

Erprobung eines stationären 3D-PIV-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss in der Praxis

H. Haferkamp, J. Bunte, S. Barcikowski, J. Walter
Laser Zentrum Hannover e.V.,
Hollerithallee 8, D-30419 Hannover, Tel.: 0511/2788-478, E-mail: wt@lzh.de

Einleitung

Ziel der vorgestellten Arbeiten ist die Entwicklung von Langzeitmonitoring-Möglichkeiten zum Einsatz an Wasserbauwerken, die hochturbulenten Strömungen ausgesetzt sind /1/. Dabei wird die tatsächliche Belastung der Bauwerke mittels eines 3D-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände ermittelt. In den vergangenen zwei Jahren wurde dazu vom Unterwassertechnikum Hannover (UWTH), Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (FI) und Laser-Zentrum Hannover e.V. (LZH) in einem gemeinsamen Projekt (BMBF FZK 03 KIS 036) ein 3D-PIV Messsystem aufgebaut und optimiert (Abb. 1).

3D-PIV Strömungsmesssystem:

- Ermittlung einer Datenbasis für Modellsimulation
- Bereitstellung von Messdaten zur Verifizierung von numerischen Modellen

Stand der Technik:

- Meerestechnik: akustische Verfahren, Durchflusszähler, Staudrucksonden
- lasergestützte Systeme in Wasserbaulaboren und Schlepptanks

Anforderungsprofil des 3D-PIV Messsystems:

- ausreichend große Lichtschnittebene > 800 x 600 mm
- geeignetes Gesichtsfeld > 600 x 400 mm
- optimierter Abstand Kameras / Lichtschnittebene > 2 m
- berührungsloser, wartungsarmer Dauereinsatz
- gutes Signal-Rausch Verhältnis 20-25 dB
- Geringe Beeinflussung durch Blasen und Wellen < 5 %
- geeignet in Bereichen mit hoher Biomasseproduktion und Sedimentlasten

LZH LASER ZENTRUM HANNOVER e.V.

Abb. 1: Aufgabenstellung und Zielsetzung

Mit speziell auf die Aufgabe angepassten Strahlparametern eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Festkörperlaser mit einer Wellenlänge von 532 nm wird die selektive Beleuchtung innerhalb eines Strömungsprofils realisiert. Die Erfassung des hierdurch erzeugten Bildes wird mittels einer CCD-Matrix kleiner Bauweise integriert in zwei Kameras erreicht. So können wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der erwarteten kritischen Strömungsverhältnisse (Geschwindigkeitsvektoren) zeit- und orts aufgelöst gewonnen werden /2/.

Die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen werden zum Aufbau eines numerischen Modells für das gewählte Fallbeispiel am Emssperrwerk in Gandersum (Ostfriesland) genutzt.

Einsatz des PIV-Systems unter praxisrelevanten Bedingungen

Ziel ist die Simulation praxisrelevanter Lastfälle von Hubtoren unter Einbeziehung der online Ergebnisse als 3D-Vektorfelder. In der Strömungsrinne / Schneiderberg des Franzius-Instituts (Länge = 22 m, Breite = 1 m, Tiefe = 1 m) können über eine Überfallklappe am Ablauf variable Wasserstände eingestellt, gehalten und die Zuflusswassermenge über induktive Durchflussmesser mit Drosselverschlüssen stufenlos reguliert werden. Im mittleren Bereich der Rinne sind Glasscheiben angeordnet, die eine Beobachtung der Strömungsvorgänge während der Untersuchungen ermöglichen. In diesem Bereich wird das Ausschnittmodell eines Hubtores des Emssperrwerkes im Maßstab 1:15 eingesetzt.

Dazu erfolgen umfangreiche Anpassungen der einzelnen Komponenten des Systems und die Installation einer einfachen vertikalen Verschiebeeinheit für die Kameras, um die Aufnahme von Tiefenprofilen basierend auf 2D Messungen zu ermöglichen [4]. Dabei konnten Tiefenprofile über die ganze Höhe 65 cm (Lastfall1: strömender Abfluss) der Wassersäule (bis 3 cm über dem Grund und 3 cm unter der Wasseroberfläche) in der Strömungsrinne gemessen werden. Die umfangreiche manuelle Auswertung der Daten erfolgt unter Zuhilfenahme kommerzieller Tabellenkalkulationssoftware.

