

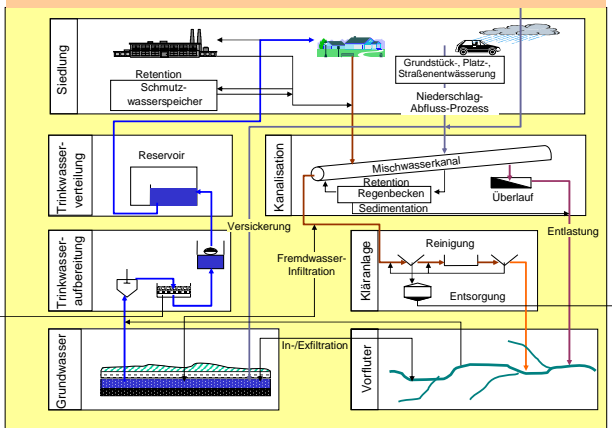
## 4 Siedlungsentwässerung

- 4.1 Abwasserströme
- 4.2 Parameter zur Charakterisierung der Abwasserbeschaffenheit
- 4.3 Regencharakterisierung
- 4.4 Niederschlag-Abfluss-Prozess
- 4.5 Mischung und Trennung von Schmutz- und Regenwasser
- 4.6 Mischwasserentlastung und -rückhalt
- 4.7 Retention von Regen- und Schmutzwasser
- 4.8 Sonderbauwerke und Hausanschlüsse

## 4 Siedlungsentwässerung

### 4.1 Abwasserströme

### Heutiges System der Siedlungswasserwirtschaft



### Wasserbedarf, Abwasseranfall

Abwasseranfall =

#### Trinkwasserauslieferung

- Verluste in den Leitungen
- Bewässerung von Gärten
- Verbrauch (Landwirtschaft, Bau, Brunnen, ...)

#### + Eigenförderung der Industrie

#### + Fremdwasser

#### + Regenwasser

- Versickerung
- Verluste von Kanälen

### Abwasserströme: Trockenwetter

$$Q_t = Q_s + Q_f$$

- $Q_t$  Trockenwetterabfluss
- $Q_s$  Schmutzwasserabfluss
- $Q_f$  Fremdwasserabfluss

$$Q_s = Q_h + Q_g$$

- $Q_h$  häusliches Abwasser
- $Q_g$  Schmutzwasser aus Gewerbe und Industrie

alle Größen sind starken Schwankungen unterworfen !

→ unterscheiden zwischen Momentanwert und Dimensionierungsgrößen

### Maßgebliche Abflussgrößen für Bemessung

#### • Trennsystem

– Schmutzwasserkanal:

$$Q_{ges} = Q_t + Q_{r,T}$$

– Regenwasserkanal

$$Q_{ges} = Q_r$$

#### • Mischsystem

$$Q_{ges} = Q_m = Q_t + Q_r$$

### Häusliches Schmutzwasser $Q_h$

Siedlungsgröße (1000 E)	täglicher Schmutzwasseranfall (l/(E·d))	Spitzenabflussdauer zum Erreichen des Tageswertes (h)	stündlicher Spitzenabfluss (l/(s·1000E))
< 5	150	8	5,2
5 – 10	180	10	5
10 – 50	220	12	5,1
50 – 250	260	14	5,2
> 250	300	16	5,2

(ATV A118)

### Schmutzwasser aus Betrieben

Einrichtung	(l/d)
Krankenhaus, je Tag und Bett	250 – 600
Hallenbad, je Besucher	150 – 180
Freibad, je Besucher	150 – 200
Schulhaus, je Schüler und Tag	10 – 50 (Sportanlagen, Dusche)
Bürohaus, je Beschäftigten	40 – 60
Kaserne, je Person	250 – 350
Schlachthof, je Stück Großvieh	300 – 400
Kaufhaus, je Beschäftigten	100 – 1000 (Restaurant, Klimaanlage)
Gaststätte, je Gast	15 – 20
Hotel, je Gast	200 – 600

(ATV, 1994)

### Fremdwasser $Q_f$

- Grundwasserinfiltration
- Drainage und Sickerwasser
- Quell- und Bachwasser
- Brunnenwasser
- Kühlwasser und Wasser aus Wärmepumpen
- Überlaufwasser aus Reservoirs

→ Das Fremdwasseraufkommen ist variabel

**Grobe Abschätzung**

$$Q_f = (0.3 \div 0.4) \cdot Q_s$$

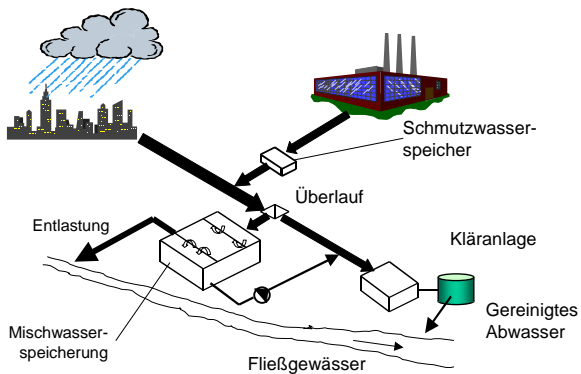
$$Q_f = A_{red} [ha_{red}] \cdot (0.05 \div 0.15) [l/(s \cdot ha_{red})]$$

### Abwasserströme: Regenwetter

#### Bedeutung von Regenereignissen

- Regenwasserabfluss → maßgebend für Kanaldurchmesser
- Regenwasser nach Oberflächenabfluss kontaminiert
- Wegen Regenwasser wird Schmutzwasser entlastet
- Kanalsedimente werden erodiert
- Kläranlagenbetrieb wird über das Regenereignis hinaus gestört

### Siedlungsentwässerung bei Regenwetter



### Kapazität der Kläranlage

#### Mischwasserzufluss zur Kläranlage

$$Q_m = n \cdot Q_s + Q_f \quad n: 2 \dots 6$$

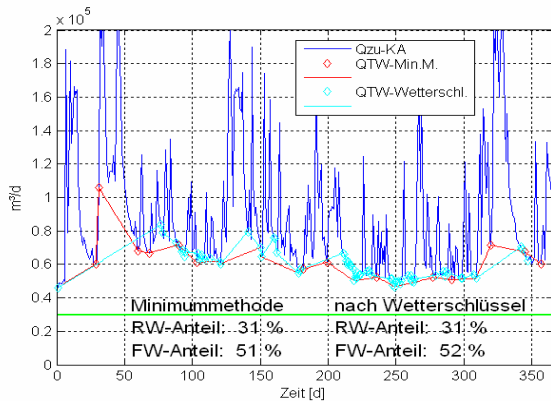
#### Mischwasserbecken („Regenüberlaufbecken“)

- Speicherung → verzögertes Ableiten zur Kläranlage
- Partielle Reinigung → Überlauf

#### Mischwasserentlastung

- Direkt aus Kanalisation → Kanalentlastung
- Aus Mischwasserbecken → Beckenüberlauf
- Unterschiedliche Beschaffenheit je nach Phase und Ereignisverlauf

### Beispiel: Abwasseranteile in KA-Zulauf



## 2 Grundlagen zur Systembeschreibung

### 4.2 Parameter zur Beschreibung der Abwasserbeschaffenheit

### Gase

#### $O_2$ Sauerstoff

- einfache Messung
- Verbrauch bei Abbau organischer Substanz und oxidativen Prozessen (→ Belüftung für aeroben Abbau)

#### $CO_2$ Kohlenstoffdioxid

- Stoffwechselprodukt
- Einfluss auf Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, pH

#### $H_2S$ Schwefelwasserstoff

- giftig
- in niedrigen Konzentrationen sehr geruchsintensiv
- Vorkommen bei anaeroben Bedingungen

### Partikuläre Stoffe

#### **TSS** totale suspendierte Stoffe (total suspended solids)

- Filter mit Porengröße  $0.45 \mu m$
- Tendenz zum Absetzen

#### **GV** Glühverlust (**VSS**, volatile suspended solids)

- Glühen der TSS bei  $650^\circ C$
- der verglühte Anteil entspricht ~ organischer Substanz
- Maß für die Biomasse
- zentrale Bedeutung für die Sauerstoffzehrung

#### **TSS – VSS** Glührückstand

- mineralische Stoffe

### Summenparameter: Sauerstoffzehrung

#### **BSB<sub>5</sub>** biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (**BOD<sub>5</sub>**)

- 5 Tage,  $20^\circ C$ , dunkel → Reduktion  $O_2$ -Gehalt
- biologisch abbaubare organische Stoffe
- Verdünnung m.  $O_2$ -reichem Wasser, animpfen Biomasse

#### **CSB** chemischer Sauerstoffbedarf (**COD**)

- vollständige Oxidation org. Stoffe bis zu  $CO_2$  und  $H_2O$  → wie viel  $O_2$  ist nötig
- Oxidationsmittel Kalium-Dichromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) in kochender und stark saurer Lösung
- Fast alle org. Stoffe, also nicht nur biologisch abbaubare
- **CSB lässt sich bilanzieren → Elektronenübergang**

### Stickstoff

#### **N<sub>2</sub>** elementarer Stickstoff

- gasförmig
- $NO_2$  Hauptanteil an Gasen der Atmosphäre
- schlecht löslich
- Endprodukt der Denitrifikation  $NO_3^- \rightarrow N_2$

#### **TKN** totaler Kjeldahl Stickstoff

- Summe (org. N + Ammonium-N)
- org. N in Eiweißen und Proteinen
- org. N durch chemische Oxidation als Ammonium freigesetzt → Messung

## Stickstoff

### $\text{NH}_4^+$ Ammonium und $\text{NH}_3$ Ammoniak

- die Summe wird gemessen
- Gleichgewicht temperatur- und pH-abhängig
- Temp. und pH höher  $\rightarrow$   $\text{NH}_3$ -Anteil größer
- Abbau organischer Stoffe  $\rightarrow$   $\text{NH}_4^+$  wird freigesetzt
- Nitrifikation zu Nitrat  $\rightarrow$  Sauerstoffzehrung

### $\text{NO}_3^-$ Nitrat und $\text{NO}_2^-$ Nitrit

- $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3) \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$
- Nitrit ist ein starkes Fischgift
- Nitrat im Grundwasser (vorrangig durch Landwirtschaft)
- Nitrit ist besser messbar als Nitrat

