

BEMESSUNG UND GESTALTUNG VON NACHKLÄRBECKEN

Resch H.

Zusammenfassung

Die Bemessung der Nachklärbecken von Belebungsanlagen nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 beruht auf einer modellhaften Einteilung des Nachklärraumes mit übereinanderliegenden Funktionsräumen für die verschiedenen Aufgaben der Nachklärung. Angesichts stetig steigender Ablaufforderungen kommt dabei dem Feststoffrückhalt und somit der Trennschärfe von belebtem Schlamm und biologisch gereinigtem Abwasser herausragende Bedeutung zu.

Die Bemessungsregeln des Arbeitsblattes werden dargelegt und insbesondere die limitierende Wirkung der Nachklärung für Betrieb und Bemessung des zugehörigen Belebungsbeckens erläutert. Ergänzend wird die spezifische Raumbeschickung als Bemessungsgröße herangezogen. Hinweise zur Gestaltung helfen bei der Einhaltung der verfahrenstechnischen Ziele.

1. AUFGABEN UND BEDEUTUNG DER ABLAUFBESCHAFFENHEIT

Belebungsbecken und Nachklärbecken bilden beim Belebungsverfahren eine Betriebseinheit und beeinflussen sich gegenseitig. Nachklärbecken haben dabei die vorrangige Aufgabe, den belebten Schlamm vom biologisch gereinigten Abwasser zu trennen.

Bemessung, Gestaltung und Ausrüstung der Nachklärbecken sind so vorzunehmen, daß folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Trennung des belebten Schlammes vom gereinigten Abwasser durch Flokkung und Absetzen
- Eindicken und Räumen des abgesetzten belebten Schlammes zur Rückführung in das Belebungsbecken
- Zwischenspeichern von belebtem Schlamm, der infolge eines erhöhten Zuflusses, vor allem bei Regen, aus dem Belebungsbecken verdrängt wird
- Vermeidung von Strömungsverhältnissen, die zu Schlammabtrieb führen.

Um diese Aufgaben zuverlässig bewältigen zu können, bedarf es eines ausreichend großen Reaktionsraumes, der modellhaft in verschiedene Wirkräume zur Erfüllung der gestellten Anforderungen eingeteilt werden kann.

Die Qualität eines Nachklärbeckens wird in erster Linie nach der Wirksamkeit des Feststoffrückhaltes beurteilt. Bis vor kurzem galt die Bemessung für den Ablauf-Feststoffgehalt $TS_e \leq 30 \text{ mg/l}$ als allgemein anerkannte Regel der Technik; inzwischen wird jedoch überwiegend die Einhaltung von $TS_e \leq 20 \text{ mg/l}$ gefordert (ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG, 1991). Noch kleinere Werte werden zwar im Betrieb als Mittelwerte meist eingehalten, können jedoch als Überwachungswerte nicht zuverlässig garantiert werden.

Die Bedeutung des Feststoffabtriebes aus der Nachklärung veranschaulicht der Zusammenhang mit anderen Parametern (RESCH, 1987; ATV, 1991; ADDICKS, 1993). Eine TS_e -Zunahme um 1 mg/l entspricht demnach Zunahmeraten von

| | |
|------------------|------------------|
| 0,3 - 1,0 mg/l | BSB ₅ |
| 0,8 - 1,6 mg/l | CSB |
| 0,08 - 0,10 mg/l | N _{ges} |
| 0,02 - 0,04 mg/l | P _{ges} |

Mit Erreichen des Grenzwertes $TS_e = 20 \text{ mg/l}$ resultieren hieraus feststoffbedingte Ablaufanteile von

| | |
|------------------|------------------|
| 6,0 - 20,0 mg/l | BSB ₅ |
| 16,0 - 32,0 mg/l | CSB |
| 1,6 - 2,0 mg/l | N _{ges} |
| 0,4 - 0,8 mg/l | P _{ges} |

Diese Werte zeigen, daß geforderte Ablaufqualitäten bezüglich des BSB₅ bereits feststoffbedingt ausgeschöpft sein können. Beim Phosphor müssen gelöste Anteile sehr klein gehalten werden, wenn Ablaufwerte unter 2 mg/l verlangt werden. Sind strengere Anforderungen zu erfüllen, so müssen zusätzliche Reinigungsschritte (Filtration, Mikrosiebung o.ä.) nachgeschaltet werden.

2. BEMESSUNGSREGELN NACH DEM ATV-ARBEITSBLATT A 131

2.1 Grundlagen und Anwendungsgrenzen

Nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 (ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG, 1991) gelten folgende Anwendungsgrenzen bei der Bemessung von Nachklärbecken:

- Beckenlänge ≤ 60 m bzw. Durchmesser ≤ 50 m bei horizontal durchströmten Becken
- Schlammindex ISV ≤ 180 ml/g
- Vergleichsschlammvolumen VSV ≤ 600 ml/l bzw. l/m^3
- Rücklaufschlammfluß $Q_{RS} \leq 0,75 \cdot Q_m$ bei horizontal durchströmten bzw. $Q_{RS} \leq 1,0 \cdot Q_m$ bei vertikal durchströmten Becken.

Wenn keine betrieblichen Erfahrungen vorliegen, ist der Schlammindex in Abhängigkeit von der Abwasserzusammensetzung und von der Bemessungsschlammbelastung B_{TS} des Belebungsbeckens zu wählen:

| | Schlammindex ISV in ml/g | |
|--|--------------------------|------------------------|
| | bei $B_{TS} > 0,05$ | bei $B_{TS} \leq 0,05$ |
| Abwasser mit geringen org.-gewerbl. Anteilen | 100 - 150 | 75 - 100 |
| Abwasser mit hohen org.-gewerbl. Anteilen | 150 - 180 | 100 - 150 |

Die Bemessung der Nachklärung ist für den Mischwasserzufluß Q_m durchzuführen. Dieser beträgt je nach örtlichen Festlegungen und Abflußsteuerung des Kanalnetzes normalerweise

$$Q_m = 2 \cdot Q_t \quad \text{oder}$$

$$Q_m = 2 \cdot Q_s + Q_t \quad \text{in } m^3/h.$$

2.2 Beckenoberfläche

Die erforderliche Oberfläche des Nachklärbeckens ergibt sich für den maximalen Abwasserzufluß Q_m und die zulässige Flächenbeschickung q_A zu

$$A_{NB} = Q_m / q_A \quad \text{in m}^2$$

Die Flächenbeschickung q_A errechnet sich aus der zulässigen Schlammvolumenbeschickung q_{SV} und dem Vergleichsschlammvolumen V_{SV} :

$$q_A = q_{SV} / V_{SV} = q_{SV} / (TS_{BB} \cdot ISV) \quad \text{in m}^3/\text{h}$$

Das Vergleichsschlammvolumen V_{SV} ist dabei das Produkt aus dem Trockensubstanzgehalt TS_{BB} und dem Schlammindex ISV des aus dem Belebungsbecken in das Nachklärbecken eingeleiteten belebten Schlammes.