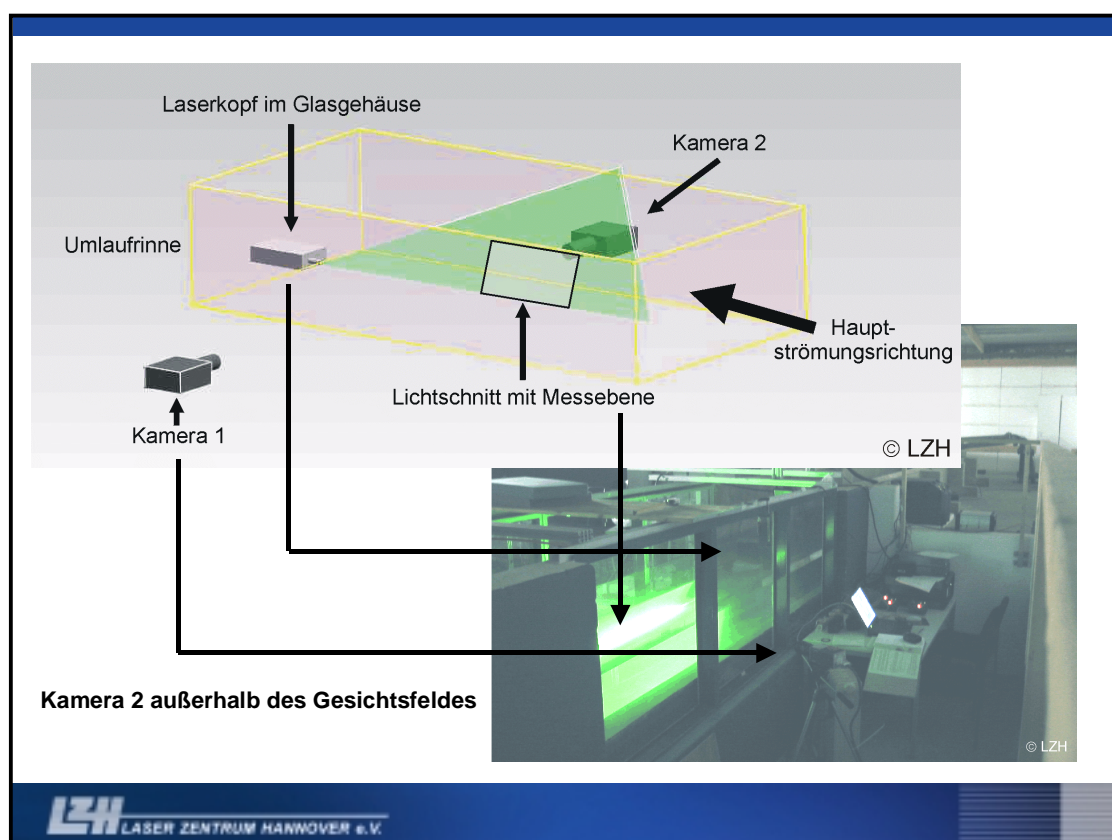


Abb. 2: Versuchsaufbau Marienwerder mit „getauchtem“ Laserkopf (Skizze)

Ein weiterer Einsatzort für das PIV System unter veränderten Randbedingungen ist die Umlaufrinne / Marienwerder. Sie besteht aus zwei sich 22 m voneinander entfernt gegen-

überliegenden Halbkreisen mit einem Durchmesser von 5,90 m. Zwischen den beiden Halbkreisen sind auf der einen Seite eine gerade Fließstrecke mit Sichtfenstern zur Strömungsbeobachtung und gegenüberliegend 4 Pumpen zur Erzeugung einer Strömung in eine der beiden Umlaufrichtungen angeordnet. Die Strömung kann über für jede Pumpe separat zur Verfügung stehende Drehzahlmesser stufenlos gesteuert werden.

Zur Nachahmung eines Tauchgehäuses wird im nächsten Schritt ein nach oben offenes Glasgehäuse zur Aufnahme des Laserkopfes stromabwärts in den Versuchsaufbau integriert, wie in Abb. 2 dargestellt. Der Ursprung des Laserstrahls zur Erzeugung des Lichtschnitts befindet sich in diesem Aufbau unterhalb der Wasseroberfläche. Der Aufbau dient zur Erarbeitung weiterer praxisrelevanter Parameter für Messungen unter realistischen Betriebsbedingungen /7/. Um turbulente Strömungszustände zu erzeugen wird ein Hindernis in die Rinne eingebaut. Abbildung 3 zeigt das Hindernis im PIV-Image und das errechnete Vektorfeld der Strömungsgeschwindigkeit. Die Variation der Lichtschnittgröße wird in mehreren Versuchsreihen durchgeführt, um die „Ausleuchtung“ der Partikel an dem Hindernis zu optimieren. Dabei zeigt sich die ausreichende Flexibilität des Messsystems, um die erforderlichen Anpassungen an die jeweils vorgefundenen baulichen (geometrischen) Randbedingungen vorzunehmen.

