

Einsatz von Schrägklärern zur Regenwasserbehandlung: Sind Aussagen über Wirkungsgrade übertragbar?

Dr.-Ing. Gebhard Weiß



UFT
Umwelt- und Fluid-Technik
Dr. H. Brombach GmbH
Steinstraße 7
97980 Bad Mergentheim
Germany · Allemagne

Stoffrückhalt und Wirkungsgrade bei Sedimentationsanlagen

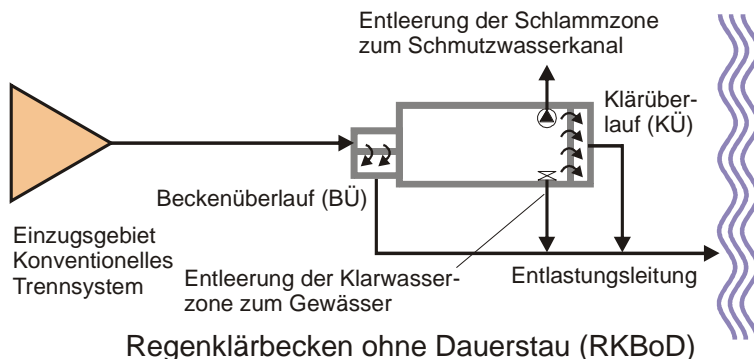
Ziele zentraler und dezentraler Regenwasserbehandlungsanlagen im Trennsystem:

- Rückhalt von partikelgebundenen Schadstoffen

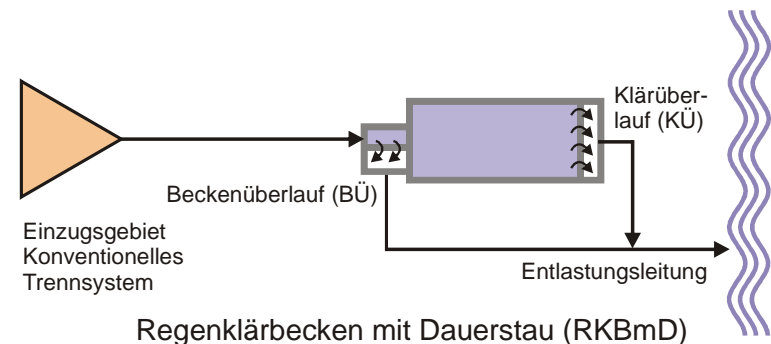
Wirksame Prozesse und Strategien:

- **Speicherung** belasteten Regenwassers (Reinigung z.B. auf ARA nach dem Regen)
- **Behandlung** durch Sedimentation (zusätzlich möglich: durch Filtration)

Prinzipien der Bauwerke (zentral wie dezentral):



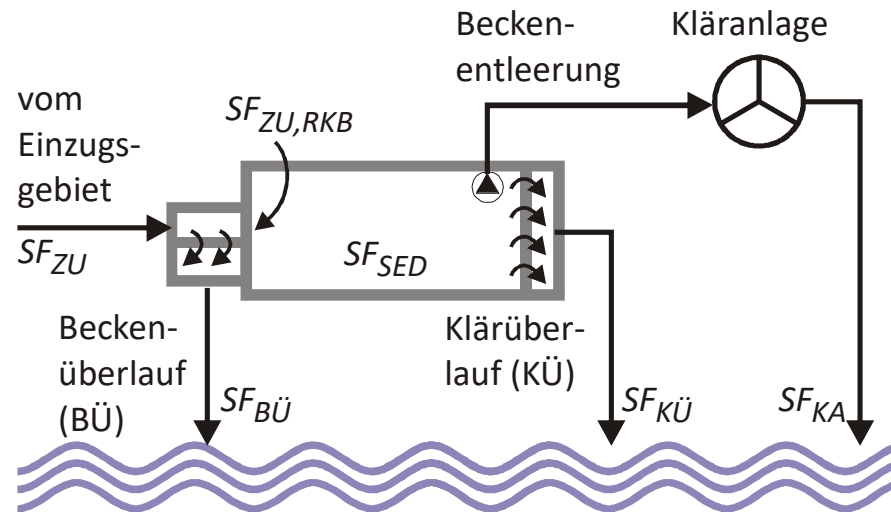
Becken oder Schacht ohne Dauerstau
Entleerung zum Schmutzwasserkanal
nach jedem Regen
→ **Speicherung** und **Behandlung**



Becken oder Schacht mit Dauerstau
Kammer bleibt wassergefüllt,
Schlamm bleibt im Bauwerk
→ nur **Behandlung**

Stoffrückhalt und Wirkungsgrade bei Sedimentationsanlagen

Klassisches Regenklärbecken ohne Dauerstau



Gesamtwirkungsgrad (was vom Gewässer ferngehalten wird):

$$\eta_{\text{ges}} = 1 - (SF_{BÜ} + SF_{KÜ} + SF_{KA}) / SF_{ZU}$$

Sedimentationswirkungsgrad (was im Becken durch Absetzen liegenbleibt):

