

# Direkte physikalische Simulation der Sedimentation zur Bemessung von Regenklärbecken und Schrägklärern nach DWA-A 102-2

Gebhard Weiß

Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Steinstraße 7,  
97980 Bad Mergentheim, Deutschland

Garching, 09.Oktober 2023



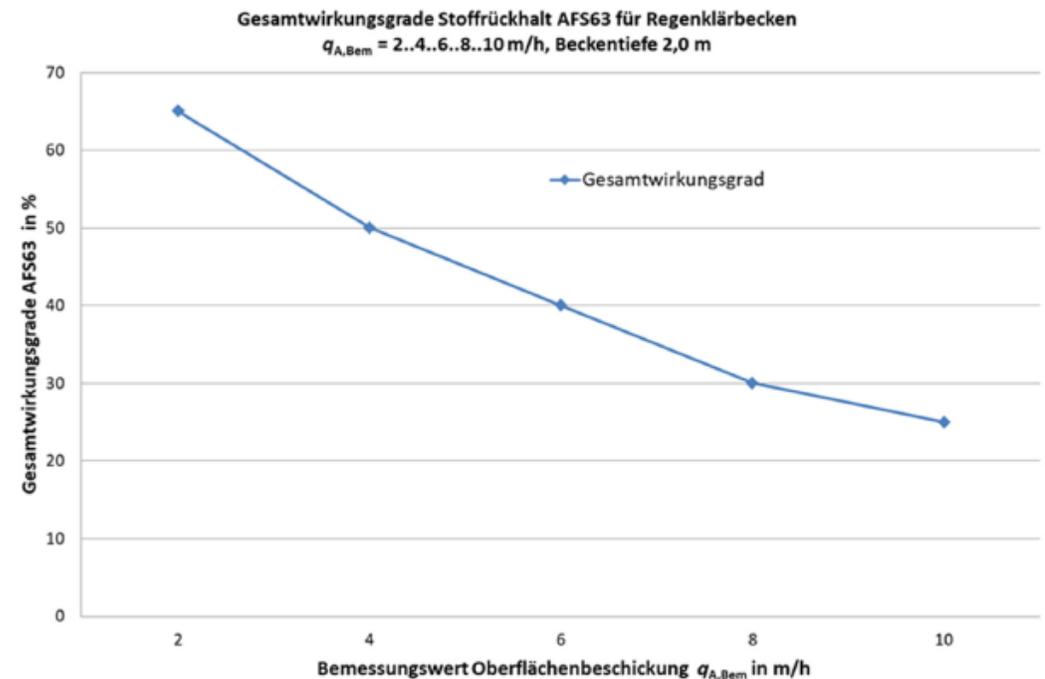
# Bemessung von Behandlungsanlagen im Trennsystem nach DWA-A 102-2

**Grundidee:** Begrenzung der AFS63-Entlastungsfracht ins Gewässer von einem Ausgangswert laut Flächenkategorisierung (760 / 530 / 280 kg/(ha·a) für Kat. II / II / I) auf insgesamt 280 kg/(ha·a), alle auftretenden Effekte (Speicherung, Sedimentation) dürfen/sollen rechnerisch berücksichtigt werden

## Umsetzung im Bemessungsverfahren:

### A. Pauschalverfahren

- Nur für RKBOD mit 2 m Wassertiefe, sofortiger Entleerung, ohne Fremdwasser
- Zulauf fracht gemäß Rechenwert Flächenabtrag
- AFS63-Gesamtwirkungsgrad = f(max. Oberflächenbeschickung) direkt aus Diagramm
- Direkte Berechnung der resultierenden AFS63-Entlastungsfracht, keine Simulation nötig



