



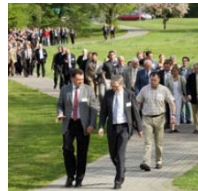
FERNERKUNDUNG DER BODENFEUCHE

und Auswirkungen auf den Wasserkreislauf

CARSTEN MONTZKA

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH

Use-inspired basic research



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

REMOTE SENSING ACTIVITIES

The IBG-3 Remote Sensing Team



David Mengen
SAR Soil
Moisture



Carsten Montzka
Hydrological EO and
Data Assimilation



Jordan Bates
UAVs in
Agriculture



Shirin Moradi
Hydrology and Data
Assimilation



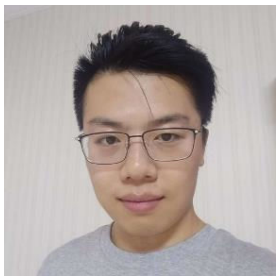
Visakh Sivaprasad
EO and Data
Assimilation



Viktoriia Lovynska
Plant traits of heavy
metals



Hao Chen
Hydrology and AI



Yuquan Qu
Fire and its Drivers



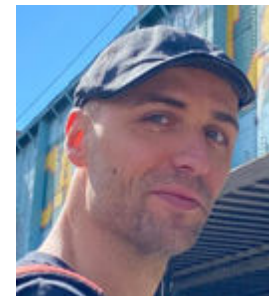
Bagher Bayat
ET and Ecosystem
Functioning



Wenqin Huang
Plant
Communities



Rahul Raj
Carbon Budgets



Nick Kupfer
Organic Rice
Monitoring



Xuerui Guo
Ecosystem
Functioning

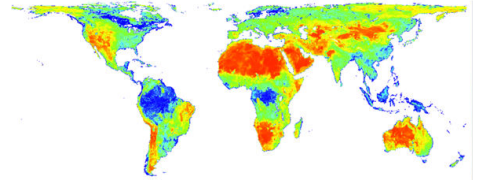
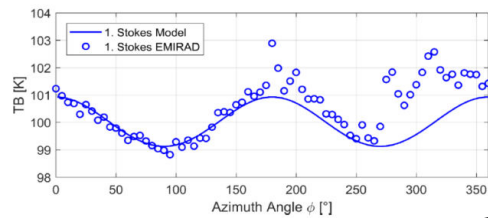
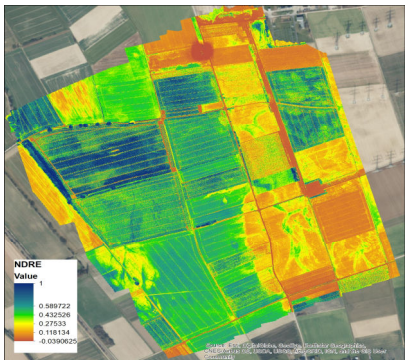


Mehdi Rahmati
Teleconnections

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

SKALEN DER FERNERKUNDUNG AM IBG-3

Umweltmonitoring, Hydrologie und Landwirtschaft



Lokal

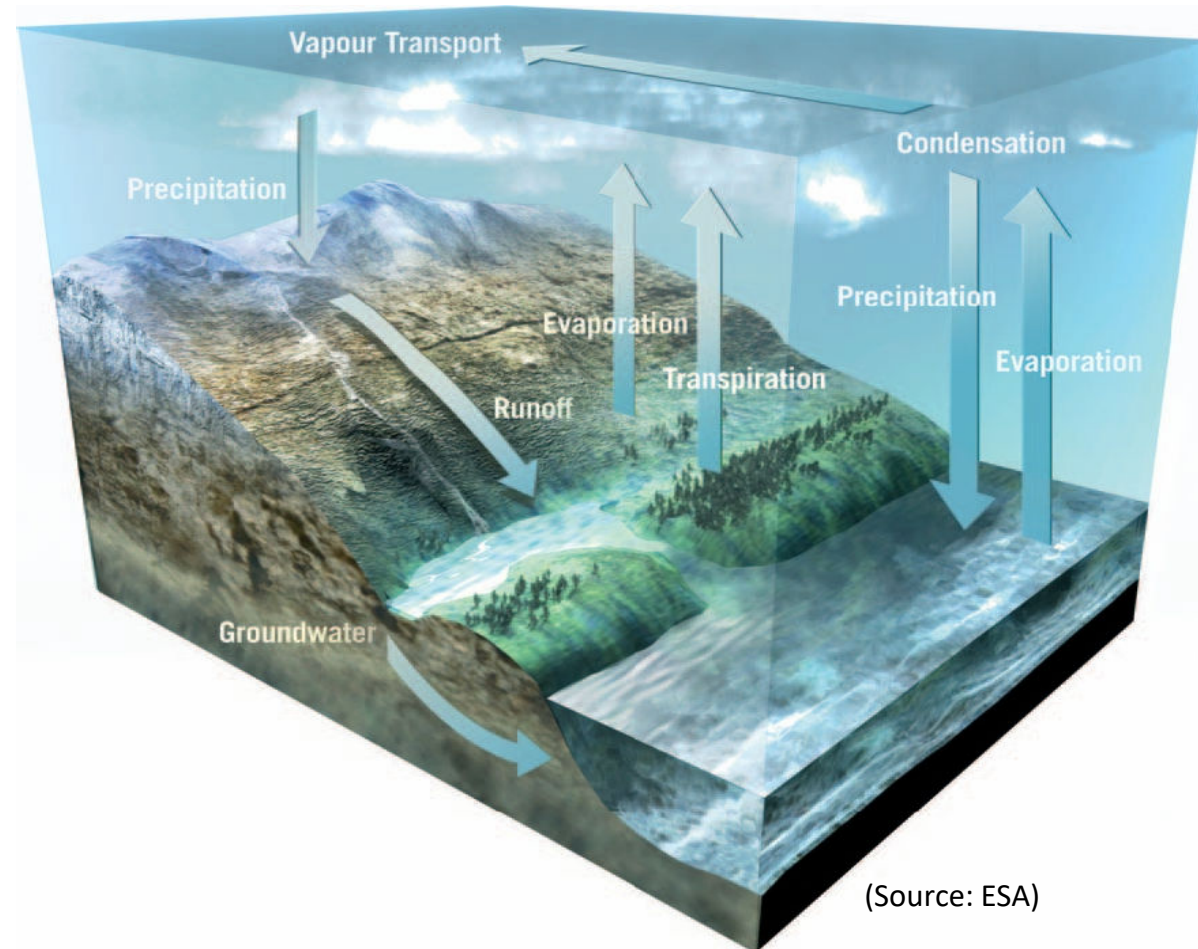
Regional

Global

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

BODENFEUCHTE

- Eine Schlüsselvariable im globalen Wasserkreislauf
- Steuerung des Austauschs von Wasser und Energie zwischen Land und Atmosphäre, z.B.
 - Grundwasserneubildung
 - Oberflächenabfluss
 - Evapotranspiration (Pflanze/Boden)
- Starke räumliche und zeitliche Schwankungen
- Verändert sich während des Klimawandels
- Wissen ermöglicht Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels



(Source: ESA)

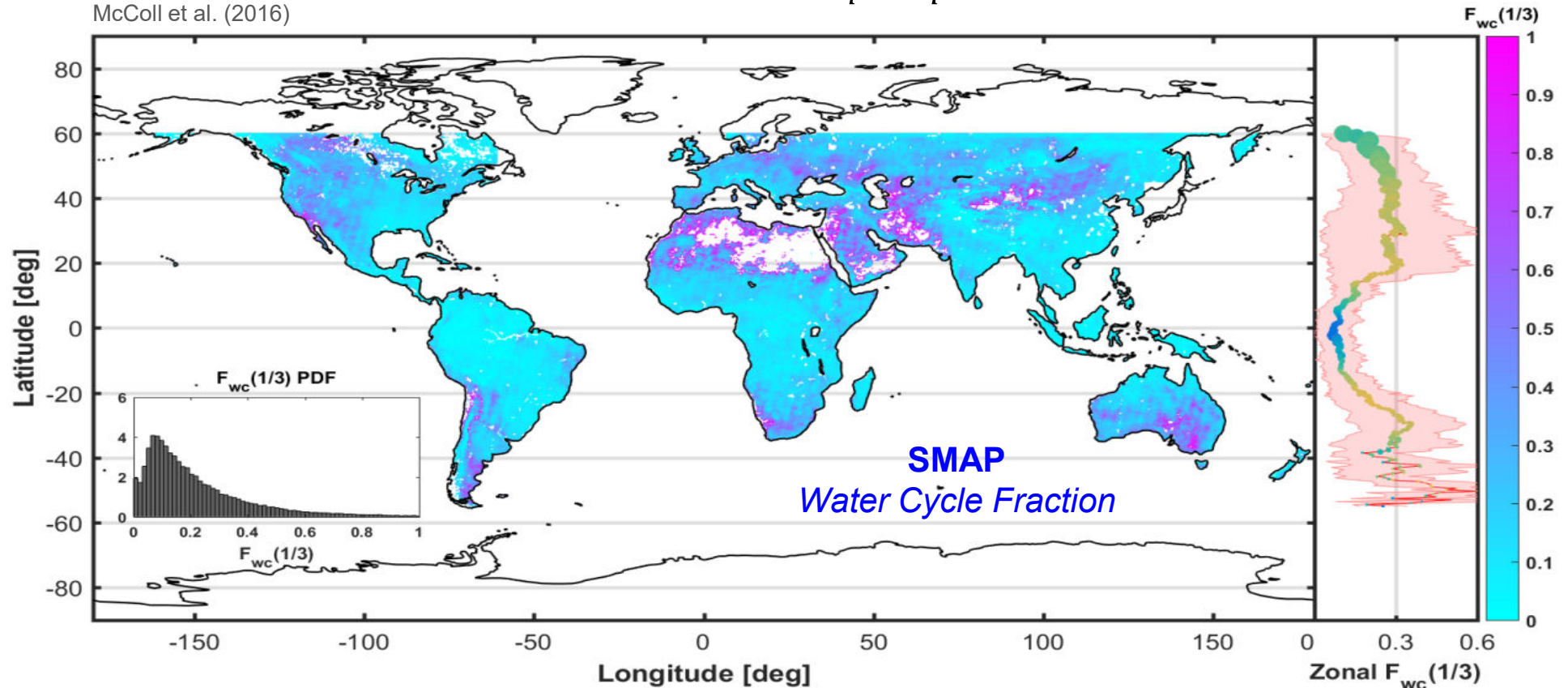
GLOBAL WATER BUDGET

Water Source	Water volume [Cubic kilometers]	Percent of total water
Oceans	1,338,000,000	96.5
Ice caps, Glaciers	24,064,000	1.74
Groundwater	23,400,000	1.7
Fresh	10,530,000	0.76
Saline	12,870,000	0.94
Ground Ice & Permafrost	300,000	0.022
Lakes	176,400	0.013
Fresh	91,000	0.007
Saline	85,400	0.006
Soil Moisture	16,500	0.001
Atmosphere	12,900	0.001
Swamp Water	11,470	0.0008
Rivers	2,120	0.0002
Biological Water	1,120	0.0001
Total	1,386,000,000	100

WATER CYCLE FRACTION

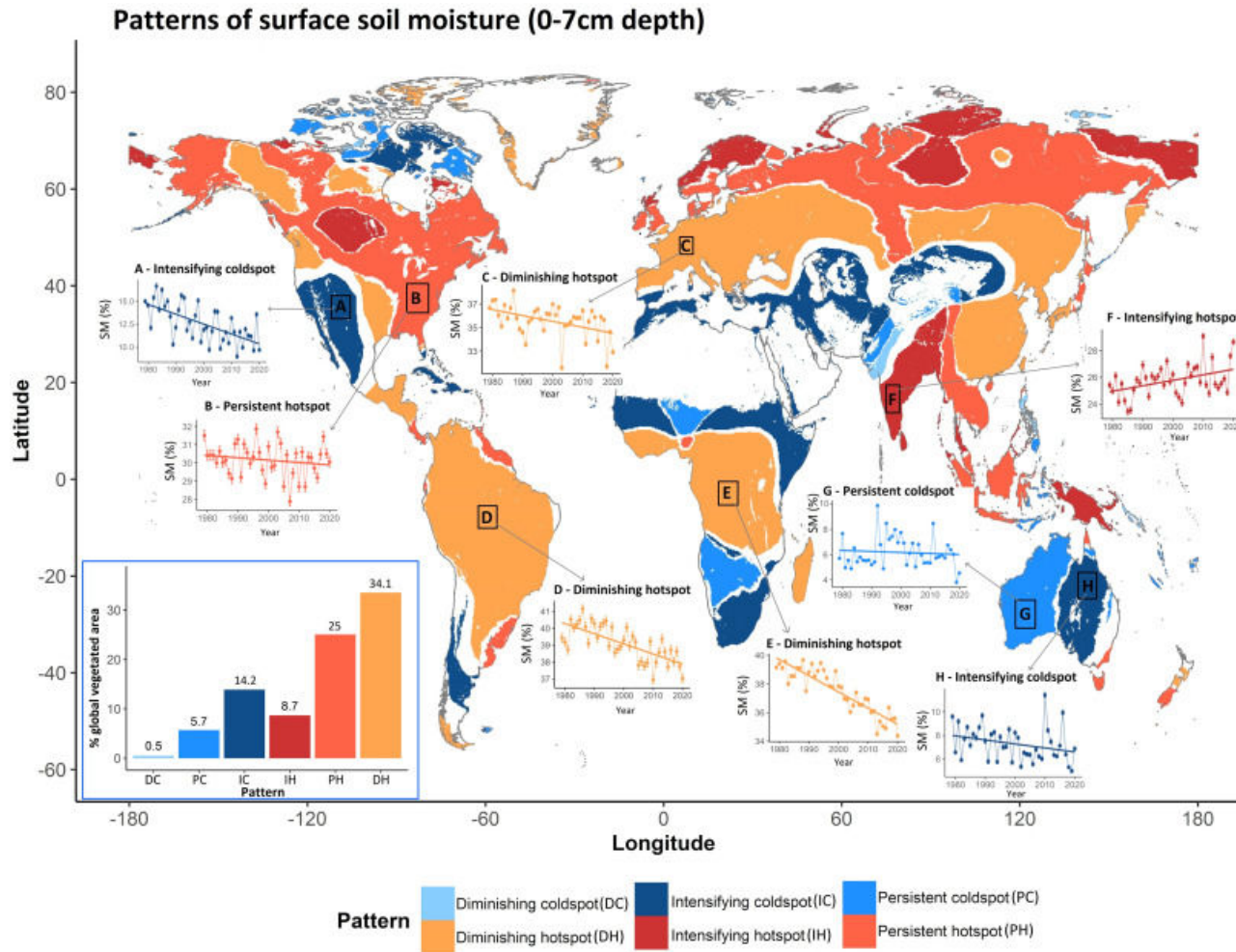
$$\text{Water Cycle Fraction} = \frac{\text{storage}_{t+1} - \text{storage}_t}{\text{precipitation}}$$

