

Möglichkeiten und Grenzen von Schwallspülungen bei Anlagen zur Mischwasserbewirtschaftung

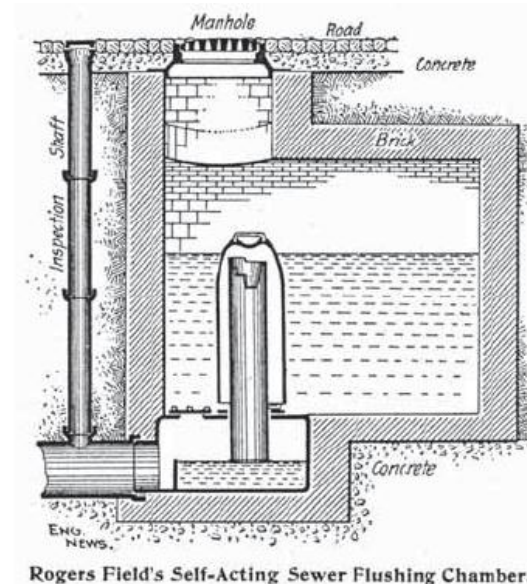
Dr.-Ing. Jörg Schaffner

Gliederung

- Einleitung
- Kanalsedimente
- Hydraulik und Berechnung von Spülwellen
- Arten von Schwallspülungen
 - Regenbecken – Kanäle im Nebenschluss
 - Mischwasserkanäle
 - Dükerbauwerke
- Grenzen von Spülwellen
- Fazit

Einleitung

- Historische Reinigungsmethode
- 1. Spülungen Cloaca Maxima Rom ca. 500 – 550 v. Chr.
- Keine Nutzung im Mittelalter
- Paris 1663
- London 1678



Roger Field's selbsttätige Kanalspülkammer, 1896 (Bertrand-Krajewski, 2003)

Einleitung

- Nach 2. WK kaum noch genutzte Technik
- Neuentdeckung in den 1980ziger Jahren
- Viele Entwickler und Produzenten aus Deutschland
- Zahlreiche Forschungsprojekte D, F, It, USA

→ Schwallspülung ist heute eine weltweit bewährte Technik zur Reinigung von Becken und Kanälen

Kanalsedimente

- Ablagerungen in Kanälen – Hauptsammlern
 - Bedingungen:
 - Kleines Sohlgefälle
 - Geringer Trockenwetterabfluss
 - Geringe Fließgeschwindigkeit

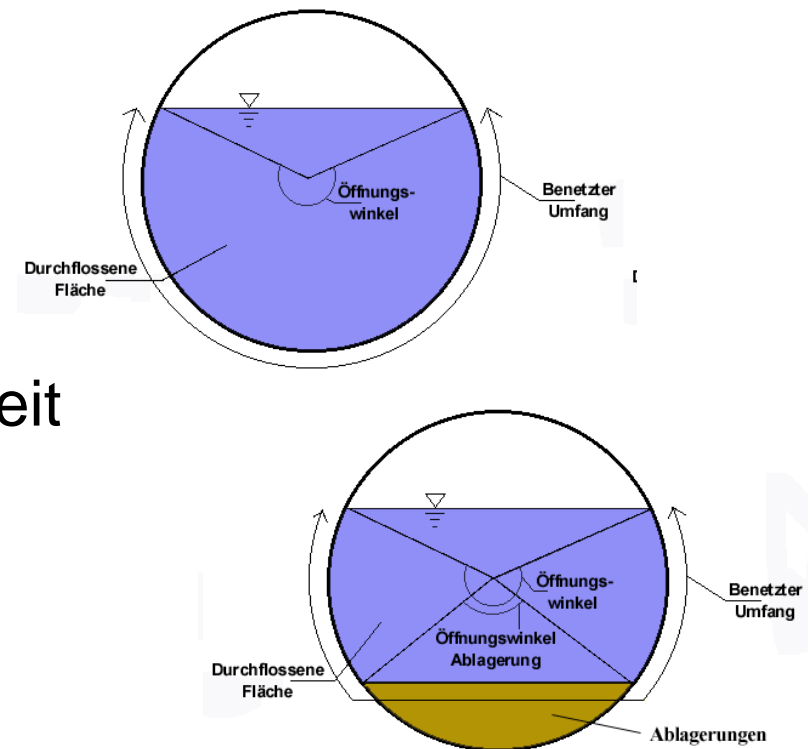


Altstadtsammler Wetzlar

➔ Horizontale Strömungskräfte halten Partikel nicht mehr in Bewegung

Kanalsedimente

- Ablagerungskreislauf
 - Reduzierung von A
 - Reduzierung R_{hyd}
 - Geringe Fließgeschwindigkeit
- ➔ Neue Ablagerungen



