

Themen der Übung im Sommersemester 2007

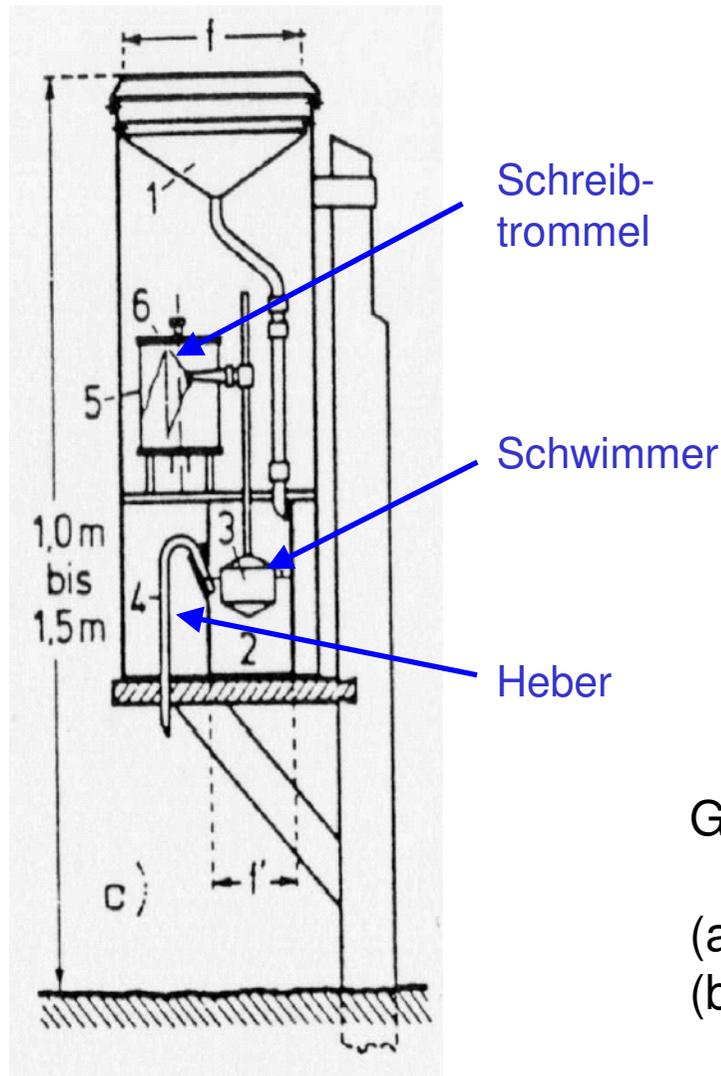
Zusammengestellt von David Kneis, betreut durch Till Francke

- Auswertung von **Niederschlagsmessungen, Abflusskurve**
- Verfahren zur Ermittlung der **Verdunstung**
- Aufstellen und Berechnen von **Wasserbilanzen**
- Einführung zur **Extremwertstatistik** für Hochwässer
- Verfahren zur Beschreibung der **Abflussbildung**
- Verfahren zur Beschreibung der **Abflusskonzentration, Teil 1**
- Verfahren zur Beschreibung der **Abflusskonzentration, Teil 2**

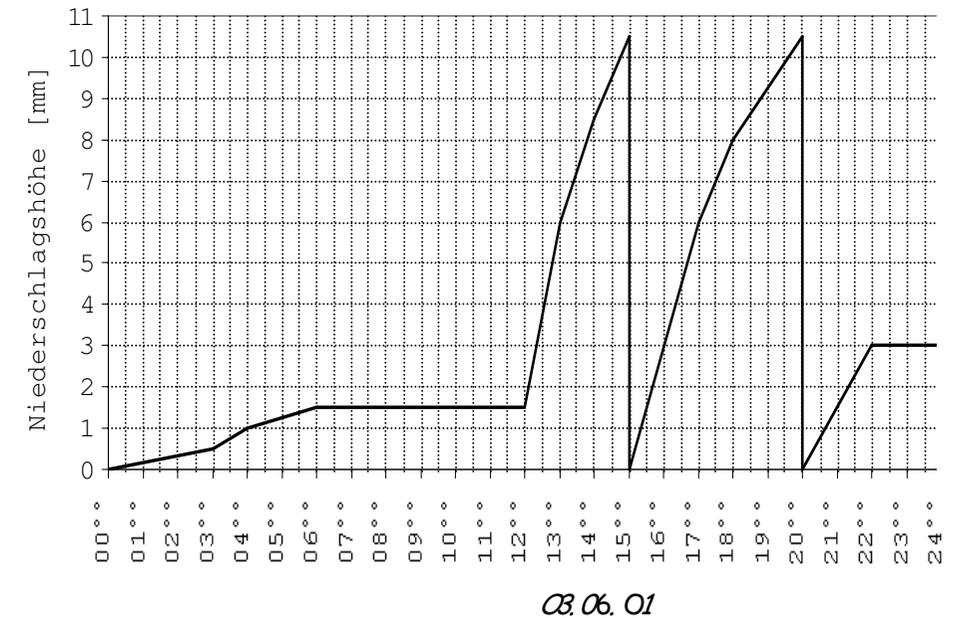
Ablauf

- Gemeinsames Rechnen / Vorrechnen von Beispielaufgaben
- Aufwändigere Beispiele als Hausaufgaben
- Material im WWW: ppt-Folien, Übungsblätter, z.T. Einführungstexte
<http://uni-potsdam.de/u/Geoökologie/institut/hydrologie/download.html>
(Till Francke)

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



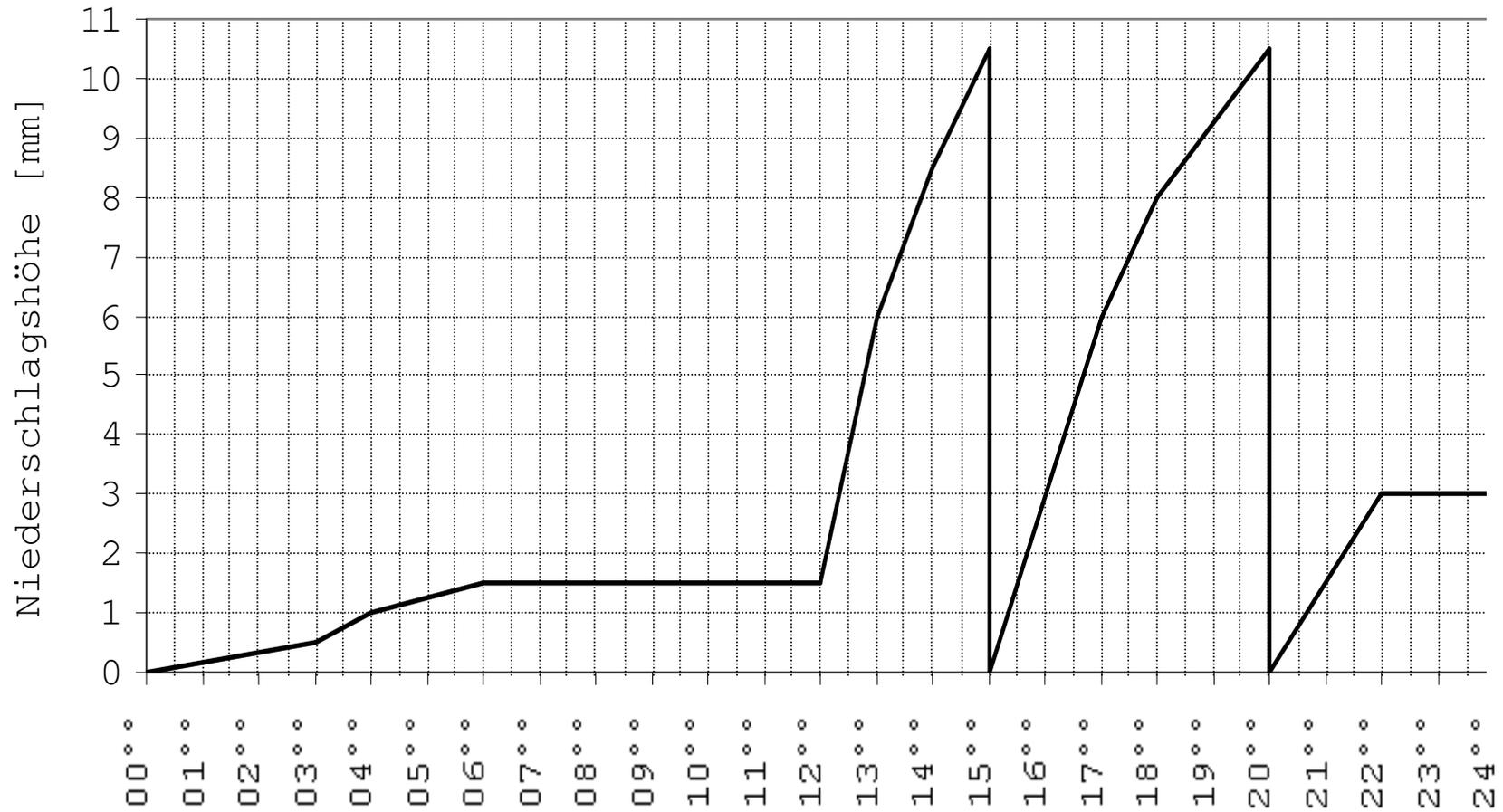
Niederschlagsschreiber mit Schwimmer



Gesucht:

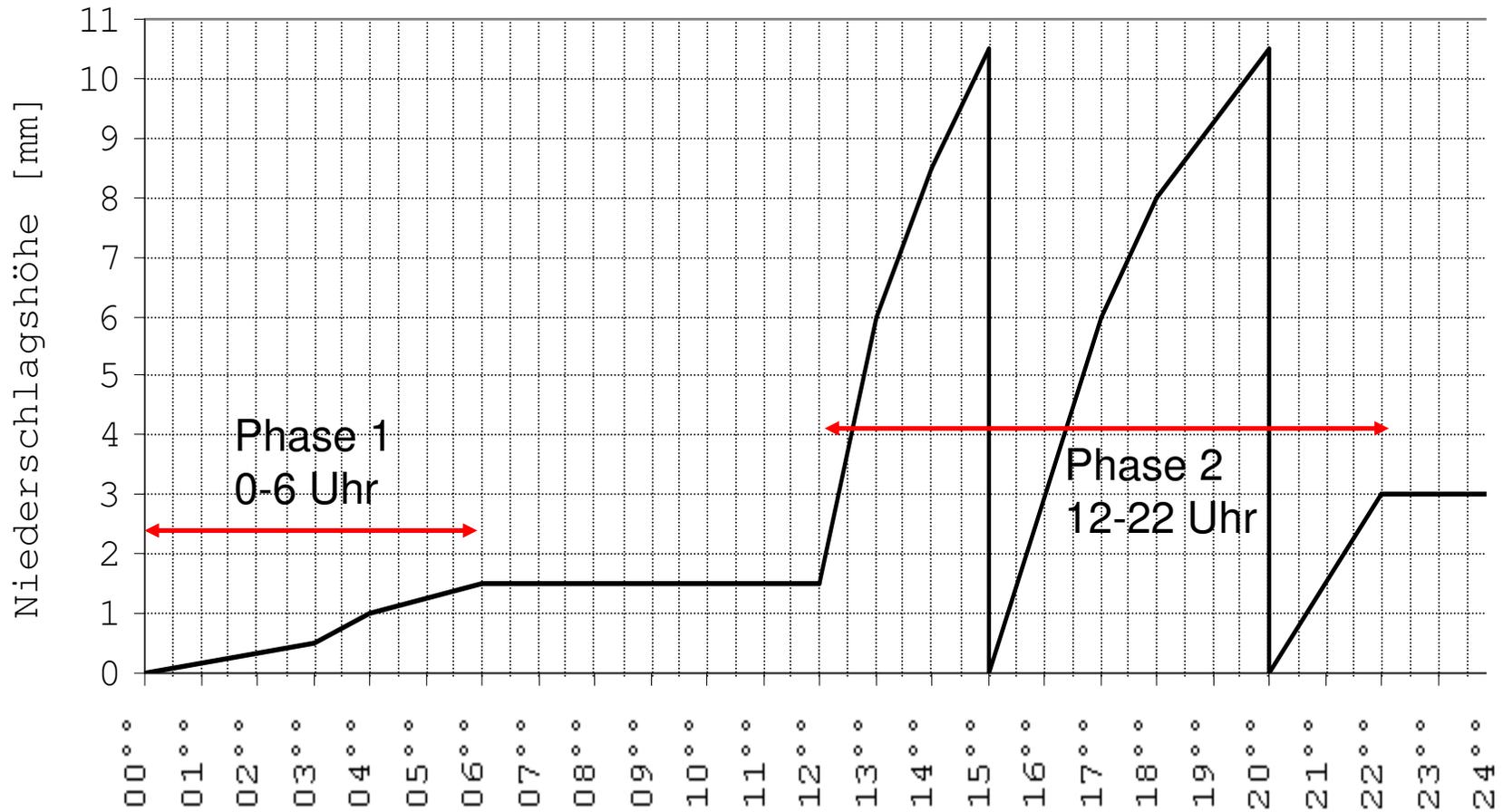
- (a) Beginn und Ende der Niederschlagsphase(n)
- (b) Gesamtniederschlagsmenge im Zeitraum der Aufzeichnung
- (c) Höchste 1h-Niederschlagsintensität in den Einheiten [mm/h] und [l/m²/h]