McColl et al. (2016)



Even though soil moisture is 0.001% of the global *water budget*, it captures about 20% of the *water cycle*

BODENFEUCHTETRENDS

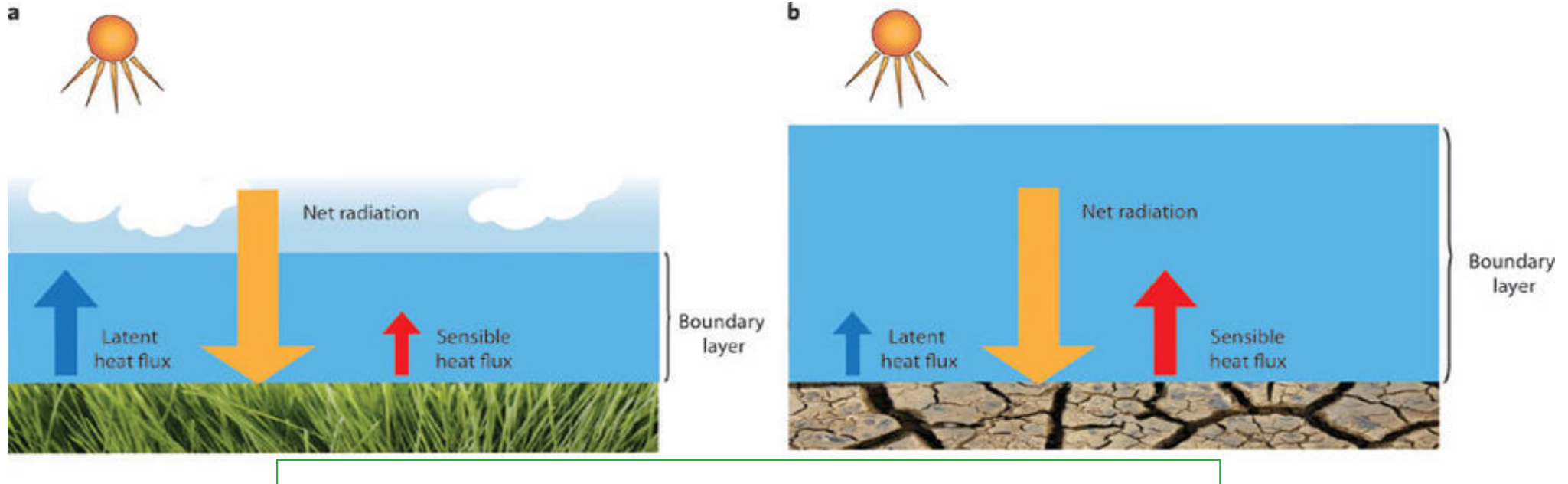


Lal et al., 2023



EINFLUSS DER BODENFEUCHTE

auf die untere Atmosphäre



Feuchte Böden:

- Geringerer fühlbarer Wärmefluss in die untere Atmosphäre
- Hoher latenter Wärmefluss (Wolkenbildung)
- Durch Kondensation Freisetzung von fühlbarer Wärme und weiterer Massenauftrieb

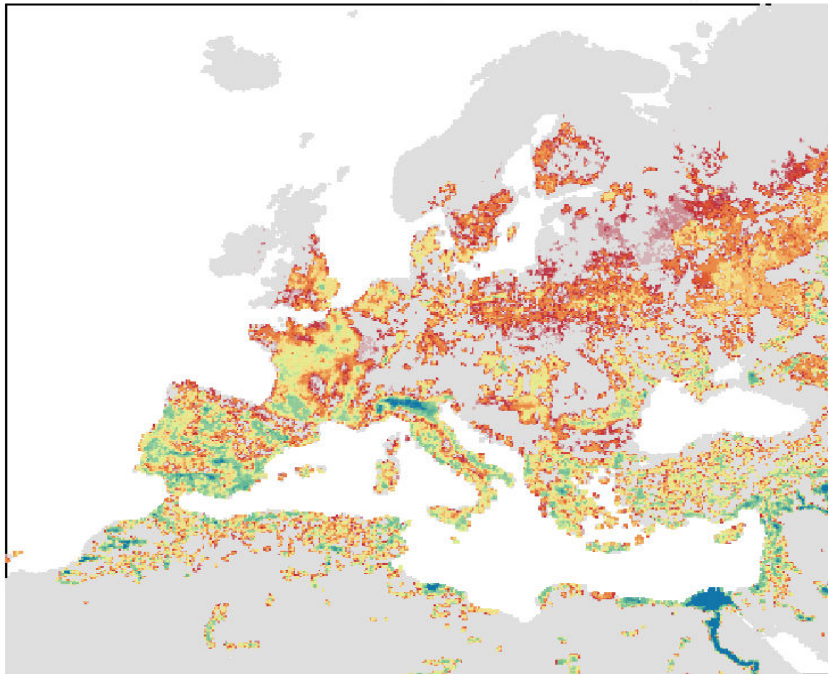
Trockene Böden:

- Hoher sensibler Wärmefluss in die untere Atmosphäre
- Geringerer latenter Wärmefluss (Energietransport durch Wasserdampf nach der Verdunstung)

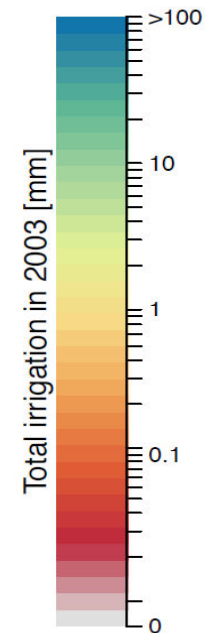
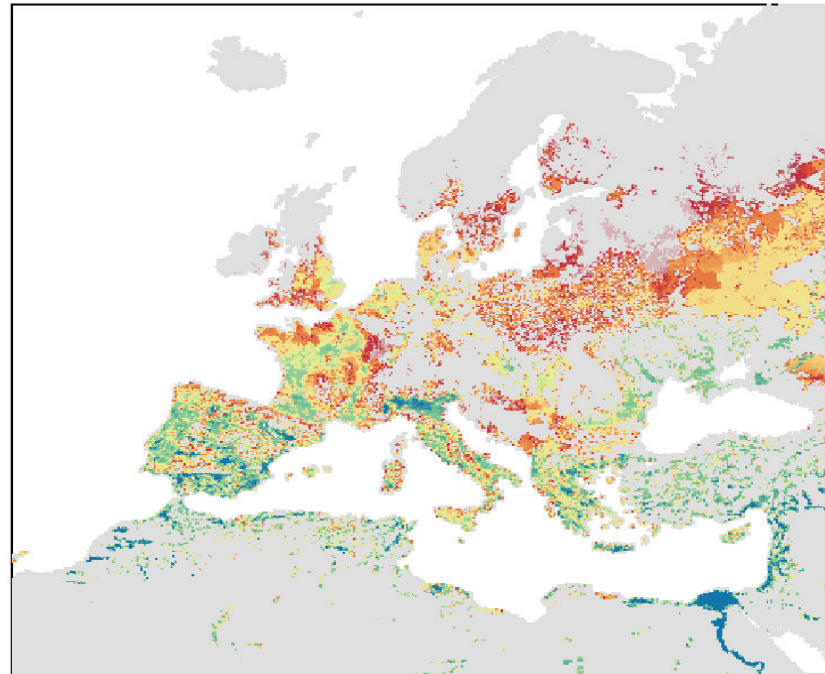
ANTHROPOG. EINFLUSS AUF DEN WASSERKREISLAUF

Beispiel für Bewässerung während der Hitzewelle 2003

Wada et al. (2012, 2016)



Siebert et al. (2010)



BODENFEUCHTE MESSEN

Aktive Mikrowellen:

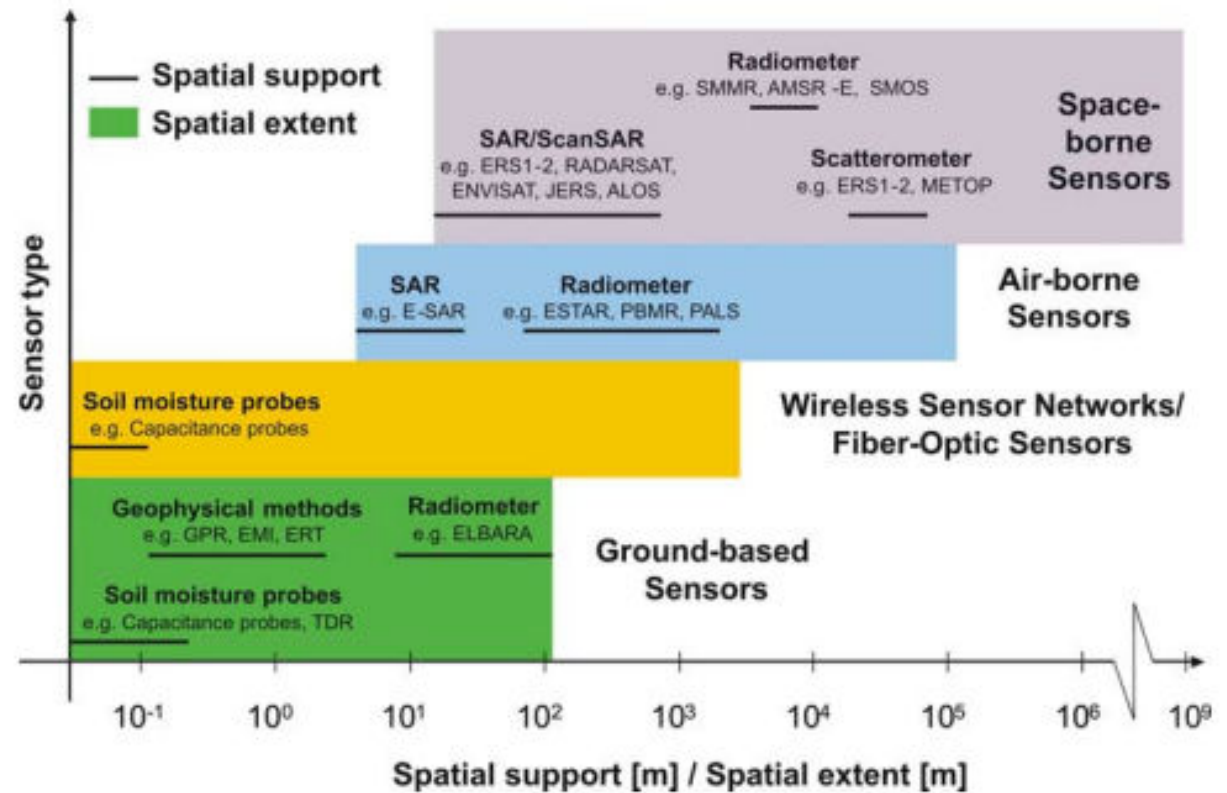
- Synthetic Aperture Radar
- Scatterometer

Passive Mikrowellen :

- Radiometer

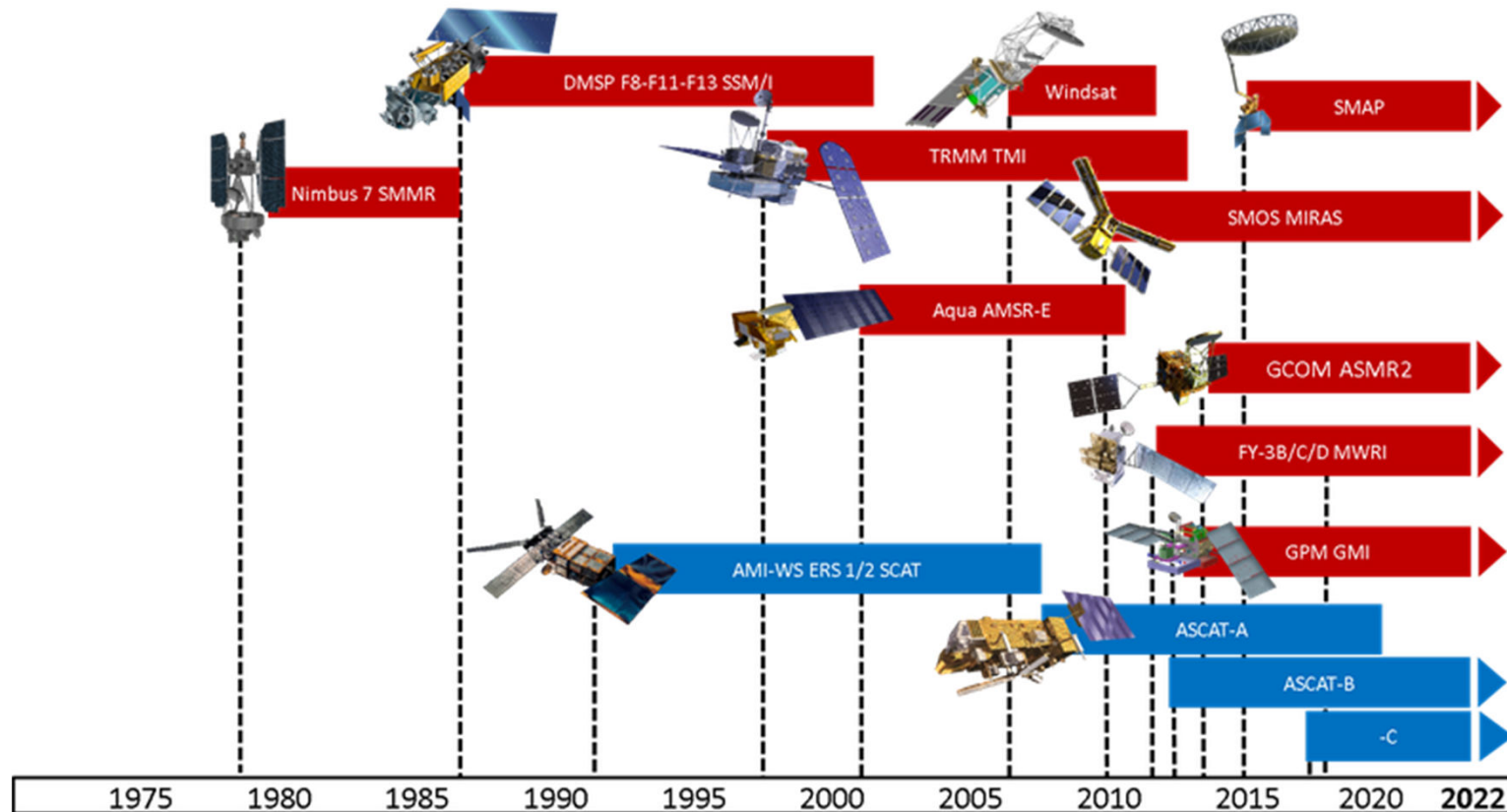
Optische Methoden:

