

Themen der Übung im Sommersemester 2007

1. Auswertung von **Niederschlagsmessungen, Abflusskurve**
2. Verfahren zur Ermittlung der **Verdunstung**
3. Aufstellen und Berechnen von **Wasserbilanzen**
4. Einführung zur **Extremwertstatistik** für Hochwässer
5. Verfahren zur Beschreibung der **Abflussbildung**
6. Verfahren zur Beschreibung der **Abflusskonzentration, Teil 1**
7. Verfahren zur Beschreibung der **Abflusskonzentration, Teil 2**

Literatur:

Dyck & Peschke (1995): Grundlagen der Hydrologie; Verl. f. Bauwesen

Maidment (ed.) (1992): Handbook of Hydrology; McGraw-Hill

Dingman (2002): Physical Hydrology; Prentice Hall

Grundbegriffe 1

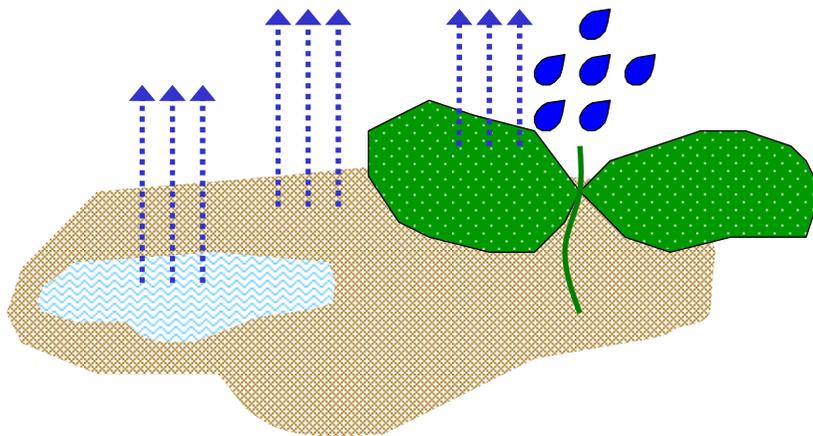
Verdunstung: Übergang von Wasser in den gasförmigen Zustand bei Temperaturen unter dem Siedepunkt

Gebietsverdunstung (z.B. eines Einzugsgebiets): **Evapotranspiration**



Evaporation

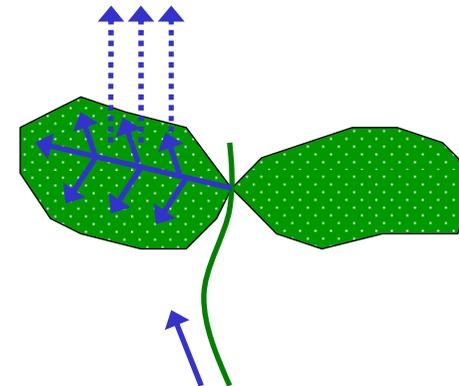
Verdunstung von unbewachsener Bodenoberfläche, freier Wasserfläche und des auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenen Wassers (Interzeption)



