

Leistungsbeschreibung

Beschaffung eines Hochgeschwindigkeitskamarasystems zur zeitlich hochauflösenden Untersuchung fertigungstechnischer Prozesse. Maximalsumme für Komplettsystem: 49.900,00 € (brutto)

1 Gegenstand und Verwendungszweck

Gegenstand der Vergabe ist die Lieferung eines fabrikneuen betriebsfertigen Hochgeschwindigkeitskamarasystems einschließlich Abbildungsoptik, Stativsystem, Auswertesoftware, Einweisung und Dokumentation.

Das System dient der zeitlich hochauflösenden, quantitativen Beobachtung schnell ablaufender Vorgänge in fertigungstechnischen Prozessen in Forschung und Lehre. Es wird an wechselnden Versuchsständen und Werkzeugmaschinen des Lehrstuhls eingesetzt, unter anderem zur Untersuchung von:

- Wirkzonenvorgängen in der Zerspanung und der Schleifbearbeitung, insbesondere Spanbildung, Kornkontakt, Werkzeugverschleiß und Kühlschmierstoffströmung,
- Werkzeug- und Bauteilschwingungen sowie Prozessinstabilitäten,
- Partikel- und Tropfenbewegungen einschließlich Geschwindigkeitsermittlung,
- Vorgängen in thermischen, laserbasierten und additiven Fertigungsverfahren.

Die Anforderungen der Abschnitte 2 bis 4 sind mit einem Kriterientyp gekennzeichnet: Kriterien der Kategorie A sind Mindestanforderungen; ihre Nichterfüllung führt zum Ausschluss des Angebots. Bei Kriterien der Kategorie B wird die Übererfüllung der Mindestanforderung zusätzlich bepunktet. Die Bewertung erfolgt ausschließlich anhand der beigefügten Wertungsmatrix (Anlage 1).

2 Anforderungen an das Kamerasystem

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
2.1	Auflösung und Sensorformat	Mindestens 1.024 × 1.024 Pixel bei voller Sensorauslesung, quadratisches Format (Seitenverhältnis 1:1)	Mikroskopische Abbildung der Wirkzone bei gleichzeitiger Erfassung des Umfelds. Das quadratische Format nutzt den Bildkreis der eingesetzten Mikroskopoptik vollständig aus und erlaubt eine von der Bewegungs- bzw. Vorschubrichtung unabhängige Auswertung von Partikel- und Objektbahnen.	A
2.2	Sensortyp	Monochrom (kein Farbfilterarray)	Höhere effektive Quantenausbeute und volle geometrische Auflösung ohne Interpolationsverluste; die Auswertung erfolgt intensitäts- und geometriebasiert.	A
2.3	Digitalisierungstiefe	Mindestens 12 bit pro Bildpunkt	Die untersuchten Prozesse weisen extreme Helligkeitsunterschiede zwischen selbstleuchtenden Bereichen (glühende Späne, Funken, Schmelze) und lediglich fremdbeleuchteten Randbereichen auf.	A
2.4	Lichtempfindlichkeit	Mindestens ISO 60.000 monochrom (Ermittlung nach ISO 12232 oder gleichwertigem, vom Bieter zu benennendem Verfahren)	Bei Belichtungszeiten im Sub-Mikrosekundenbereich und der kleinen effektiven Apertur der Mikroskopoptik steht nur eine sehr geringe Lichtmenge pro Bild zur Verfügung.	A
2.5	Bildrate bei voller Auflösung	Mindestens 9.000 fps bei der Auflösung nach Nr. 2.1 und der Digitalisierungstiefe nach Nr. 2.3	Periodisch ablaufende Vorgänge der Fertigungstechnik (Spanbildungsfrequenz, Zahneingriff, Werkzeug- und	A + B

