UMGANG MIT FEINSEDIMENTEN AN STAUSEEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER TURBINENABRASION

- Wissens- und Technologietransfer für die Wasserkraft -

David Felix
felix@vaw.baug.ethz.ch

SCCER-SoE Annual Conference 2019, Lausanne

KWO GRIMSELSTROM

ETH zürich
VAW Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology

FlexSTOR

SCCER SoE
SWISS COMPETENCE CENTER for ENERGY RESEARCH
SUPPLY of ELECTRICITY

In cooperation with the CTI
Energy funding programme
Swiss Competence Centers for Energy Research
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Innosuisse – Swiss Innovation Agency

Sedimentaufkommen und Verlandung alpiner Speicher

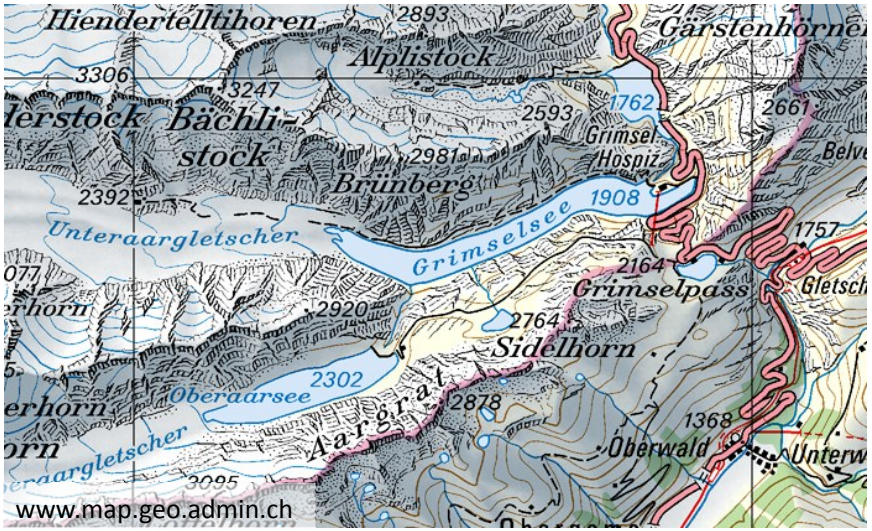
Unteraargletscher
VAW, 06.09.2017

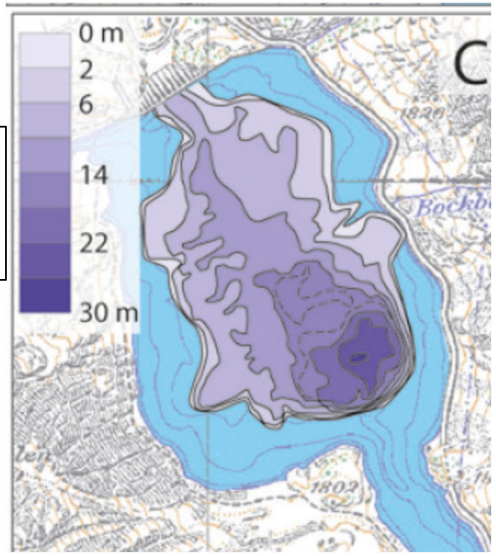
Grimsel- und Räterichsbodensee
Bild: KWO

Räterichsbodensee (KWO) during drawdown

Stamm et al. (2016)

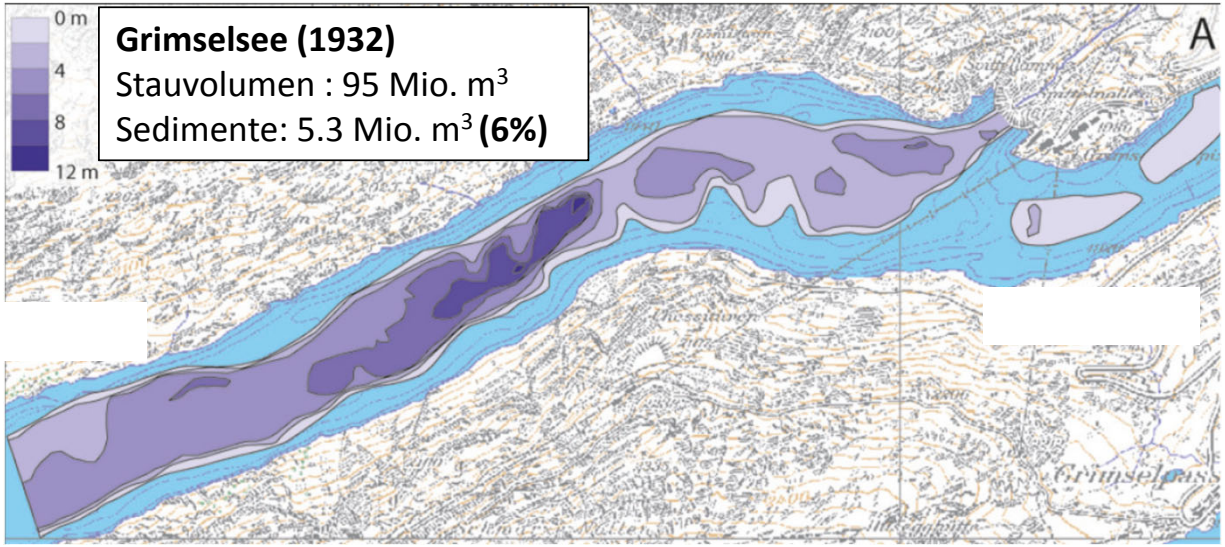
Verlandung der Speicher im Grimselgebiet



