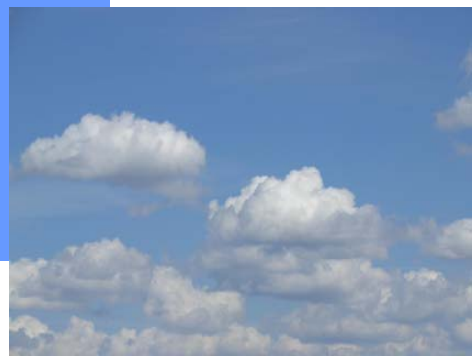
Rietholzbach-Workshop, ETH Zürich, 26.2.2008



Erfassung der Evapotranspiration auf unterschiedlichen räumlichen Skalen: Vom Rietholzbach in die Mongolei

Lucas Menzel

Wissenschaftliches Zentrum

für Umweltsystemforschung,

Universität Kassel

UNIKASSEL VERSITÄT

Die Anfänge: 1988 - 1989

„Wasserhaushaltsstudien im Einzugsgebiet der Thur: Analyse hydrologischer Feldmessungen 1976-1985“ (BuS 46, GI ETHZ, 1991)

- Lysimeter als „Kleinsteinzugsgebiet“

- Auswertung der Meßreihen seit 1976

- Bedeutung Lysimeter als Niederschlagsmesser

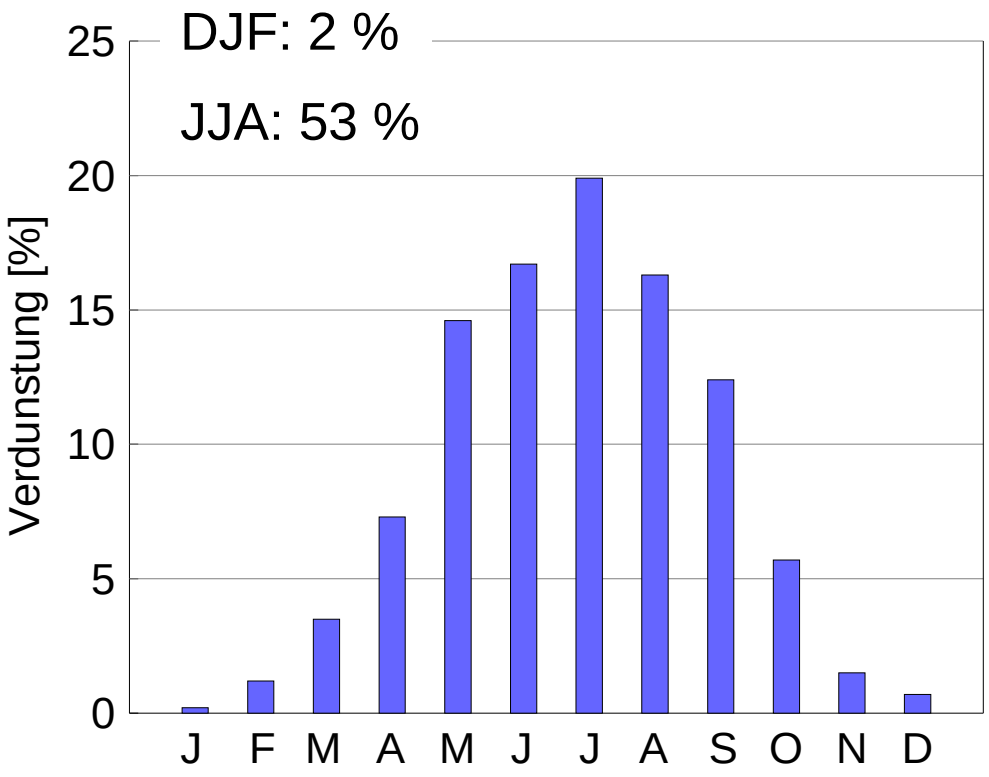
- Vergleich mit Wasserhaushalt des Rietholzbaches und der „unteren Thur“ (Pegel Halden – Andelfingen)

- potentielle vs. reale Verdunstung

→ Verdunstung in ihrer Bedeutung häufig unterschätzt

Die Anfänge: 1988 - 1989

Lysimeter RHB: Mittlere prozentuale Anteile der Einzelmonate an der Jahresverdunstung (1976 – 1985)



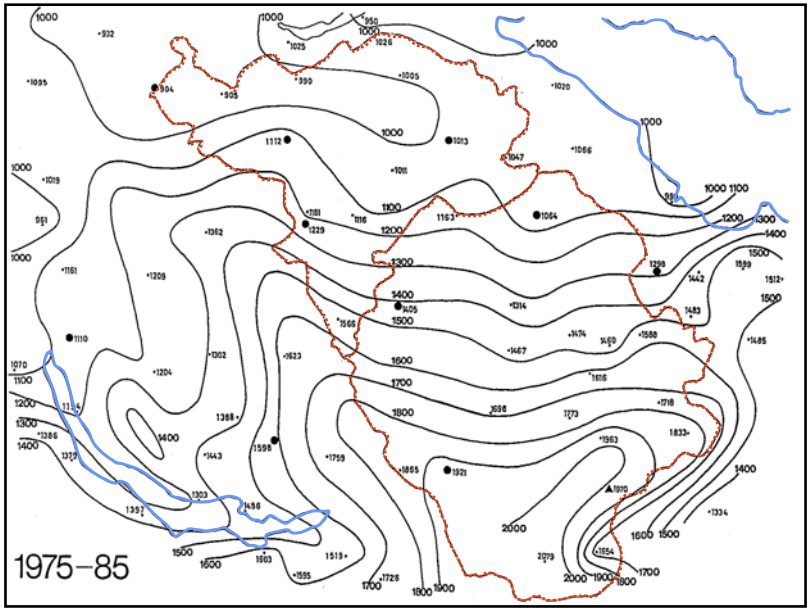
potentielle vs. reale Verdunstung

ET_p 1983-1985 = 555 mm

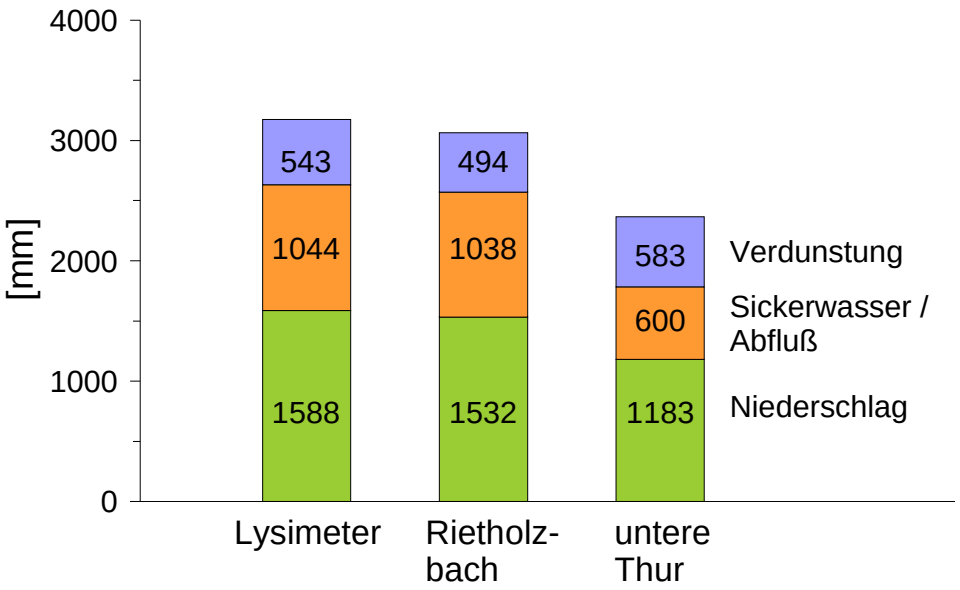
ET_r 1983-1985 = 501 mm

Die Anfänge: 1988 - 1989

Bestimmung der Gebietsniederschläge im Thur-Gebiet als Basisgröße für den Wasserhaushalt



Wasserhaushalt Lysimeter – RHB – untere Thur, 1976 - 1985



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

„Modellierung der Evapotranspiration im System Boden-Pflanze-Atmosphäre“ (ZGS 67, GI ETHZ, 1997)

Ziel: Bedeutung der Verdunstung nicht nur anhand atmosphärischer / mikrometeorologischer Befunde abschätzen, sondern

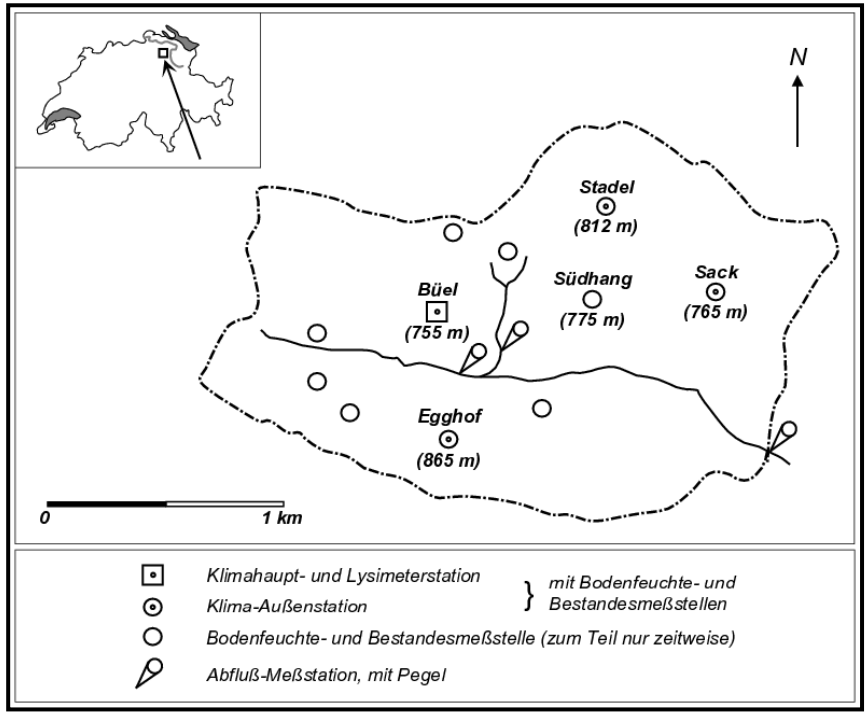
- Betrachtung des Kontinuums Boden-Vegetation-Atmosphäre (atm. Grenzschicht)
- Identifikation der dabei relevanten Wasser- und Energieflüsse
- Berücksichtigung dieser Größen bei der Modellbildung

→ Entwicklung eines Feldmeßprogrammes mit Lysimeter, Strahlungs- und Klimastation Büel als Basis

- zusätzlich Einbau von TDR-Sonden zur Bodenfeuchtebestimmung
- Reaktivierung von „Außenstationen“
- Bestimmung von Pflanzenparametern

Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

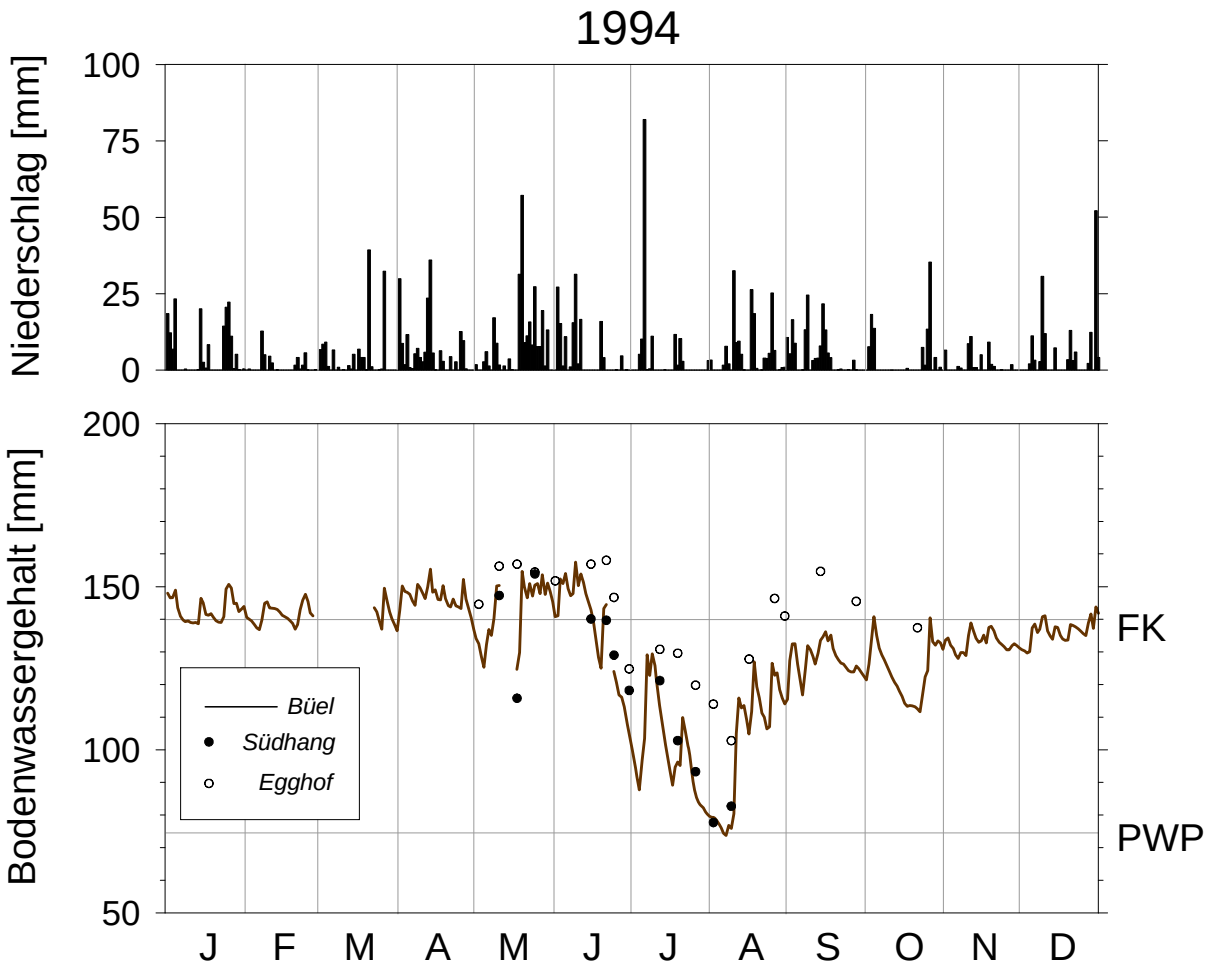
Intensiv-Phase der Feldmessungen 1993 - 1995



