

# Thermalinfrarot-Aufnahmen Welche Informationen lassen sich aus diesen Daten ableiten?

Eberhard Parlow, Andreas Wicki

Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung (MCR Lab)

Department Umweltwissenschaften

Universität Basel, Schweiz

[eberhard.parlow@unibas.ch](mailto:eberhard.parlow@unibas.ch) - [meteo.duw.unibas.ch](http://meteo.duw.unibas.ch)

# Was kontrolliert die langwellige Emission?

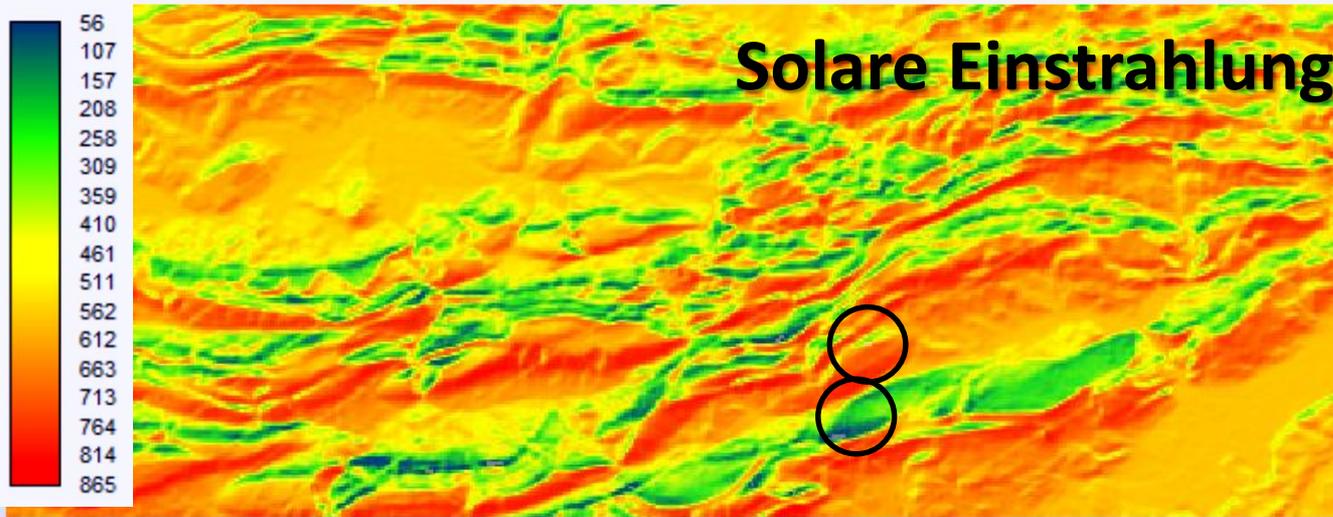
bzw. – die Oberflächentemperatur ?

- Solar Strahlungsflussdichte während des Überfluges ( $\text{W m}^{-2}$ )
- Emissionskoeffizient der Oberfläche  $\varepsilon$
- Topographie (Höhe, Hangneigung & Exposition) (m, °, °)
- Vegetation & Landnutzung (LULC)
- Oberflächenreflektanz (Albedo) (% ,  $\text{W m}^{-2}$ )
- Lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Evapotranspiration ( $\text{W m}^{-2}$ )
- Wärmeleitfähigkeit des Bodens ( $\text{W K}^{-1} \text{m}^{-1}$ )
- Wärmekapazität des Bodens ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ,  $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ )
- Bodenfeuchte insbesondere oberflächennahe Bodenfeuchte
- 3D-Struktur der Oberfläche
- Windgeschwindigkeit ( $\text{m s}^{-1}$ )
- .....

