

# INGENIEURHYDROLOGIE

## ORGANISATION UND THEMENAUSWAHL

PROF. DR. C. KÜLLS

LABOR FÜR HYDROLOGIE  
UND INTERNATIONALE  
WASSERWIRTSCHAFT

2025

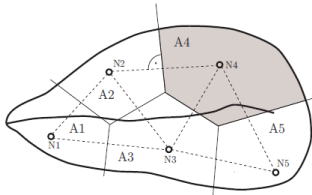


**TECHNISCHE  
HOCHSCHULE  
LÜBECK**

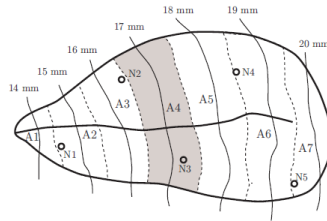
# EINFÜHRUNG

# ISOLINIEN METHODE

$$N_m = \frac{\sum (N_i \cdot A_i)}{\sum A_i}$$



(a) Thiessen-Polygon

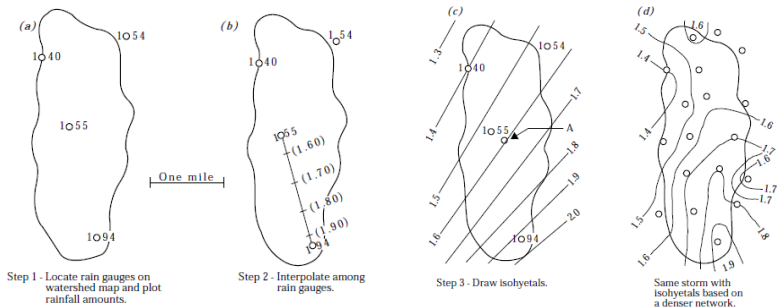


(b) Isohyete

Ostrowski, 2017

- subjektiv, kann durch trianguläre Interpolation verbessert werden
- Annahme linearer Veränderungen
- analoge & digitale Verfahren

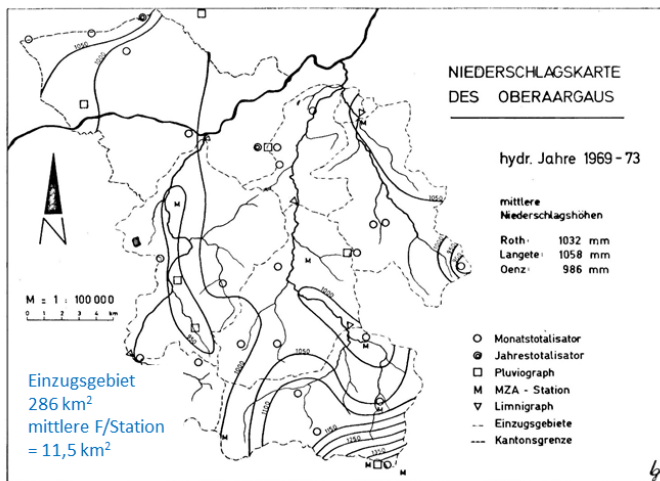
# ISOLINIEN METHODE KONSTRUKTIONSVERFAHREN



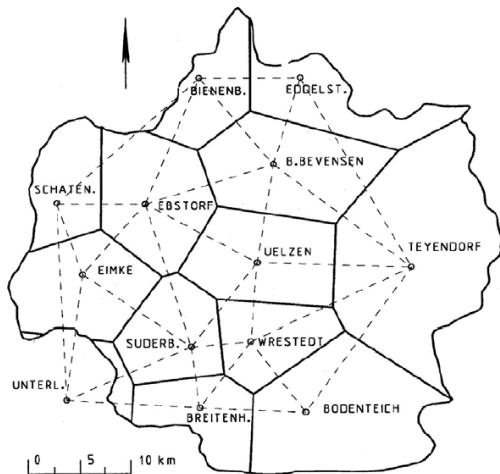
USDA (United States Department of Agriculture, Stormwater in Urban Basins