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen: Beispiel Jahr 1994

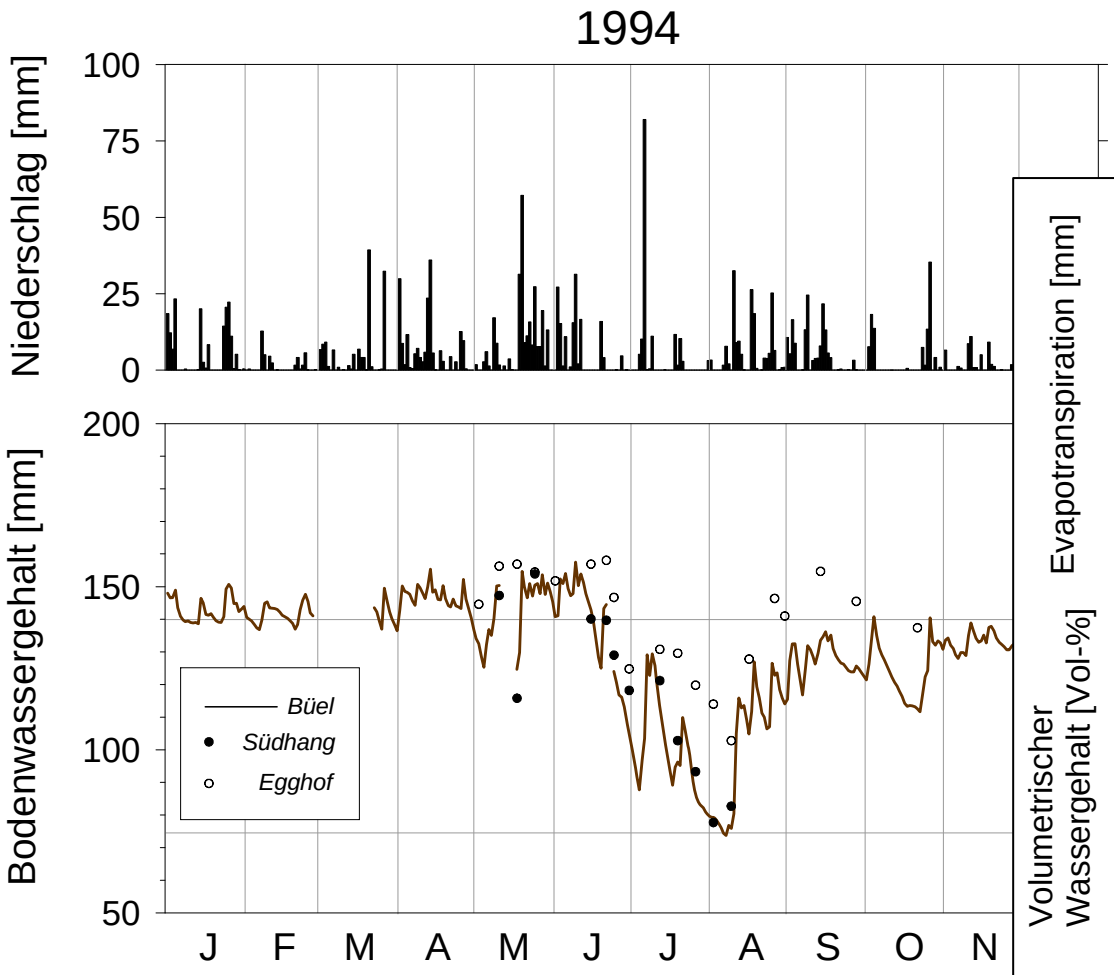
Einzige, kurzzeitige Trockenphase während mehrerer Jahre im Juli 1994



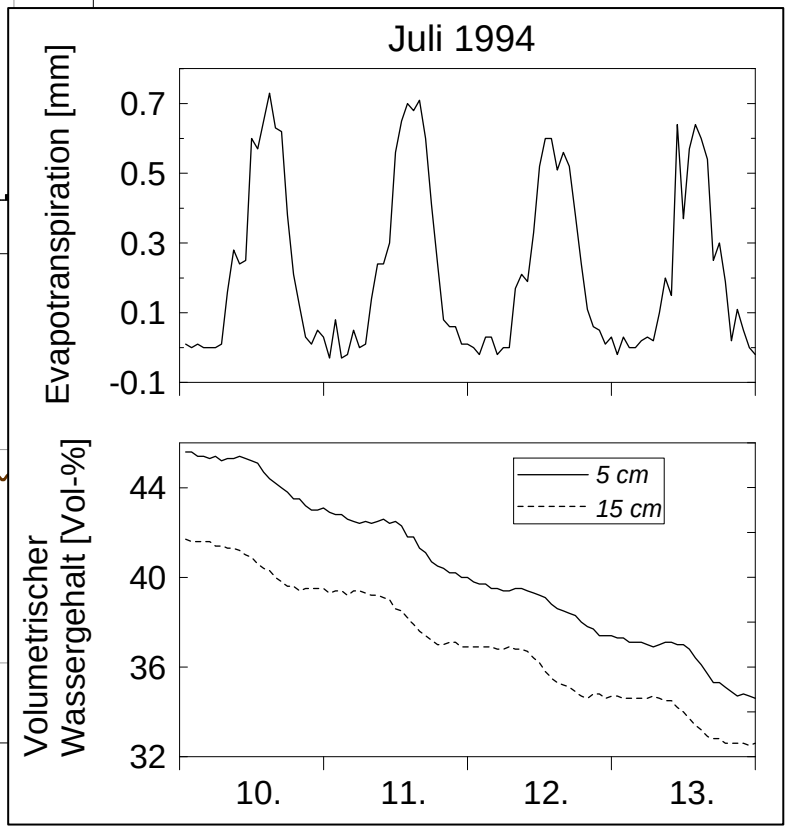
Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen: Beispiel Jahr 1994

Einzige, kurzzeitige Trockenphase während mehrerer Jahre im Juli 1994

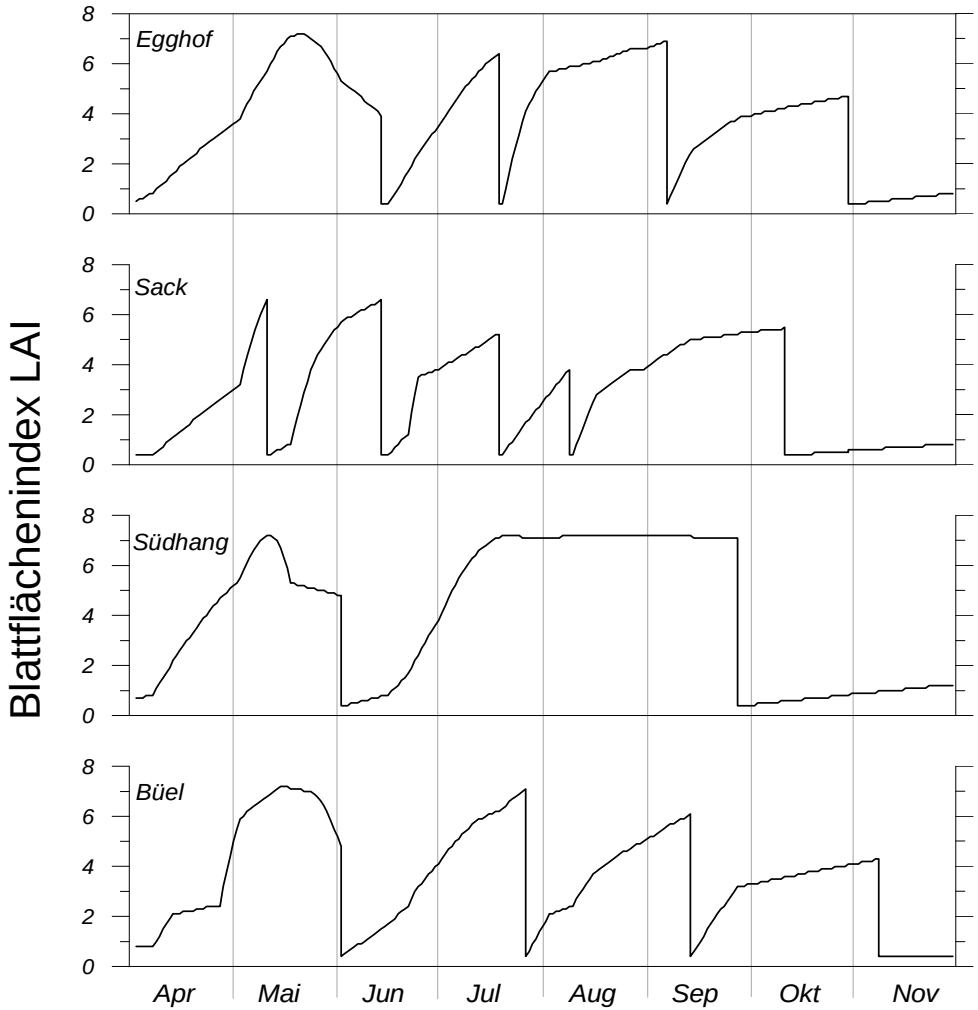


Stundenwerte gemessener Verdunstung und Boden-feuchte, Lysimeter RHB



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Kleinräumige Variationen in der Verdunstung von Wiesen aufgrund von Unterschieden in der Bewirtschaftung



Wöchentlich gemessene Werte des Blattflächenindex LAI an vier unterschiedlichen Wiesenstandorten

Die Penman-Monteith Gleichung zur Berechnung der realen Verdunstung

$$\lambda E = \frac{\Delta\,(R_n - G) + \rho c_p\, D_{ref}/r_a}{\Delta + \gamma\,(1 + r_c/r_a)} \quad [\mathrm{J\ m^{-2}\ s^{-1}}]$$

E = vapour flux [kg m^{-2} s^{-1}]
λ = latent heat of vaporization [J kg^{-1}]
R_n = net radiation [J m^{-2} s^{-1}]
G = soil heat flux [J m^{-2} s^{-1}]
Δ = slope of the saturation vapour pressure [hPa K^{-1}]
γ = psychrometric constant [hPa K^{-1}]
ρ = density of dry air [kg m^{-3}]
c_p = specific heat of dry air [J kg^{-1} K^{-1}]
D_{ref} = specific humidity deficit at reference height [hPa]
r_a = aerodynamic resistance [s m^{-1}]
r_c = canopy resistance [s m^{-1}]

Bestimmung des Bestandeswiderstandes r_c

$$r_c(T, LAI, \delta\Theta) = a_0 + a_1\, r_c(T) + a_2\, r_c(LAI) + a_3\, r_c(\delta\Theta)$$

with:

$$r_c(T) = (T + b_1)^4$$

$$r_c(LAI) = \exp(b_2\, LAI)$$

$$r_c(\delta\Theta) = (\delta\Theta + b_3)^4$$

T = air temperature [^{o}C]
LAI = Leaf Area Index [-]
$\delta\Theta$ = Soil moisture deficit [mm]

Partial regression coefficients

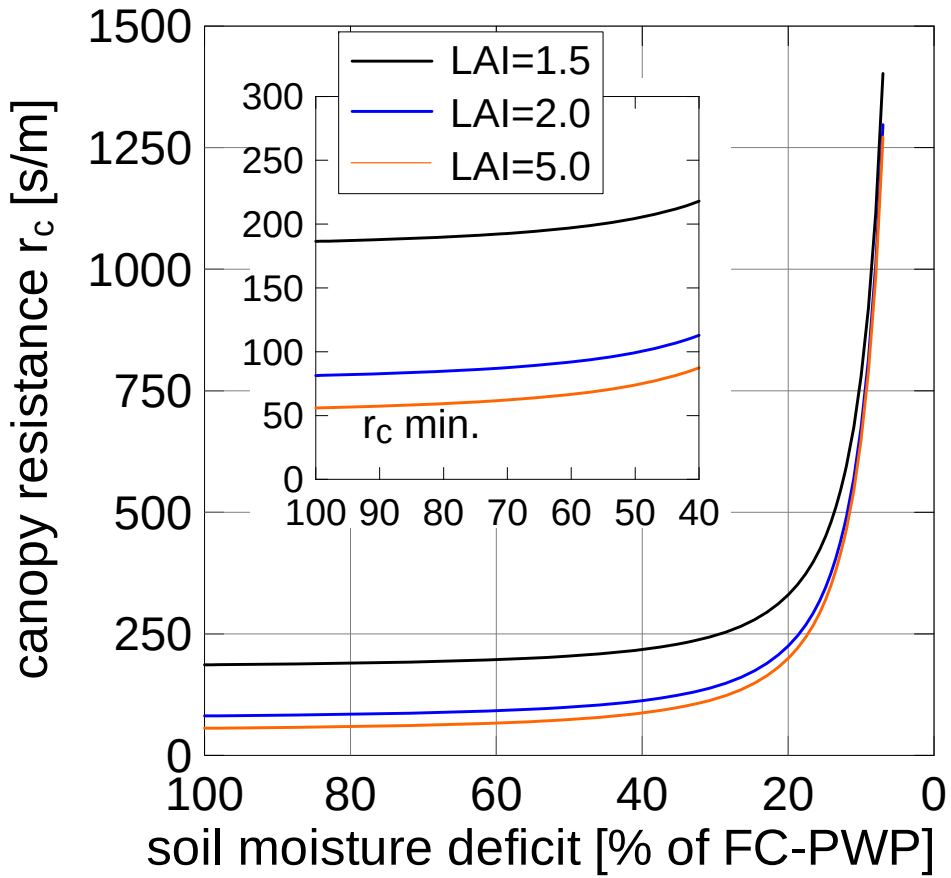
	a_0	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	r^2
$LAI \geq 2$	37.52	5.4E-5	2420.5	3.0E-5	4.43	-1.75	-20.51	0.67
$LAI < 2$	-227.3	2.98	487.6	2.5E-5	-	-0.33	-2.05	0.92

Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Rückgang der Transpiration durch Wasserstreß – Nachbildung im Modell

$$r_c = r_c min. + \exp(ax(log\delta\Theta) + bx)$$

$$\delta\Theta = \text{Soil moisture deficit [mm]}$$



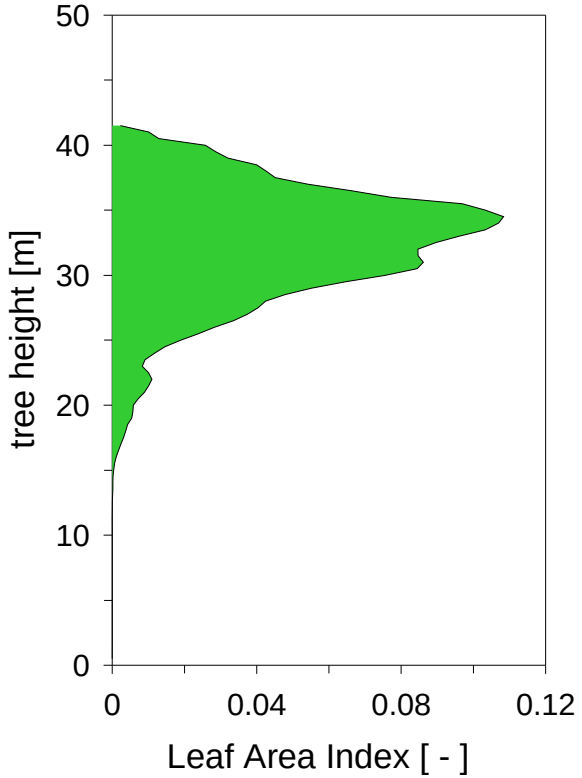
Vegetation type	r_c min. [s/m]
Grassland	25 - 90
Maize	30 - 90
Wheat	20 - 90
Alfalfa (*Luzerne*)	20 - 90

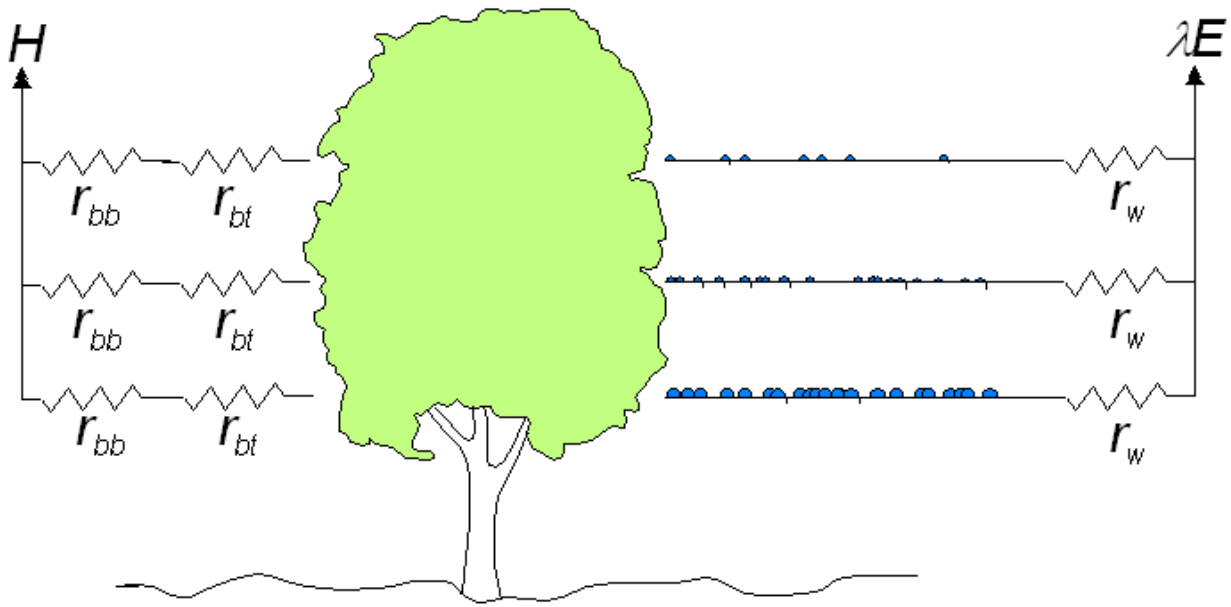
Data from Allen (1986), Kelliher et al. (1995), Löpmeier (1987), Menzel (1997), Russell (1980), Szeicz & Long (1969), Szeicz et al. (1969), Zenker (2003)

Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Modellvorstellung zur Wasserspeicherung im Bestand (Interzeption)

Ein Mehrspeicheransatz verteilt das Niederschlagswasser auf unterschiedliche Ebenen im Bestand, von wo das Wasser mit unterschiedlicher Intensität verdunstet. Die Interzeptions-verdunstung wird über ein Netzwerk von Verdunstungswiderständen abgebildet

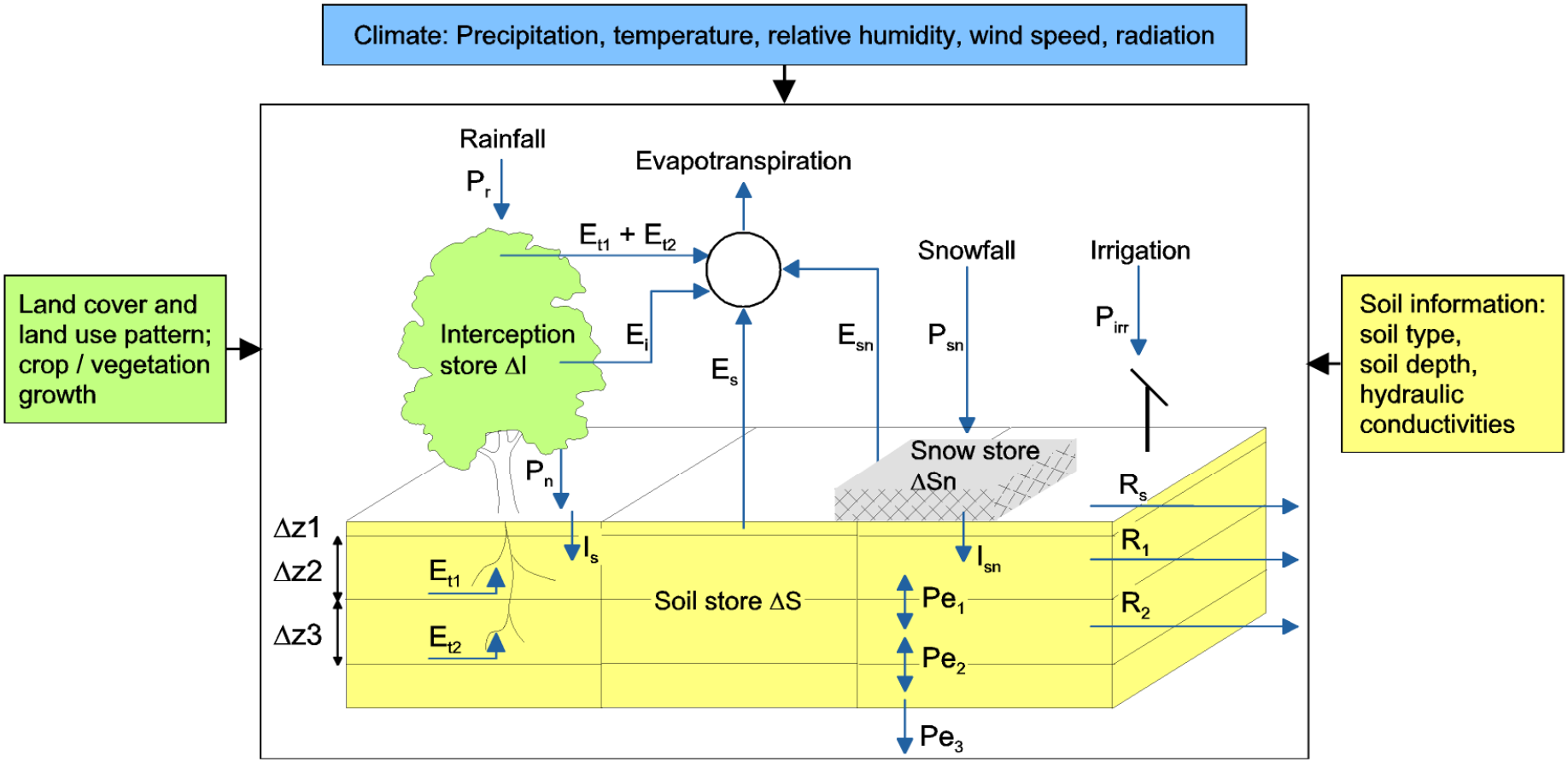




Beispiel für eine Blattflächendichtefunktion.
Mittlerer Verlauf abgeleitet aus den Daten
von vierzig 140-jährigen Buchen im Juli

Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Entwicklung von TRAIN: Prozesse in Boden, Vegetation, Atmosphäre



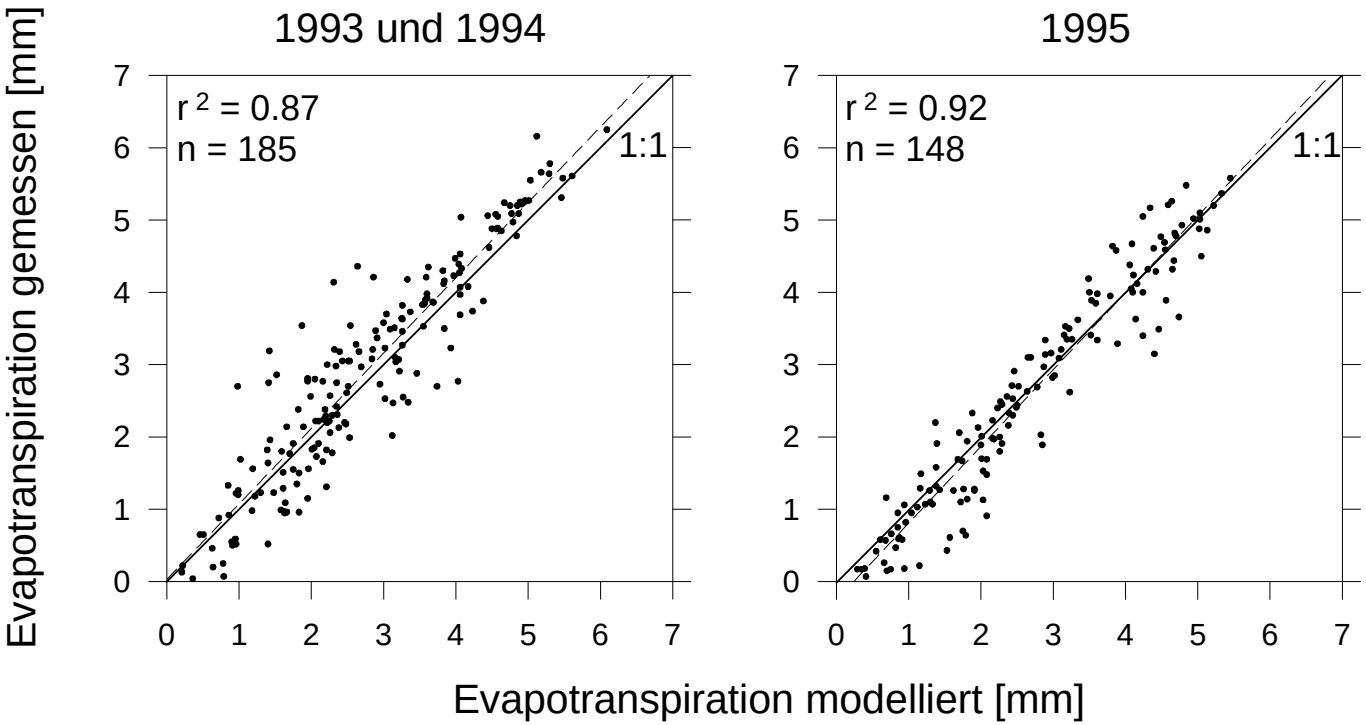
Δzx: Depth of soil layer x	R_s: Surface runoff
E_{tx}: Transpiration from layer x	R_x: Lateral flow from soil layer x
E_i: Interception evaporation	I_s: Infiltration
E_{sn}: Snow evaporation	I_{sn}: Infiltration from snow melt
E_s: Bare soil evaporation	Pe_x: Percolation from layer x

- Modell-Varianten
- Modell-Philosophie

Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Modellentwicklung mit Daten des Lysimeters RHB

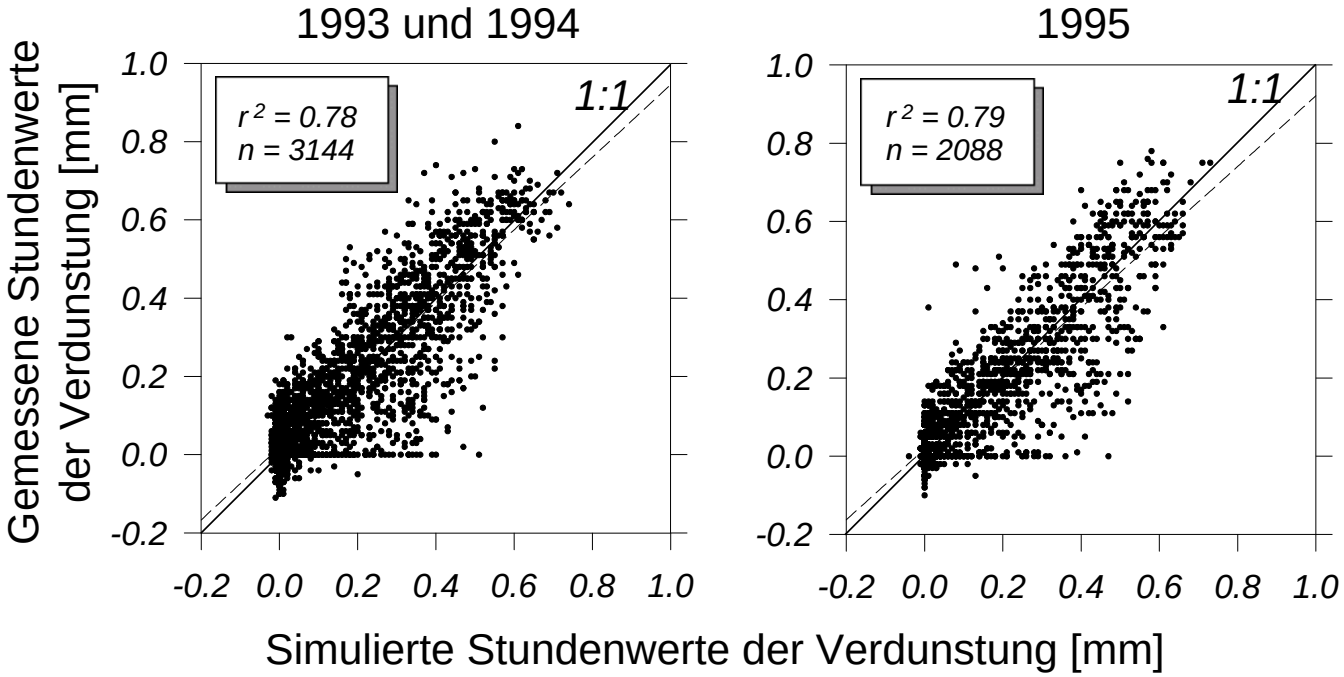
Vergleich simulierter Tageswerte der Verdunstung mit Tages-Meßwerten