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



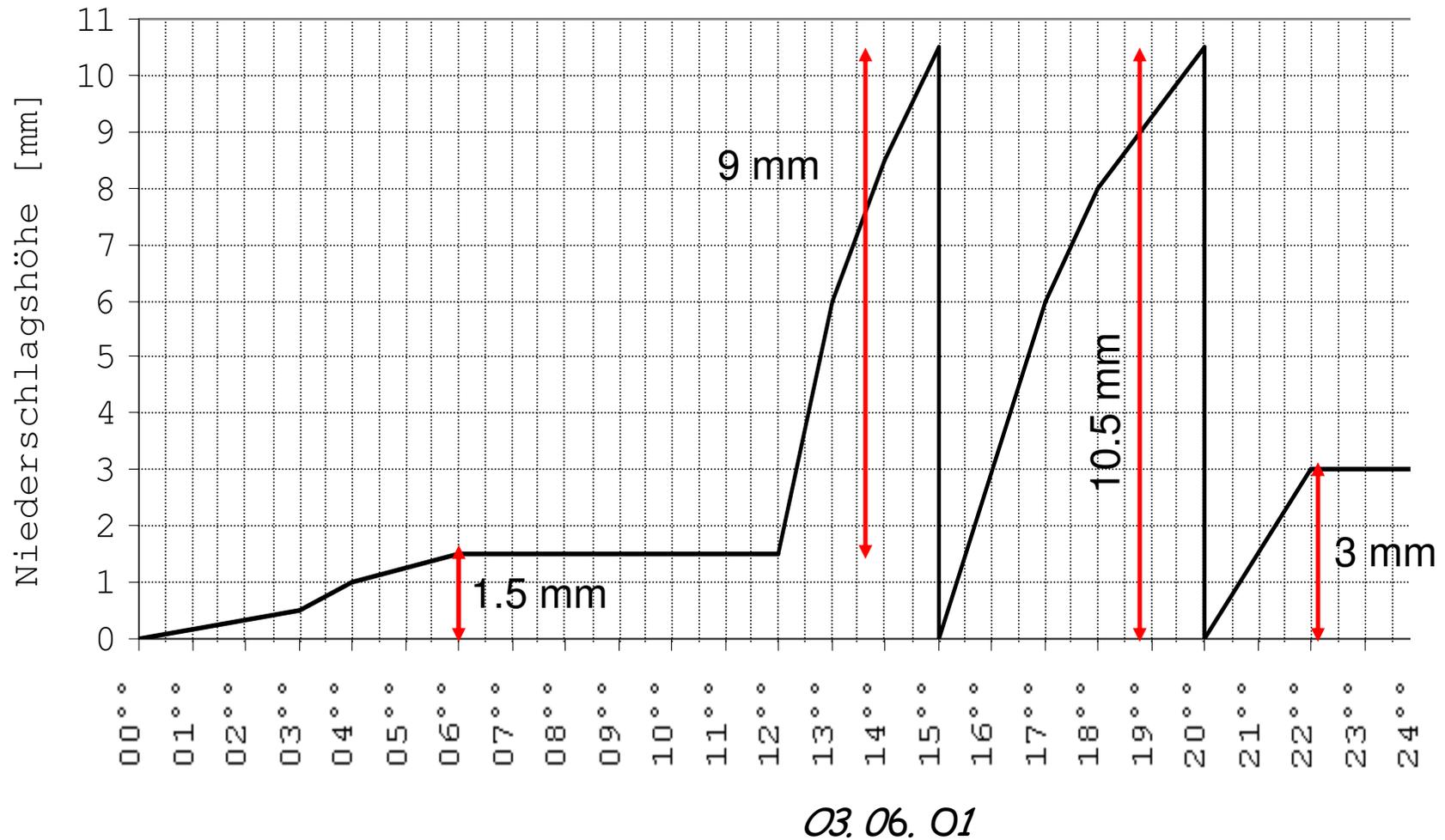
03.06.01

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



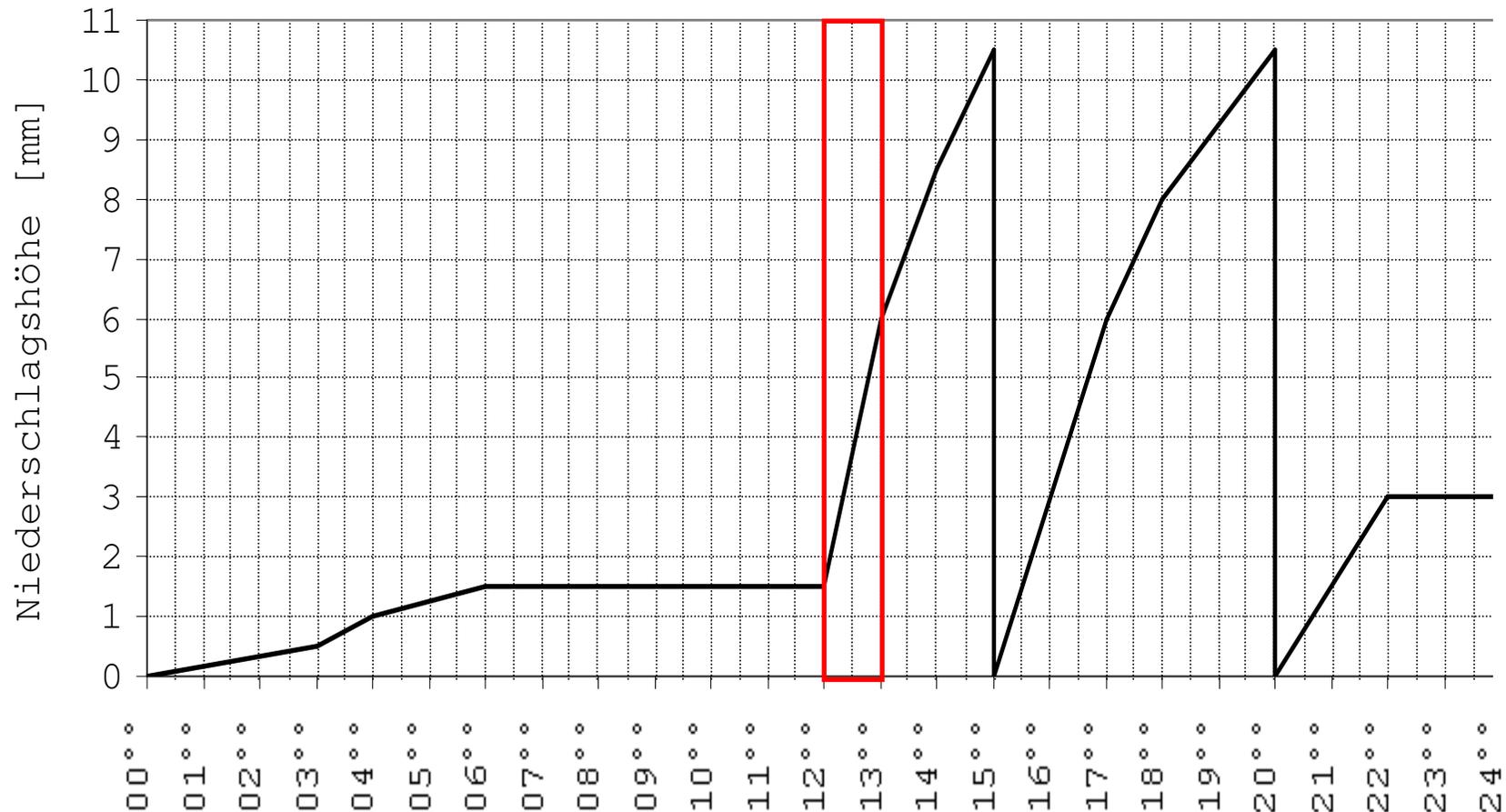
03.06.01

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



Gesamtniederschlag= $1.5 + 9 + 10.5 + 3 = 24$ mm

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



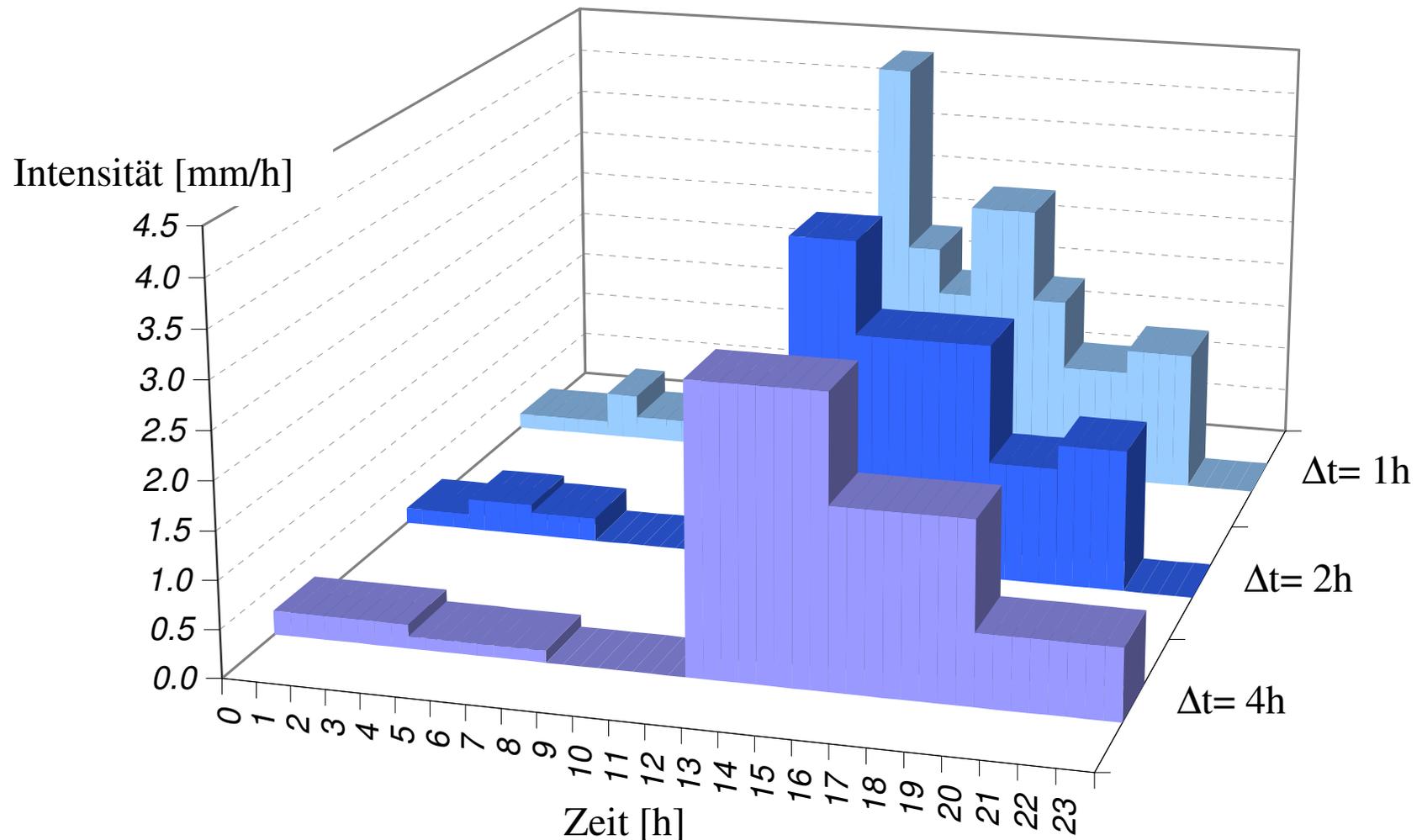
03.06.01

Niederschlagsintensität (I) = Niederschlagshöhe (ΔP) / Zeitintervall (Δt)

Höchste Intensität (I_{\max}) = stärkster Anstieg der Kurve = $\max(\Delta P/\Delta t)$

Für $\Delta t = 1\text{h}$ ist $I_{\max} = 4.5\text{ mm/h}$ (12-13 Uhr). Das entspricht $4.5\text{ l/m}^2/\text{h}$.

Auswertung des Schreibstreifens eines Niederschlagsmessers



Je länger das Bezugsintervall Δt , desto geglätteter erscheinen die Intensitäten. Extremwerte der Niederschlagsintensität werden bei größeren Δt „weggemittelt“.

Gebietsniederschlag

- Mittlerer Niederschlag eines größeren Gebiets (meist Einzugsgebiete)
- Wird durch Übertragung der Punktmessungen in die Fläche ermittelt („Regionalisierung“)

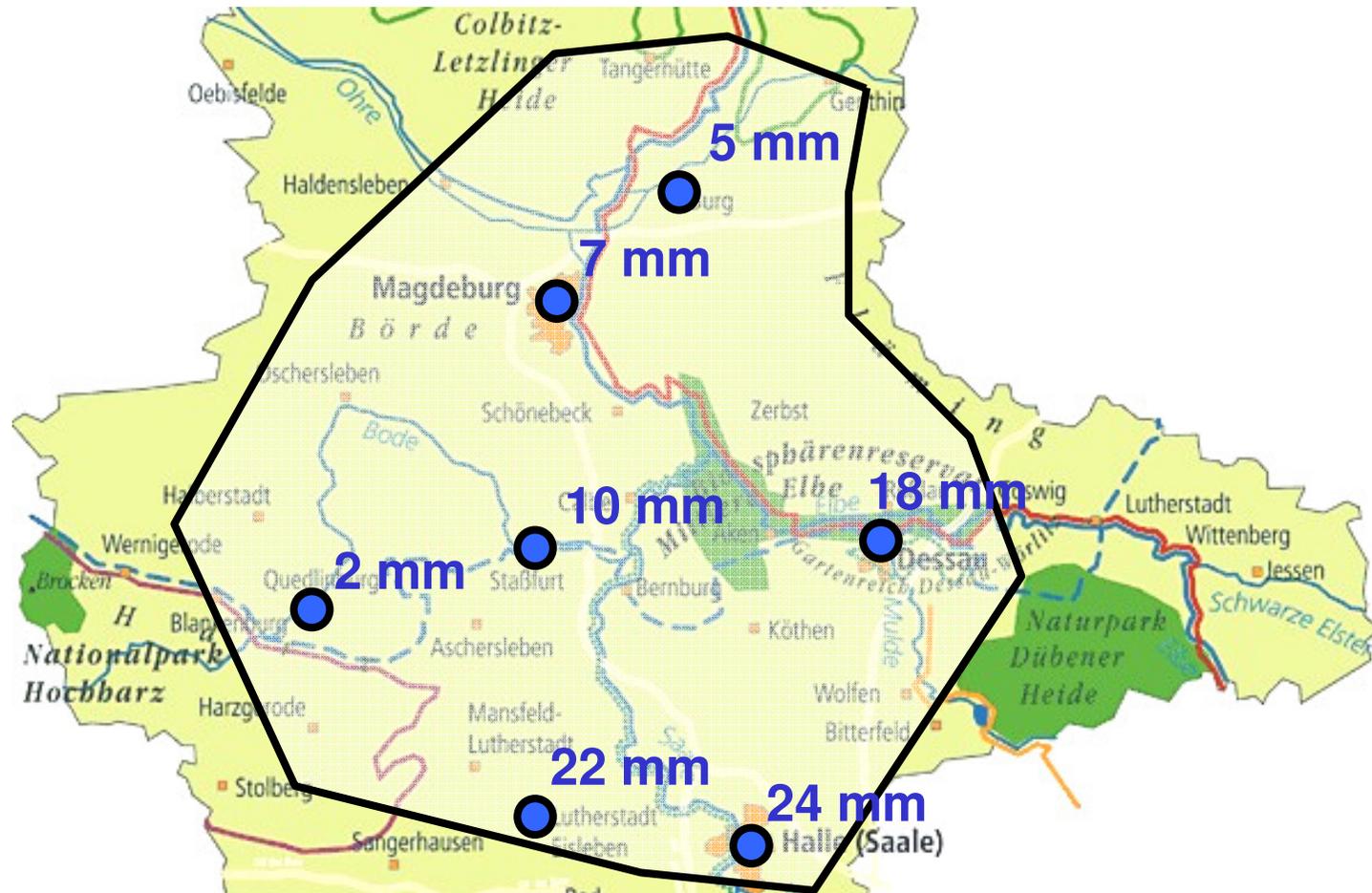
Wesentliche Anwendungen

- Abfluss-Vorhersage (Modellierung)
- Ermittlung des Wasserdargebots

Behandlung von 2 einfachen (klassischen) Verfahren

- Methode der Thiessen-Polygone (Nearest neighbour Verfahren)
- Isohyeten-Methode

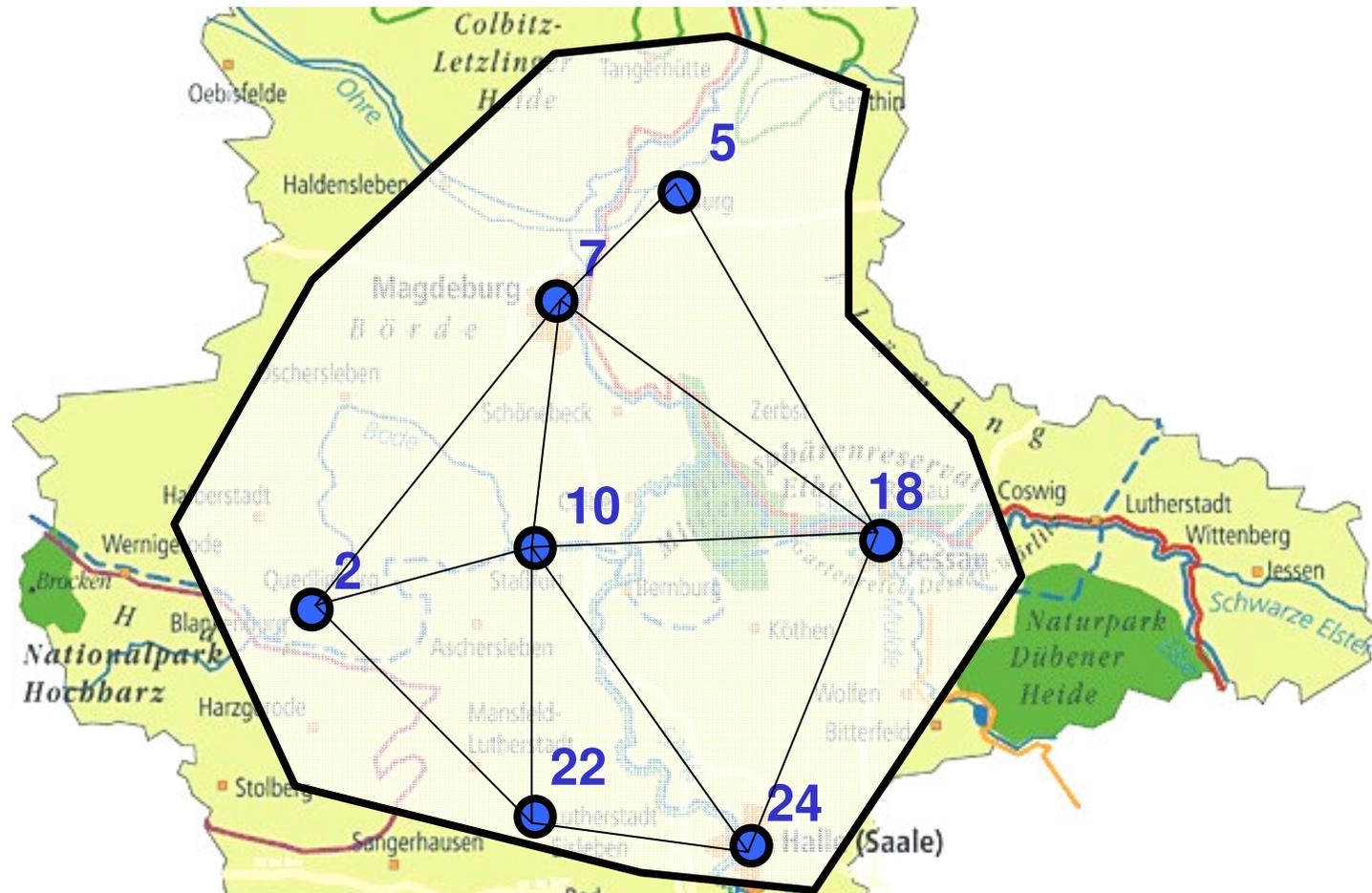
Ermittlung des Gebietsniederschlags: Verfahren der Thiessen-Polygone



