

# Hydrology (CT2310)

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

Lezing 'Afvoerhydrologie (2)'



# Afvoerhydrologie



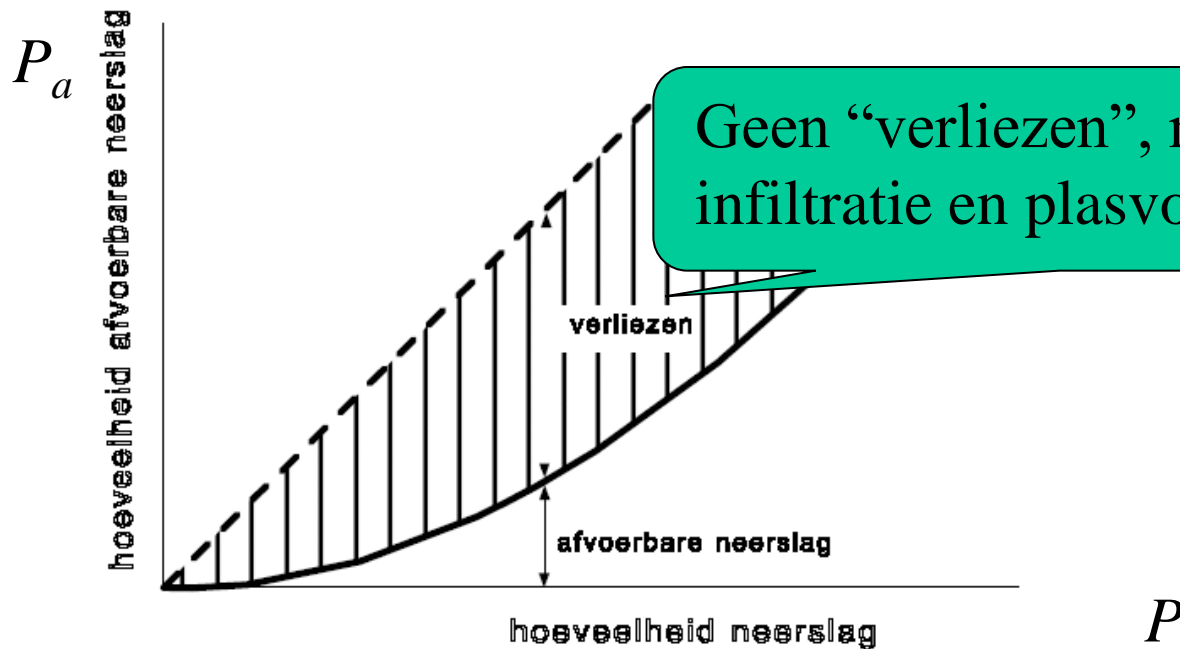
## 3. Regenval-afvoer analyse

# Regenval-afvoer processen

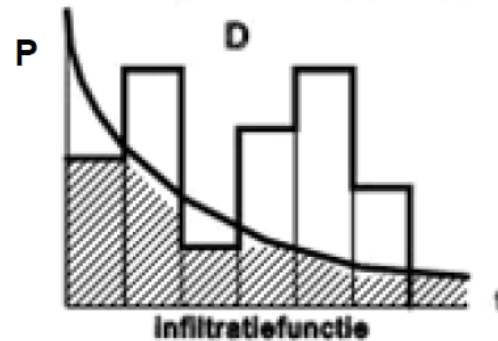
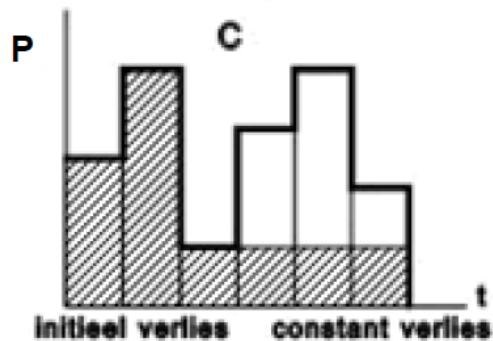
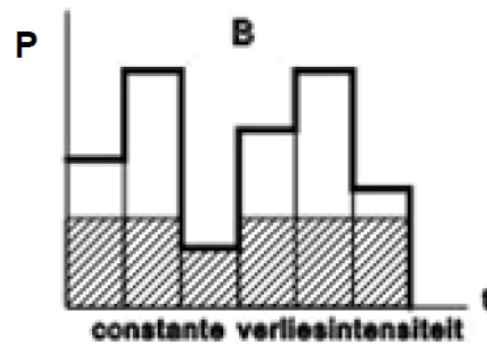
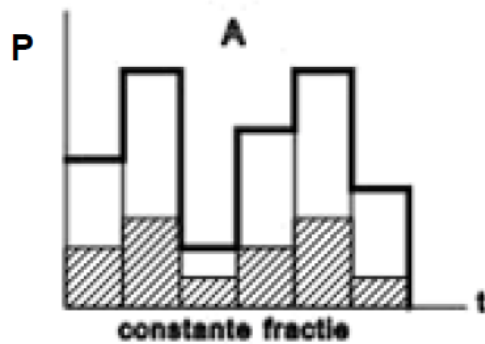
- Afvoerbare neerslag
  - deel van de regenval die voor snelle afvoer zorgdraagt
- Het bergingsbeginsel
- Het looptijdbeginsel
- De eenheidsafvoergolf (Unit Hydrograph)
- Voortplanting van hoogwatergolven (Flood Routing)