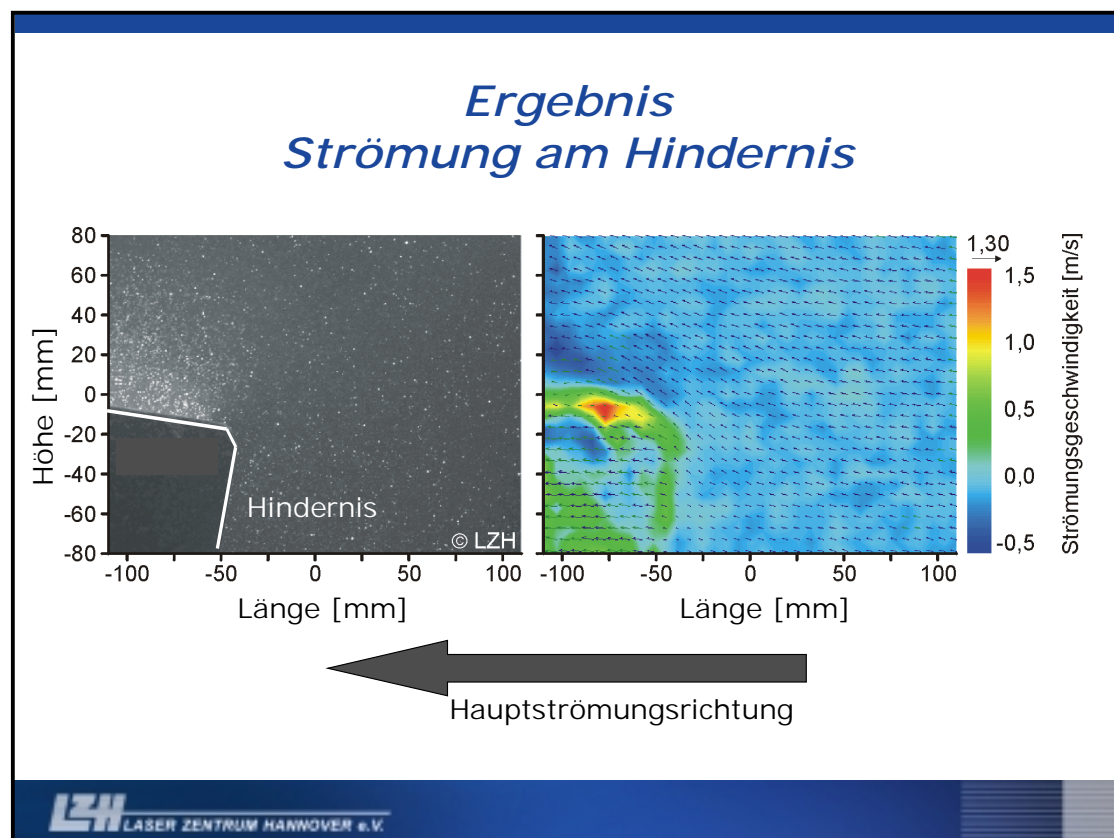


Abb. 3: Strömungsfeld an einem Hindernis

Für den Abstand zwischen Laser und Messebene von > 2 m „beleuchtet“ das Laserlicht einen als Messfeld geeigneten Bereich von 400×750 mm. Durch die Verwendung von Kameraobjektiven unterschiedlicher Brennweite (35-60 mm) kann der optimale Bildausschnitt gewählt werden. Es erfolgt eine Optimierung der einfachen Höhenverstellung (in y-Richtung) für die Kameras zur Einstellung des Gesichtsfeldes.

Parallel dazu stellt der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) die online Messdaten des Jahres 2002 für Leitfähigkeit,

Sauerstoffgehalt, Temperatur, Trübung und Geschwindigkeit an der Unterems an den Messstellen Pogum, Terborg und Gandersum als Informationsquelle zur Verfügung.

Basierend auf diesen Daten werden im Fortgang der Arbeiten die praxisrelevanten Bedingungen im Gewässer nachgestellt. Bei den Untersuchungen zu den verschiedenen Seedings (Tonerde, Feinsand, Rundsand) erfolgen sowohl Versuche mit monodispersen Partikelverteilungen, als auch mit Mischungen aus unterschiedlichen Fraktionen (0,5-1,5 mm und 0,05-0,5 mm) in variierenden Mischungsverhältnissen.

Durch unterschiedliche, ins Wasser eingebrachte Sedimente, lässt sich gezielt die Trübung verändern. Die Ermittlung des optimalen Arbeitsbereichs des PIV-Systems erfolgt in Abhängigkeit der nach NTU-Standard in mg/l kalibrierten Trübung (Abb. 4). Dabei zeigt sich sehr deutlich der Einfluss der Partikelgröße auf die Qualität der Streulichtreflexe der zur Auswertung herangezogenen Einzel-Images. So gilt der ermittelte niedrigste Schwellenwert von < 75 mg/l für eine weitgehend homogene Verteilung von Tonerde aus kleinsten Partikeln (< 0,01 mm). Versuche mit zunehmender Partikelgröße und inhomogener Größenverteilung des Seedings ergeben, dass bei veränderten Bedingungen der Schwellenwert eine flexible Größe darstellt und sinnvolle Geschwindigkeitsmessungen oberhalb eines Schwellenwertes der Trübung von 350 mg/l (Wert bei homogenem Seeding mit Partikeln bis zu 1,5 mm) möglich sind.