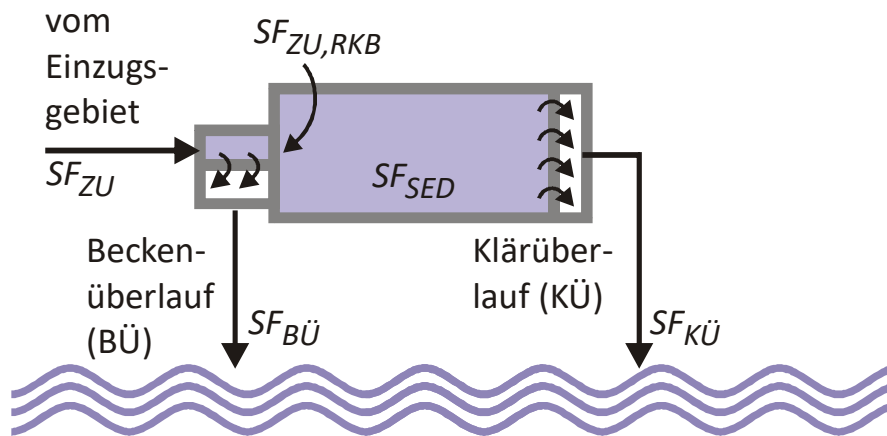
$$\eta_{\text{sed}} = SF_{SED} / SF_{ZU,RKB}$$

SF = Schmutzfracht, z.B. in kg AFS63/a

Stoffrückhalt und Wirkungsgrade bei Sedimentationsanlagen

Klassisches Regenklärbecken mit Dauerstau

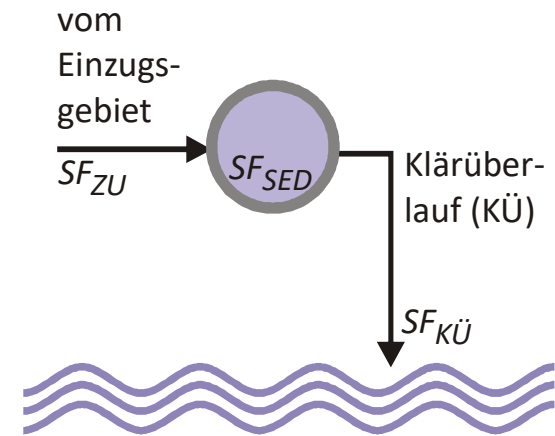
Einsatzgründe oft: Ölrückhalt,
Unerwünschtheit von Technik (Entleerungspumpen),
kein Schmutzwasserkanal in der Nähe



Praktisch keine Speicherwirkung –
Becken ist randvoll und läuft sofort über
Gesamtwirkungsgrad \approx Sedimentationswirkungsgrad

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{sed}} = SF_{\text{SED}} / SF_{\text{ZU}}$$

Dezentraler Behandlungsschacht mit Dauerstau, ohne BÜ



Gleiche Funktion
Gesamtwirkungsgrad = Sedimentationswirkungsgrad

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{sed}} = SF_{\text{SED}} / SF_{\text{ZU}}$$

Verbesserung des Sedimentationsprozesses

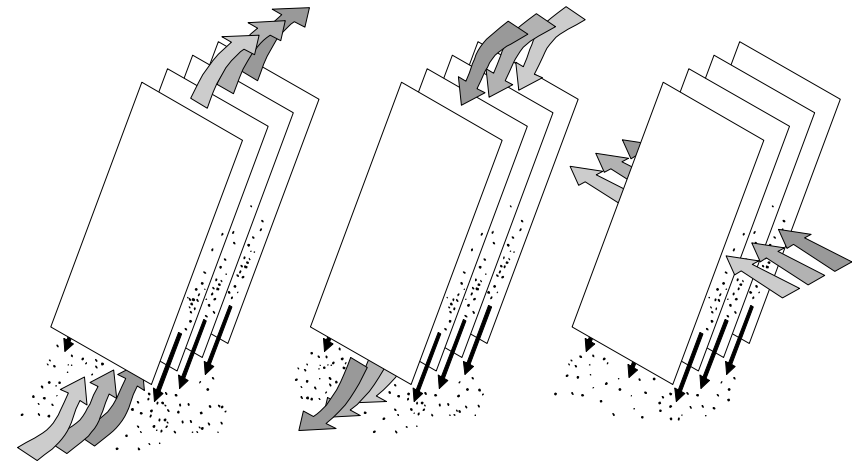
Einsatz von Schrägklärerelementen

In RKB wie auch in dezentralen Bauwerken eingesetzt

Vervielfachung der wirksamen Absetzfläche = Projektionsfläche der Lamellen von oben

Geringe Distanz der Platten

Verschiedene Bauarten



Gegenstrom

Gleichstrom

Kreuzstrom

Bemessung nach einer Oberflächenbeschickung bei einem Bemessungsregen, z.B. $q_A = 4 \text{ m/h}$ bei $r_{\text{krit}} = 15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ (DWA-M 176 2013)

Annahmen:

- 1) Nur der Sedimentationsvorgang ist maßgebend.
- 2) Die Fläche der Lamellen ist sehr viel größer als die des Beckens und daher für den Sedimentationsvorgang allein entscheidend.
- 3) Kein Wiedereinmischen in die Strömung. Aber: Das Material rutscht trotzdem von den Lamellen selbsttätig ab und sammelt sich darunter.