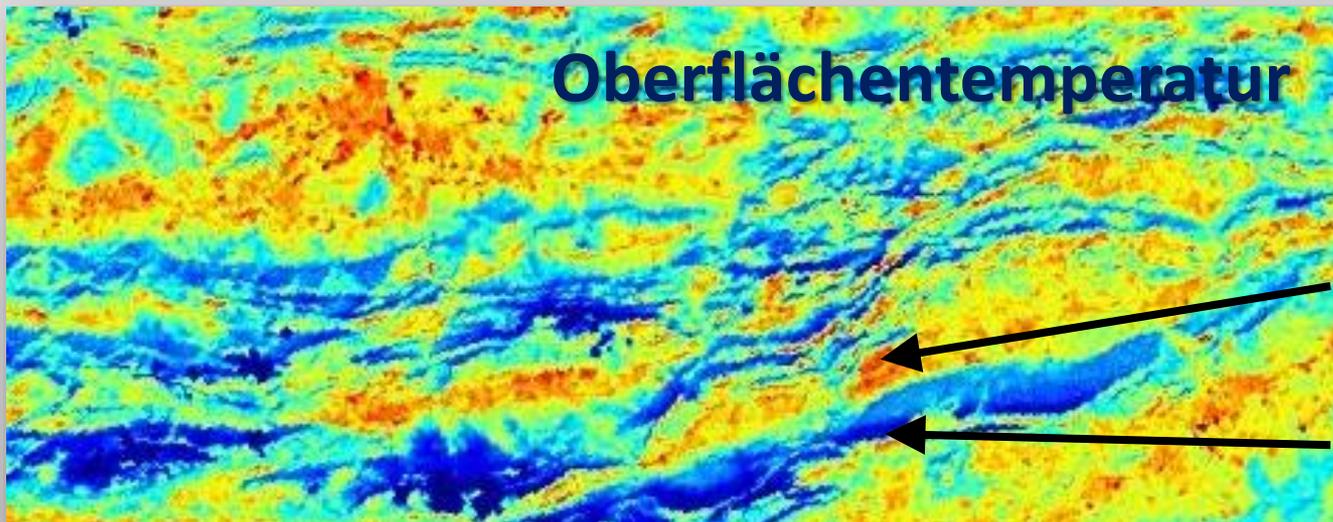


# Was kontrolliert die langwellige Emission?

Topographie (Höhe, Hangneigung, Exposition), solare Einstrahlung



Expositions- und hangneigungsabhängige Oberflächen-temperatur im Schweizer Jura

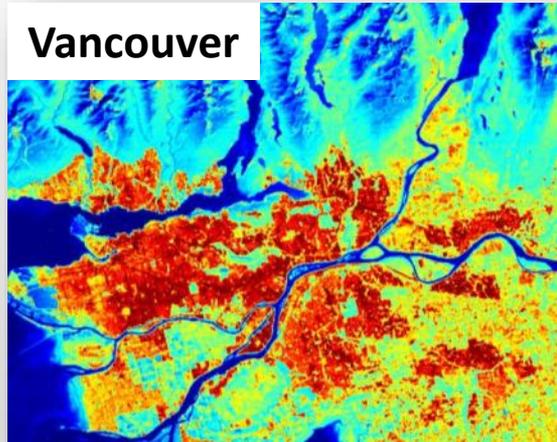


$\approx 298 \text{ K} = 25 \text{ °C}$

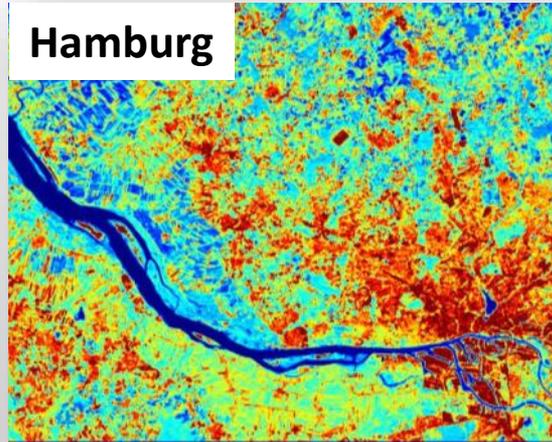
$\approx 278 \text{ K} = 5 \text{ °C}$



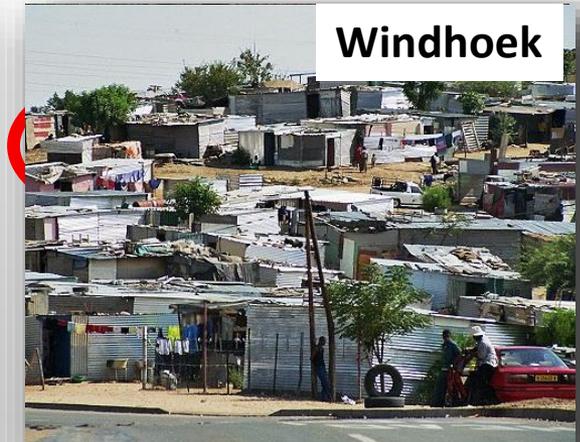
# Was kontrolliert die langwellige Emission?



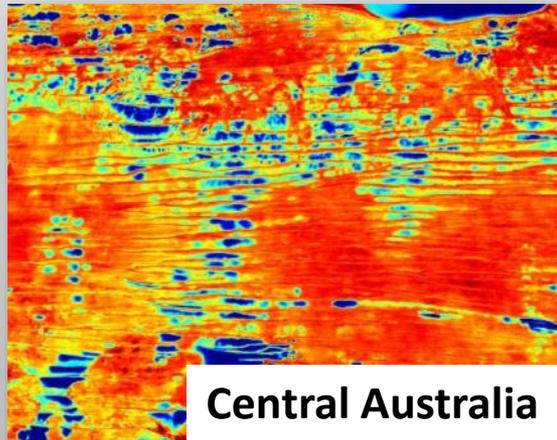
Surface properties/altitude



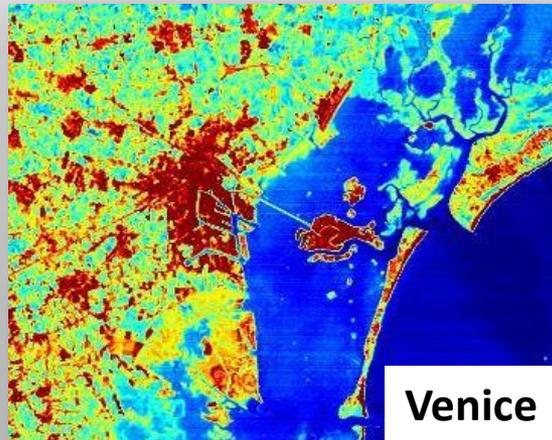
Surf. properties/soil wetness



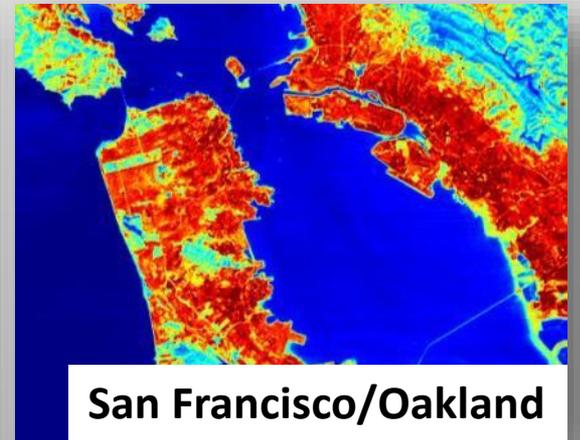
Surf. Properties/emissivity



Soil wetness



Surf. properties/soil wetness



Surface properties



# Wechselwirkung von Strahlung und Wärmeflüssen

## Die Strahlungsbilanz als "Bankkonto"



| Item             | Incomes | Expenditures |
|------------------|---------|--------------|
| Salary           | 5000    |              |
| Rent & insurance |         | 1500         |
| Add. income      | 1000    |              |
| Food etc         |         | 4000         |
| Sum inc./expend. | 6000    | 5500         |
| Balance          | + 500   |              |

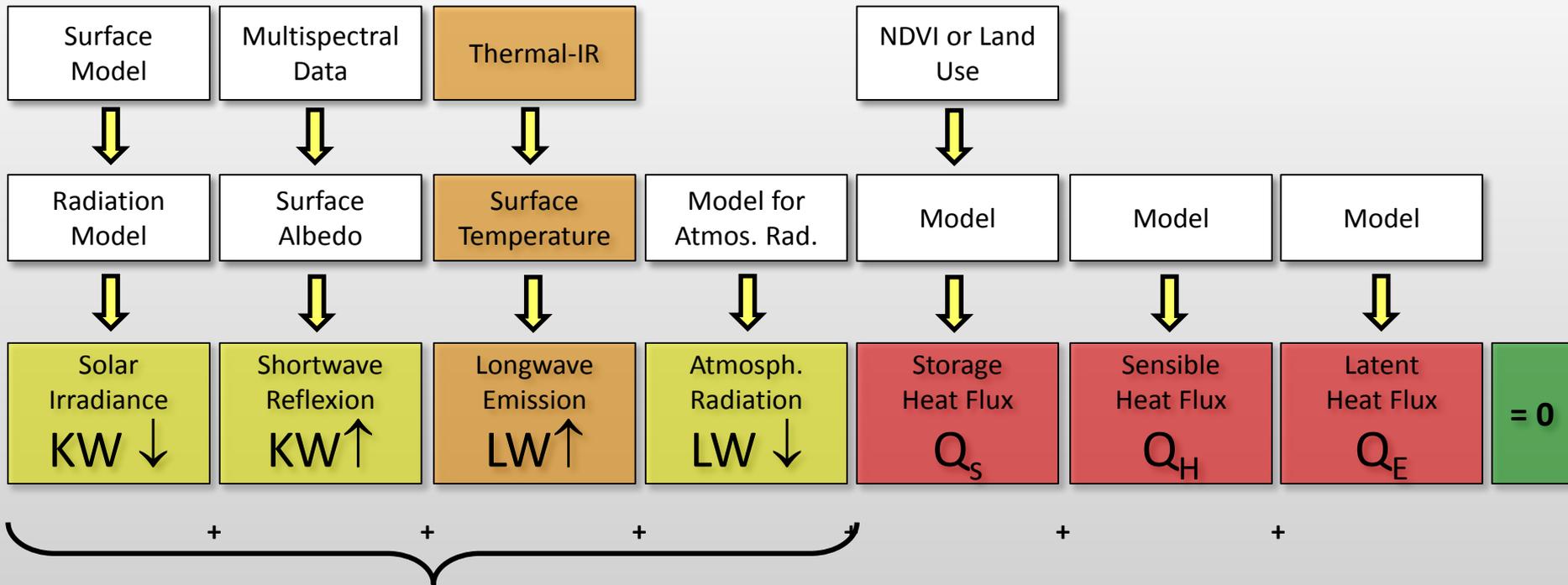
$$Q^* = KW \downarrow - KW \uparrow + LW \downarrow - LW \uparrow$$

$$Q^* = KW \downarrow (1-\alpha) + LW \downarrow - \epsilon \sigma T_0^4$$

$Q^*$ : Strahlungsbilanz,  $KW$ : solar,  $LW$ : terrestrisch,  $\downarrow \uparrow$ : in/out  
 $\alpha$ : Albedo;  $Q^*$  kann Werte  $>0$ ,  $=0$ ,  $<0$  annehmen !!

