

Leistungsbeschreibung

Service Description

Beschaffung eines optischen Messsystems für volumetrische, zeitaufgelöste Fluid- und Strukturmessungen in Wasser

Procurement of an optical measurement system for
volumetric, time-resolved fluid and structural
measurements in water

Vergabe Nr.: / Tender No.: OV-252-26

Auftraggeberin / Contracting Authority:
Technische Universität Berlin, Die Präsidentin
Straße des 17. Juni 135
10623 Berlin

INHALT

1	BEZEICHNUNG DER LEISTUNG/ DESCRIPTION OF SERVICES	3
2	GEGEBENHEITEN VOR ORT/ LOCAL CONDITIONS	4
3	LEISTUNGSBESCHREIBUNG/ SERVICE SPECIFICATION	4
3.1	Hardware/ Hardware	5
3.2	Software/ Software	7
4	WEITERE GRUNDLEGENDE ZU ERBRINGENDE LEISTUNGEN/ OTHER BASIC SERVICES AND REQUIEREMENTS TO BE PROVIDED	8
4.1	Technische Einweisung und Schulung/ Technical instruction and training	8
4.2	Dokumentation/ Documentation	9
4.3	Gewährleistung/ Warranty	9
4.4	Nachweise/ supporting documents	9
4.5	Kundendienst/ Customer Service	10
4.6	TECHNISCHE EINWEISUNG UND ABNAHME/ TECHNICAL INSTRUCTION AND ACCEPTANCE	10
5	LEISTUNGSORT/ PLACE OF DELIVERY	12
5.1	TRANSPORT & Lieferung/ TRANSPORT & DELIVERY	12
5.2	INBETRIEBNAHME/ COMMISSIONING	12
6	EINZUREICHENDE UNTERLAGEN/ DOCUMENTS TO BE SUBMITTED	13
7	AUSFÜHRUNGSZEIT/ EXCECUTION TIME	15
8	ZUSCHLAGSKRITERIEN UND DEREN GEWICHTUNG/ AWARD CRITERIA AND THEIR WEIGHTING.....	15
8.1	Kriterium Preis/ Criterion Price	16
8.2	Kriterium Qualität/ Criterion Technical Performance	17

1 BEZEICHNUNG DER LEISTUNG/ DESCRIPTION OF SERVICES

Die Technische Universität Berlin (TU Berlin, die Auftraggeberin/ AG) plant zu Forschungszwecken ein optisches Messsystem für volumetrische, zeitaufgelöste Messungen von Geschwindigkeitsfeldern und Strukturverformungen im Wasser zu beschaffen. Aus den zeitaufgelösten volumetrischen Geschwindigkeitsfeldern müssen sich zweidimensionale Messdaten ableiten lassen. Darüber hinaus muss das System die Dynamik kollabierender Kavitationsblasen zeitaufgelöst erfassen sowie makroskopische Kavitation optisch aufnehmen und statistisch auswerten können.

Das Messsystem soll aus mindestens vier Hochgeschwindigkeitskameras inklusive Scheimpflugadapter sowie mindestens einer Hochleistungs-LED zur Volumenausleuchtung bestehen. Des Weiteren muss das Gesamtsystem die für die Bedienung und Datenauswertung notwendige Hardware (Computer) inklusive der erforderlichen Mess- und Auswertesoftware beinhalten. Das System in modularer Bauweise muss so konzipiert sein, dass die Kameras individuell platziert werden können, um das gewünschte Messvolumen zu erfassen. Das System soll jederzeit durch Hard- und Software erweiterbar sein.

Die Ausschreibung umfasst die vollständige Bereitstellung eines funktionsbereiten Messsystems. Es sind ausschließlich Neugeräte anzubieten und zu liefern. Wiederaufbereitete Produkte, Rückläufer etc. oder Grauimporte sind ausgeschlossen.

Technische Universität Berlin (TU Berlin) intends to procure, for research purposes, an optical measurement system for volumetric, time-resolved velocity field and structural deformation measurements in water. The measurement system must be capable of capturing time-resolved volumetric velocity fields, from which two-dimensional velocity field can be derived. Furthermore, the system must be able to capture the dynamics of collapsing cavitation bubbles in a time-resolved manner, as well as optically capture macroscopic cavitation and evaluate them statistically.

The measurement system consists of at least four high-speed cameras including Scheimpflug adapters, as well as at least a high-power LED for volume illumination. In addition, the overall system must include the hardware required for operation and data evaluation, as well as the necessary measurement and evaluation software. The modular system must be designed such that the cameras can be individually positioned to capture the desired measurement volume. The system shall be expandable at any time through additional hardware and software.

The tender covers the complete provision of a fully functional, ready-to-use measurement system. Only new devices may be offered and supplied. Refurbished products, returned goods, etc., or grey-market imports are excluded.