Um den geforderten Trockensubstanzgehalt $TS_e \leq 20 \text{ mg/l}$ im Ablauf horizontal durchströmter Nachklärbecken sicherzustellen, ist nach dem Arbeitsblatt A 131 eine Schlammvolumenbeschickung von

$$q_{SV} \leq 450 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

einzuhalten.

Für vorwiegend vertikal durchströmte Nachklärbecken gilt bei Ausbildung eines geschlossenen Flockenfilters bzw. bei gut flockbarem belebtem Schlamm:

$$q_{SV} \leq 600 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

Zusätzlich ist darauf zu achten, daß die Flächenbeschickung bei vorwiegend horizontal durchströmten Nachklärbecken $1,6 \text{ m}^3/\text{h}$ und bei vorwiegend vertikal durchströmten Nachklärbecken $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$ nicht übersteigt. Gemäß Definition beträgt bei vertikal durchströmten Becken die vertikale Komponente des Abwasserfließweges von der Einlaufebene bis zur Ablaufrinne eines Nachklärbeckens mehr als die Hälfte der Horizontalkomponente.

Die maßgebende Beckenoberfläche ist bei horizontal durchströmten Nachklärbecken die Wasseroberfläche und abweichend davon bei vertikal durchströmten Nachklärbecken die Grundrißfläche in halber Höhe zwischen Einlaufebene und Wasserspiegel.

2.3 Rücklaufschlamm und Räumsystem

Die Betriebsverhältnisse im Belebungsbecken und Nachklärbecken werden wechselseitig durch die Abhängigkeit zwischen dem Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken TS_{BB} , dem Trockensubstanzgehalt im Rücklaufschlamm TS_{RS} sowie dem Rücklaufverhältnis $RV = Q_{RS}/Q$ beeinflusst. Das verfahrenstechnische Schema zeigt Abb. 1.

Für den Gleichgewichtszustand gilt der in Abb. 2 graphisch aufgetragene Zusammenhang:

$$RV = TS_{BB} / (TS_{RS} - TS_{BB}) \quad \text{bzw.}$$

$$TS_{BB} = RV \cdot TS_{RS} / (1 + RV) \quad \text{in kg/m}^3$$

Die im Rücklaufschlamm erreichbaren Trockensubstanzgehalte hängen im wesentlichen von der Eindickfähigkeit und den Eindickbedingungen des belebten Schlammes sowie der Leistung des Schlammräumsystems in der Nachklärung ab. Die Eindickfähigkeit wird durch den Schlammindex ISV gekennzeichnet. Die Eindickbedingungen des belebten Schlammes im Nachklärbecken werden von der Höhe der eindickenden Schlammsschicht und der Verweilzeit des Schlammes in dieser Schicht beeinflusst.

Der Rücklaufschlammstrom Q_{RS} setzt sich zusammen aus dem Räumvolumenstrom des jeweiligen Räumsystems und einem Schlammstrom, der sich bei Schildräumern als Kurzschlußschlammstrom vom Einlauf zum Schlammabzug und bei Saugräumern aus der Zone oberhalb der Eindickschicht einstellt. Der erreichbare Trockensubstanzgehalt an der Beckensohle TS_{BS} hängt gemäß der empirisch gefundenen Beziehung

$$TS_{BS} = 1.000 \cdot \sqrt[3]{t_E} / ISV \quad \text{in kg/m}^3$$

vom Schlammindex ISV und der Eindickzeit t_E ab. In Abb. 3 ist die daraus resultierende Kurvenschar dargestellt.

Durch die Verdünnung des Räumvolumenstromes wird $TS_{RS} \leq TS_{BS}$.

Ohne besonderen Nachweis kann für

| | | |
|----------------|--|-------------------|
| Schildräumer | $TS_{RS} \approx 0,7 \cdot TS_{BS}$ | für |
| Saugräumer | $TS_{RS} \approx 0,5 \text{ bis } 0,7 \cdot TS_{BS}$ | und für |
| Trichterbecken | $TS_{RS} = TS_{BS}$ | angesetzt werden. |

Zur Vermeidung von Rücklösungen und von Schwimmschlamm Bildung infolge unerwünschter Denitrifikation im Nachklärbecken muß die Aufenthaltszeit des abgesetzten Schlammes in der Eindick- und Räumzone möglichst kurz gehalten werden. Andererseits dickt der Schlamm um so besser ein, je höher die Schlammschicht ist und je länger die Verweilzeit des Schlammes in dieser Schicht ist. Zur Ermittlung der optimalen Eindickzeit und der beeinflussenden Faktoren besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Wegen der besonderen Bedeutung der zu wählenden Eindickzeit t_E für die Nachklärbeckenbemessung werden in Abhängigkeit vom Grad der Abwasserreinigung nachstehend ergänzende Empfehlungen für die Wahl der Eindickzeit gegeben:

| Art der Abwasserreinigung | Eindickzeit t_E in h |
|--|------------------------|
| Belebungsanlagen ohne Nitrifikation | 1,5 - 2,0 h |
| Belebungsanlagen mit Nitrifikation | 1,0 - 1,5 h |
| Belebungsanlagen mit Denitrifikation | 2,0 - (2,5 h) |
| Belebungsanlagen mit biologischer P-Eliminierung | 1,0 - 1,5 h |

Eine Überschreitung des Grenzwertes von $t_E = 2,0$ h setzt eine sehr weitgehende Denitrifikation in der Belegung voraus.

Die gewählte Eindickzeit t_E muß durch die Räumeinrichtung sichergestellt werden. Die Auslegung des Räumsystems kann nach speziellen Firmenerfahrungen oder nach Hinweisen aus der Fachliteratur erfolgen (ATV-FACHAUSSCHUSS 2.5, 1988; GÜNTHERT, 1984). Dabei sind die Auslegungsparameter wie z. B. Anzahl der Räumarme, Schildhöhe, Räumgeschwindigkeit, Räumfaktor und Räumfrequenz je nach Art des gewählten Räumsystems festzulegen.

Eine gelegentlich beobachtete Zunahme der Boden- und Rücklaufschlammkonzentration bei einsetzendem Mischwasserzufluß ist nicht sicher gewährleistet und darf daher bemessungstechnisch nicht in Ansatz gebracht werden.

2.4 Funktionszonen und Beckentiefe

Die verschiedenen Aufgaben eines Nachklärbeckens erfordern funktionsbedingte Wirkungsräume, die in den Abbildungen 4 bis 6 schematisch dargestellt sind.

Die erforderliche Tiefe des Nachklärbeckens setzt sich danach aus Teiltiefen für folgende Funktionszonen zusammen:

- h_1 Klarwasserzone
- h_2 Trennzone
- h_3 Speicherzone
- h_4 Eindick- und Räumzone

Dies ist eine modellhafte Betrachtungsweise. Die Gliederung in Funktionszonen verdeutlicht, in welchen Bereichen sich verschiedene Vorgänge abspielen. In Wirklichkeit finden die Vorgänge nicht in horizontal geschichteten Zonen statt, sondern durchdringen sich gegenseitig. Nur in vertikal durchströmten Nachklärbecken bildet sich an der Oberfläche des Flockenfilters eine waagerechte Trennungslinie zwischen Schlamm und überstehendem Klarwasser.