# Afvoerbare neerslag

$$P_a = P - I - F - \frac{dS_s}{dt}$$



# Bepaling afvoerbare neerslag



# Bergingsbeginsel

$$S = kQ$$

$Q$  is afvoer per oppervlakte-eenheid [L/T]

$$\frac{dS}{dt} = P_a - Q$$

dus:  $k \frac{dQ}{dt} = P_a - Q$

$$\frac{dQ}{Q - P_a} = -\frac{1}{k} dt$$

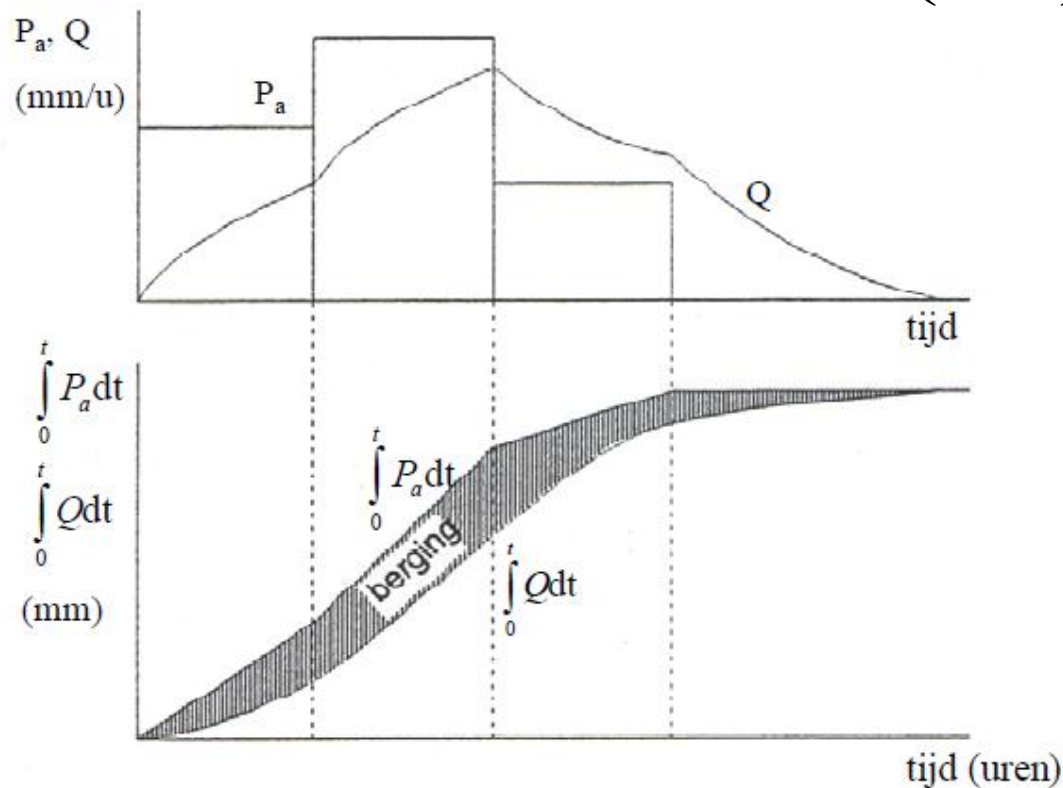
dus:  $\ln(Q - P_a) = -\frac{t}{k} + C$

als  $t=0, Q=Q_0$

dus:  $C = \ln(Q_0 - P_a)$

# Bergingsbeginsel

$$Q = P_a + (Q_0 - P_a) \exp\left(-\frac{t}{k}\right)$$



# Bergingsbeginsel

Analytisch:  $Q = P_a + (Q_0 - P_a) \exp\left(-\frac{t}{k}\right)$

Numeriek:  $\Delta S = (P_a - \bar{Q}) \Delta t$

$$S_2 = S_1 + \left( P_a - \left( \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right) \right) \Delta t$$