- ➔ Häufigeres Anspringen von RÜ's
- ➔ Zusätzliche Gewässerbelastungen

Kanalsedimente

- Inhaltsstoffe
 - Abhängig vom EZG
 - Feststoffe wie Hygieneartikel, Fäkalien, Papier, Haare, Fasern, Sand
 - Paste mit mineralischen Einschlüssen
 - Höhenvariation zw. Millimeter und Dezimetern



Kanalsedimente

- Erosion
 - Abflusssteigerung durch z.B. Starkregenereignisse
 - Überschreiten der kritischen Fließbedingungen
 - Überschreitung $\tau > \tau_{\text{krit}}$
 - Große Bandbreite für τ_{krit} : 1 – 20 N/m²
- ➔ Herauslösen einzelner Körner bis Kornverbände
- ➔ Schwallspülungen: $\tau > 3 - 5 \text{ N/m}^2$

Kanalsedimente

- Reinigungsverfahren
 - Hockdruckreinigung
 - Hoher Energie- und Frischwasseraufwand
 - Hohe Kosten
 - Unhygienische Arbeitsbedingungen
 - Schwallspülung
 - Aufstau von vorhandenem Mischwasser
 - Schlagartiges Freigeben des Wasservolumens
- ➔ Spülwelle mit hoher Geschwindigkeit löst Ablagerungen

Kanalsedimente

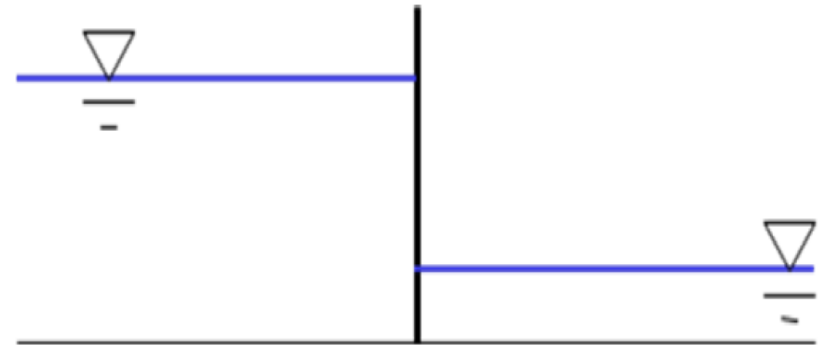
- Ablagerungen in Becken bei mangelhafter Reinigung