# ISOLINIEN METHODE

## BEISPIEL



# THIESSEN POLYGONE



■ objektive  
Methode

■ Flächengewicht

■ analog &  
digital

$$\overline{N} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot N_i$$

Prinzipielle Methode für Gebiets-  
N-Berechnung entscheidend  
ist die Art der  
Polygonbestimmung

mit:  $N$ : Gebietsniederschlag (mm)  
 $N_i$ : Niederschlagssumme  
der Stationen  $i$  (mm)  
 $n$ : Anzahl der Teilflächen  
 $g_i$ : Flächengewichte der  
 $i$ -ten Station

# INVERSE DISTANZEN

## METHODE

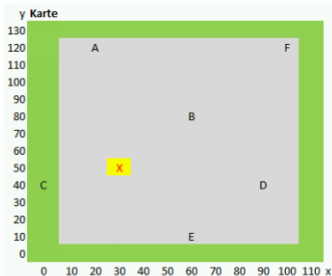


Abbildung: Karte des Beispiels

$$N_x = \frac{1}{\sum g_i} * \sum_{i=1}^n (N_i * g_i)$$

### Methode

- Vorhanden sind Werte an A bis F, gesucht X
- Erst Distanz  $D$  rechnen mit  $D = \sqrt{x^2 + y^2}$
- Dann Gewicht  $g_i$  als  $1/D$  oder als  $1/D^2$
- Niederschlag  $N_i$  mit Gewicht  $g_i$  gewichten
- Die Formel mit dem Kehrwert der Summe der Gewichte  $\frac{1}{\sum(g_i)}$  ausgleichen



# INVERSE DISTANZEN

## BEISPIEL

### Niederschlagsstationen

Namen	Niederschlag	Höhe	x-Koordinate	y-Koordinate	Entfernung zu X	ID	ID2	NxID	NxID2
	mm	m	km	km	km	-	-	mm	mm
A	650	150	20	120	70.7	0.0141	0.00020	9.1924	0.1300
B	700	200	60	80	42.4	0.0236	0.00056	16.4992	0.3889
C	800	50	0	40	31.6	0.0316	0.00100	25.2982	0.8000
D	820	75	90	40	60.8	0.0164	0.00027	13.4807	0.2216
E	725	100	60	10	50.0	0.0200	0.00040	14.5000	0.2900
F	690	125	100	120	99.0	0.0101	0.00010	6.9701	0.0704
X	741.7		30	50	0.0				
					Summe	0.1159	0.00253	85.9405	1.9009

Grau = Eingabewerte

blau = Berechnete Werte

Gelb = Ergebnis für X bzw. Werte von X (Koordinaten)

741.7 = errechnete Zielgröße Niederschlag in mm an X

ID inverse Distanz

ID2=Inverse quadrierte Distanz

NxID=Niederschlag mal inverse Distanz zu X

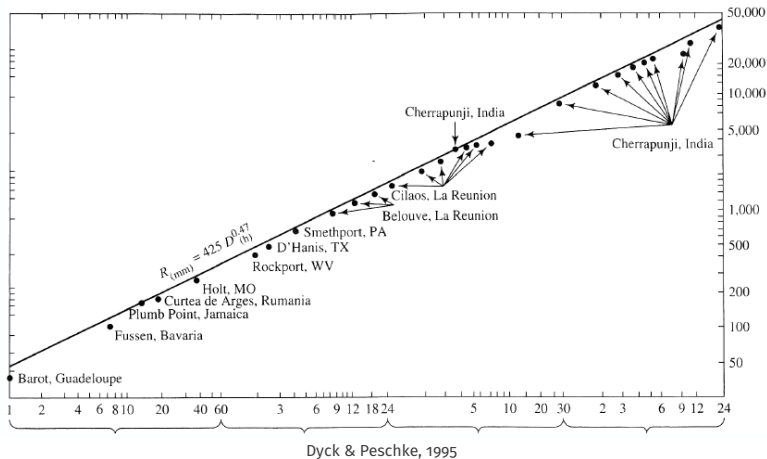
NxID2=Niederschlag mal inverse quadrierte Distanz zu X

Die Summen sind die Summen der Gewichte und von NxID, NxID2

Der Kehrwert von ID und ID2 wird zum Ausgleich der Gewichte genommen.