$$S_1 = kQ_1 \quad \text{en} \quad S_2 = kQ_2$$

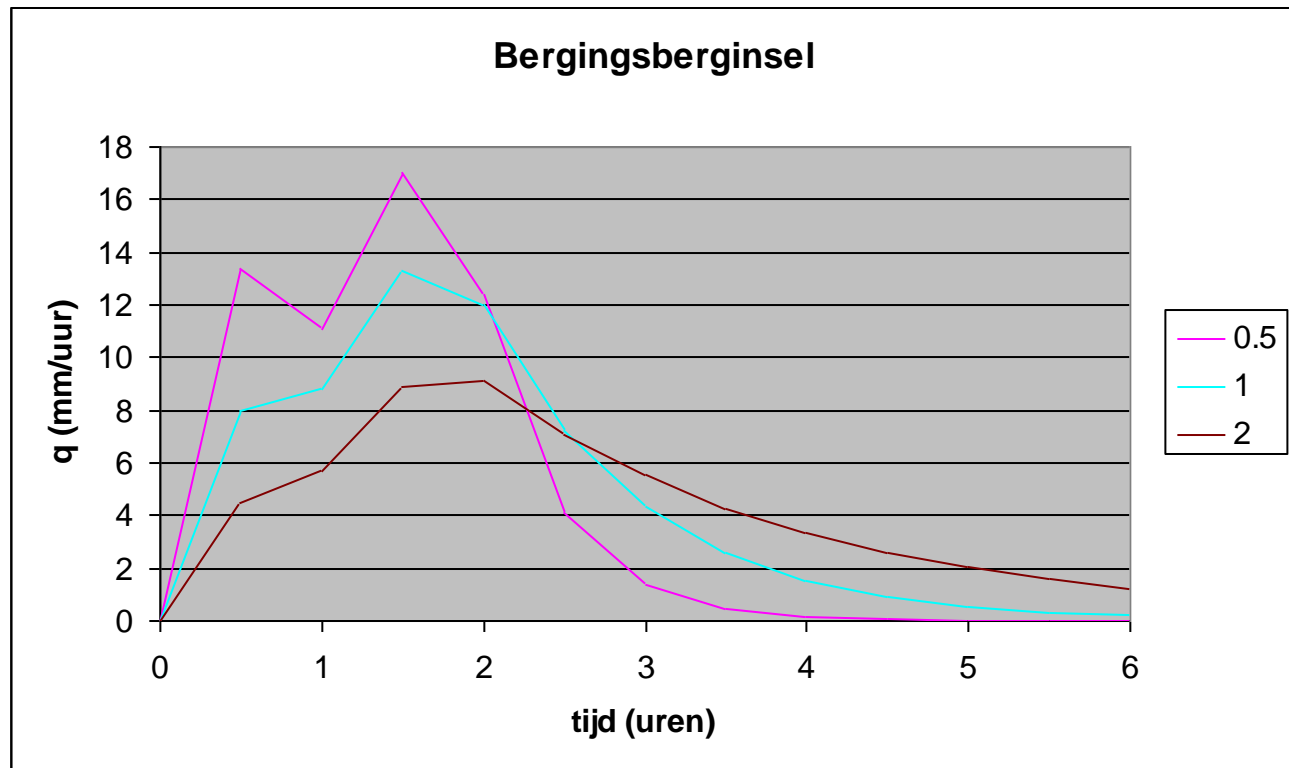
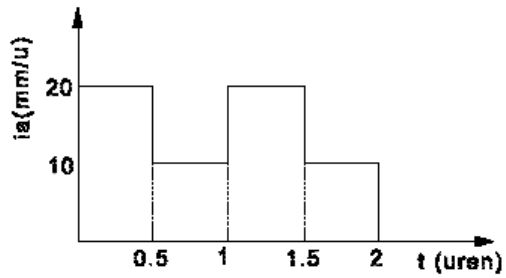


# Bergingsbeginsel

$$Q_2 = \frac{k - 0.5\Delta t}{k + 0.5\Delta t} Q_1 + \frac{\Delta t}{k + 0.5\Delta t} P_a$$

Meer geschikt voor grondwatersystemen:  
Zandgronden

# Opgave 10.8.3



# Vragen Bergingsbeginsel

1. Wat zijn de condities voor gebruik van het bergingsbeginsel?
2. Waarom is de som van de coëfficiënten in Eq.(10.22) gelijk aan 1?
3. Maak voorbeeld 10.8.3 in een spreadsheet.

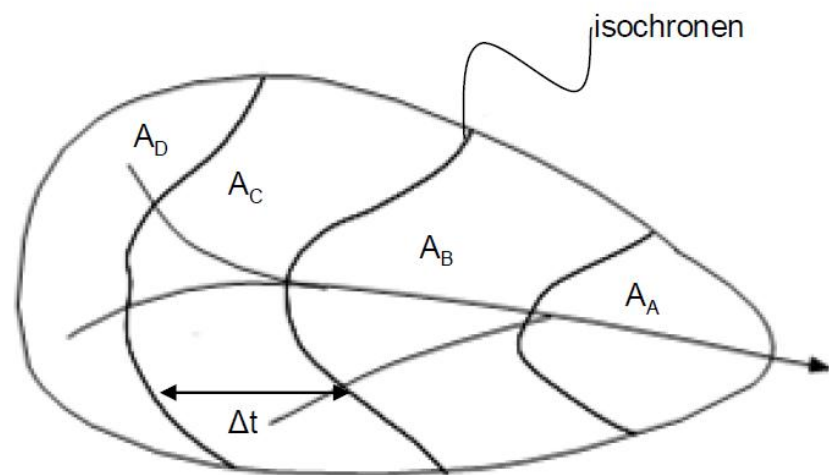
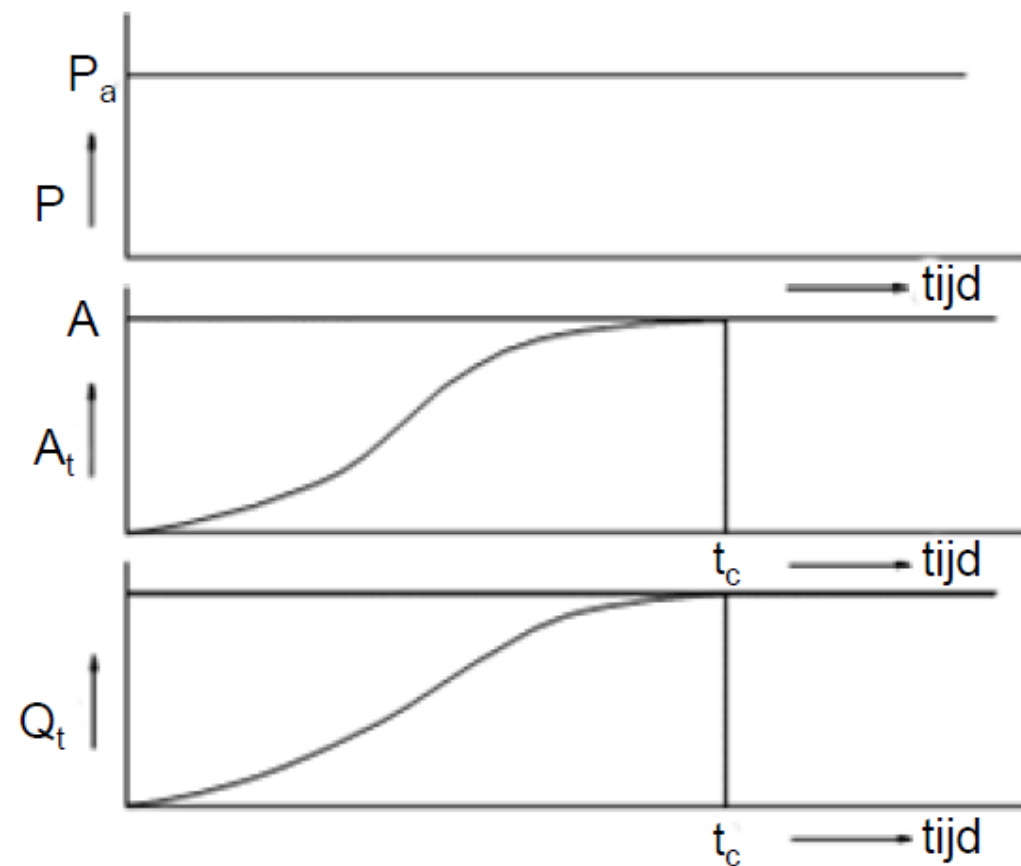
# Umbeluzi, Mozambique, 1985