Verbesserung des Sedimentationsprozesses

Verhalten von Gegenstrom-Schräglärerelementen

Theoretischer Hintergrund:

Absetzvorgang analog zur Sedimentationstheorie nach Hazen
Abgesetztes Sediment bleibt auf der Lamellenoberfläche liegen,
kein Abrutschen, kein Wiedereinmischen

Daraus resultierende Einflussgrößen:

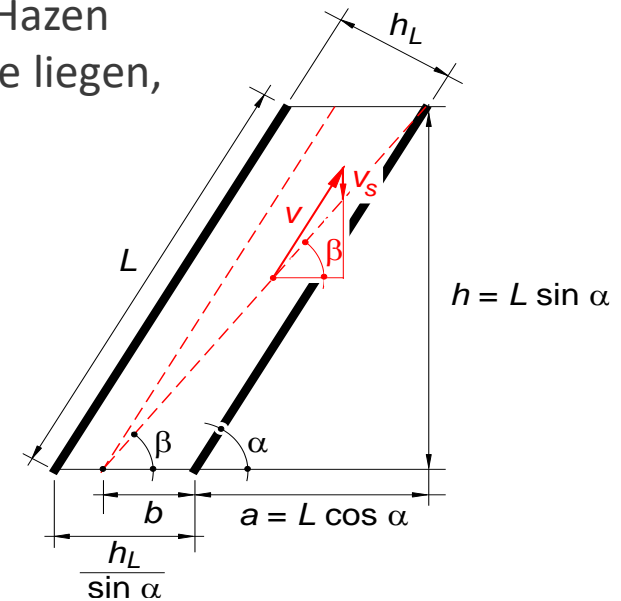
Durchfluss Q

Lamellen-Projektionsfläche $A_{\text{proj,tot}}$

Sinkgeschwindigkeit v_s

Lamellenabstand h_L

Theorie liefert: $\eta = f(q_A/v_s, L/h_L)$
(sonst keine weiteren Einflussgrößen!)



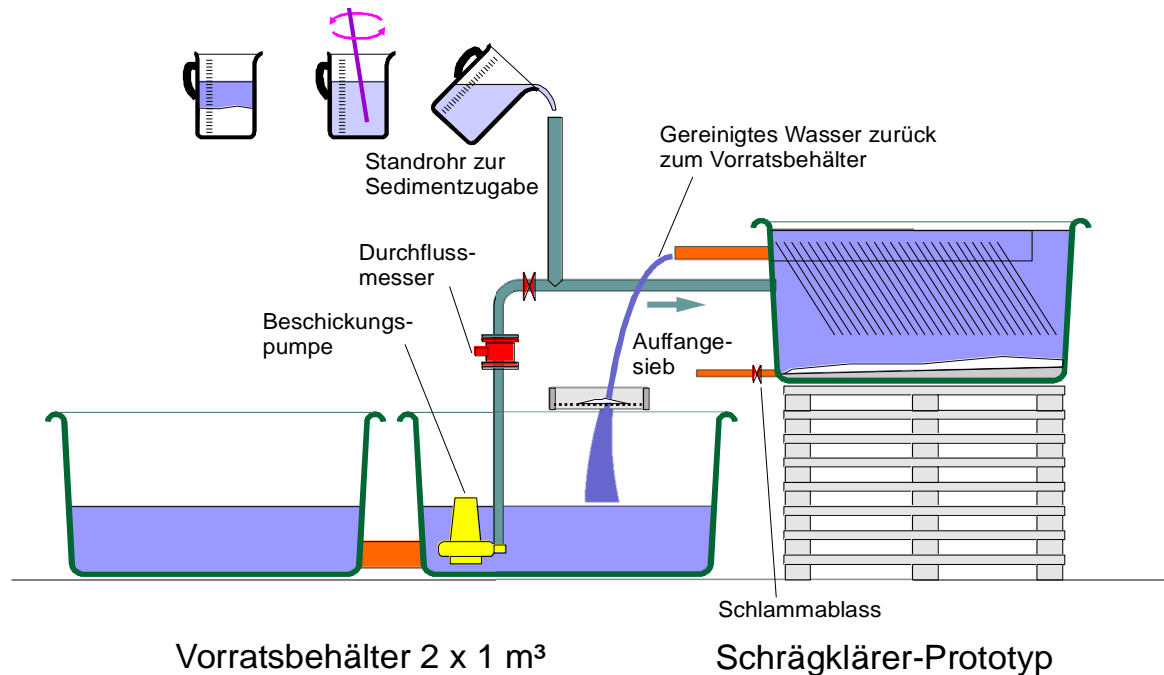
Qualitative Abhängigkeit:

h nimmt ab mit steigendem q_A/v_s

Geringe Abhängigkeit von L/h_L

Verbesserung des Sedimentationsprozesses

Modellversuche an Gegenstrom-Schräglärerelementen



Verwendung von unaufgeschäumtem Polystyrol (BASF P 423)

