

Integrierte numerische und physikalische Vorstudien zur Planung der Schleuse Minden

Dr.-Ing. Carsten Thorenz



Numerische und physikalische Vorstudien

Doppelte Arbeit?

Konflikt?

Sinnvolle Ergänzung?

⇒ *Hybride Modellierung*



Hybride Modellierung

Was?

- ^ Verknüpfung unterschiedlicher Modelltypen
(numerische 1D-, 2D-, 3D-Modelle, physikalische Modelle mit numerischen Modellen, unterschiedliche phys. Modelle)

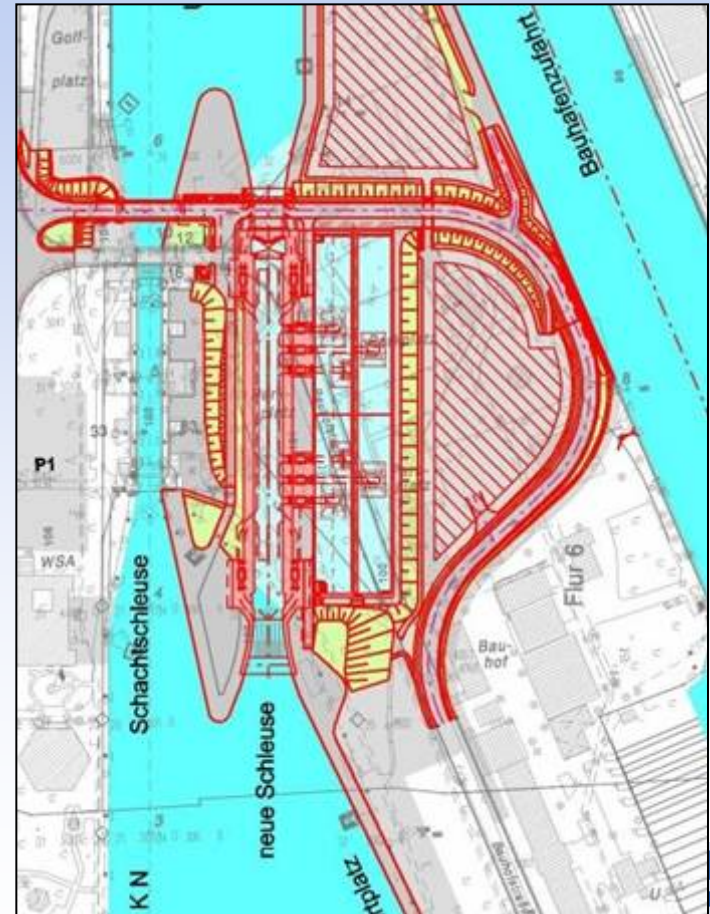
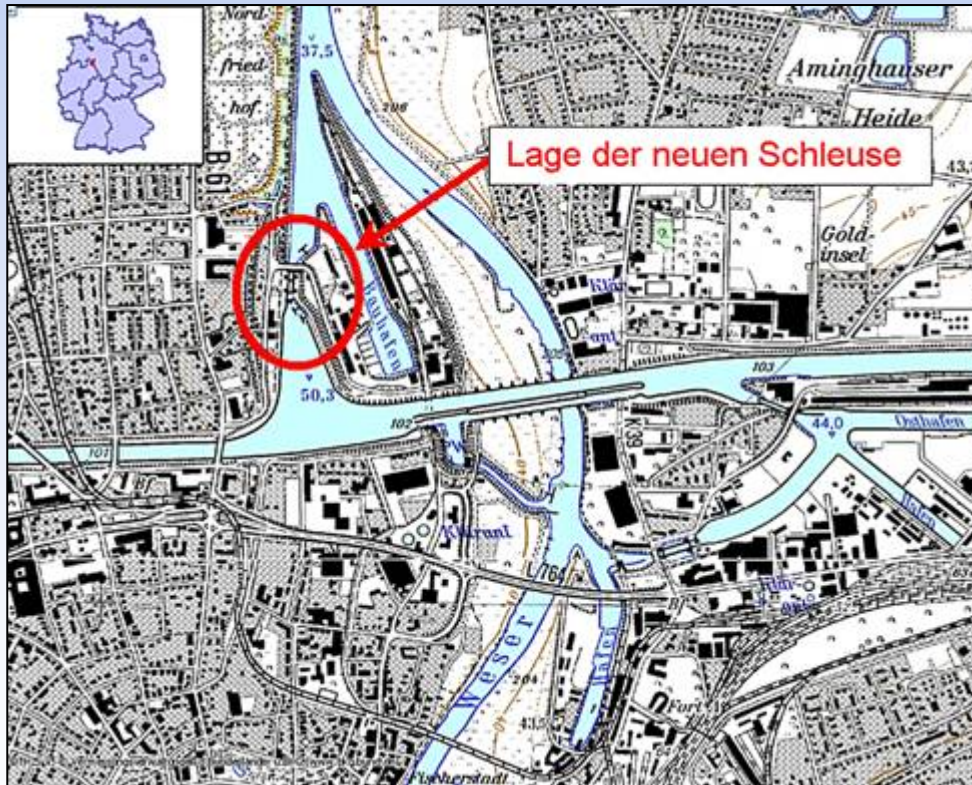
Wozu?

- ^ Parameterbestimmung
(bspw. Verlustbeiwerte aus phys. Modell in num. Modell)
- ^ Randbedingungen erzeugen
(bspw. Wasserstand aus großskaligem Modell für Nahfeldmodell)
- ^ Eingrenzung modelltypischer Fehler
(Modellannahmen, Maßstabeffekte, ...)

