

Hydrology (CT2310)

Prof. dr. ir. H.H.G. Savenije

Lezing 'Verdamping'



Verdamping



Belang van verdamping

- Naast regenval meestal de grootste flux
 - Vooral in een warm en droog klimaat
- Wordt meestal als “verlies” gezien (Sudd)
- Maar is een belangrijke vochtleverancier voor continentale regenval

Gemiddelde Verdamping

$$\bar{Q} + \bar{E} = \bar{P}$$

met Q = Afvoer (Runoff) [mm/jaar]
 E = Verdamping (Evaporation) [mm/jaar]
 P = Neerslag (Precipitation) [mm/jaar]

$$\frac{\bar{Q}}{\bar{P}} + \frac{\bar{E}}{\bar{P}} = C + \frac{\bar{E}}{\bar{P}} = 1$$

Waar C de "runoff coëfficiënt" is.

Vormen van verdamping

- Directe verdamping (energetisch proces):
 - Open water verdamping E_o
 - Bodemverdamping E_s
 - Interceptie verdamping I
- Transpiratie T (bio-fysisch proces)
- Totale verdamping $E = E_o + E_s + I + T$

Verdamping (Evaporation)

- Gebruik niet de term “Evapotranspiratie” maar Evaporatie of Verdamping
- “Evapotranspiratie” is een verouderde term die ons onvermogen om verschillende verdampingsvormen te onderscheiden benadrukt.

Potentiele Verdamping

- Potentiele verdamping E_p is de hoeveelheid verdamping die gegeven bepaalde klimatologische omstandigheden en bepaald landgebruik en begroeiing optreedt als er geen gebrek aan water is.
- Actuele verdamping E is de verdamping die vervolgens optreedt als functie van de waterbeschikbaarheid

Actuele Verdamping

$$E \leq E_p = \alpha E_0$$

$$E \leq P$$

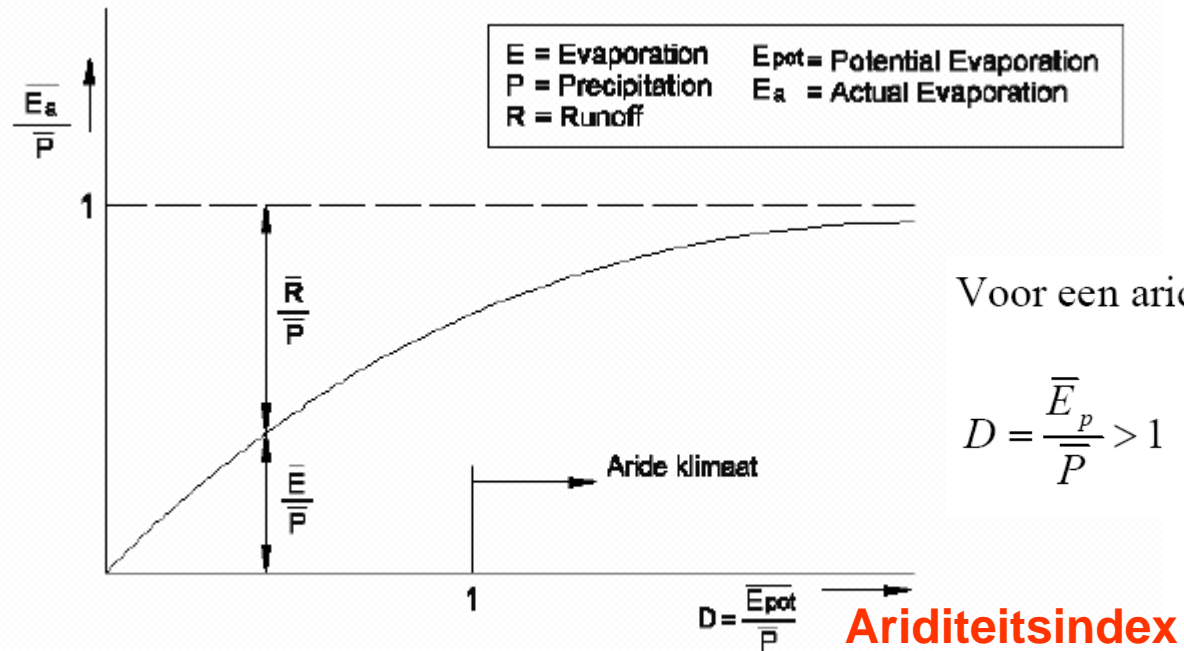
Budyko Curve (jaarbasis)

$$\frac{\bar{E}}{\bar{P}} = \left(1 - \exp\left(-\frac{\bar{E}_p}{\bar{P}}\right) \right)$$

Als: $P \rightarrow 0$, $E = P$

Als: $P \rightarrow \infty$, $E = E_p$

Budyko Curve



Figuur 7.1 - Relatie gemiddelde jaarlijkse verdamping, neerslag en afstroming (Budyko curve)

