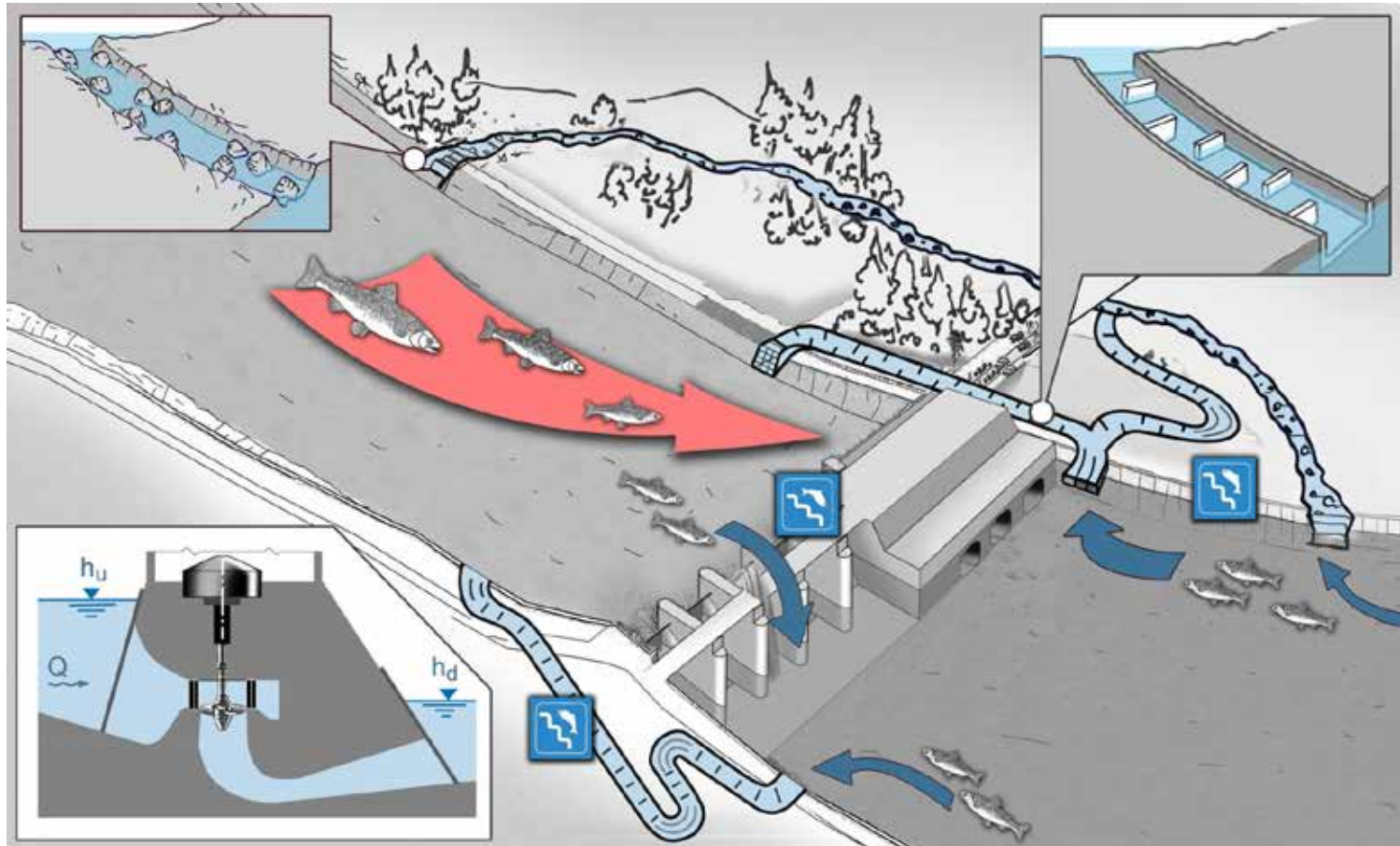


Fischabstieg an grossen Kraftwerksanlagen: Resultate Forschungsprojekt VAR



Prof. Dr. Robert Boes
Dr. Armin Peter

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

eawag
aquatic research ooc

Laboratory of Hydraulics,
Hydrology and Glaciology

Gliederung

- **Teil I (R. Boes)**
 - Projektziele & Einleitung
 - Hydraulik von Leitreechen – Detailmodell
 - Kraftwerksbetrieb mit Leitreechen – Gesamtmodell
 - Fischleiteffizienz – Ethohydraulisches Modell
- **Teil II (A. Peter)**
 - Ethohydraulisches Modell & Einleitung
 - Zielfischarten & Testkonfigurationen
 - Ergebnisse zur Fischleiteffizienz
 - Fazit

Übergeordnete Ziele

Anforderungsprofil für Fischschutzmassnahmen

- Umsetzbar für Kraftwerke mit einem **Ausbauabfluss $Q_a > 100 \text{ m}^3/\text{s}$**
- Gewährleistung des Schutzes **typischer einheimischer, potamodromer Fischarten**
- Erfüllen der besonderen betrieblichen Anforderungen **erhöhten Schwemmholz- und Sedimentaufkommens**
- Einsatz möglichst **ohne Einschränkungen des Kraftwerksbetriebes**

Massnahmen zum Fischschutz

Systemübersicht & Forschungsbedarf

| Fischschutztechnologien an Kraftwerkeinläufen | Konzept | Massnahmentyp | Einzelmassnahme | |
|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------|
| | Abschirmung und Umleitung | | Physische Barrieren | Feinrechen |
| Submerged Bar Screens | | | | |
| Submerged Travelling Screens | | | | |
| Eicher Rechen | | | | |
| Mechanische Verhaltensbarrieren | ? | | Tauchwände | Bypass |
| | | | Louver | |
| | | | Bar Racks | |
| | | | Plattenrechen | |
| Sensorische Verhaltensbarrieren | ? | | Licht (Stroboskop oder Quecksilber) | Bypass |
| | | | niederfrequenter Schall | |
| | | | Popper | |
| | | | Elektrizität | |
| Sammelsysteme | ? | | oberflächennahe Sammelrinnen | Bypass |
| | | | umlaufende Trogrechen | |
| | | | Fischpumpen | |
| | | | Trap and truck | |
| Durchleitung | | Fischschonende Turbinen | Alden Turbine | Bypass |
| | | | Voith - Minimum Gap Runner | |
| Fischschonendes Anlagenmanagement | ? | | Alstom - Fischschonende Kaplanturbine | Bypass |
| | | | Frühwarnsysteme | |
| | | | Wehröffnungen | |
| | | | kein Teillastbetrieb | |

§ Physische Barrieren betrieblich nicht umsetzbar

§ Vielversprechend, aber beträchtliche Wissenslücken

§ Unzuverlässig und wenig Felderfahrung vorhanden

§ Erprobt, aber eingeschränktes Artenspektrum

§ Hohe Investitionskosten, teilw. nur bei Neubauten umsetzbar

§ Eingeschränkte Effizienz, stark artspezifisch

Massnahmen zum Fischschutz

Systemübersicht & Forschungsbedarf

| Fischschutztechnologien an Kraftwerkseinläufen | Konzept | Massnahmentyp | Einzelmassnahme | |
|--|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------|
| | Abschirmung und Umleitung | | Physische Barrieren | Feinrechen |
| Mechanische Verhaltensbarrieren | | | Submerged Bar Screens | |
| | | | Submerged Travelling Screens | |
| | | | Eicher Rechen | |
| Sensorische Verhaltensbarrieren | Trommelrechen | | | |
| | Wedge-Wire-Screen | | | |
| | Absperrnetze | | | |
| Sammelsysteme | Tauchwände | | | |
| | Louver Bar Racks | | | |
| | Plattenrechen | | | |
| Durchleitung | Fischschonende Turbinen | Grobrechen | | |
| | | Licht (Stroboskop oder Quecksilber) | | |
| Fischschonendes Anlagenmanagement | | niederfrequenter Schall | | |
| | | Popper | | |
| | | Elektrizität | | |
| | | Luft-/Wasserstrahlvorhänge | | |
| | | oberflächennahe Sammelrinnen | | |
| | | umlaufende Trogrechen | | |
| | | Fischpumpen | | |
| | | Trap and truck | | |
| | | Alden Turbine | | |
| | | Voith - Minimum Gap Runner | | |
| | | Alstom - Fischschonende Kaplanturbine | | |
| | | Frühwarnsysteme | | |
| | | Wehröffnungen | | |
| | | kein Teillastbetrieb | | |