2 GEGEBENHEITEN VOR ORT/ LOCAL CONDITIONS

Das optische Messsystem wird an verschiedenen Versuchsanlagen eingesetzt. Dazu gehören Kavitationskanal, Sloshinganlage, Laserlabor für die Untersuchung von Kavitationsblasen in einer Cuvette und Tief- und Flachwassertanks. Die Umgebungsluftfeuchtigkeit ist im Allgemeinen mit ca. 80 % hoch. Dies ist bei der Komponentenauswahl zu berücksichtigen. Messkampagnen dauern bis zu zwei Monate an. Wenn das System nicht im Rahmen einer Messkampagne eingesetzt wird, wird das Messequipment an einem trockenen Ort gelagert.

The optical measurement system will be used on various test facilities. These include a cavitation tunnel, a sloshing test rig, laser lab for the investigation of cavitation bubbles in a cuvette, and shallow- and deep water tanks. Ambient humidity is generally high, at approx. 80%. This must be considered when selecting components. Measurement campaigns can last up to two months. When not in use for a measurement campaign, the equipment is stored in a dry location.

3 LEISTUNGSBESCHREIBUNG/ SERVICE SPECIFICATION

Im Folgenden werden die geforderten technischen Bestandteile und Parameter des zu beschaffenden optischen Messsystems angegeben. Alle Bestandteile und Parameter des Leistungsverzeichnisses sind zu erfüllen und verpflichtend, damit der vorgesehene Einsatzzweck erfüllt werden kann. Sind die vorgegebenen Bestandteile und Parameter aus dem Angebot nicht eindeutig ersichtlich bzw. werden diese Bestandteile und Parameter nicht erfüllt, wird das Angebot von der Vergabe ausgeschlossen.

Ziel ist es, volumetrische und zeitaufgelöste Messungen eines Strömungsfeldes durchzuführen. Die Messungen werden in einem Kavitationskanal mit Geschwindigkeiten von 3 bis 10 m/s, einer Sloshing-Anlage, einer Slamming-Anlage oder in einem Wassertank bei Geschwindigkeiten zwischen 2 bis 10 m/s durchgeführt. Als Orientierung soll das volumetrische Messfeld eine Größe von ca. 250 x 100 x 100 mm abdecken bei einer Entfernung der Lichtquelle von ca. 2 m, um beispielsweise das dreidimensionale Geschwindigkeitsfeld hinter einem Modellpropeller zu vermessen. Das System muss turbulente Strukturen mit einer zeitlichen Auflösung erfassen können, die eine Korrelation zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen ermöglicht. Des Weiteren muss das System in der Lage sein, makroskopische Kavitation (z.B. Schicht-, Wolken-, Spitzenwirbelkavitation) aufzunehmen, sodass statistische Auswertungen zu Blasenanzahl und -größe durchgeführt werden können.

Dreidimensionale Strukturverformungen eines flexiblen Körpers in einer Slamming-Anlage mit einer Geschwindigkeit von etwa 4 m/s und maximalen Beschleunigung von ca. 20 m/s² müssen ebenfalls messbar sein. Zusätzlich muss der Zerfallsprozess einer einzelnen Kavitationsblase mittels monochromatischer Aufnahme und Hintergrundbeleuchtung erfassbar sein.

The following sets out the required technical components and parameters of the optical measurement system to be procured. All components and parameters specified in the service specification must be met and are mandatory to fulfill the intended purpose. If the specified components and parameters are not clear from the offer, or if these components and parameters are not met, the offer will be excluded from the award procedure.

The goal is to perform volumetric, time-resolved measurements of a flow field. The measurements will be carried out in a cavitation tunnel with flow speeds ranging from 3 to 10 m/s, a sloshing rig,

a slamming rig, or in a water tank at speeds ranging from 2 to 10 m/s. As a reference point, the volumetric measurement field should cover an area of approximately 250 x 100 x 100 mm with a light source distance of approximately 2 m, in order to measure, for example, the three-dimensional velocity field behind a model propeller. The system must be able to capture turbulent structures with a temporal resolution that enables correlation between consecutive frames. Furthermore, the system must be capable of measuring macroscopic cavitation (e.g., sheet-, cloud-, and tip vortex cavitation), such that statistical evaluations of bubble count and size can be performed.

Three-dimensional structural deformations of a flexible body in a slamming rig with a maximum velocity of 4 m/s and a maximum acceleration of 20 m/s² must also be measurable. In addition, the collapse process of a single cavitation bubble must be capturable using monochromatic imaging with backlight illumination.

3.1 ~~HARDWARE/~~ HARDWARE

Das zu beschaffende optische Messsystem muss mindestens folgende Hardware beinhalten, um volumetrische, zeitaufgelöste Messungen von Geschwindigkeitsfeldern und Strukturverformungen ohne zusätzliche Anschaffungen zu ermöglichen.