Polystyrolkügelchen, $d = 0,5 \text{ mm}$

Idealisiertes Modellsediment, geringe Sinkgeschwindigkeit,
einfaches Handling (Sieben mit feiner Gaze)

Versuche am Modell-Versuchsstand mit wählbarem, konstantem Q

Verbesserung des Sedimentationsprozesses

Modellversuche an Gegenstrom-Schräglärerelementen

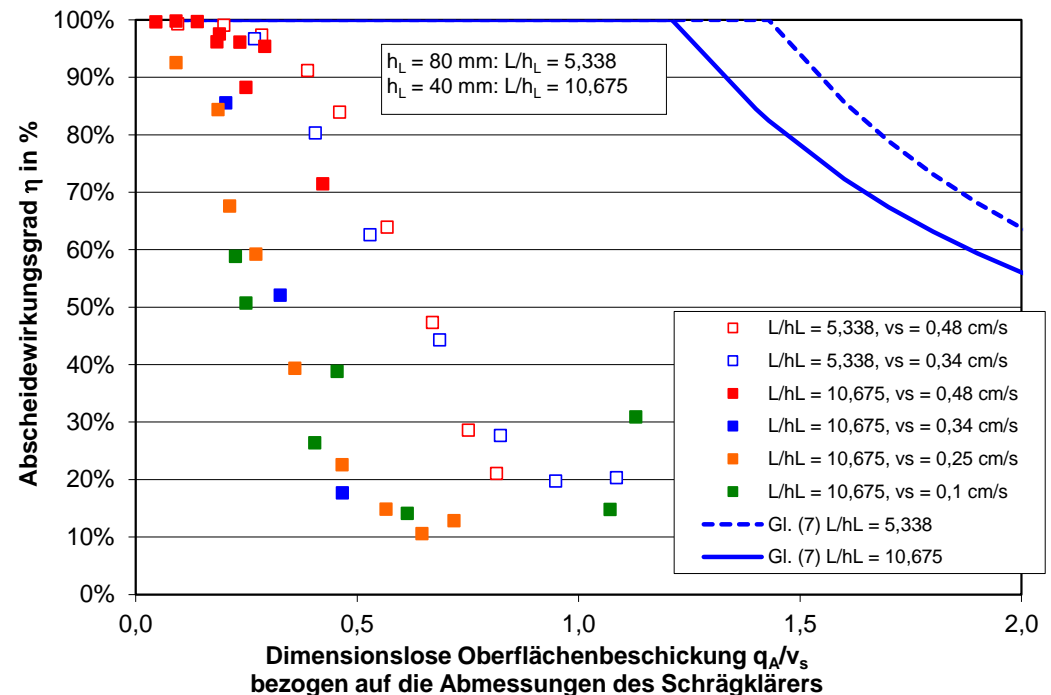
Auswertung gemäß der Theorie

Auftragung nach $\eta = f(q_A/v_s, L/h_L)$

Ergebnis:

- Überraschend geringe Wirkungsgrade!
- Zusätzliche, nicht erfasste Einflussgrößen (Kurven für verschiedene h_L fallen nicht zusammen!)

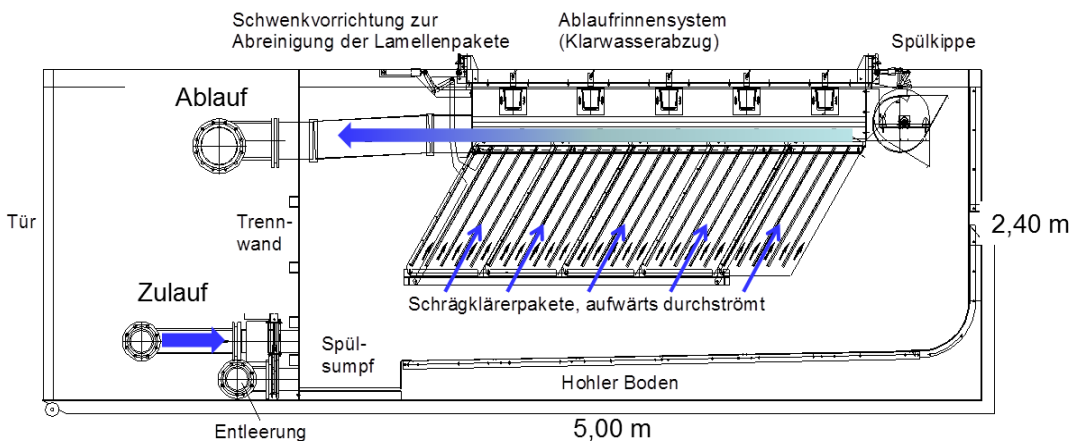
→ Es gibt wichtige Einflussfaktoren, die durch die Theorie nicht berücksichtigt werden!