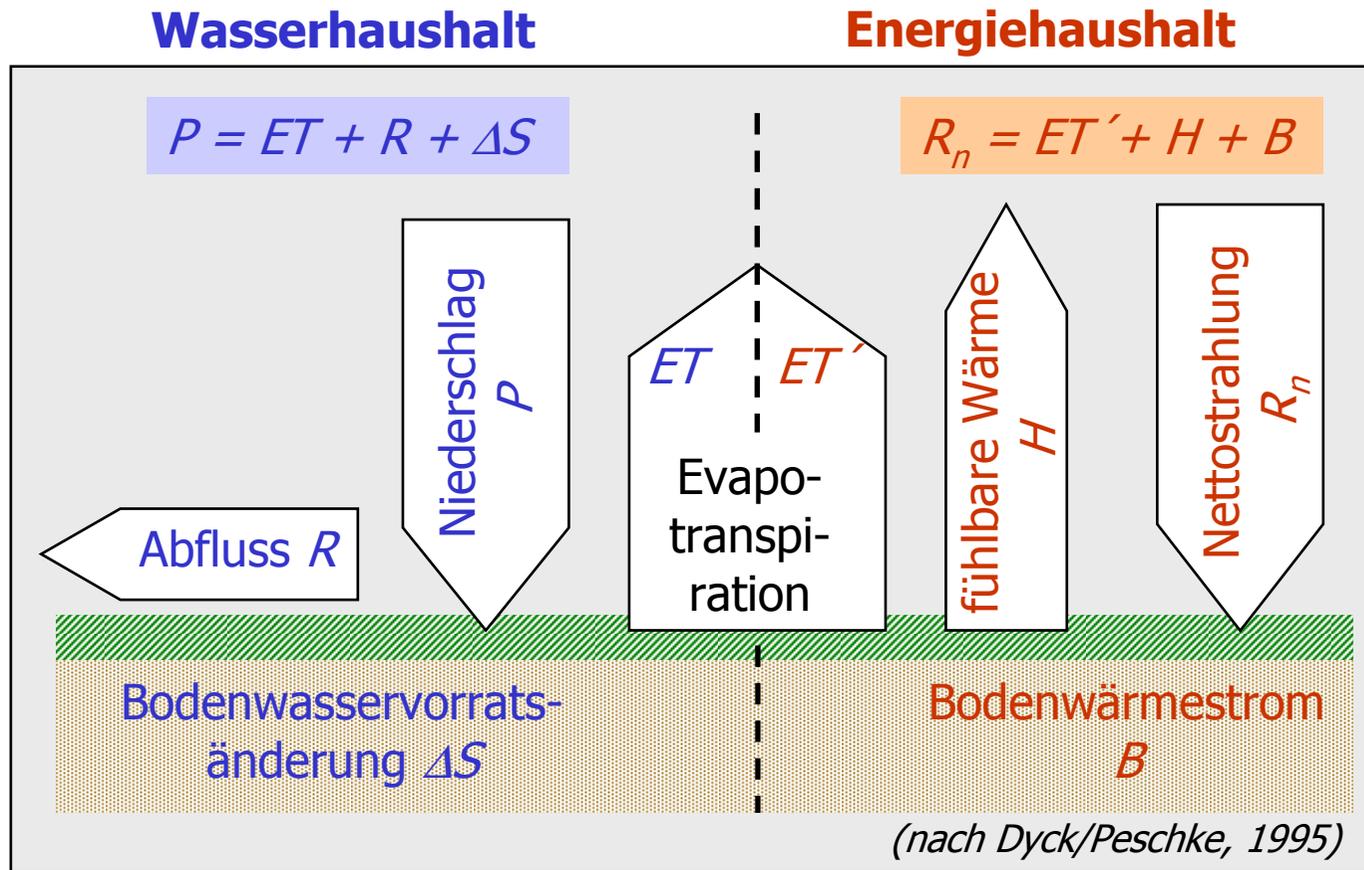
Transpiration

Physiologisch regulierte Abgabe von Wasserdampf durch die oberirdischen Pflanzenorgane (Stomata, Kutikula)

--> *durch die Pflanze transportiertes Bodenwasser*



Verdunstung als Prozess des Wasser- und Energiehaushalts



Zusammensetzung der Nettostrahlung R_n (Synonym: Strahlungsbilanz)

$$R_n = (1-\mu) \cdot R_G + (R_{Ge} - R_A)$$

kurzwellige Bilanz

langwellige Bilanz

R_G : Globalstrahlung (direkte + diffuse kurzwellige Einstrahlung)

μ : Albedo

R_{Ge} : Langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre

R_A : Langwellige Abstrahlung der Erdoberfläche

Verdunstung als Prozess des Wasser- und Energiehaushalts

Aufgabe: Berechnung des Energiebedarfs für die Verdunstung von 2 mm/d

gegeben:

Gl. 1: $ET' = ET * L * \rho$

ET' Verdunstungswärmestrom [Energie / Fläche / Zeit]

ET Verdunstungshöhe [Volumen / Fläche / Zeit]

L spez. Verdunstungswärme von H_2O [Energie / Masse]

ρ Dichte von H_2O [Masse / Volumen]

Gl. 2: $L = 2501 - 2.37 * T$ mit T in [$^{\circ}C$] und
 L in [$kJ kg^{-1}$]

gesucht:

ET' in den Einheiten [$MJ m^{-2} d^{-1}$] und [$W m^{-2}$]
bei einer Temperatur von 4 $^{\circ}C$ und 28 $^{\circ}C$