# **EXTREMWERTE UND STATISTIK DES NIEDERSCHLAGS**

# EXTREMSTE NIEDERSCHLÄGE WELTWEIT



- x-Achse und y-Achse logarithmisch
- 425 mm pro Stunde mal Wurzel(Stunden)

# MAXIMUM WERTE NIEDERSCHLAG

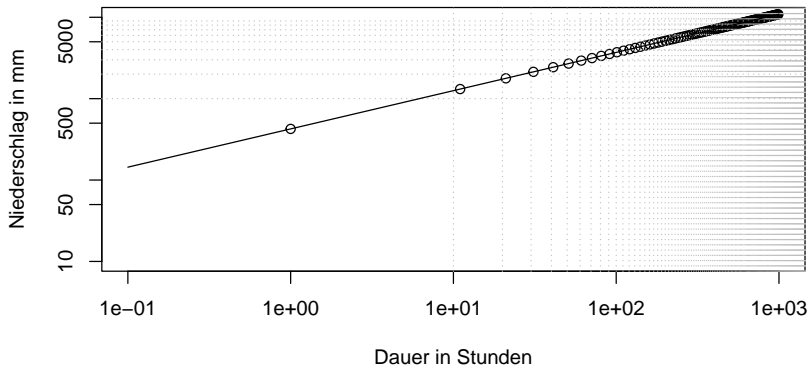
Der größtmögliche Niederschlag kann mit der Formel:

$$P_{max} = 425 * D[h]^{0.47} [mm]$$

beschrieben werden. Die Dauer wird in Stunden angegeben. Die Menge steigt ungefähr mit der Wurzel der Dauer an.

# MAXIMALER NIEDERSCHLAG

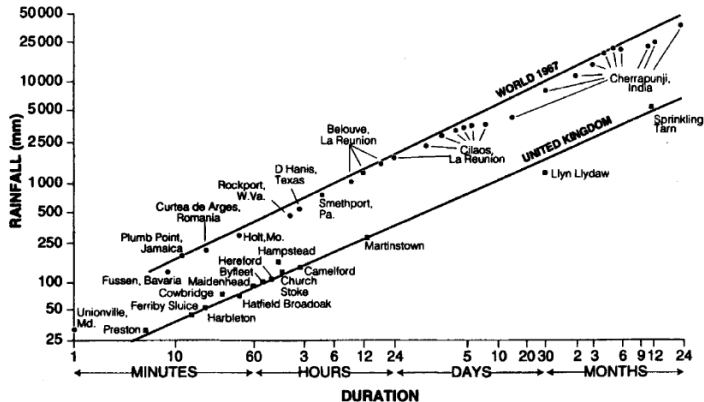
## FORMEL MIT R



**Abbildung:** Maximaler Niederschlag

# MAXIMALER NIEDERSCHLAG REGIONAL

## KURVEN FÜR DIE WELT UND FÜR GROSSBRITANNIEN



Savenje, 1992

- Regionale Unterschiede
- Unterschiede je nach Niederschlagstyp

# STARKREGEN

**Landregen:** Niederschlag > 6 h

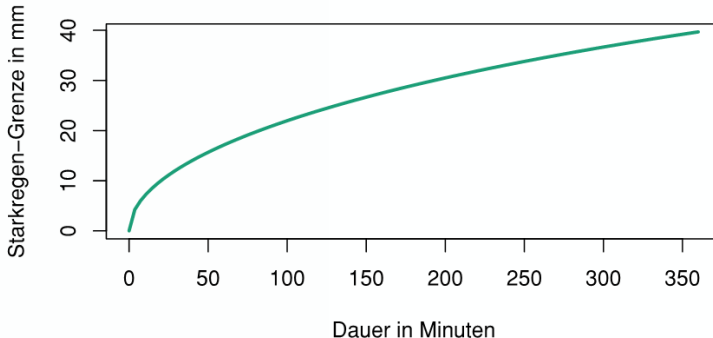
**Starkregen:** Mindestergiebigkeit  
(nach WUSSOW)

- > 5 mm Niederschlag in 5 min
- > 10 mm Niederschlag in 20 min
- > 17,3 mm Niederschlag in 60 min