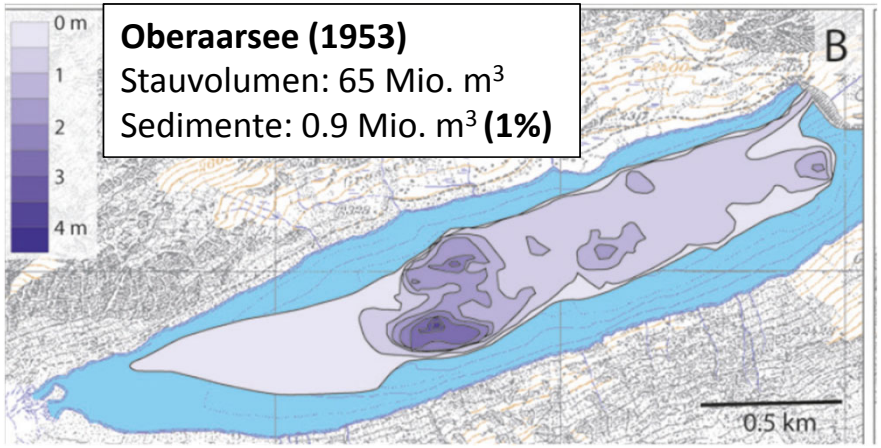


Räterichsbodensee (1950)
Stauvolumen 25 Mio. m³
Sedimente: 3.6 Mio. m³ **(14%)**

Anselmetti et al. (2007)