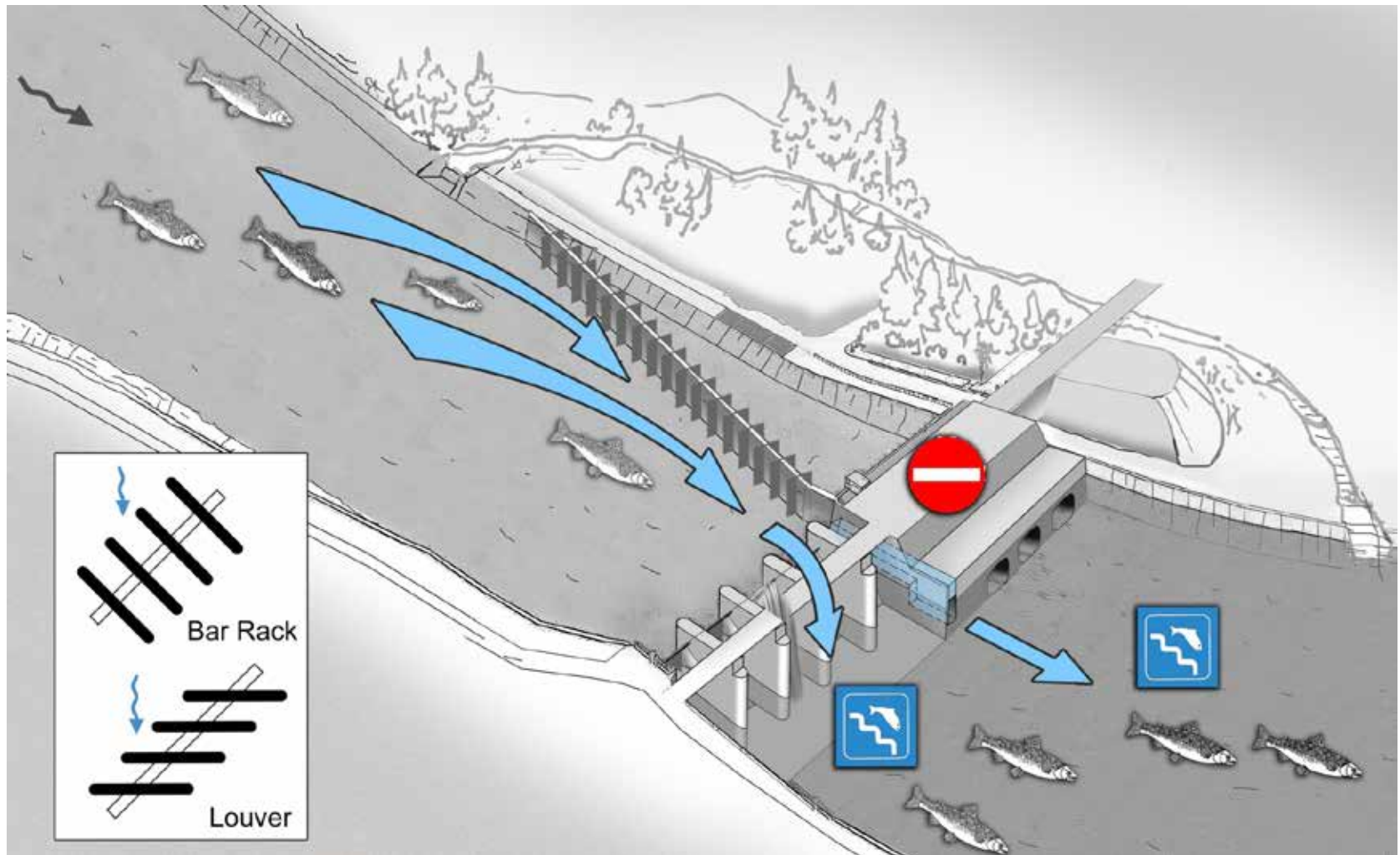
Leitrechen

(Louver- und Bar Racks)

- + Leitung einer Vielzahl an Fischarten
- + Grosser Bereich hydraulischer Verhältnisse
- + Robust und weniger anfällig in Bezug auf Geschiebe- und Schwemmholztrieb
- Beträchtliche Anlagengrösse
- Leitfähigkeit bei Vielzahl einheimischer Zielspezies unbekannt (Barbe, Äsche, Schneider)
- Hydraulische Verluste und Strömungsfeldbeeinflussung weitgehend unerforscht

Massnahmen zum Fischschutz

Projektidee: Fischleitrechen an grossen Mittelland-Flusskraftwerken



Projektgliederung

Physikalische Modelle

Drei Untersuchungsschwerpunkte

Detailmodell

- § Energieverluste
- § Strömungsfelder



Gesamtmodell

- § Turbineneffizienz
- § Betriebliche Aspekte



Ethohydraulisches Modell

- § Leiteffizienz
- § Ethologische Aspekte



Detail-Untersuchungen



gsschwerpunkte

modell

Ethohydraulisches Modell

izienz

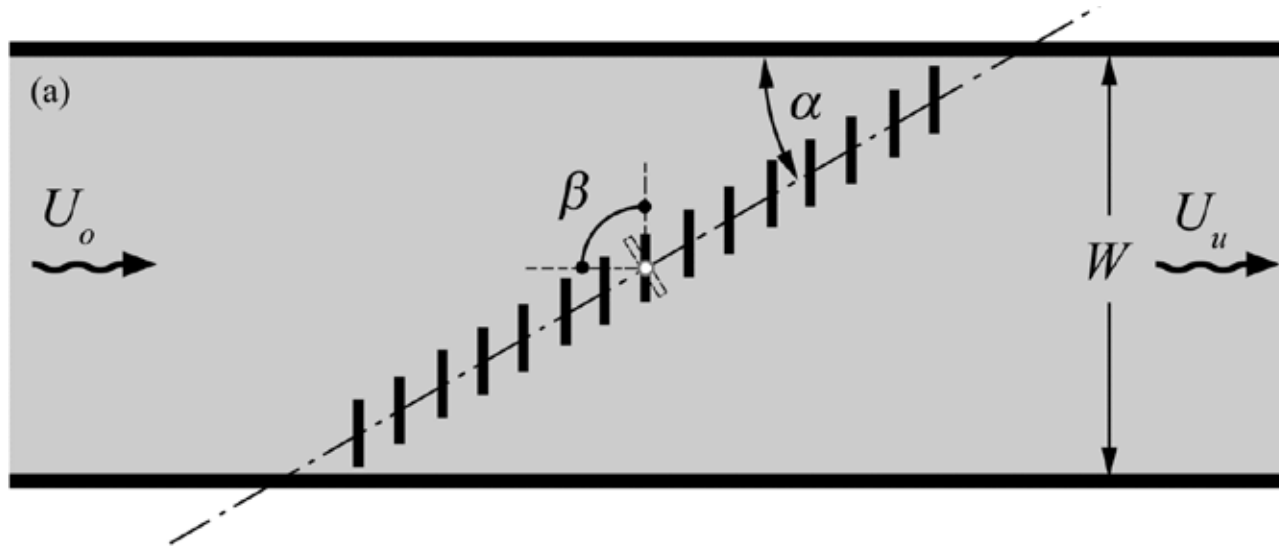
§ Leiteffizienz

Aspekte

§ Ethologische Aspekte



Energieverlustbestimmung



Hauptparameter

Rechenwinkel α : 45, 30, 15 [°]