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 19

## Kohlenstoff und Phosphor

### TOC totaler organischer Kohlenstoff

### DOC gelöster organischer Kohlenstoff

- Alle organischen Verbindungen
- Messung ( $\rightarrow$   $\text{CO}_2$ ) aufwendig, teuer, genau

### TP, $\text{P}_{\text{tot}}$ totaler Phosphor

### GP gelöster Phosphor

### $\text{PO}_4\text{-P}$ Ortho-Phosphat

- org. P Bestandteil von DNA, RNA
- Ortho-Phosphate in Salzen der Phosphorsäure ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ )
- Analytik: org. P wird mineralisiert, das dadurch entstehende Ortho-Phosphat wird gemessen

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 20

## Metalle

### Fe Eisen und Al Aluminium

- Einsatz als Fällungs- und Flockungsmittel

### As Arsen, Cd Cadmium Cu Kupfer sowie weitere SM

- toxisch
- Vorkommen geogen und anthropogen bedingt
- Eintrag mit häuslichem Abwasser und Regenwasser

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 21

## Mittlere Schmutzfracht eines Einwohners

Parameter	Fracht [g/(E d)]	Konzentration bei 150 L/(E d) [mg/L]	
		ohne $Q_f$	mit $Q_f = 0,5 Q_s$
TSS	75	500	333
VSS	40	267	178
<b>BSB<sub>5</sub></b>	<b>60</b>	400	267
<b>CSB</b>	<b>120</b>	800	533
<b>TKN</b>	<b>11</b>	73	49
<b>P gesamt</b>	<b>1,8</b>	12	8

Imhoff, 1999, Stier et al., 2003

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 22

## Zusammensetzung von Urin

pH	8,9	P	410 mg/l
TR	30 g/l	$\text{PO}_4^{3-}$	1 250 mg/l
LF	18-23 mS/cm	$\text{Cl}^-$	3 450 mg/l
CSB	4 300 mg/l	Fe	2 mg/l
TOC	3 400 mg/l	Cu	25 mg/l
TN	4 300 mg/l	Pb	131 $\mu\text{g/l}$
K	1 350 mg/l	Mg	0,2 mg/l
Na	2 100 mg/l	Ca	7 mg/l

Anteile im kommunalen Abwasser:  
 - 80 – 90% des TKN, 50% des P  
 - Arzneimittelrückstände, SM

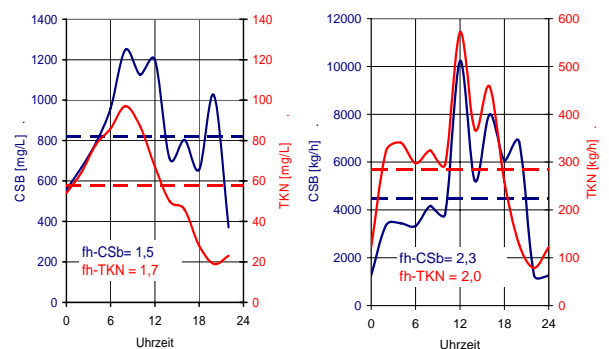
Otterpohl, 2000, Tettenborn et al., 2005

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 23

## Tagesdynamik Konzentration und Fracht



Zulauf VK einer KA mit ca. 300.000EW

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 24

## Konzentrationen im Regenwasser

Location	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	Total solids (mg/L)	Suspended solids (SS) (mg/L)	Chloride (mg/L)	COD (mg/L)
East Bay Sanitation District, Oakland, CA	Minimum	728	16	300	
	Maximum	7,700	4,400	10,260	
	Average	87	1,401	613	5,100
Cincinnati, OH	Maximum seasonal means	240			110
	Average	17		227	111
Los Angeles County Average 1952-53	161	2,909		199	
Washington, DC catch-basin (rain)	Minimum		28	11	
	Maximum	625	36,250	160	
	Average	126	2,100	42	
Seattle, WA	10 <sup>a</sup>				
Oxney, England	100 <sup>b</sup>	2,045 <sup>c</sup>			
Moscow, U.S.S.R.	189-285	1,000-3,800 <sup>c</sup>			
Leningrad, U.S.S.R. <sup>d</sup>	36	14,541			
Stockholm, Sweden	17-60	30-8,000			18-3,100
Pretoria, South Africa <sup>e</sup>	Residential	30			29
	Business	34			28
Detroit, Michigan	95-234	310-914	102-213 <sup>f</sup>		

<sup>a</sup> Maximum    <sup>b</sup> Mean    <sup>c</sup> Single value reported for study (value not designated as mean or maximum)

EPA, 1999

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 25

## 4 Siedlungsentwässerung

### 4.3 Regencharakterisierung

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 26

## Niederschlag-Abfluss-Prozess

**Niederschlag**

→→→

**Abfluss**

nicht vorhersagbar

systematischen Veränderungen unterworfen

statistisch erfassbar

statistisch nicht erfassbar

**Modelle**

Messungen

Dimensionierung

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 27

## Bedeutung des Regenwassers

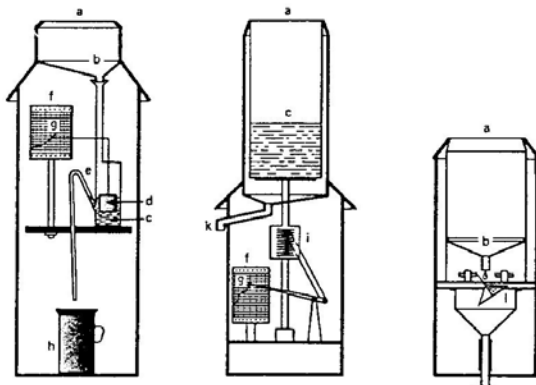
- Regenwasserabfluss → maßgebend für Kanaldurchmesser
- Regenwasser nach Oberflächenabfluss kontaminiert
- Wegen Regenwasser wird Schmutzwasser entlastet
- Kanalsedimente werden erodiert
- Kläranlagenbetrieb wird über das Regenereignis hinaus gestört

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 28

## Regenmessung



Syphon-Schreiber

Niederschlagswaage

Messwippe

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 29

## Regenmessung

Definierte **Auffangfläche** von 200 cm<sup>2</sup>

Genormte Form im Vertikalschnitt

**Messfehler** abhängig von

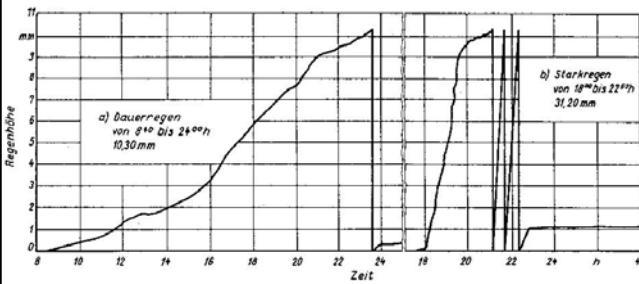
- Bäume, Bebauung, Topographie
- Windgeschwindigkeit (Windschutzschild)
- Regen oder Schnee

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 30

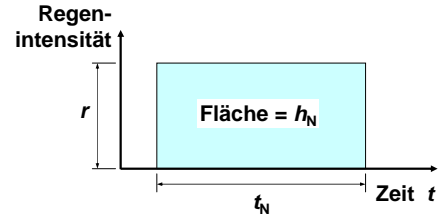
### Beschreibung eines Regenereignisses



aus Dyck und Peschke (1989)

### Beschreibung des Regens

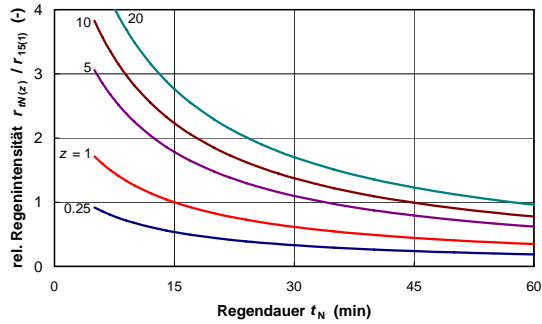
- Regenhöhe  $h_N$  in mm
- Regendauer  $t_N$  in min
- Regenintensität  $r = \frac{h_N}{t_N}$  in mm/min, l/(s·ha),  $\mu\text{m/s}$



Blockregen

### Regenhäufigkeit und Extremwerte

$$r_{t_N(z)} = r_{15(1)} \frac{38(\text{min})}{t_N + 9(\text{min})} (z^{1/4} - 0.369) \quad (\text{Reinhold, 1940})$$



### Bezugsregenintensität $r_{15(1)}$ in l/(s·ha)

Baden-Baden	120	Göttingen	98	Oldenburg	108
Berlin	94	Hamburg	99	Osnabrück	150
Bonn	108	Hannover	100	Passau	123
Bremen	108	Köln	97	Saarland	135
Dortmund	120	Konstanz	150	Stuttgart	126
Dresden	102	Krefeld	112	Tübingen	200
Essen	96	Lübeck	106	Ulm (Donau)	140
Flensburg	100	Mainz	117	Wetzlar	122
Frankfurt/Main	120	München	135	Wilhelmshaven	85
Garmisch-Patenkirchen	200	Münster	100	Wolfsburg	112

### Koetra-Atlas des DWD

- Raster: 8,5 km x 8,5 km
- Dauerstufen 5 min. – 72 h
- Wiederkehrintervall 0,5 a – 100 a

T	0,5 a		1 a		2 a		5 a	
	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN
D	[mm]	[L/(s ha)]	[mm]	[L/(s ha)]	[mm]	[L/(s ha)]	[mm]	[L/(s ha)]
5 min	4.7	158.2	7.3	244.6	9.9	331.1	13.4	445.4
10 min	6.1	102.2	9.2	153.3	12.3	204.5	16.3	272.1
15 min	7.1	79.0	10.5	116.7	13.9	154.3	18.4	204.0
20 min	7.9	65.8	11.5	96.1	15.2	126.4	20.0	166.4
30 min	9.2	50.9	13.2	73.1	17.2	95.4	22.5	124.8
45 min	10.6	39.3	15.0	55.6	19.4	72.0	25.3	93.7
60 min	11.8	32.7	16.5	45.8	21.2	59.0	27.5	76.4
90 min	13.6	25.3	18.7	34.7	23.8	44.1	30.6	56.6
2 h	15.1	21.0	20.5	28.5	25.9	35.9	33.0	45.

