

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**

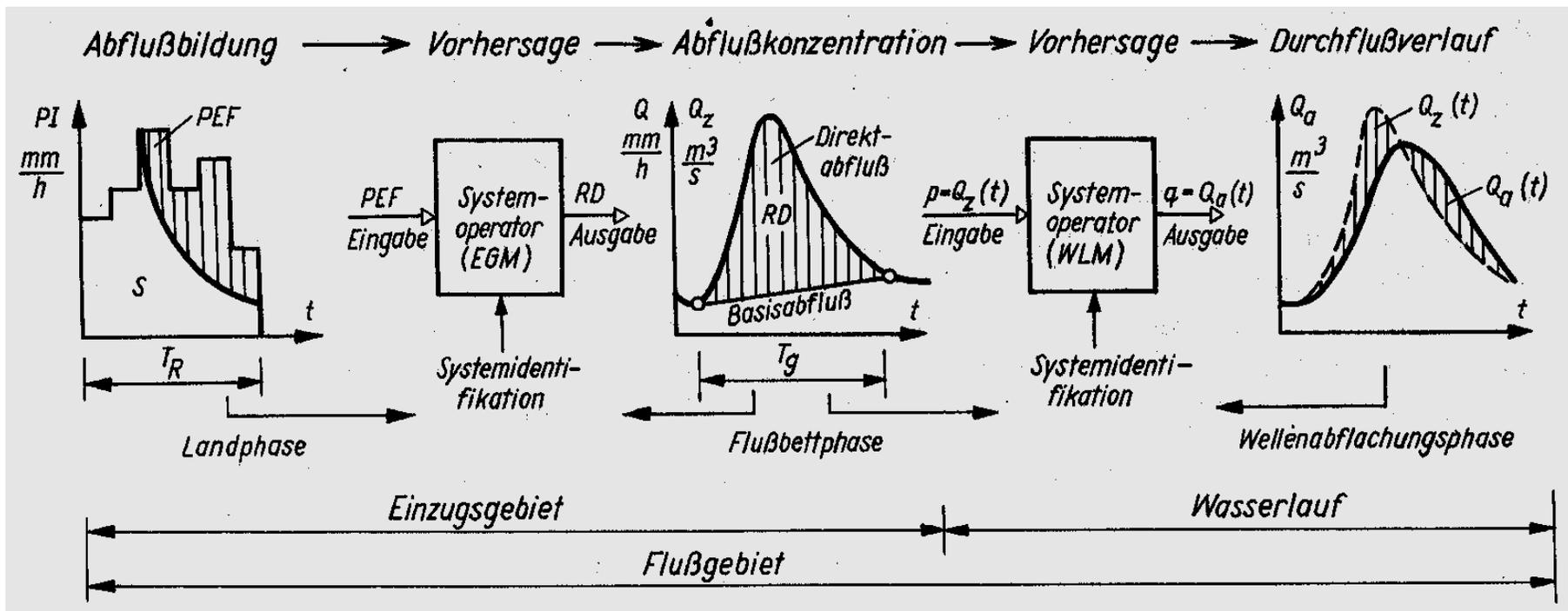
Literatur:

Dyck u.a. (1978): Angewandte Hydrologie Teil 2; Verl. f. Bauwesen

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

Vorlesungsskript Hydrologie 1, Uni BW München, Prof. M. Disse

- Im Rahmen der Hochwasserforschung/-vorhersage ist die Beziehung zwischen Starkniederschlägen und dem resultierenden Abfluss (z.B. am Pegel eines Flusses) von Interesse
- Ereignisbezogene Betrachtung