Hydraulik von Spülwelle

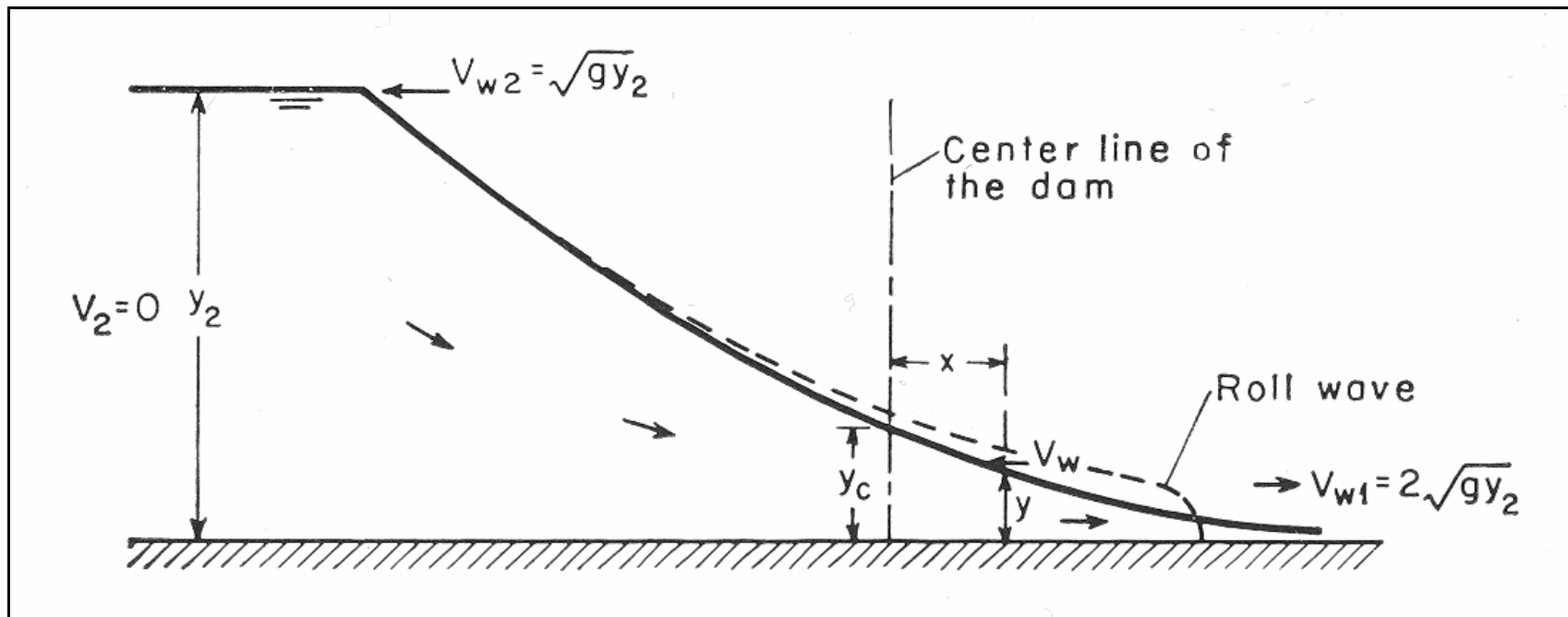
- Analytische Ansätze

- Hydraulisch:
→ Dammbruchwelle
- Mathematisch:
→ Riemannproblem
- Anfangswertproblem
aufgrund von Unstetigkeit ($x = 0$ m)
- Zusammenbruch des freistehenden Wasserkörpers
 - Gravitation
 - Druck



Hydraulik von Spülwelle

- Analytische Ansätze



– Rittergleichung (1892): $V_w = 3\sqrt{g \cdot y} - 2\sqrt{g \cdot y_2}$

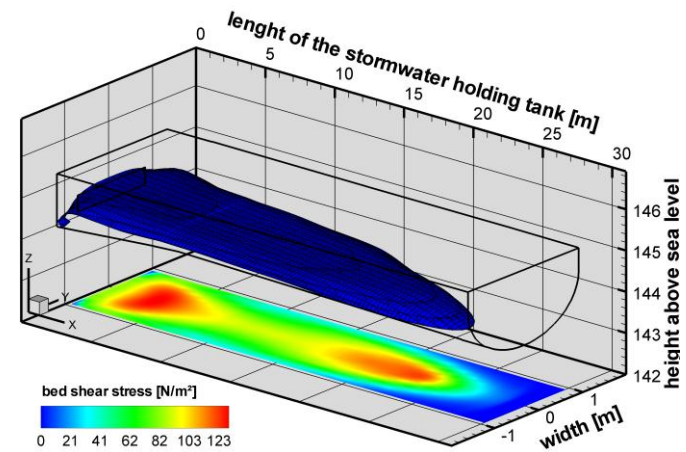
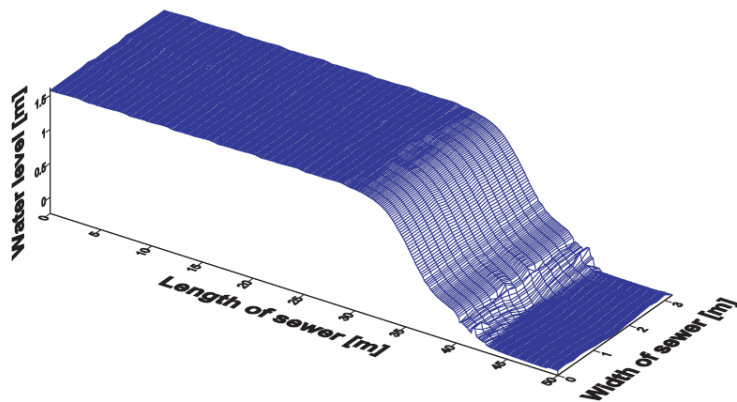
(Chow, 1959)