Idee der Polygon-Methode

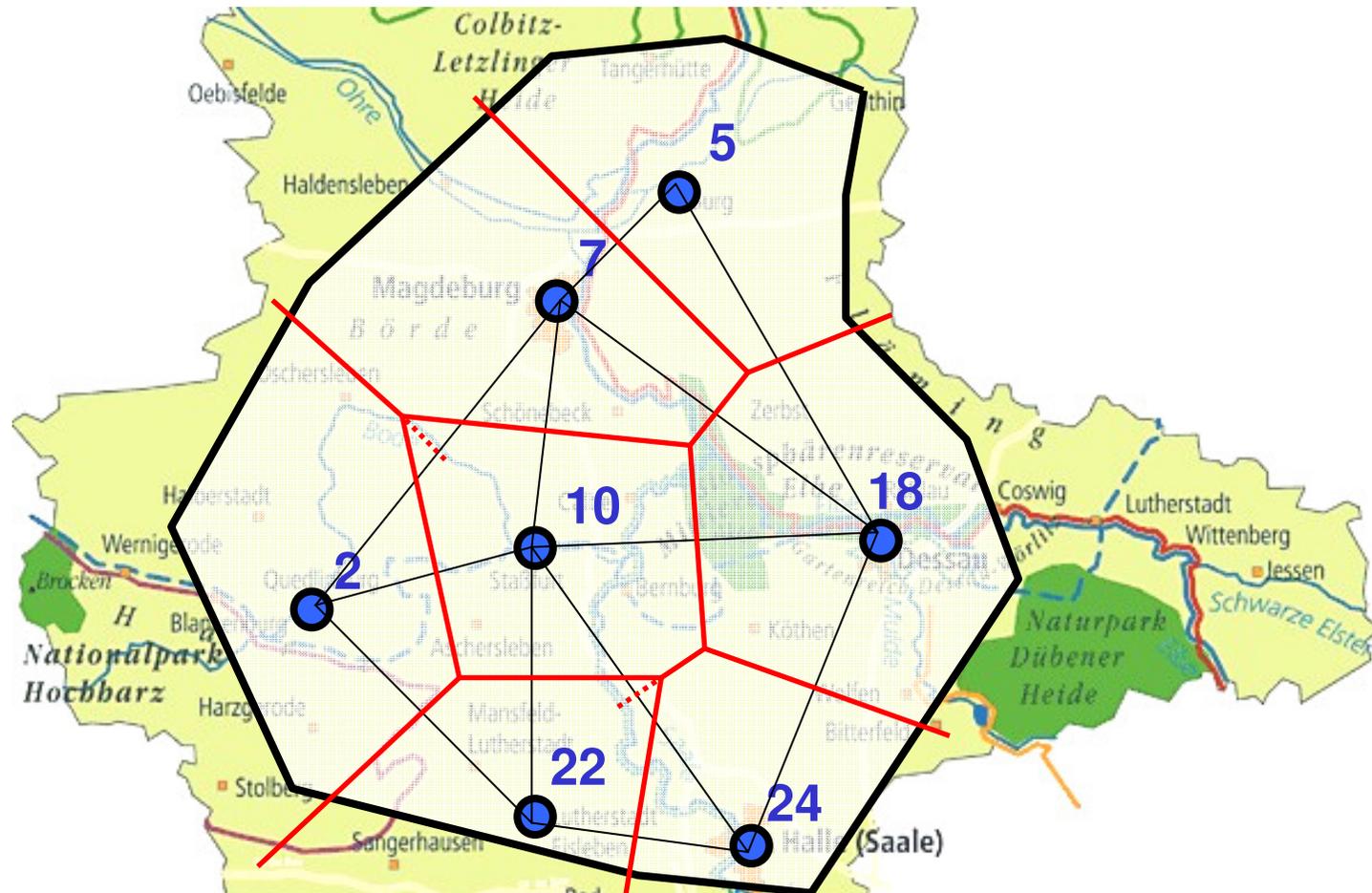
- Ordne jedem Punkt des Gebiets den Niederschlag der nächsten Station zu
- Bestimme den Gebietsniederschlag als flächengewichtetes Mittel

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Verfahren der Thiessen-Polygone



Schritt 1: Zeichnen der Stationsverbindungen

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Verfahren der Thiessen-Polygone

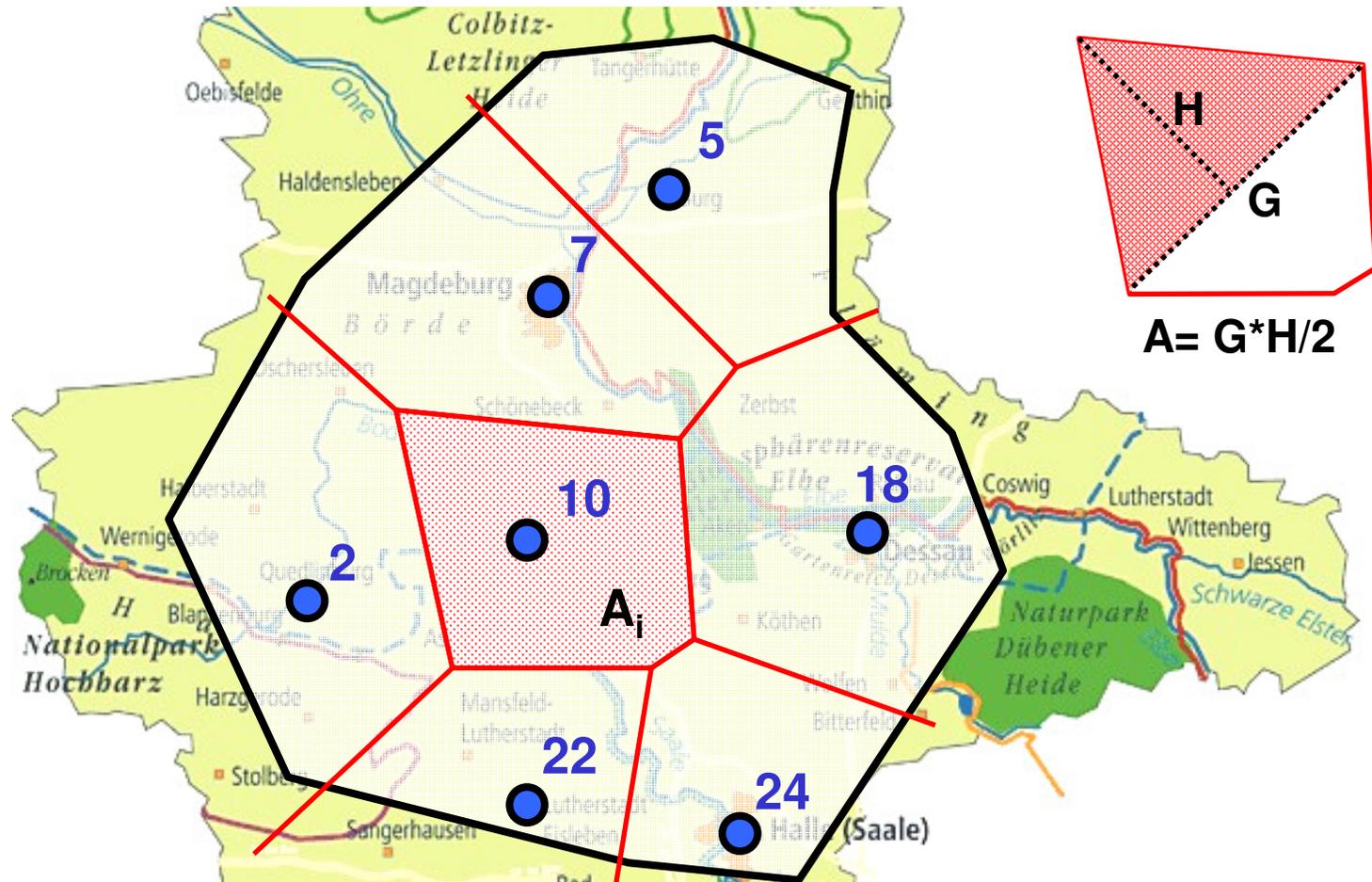


Schritt 1: Zeichnen der Stationsverbindungen

Schritt 2: Zeichnen der Mittelsenkrechten auf den Stationsverbindungen

==> Ergebnis: Polygon um jede Station „Thiessen-Polygone“

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Verfahren der Thiessen-Polygone



Schritt 3: Ermitteln der Fläche A_i jedes Polygons (Dreieckszerlegung, Zählraster, Planimeter, Auswiegen, GIS ...) innerhalb des Gebiets

Schritt 4: Berechnen des flächengewichteten Niederschlags-Mittelwertes

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Verfahren der Thiessen-Polygone

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \left[P_i \cdot \frac{A_i}{A_{ges}} \right]$$

\bar{P} = Gebietsniederschlag [mm]

n= Anzahl einbezogener Stationen (Polygone)

P_i = Niederschlag für Station (Polygon) i [mm]

A_i = Fläche des Polygons i (Nur der Flächenanteil, der innerhalb des Gebiets liegt.) [z.B. km²]

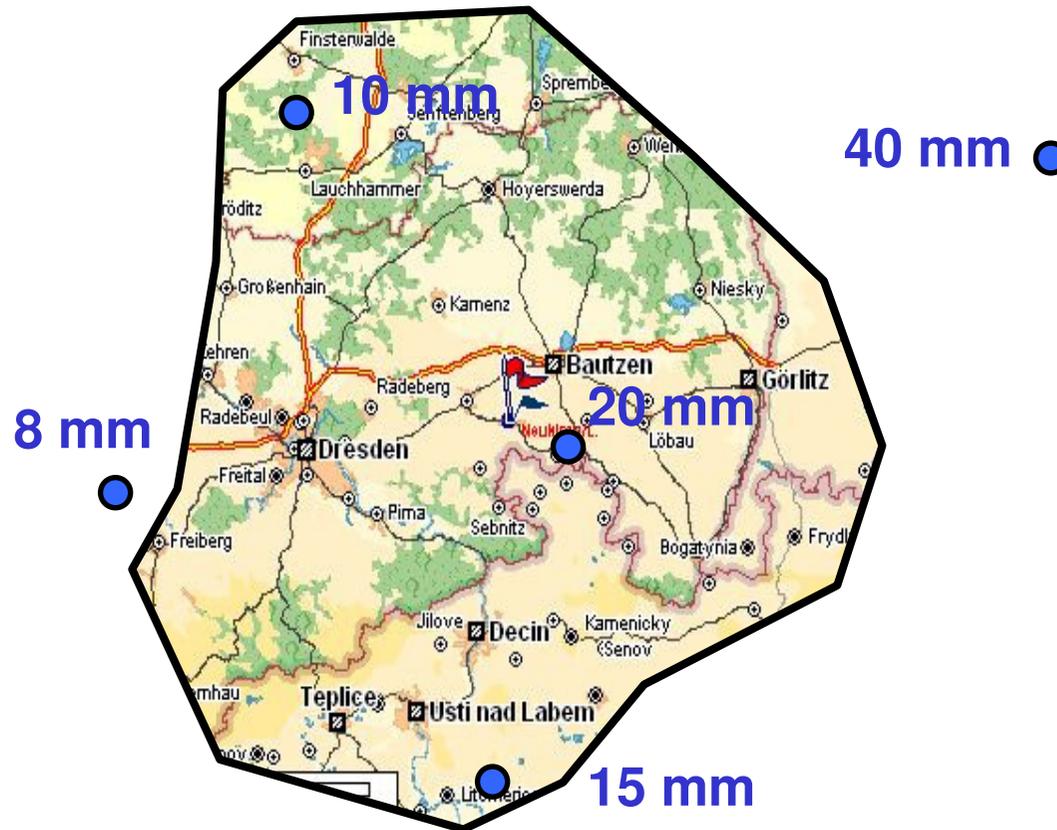
$A_{ges} = \sum A_i$ = Gesamtfläche des Gebiets [z.B. km²]