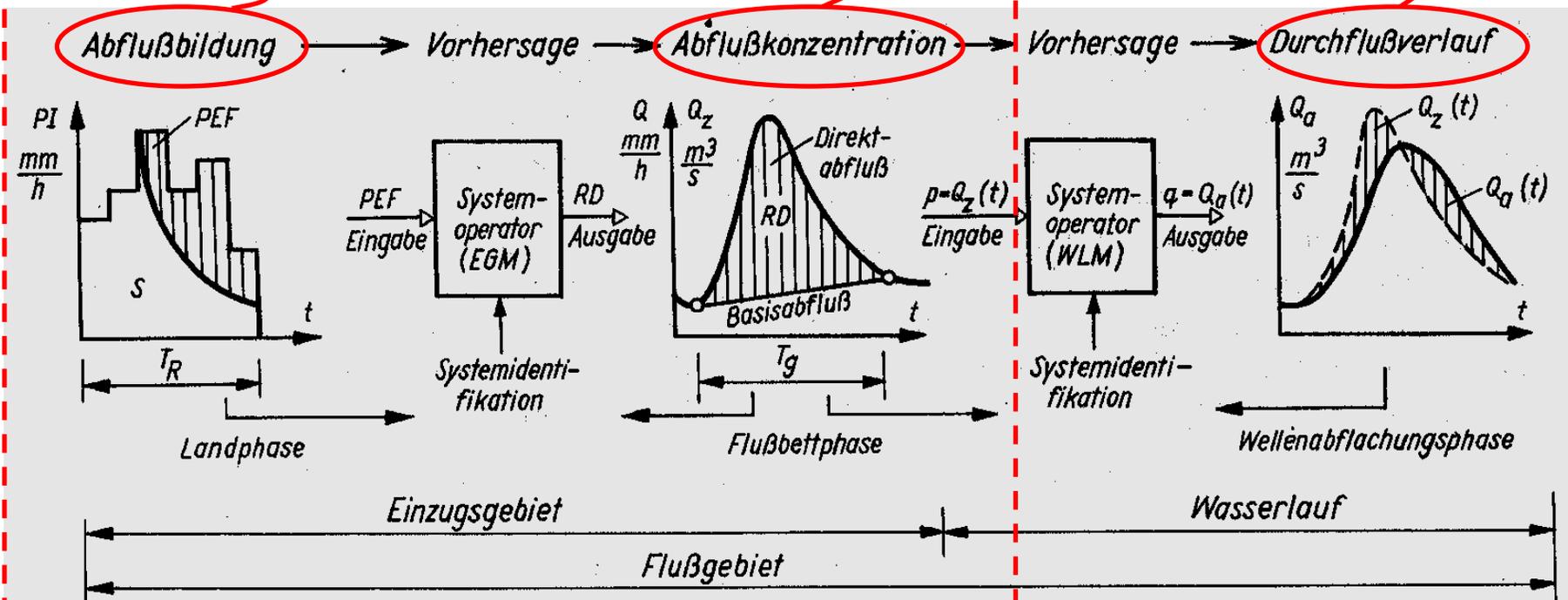


Mehrstufiges Modellkonzept zur Beschreibung der Transformation des Niederschlags in den Abfluss (aus Dyck/Peschke, 1995)

Bestimmung des Anteils des Niederschlags, der nicht im Einzugsgebiet zurückgehalten wird und unmittelbar abfließt (Effektiv-Niederschlag)

Bestimmung der Ganglinie des Abflusses aus dem Einzugsgebiet als Reaktion auf den Effektiv-Niederschlag

Beschreibung der Fortpflanzung der Hochwasserwelle im Fluss/Gewässernetz



Mehrstufiges Modellkonzept zur Beschreibung der Transformation des Niederschlags in den Abfluss (aus Dyck/Peschke, 1995)

Begriffe und behandelte Verfahren

1. Erfassung der **Abflussbildung**

wesentliches Ziel:

Ermittlung des Anteils des Niederschlags, der nicht im Einzugsgebiet zurückgehalten wird o. verdunstet und daher unmittelbar zum Abfluss gelangt („Effektivniederschlag“)

behandelte Methoden:

- einfache Beiwerte
- Koaxial-Diagramm
- SCS-Verfahren

2. Erfassung der **Abflusskonzentration**

wesentliches Ziel:

Beschreibung der Transformation des Effektivniederschlags in den Abfluss, der am Auslass eines Einzugsgebiets beobachtet werden kann

behandelte Methoden:

- Isochronen-Verfahren
- Einheitsganglinie (Unit Hydrograph)

Definition des Effektivniederschlags

- Niederschlag, der nicht über längere Zeit im Einzugsgebiet zurückgehalten wird oder verdunstet und daher unmittelbar zum Abfluss gelangt.
- Wird auch als „abflusswirksamer Niederschlag“ bezeichnet.
- Die Höhe des Effektivniederschlags interessiert, wenn die hochwassererzeugende Wirkung einzelner Niederschlagsereignisse untersucht wird.