Die Spezifikationen sind Mindestanforderungen:

- Hochgeschwindigkeitskameras (Anzahl: 4)
 - o Auflösung: mind. 1 Megapixel
 - o Bildrate bei voller Auflösung: mind. 3000 fps
 - o Bildrate bei reduzierter Auflösung: mind. 120 000 fps bei 128 x 128 px
 - o Sensor: monochrome
 - o Bittiefe: mind. 12 bit
 - o Interner Speicher: mind. 7 Sekunden Aufnahmezeit bei voller Auflösung und 3000 fps
 - o Datentransfer Schnittstelle: mind. Gigabit Ethernet
 - o Trigger: Hardware Trigger, Software Trigger
- Scheimpflug Adapter (Anzahl: 4)
 - o Scheimpflugwinkel von mind. 20° erreichbar
- Kameraobjektiv (Anzahl: 4)
 - o Brennweite: f = 50 mm
 - o Blendenzahl: mind. f/1,4 oder lichtstärker
- Vergrößerungsobjektiv (Anzahl: 1):
 - o Vergrößerung x0,5
 - o Arbeitsabstand mind. 400 – 800 mm
- Hochleistungs-LED zur Ausleuchtung des Messvolumens (Anzahl: 1)
 - o Beleuchtungsvolumen von mind. 250 x 100 x 100 mm in einem Abstand von 2 m realisierbar
 - o Pulsbetrieb bis mindestens 20 kHz
 - o Emissionswellenlänge: 430 – 480 nm
- Shadowgraphy zur Untersuchung von Einzelblasenkavitation:
- LED zur Hintergrund-Beleuchtung mit Beleuchtungsfeld von mind. 250 x 150 mm (Anzahl: 1)
 - 1) Kalibrierzubehör für 3D Messungen
 - o validierte Kalibrierplatte von mind. 300 x 300 mm

- Validierung der Kalibrierplatte, um geometrische Abweichung von technischen Spezifikationen zu kennen
 - Für den Einsatz von 3D Kalibrierung
- Synchronisationseinheit inkl. Triggerkabel für alle Kameras und alle LEDs
- Seeding-Partikel für Einsatz im Wasser: 0,5 kg
- Kamerahalterungen:
 - Schiene mit einer Länge von mind. 300 mm inkl. Halterung (Anzahl: 4)
 - Befestigungsschiene mit einer Länge von 800 – 1000 mm inkl. Halterung und Justierhilfe (Anzahl: 1)
- Messcomputer inkl. Monitor, Tastatur und Maus

The optical measurement system to be procured must include at least the following hardware to enable volumetric, time-resolved measurements of velocity fields and structural deformations without any additional purchases.

The specifications are minimum requirements:

- High-speed cameras (quantity: 4)
 - Resolution: min. 1 megapixel
 - Frame rate at full resolution: min. 3,000 fps
 - Frame rate at reduced resolution: min. 120,000 fps at 128 x 128 px
 - Sensor: monochrome
 - Bit depth: min. 12 bit
 - Internal memory: min. 7 seconds of recording time at full resolution and 3,000 fps
 - Data transfer interface: min. Gigabit Ethernet
 - Trigger: hardware trigger, software trigger
- Scheimpflug adapter (quantity: 4)
 - Scheimpflug angle of at least 20° achievable
- Camera lens (quantity: 4)
 - Focal length: $f = 50$ mm
 - Maximum aperture: $f/1.4$ or faster
- Magnification lens (quantity: 1):
 - Magnification x0.5
 - Working distance min 400 – 800 mm
- High-power LED for illuminating the measurement volume (quantity: 1)
 - Volume illumination of min. $250 \times 100 \times 100$ mm achievable at a distance of 2 m
 - Pulsed operation up to 20 kHz (at least)
 - Emission wavelength: 430 – 480 nm
- Shadowgraphy for the investigation of single-bubble cavitation:
 - LED for background illumination with an illumination field of at least 250×150 mm (quantity: 1)
- Calibration accessories for 3D measurements
 - Validated calibration plate of at least 300×300 mm
 - Validation of the calibration plate to determine geometric deviations from the technical
 - for use in 3D calibration
- Synchronization unit incl. trigger cables for all cameras and all LEDs

- Seeding particles for use in water: 0,5 kg
- Camera mounts:
 - o Rail with a length of min. 300 mm incl. mount (quantity: 4)
 - o Rail with a length of 800 – 1000 mm incl. mount and alignment aid (quantity: 1)
- Measurement computer, including monitor, keyboard, and mouse

3.2 SOFTWARE/ SOFTWARE

Es existieren folgende Mindestanforderungen an die Software:

Die Software zur Datenaufnahme ist für die Installation und Nutzung auf mindestens einem Messrechner lizenziert. Die Software zur Datenauswertung ist für die Installation und Nutzung auf mindestens fünf Rechnern lizenziert. Die Software ist modular aufgebaut und kann nachträglich um Zusatzmodule erweitert werden. Erworbene Lizenzen sind zeitlich unbefristet.