A 102-2 Bild 4

# Bemessung von Behandlungsanlagen im Trennsystem nach DWA-A 102-2

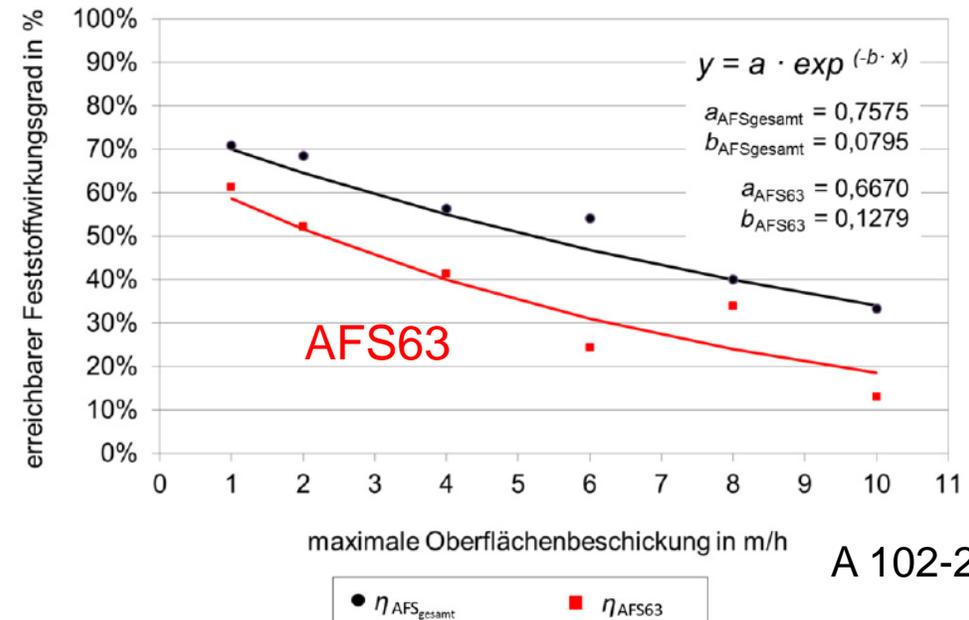
## B. Nachweisverfahren

### Für alle Anlagen

- Simulation der Abflussvolumina mit N-A-Modell und Langzeitregenreihe: Dargebot vom Einzugsgebiet, Klärüberlauf, Beckenüberlauf, Entleerung
- Zulaufkonzentration bzw. -konzentration gemäß Rechenwert Flächenabtrag und Regendargebot
- AFS63-Sedimentationswirkungsgrad = f(max. Oberflächenbeschickung<sup>1</sup>) aus Diagramm
- Abminderung der KÜ-Fracht mit diesem Sedimentationswirkungsgrad
- BÜ: Zulaufkonzentration, Entleerung: 15 mg/l
- Berechnung der AFS63-Gesamtentlastungsfracht

<sup>1</sup>Oberflächenbeschickung ist auf  $r_{krit} = 15 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$  zu normieren!

$$q_{A,bem,korr} = q_{A,bem} \cdot \frac{15 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}}{r_{krit,bem}}$$



## „Knackpunkte“ dieser Verfahren:

- **Gültigkeitsbereich** der Diagramme ist eingeschränkt und unklar, oft **Extrapolation** nötig
- Art und Betriebsweise des Bauwerks beeinflussen die Abflussdauerlinien, speziell die Dauer von Durchflüssen nahe dem Bemessungswert
- Sie gehen somit verdeckt in die Diagramme ein, es ist aber bislang unklar, wie genau. Effekte können nicht berücksichtigt werden!

## Wünschenswert:

- Berechnungsverfahren mit **direkter Simulation des Sedimentationsprozesses**
- **Kein Rückgriff auf A 102-2-Diagramme** erforderlich
- Für alle Behandlungsbauwerke, Beckengrößen und Betriebsweisen anwendbar

## Speziell für Nachweisverfahren nach A 102-2 mit Bild B.2:

- Ist Bild B.2 hinreichend allgemeingültig – oder ggf. für verschiedene Bemessungsregenspenden und Betriebsweisen zu modifizieren?