- Synergistischer Nutzen von thermal and multispektral
- Hyperspektrale Methoden

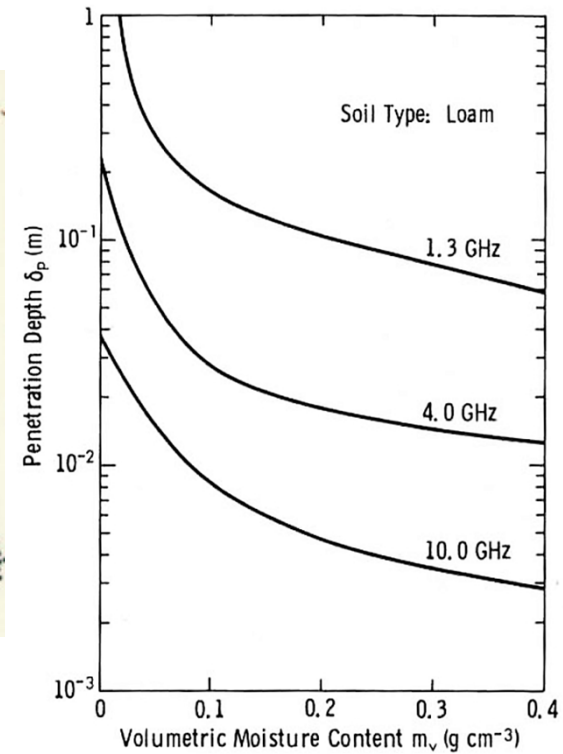
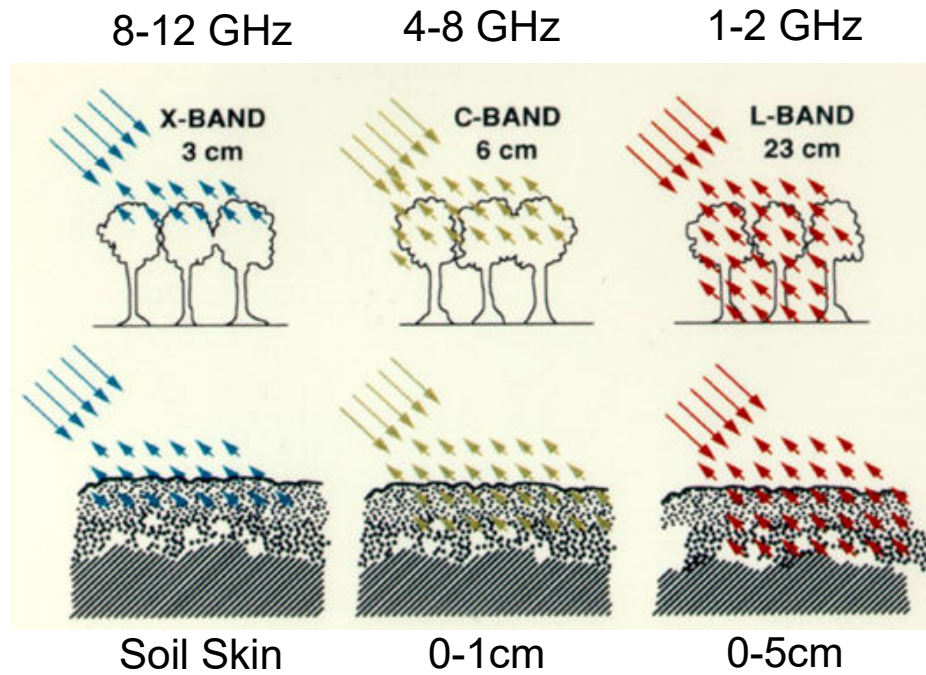


Vereecken et al. 2008

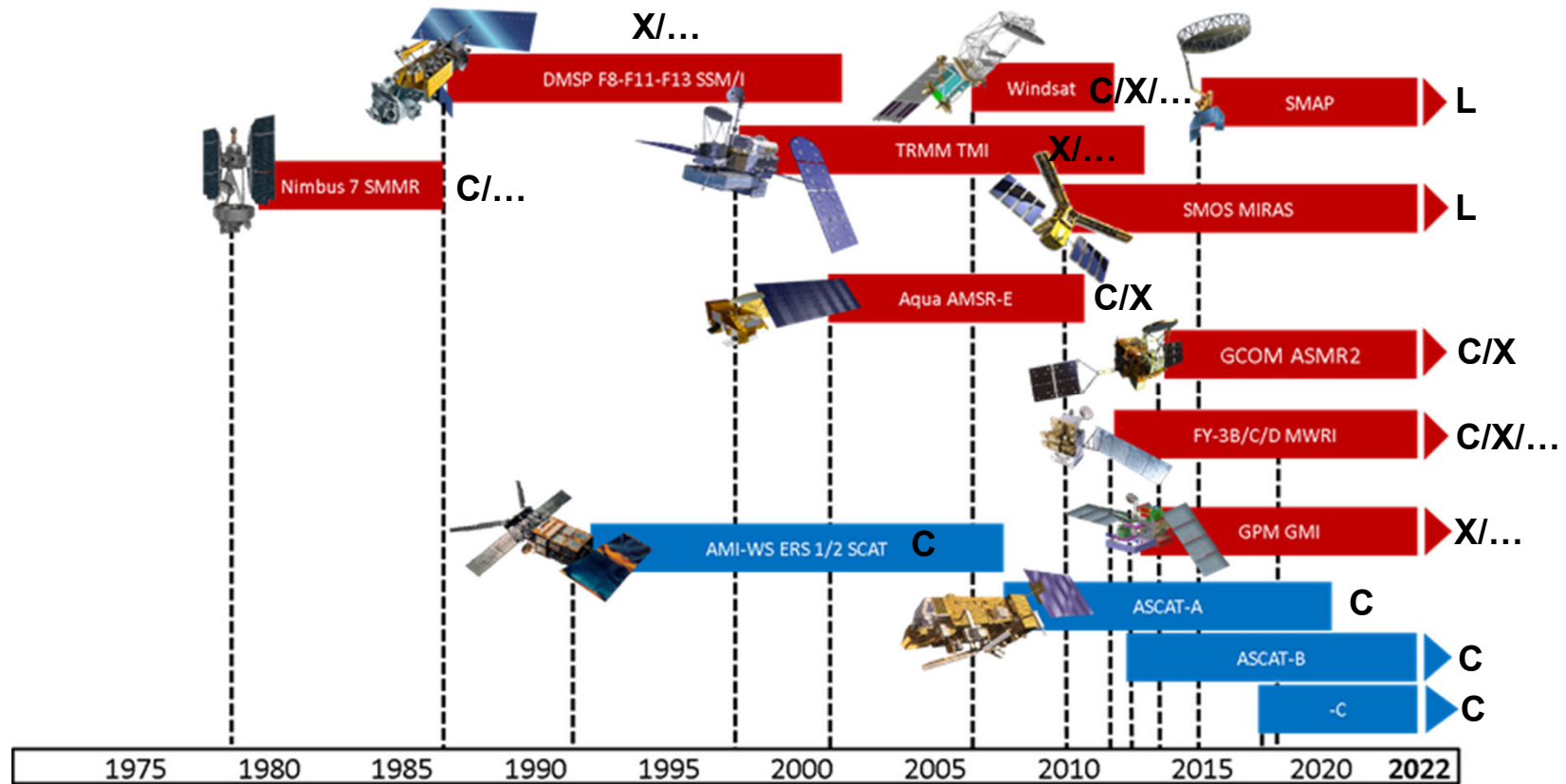
MICROWAVE MISSIONS FOR SOIL MOISTURE MONITORING



MICROWAVE FREQUENCIES



MICROWAVE MISSIONS FOR SOIL MOISTURE MONITORING

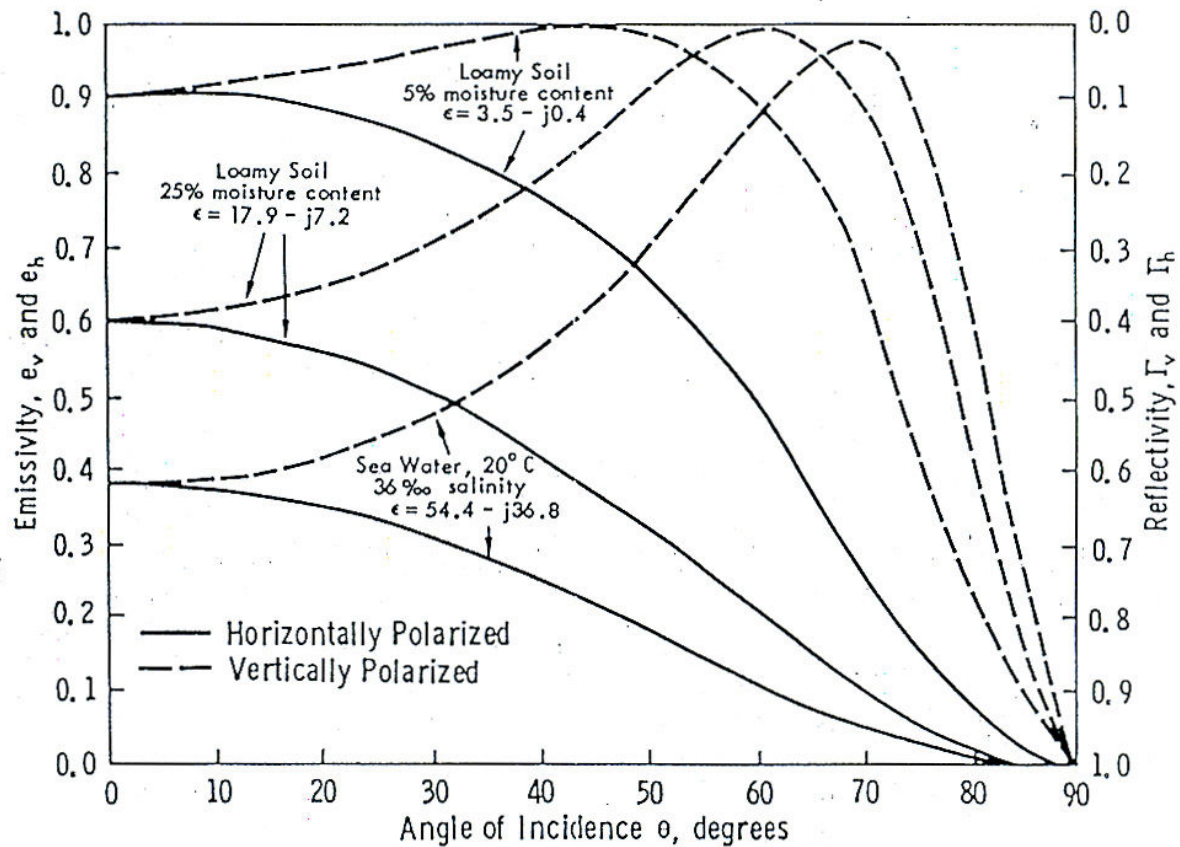


RADIOMETER

Faktoren, die die Genauigkeit der Bodenfeuchtemessung beeinflussen

- Vegetationsbedeckung
 - Dichte Vegetation (Mais, Wald) kann die Bodenoberfläche verdecken
 - Größere Wirkung bei kürzeren Wellenlängen
- Eigenschaften des Bodens
 - Dichte und Beschaffenheit
 - Oberflächenrauigkeit
- Einfallswinkel
- Informationen zur Bodentemperatur
- Umlaufbahn
- Modell
- ...

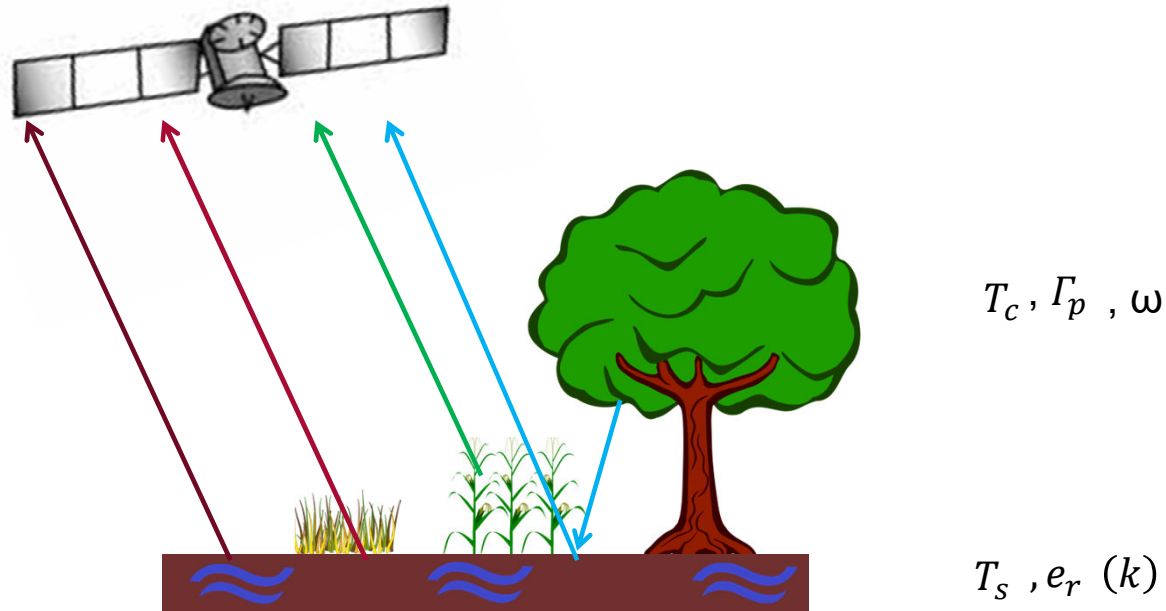
ABHÄNGIGKEIT VOM EINFALLSWINKEL



Emissivity of flat surfaces vs. angle (computations)
 Ulaby et al. 1982

BRIGHTNESS TEMPERATURE CONTRIBUTIONS

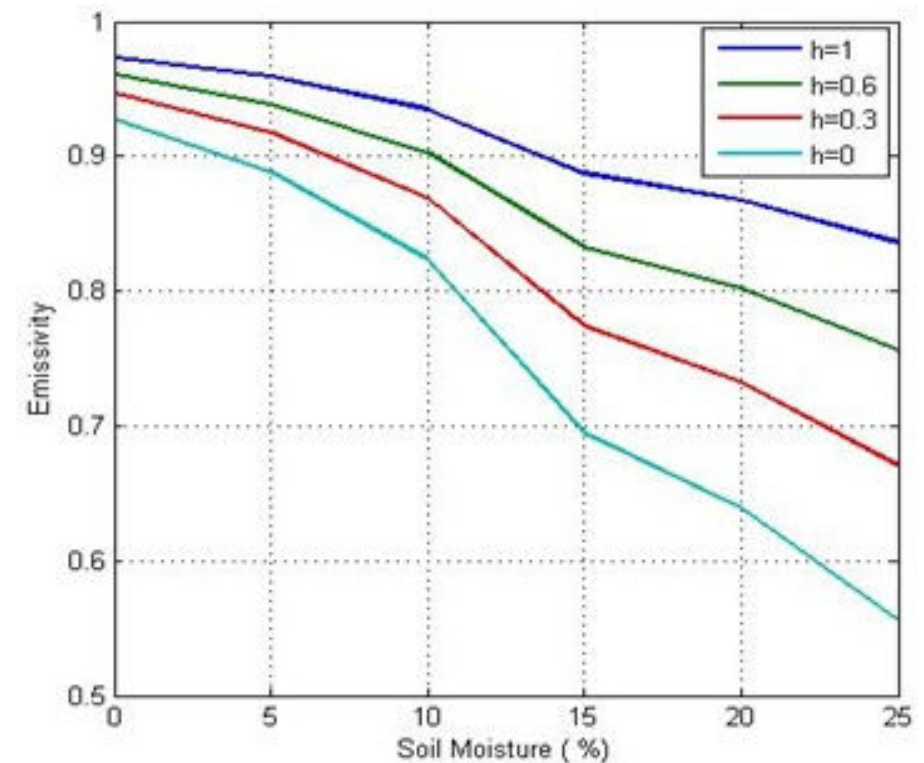
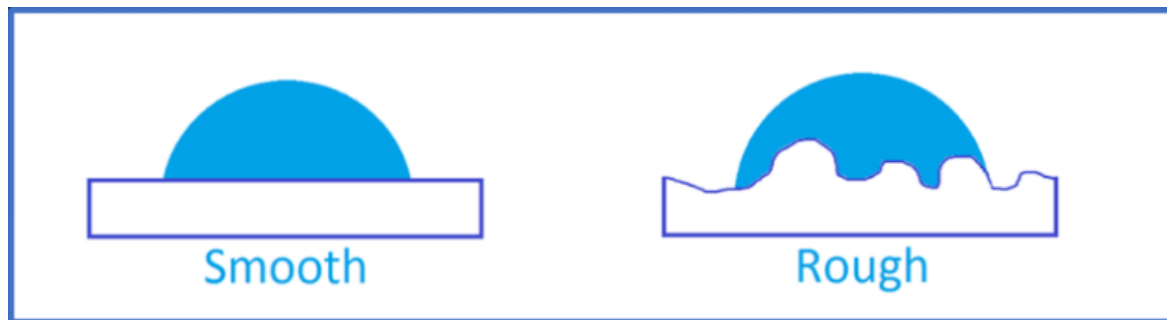
Measuring the natural microwave emission



