1 - f_{snow}) \cdot E_{pot}(T_{sfc}) r_a (r_a + r_f)^{-1} \quad (11.23)$$

Die Transpiration wird ähnlich wie die Bodenverdunstung berechnet. Statt Boden-, werden Vegetationsparameter verwendet. Die Transpiration ist im Wesentlichen abhängig von der **Oberfläche der Blätter** und der **Art der Vegetation (Widerstand der Pflanze gegen Verdunstung)**.

## 2. Lausitz-Modell und Simulationen



## 2. Lausitz-Modell und Simulationen Simulationsgebiet und Regionen

**Modell COSMO-CLM-BTU1.6:**

**Dynamik und Numerik**

Nicht-dissipative Numerik, Ogaja&Will, 2016

**Physik:**

Anpassung der Turbulenzphysik, Will et al, 2023

**Simulationsgebiet:**

301x401x80 Gitterpunkte

0.01°, zmax=22 km

**Regionen:**

Deutschland, Brandenburg, Sachsen

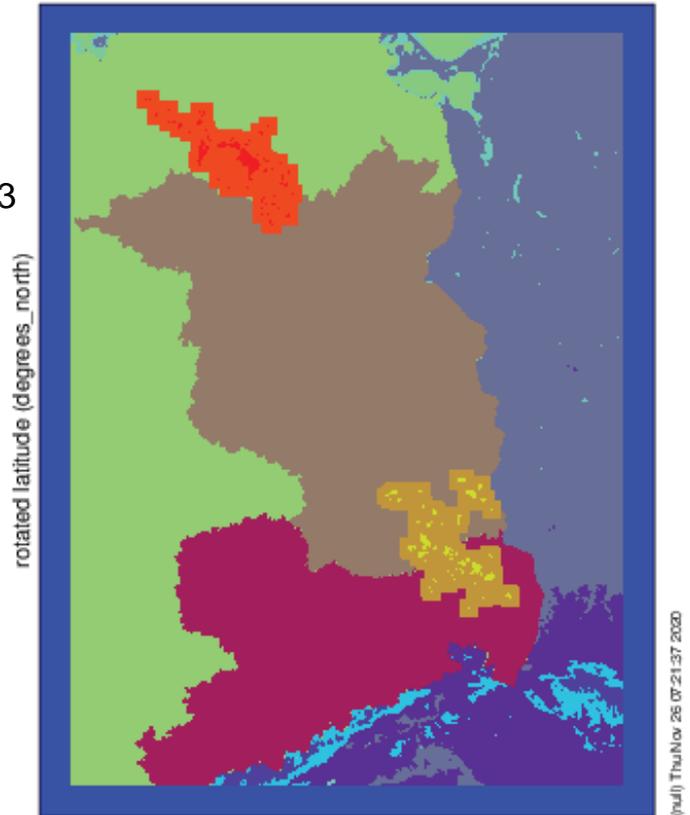
DTL, BRB, SAX

**Müritz (All, Land, Wasser)**

MUG, MUL, MUW

**Lausitz (All, Land, Wasser)**

LAG, LAL, LAW



RV

2. Lausitz-Modell

rotated longitude (degrees\_east)

5/23.



## 2. Lausitz-Modell und Simulationen Modellregion Lausitz

**Model: COSMO-CLM\_5\_BTU-1.6**

**Modellgitter:**

301x401x80 Grid points 0.01°,

zmax=22 km

**Regionen:**

**Lausitz (all, land water)**

LAG, LAL, LAW

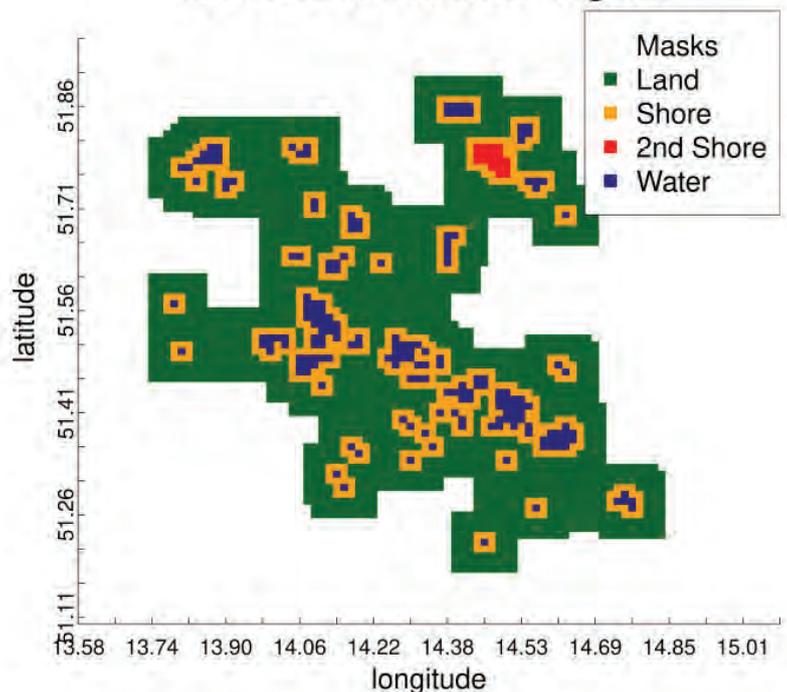
**Ostsee (all, land water)**

LOG, LOL, LOW

**LAGS, LOGS ... :**

Regionen verschoben um 30 km

### LAU Grid Lausitz region



RV

2. Lausitz-Modell

5/23.

