



## 5 Abwasserreinigung

- 5.1 Ziele und Anforderungen
- 5.2 Aufbau einer Kläranlage
- 5.3 Mechanische Reinigung
- 5.4 Biologische Verfahren
- 5.5 Nachklärung
- 5.6 Schlammbehandlung

## 5 Abwasserreinigung

### 5.1 Ziele und Anforderungen

### Abwasserreinigung in Deutschland

Ende 2000 sind mehr als 10.000 kommunale Kläranlagen in Betrieb

Größenklasse	Anzahl	Ausbaugröße in mio EW
> 100.000	272	83,1
10.000 – 100.000	1.817	56,1
2.000 – 10.000	2.617	12,3
50 – 2.000	5.677	3,2

### Gesetzgebung

- Europa**
  - Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG)
  - EU Wasserrahmenrichtlinie
- Deutschland**
  - Wasserhaushaltsgesetz
  - Abwasserverordnung
  - Abwasserabgabengesetz
- Sachsen**
  - Sächsisches Wassergesetz
  - Sächsisches Abwasserabgabengesetz
  - Sächsische Kommunalabwasserverordnung
  - Erlasse des SMUL

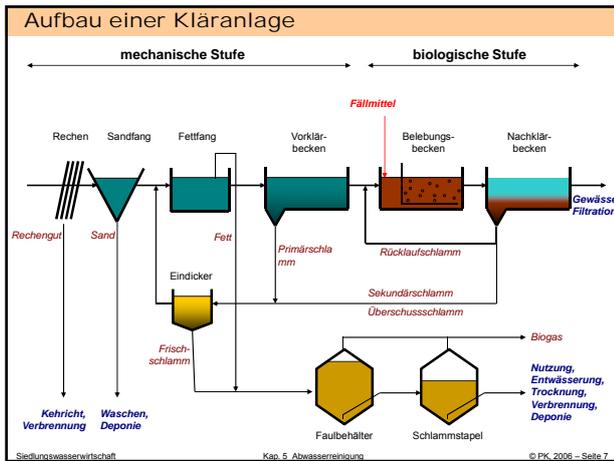
### Mindestanforderungen an Kläranlagenablauf

Größenklasse	CSB (mg/l)	BSB <sub>5</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	N* (mg/l)	P <sub>ges</sub> (mg/l)
1 < 1000 EW 60 kg BSB <sub>5</sub> / d	150	40	-	-	-
2 < 5000 EW 300 kg BSB <sub>5</sub> / d	110	25	-	-	-
3 < 10000 EW 600 kg BSB <sub>5</sub> / d	90	20	10	-	-
4 < 100000 EW 6000 kg BSB <sub>5</sub> / d	90	20	10	18	2
5 > 100000 EW 6000 kg BSB <sub>5</sub> / d	75	15	10	13	1

\* N = Summe von NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, und NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

## 5 Abwasserreinigung

### 5.2 Aufbau einer Kläranlage



### Typische Aufenthaltszeiten in den Reaktoren

	Abwasser $\theta_w$ (h)	Schlamm $\theta_s$ (d)
Mechanische Vorreinigung	0,2	0,01
Vorklärung	1,5	1
Belebungsbecken	10	10
Nachklärbecken	5	2
Schlammeindicker		2
Faulbehälter		20
Nachfaulraum, „Stapel“		100

**< 1 d      > 100 d**

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 9

5 Abwasserreinigung

## 5.3 Mechanische Reinigung

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 10

### Rechengutanfall in kommunalen Kläranlagen

Rechenart	Durchlassweite (mm)	Spezifischer Anfall ( $m^3/(E \cdot a)$ )	
		ungepresst (8% TS)	gepresst (25% TS)
Grobrechen	50	0,003	0,001
Feinrechen	15	0,012	0,004
Sieb	3	0,022	0,007

Schwankungsbereich: -50% bis +100%

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 11



### Siebschnecke



### Grundregeln zur Gestaltung von Rechenbauwerken

- Fließgeschwindigkeit:  $0,6 \leq v \leq 2,5$  m/s
- Gerinne um Fläche der Rechenstäbe erweitern
- Stauverlust beachten

– Hydraulisch: 
$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{d}{e}\right)^{3/4} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

d: Stabstärke, e: lichter Stababstand,  $\beta$ : Formfaktor  
 Rund:  $\beta = 2,4$ , rechteckig:  $\beta = 1,8$

- + Aufstau durch Versetzung mit Grobstoffen  
 → Gerinne mind. um hydraulischen Aufstau absenken
- Betriebs- und Havariesicherheit (Doppelauslegung)
- Einhausung zu empfehlen (Frost, Geruch)  
 aber teuer (Entlüftung, Kranbahn)
  - alternativ: Kapselung der Anlagentechnik

### Sandfang

- erforderlich bei Mischkanalisation
- Wirkung von mineralischen Inhaltsstoffen:
  - Starker Abrieb an mechanischen, beweglichen Teilen (z.B. Pumpenlaufräder und Gehäuse)
  - Verstopfungen (Schlammtrichter, Rohrleitungen, Pumpen)
  - Ablagerungen (Faulräume, Belebungsbecken)
    - nur mit hohen Betriebsaufwendungen entfernbar

Schlamm im Sand ist lästig,  
 aber Sand im Schlamm ist schädlich !

### Empirisch ermittelte Absetzgeschwindigkeiten

Kalbskopf, 1966

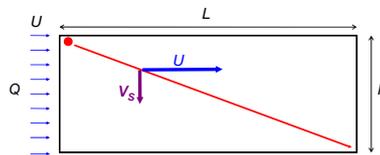
Korn- durchmesser [mm]	Absetzgeschwindigkeit		
	$\eta = 100\%$ [cm/s]	$\eta = 90\%$ [cm/s]	$\eta = 85\%$ [cm/s]
0,125	0,17	0,26	0,31
0,160	0,29	0,44	0,56
0,200	0,46	0,78	0,99
0,250	0,74	1,25	1,60
0,315	1,23	2,00	2,35

### Bemessung

- Fließgeschwindigkeit:  $\approx 0,3$  m/s
- Breite nach oben asymptotisch zunehmend  $b \approx \frac{5 \cdot Q}{h}$

- Sandfanglänge: 
$$\frac{h}{v_s} = \frac{l}{u}$$
- Sandstapelraum: rd.  $0,2 \times 0,3$  m (nicht zu groß)
- Erweiterungswinkel (Gerinne → Sandfang)  $< 8^\circ$
- Venturigerinne nachschalten !