Neben der Datenaufnahme muss die Software die folgenden Funktionen der Datenverarbeitung abdecken, wofür mehrere Softwaremodule angeboten werden können

- 4D-Lagrange'sches Partikeltracking zur Rekonstruktion des Geschwindigkeitsfeldes
- Überführung von Lagrange in regelmäßiges Eulersches-Gitter
- 3D-Deformations- und Spannungsmessung von Strukturen
- Fluid-Struktur-Interaktion (simultane Messung von Fluidströmungsfeld und Strukturverformung)
- Einbindung von CAD-Modellen und Verknüpfung mit Strömungsdaten
- Berechnung von Druck aus Geschwindigkeitsfeldern mittels 4D Solver, der räumliche und zeitliche Informationen berücksichtigt
- Identifikation von Partikeln und Blasen (u.a. Dampf-, Luftblasen) sowie Bestimmung deren Größe und Anzahl
- Kalibriersoftware:
 - o Korrektur von Kalibrierabweichungen auf Basis der Messdaten
 - o Datenbasierte Korrektur von optischen Verzerrungen, Brechungsindexunterschieden oder Materialinhomogenitäten
 - o Automatische Markererkennung
- Vibrationskorrektur: Kompensation von translatorischen und rotatorischen Abweichungen
- Unsicherheitsquantifizierung und deren Fortpflanzung: Bestimmung von Messunsicherheiten für Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung entlang der gesamten Partikeltrajektorie im Lagrang'schen Feld

The following minimum requirements apply to the software:

The data acquisition software is licensed for installation and use on at least one measurement computer. The data analysis software is licensed for installation and use on at least five computers. The software has a modular structure and can be extended with additional modules at a later date. Purchased licenses are perpetual.

In addition to data acquisition, the software must cover the following data processing functions, for which several software modules may be offered:

- 4D Lagrangian particle tracking for reconstructing the velocity field
- Conversion of Lagrangian data to a regular Eulerian grid
- 3D deformation and stress measurement of structures

- Fluid-structure interaction (simultaneous measurement of the fluid flow field and structural deformation)
- Integration of CAD models and linking with flow data
- Calculation of pressure from velocity fields using a 4D solver that takes both spatial and temporal information into account
- Identification of particles and bubbles (e. g., vapour-, air bubbles), including determination of their size and count
- Calibration software:
 - o Correction of calibration deviations based on the measurement data
 - o Databased correction of optical distortions, refractive index differences or material inhomogeneities
 - o Automatic marker detection
- Vibration correction: Compensation of translational and rotational deviations
- Uncertainty quantification and propagation: Determination of measurement uncertainties in position, velocity and acceleration along the entire particle trajectory in the Lagrangian field

4 WEITERE GRUNDLEGENDE ZU ERBRINGENDE LEISTUNGEN/ OTHER BASIC SERVICES AND REQUIEREMENTS TO BE PROVIDED

Die folgenden Bedingungen sind vom Auftragnehmer zu erfüllen und verpflichtend. Sind die vorgegebenen Bedingungen aus dem Angebot nicht eindeutig ersichtlich bzw. werden diese Bedingungen nicht erfüllt, wird das Angebot von der Vergabe ausgeschlossen.

The following conditions must be fulfilled by the Contractor and are mandatory. If the fulfillment of the specified requirements is not clearly indicated in the offer, or if these requirements are not fulfilled, the offer is excluded from the tender.

4.1 TECHNISCHE EINWEISUNG UND SCHULUNG/ TECHNICAL INSTRUCTION AND TRAINING

Nach der vollständig beendeten Aufstellung und betriebsbereiten Übergabe des Messsystems weist die*der AN die zuständigen Mitarbeiter*innen der TU Berlin (mind. vier Personen) in die Bedienung des Messsystems zur Nutzung ein. Für die technische Einweisung/ Schulung sind 3 Tage vor Ort einzuplanen.

Die technische Einweisung/ Schulung muss zudem folgende Punkte abdecken:

- Systeminstallation
- Inbetriebnahme
- Bedienung sämtlicher Hardwarekomponenten und Softwarepakete

Das Training kann in deutscher oder englischer Sprache erfolgen.

After the measurement system has been fully assembled and handed over in operational condition, the Contractor shall provide on-site instruction in its use for at least four members of TU Berlin staff over three days. The instruction shall cover the system installation, commissioning, and operation of all hardware components and software packages. It may be conducted in German or English.