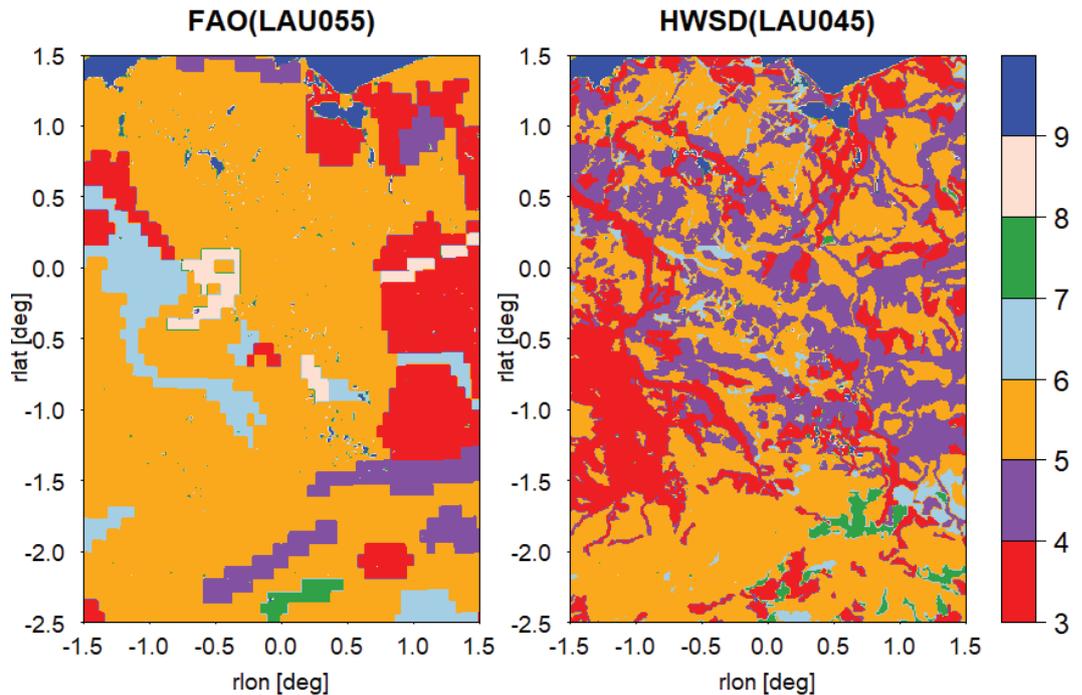
CDE012

FAO Boden

LAU065

HWSD Boden

FAO Boden ist viel großflächiger und Lehm (5) ist häufiger anzutreffen.



3: Sand

6: Lehmiger Ton

4: Sandiger Lehm

7: Ton 8: Torf

5: Lehm

9: Wasser

Model chain: ERAINT-> TEUXXX(0.44)->CEUXXX(0.065)->CDEXXX(0.025)->LAUXXX

EXPID	DynNum	Zeit	Seeoberfläche	Boden und Vegetation
<b>Konfiguration 1: dlon=0.025, ke=50, Referenzkonfiguration des DWD</b>				
CDE011	C5p2d0.1	2000-2014	Referenz	FAO, GLOBC00
CDE012	S4p4d0.0	2000-2014	Referenz	FAO, GLOBC00

**Konfiguration 2: dlon=0.01, ke=60, CDE012 IBC, Referenzkonfiguration des DWD**

LAU001	C5p2d0.1	2006	Referenz	FAO, GLOBC00
LAU002	C5p2d0.1	2006	Referenz	FAO, ECOCLIMAP

**Konfiguration 3, dynamik, numerik und Turbulenzphysik optimiert**

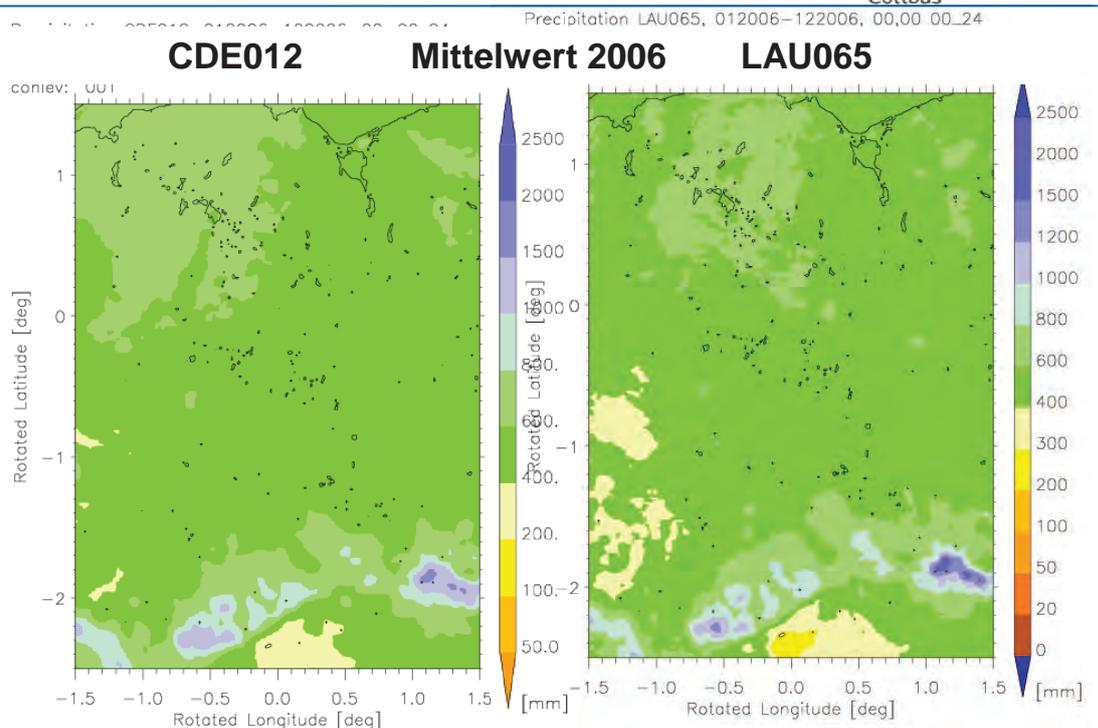
LAU064	S4p4d0.0	2006	LAU-FL1900	HWSD, GLOBC00
LAU065	S4p4d0.0	2006	LAU-FL1900-FL2050	HWSD, GLOBC00
LAU075	S4p4d0.0	2006	LAU-FL1900-FL2050	FAO, GLOBC00
LAU085	C5p2d0.1	2006	LAU-FL1900-FL2050	HWSD, GLOBC00
LAU164	S4p4d0.0	2010	LAU-FL1900	HWSD, GLOBC00
LAU165	S4p4d0.0	2010	LAU-FL1900-FL2050	HWSD, GLOBC00
LAU175	S4p4d0.0	2010	LAU-FL1900-FL2050	FAO, GLOBC00