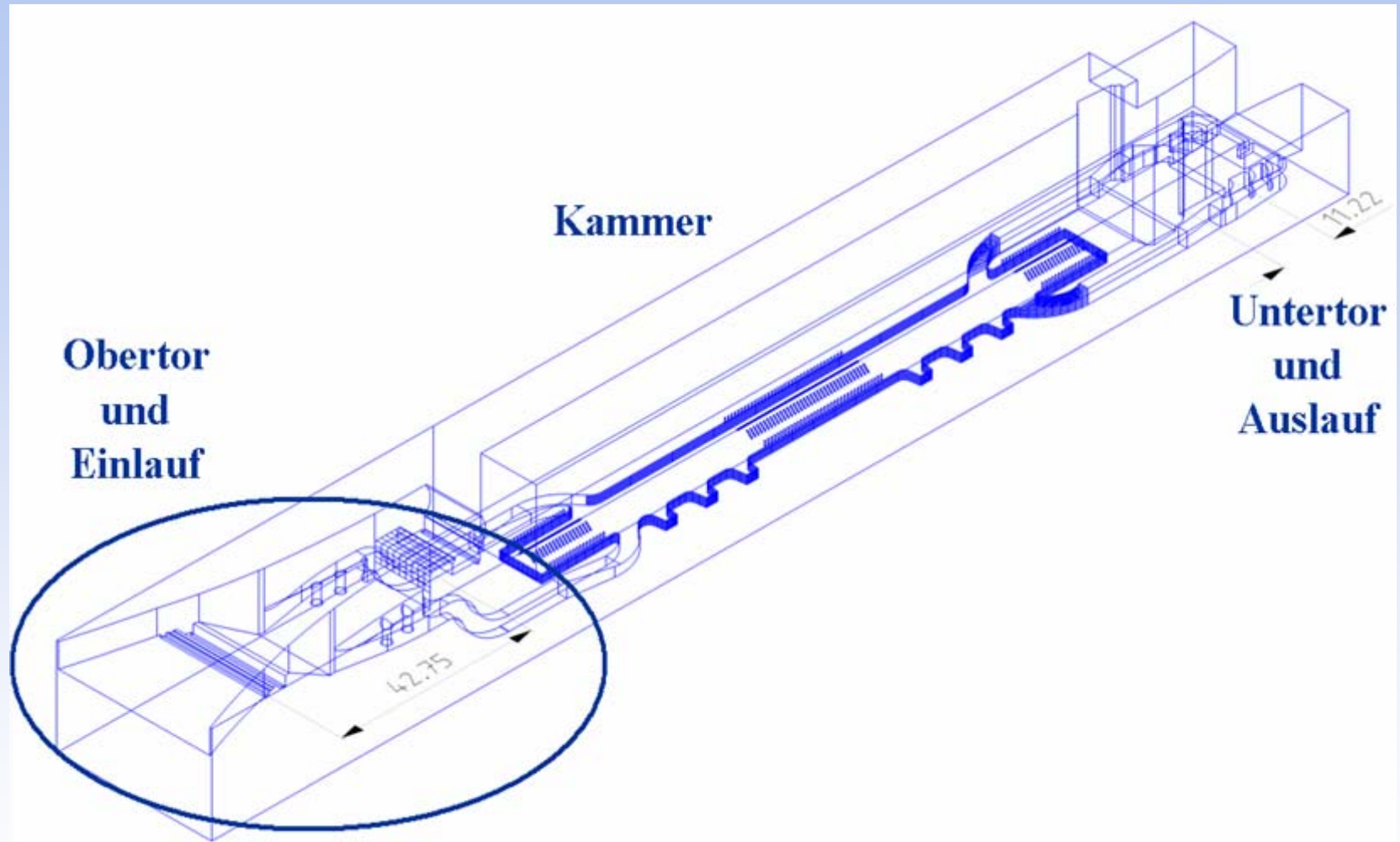


Projektbeschreibung

- Neubau mit drei Sparbeckenebenen (60% Wassereinsparung)
- Beengtes Baufeld (Erhalt alte Schleuse, neue Brücke)

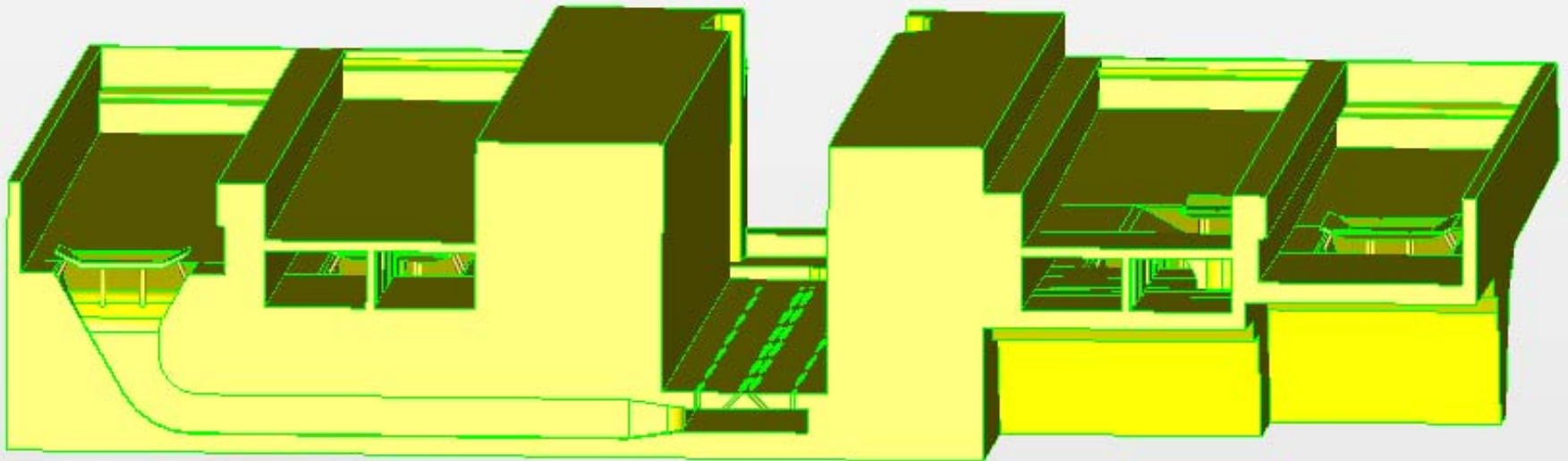


Hydraulisches System



Drahtmodell der Kammer mit Füllsystem

Hydraulisches System



*Ausschnitt aus dem Gesamtsystem
Doppelt angeordnete Sparbecken \Rightarrow Varianten*