# Strahlungs- und Wärmeflüsse am Tage

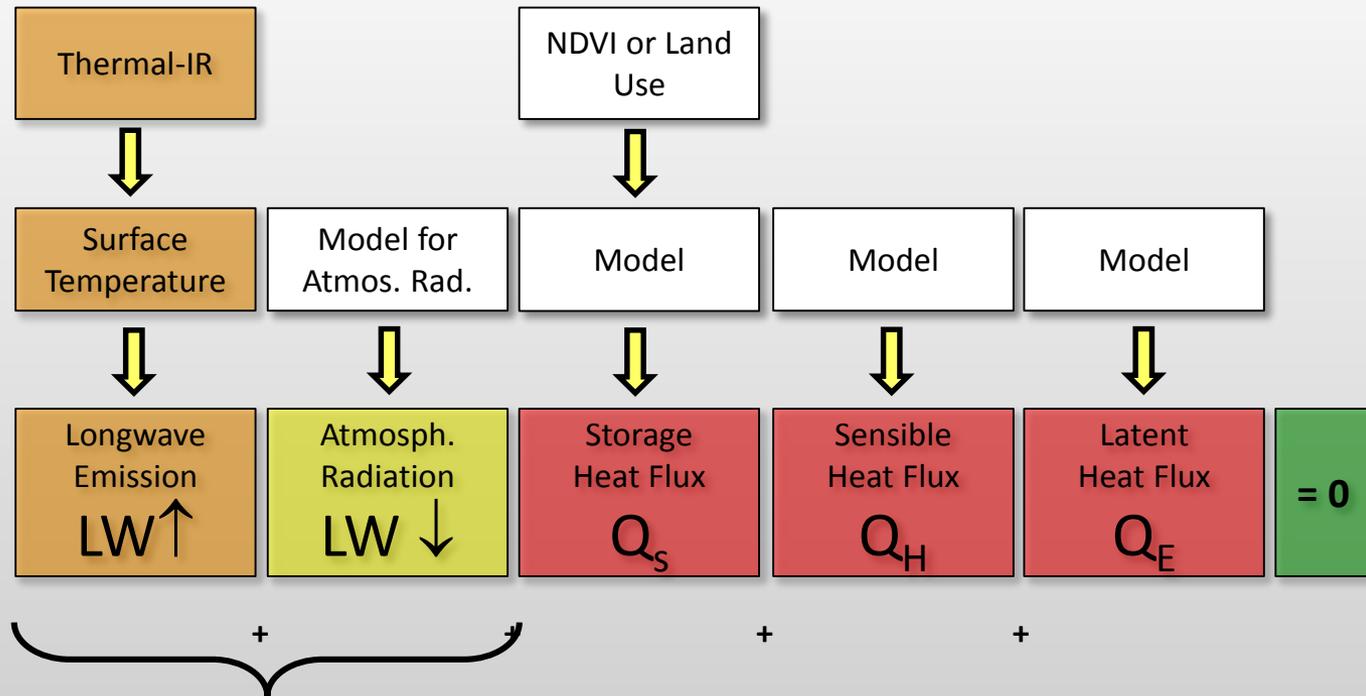
The surface temperature is only a small part of the radiation and complete heat budget



Strahlungsbilanz am Tag:  $Q^* = KW \downarrow - KW \uparrow + LW \downarrow - LW \uparrow$

$Q^*$  ist meist  $> 0$  und daher ist Energie für die verschiedenen Wärmeflüsse verfügbar !