4.2 DOKUMENTATION/ DOCUMENTATION

Die Dokumentation muss mit der Anlieferung in digitaler Form (PDF) in deutscher oder/und englischer Sprache übergeben oder ein Downloadlink benannt werden. Die Dokumentation beinhaltet folgende Unterlagen zur Nutzung des Messsystems:

- technische Handbücher
- Produkt- und Begleitdokumentationen

Upon delivery, the Contractor shall provide the documentation in digital form (PDF) in German and/or English, or provide a download link. The documentation shall include the technical manuals and the product and accompanying documents required to use the measurement system.

4.3 GEWÄHRLEISTUNG/ WARRANTY

Es muss auf das Gesamtsystem und auf alle Komponenten eine Gewährleistung von mindestens 24 Monaten durch den Bieter erfolgen. Die Gewährleistung beginnt mit dem Tag der Abnahme des Gesamtsystems durch die Auftraggeberin.

The Contractor must guarantee a warranty of at least 24 months for the overall system and for all its individual components. The warranty starts at the date of acceptance of the system by the Client.

4.4 NACHWEISE/ SUPPORTING DOCUMENTS

Der Bieter weist den erfolgreichen Einsatz der angebotenen Software bei volumetrischen Messungen von Geschwindigkeitsfeldern und Strukturverformungen nach. Hierzu sind mindestens drei Referenzprojekte sowie mindestens drei wissenschaftliche Veröffentlichungen vorzulegen, in denen die angebotene Software eingesetzt wurde. Die Veröffentlichungen müssen nicht vom Bieter verfasst sein.

Referenzprojekte und Veröffentlichungen müssen den Einsatz der folgenden Softwarefunktionen belegen. Jede Funktion ist durch mindestens eine Referenz oder Veröffentlichung nachzuweisen:

- 4D-Lagrange'sches Partikeltracking zur Rekonstruktion des Geschwindigkeitsfeldes
- 3D-Deformations- und Spannungsmessung von Strukturen
- Fluid-Struktur-Interaktion (simultane Messung von Strömungsfeld und Strukturverformung)
- Einbindung von CAD-Modellen und Verknüpfung mit Strömungsdaten
- Berechnung des Drucks aus Geschwindigkeitsfeldern mittels 4D-Solver, der räumliche und zeitliche Informationen berücksichtigt
- Vibrationskorrektur

The bidder shall demonstrate the successful use of the offered software for volumetric measurements of velocity fields and structural deformations. To this end, at least three reference projects and at least three scientific publications in which the offered software was used shall be submitted. The publications need not have been authored by the bidder.

The reference projects and publications must demonstrate the use of the following software functions. Each function shall be evidenced by at least one reference project or publication:

- 4D Lagrangian particle tracking for reconstruction of the velocity field
- 3D deformation and stress measurement of structures
- Fluid-structure interaction (simultaneous measurement of flow field and structural deformation)
- Integration of CAD models and linking with flow data
- Calculation of pressure from velocity fields using a 4D solver that takes both spatial and temporal information into account
- Vibration correction

4.5 KUNDENDIENST/ CUSTOMER SERVICE

Zur Behebung von Problemen muss für die gesamte Lebensdauer des Systems ein **technischer Kundendienst** in deutscher oder englischer Sprache mit Reaktionszeit innerhalb von zwei Werktagen vorhanden sein. Die Annahme von Störungsmeldungen muss werktags in der Zeit von 09:00-16:00 Uhr (Ortszeit des Bieters) telefonisch oder per Email sichergestellt sein.

Es fallen keine jährlichen Software-Wartungsgebühren an; inkrementelle Software-Updates können kostenfrei heruntergeladen und installiert werden.

Customer service

Technical support in German or English shall be available throughout the service life of the system, with a response within two business days. Fault reports shall be accepted by telephone or email on business days from 09:00 to 16:00 (local time of the Contractor). No annual software maintenance fees shall be charged. Incremental software updates shall be available for download and installation free of charge.

4.6 TECHNISCHE EINWEISUNG UND ABNAHME/ TECHNICAL INSTRUCTION AND ACCEPTANCE

Die Abnahme erfolgt durch die zuständigen Mitarbeiter*innen der TU Berlin und darf Bestandteil der Schulung gem. 4.1 sein. Abnahmekriterien sind die vollständige Erfüllung der Leistungsbeschreibung.