### Flächenbeschickung: $q_A = Q / A$ (Hazen, 1904)

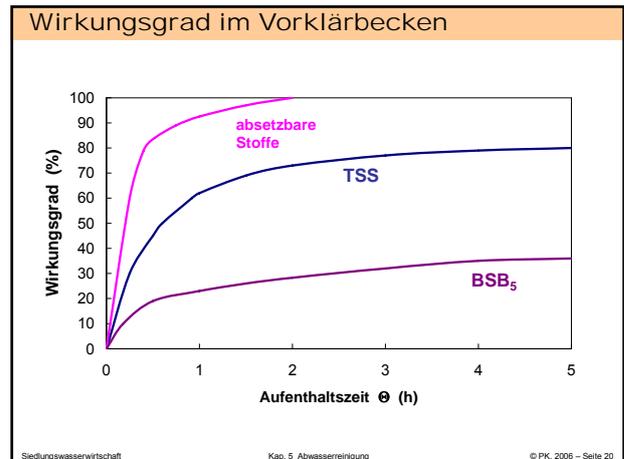
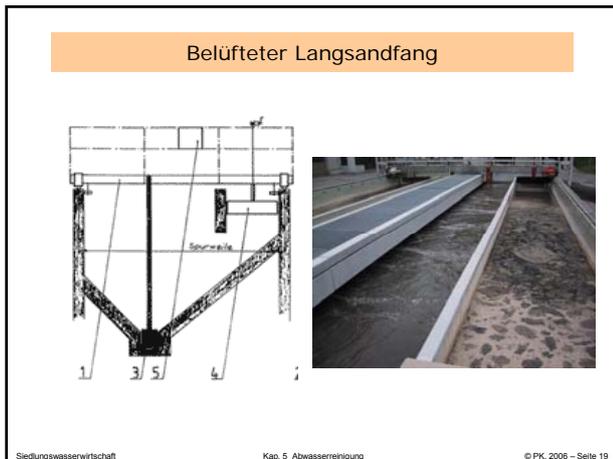


Grenzfall 
$$U = \frac{L}{\theta} \quad v_s = \frac{H}{\theta}$$

Absetzbedingung 
$$\frac{L}{U} \geq \frac{H}{v_s}$$

$$v_s \geq \frac{UBH}{LB} = \frac{Q}{A_{NB}} \rightarrow v_s \geq q_A$$

→ unabhängig von H !

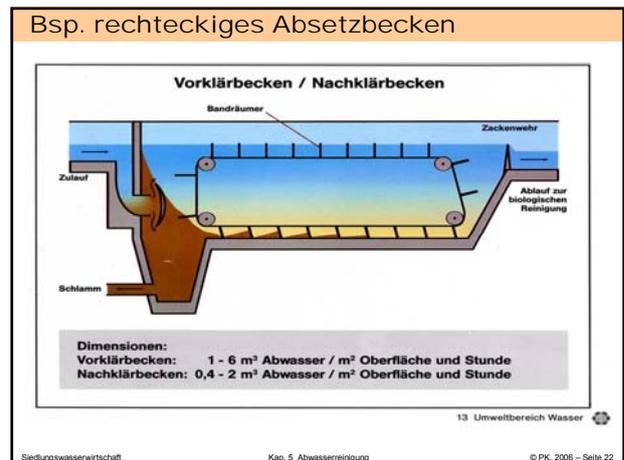


**Veränderung des Abwassers im VKB**

Stoff	Einheit	Zulauf	Ablauf*	$\eta = \frac{C_{zu} - C_{ab}}{C_{zu}}$
TSS	g TSS / m <sup>3</sup>	360	180	0,5
BSB <sub>5</sub>	g O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	300	230	0,23
CSB	g O <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>	600	450	0,25
TKN	g N / m <sup>3</sup>	60	56	0,067
NH <sub>4</sub> -N	g N / m <sup>3</sup>	40	40	0
NO <sub>2</sub> -N	g N / m <sup>3</sup>	0	0	0
NO <sub>3</sub> -N	g N / m <sup>3</sup>	1	1	0
P <sub>tot</sub>	g P / m <sup>3</sup>	10	9	0,1
Alkalinität mol HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> / m <sup>3</sup> = f ( Trinkwasser + NH <sub>4</sub> -N )				