Grimselsee (1932)
Stauvolumen : 95 Mio. m³
Sedimente: 5.3 Mio. m³ **(6%)**

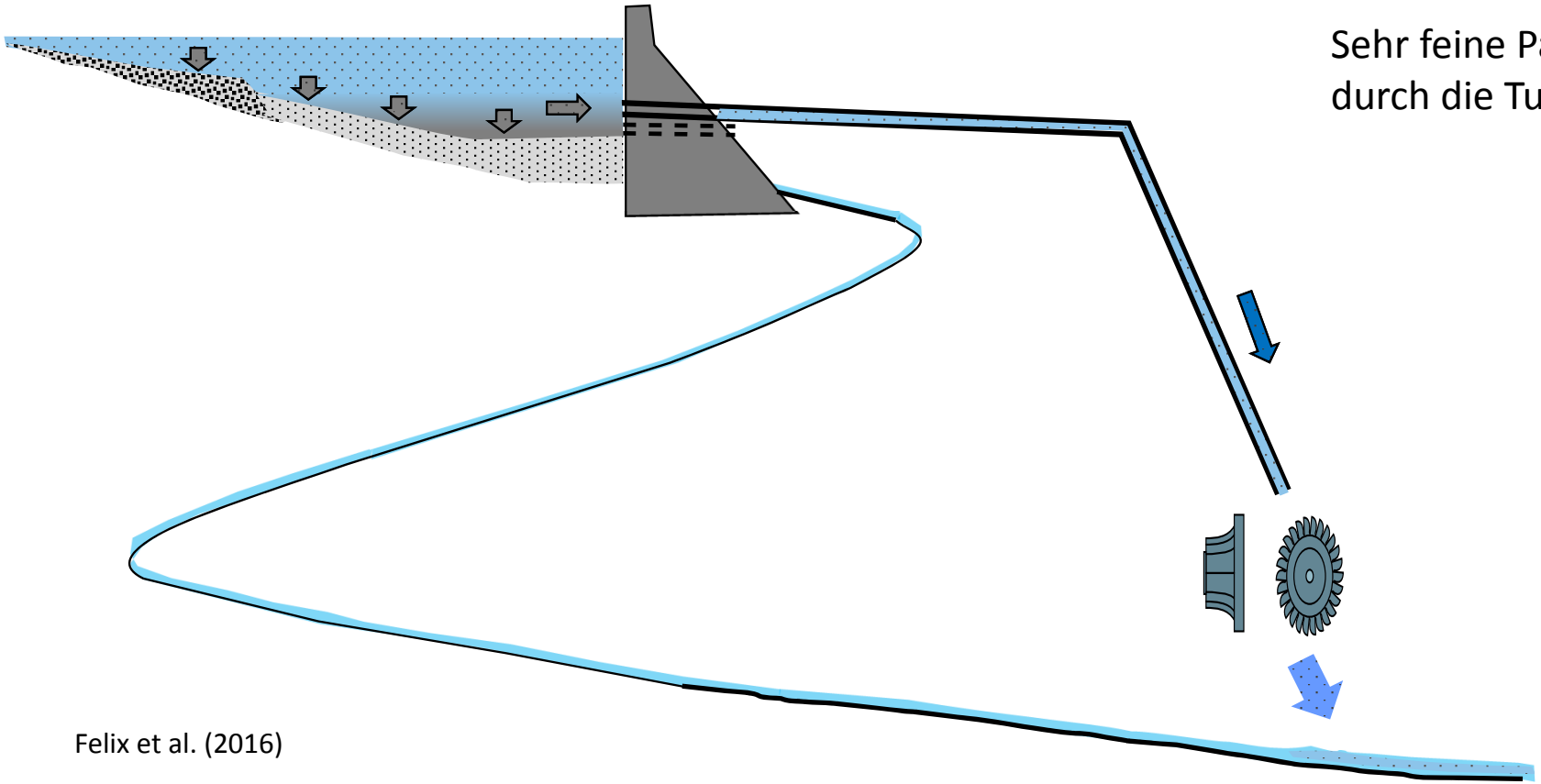


Oberaarsee (1953)
Stauvolumen: 65 Mio. m³
Sedimente: 0.9 Mio. m³ **(1%)**

Sedimenthaushalt an Speicherseen

In einem Stausee setzt sich der Grossteil der Sedimente ab

Sehr feine Partikel gelangen durch die Turbinen

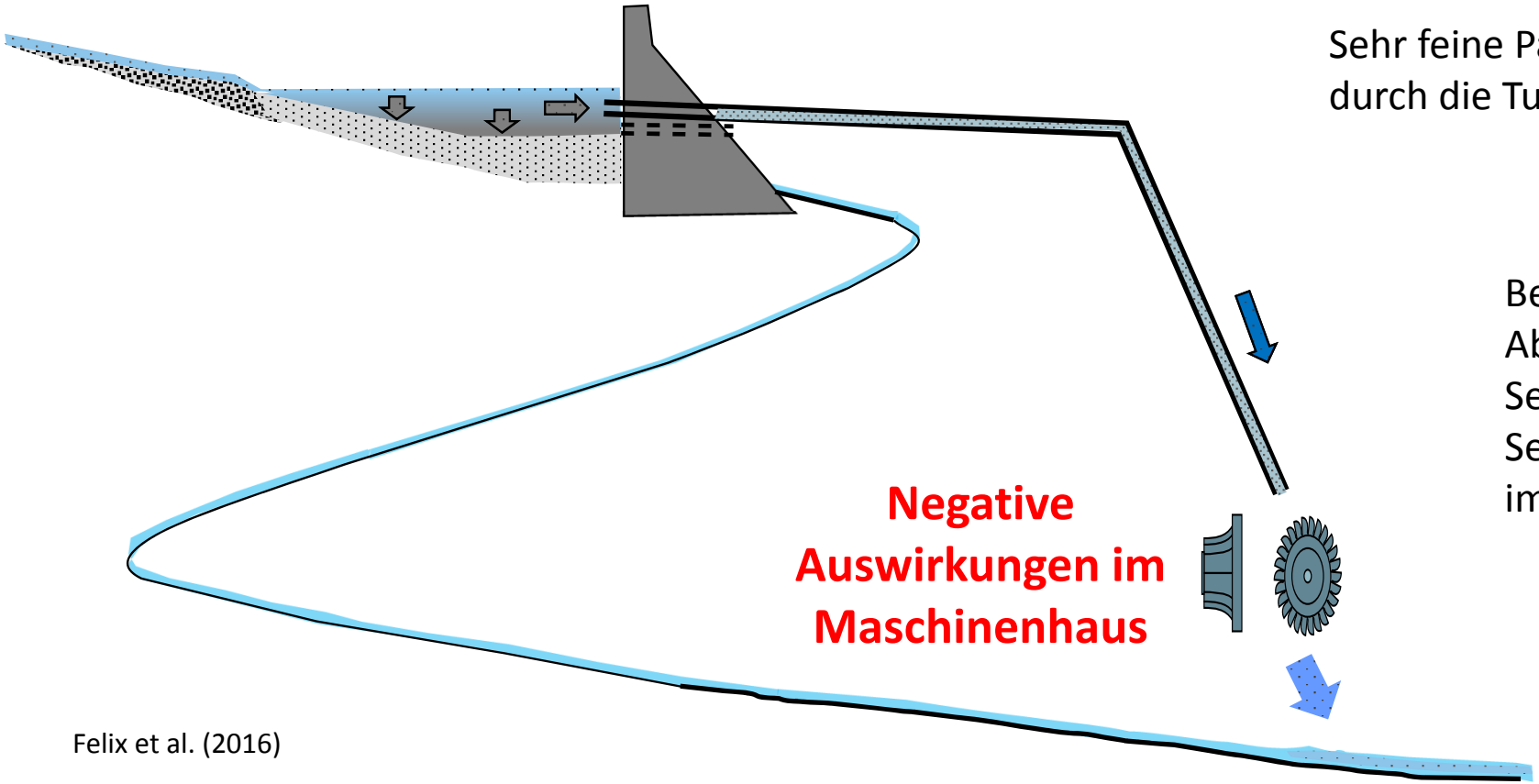


Felix et al. (2016)

Sedimenthaushalt an Speicherseen

In einem Stausee setzt sich der Grossteil der Sedimente ab

Sehr feine Partikel gelangen durch die Turbinen



Bei einer starken Absenkung des Seepegels steigt die Sedimentbelastung im Turbinenwasser

Felix et al. (2016)

Einflussgrössen der Turbinenabrasion

Gemäss IEC 62364 (2019)

Abrasionsrate [µm/h]

Relativgeschwindigkeit [m/s]

für Pelton-Becher $\boldsymbol{w} = 0.5\sqrt{2\,g\,\boldsymbol{h_n}}$

Faktoren für Partikeleigenschaften [-]

Schwebstoff-konzentration [g/l]

$$\frac{\Delta d_e}{\Delta t} = C\ w^3\ k_{shape}\ k_{hardness}\ k_{size}\ SSC$$

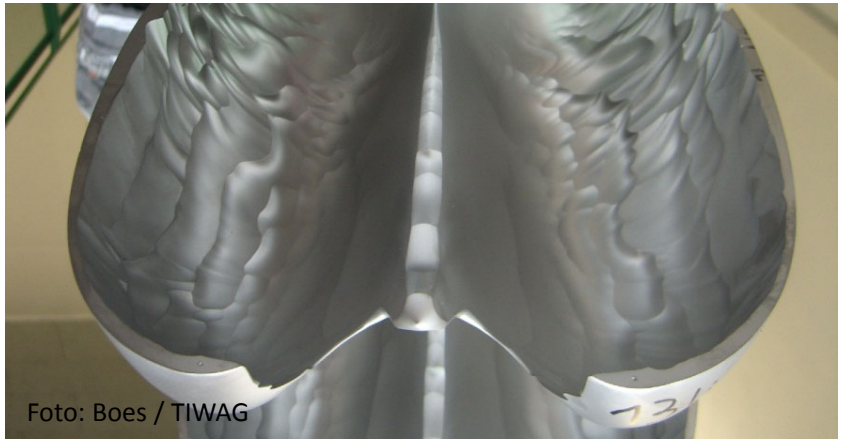
1 für gerundet
2 für kantig

Massenanteil mit Mohs-Härte > 4.5

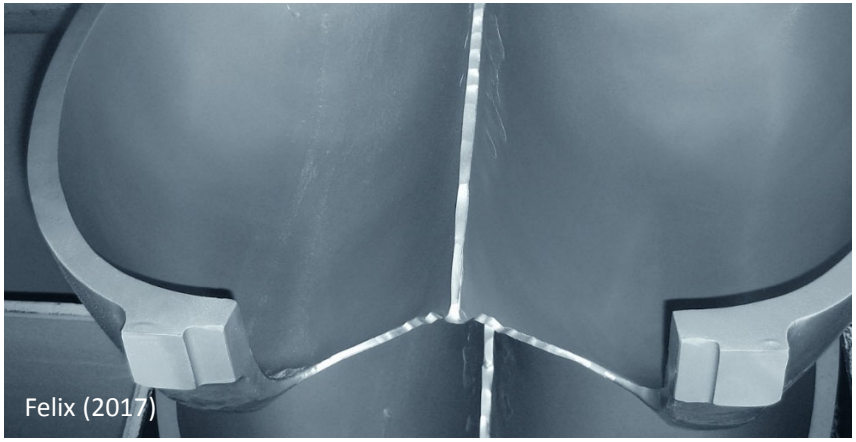
$\frac{d_{50}}{1\ mm}$

Median-Partikelgrösse [mm] (50% der Partikel sind kleiner)