Hydraulisches System



***Füllsystem entspricht dem der Schleuse Sülfeld
(hier: Einbau der Fülldüsen als verlorene Schalung)***



Grundlagen:

- ^ Maßstäbliches Modell, ein Teilbereich der Strömungsphysik wird wiedergegeben
- ^ Konzeption nach Froud'scher Ähnlichkeit (korrekte Umsetzung von potentieller in kinetischer Energie)
- ^ Reynold'sche Ähnlichkeit (Abbildung der Umsetzung von Bewegungsenergie in Wärme durch Turbulenz) kann nicht eingehalten werden (was aber meist ohne kritische Auswirkung ist)

Physikalische Modelle

Vorteile:

- ^ Die Hydraulik des Systems „Schleuse“ wird komplett abgebildet
- ^ Es können direkt Schiffskräfte und Schleusungszeiten ermittelt werden
- ^ Änderungen am hydraulischen System zeigen sofort ihre vollständigen Auswirkungen

Nachteile:

- ^ Hoher Aufwand
- ^ Großräumige geometrische Änderungen schwierig
- ^ Keine „Wiederherstellbarkeit“ nach Abriss



Realisiertes physikalisches Modell



Schiffskraftmeßanlage

Physikalisches Modell der Schleuse Minden

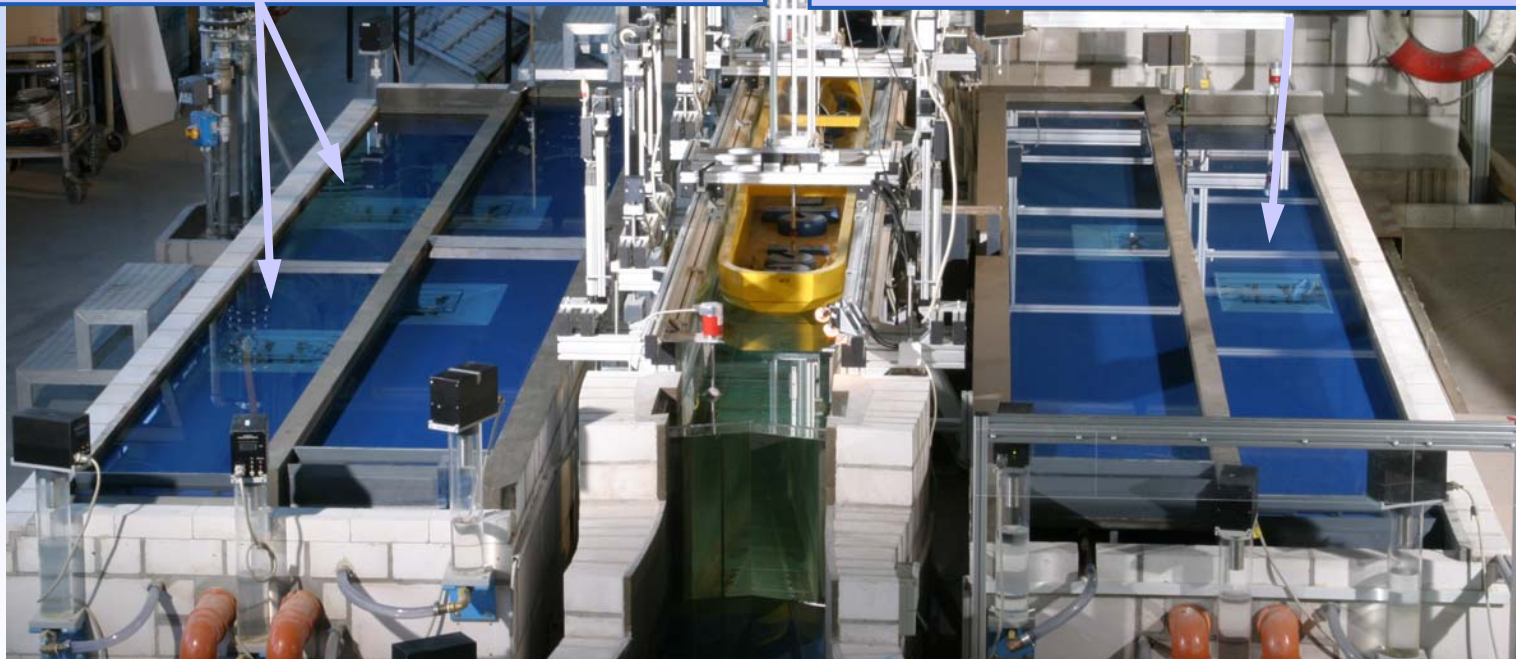


Realisiertes physikalisches Modell



**Variante A:
Zwei Füllkanäle pro Sparbecken**

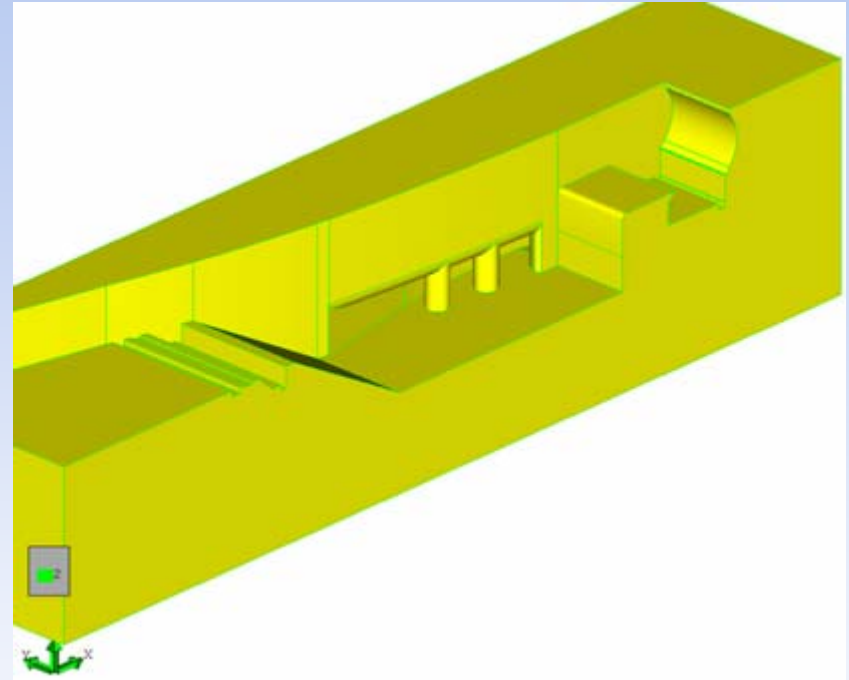
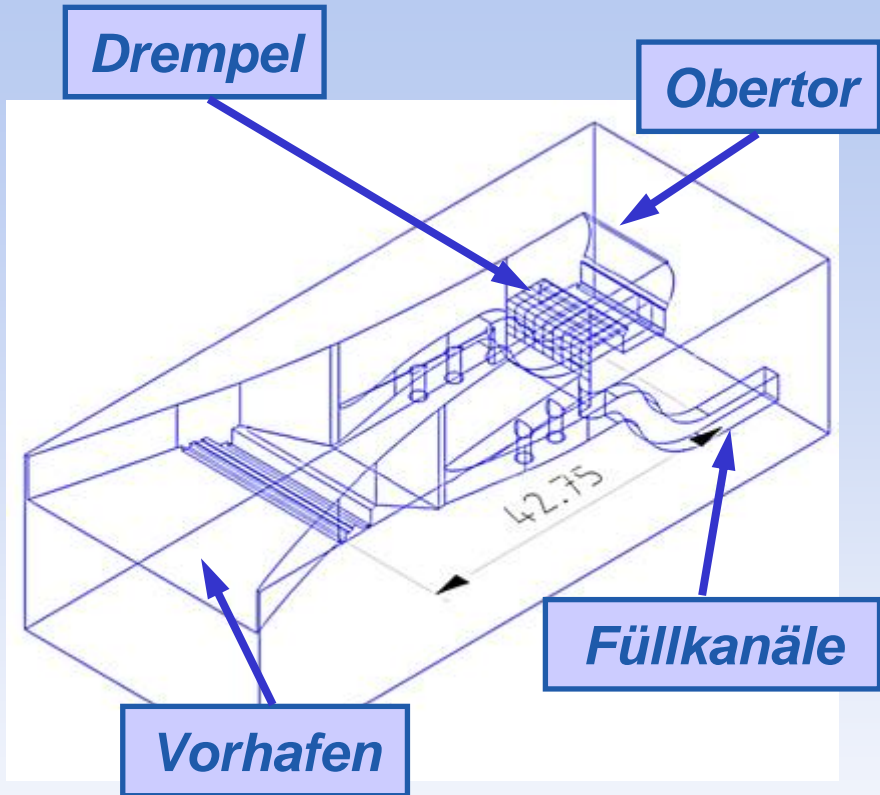
**Variante B:
Ein Füllkanal pro Sparbecken**