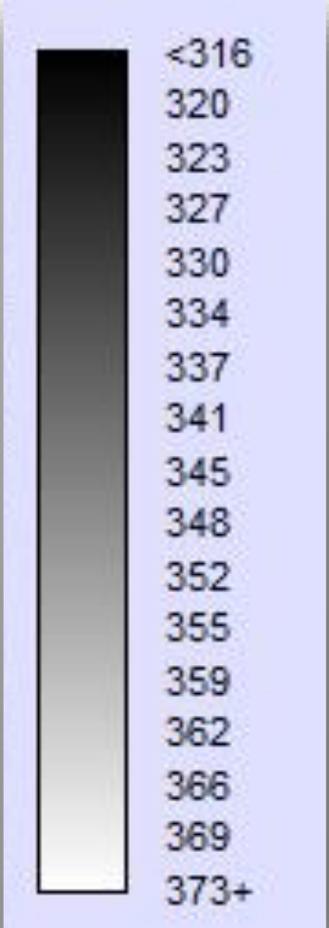
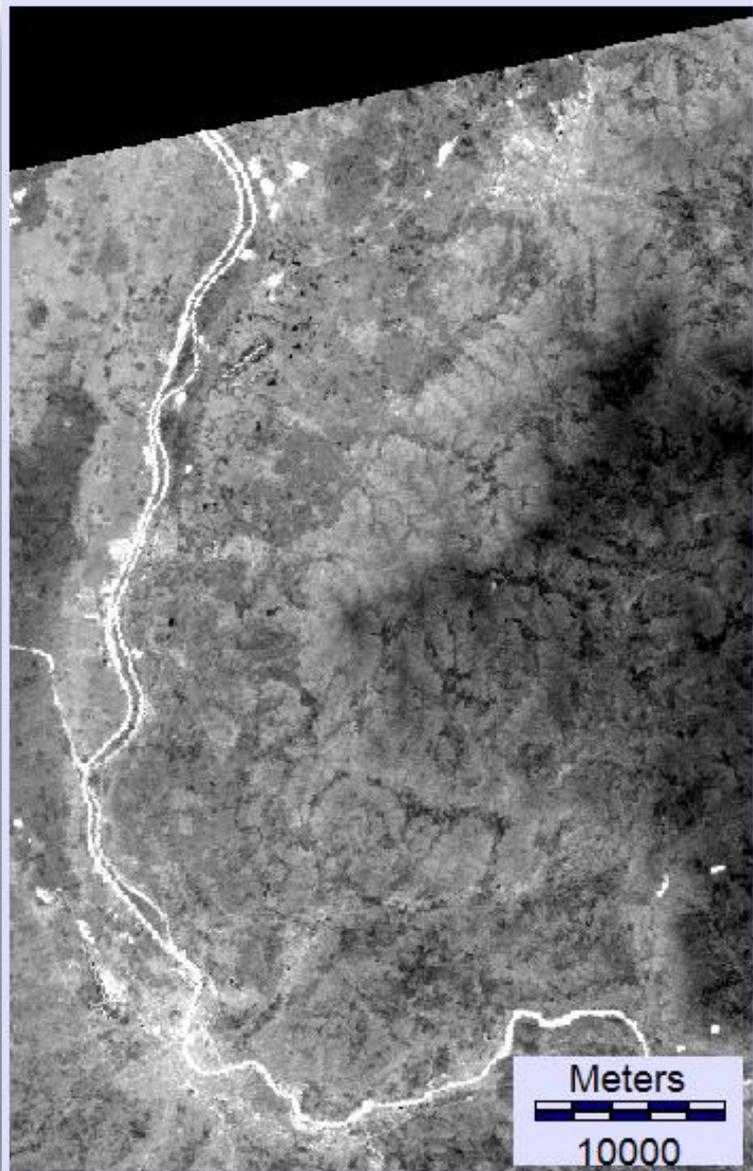
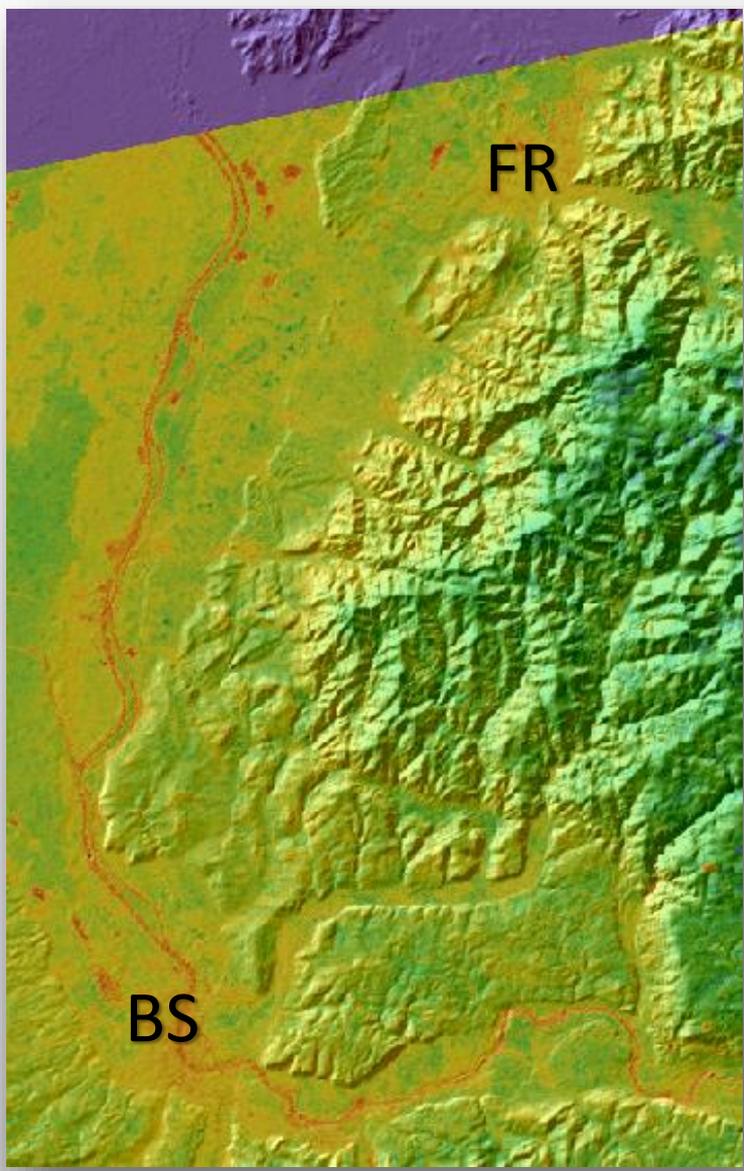
# Strahlungs- und Wärmeflüsse nachts



Strahlungsbilanz am Tag:  $Q^* = LW \downarrow - LW \uparrow$

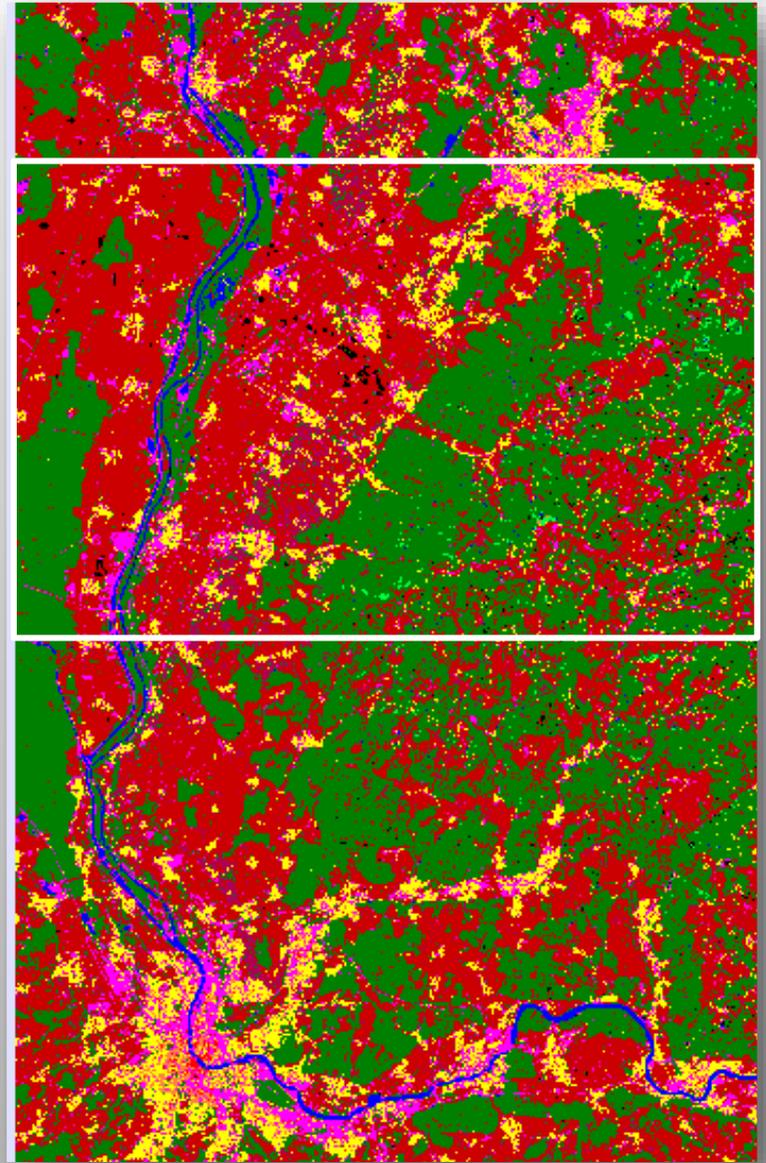
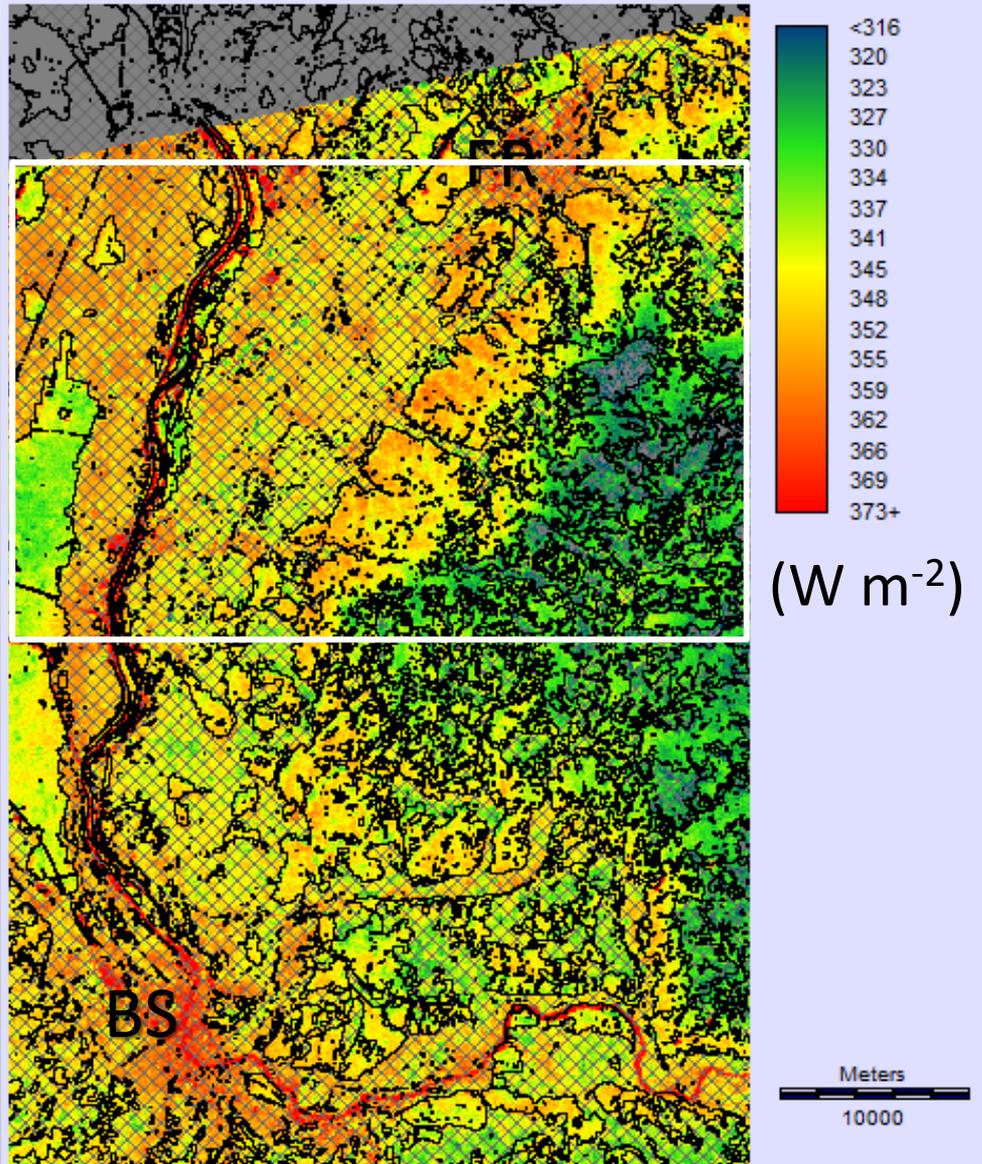
$Q^*$  ist meist  $< 0$  und die Wärmeflüsse müssen die negative Strahlungsbilanz kompensieren. Dies führt zur Abkühlung von Luft und Boden oder zur Kondensation von Wasserdampf.