Die Klarwasserzone ist eine Sicherheitszone mit einer Mindestdiefe von

$$h_1 = 0,50 \text{ m.}$$

Sie dient dazu, eine von der Wehrkante ausgehende Sogwirkung zu mildern und unvermeidbare Einflüsse aus Wind, Dichteunterschieden oder ungleichmäßiger Flächenbeschickung auszugleichen.

Die Trennzone ist so zu bemessen, daß der Zufluß einschließlich des Rücklaufschlammstromes, bezogen auf das freie Wasservolumen eine rechnerische Durchflußzeit von 0,5 Stunden hat:

$$h_2 = \frac{0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV)}{1 \cdot VSV / 1.000} \quad \text{in m}$$

In der Trennzone erfolgt die Verteilung des zugeleiteten Schlamm-Wasser-Gemisches. Dabei finden Flockungsvorgänge statt, die den anschließenden Absetzvorgang des belebten Schlammes begünstigen.

Die Speicherzone hat die Aufgabe, die bei Mischwasserzufluß Q_m einsetzende Verlagerung des belebten Schlammes aus dem Belebungsbecken in das Nachklärbecken aufzunehmen. Die Speicherzone stellt eine Vergrößerung der Trennzone dar und bildet wirkungstechnisch mit ihr eine Einheit.

Bei einsetzendem Mischwasserzufluß findet - auch bei Anpassung des Rücklaufverhältnisses - immer eine gewisse Schlammverlagerung statt. Der rechnerische Wert von $\Delta TS_{BB} = 0,3 \cdot TS_{BB}$ für die Schlammverlagerung bei einsetzendem Mischwasserzufluß dient nur zur Ermittlung des notwendigen Speichervolumens im Nachklärbecken. Da sich bei anhaltendem Mischwasserzufluß allmählich der ursprüngliche TS_{BB} -Gehalt im Belebungsbecken wieder einstellt, ist für die Bemessung von einem konstanten Trockensubstanzgehalt TS_{BB} und damit von einem ebenso konstanten Vergleichsschlammvolumen VSV bei Trockenwetter- und bei Mischwasserverhältnissen auszugehen.

Die Speicherzone ist so zu bemessen, daß die in einem Zeitraum von 1,5 Stunden aus dem Belebungsbecken bei Mischwasserzufluß zusätzlich abfließende Schlammmenge mit einem Konzentrationswert von 500 l/m^3 aufgenommen werden kann:

$$h_3 = 0,3 \cdot TS_{BB} \cdot ISV \cdot 1,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV) / 500 \quad \text{in m}$$

Mit $TS_{BB} \cdot ISV \cdot q_A = q_{SV}$ vereinfacht sich die Gleichung zu

$$h_3 = 0,45 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV) / 500 \quad \text{in m.}$$

In der Eindick- und Räumzone erfolgt die Konzentrierung und Sammlung des abgesetzten belebten Schlammes. Bei Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der in die Nachklärung eingeflossenen Schlammmenge über die Beckenfläche ergibt sich die Eindickhöhe in Abhängigkeit von der Eindickzeit t_E zu

$$h_4 = q_{SV} \cdot (1 + RV) \cdot t_E / C \quad \text{in m.}$$

Dabei entspricht der empirische Konzentrationswert C dem mittleren Vergleichsschlammvolumen in der eindickenden Schlammschicht, das maßgeblich von der verfügbaren Eindickzeit abhängt:

$$C = 300 \cdot t_E + 500 \quad \text{in l/m}^3$$

Die rechnerische Gesamttiefe

$$h_{\text{ges}} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \quad \text{in m}$$

Ist bei horizontal durchströmten Nachklärbecken mit geneigter Beckensohle auf zwei Drittel des Fließweges einzuhalten. Die Randwassertiefe darf in Längsbecken 3,0 m (Abb. 4) und in Rundbecken 2,5 m (Abb. 5) nicht unterschreiten.

Bei vertikal durchströmten Nachklärbecken mit schrägen Wänden (Abb. 6) müssen die rechnerischen Teiltiefen h_2^* bis h_4^* mit der maßgebenden Oberfläche A_{NB} multipliziert werden, um die erforderlichen Teilvolumina V_2 , V_3 und V_4 zu ermitteln. Anschließend ist der Nachweis zu führen, daß diese Teilvolumina in der gewählten Beckenkonstruktion Platz finden. Die tatsächliche Beckentiefe h_{ges} wird somit deutlich größer als der rechnerische Bemessungswert h_{ges}^* , der sich aus den vorgenannten Formeln ergibt.

3. ANWENDUNG DER BEMESSUNGSREGELN

3.1 Limitierende Wirkung für das Belebungsbecken

Bei der Bemessung der Belebung wird oft der TS_{BB} -Wert zu hoch angesetzt um Belebungsvo-lumen zu sparen. Dies hat dann sehr große Nachklärbecken zur Folge. Um Unsicherheiten bei der Bemessung der Nachklärung zu vermeiden, sollte daher vorab die Nachklärung unter Vor-gabe zulässiger Betriebs- und Bemessungswerte berechnet werden. Generell sollten Schlammindex, Eindickzeit und Rücklaufverhältnis RV festgelegt und geprüft werden, welcher Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken zuverlässig einhaltbar ist.

Ergänzend zu den Bemessungsbeispielen im Arbeitsblatt A 131 wird nachfolgender Bemessungsgang vorgeschlagen und mit Beispielwerten erläutert:

| | | | |
|--|-------------|---|-------------------------|
| Schlammindex ISV | z. B. ISV | = | 120 l/kg |
| zul. Eindickzeit t_E | z. B. t_E | = | 2,00 h |
| Bodenschlammkonzentration | | | |
| TS_{BS} (nach Abb. 3) | TS_{BS} | = | 10,50 kg/m ³ |
| Rücklaufschlammkonzentration bei Schildräumung ohne gesonderten Nachweis | | | |
| $TS_{RS} = 0,7 \cdot TS_{BS}$ | TS_{RS} | = | 7,35 kg/m ³ |
| max. Rücklaufverhältnis | | | |
| bei $Q_m = 2 \cdot Q_t$ | max RV | = | 0,75 |
| Feststoffgehalt | | | |
| $TS_{BB} = RV \cdot TS_{RS} / (1 + RV)$ | TS_{BB} | = | 3,15 kg/m ³ |

Das Berechnungsbeispiel ergibt einen maximalen Wert von $TS_{BB} = 3,15 \text{ kg/m}^3$ für die Bemessung des Belebungsbeckens.

Die erforderliche Oberfläche und die Tiefe des Nachklärbeckens ergeben sich aus den bekannten Berechnungsansätzen des Arbeitsblattes A 131 (vergl. Kapitel 2.).