Im Verlauf des Trainings/Abnahme werden gemeinsam geprüft und protokolliert:

- Vollständigkeit:
 - Lieferumfang
 - Dokumentation
 - Softwarelizenzen

- Validierungsprotokoll der Kalibrierplatte
- Hardware:
 - Bildraten und Aufnahmedauer jeder Kamera gemäß Mindestanforderungen
 - Hardware- und Software-Trigger
 - Datenübertragung auf den Messcomputer
 - synchrone Aufnahme aller vier Kameras mit LED zur Volumenausleuchtung
 - Pulsbetrieb der LED für Volumenausleuchtung bei 20 kHz
 - synchrone Aufnahme einer Kameras mit LED zur Hintergrundbeleuchtung (Shadowgraphy)
 - Funktionsprüfung aller vier Scheimpflugadapter
- Testmessung - An einem vom Auftraggeber bereitgestellten Versuchsaufbau wird die Messkette vollständig durchlaufen:
 - 3D-Kalibrierung mit automatischer Markererkennung und datenbasierter Korrektur
 - zeitaufgelöste Aufnahme mit vier Kameras
 - Partikeltracking
 - Überführung auf ein Eulersches Gitter
 - Druckberechnung und Ausgabe der Messunsicherheiten
 - Shadowgraphy-Aufnahme mit Bestimmung von Blasengröße und -anzahl.
 - Deformations- und Spannungsmessung
 - Fluid-Struktur-Interaktion

Die Abnahme wird zum Abschluss der Schulung erklärt, wenn alle Prüfpunkte erfüllt sind. Schulungsinhalte, die wegen eines Mangels nicht vermittelt werden konnten, sind vom Auftragnehmer ohne zusätzliche Kosten vor der Abnahme und spätestens bis zum 30.04.2027 nachzuholen.

Acceptance is carried out by the responsible staff members of TU Berlin and may form part of the training in accordance with the service to be provided under "System Installation and Training". The acceptance criterion is complete fulfillment of the service specification

During the training/acceptance, the following items will be jointly tested and recorded:

- Completeness:
 - Scope of delivery
 - Documentation
 - Software licenses
 - Validation report of the calibration plate
- Hardware:
 - Frame rates and recording duration of each camera in accordance with the minimum requirements
 - Hardware and software trigger
 - Data transfer to the measurement computer
 - Synchronized recording of all four cameras with the LED for volume illumination
 - Pulsed operation of the LED for volume illumination at 20 kHz
 - Synchronized recording of one camera with the LED for background illumination (shadowgraphy)
 - Functional test of all four Scheimpflug adapters

- Test measurement – the complete measurement chain is run through on a test setup provided by the customer:
 - 3D calibration with automatic marker detection and data-based correction
 - Time-resolved recording with four cameras
 - Particle tracking
 - Conversion to an Eulerian grid
 - Pressure calculation and output of the measurement uncertainties
 - Shadowgraphy recording with determination of bubble size and number
 - Deformation and stress measurement
 - Fluid-structure interaction

Acceptance will be declared at the end of the training if all test items have been fulfilled. Training content that could not be delivered due to a defect must be provided by the Contractor at no additional cost before acceptance and no later than 30 April 2027.

5 LEISTUNGsort/ PLACE OF DELIVERY

Technische Universität Berlin
Müller-Breslau-Straße 15
10623 Berlin

5.1 TRANSPORT & LIEFERUNG/ TRANSPORT & DELIVERY

Alle Komponenten des optischen Messsystems müssen vom Auftragnehmer zum Leistungsort geliefert werden. Den Transport zur oben genannten Adresse, inklusive der Übernahme aller mit dem Transport anfallenden Kosten, sowie die Risiken der Anlieferung trägt der Auftragnehmer. Der genaue Liefertermin ist von der*dem AN spätestens 5 Tage vorher mit der AG abzusprechen und anzukündigen. Für die Anlieferung ist zu beachten, dass die Fahrzeugmasse (20 Tonnen) und -größe (kein Sattelschlepper, Auflieger oder Anhänger) begrenzt sind.

The Contractor shall deliver all components of the optical measurement system to the place of performance and bear all associated transport costs and delivery risks. The Contractor shall agree and announce the exact delivery date with the Client at least five days in advance. Delivery vehicles must comply with the site restrictions: a maximum vehicle weight of 20 metric tonnes; articulated lorries, semi-trailers and trailers cannot be used.

5.2 INBETRIEBNAHME/ COMMISSIONING

Das komplette optische Messsystem ist nach der raumgenauen Anlieferung von der*dem AN vor Ort aufzubauen, zu installieren und in betriebsbereitem Zustand zu übergeben.

Der elektrische Anschluss gebäudeseitig wird von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellt. Die Aufstellung und der Anschluss an die Stromversorgung erfolgen durch die*den AN und in Absprache mit der Auftraggeberin.

Die Termine für die Installation und Inbetriebnahme werden in enger Abstimmung zwischen der Auftraggeberin und der*dem AN nach Zuschlagserteilung vereinbart. Der Kontakt dazu erfolgt AN-seitig.

Following delivery to the designated room, the Contractor shall assemble and install the complete optical measurement system on site and hand it over in operational condition. The Client shall provide the building-side electrical connection. The Contractor shall set up the system and connect it to the power supply in coordination with the Client. After contract award, the Contractor shall contact the Client to arrange the dates for installation and commissioning.