# 3. Modellergebnisse



## 3.1. Niederschlag in Nord-Ost Deutschland

- CDE012
- FAO soil types
- LAU065
- HWSD soil types

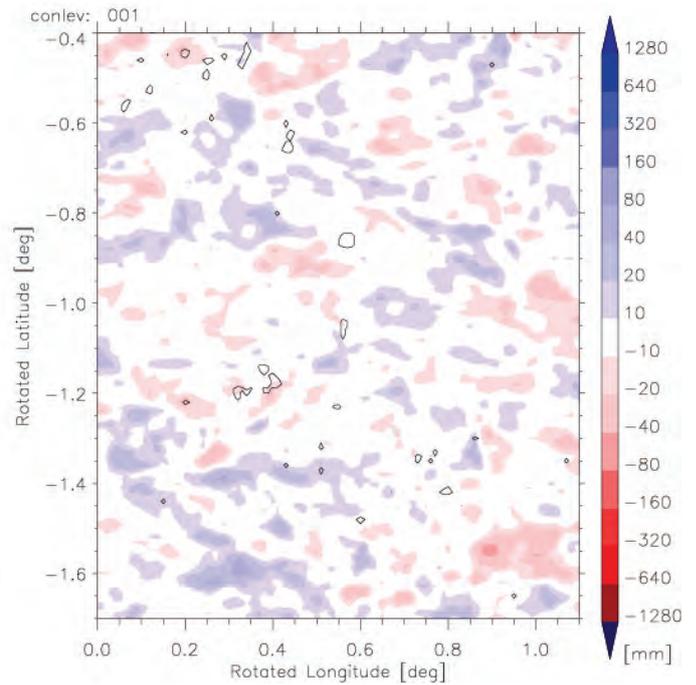
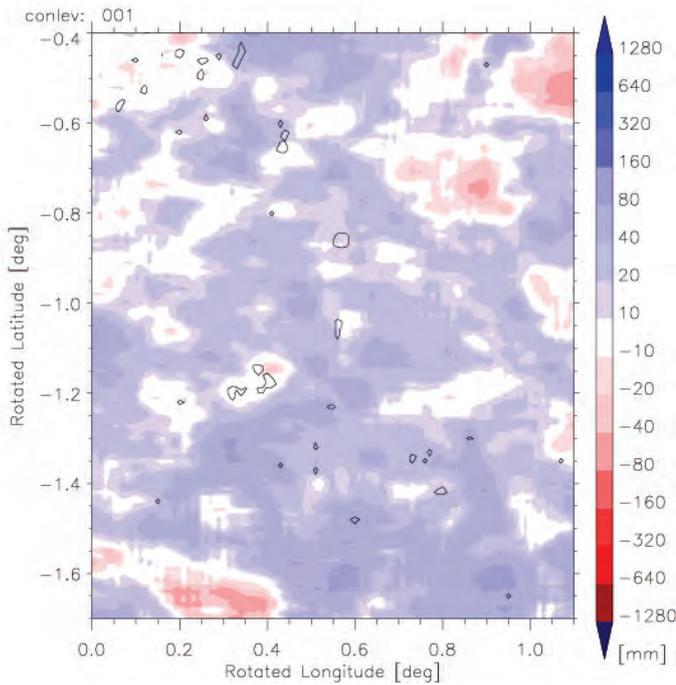


Niederschlag ist sehr ähnlich im Referenz und Lausitzmodell

LAU065-CDE012

Mittelwert 2006

LAU065-LAU064



Optimiertes Lausitzmodell hat einen leicht höheren Niederschlag

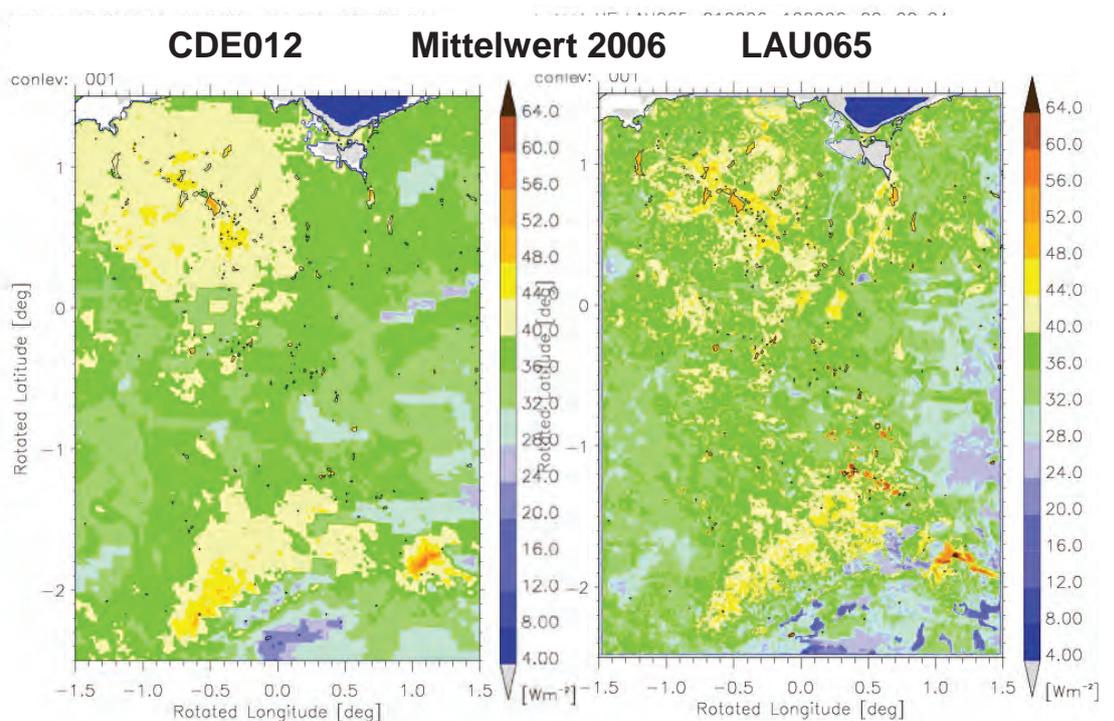
Seen in der Lausitz haben keinen Einfluss auf Niederschlag

CDE012

FAO Boden

LAU065

HWSD Boden

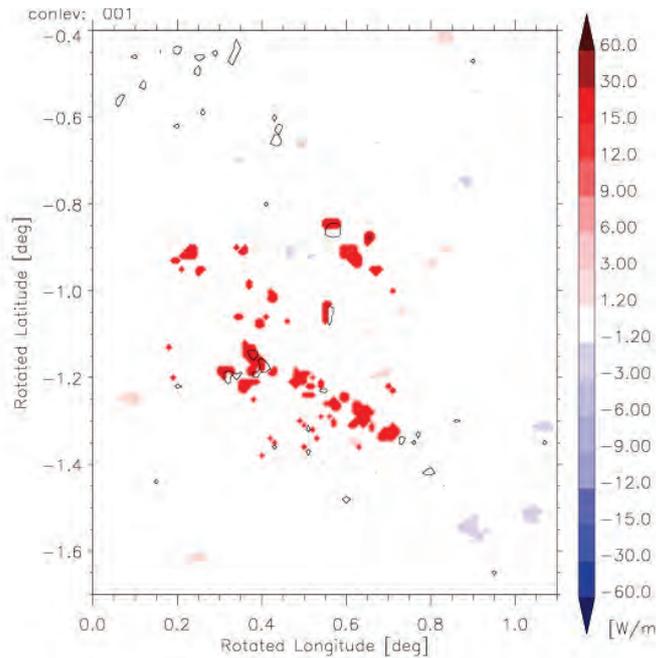
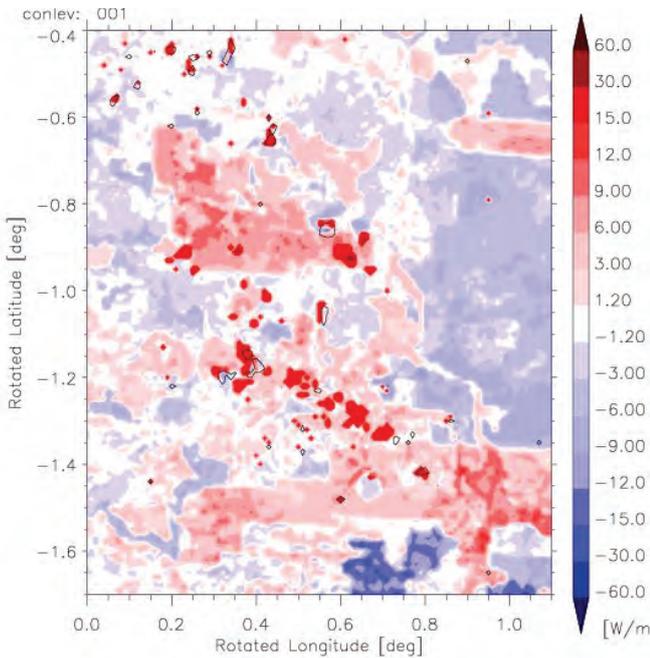