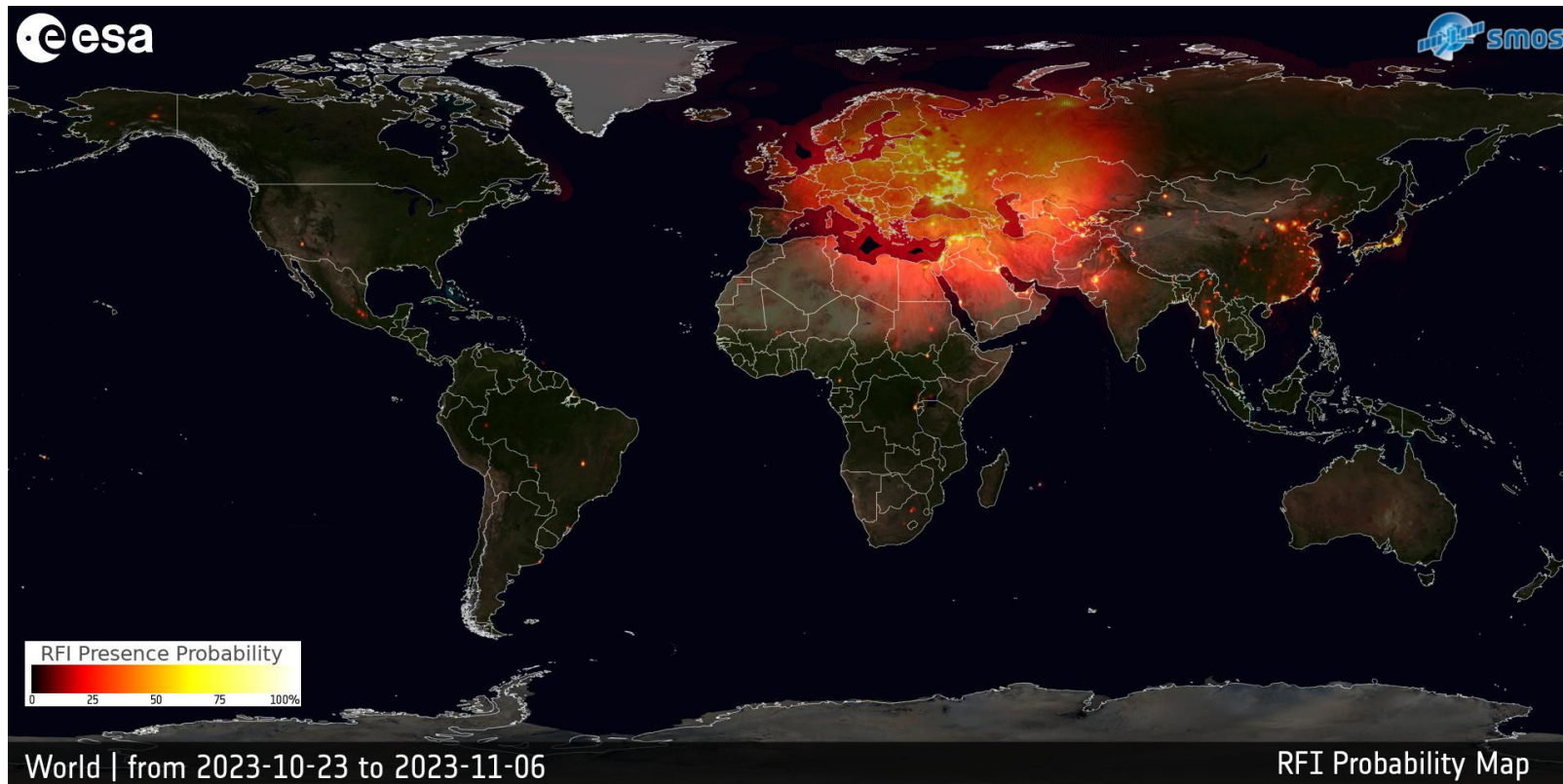
$$TB_p = e_r T_s \Gamma_p + (1 - \omega_p) T_c (1 - \Gamma_p) + (1 - \omega_p) T_c (1 - \Gamma_p) (1 - e_r) \Gamma_p$$

BODENOBERFLÄCHENRAUHIGKEIT

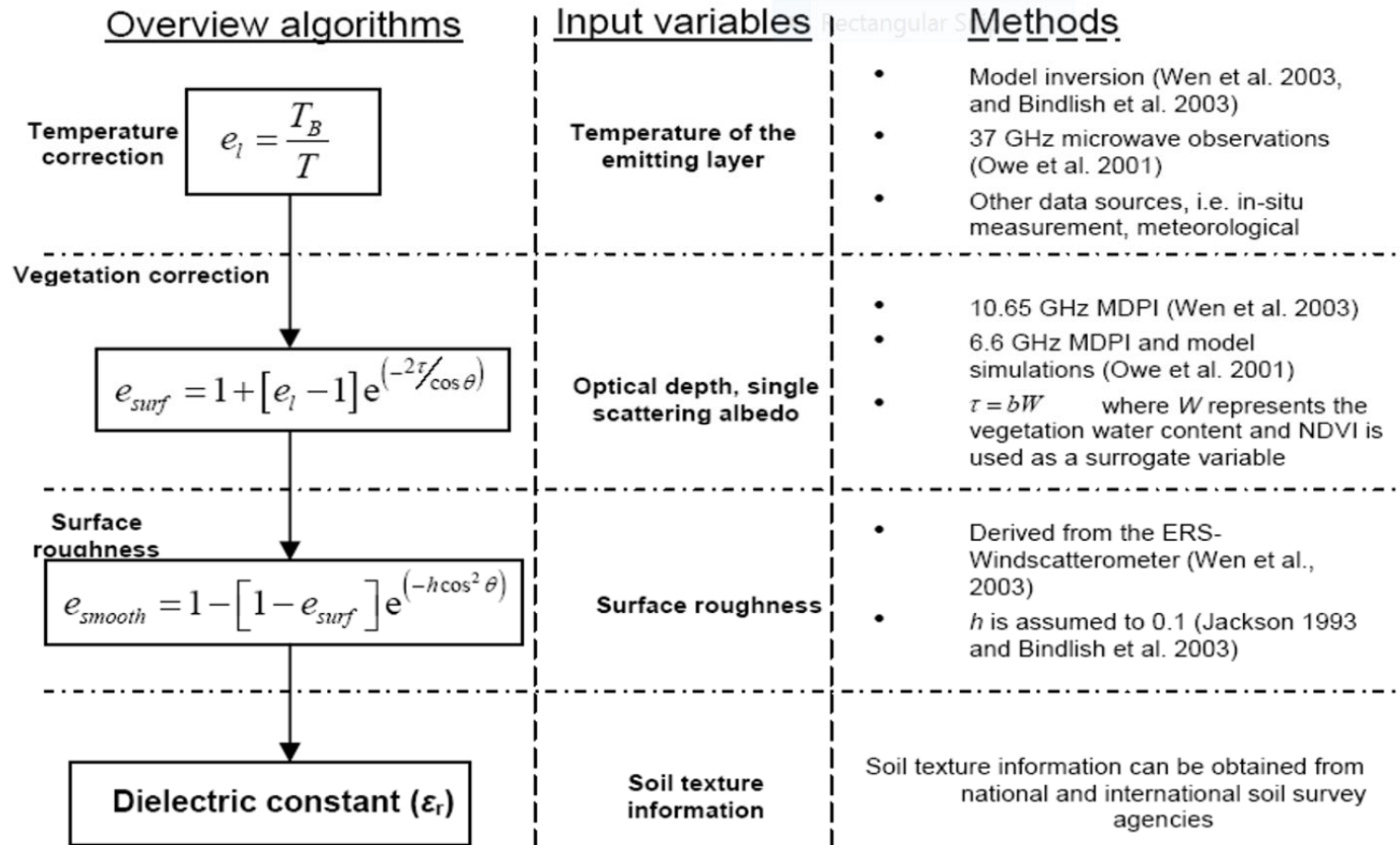
- Raue Materialien haben eine größere Oberfläche
- Größere Fläche, die Energie abstrahlen kann
- Wird in der Regel als konstant angesehen



RADIO FREQUENCY INTERFERENCE (RFI) PROBABILITY



BERECHNUNG DER BODENFEUCHE



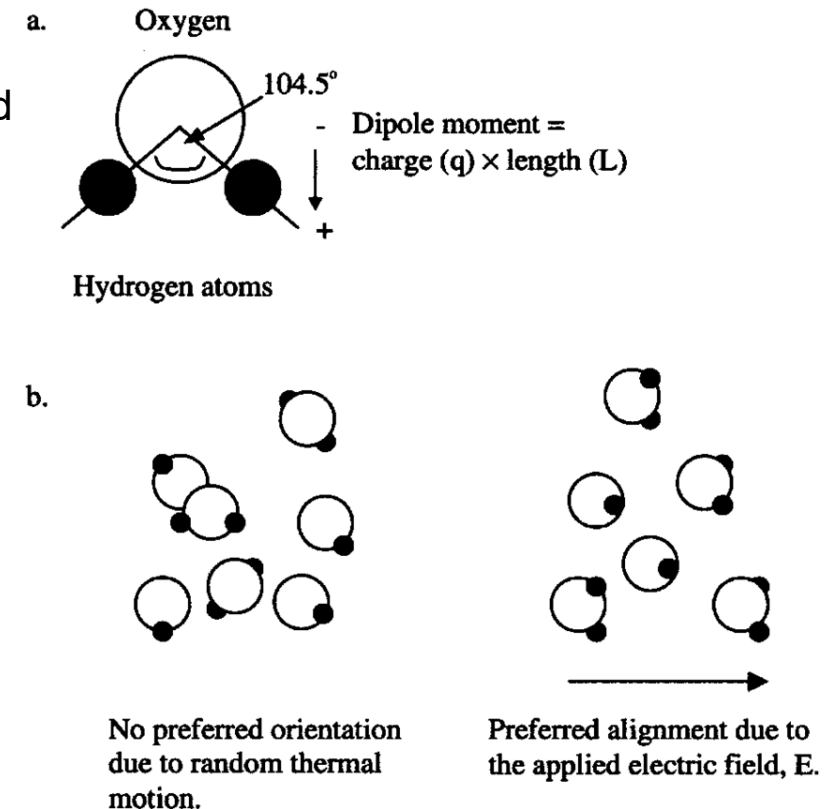
DIELEKTRISCHE KONSTANTE

Die Dielektrizitätskonstante ϵ ergibt sich aus den Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Wellen und Materialeigenschaften und bestimmt die relative Geschwindigkeit, mit der sich ein elektromagnetisches Signal durch ein Material ausbreitet.

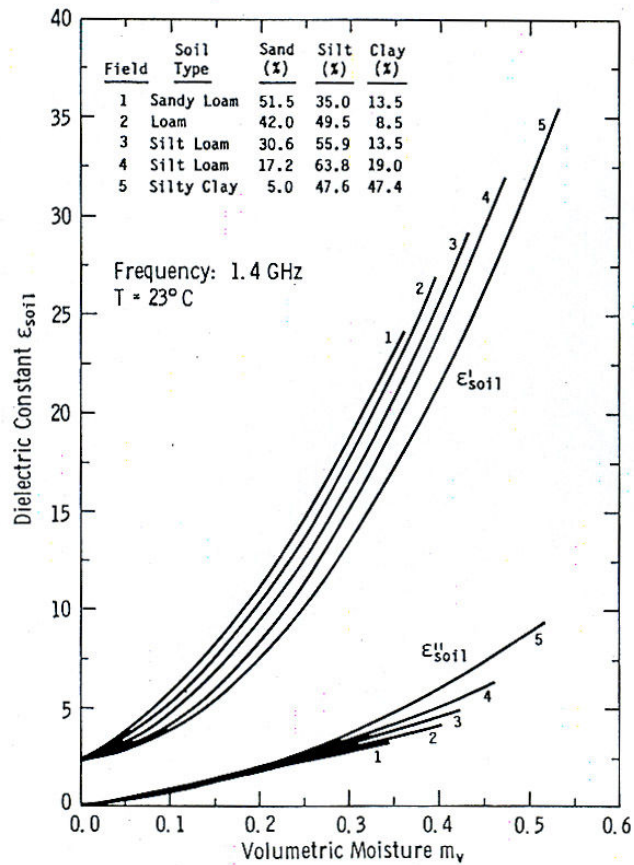
- Ein niedriges ϵ führt zu einer schnellen Signalausbreitung (schnellstes $\epsilon=1$)
- Ein hohes ϵ führt zu einer langsamen Signalausbreitung

Der große Unterschied zwischen der Dielektrizitätskonstante von Wasser und anderen Bodenbestandteilen führt dazu, dass die Dielektrizitätskonstante des Bodens durch den Volumenanteil des flüssigen Wassers dominiert wird, weshalb dielektrische Messungen ideal für die Bestimmung des Wassergehalts im Boden sind.