# Looptijdbeginsel

- Rationele methode
- Afvoer is proportioneel aan het bijdragend oppervlak
- Bijdragend oppervlak neemt toe in de tijd
- Afvoer evenredig met afvoerbare (effectieve) neerslag, dus lineariteit
- Analogie ping-pong ballen

# Looptijdbeginsel



# Looptijdbeginsel aannames:

- Looptijden zijn onveranderlijk (maar looptijd is korter bij hogere afvoer)
- Elke looptijd komt overeen met een bijdragend oppervlak
- Lineariteit tussen afvoer en  $P_a$  (ruimtelijk gelijkmatig verdeeld)
- Vaak gebruikt bij stedelijke omgeving (verhard oppervlak, riolen, kleine stroomgebieden)

# Looptijdbeginsel

$$Q(t) = P_a \min(A, A_t) = P_a A \min\left(1, \frac{A_t}{A}\right)$$

- $Q$  in  $[L^3T^{-1}]$ ,  $q$  in  $[LT^{-1}]$
- $P_a$  wordt constant verondersteld over een interval
- als  $A_t$  gelijk is aan  $A$  (oppervlak van het stroomgebied), dan is  $t=t_c$
- superpositie

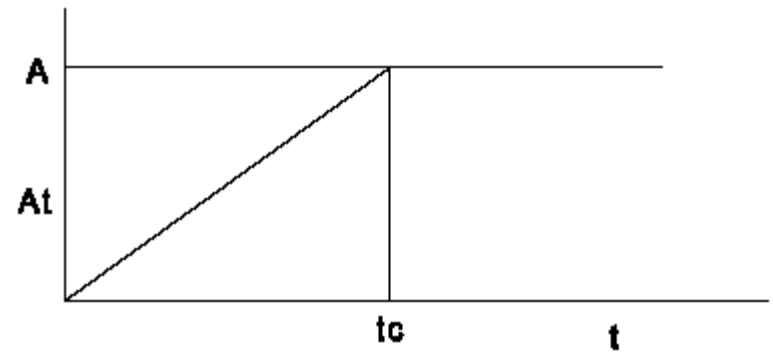
$$q(t) = \frac{Q(t)}{A} = P_a \min\left(1, \frac{A_t}{A}\right)$$



# Looptijdbeginsel

Lineaire toename van  $A_t$ :

$$A_t = \frac{A}{t_c} t$$



$$q(t) = P_a \min \left( 1, \frac{A_t}{A} \right) = P_a \min \left( 1, \frac{t}{t_c} \right)$$

# Looptijdbeginsel

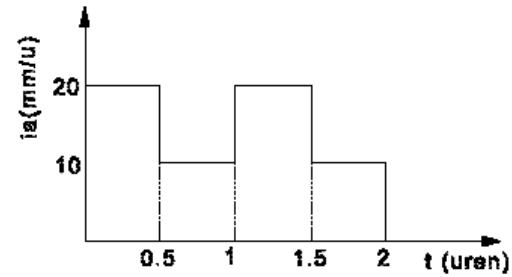
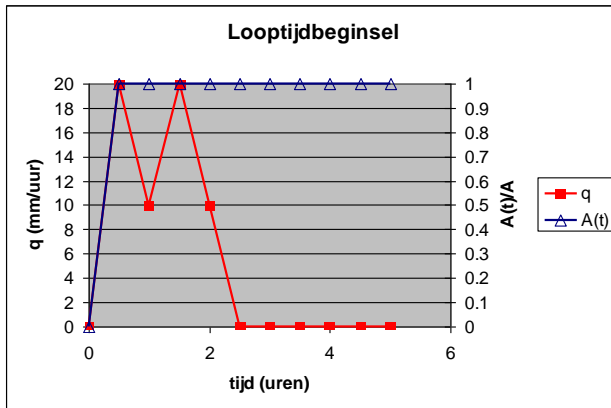
Superpositie:

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n \Delta P_{a,i} \cdot A \min \left( 1, \frac{\max \left( A_{t-\Delta t(i-1)}, 0 \right)}{A} \right)$$

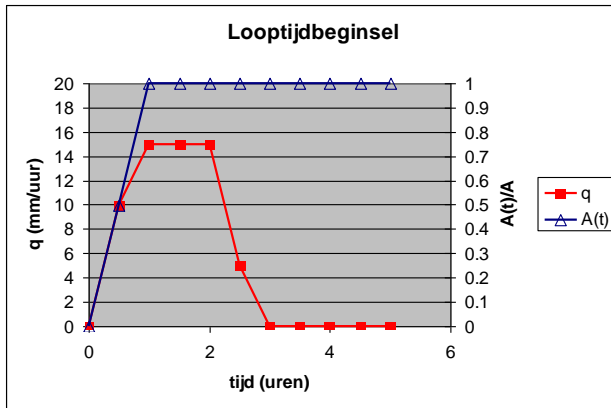
$$q(t) = \sum_{i=1}^n \Delta P_{a,i} \min \left( 1, \frac{\max \left( t - \Delta t(i-1), 0 \right)}{t_c} \right)$$

# Looptijdbeginsel

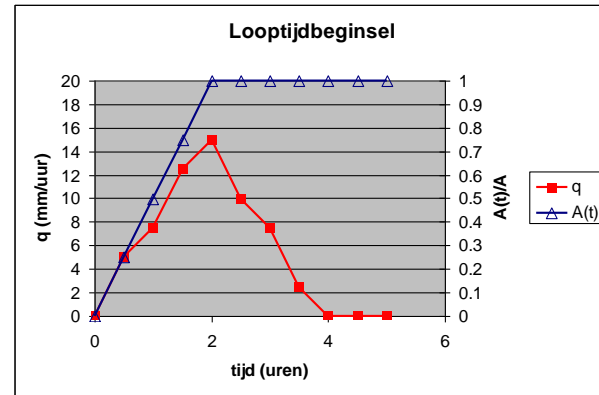
$t_c=0.5$



$t_c=1.0$



$t_c=2.0$



# Vragen Looptijdbeginsel

- Waarom moet de tijdstap  $\Delta t$  kleiner zijn dan  $t_c$ ?
- Wat gebeurt er als  $\Delta t$  gelijk is aan  $t_c$ ?
- Onder welke voorwaarden mag het looptijdsbeginsel toegepast worden?
- Maak in een spreadsheet met het looptijdsbeginsel de afvoergolf voor het geval van Voorbeeld 9.2 met  $t_c=0.5, 1$  en  $2$  uur.

# Verschillende R-R methodes

- bergingsbeginsel
  - vlakke gebieden
  - grondwater gedomineerde stroomgebieden (snelle ondergrondse afvoer)
- looptijdbeginsel
  - kleine slechtdoorlatende gehelde stroomgebieden
  - oppervlakkige afvoer
- ‘echte’ stroomgebieden
  - Unit Hydrograph

# Unit Hydrograph (eenheidsafvoergolf)

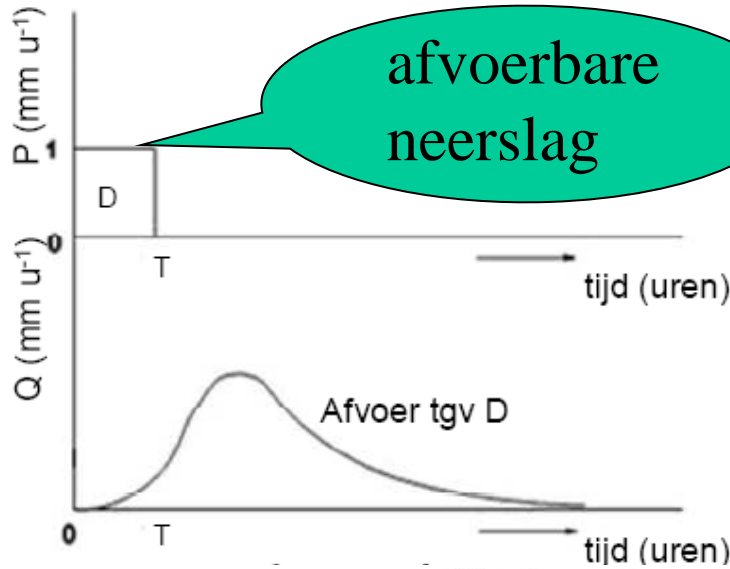
Sherman (1932):