# Aster Nacht LW-Emission SW-Schwarzwald

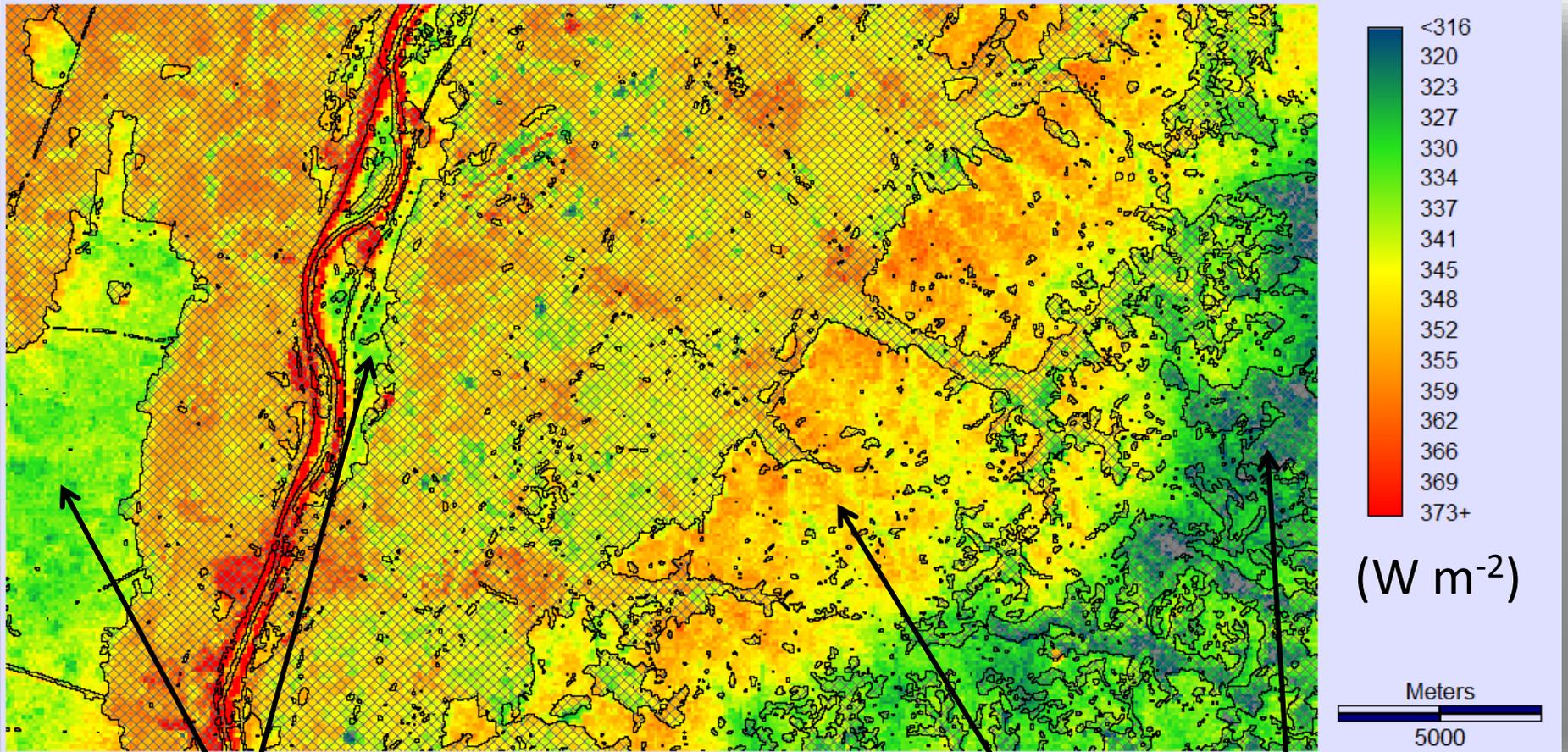


(W m<sup>-2</sup>)