Stabwinkel β : 90, 67.5, 45 [°]

Stababstand B : 6, 12, 24 [cm]

Sekundärparameter

Stabdicke s : 1 [cm]

Stablänge l : 7.5, 10, 12.5 [cm]

Stabform K : rechteckig, rund

Eintauchtiefe $k = h_s/h_o$:

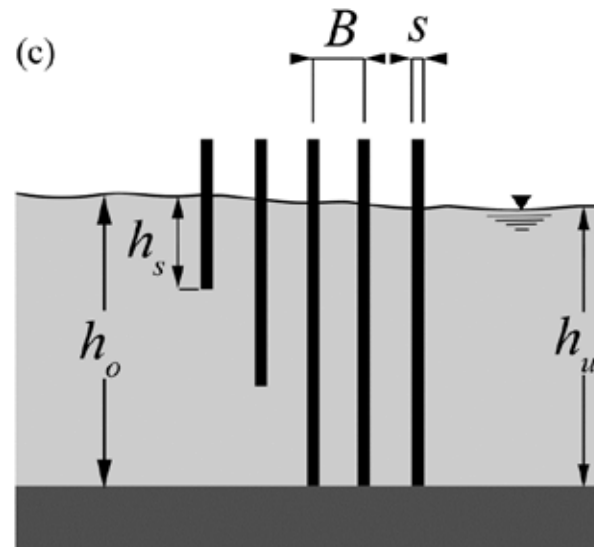
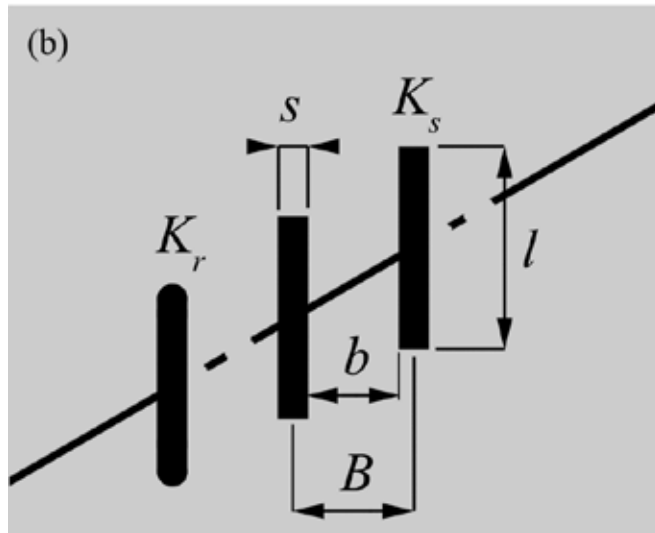
$k = 1/3h_o, 2/3h_o$

Dimensionsloser Stababstand

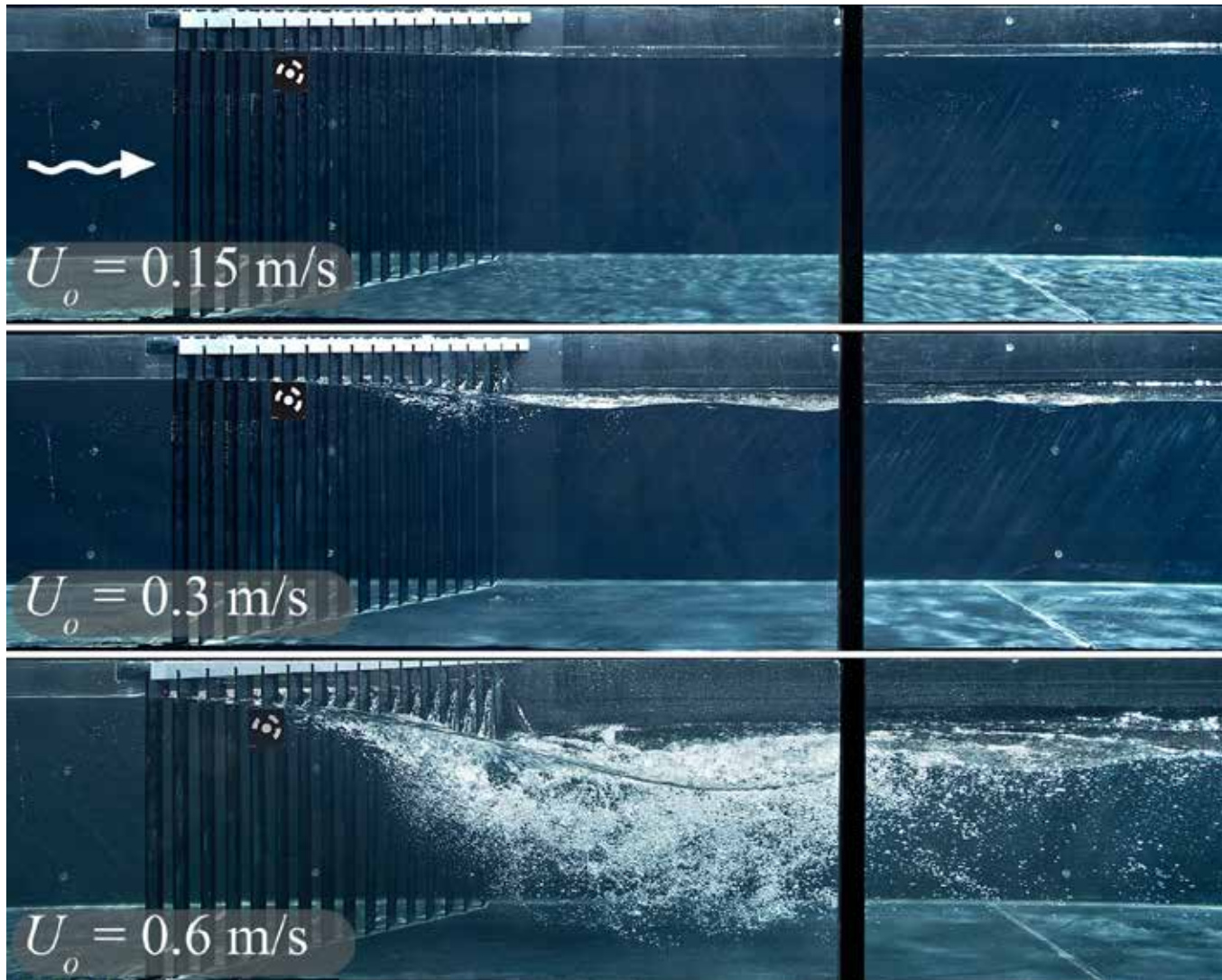
$\sigma = s/B \approx P$ (Verbauungsgrad)

Dimensionslose Rechenstablänge

$e = l/(10 \text{ cm})$



Louver mit $\alpha = 45^\circ$, $\beta = 90^\circ$, $B = 6 \text{ cm}$ ($\sigma = 0.17$)



Ergebnisse

Energieverluste

$$x_R = \frac{Dh_R}{U_o^2 / (2g)} = x_B \times \tilde{O} C_i$$

x_R = dimensionsloser Rechen-Energieverlustbeiwert

Dh_R = Energieverlusthöhe [m]

$U_o^2/(2g)$ = Geschwindigkeitshöhe der Anströmung

x_B = Basisverlustbeiwert

C_i = weitere Verlustfaktoren

Ergebnisse Energieverluste

$$\chi_R = \frac{Dh_R}{U_o^2 / (2g)} = \chi_B \times \tilde{O} C_i$$

α

Je kleiner der Rechenwinkel, desto kleiner ξ .

β

Je kleiner der Stabwinkel, desto kleiner ξ .