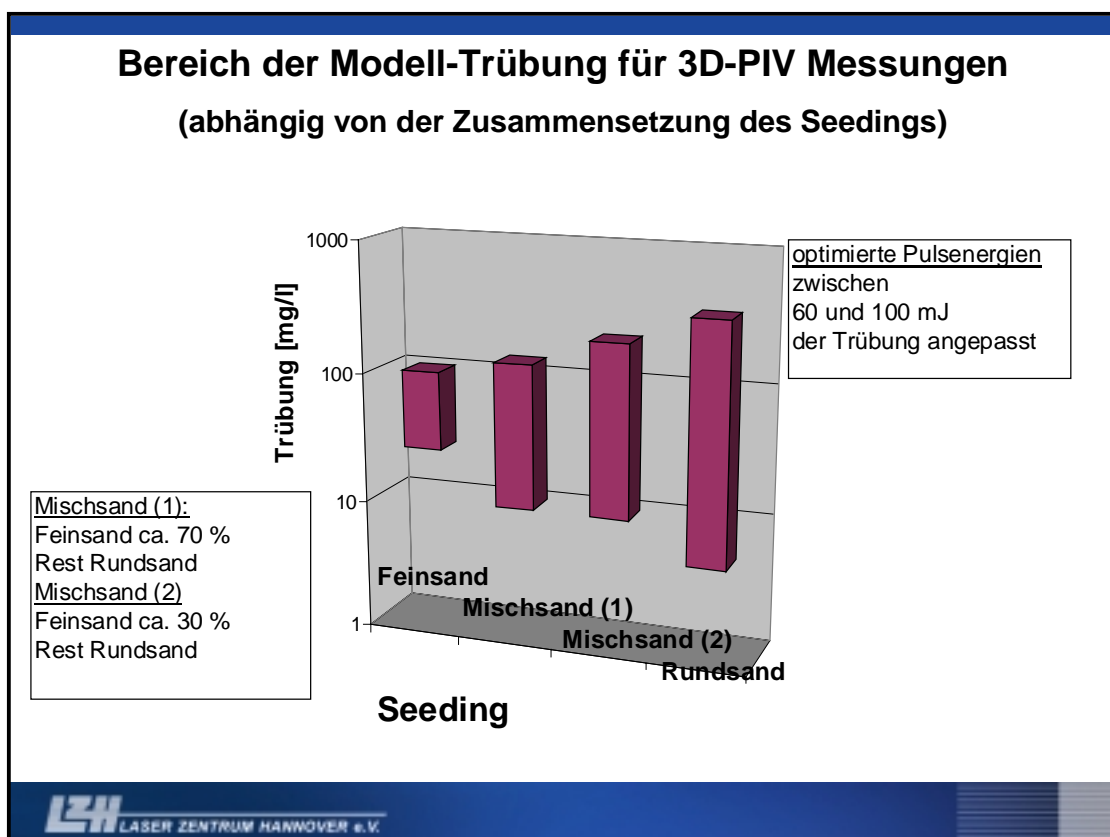


Abb. 4: Trübungsbereich für 3D-PIV Messungen im Modell

Die Beobachtungen zeigen, dass bei ausschließlicher Verwendung der Tonerde als Seeding (Partikel < 0,01 mm) sich im Wasser eine Suspension bildet. Es entsteht unter diesen Verhältnissen kein Lichtschnitt im flüssigen Medium. Beim Auftreffen des Lichtes auf die Suspension bildet sich ein heller halbkugelförmiger Bereich aus Streulicht.

Für die notwendige optimale Streuung des Laserlichtes an den Seeding Partikeln ist das richtige Verhältnis von Pulsenergie und Partikelverteilung ausschlaggebend. Die Einstellungen sind bei jeder Messkampagne für die jeweils vorgefundenen Bedingungen zu ermitteln und anzupassen. Die im Labor eingestellten extremen Situationen mit homogener Verteilung des Seedings treten in der Natur mit inhomogenen Sedimenten (Form und Größe) nur in Ausnahmesituationen auf. Die natürliche Verteilung der Streupartikel am Gewässer gewährleistet bei angepassten Parametern, dass Messungen ausreichender Qualität durchgeführt werden können.

Einsatz unter praxisrelevanten Bedingungen am GWK

In Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Küste ergibt sich die Möglichkeit das 3D-PIV Messsystem am Großen Wellenkanal (Abb. 5) einzusetzen.

Der Große Wellenkanal besteht aus einer überdachten Trogkonstruktion. Bei einer Breite von 5 m und einer Tiefe von 7 m beträgt die nutzbare Länge 307 m.



Abb. 5: 3D-PIV Messungen am Großen Wellenkanal (GWK)

Die hydraulisch angetriebene Wellenmaschine (900 kW) ist als kombinierte Translations- und Rotationsmaschine mit einem maximalen Hub von $\pm 2,1$ m und einer aufgesetzten, um $\pm 10^\circ$ drehbaren Klappe ausgebildet und kann regelmäßige Wellen und Seegang unter Tief- und Flachwasserbedingungen simulieren. Es lassen sich regelmäßige Wellen mit Wellenhöhen bis 2,0 m und Wellenspektren mit signifikanten Wellenhöhen bis etwa 1,3 m erzeugen.

Die Versuche finden in einem seitlichen Schacht bei Entfernung 177 m statt. Der optische Zugang ist durch Glasfenster (Abb. 5) ermöglicht, die sich in Segmenten über die ganze Höhe der möglichen Wassersäule erstrecken. Zur Versorgung steht Wasser aus dem naheliegenden Mittellandkanal zur Verfügung, das eine natürliche Partikeltrübung aufweist.