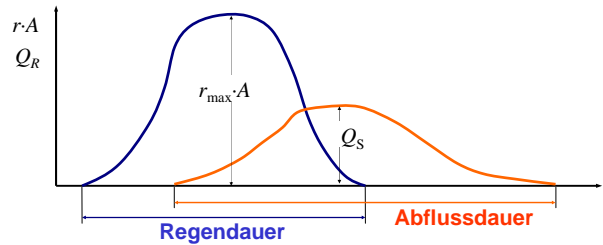
### Wiederkehrperiode zur Kanaldimensionierung

Gebiet	Jährlichkeit z (a)
Allgemeine Bebauungsgebiete	1 – 2
Stadtzentren, wichtige Gewerbe- und Industriegebiete	1 – 5
Straßen außerhalb bebauter Gebiete	1
Straßen-, Autobahnunterführungen, U-Bahn-Anlagen	5 – 20

## 4.4 Niederschlag-Abfluss-Prozess

### Scheitelabflussbeiwert

$$\psi_S = \frac{Q_S}{r_{\max} \cdot A}$$



### Scheitelabflussanteil und -beiwert

Oberfläche	$\alpha_S$	Bebauung	$\psi_S$
Metall- und Schieferdächer	0,95		
Dachziegel und Dachpappe	0,90	Bauklasse I bei ca. 350 E/ha	0,8
Holzzement-, Flachdächer	0,50 – 0,70		
Asphaltstraßen, -fußwege	0,85 – 0,90	Bauklasse II bei ca. 250 E/ha	0,60 – 0,65
Pflaster	0,75 – 0,85		
Reihenpflaster (offen)	0,25 – 0,60	Bauklasse III bei ca. 150 E/ha	0,40 – 0,52
Schotterstraßen	0,25 – 0,60		
Kieswege	0,15 – 0,30	Bauklasse IV bei ca. 100 E/ha	0,25 – 0,46
Unbefestigte Flächen	0,10 – 0,20		
Rasengittersteine	0,15	Bauklasse V ohne Bebauung	0,05 – 0,35
Park- und Gartenflächen	0,05 – 0,10		
Wiese, Wald	0		

### Trockenwetter- und Regenwetterabfluss

Einwohnerdichte  $e = 100 \text{ E/ha}$   
 TW-Verbrauch  $q = 100 \text{ l/(E·d)}$   
 Regenintensität  $r_{15(1)} = 100 \text{ l/(s·ha)}$   
 Scheitelabflussbeiwert  $\psi_S = 0,4$

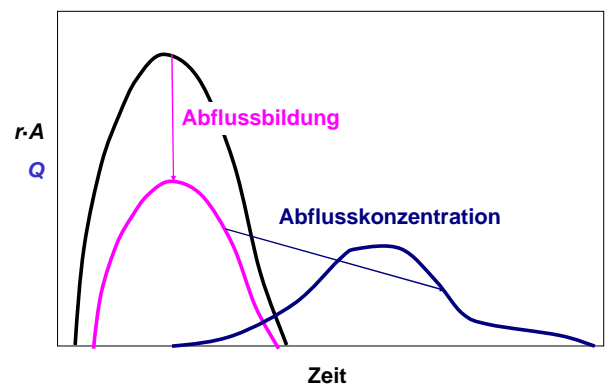
$$Q_{TW} = e \cdot q = 100 \cdot 100 \frac{\text{l}}{\text{ha} \cdot \text{d}} \cong 0,12 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}}$$

$$Q_{RW} = \psi_S \cdot r_{15(1)} = 0,4 \cdot 100 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}} \cong 40 \frac{\text{l}}{\text{s} \cdot \text{ha}}$$

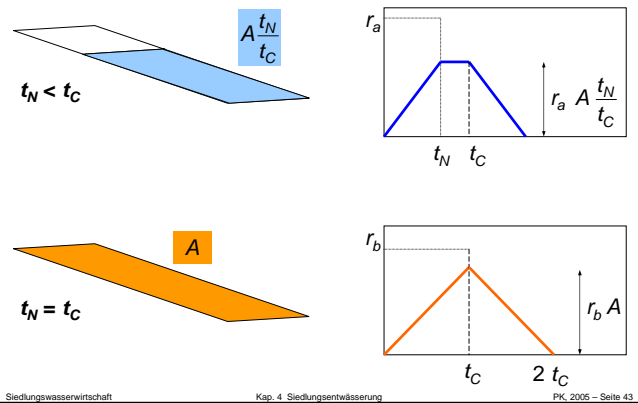
### Oberflächenbestimmung



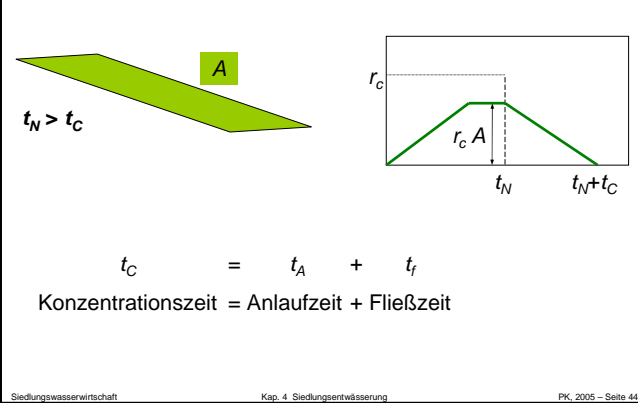
### N-A-Prozess in zwei Schritten



### Regendauer → Maximalabfluss



### Regendauer → Maximalabfluss



### Maßgebende Regendauer bei fehlenden Berechnungsgrundlagen

Gruppe	Gefälle	befestigter Anteil	$t_N$
1	< 1%	≤ 50%	15 min
1	< 1%	> 50%	10 min
2	1% - 4%	> 50%	
3	4% - 10%	> 50%	
4	> 10%	≤ 50%	
4	> 10%	> 50%	5 min

### Anwendungsbereich von N-A-Modellen

#### Zeitbewertverfahren

- Maximalabfluss
- Extremregen als Input
- Dimensionierung von Kanalquerschnitten

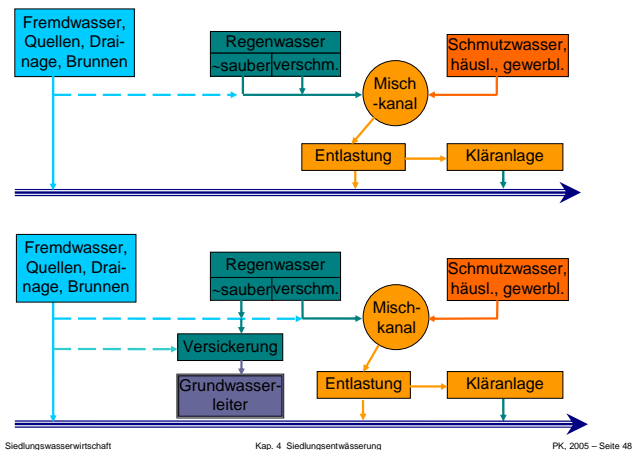
#### Detaillierte numerische Simulationen

- Abfluss als Funktion der Zeit an allen wichtigen Punkten
- Gemessene Regenereignisse als Input
- Überprüfung der Funktion des Kanalnetzes
- Optimierung des Betriebs und der Steuerung
- Abschätzung der Gewässerbelastung

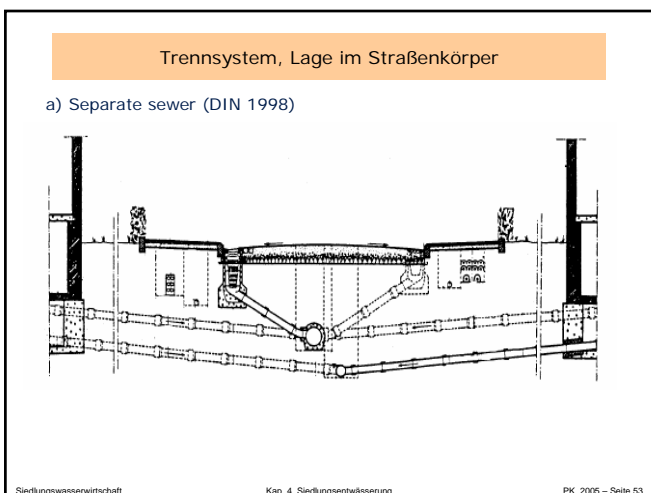
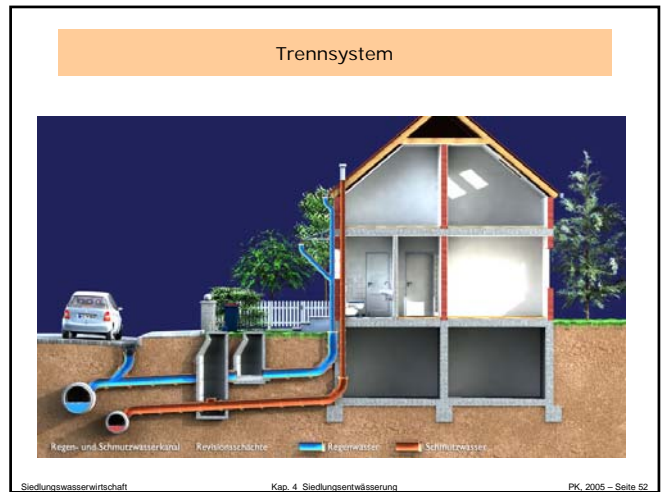
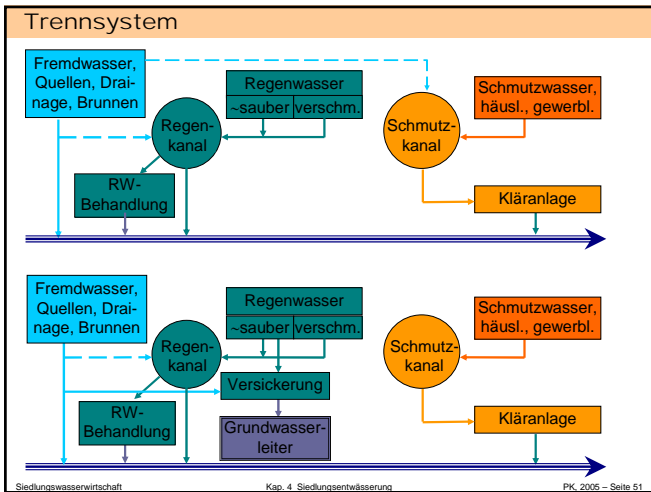
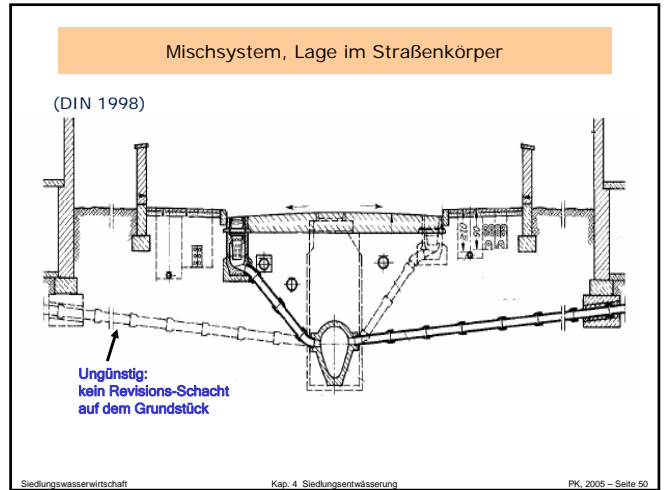
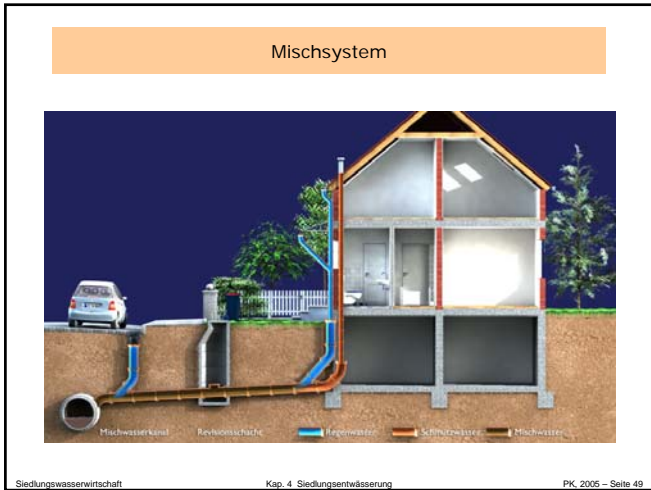
## 4 Siedlungsentwässerung