Physikalisches Modell der Schleuse Minden



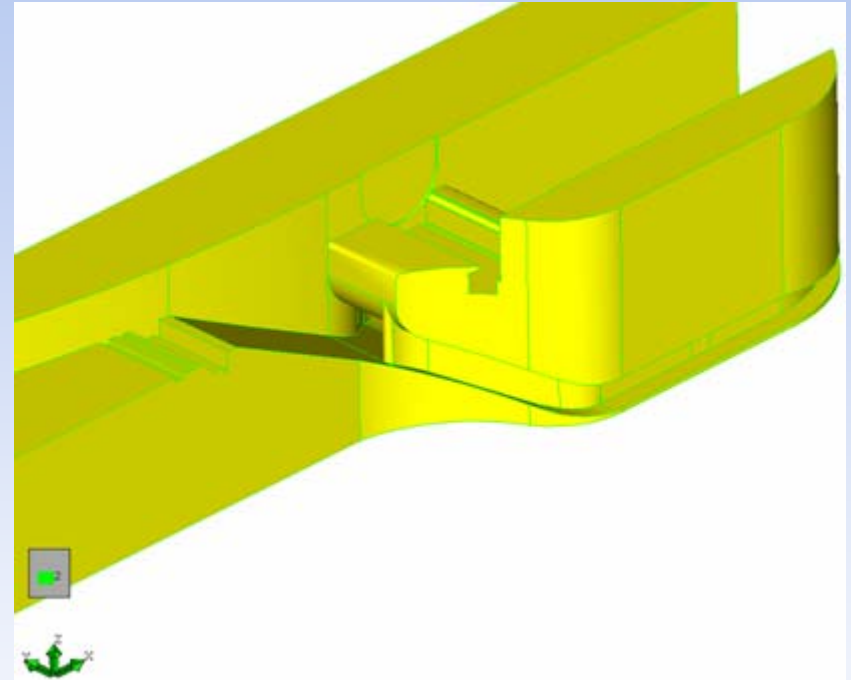
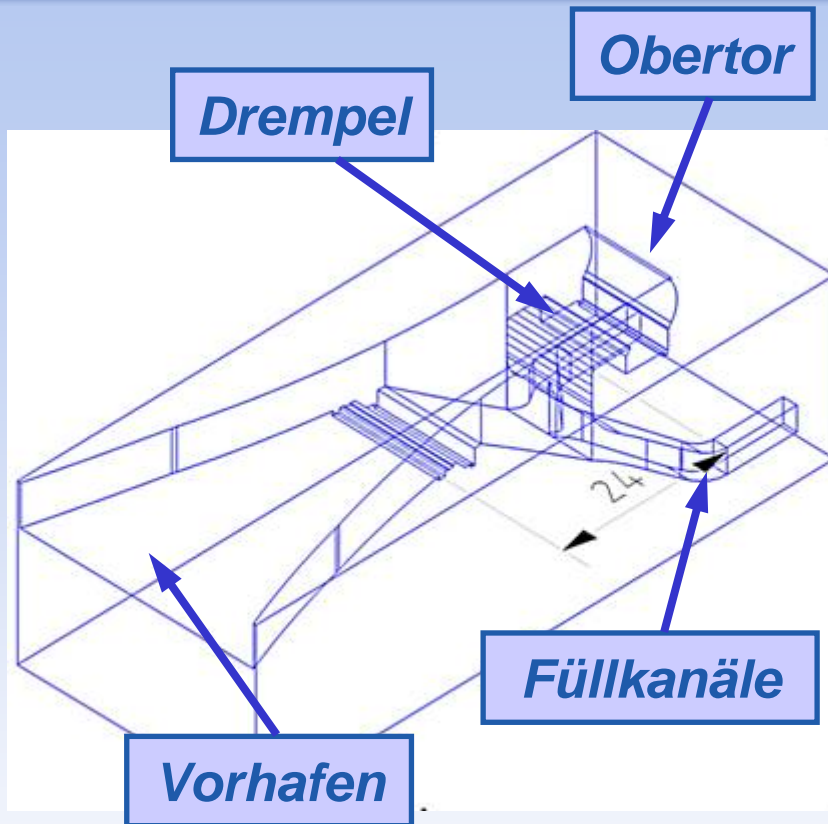
Planungsvarianten Einlauf



**Ausgangsplanung: Auf Säulen
aufgeständerte seitliche Einläufe**



Planungsvarianten Einlauf



Planungsvariante: Einlauf unter dem Drempel.

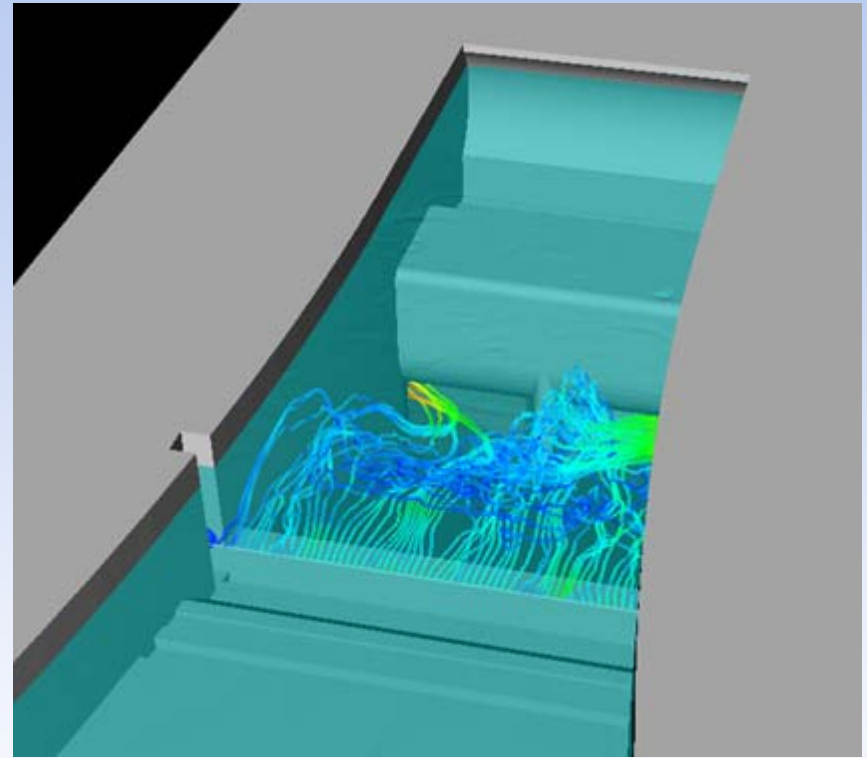
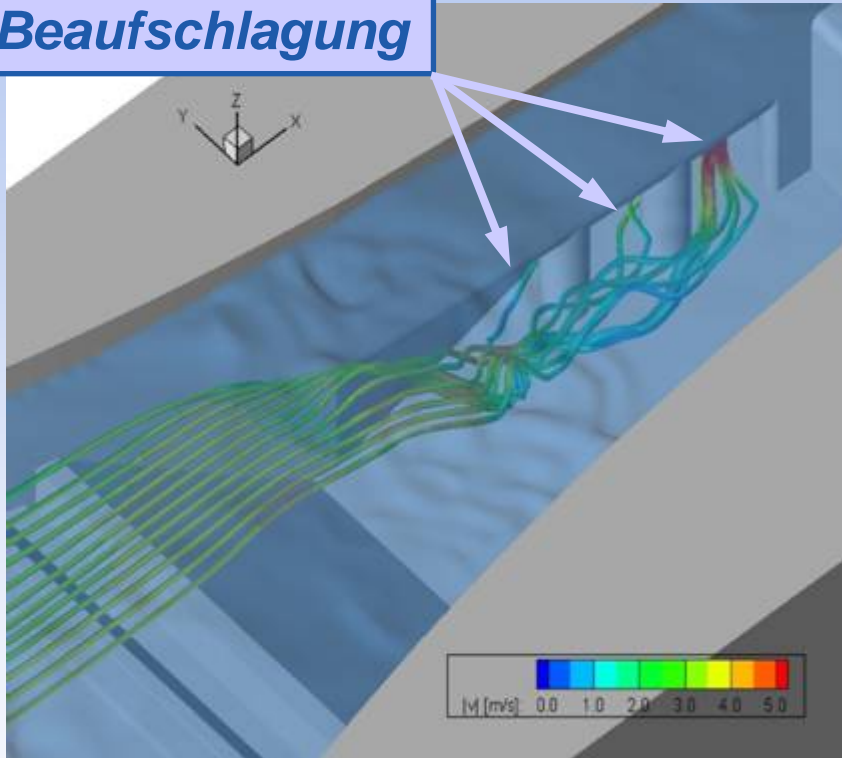
⇒ Verkürzung des Baukörpers um 19 m