Dichte von H_2O

T [$^{\circ}C$]	Rho [g/l]
0	999.84
2	999.94
4	999.97
6	999.94
8	999.85
10	999.70
12	999.50
14	999.24
16	998.94
18	998.60
20	998.21
30	995.65
40	992.20

Wichtige Einflussfaktoren im Verdunstungsprozess

- **Verfügbare Energie**

--> *Überwindung der Verdunstungswärme des Wassers*

- **Sättigungsdefizit der Atmosphäre über verdunstender Fläche**

--> *z.B. ausgedrückt über die relative Luftfeuchte*

- **Abtransport des Wasserdampfs durch Wind oder Konvektion**

--> *Aufrechterhaltung des Potentialgradienten Boden-Atmosphäre*

- **Wasserdargebot am Standort**

--> *z.B. abhängig von Boden, GW-Flurabstand*

- **Eigenschaften der Vegetation**

--> *z.B. Blattflächenindex, Saisonalität, Oberflächen-Rauhigkeit*

Potentielle Verdunstung ETP

- Verdunstung unter gegebenen meteorolog. Bedingungen bei **unbegrenztem** Wasserdargebot

ETP ist reine Rechengröße !



Reale Verdunstung ETR

- Verdunstung unter gegebenen meteorolog. Bedingungen beim gegebenen (**i.d.R. begrenzten**) Wasserdargebot



Zwei Standard-Definitionen für ETP:

- Verdunstung v. ausgedehnter Wasserfläche **ETP₀**
- Verdunstung von Standardrasen ohne Wassermangel („Bezugswert der Pflanzenverdunstung“ **ETP_B**, engl: „Reference Crop Evaporation“ ETP_{rc})

Messung der Verdunstung: Verdunstungskessel

- Kesselverdunstung liefert **Schätzwert der potentiellen Verdunstung**, da unbegrenztes Wasserangebot, aber nicht direkt ETP_0 oder ETP_B !
- Dynamik von ETP erfassbar
- Schätzung von ETP_0 und ETP_B aus Kesselverdunstung über empirische Korrekturfaktoren

Bilanzgleichung zur Berechnung der Evaporation E_K des Kessels:

$$E_K = P - \Delta S \quad (P: \text{Niederschlag, } \Delta S: \text{Speicheränderung})$$



Schätzung von ETP_0 oder ETP_B aus E_K :

$$ETP_? = E_K * k \quad (k: \text{empirischer Faktor})$$

- Korrektur von Erwärmung des Kessels, Windwirkung, Oaseneffekt etc.
- Es existieren empirische Faktoren zur weiteren Umrechnung von ETP_B für diverse Kulturpflanzenbestände

Messung der Verdunstung: Verdunstungskessel

Aufgabe: Schätzen von ETP_B aus Kessel-Verdunstung

gegeben:

- Beobachtete Verlustmenge aus Class A pan: 32 Liter binnen 1 Woche
- mittlere rel. Luftfeuchte im Beobachtungszeitraum: 62 %, kein Wind, kein Regen
- Standort: große, gemähte Wiese

$$ETP_B = E_k * k$$

E_k : Kessel-Verdunstung,
 k : Kessel-Koeffizient



gesucht:

ETP_B in $[mm d^{-1}]$

Faktor k zur Umrechnung der class A pan Verdunstung in Reference crop evaporation (aus Maidment, 1992)

Wind [m/s]	Länge v. Messwiese gegen Windrichtung [m]	rel. Luftfeuchte < 40%	rel. Luftfeuchte 40%-70%	rel. Luftfeuchte > 70%
<1	0	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,7	0,8	0,85
2-5	0	0,5	0,6	0,65
	10	0,6	0,7	0,75
	100	0,65	0,75	0,8
5-8	0	0,45	0,5	0,6
	10	0,55	0,6	0,65
	100	0,6	0,65	0,7
>8	0	0,4	0,45	0,5
	10	0,45	0,55	0,6
	100	0,5	0,6	0,65