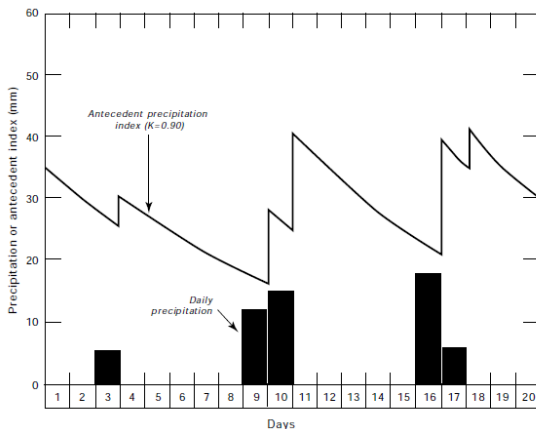
$$h = \sqrt{5t - \left(\frac{t}{24}\right)^2}$$

$$h = \sqrt{5t} \quad (\text{vereinfacht})$$

wobei:  $h = N$  in mm



# VORFEUCHTE DES EINZUGSGEBIETES ABHÄNGIG VON ZEIT SEIT LETZTEM NIEDERSCHLAG



Guide to Hydrological Practice, 1994

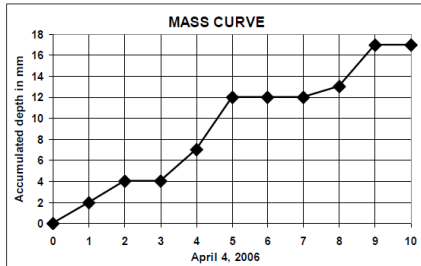
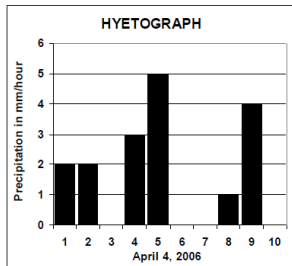
Abflussbildung  
positiv

- Kann aus dem gleitenden Mittel Niederschlag gerechnet werden
- Nimmt mit zunehmender Dauer seit letztem Niederschlag exponentiell ab