Hydraulik von Spülwelle

- Analytische Ansätze
 - Vereinfachte Annahmen der Rittergleichung:
 - Trockenes Gerinne stromab
 - Prismatisches Rechteckgerinne
 - Horizontales Gerinne
 - Keine Reibung
 - Unbegrenztes Wasservolumen oberhalb Dammbbruch
 - Verbesserte Lösungen von Dressler (1952) und Stoker (1957)
- ➔ Keine analytische Berechnung von Spülwellen in Kreisprofilen unter Einfluss von Neigung und Reibung

Hydraulik von Spülwelle

- Numerische Modellierung
 - 1-D: Saint - Venant Gleichungen
 - 2-D: Flachwassergleichungen
 - 3-D: Navier – Stokes Gleichungen



Kirchheim et al., 2005

Hydraulik von Spülwelle

- Numerische Modellierung
 - 3-D Modelle
 - Turbulenzmodelle
 - Sehr genaue Ergebnisse bei guter Kalibrierung
 - Schwierige Bedienung – Lange Rechenzeiten
 - Detailuntersuchungen wie z.B. Becken oder RÜ's
 - 1-D Modelle
 - Tiefen- und breitengemittelte Resultate
 - Schnell und einfach zu bedienen – Kurze Rechenzeiten
 - Ing. Anwendungen wie z.B. lange Kanäle und Teilnetze
- ➔ Modellwahl wichtig um instationäre Spülwellen abzubilden

Möglichkeiten von Spülwellen

- Unterscheidung:
 - Regenbecken und Kanäle im Nebenschluss
 - Mischwassersammler
 - DN 250 – DN 3000 oder entsprechende Rechteckgerinne
 - Dükerbauwerke

Regenbecken und Kanälen i.N.

- Spülsysteme

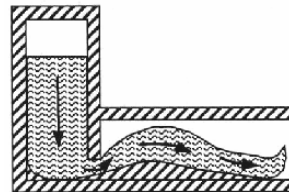
- Spülklappen



- Spülkippen



- Vakuumsysteme



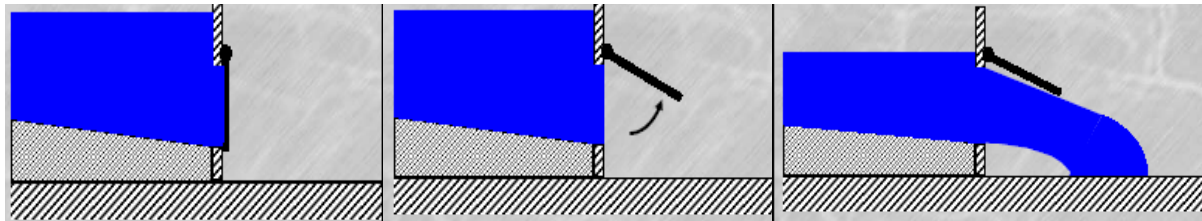
Quelle: Schüßler

- Rundbeckenspülungen



Regenbecken und Kanälen i.N.

- Klappenspülung



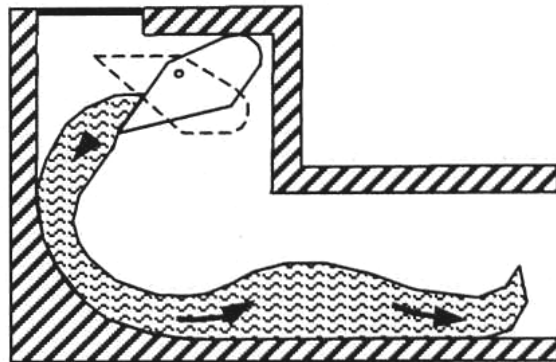
- Befüllung Speicherkammer bei Beckeneinstau
- Auslösung wenn Spülsumpf geleert
- Verzögerte Freigabe des Spülvolumens durch kleine Klappenöffnung
- Effektive Spüldistanz bis zu 400 m



Quelle: Jörg Steinhardt

Regenbecken und Kanälen i.N.