Messung der Verdunstung: Lysimeter

- Bestimmung der **realen Verdunstung** ETR als Restglied der Wasserbilanz der Bodensäule:

$$ETR = P - R - \Delta S$$

mit P: Niederschlag, ΔS : Speicheränderung, R: Sickerwasserabfluss

- Bestimmung von ΔS mittels Bodenfeuchtemessung oder wägbarem Lysimeter
- Bei Betrachtung langer Zeiträume (viele Jahre) darf ΔS vernachlässigt werden
- Bei geeigneten Standorten bereitet lateraler Abfluss Probleme



DWD

Lysimeter mit meteorolog. Messgeräten



DWD

Wage und Sickerwasser-Auffang

Messung der Verdunstung: Lysimeter

Aufgabe: Berechnung von ETR aus Daten eines wägbaren Lysimeters

gegeben:

Oberfläche des Lysimeters: 4 m²

Lysimetermasse zu Beginn und Ende der Messperiode: 12010.2 kg, 12058.2 kg

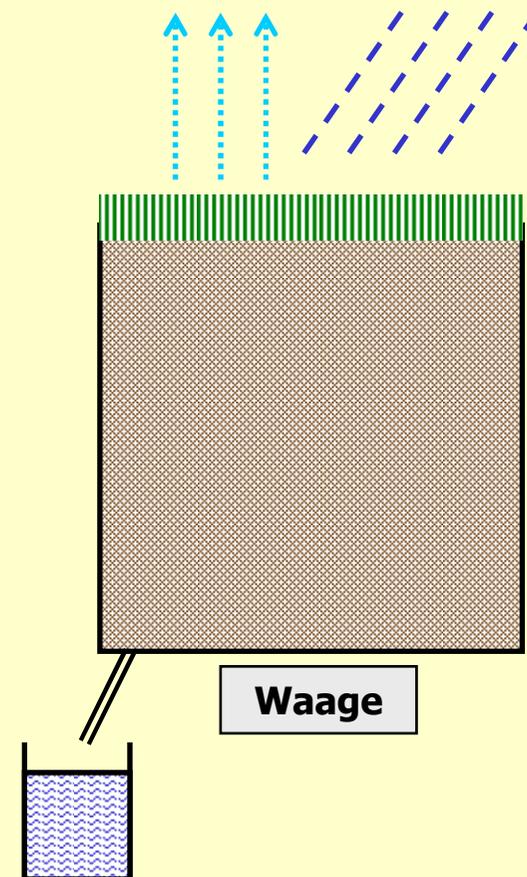
Niederschlag während der Messperiode: 83 mm

gemessene Sickerwassermenge: 164.0 Liter

gemessener Oberflächenabfluss: 0.0 Liter

gesucht:

*Tatsächliche Verdunstung ETR des Standorts
während der Messperiode in [mm]*



Berechnung der potentiellen Verdunstung: Übersicht

- Ziel: Berechnung von ETP_B aus meteorologischen Standard-Messgrößen
- Es existieren viele Verfahren, die untersch. Einflussgrößen berücksichtigen

Verfahren	berücksichtigte Einflussgrößen
Penman-Monteith	Nettostrahlung, Luftfeuchte, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Bestandesparameter (Widerstände)
Penman	Nettostrahlung, Luftfeuchte, Temperatur, Windgeschwindigkeit
Priestley-Taylor	Nettostrahlung, Temperatur
Turc	Globalstrahlung, Luftfeuchte, Temperatur (explizit)
Haude	Luftfeuchte
Dalton	Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte

- Empirische Formeln liefern z.T. stark unterschiedliche Werte für ETP_B
- Bei Berechnung zeitlich hoch aufgelöster Verdunstungsraten nimmt die Güte der Schätzung mit der Anzahl berücksichtigter Einflussgrößen zu
- Anwendungsbeschränkungen bzgl. Standortbedingungen zu beachten; Zeitliche Auflösung der Ergebnisse berücksichtigen (ggf. aggregieren)

Berechnung der potentiellen Verdunstung (ETP_B): HAUDE-Formel

$$ETP_B = f * (E - e)_{14^\circ}$$

f : Haude-Faktor [$mm \ hPa^{-1} \ d^{-1}$]

e, E_{14° : akt. Dampfdruck (e) und Sättigungsdampfdruck (E) der Luft um 14° in [hPa]

gegeben: 14° -Werte der Station Campus Golm

Zeit	Lufttemp. [$^\circ C$]	rel. Luftfeuchte [%]
1.6.03	26.4	33.0
2.6.03	29.7	29.7
3.6.03	32.2	28.1
4.6.03	32.6	27.4
5.6.03	31.4	37.1
6.6.03	24.0	35.1
7.6.03	27.0	41.0