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
			Bauteilschwingungen, Prozessinstabilitäten) liegen im Bereich einiger hundert Hertz bis über 1 kHz. Für eine aliasingfreie Erfassung ist eine Überabtastung um mindestens den Faktor fünf erforderlich.	
2.6	Maximale Bildrate	Mehr als 800.000 fps bei reduzierter Auflösung	Partikel- und Tropfenablösung, Rissbildung sowie Bruch- und Verschleißereignisse an Werkzeugschneiden laufen in Zeitskalen deutlich unterhalb 100 µs ab und sind nur bei Bildraten im Bereich mehrerer 100.000 fps zeitlich aufzulösen.	A + B
2.7	Minimale Belichtungszeit	Kleiner als 250 ns	Bei den auftretenden Relativgeschwindigkeiten – in der Schleifbearbeitung Umfangsgeschwindigkeiten von 30 m/s und mehr, bei Partikel- und Spanflug einige m/s – ergibt sich bei der vorgesehenen abbildungsseitigen Auflösung von rund 2 µm je Pixel selbst bei 250 ns bereits eine Bewegungsunschärfe von mehreren Pixeln.	A + B
2.8	Interner Bildspeicher	Mindestens 64 GB kameraintern; Aufnahmedauer mindestens 4 s bei voller Auflösung und 9.000 fps	Die anfallende Datenrate schließt eine kontinuierliche Direktaufzeichnung aus. Der Ringspeicher muss den Prozessabschnitt vom Anschnitt über den quasistationären Zustand bis zum Austritt abdecken.	A + B
2.9	Objektivanschluss	F-Mount und C-Mount, ggf. über Adapterplatten; Adapterplatten im Lieferumfang	Verwendbarkeit marktgängiger Mikroskop-, Makro- und Fernfeldoptiken sowie der bei der Bedarfsstelle vorhandenen Optiken.	A
2.10	Trigger und Synchronisation	Mindestens ein Trigger-Eingang und ein Trigger-/Synchronisationsausgang (TTL oder gleichwertig), Aufzeichnung mit Vor- und Nachtrigger	Die Aufnahme muss ereignisgesteuert aus dem Maschinenprozess ausgelöst werden können.	A
2.11	Datenschnittstelle, Fernbedienbarkeit	Standardschnittstelle zur Anbindung an einen Windows-PC, mindestens Gigabit-Ethernet oder gleichwertig; vollständige Konfiguration und Auslösung über die Software ohne Eingriff am Gerät	Anbindung an die vorhandene IT-Infrastruktur; die Kamera ist im Prozess regelmäßig nicht zugänglich, da Maschinenräume und Schutzeinrichtungen im Betrieb verschlossen sind.	A
2.12	Umgebungsbedingungen, Kühlung	Betrieb von 0 °C bis mindestens +40 °C ohne Einschränkung der spezifizierten Leistungsdaten; Betrieb ohne externen Kühlmittelkreislauf	Einsatz in nicht klimatisierten Versuchshallen in unmittelbarer Maschinennähe mit erhöhtem Wärmeeintrag. Eine Kühlwasserversorgung steht an den Aufstellungsorten nicht zur Verfügung.	A + B
2.13	Stromversorgung, Konformität	Betrieb am Netz 230 V / 50 Hz über mitgeliefertes Netzteil, CE-Kennzeichnung, Netz- und Datenkabel im Lieferumfang	Anschlussfähigkeit an wechselnden Aufstellungsorten und Rechtskonformität.	A
2.14	Masse und Abmessungen	Masse des Kamerakörpers ohne Objektiv höchstens 4 kg; Abmessungen des Kamerakörpers höchstens 250 × 150 × 150 mm	Die Kamera wird zwischen wechselnden Versuchsständen umgesetzt und auf Stativ oder Halterung in beengten Maschinenräumen positioniert. Masse und Bauraum begrenzen die erreichbaren Kamerapositionen und die Steifigkeit der Aufnahme.	A + B

3 Anforderungen an Software und Programmierschnittstelle

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
3.1	Aufnahme- und Steuersoftware	Software für Windows 10 und 11 (64 bit) zur Kamerasteuerung, Aufnahme, Wiedergabe und Auswertung; unbefristete Lizenz für mindestens zwei Arbeitsplätze; keine laufenden Lizenz- oder Abonnementkosten; kostenfreie Updates für mindestens 36 Monate	Nutzung an wechselnden Versuchsständen und Arbeitsplätzen; Vermeidung von Folgekosten außerhalb der Projektlaufzeiten.	A
3.2	SDK / Programmierschnittstelle	Dokumentiertes SDK zur Kamerasteuerung und Bildübernahme, nutzbar aus mindestens einer verbreiteten Programmiersprache (z. B. C/C++, C#/.NET, Python, LabVIEW oder gleichwertig), ohne zusätzliche Lizenzkosten, mit Dokumentation und Beispielcode in deutscher oder englischer Sprache	Einbindung in bestehende Mess- und Automatisierungsumgebungen, um Aufnahmen automatisiert mit Maschinen- und Sensordaten zu verknüpfen und Versuchsreihen ohne manuelle Bedienung durchzuführen.	A + B
3.3	Integrierte Analysefunktionen	In der Software integriert: Bewegungsverfolgung einzelner Objekte (Motion Tracking) mit Ausgabe von Bahn-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsdaten; Vermessung von Längen, Winkeln und Flächen; Maßstabskalibrierung. Weitere integrierte Funktionen (z. B. Fokusassistent, Bildüberlagerung, Bildvergleich) werden gewertet.	Auswertung von Partikelbahnen, Verformungs- und Verlagerungsvorgängen unmittelbar am Versuchsstand, ohne Auslagerung großer Bildsequenzen in Drittsoftware. Fokusassistent und Bildüberlagerung verkürzen die Einrichtzeit an schwer zugänglichen Kamerapositionen erheblich.	A + B
3.4	Datenexport	Export unkomprimierter Bilddaten in ein offen dokumentiertes Format (z. B. TIFF-Sequenz, RAW mit Headerdatei oder gleichwertig) unter Erhalt der vollen Digitalisierungstiefe sowie in gängige Videoformate; Formatbeschreibung ist beizustellen	Voraussetzung für die quantitative Weiterverarbeitung in eigenen Auswertumgebungen und für die softwareunabhängige Archivierung der Forschungsdaten.	A