$$N = N_{eff} + R$$

*N: Niederschlag, N_{eff} : Effektivniederschlag,
R: Gebietsrückhalt*

Definition des Abflussbeiwertes ψ

$$\psi = N_{eff} / N = (N-R) / N$$

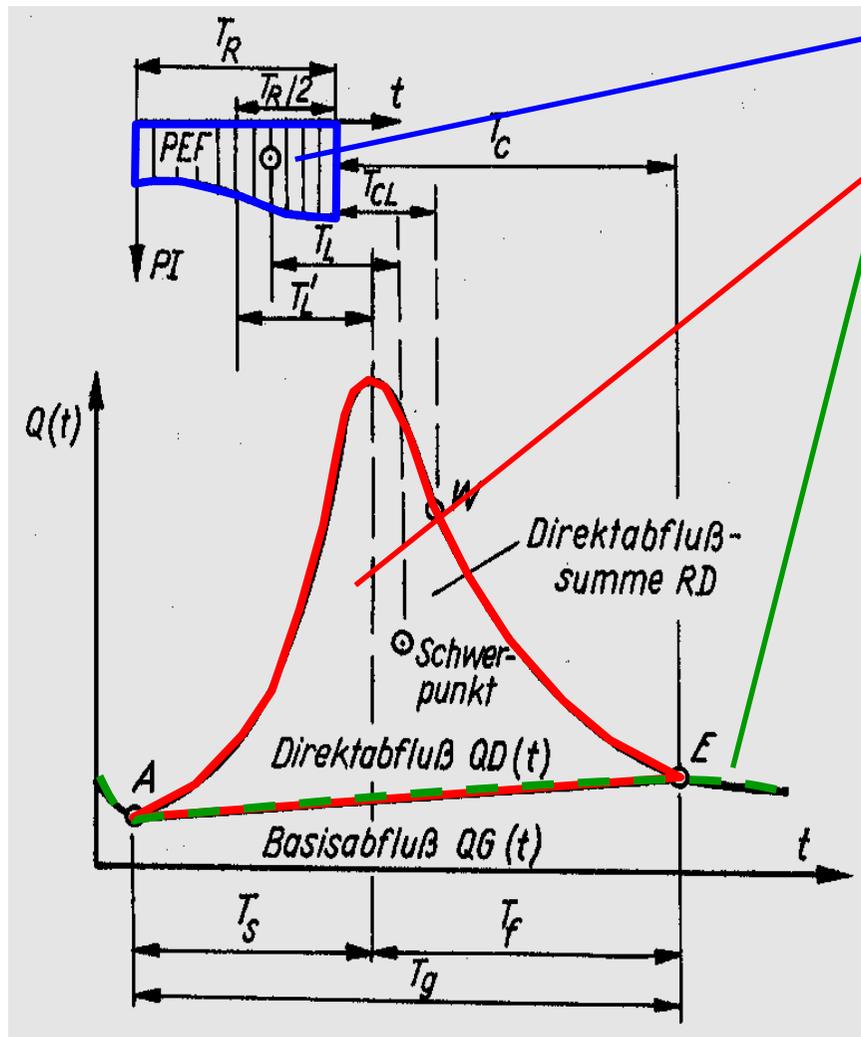
Welche Werte kann ψ theoretisch und praktisch annehmen ?

Definition des Scheitelabflussbeiwertes ψ_S

$$\psi_S = Q_{max} / I$$

Verhältnis von Abflussscheitel [mm/h]
zur Niederschlagsintensität [mm/h]

Zusammenhang zwischen Effektivniederschlag und Direktabfluss



Effektivniederschlagsintensität I_{eff}

Direktabfluss Q_D

Basisabfluss

Volumenbilanz nach Umrechnung in identische Einheit (z.B. m^3/s):

Ganglinien als kontinuierliche Funktionen:

$$\int Q_D dt = \int I_{\text{eff}} dt$$

Diskretisierte Ganglinien:

$$\sum Q_D^* \Delta t = \sum I_{\text{eff}}^* \Delta t$$

→ Um den Abflussbeiwert ψ zu bestimmen, setzt man das Volumen des Direktabflusses ins Verhältnis zum Gesamtniederschlag.