### 4.3 Misch- und Trennsystem

### Mischsystem







### Vergleich von Misch- und Trennsystem (I)

Randbed.	Mischsystem	Trennsystem
Kläranlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Belastungsschwankungen</li> <li>Regenbecken erforderlich</li> <li>Höhere Bemessungswerte, teurer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>gleichmäßigere Belastung in Bezug auf Volumenstrom und Fracht</li> </ul>
Vorflechter	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entlastung von Mischwasser und damit teilweise des Schmutzwassers</li> <li>Durch Mischwasserbecken Verzögerung der Einleitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Regenwasser wird ungeklärt eingeleitet</li> <li>Kein Schmutzwasseranteil</li> <li>Ohne Retention schnellere Einleitung</li> </ul>
Kanalnetz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringere Baukosten</li> <li>großer Platzbedarf im Bereich von Mischwasserbecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zwei Kanäle, höhere Baukosten</li> <li>größerer Platzbedarf im Baugrund</li> <li>Keine Mischwasserbecken</li> </ul>

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 54

### Vergleich von Misch- und Trennsystem (II)

Randbed.	Mischsystem	Trennsystem
Ablagerungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Spülvirkung bei Regenwetter</li> <li>Gefälle kann geringer sein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schmutzwasserkanal anfällig</li> <li>rel. Hohes Gefälle nötig</li> </ul>
Unterhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>weniger Reinigungsaufwand</li> <li>gute Lüftung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehr Reinigungsaufwand</li> <li>gesamte Kanallänge größer</li> </ul>
Hausanschluss	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Fehlschlüsse</li> <li>Kellerrückstau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Problem Fehlschlüsse</li> <li>kein Kellerrückstau</li> </ul>
Pumpen	<ul style="list-style-type: none"> <li>große Pumpenleistung nötig, die nur selten genutzt wird</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>häufig nur Pumpen für Schmutzwasser nötig</li> </ul>

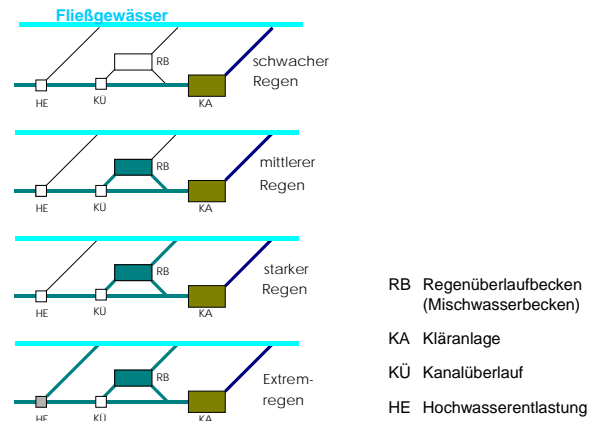
### 4 Siedlungsentwässerung

## 4.4 Mischwasserentlastung und –rückhalt

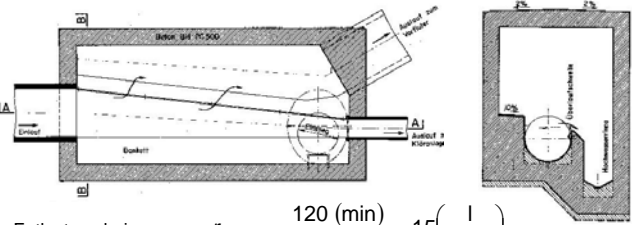
### Elemente der Regenwasserbehandlung

Funktion	Element	Verwendung
Entlastung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hochwasserentlastung</li> <li>Kanalüberlauf</li> </ul>	Mischsystem
Regenüberlaufbecken (Mischwasserbecken)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fangbecken</li> <li>Durchlaufbecken</li> <li>Verbundbecken</li> <li>Stauraumkanal</li> </ul>	Mischsystem
Regenklärbecken		Trennsystem
Regenrückhaltebecken		vor Mischsystem, Trennsystem
Schmutzstoffrückhalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schmutzwasserspeicher</li> <li>Gully</li> </ul>	Vor Mischsystem Misch-, Trennsystem

### Betrieb von Mischwasserentlastungsbauwerken



### Überlauf mit hochgezogenem Wehr



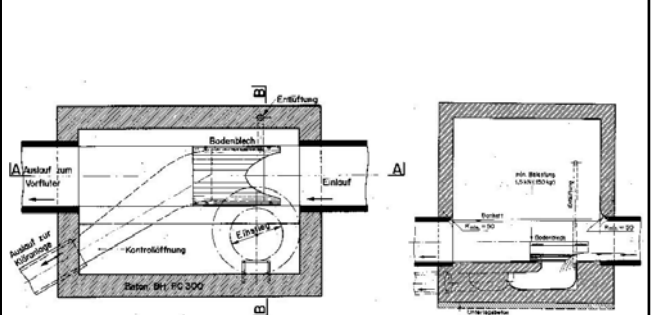
Entlastung bei  $r_{krit} = \frac{120 \text{ (min)}}{t_f + 120 \text{ (min)}} \cdot 15 \left( \frac{l}{s \cdot ha} \right)$

Drosselabfluss  $Q_d = Q_{t24} + r_{krit} \cdot A_u + \sum Q_{d,i}$

Mischungsverhältnis  $m_{RÜ} = \frac{Q_d - Q_{t24}}{Q_{t24}} \geq 7$

bzw.  $m_{RÜ} = \frac{c_t - 180 \text{ (mg/l)}}{60 \text{ (mg/l)}}$  bei  $c_t > 600 \text{ mg/l}$

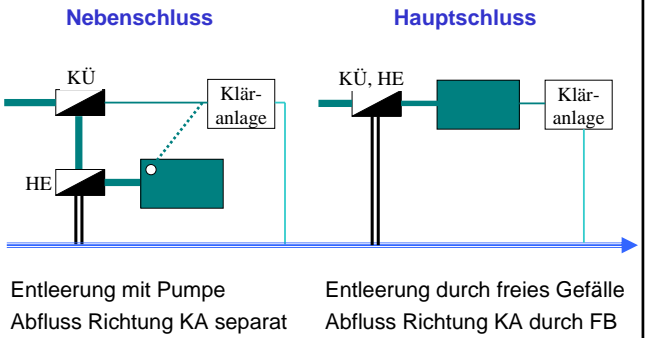
### „Leaping Weir“ mit Bodenöffnung



## Mischwasserbecken („Regenüberlaufbecken“)

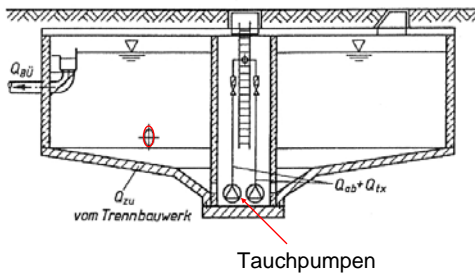
<b>Fangbecken</b>	Schmutzstoß kurze Konzentrationszeit (< 15 min) mittleres Gefälle
<b>Durchlaufbecken</b>	kontinuierliche Klärung bzgl. suspendierter Stoffe
<b>Verbundbecken</b>	Kombination Fangteil plus Klärteil

## Fangbecken



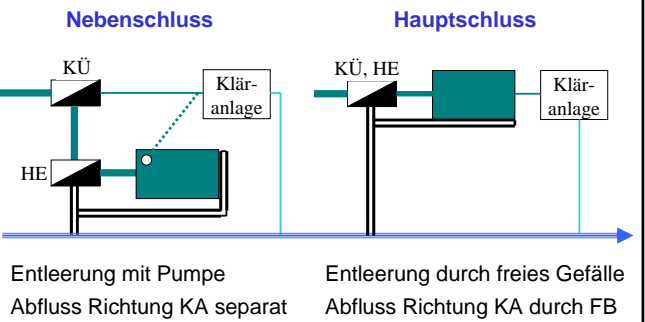
**Der gesamte Fangbecken-Inhalt fließt durch die Kläranlage!**