Wasser	81
Bodenmaterial	3-5
Luft	1



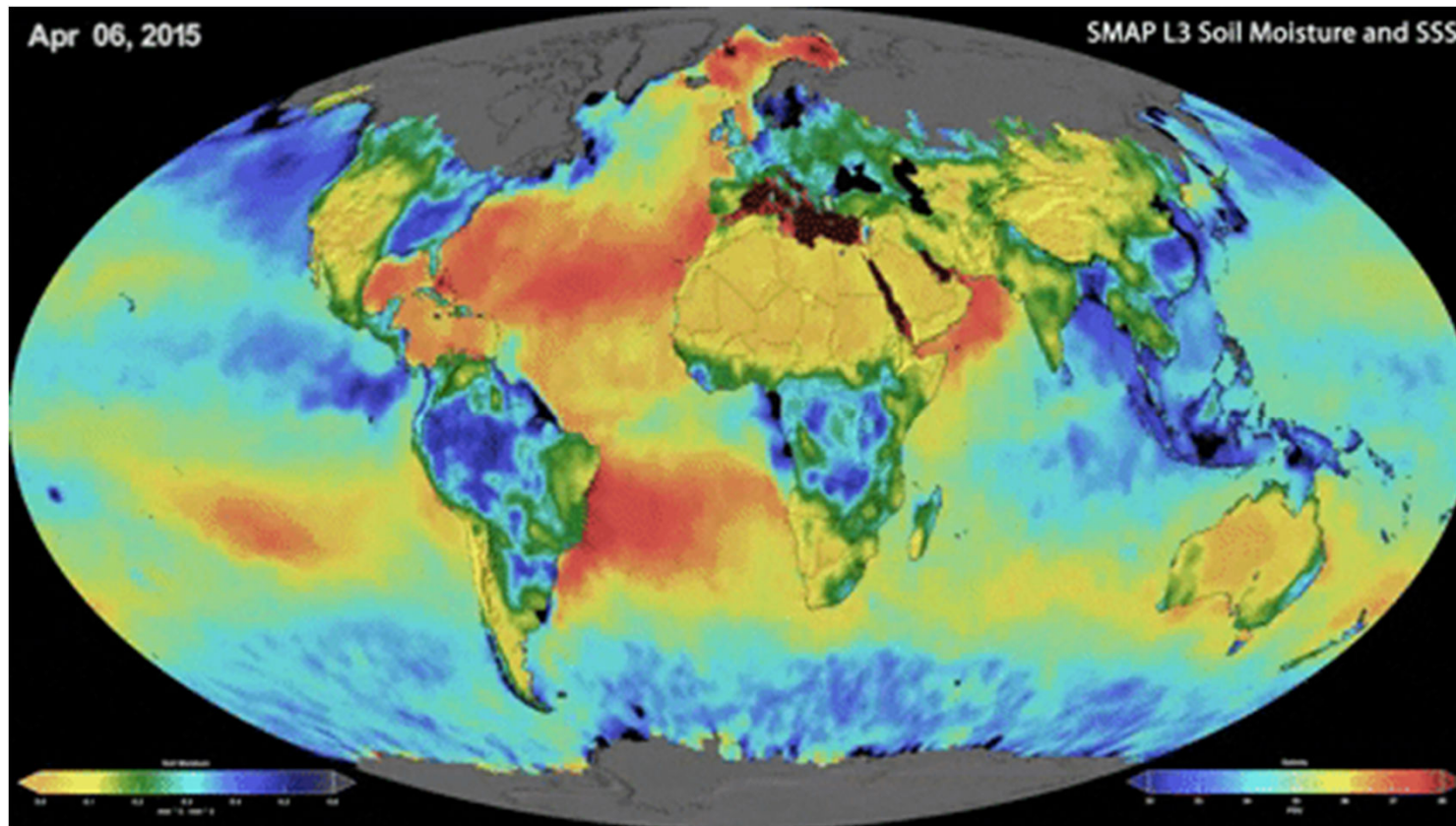
DIELEKTRISCHE MISCHUNG



Kontrast zwischen der Dielektrizitätskonstante von Wasser (80) und trockenem Boden (<5) führt zu einem Emissionsgradkontrast von 0,4 für Wasser und 0,95 für trockenen Boden

Real- und Imaginärteil der Dielektrizitätskonstante des Bodens als Funktion der volumetrischen Bodenfeuchte bei 1,4 GHz (L-Band)
(Ulaby et al. 1982)

NASA SMAP SOIL MOISTURE



SOIL MOISTURE ACTIVE PASSIVE (SMAP)

NASA

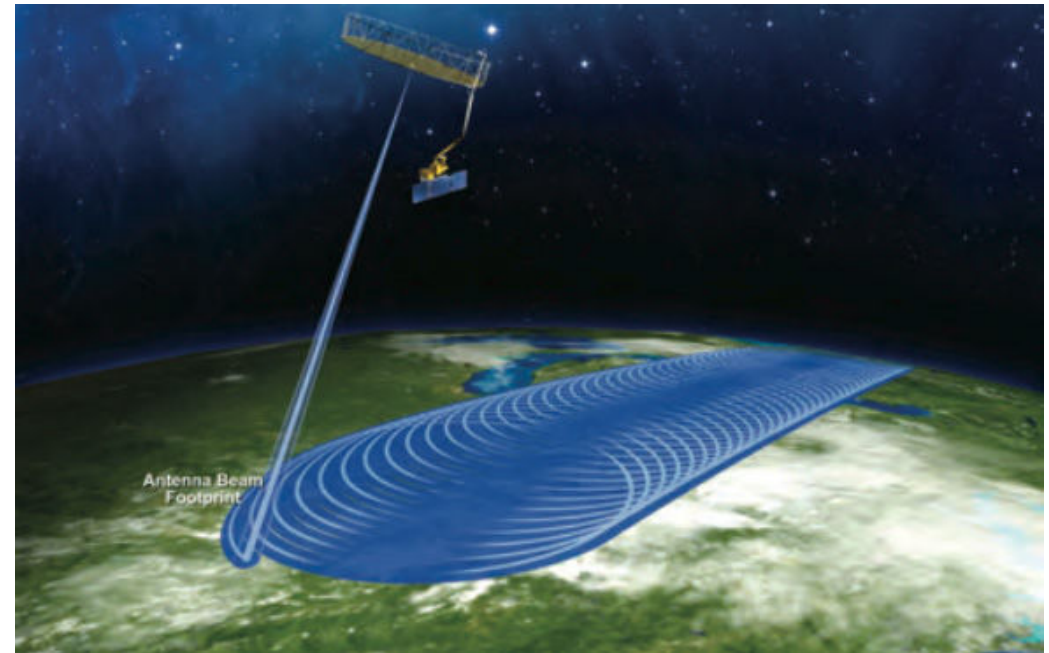
- Launch: January 2015
- Swath width: 1000 km
- Orbit: Polar, sun-synchronous

Active:

- Frequency: 1.26 GHz
- Polarizations: ~~VV, VH, HV (not fully symmetric)~~
- Relative accuracy (2 km grid): ~~1.5 dB (HH and VV), 1.5 dB (HV)~~
- Spatial Resolution: SAR: 1-3 km (over outer 70% of swath)

Passive

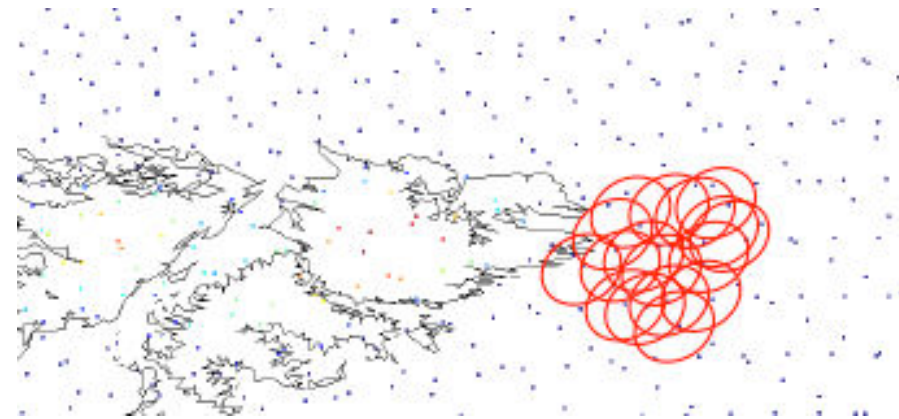
- Frequency: 1.41 GHz
- Polarizations: H, V, 3rd & 4th Stokes
- Relative accuracy (30 km grid): 1.3 K
- Spatial Resolution: Radiometer (IFOV): 39 km x 47 km



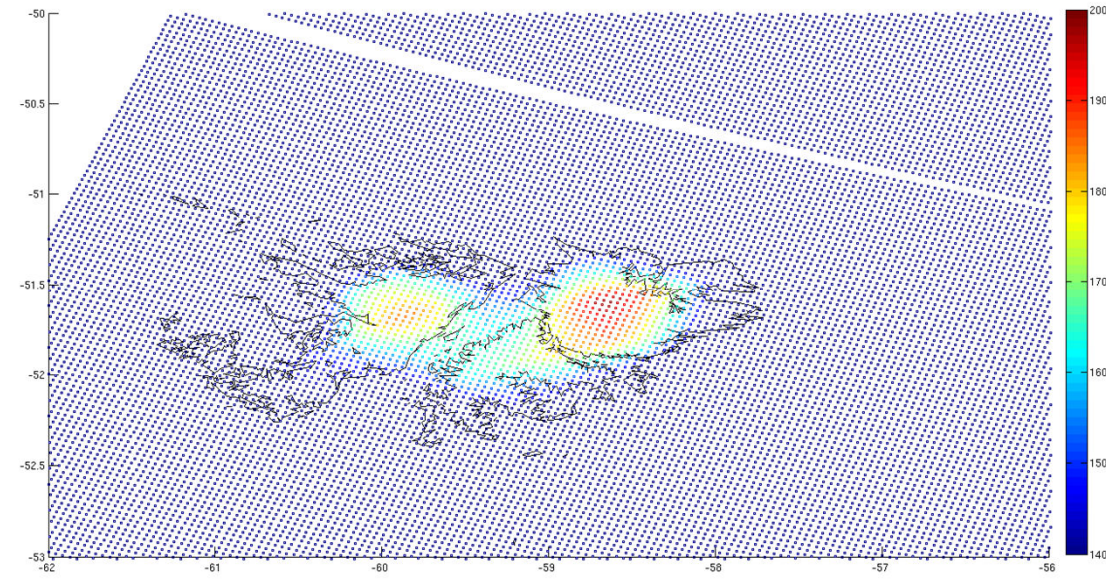
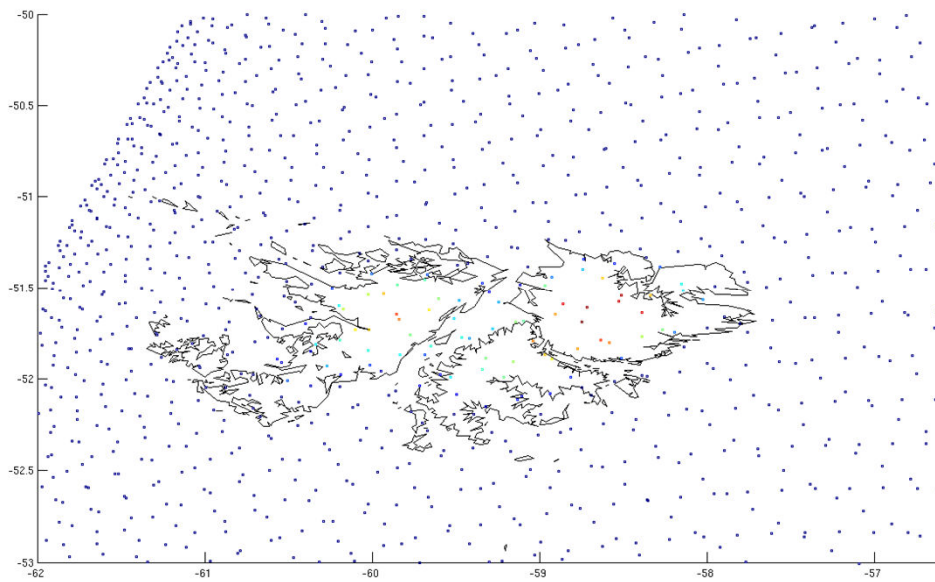
SMAP ENHANCED 9KM PRODUCT

It is not 9km!!!

- Individual -3dB footprints (50% power) are at ~32km
- Take advantage of SMAP oversampling
- Backhus-Gilbert Optimal Interpolation
- Transferred to 9km grid

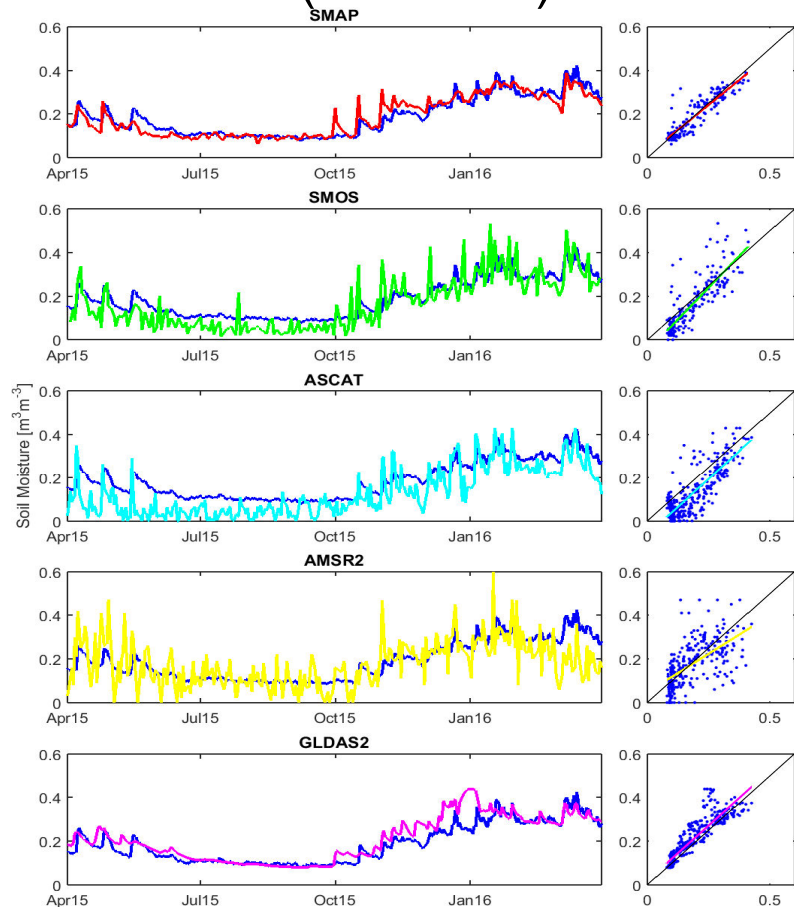


Falkland Inseln



SATELLITE PRODUCT VALIDATION

COSMOS Tonzi Ranch (California)