## Neuer Ansatz:

# Direkte deterministische Simulation des Sedimentationsvorgangs

## Grundannahmen:

- **Maßgebend** ist nur der **Prozess der Sedimentation**, ein Wiederaufwirbeln bleibt unberücksichtigt. Charakteristische Größe ist die **Oberflächenbeschickung**  $q_A = Q/(L \cdot B)$  bzw.  $q_A = Q/A_{proj}$ .
- **Quasistationäres Durchströmungsverhalten**: Momentaner AFS63-Wirkungsgrad  $\eta_{stat} = f(Q)$  kann mit einer Formel für stationäre Durchströmung berechnet werden.
- **Fraktionierte Betrachtung des Sediments**: AFS63 wird durch  $m = 12$  Sedimentationsfraktionen mit gegebener **Sinkgeschwindigkeit**  $v_{s,i}$  und Anteil  $\alpha_i$  beschrieben.

Wir erhalten dann die Formel:

$$\eta_{stat}(t) = 1 - \frac{C_{ab}}{C_{zu}} = \sum_{i=1}^m \left[ \alpha_i \cdot \left( 1 - \left( 1 + \frac{1}{n} \cdot \frac{v_{s,i}}{q_A(t)} \right)^{-n} \right) \right]$$

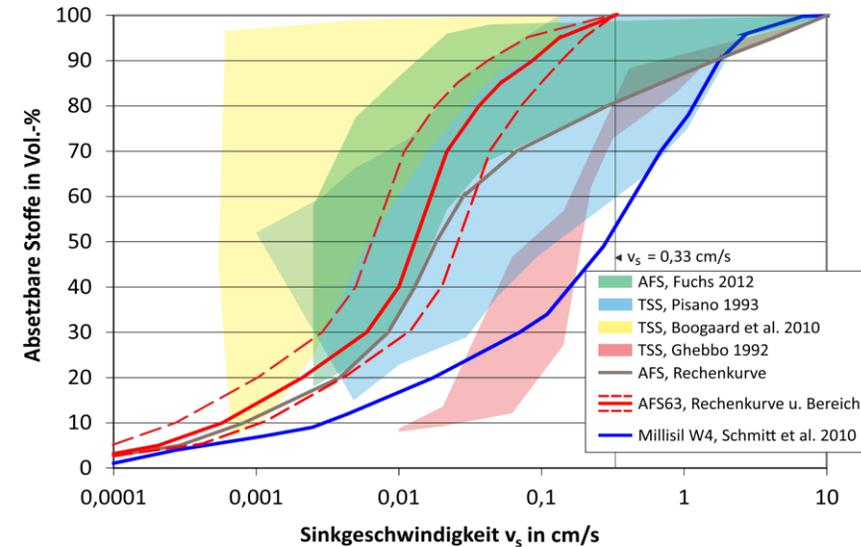
Formel nach Fair-Geyer für  $m$  Sedimentfraktionen

- Eine **hydrologische Simulation** berechnet den Zufluss  $Q(t)$  und  $q_A(t)$  und die Zuflusskonzentration  $C_{zu}(t)$ . Diese wird zu jedem Zeitpunkt mit  $\eta_{stat}(t)$  abgemindert  $\rightarrow$  Entlastungskonzentration  $C_{KÜ}(t)$ .
- Schließlich: **Zeitliche Integration der Entlastungsfracht** aus  $Q(t) \cdot C_{KÜ}(t)$ .