# HYETOGRAPH

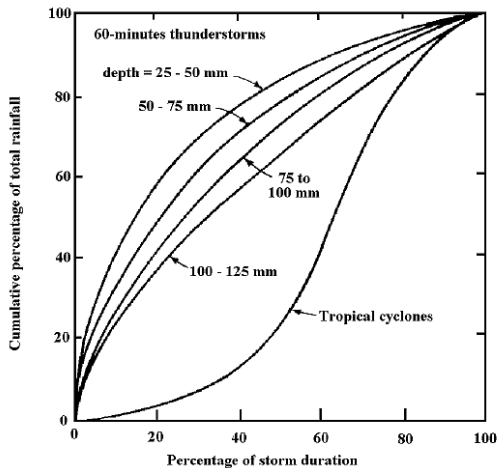
## ZEIT-MENGEN-KURVE



Savenje, 1992

- Intensitätsverlauf
- Wichtig für Abflussbildung

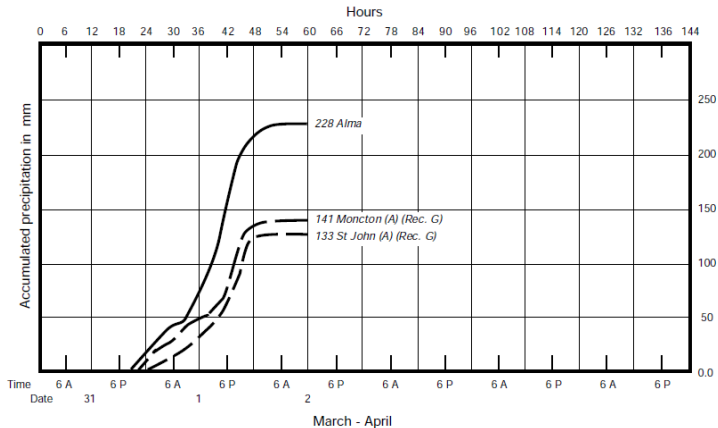
# HYETOGRAPH ZEITFUNKTION



Savenje, 1992

- Intensität vs. Zeit
- Hängt von Region und Regenart ab

# MASSENKURVE DES NIEDERSCHLAGES

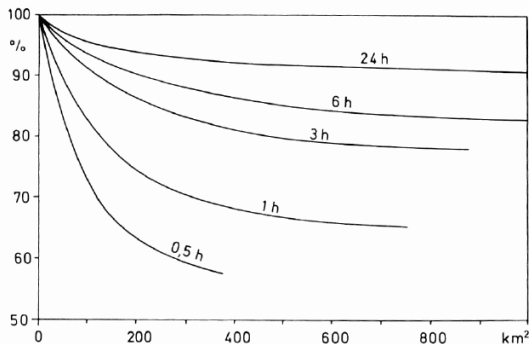


Guide to Hydrological Practice, 1994

- Wird von Niederschlagsschreibern aufgezeichnet
- Ableitung ist die Intensität (Änderung der Menge pro Zeit)

# FLÄCHENREDUKTION

## WICHTIG ZUR KORREKTEN BERECHNUNG DES FLÄCHENNIEDERSCHLAGES



Dyck & Peschke, 1995

- Menge und Intensität nehmen mit zunehmender Berechnungsfläche ab
- Abnahme ist deutlicher ausgeprägt für kürzere Dauern

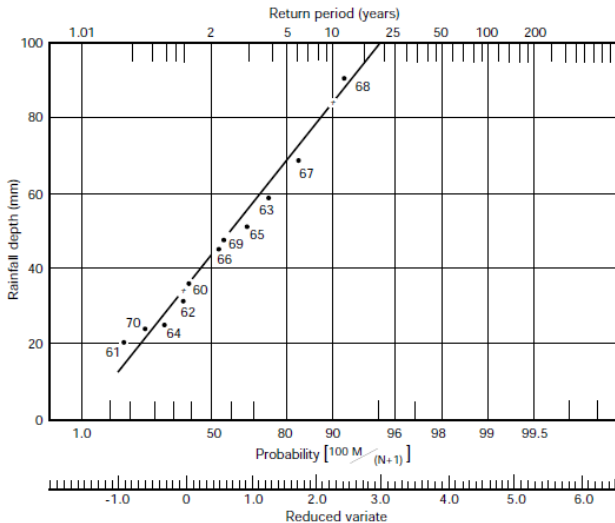
Die Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses  $P(x > X)$  kann einfach aus dem Rang von absteigend sortierten Ereignissen ermittelt werden:

$$P(x > X) = \frac{m}{N + 1}$$
$$T = \frac{1}{P(x > X)}$$

Dabei ist  $m$  der Rang einer sortierten Reihe und  $N$  die gesamte Anzahl aller Ereignisse. Das Wiederkehrintervall ist dann definiert als:

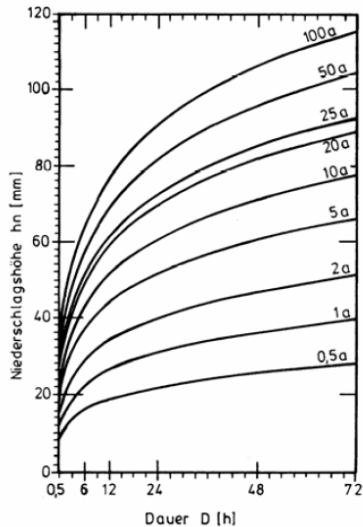
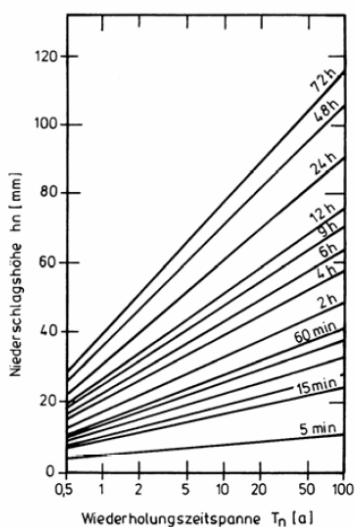
$$T = 1 - P(x > X) = 1 - \frac{m}{N + 1}$$