Größenumrechnung bei einer Wasserfläche von 250 qkm:  
10 W/m<sup>2</sup> entspricht einem Wasser(ab)fluß von 1m<sup>3</sup>/s

LAU065-CDE012

Mittelwert 2006

LAU065-LAU064



Optimiertes Lausitzmodell hat ähnliche Verdunstung über Land

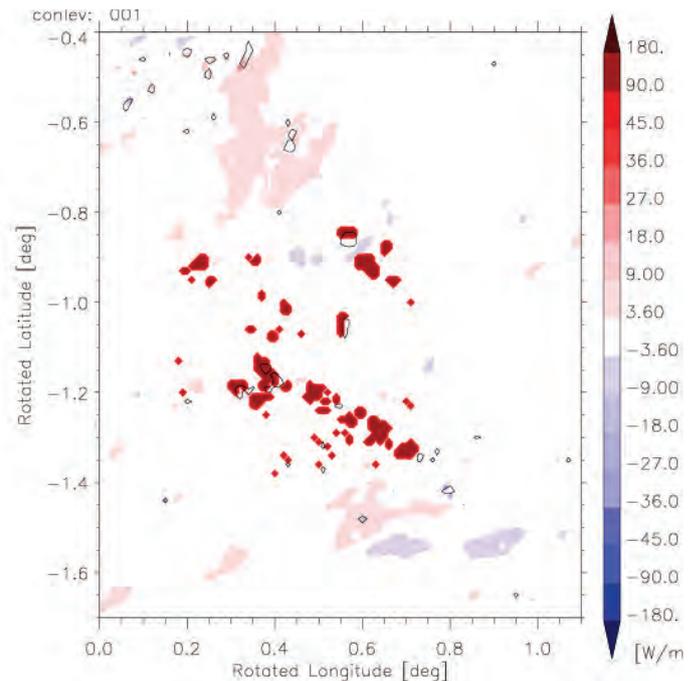
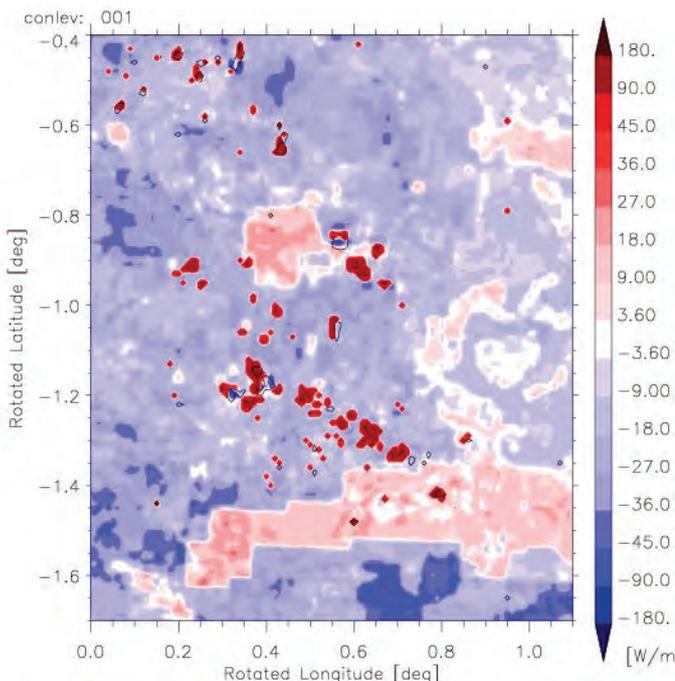
Seen erhöhen die Verdunstung deutlich

DIFF: Lat. F

LAU065-CDE012

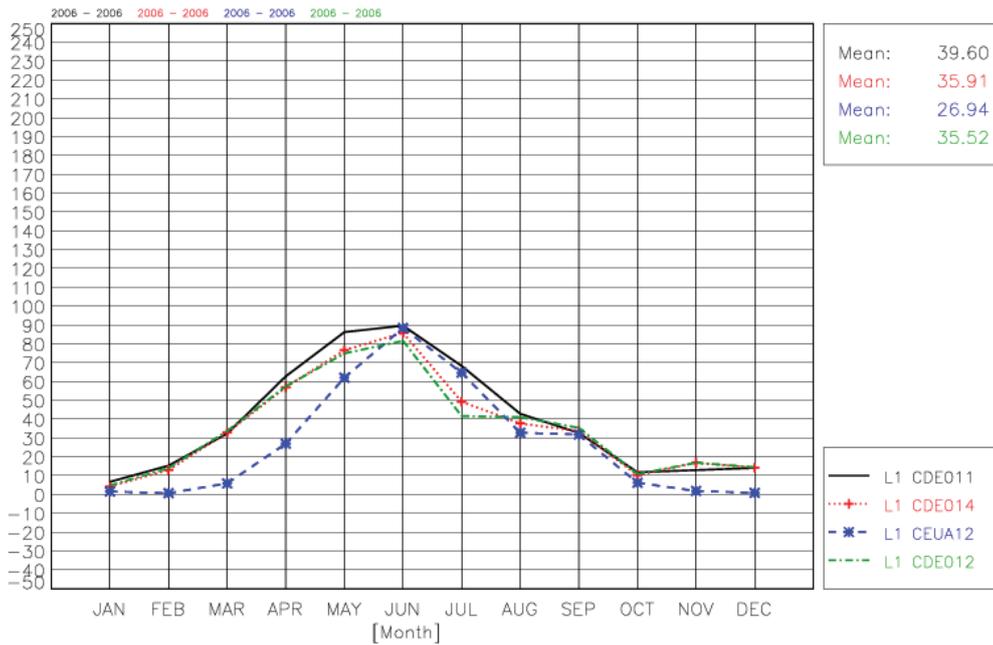
Juli 2006

LAU065-LAU064



Im Sommer 2006 ist die Verdunstung über Land im optimierten Lausitzmodell deutlich kleiner. Über Wasser ist sie besonders hoch.