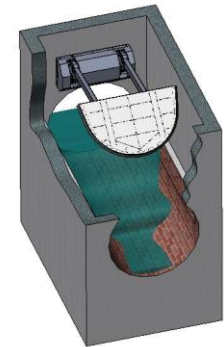
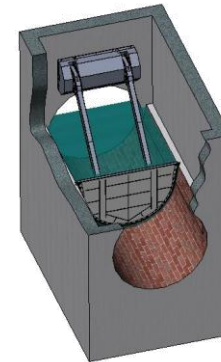
- Spülkippen
 - Nutzung potentiale Lageenergie
 - Externe Befüllung
 - Vollständige Volumenfreigabe
 - Hoher Lufteintrag in Spülwelle
 - Effektive Spüldistanz bis zu 50 m



(Dettmar, 2005)

Mischwassersammler

- Hydraulische Spülschilde
 - Grundstellung des Kanalspülers oberhalb Fließquerschnitt
 - Absenken des Kanalspülers
 - Absperren des Fließquerschnittes
 - Einstau des Trockenwetterabflusses unabhängig von Regenereignissen bis zur bemessenen Spülhöhe
 - Schnelles Anheben des Spülschildes
 - Bildung einer turbulenten Spülwelle
 - ➔ Reinigung der unten und oben liegenden Kanalstrecke



Mischwassersammler

- Hydraulische Spülschilde
 - Durch Steuerung frei wählbare Spülfrequenz
 - Anpassung der Spültaktik an Sonderbauwerke, z.B. Stauraumkanäle mit untenliegenden Drosseln
 - ➔ Bedarfsgerechte Spülung angepasst an die Lokalität
 - Durchmesser 500 – 2500 mm
 - Effekt. Spüldistanz bis zu mehreren Kilometern, abhängig von hydraulischen Randbedingungen

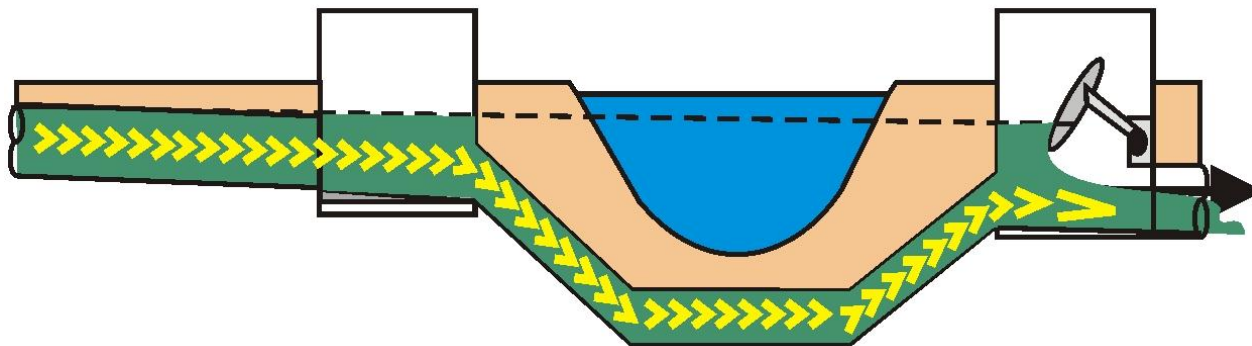
Mischwassersammler

- Hydraulische Spülschilde
 - Lange Ablaufdauer aufgrund kleinem Fließquerschnitt
 - Hohe Schubspannungsdauer
 - Spülschild in Deutschland noch nicht sehr weit verbreitet
 - Wichtig: Fundierte Auslegung
 - Beachtung hydraulischer Randbedingungen
 - Unterstützung durch 1-D Modellierung sinnvoll



Dükerbauwerke

- Hydraulische Spülschilde
 - Schlagartige Öffnung des Spülschildes
 - Entstehung eines Sogeffektes (hydraulisch Sunkwelle), welcher durch den Düker in das Oberwasser wandert
 - Bildung sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Düker
 - Erhöhte Sohlschubspannung im Düker
 - Ablösung vorhandener Sedimente und Abtransport