4 Abbildungsoptik, Stativsystem, Nebenleistungen

Die Komponenten sind so anzubieten, dass sie mit der angebotenen Kamera ohne zusätzliche, nicht angebotene Adapter betriebsfertig zusammenwirken. Die Systemverantwortung liegt beim Bieter.

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
4.1	Langdistanz-Mikroskopoptik	Zoomsystem mit mindestens 10-fachem Zoombereich, F-Mount, freier Arbeitsabstand mindestens 90 mm, abbildungsseitige Auflösung 3 µm je Pixel oder besser bei maximaler Vergrößerung, inklusive Vorsatzlinse zur Anpassung des	Der Arbeitsabstand hält die Optik außerhalb des Bereichs starker Prozessemission, Span- und Partikelbelastung. Der Zoombereich erlaubt den Wechsel zwischen Übersichts- und Detailbetrachtung ohne Umbau.	A

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
		Arbeitsabstands, Feineinstellschlitten mit mindestens 100 mm Verstellweg und Transportkoffer		
4.2	Zusatzoptik	Vorsatz mit Faktor 0,5 oder gleichwertige Erweiterung des Vergrößerungsbereichs, passend zu Nr. 4.1	Erweiterung des nutzbaren Bildfeldes für Übersichtsaufnahmen der Wirkzone.	A
4.3	Filterhalterung	Filterhalter passend zum System nach Nr. 4.1 zur Aufnahme handelsüblicher Wechselfilter, inklusive Klarglas-Schutzfilter als Spritz- und Partikelschutz	Schutz der Frontoptik vor Prozessemissionen. Die Aufnahme von Wechselfiltern ist Voraussetzung für eine spätere Ergänzung um Bandpass- und Sperrfilter.	A
4.4	Makroobjektiv	Festbrennweite 90 bis 110 mm, Lichtstärke f/2,8 oder lichtstärker, Abbildungsmaßstab mindestens 2:1, F-Mount, manuelle Fokus- und Blendeneinstellung	Alternative Abbildungsoptik für größere Bildfelder; rein manuelle Einstellbarkeit ist erforderlich, da elektronisch gesteuerte Objektive an der Kamera nicht ansteuerbar sind.	A
4.5	Stativsystem	Stativ mit Neiger, Traglast mindestens 6 kg, Arbeitshöhe mindestens 150 cm, Feinverstellung in mindestens zwei Achsen, inklusive Transporttasche	Die Traglast ergibt sich aus der Masse von Kamera und Mikroskopoptik; die Feinverstellung ist zur reproduzierbaren Ausrichtung auf die Wirkzone erforderlich. Der Einsatz erfolgt an wechselnden Versuchsständen.	A
4.6	Lieferung und Lieferzeit	Lieferung frei Haus (DDP, Incoterms 2020) an die Anschrift nach Abschnitt 5, einschließlich Rücknahme des Verpackungsmaterials; Lieferzeit höchstens 8 Wochen ab Auftragsbestätigung, verbindlich anzugeben; Zahlungsziel sofort netto. Alternativ: Rechnungsstellung gegen unbefristete Bankbürgschaft möglich	Anlieferung über die zentrale Warenannahme. Die Lieferzeit ist an haushaltsrechtliche Bewirtschaftungsfristen gebunden.	A + B
4.7	Inbetriebnahme und Schulung	Aufbau, Inbetriebnahme und Nachweis der spezifizierten Bildraten- und Speicherleistung am Aufstellungsort; mindestens eine ganztägige Schulung für bis zu sechs Personen zu Bedienung, Software, Analysefunktionen und Datenexport in deutscher oder englischer Sprache, Reise- und Nebenkosten eingepreist	Abnahmegrundlage und Sicherstellung der eigenständigen Nutzung durch wechselndes wissenschaftliches Personal.	A
4.8	Dokumentation	Vollständige Bedien- und Wartungsdokumentation, Datenblätter aller Komponenten und Zubehörteile sowie Schnittstellenbeschreibung in deutscher oder englischer Sprache, digital und in Papierform	Betrieb, Instandhaltung und Einbindung in bestehende Mess- und Automatisierungsumgebungen.	A
4.9	Gewährleistung, Service	Mindestens 24 Monate Gewährleistung auf das Gesamtsystem ab Abnahme; Support in deutscher oder englischer Sprache; Servicestandort innerhalb der EU; Ersatzteile und Reparaturleistungen für mindestens	Absicherung des Investitionsguts über die geplante Nutzungsdauer von mindestens fünf Jahren; Ausfallzeiten wirken sich unmittelbar auf laufende Forschungsvorhaben aus.	A + B