HPP Dorferbach (A), Fallhöhe 680 m, **unbeschichtet**



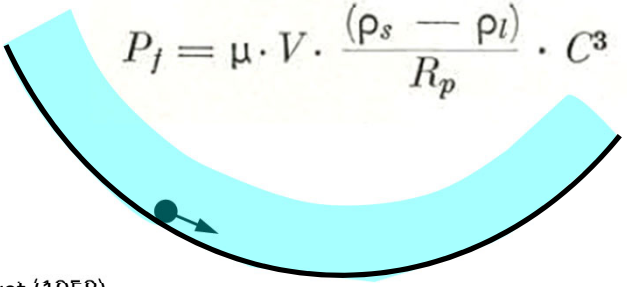
HPP Fieschertal (CH), Fallhöhe 520 m, **hartbeschichtet**



Untersuchungsmethoden

Analytische Betrachtungen

$$P_j = \mu \cdot V \cdot \frac{(\rho_s - \rho_l)}{R_p} \cdot C^3$$

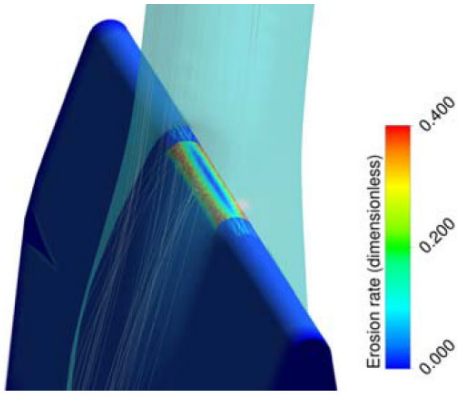


Bovet (1958)

Laborversuche

Prüfstand Andritz Hydro,
HydroNews 05-2011

Numerische Simulationen

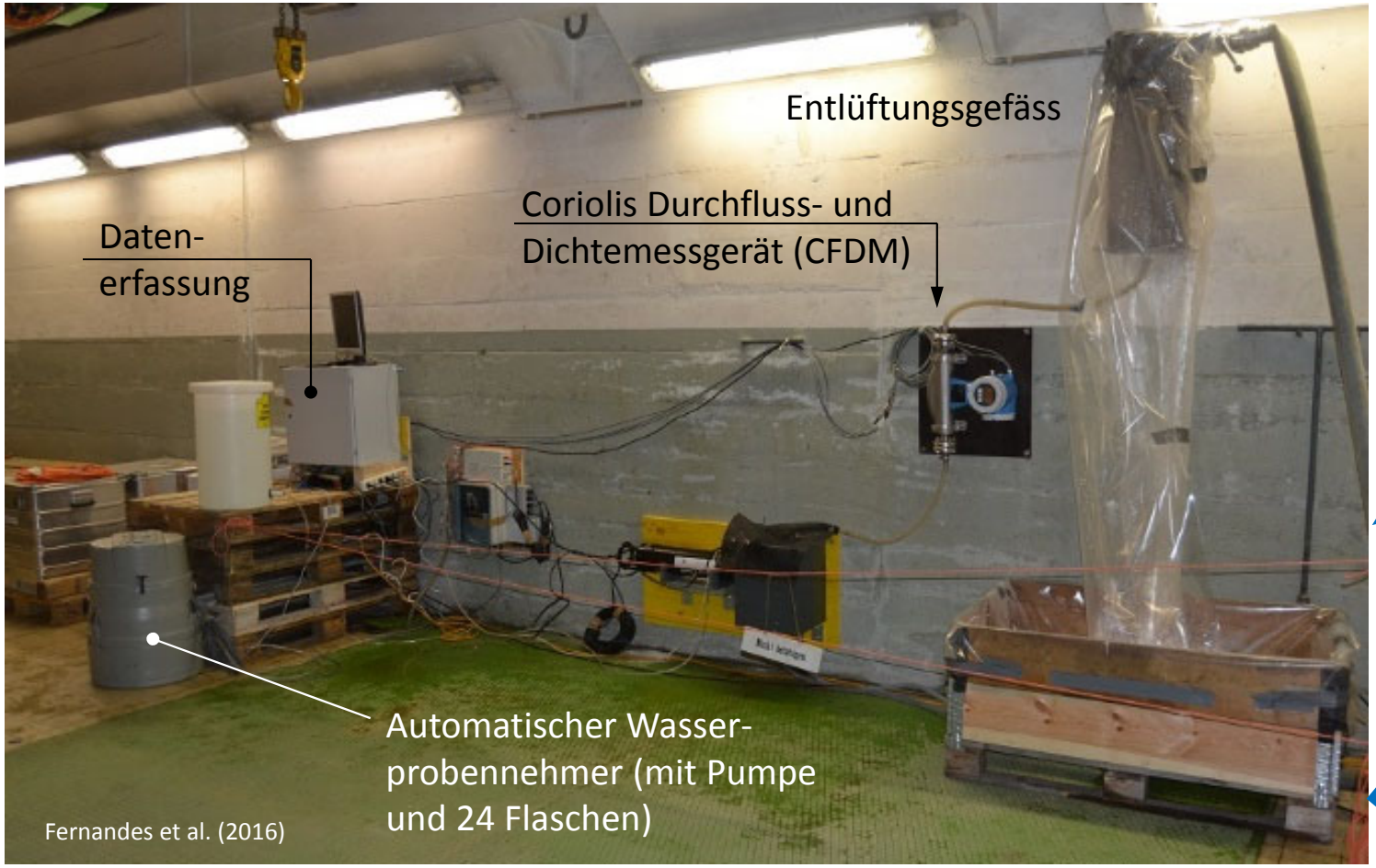


Winkler *et al.*,
Andritz Hydro (2011)