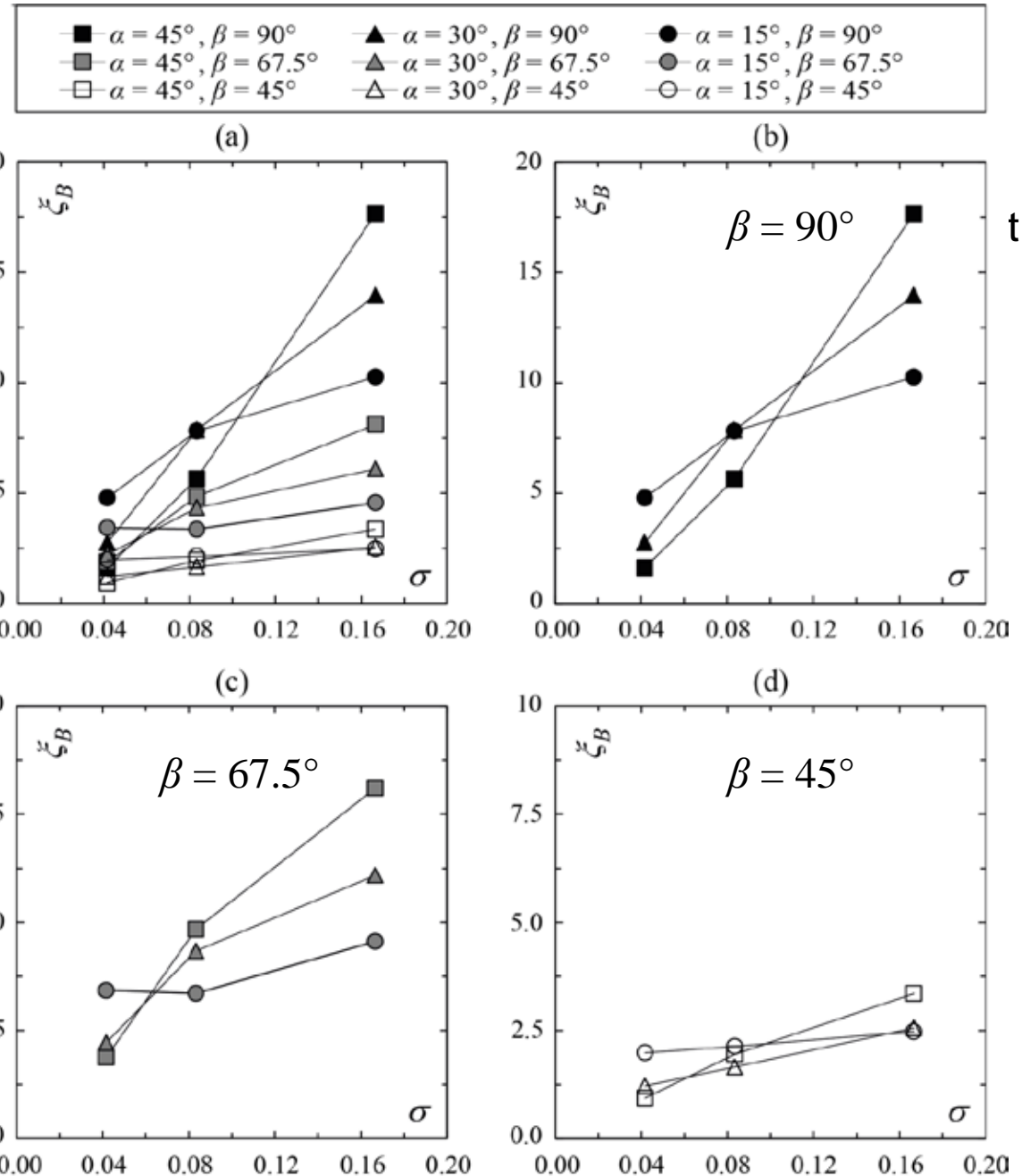
$$\sigma = s/B$$

Je grösser der Stababstand B , desto kleiner s und ξ .

Einflussdominanz

β immer massgebend

mit $\alpha \downarrow$ Einfluss von $\sigma \downarrow$



Gesamt-Energieverlustformel

$$X_R = X_B \times C_L \times C_S \times C_K$$

$$X_B = 245 \cdot e^{0.0275 + (s - 0.0815) \cdot \frac{a}{90^\circ} \cdot \frac{b}{90^\circ} \cdot s^{0.44}}$$

Rechenwinkel
Stabwinkel
Lichter Stababstand

$$C_L = e^{1 + 9.4s(1 - e) - 3.8(1 - e) \cdot \frac{a}{90^\circ} \cdot \frac{b}{90^\circ}}$$

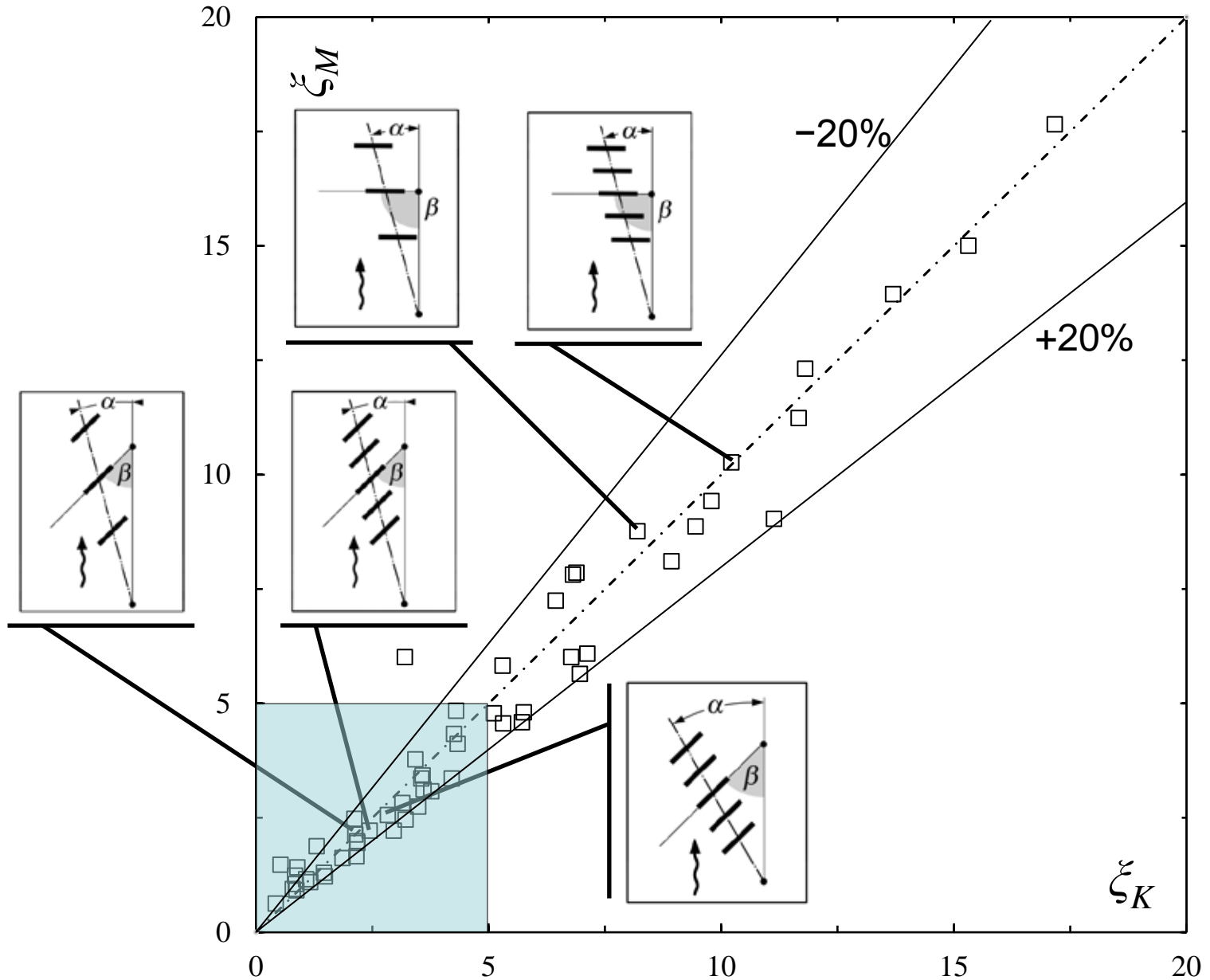
Stablänge

$$C_S = \begin{cases} 1 & \text{rechteckige Stäbe} \\ 0.75 + \frac{62^\circ - a}{90^\circ} \cdot \frac{b}{90^\circ} \cdot 4.5s & \text{halbkreisförmige Stäbe} \end{cases} \quad \text{Stabform}$$

