



5 Abwasserreinigung

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

5 Abwasserreinigung

5.1 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

Mindestanforderungen an Kläranlagenablauf

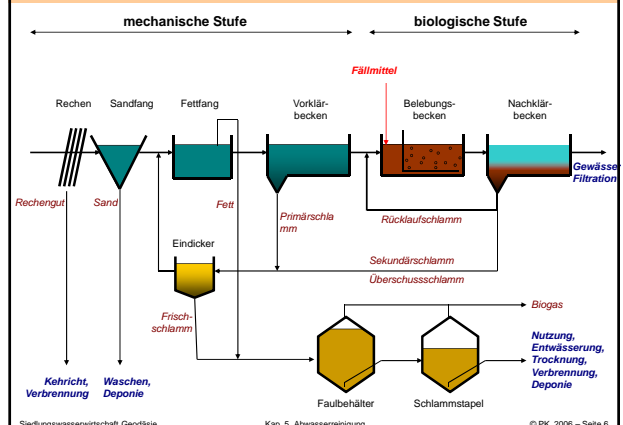
Größenklasse	CSB (mg/l)	BSB ₅ (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	N* (mg/l)	P _{ges} (mg/l)
1 < 1000 EW 60 kg BSB ₅ / d	150	40	-	-	-
2 < 5000 EW 300 kg BSB ₅ / d	110	25	-	-	-
3 < 10000 EW 600 kg BSB ₅ / d	90	20	10	-	-
4 < 100000 EW 6000 kg BSB ₅ / d	90	20	10	18	2
5 > 100000 EW 6000 kg BSB ₅ / d	75	15	10	13	1

* N = Summe von NH₄⁺, NO₃⁻, und NO₂⁻

5 Abwasserreinigung

5.2 Aufbau einer Kläranlage

Aufbau einer Abwasserreinigungsanlage



Bsp. KA Bottrop



5 Abwasserreinigung

5.3 Mechanische Reinigung

Rechengutanfall in kommunalen Kläranlagen

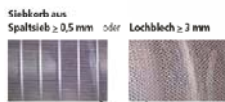
Rechenart	Durchlassweite (mm)	Spezifischer Anfall (m³/(E·a))	
		ungepresst (8% TS)	gepresst (25% TS)
Grobrechen	50	0,003	0,001
Feinrechen	15	0,012	0,004
Sieb	3	0,022	0,007

Schwankungsbereich: -50% bis +100%

Harken-Umlaufrechen

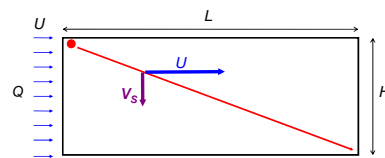


Siebschnecke



Hans Huber AG, Typ R09

Sedimentation: Flächenbeschickung q_A



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

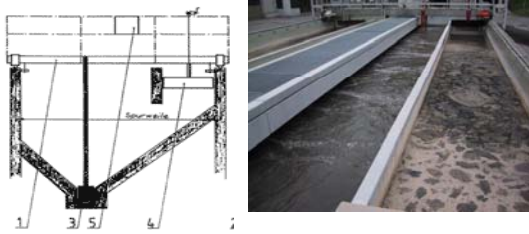
Absetzbedingung $\frac{L}{U} \geq \frac{H}{V_s}$

$$V_s \geq \frac{U \cdot B \cdot H}{L \cdot B} = \frac{Q}{A_{NB}} = q_A \rightarrow V_s \geq q_A$$

(Hazen, 1904)

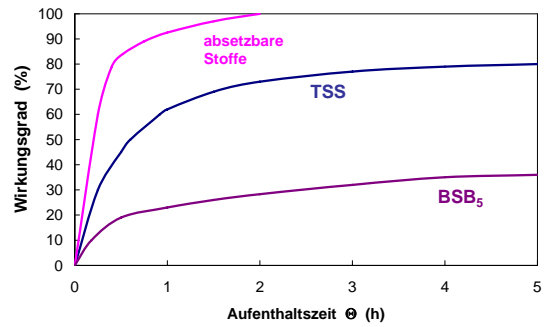
→ unabhängig von H !

