

# **Stationäres 3D-Strömungsmesssystem für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss**

## **BMF-Forschungsvorhaben 03KIS036, KFKI Projekt Nr.76**

*Institut für Werkstoffkunde, Bereich Zerstörungsfreie Prüfverfahren, Universität Hannover  
Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover  
Laser Zentrum Hannover e.V.*

### **Abstract:**

Vermehrt aufgetretene Schadensfälle an verschiedenen wasserbaulichen Strukturen unterstreichen die Notwendigkeit einer neuen Messtechnik und einer angepassten Numerik, um Betriebszustände im Voraus genauer zu simulieren und somit kritische Belastungen von vornherein ausschließen zu können. Die Anwendung numerischer Verfahren für die Beschreibung derartiger Strömungsvorgänge ist zwar möglich, jedoch in ihrer Aussagefähigkeit bisher begrenzt, da die notwendige Datengrundlage für eine Kalibrierung bzw. Validierung der zeitlich und räumlich hochaufgelösten Modelle weitestgehend fehlt. Die für diese Betriebszustände maßgeblichen Randbedingungen, wie eine freie Oberfläche und bewegliche Geometrien sind für ein, in einem solchen Anwendungsfall notwendiges, großflächiges und abschnittsweise fein aufgelöstes Modellgebiet noch nicht angewandt worden.

Ziel des Vorhabens ist es daher, ein stationäres 3D-Strömungsmesssystem, bestehend aus Particle-Image-Velocimeter (PIV), mechanischem Strömungsmesssystem und Trägersystem, für hochturbulente Strömungszustände zu entwickeln, aufzubauen, im Wasserlabor zu testen und anhand des ausgewählten Fallbeispiels Emssperrwerk zu erproben sowie die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten zur Verifizierung und Kalibrierung eines numerischen Modells für das gewählte Fallbeispiel zu nutzen.

Im Rahmen der Entwicklung des numerischen Modells wurden am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen erfolgreiche Simulationen mit dem beweglichen Modell eines Hubtores durchgeführt. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit Messdaten einer ADV-Sonde zeigte zufrieden stellende Übereinstimmungen. Dies lässt die Validierung der Simulationsergebnisse mit den räumlich und zeitlich wesentlich höher aufgelösten PIV-Messdaten sinnvoll und sehr aussichtsreich erscheinen. Insbesondere ein Vergleich der sich bildenden Wirbelstrukturen wird mit den PIV-Messdaten möglich. Bei der Simulation der Strömungsgeschwindigkeiten im und am Emssperrwerk sind Vergleiche mit den Ergebnissen von durchgeführten physikalischen Modellversuchen qualitativ zufrieden stellend durchgeführt worden. Hier erfolgt zur Zeit die Simulation mehrerer Lastfälle, um eine genaue Aussage über die Qualität der Ergebnisse zu erhalten.

Ein Particle-Image-Velocimeter erlaubt die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten zwei- bzw. dreidimensional über einen weiten Geschwindigkeitsbereich. Basierend auf der selektiven, getriggerten Beleuchtung einer geeigneten Ebene innerhalb eines Strömungsprofils mit speziell an die Aufgabe angepasster Laserstrahlung und der Erfassung des hierdurch erzeugten Bildes mittels einer CCD-Kamera, bzw. zwei CCD-Kameras zur quasi 3D-Darstellung, können durch die simultane Aufnahme einer Vielzahl von Punkten wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Strömungsverhältnisse in Form von Geschwindigkeitsvektoren zeit- und ortsaufgelöst gewonnen werden. Die Geschwindigkeit wird durch die Auswertung des aufgenommenen Partikelversatzes innerhalb der Zeitspanne zwischen zwei Belichtungsimpulsen

berechnet, wobei die zu untersuchende Strömung eine ausreichende Partikel-Konzentration aufweisen muss.