- De T-eenheidsafvoergolf (TUH) is het resultaat van een eenheid afvoerbare neerslag (b.v. 1 mm) van een bepaalde duur  $T$  (b.v. 1 uur), die gelijkmatig verdeeld is over het stroomgebied
- Empirisch: er is een directe evenredigheid tussen afvoerbare regenval en snelle afvoer (**lineariteit**)
- De relatie verandert niet in de tijd (**stationariteit**)
- Dus: een afvoergolf kan verkregen worden door optelling van eenheidsafvoergolven als functie van afvoerbare neerslag (**superpositie**)

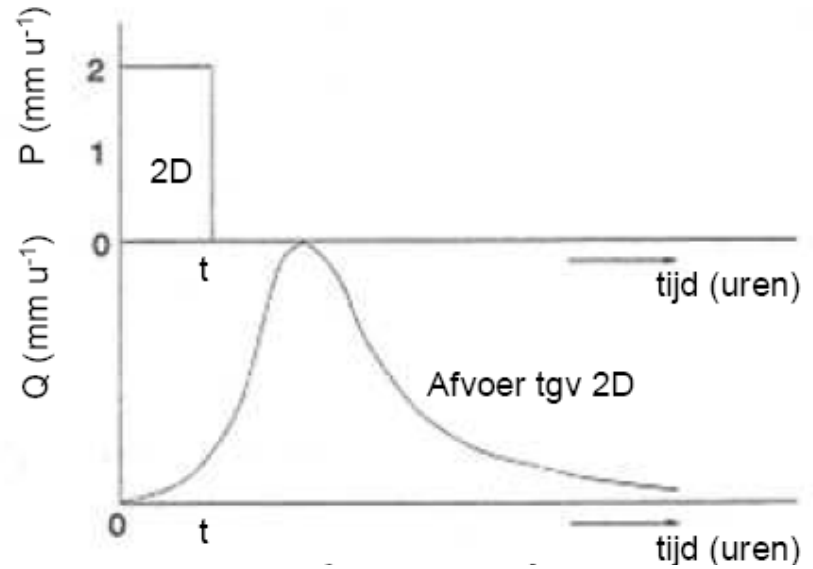
$$P_a = D/T$$

(mm u<sup>-1</sup>)

# Unit Hydrograph

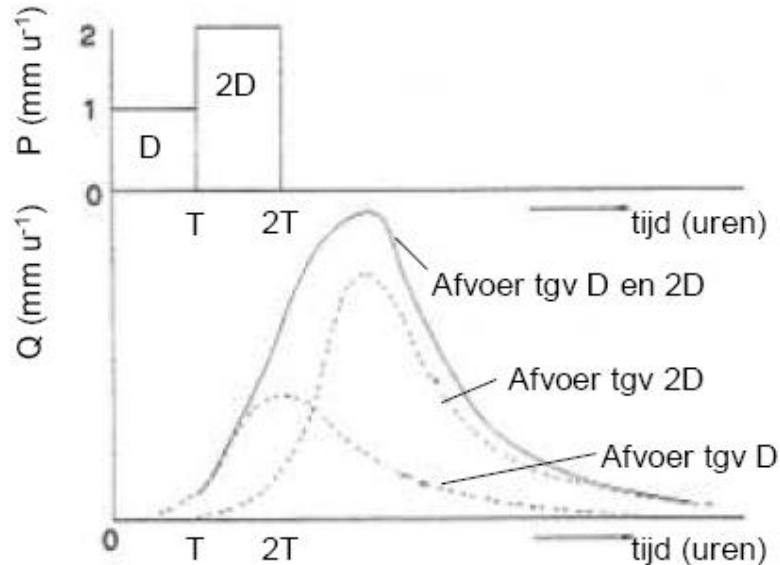


afvoerbare  
neerslag



$$P_a = D/T$$

(mm u<sup>-1</sup>)



# Afvoermechanismes UH

- Combinatie van snelle componenten
  - oppervlakkige afvoer
    - infiltration excess (Hortonian)
    - saturation overland flow
  - snelle ondergrondse afvoer (interflow)
    - preferente stroombanen ('mollengangen' wortelkanalen, scheuren, etc.)
    - ondergrondse cascade over de rots (fill and spill)
    - hangend grondwater (perched aquifers)