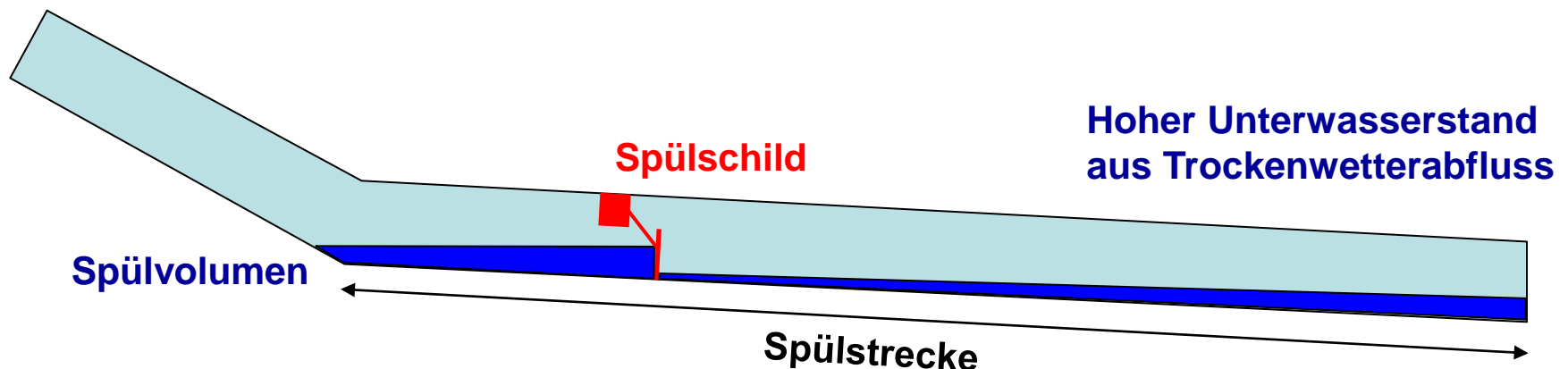


Grenzen von Spülwellen


- Geringer Trockenwetterabfluss
 - Lange Einstaudauer möglich $t > 2 \text{ h}$
 - Ablagerungen im Einstaubereich
 - Geruchsbildung
 - Trockenfallen von Haltungen direkt vor Kläranlage
 - Bei ungünstigen hydraulischen Bedingungen
Unterversorgung der Kläranlage
- ➔ Sorgfältige Planung und realistische Beurteilung der lokalen hydraulischen Situation

Grenzen von Spülwellen

- Hoher Trockenwetterabfluss
 - Sehr kurze Einstaudauer
 - Unzureichende Entleerung der Spülstrecke
 - Spülwelle läuft in Wasserpolster
 - Hoher Verlust von Reinigungsleistung

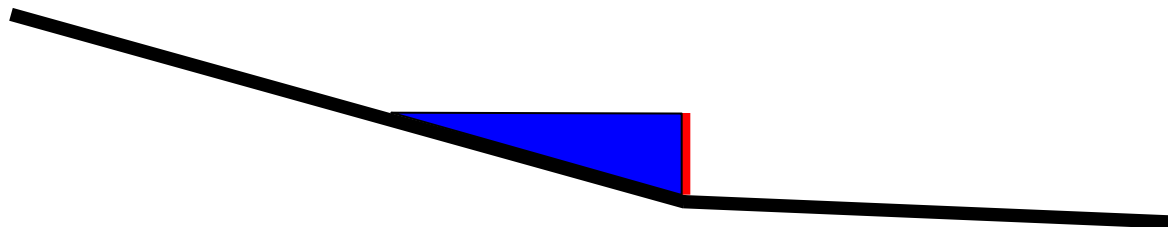


Grenzen von Spülwellen

- Geringes Längsgefälle
 - Einstau großer Spülvolumen möglich
 - Große effektive Spüldistanzen
 - Gefahr langer Einstauzeiten
 - Gefahr der Sedimentverlagerung im Netz
- ➔ Kaskadenartige Anordnung von Spülorganen bis zur Kläranlage notwendig