Experimentelle Ergebnisse an Lamellenabscheidern im großtechnischen Maßstab

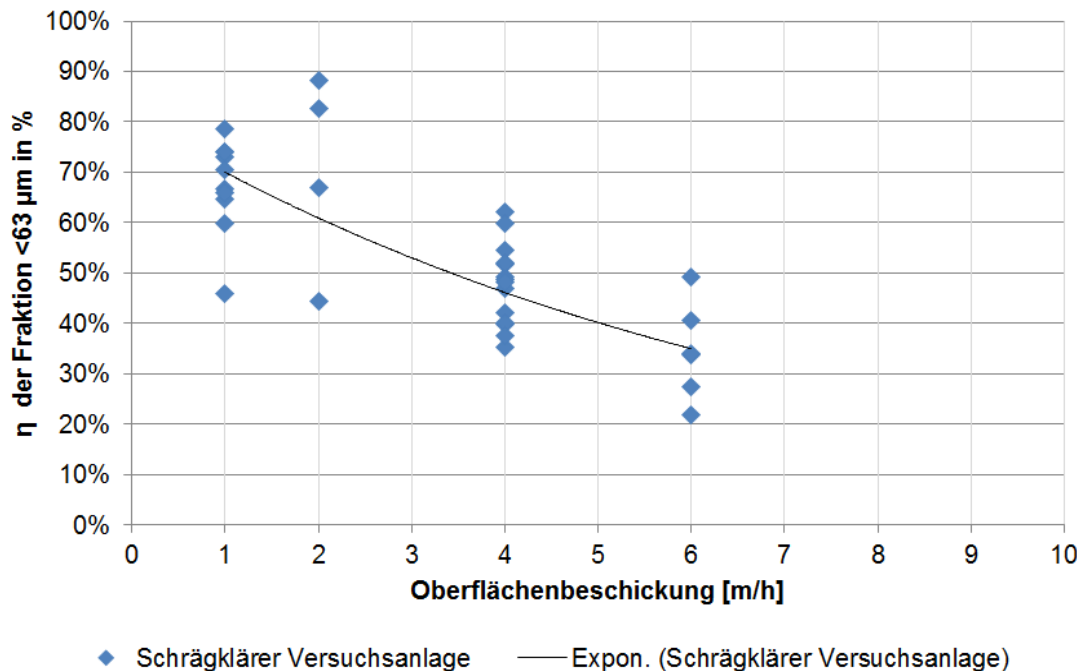
9

- Pumpenbeschickter Container mit Lamellenpaketen, $Q = \text{const}$, aber wählbar
- Mischwasser; Zulauf einer Kläranlage; Trockenwetter- und Regenabfluss
- Probenahme am Zulauf und Überlauf
- Nasssiebung, Trennung $d < 63 \mu\text{m} \rightarrow \text{AFS63}$



Experimentelle Ergebnisse an Lamellenabscheidern im großtechnischen Maßstab

- AFS63-Frachtwirkungsgrade bei stationärer Durchströmung und Oberflächenbeschickung ($Q = \text{const.} \rightarrow q_A = \text{const.}$)



→ Überraschend gute, mit echtem Sediment gemessene Wirkungsgrade!

Quelle:
Kemper, M., Fuchs, S., Voßwinkel, N., Mohn, R., Uhl, M., Rehtien, S., Weiß, G. (2015): Optimierung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken mittels Schrägklärertechnologie. Schlussbericht. Untersuchungsvorhaben im Auftrag des MURL NRW

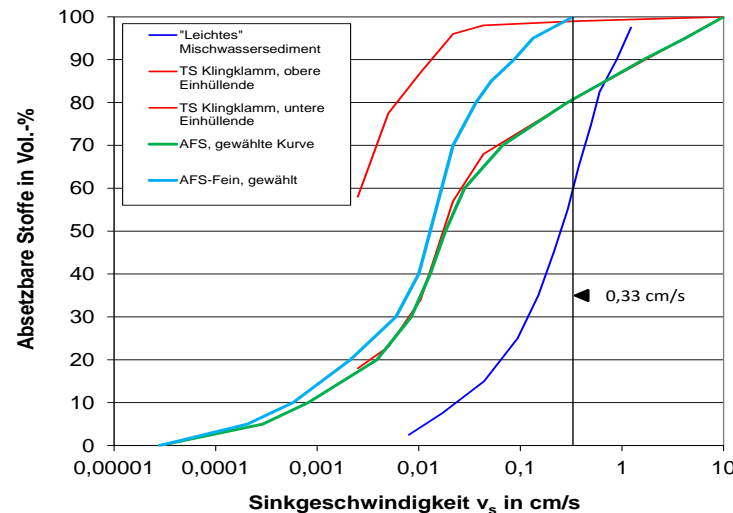
Vergleich Modellversuche und großtechnische Ergebnisse

11

Wie kann man die Resultate vergleichbar machen?