Messungen an Wasserkraftwerken

HPP Handeck 2, KWO

a) Schwebstoff- und Turbinenerosions-Monitoring während der Entleerung des Räterichsbodensees im Winter 2015/2016

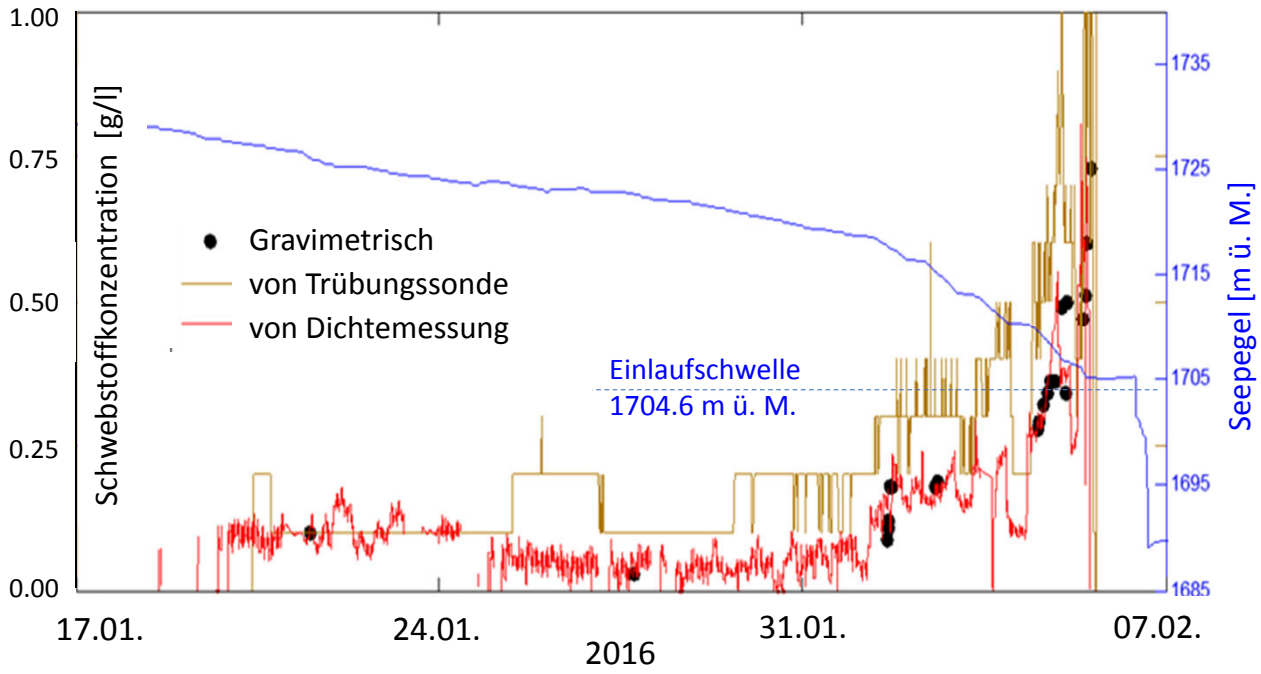


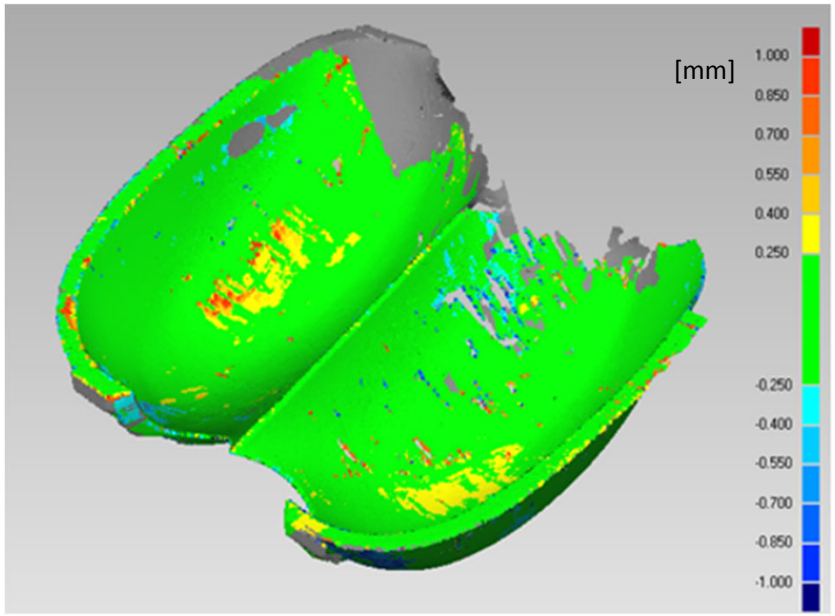
Fernandes et al. (2016)

Gepumptes Wasser vom Unterwasser kanal

Wasserrücklauf

a) Schwebstoff- und Turbinenerosions-Monitoring während der Entleerung des Räterichsbodensees im Winter 2015/2016





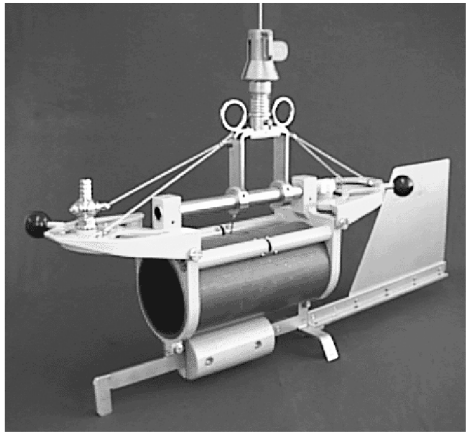
- Relativ geringe Schwebstoffbelastung der Turbinen (< 0.8 g/l) weil der See im Vorjahr schon entleert wurde (für Neubau einer weiteren Wasserfassung)