\* bei kurzer Aufenthaltszeit

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 21



**5 Abwasserreinigung**

## 5.4 Biologische Verfahren

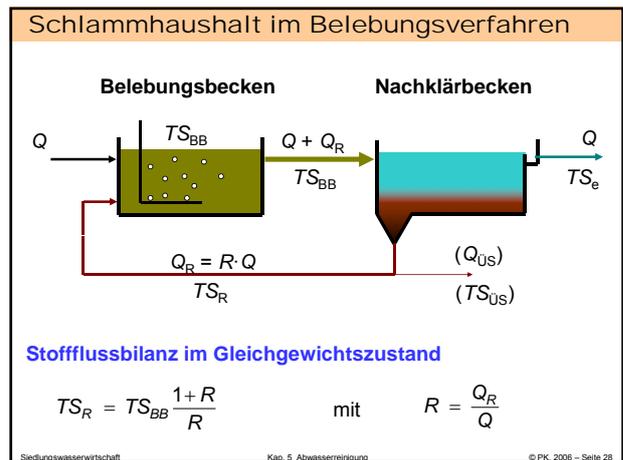
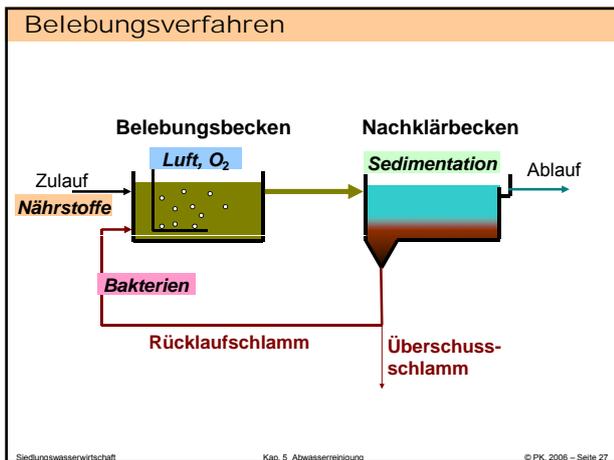
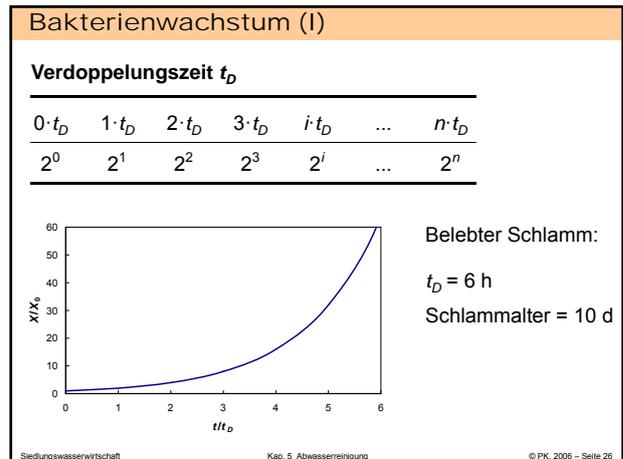
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 23

- Biologische Verfahren**
- Suspendierte Biomasse → Belebtschlammverfahren**
- Durch Turbulenz in Schwebelage gehalten
  - Schlammflocken 0,1 – 1 mm Durchmesser
  - Abbau spezifisch bezogen auf Biomasse
- **suspendierte Biomasse aufkonzentrieren**
- Sessile Biomasse → Biofilmverfahren**
- Als Biofilm auf einer Aufwuchsfläche
  - Bakterien werden nur vereinzelt erodiert
  - Abbau spezifisch bezogen auf Bewuchsfläche
- **Spezifische Oberfläche erhöhen**
- Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 24

### Wesentliche mikrobiologische Prozesse

<b>Wachstum</b>	von Biomasse
<b>Zerfall</b>	wenn zu wenig externe Nährstoffe
<b>Hydrolyse</b>	schwer → leicht abbaubare Stoffe, durch Enzyme
<b>Aerober Abbau</b>	organischer Stoffe $\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
<b>Nitrifikation</b>	$\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$
<b>Denitrifikation</b>	$5 \text{CH}_2\text{O} + 4 \text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{N}_2 + 5 \text{CO}_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$
<b>Einbau</b>	Von C, N, P in die Biomasse

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 25



### Fließschema Belebungsverfahren

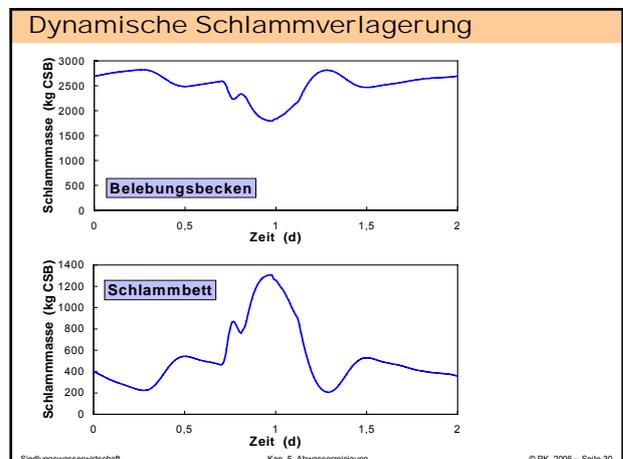
Hydraulische Verdrängung des Schlamm-Abwasser-Gemisches in das Nachklärbecken → der Schlamm muss ins Belebungsbecken zurückgeführt werden

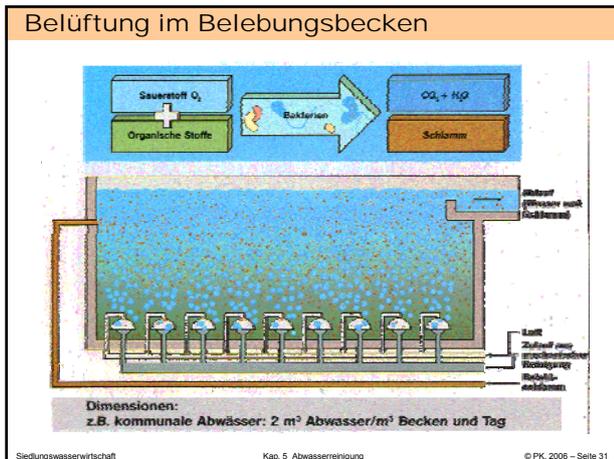
Der belebte Schlamm wird 20 – 50 mal im Kreis geführt  
 → Biomassekonzentration im Belebungsbecken wird erhöht

Der Überschussschlamm wird aus dem System abgezogen  
 → entspricht der Schlammproduktion

Bei erhöhter hydraulischer Belastung (bei Regenwetter) wird Schlamm ins Nachklärbecken verlagert

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 29





### Dimensionierung mittels Schlammbelastung

**Schlammbelastung**  $B_{TS} = \frac{Q \cdot BSB_{5,ZU}}{V_{BB} \cdot TS_{BB}}$  in  $\left( \frac{\text{kg BSB}_5}{\text{kg TSS} \cdot \text{d}} \right)$

→ die BSB<sub>5</sub>-Zufuhr wird zur Schlammmasse im BB in Beziehung gesetzt

$B_{TS}$  Schlammbelastung bezogen auf die Trockensubstanz  
 $Q$  Zufluss zum Belebungsbecken (m³/d)  
 $BSB_{5,ZU}$  Konzentration an BSB<sub>5</sub> im Zufluss (kg BSB<sub>5</sub> / m³)  
 $V_{BB}$  Volumen des Belebungsbeckens (m³)  
 $TS_{BB}$  Schlammkonzentration im Belebungsbecken, gemessen als TSS (kg TSS / m³)