	P	E_o	E_p	E	Budyko
--	---	-------	-------	---	--------

aride gebied

D=12

150	2250	1800	140	144
-----	------	------	-----	-----

Nederland

D=0.7

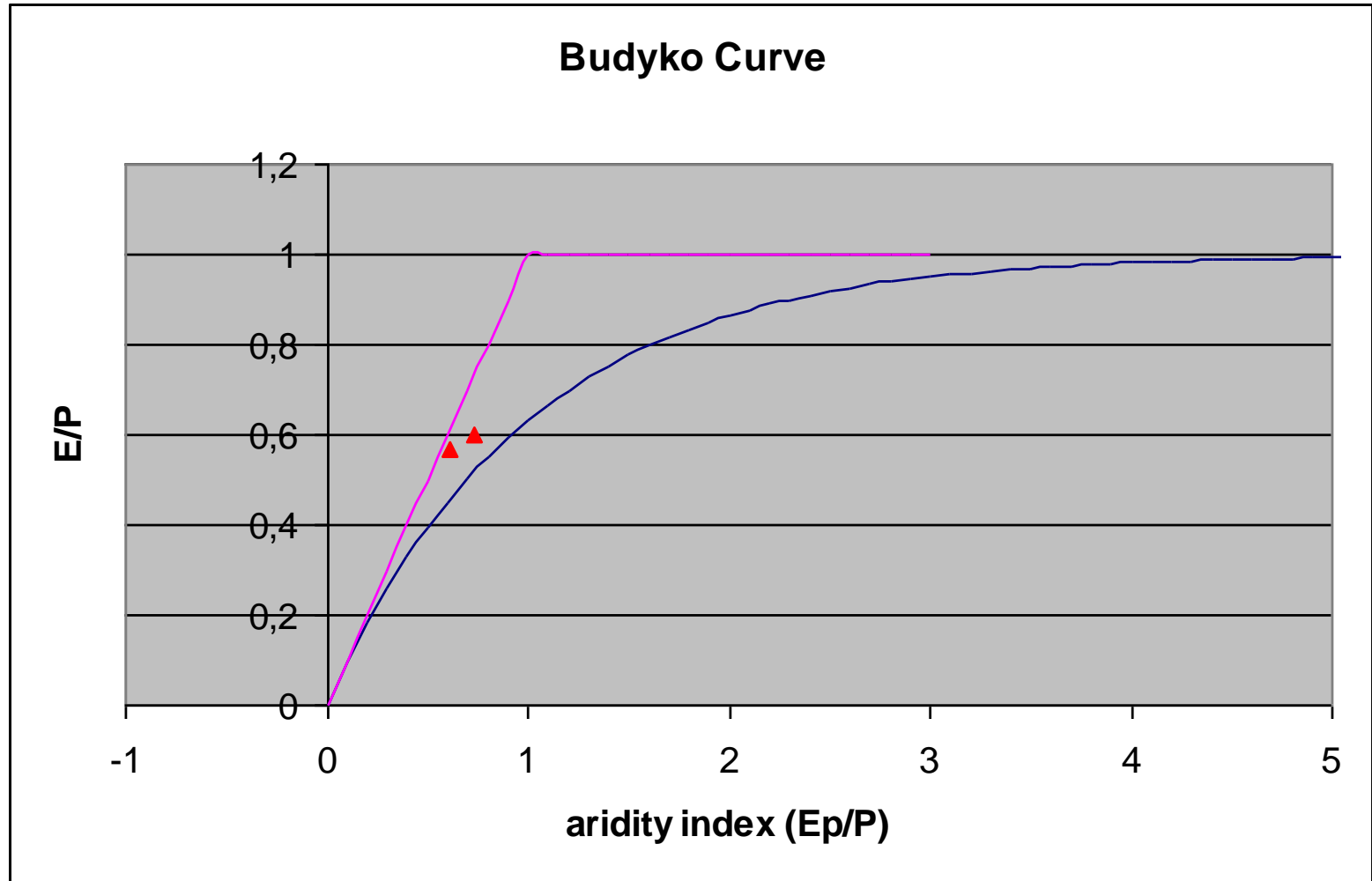
750	700	550	450	409
-----	-----	-----	-----	-----

tropisch gebied

D=0.6

2300	1500	1400	1300	1129
------	------	------	------	------

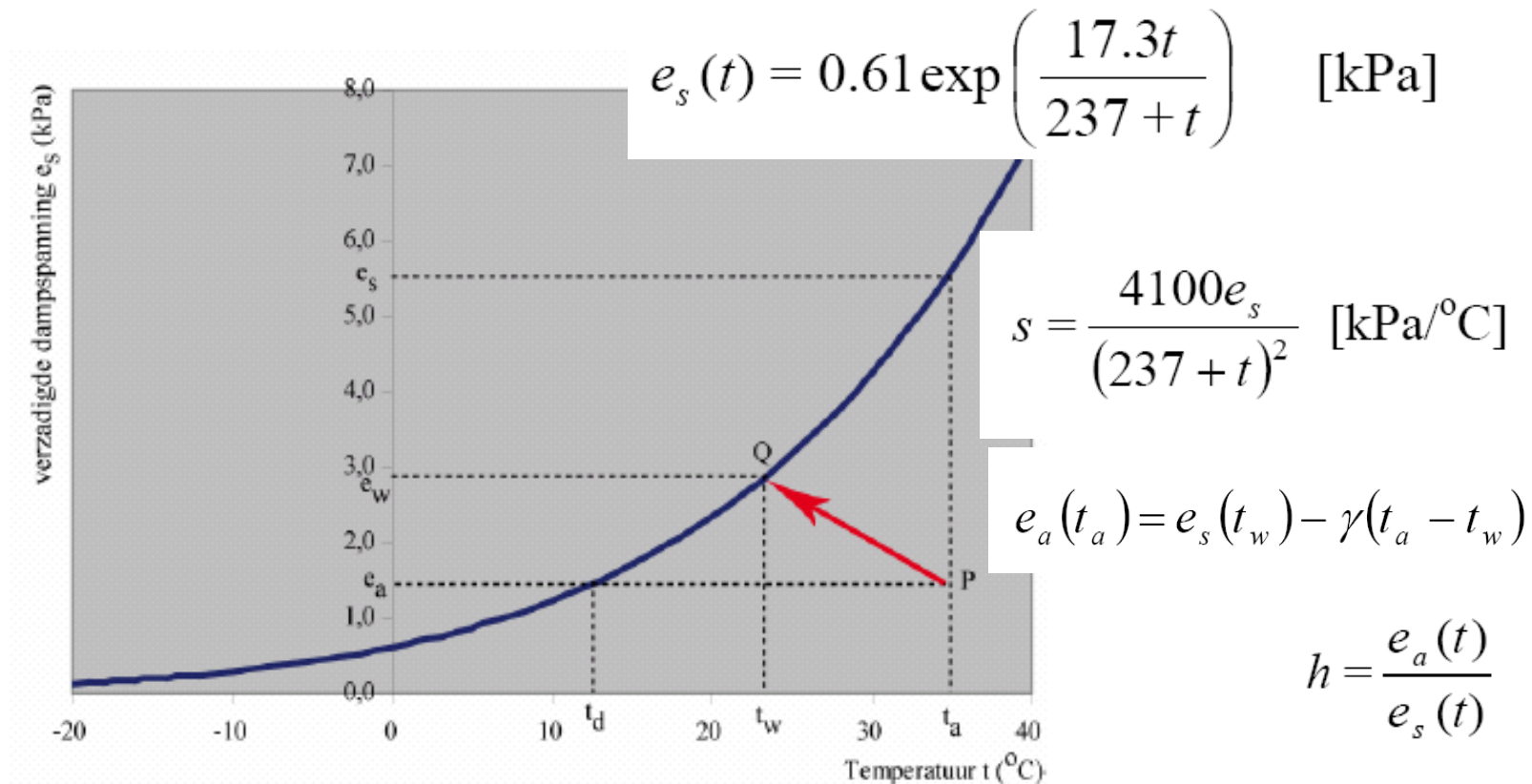
Budyko Curve



Verdampingsproces

- Luchtvochtigheid
- Straling
- Energiebalans
- Aerodynamische weerstand

Luchtvochtigheid



Figuur 7.3 - Verzadigingsdampspanning als functie van de luchttemperatuur

Psychrometer

$$e_a(t_a) = e_s(t_w) - \gamma(t_a - t_w)$$

$e_w = e_s(t_w)$, berekend met Eq.[7.6]

t_a = temperatuur “droge” thermometer

t_w = temperatuur “natte” thermometer

γ = psychrometer constante (0.066 kPa/°C)