## Fangbecken im Nebenschluss



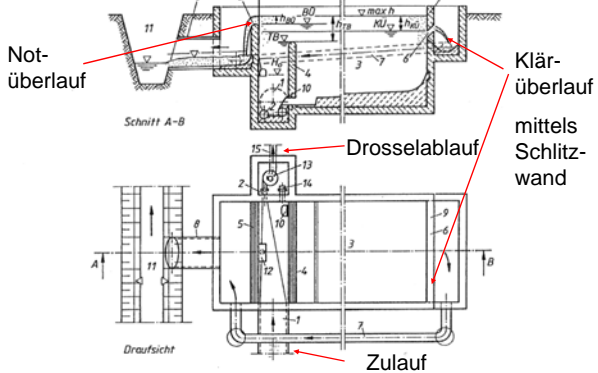
Hosang & Bischof,

## Durchlaufbecken

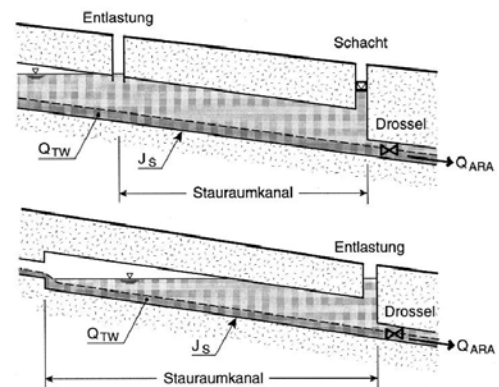


**Ein wesentlicher Teil der Entlastung fließt durch das Durchlaufbecken!**

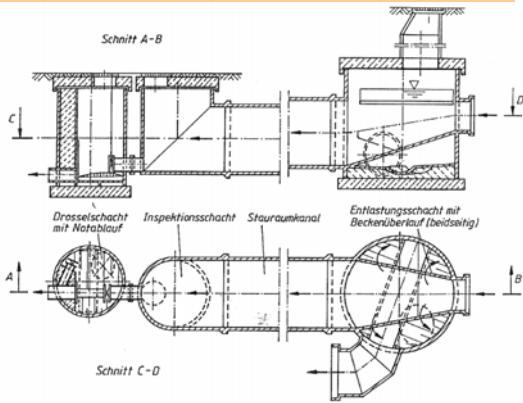
## Durchlaufbecken im Nebenschluss



## Stauraumkanäle



### SRK mit oberliegender Entlastung



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 67

### Dimensionierung von Regenüberlaufbecken (ATV A128)

#### Ziel für CSB-Jahresfracht

$$SF_e + SF_k \leq SF_r$$

„Entlastung + Kläranlagenablauf ≤ Regenwasser“

$$VQ_r e_0 c_e + VQ_r (1 - e_0) c_k \leq VQ_r c_r \quad c \text{ CSB-Konzentration}$$

$e_0$  Jahresentlastungsrate

$$e_0 \leq \frac{c_r - c_k}{c_e - c_k} \quad \text{mit } c_l : c_r : c_k = 600 : 107 : 70$$

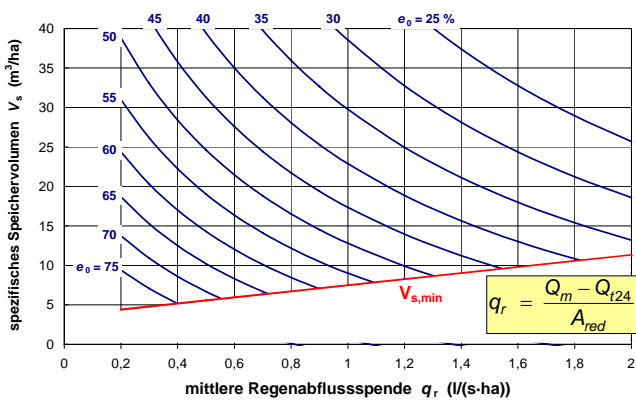
$$c_e = \frac{m c_r + c_b}{m + 1} \quad m \text{ Mischungsverhältnis}$$

$$c_b = c_l (a_c + a_h + a_a)$$

$c$  Verschmutzung,  $h$  Niederschlagshöhe,  $a$  Ablagerungen

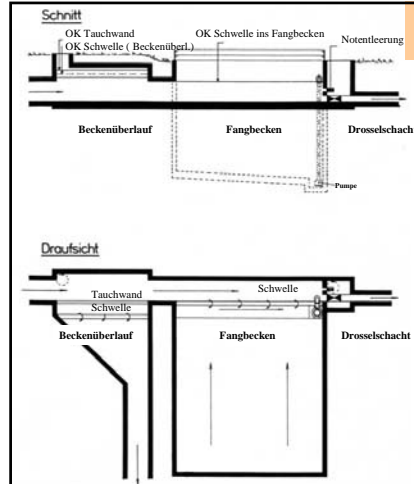
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 68

### Spezifisches Volumen der Mischwasserspeicherung



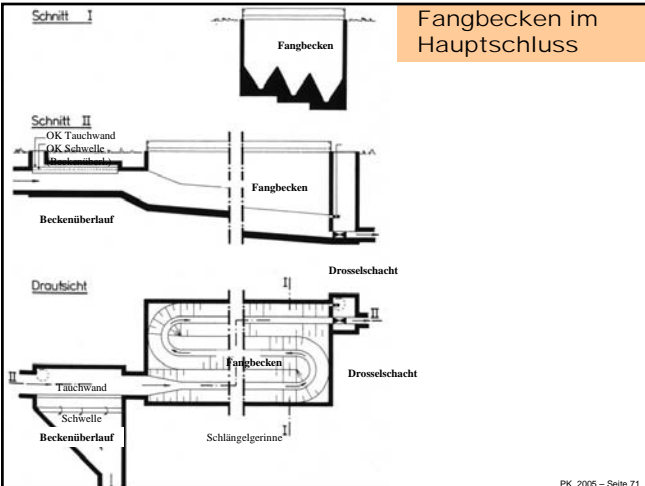
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 69

### Fangbecken im Nebenschluss



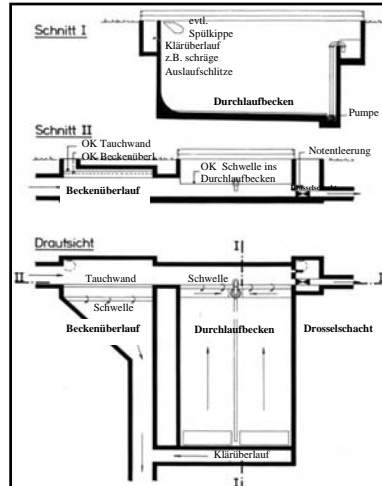
PK, 2005 – Seite 70

### Fangbecken im Hauptschluss

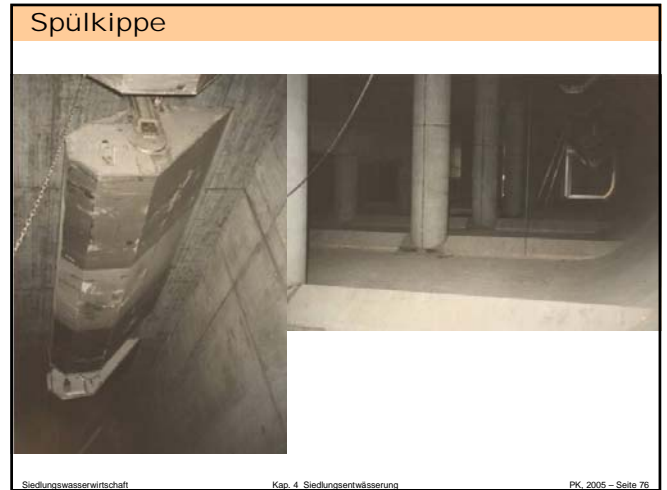
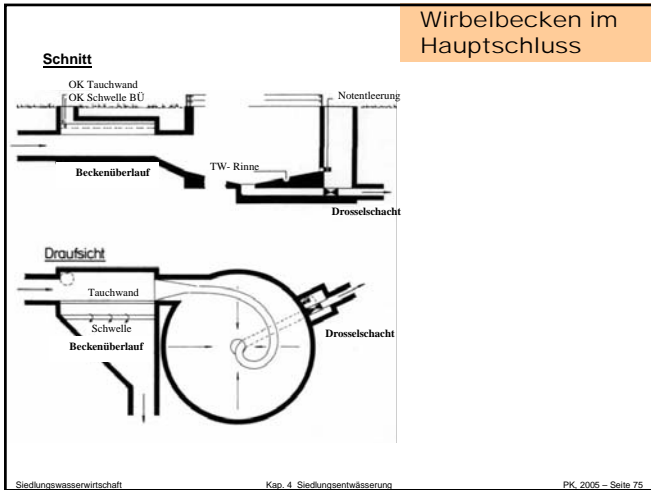
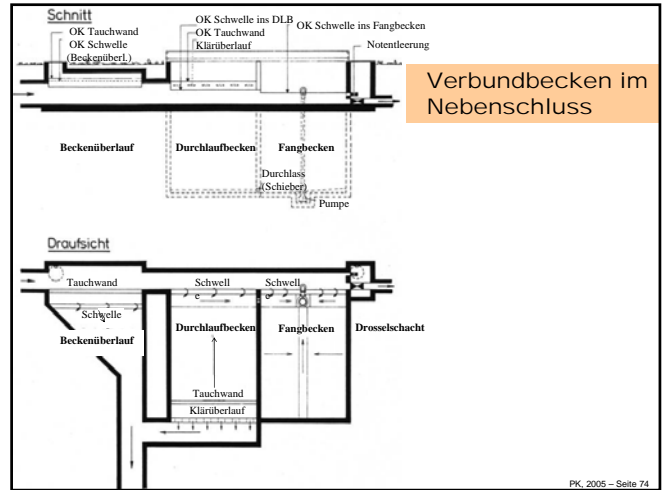
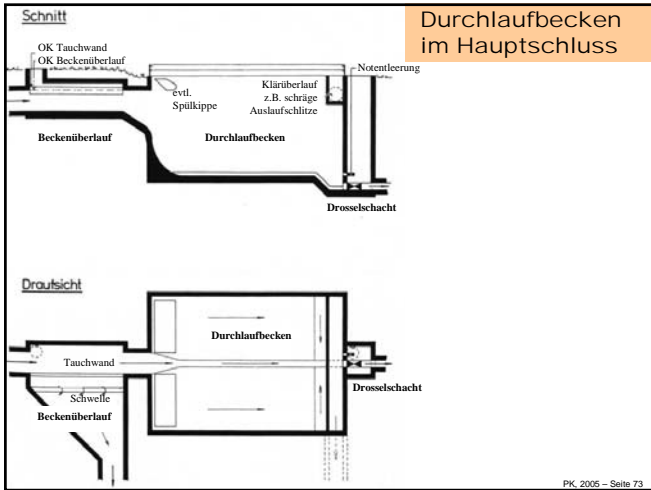