- Geringe Abrasion an den Laufradbechern
- Keine messbare Wirkungsgradabnahme

b) Untersuchung der Feinsedimente im Oberaar-, Grimsel- und Räterichsbodensee in September 2017

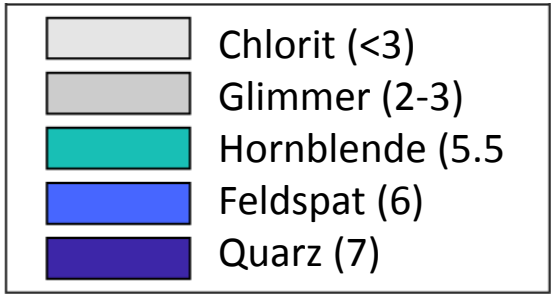
Van Veen
Sediment-
Probengreifer

Niskin
Wasserproben-
nehmer



b) Untersuchung der Feinsedimente im Oberaar-, Grimsel- und Räterichsbodensee in September 2017

Mineralien und Mohs-Härte



Zermatt, Bitsch, Stalden, Mörel 63…80%

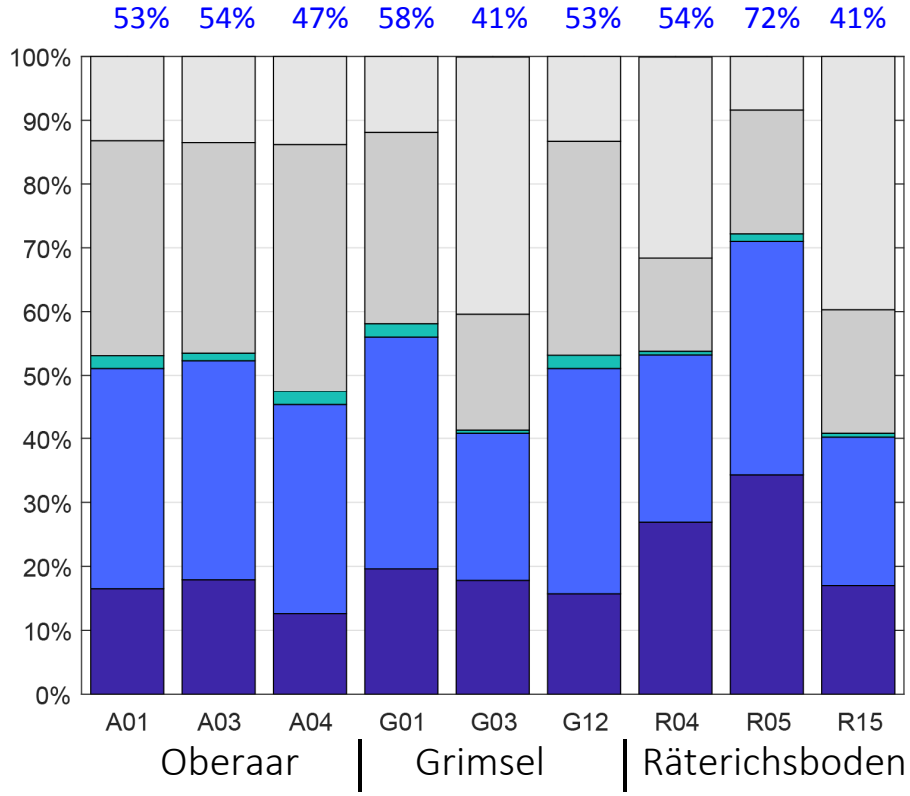
Krause & Grein (1996)

Fieschertal 76 %

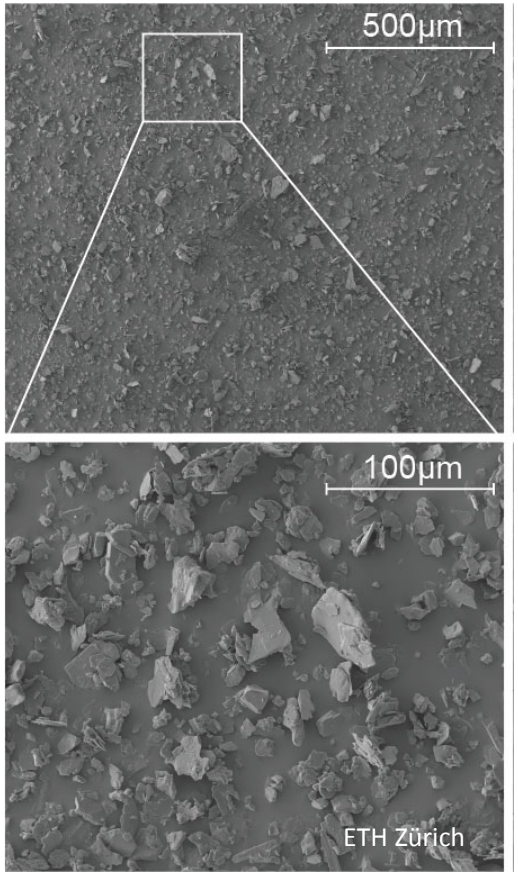
Felix (2017)