Dabei zeigt sich, dass die im natürlichen Gewässer enthaltenen Partikel, Schwebstoffe und Sedimente geeignet sind, um daraus mittels PIV Verfahren Vektorfelder zu generieren. Ein zusätzliches künstliches Seeding ist nicht erforderlich. Der in Abb. 6 abgebildete Geschwindigkeitsbereich gibt die realen Verhältnisse wieder. Vergleichsmessungen wurden mittels Flügelradanemometer durchgeführt und zeigen, soweit im turbulenten Bereich eine exakte mechanische Messung möglich ist, gute Übereinstimmungen ($\pm 20\%$) mit den Ergebnissen der 2D/3D-PIV Messungen. Der Lichtschnitt schneidet die in Hauptströmungsrichtung durchlaufende Welle horizontal in einer zur Ausbreitungsrichtung parallelen Ebene. Deutlich lassen sich Geschwindigkeitskomponenten in z-Richtung, senkrecht zur Hauptströmungsrichtung (x-Richtung) erkennen, die ein Indiz für auftretende Turbulenzen sind. Ebenfalls erkennt man die gegenläufigen Vektoren von Wirbeln in der Messebene.

Grundparameter für das Wellenspektrum sind die Wellenamplitude mit 1,0 m und eine Periode von 5,5 s. Die Trübung beträgt 80-95 mg/l. Die 3D-Vektorfelder zu zwei aufeinanderfolgenden Zeitpunkten (t_1 , t_2) zeigen dabei die Bewegung der durch die Wellen erzeugten Turbulenzen und Wirbel, die sich relativ zur Strömungsrichtung fortbewegen und sich ausdehnen oder kollabieren (Abb. 6).

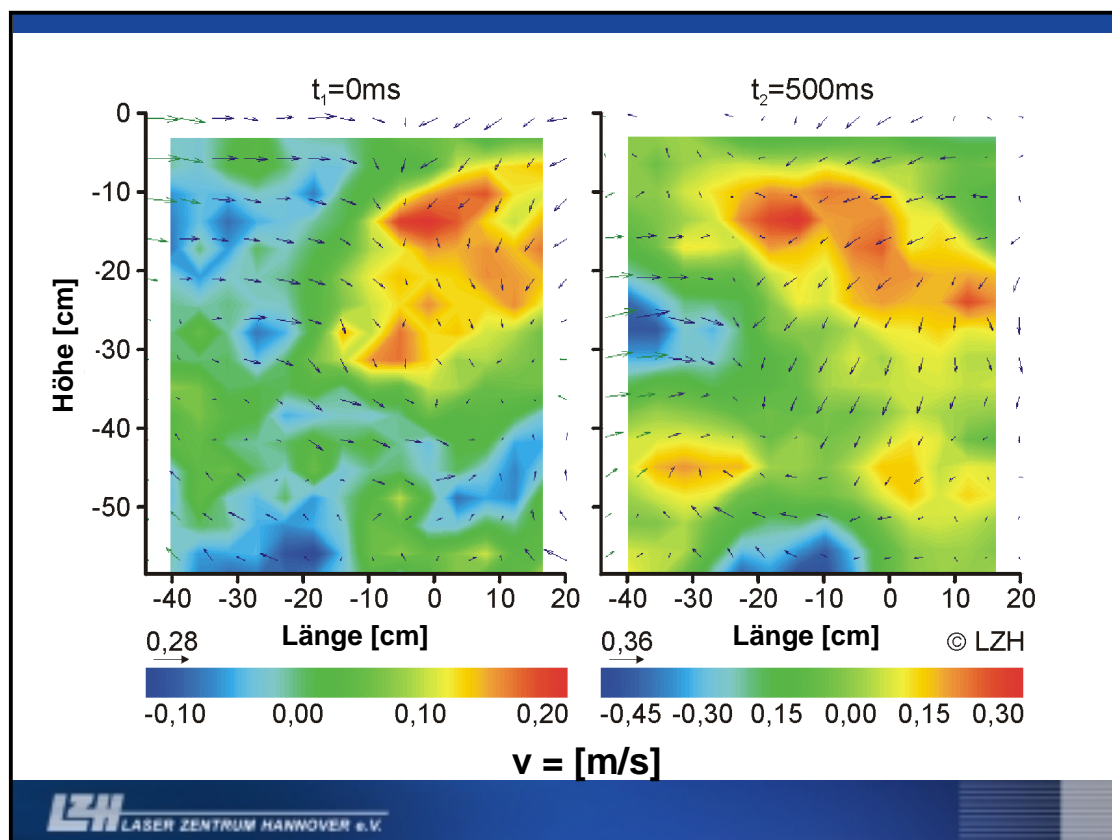


Abb. 6: Strömungsfeld Großer Wellenkanal; von rechts durchlaufende Welle

Entwicklung eines Trägersystems, Tauchgehäuses und Periskops

Neben der Entwicklung des stationären 3D-Strömungsmesssystems, bestehend aus Particle-Image-Velocimeter und mechanischem Anströmkörper-Strömungsmesssystem ist ein Trägersystem und ein Tauchgehäuse zu konstruieren. Hinsichtlich der geforderten Randbedingungen wird ein Pfeiler des Emssperrwerks ausgewählt, an dem diese weitestgehend erfüllt sind:

- hohe Strömungsgeschwindigkeiten infolge Ebb- und Flutstrom,
- stark variierende Wasserstände innerhalb einer Tide,
- variierender Salzgehalt aufgrund der Tide,
- die Trübung des Wassers variierende Schwebstofffracht sowie
- Betriebszustände beim Öffnen und Schließen der Sperrwerktole.