Magnus-Formel für den Sättigungsdampfdruck E [hPa] über Wasser als Funktion der Lufttemperatur T [$^\circ C$]:

$$E(T) = 6.11 * 10^{\left[\frac{7.5 * T}{237.3 + T} \right]}$$

Definiton der relat. Luftfeuchte U [%]

$$U = \frac{e}{E} * 100$$

Haude-Faktoren [$mm \ hPa^{-1} \ d^{-1}$] aus Dyck/Peschke (1995)

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
f	0,22	0,22	0,22	0,29	0,29	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,22

gesucht: Verdunstungssumme für die Messwoche in [mm]

Berechnung der potentiellen Verdunstung (ETP_B): TURC-Formel

$$ETP_B = 0.027 * C * (R_G + 24) * (T / (T+15))$$

mit $C = 1 + (50 - U) / 70$ bei $U < 50\%$
 bzw. $C = 1$ bei $U \geq 50\%$

R_G : Globalstrahlung [W / m^2]

T : Lufttemperatur [$^{\circ}C$]

U : rel. Luftfeuchte [%]

Formel gilt nur für $T > 5^{\circ}C$,
 ETP_B wird in [$mm d^{-1}$] berechnet

gegeben: Tagesmittelwerte der Station Campus Golm

Zeit	Lufttemp. [$^{\circ}C$]	Globalstr. [W / m^2]	rel. Luftfeuchte [%]
1.6.03	21,4	343,6	56,4
2.6.03	23,2	327,8	51,6
3.6.03	25,8	290,2	44,7
4.6.03	26,7	304,2	41,7
5.6.03	24,8	278,1	59,7
6.6.03	20,5	321,0	65,6
7.6.03	22,0	317,7	61,3

gesucht: Verdunstungssumme für die Messwoche in [mm]

Schätzung von ETP_B für beliebige Pflanzenbestände

Reale Pflanzenbestände unterscheiden sich vom Standardrasen, u.a.:

- Blattflächenindex (LAI), Phänologie, Wurzeltiefe...
- Albedo
- Höhe, Rauigkeit (Turbulenzbildung; aerodynamischer Widerstand)

$$ETP_X = ETP_B * k$$

ETP_X : ETP des Bestands X , k : empirischer Faktor

k-Werte aus Dyck/Peschke (1995)

Bestand	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	11-2
Schnittgras	1.00	1.00	1.05	1.10	1.10	1.05	1.05	1.00	1.00
Winterweizen	0.80	0.85	1.15	1.45	1.40	1.00	0.80	0.70	0.65
Kartoffeln	-	0.50	0.90	1.05	1.45	1.20	0.90	-	-

- Wie kann man die Faktoren für unterschiedliche Bestände bestimmen?
- Für die Monate Juni und Juli (61 Tage) wurde mittels TURC-Formel für ETP_B ein Wert von 187 mm bestimmt. Ist der Wert 261.8 mm (187 * 1.4) ein realistischer Schätzwert für die reale Verdunstung eines Winterweizenbestands?

Langjähriges Mittel der realen Verdunstung eines Einzugsgebiets

Wasserbilanzgleichung

$$P - ETR - R - \Delta S = 0$$

P: Niederschlag

R: Abfluss

ΔS : Änderung der im Gebiet
gespeicherten Wassermenge

ETR: reale Verdunstung

Bei Langzeitbetrachtungen ist ΔS meist vernachlässigbar ($\Delta S=0$) und das langjährige Mittel von ETR ist aus langjährigen Mitteln von P und R berechenbar.

Beispiel: EZG der Nieplitz südlich v. Potsdam

Fläche des Einzugsgebietes am
Pegel Blankensee: ca. 805 km²

mittlerer Niederschlag (Station Potsdam,
1984-2000): 580 mm/a

mittlerer Durchfluss am Wehr Blankensee
(1984-2000): 3,26 m³/s

Gesucht: langjähriges Mittel von ETR [mm/a]