Nach Zusammenstellung und Abstimmung der einzelnen Komponenten des PIV-Systems durch das Laser Zentrum Hannover in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern ist die nötige mechanische und steuerungstechnische Flexibilität des lasergestützten Gesamtsystems zur Anpassung an verschiedene Randbedingungen, wie Trübung, Platzbedarf und Beobachtungsfeldgröße, an unterschiedlichen Einsatzorten erreicht. Basierend auf umfangreichen Softwaretests erfolgte eine Auswahl von Parametersätzen, die die Konstellation im Praxisversuch berücksichtigen. Es zeigt sich ein komplexer Zusammenhang zwischen vorgefundener Trübung, zusätzlichen oder natürlichen Seedings und der am Laser zu wählenden Intensität. Es besteht keine einfache mathematische Verknüpfung von einzustellender Intensität und Trübung. Die gefundenen Daten sind Standort spezifisch und ergeben jeweils eine individuelle Parametermatrix. Wie die Praxisversuche im Modellmaßstab zeigten, sind die in natürlichen Gewässern enthaltenen Partikel geeignet, ausreichend gute Streulichtreflexe zu generieren.

Je nach Aufgabenstellung bewährt sich das 3D-PIV-Messsystem im 2D- oder 3D-Modus zur Visualisierung von Geschwindigkeitsbereichen, Erstellung von Tiefenprofilen und Darstellung von Turbulenzen. Der Einsatz des Systems an Orten mit unterschiedlichen Strömungsbedingungen verifizierte die große Robustheit und Mobilität des Gesamtsystems. Die mechanische Flexibilität bei der Anordnung der Komponenten ist ein wesentlicher Vorteil bei der Anpassung an die jeweiligen baulichen bzw. geometrischen Randbedingungen. Mittlerweile werden gemeinsame Versuche der unterschiedlichen Systeme parallel durchgeführt, um die Datenbasis für das numerische Strömungsmodell zu erhöhen.

Zusätzlich zum Particle-Image-Velocimeter (PIV) wurde am Institut für Werkstoffkunde, Bereich Zerstörungsfreie Prüfverfahren, ein robustes mechanisches Anströmkörper-Strömungsmesssystem entwickelt, welches die Strömungsgeschwindigkeit in den drei Raumrichtungen über die Auslenkung eines Stabes mit einem Anströmkörper ermittelt. Dieses liefert einerseits dem PIV-System Referenzwerte, andererseits ermöglicht diese kostengünstige Messtechnik, die auch unabhängig von der PIV-Sensorik einsetzbar ist, die Datenbasis für das numerische Strömungsmodell durch Langzeitmessungen an ausgewählten Messstellen zu erhöhen. Es wurden verschiedene Modelle des mechanischen Anströmkörper-Strömungsmesssystems mit unterschiedlicher Messtechnik aufgebaut und unter realistischen Bedingungen evaluiert. Strömungsmessungen im Vergleich mit einer ADV-Sonde als Referenz ergaben für die Hauptströmungsrichtung eine sehr gute Übereinstimmung der Messwerte auf das ausgewählte System. Zur Zeit wird der Einfluss von mehrdimensionalen, turbulenten Strömungen auf das Messsystem untersucht.

Um die verschiedenen Messsysteme unter unterschiedlichen realen Betriebsbedingungen zu beurteilen, wurde hinsichtlich der geforderten Randbedingungen ein Pfeiler des Emssperrwerks ausgewählt. Dieser Einsatzort ist charakterisiert durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten infolge Ebb- und Flutstrom, stark unterschiedliche Wasserstände innerhalb einer Tide, variierenden Salzgehalt aufgrund der Tide, die Trübung des Wassers beeinflussende Schwebstofffracht sowie unterschiedliche Betriebszustände beim Öffnen und Schließen der Sperrwerkstore. In Zusammenarbeit mit dem NLWK-Projektteam Emssperrwerk wurde ein Installationsort des Strömungsmesssystems in der Nebenöffnung 1 des Emssperrwerks, gegenüber der Betriebskanzle ausgewählt. An dieser Position ist mittlerweile ein Schienensystem angebracht, das es ermöglicht das Trägersystem mit den Messsystemen flexibel in unterschiedlichen Tauchtiefen und Abständen von der Pfeilerwand zu positionieren.