# Aster Nacht LW-Emission und LULC



# Aster Nacht LW-Emission von Waldgebieten

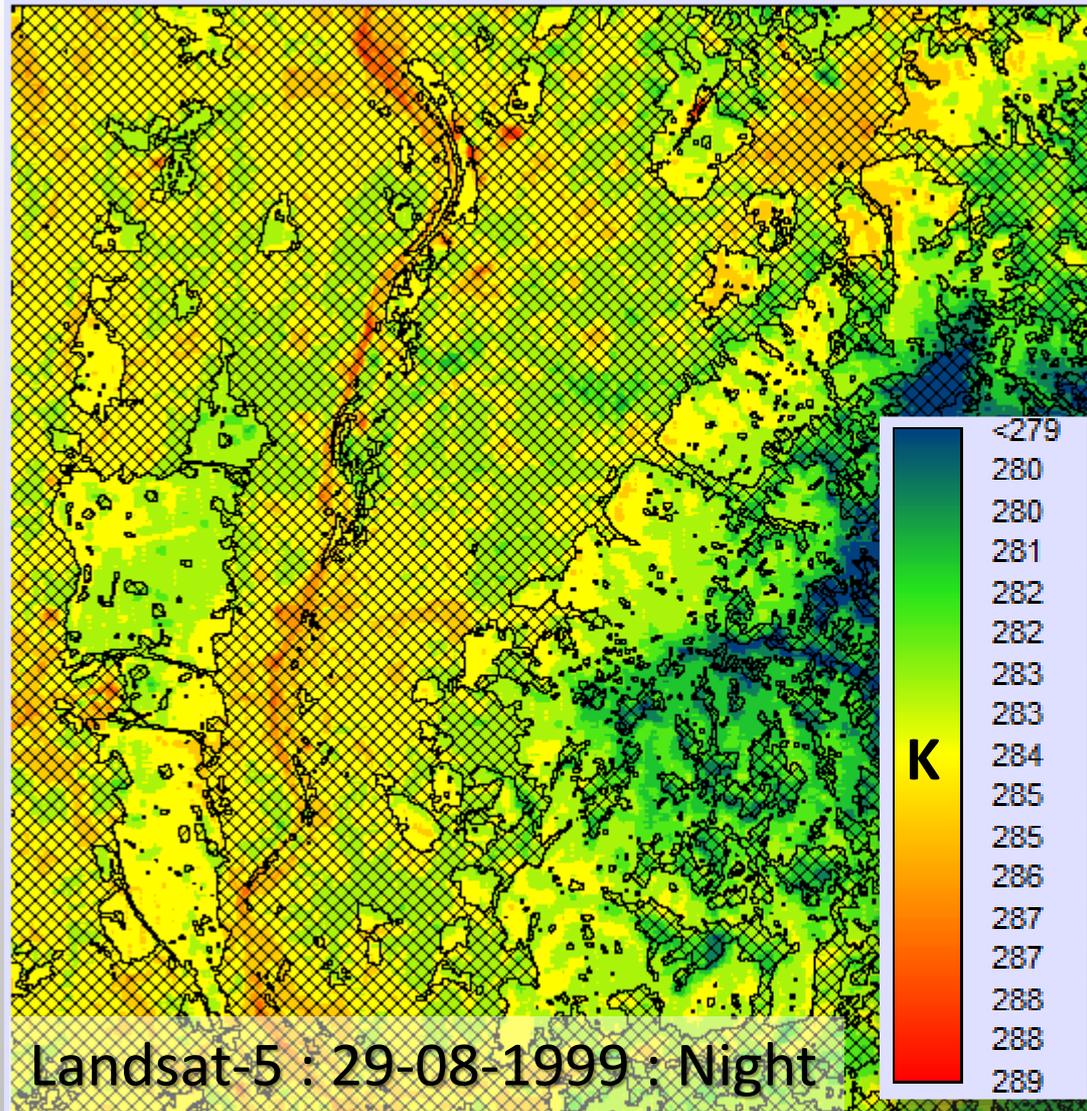


Waldgebiete in der Rhein-Ebene : kühl/kalt

Waldgebiete am Schwarzwaldwestrand : warm

Waldgebiete in Hochlagen : kühl/kalt

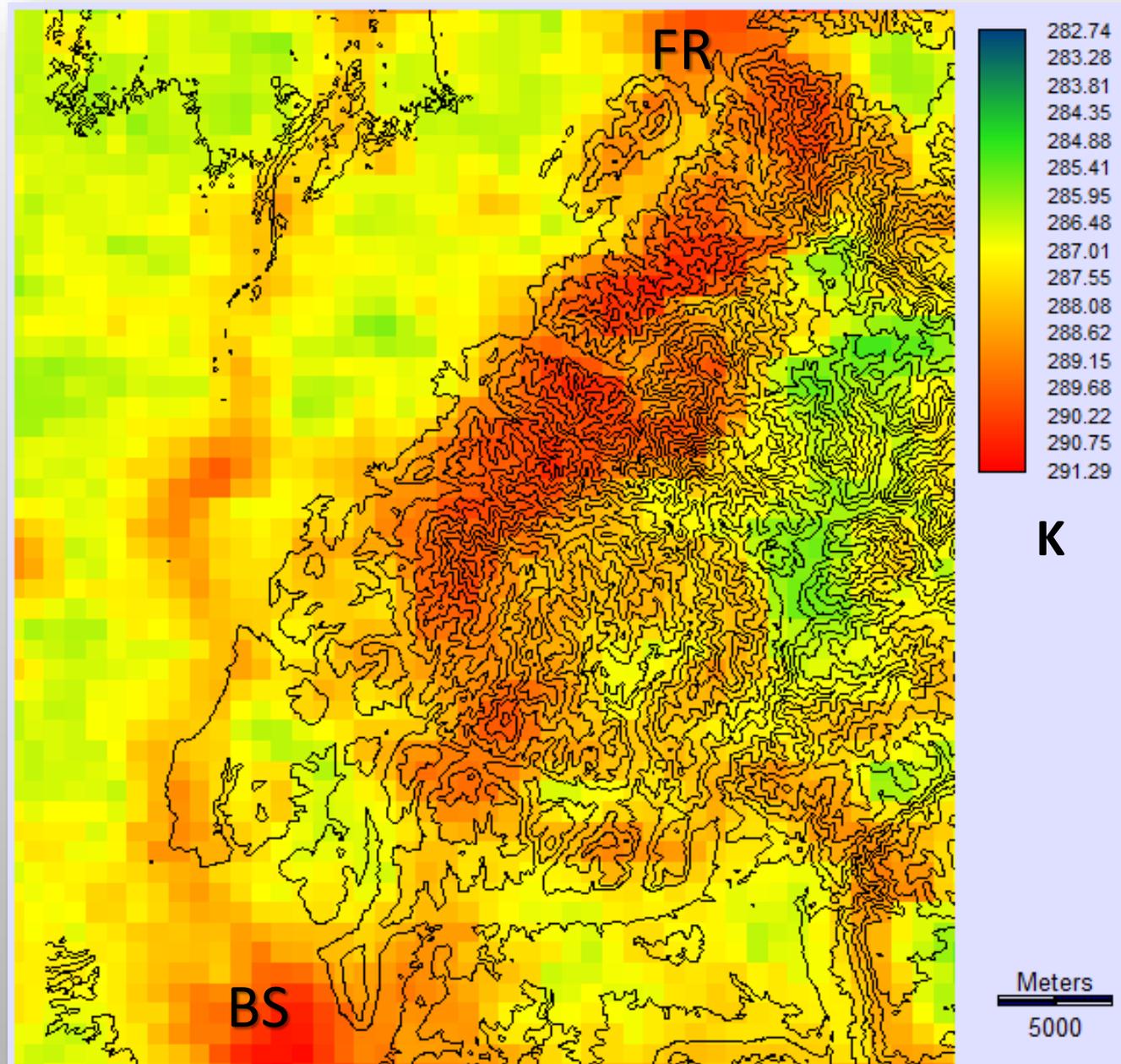
# Landsat Nacht- $T_s$ des SW-Schwarzwaldes (in Kelvin)