Stations -index i	A_i	A_i / A_{ges} (dimensionsloses Gewicht)	Niederschlag P_i [mm]	Gewichteter Niederschlag der Station $(A_i / A_{ges}) * P_i$
1	...	...	...	...
...
n	...	...	...	...
Spalten -summe	A_{ges}	Muss 1.0 ergeben (Kontrolle)	leer	Hier erscheint der Gebietsniederschlag

- Vorteile des Verfahrens:**
- Stationsgewichte sind konstant (nicht vom Niederschlag an Stationen abhängig)
 - Unkomplizierte Flächenberechnung; Schnell

Nachteil: unnatürliche „harte“ Übergänge

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

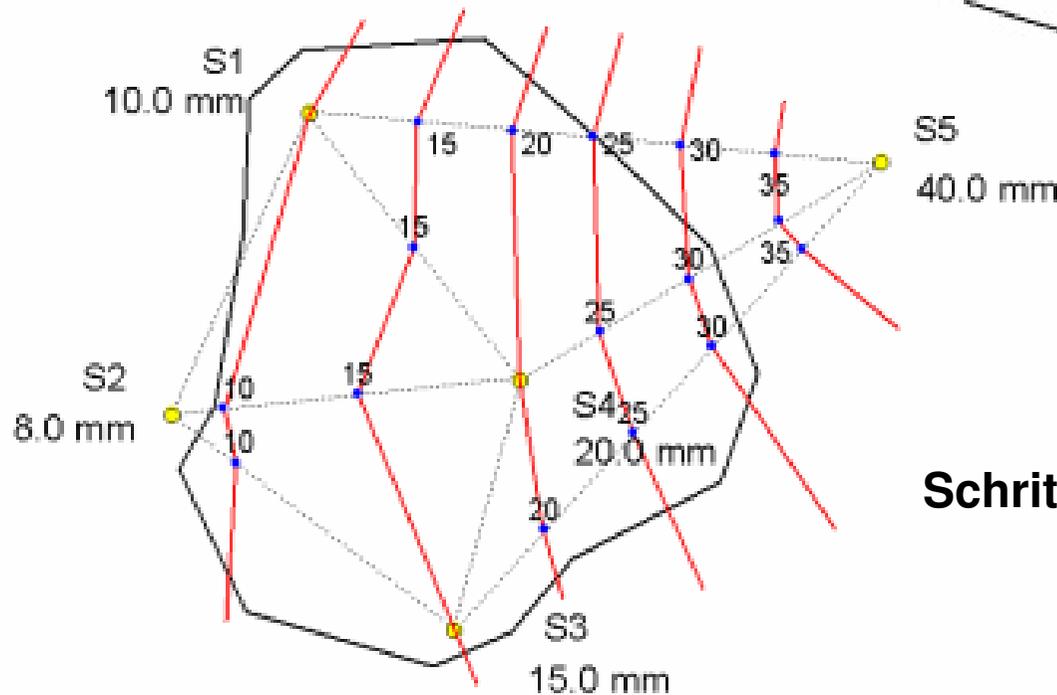
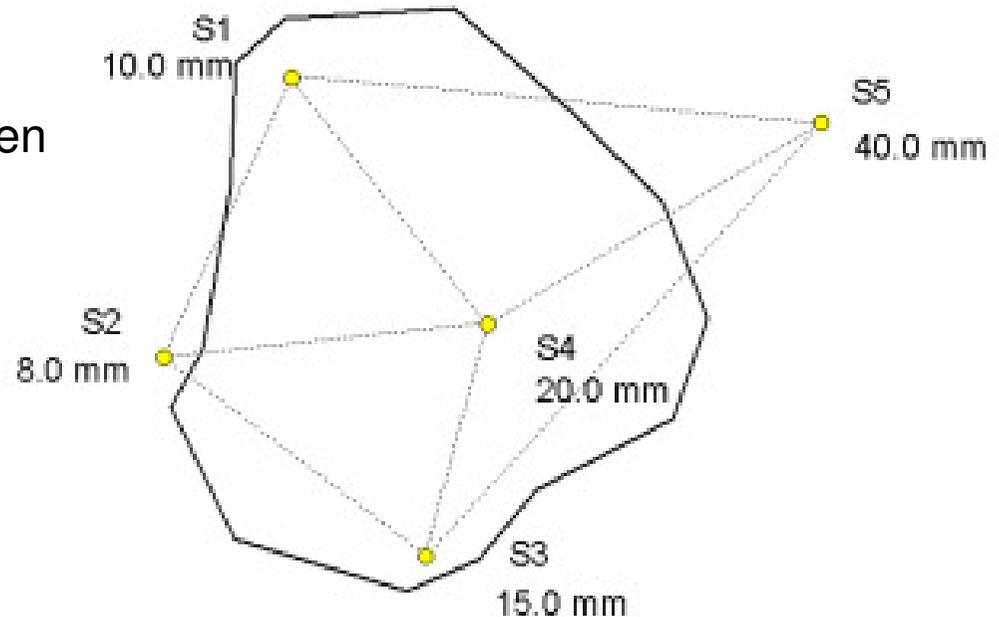


Idee der Isohyeten-Methode

- Zeichnen der Linien gleichen Niederschlags (Isohyeten)
- Berechnen des Gebietsniederschlags als flächengewichtetes Mittel:
 - Niederschlagswerte = Mittelwert benachbarter Isohyeten
 - Gewichte = Quotient aus Fläche zwischen Isohyeten und Gesamtfläche

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

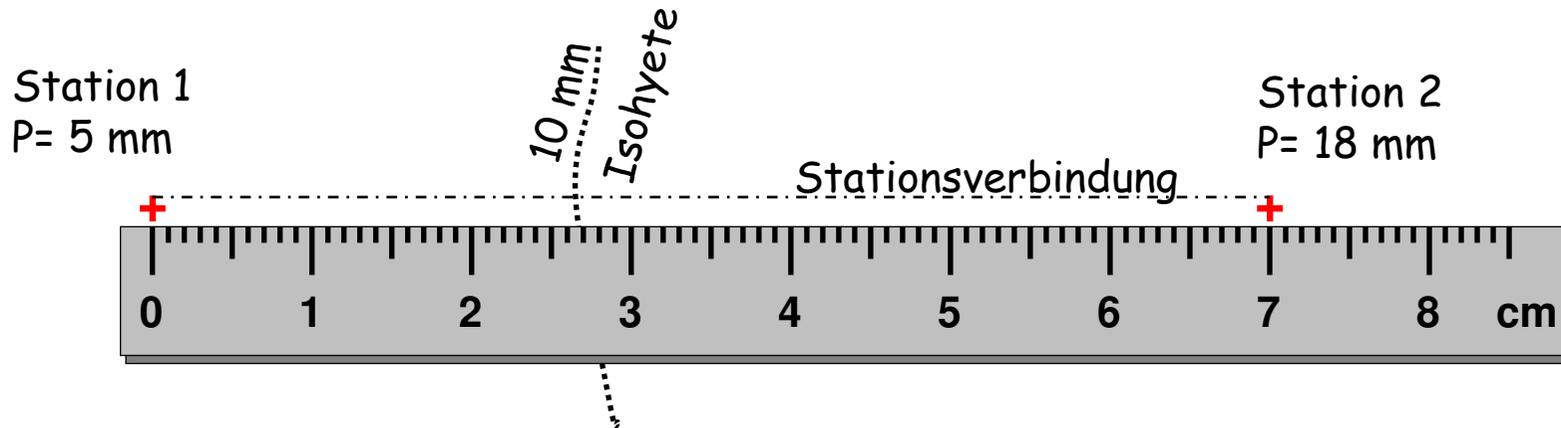
Schritt 1: Zeichnen der Stationsverbindungen



Schritt 2: Interpolieren geeigneter Isohyeten entlang der Stationsverbindungen

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

Lage des Schnittpunkts zwischen Isohyete und Stationsverbindung



Allgemeine Interpolationsvorschrift:

$$x^* = x_1 + [x_2 - x_1] * \left[\frac{P(x^*) - P(x_1)}{P(x_2) - P(x_1)} \right]$$