Surface Latent Heat Flux: AREA MEAN: LAL (183 POINTS, GRID: GRD218) INC:24h



**Lausitz Land**

**(LAL)**

**Auf CDE Gitter**

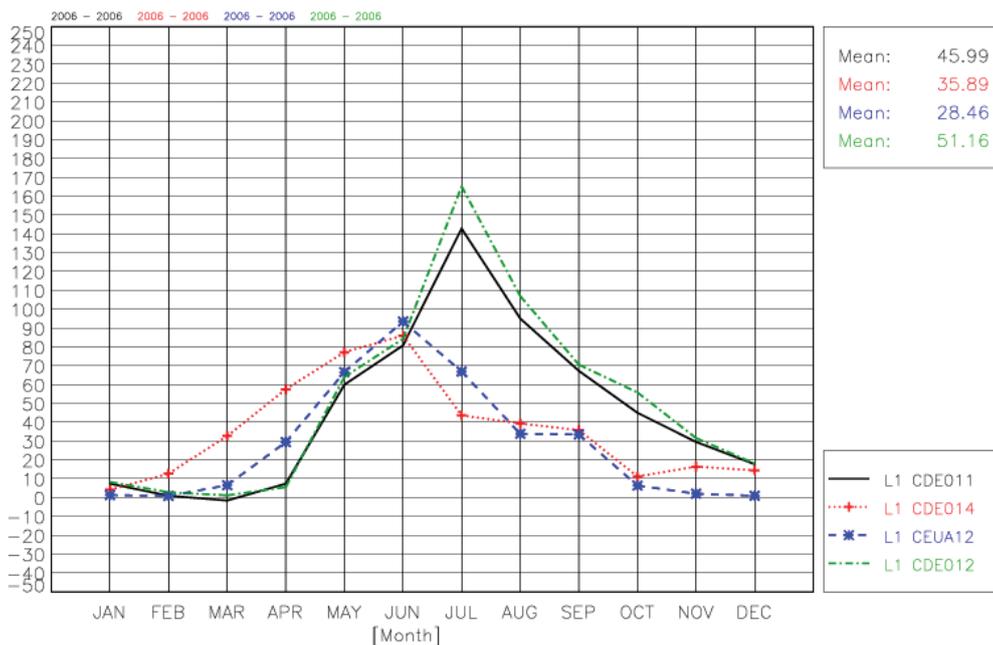
**CDE012/CDE011:**

**3 Wasserpunkte**

**Verdunstung**

**CDE012: 35 W**

Surface Latent Heat Flux: AREA MEAN: LAW (3 POINTS, GRID: GRD218) INC:24h



**Lausitz Wasser**

**(LAW)**

**Auf CDE Gitter**

**CDE012/CDE011:**

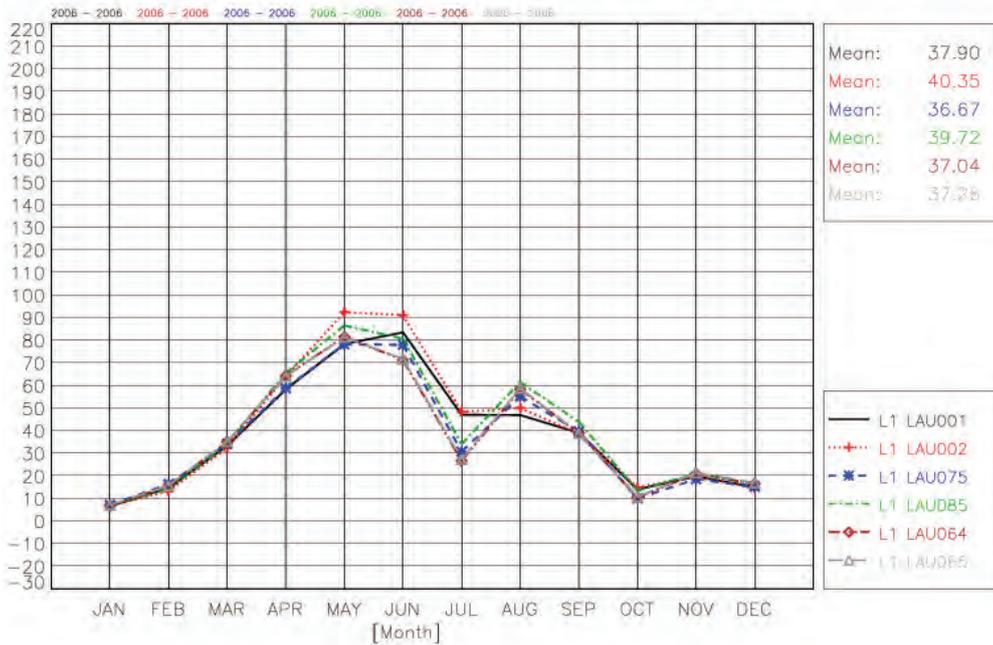
**3 Wasserpunkte**

**CDE012:**

**LAL 35W**

**LAW 51W**

Surface Latent Heat Flux: AREA MEAN: LAL (2598 POINTS, GRID: GRD316) INC:24h

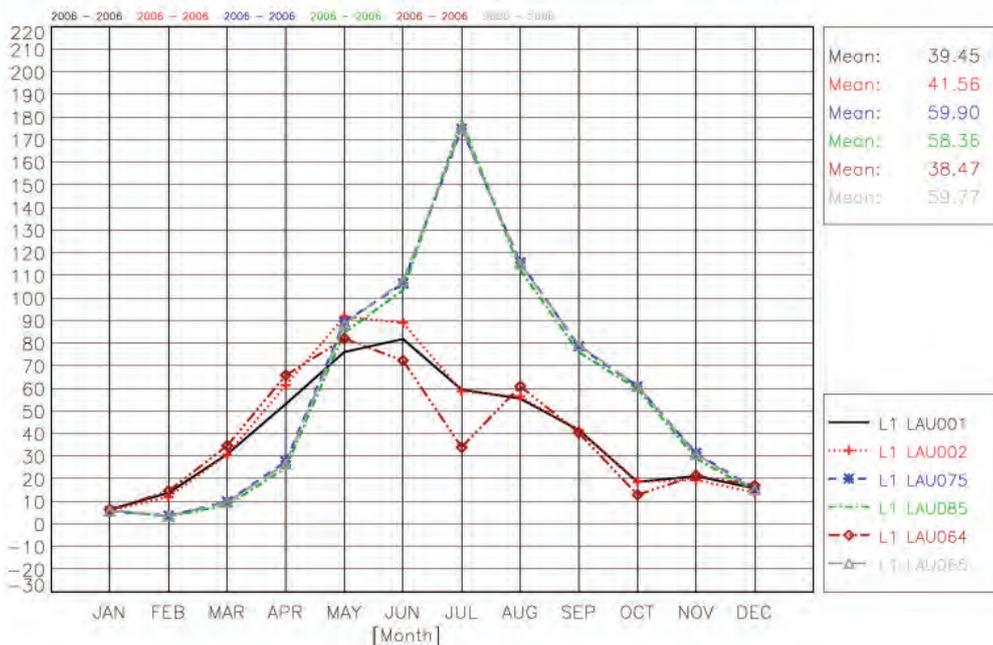


**Lausitz Land  
(LAL)  
Auf LAU Gitter  
CDE012/CDE011:  
3 Wasserpunkte**

**CDE012:  
LAL 35W  
LAW 51W**

**LAU065  
LAL 37W**

Surface Latent Heat Flux: AREA MEAN: LAW (215 POINTS, GRID: GRD316) INC:24h

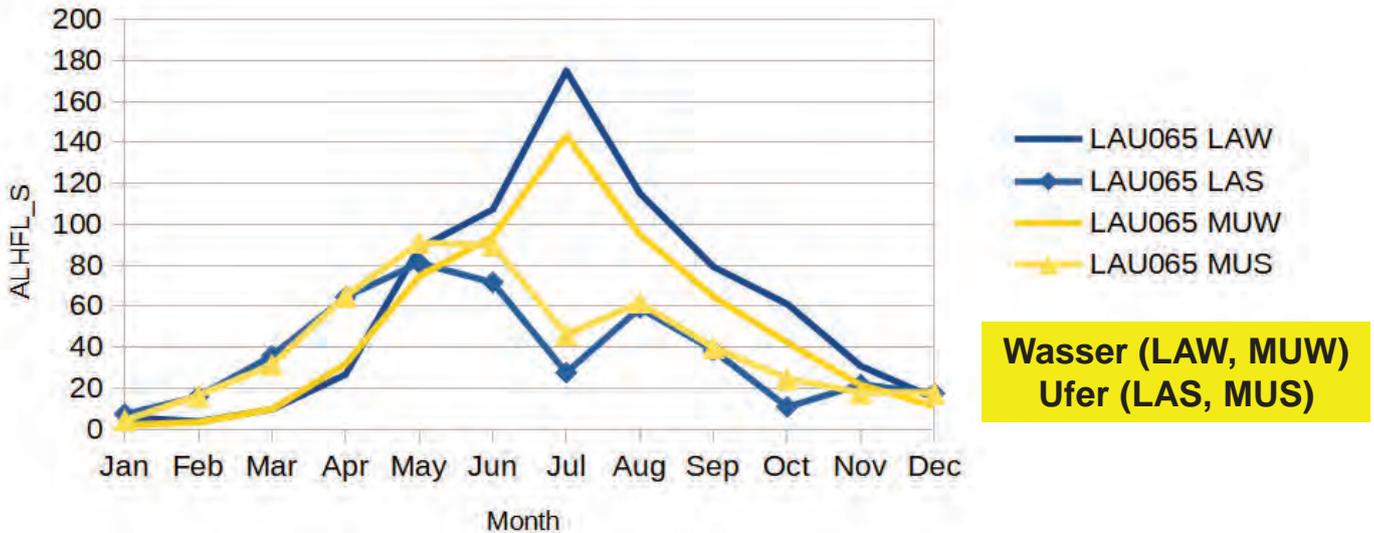


**Lausitz Wasser  
(LAW)  
Auf LAU Gitter  
LAU065:  
235 Wasserpunkte**

**CDE012:  
LAL 35W  
LAW 51W**

**LAU065  
LAL 37W  