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

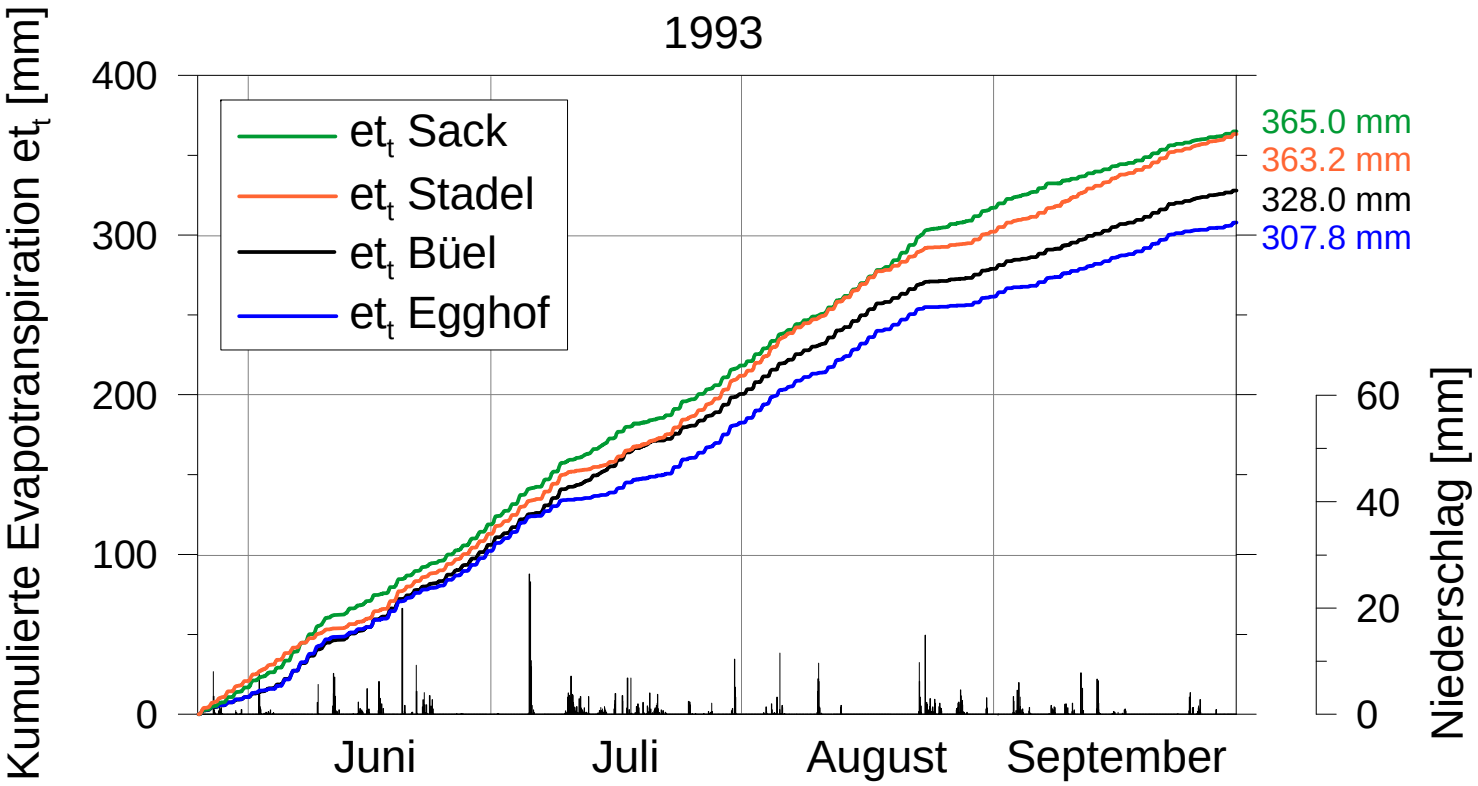
Modellentwicklung mit Daten des Lysimeters RHB

Vergleich simulierter Stundenwerte der Verdunstung mit Stunden-Meßwerten



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Simulierte, kleinräumige Variationen der Verdunstung von Wiesen aufgrund von Unterschieden in der Bodenfeuchte / der Bewirtschaftung



Feldexperimente und Modellbildung: 1991 - 1996

Wesentliche Erkenntnisse

- Voralpenregion ungeeignet zur Untersuchung trockenheitsbedingter Verdunstungsabschwächung

- Entwicklung eines Interzeptionsmodells war angesichts der Niederschlagshäufigkeit richtig (gilt allgemein für humide Klimate)

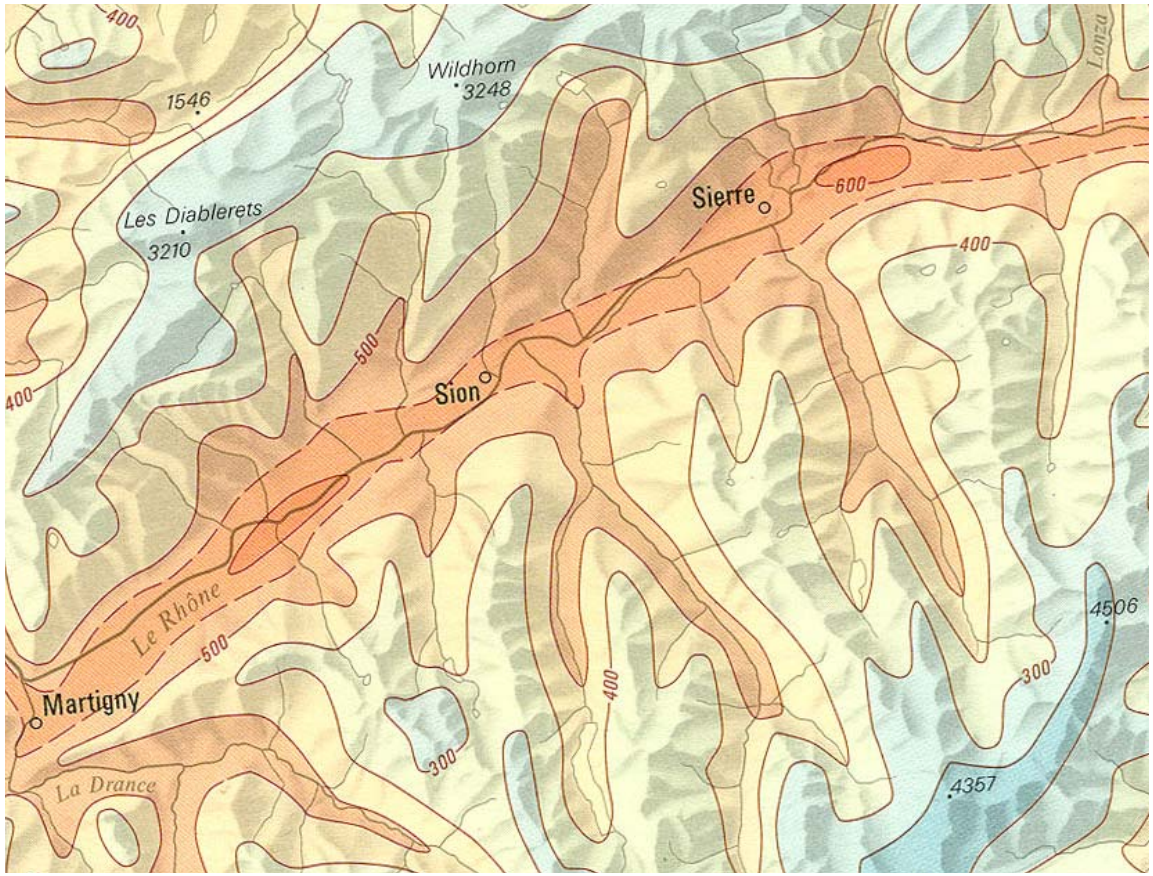
- Bestimmung von Vegetationsparametern und phänologischer Phasen war eine richtige Entscheidung

Modellanwendung: 1996 - 1998

Hydrologischer Atlas und Klimaatlas der Schweiz: Karte der mittleren jährlichen realen Verdunstung (Ausschnitt)

Beispiel für relativ hohe Evapotranspiration (Wallis)

Man beachte die hohen Werte im unteren Rhonetal (bis > 600 mm) und die hohen Gradienten auf kurzen räumlichen Distanzen

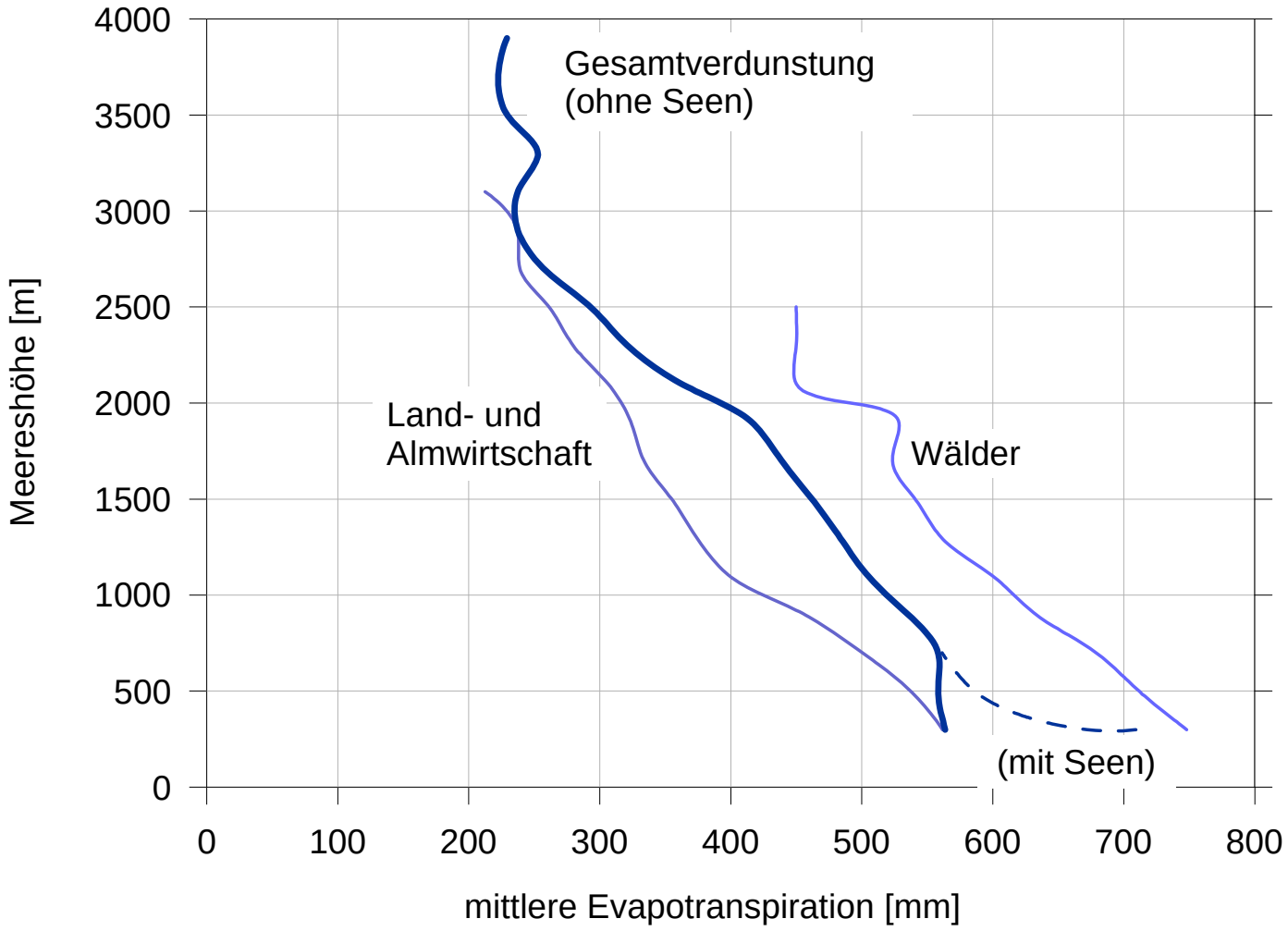


HADES, Karte 4.1

Menzel, Lang, Rohmann (1999): ET_r Schweiz (1973-1992): 484 mm
Schädler (1985): ET_r Schweiz (1901-1980): 484 mm
Zgraggen und Ohmura: Mittlere Eneriebilanz: 44,6 W/m² ~ 573 mm