Belüfteter Langsandfang



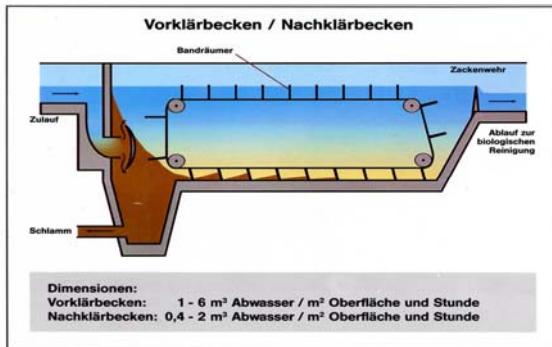
Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 13

Wirkungsgrad im Vorklärbecken



Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 14

Bsp. rechteckiges Absetzbecken



Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 15

5 Abwasserreinigung

5.4 Biologische Verfahren

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 16

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

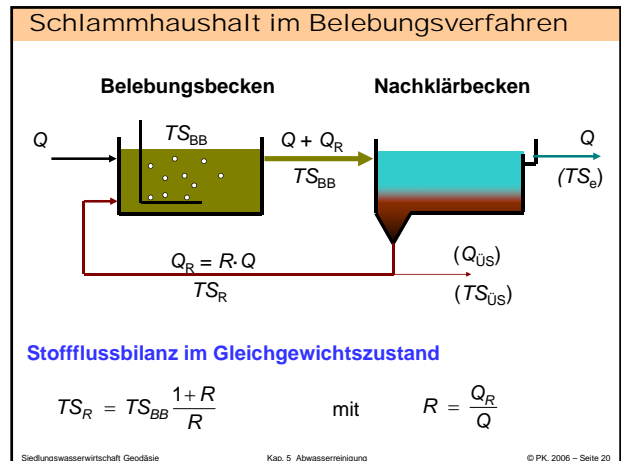
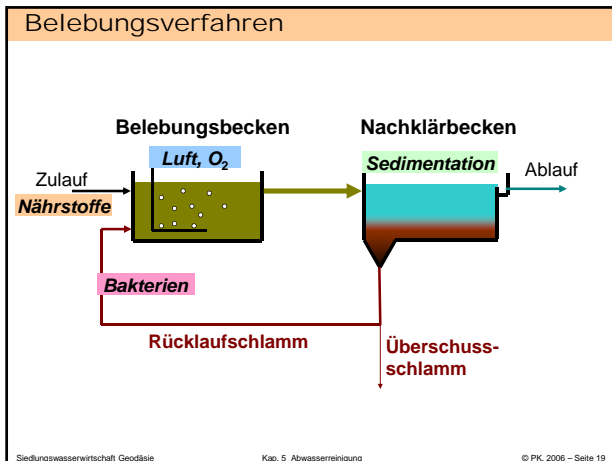
→ Spezifische Oberfläche erhöhen

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 17

Wesentliche mikrobiologische Prozesse

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

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 18



Fließschema Belebungsverfahren

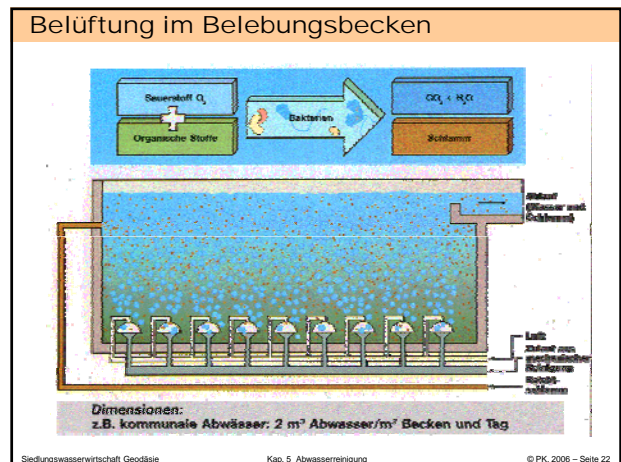
Hydraulische Verdrängung des Schlamm-Abwasser-Gemisches in das Nachklärbecken → der Schlamm muss ins Belebungsbecken zurückgeführt werden

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



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 BSB₅-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 BSB₅ im Zufluss (kg BSB₅ / m³)
 V_{BB} Volumen des Belebungsbeckens (m³)
 TS_{BB} Schlammkonzentration im Belebungsbecken, gemessen als TSS (kg TSS / m³)

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

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

θ_x Schlammalter in (d), 3 – 15 d
 \dot{U}_B spezifische Schlammproduktion pro umgesetzt BSB₅ (kg TS / (kg BSB₅ · d))
 SP Schlammproduktion (kg TS / d)
 $SP = \dot{U}_B \cdot Q \cdot BSB_{5,ZU}$

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 24

Nährstoffbedarf von Mikroorganismen

Stickstoff $i_N = 0.04 - 0.05$ (g N / g BSB₅)
 Phosphor $i_P = 0.01 - 0.02$ (g P / g BSB₅)