Energiebalans

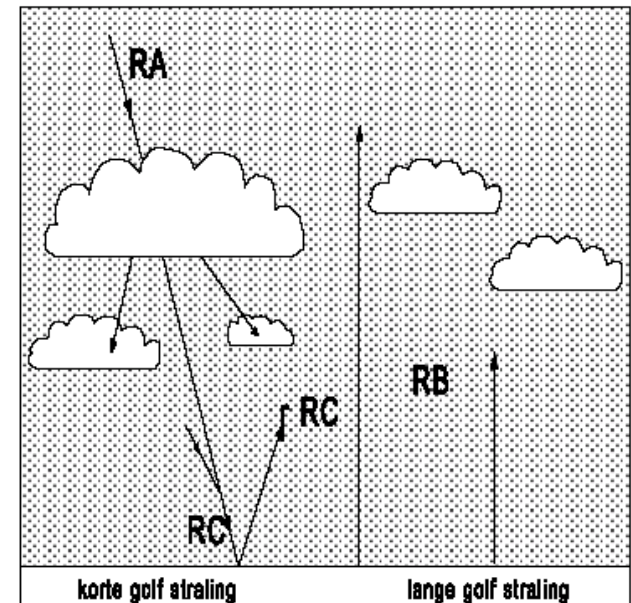
$$R_N = (1 - r)R_C - R_B$$

R_N : Netto korte golf straling [W/m^2]

R_C : Inkomende korte golf straling

R_B : Uitgaande lange golf straling

r : Albedo



Figuur 7.5 - R_A , R_B and R_C

Radiometer



Figuur 7.6 - Radiometer

Zonneschrijver



R_C wordt empirisch bepaald uit theoretische straling en n/N

n/N is de verhouding zon-uren tot mogelijk aantal zon-uren (getabelleerd)

R_B wordt berekend via (ingewikkelde) deels empirische formule

Figuur 7.7 - Cambell-Strokes zonneschrijver

$$R_N = (1 - r)R_C - R_B$$

Tabel 7.1 - Albedo (r) voor verschillende oppervlakten

Oppervlak	Albedo (r)
Vrij water oppervlak	0.06
Gras	0.24
Kale grond	0.10 - 0.30
Verse sneeuw	0.90

Tabel 7.2 – Empirische uitdrukingen voor R_C

Nederland	$R_C = (0.20 + 0.48 n/N)R_A$
Average climate	$R_C = (0.25 + 0.50 n/N)R_A$
New Delhi	$R_C = (0.31 + 0.60 n/N)R_A$
Singapore	$R_C = (0.21 + 0.48 n/N)R_A$

Hangt af van bewolking

$$R_B = \sigma(273 + t_a)^4 \left(0.47 - 0.21\sqrt{e_a} \right) \left(0.2 + 0.8 \frac{n}{N} \right) [\text{Jd}^{-1}\text{m}^{-2}]$$

Energiebilans

$$R_N = (1 - r)R_C - R_B$$

$$\frac{\Delta S_E}{\Delta t} = R_N - H - A - \rho\lambda E$$

Assume: $\Delta S/\Delta t=0$, $A=0$

$$E = \frac{(R_N - H)}{\rho\lambda} = \frac{(1 - r)R_C - R_B - H}{\rho\lambda}$$

Penman (1948)

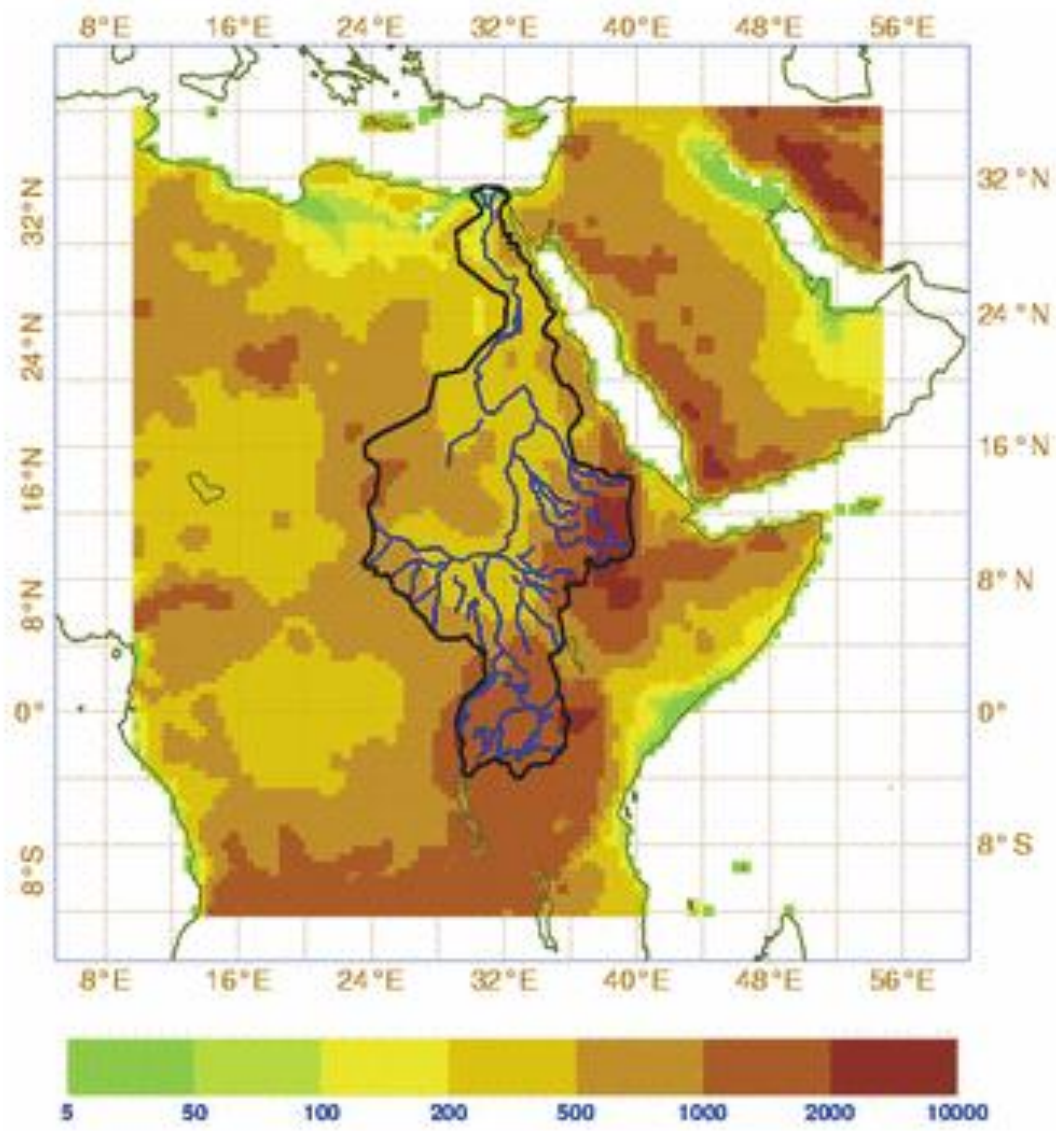
- Open water verdamping gebaseerd op de energiebalans
- maar met gebruikmaking van empirische onderdelen
- Maakt gebruik van 4 standaardeenheden:
 - luchttemperatuur
 - relatieve vochtigheid
 - windsnelheid
 - netto stralingsintensiteit