# NIEDERSCHLAGSWAHRSCHEINLICHKEIT



Guide to Hydrological Practice, 1994

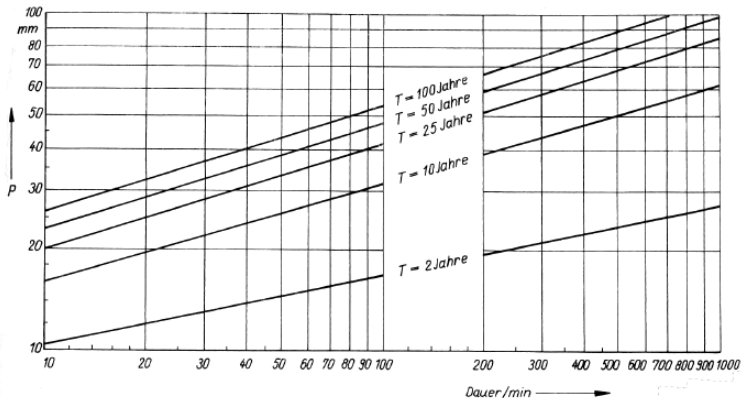
# DAUER-MENGE UND DAUER-INTENSITÄT



Maniak, 2016

# DAUER VS. MENGE

## UNTERSCHIEDLICHE WIEDERKEHRINTERVALLE



Dyck & Peschke, 1995

- Menge steigt mit Wiederkehrdauer
- Grundlage für Berechnung ist log-log Diagramm



### ***Geltungsbereich***

Die Regenreihen gelten für die Bemessung

- Oberirdischer Gewässer
- Öffentlicher Abwasseranlagen.

Die Regenreihen haben keine Gültigkeit für die Bemessung von Grundstücksentwässerungsanlagen. Hier gilt der [KOSTRA – Atlas 1997<sup>1</sup>](#) in Verbindung mit der DIN 1986 – 100<sup>2</sup> und den europäischen Normenwerken.

Dyck & Peschke, 1995

- erstellt an Hand von DWD Niederschlagsschreiberdaten
- TH Hamburg-Harburg, lieferbar als DVD
- Anpassung an Klimawandel

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

## FÜR DEUTSCHLAND

$$h(D, T) = u(D) + w(D) \cdot \ln T$$

**doppelt-  
logarithmische  
Beziehung**

$$\ln u = a_u + b_u \cdot \ln D \quad \text{bzw.} \quad u = e^{a_u + b_u \cdot \ln D}$$
$$\ln w = a_w + b_w \cdot \ln D \quad \text{bzw.} \quad w = e^{a_w + b_w \cdot \ln D}$$

**einfach-  
logarithmische  
Beziehung**

$$u = a_u + b_u \cdot \ln D$$
$$w = a_w + b_w \cdot \ln D$$

Doppelt- und einfach-logarithmische Beziehungen zur Bestimmung der empirischen Koeffizienten  $u(D)$  und  $w(D)$ , mit denen die Regensreihen an die Stichproben (Niederschlagsmessungen) angepasst werden.

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

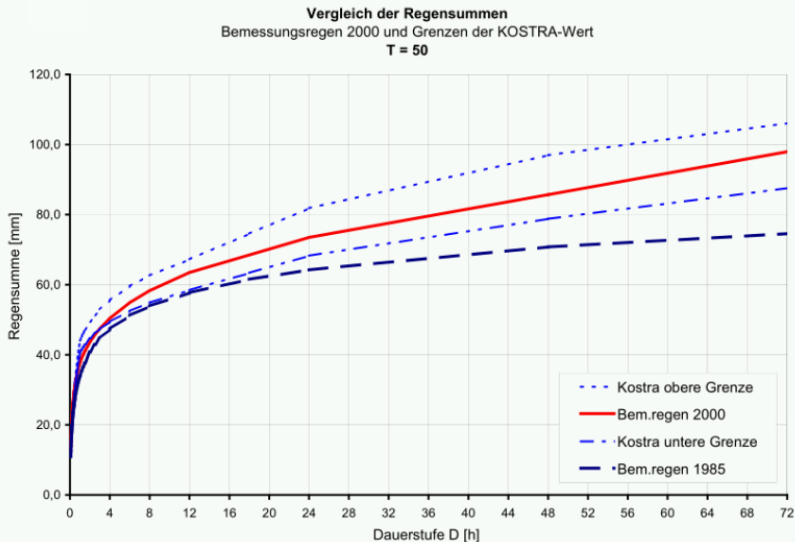
Bereich 1	bis 60 min	(D in min)
$u(D) = -0,7672 + 3,60674 \cdot \ln D$ $w(D) = -0,3332 + 1,56639 \cdot \ln D$		
Bereich 2	60 bis 720 min	(D in min)
$u(D) = \exp(1,569 + 0,2613 \cdot \ln D)$ $w(D) = \exp(1,091 + 0,17451 \cdot \ln D)$		
Bereich 3	12 h bis 24 h	(D in h)
$u(D) = 22,0 + 0,3750 \cdot D$ $w(D) = 7,9042 + 0,12305 \cdot D$		