3.2 Nachrechnung bestehender Nachklärbecken

Bei der Nachklärbeckenbemessung müssen für die Schlammvolumenbeschickung q_{SV} nicht zwangsläufig die zulässigen Maximalwerte gewählt werden. Beim Nachweis bestehender Nachklärbecken kann q_{SV} beispielsweise iterativ so lange reduziert werden, bis die rechnerische Tiefe mit der tatsächlich vorhandenen übereinstimmt. Für diese Schlammvolumenbeschickung ist anschließend die Beckenoberfläche nachzuweisen.

An einem Beispiel wird nachfolgend der Bemessungsweg aufgezeigt:

| | | | |
|-----------------------------|----------------|---|----------------------|
| vorh. Beckenoberfläche | z. B. A_{NB} | = | 890 m ² |
| vorh. Beckentiefe | h_{vorh} | = | 2,40 m |
| vorh. VSV = ISV · TS_{BB} | VSV | = | 380 l/m ³ |

1. Iterationsschritt

gewählte Schlammvolumenbeschickung

$$q_{SV} = 220 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

zul. Flächenbeschickung $q_A = q_{SV} / VSV$

$$q_A = 0,58 \text{ m/h}$$

Beckentiefe

h_1

$$h_1 = 0,50 \text{ m}$$

$$0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV)$$

$h_2 =$

$$\frac{0,5 \cdot q_A \cdot (1 + RV)}{1 - VSV / 1.000}$$

$$h_2 = 0,82 \text{ m}$$

$h_3 =$

$$0,45 \cdot q_{SV} \cdot (1 + RV) / 500$$

$$h_3 = 0,35 \text{ m}$$

$h_4 =$

$$q_{SV} \cdot (1 + RV) \cdot t_E / C$$

$$h_4 = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{erf. } h = 2,37 \text{ m} \leq h_{\text{vorh}}$$

2. Iterationsschritt mit geänderter Schlammvolumenbeschickung kann entfallen, da

$$\text{erf. } h \approx h_{\text{vorh}}$$

Wenn die vorhandene Beckentiefe den geforderten Mindestwert nach dem Arbeitsblatt A 131 unterschreitet, ist eine Abminderung des maximal aufnehmbaren Zuflusses empfehlenswert, um hydraulische Störungen infolge zu geringer Beckentiefe zu vermeiden:

$$\text{vorh. } h < 2,0 \text{ m}$$

$$\text{zul. } Q_m = 0,70 \cdot Q_m - \text{rechnerisch}$$

$$2,0 \leq \text{vorh. } h < 2,5 \text{ m}$$

$$\text{zul. } Q_m = 0,80 \cdot Q_m - \text{rechnerisch}$$

$$2,5 \leq \text{vorh. } h < 3,0 \text{ m}$$

$$\text{zul. } Q_m = 0,90 \cdot Q_m - \text{rechnerisch}$$

Eine Weiternutzung bestehender Nachklärbecken mit einer Gesamtwassertiefe unter 2,0 m ist im allgemeinen unwirtschaftlich und betrieblich nicht sinnvoll.

4. SPEZIFISCHE RAUMBESCHICKUNG

In vertikal durchströmten Nachklärbecken steigt der Schlamm Spiegel mit zunehmender Belastung langsam an. Die Ablaufqualität bleibt dabei solange konstant gut, bis das Flockenfilter in der Aufwärtsströmung durchbricht und schlagartiger Schlammabtrieb einsetzt. (RESCH, 1981).

In horizontal durchströmten Nachklärbecken dagegen führen steigende Belastung und zunehmendes Rücklaufverhältnis sehr schnell zu verstärktem Feststoffabtrieb und damit zu einer Verschlechterung der Ablaufqualität. Durch die Definition der spezifischen Raumbeschickung $q_{SV} \cdot (1 + RV)/h_{ges}$ (BILLMEIER, 1978) läßt sich der in Abb. 7 dargestellte Zusammenhang von Belastung und Feststoffabtrieb aus großtechnischen Untersuchungen aufzeigen. Zur Einhaltung des Grenzwertes $TS_0 = 20 \text{ mg/l}$ darf demzufolge 1 m^3 Nachklärvolumen stündlich höchstens mit 190 l belebtem Schlamm-Wasser-Gemisch beaufschlagt werden.

Der daraus resultierende Ansatz:

$$q_{SV} = 190 \cdot h_{ges} / (1 + RV)$$

kennzeichnet die Abhängigkeit zwischen den Parametern Schlammvolumenbeschickung q_{SV} , mittlere Nachklärbeckentiefe h_{ges} und Rücklaufverhältnis bei Maximalzufluß, die in Abb. 8 nochmals dargestellt ist (BILLMEIER, 1993). Klar erkennbar wird hier die mögliche gegenseitige Kompensation von Beckentiefe und Beckenfläche. Für den einzuhaltenden Feststoffaustrag von 20 mg/l darf zudem die Schlammvolumenbeschickung bei vorgegebener Tiefe mit sinkendem Rücklaufverhältnis ansteigen, wenn dabei die erforderliche Abzugsleistung des Räum- und Schlammfördersystems sichergestellt ist.

In ähnlicher Weise läßt sich für die Bemessungsansätze des ATV-Arbeitsblattes A 131 zeigen, daß die spezifische Raumbeschickung für bemessungsübliche Bereiche der Eindickzeit von $1,0$ bis $2,0 \text{ h}$ und der Schlammvolumenbeschickung von 300 bis $450 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ nur in engen Grenzen von $173 - 194 \text{ l}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ schwankt (RESCH et al, 1991).

Die praktische Bemessung der Nachklärung kann erheblich vereinfacht werden, wenn die spezifische Raumbeschickung als Bemessungsparameter eingeführt wird. Ausgehend von dem Grenzwert $q_{SR} = 175 \text{ l}/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ auf der sicheren Seite ergeben sich für $RV = 0,75$ nachstehende Auslegungsgrößen:

| t_E in h | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
|-------------------------------------|-----------|------------|------------|
| VSV in l/m^3 | 300 | 343 | 378 |
| t_{NB} in h | 3,00 | 3,43 | 3,78 |
| V_{NB} in m^3 | $3,0 Q_m$ | $3,43 Q_m$ | $3,78 Q_m$ |
| TS_{BB} in kg/m^3 | 300 / ISV | 343 / ISV | 378 / ISV |

Untersuchungen an einer halbtechnischen Versuchsanlage in Graz (KAUCH et al, 1987; KAINZ, 1991) mit einem horizontal durchströmten Rechteckbecken als Nachklärung bestätigten ebenfalls die Eignung der Schlammvolumenbeschickung und der spezifischen Raumbeschickung als Bemessungsparameter. Dabei wurde ein Feststoffmodell entwickelt, das anstelle des Rücklaufverhältnisses die Rückklaufflächenbeschickung $q_{RS} = Q_{RS}/A_{NB}$ als Bemessungsgröße einführt und versuchte, die Schlammagerzeit im Nachklärbecken zu minimieren.

5. KONSTRUKTIVE UND BETRIEBLICHE HINWEISE

5.1 Rücklaufschlammförderung

Die Bemessung nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 läßt bei horizontal durchströmten Nachklärbecken ein maximales Rücklaufverhältnis von 75 % und bei vertikal durchströmten Nachklärbecken von 100 % zu. Für jedes Becken ist ein separater Schlammabzug mit mindestens zwei Rücklaufschlamm Pumpen vorzusehen.