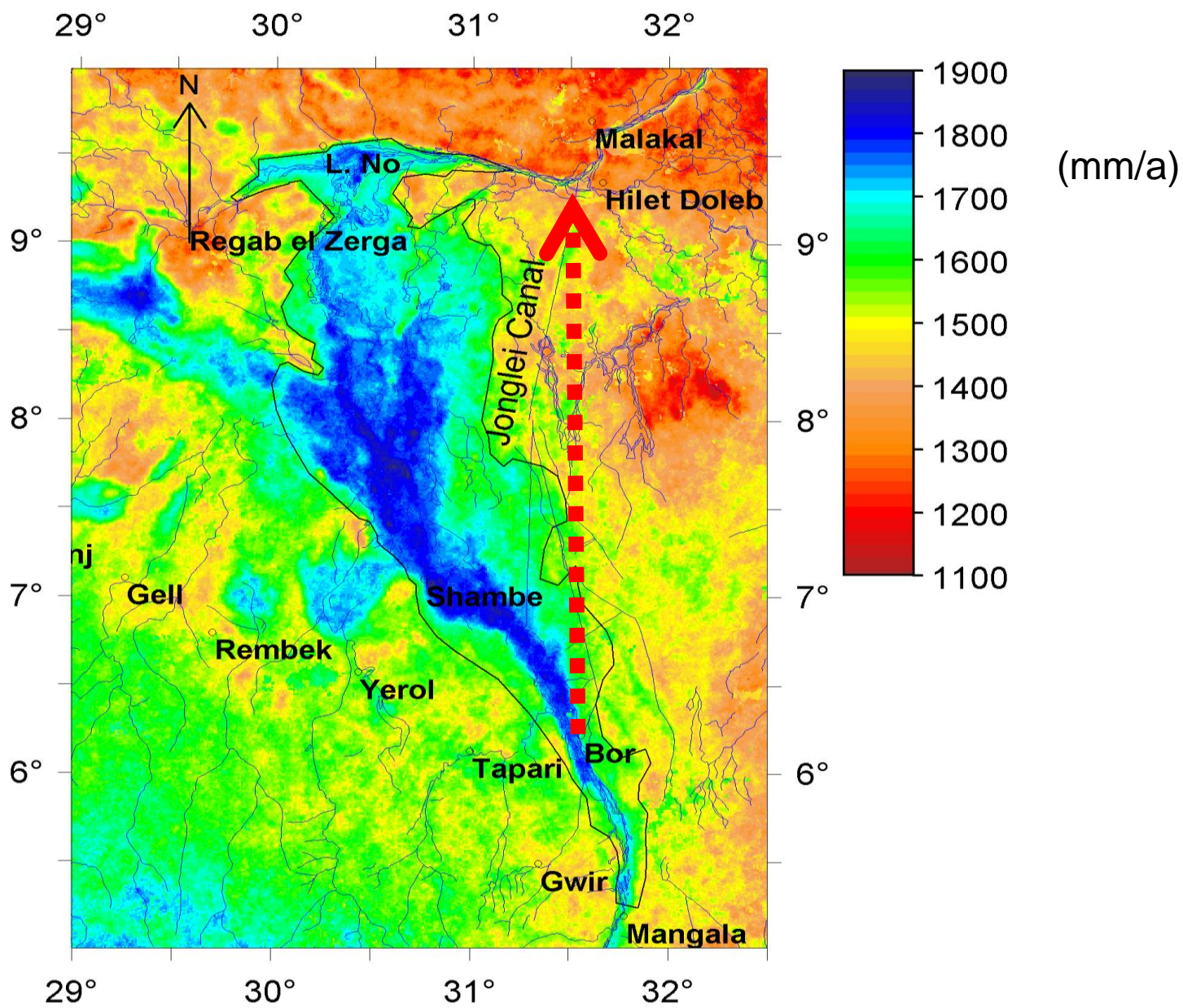
Penman Formule

$$E_o = \frac{\left(\frac{sR_N}{\rho\lambda} + \frac{c_p \rho_a}{\rho\lambda} \frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{s + \gamma}$$
$$r_a = \frac{245}{(0.54u_2 + 0.5)} * \frac{1}{86400} \quad [\text{d/m}]$$

Penman-Monteith:

$$E_a = \frac{\left(\frac{sR_N}{\rho\lambda} + \frac{c_p \rho_a}{\rho\lambda} \frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{s + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)}$$