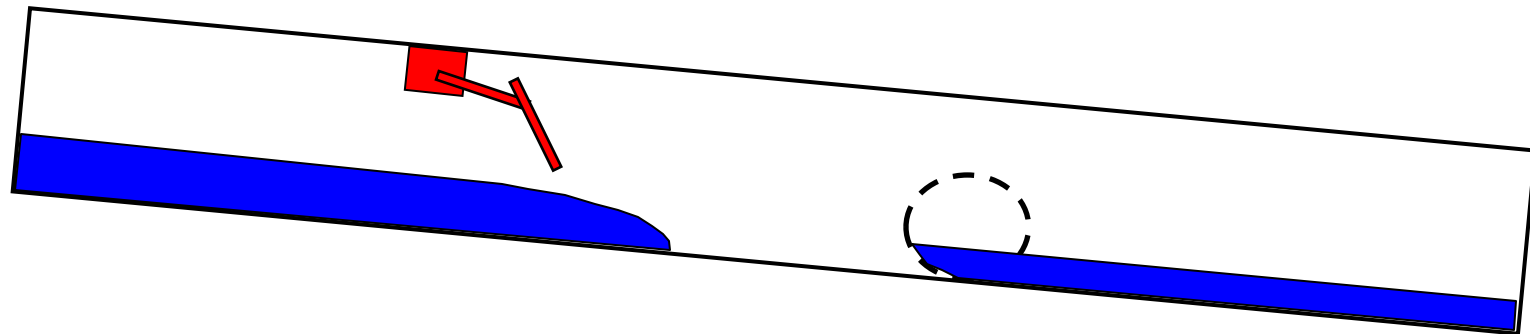
Grenzen von Spülwellen

- Großes Längsgefälle im Einstaubereich
 - Geringes Einstauvolumen
 - Geringe effektive Spüldistanz
 - Gefahr der Sedimentverlagerung im Netz
 - Bei folgenden flachen Kanalhaltungen mehrere Spülorgane bis zur Kläranlage notwendig



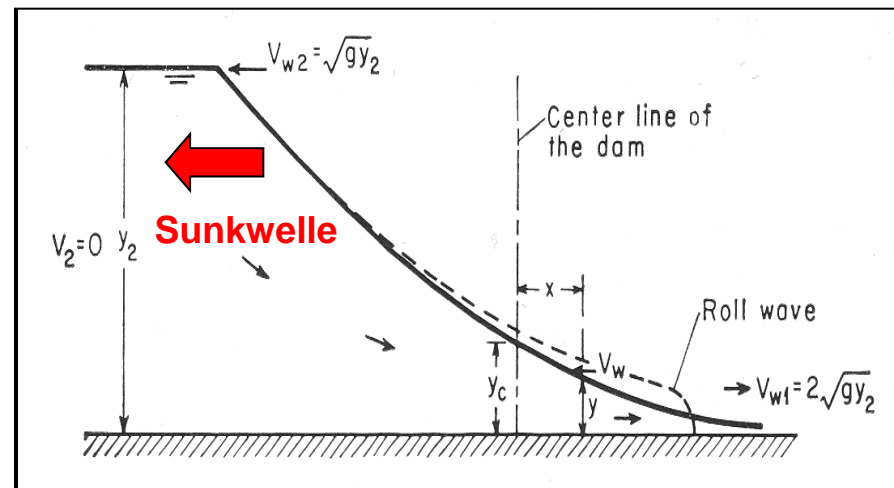
Grenzen von Spülwellen

- Seitliche Zuflüsse und Unterwasserstände
 - Spülwelle fließt in Wasserpolster
 - Hoher Energieverlust der Spülwelle
 - Starke Erhöhung des Spülvolumens notwendig (bis zu 500 %) um Reinigungsleistung zu erhalten



Grenzen von Spülwellen

- Spülwirkung von Sunkwellen
 - Ablösungen von Sedimenten aus Spülvolumeneinstau
 - Reinigung ca. 30 – 45 % der Einstaustrecke
 - ➔ Geringe Reinigung bereits vorhandener verfestigter Sedimente



(Chow, 1959)

Fazit

- Schwallspülung weltweit bewährte Technologie
 - Erhaltung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Kanälen und Regenbecken
 - Reduzierung von Entlastungsereignissen
 - Gewässerschonung
 - Verringerung von Stoßbelastungen auf Kläranlagen
 - Reduzierung von Geruchsbelästigungen
 - Energie- und Kostenreduzierung

Fazit

- Grenzen bei ungünstigen hydraulischen Verhältnissen
 - Lange Einstauzeiten, Unterwasserstände, ...
- Wichtig: Realistische Analyse der lokalen Situation
- Notwendig: Erfahrung bei der Einplanung
 - Analyse von Fehlerquellen (Datenqualität)
 - Anwendung der geeigneten Spülsysteme
 - Nutzung von geeigneten Berechnungsmethoden, z.B. numerische Modellierung

➔ Volle Ausschöpfung des Potentials von Spülwellen möglich



Dr.-Ing. Jörg Schaffner
Steinhardt GmbH
65232 Taunusstein
Röderweg 8 -10

www.steinhardt.de