Die Anforderungen an das Trägersystem sowie an das Tauchgehäuse orientieren sich an den Erfordernissen des sicheren Betriebs des Messsystems sowie an den Bedingungen am Einsatzort. Daher wird eine Lösung bestehend aus verstreuten Einzelgehäusen konzipiert. Bei diesem Konzept werden nur noch das mechanische Anströmkörper-Strömungsmesssystem sowie die beiden Kameras unter Wasser gebracht, während der empfindliche Laserkopf über Wasser verbleibt. Hierzu ist eine Verbindung des Laserkopfes über einen Lichtleiter oder ein Periskop mit einer unter Wasser befindlichen Optik notwendig, die nach der Umlenkung des Laserstrahls durch eine Optik die Lichtschnittebene aufspannt.

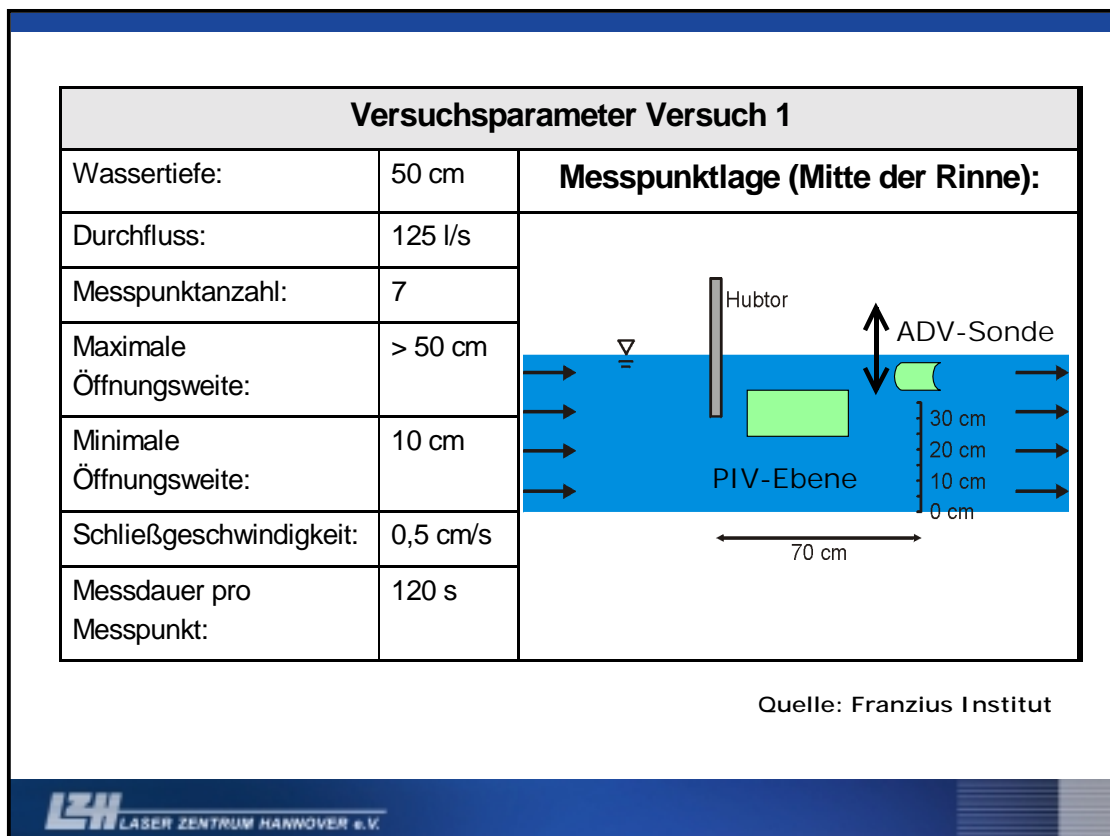


Abb. 7: Physikalische Versuche am beweglichen Hubtor

Zur Validierung der Periskoptechnik wird durch die Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH (HSVA) ein Periskop der Fa. Dantec Dynamics mit 2,5 m Länge zur Verfügung gestellt. Der Einbau erfolgt an der Strömungsrinne am Schneiderberg. Im Folgenden werden unter Einsatz dieser Lichtschnitttechnik Modellversuche am beweglichen Hubtor (Abb. 7) dargestellt.

Dazu erfolgte der Einbau eines Ausschnittsmodells eines Hubtores des Emssperwerkes im Maßstab 1:15. Eine konstruierte Hebevorrichtung erlaubt es, das Hubtormodell in der Strömungsrinne senkrecht auf und ab zu bewegen (Abb. 7). Die Bewegung des Tores inklusive Beschleunigung und zeitweiligem Verharren an bestimmten Positionen ist stufenlos reproduzierbar zu steuern.