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

Bereich 4	24 h bis 72 h	(D in h)
$u(D) = 23,0 + 0,33333 \cdot D$		
$w(D) = 9,772 + 0,04524 \cdot D$		
Bereich 5	3 d bis 7 d	(D in d)
$u(D) = 33,5 + 4,5 \cdot D$		
$w(D) = 11,4 + 0,54287 \cdot D$		

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

## 50-JÄHRLICHER NIEDERSCHLAG UNTERSCHIEDLICHER DAUERN

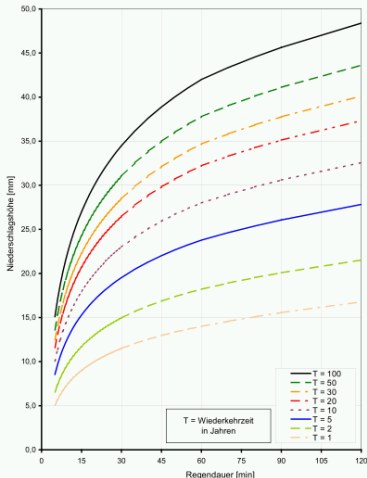


# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

## GRAPHIK UND TABELLE

### Niederschlagskurven

Niederschlagshöhen



Bemessungs - Niederschlagshöhen ( mm )									
in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer									
Dauer- stufe	Wiederkehrzeit in a								
	0,5	1	2	5	10	20	30	50	100
5 min	3,5	5,0	6,6	8,6	10,1	11,6	12,5	13,6	15,1
6 min	4,0	5,7	7,4	9,7	11,4	13,1	14,1	15,4	17,1
7 min	4,4	6,3	8,1	10,6	12,5	14,4	15,5	16,9	18,8
8 min	4,7	6,7	8,8	11,4	13,5	15,5	16,7	18,2	20,2
9 min	5,0	7,2	9,3	12,2	14,3	16,5	17,7	19,3	21,5
10 min	5,3	7,5	9,8	12,8	15,1	17,3	18,7	20,3	22,6
11 min	5,5	7,9	10,3	13,4	15,8	18,1	19,5	21,3	23,6
12 min	5,7	8,2	10,7	13,9	16,4	18,9	20,3	22,1	24,6
13 min	5,9	8,5	11,0	14,4	17,0	19,5	21,0	22,9	25,5
14 min	6,1	8,8	11,4	14,9	17,5	20,1	21,7	23,6	26,3
15 min	6,3	9,0	11,7	15,3	18,0	20,7	22,3	24,3	27,0
16 min	6,5	9,2	12,0	15,7	18,5	21,2	22,9	24,9	27,7
17 min	6,6	9,5	12,3	16,1	18,9	21,7	23,4	25,5	28,4
18 min	6,8	9,7	12,6	16,4	19,3	22,2	23,9	26,1	29,0
19 min	6,9	9,9	12,8	16,7	19,7	22,7	24,4	26,6	29,6
20 min	7,0	10,0	13,1	17,1	20,1	23,1	24,9	27,1	30,1
21 min	7,1	10,2	13,3	17,4	20,4	23,5	25,3	27,6	30,6
22 min	7,3	10,4	13,5	17,6	20,8	23,9	25,7	28,0	31,1
23 min	7,4	10,5	13,7	17,9	21,1	24,3	26,1	28,5	31,6
24 min	7,5	10,7	13,9	18,2	21,4	24,6	26,5	28,9	32,1
25 min	7,6	10,8	14,1	18,4	21,7	24,9	26,9	29,3	32,5
26 min	7,7	11,0	14,3	18,7	22,0	25,3	27,2	29,6	33,0
27 min	7,8	11,1	14,5	18,9	22,2	25,6	27,5	30,0	33,4
28 min	7,9	11,3	14,6	19,1	22,5	25,9	27,9	30,4	33,8
29 min	8,0	11,4	14,8	19,3	22,8	26,2	28,2	30,7	34,1
30 min	8,0	11,5	15,0	19,5	23,0	26,5	28,5	31,0	34,5
35 min	8,4	12,1	15,7	20,5	24,1	27,7	29,9	32,5	36,2
40 min	8,8	12,5	16,3	21,3	25,1	28,8	31,1	33,8	37,6
45 min	9,1	13,0	16,9	22,0	25,9	29,8	32,1	35,0	38,9
50 min	9,3	13,3	17,4	22,7	26,7	30,7	33,1	36,0	40,0
55 min	9,6	13,7	17,8	23,3	27,4	31,5	33,9	36,9	41,1
60 min	9,8	14,0	18,2	23,8	28,0	32,2	34,7	37,8	42,0