Die Förderleistung der Rücklaufschlamm Pumpen insgesamt ist aus betrieblichen Gründen so auszulegen, daß der Rücklaufschlammstrom $1,0 \cdot Q_m$ erreichen kann. Durch Abstufung der Pumpenleistungen sollten verschiedene Rücklaufverhältnisse einstellbar sein. Eine kontinuierliche Anpassung des Rücklaufschlammstromes an den Zufluß ist jedoch nicht erforderlich.

Bei vertikal durchströmten Nachklärbecken kann die Bemessung für maximal $Q_{RS} = 1,0 \cdot Q_m$ erfolgen; die Auslegung der Rücklaufschlammumpfen, sollte eine betriebliche Anpassung von Q_{RS} bis zu $1,5 \cdot Q_m$ ermöglichen (ATV-FACHAUSSCHUSS 2.5, 1993).

Räumerbrücken sollten polumschaltbare Antriebe erhalten, um im Betrieb die Räumleistung verändern zu können. Üblich sind Räumgeschwindigkeiten von 2 - 4 cm/s bei Rundbecken und 1 - 3 cm/s bei Längsbecken.

5.2 Zulaufkonstruktion

Der Zufluß soll bei Längsbecken über den Beckenquerschnitt und bei Rundbecken mit zentrischem Einlauf radial gleichmäßig verteilt werden. Dies kann durch geeignete konstruktive Maßnahmen wie Tauchwände, Schlitzwände, Leitlamellen und andere Systeme erreicht werden (VALENTIN, 1988; KREBS, 1991; SEYFRIED, 1993).

Viele runde Nachklärbecken haben zu kleine Einlaufbauwerke. Zweckmäßig sind Durchmesser von $1/5$ bis $1/6$ des Beckendurchmessers, wodurch bei Aufenthaltszeiten von drei bis fünf Minuten Flockungs- und Entgasungsvorgänge in den Einlaufbauwerken begünstigt werden.

Ein mehrfach mit Erfolg ausgeführtes Beispiel eines Mittelbauwerkes mit Leitlamellen zeigt Abb. 9. Hydraulischen Empfehlungen folgend (VALENTIN, 1988), gleicht eine kleine Mitteltauchwand mit einem Durchmesser von ca. $2d$ (d = Dükerdurchmesser) die ungleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung am Dükeraustritt aus und verhindert eine horizontale Strömungsumlenkung an der Wasseroberfläche. Zweireihige vertikale Lamellen am äußeren Rand des Einlaufbauwerkes erzeugen eine Gitterwirkung. Durch regelmäßige Schrägstellung gegenüber der Radiallinie wird eine Drehströmung (gleichsinnig zum Räumer) im Beckenraum induziert, deren Teetasseneffekt die Absetzwirkung und die Schlammräumung unterstützt.

Ob es mit einer speziellen Gestaltung des Mittelbauwerkes unter Ausnützung des Coanda-Effektes (Abb. 10) und gezielter, verzögerter Einleitung in die Trennzone gelingt, die Mittelbauwerke sinnvoll zu verkleinern, muß die praktische Anwendung dieser neuartigen Konstruktion zeigen (FELDER, et al, 1992).

Die größere Dichte des zufließenden Belebtschlamm-Wasser-Gemisches gegenüber dem Wasser in der Trenn- und Klarwasserzone bewirkt, daß der Zufluß die Neigung hat, am Einlaufbauwerk sofort nach unten zu strömen und den Rücklauf des abgesetzten Schlammes zu stören (KREBS, 1991; SEYFRIED, 1993). Durch Anbringen eines horizontalen Einlaufkranzes konnte daher schon manches horizontal durchströmtes Rundbecken in seinem Wirkungsgrad erheblich verbessert werden.

In vertikal durchströmten Trichterbecken erfolgt der Zulauf durch ein zentrales Mittelbauwerk mit Tauchzylinder. Dabei ist auf eine gleichmäßige Einströmung und eine Strömungsumlenkung beim Eintritt in den Beckenraum zu achten. Die Unterkante des Mittelbauwerkes muß oberhalb der Eindickzone angeordnet werden. Zweckmäßig ist die Mitte der Speicherzone (RESCH, 1981). Der Durchmesser des Mittelbauwerkes sollte in Trichterbecken zu $1/5$ bis $1/6$ des Durchmessers der maßgebenden Bemessungsoberfläche gewählt werden.

5.3 Ablaufkonstruktion

Um einen zu starken Sog zum Ablauf zu verhindern, sollte die Überfallschwellenbeschickung bei maximalem Zufluß einer Ablaufrinne mit nur einseitiger Überfallkante möglichst unter $10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ und bei einer Ablaufrinne mit beidseitiger Überfallkante an jeder Seite unter $6 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ liegen. Bei leichten Schlämmen mit Schlammindices über 150 ml/g sollten diese Werte noch reduziert werden (ATV, 1991).

Sind bei Rundbecken zur Einhaltung der Grenzwerte für die Überfallschwellenbeschickung mehrere Ablaufrinnen notwendig, so sollte der Rinnenabstand untereinander und vom Beckenrand etwa gleich der Tiefe am Beckenrand sein. Bei Längsbecken sollten die Ablaufrinnen an den Beckenlängsseiten vorgezogen werden.

Angesichts der hohen Anforderungen an die Ablaufqualität sind Tauchwände vor Ablaufrinnen eine Selbstverständlichkeit. Im allgemeinen reicht eine Eintauchtiefe von 20 cm aus. Der Abstand zur Überfallkante soll mindestens 30 cm betragen.

In Rundbecken und in Trichterbecken fördert eine radiale Anordnung von Ablaufrinnen oder getauchten Ablaufrohren die gleichmäßige Durchströmung des Nachklärraumes durch flächigen Klarwasserabzug. Getauchte Rohre helfen dabei Wind- und Temperatureinflüsse zu mildern und haben den Vorteil, daß die Schwimmschlammräumung nicht behindert wird (SEYFRIED, 1993). Nachteilig sind die erhöhten Baukosten und die erschwerte Außenreinigung der Rohre von Algen oder anhaftenden Schlammpartikeln zu nennen.