Abb. 8: Periskopaufbau an der Strömungsrinne Schneiderberg

Die Modellversuche zeigen die Eignung der Periskoptechnik (Abb. 8) für die geplanten Untersuchungen am Emssperwerk. Die Möglichkeiten zur Konstruktion eines 6 m langen aus Modulen bestehenden Periskops für die gewünschte Tauchtiefe am Bauwerk werden gesammelt, gegenübergestellt, unter praktischen Gesichtspunkten ausgewertet und für den Einsatz in Gandersum umgesetzt.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Modell- und Praxisversuchen

In den vergangenen zwei Jahren ist die Zusammenstellung und Abstimmung der Komponenten sowie deren Demonstration im Praktikumsmaßstab abgeschlossen worden. Die nötige mechanische und steuerungstechnische Flexibilität des lasergestützten

Gesamtsystems zur Anpassung an verschiedene Randbedingungen, wie Trübung, Platzbedarf und Beobachtungsfeldgröße, an unterschiedlichen Einsatzorten ist erreicht. Aufbauend auf den Validierungsmessungen der PIV-Komponenten unter Laborbedingungen erfolgt im nächsten Schritt der reale Einsatz zur Lösung konkreter Messaufgaben. Basierend auf umfangreichen Testreihen erfolgt 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. Vielmehr ist die Zusammensetzung des Seedings entscheidend für die Qualität der PIV-Ergebnisse. Die gefundenen Daten sind Standort spezifisch und ergeben jeweils eine individuelle Parametermatrix. Wie die Praxisversuche im Modellmaßstab zeigen, sind die im natürlichen Gewässer enthaltenen Partikel geeignet, ausreichend gute Streulichtreflexe zur PIV-Messung zu generieren.

Es werden ungestörte und durch Hindernisse gestörte turbulente Strömungszustände vermessen. Messungen am GWK zeigen die Tauglichkeit des Systems in einer natürlichen Umgebung und es werden Turbulenzen bei Wellengang untersucht. An der Strömungsrinne des Franzius Instituts (FI) können an einem Hubtormodell dynamische Strömungszustände simuliert werden. Hierbei wird aufgrund der räumlichen Gegebenheiten (Größe der Rinne, Platzbedarf) der Lichtschnitt mittels eines Periskops eingetaucht.

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 (Strömungsrinne, Umlaufrinne und GWK) verifiziert 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.

Der erfolgreiche Praxiseinsatz an den Standorten (Labor, Umlauf-, Strömungsrinne, Großer Wellenkanal, Emssperrwerk) des auf einer konventionellen PIV-Systemen basierenden Gesamtmessapparatur zeigt deutlich, dass das modulare System den verschiedenen Aufgaben der Betreiber von Wasserbauwerken gerecht wird. Die Modifikation einzelner Komponenten und selbstentwickeltes, kompatibles Zubehör (Anschlussleitungen, Tauchgehäuse, Periskop) bedeuten eine wesentliche Erweiterung der PIV-Technik und stellen einen signifikanten Fortschritt in der Anwendung dar. Das verfügbare Zubehör kann dabei auch für andere Anwender von PIV Systemen von Nutzen sein.

Weiteres Vorgehen und Ausblick

In den folgenden Arbeitsschritten sind gemeinsame Versuche der Systeme (PIV-System, mechanisches System und ADV-Sonde) parallel durchzuführen. Dazu werden die Systeme zeitgleich an den unterschiedlichen Standorten für weiterführende Modell- und Praxisversuche installiert. Weiterhin erstellt das Institut für Werkstoffkunde Entwürfe für Träger-, Befestigungssysteme sowie Tauchgehäuse in Abstimmung mit dem Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (FI) und dem Laser Zentrum Hannover (LZH). Die gemeinsame Datenauswertung mit der „MATLAB“ Software ermöglicht die einfache Gegenüberstellung der importierten Daten und eine einheitliche Ergebnisdokumentation.

Die Werkstoffauswahl und Konstruktion von Gehäuse und Trägersystem für den anschließenden Einsatz am Wasserbauwerk werden unter den Gesichtspunkten der Robustheit, Langlebigkeit, Praxistauglichkeit und Herstellungskosten ausgeführt. Der online Betrieb des Messsystems findet dabei an einem Wasserbauwerk statt, das entsprechenden Belastungen ausgesetzt ist. Dazu ermöglichen die Betreiber des Emssperrwerks in Gandersum (Ostfriesland) einen in-situ Einsatz. Dabei werden zum einen mechanische und berührungslose, lasergestützte Sensoren für den Langzeiteinsatz im Bereich eines Pfeilers (Abb. 9) eingesetzt, zum anderen wird für dieses Bauwerk ein neu erstelltes numerisches Modell der Strömungszustände kalibriert und validiert /2/. Die am Sperrwerk unter Einfluss der Tide über mehrere Stunden gemessenen, zeitlich und räumlich hochaufgelösten Strömungsdaten fließen als Stützpunkte in das numerische Modell ein. Das System ist dabei mehrere Tage im Einsatz und wird je nach Bedarf kalibriert.