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2008 – Seite 32

### Bemessungstechnische Aspekte

	Heterotrophe Bakterien (H)	Nitrifikanten (N)	Verhältnis H:N
Nahrungsangebot:			
- Rohabwasser	60 g BSB <sub>5</sub> /(E d)	13 g N/(E d)	5:1
- gut vorgeklärtes Abwasser	40 g BSB <sub>5</sub> /(E d)	10 g N/(E d)	4:1
Ertragskoeffizient Y	0,6 gTS/gBSB <sub>5</sub>	0,15 gTS/gN	4:1
Y * Nahrungsangebot			
- Rohabwasser	36 gTS/(E d)	2 gTS/(E d)	18:1
- gut vorgeklärtes Abwasser	24 gTS/(E d)	1,5 gTS/(E d)	16:1

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2008 – Seite 33

### Nitrifikation $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$

Die Nitrifikanten („autotrophe Biomasse“  $TS_A$ ) haben eine geringe Wachstumsgeschwindigkeit  $\mu_A$

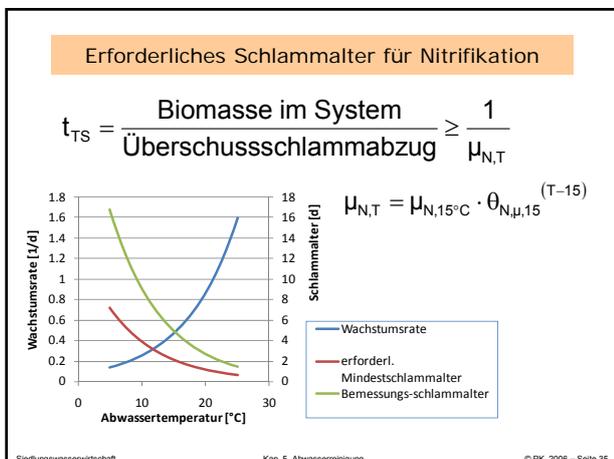
mit der Produktion autotropher Biomasse  
 $SP_A = r_A \cdot V_{BB} = \mu_A \cdot TS_{A,BB} \cdot V_{BB}$

und dem Sicherheitsfaktor SF ergibt sich das nötige Schlammalter mit

$$\theta_X = SF \cdot \frac{V_{BB} \cdot TS_{A,BB}}{SP_A} = SF \cdot \frac{V_{BB} \cdot TS_{A,BB}}{\mu_A \cdot TS_{A,BB} \cdot V_{BB}} = SF \cdot \frac{1}{\mu_A}$$

→ hohes Schlammalter, damit Nitrifikanten nicht aus dem System ausgewaschen werden  
 → Beckenvolumen  $V_{BB}$  muss groß sein

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2008 – Seite 34



### Dimensionierung mittels Schlammalter

**Schlammalter**  $\theta_X = \frac{V_{BB} \cdot TS_{BB}}{SP} = \frac{V_{BB} \cdot TS_{BB}}{\dot{U}_B \cdot Q \cdot BSB_{5,ZU}} = \frac{1}{B_{TS} \cdot \dot{U}_B}$

→ die Schlammproduktion wird zur Schlammmasse im BB in Beziehung gesetzt

$\theta_X$  Schlammalter in (d), 3 – 15 d  
 $\dot{U}_B$  spezifische Schlammproduktion pro umgesetzt BSB<sub>5</sub> (kg TS / (kg BSB<sub>5</sub> · d))  
 $SP$  Schlammproduktion (kg TS / d)  
 $SP = \dot{U}_B \cdot Q \cdot BSB_{5,ZU}$

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2008 – Seite 36

## Nährstoffbedarf von Mikroorganismen

Stickstoff  $i_N = 0.04 - 0.05$  (g N / g BSB<sub>5</sub>)  
 Phosphor  $i_P = 0.01 - 0.02$  (g P / g BSB<sub>5</sub>)

### → Elimination von Nährstoffen

Abwasserzusammensetzung im Zulauf 300 (g BSB<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>)  
 60 (g TKN/m<sup>3</sup>)  
 12 (g TP/m<sup>3</sup>)

Ablaufwerte bei 100%-igem Abbau von BSB<sub>5</sub>

$$\text{TKN}_{\text{Ab}} = \frac{\text{TKN}_{\text{ZU}} - i_N \cdot \text{BSB}_{5,\text{ZU}}}{46,5} = \frac{60 - 0.045 \cdot 300}{46,5} = 1,1 \text{ (g N / m}^3\text{)}$$

$$\text{TP}_{\text{Ab}} = \text{TP}_{\text{ZU}} - i_P \cdot \text{BSB}_{5,\text{ZU}} = 12 - 0.015 \cdot 300 = 7,5 \text{ (g P / m}^3\text{)}$$

### → Weitergehende Verfahren für Nährstoffelimination !

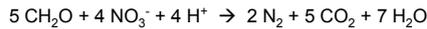
Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 37

## Dimensionierungswerte

Anlagentyp	Keine Nitrifikation	Nitrifikation >10°C	Denitrifikation	aerobe Schlammstabilisierung
$\theta_X$	< 20'000 EW	5	10	12 – 18
	> 100'000 EW	4	8	10 – 16
$B_{TS}$ (kg BSB <sub>5</sub> / (kg TS · d))	0,30	0,15	0,12	0,05
$\dot{U}_{S_B}$ (kg TS / kg BSB <sub>5</sub> )	0,9 – 1,2	0,8 – 1,1	0,7 – 1,0	1,0

Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 38

## Denitrifikation

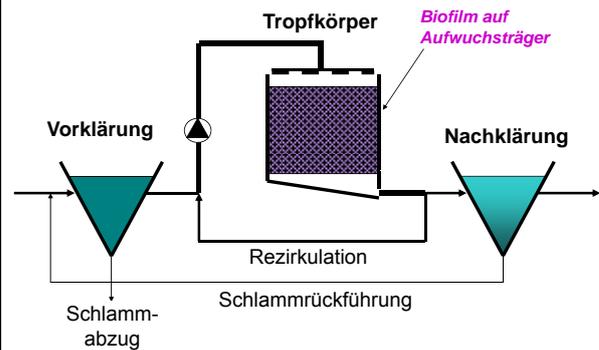


- Milieubedingungen:
  - Kein gelöster Sauerstoff
  - Ausreichend organische C-Quellen

Verfahrensvariante	Verwirklichung der DN durch
Nachgeschaltete DN	Zonen (+ externe C-Quelle)
Vorgeschaltete DN	Zonen (Rückführung des NO <sub>3</sub> )
Simultane DN	Zonen (Umlaufbecken, teilweise belüftet)
intermittierende DN	Zeiten
Kaskaden-DN	Zonen
...	

Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 39

## Tropfkörperverfahren



Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 40

## Dimensionierung des Tropfkörpers

### Flächenbelastung

$$B_A = \frac{Q \cdot \text{BSB}_{5,\text{ZU}}}{a \cdot V_{TK}}$$

$B_A$  Flächenbelastung der Kunststofffolien (g BSB<sub>5</sub> / (m<sup>2</sup>·d))  
 ohne Nitrifikation 4 (g BSB<sub>5</sub> / (m<sup>2</sup>·d)), mit Nitri. 2 (g BSB<sub>5</sub> / (m<sup>2</sup>·d))

$Q$  Zufluss zum Tropfkörper (m<sup>3</sup>/d)

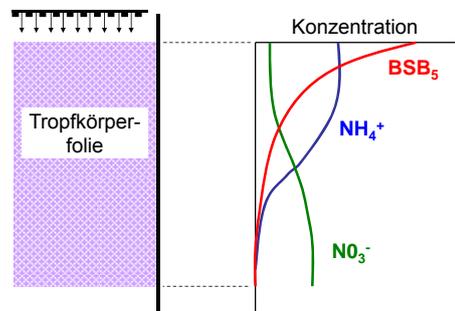
$\text{BSB}_{5,\text{ZU}}$  Konzentration an BSB<sub>5</sub> im Zufluss (kg BSB<sub>5</sub> / m<sup>3</sup>)

$V_{TK}$  Volumen des Tropfkörpers, mit Folien (m<sup>3</sup>)

$a$  spezifische Oberfläche der Folien (m<sup>2</sup> Folien / m<sup>3</sup> TK)  
 100 – 140 – 180 (m<sup>2</sup> Folien / m<sup>3</sup> TK)

Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 41

## Stoffabbau im Tropfkörper



### → C-Abbau und Nitrifikation laufen räumlich getrennt ab

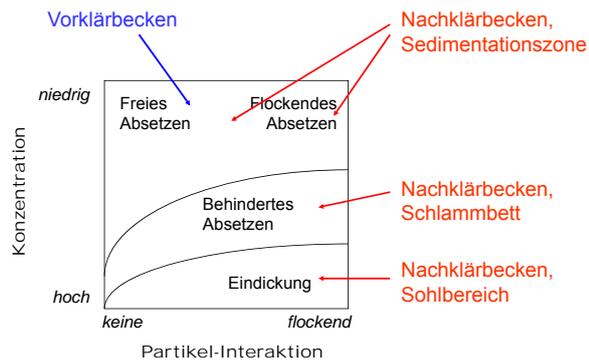
Siedungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 42

# 5.5 Nachklärung

## Aufgaben des Nachklärbeckens

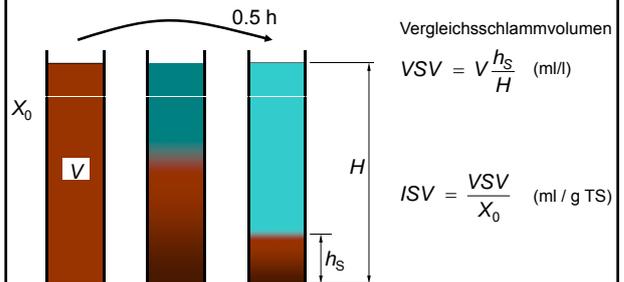
- Trennen** von Schlamm und gereinigtem Abwasser durch **Sedimentation**
- klären** → möglichst niedrige Ablaufkonzentration
- Speichern** des aus dem Belebungsbecken verlagerten Schlamms, insbesondere bei Regenwetter
- Eindicken** → möglichst hohe Rücklaufkonzentration
- Bauformen**
  - Rund, von innen nach außen durchströmt
  - Rechteckig, längs durchströmt
  - Rechteckig, quer durchströmt
  - Vertikal, von unten nach oben durchströmt

## Sedimentation

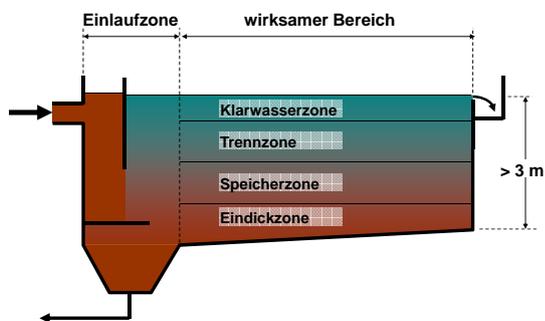


## Schlammindex

**Schlammindex ISV** ist ein Maß für die Voluminosität und die Absetzeigenschaften



## Nachklärbecken, idealisierte Funktionen



ATV A131 (2000)

## Dimensionierung der Oberfläche von NKB

### Flächenbeschickung

$$q_A = \frac{q_{SV}}{VSV} = \frac{q_{SV}}{TS_{BB} \cdot ISV}$$

### Schlammvolumenbeschickung $q_{SV} = q_A \cdot TS_{BB} \cdot ISV$

#### Grenzwerte

	$q_A$ (m/h)	$q_{SV}$ (l/(m <sup>2</sup> ·h))
Horizontal durchströmte NKB	1,6	500
Vertikal durchströmte NKB	2,0	650

ATV A131 (2000)

### Dimensionierung der Wassertiefe von NKB

Klarwasserzone  $h_1 = 0,5 \text{ m}$

Trennzone  $h_2 = \frac{0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV)}{1 - VSV/1000}$

Speicherzone  $h_3 = \frac{1,5 \cdot 0,3 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV)}{500}$