Strahlungsbilanz  
in der Nacht :

$$Q^* = LW\downarrow - LW\uparrow \\ = LW\downarrow - \sigma \epsilon T_s^4$$

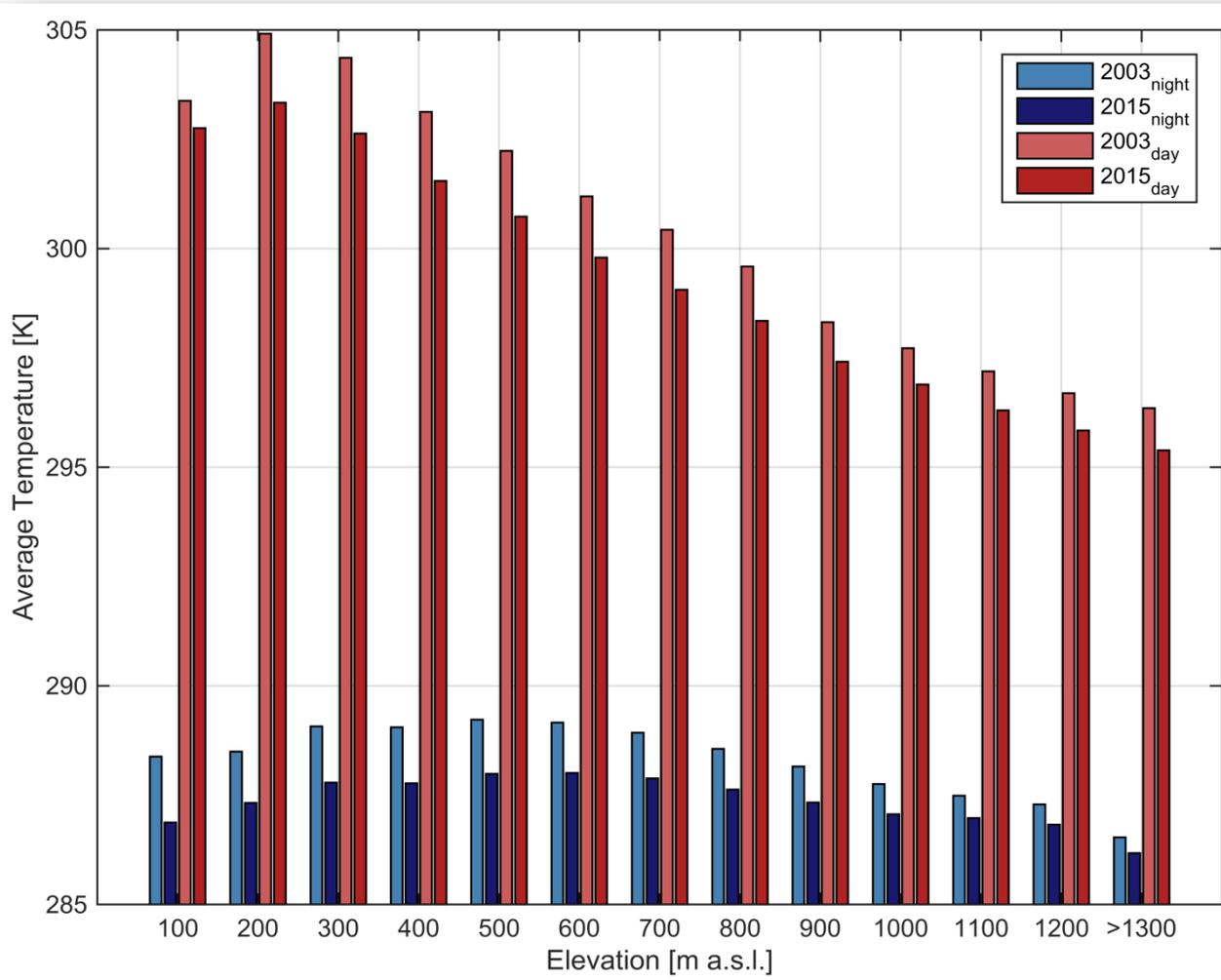
- $LW\downarrow < LW\uparrow$
- Hohe  $T_{surf}$  auf Hängen
- Daher sehr negatives  $Q^*$  bei hohen  $T_{surf}$
- $Q^*$  muss durch die Wärmeflüsse während der ganzen Nacht kompensiert werden
- Welcher Prozess ist dafür verantwortlich ?



MODIS mittlere  
nächtliche Ober-  
flächentempera-  
turen aus 40-65  
wolkenlosen  
Scenen während  
Sommer 2015

Die höchsten  
Oberflächentem-  
peraturen  
stammen von  
Waldgebieten in  
Hanglage !