Nr.	Merkmal	Mindestanforderung	Zweck / sachliche Begründung	Krit.
		fünf Jahre ab Lieferung; Angabe der Reaktionszeit		
4.10	Erweiterbarkeit des Speichers	Der interne Bildspeicher muss nachträglich auf mindestens 128 GB erweiterbar sein, ohne Austausch von Sensor oder Kameragehäuse und ohne Verlust der Verwendbarkeit der beschafften Optiken, Software und Zubehörteile. Der Preis der Erweiterung ist gesondert auszuweisen und für mindestens 24 Monate verbindlich zu halten.	Die Aufnahmedauer ist bei mehrstufigen und länger andauernden Prozessen der begrenzende Faktor. Eine stufenweise Erweiterung nach Maßgabe künftig verfügbarer Mittel vermeidet eine Ersatzbeschaffung des Gesamtsystems.	A + B
4.11	Steigerung der Bildratenleistung	Verfahren, Umfang und Preis einer nachträglichen Erhöhung der maximalen Bildrate unter Weiterverwendung der beschafften Optiken, Software und Zubehörteile sind anzugeben. Besteht kein solcher Erweiterungspfad, ist dies zu erklären.	Das Untersuchungsspektrum des Lehrstuhls soll auf Prozesse mit höheren Relativgeschwindigkeiten ausgeweitet werden, wodurch schnellere Vorgänge zu erfassen sein können. Ein Erweiterungspfad sichert die Investition über einzelne Vorhaben hinaus.	B

5 Liefer- und Aufstellungsort

RPTU Kaiserslautern-Landau, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation (FBK), Zentrale Warenannahme, Gottlieb-Daimler-Straße 47, 67663 Kaiserslautern (anschließender Aufstellort: Gebäude 57, Raum 231). Die Anlieferung ist mit der Bedarfsstelle terminlich abzustimmen.

6 Mit dem Angebot vorzulegende Unterlagen

Der Bieter füllt die Wertungsmatrix (Anlage 1) vollständig aus. Für jede Nummer der Abschnitte 2 bis 4 sind der angebotene Wert bzw. die angebotene Ausführung sowie die Fundstelle des Nachweises (Dokument, Seite) anzugeben. Ergänzend sind vorzulegen:

- Technische Datenblätter und Produktdokumentation aller angebotenen Komponenten und Zubehörteile in deutscher oder englischer Sprache,
- Nachweis oder Herstellererklärung zu Lichtempfindlichkeit (mit Ermittlungsverfahren), Bildraten, Belichtungszeit, Speichergröße, Aufnahmedauer, Betriebstemperaturbereich, Kühlkonzept, Masse und Abmessungen,
- Beschreibung des SDK einschließlich unterstützter Programmiersprachen und etwaiger Zusatzkosten sowie Beschreibung der integrierten Analysefunktionen,
- Beschreibung der Erweiterungspfade nach Nr. 4.10 und 4.11 einschließlich der gesondert auszuweisenden Preise,
- Angaben zu Servicestandort, Reaktionszeit und Ersatzteilverfügbarkeit, verbindliche Lieferzeit, CE-Konformitätserklärung,
- Erklärung, dass die angebotenen Komponenten betriebsfertig zusammenwirken.

Nebenangebote werden nicht zugelassen. Angebote sind für das Gesamtsystem abzugeben, da die Systemverantwortung für das Zusammenwirken von Kamera, Optik und Software bei einem Auftragnehmer liegen muss.

Anlage 1: Wertungsmatrix Hochgeschwindigkeitskamarasystem