x_1, x_2 : Koordinaten der Stationen 1 & 2 entlang der Stationsverbindung

P_1, P_2 : Niederschläge der Stationen 1 & 2

P^* : Niederschlagswert der zu zeichnenden Isohyete

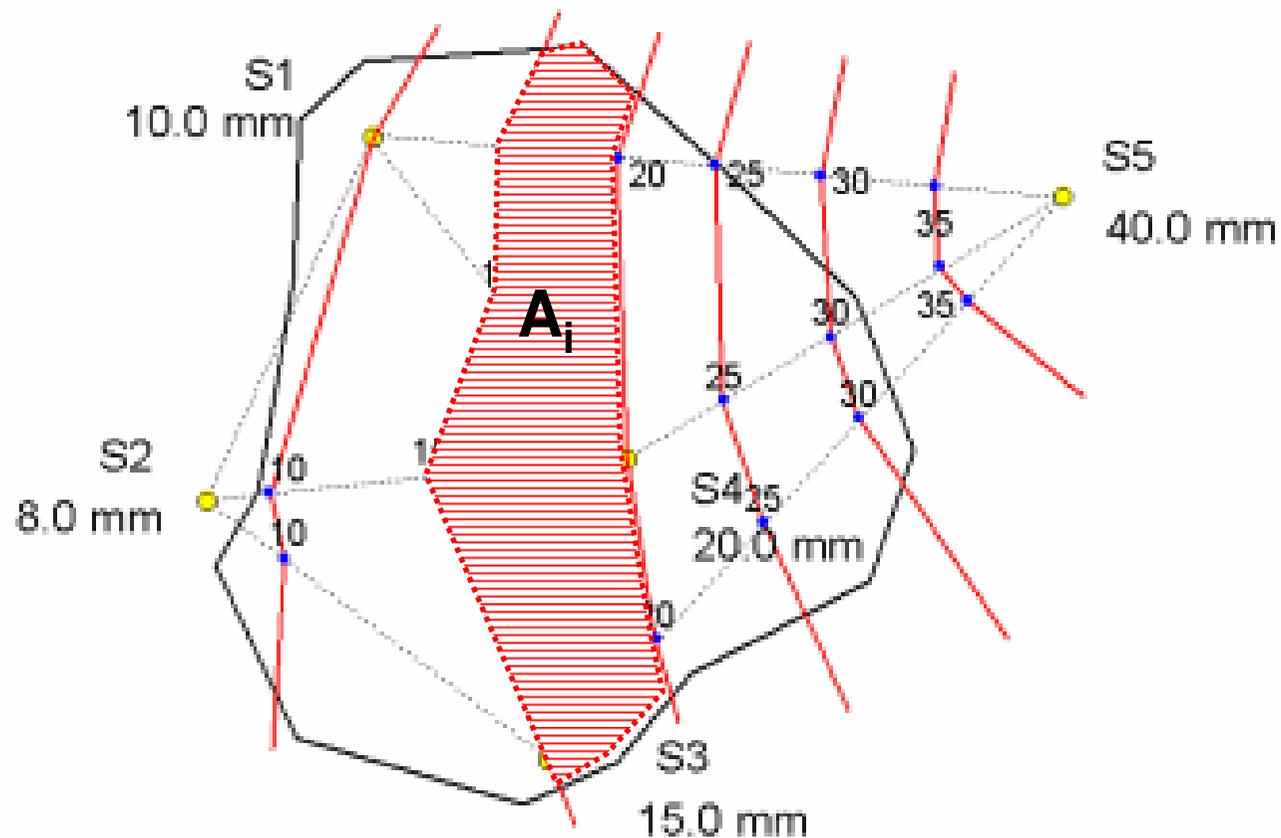
x^* : Gesuchter Schnittpunkt der Isohyete P^* mit der Stationsverbindung

Beispiel: Wo schneidet die 10 mm-Isohyete die Stationsverbindung ?

Aus $x_1 = 0 \text{ cm}$, $(x_2 - x_1) = 7 \text{ cm}$ und $P^* = 10 \text{ mm}$ folgt: $x^* = 7 * (10 - 5) / (18 - 5) = 2.69 \text{ cm}$

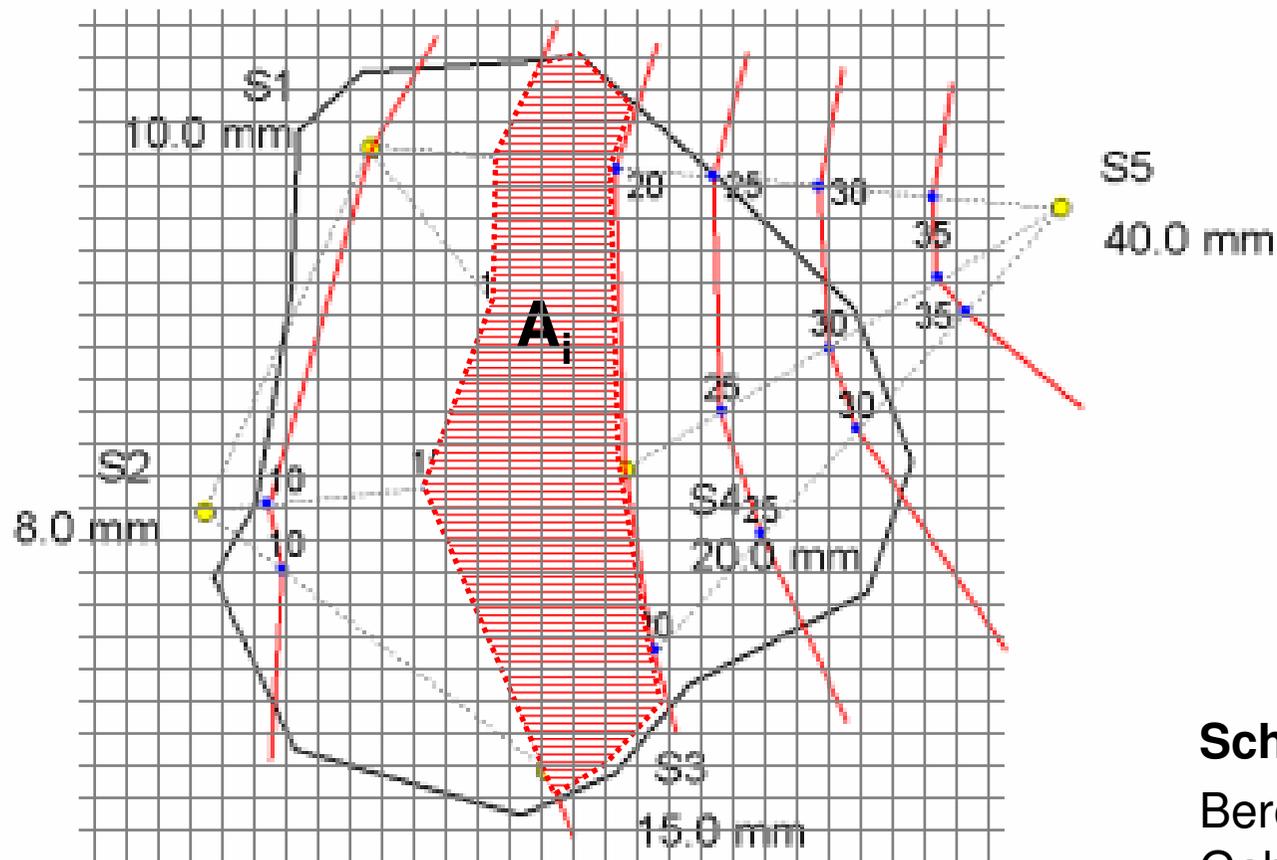
Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

Schritt 3: Ermitteln der Flächen zwischen benachbarten Isohyeten innerhalb des Gebiets (Isohyetenintervall) mittels Zählraster, Planimeter, Auswiegen ...



Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

Schritt 3: Ermitteln der Flächen zwischen benachbarten Isohyeten innerhalb des Gebiets (Isohyetenintervall) mittels Zählraster, Planimeter, Auswiegen ...



Zählraster zur Flächenbestimmung

Schritt 4:

Berechnen des Gebietsniederschlags als gewichtetes Mittel

Ermittlung des Gebietsniederschlags: Isohyeten-Verfahren

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n \left[P_i \cdot \frac{A_i}{A_{ges}} \right]$$

\bar{P} = Gebietsniederschlag [mm]

n= Anzahl der Isohyetenintervalle

P_i = Niederschlag für Isohyetenintervall i [mm]

A_i = Fläche des Isohyetenintervalls i (Nur Flächenanteil, der innerhalb des Gebiets liegt.) [z.B. km²]

$A_{ges} = \sum A_i$ = Gesamtfläche des Gebiets [z.B. km²]

Isohyetenintervall i	A_i	A_i / A_{ges} (Gewicht)	Niederschlag des Isohyetenintervalls (Mittel der Isohyeten) P_i [mm]	Gewichteter Niederschlag des Isohyetenintervalls $(A_i / A_{ges}) * P_i$
5-10 mm	...	...	...	...
...
35-40 mm	...	...	...	...
Spaltensumme	A_{ges}	Muss 1.0 sein (Kontrolle)	leer	Hier erscheint der Gebietsniederschlag

Vorteil des Verfahrens: räumliche Verteilung erscheint realitätsnäher

- Nachteile:**
- Stationsgewichte sind vom Niederschlag abhängig (Isohyeten und Gewichte stets neu zu zeichnen / zu berechnen)
 - aufwändig; per Hand nur für Mittelwerte

Durchflussmessung in einem Fließgewässer



- **Wasserstands-Durchfluss-Beziehung**
- **hydrometrischer Flügel / Strömungssonde**
- **Messwehr (Überfall-Formel)**
- **Tracer-Verfahren**
- **Ultraschall-Messung**

Durchflussmessung mittels Wasserstands-Durchfluss-Beziehung

Synonyme: $W(Q)$ -Beziehung, Durchflusskurve, Abflusskurve, Schlüsselkurve

Prinzip

- Für ein Gewässerquerprofil ist der Wasserstand (W) eine Funktion des Durchflusses (Q)



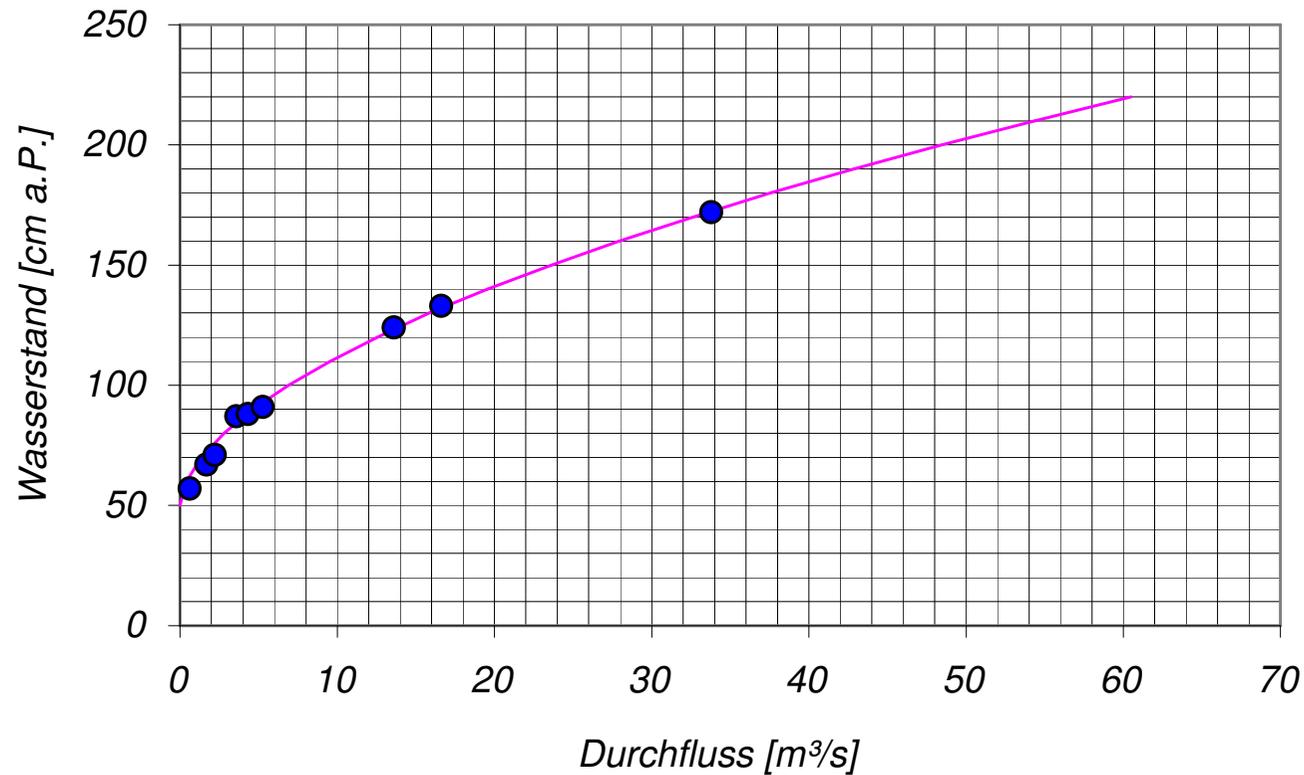
- Ist die Beziehung $W=f(Q)$ bekannt, reicht es aus, den Wasserstand an einem Pegel zu messen, um Q zu ermitteln (einfach + billig)
- Der Wasserstand wird meist in cm am Pegel [cm a.P.] angegeben, was den Abstand zur Bezugshöhe (Pegelnullpunkt, PNP) angibt.
- PNP liegt i.d.R. unter der Gewässersohle ==> positive Wasserstände