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG

FÜR DEUTSCHLAND

$$R(D,T) = \frac{h(D,T) \cdot F}{D}$$

$R(D,T)$ : Regenspende  $[l/(s \cdot ha)]$

$h(D,T)$ : Niederschlagshöhe  $[mm]$

$F$ : Flächefaktor  $[mm^2/ha]$

$D$ : Dauerstufe  $[s]$

# KOORDINIERTE STARKREGENAUSWERTUNG FÜR DEUTSCHLAND

Mit  $D = 5$  [min] sind die Berechnungsvorschriften des **Bereichs 1** (0 bis 60 min) für die Koeffizienten  $u(D)$  und  $w(D)$  anzuwenden:

Daraus bestimmt sich die **Niederschlags-höhe**  $h(D, T)$  [mm] mit  $D = 5$  [min] und  $T = 0,5$  [a] zu:

Mit  $h(D, T)$  kann die **Regenspende**  $R(D, T)$  mit  $D = 5$  [min] und  $T = 0,5$  [a] berechnet werden. Zu beachten sind die **Einheiten**:  $D$  [s],  $h$  [mm],  $F = 10^{10}$  [mm<sup>2</sup>/ha]

Die Regenspende eines Niederschlagsereignisses von 5 Minuten, das zwei Mal im Jahr eintritt, beträgt damit in Hamburg:  $r_{5, 0,5} = 117,4$  [l/(s·ha)].

$$\begin{aligned}u(D) &= -0,7672 + 3,60674 \cdot \ln D \\&= -0,7672 + 3,60674 \cdot \ln 5 \\&= 5,03756\end{aligned}$$




$$\begin{aligned}w(D) &= -0,3332 + 1,56639 \cdot \ln D \\&= -0,3332 + 1,56639 \cdot \ln 5 \\&= 2,18781\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h(D, T) &= u(D) + w(D) \cdot \ln T \\&= 5,03756 + 2,18781 \cdot \ln 0,5 \\&= 3,521 \text{ [mm]}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R(D, T) &= \frac{h(D, T) \cdot F}{D} \\&= \frac{3,521 \text{ [mm]} \cdot 1 \cdot 10^{10} \text{ [mm}^2/\text{ha}]}{300} \\&= 117,4 \cdot 10^6 \text{ [mm}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})] \\&= 117,4 \text{ [l/(s} \cdot \text{ha)]}\end{aligned}$$



Danke für die **Aufmerksamkeit** und **Mitarbeit!**

-  J. R. PHILIP.  
**AN INFILTRATION EQUATION WITH PHYSICAL SIGNIFICANCE.**  
*Soil Sci.*, 77:153–157, 1954.
-  M. TH. VAN GENUCHTEN.  
**A CLOSED FORM EQUATION FOR PREDICTING THE HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF UNSATURATED SOILS.**  
*Soil Sci. Soc. Am.*, (44):892–898, 1980.
-  L. H. ALLEN, D. Y. PAN, K. J. BOOTE, N. B. PICKERING, AND J. W. JONES.  
**CARBON DIOXIDE AND TEMPERATURE EFFECTS ON EVAPOTRANSPIRATION AND WATER USE EFFICIENCY OF SOYBEAN.**  
*Agronomy Journal*, 95(4):1071–1081, 2003.