PK, 2005 – Seite 71

### Durchlaufbecken im Nebenschluss



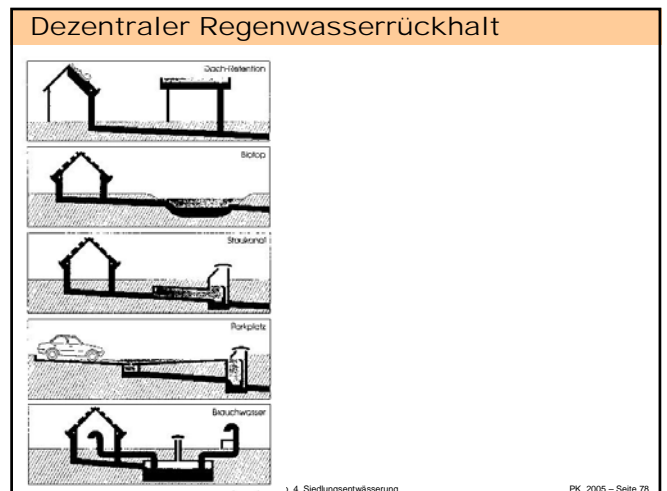
PK, 2005 – Seite 72



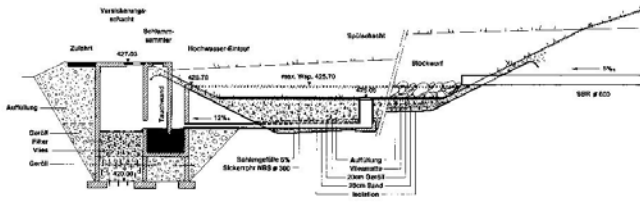
## 4 Siedlungsentwässerung

# 4.5 Retention und Versickerung von Regenwasser

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 77



## Regenrückhaltebecken



## Dimensionierung Regenrückhaltebecken

### Abschätzung mit Blockregen

$$\text{Intensität } r = r_{15(1)} \frac{38(\text{min})}{t_N + 9(\text{min})} (z^{1/4} - 0,369)$$

$$\text{Jährlichkeit } z = 5 \text{ a}$$

$$\text{red. Fläche } A_{\text{red}} = 3 \text{ ha}$$

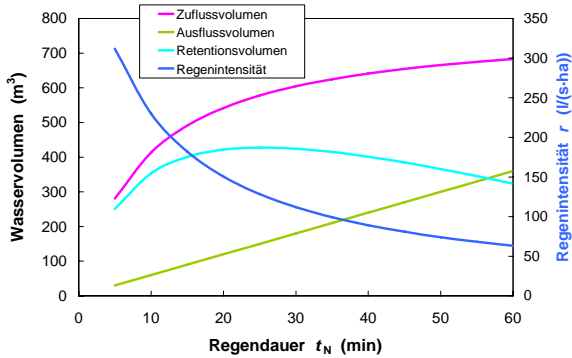
$$\text{Dauer } t_N = \text{gesucht}$$

$$\text{Zuflussvolumen } V_Q = r_{t_N} \cdot A_{\text{red}} \cdot t_N$$

$$\text{Ausflussvolumen } V_{\text{aus}} = Q_{\text{aus}} \cdot t_N = 0,1 (\text{m}^3/\text{s}) \cdot t_N$$

$$\text{Speichervolumen } V_{\text{RRB}} = \max(V_Q - V_{\text{aus}}) = f(t_N, z)$$

## Dimensionierung Regenrückhaltebecken



## Regenrückhalt durch begrüntes Dach



## Retentionsbecken als Biotop



## Versickerung

### Mittel

- Entsiegeln von Oberflächen
- Ableiten von z.B. Dachwasser in eine Versickerungsanlage

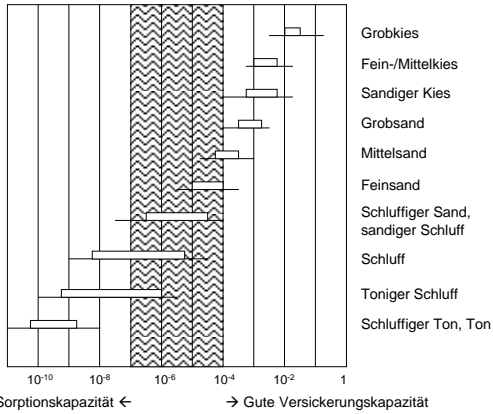
### Bedingungen

- Nutzung des entsprechenden Teileinzugsgebietes
- Beschaffenheit des Bodens
- Distanz zur Trinkwasserfassung

### Effekt

- Verminderung des Abflusses
- Verminderung von Frachten in Mischwasserentlastungen
- Speisung des Grundwasserleiters

### Optimaler Bereich zur Versickerung



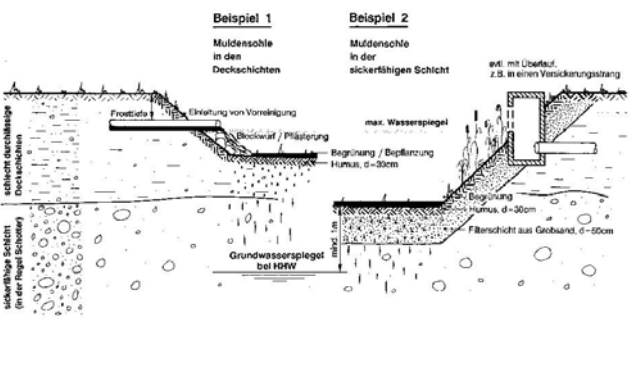
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 85

### Rasengittersteine



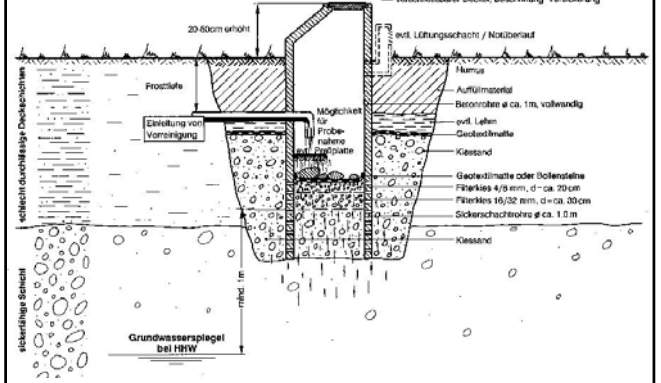
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 86

### Versickerungsmulde



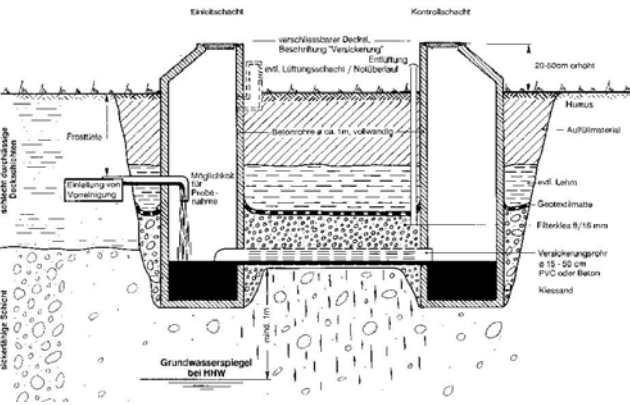
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 87

### Versickerungsschacht



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 88

### Versickerungsrohr resp. Strang



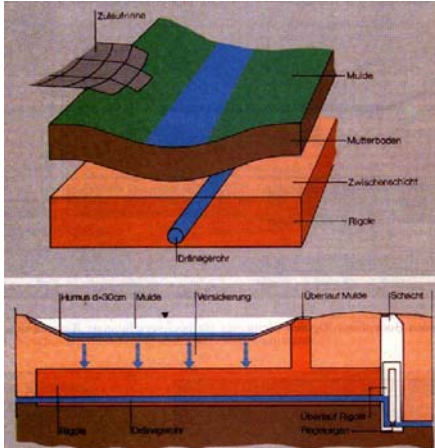
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 89

### Versickerung



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 90

## Mulden-Rigolen-System



Siedlungswasserwirtschaft

## Mulden-Rigolen-System



Siedlungswasserwirtschaft

PK, 2005 – Seite 92

## Mulden-Rigolen-System



Beispiel: Mulden-Rigolen-System Grundstück UPS Dahlwitz-Hoppegarten (zu entwässernde Gesamtfäche: ca. 1,5 Dach- und Hofflächen)

Sieker (2001)