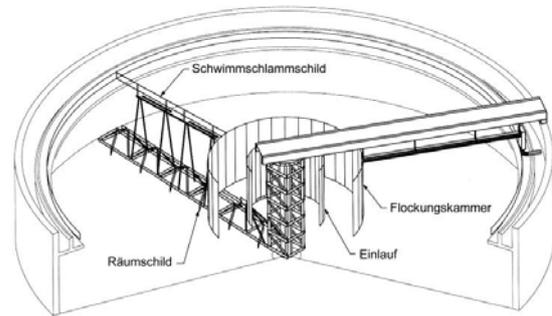
Eindickzone  $h_4 = \frac{TS_{BS} \cdot q_A \cdot (1 + RV) \cdot t_E}{TS_{BS}}$   $TS_{BS} = \frac{1000}{ISV} t_E^{1/3}$

$TS_{BS}$  Konzentration im Bodenschlamm

$t_E$  Eindickzeit 1,5 – 2,0 ohne Nitrifikation  
 1,0 – 1,5 mit Nitrifikation  
 2,0 – (2,5) mit Denitrifikation

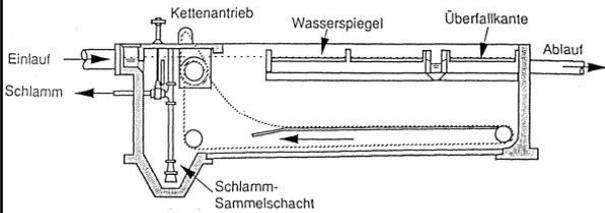
ATV A131 (2000)

### Rundbecken

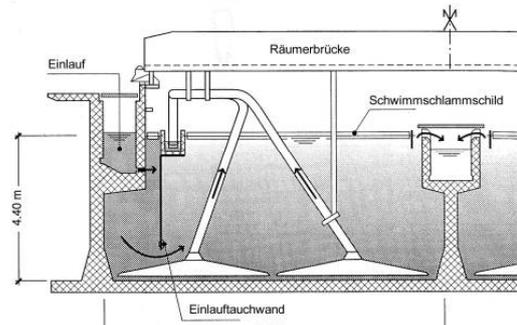


mit Schild- oder Saugräumer

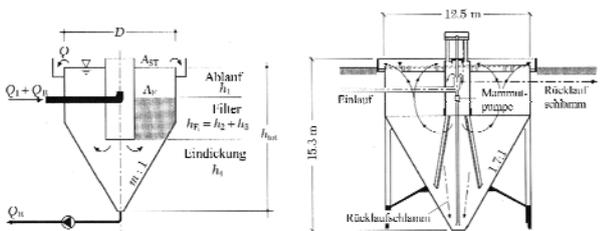
### Längs durchströmtes Rechteckbecken mit Kettenräumer



### Quer durchströmtes Rechteckbecken mit Saugräumer



### Vertikal durchströmtes Becken



## 5 Abwasserreinigung

### 5.6 Schlammbehandlung

## Zusammensetzung des Klärschlammes

→ Die aus dem Abwasser entnommenen Stoffe, die nicht abgebaut werden, finden sich im Klärschlamm wieder

- Vorwiegend Wasser
- Mikroorganismen
- Viren, Krankheitserreger, allg. Keime
- Organische Feststoffe, die sich biologisch verändern lassen
- Organische Verbindungen, die sich im Schlamm einlagern
- Schwermetalle
- Mikroverunreinigungen, Arzneimittelrückstände, endokrin wirksame Substanzen

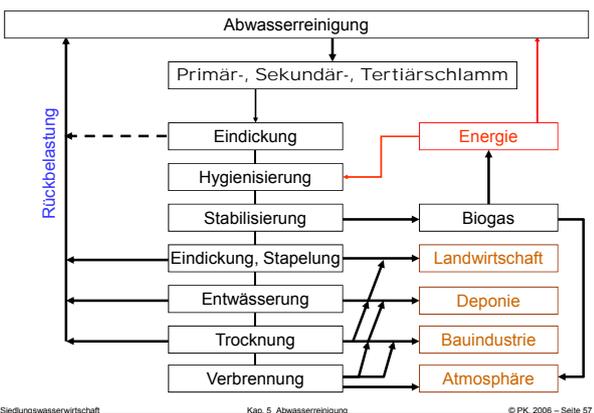
Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 55

## Ziele der Schlammbehandlung

- |  |  |
|--|--|
| <b>Volumenreduktion</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eindickung</li> <li>• Entwässerung</li> </ul>   |
| <b>Abtöten pathogener Keime</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Verwendung in der Landwirtschaft oder als Kompost</li> </ul>  |
| <b>Stabilisierung organischer Substanzen</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasproduktion</li> <li>• Verringerung der Trockensubstanz</li> <li>• Verbesserung der Entwässerung</li> <li>• Reduktion der Geruchsentwicklung</li> </ul> |
| <b>Rückgewinnung von Wertstoffen</b>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nährstoffe, Dünger</li> <li>• Humus</li> <li>• Biogas</li> </ul>  |

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 56

## Übersicht aus Gujer (1999)



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 57

## Schwerkraft-Eindickung

gravitative Trennung ähnlich einem Absetzbecken

zusätzlich Krählwerk zur Förderung der Flockung und zur Abführung von Schlammwasser und Gasblasen nach oben

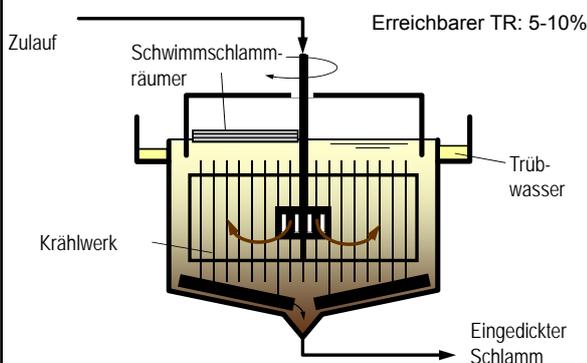
Trübstoffarmes Schlammwasser wird vor dem Vorklärbecken - oder bei hohem Schwimmstoff- oder Fettanteil vor dem Sandfang - in die Abwasserreinigung zurückgeführt

eingedickter Schlamm wird aus dem Trichter in die Schlammbehandlung geleitet

zur effizienten Eindickung sollte Gasblasenbildung vermieden werden

Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 58

## Schwerkraft-Eindicker



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 59

## Maschinelle Schlammeeindickung

Scheibeneindicker

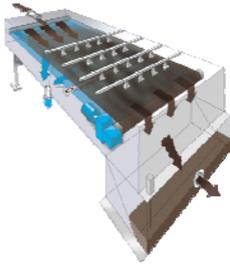
Erreichbarer TR: 6-8%



Siedlungswasserwirtschaft Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 60