6. LITERATUR

Abwassertechnische Vereinigung ATV: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5.000 Einwohnerwerten. ATV-Regelwerk, Arbeitsblatt A 131, Februar 1991

Addicks, R.: Einfluß von Feststoffen im Kläranlagenablauf auf die Parameter CSB und Phosphor. ATV-Seminar "Verminderung von Feststoffen im Ablauf von Kläranlagen", Com-Centrum Dresden, Februar 1993

ATV-Fachausschuß 2.5 "Absetzverfahren": Schlammräumsysteme für Nachklärbecken von Belebungsanlagen. Korrespondenz Abwasser 35. (1988) H. 3, S. 263 - 274 und H. 6, S. 611

ATV-Fachausschuß 2.5 "Absetzverfahren": Anwendungshinweise zum ATV-Arbeitsblatt A 131 - Teil Nachklärbecken. Korrespondenz Abwasser 40. (1993) H. 2, S. 224 - 225

Billmeier, E.: Verbesserte Bemessungsvorschläge für horizontal durchströmte Nachklärbecken von Belebungsanlagen. Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München (1978) H. 21

Billmeier, E.: Verbesserung der Feststoffretention in Nachklärbecken. ATV-Seminar "Verminderung von Feststoffen im Ablauf von Kläranlagen", Com-Centrum Dresden, Februar 1993

Felder, A.; Valentin, F.: Beeinflussung der Strömung in runden Nachklärbecken durch Einsatz der Coanda-Tulpe. Korrespondenz Abwasser 39. (1992) H. 10, S. 1527 - 1533

Günther, F.W.: Ein Beitrag zur Bemessung von Schlammräumung und Eindickzone in horizontal durchströmten runden Nachklärbecken von Belebungsanlagen. Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München (1984) H. 49

Kainz, H.: Auswirkungen von Stoßbelastungen auf den Feststoffhaushalt einer Belebungsanlage. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz (1991) H. 16

Kauch, E. P.; Ditsios, M.: Schlamm Bilanz in Belebungsanlagen - Einfluß der hydraulischen Betriebsparameter für Trockenwetter- und Regenwetterfall. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz (1987) H. 13

Krebs, P.: The hydraulics of final settling tanks. Wat. Sci. Tech. (1991) Vol. 23, pp. 1.037 - 1.046

Resch, H.: Untersuchungen an vertikal durchströmten Nachklärbecken von Belebungsanlagen. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München (1981) H. 29

Resch, H.: Wirkungsweise der Nachklärung von Belebungsanlagen. Österreichische Wasserwirtschaft 39. (1987) H. 7/8, S. 166 - 172

Resch, H.; Steinmann, G. A.: Hinweise zur praktischen Handhabung der Bemessung von Nachklärbecken nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131. Korrespondenz Abwasser 38. (1991) H. 9, S. 1166 - 1177

Seyfried, C. F.: Gestaltung der Zu- und Abläufe von Nachklärbecken. ATV-Seminar "Verminderung von Feststoffen im Ablauf von Kläranlagen", COM-Centrum Dresden, Februar 1993

Valentin, F.: Zur Problematik der verzögerten Bewegung in Rundbecken mit zentrischer Beaufschlagung. Mitteilungen aus Hydraulik und Gewässerkunde, Technische Universität München (1988) H. 50, S. 57 - 90

Dr.-Ing. Helmut Resch

Ing.-Büro Völker

D-8832 Weißenburg/Bay.

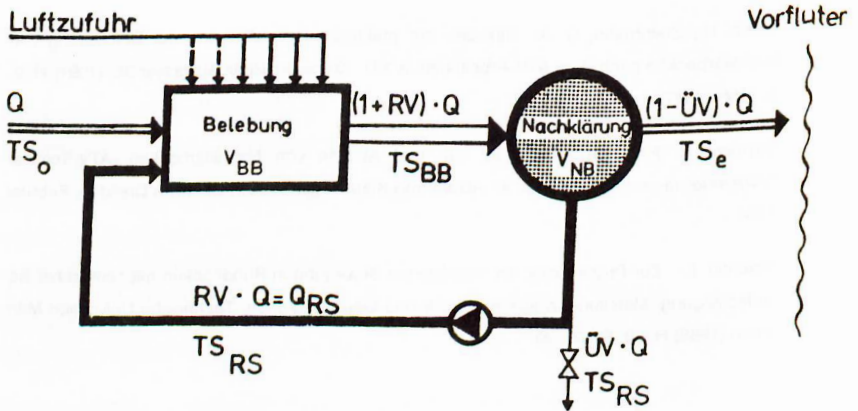


Abb. 1: Schema einer konventionellen, einstufigen Belebungsanlage

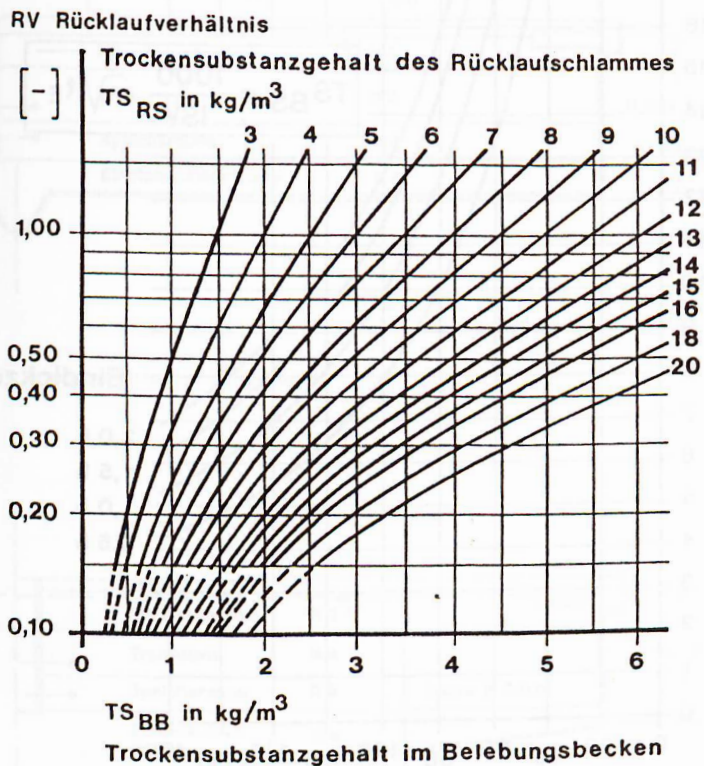


Abb. 2: Erforderliches Rücklaufverhältnis in Abhängigkeit vom Trockensubstanzgehalt im Rücklaufschlamm und im Belebungsbecken