LAW 59W**

Im optimierten Lausitz-Modell ist die Verdunstung über Wasser 20% bis 30% höher als im Modell im 3km Gitterauflösung (und weniger Seen)



#### Fluß latenter Wärme

- besonders groß über Wasser in trockenem Juli 2006. In Müritz und Lausitz sind es 143 W/qm and 175 W/qm.
- Besonders klein über Land im Winter und im trockenen Juli 2006. In Müritz und Lausitz sind es 48 and 25 W/qm

Impact of mining lakes on latent heat flux	Fluß Lat. Wärme LHFL_S [W/qm]	Verdunstung V <sub>w</sub> [mm]	Verdunstung aus Fläche A=258qkm V <sub>w</sub> A <sub>L</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Niederschlag minus Verdunst. PREC-V <sub>w</sub> [mm]
<b>2006</b>				
LAW in LAU064	37	433	3,53	60
LAW in LAU065	60	731	5,98	-195
<b>Seeeffekt = Wasser – Land (LAU065-LAU064)</b>	<b>23</b>	<b>298</b>	<b>2,45</b>	
<b>Juli 2006</b>				
LAW in LAU064	35	36	3,6	-29
LAW in LAU065	170	176	17,5	-169
<b>Mining lake effect = Water – Land (LAU065-LAU064)</b>	<b>135</b>	<b>140</b>	<b>13,9</b>	