Modellanwendung: 1996 - 1998

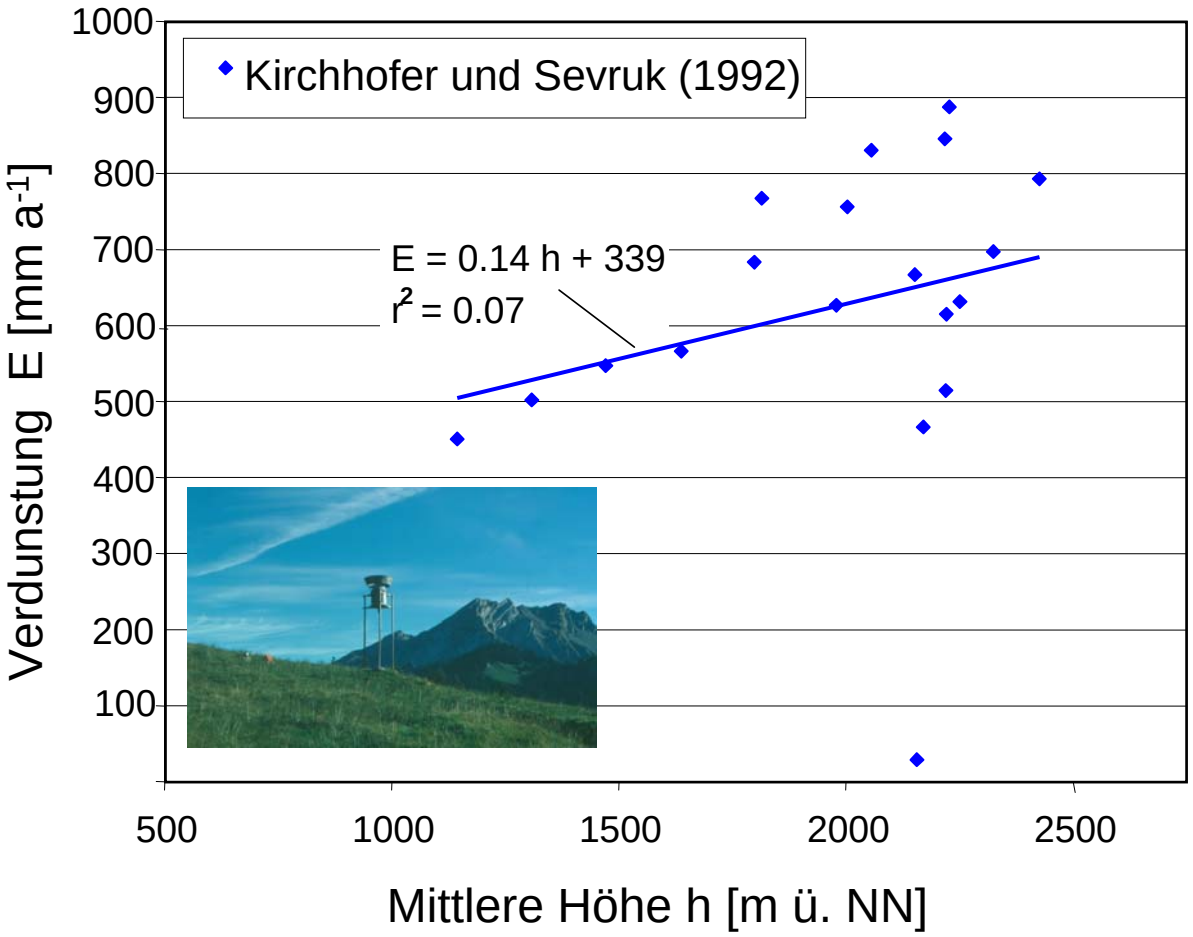
Höhenabhängigkeit der Verdunstung in der Schweiz



Als Faustregel gilt, daß die mittlere Abnahme der Verdunstung in der Schweiz bei 22 mm pro 100 m Höhenzunahme liegt. Es sind jedoch große regionale Unterschiede zu beachten (Klima, Böden, Landbedeckung)

Modellanwendung: 1996 - 1998

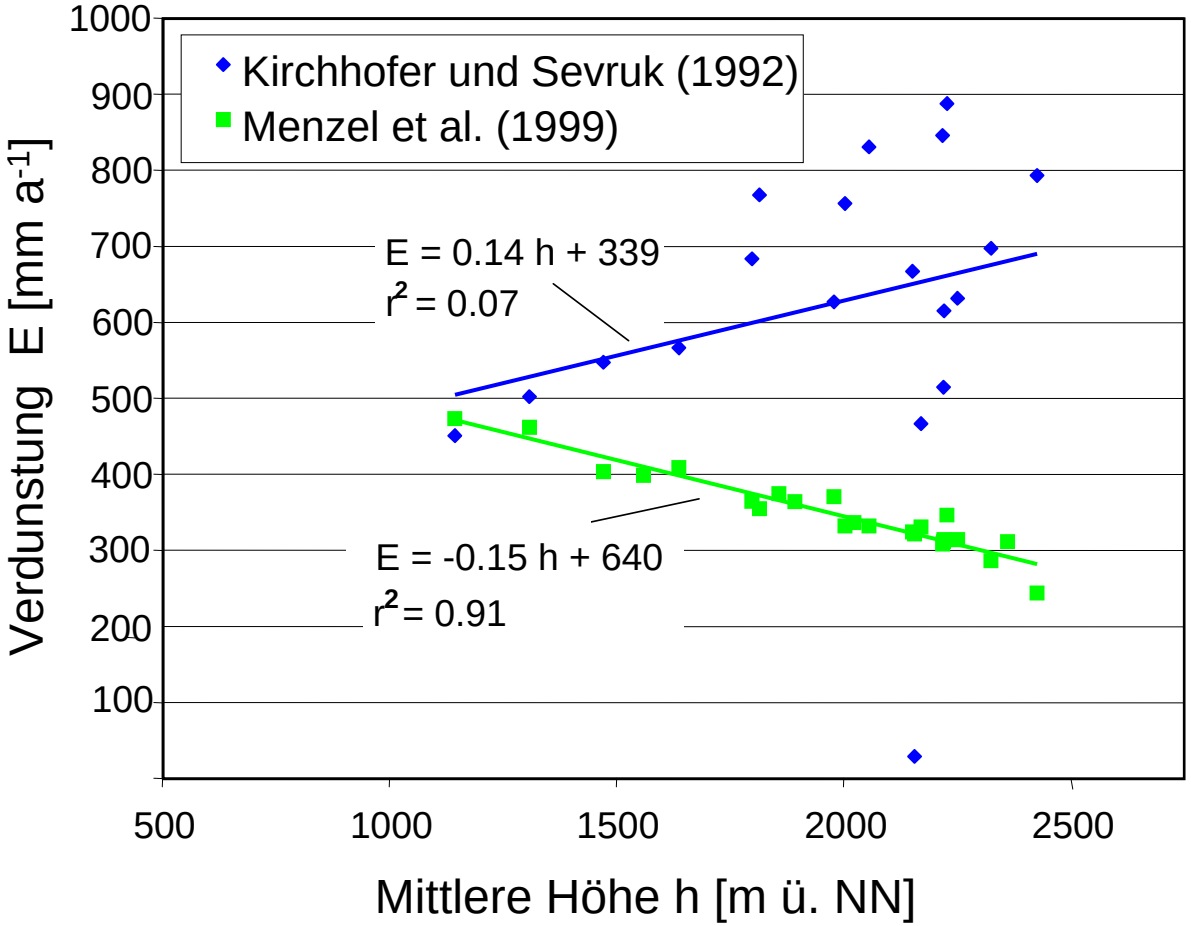
Berechnung der Verdunstung und ihrer Höhenabhängigkeit im Einzugsgebiet des Rheins bis Felsberg (CH)



Schädler und Weingartner (2002)

Modellanwendung: 1996 - 1998

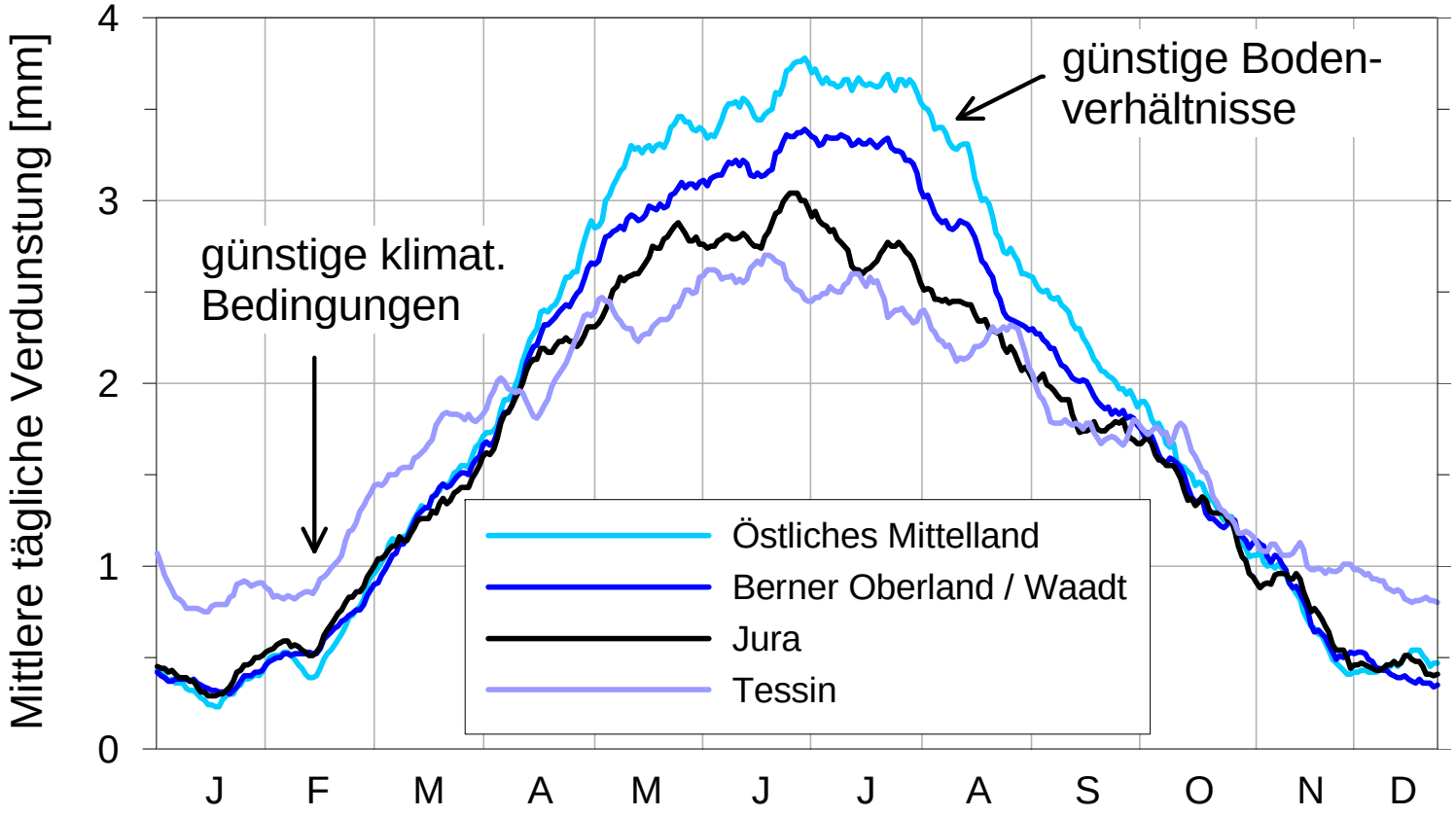
Berechnung der Verdunstung und ihrer Höhenabhängigkeit im Einzugsgebiet des Rheins bis Felsberg (CH)



Schädler und Weingartner (2002)

Modellanwendung: 1996 - 1998

Simulation des jahreszeitlichen Verlaufs von Waldverdunstung – regionale Unterschiede

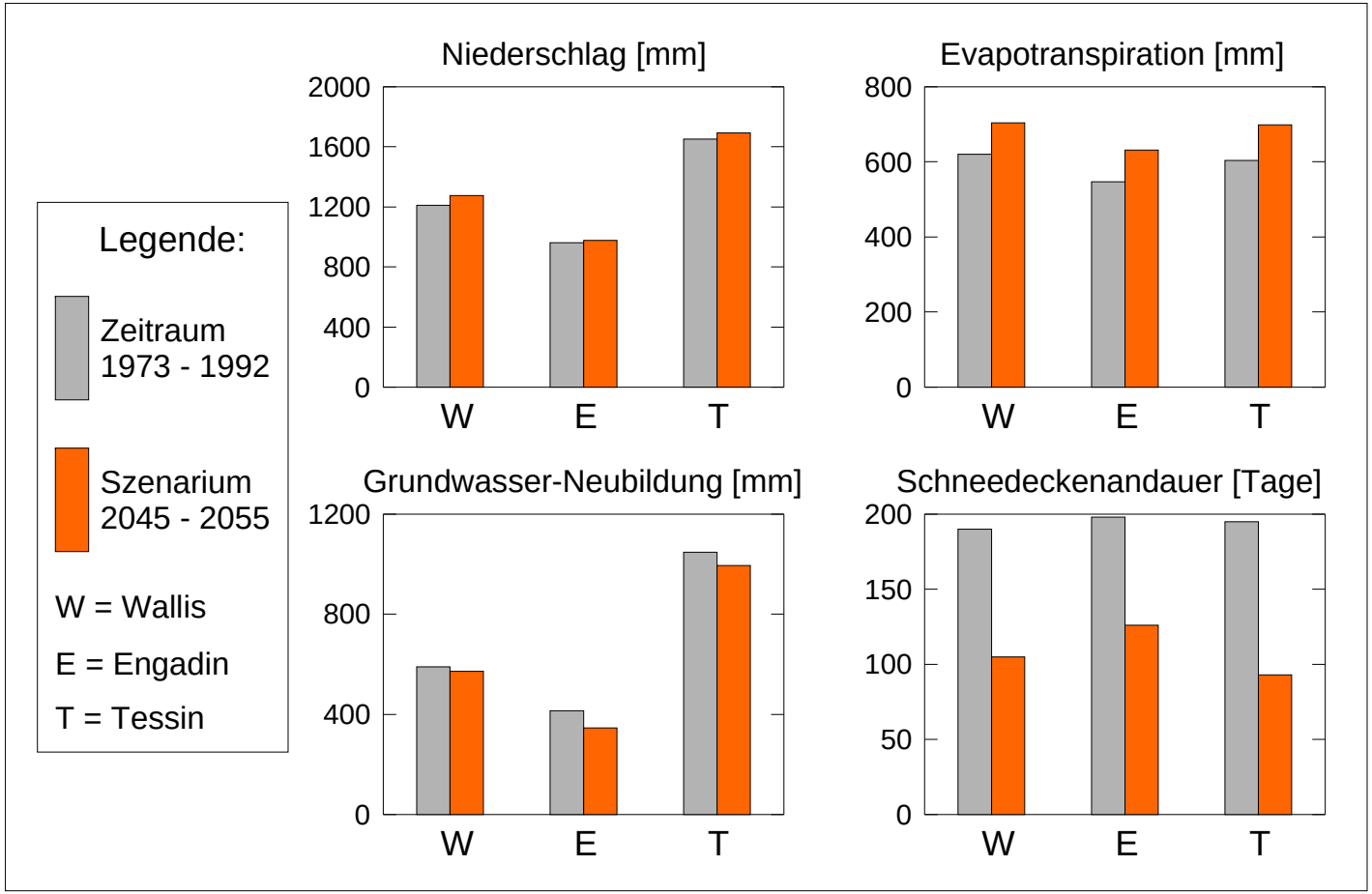


Mittlere Waldverdunstung in der Schweiz: 616 mm (Menzel et al.), 617 mm (Zierl)
Mittlere GW-Neubildung unter Wäldern: 51 mm (Menzel et al.), 65 mm (Zierl)