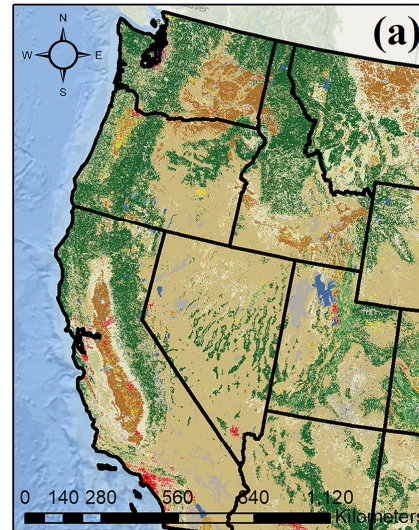
High accuracy, with SMOS very sensitive to rain events (different vertical depth)

Relatively high noise level

GLDAS2 simulations produce already high quality results

SOIL MOISTURE DOWNSCALING

by machine learning

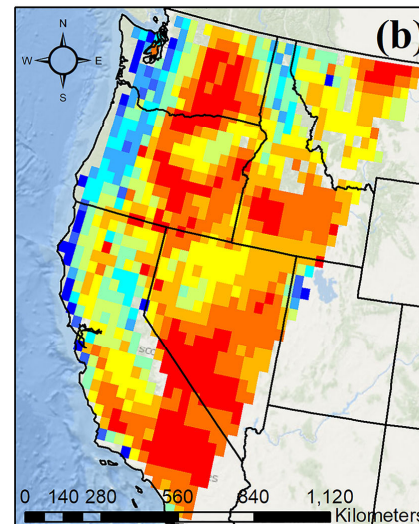


USA NLCD 2011

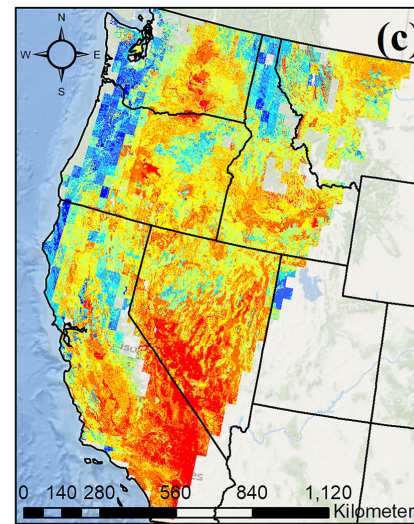
Class Name

	Open Water		Deciduous Forest
	Perennial Snow/Ice		Evergreen Forest
	Developed, Open Space		Mixed Forest
	Developed, Low Intensity		Shrub/Scrub
	Developed, Medium Intensity		Herbaceous
	Developed, High Intensity		Hay/Pasture
	Barren Land		Cultivated Crops
			Woody Wetlands
			Wetlands

Service Layer Credits: Sources: Esri, GEBCO, NOAA, National Geographic, Garmin, HERE, Geonames.org, and other contributors
Source: USGS, Esri



Original SMAP



Rescaled SMAP

Soil Moisture (m^3/m^3)

	0.02 - 0.05
	0.05 - 0.09
	0.09 - 0.12
	0.12 - 0.15
	0.15 - 0.19
	0.19 - 0.24
	0.24 - 0.30
	0.30 - 0.39
	0.39 - 0.46
	0.46 - 0.55

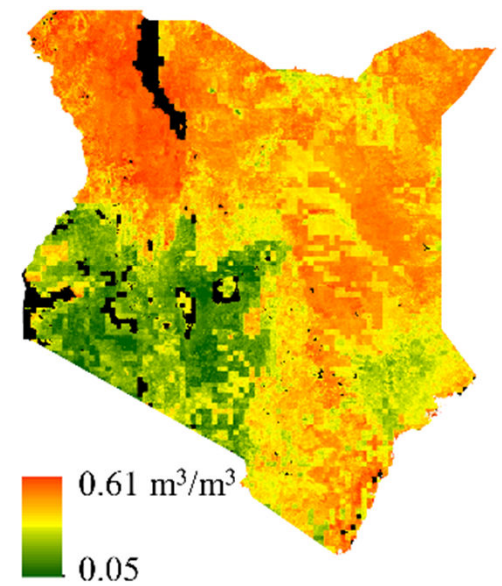
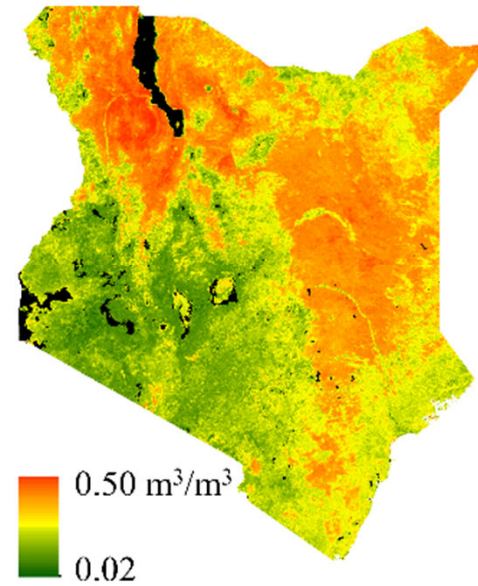
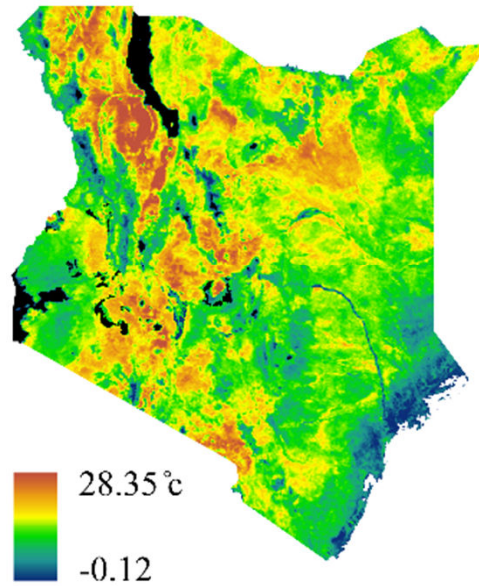
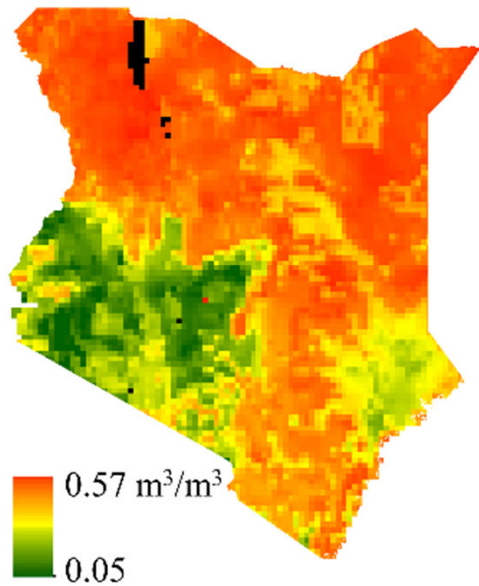
DOWNSCALING SOIL MOISTURE PRODUCTS

(a) SPL4SMGP_9 km

(b) $\Delta T_s : LST_{\text{day}} - LST_{\text{night}}_{-1 \text{ km}}$

(c) RFR SM_1 km

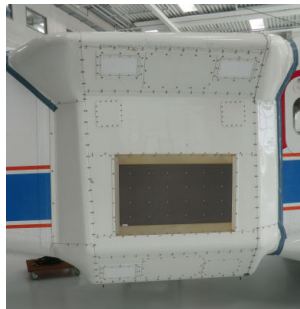
(d) RFR SM^C_1 km



AIRBORNE ANALYSIS

Testing of algorithms before SMAP launch

Combination of PLMR2 and DLR F-SAR onboard the Dornier DO228 aircraft



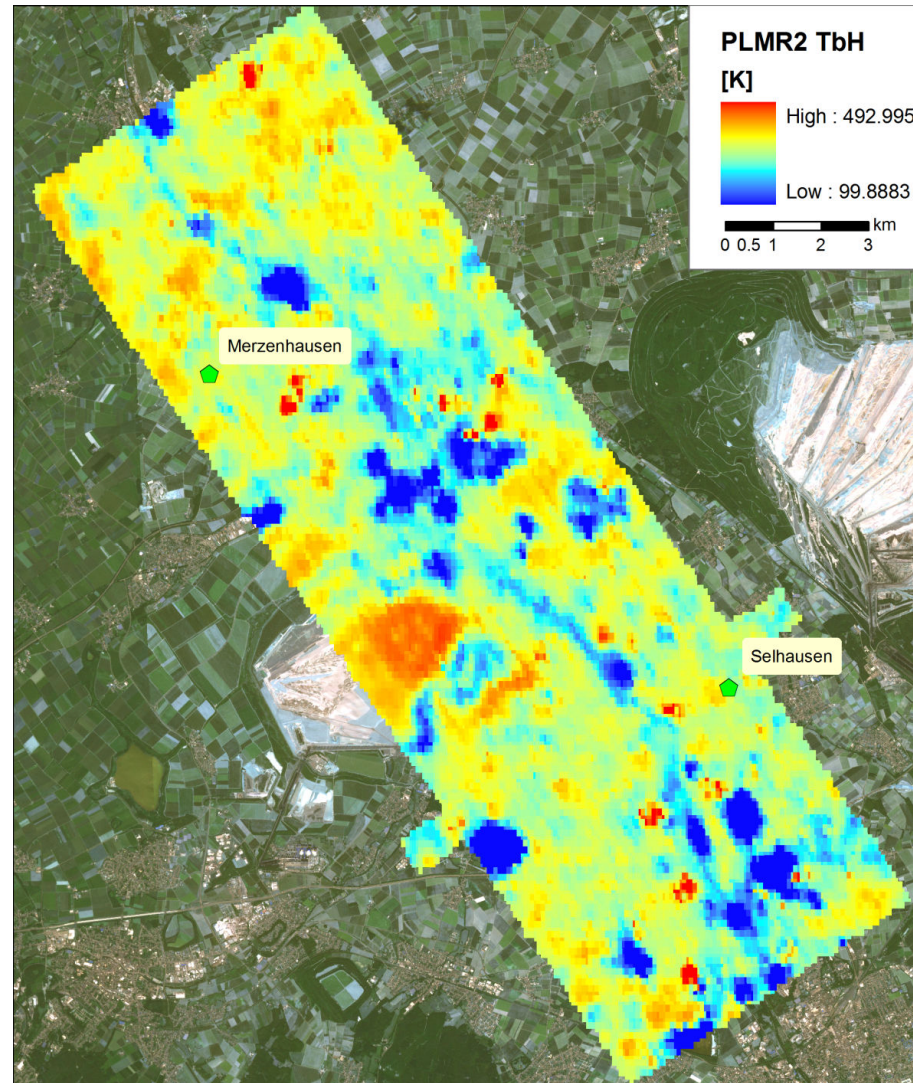
- F-SAR is able to operate in 4 frequency bands (X, C, L and P)
- Dual (F-SAR) channel operation



- Polarisation: Dual linear (V and H)
- Incidence angles: +/- 8°, +/-22°, +/- 38° @ pushbroom

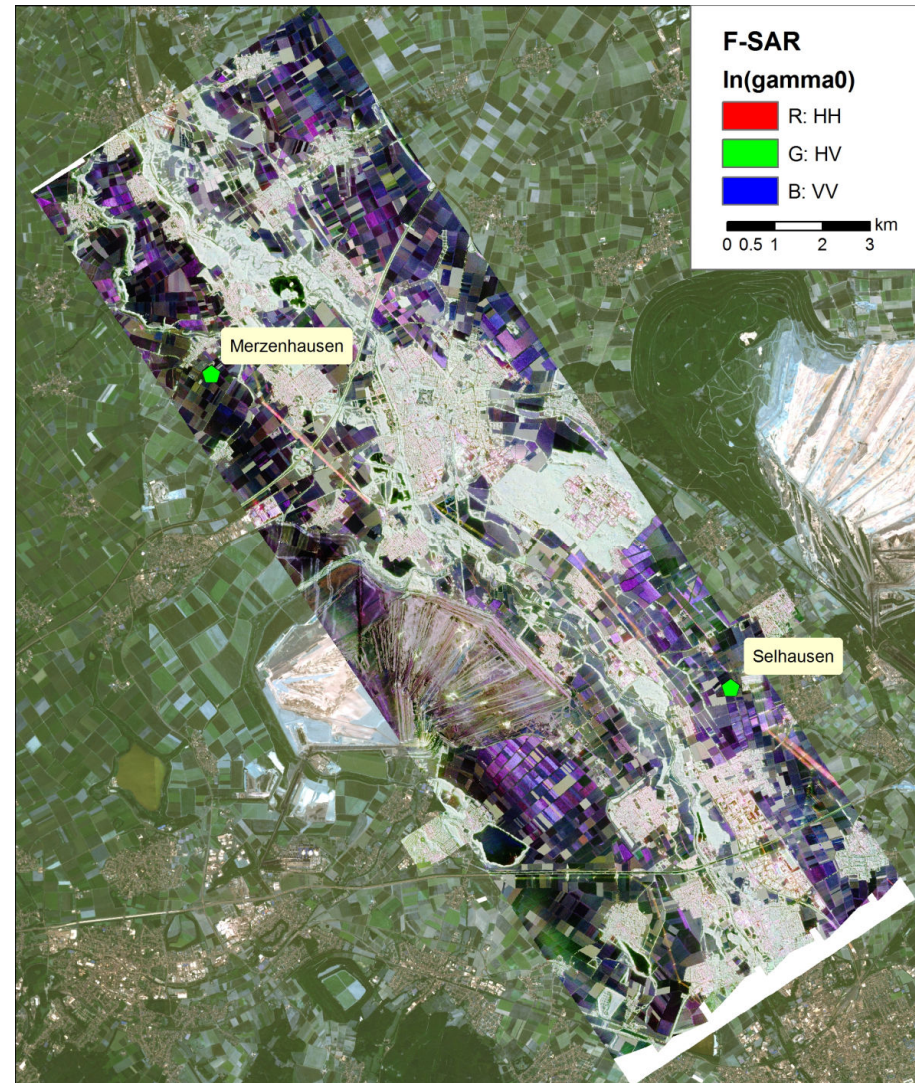
AIRBORNE ANALYSIS

Testing of algorithms before SMAP launch



AIRBORNE ANALYSIS

Testing of algorithms before SMAP launch



AIRBORNE ANALYSIS

Testing of algorithms before SMAP launch

- Disaggregation of radiometer brightness temperatures
- (Das et al. 2014):

$$Tbv(M) = Tbv(C) + \beta_2((\overline{\sigma v_{active}(M)} - \overline{\sigma v_{active}(C)})) + \Gamma(\overline{\sigma hv_{active}(M)} - \overline{\sigma hv_{active}(C)}))$$