TS_{BS} Trockensubstanzgehalt an der Nachklärbeckensohle

kg/m^3

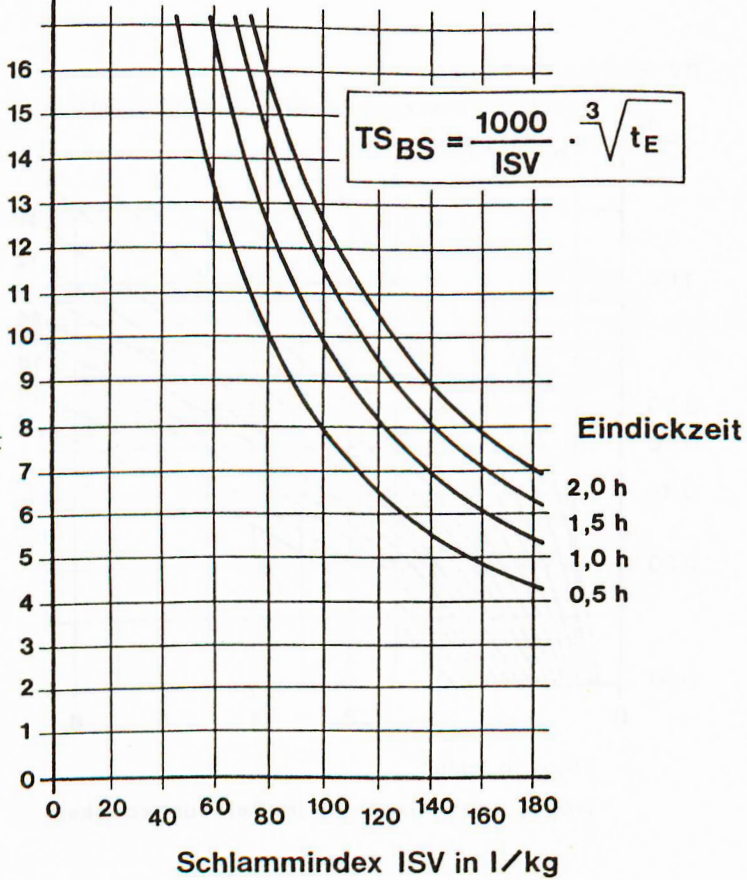


Abb. 3: Trockensubstanzgehalt an der Beckensohle in Abhängigkeit vom Schlammindex und der Eindickzeit

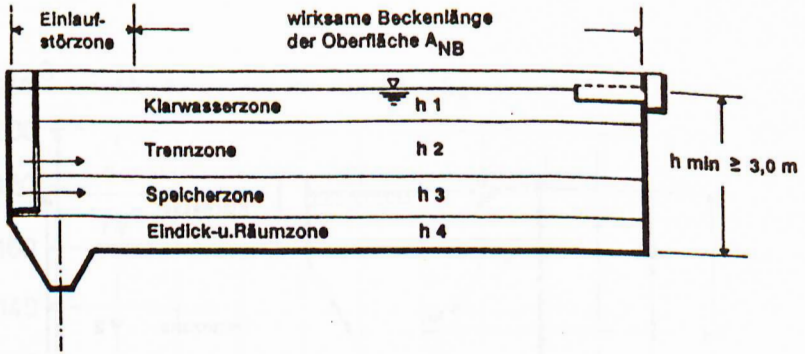


Abb. 4: Zonen und Tiefen von Längsbecken

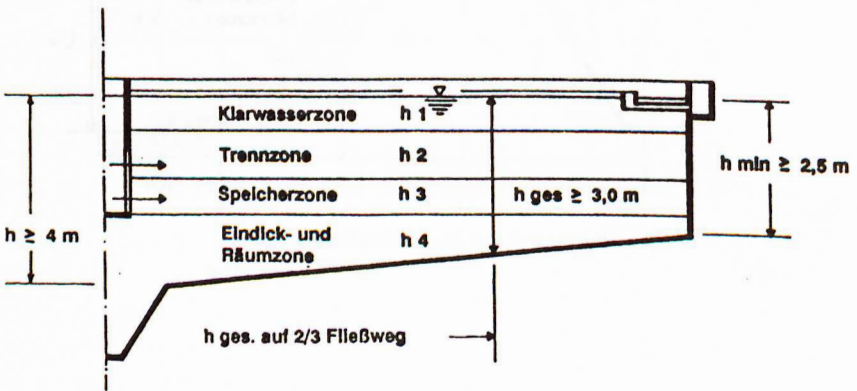


Abb. 5: Zonen und Tiefen von horizontal durchströmten Rundbecken

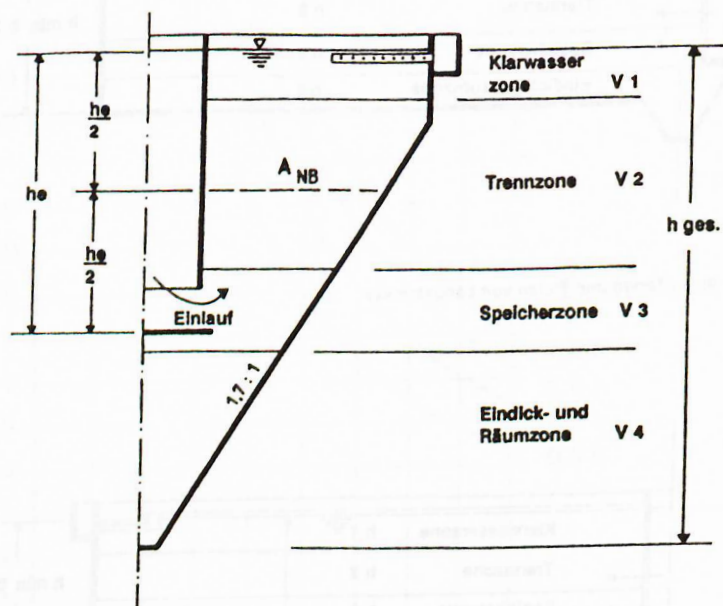


Abb. 6: Zonen und Tiefen von vertikal durchströmten Trichterbecken

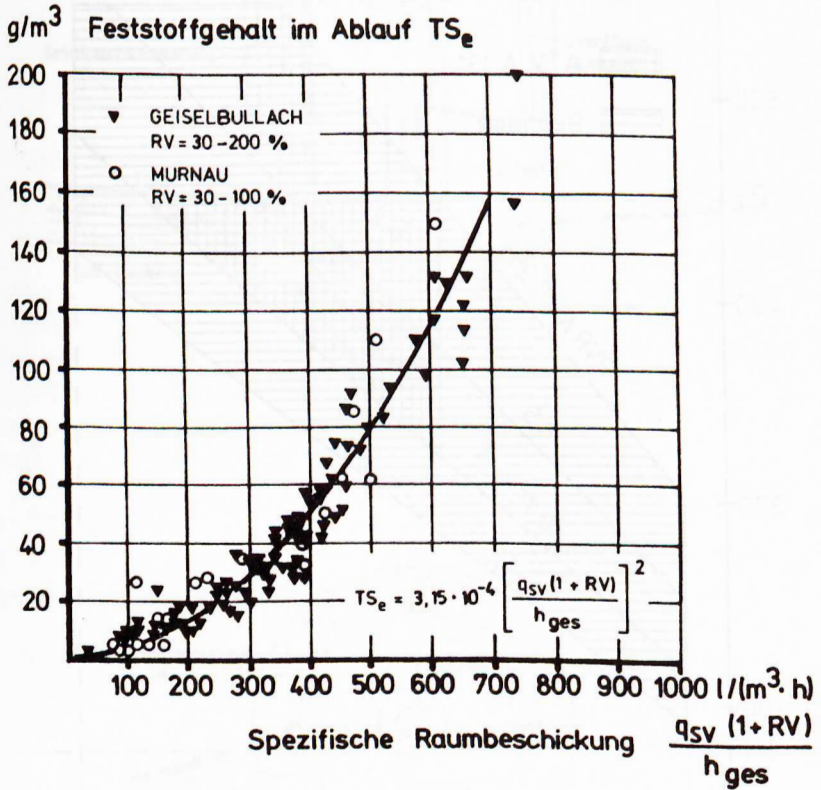


Abb. 7: Ablaufwerte von Nachklärbecken in Abhängigkeit von der spezifischen Raumbeschickung nach Billmeier, 1978