Anteil abrasiver Partikel (Mohs-Härte ≥ 4.5)

im Mittel 53%

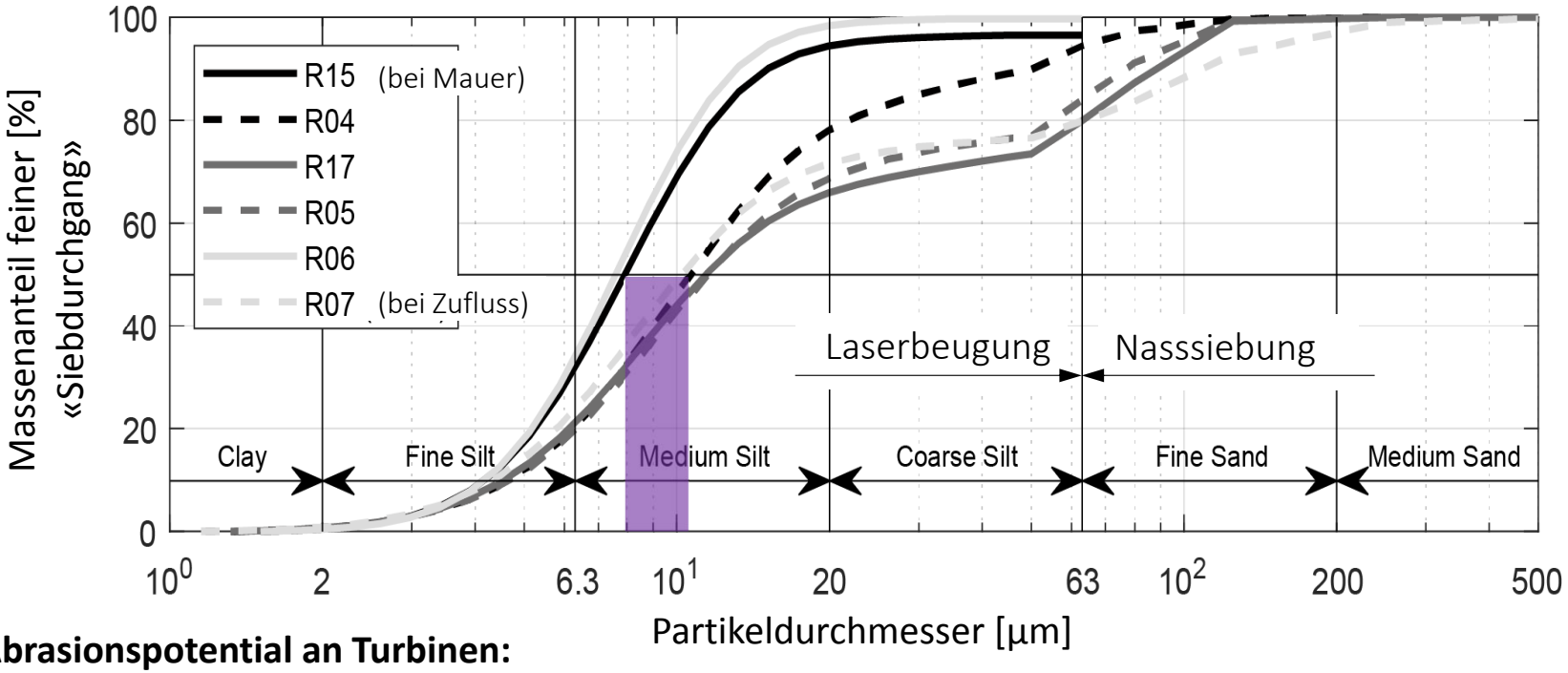


Partikelformen



b) Untersuchung der Feinsedimente im Oberaar-, Grimsel- und Räterichsbodensee in September 2017

Partikelgrössenverteilung (Beispiel Räterichsbodensee)



$d_{50} = 8 \dots 12\ \mu m$

> 65 % der Partikelmasse ist feiner als 20 µm

(bei Oberaar und Grimsel > 80 % feiner als 20 µm)

Abrasionspotential an Turbinen:

"linear"

IEC 62364 (2013, 2019)

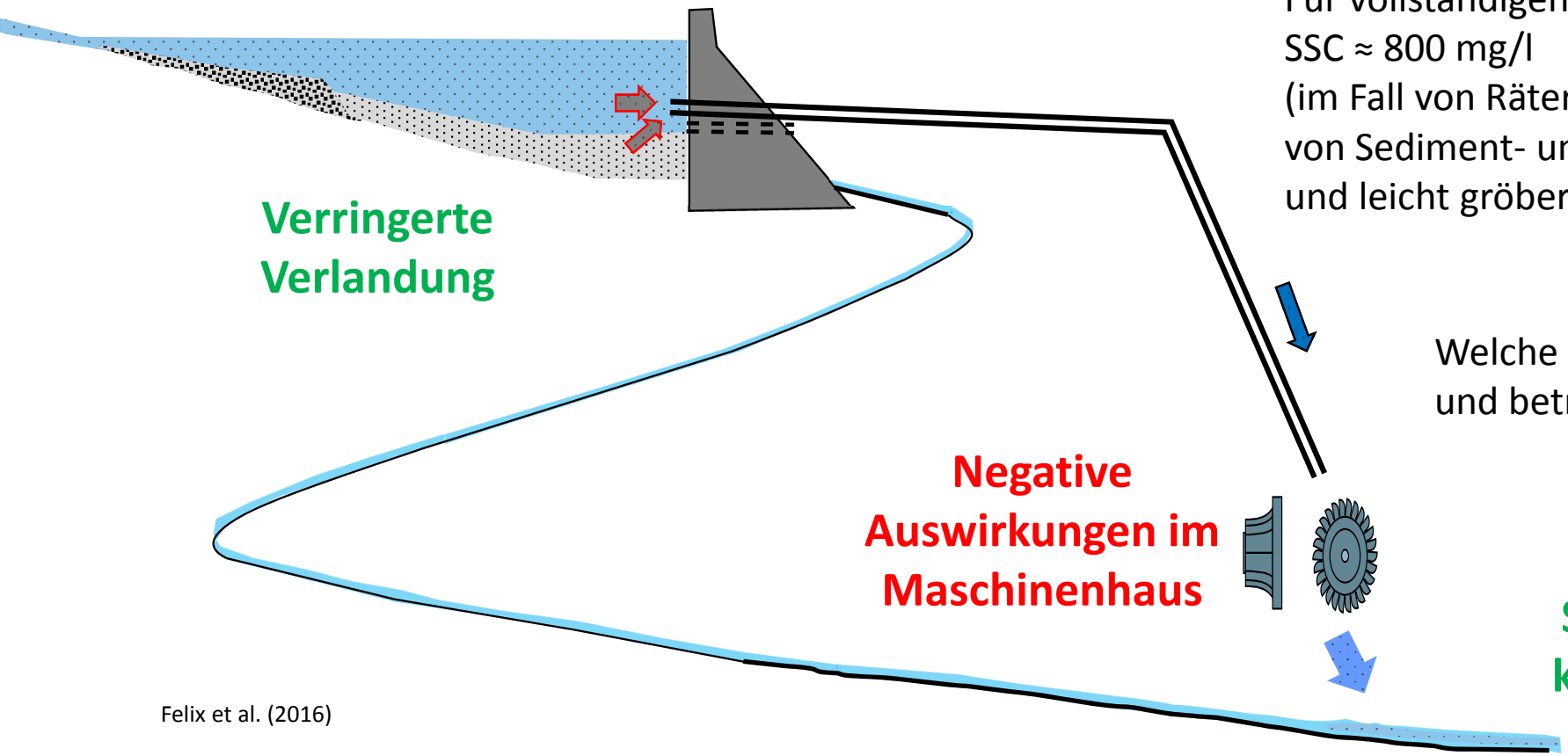
"Schwellenwert"