Hydraulisch akzeptabel?

⇒ Vorabtests mit numerischem Modell

Numerische Voruntersuchungen

Ungleichförmige
Beaufschlagung



Ausgangsgeometrie

Modifizierte Geometrie

*Berechnungen mit NaSt3DGPF, UNI Bonn
Hochaufgelöstes LES-Modell mit freier Oberfläche*



Ergebnisse der Studien zur Einlaufgestaltung

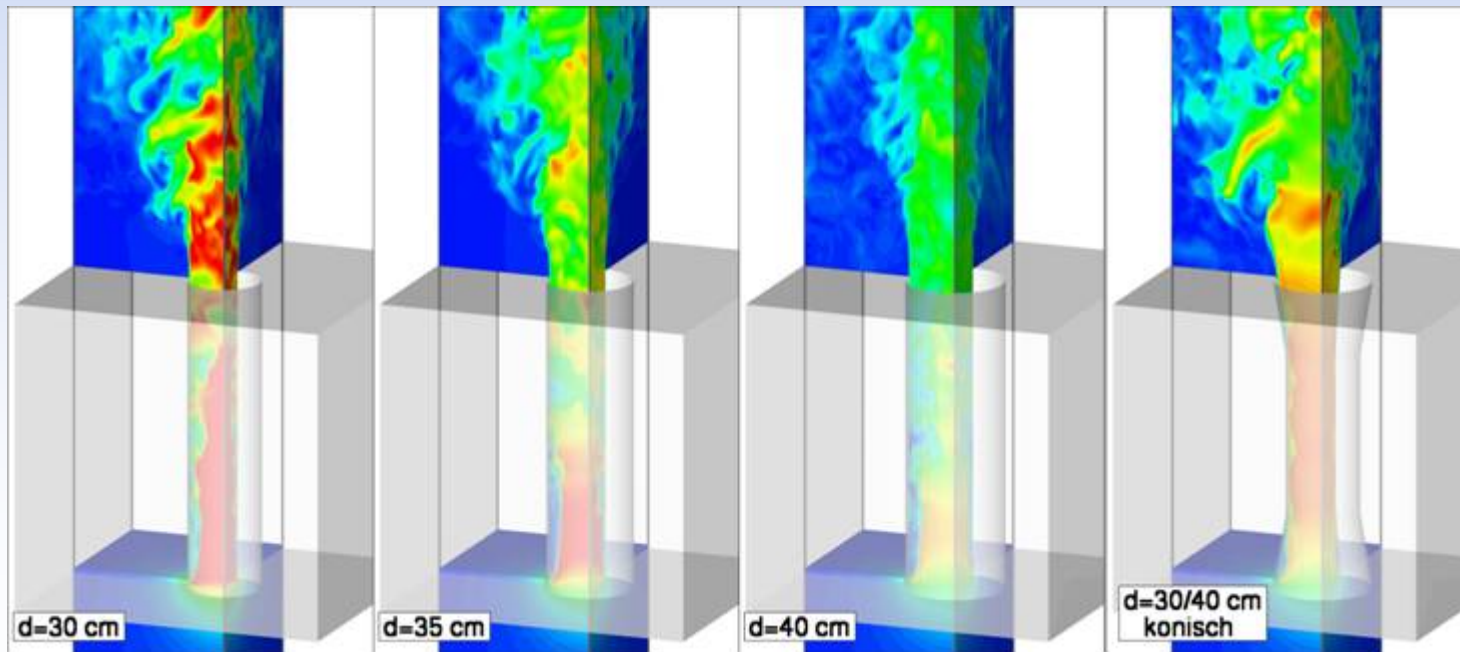
- ^ **Unterschiedliche Varianten konnten mit numerischem Modell voruntersucht werden**
- ^ **Das physikalische Modell wurde nur für die ermittelte Vorzugsvariante aufgebaut**
- ^ **Die mit dem numerischen Modell ermittelten Ergebnisse in Bezug auf hydraulischen Widerstand, Wellen- und Wirbelbildung konnten mit dem physikalischen Modell verifiziert werden**



Numerische Voruntersuchungen

Detailproblem Düsenform

- ^ Doppelt-konisches Profil ist aufwändig herzustellen
- ^ Hydraulische Äquivalenz von zylindrischem Rohr war nachzuweisen