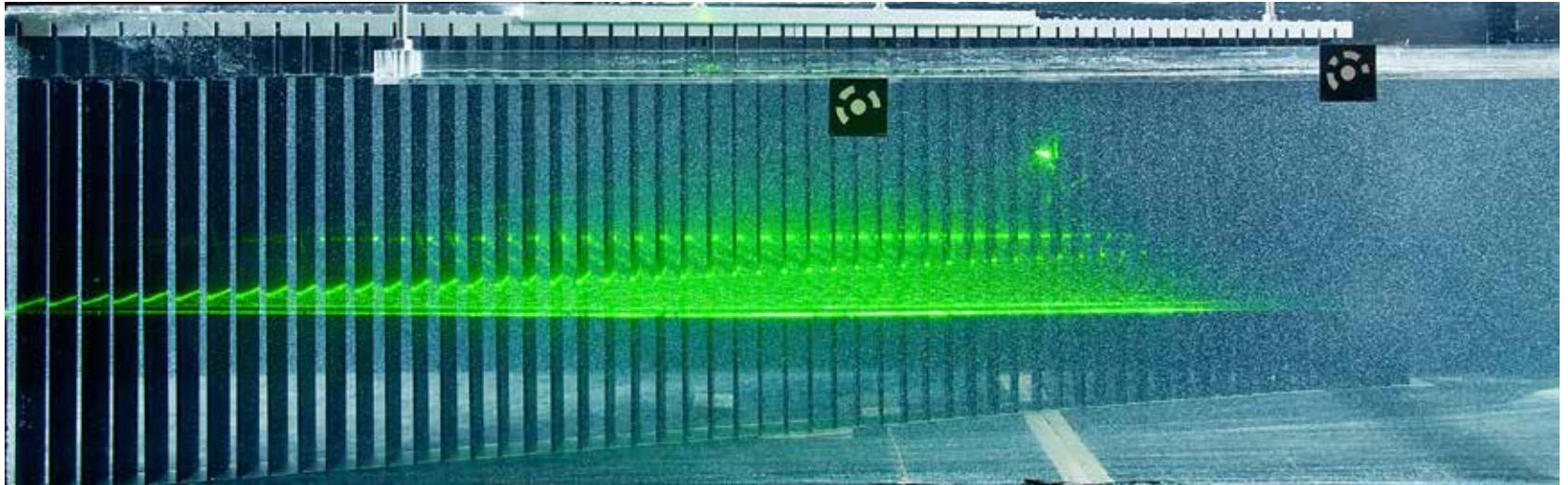
$$C_K = k^{6.6\sqrt{s}}$$

Eintauchtiefe

Übersicht wichtiger Leitreckenkonfigurationen



Strömungsfeldbestimmung



Ergebnisse Strömungsfelder

Mittlere Bewegungsgrößen

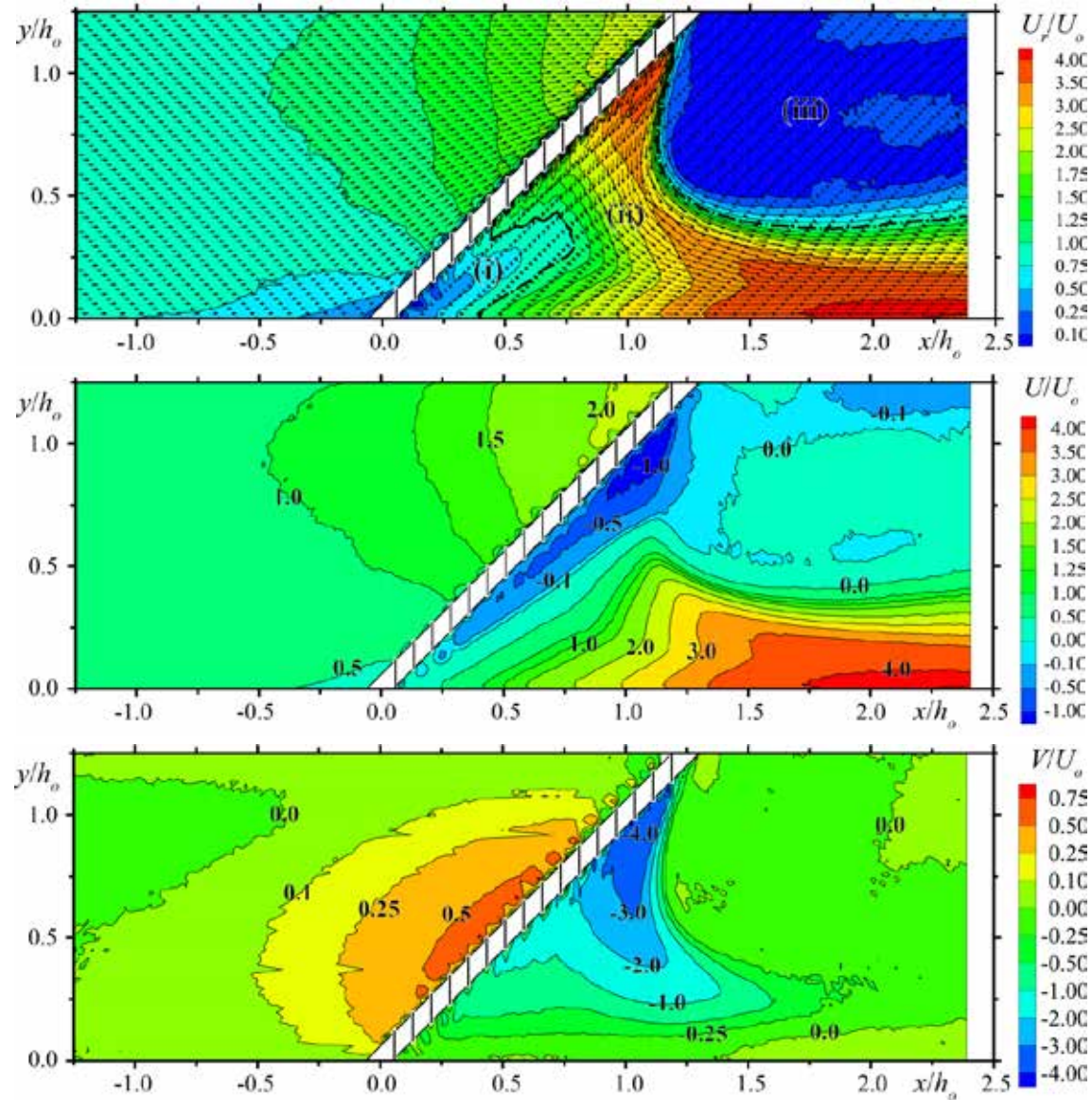
Oberstrom

- starke Strömungskontraktion / Beschleunigung in den Rechenkeil
- Verzögerung des Strömung oberstrom vom Rechenkopf

Unterstrom

- instationäres, stark heterogenes Strömungsbild
- Rückströmungszone und Abflusskonzentration