Abb. aus Dyck/Peschke 1995

Schätzung des Direktabflusses mittels Ganglinienseparation

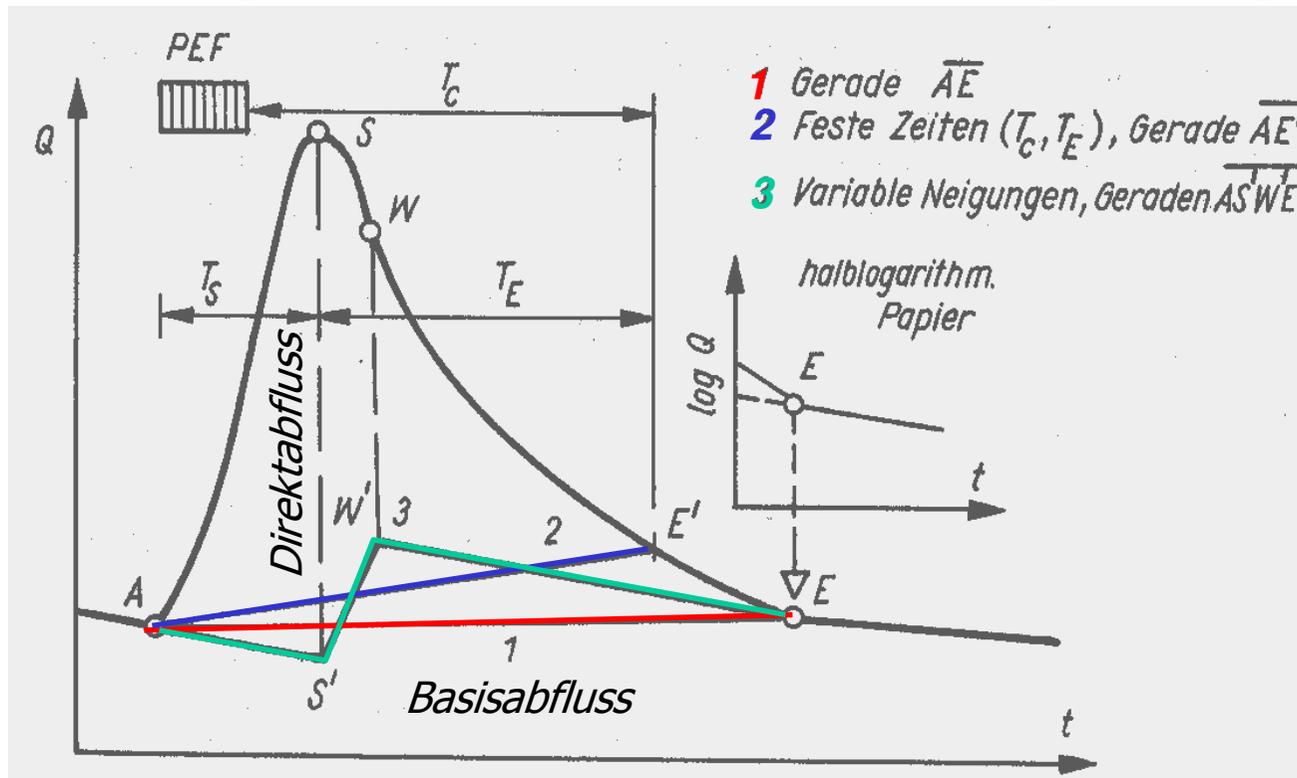


Abb. aus Dyck/Peschke (1995)

- Aus welchen Abflusskomponenten setzt sich der Direktabfluss (nach der traditionellen Vorstellung) zusammen ?
- Welche Abflusskomponenten sind von Bedeutung:
 - in einem Festgesteins-Einzugsgebiet des Mittelgebirges ?
 - im einem Einzugsgebiet des pleistozänen Tieflands ?
- Wodurch wird der Basisabfluss gespeist ?

Einflüsse auf den Abflussbeiwert bzw. den Gebietsrückhalt

1) Niederschlagseigenschaften

- Niederschläge des vorangegangenen Zeitraums
- Niederschlagsmenge
- Niederschlagsintensität

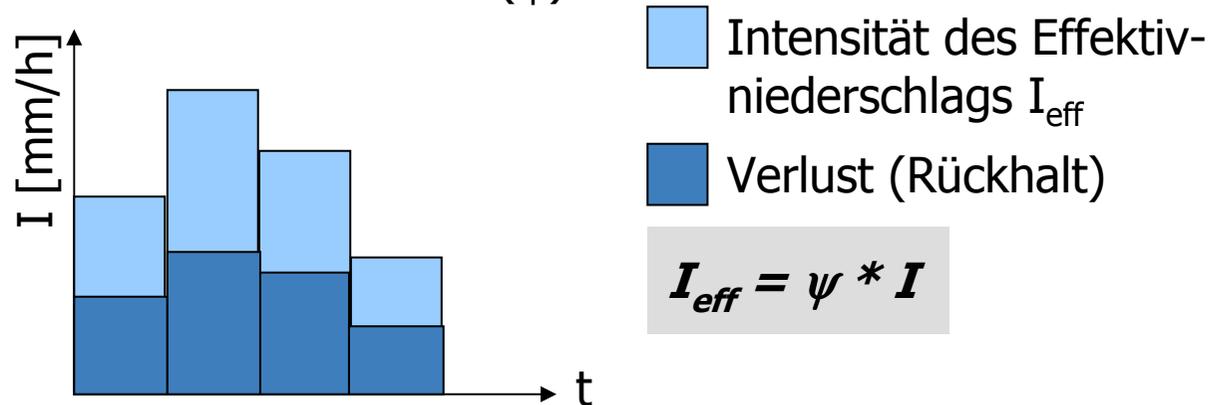


2) Gebietseigenschaften

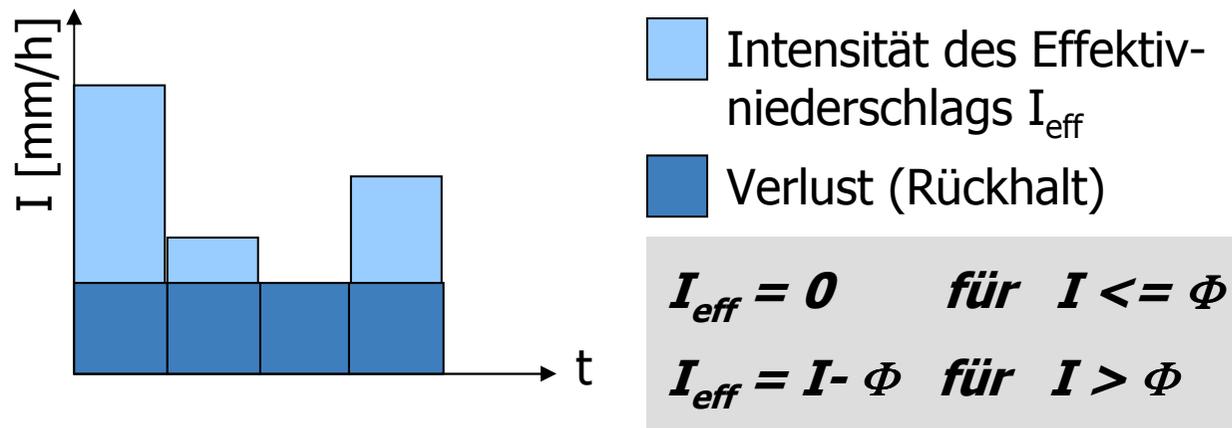
- Topographie
- Landnutzung / Vegetation
- Bodeneigenschaften
- Geologie
- Grundwasserflurabstand

einfachste Ansätze zur Schätzung des Effektivniederschlags

a) konstanter Prozentsatz (ψ)



b) konstanter Verlust (Φ -Index Verfahren)



- Mit welchen grundsätzlichen Fehlern ist bei beiden Ansätzen zu rechnen ?