→ **Elimination von Nährstoffen**

Abwasserzusammensetzung im Zulauf 300 (g BSB₅/m³)
60 (g TKN/m³)
12 (g TP/m³)

Ablaufwerte bei 100%-igem Abbau von BSB₅

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

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

→ **Weitergehende Verfahren für Nährstoffelimination !**

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

Weitergehende Verfahren zur Nährstoffelimination

- **Nitrifikation:** $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}^+$
 - Chemo-litho-autotroph wachsende Bakterien
 - Sehr langsames Wachstum → hohes Schlammalter erforderlich (> 5 Tage)
- **Denitrifikation:** $5 \text{CH}_2\text{O} + 4 \text{NO}_3^- + 4 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{N}_2 + 5 \text{CO}_2 + 7 \text{H}_2\text{O}$
 - Heterotrophe Bakterien
 - Voraussetzung: org. C-Quellen, kein gelöstes O₂
- **P-Fällung:** $\text{PO}_4^{3-} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{FePO}_4$
 - Dosierung von Eisen- oder Aluminium-Salzen
 - Überstöchiometrisch: ca. 1,5 Mol Fe³⁺/Mol PO₄³⁻
 - Abzug des gefällten P mit Überschussschlamm

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK JT, 2011 – Seite 26

5 Abwasserreinigung

5.5 Nachklärung

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK 2006 – Seite 27

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

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK 2006 – Seite 28

Schlammindex

Schlammindex ISV ist ein Maß für die Voluminosität und die Absetzeigenschaften

Vergleichsschlammvolumen

$$\text{VSV} = V \frac{h_s}{H} \text{ (ml/l)}$$

$$\text{ISV} = \frac{\text{VSV}}{X_0} \text{ (ml / g TS)}$$

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

Nachklärbecken, idealisierte Funktionen

ATV A131 (2000)

Siedlungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK 2006 – Seite 30

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 ² ·h))
Horizontal durchströmte NKB	1,6	500
Vertikal durchströmte NKB	2,0	650

ATV A131 (2000)

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 31

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

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

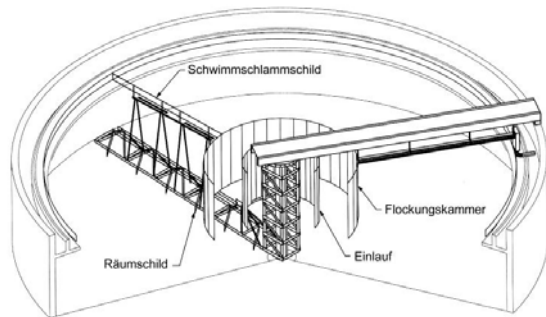
ATV A131 (2000)

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 32

Rundbecken



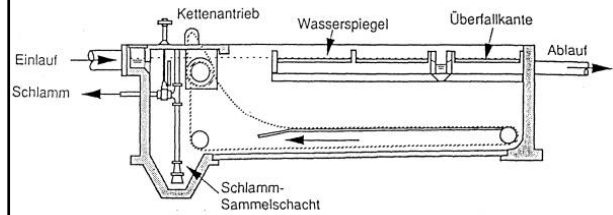
mit Schild- oder Saugräumer

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 33

Längs durchströmtes Rechteckbecken mit Kettenräumer

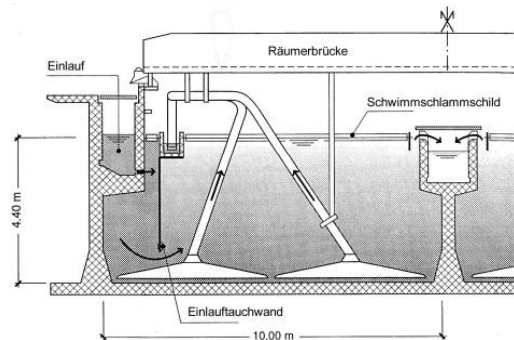


Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 34

Quer durchströmtes Rechteckbecken mit Saugräumer



Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 35

5 Abwasserreinigung

5.6 Schlammbehandlung

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie

Kap. 5 Abwasserreinigung

© PK 2006 – Seite 36

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

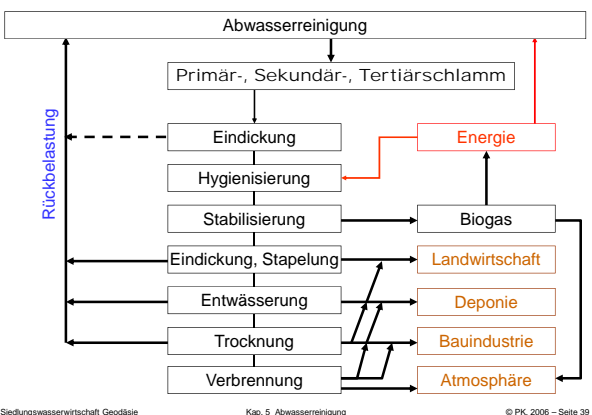
Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 37