Modellanwendung: 1996 - 1998

Klimawandel und Wasserhaushalt in der Schweiz

Auswirkungen des IPCC A2-Klimaszenariums auf die Höhenzonen 1500 – 2000 m

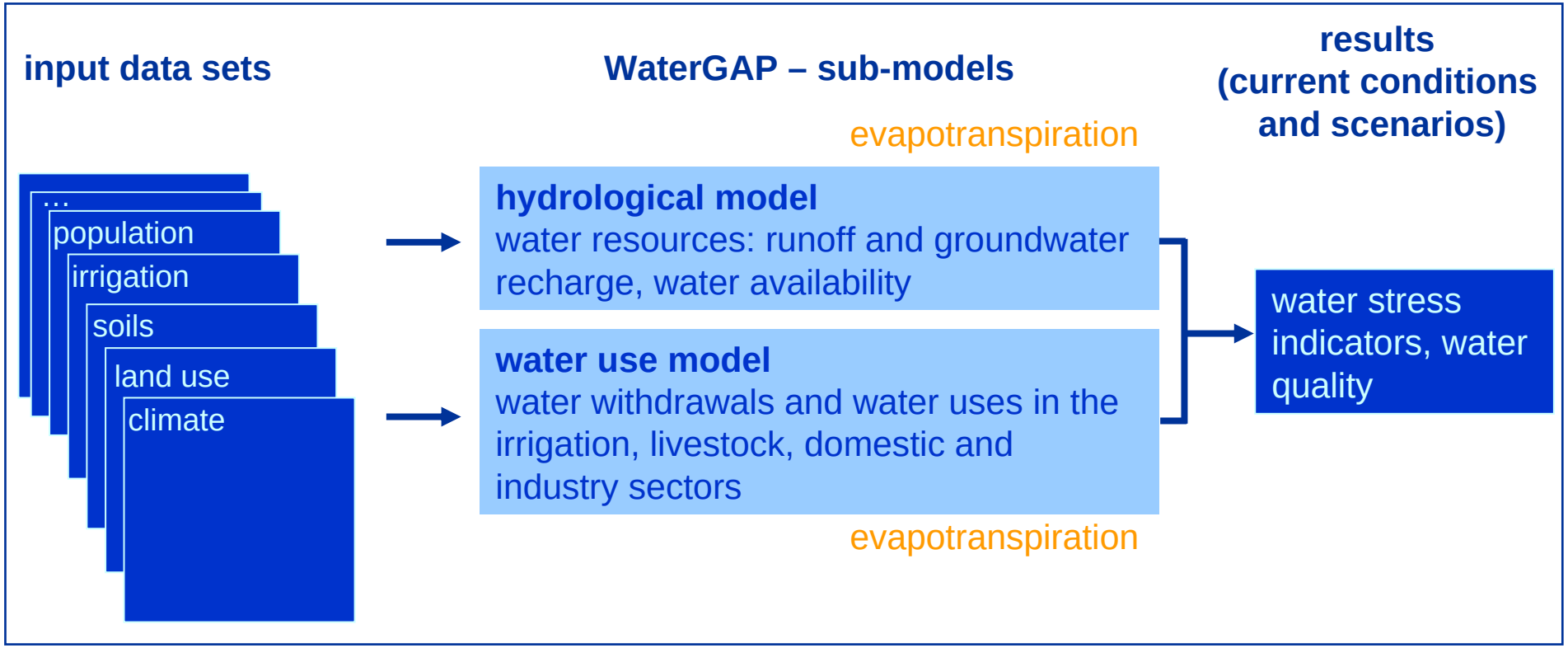


Menzel & Lang (2005)

Aktuelle Fragestellungen

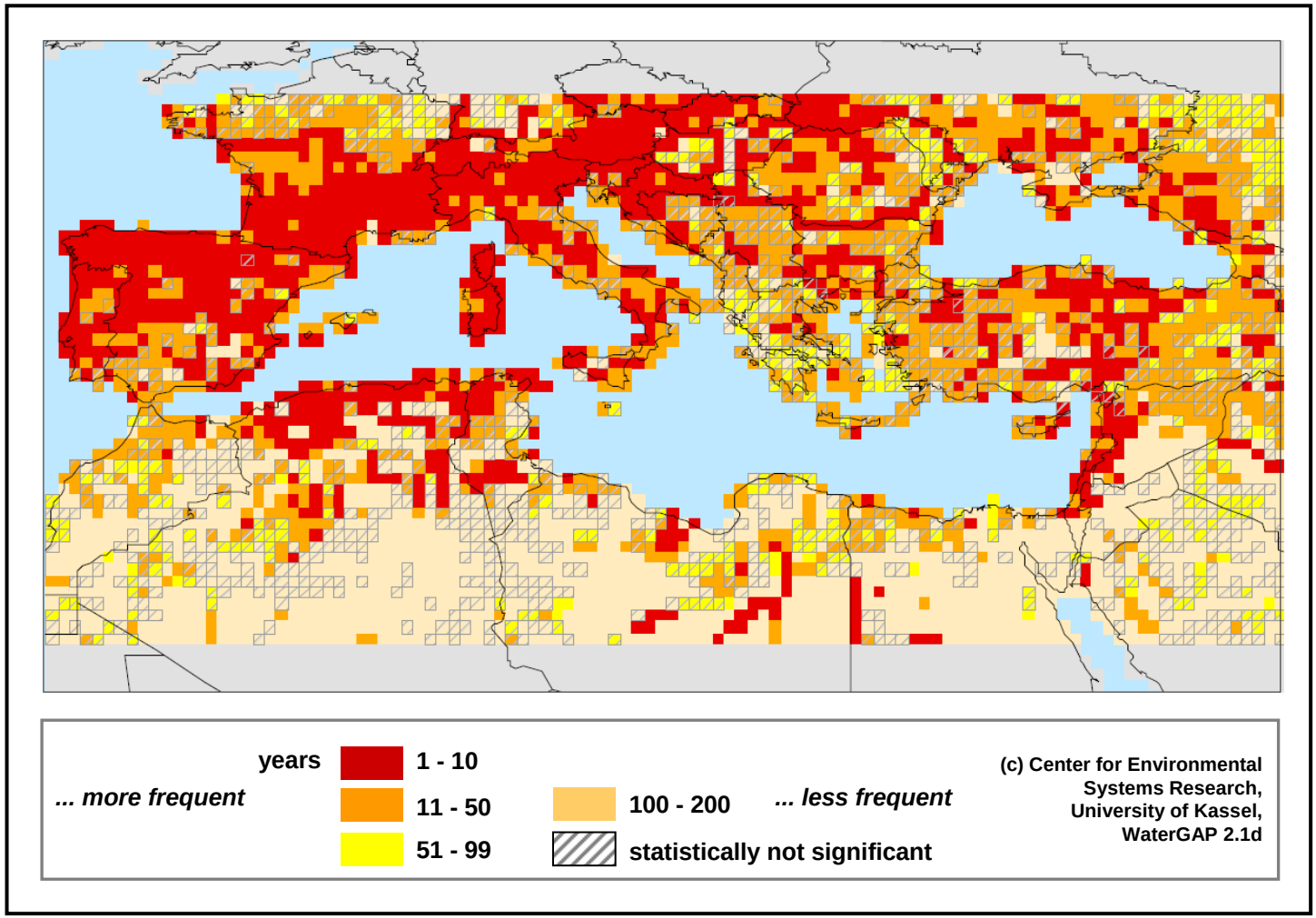
WaterGAP: **W**ater – **G**lobal **A**ssessment and **P**rognosis

- simulates water resources and water use on the global land areas except Antarctica
- spatial resolution: 0.5° x 0.5°, temporal resolution: monthly (internal: daily)
- has been developed at the University of Kassel since 1997



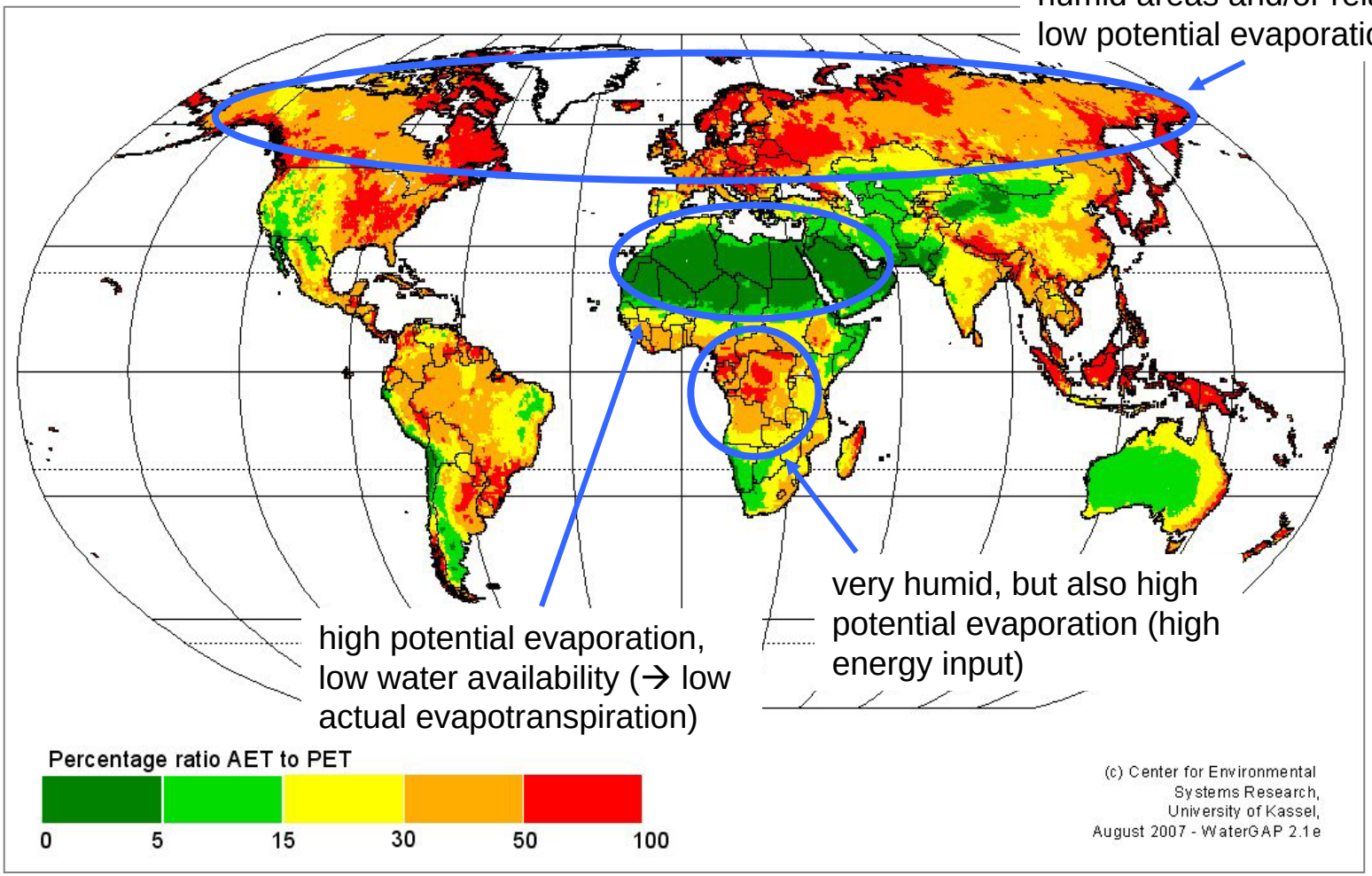
Aktuelle Fragestellungen

Ein heutiges, 100-jährliches Dürreereignis tritt in 50-70 Jahren mit folgenden Jährlichkeiten auf (Szenario B2, ECHAM4, WaterGAP):



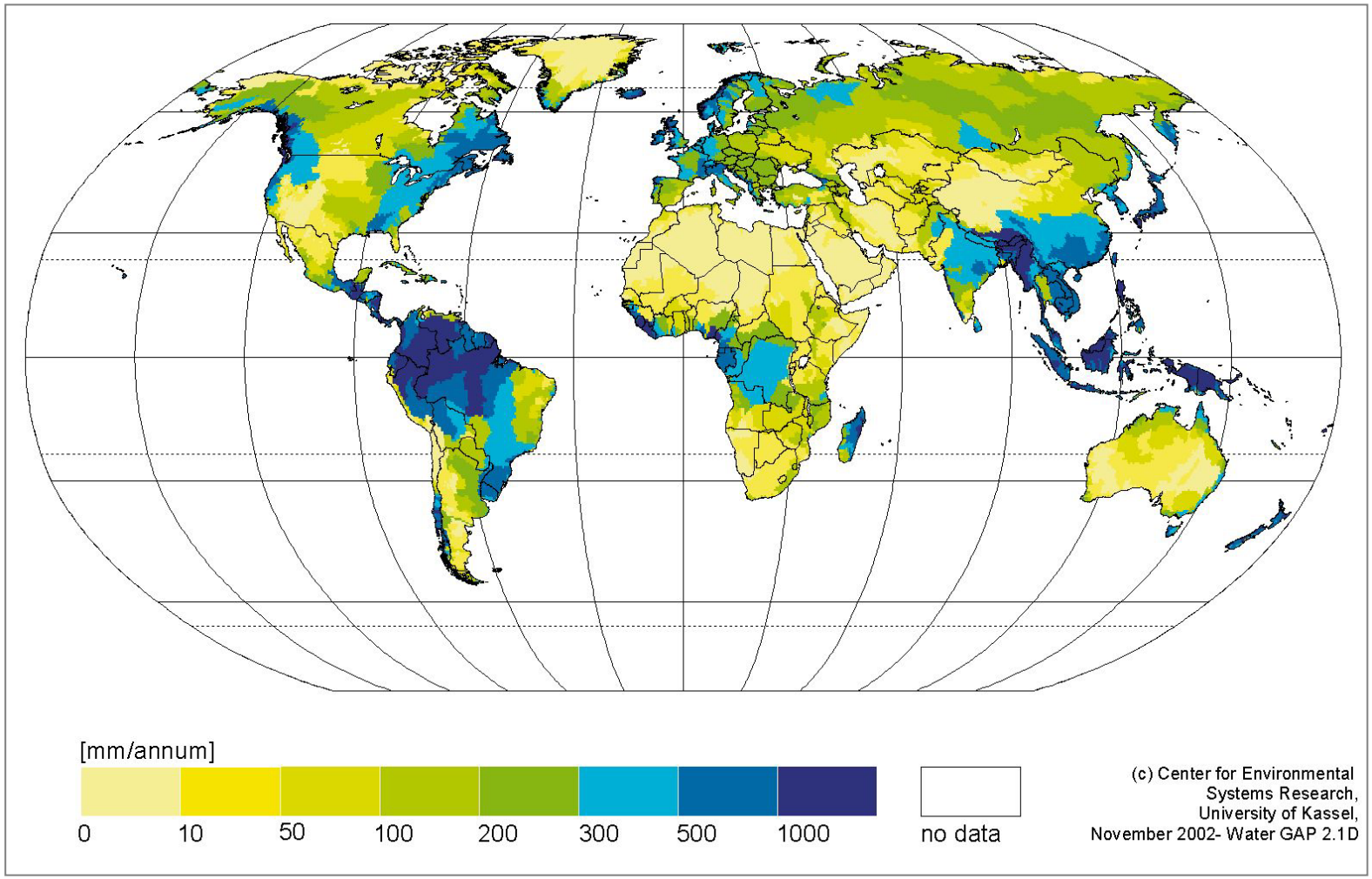
Weiß et al. (2007)

