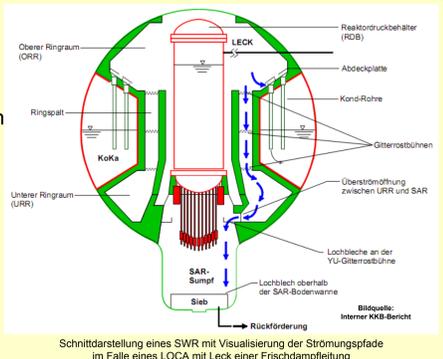


Neuartige Verfahren zur Bestimmung von Parametern für die CFD-Simulation partikelbelasteter Strömungen

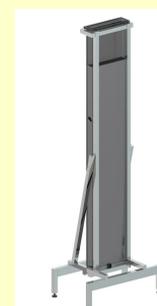
Motivation

- Störfallszenario für Druckwasserreaktoren (DWR) und Siedewasserreaktoren (SWR)
- Kühlmittelverluststörfall (LOCA) mit Abtragung von Isolationsmaterial von Rohrleitungen des Kühlsystems
- Freisetzung der Materialfragmente in Kondensationskammer und Sumpf
- Folgen im Falle einer Notkühlung: Belegung von Rückhaltevorrichtungen / Beeinträchtigung von Pumpenfunktionen



Zielsetzung

- Theoretische und praktische Untersuchungen zum Transportverhalten der Materialfragmente im ruhenden Medium
- Partikelanalyse mittels Digitaler Bildverarbeitung (DBV)
 - Entwicklung und Implementierung bildverarbeitender Algorithmen
 - Erfassung von Kenngrößen sedimentierender Partikel
 - Bereitstellung einer experimentellen Daten- und Wissensbasis
- Klassifizierung der Partikel anhand von Merkmalen mit Einfluss auf das Sinkverhalten
- Bestimmung von Simulationsparametern
- CFD-Simulation mit ANSYS CFX
 - Modellierung des Sedimentationsvorgangs im ruhenden Medium
 - Beschränkung auf vorgegebene Modellauswahl
 - Verifikation der Simulationsergebnisse



Schema Versuchsaufbau 'Säule' mit 3,0 m Sedimentationsstrecke

Partikelanalyse mittels Digitaler Bildverarbeitung (DBV)

Einzelpartikelanalyse

- Ziel: Erfassung von Kenngrößen sedimentierender Partikel
- Randbedingungen: gestörte / ungestörte Sedimentation
- Abfolge: Bildeinzug und -vorverarbeitung / Segmentierung / Partikelverfolgung / Merkmalsextraktion

Hauptattribute

Flächeninhalt	3808 px	9189 px	2729 px
Grauwertvolumen	209876	533725	155535
Konturlänge	403,65 px	1207,08 px	269,7 px

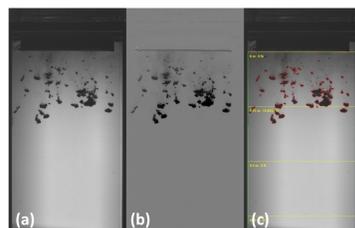
Formbeschreibende Attribute

Kreisförmigkeit	0,193	0,365	0,704
Kompaktheit	3,405	12,618	2,121
Konvexität	0,81	0,673	0,922
Anisotropie	3,502	2,19	1,188
Sperrigkeit	1,178	1,288	1,01
Größter Inkreis			
Kleinster umschreibender Kreis			
Maximaler Abstand Konturpunkte			

- Ergebnis: Datenbasis zur Bestimmung von Partikelgemischdichte / Äquivalentdurchmessern / Partikel-Reynoldszahlen; Grundlage für Klassifizierung

Analyse des kollektiven Verhaltens

- Ziel: Charakterisierung des kollektiven Partikelverhaltens
- Randbedingungen: Einsatz verschiedener Isolationsmaterialien zu definierten Eintragsmassen
- Abfolge: Bildeinzug und -vorverarbeitung / Segmentierung / Bestimmung der Flächenfraktion FA an definierten Tiefenpositionen der Sedimentationsstrecke

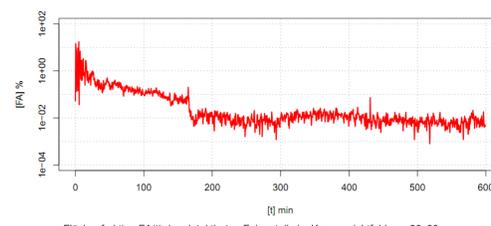


Aufnahme am Versuchsaufbau 'Säule' (a) im Original, (b) nach Hintergrundsubtraktion, (c) mit Visualisierung der detektierten Partikel

- Ergebnis: Nachweis materialspezifischen Sedimentationsverhaltens / Materialspezifische Geschwindigkeitsspektren / Zeitreihen FA(t) für Verifikation der Simulationsergebnisse