Schlammvolumenbeschickung q_{sv} in $l/(m^2 \cdot h)$

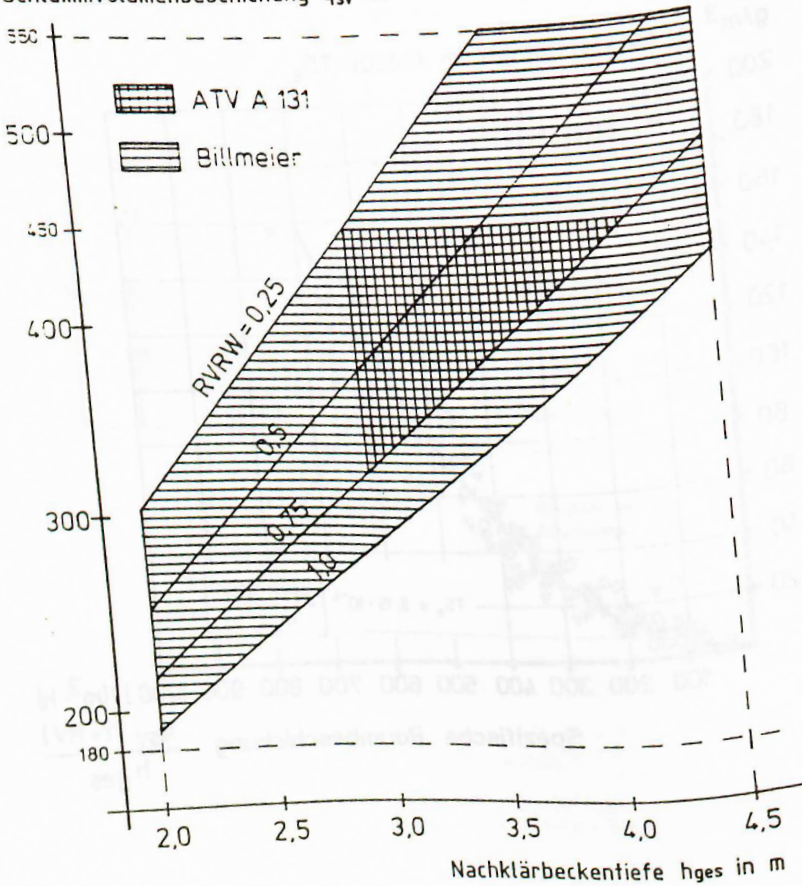


Abb. 8: Gegenseitige Abhängigkeit von Schlammvolumenbeschickung, Nachklärbecken-tiefe und Rücklaufverhältnis für den Feststoffaustrag $TS_e = 20$ mg/l nach Billmeier, 1993

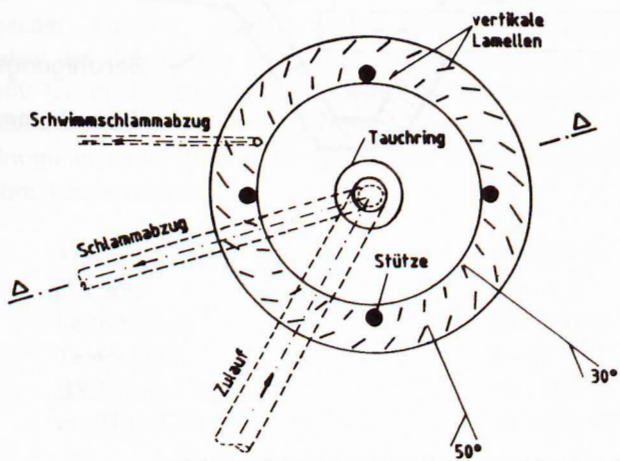
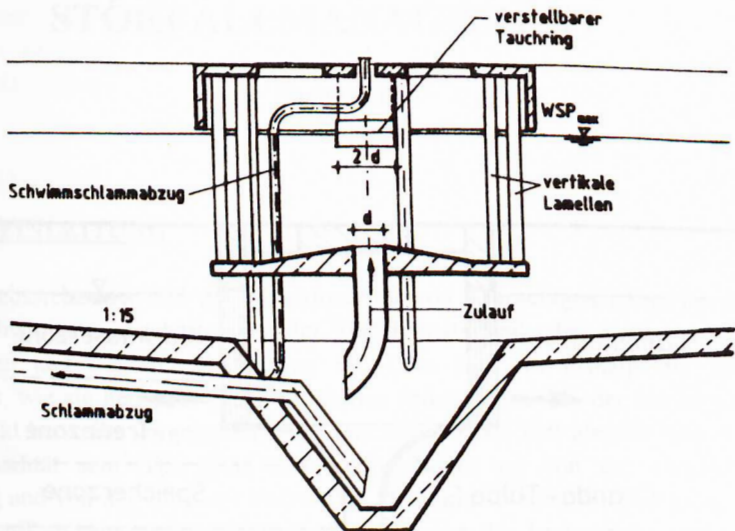


Abb. 9: Mittelbauwerk mit Leitlamellen (Praxisbeispiel)

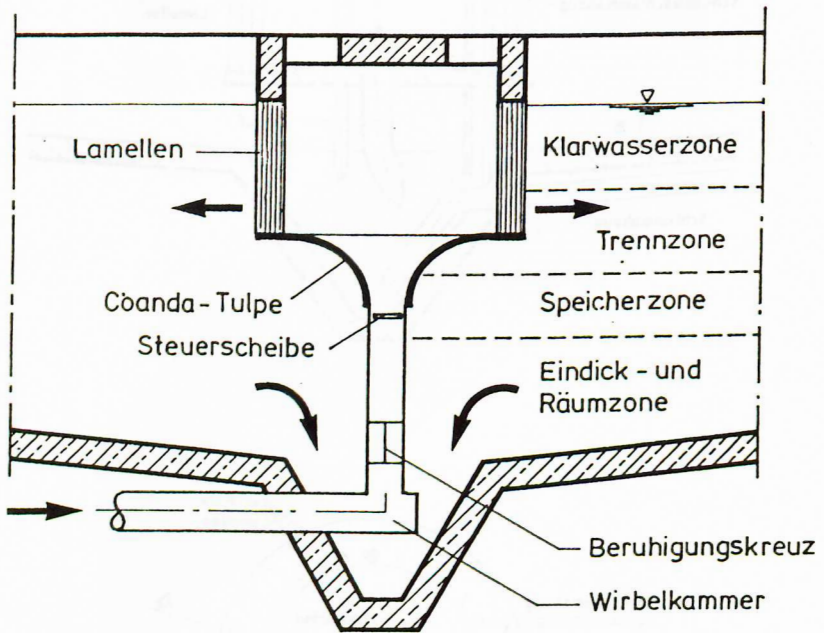


Abb. 10: Einbauvorschlag für ein Mittelbauwerk mit Coandatulpe