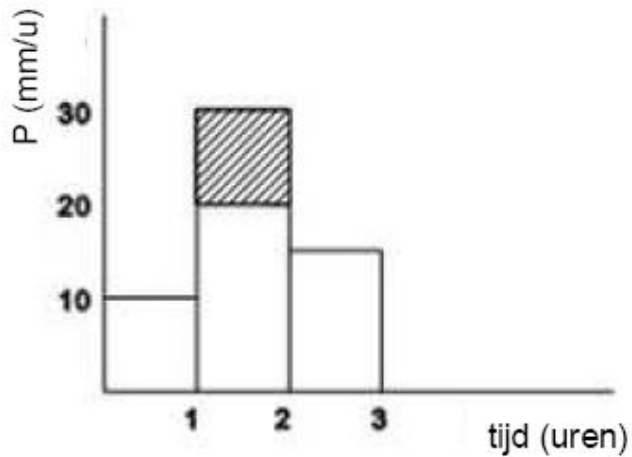
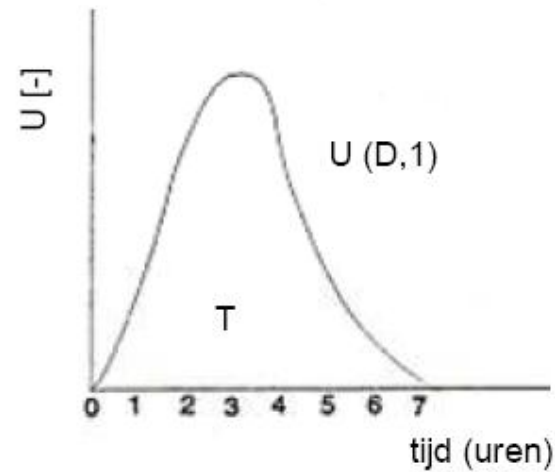
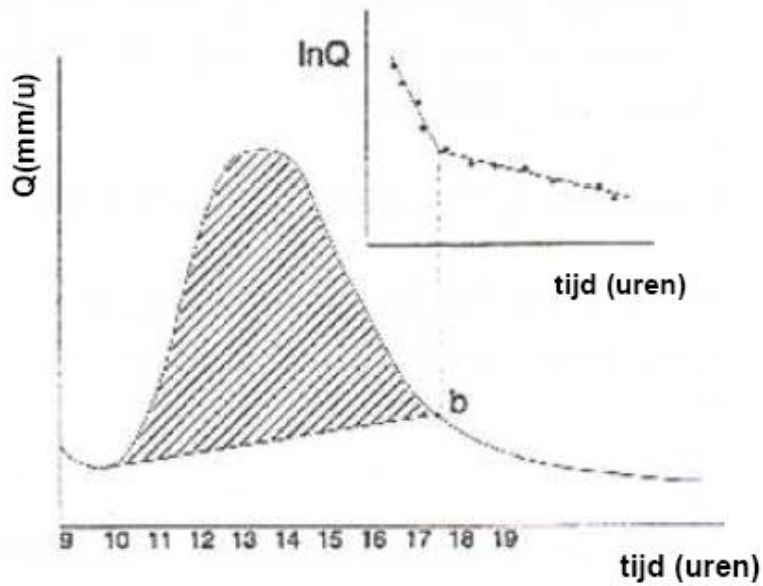
# Disclaimers UH

- Begintoestand is niet gelijk
- Seizoenseffecten
- Samenstel afvoermechanismes niet constant
- Regen niet uniform verdeeld (Area Reduction Factor)

# Stappen UH

1. Bepalen effectieve (afvoerbare) neerslag  $P_{a,i}$
2. Splitsen snelle afvoer en basisafvoer
3. Bepalen T-UH in  $[(m^3/s)/(mm/T)]$  of beter dimensieloos  $[(mm/T)/(mm/T)]$  voor 1mm effectieve regenval gedurende tijd T
4. Volume effectieve neerslag moet gelijk zijn aan volume snelle afvoer. Dus oppervlak UH is 1 mm
5. Vergelijken UHs die verkregen worden uit verschillende buien. Maak keuze, of middel.