# 4. Ergebnisverständnis

## Zusammenhänge zwischen Größen



### 4.1 Land-See Wind

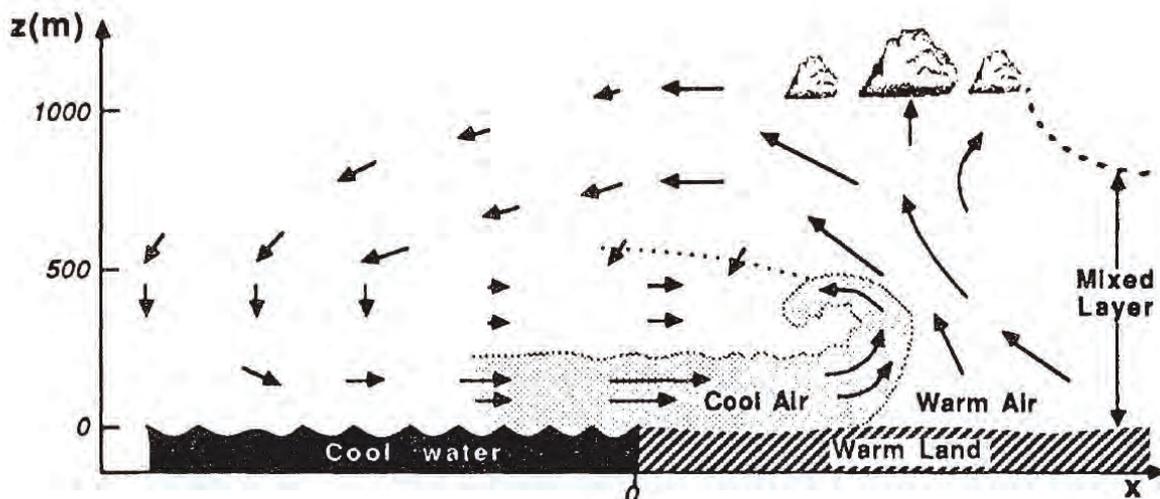
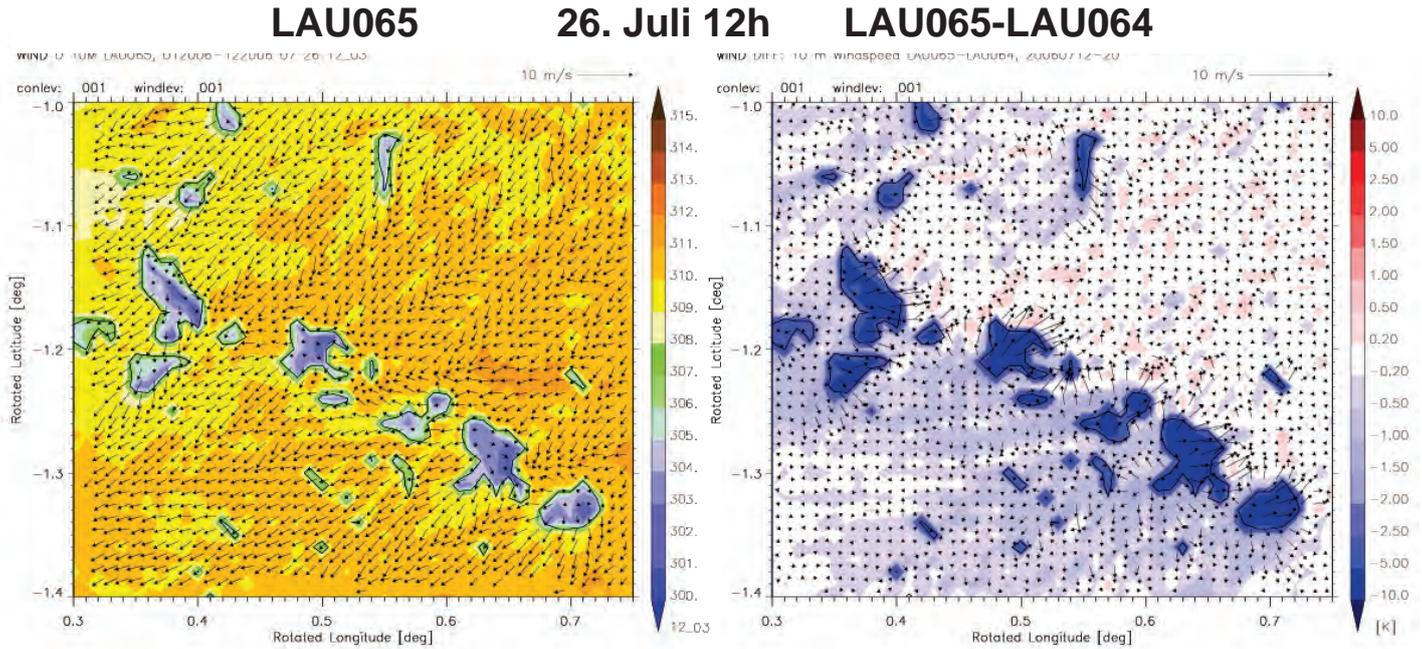


Figure 1: Vertical cross section of Land Sea Wind phenomenon during day. Lyons (1975) and Ogawa, et al., 1986

Ein Modell sollte in der Lage sein, das Phänomen des Land-See Windes zu simulieren.

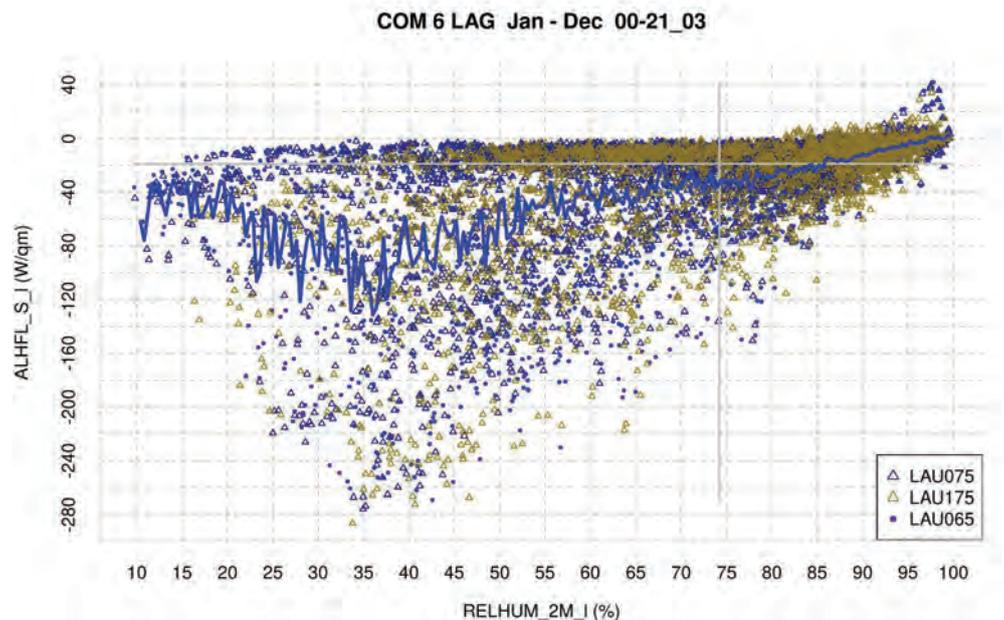


Der Land-See Wind wird vom Lausitz-Modell an heißen und relativ windstillen Tagen realistisch simuliert, insbesondere der radiale Wind von 2-3 m/s in Richtung Ufer,

## 4.2 Zusammenhang von RELHUM\_2M und ALHFL\_S\_I

Die maximale Verdunstung über land (ALHFL\_S\_I) steigt monoton mit sinkender relativer Luftfeuchte (RELHUM\_2M\_I) bis diese auf 35% absinkt.