Mehrfache, vollständige Umlenkung des Abflusses



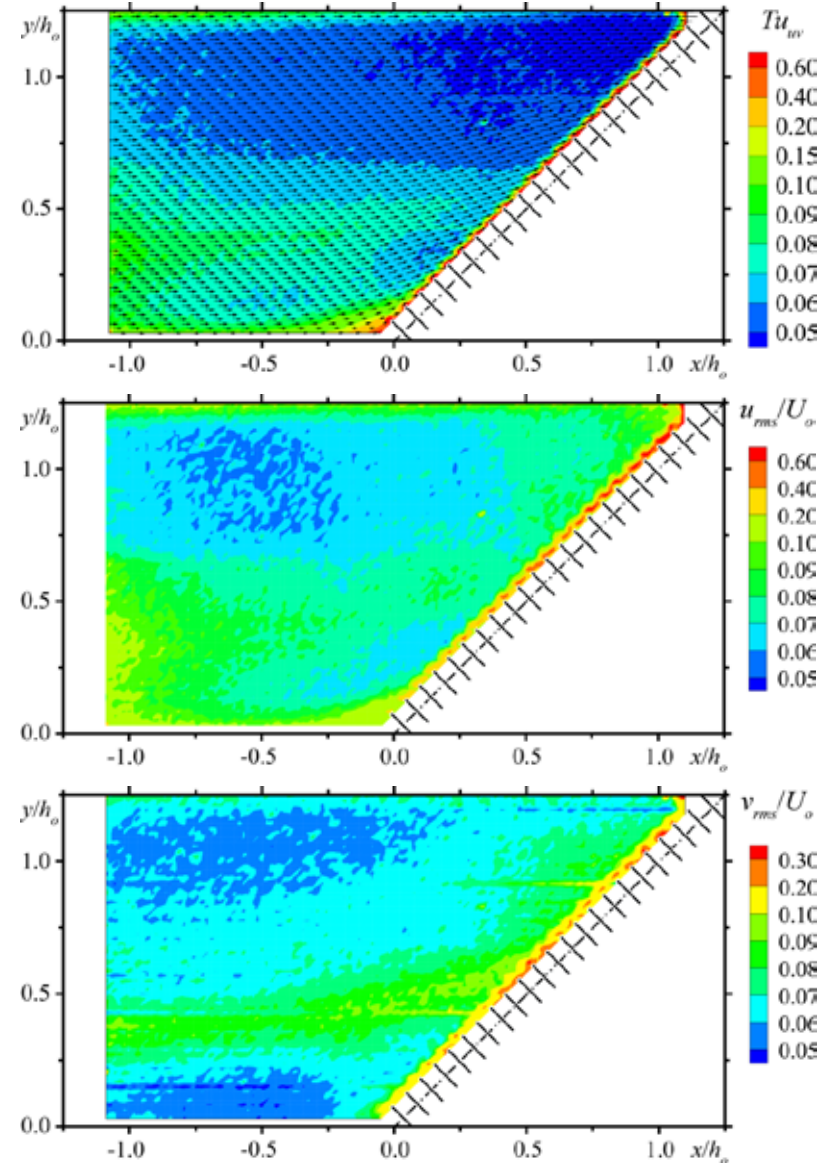
Ergebnisse Strömungsfelder

Schwankungsgrößen

Turbulenzgrößen im Oberwasser relativ homogen verteilt (5-15% von U_o)

Schwache Scherzone zwischen beschleunigten und verzögerten Abflussbereichen

Starke **Zunahme der Turbulenzgrößen erst in unmittelbarer Rechennähe**

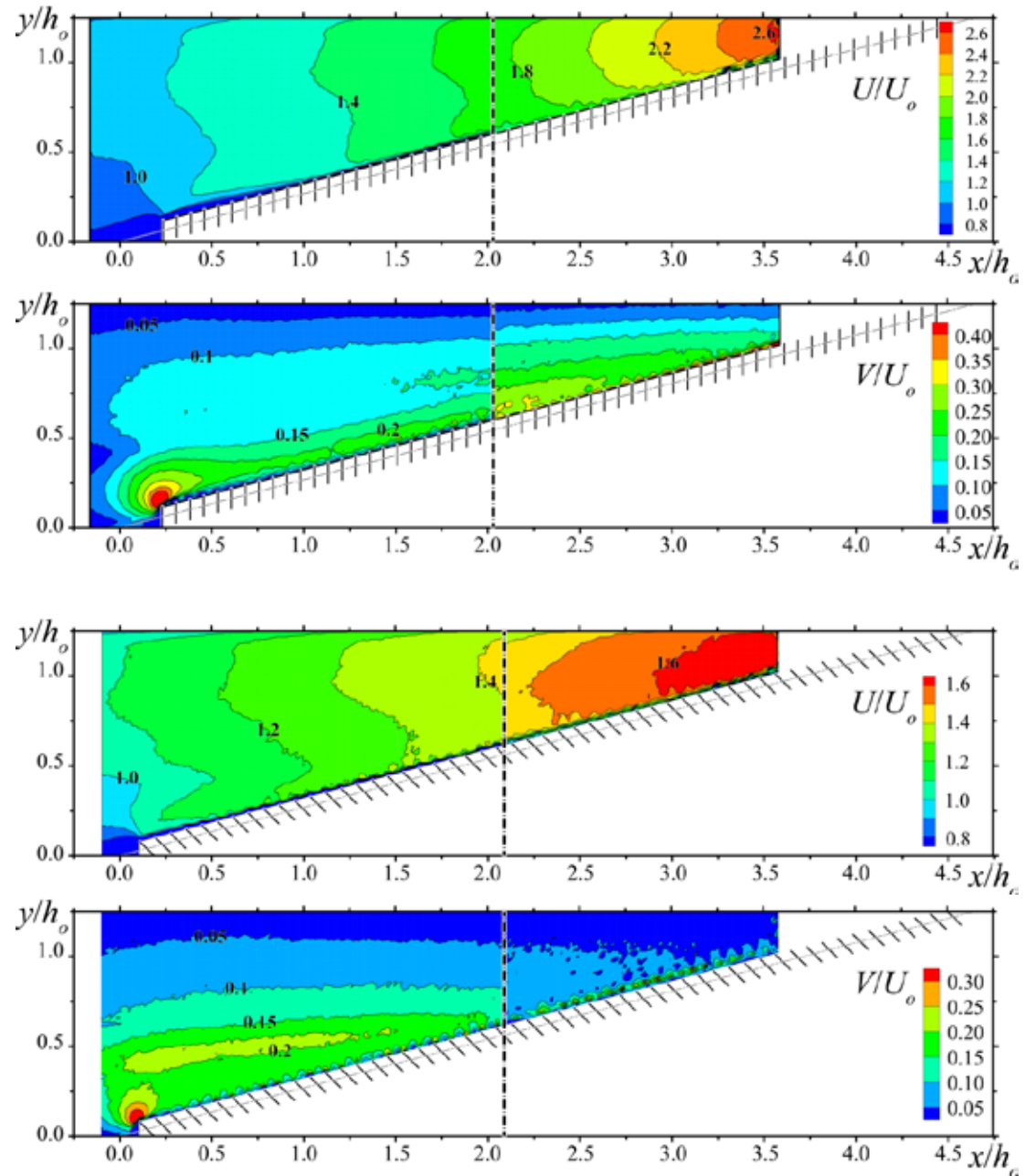


Ergebnisse Strömungsfelder

*Potentiell fischbiologisch
relevante Faktoren*

Kontinuierlich in den
Rechenkeil **beschleunigte
Strömung**

Transversale Geschwindigkeitskomponente über den überwiegenden Teil der Rechenlänge vorhanden