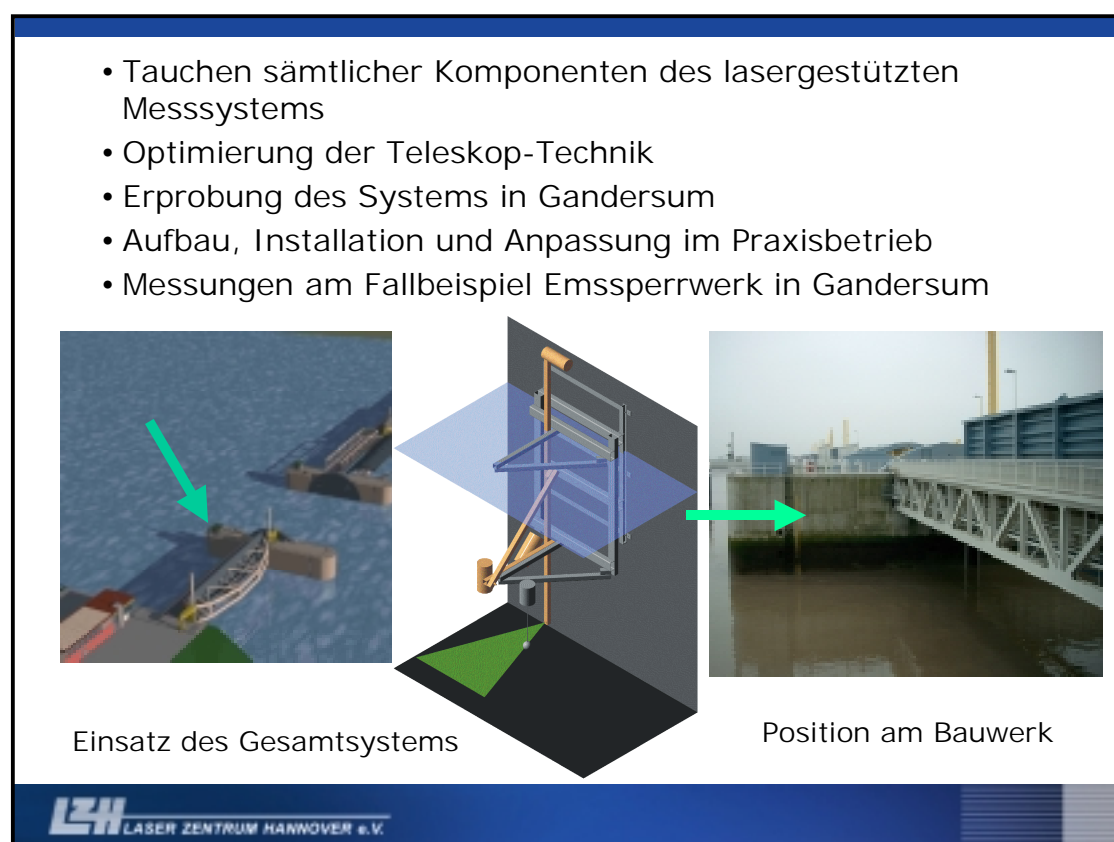


Abb. 9: Ausblick und Standort für in-situ Messungen

Weitere wichtige Einsatzbereiche der beschriebenen Messtechnik sind Standorte, die einen ganzjährigen Betrieb erfordern und bei denen es durch Strömung, Tide und Wellengang in Ausnahmefällen zu einer kritischen Belastung kommen kann. Daher soll auch das Potenzial zum Einsatz des entwickelten Gesamtmesssystems in Bereichen des Küstenmonitoring /3/ und der Meerestechnik auf Schiffen und an Messstationen der Meeresforschung geprüft werden.

Danksagung

Die Diskussionsbeiträge der HSVA, Fa. ILA und Dantec Dynamics zur Periskoptechnik seien dankend erwähnt. Die Autoren danken dem BMBF für die finanzielle Unterstützung (FKZ 03 KIS 036).

Veröffentlichungen

- /1/ Haferkamp, H.; Bunte, J.; Walter, J., „Konzept eines stationären 3D-PIV-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss“, 10. Fachtagung Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, S.14.1-14.7, Rostock 10.-12.09. 2002
- /2/ Matheja, A., Scheffermann, J., Zimmermann, C., „Entwicklung eines stationären 3D-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss“, 4. FZK-Kolloquium „Küsten-Morphodynamik und Küstenschutzbauwerke, Hannover, 20.03.2003
- /3/ Haferkamp, H.; Bunte, J.; Barcikowski, S.; Stute, U.; Walter, J., „Development of an in-situ 3D-particle image velocimeter (PIV) for coastal and river monitoring“, 1st Workshop Coastal Zone, Ghent, Belgium, 5-7th June 2003
- /4/ Haferkamp, H.; Bunte, J.; Barcikowski, S.; Walter, J., „Entwicklung eines stationären in-situ 3D-PIV-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss“, 11. Fachtagung Lasermethoden in der Strömungsmesstechnik, S. 42.1-42.10, Braunschweig 09.-11.09. 2003
- /5/ „Stationäres 3D-PIV-Strömungsmesssystems für hochturbulente Strömungszustände“, Hrsg. Laser Zentrum Hannover e.V., LZH-aktuell Ausgabe 40, Mai 2002
- /6/ „Stationäres 3D-Strömungsmesssystem für hochturbulente Strömungszustände unter Tide-, Strömungs- und Welleneinfluss“
NOKIS, Nord- und OstseeKüstenInformationssystem, 2003
<http://nokis.baw.de/npublic/research/PTJ/03KIS036.htm>
- /7/ Haferkamp, H.; Bunte, J.; Walter, J. „PIV Messsystem für hochturbulente Strömungszustände in der Praxis“, PIV/LIF User Meeting (Dantec Dynamics), 18.-19. Mai 2004 in Wolfsburg