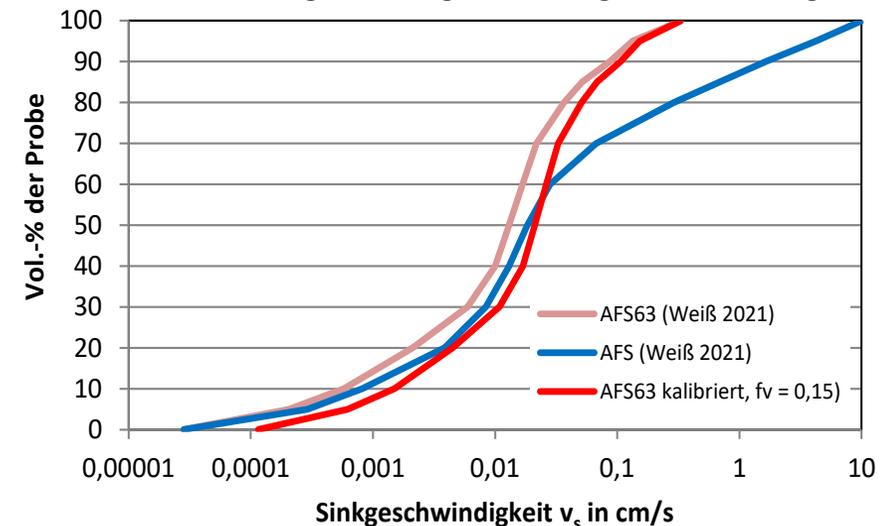
# Angesetzte Sinkgeschwindigkeitsverteilung für AFS63

- Literaturdaten: Sehr breite Streuung der Sinkgeschwindigkeitsverteilungen von TSS aus Trennsystemen
- Plausible „mittlere“ Kurve (braun)
- Rückrechnen auf AFS63: Keine Anteile mit Sinkgeschwindigkeiten  $> 0,33 \text{ cm/s}$  (Quarzsand,  $d = 63 \mu\text{m}$  nach Stokes)
- Millisil W4 als gebräuchliches Modellsediment hat sehr viel größere Sinkgeschwindigkeiten!
- Zusätzliche (geringe!) Kalibrierung mit Korrekturfaktor  $f_v$ : Validation durch Nachrechnen RKBoD nach A 102-2 Bild 4

Sinkgeschwindigkeitsverteilungen des Sedimentes im Oberflächenabfluss aus Trennsystemen