Koaxialdiagramme

Regressionsbeziehung zwischen Gebietsrückhalt und folgenden ereignisspezifischen Parametern

- Vorfeuchte des Gebiets (Basisabfluss oder Vorregenindex)
- Jahreszeit
- Dauer des Starkregens
- Höhe des Starkregens

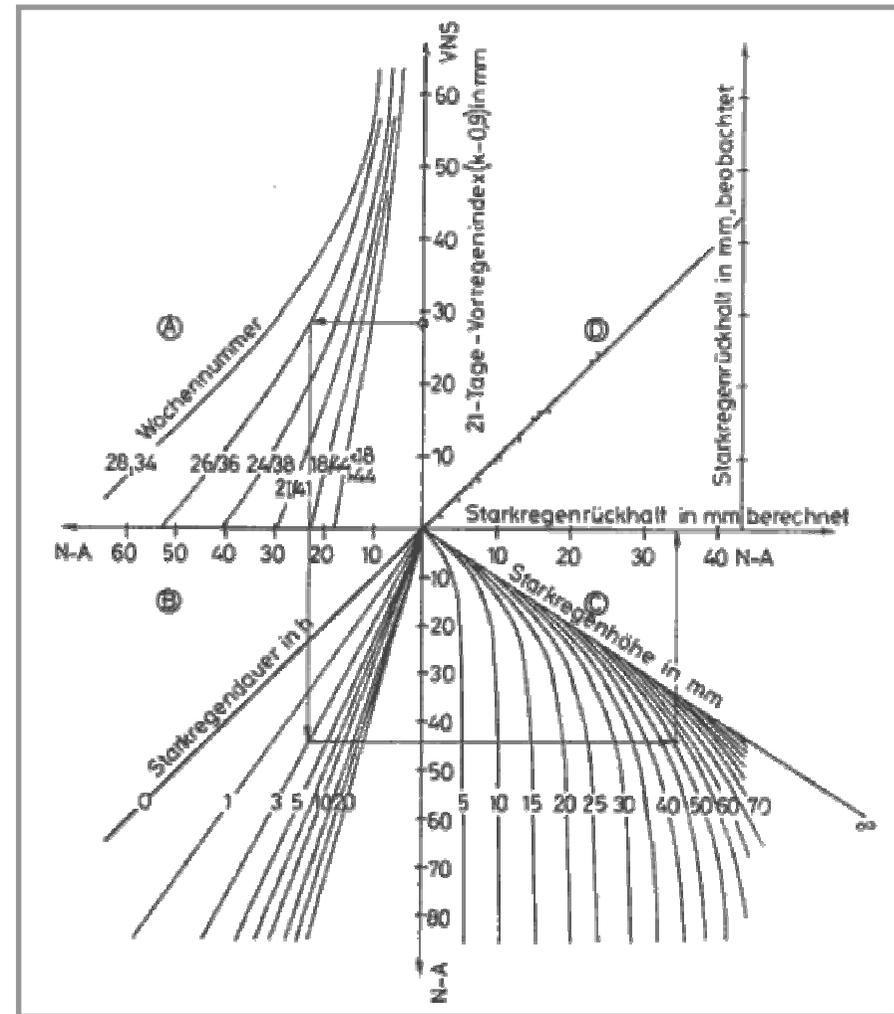
R : Gebietsrückhalt [mm]

T_d : Niederschlagsdauer [h]

N : Niederschlagshöhe [mm]

Q_b : Basisabfluss zu Ereignisbeginn [l/s/km²]

M : Monat



$$R = \frac{N * e^{C * Q_b} * e^{D * T_d} * \left(A + B * \sin\left(\frac{\pi}{6} (M - 4)\right) \right)}{N + N * e^{E - N} * e^{C * Q_b} * e^{D * T_d} * \left(A + B * \sin\left(\frac{\pi}{6} (M - 4)\right) \right)}$$

Koaxialdiagramm – Aufgabe 1

Bestimmung des Vorregenindex VP (n Vortage):

$$VP = VP_n * k^n + \sum_{i=1}^n P_i * k^i \quad \text{hier } k = 0.9$$

Ereignis 1:

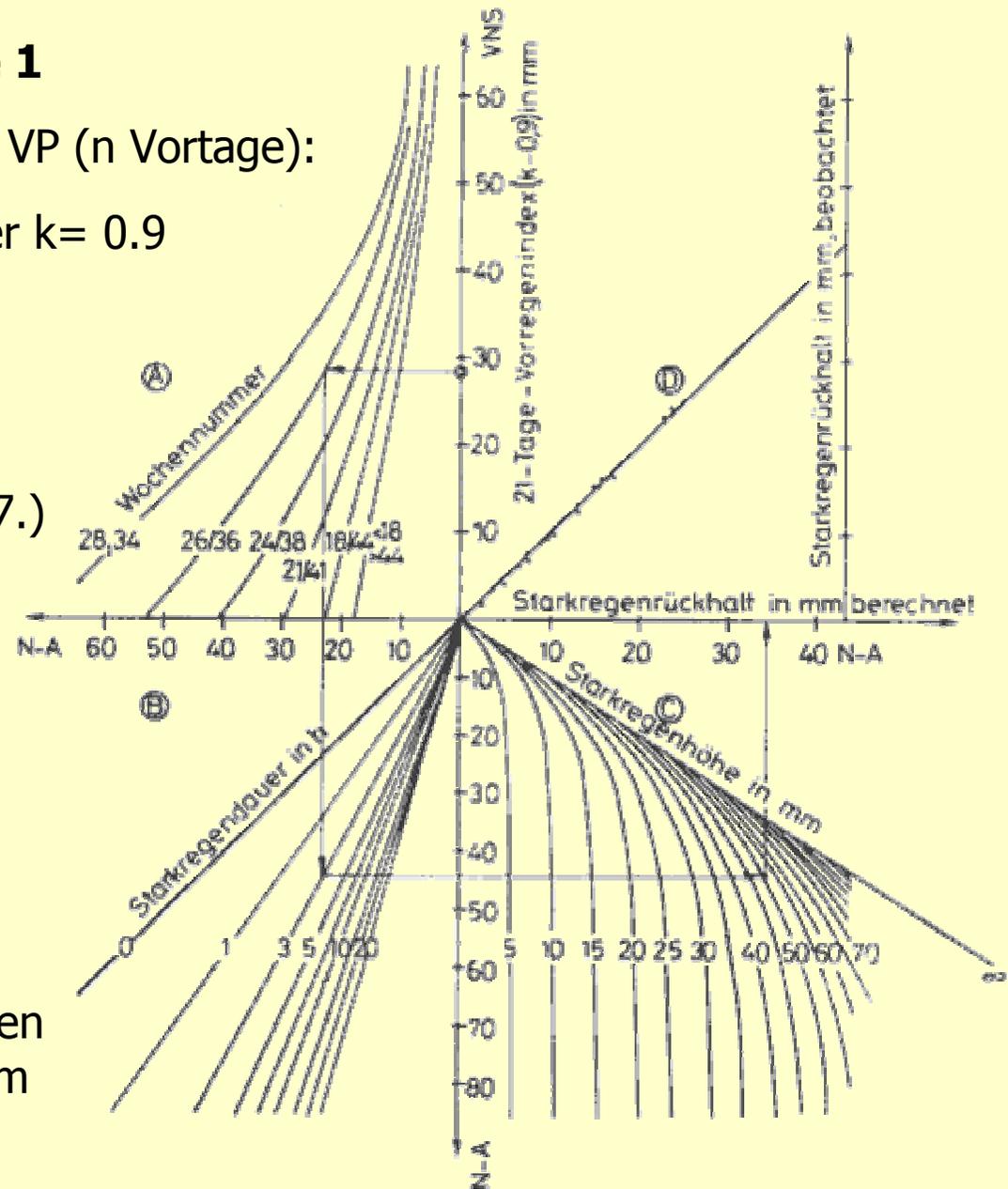
- Vorregenindex : 45 mm
- Wochennummer: 27 (28.6.-4.7.)
- Starkregendauer: 3 h
- mittlere Intensität: 15 mm/h

Ereignis 2:

- Starkregendauer: 1 h
- sonst: wie Ereignis 1

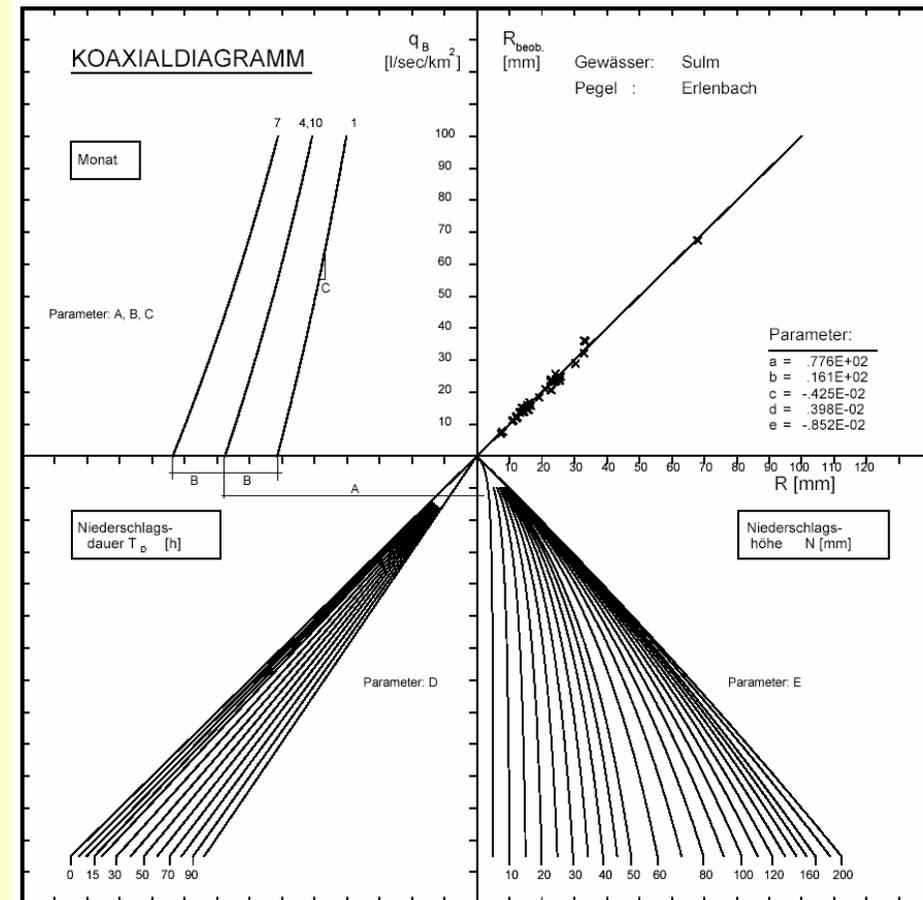
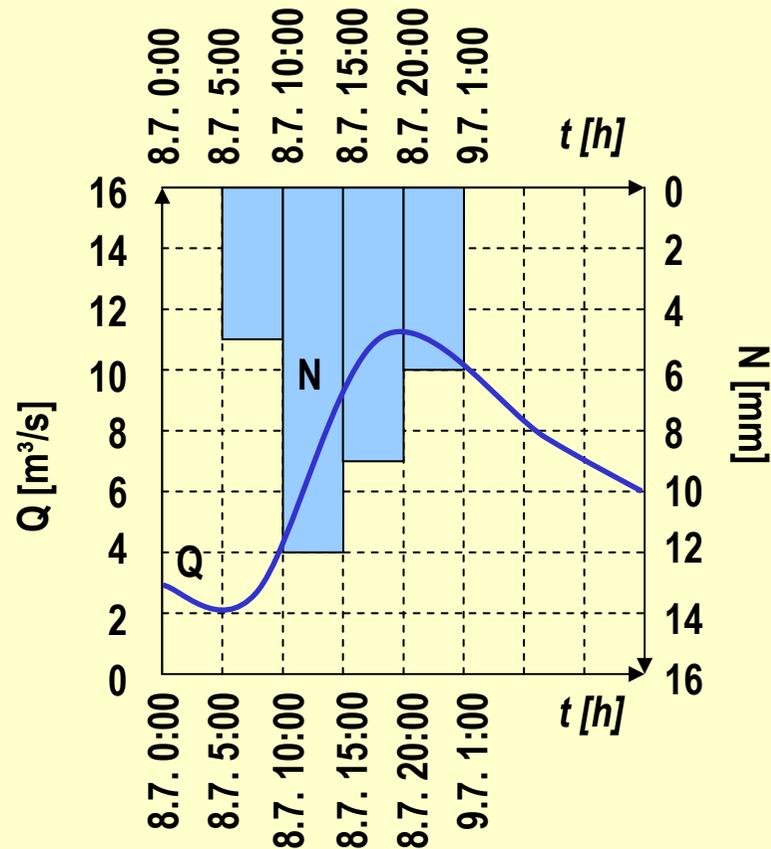
Jeweils gesucht: ψ

Welche Größen müssen gemessen werden, um ein Koaxialdiagramm aufzustellen?



Koaxialdiagramm – Aufgabe 2

Gegebene Informationen:

Fläche des Einzugsgebiets: 100 km^2 Gesucht: ψ und Volumen des Direktabflusses in m^3

SCS-Verfahren

- Vom Soil Conservation Service (USA) entwickeltes Verfahren zur Berechnung des Abflussbeiwerts für kleine Einzugsgebiete bei Extremniederschlägen
- Auch anwendbar, wenn keine ausreichenden Abfluss-Auswertungen zur Erstellung eines Koaxialdiagramms vorhanden sind

Grundannahmen:

$$N = N_{anf} + N_{vers} + N_{ab}$$

N : Niederschlag, N_{anf} : Anfangsverlust

N_{vers} : Versickerungsanteil, N_{ab} : Abflussanteil

N_{max} : max. Speichereinhalte des Bodens

$$N_{anf} = k * N_{max}$$

$$\frac{N_{ab}}{N - N_{anf}} = \frac{N_{vers}}{N_{max}}$$

Interpretation:

- Der abfließende Anteil des Niederschlags (linke Seite) nimmt mit zunehmendem Speichervermögen des Bodens (N_{max}) ab.
- Wird der Bodenspeicher durch versickerndes Wasser voll gefüllt (rechte Seite = 1), entspricht N_{ab} der Differenz ($N - N_{anf}$).