Anwendung wasserbaulicher Modellgesetze für den Sedimentationsvorgang:

■ Annahme für die Sinkgeschwindigkeitsverteilung von AFS63



Stützstellenwerte der Kurven			Fraktionierung AFS-Fein		
Vol.-%	AFS v_s in cm/s	AFS-Fein v_s in cm/s	Fraktion	Breite in %	Mittlere Sinkgeschw. v_s in cm/s
100	10,00000	0,33000	95-100	5	0,23168
95	4,21697	0,13335	90-95	5	0,10997
90	1,63117	0,08660	80-90	10	0,06156
85	0,68786	0,05158	70-80	10	0,02913
80	0,29007	0,03652	60-70	10	0,01927
70	0,06683	0,02175	50-60	10	0,01487
60	0,02818	0,01679	40-50	10	0,01148
50	0,01830	0,01296	30-40	10	0,00798
40	0,01296	0,01000	20-30	10	0,00404
30	0,00841	0,00596	10-20	10	0,00135
20	0,00387	0,00211	5-10	5	0,00039
10	0,00082	0,00058	0-5	5	0,00012
5	0,00029	0,00021			
0	0,00003	0,00003			

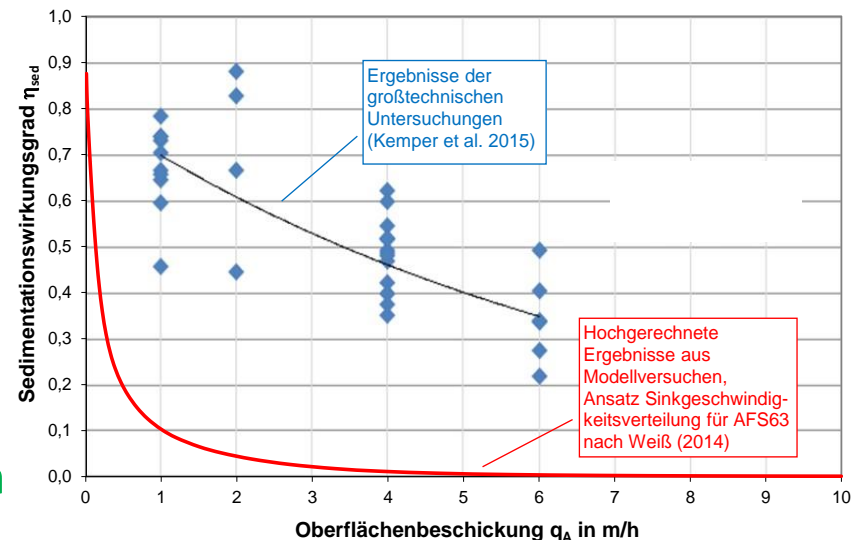
- Fraktionierte Berechnung anhand der gemessenen Modellwirkungsgrade: 12 Klassen mit jeweils **maßgebendem v_s** und prozentualem Anteil
- Ansatz eines **Zusammenhangs $\eta = f(q_A/v_s, L/h_L)$** aus den Modellversuchen

Vergleichbar-Machen der Darstellungen:

- Der so berechnete Wirkungsgrad würde sich einstellen, wenn sich AFS63 am Lamellenabscheider in gleicher Weise wie Modellsediment verhalten würde.
- Einzeichnen zusammen mit den Ergebnissen der großtechnischen Versuche

Ergebnis:

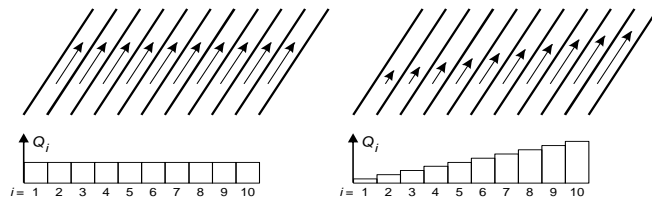
- Sehr geringer berechneter Wirkungsgrad!
- Passt gar nicht zu den guten Ergebnissen der großtechnischen Versuche!
- Modellsediment und AFS63 verhalten sich am Lamellenabscheider offenbar stark unterschiedlich!



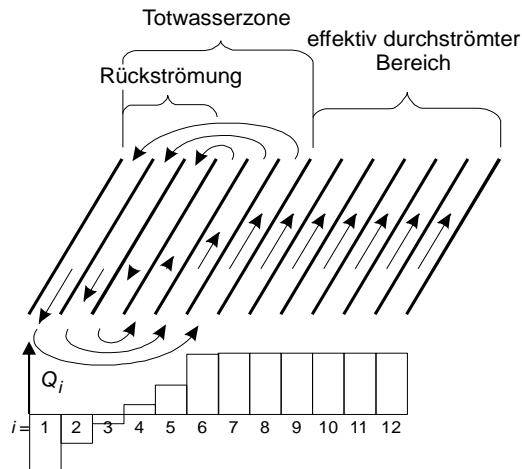
Mögliche Gründe für die Abweichung (Hypothesen)

1) Ungleichmäßige Durchströmung der Lamellenpakete?

- Theorie sagt: Geringer Einfluss
- Keine stark ungleichmäßige Durchströmung mit Rückströmung beobachtet
- Kann Beobachtung nur zu geringem Teil erklären



Es lässt sich zeigen: Bei Gültigkeit der Hazen-Sedimentationstheorie hat eine ungleiche Durchflussverteilung gar keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad.