C: Coarse scale

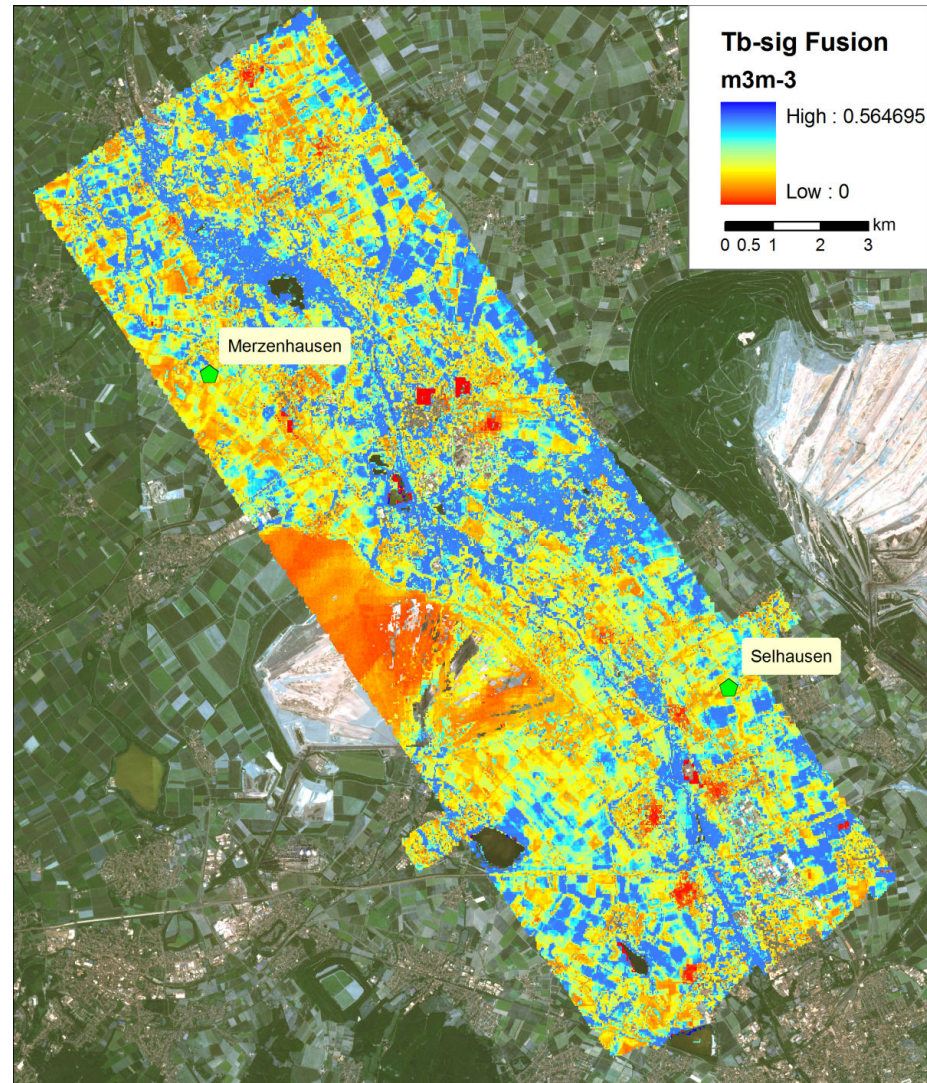
M: Medium scale

Tb: Brightness temperature

σ_{active} : Radar backscatter

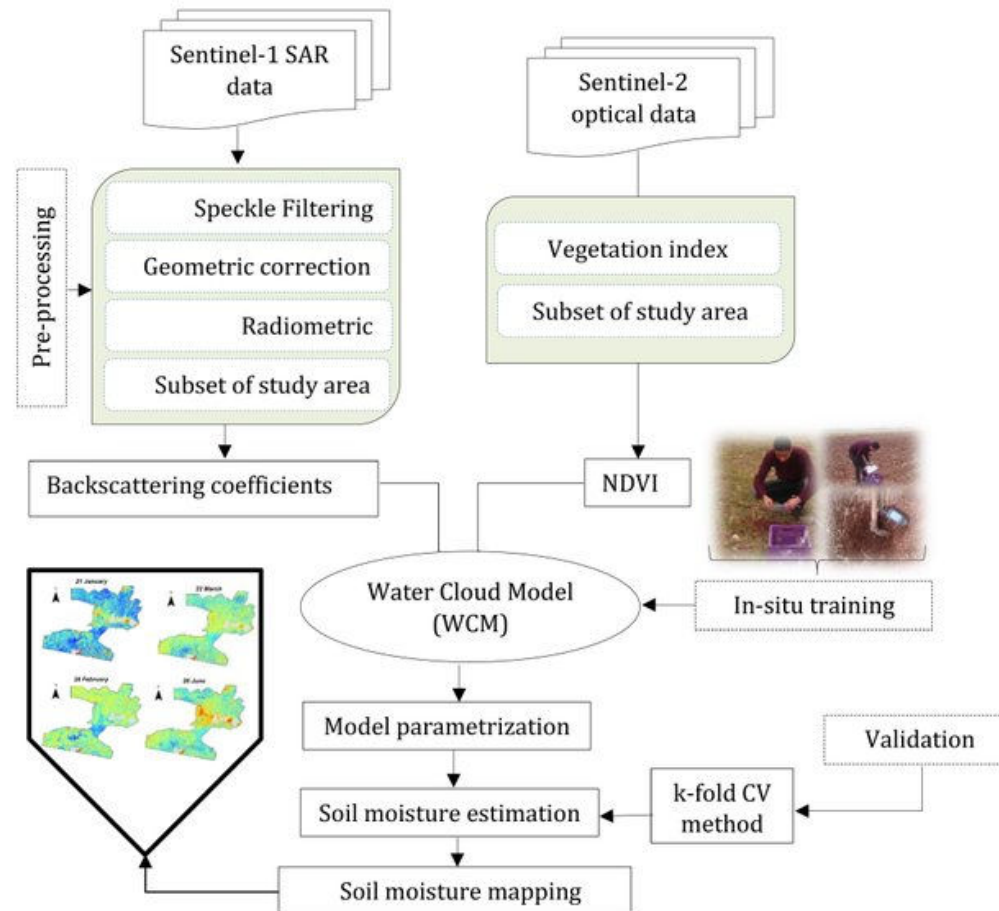
β_2 : Scaling parameter

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



SAR-ONLY SOIL MOISTURE

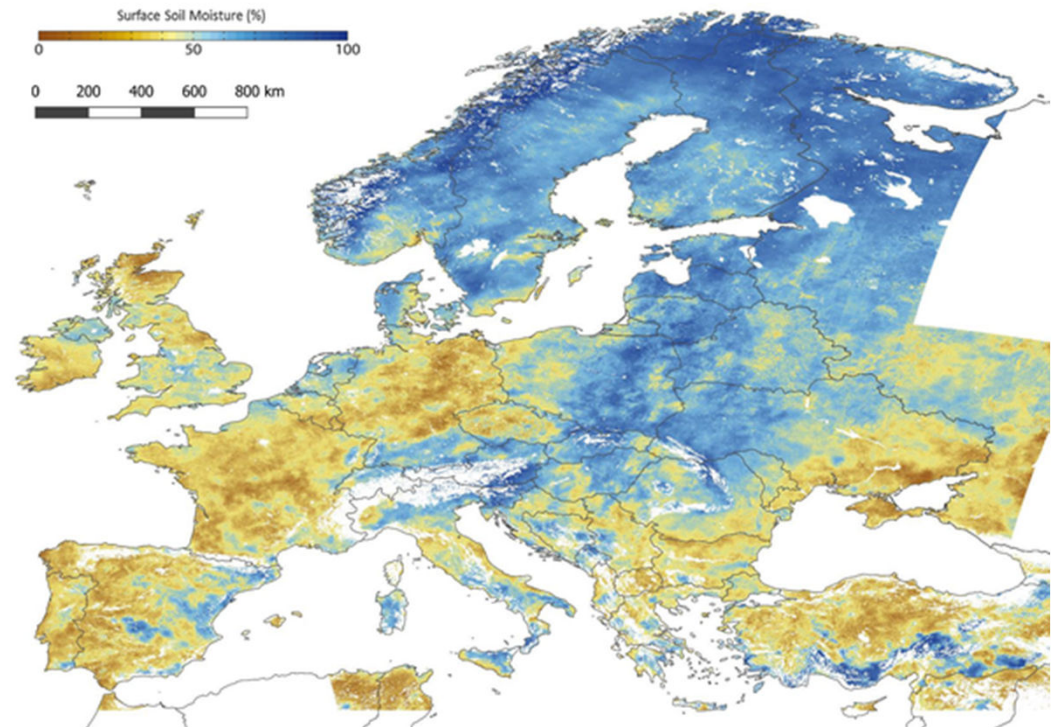
Water cloud model, a typical implementation



COPERNICUS GLOBAL LAND SERVICE SOIL MOISTURE

Sentinel-1

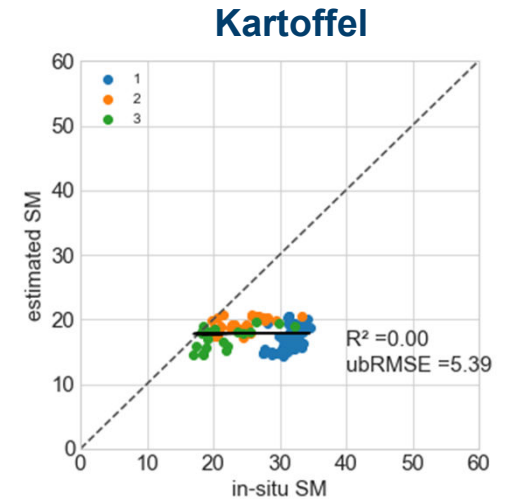
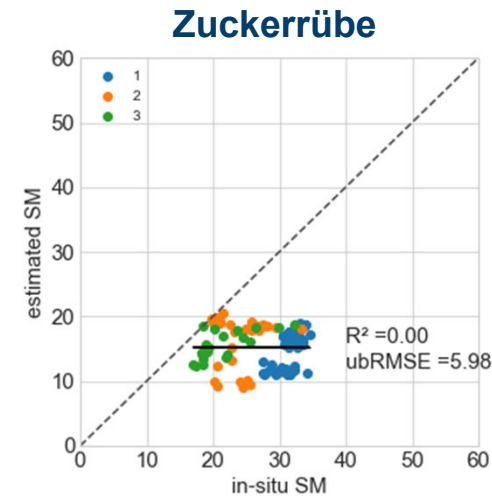
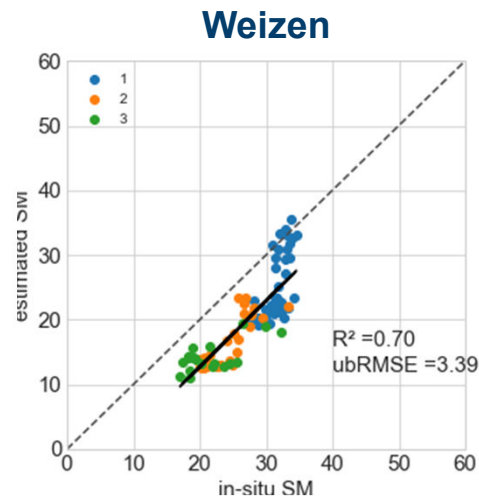
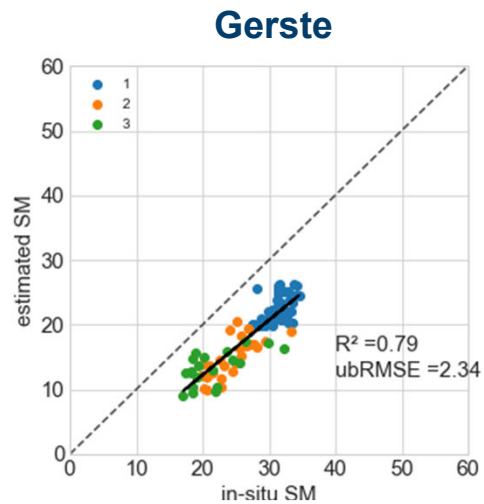
- 2015 – present
- Europe only
- Soil water index
- Input Sentinel-1 C-band SAR backscatter values are terrain geo-corrected and radiometrically calibrated.
- Change detection model is applied to model long term dry and wet soil conditions.
- Backscatter is normalized to reference angle of 40
- Relative surface soil moisture, in % saturation, is derived by linearly scaling the angle-normalized backscatter between the lowest/highest values at each location.
- Relative SSM can be further translated to volumetric soil moisture by using porosity information.



BODENFEUCHTE AUS C- UND L-BAND SAR

Einfluss der Pflanzenstruktur (ESA-JAXA-Kooperation, Selhausen)

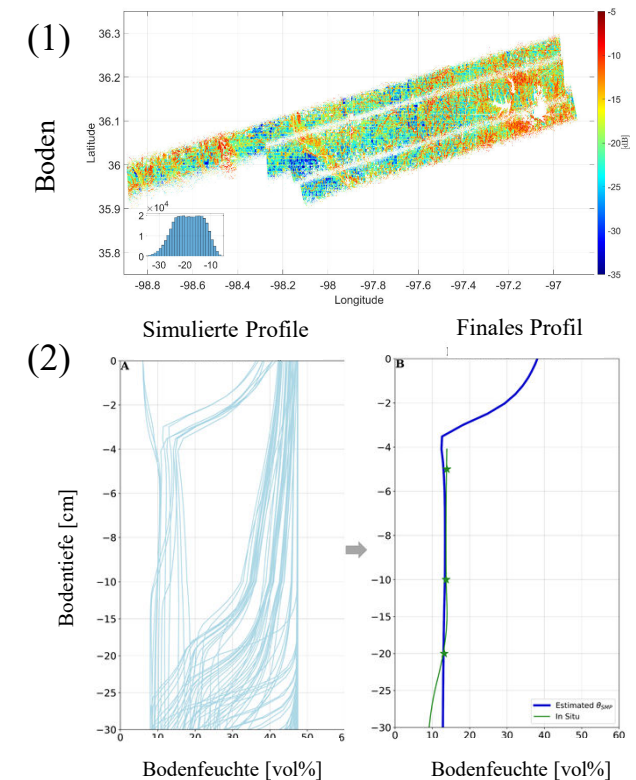
- Signifikante Verbesserung bei linearen, aufrechten Pflanzen (Weizen, Gerste)
- Bei Pfahlwurzel- oder Knollenpflanzen wie Kartoffeln und Zuckerrüben wird die Veränderung der Oberflächenrauheit durch Reife und Ernte zu einer Herausforderung für kombinierte C- und L-Band-Veränderungsdetektionsmethoden.