Einschränkungen

- In gestauten Gewässern existiert keine eindeutige Funktion $W(Q)$!
- Beziehung gilt für stationären Durchfluss (bei ansteigender / abfallender HW-Welle sind wegen „Durchflussschleife“ Korrekturen nötig)
- Regelmäßige Überprüfung der $W(Q)$ -Beziehung nötig (Querschnittsveränderung)

Aufstellen der $W(Q)$ -Beziehung

Schritt 1: Auftragen der Wertepaare (W , Q) im Diagramm



Schritt 2:

Anpassen einer Kurve an die Wertepaare: In der Regel rechnerische Anpassung von Potenzfunktion(en) mittels Kleinster-Quadrate-Methode; Im Notfall „Freihand-Anpassung“ nach Augenmaß.

Durchflussmessung mittels Wasserstands-Durchfluss-Beziehung

Extrapolation der $W(Q)$ -Beziehung

Ziel: Aussagen über Wasserstände bei großen (unbeobachteten) Durchflüssen

Methode: Einfache Extrapolation durch „Verlängerung“ der $W(Q)$ -Kurve ist sehr unsicher (z.B. wegen Ausuferung ab einem bestimmten Wasserstand, s. Bild).

Besser verwendet man die Hilfskurven

$$A=f(W) \text{ und } v=f(W)$$

mit der durchströmten Querprofilfläche „ A “ und der mittleren Fließgeschwindigkeit „ v “.

Sind beide Hilfsfunktionen bis zum interessierenden Wasserstand bekannt, lässt sich der Durchfluss berechnen:

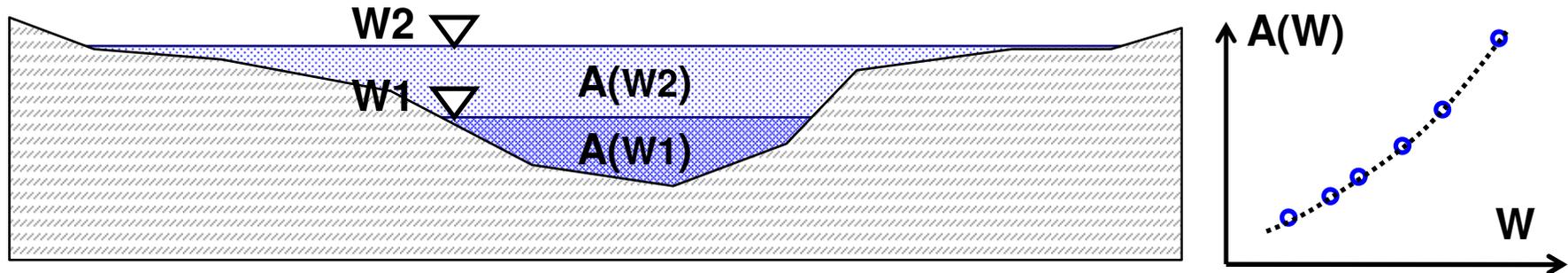
$$Q(W) = A(W) * v(W)$$



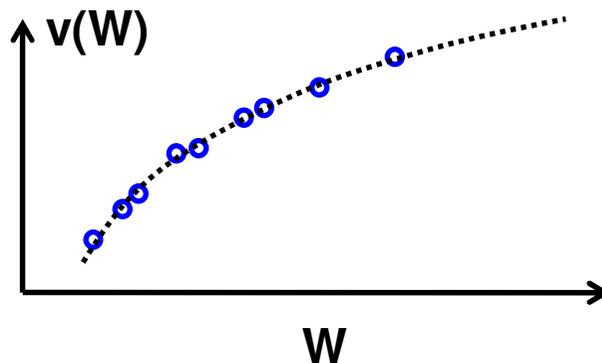
Durchflussmessung mittels Wasserstands-Durchfluss-Beziehung

Aufstellen der Hilfskurven

- $A(W)$ lässt sich durch Vermessung des Querprofil leicht aufstellen



- $v(W)$ lässt sich mit hydraulischen Ansätzen (z.B. Manning-Strickler-Gleichung) berechnen, oft aber auch ohne große Fehler extrapolieren



Für den durch Messwerte von W und Q belegten Bereich erhält man die mittlere Fließgeschwindigkeit als Quotient
$$v(W) = Q(W)/A(W)$$

Literatur zum Lösen der Aufgaben

- Dyck & Peschke (1995): Grundlagen der Hydrologie; Verlag f. Bauwesen (auch ältere Ausgaben sind empfehlenswert)
- Dingman (2002): Physical hydrology; Prentice Hall
- Im Web z.B. www.hydroskript.de

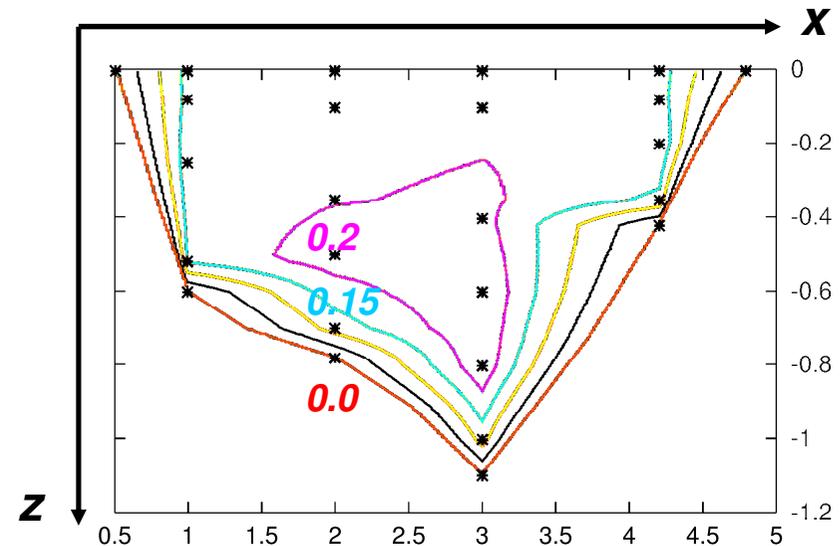
Durchflussmessung mittels Messflügel (nur Sommersemester 2004)

Prinzip

- Mittels Messflügel oder Strömungssonde wird die Fließgeschwindigkeit bestimmt und über den Fließquerschnitt integriert

$$Q = \int_{X=0}^{X \max} \int_{Z=0}^{Z \max} v(x, z) dz dx$$

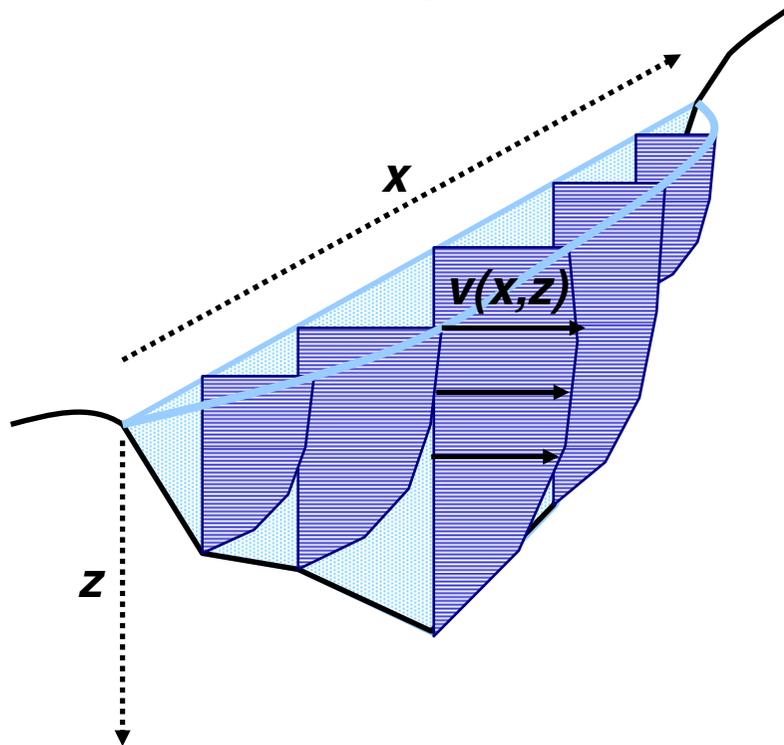
- Messung an mehreren Messlotrechten zur Erfassung des Geschwindigkeitsfeldes $v(x,z)$



* lokale Geschwindigkeitsmessungen

--- Isotachen

Durchfluss als Doppelintegral

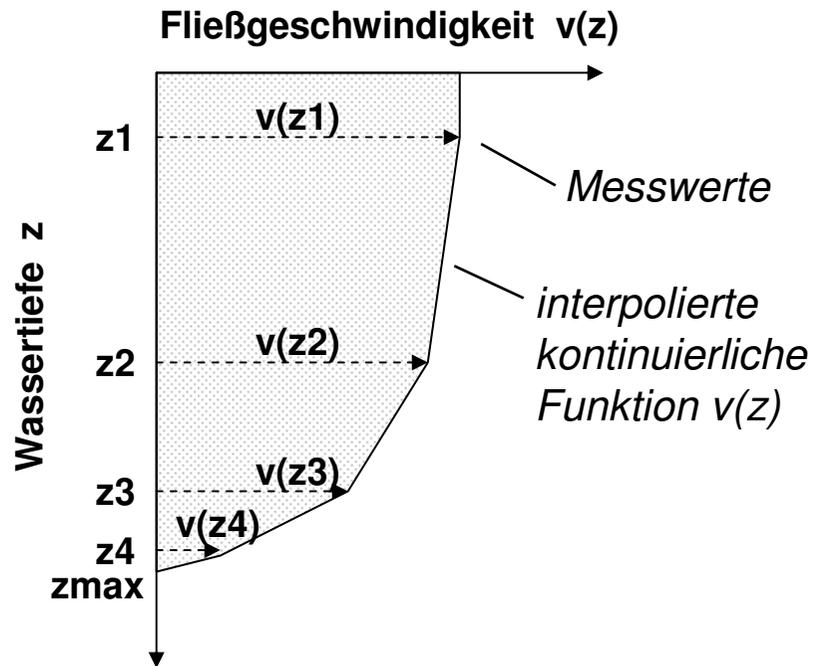


$$Q = \int_{X=0}^{X \max} \int_{Z=0}^{Z \max} v(x, z) dz dx$$

Schritt 1: Berechnung des Integrals der Fließgeschwindigkeit über die Gewässertiefe an den Messlotrechten (vertikale Integration)