Prozentuale Unterschiede zwischen ETr und ETp (1961 – 1990)



Mittlere jährliche pot. Verdunstung von den Landgebieten = 1114 mm, reale Verdunstung = 480 mm

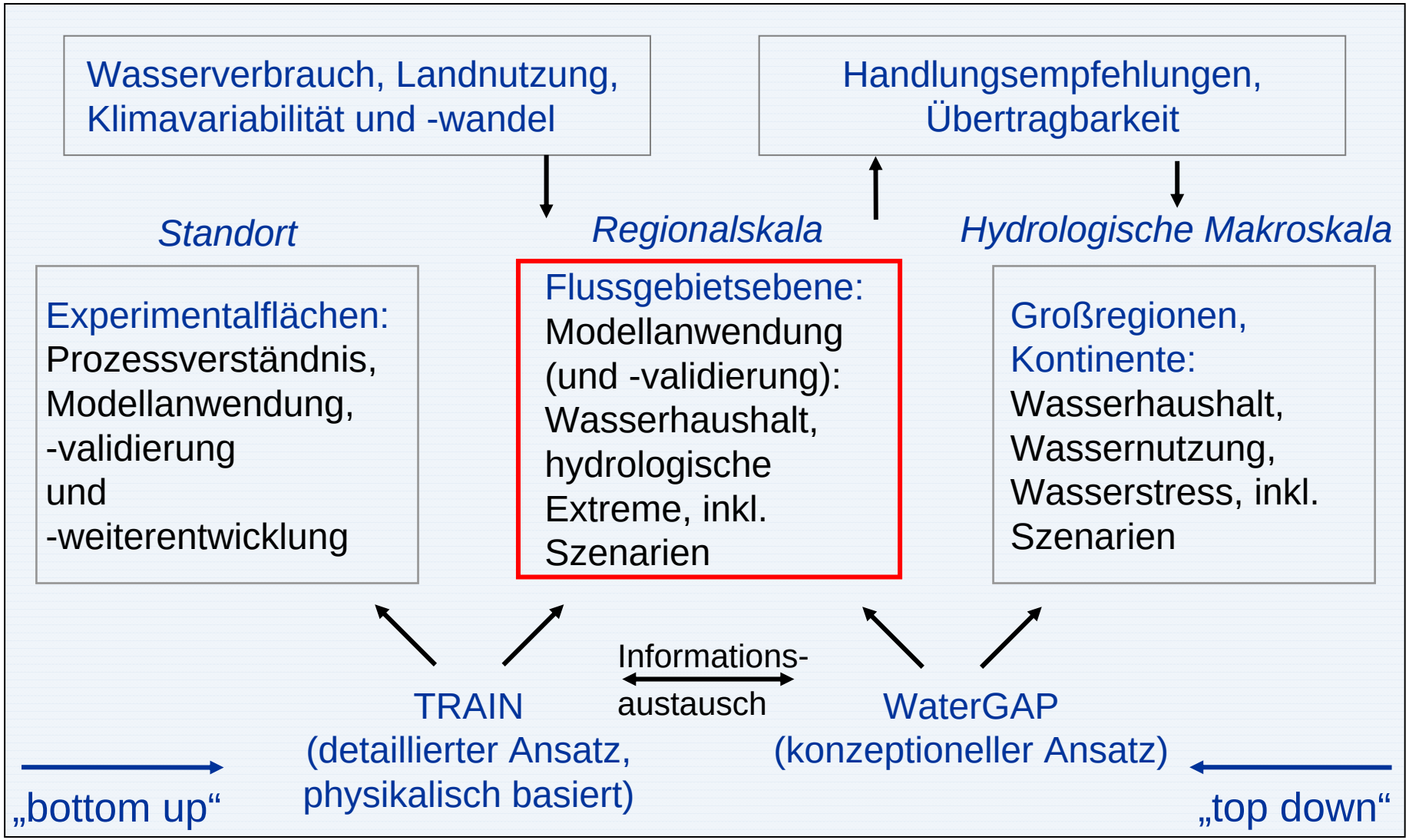
Mittlere jährliche Wasserverfügbarkeit [mm] aggregiert auf große Flußgebiete (1961 – 1990)



Mittlerer jährlicher Abfluß von den Landgebieten: 267 mm

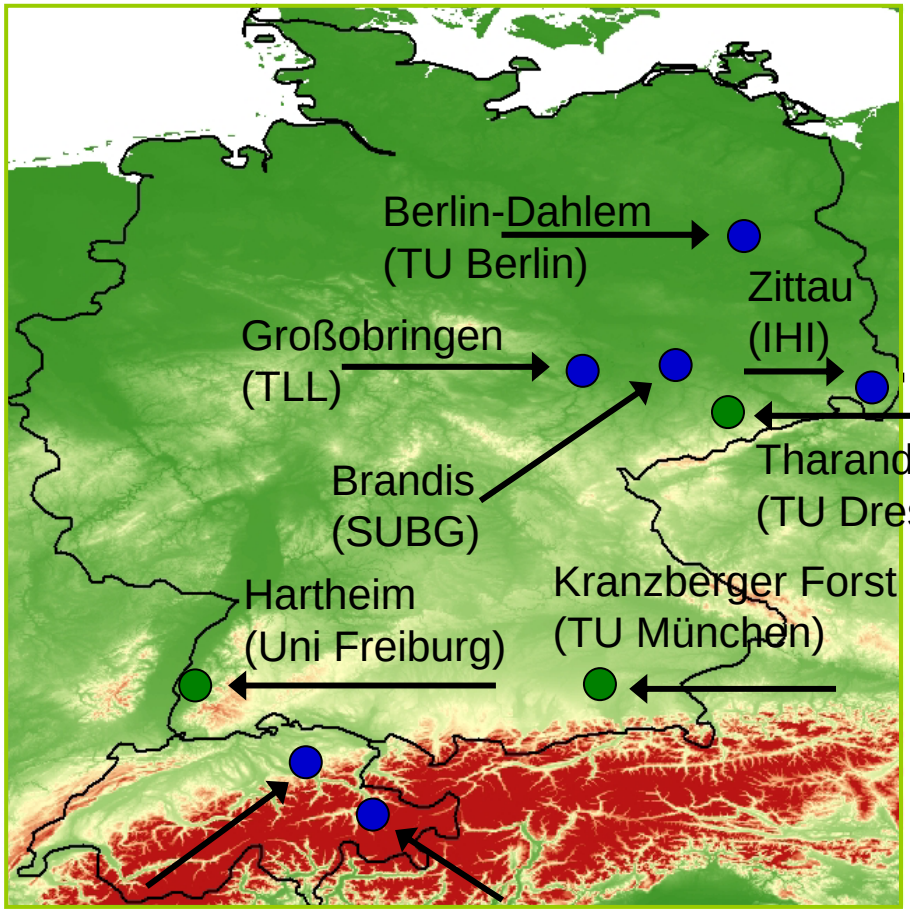
Aktuelle Fragestellungen

Skalenansatz, Modellwahl und betrachtete Einflüsse

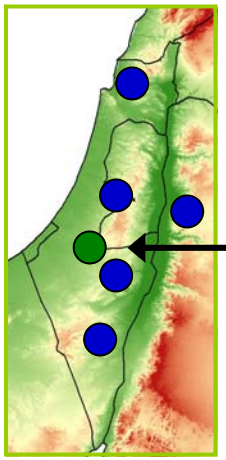


Aktuelle Fragestellungen

Anwendung, Weiterentwicklung und Validierung von TRAIN (Standortvariante) auf ausgewählten Experimentalflächen



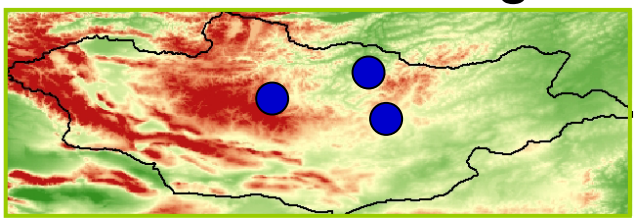
- Forstliche Untersuchungsflächen
- Lysimeterstationen, landwirtschaftliche Flächen u.a.



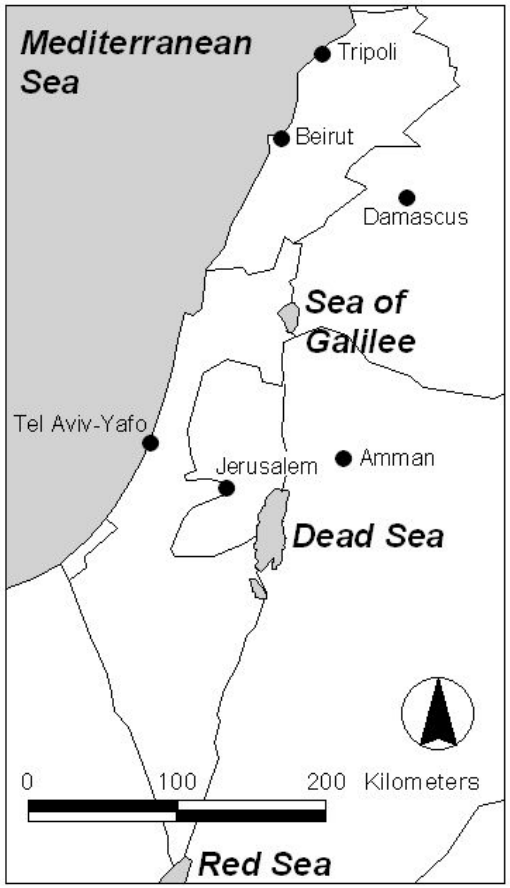
Jordan-Region

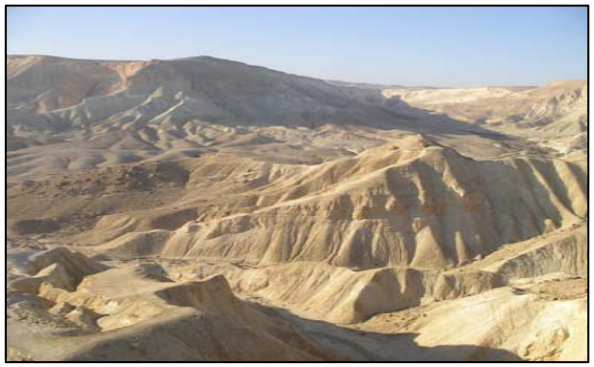
Yatir Forest
(Weizmann Institute)

Mongolei



Characteristics in semi-arid and arid landscapes: the case of Israel and Jordan

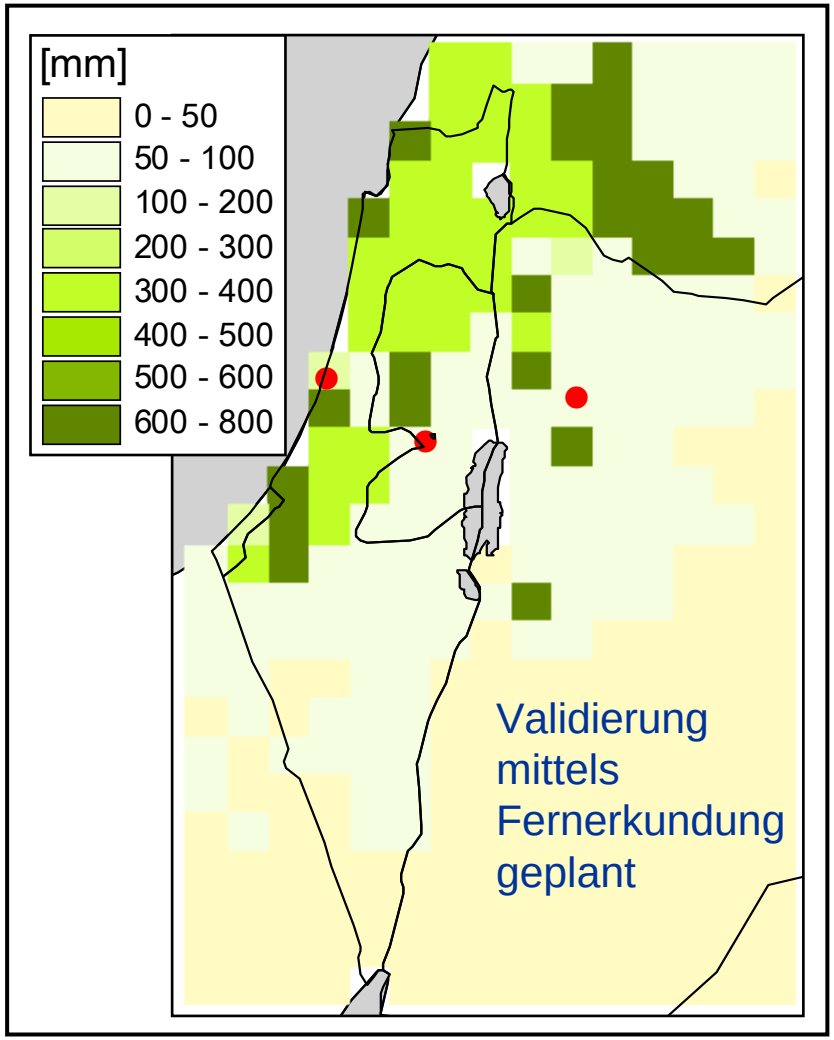




Aktuelle Fragestellungen

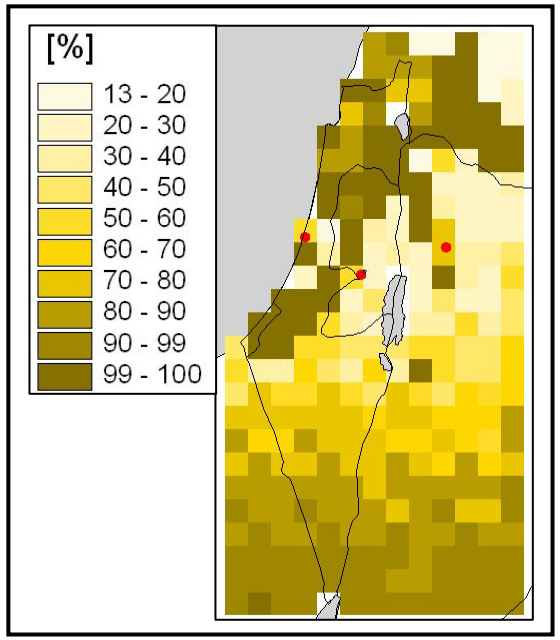
Modellergebnisse für derzeitige Klimabedingungen (1961-1990)