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 93

## Retentions- und Versickerungsbecken



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 94

## Regenwasserableitung an der Oberfläche



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 95

## Sickersteine

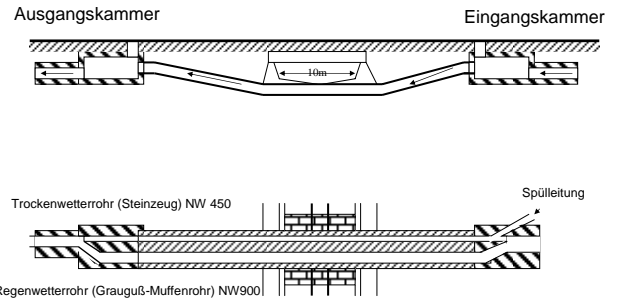


Siedlungswasserwirtschaft

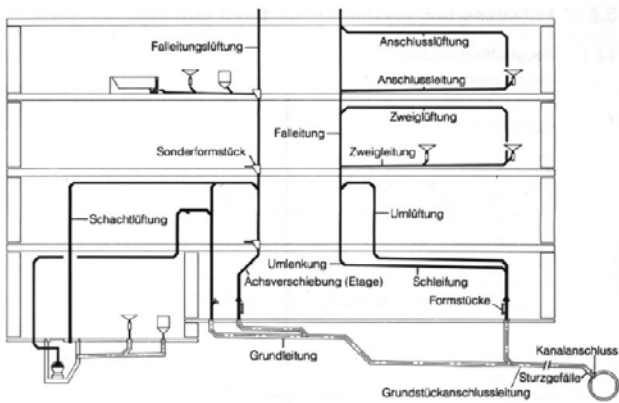


## 4.6 Sonderbauwerke und Hausanschlüsse

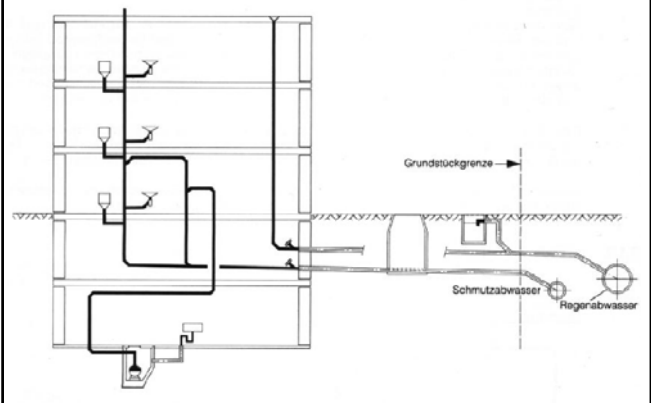
### Abwasserdüker



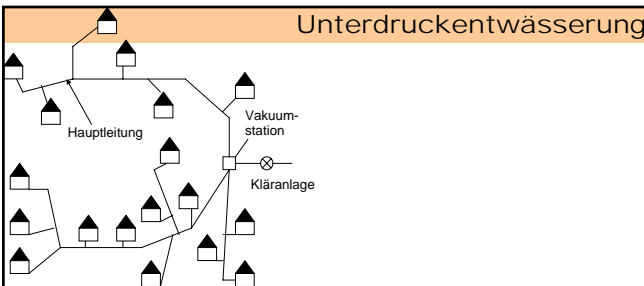
### Hausanschlüsse, Mischsystem



### Hausanschlüsse, Trennsystem



### Unterdruckentwässerung



Anschlussdichte (E/m)	Stranglänge (m)				Netzlänge
	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	
0.04 – 0.06	200 m	800 m	1000 m		< 5000 m
0.06 – 0.12	150 m	650 m	900 m	300 m	< 4000 m
0.12 – 0.20	100 m	300 m	300 m	800 m	< 3000 m

### Regenwassernutzung



## 4.9 Kanalnetzentwurf

### Schritte der Entwurfsbearbeitung

1. Wahl des Entwässerungssystems (A 105)
2. Abstimmung des Generalentwässerungsplans
3. Einzeichnen des Leitungsverlaufs im Lageplan
4. Bestimmung der Gebietsparameter
5. Maßnahmen zur Verminderung des Abwasseranfalls
6. Unterteilung des Entwässerungsgebietes
7. Dimensionierung der Rohrleitungen
  - Bestimmung des Durchflusses
  - Dimensionierung
    - Sohlhöhe der Schächte → Gefälle
    - Profil und Dimension
    - Abflussverhältnisse (Wasserstand, Geschwindigkeit)
8. Entwurf von Sonderbauwerken
9. Detaillierte Entwurfszeichnungen (Grundriß, Längsschnitt, Details)

### Kriterien zur Wahl des Entwässerungssystems

- **Vorhandenes Entwässerungssystem:**  
Typ, baulicher Zustand, hydraulische Leistungsfähigkeit
- **Fließgewässer:** räumliche Lage, Hydraulik (Jahresgang von Q, Wasserstand; Sensitivität)
- **Abwasserzusammensetzung:** Gefahrstoffe
- **Infrastruktur:** Versiegelungsgrad, Bevölkerungsdichte,...
- **Bodenverhältnisse:** Infiltrationskapazität, Bodenklasse
- **Schutzgebiete** Wasserschutzzonen, Überflutungsgebiete
- **Topographie, Grundwasserhältnisse**
- **Kläranlage:** Typ, Kapazität, Lage
- **Kosten**

### Abstimmung des Entwässerungskonzepts

- Zulässige Belastung des Fließgewässers (Einlaufstellen, max. Q, Frachten, Konzentrationen,...)
- Leitungsverlauf
- Art und Lage von Einzelelementen
  - Kläranlage
  - Regenüberläufe, RÜB, RRB
  - Pumpstationen
  - Infiltrationsanlagen
- Weitere Maßnahmen
  - z.B. Ausgleichsmaßnahmen, Reduzierung von Beeinträchtigungen benachbarter Wohngebiete

### Bestimmung der Gebietsparameter

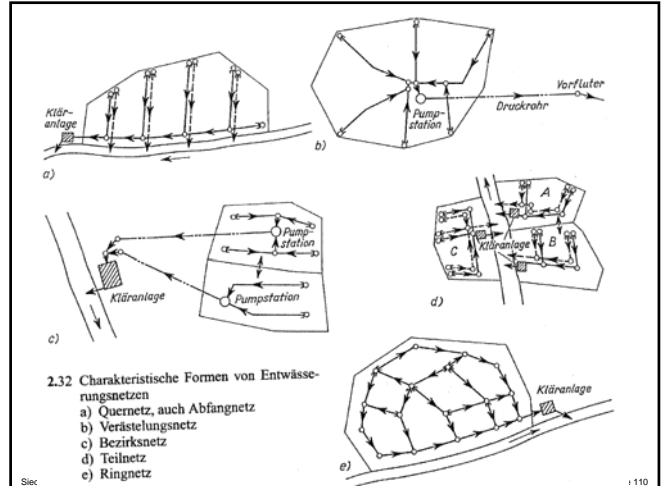
### Leitungsverlauf

- Ziel: Minimierung von Invest- und Betriebskosten durch intelligente Nutzung der Topographie und vorhandener oder geplannter Infrastruktur
  - kurze Leitungslängen
  - Minimale Verlegetiefe
  - Minimale Nutzung von Fremdenergie
  - Vermeidung von Sedimentbildung, Geruch, Korrosion
  - Zugänglichkeit für KN-Reinigung, TV-Inspektion, Baufahrzeuge
- KN-Planung immer in Abstimmung mit komm. Entwicklungsplan  
→ Zusammenarbeit von Raumplaner und KN-Planer

## Leitungsverlauf

### Prinzipien:

- KN und Straße folgen Talverlauf oder virtueller Verbindung von Senken
- Wasserscheiden zwischen den Sammlern
- Keine Umwege für den Wasserfluss
- Kanäle neben Straßen (Fußwege, Radwege)
- Kanäle in öffentlichem Baugrund (ansonsten Leitungsrechte sichern)
- Schächte bei:
  - Richtungswechsel
  - Querschnittswechsel
  - Gefällewechsel
  - Einmündung von Seitenkanälen (nicht bei Hausanschlüssen, Straßeneinläufen)
  - Abstand < 100 m

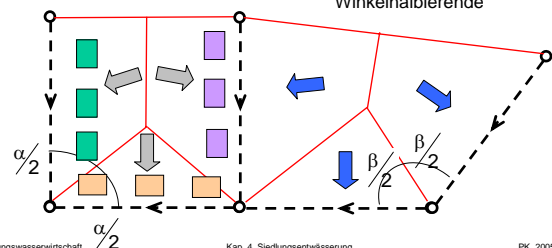


## Hinweise zur Unterteilung des Entwässerungsgebiets

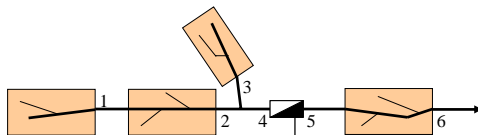
- Topographie → Fließrichtung des Wassers
- Natürliche und künstliche Abfluss- oder Bauhindernisse (Pläne, Luftbilder, GIS, Laser-Scan, **Begehung**)
- Abfluss wird berechnet über Bevölkerungsdichte
- Nur industrielle (gewerbliche) Einleiter und Einzelgrundstücke werden als Einzelabfluss gerechnet
- Abfluss wird der gesamten Leitungslänge zugewiesen (obwohl Q erst am Leitungsende erreicht wird) → Sicherheit
- Teilgebiete bzw. Leitungsabschnitte ≤ 200 – 300 m (DN-Gruppen möglichst nicht überspringen)

## Unterteilung des Entwässerungsgebiets

- Räumlich: Abfluss-relevante Fläche den zugehörigen Kanalnetzabschnitten zuweisen
- Abflusstyp: Gliederung nach einheitlichen Abflussbeiwerten
- Einfache Methode für flache EG: Flächenzuordnung über Winkelhalbierende



## Bsp. Bemessung mit Zeitbeiwertverfahren (I)



$$\begin{aligned}
 t_N(1) &= t_A(1) + t_F(1) & Q_4 &= Q_2 + Q_3(3, 4) \\
 t_N(2) &= t_A(1) + t_F(1) + t_F(2) & Q_5 &= Q_{krit} \\
 t_N(3) &= t_A(3) + t_F(3) \quad \text{für Punkt 3} & Q_6 &= f(t_A(6) + t_F(6)) \\
 t_N(3, 4) &= t_N(2) \quad \text{für Punkt 4} & Q_{6,tot} &= Q_6 + Q_5
 \end{aligned}$$

**Iteration mit effektiven Fließzeiten  $t_F$**

## Zeitbeiwertverfahren (II)

Querschnitt	1	2	3	4	5	6	Bem.
L Kanal (m)	120	180	60			180	
v (m/s)							
Fließzeit (min)							
$t_N = t_A + t_F$ (min)							$t_A = 5$ min
$r(t_N, z)$ (l/(s·ha))							R (Reinhold, 1940)
$A_i$ (ha)	2	3	1			3	
$\psi_s$ (-)	0,4	0,6	0,6			0,5	
$A_{red,i}$ (ha)							
$\Sigma A_{red,i}$ (ha)							
$Q_R$ (m³/s)							$Q_R = r \cdot \Sigma A_{red,i}$
konst. Q (m³/s)							
$Q_{R,tot}$ (m³/s)							
$Q_t$ (m³/s)	0,015	0,02	0,008				
$Q_m$ (m³/s)							

**Zeitbeiwertverfahren (II)  $z = 2, r_{15(1)} = 102 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$**

Querschnitt	1	2	3	4	5	6	Bem.
L Kanal (m)	120	180	60			180	
v (m/s)	1	1	1			1	
Fließzeit (min)	2	3	1			3	
$t_N = t_A + t_F$ (min)	7	10	6	10		8	$t_A = 5 \text{ min}$
$r(t_{Np}, z)$ (l/(s·ha))	199	167	212	167	30	187	R (Reinhold, 1940)
$A_i$ (ha)	2	3	1			3	
$\Psi_S$ (-)	0,4	0,6	0,6			0,5	
$A_{red,i}$ (ha)	0,8	1,8	0,6			1,5	
$\Sigma A_{red,i}$ (ha)	0,8	2,6	0,6	3,2	3,2	1,5	
$Q_R$ (m³/s)	0,16	0,43	0,13	0,53		0,28	$Q_R = r \cdot \Sigma A_{red,i}$
konst. Q (m³/s)					0,1		
$Q_{R,tot}$ (m³/s)						0,38	
$Q_i$ (m³/s)	0,015	0,02	0,008			0,003	$Q_s + Q_i$
$Q_m$ (m³/s)	0,175	0,45	0,138	0,581	0,1	0,383	$Q_R + Q_i$