## Maschinelle Schlammeindickung

„Drainbelt“ Fa. Huber  
erreichbarer TR: 6-8%

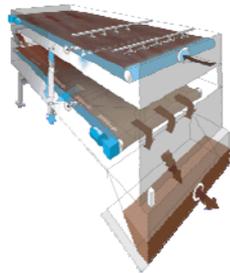


Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

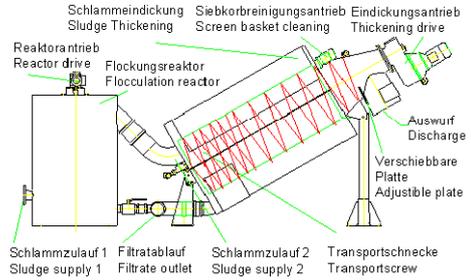
© PK, 2006 – Seite 61

„Twinbelt“ Fa. Huber  
erreichbarer TR: 6-8%



## Maschinelle Schlammeindickung

### Schneckeneindicker



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK, 2006 – Seite 62

## Anaerobe mesophile Schlammstabilisierung

### Faulreaktor

Erwärmung auf 33 – 37°C → Prozesse laufen schneller ab  
Inhalt des Faulreaktors wird umgewälzt → Schlamm und Wasser haben eine ähnliche Aufenthaltszeit

### Stapelbehälter

nicht geheizt → wenig biologische Prozesse  
nicht umgewälzt → Trennung von Schlamm und Faulwasser, das in die Abwasserreinigung geleitet wird

→ **Rückbelastung durch Trübwasser beachten, Größenordnung 10% der N-Belastung**

Eindickung

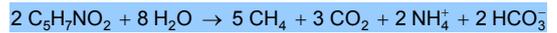
Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK, 2006 – Seite 63

## Prozesse im Faulbehälter

### Anaerober Abbauprozess



Abbau organischer Substanz um ca. 50%

**Biogasproduktion:** 63% CH<sub>4</sub> (Methan)  
35% CO<sub>2</sub>  
2% andere Gase (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S)

→ **Blockheizkraftwerk (Elektr. Energie + Wärme)**

Organisch gebundener Stickstoff wird in NH<sub>4</sub><sup>+</sup> umgewandelt

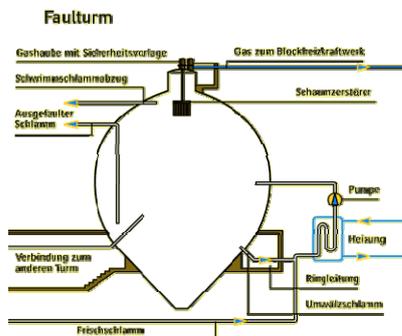
→ **N-Rückbelastung der Abwasserreinigungsanlage**

Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK, 2006 – Seite 64

## Schema eines Faulturms (Ei-Form)



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK, 2006 – Seite 65

## Faulturm Bauausführung



Siedlungswasserwirtschaft

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK, 2006 – Seite 66

## Kennwerte des Faulbehälters

### Mittlere Verweilzeit des Schlammes

Kleine Anlagen, schlecht durchmischt	< 30 d
Mittlere Anlagen mit Umwälzung	20 d
Große Anlagen mit Umwälzung	12 – 16 d

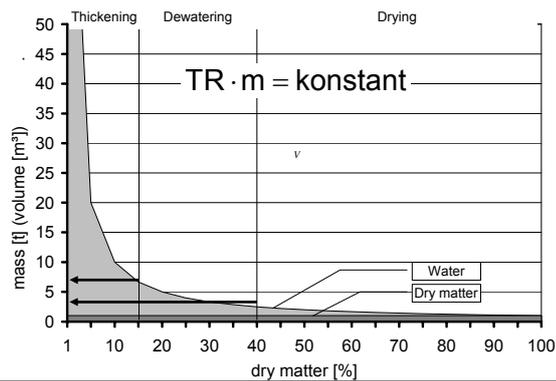
Biogasprod. bez. Abbau org. Substanz      0,9 m<sup>3</sup> / kg GV<sub>abgeb</sub>

Abbau org. Substanz      40 – 55%

## Aerobe simultane Schlammstabilisierung

- Keine Vorklärung → kein Primärschlamm
- Hohes Schlammalter  $\theta_x$  ca. 25 d ( $B_{TS} \leq 0,05$  kg BSB<sub>g</sub>/(kg TS d))
- Das Belebungsbecken wird wesentlich größer als bei einer Anlage mit anaerober Schlammstabilisierung
- Keine Biogasproduktion, erhöhter Energieeinsatz für Belüftung
- Zusätzlich ev. Stapelbehälter oder Trockenbeete, die zur Eindickung genutzt werden können
- Stabiler, einfacher Betrieb

## Volumenreduzierung



## Volumenreduktion

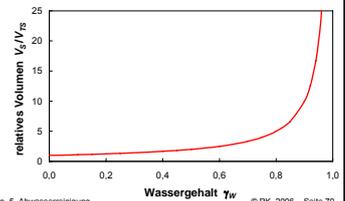
### Wassergehalt im ausgefauten Schlamm > 95% !

→ Verminderung des Wassergehaltes und des Volumens

### Schlammvolumen

$$V_S = V_{TS} + V_W = V_{TS} + \gamma_W V_S \quad \text{mit Wassergehalt} \quad \gamma_W = \frac{V_W}{V_S}$$

$$\rightarrow V_S = \frac{1}{1 - \gamma_W} V_{TS}$$



→ Kein linearer Zusammenhang !