Projektgliederung

Physikalische Modelle

Kraftwerksbetrieb

Detailmodell

§ Energieverluste

§ Strömungsfelder



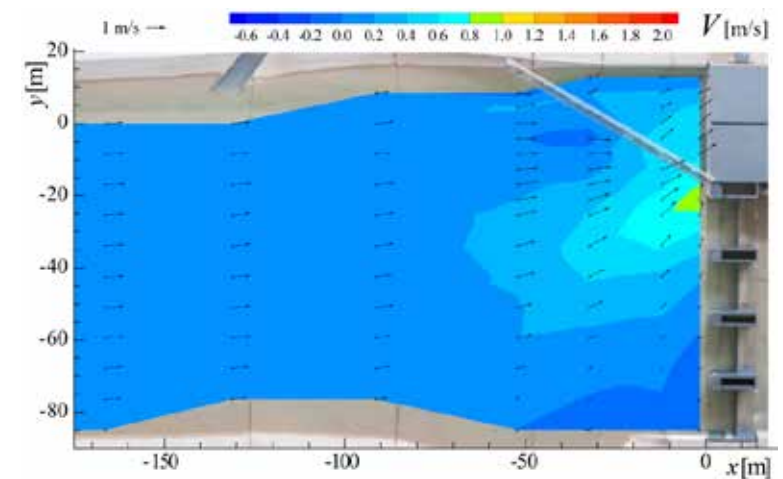
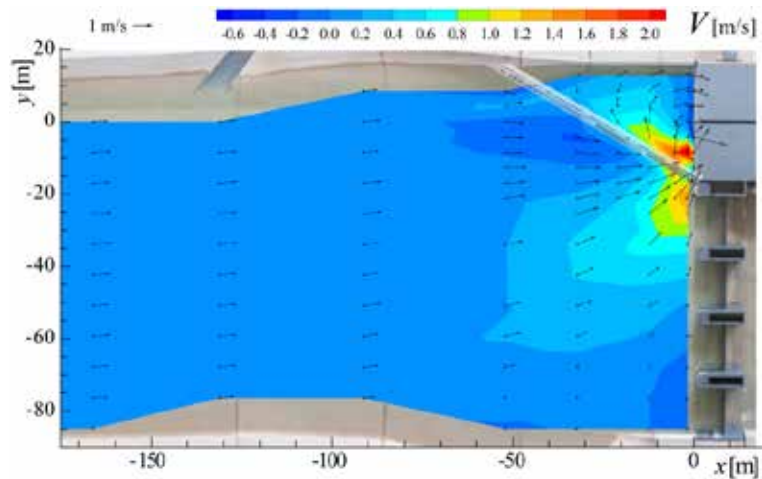
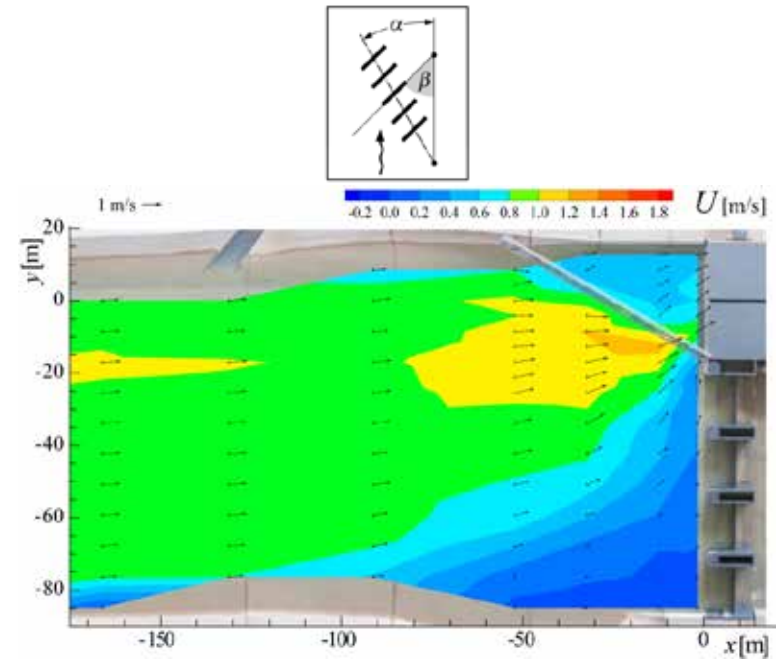
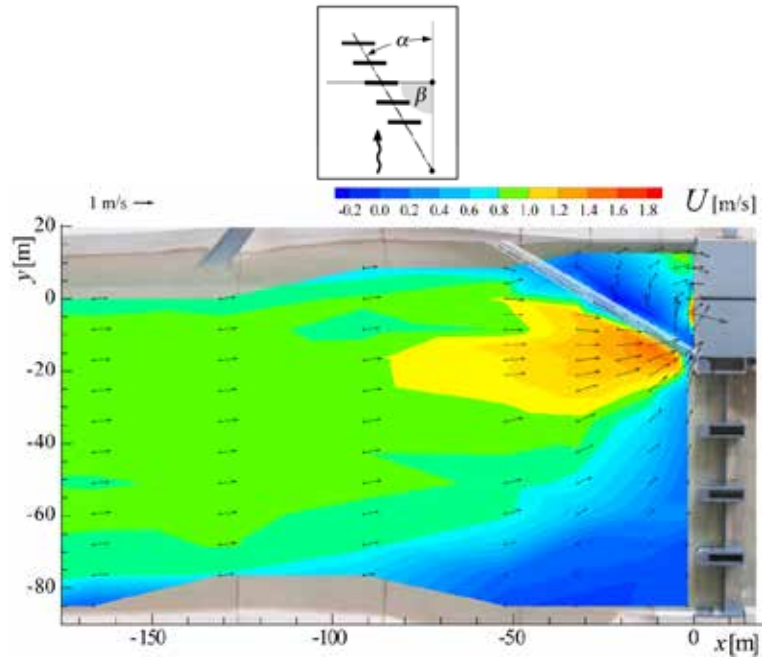
Hydraulisches Modell