Schritt 2: Horizontale Integration über die Breite des Fließquerschnitts

Schritt 1: Vertikale Integration an einer Messlotrechten



Geschwindigkeitsfläche A [m^2/s]

$$A = \int_{z=0}^{z_{\max}} v(z) dz$$

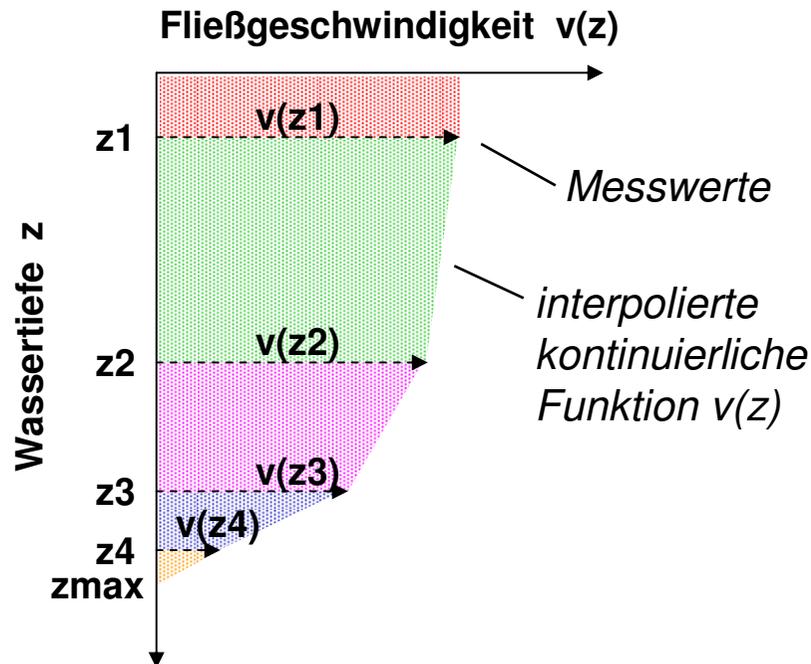
tiefengemittelte Geschwindigkeit [m/s]

$$v_m = \frac{A}{z_{\max}}$$

Grafische Methode

Schraffierte Fläche mittels mm-Papier bestimmen

Schritt 1: Vertikale Integration an einer Messlotrechten



**Geschwindigkeitsfläche oder
Tiefenintegral A [m^2/s]**

$$A = \int_{z=0}^{z_{\max}} v(z) dz$$

tiefengemittelte Geschwindigkeit [m/s]

$$v_m = \frac{A}{z_{\max}}$$

Grafische Methode

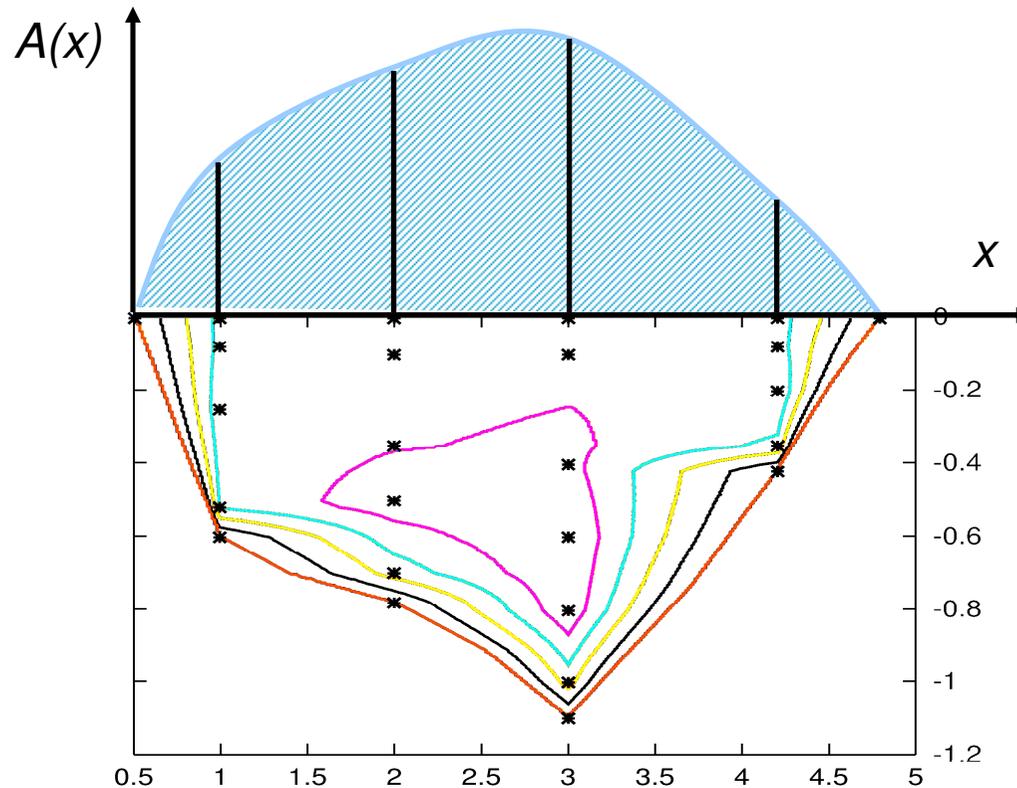
Schraffierte Fläche mittels mm-Papier bestimmen

Per Flächeninhaltsformel (Trapez-Integration)

$$A = [v_1 \cdot z_1 + 0.5 \cdot (v_1 + v_2) \cdot (z_2 - z_1) + 0.5 \cdot (v_2 + v_3) \cdot (z_3 - z_2) + 0.5 \cdot (v_3 + v_4) \cdot (z_4 - z_3) + 0.5 \cdot v_4 \cdot (z_{\max} - z_4)]$$

Schritt 2: Horizontale Integration

- Auftragen der Geschwindigkeitsflächen $A(x)$ (vertikale Integrale) über der horizontalen Position der Messlotrechten
- Die Fläche unter der Kurve $A(x)$ entspricht dem gesuchten Durchfluss

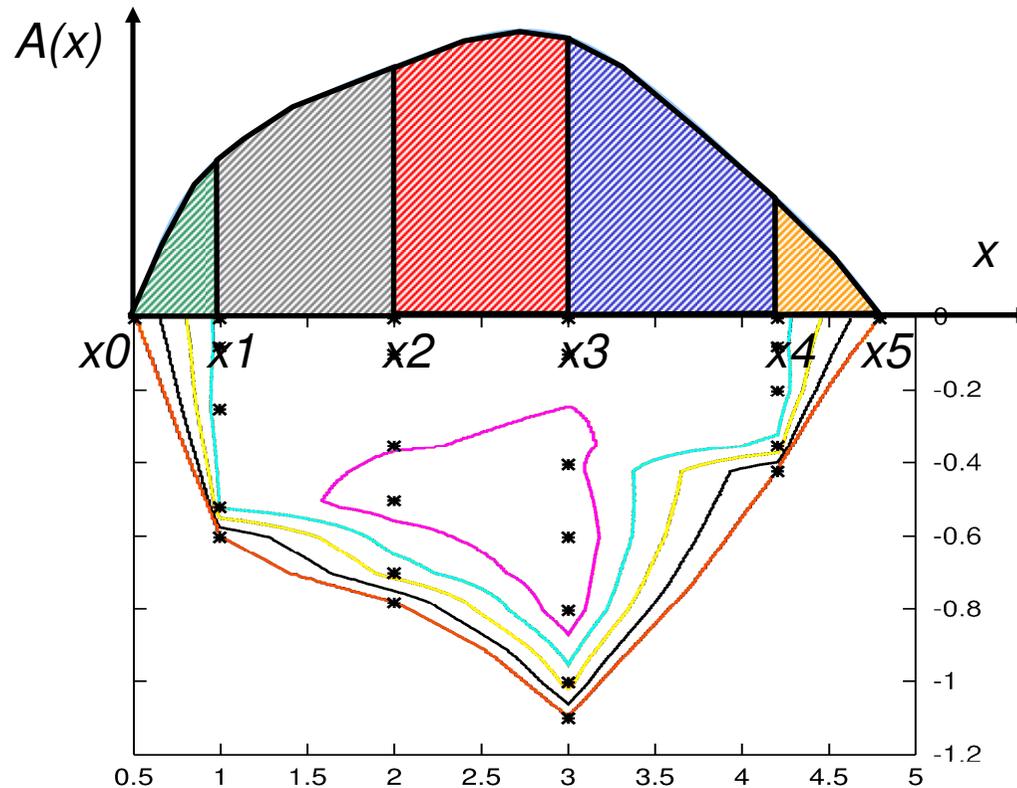


Grafische Methode

schraffierte Fläche mittels mm-Papier bestimmen

Schritt 2: Horizontale Integration

- Auftragen der Geschwindigkeitsflächen $A(x)$ (vertikale Integrale) über der horizontalen Position der Messlotrechten
- Die Fläche unter der Kurve $A(x)$ entspricht dem gesuchten Durchfluss



Grafische Methode

schraffierte Fläche mittels mm-Papier bestimmen

Per Trapezformel

$$Q = 0.5 \cdot (A(x_1) + A(x_0)) \cdot (x_1 - x_0) \\ + 0.5 \cdot (A(x_2) + A(x_1)) \cdot (x_2 - x_1) \\ + 0.5 \cdot (A(x_3) + A(x_2)) \cdot (x_3 - x_2) \\ + 0.5 \cdot (A(x_4) + A(x_3)) \cdot (x_4 - x_3) \\ + 0.5 \cdot (A(x_5) + A(x_4)) \cdot (x_5 - x_4)$$

Es sind auch andere Methoden der Auswertung möglich (z.B. Dyck/Peschke 1995)

Durchflussmessung mittels Messflügel (nur Sommersemester 2004)

Übungsaufgabe

Gegeben:

- Werte eines Messflügels in mehreren Tiefen „z“ [m] an 4 Messlotrechten
- Angabe der Messwerte in Flügel-Umdrehungen/30 Sekunden
- Flügel-Gleichung zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit

$$v = 0.2512 * U + 0.0127$$

mit v in [m/s]

U : Umdrehungen/Sekunde

- Lage der Messlotrechten ist als horizontaler Abstand „x“ [m] von einem Bezugspunkt am linken Ufer gegeben

Aufgabe:

- Zeichnen des Fließquerschnitts
- Bestimmen des Durchflusses Q [m³/s]

x [m]	z [m]	$U/30\text{Sek}$
0.5	0	-- (Ufer)
1.0	0.08	18
	0.25	20
	0.52	17
	0.6	-- (Grund)
2.0	0.1	20
	0.35	22
	0.5	26
	0.7	13
	0.78	-- (Grund)
3.0	0.1	21
	0.4	24
	0.6	28
	0.8	27
	1	13
	1.1	-- (Grund)
4.2	0.08	19
	0.2	22
	0.35	15
	0.42	-- (Grund)
4.8	0	-- (Ufer)