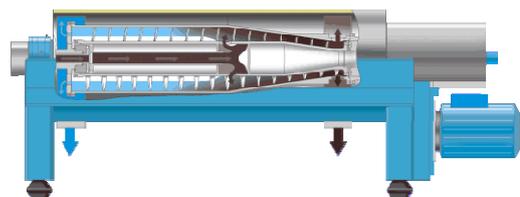
## Entwässerung

Konditionierung mit Flockungshilfsmitteln (Polyelektrolyte) zur effizienteren Entwässerung

Verfahren	Betrieb	Methode	$\gamma_W$	$\gamma_{TS}$
Dekanter	Kontinuierlich	Zentrifuge	> 0,7	< 0,3
Kammerfilterpresse (große Anlagen)	Batch-weise	Hydraulische Pressen bringen Druck auf	bis 0,6	bis 0,4
Bandfilterpresse (kleine Anlagen)	Kontinuierlich	Zuerst Unterdruck, dann „kneten“ über Umlenkrollen	bis 0,7	bis 0,3

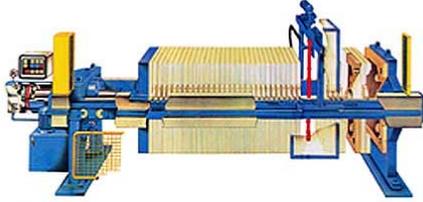
## Maschinelle Schlammentwässerung

Dekanterzentrifuge      Erreichbarer TR: 25 – 35 %  
kontinuierliche Beschickung möglich



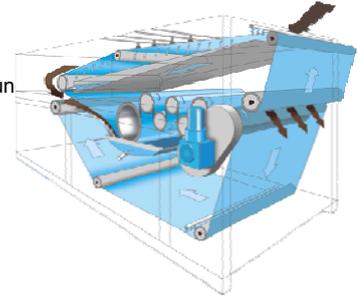
## Maschinelle Schlamm entwässerung

Kammerfilterpresse: Erreichbarer TR: 25 – 40 %  
diskontinuierliche Beschickung



## Maschinelle Schlamm entwässerung

Siebbandpresse  
Erreichbarer TR: bis 30%  
Kontinuierliche Beschickung möglich  
Relativ wartungsarm und robust



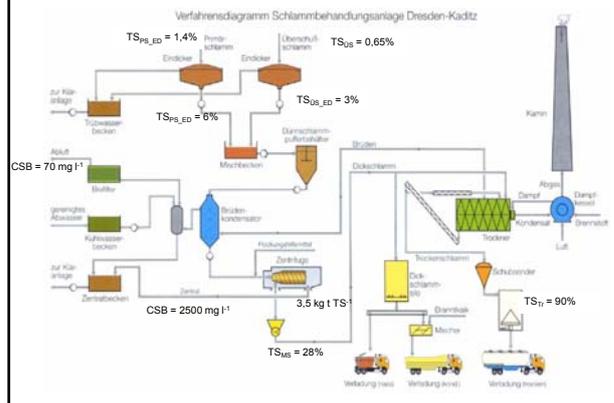
## Trocknung

→ Verdampfung des Wassergehaltes  
Teiltrocknung →  $\gamma_{wv}$  0,3 bis 0,4 (60 – 70% TS)  
Volltrocknung →  $\gamma_{wv}$  bis < 0,1 (> 90% TS)

Kontakt-trocknung durch beheizte Flächen  
Konvektionstrocknung durch heiÙe Luft im Gegenstrom  
Zuluft ca. 600°C, Abluft ca. 300°C (Imhoff, 1999)

Einsatz nur für große Kläranlagen wirtschaftlich  
Lagerung ist kritisch: Brand, Staubexplosion  
In Granulatform als Dünger einsetzbar

## Schema Schlammbehandlung DD-Kaditz



## Verwertung in der Landwirtschaft

→ Recycling der Nährstoffe, aus ausgefautem Schlamm

Schlammbehandlung	Düngerart*
Flüssiger Klärschlamm	P- und N-Dünger
Entwässertes Klärschlamm	P-Dünger, N als Depot
Getrockneter Klärschlamm	P-Dünger

\* Beschränkung der Überdüngung durch Vorgabe  $\leq 5 (t_{m,TR}/3a)$

### Probleme

- Generell Akzeptanz
- Schwermetalle
- Mikroschadstoffe: Arzneimittelrückstände, endokrin wirksame Substanzen

## Kompostierung

→ Aerober biologischer Abbau organischer Inhaltsstoffe

Voraussetzungen    Stabilisierung  
                           Entwässerung  
                           Hygienisierung

### Verfahren

- Strukturmittel: gehäckselter(s) Strauchschnitt, Stroh, Holz Sägemehl, -späne
- Mischung ca. 1:1
- Wassergehalt des Rottegemisches ca. 0,65

→ Anforderungen sind höher als an Klärschlammausbringung !

## Verbrennung

Nutzung des Energieinhalts, aber nicht der Nährstoffe

### Monoverbrennungsanlagen (d.h. ohne Zuschlagsstoffe)

- bei ausreichend hohem Heizwert des Schlammes → höherer Heizwert, wenn dem Schlamm kein Biogas entzogen wurde
- bei ausreichendem Wassergehalt (keine Volltrocknung)
- Wirbelschichtofen Verbrennung bei 800 – 950°C im in Schwebelagen gehaltenen Sandbett
- Teuer!

### Mitverbrennung

- in Kohlekraftwerken
- in Müllverbrennungsanlagen
- in Zementwerken, Asche wird in den Werkstoff eingebunden

Siedungswasserwirtschaft

Kap. 5. Abwasserreinigung

© FK, 2006 – Seite 79

## Aktuelle Entsorgungsstruktur in Deutschland

Klärschlammanfall biol. Abwasserbehandlung in kommunalen Kläranlagen: 2,1 Mio. t TS

Entsorgungsweg	Anteil
Thermische Verwertung	52,5%
Landwirtschaftliche Verwertung	28,6%
Rekultivierung, Kompost	16,1%
Deponie	0,1%
Sonstige	2,7%

Stand: 2008

Quelle: [www.destatis.de](http://www.destatis.de)

Siedungswasserwirtschaft