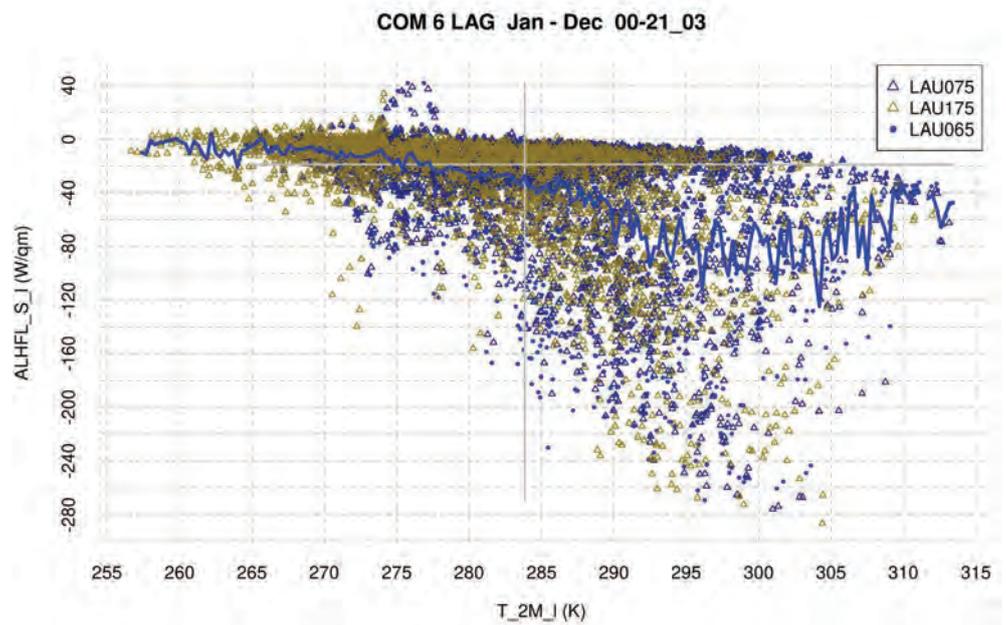
Bei trockenen Bedingungen von RELHUM\_2M\_I < 35% sinkt die maximale Verdunstung.



Das Absinken der maximalen Verdunstung über Land bei geringer Luftfeuchte muss durch die Trockenheit des Untergrundes bedingt sein.

Maximale Verdunstung über land (ALHFL\_S\_I) steigt monoton mit der 2m Temperatur (T<sub>2M\_I</sub>) bis diese 300 K erreicht.

Bei sehr warmen Bedingungen von T<sub>2M\_I</sub> > 305 K sinkt die maximale Verdunstung.



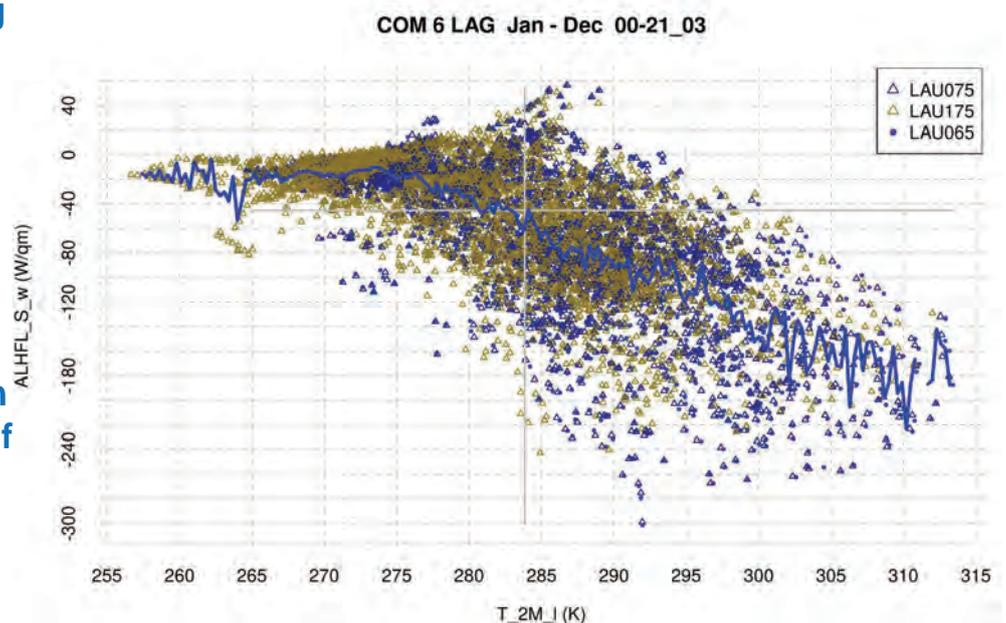
Gemäß IPCC AR5 Bericht, kann eine Klimaerwärmung um 2K in 50 bis 70 Jahren erwartet werden.

Ein Anstieg um 2K entspricht einer Änderung  $\Delta \text{ALHFL\_S\_I} \approx 5 \text{ W/qm}$

Maximale Verdunstung über Wasser steigt für T<sub>2M\_I</sub> < 295 K.

Minimale Verdunstung über Wasser steigt für T<sub>2M\_I</sub> > 285 K.

Mittlere Verdunstung über Wasser steigt von 20 W/qm bei 275 K auf 180 W/qm bei 310 K.



Ein Anstieg um 2K entspricht danach:  $\Delta \text{ALHFL\_S\_w} \approx 10 \text{ W/qm}$

### Zusammenfassung

- Eine Gitterauflösung von 1km ist nötig, um die größten Lausitzer Seen auf der Gitterskala des Lausitz-Modells abzubilden.
- Das auf dem Modell des DWD basierende Lausitz-Modell mit einer Auflösung von 1 km in Nord-Ost Deutschland kann die Zirkulation an Seen von 20qkm und mehr realistisch simulieren.
- Die Verdunstung aus den Lausitzer Seen verändert nicht den Niederschlag, da der Energiefluss zu gering ist.
- Die Verdunstung über Land sinkt bei trockenen Böden und einer relativen Luftfeuchte unter 35%.
- Verdunstung über Wasser steigt kontinuierlich mit der Temperatur, insbesondere bei trockenen Bedingungen

- Im besonders warmen und trockenen Jahr 2006 erreicht die Verdunstung aus einer Oberfläche von 258 qkm in der Lausitz
  - 3,5 m<sup>3</sup>/s über Land und 6.0 m<sup>3</sup>/s über Wasser im Jahresmittel
  - 3,6 m<sup>3</sup>/s über Land und 17.5 m<sup>3</sup>/s über Wasser im Julimittel

Eine erwartete Klimaänderung von 2K in 50 bis 70 Jahren erhöht voraussichtlich die Verdunstung um

- 0,5 m<sup>3</sup>/s über Land und 1.0 m<sup>3</sup>/s über Wasser im Jahresmittel

**Zusätzliche Verdunstung in trockenen und warmen Jahren in der Lausitz (Land: 3150 qkm, Wasser 258 qkm) :**

- aus See- im Vergleich zu Landoberflächen: + 2,5 m<sup>3</sup>/s**
- aus See- und Landoberflächen bei 2 K Klimaänderung: + 7,0 m<sup>3</sup>/s**

### Ausblick

- geplanter Entwicklungen des Lausitz-Modells  
Einführung einer Abflussmodellierung für Nord-Ost  
Deutschland in 2023/2024
- Klimaänderungssimulationen 1950 – 2100  
in 3 km Auflösung für Deutschland in 2024-2026.  
in 1 km Auflösung für Nord-Ost Deutschland in 2025-2026