Analyse des Feinanteils

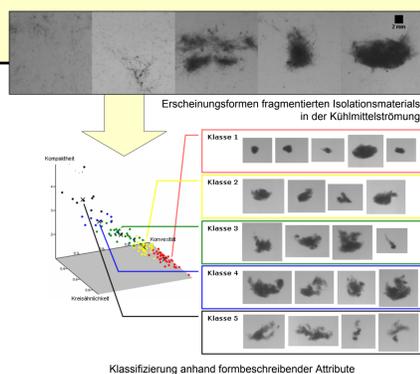
- Ziel: Erfassung des Sedimentationsverhaltens des mittels Normalobjektiv nicht sichtbaren Feinanteils (Faserfragmente, Schmelzrückstände des Materials)
- Randbedingungen: Makroskopische Aufnahmen im unteren Bereich der Sedimentationsstrecke
- Abfolge: Bildeinzug und -vorverarbeitung / Segmentierung / Bestimmung der Flächenfraktion FA im Kamerasichtfeld



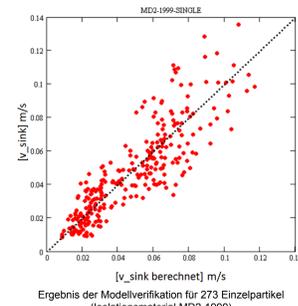
- Ergebnis: lange Sinkzeiten für Faserfragmente (Stokes'sches Sinken) / keine in Schwebelag verbleibenden Bestandteile beobachtbar

Klassifizierung der Partikel

- Bestimmung der formbeschreibenden Merkmale mit maßgeblichem Einfluss auf das Sinkverhalten
- Klassifizierung durch Clustering mit Fuzzy-C-Means im Merkmalsraum mit Variation des Fuzzifikatorwertes/ der Clusteranzahl
- Bewertung der Ergebnisse mittels Clustervaliditätsindizes
- Ergebnis: 5 Klassen für Repräsentation aller Erscheinungsformen von kompakten Partikeln bis zu losen Fasergeflechten

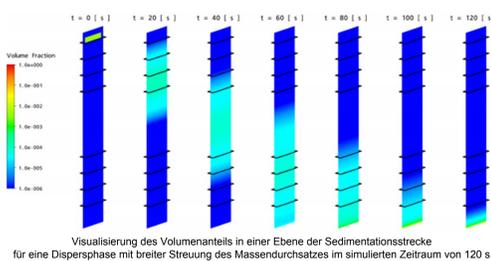


- Nachweis der Relevanz der selektierter Partikelattribute bezüglich ihres Einflusses auf die Sinkgeschwindigkeit mittels Modellansatz nach Takagi-Sugeno
- Modellidentifikation für jede Partikelklasse
- Eingangswerte: Basisattribute (Fläche, Konturlänge)
- Ausgangswert: terminale Sinkgeschwindigkeit
- Ergebnis: Vergleich der modellberechneten mit experimentell bestimmten Sinkgeschwindigkeiten zeigt überwiegende Übereinstimmung

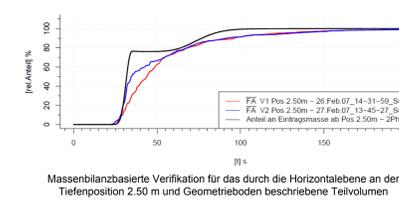


CFD-Simulation mit ANSYS CFX

- Modellansatz nach Euler/Euler: Interpenetrierende kontinuierliche Phasen
- Reduzierung des Rechenaufwands durch Berücksichtigung der aus Separation durch Geschwindigkeitsgradienten resultierenden Partikelfraktionen
- Simulation des Sedimentationsvorgangs durch 2 Dispersphasen mit Streuung des Massendurchsatzes durch zusätzlichen Quellterm



- Verifikation der Simulationsergebnisse
- Möglichkeit 1: Vergleich des Zeitverhaltens der dispersen Phasen
 - Gegenüberstellung: FA(t) einer Messposition / über äquivalente Ebene gemittelte und aufsummierte Volumenanteilstwerte der dispersen Phasen
- Möglichkeit 2: Massenbilanz über Teilvolumen
 - Gegenüberstellung: Prozentual kumulierte Werte von FA(t) der volumenbegrenzenden Horizontalebene / relativer Massenanteil des in das Volumen eingetragenen Materials



Die Dissertation leistet einen Beitrag zur Bereitstellung noninvasiver, DBV-basierter Messmethoden zur Charakterisierung von Flüssigkeits-/Feststoffsystemen und zur Reaktorsicherheit bezüglich der Problematik der gesicherten Sumpfansaugung im Falle eines Kühlmittelverluststörfalls mit Freisetzung von Isolationsmaterial.