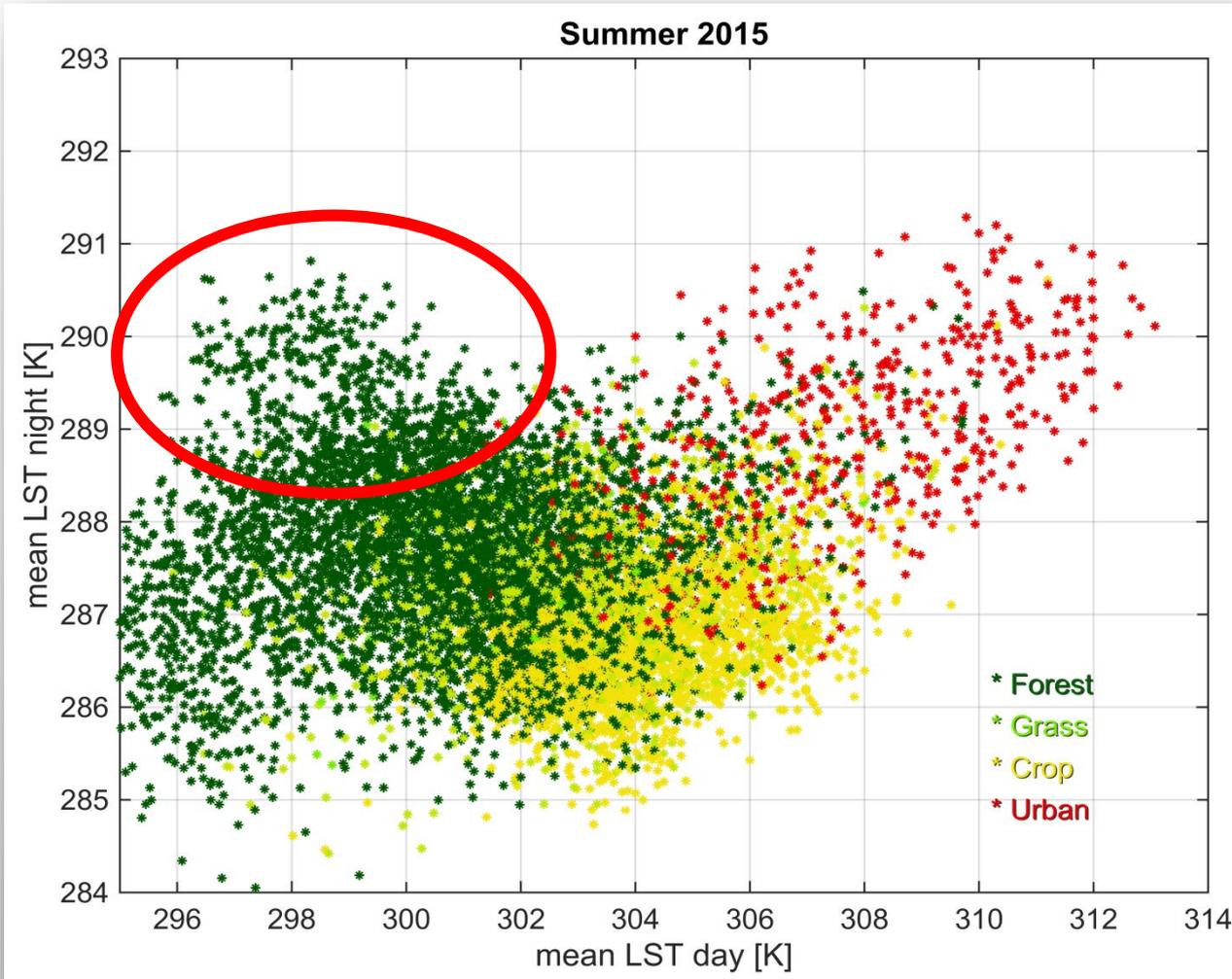
# MODIS mittlere Tag/Nacht Oberflächentemperaturen als f(Höhe)



Am Tage nehmen die Oberflächentemperaturen mit der Höhe ab (rot).

Während der Nacht sind die höchsten Oberflächentemperaturen in einer Höhe zwischen 400 – 700 m (blau).

# MODIS mittlere Tag/Nacht Oberflächentemperaturen als f(LULC)



Am Tage und nachts haben urbane Flächen die höchsten Oberflächentemperaturen.

Wälder erreichen ähnlich hohe Oberflächentemperaturen wie urbane Flächen während der Nacht ! Diese sehr warmen nächtlichen Waldpixel befinden sich alle in Hanglage.

# Das Problem : hohe Oberflächentemperaturen während der ganzen Nacht

- Entlang der westlichen Hänge des Schwarzwaldes und in mittlerer Höhe finden sich hohe Oberflächentemperaturen.
- Dies findet man während der ganzen Nacht und in vielen nächtlichen Satellitenszenen von Aster, Landsat, Modis, HCMM etc. !
- Die erhöhten Oberflächentemperaturen bewirken eine deutlich negativere Strahlungsbilanz von  $-50$  bis  $-100 \text{ Wm}^2$ .
- Dieser andauernde Strahlungsenergieverlust muss durch die lokalen Wärmeflüsse sofort kompensiert werden (fühlbarer und/oder latenter und/oder Speicherwärmestrom)
- Die Frage ist welcher meteorologische Prozess hierzu in der Lage ist, dies während der ganzen Nacht zu bewerkstelligen und wie funktioniert dieser Prozess ?

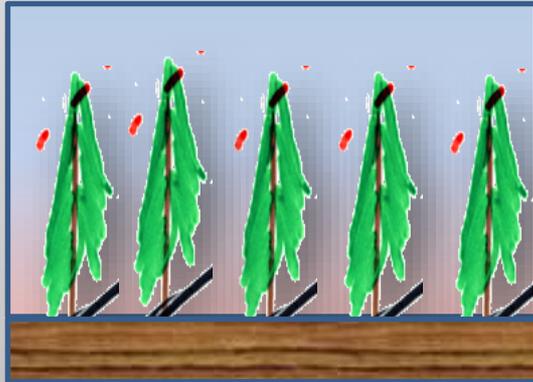




# Was passiert mit den Wäldern in der Ebene ?

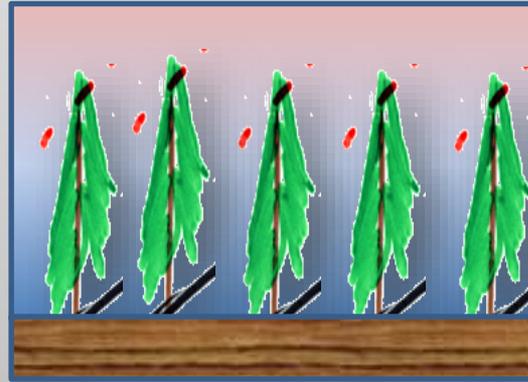
Am Tage

$T_{surf}$  ist niedrig wegen erhöhter Evapotranspiration der Bäume. Strahlungsbilanz ist hoch wg. geringer LST und niedriger Albedo.



Am frühen Abend

Wenn Strahlungsbilanz auf negative Werte "umschaltet", beginnt der Wald Kaltluft zu produzieren, aber der Kronenraum bleibt zunächst warm, da er aus dem beginnenden Kaltluftsee rausschaut



Später Abend - nachts

Nach einigen Stunden ist sehr viel Kaltluft produziert, die nicht seitlich abfließen kann. Der Wald beginnt in der von ihm produzierten Kaltluft bis über den Kronenraum hinaus zu "ertrinken" und hat niedrige  $T_{surf}$ .



# Conclusions

- Thermale IR-Daten sind eine wichtige Datenquelle für räumlich verteilte Oberflächentemperaturen – nicht nur am Tage
- Sie stellen jedoch nur eine Variable des sehr komplexen Strahlungs- und Wärmehaushaltes dar. Alle weiteren Variablen müssen ebenfalls in die Betrachtung einbezogen werden.
- Die einfache Analyse der IR-Bilder führt meist zu fehlerhaften Interpretationen und berücksichtigt nicht die Einflüsse und Wechselwirkungen mit anderen Wärmehaushaltskomponenten
- In Gebirgsregionen zeigen die hohen Oberflächentemperaturen von Waldgebieten deren Kaltluftproduktion und die Generierung lokaler Bergwindssysteme an
- Während der Nacht bedeuten erhöhte Oberflächentemperaturen immer eine negativere Strahlungsbilanz der Pixel, die umso mehr kompensiert werden muss
- Nur der fühlbare Wärmefluss ist in der Lage das auszugleichen



# Conclusions

- Bei Wäldern in Tallage ist die Oberflächentemperatur niedrig, da diese Flächen im nächtlichen Kaltluftsee ertrunken sind.
- Viel wissenschaftliche Arbeit ist für weitere thermal-IR Datenanalyse notwendig, um die Komplexität des nächtlichen Wärmehaushaltes besser zu verstehen
- Daher ist es gut seit geraumer Zeit auch Landsat/Aster-Nacht-Thermal Daten zur Verfügung zu haben