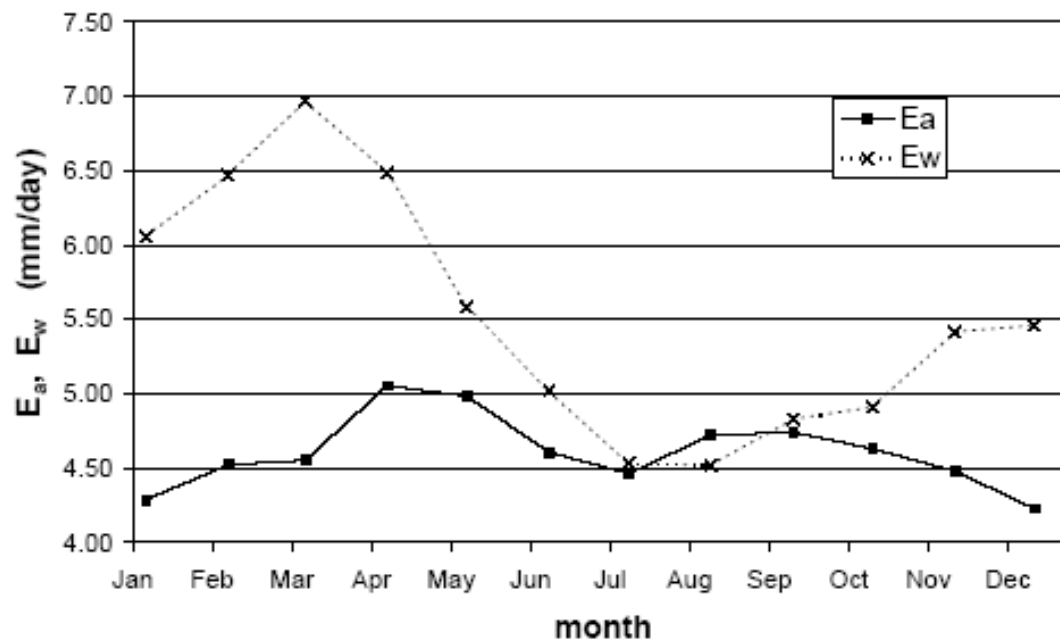


Fig. 3: Monthly fluctuations of actual Sudd evaporation E_a and open water evaporation E_w (mm/day), averaged values over the Sudd (mean of years 1995, 1999, 2000).

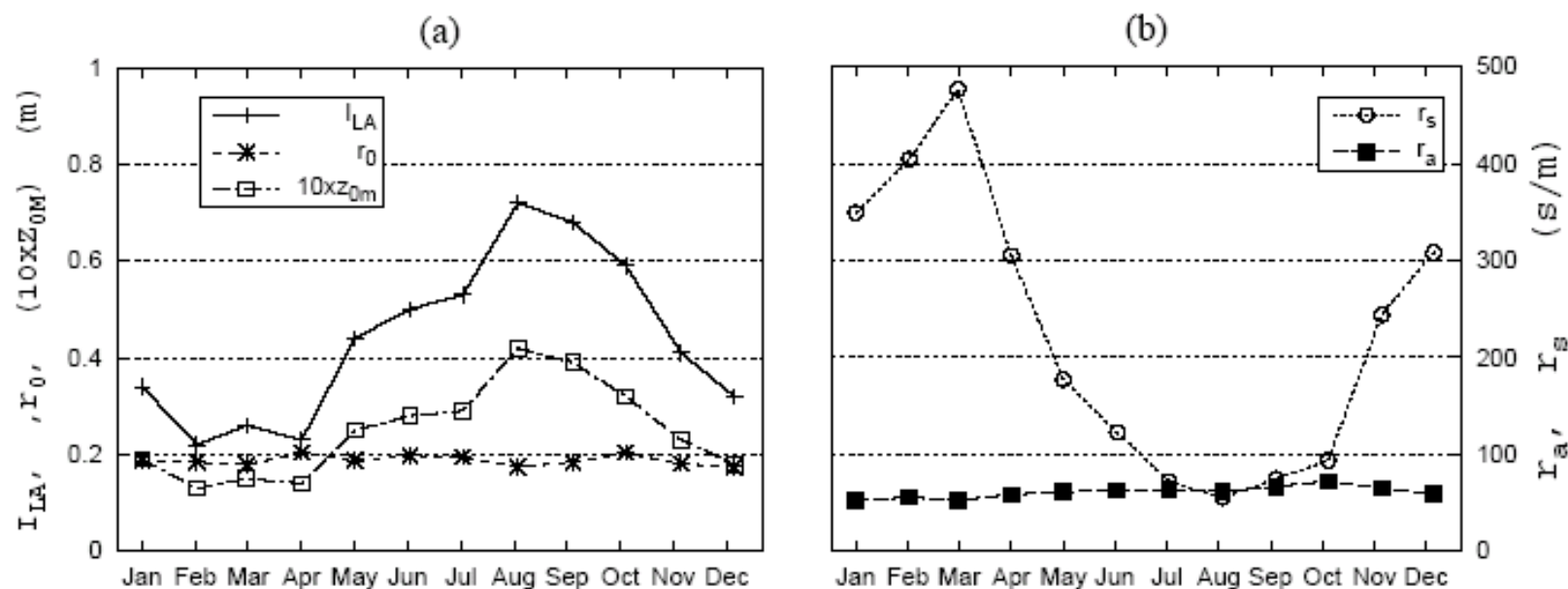


Fig. 4: (a) Monthly fluctuations of Leaf Area Index I_{LA} (-), albedo r_0 (-), and (10 times) surface roughness height $10x z_{0m}$ (m), (b) Monthly fluctuations of surface resistance r_s and aerodynamic resistance r_a (s/m), averaged values over the Sudd (mean of years 1995, 1999, 2000).

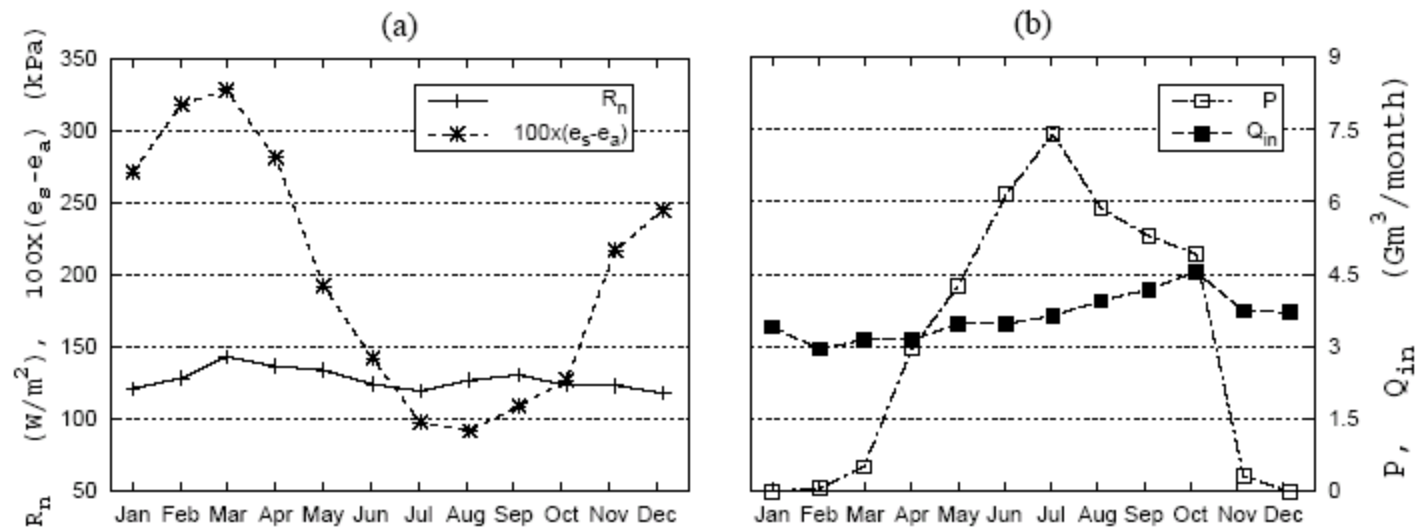


Fig. 5: (a) Monthly fluctuations of net surface radiation R_n (W/m^2), 100 times vapor pressure deficit $100x(e_s - e_a)$ (kPa), (b) Monthly fluctuations of inflow Q_{in} and rainfall P ($Gm^3/month$), averaged values over the Sudd (mean of years 1995, 1999, 2000).