Ziele der Schlammbehandlung

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

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

Übersicht aus Gujer (1999)



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

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

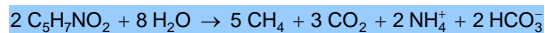
→ aufgepasst mit Steuerung der Rückbelastung, Größenordnung 10% der N-Belastung

Eindickung

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

Prozesse im Faulbehälter

Anaerober Abbauprozess



Abbau organischer Substanz um ca. 50%

Biogasproduktion: 63% CH₄ (Methan)
35% CO₂
2% andere Gase (N₂, H₂, H₂S)

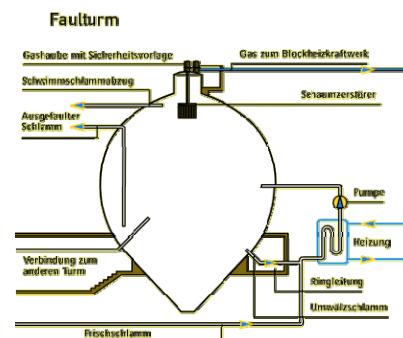
→ Verstromung für Prozesswärme

Organisch gebundener Stickstoff wird in NH₄⁺ umgewandelt

→ N-Rückbelastung der Abwasserreinigungsanlage

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

Schema eines Faulturms (Ei-Form)



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

Faulturm Bauausführung



Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 43

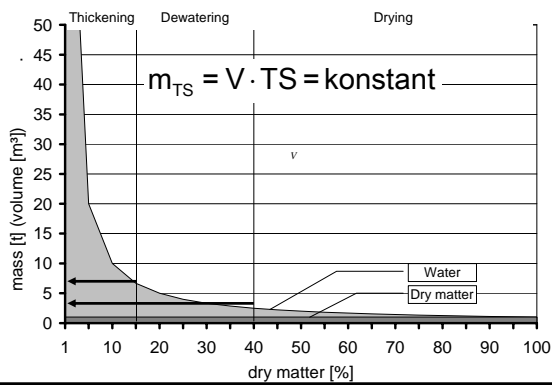
Kennwerte des Faulbehälters

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 ³ / kg GV _{abgeb}
Abbau org. Substanz	40 – 55%

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 44

Volumenreduzierung

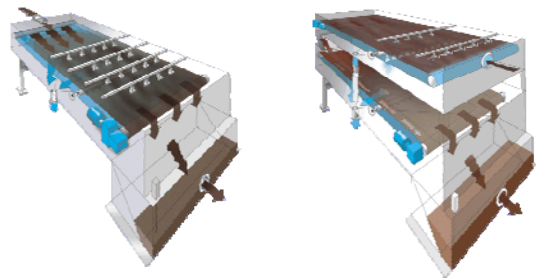


Seite 45

Maschinelle Schlammeindickung

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

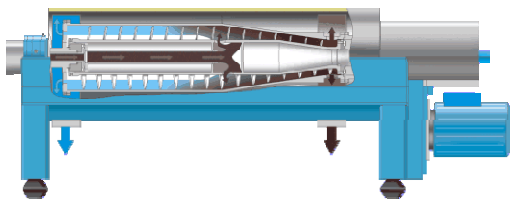
„Twinbelt“ Fa. Huber
erreichbarer TR: 6-8%



Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 46

Maschinelle Schlamm entwässerung

Dekanterzentrifuge Erreichbarer TR: 25 – 35 %
kontinuierliche Beschickung möglich



Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 47

Verwertung in der Landwirtschaft

→ Recycling der Nährstoffe, aus ausgefaultem 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 $\leq 5 (t_{mT}/3a)$

Probleme

- Generelle Akzeptanz
- Schwermetalle, organische Spurenstoffe
- Rechtlicher Regelungsrahmen:
AbfKlärV, DüMV, freiwillige weitergehende Anforderungen

Siedungswasserwirtschaft Geodäsie Kap. 5 Abwasserreinigung © PK, 2006 – Seite 48

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

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 Schwebelag gehaltenen Sandbett
- Teuer!

Mitverbrennung

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