Effizienz

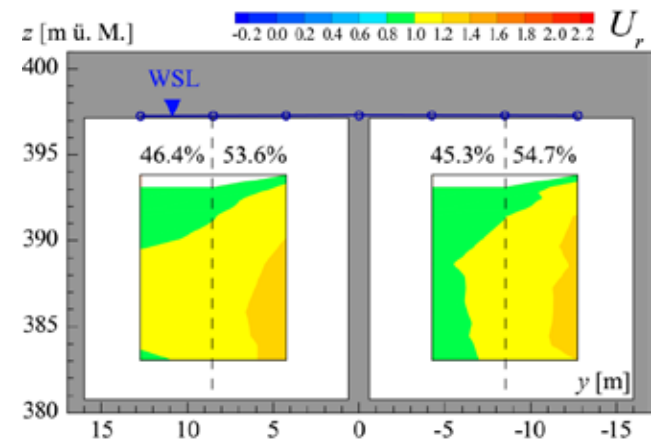
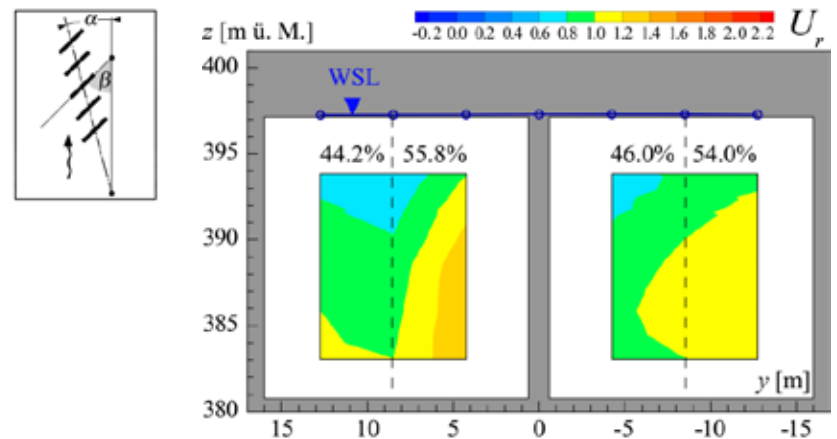
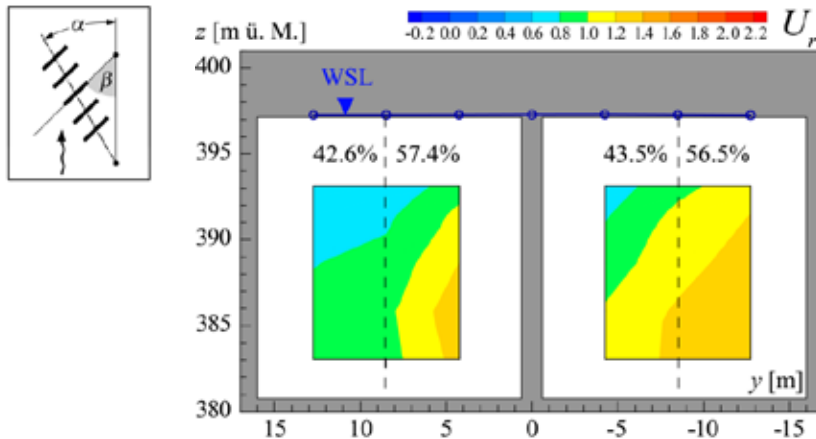
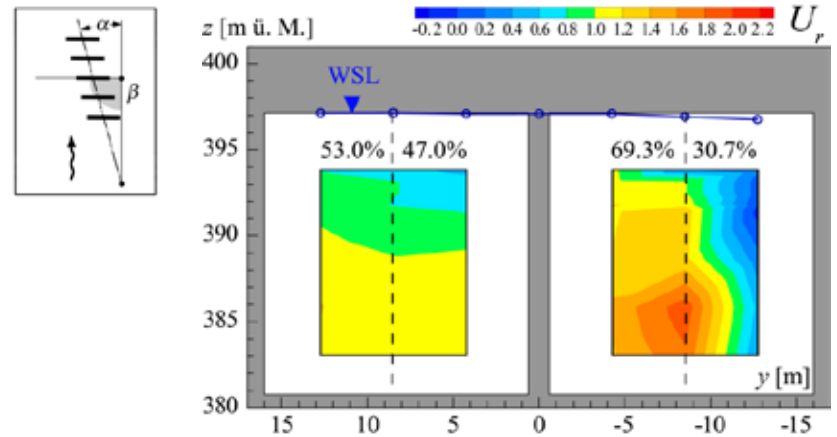
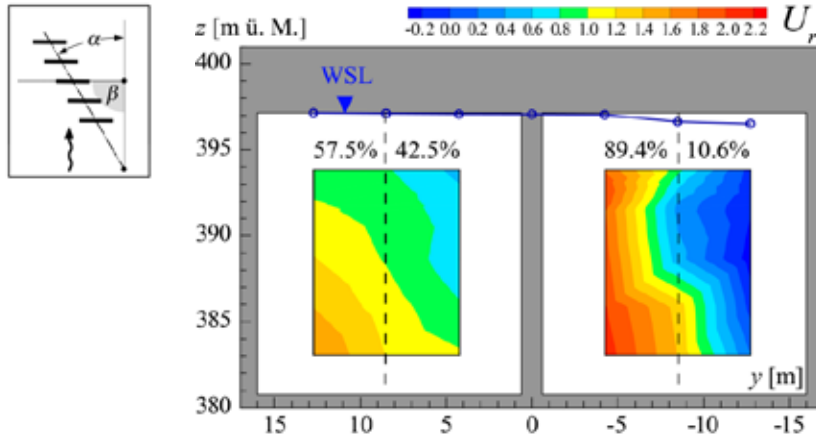
Technologische Aspekte



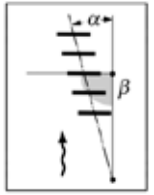
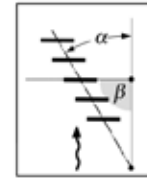
Kraftwerksanströmung



Turbinenanstromung



Schwemmholzverhalten



Turbinen- und Wehrbetrieb



Nur Wehrbetrieb



Projektgliederung

Physikalische Modelle

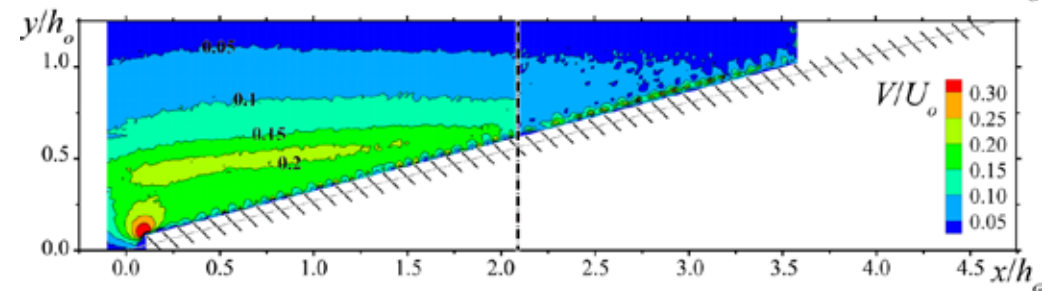
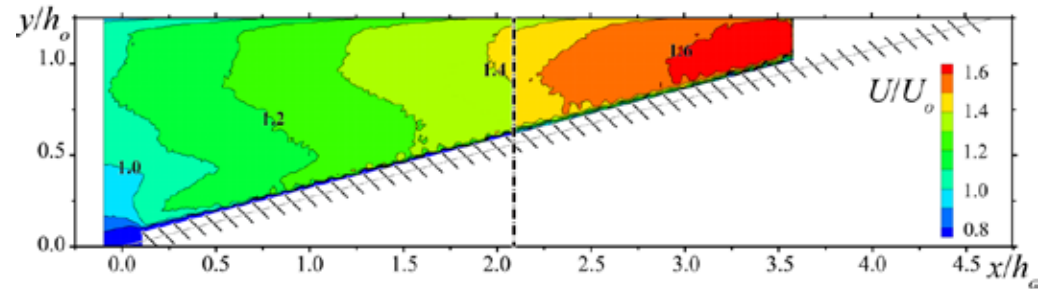
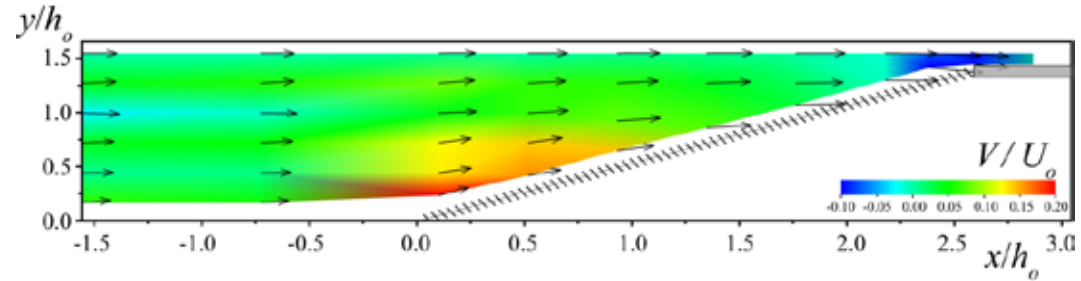
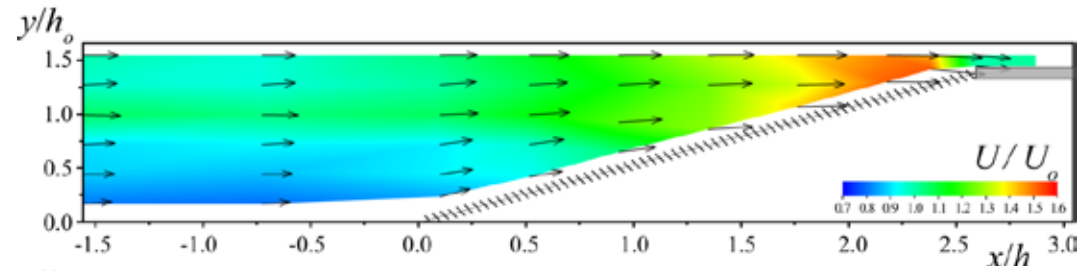


Geschwindigkeitsfelder – Vergleich mit Detailmodell

Ethohydraulisches Modell



Detailmodell



Geschwindigkeitsfelder – Vergleich ohne/mit Sohleleitwand