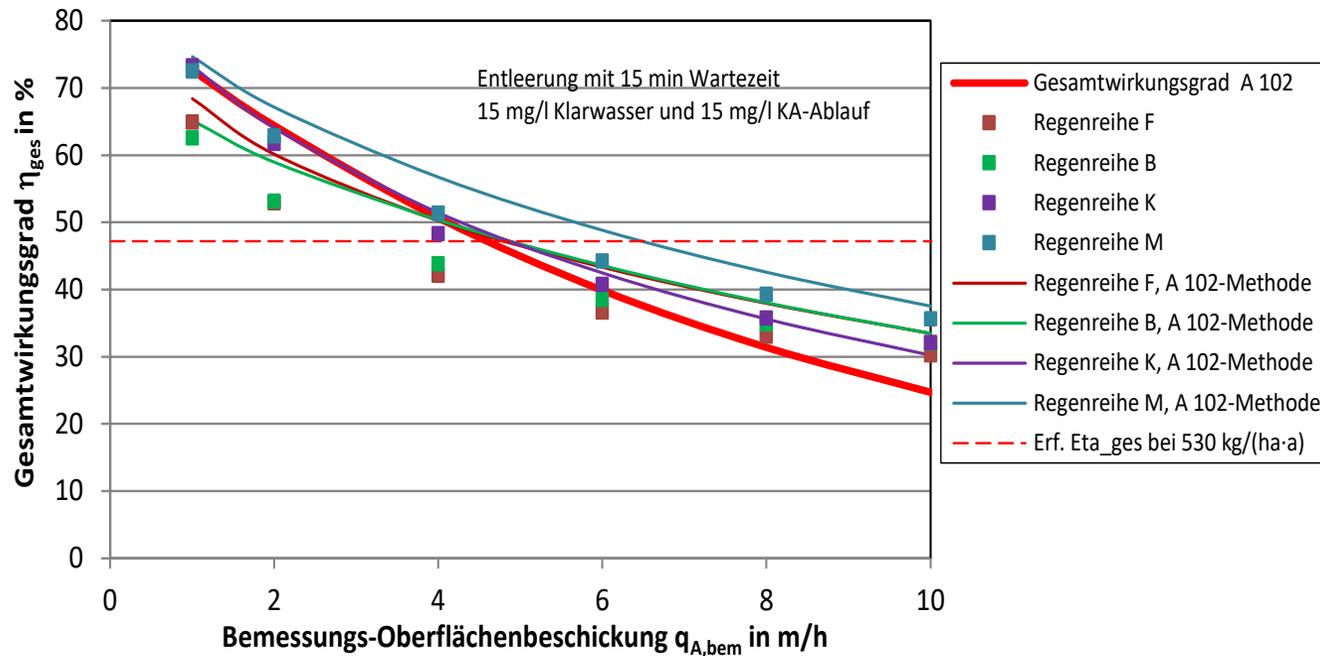


Kalibrierung der Sinkgeschwindigkeitsverteilung



# Validation des Berechnungsmodells

Vergleich Direkte Simulation - A 102-2-Methode, RKBoD



Berechnung des Gesamtwirkungsgrads aus spezifischen Frachten  $b_{R,xx}$  in kg/(ha·a):

$$\eta_{ges} = 1 - \frac{b_{R,BÜ} + b_{R,KÜ} + b_{R,KA}}{b_{R,a}}$$

Nachrechnen eines RKBoD nach A 102-2  
Bild 4: Berechnung der spezifischen Entlastungsfrachten und des Gesamtwirkungsgrads

Vergleich mit A 102-Nachweisverfahren mit mehreren Regenreihen

Kalibrierung der Sinkgeschwindigkeitsverteilung mit einem Korrekturfaktor  $f_v$

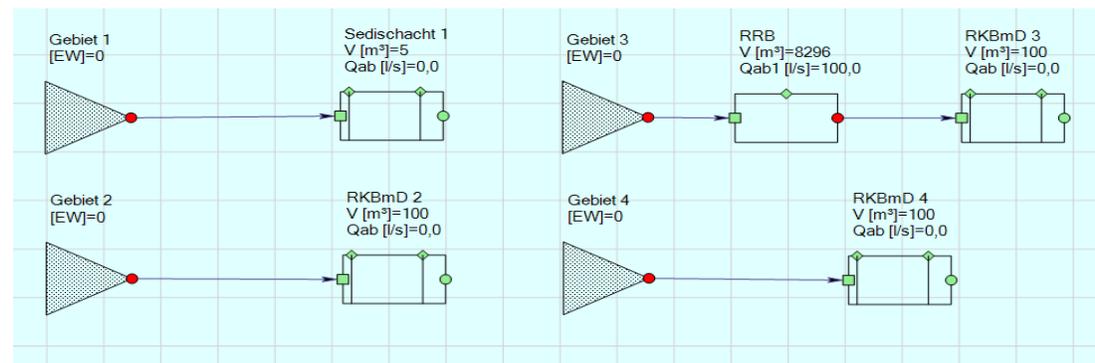
Ergebnis:

- $\eta_{Ges}$  in gleicher Größenordnung und im gleichen Streuumfang wie A 102-2
- Trotz völlig unterschiedlicher Vorgehensweise hinreichend gute Übereinstimmung!
- Verfahren eignet sich als Vergleichswerkzeug

# Anwendung des Verfahrens: Untersuchung von Sedimentationsanlagen mit verschiedenen Bemessungsregenspenden $r_{krit,bem}$

Vergleich von 4 Sedimentationsanlagen, alle mit Dauerstau, da nur das Sedimentationsverhalten untersucht werden soll:

- 1) Kleiner Sedimentationsschacht mit Lamellen und Vollstrombehandlung.  $A_{proj} = 5,75 \text{ m}^2$ . Bemessungseckdaten 8 m/h @ 130 l/(s·ha)  $\rightarrow Q_b = 12,78 \text{ l/s}$ ,  $A_{b,a} = 0,0983 \text{ ha}$
- 2) Schrägkläreranlage mit Dauerstau (SKmD) und mit BÜ.  $A_{proj} = 45,0 \text{ m}^2$ . Bemessungseckdaten 8 m/h @ 15 l/(s·ha)  $\rightarrow Q_b = 100 \text{ l/s}$ ,  $A_{b,a} = 6,667 \text{ ha}$
- 3) Schrägkläreranlage mit Dauerstau (SKmD) hinter einem RRB. Ohne BÜ.  $A_{proj} = 45,0 \text{ m}^2$ . Bemessungseckdaten 8 m/h @ 5 l/(s·ha)  $\rightarrow Q_b = 100 \text{ l/s}$ ,  $A_{b,a} = 20 \text{ ha}$
- 4) Schrägkläreranlage mit Dauerstau (SKmD) und mit BÜ.  $A_{proj} = 45,0 \text{ m}^2$ . Bemessungseckdaten 8 m/h @ 5 l/(s·ha)  $\rightarrow Q_b = 100 \text{ l/s}$ ,  $A_{b,a} = 20 \text{ ha}$



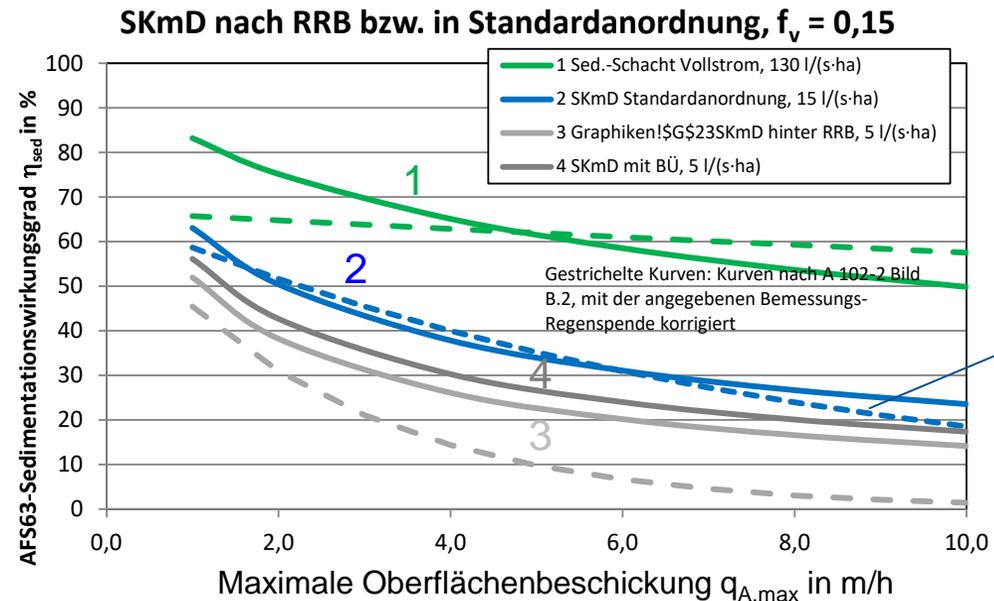
# Untersuchung von Sedimentationsanlagen mit verschiedenen Bemessungsregenspenden $r_{krit,bem}$

- Variation der Bemessungs-Oberflächenbeschickung durch Ansatz unterschiedlich großer Bauwerke (Grundfläche oder Projektionsfläche). Volumen spielt wegen Dauerstau keine Rolle!
- Berechnung der AFS63-Dargebote und Entlastungsfrachten sowie der resultierenden mittleren Sedimentationswirkungsgrade für die 4 Systeme

- Rückrechnung des Sedimentationswirkungsgrades  $\eta_{sed} = 1 - \frac{b_{R,KÜ}}{b_{R,a} - b_{R,BÜ}}$   
Direkter Vergleich mit A 102-2 Bild B.2 ( - - - - )