# Bepalen Netto Neerslag



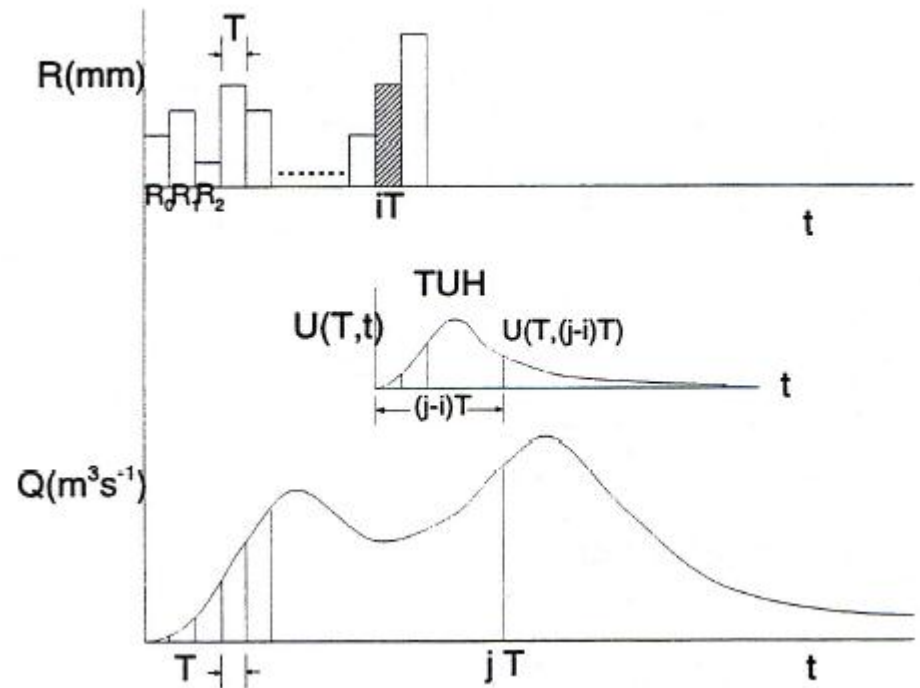
# Convolutie Complexe Buien

$$Q_j = \sum_{i=0}^{j-1} P_i U_{j-i}$$

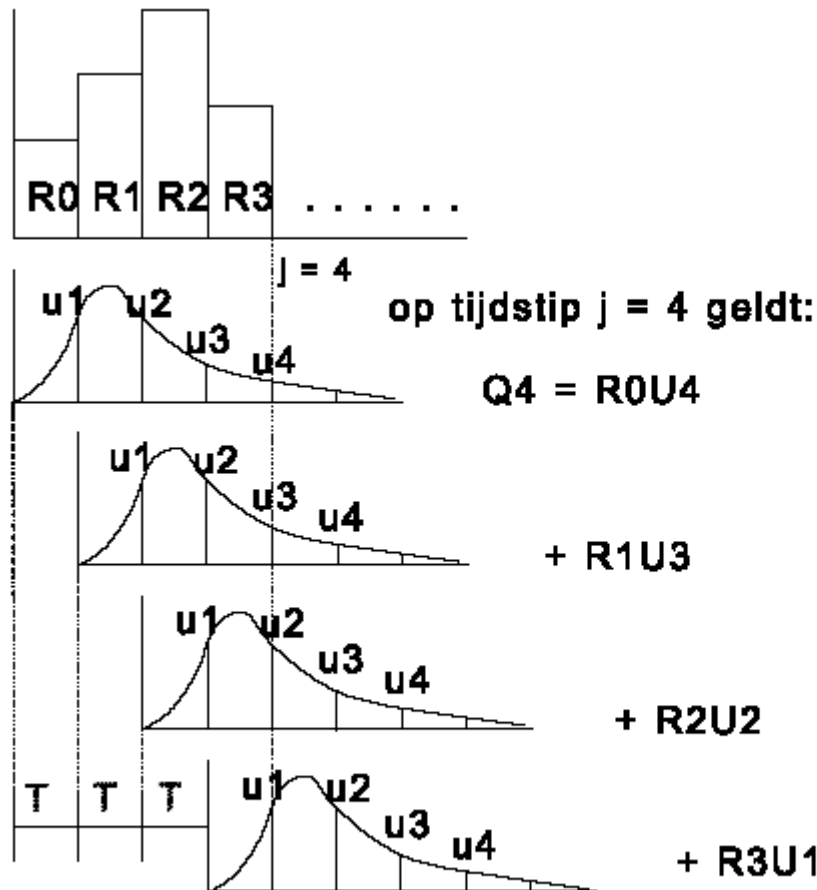
$$Q_1 = P_0 U_1$$

$$Q_2 = P_0 U_2 + P_1 U_1$$

$$Q_3 = P_0 U_3 + P_1 U_2 + P_2 U_1$$



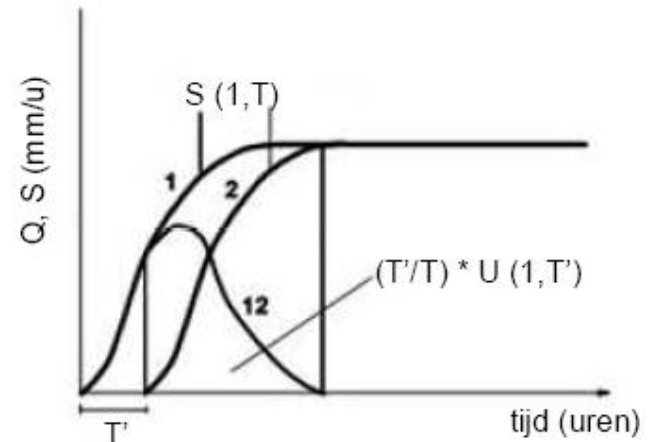
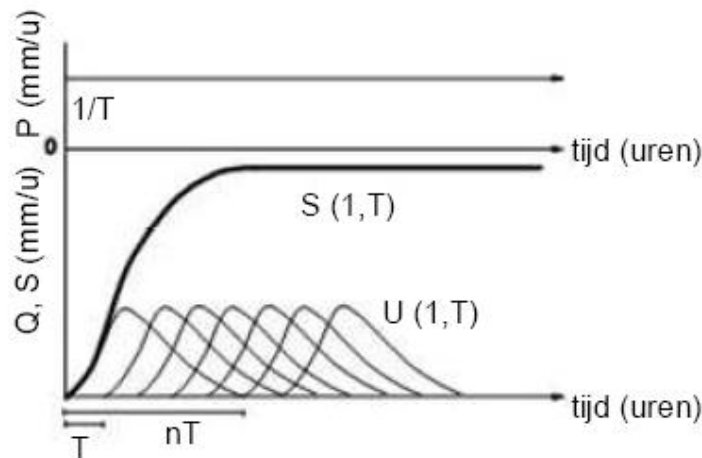
# Convolutie



Figuur 10.43 - Uitwerking van  $\sum Q_j = R_i * U_{j-1}$  van  $i=0$  tot  $j-1$

# Afleiding van UH voor andere T

- Bepalen S-kromme T-UH
- Verschuiven S-kromme over T'
- Aftrekken S-krommes
- Vermenigvuldigen met T/T'



# Wanneer wordt het echt moeilijk?

- Complexe samengestelde buien
- UH afleiden via Matrix-inversie, maar dat kan soms niet
- Beter via Multiple Linear Regression
- Maar dat hoeven jullie nog niet te kunnen
- HOERA

# Opgaven

- Maak opgave 9.3
- Leg uit waarom bij het afleiden van een  $T'UH$  vermenigvuldigd moet worden met  $T/T'$