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 115

**Fließgeschwindigkeit, Wassertiefe**

- Vermeidung von Sedimentbildung
- Vermeidung von Abrasion
- Faustwerte:
  - $v_{min} > 0,5 \text{ m/s}$
  - $h_{min} > 50 \text{ mm}$
  - $v_{max} < 3 \text{ m/s}$  (Trennsystem)
  - $v_{max} < 8 \text{ m/s}$  (Mischsystem)

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 116

**Tiefenlage und Gefälle**

- **Minimaltiefe: Schutz vor Frost und mechanischer Belastung**

sewer	sanitary	storm	combined
wide city streets	3,0 m	2,5 m	3,0 m
small streets	2,5 m	2,0 m	2,5 m
villages	2,5 m	2,0 m	2,5 m

- Trinkwasser liegt bei 1,5 m !
- Trennsystem: RW ca. 0.5 m über SW (Anfangshaltung)

**Gefälle**

DN	Minimal	Maximal	Optimal
Hausanschluss	1:100	1:10	1:50
200 – 300	1:200 – 1:300	1:10 – 1:15	1:50 – 1:200
300 – 600	1:300 – 1:600	1:20	1:100 – 1:300
600 – 1000	1:600 – 1:800	1:30	1:200 – 1:400
1000 - 2000	1:1000	1:50	1:300 – 1:800

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 117

**Bemessung Kanalrohr: Auswahl DN und I**

Vorgabe DN und Gefälle  
Q und v für Vollfüllung  
Integraler k-Wert  $k_0 = 1,5 \text{ mm}$

Beispiel:  
DN 500,  $I = 5 \text{ ‰}$   
Nomogramm:  
 $Q_t = 260 \text{ l/s}$   
 $v_t = 1.4 \text{ m/s}$

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 118

**Bemessung Kanalrohr: Teilfüllungsverhältnisse**

Ableitung von v und h für  $Q_{ist}$  aus Teilfüllungsdiagramm

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 119

**Bemessung Kanalrohr: Teilfüllungsverhältnisse**

Beispiel:  
DN 500,  $I = 5 \text{ ‰}$   
 $Q_{voll} = 260 \text{ l/s}$   $v_t = 1.4 \text{ m/s}$   
gesucht:  $v_{teil}$  und  $h_{teil}$   
für  $Q_t = 65 \text{ l/s}$   
 $Q_t = 65 \text{ l/s}$   
 $\Rightarrow Q_t/Q_{voll} = 65/260 = 0,25$

$\Rightarrow h_t/d = 0,31$   $h_t = 500 \cdot 0,31 = 155 \text{ mm}$   
 $\Rightarrow v_t/v_{voll} = 0,82$   $v_t = 1,4 \cdot 0,82 = 1,15 \text{ m/s}$

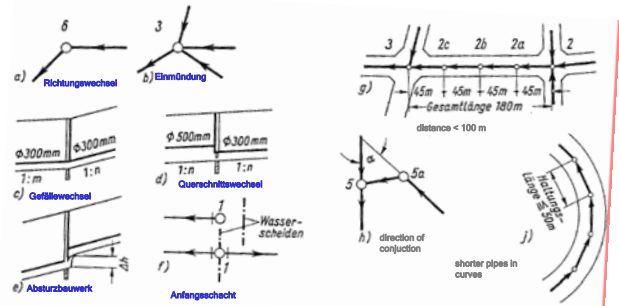
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 4 Siedlungsentwässerung PK, 2005 – Seite 120

## Listenrechnung

Schacht oben	Schacht unten	Mittelwert	Länge		Fläche A <sub>z</sub>					Spitzenabflussbeiwert					Einwohner			
			einzel	Σ	Nr.	35	40	45	50	55	40 < 1%	4% - 10%	10% - 15%	15% - 20%	Sicht	Ansatz		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

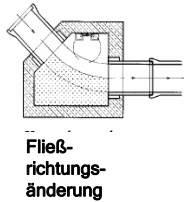
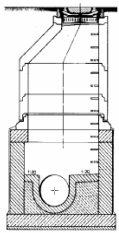
Zufuss von Schacht-Nr.	Schmutzwasserabfluss häuslich		gewerblich		Fremd- wasser- abfluss	Trocken- wetter- abfluss	Zeit- beiwert	Regenabfluss		Fließzeit		Misch- wasser- abfluss	Sohl- gefälle	Querschnitt	Invert- niveau
	einzel	Σ	einzel	Σ				einzel	Σ	einzel	Σ				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

## Anordnung von Schächten

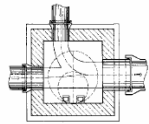
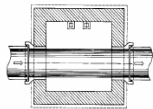


## Schächte

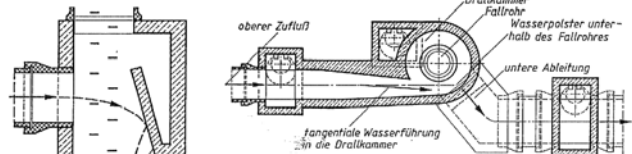
Revisions-  
schacht



Einmündung



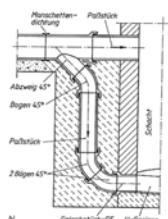
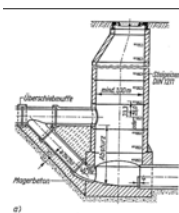
## Absturz-Bauwerke



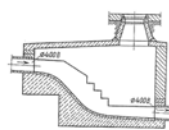
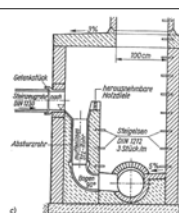
3.54 Wirbelfallschacht nach ATV-A 241 – Horizontalschnitt, oberer Bereich –

3.53 Fallschacht mit Prallplatte nach ATV-A 241 – Vertikalschnitt –

Außen-  
liegender  
Absturz



innen-  
liegender  
Absturz

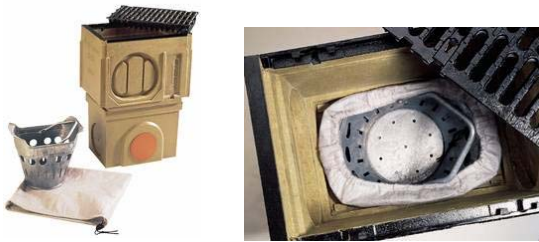


3.72 Schacht mit innerem Absturz

## Straßeneinläufe

- Zweck: schnelle Aufnahme des Niederschlagswassers von Straßen
- Teilreinigung
- Bemessung:
  - Richtlinien für die Anlage für Straßen,
  - Teil: Entwässerung – RAS-Ew
  - Herstellerangaben
- Ausführung als Linien oder Punktentwässerung

## Straßeneinlauf



Straßeneinlauf mit Sinkkasten und Filtersack (Fa. Passavant)

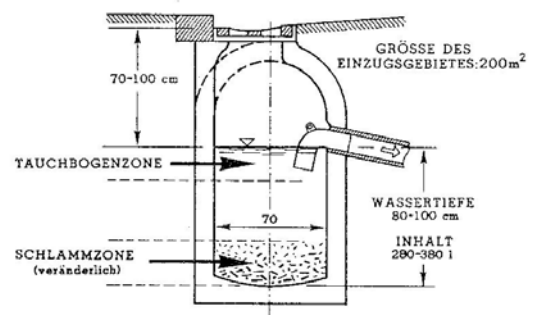
Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 127

## Verminderung von Frachten bei Regenwetter

### Nassgully



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 128

## Leitungsplan

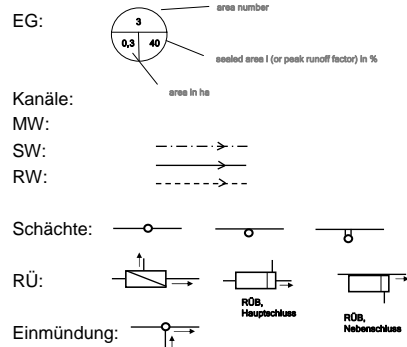
- Maßstab: 1:2000 - 1:500
- Kanäle mit Fließrichtung
- Profil, DN, Länge, Gefälle, (Material)
- Sonderbauwerke
- Kläranlage
- Auslaufbauwerke
- Nummerierung von Haltung und Schacht
- Teil-EG: Nr., A, A<sub>red</sub> (oder Abflussbeiwert)
- Legende, Maßstabsangabe
- Symbole: DIN 2425

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 129

## Map – symbols (DIN 2425 part 4)

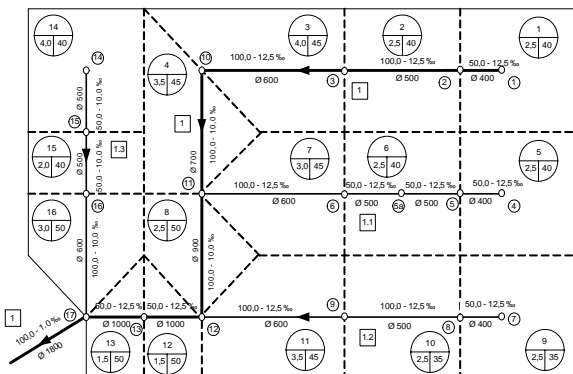


Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 130

## Beispiel Lageplan



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 131

## Längsschnitt

- Höhenmaßstab zehnfach überhöht
- Sohlhöhe [m NN]
- GOK [m NN]
- DN
- Material
- Gefälle
- Max. Q
- Q (TK: Q<sub>r</sub> bzw. Q<sub>s</sub> MW: Q<sub>t</sub> und Q<sub>m</sub>)
- Schächte und Sonderbauwerke
- Haltungslänge
- sewer conjunctions (arrows)
- station

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 4 Siedlungsentwässerung

PK, 2005 – Seite 132

## Beispiel: Längsschnitt