Makkink (1957)

- Eenvoudige formule voor Nederlandse omstandigheden
- Gebaseerd op zonnestraling en lucht temperatuur
- Empirische constante

Vraag

- Waarvoor heb je in de Makkink-methode de temperatuur nodig?
- Wat is de dimensie van de constante 0.65?

$$E_{Makkink} = 0.65 \frac{s}{s + \gamma} \frac{R_c}{\rho \lambda}$$

Verdampingsmeting

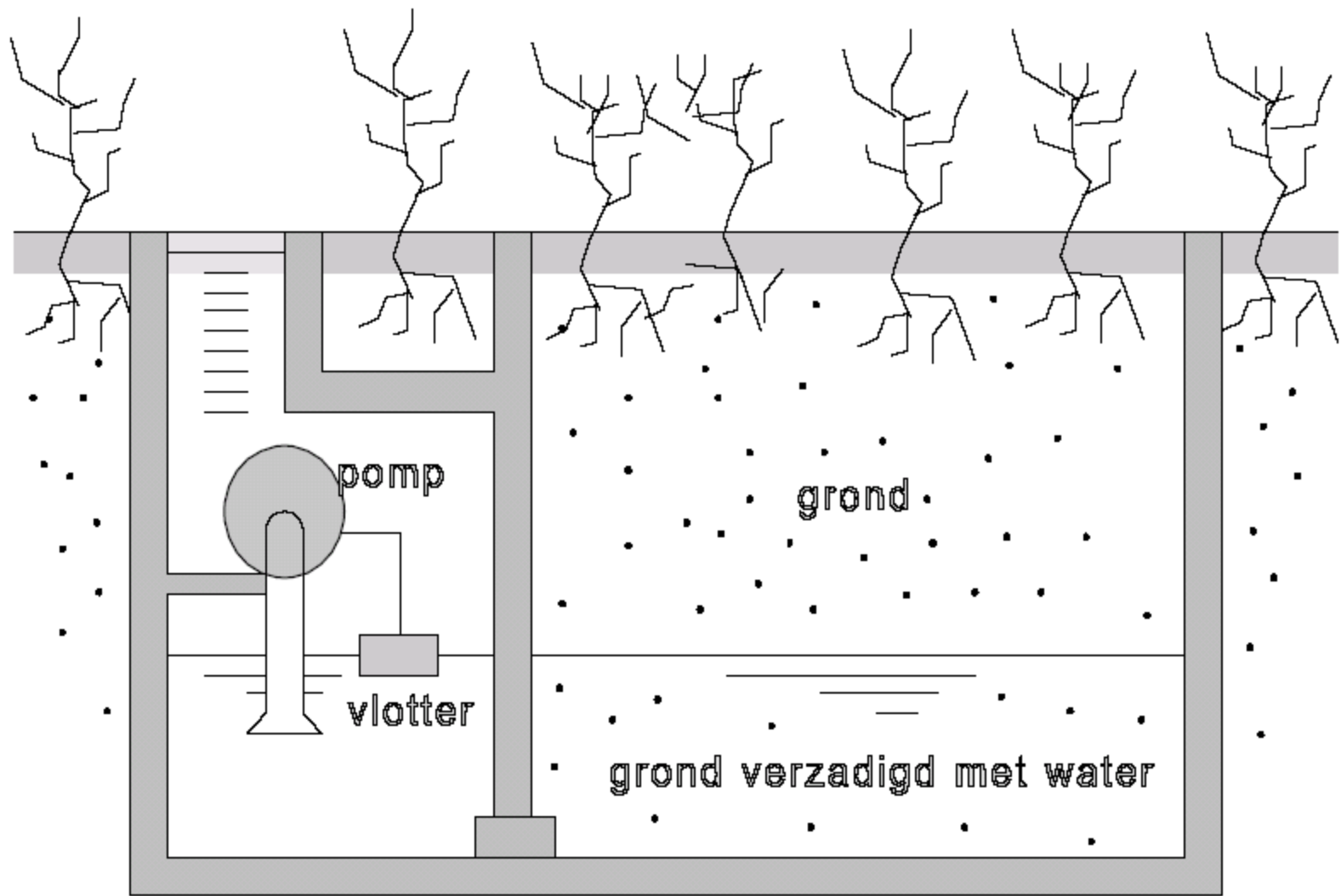
- Atmometers (Piche)
- Waterbalans
- Verdampingspan
- Lysimeter
- Oppervlakkige (ondiepe) Lysimeter

Verdampingspan



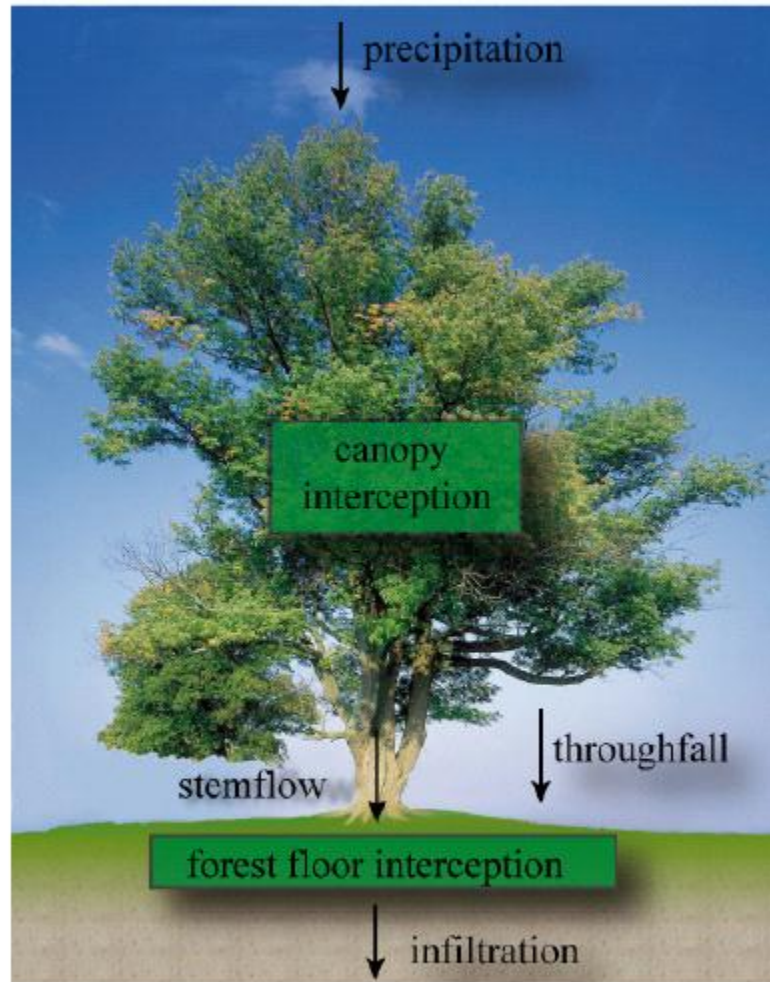
$$E_0 = k_{pan} E_{pan} \text{ [mm/d]}$$