Mittlere jährliche aktuelle Verdunstung



Potentielle Verdunstung bis 2500 mm / a

Mittlerer prozentualer Anteil der Verdunstung am Niederschlag

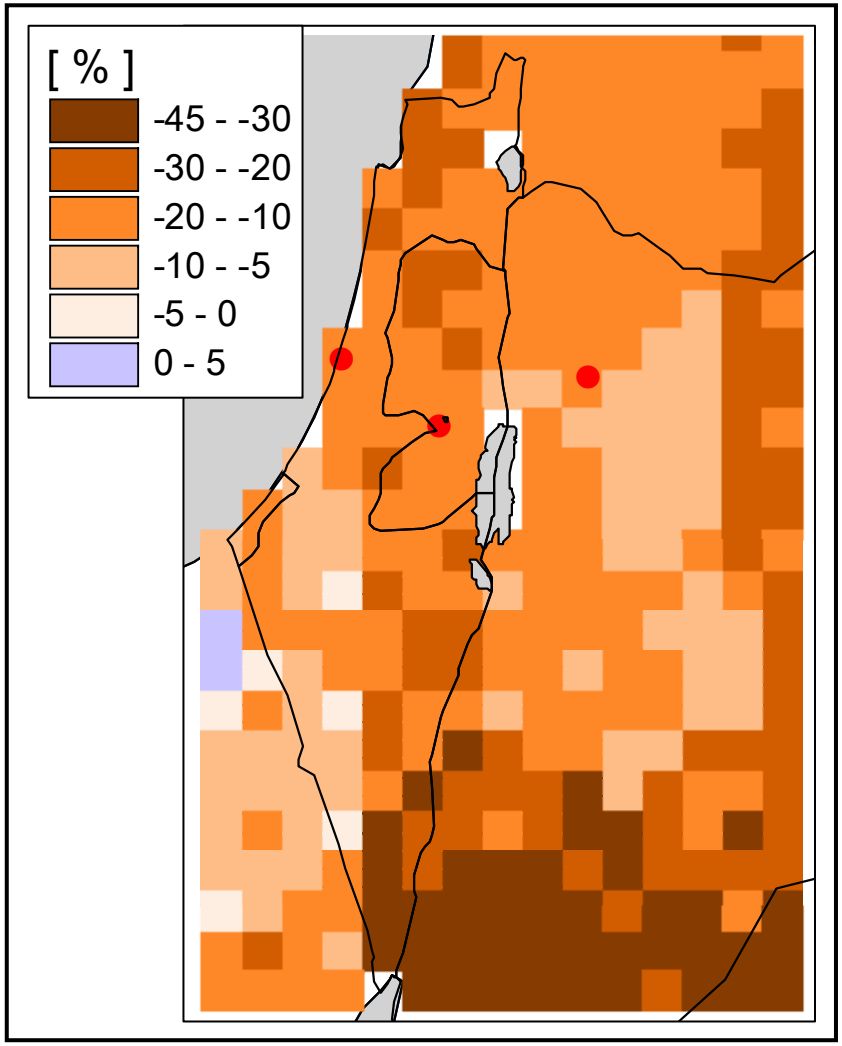


Bisherige Schätzwerte der Verdunstung für die Jordan-Region:

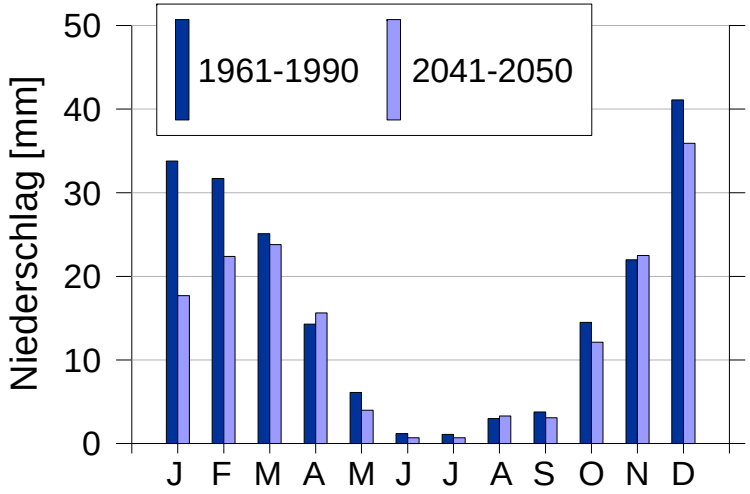
- Korzun (1974): zwischen ca. 100 mm/a und ca. 400 mm/a
- Baumgartner und Reichel (1975): zwischen ca. 50 mm/a (Rotes Meer) und > 500 mm/a (nördl. Mittelmeerküste)

Aktuelle Fragestellungen

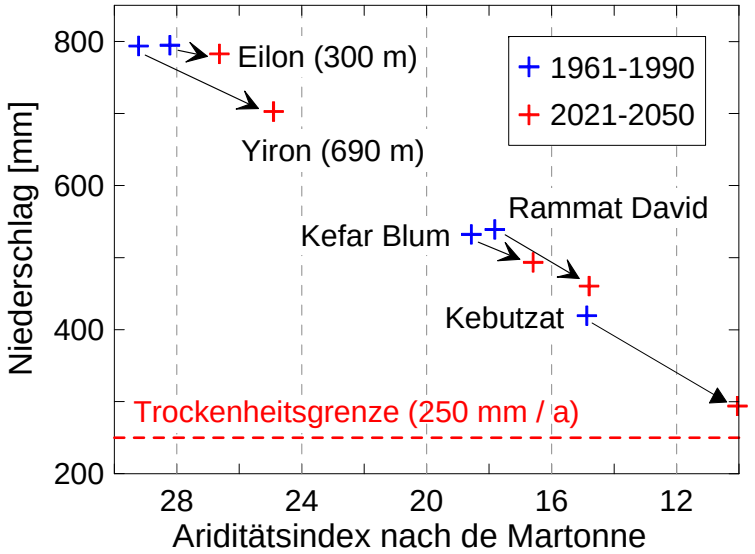
Mittlerer Jahresniederschlag 2041-50 vs. 1961-90 (A1B)



Veränderung mittlerer Monatsniederschläge

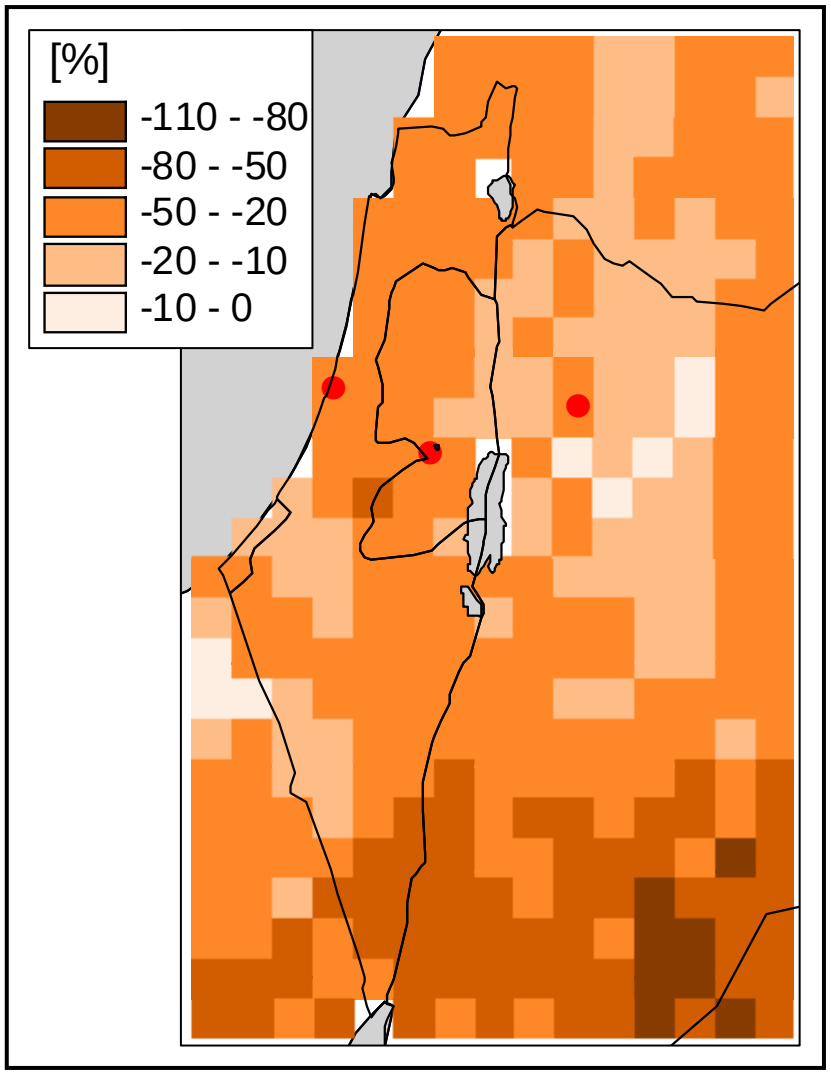


Entwicklung des Ariditätsindex

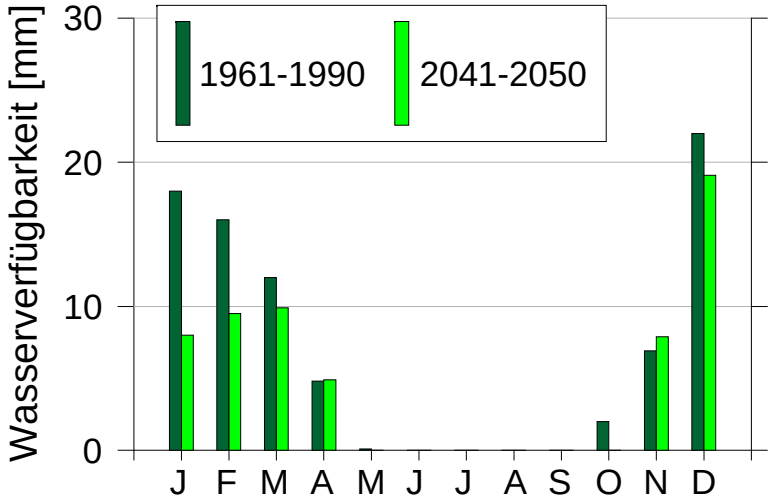


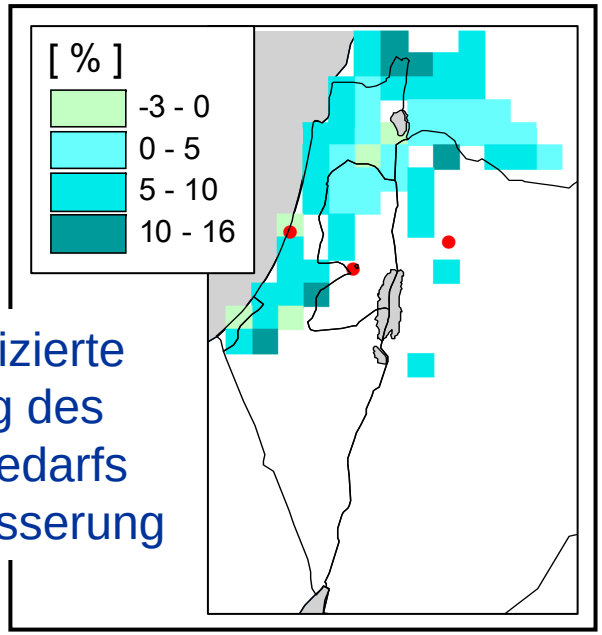
Aktuelle Fragestellungen

Mittlere Wasserverfügbarkeit 2041-50 vs. 1961-90 (A1B)



Veränderung der mittleren monatlichen Wasserverfügbarkeit

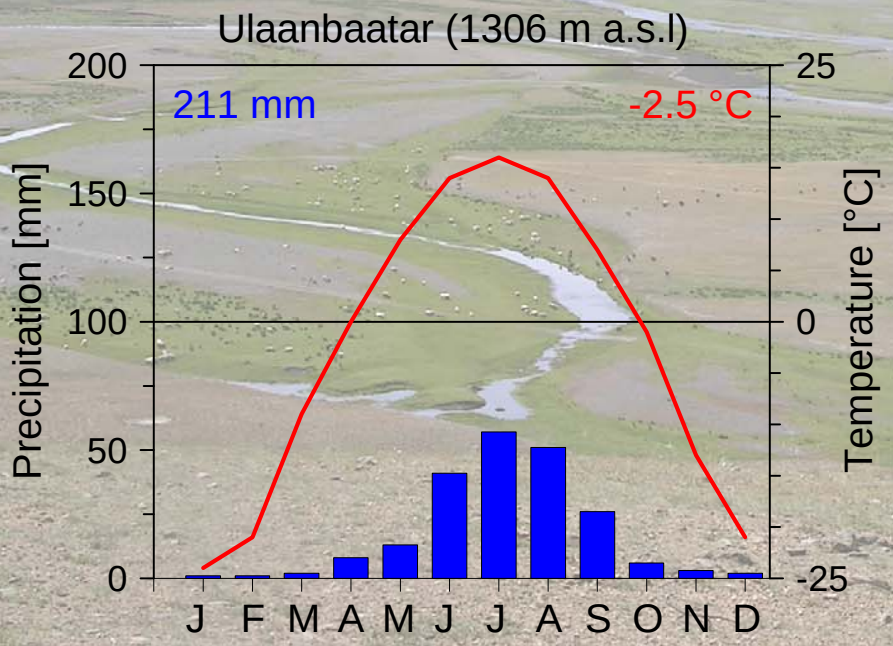




Prognostizierte Änderung des Wasserbedarfs für Bewässerung

Aktuelle Fragestellungen

Besondere Herausforderungen bei der Projektarbeit in der Mongolei:

- Diskontinuierlicher Permafrost
- Hohe Sublimationsraten im Winter
- Nahezu gesamter Niederschlag verdunstet

→ Unser Modellierungsansatz wird stark überarbeitet