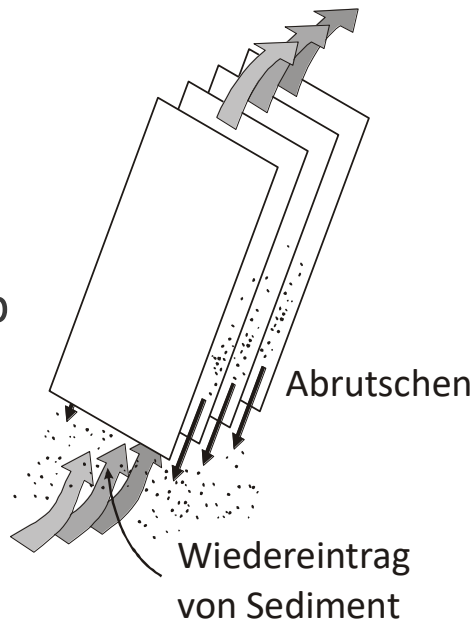


Nur bei sehr stark ungleichmäßiger Durchströmung mit Rückströmung wird der Wirkungsgrad stärker beeinflusst.

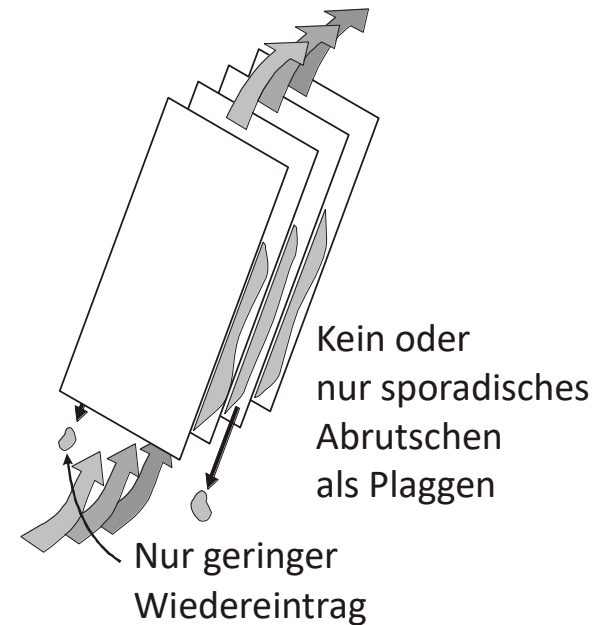
Mögliche Gründe für die Abweichung (Hypothesen)

2) Verhalten des Sediments nach Absetzen auf der Lamellenoberfläche?

- Modellsediment: sehr rollig, Abrutschen vieler Einzelkörnern und Wiedereintrag in die Strömung beobachtet
- Stillschweigende Annahme „abgesetztes Sediment bleibt liegen“ ist nicht erfüllt
- Kanalsediment:
Abrutschprozess konnte nicht beobachtet werden (Trübe!). Annahme:
Sediment rutscht nicht ab
→ könnte Beobachtung erklären



“Rolliges” Modellsediment



Echtes Kanalsediment

Mögliche Gründe für die Abweichung (Hypothesen)

3) Flockungsverhalten des Kanalsediments?

- Beobachtung aus anderen Projekten: Gelegentlich spontanes Flocken von Sediment in Misch- oder Regenwasser
- Flocken haben größere Sinkgeschwindigkeit als Einzelpartikel $< 63 \mu\text{m}$
- Guter Absetzwirkungsgrad bei Flocken
- Bei Nasssiegung werden Flocken wieder zerstört und AFS63 zugeordnet
- Nicht-eindeutiger Zusammenhang zwischen Partikeldurchmesser und Sinkgeschwindigkeit!



Fazit

Vermutung: Effekte 2) und 3) sind maßgebend, also die Sedimenteigenschaften!
Schlussfolgerungen:

- Das Betrachten des Absetzvorgangs mit idealisiertem v_s genügt zur Beschreibung des Verhaltens von Lamellenabscheidern keinesfalls!
- Es sind weitere Sedimenteigenschaften außer v_s maßgebend. Eine Tendenz zum Flocken und die Abrutscheigenschaften beeinflussen den Wirkungsgrad sehr stark.
- Eine Übertragung von Lamellenabscheider-Wirkungsgraden von Modellsediment auf andere Sedimente ist daher nicht sachgerecht.
- Zur Prognose der Abscheidewirkung großtechnischer Schrägklärer sollten ausschließlich großtechnische Ergebnisse der Containerversuche herangezogen werden (Messung an echtem Sediment).
- Wie repräsentativ sind Millisil-Versuche nach DIBt-Prüfmethodik?