Winkler et al. (2011), unbeschichtete Pelton-Mittelschneiden

c) Option “Erhöhung der Schwebstoffkonzentration im Triebwasser”

im bestehenden Zustand: SSC ≈ 50 bis 150 mg/l (d_{50} ≈ 4 µm)

Für vollständigen Sedimenttransfer:
SSC ≈ 800 mg/l
(im Fall von Räterichsboden, aufgrund von Sediment- und Wasserbilanz)
und leicht gröbere Partikel



Welche SSC ist wirtschaftlich und betrieblich akzeptabel?

Felix et al. (2016)

Beiträge zur FlexSTOR-Toolbox

Umgang mit Feinsedimenten an Stauseen unter Berücksichtigung der Turbinenabrasion

Empfehlungen betreffend **Messtechniken** (Trübung, Dichte etc.) für das **Echtzeit-Monitoring der Schwebstoffe** basierend auf Feldversuchen

Vorgehen und Datensatz betreffend **Sediment-untersuchung** (Partikelgrösse, -härte und -form) von drei alpinen Speicherseen

Vorgehen, um die **aus Sicht des Stauraumerhalts wünschenswerte Schwebstoff-konzentration** im Turbinenwasser abzuschätzen

Vorgehen, um **Turbinenabrasion** bei erhöhter Konzentration etc. **abzuschätzen**

Liste mit **zu untersuchenden Punkten** im Fall von geplanten Erhöhungen der Schwebstoff-konzentration im Triebwasser

Zusammenfassung

- **Schwebstoffmonitoring**: Kombinationen von Messtechniken sind interessant
  - > **Messanschlüsse** einbauen, falls Triebwassersystem einmal sowieso entleert wird

- Der Grossteil der **Sedimente** in alpinen Saisonspeichern ist **fein** (<20 µm) und daher grundsätzlich **geeignet** für die **verstärkte Weiterleitung via Triebwasserweg**

- Ein teilweiser bis vollständiger **Sedimenttransfer** aus Stauseen via Triebwasserweg ist **möglich, wenn Anpassungen** in **Maschinenhäusern** gemacht werden
  -> beim Ersatz bzw. Neubau elektromechanischer Anlagen berücksichtigen

- **Weitere Studien** (mit längeren Messungen an Kraftwerksanlagen, ergänzt mit Laborversuchen und Simulationen) sind erforderlich, um die diese Option **wirtschaftlich begründen** zu können und die **Verfügbarkeit der Anlagen** zu erhalten.

c) Option “Erhöhung der Schwebstoffkonzentration im Triebwasser”

Vorteile

- **Verlängerung** der **Nutzungsdauer** des Stauraums, Erhalt der Flexibilität, kein Höherlegen von Wasserfassungen
- **“naturnahe”** Schwebstoff-konzentrationen im Unterlauf
- **Pelton**-Turbinen sind **einfacher zu reparieren** als Francis-Turbinen
- Schwebstoffkonzentrationen von über 1000 mg/l können gehandhabt werden, wenn Turbinen und Nebenanlagen dafür ausgelegt sind

Nachteile

- Erhöhter **Turbinen-verschleiss**
- Möglicherweise **Verstopfungen** im Druck-wassersystemen für Kugelschieberantriebe, im Kühlwassersystem etc.
- Möglicherweise **störende Sedimentablagerungen** in Stollen, Becken etc.
- **Verfügbarkeit** der Kraftwerksanlage?

Gegenmassnahmen

- für Gesamtanlage wirt-schaftlich betrachten; Beschichtungen etc.
- separate Kühl- und Druckwasserkreisläufe, Anpassungen Filter etc.
- Beobachten/Messen; Unterhalt; Einbauten?
- **Redundanz** im Maschineneinsatz

Instructions

- **This slide must be deleted from the presentation**
- The presentation should focus on transfer to industry
- Please use the provided layout (**new slide**: copy paste of previous slide of the same section)
- The presentation should have the following structure: (5' motivations + 10' main content)
  1. Title slide
  2. Motivations: 2015/2016 motivation to (still) carry out research on this topic + how/why we selected the sub-topics + how/why we selected the methods
  3. Main content:
     1. Methods: describe the methods you used
     2. Main results: provide the main results (focus on transfer to industry)
     3. Contribution to FlexSTOR toolbox: describe your contribution to this toolbox
  4. Main outcome: please summarize your main outcome in 1 slide with graphical tools if possible (workflow, organigram, timeline, etc.)
- Please add the research partner's logo on the dedicated place **on the slide master**:
  - On the **Main Title** page
  - On the **Title + Content** page
- Please add on the slide master **Title + Content** page your Work Package number in black, currently indicated by X, and the name of your organization
- If desired, you can change the background picture on the Title slide
- Please keep the wide-screen (16:9) format