Figuur 7.8 - Class A Evaporation pan



Figuur 7.9 - Lysimeter

Interceptiemeting



Figuur 7.10 - Schematisatie van de processen m.b.t. interceptie

Ondiepe Lysimeter



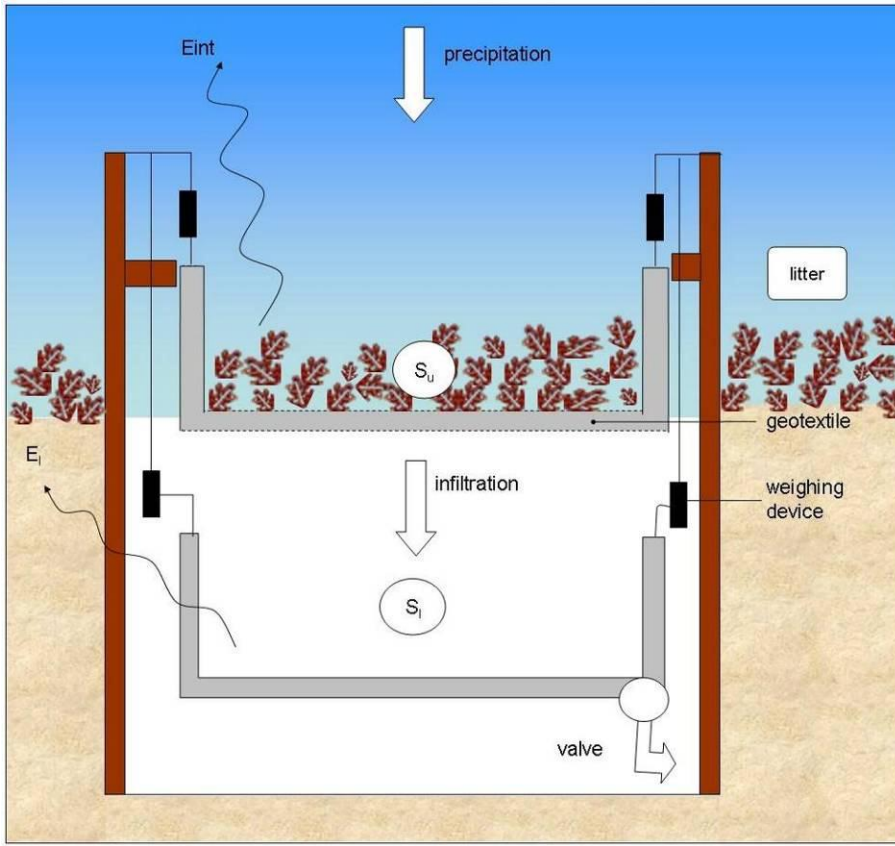
Opstelling in Luxemburg



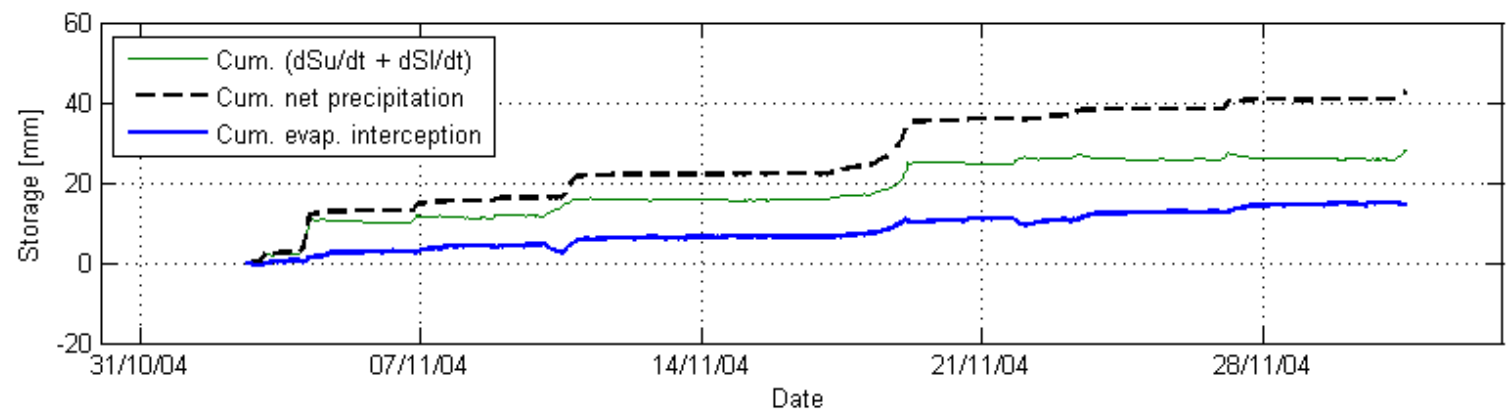
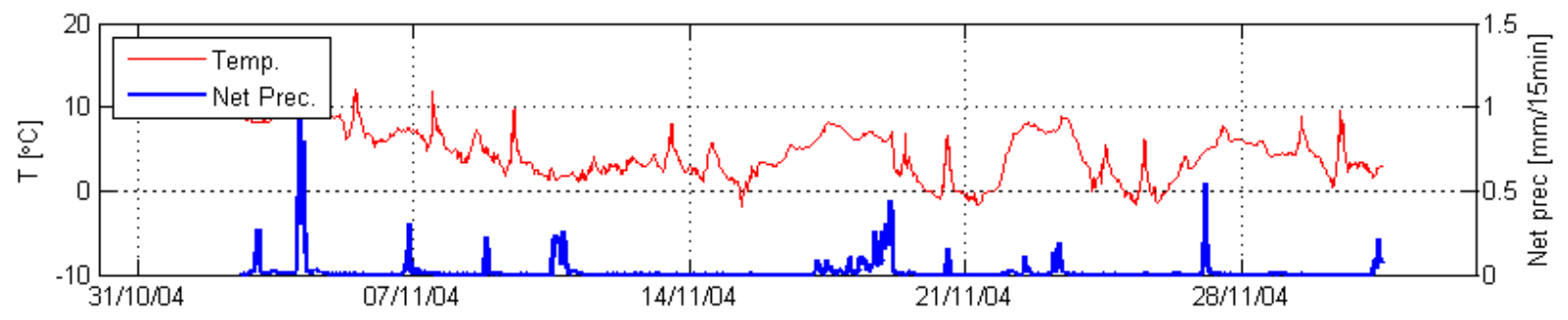
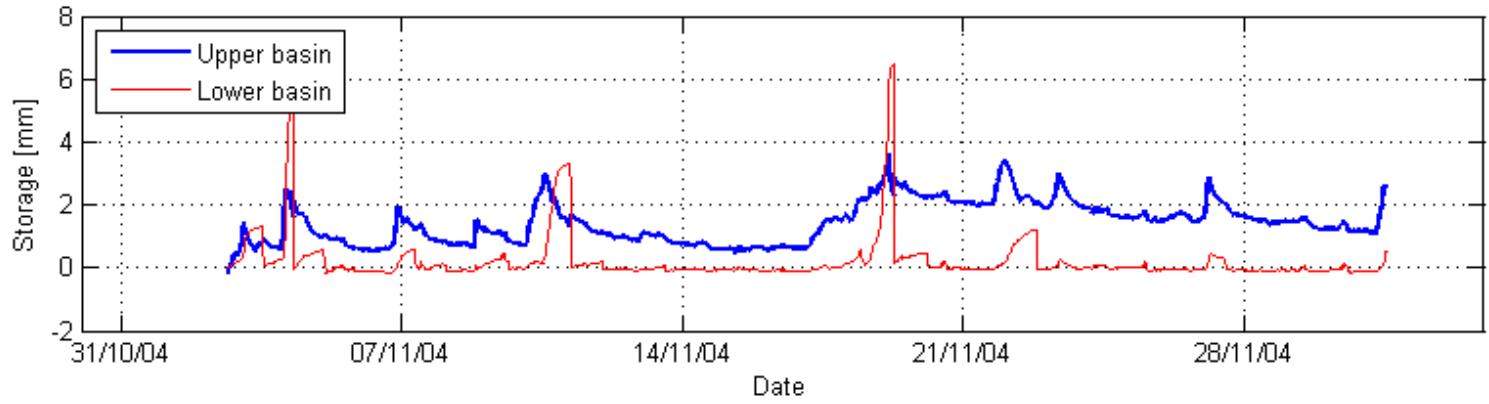