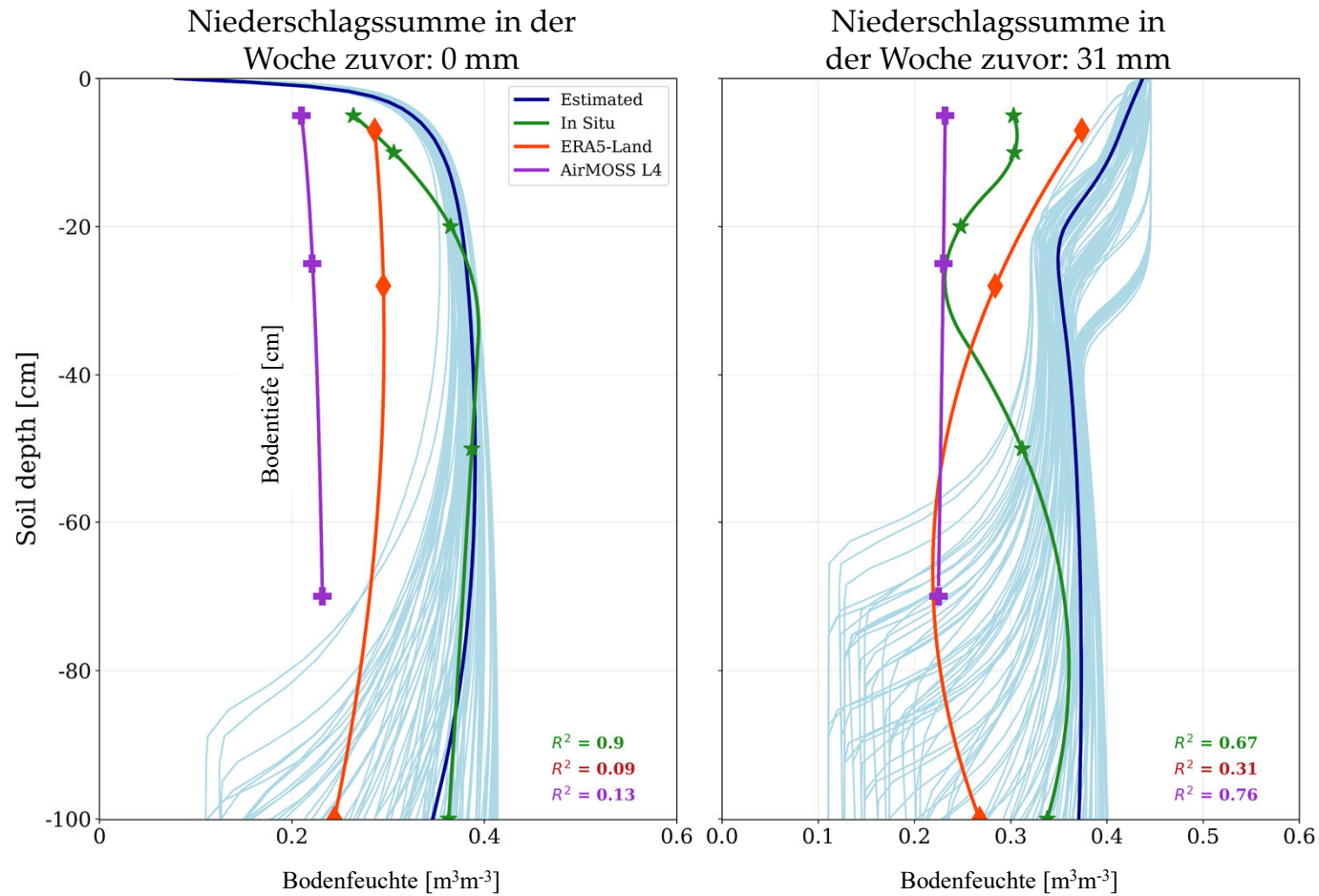
KONTINUIERLICHE BODENFEUCHTEPROFILE

aus P-Band SAR

- **Dekomposition** der **P-Band SAR** Daten (**AirMOSS Kampagne**) in die einzelnen **Streukomponenten** (Boden, Vegetation, Double-bounce)
- **Modellierung** von **realistischen Bodenfeuchte-Profilen** mit **Hydrus-1D** (Erstellung eines Ensembles an unterschiedlichen Profilen basierend auf variablen (da unbekannt) Ausgangsbedingungen)
- **Vergleich** der **SAR-Bodenkomponente** (1) und einem Mehrlagenstreuungsmodell mit **Bodenfeuchteprofilen** basierend auf **hydrologischen Modellierungen** (2)
- Die **Fernerkundung** bestimmt, welches **simulierte Bodenfeuchte-Profil** der **Wahrheit** am Nächsten kommt (**finale Profil**)



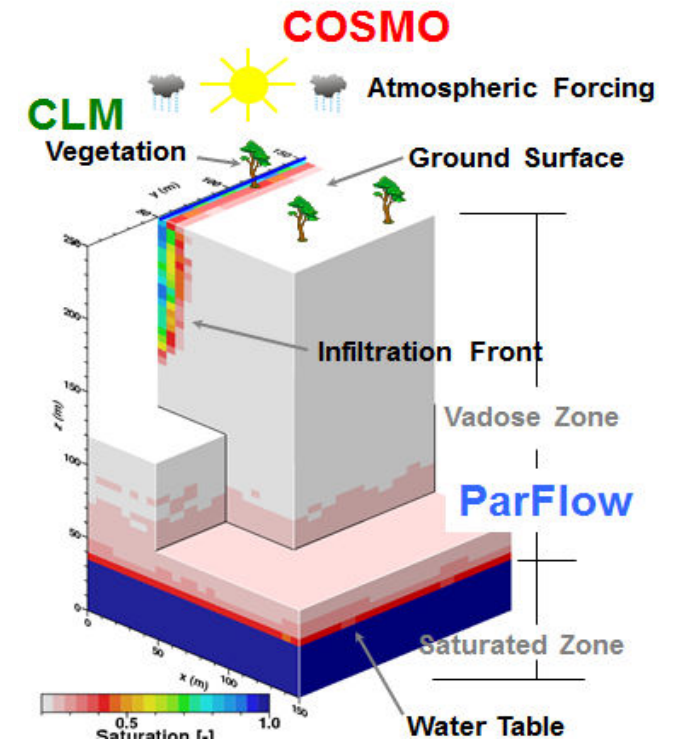
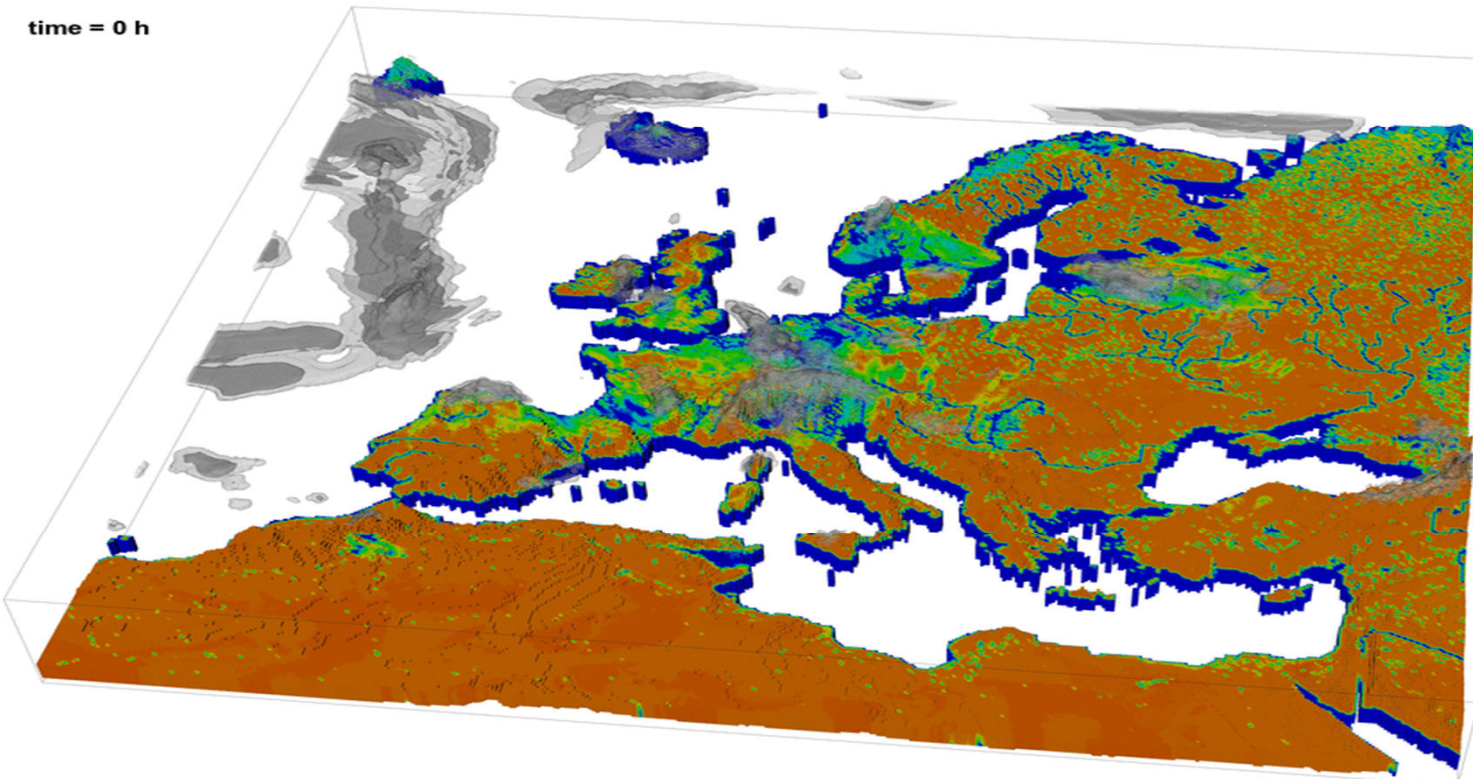
MOISST BODENFEUCHTE AUS P-BAND



FULLY COUPLED SIMULATIONS

From groundwater to upper atmosphere

time = 0 h

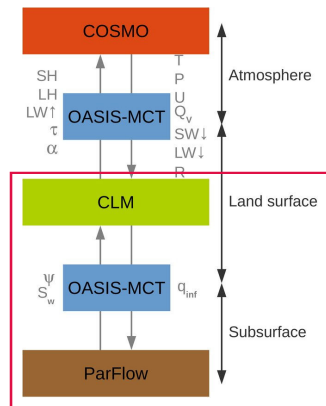


3 day snapshot during Elbe flood event 2013 (end of May until beginning of June)
Cloud liquid water and ice (COSMO) and soil moisture (ParFlow)

HYDROLOGISCHE SIMULATIONEN

Notwendigkeit der Kopplung von Oberflächen- und Grundwassersimulation

TSMP –
Terrestrial Systems Modeling Platform

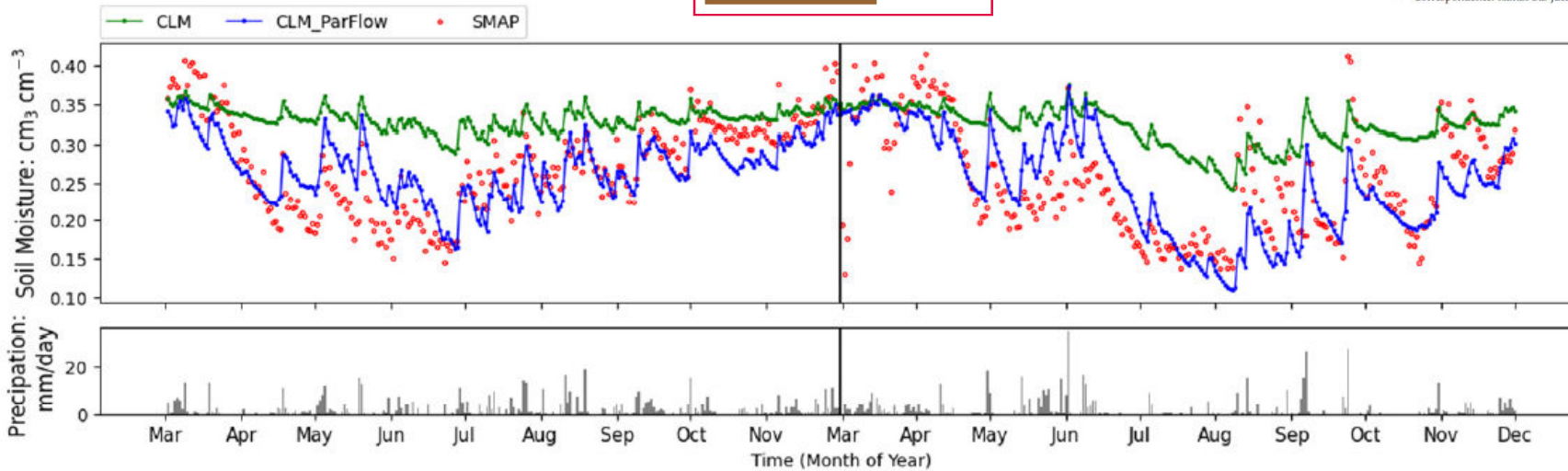


Article

The Importance of Subsurface Processes in Land Surface Modeling over a Temperate Region: An Analysis with SMAP, Cosmic Ray Neutron Sensing and Triple Collocation Analysis

Haojin Zhao ^{1,2,*}, Carsten Montzka ¹, Roland Baatz ^{1,3}, Harry Vereecken ^{1,2,3} and Harrie-Jan Hendricks Franssen ^{1,2}

- ¹ Agrosphere (IBG-3), Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany; c.montzka@fz-juelich.de (C.M.); r.baatz@fz-juelich.de (R.B.); h.vereecken@fz-juelich.de (H.V.); h.hendricks-franssen@fz-juelich.de (H.-J.H.F.)
 - ² Centre for High-Performance Scientific Computing in Terrestrial Systems, HPSC TerrSys, 52425 Jülich, Germany
 - ³ Scientific Coordination Office, International Soil Modelling Consortium ISMC, 52425 Jülich, Germany
- * Correspondence: h.zhao@fz-juelich.de

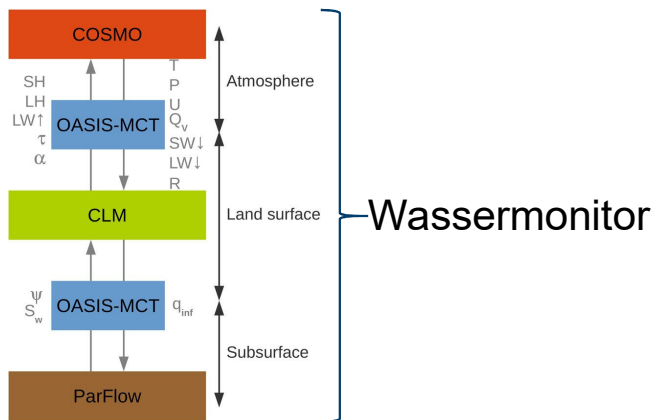


Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

AUSBLICK

<https://wasser-monitor.de>

- Implementierung der Sentinel-1 Bodenfeuchte in Wassermonitor prüfen
- Operationelle Vorhersage für pflanzenverfügbares Wasser bis 9 Tage in Zukunft, 50 Ensemble Members, 600m Auflösung



Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