- Bild B.2 gilt für die bei 15 l/(s·ha) auftretende  $q_{A,bem}$  in m/h!  
→ Bei Anlagen mit Bemessungsregenspenden  $\neq 15$  l/(s·ha) muss Kurve nach Bild B.2 mit  $r_{krit,bem}$  korrigiert werden ( - - - - )

$$q_{A,max} = q_{A,bem} \cdot \frac{r_{krit}}{15 \frac{l}{s \cdot ha}}$$

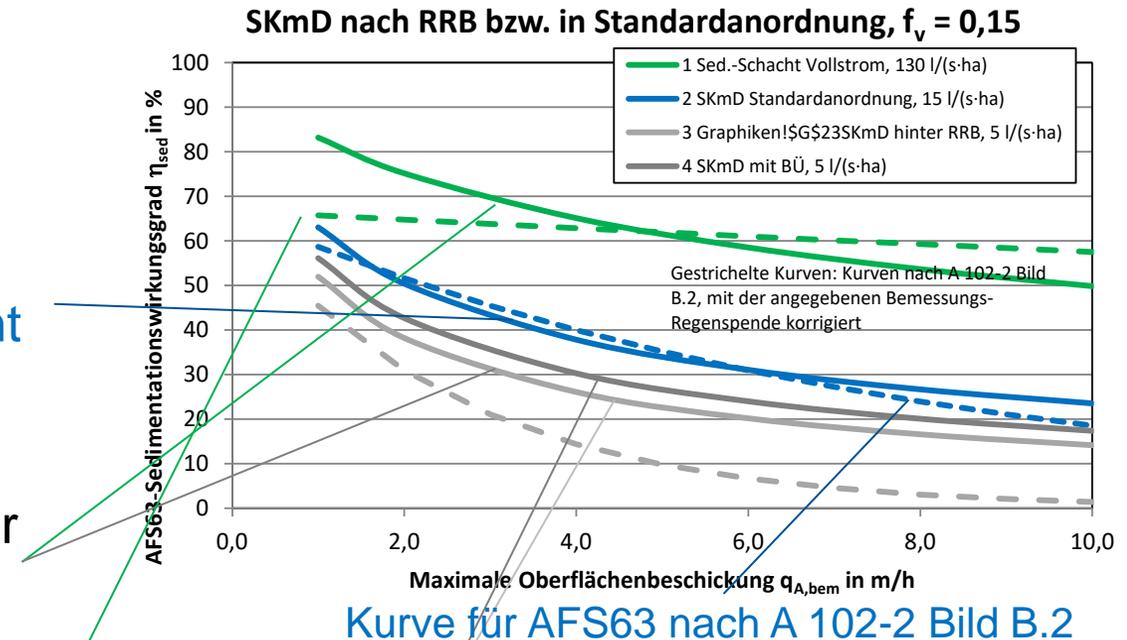


Kurve für AFS63 nach A 102-2 Bild B.2

# Untersuchung von Sedimentationsanlagen mit verschiedenen Bemessungsregenspenden $r_{krit,bem}$

Ergebnisse der direkten deterministische Simulation mit kalibriertem Sediment:

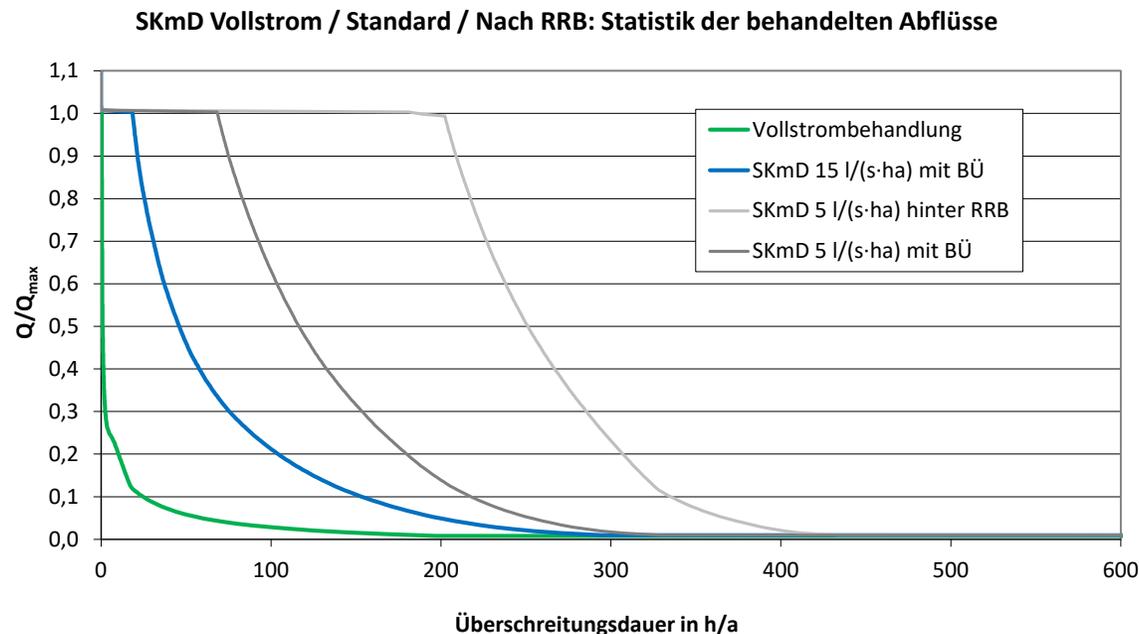
- Mit 15 l/(s·ha) bemessene Schrägklärer mit BÜ (2): AFS63-Sedimentationswirkungsgrad  $\eta_{Sed}$  entspricht recht gut A 102-2 Bild B.2
- Bei **großem**  $r_{krit,bem}$  (z.B. bei Vollstrombetrieb) ist der berechnete  $\eta_{Sed}$  größer als bei geringen
- Bei Vollstrombetrieb und sehr großem  $r_{krit,bem}$  liefert die regenspendenkorigierte Kurve nach A 102 Bild B.2 (grüne gestrichelte Kurve) auch für geringe Oberflächenbeschickungen keine größeren  $\eta_{Sed}$  als ca. 66 %



- Bei geringem  $r_{krit,bem}$  liefert die direkte Simulation deutlich höhere  $\eta_{Sed}$  als A 102-2 (graue durchgezogene Kurven).  $\eta_{Sed}$  ist etwas geringer, wenn ein RRB vorgeschaltet ist (hellgrau).

# Diskussion

- Der in A 102-2 Bild B.2 angegebene AFS63-Sedimentationswirkungsgrad ist auch bei Korrektur mit der Bemessungsregenspende nicht allgemeingültig!
- Werden Vollstrom-Behandlungsanlagen oder Sedimentationsanlagen hinter Rückhaltungen damit unkritisch bemessen, können deutliche **Fehlbemessungen** die Folge sein.
- Begründung: Mehrere simultane hydrologische Effekte! Wichtig: Jeweilige **Zeitdauern**, in der Abflüsse in Größenordnung von  $Q_{bem}$  anliegen! Versuch der Analyse:



Sedimentationsschacht (Vollstrombehandlung, 130 l/(s·ha) – sehr kurz

Schrägklärer mit 15 l/(s·ha) – Bemessungsabfluss während ca. 20 h/a erreicht

Schrägklärer mit 5 l/(s·ha) hinter RRB – extrem lang

# Ausblick

## Wünschenswert:

- Etablierung des Verfahrens der direkten deterministischen Simulation als gleichwertiges Nachweisverfahren zur Anwendung der Diagramme nach A 102-2, Dokumentation und generelle Empfehlung (A 102 lässt solche Methoden ausdrücklich zu!)
- Erstellung eines Diagrammes wie auf der Vorseite als allgemein verwendbare Ergänzung zu A 102-2 Bild B.2 bei Sedimentationsanlagen mit spezieller Betriebsweise
- Geeignete Parameterisierung der Bemessungsregenspende und der Dauerlinie des Zuflusses zur einfachen Anwendung

The background is a vibrant blue watercolor wash. It features a gradient from a deep, dark blue on the left to a lighter, almost white blue on the right. The texture is soft and painterly, with visible brushstrokes and organic, irregular edges. The overall effect is serene and artistic.

Thank you

*Vielen Dank*

Merci