Throughfall and Stemflow

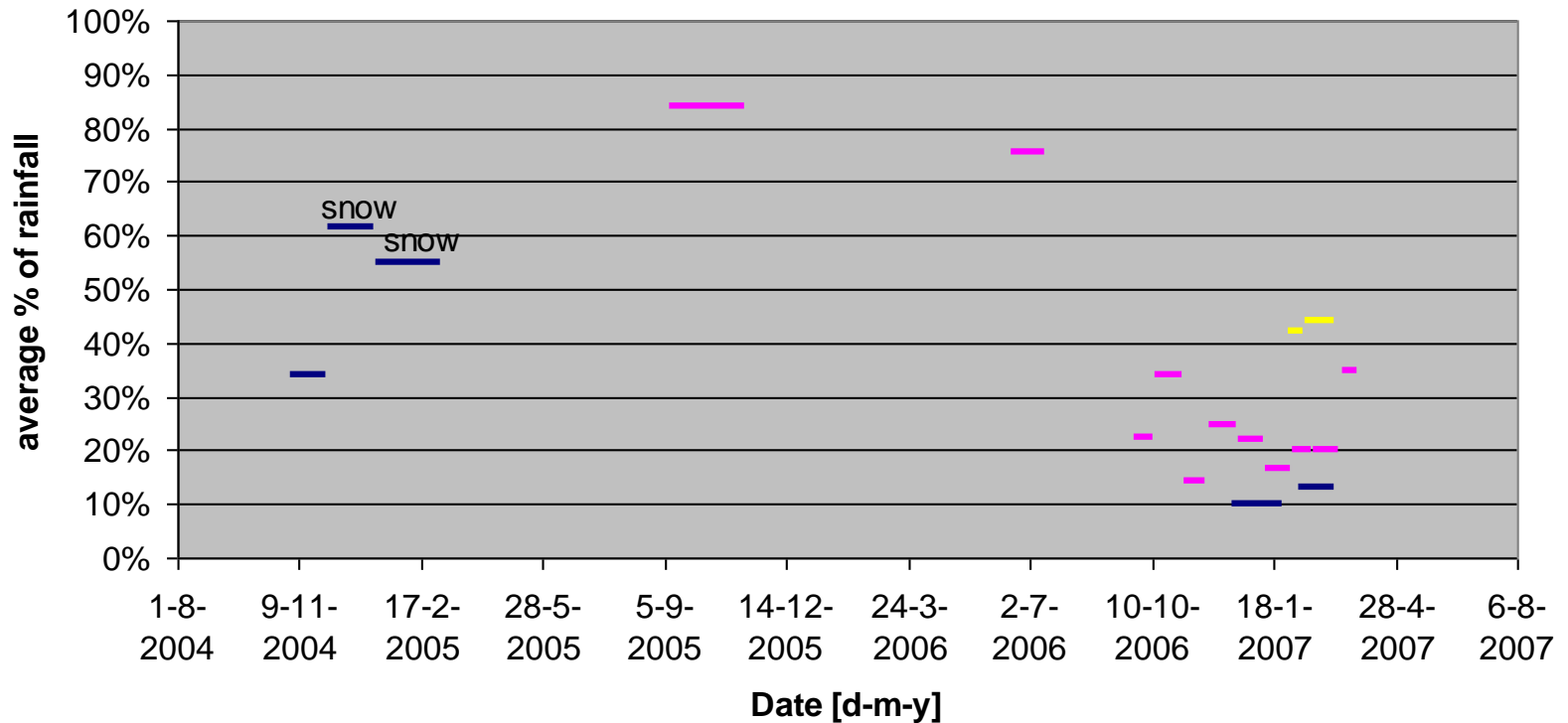




$$\frac{dS_{upper}}{dt} + \frac{dS_{lower}}{dt} = P - E$$



Comparison forest floor types



— Beech (Huewlerbach) — Moss/Grass (Westerbork) — Cedar (Botanical Garden)