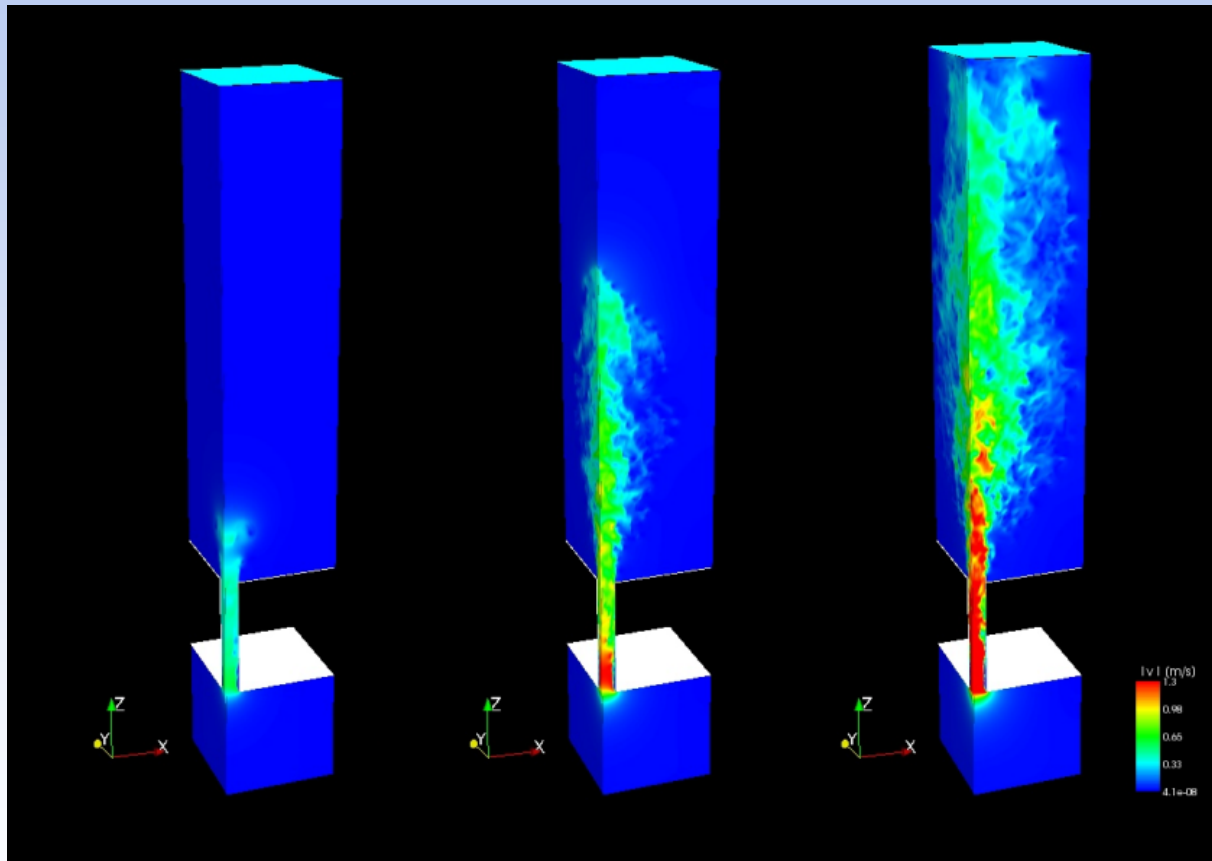


Problembereich Fülldüsen:

- ^ Im Maßstab 1:25 lediglich 1,5 cm Durchmesser
- ^ Turbulente Durchströmung in Rohren bei $Re > 2300$
- ^ ... aber nur, wenn hinreichende Störgrößen vorhanden sind
- ^ Hier: $Re \approx 10000$ für Spitzenabfluss
- ^ Modellähnlichkeit im phys. Modell noch gegeben?