6 EINZUREICHENDE UNTERLAGEN/ DOCUMENTS TO BE SUBMITTED

Neben den vom Unternehmen einzureichenden Formularen (siehe Vergabeunterlagen) sind folgende Punkte im Angebot schriftlich darzustellen. Werden die folgenden Punkte nicht schriftlich dargestellt, so wird das Angebot ausgeschlossen.

- **TUB – Angebotsschreiben des Bieters:** Bitte reichen Sie dieses Dokument ausgefüllt mit dem Angebot ein.
- **TUB – Preisblatt (ZK¹):** Bitte reichen Sie dieses Dokument ausgefüllt mit dem Angebot ein.
- **TUB – Wirt-Erklärungen (EK²):** Bitte reichen Sie diese Dokumente ausgefüllt mit dem Angebot ein:
 - Wirt-124Sofern zutreffend:
 - Wirt-235
 - Wirt-236
 - Wirt-238
- **Spezifikationsdokumente (MK³):** Das Angebot muss Spezifikationsdokumente zum angebotenen Messsystem (z. B. technische Beschreibung, Datenblätter, Herstellerangaben) enthalten, aus denen eindeutig hervorgeht, dass die Anforderungen gemäß Abschnitt 3 vollständig erfüllt werden.
- **Referenzprojekte und wissenschaftliche Veröffentlichungen (EK):** Mit dem Angebot sind gemäß Abschnitt 4.4 mindestens drei Referenzprojekte zum erfolgreichen Einsatz der angebotenen Software innerhalb der letzten drei Jahre vor Ablauf der Angebotsfrist sowie drei wissenschaftliche Veröffentlichungen einzureichen. Aus den Nachweisen muss hervorgehen, welche der in Abschnitt 4.4 genannten Softwarefunktionen sie jeweils belegen. Zu jedem Referenzprojekt sind die durchführende Institution, eine Ansprechperson mit Kontaktdaten, der Zeitraum und die Messaufgabe sowie die eingesetzte Software anzugeben. Für die Veröffentlichungen sind vollständige bibliografische Angaben und, soweit vorhanden, ein DOI oder Link einzureichen.

¹ ZK = Zuschlagskriterium

² EK = Eignungskriterium

³ MK = Mindestkriterium

In addition to the forms to be submitted by the company (see tender documents), the following items must be presented in writing in the bid. If any of the following items is not presented in writing, the bid will be excluded.

- **TUB – Bidder's letter of tender:** Please complete this document and submit it with your bid.
- **TUB – Price sheet (AC⁴):** Please complete this document and submit it with your bid.
- **TUB – Wirt declarations (SC⁵):** Please complete these documents and submit them with your bid:
 - Wirt-124If applicable:
 - Wirt-235
 - Wirt-236
 - Wirt-238
- **Specification documents (MC⁶):** The bid must include specification documents for the offered measurement system (e.g. technical description, data sheets, manufacturer's information) that clearly demonstrate that the requirements set out in Section 3 are fully met.
- **Reference projects and publications (SC):** The bid must include, in accordance with Section 4.4, at least three reference projects demonstrating the successful use of the offered software within the three years preceding the bid submission deadline, as well as three scientific publications. The documents must indicate which of the software functions listed in Section 4.4 each project or publication demonstrates.

For each reference project, the institution conducting the project, a contact person and contact details, the period and measurement task, and the software used must be stated. Full bibliographic details and, where available, a DOI or link must be provided for each publication.

⁴ AC = Award criterion

⁵ SC = Selection criterion

⁶ MC = Minimum criterion

7 AUSFÜHRUNGSZEIT/ EXECUTION TIME

Ausführungsbeginn: Die Ausführung kann ab dem Tag der Auftragsvergabe erfolgen (voraussichtlich am **22.12.2026**).

Ausführungsende: Die Lieferung sowie der Aufbau, die Installation, die Inbetriebnahme, die Schulung und die Abnahme des optischen Messsystems müssen spätestens am **30.04.2027 vollständig abgeschlossen** sein.

Commencement of performance: Performance may commence on the day the contract is awarded (expected on **22.12.2026**).

Completion of performance: Delivery, assembly, installation, commissioning, training and acceptance of the optical measurement system must all be **fully completed by 30 April 2027** at the latest.

Achtung: Die vereinbarten Lieferfristen sind verbindlich. Liefer- und Leistungsverzögerungen sind der TU Berlin unverzüglich anzuzeigen. Dies gilt dann, wenn es auf Grund von erheblichen und unvorhersehbaren Umständen politischen und/oder wirtschaftlichen Ausmaßes, zu Lieferengpässen bzw. Störungen in den Lieferketten kommt, die nicht im Verantwortungsbereich des Auftragnehmers liegen. Mit der zeitnahen Unterrichtung der TU Berlin hierüber sind auch die zu diesem Zeitpunkt voraussichtlichen Lieferzeiten mitzuteilen.