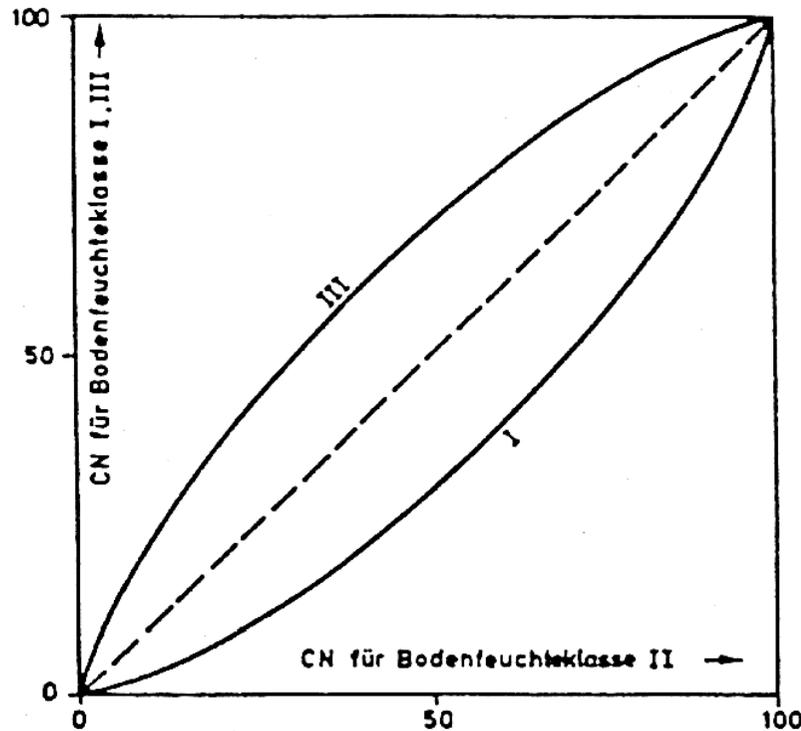
Modifizierte Gleichung des SCS-Verfahrens

$$N_{eff} = \frac{\left(N - \frac{1270}{CN} + 12.7 \right)^2}{N + \frac{24130}{CN} - 241.3}$$

- erlaubt Berechnung des Effektivniederschlags N_{eff} [mm] als Funktion des Niederschlags N [mm] und der „curve number“ (CN) als Ersatzgröße für N_{max}
- $CN = f(\text{Bodentyp, Bodennutzung, Vorfeuchte})$

Ermittlung der „curve number“ CN

Bodenfeuchte- klasse	Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm	
	Vegetations- periode	Übrige Zeit
I	< 30	< 15
II	30 – 50	15 – 30
III	> 50	> 30



CN für Bodenfeuchteklassen I und III in Abhängigkeit von CN für Bodenfeuchteklasse II

Bodennutzung	CN für Bodentyp			
	A	B	C	D
Ödland (ohne nennenswerten Bewuchs)	77	86	91	94
Hackfrüchte, Wein	70	80	87	90
Wein (Terrassen)	64	73	79	82
Getreide, Futterpflanzen	64	76	84	88
Weide (normal)	49	69	79	84
(karg)	68	79	86	89
Dauerwiese	30	58	71	78
Wald (stark aufgelockert)	45	66	77	83
(mittel)	36	60	73	79
(dicht)	25	55	70	77
Undurchlässige Flächen (versiegelter Anteil von Ortschaften, Straßen usw.)	100	100	100	100

Bodentyp A: Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung,
z. B.: tiefe Sand- und Kiesböden.

Bodentyp B: Böden mit mittlerem Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur,
z. B.: mitteltiefe Sandböden, Löss, (schwach) lehmiger Sand.

Bodentyp C: Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauender Schicht,
z. B.: flache Sandböden, sandiger Lehm.

Bodentyp D: Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.

Aufgabe 3 (SCS-Verfahren)

Ereignis 1:

- Starkniederschlag im Monat Mai mit 40 mm in 2 h
- Boden: Parabraunerde auf Lehm
- Nutzung: Wintergetreide
- Niederschlag der letzten 5 Tage: 52 mm

Ereignis 2:

- Starkniederschlag im Monat Mai mit 40 mm in 2 h
- Boden: Braunerde auf Sand
- Nutzung: Kieferschonung
- Niederschlag der letzten 5 Tage: 30 mm

Fragen:

- Welches der Ereignisse führt zu einem höheren Abflussbeiwert ?
- Wie hängt der Abflussbeiwert von der Höhe des Niederschlags ab, wenn man von einer versiegelten Fläche ausgeht ?

- Welche Phasen können bei der modellmäßigen Beschreibung von Niederschlags-Abfluss-Beziehungen unterschieden werden?
- Welche Größe bezeichnet man als Abflussbeiwert?
- Welche Größen beeinflussen den Abflussbeiwert & warum?
- Welche Ansätze zur Schätzung des Abflussbeiwerts gibt es?
- Anwendung des Koaxialdiagramms
- Wie hängen die Begriffe Gesamtniederschlag, Gebietsrückhalt, Effektivniederschlag und Direktabfluss zusammen?