Problembereich Fülldüsen

Überprüfung im numerischen Modell

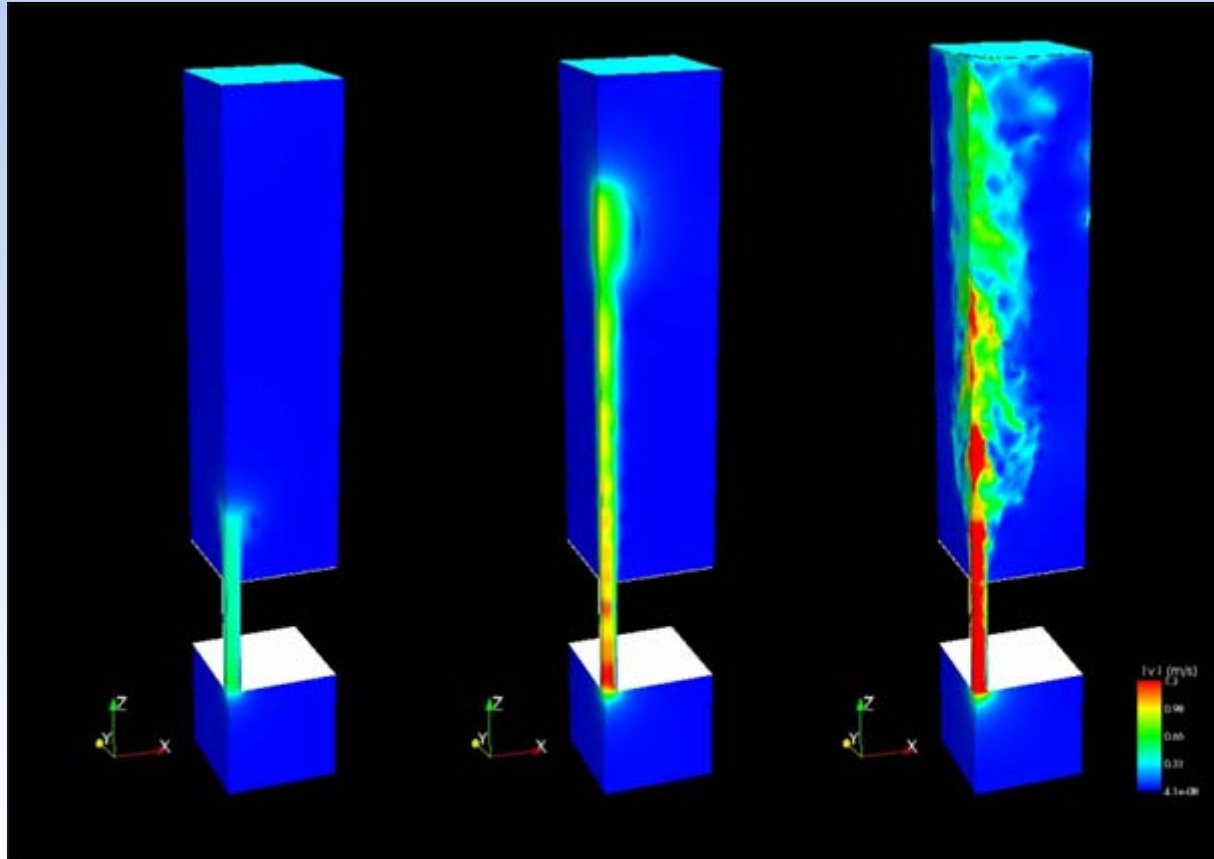


Füllung bei Reynoldszahl wie in der Natur



Problembereich Fülldüsen

Überprüfung im numerischen Modell

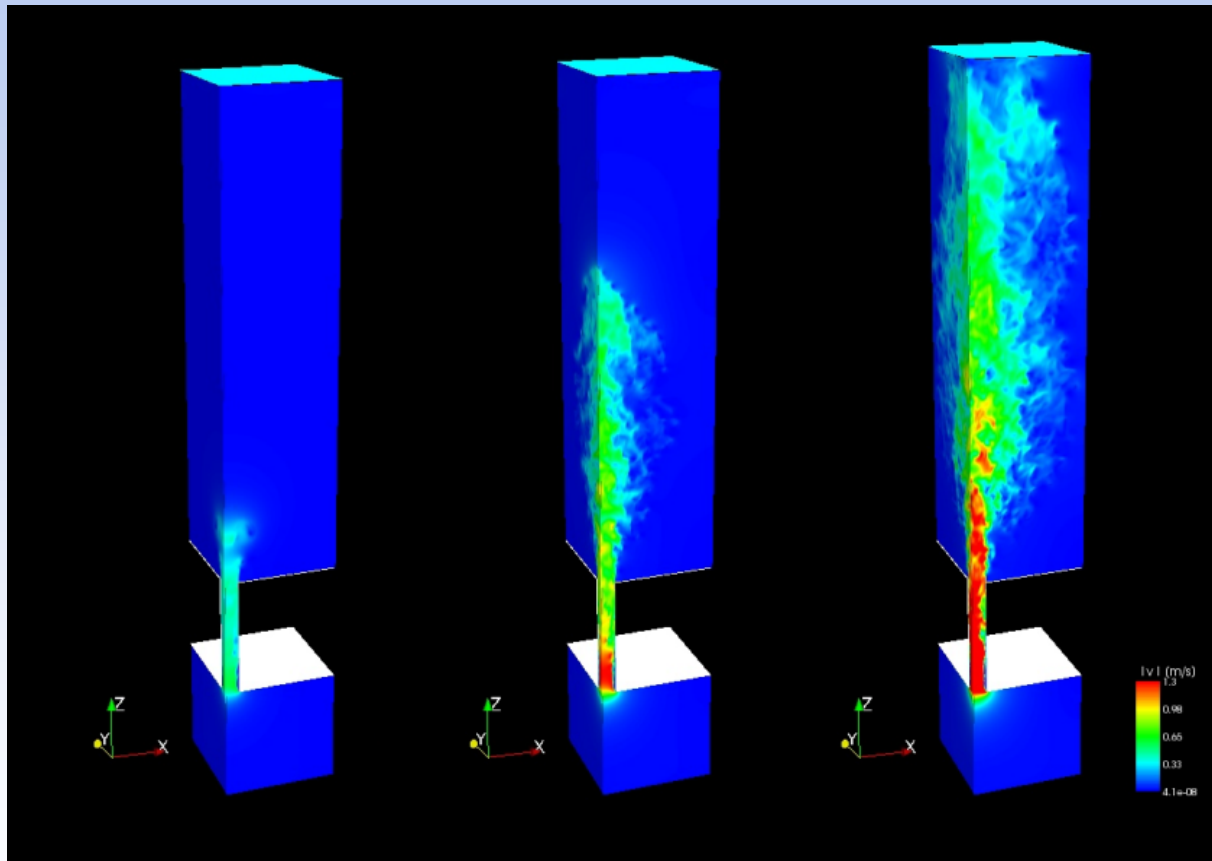


Füllung bei Reynoldszahl wie im phys. Modell



Problembereich Fülldüsen

Überprüfung im numerischen Modell



Füllung bei Reynoldszahl wie in der Natur



Ergebnisse der Studien zur Modellähnlichkeit

- ^ **Im numerischen Modell erheblicher Aufwand erforderlich (LES, ca. 10^7 Gitterpunkte)**
- ^ **Modellähnlichkeit im physikalischen Modell im Grenzbereich (aber noch akzeptabel)**



Zusammenfassung

- ^ **Durch die numerische Voroptimierung konnte die Zahl der im physikalischen Modell zu untersuchenden Varianten stark reduziert werden**
- ^ **Das numerische Modell diente zur Validierung der Modellähnlichkeit des physikalischen Modells**
- ^ **Generell zeigt sich das Zusammenwirken verschiedener Modellfamilien (1D/2D/3D, numerisch und physikalisch) als vorteilhaft**
- ^ **Bisher sind nicht alle Prozesse eines Schleusungsvorgangs hinreichend genau im numerischen 3D-Modell zu erfassen**