Attention: The agreed delivery periods are binding. Delays in delivery and performance must be immediately reported to TU Berlin without any delay. This applies if, due to significant and unforeseeable circumstances of political and/or economic situations, supply bottlenecks or disruptions occur in the supply chains, which are not within the responsibility of the Contractor. With the timely information of TU Berlin on this, the expected delivery times at this time must be also communicated.

8 ZUSCHLAGSKRITERIEN UND DEREN GEWICHTUNG/ AWARD CRITERIA AND THEIR WEIGHTING

Unter Berücksichtigung aller Umstände wird der Zuschlag jeweils auf das wirtschaftlichste Angebot erteilt. Die Bewertung erfolgt auf Grundlage des schriftlichen Angebots. Daher liegt es im Interesse des Bieters, alle angeforderten Informationen so detailliert und korrekt wie möglich zur Verfügung zu stellen. Zuschlagskriterium ist zu 90,00% der Gesamtangebotspreis und zu 10,00% die Qualität. Die sich aus dem jeweiligen Kriterium ergebenden Punkte werden addiert. Der Bieter mit der Höchstpunktzahl erhält den Zuschlag. Alle Zahlenwerte werden auf zwei Nachkommastellen gerundet.

Kriterium	Gewichtung	Punkte
Gesamtangebotspreis	90,00%	90,00
Qualität	10,00%	10,00
Gesamt	100,00%	100,00 Punkte

Taking into account all the circumstances, the contract will be awarded to the most economical tender. The evaluation is based on the written offer. It is therefore in the tenderer's interest to provide all requested information as much detailed and as accurately as possible. The award criterion is 90.00% concerning the total bid price and 10.00% the technical performance. The points resulting from the respective criterion are added together. The bidder with the maximum score will be awarded the contract. All numbers are rounded to two decimal digits.

critterion	weighting	points
Total bid price	90.00%	90.00
quality	10.00%	10.00
total	100.00%	100.00 points

8.1 KRITERIUM PREIS/ CRITERION PRICE

Das Angebot mit dem niedrigsten Gesamtpreis (inkl. MwSt.) erhält die Höchstpunktezahl von 90 Punkten. Ist der Gesamtpreis eines Angebotes z.B. um 100% höher im Vergleich zum Angebot mit dem niedrigsten Gesamtpreis, dann erhält dieses Angebot 0 Punkte. Null Punkte stellen die Untergrenze dar, d.h. es werden keine Negativpunkte vergeben. Die Punkte dazwischen werden nach der folgenden Gleichung interpolär berechnet:

$$Punkte_{preis} = (2 - Preis/Preis_{min}) * 90$$

Beispielrechnung zur Punktevergabe:

Angebot 1: Preis von 100 EUR = 30,00 Punkte

Angebot 2: Preis von 75 EUR = 67,50 Punkte

Angebot 3: Preis von 60 EUR = 90,00 Punkte

Punkte für Angebot 1:

$$Punkte_{preis} = (2 - 100/60) * 90 = 30,00$$

The offer with the lowest total price (including VAT) receives the maximum score of 90 points. If the total price of an offer is e.g. 100% higher than the bid with the lowest total price, then this offer will receive 0 points. Zero points represent the lower limit, i.e. no negative points are awarded. The points are calculated according to the following interpolation formula:

$$Points_{price} = (2 - Price/Price_{min}) * 90$$

Example calculation for points awarding:

Offer 1: Price of 100 EUR = 30.00 points

Offer 2: Price of 75 EUR = 67.50 points

Offer 3: Price of 60 EUR = 90.00 points

Points for offer 1:

$$Points_{price} = (2 - 100/60) * 90 = 30.00$$

8.2 KRITERIUM QUALITÄT/ CRITERION TECHNICAL PERFORMANCE

Die folgenden aufgeführten technischen Spezifikationen sind zusätzliche Funktionen des zu beschaffenden optischen Messsystems. Auf die Erfüllung der zusätzlichen Funktionen werden insgesamt maximal **10 Punkte** vergeben.

Jedes Angebot, das die angegebenen zusätzlichen Funktionen erfüllt, erhält die angegebenen Punkte. Im Angebot sind die zusätzlich erfüllbaren Spezifikationen/Funktionen eindeutig anzugeben.

Punktevergabe

Das angebotene Kameramodell besitzt eine 10Gb Ethernet Schnittstelle zum schnellen Daten auslesen	10 Punkte
---	-----------

The following technical specifications are additional functions of the optical measurement system. A maximum of **10 points** will be awarded for fulfilling the additional functions.

Any offer that performs the specified additional functions will receive the specified points. The offer must clearly indicate the additional specifications/functions that can be fulfilled.

Points awarded

The offered camera model features a 10 Gb Ethernet interface for fast data readout.	10 points
---	-----------