Fazit

Weitere Schlussfolgerung:

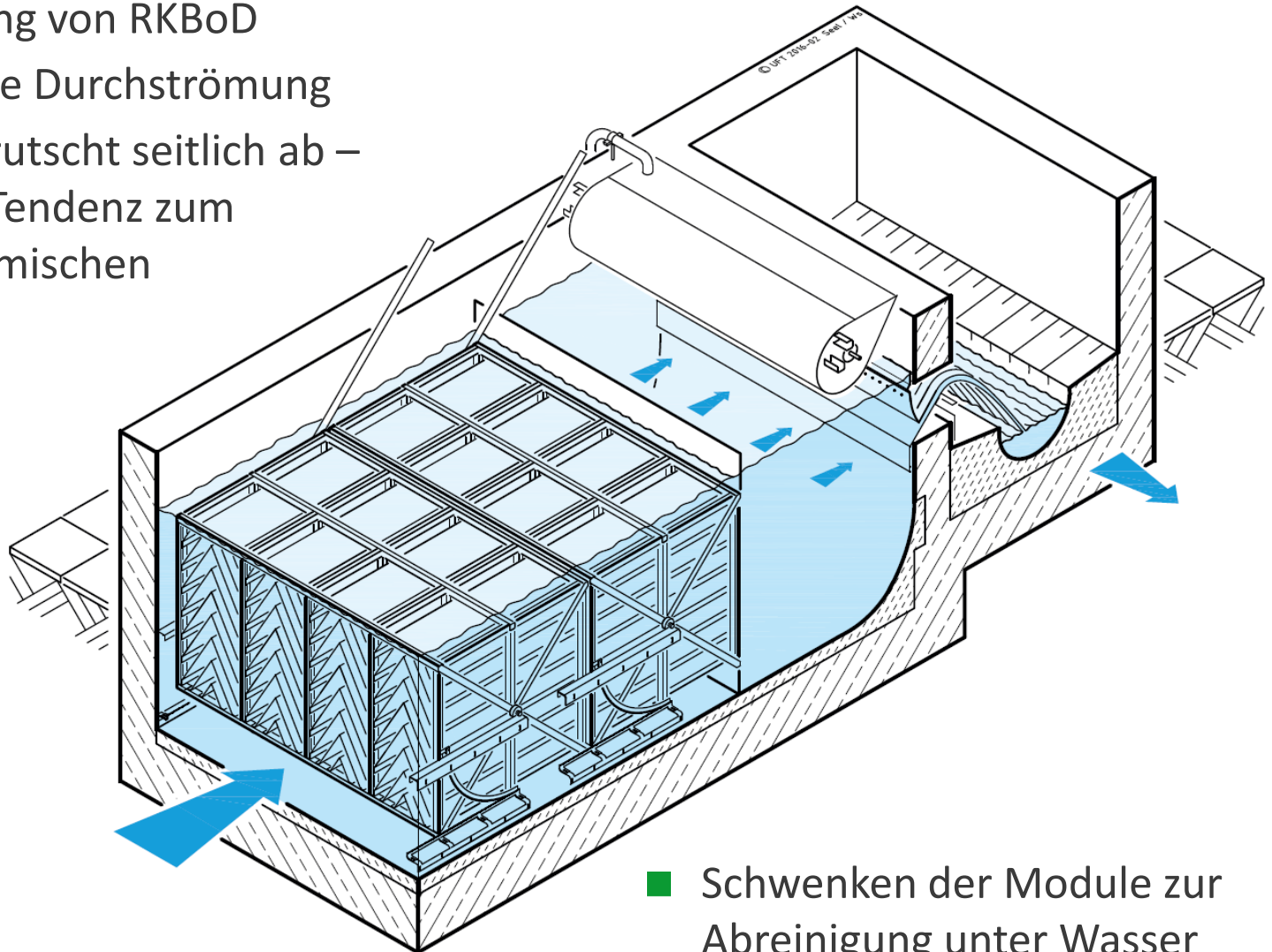
- Guter Wirkungsgrad = Folge eines verzögerten Abrutschens?
Dann ist Reinigung der Lamellen unabdingbar!
Bei starren Lamellen regelmäßige Handreinigung nötig!

Offene Fragen und Forschungsbedarf:

- Wie lässt sich das Flockungsverhalten von Sediment beschreiben?
- Wie lässt sich das Abrutschverhalten auf schrägen Flächen beschreiben sowie ein mögliches Wiedereintragen von Sediment?
- Verhalten verschiedener Typen von Lamellenabscheidern?
- Wovon hängen diese Effekte ab bei Regen- bzw. Mischwassersedimenten aus verschiedenen Einzugsgebieten?

Beispiel: Kreuzstrom-Schräglärer

- Nachrüstung von RKBoD
- Waagrechte Durchströmung
- Sediment rutscht seitlich ab – geringere Tendenz zum Wiedereinmischen



- Schwenken der Module zur Abreinigung unter Wasser



Umwelt- und Fluid-Technik
Dr. H. Brombach GmbH

Steinstraße 7
97980 Bad Mergentheim
Germany · Allemagne

Telefon: +49 7931 9710-0
Telefax: +49 7931 9710-40

E-Mail: uft@uft-brombach.de
Internet: www.uft-brombach.de

Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit!
Thank you
for your kind attention!