

On-Orbit Servicing

Mit dem Begriff On-Orbit Servicing (OOS) werden in der Raumfahrt verschiedene Tätigkeiten bezeichnet, die im Orbit zur Inspektion, Wartung und Nachrüstung von Raumfahrtssystemen eingesetzt werden. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Abhängigkeit verschiedenster Funktionalitäten auf der Erde von funktionierenden Satellitensystemen steigt die Bedeutung des OOS heute an. Dabei können bemannte Servicemissionen als Stand der Technik angesehen werden. Sie sind allerdings gefährlich, kostenintensiv und ihre Reichweite ist in der Praxis auf Bereiche weit unterhalb des geostationären Orbits (GEO) begrenzt. Im Fokus aktueller Forschungs- und Entwicklungsbemühungen steht daher unbemanntes und hier insbesondere autonomes (also ohne Fernsteuerung auskommendes) On-Orbit Servicing.

Während sogenannte passive Anwendungskonzepte Inspektions- und Kontrollaufgaben von Satelliten oder Raumfahrzeugen enthalten, umfassen aktive Anwendungskonzepte die Reparatur, Montage, Betankung, Nachrüstung oder Umlaufbahnanpassung dieser Raumfahrtssysteme. Das Grundprinzip des aktiven OOS besteht darin, einen Wartungssatelliten (Chaser) ausgerüstet mit robotischen Manipulatoren, die einen sogenannten Endeffektor tragen, für den Service an einem Zielobjekt/Target im Orbit einzusetzen. Um den Chaser für den Service in Arbeitsposition zu bringen, ist eine Abfolge von Flugmanövern nötig, welche als Rendezvous- und Docking-Prozess (RvD) bezeichnet werden. Die Manipulatoren werden heute so entwickelt, dass Endeffektoren ausgetauscht, mit verschiedenen Werkzeugen kombiniert und dadurch weitere Spezialaufgaben bewältigt werden können. Solche neuen Manipulatorkonzepte ermöglichen effizientere Abläufe, eine schnellere Durchführung von Einsätzen und verursachen, durch geringere Massen des Gesamtmanipulators, geringere Missionskosten. Der am Armabschluss installierte Endeffektor bestimmt die Funktion des Manipulators. Endeffektoren können beispielsweise Steckschlüssel oder Multi-Finger-Greifer sein.

Als Zielobjekte bzw. Targets können kooperative und unkooperative Raumfahrzeu-

ge unterschieden werden. Ein aktives kooperatives Zielobjekt kommuniziert Flugort und -lage via Kommunikationsverfahren selbstständig an den Chaser. Ein passives kooperatives Zielobjekt besitzt keine selbstständigen Kommunikationseinheiten, dafür jedoch optische Marker, anhand derer der Chaser die Flugsituation (Pose) des Zielobjektes analysieren kann. Die hier eingesetzten Methoden eignen sich grundsätzlich auch, um die Flugsituation unkooperativer Targets zu analysieren. Diese besitzen keine Kommunikationsverbindungen bzw. keine leicht erkennbaren optischen Marker und können aufgrund physischer Schäden außerdem veränderte bzw. nicht vorhersehbare Geometrien aufweisen. Zugleich können sie sich in einer instabilen und unkontrollierten Fluglage befinden, was eine Erfassung der Flug- bzw. Lagedaten durch den Chaser zusätzlich erschwert.

Die steigende Bedeutung des OOS ist einerseits dadurch begründet, dass bereits geringfügige Ausfälle bei Raumfahrtssystemen zu Leistungseinbußen oder sogar zu einem vollständigen Verlust der Funktionstüchtigkeit führen. Im äußersten Fall müssen diese Systeme kostenintensiv durch neue Systeme ersetzt werden. Existierende Raumfahrtssysteme verfügen zwar grundsätzlich über eine sehr hohe Zuverlässigkeit, jedoch steigt zukünftig das Risiko für Beschädigungen und damit der Bedarf für Reparaturen, insbesondere durch die zunehmende Menge an Weltraumschrott (Space Debris), weiter an. Gleichzeitig verliert eine Vielzahl dieser Systeme ihre Einsatzfähigkeit durch ihre begrenzten Treibstoffreserven. OOS soll den Austausch einzelner defekter Komponenten und die Auffüllung der Treibstoffreserven ermöglichen, um so die Einsatzdauer der Systeme zu verlängern bzw. die Notwendigkeit eines kompletten Systemaustausches zu verhindern. Darüber hinaus soll OOS die Möglichkeit bieten, Raumfahrtssysteme mit neuen Komponenten bzw. Nutzlasten nachzurüsten und dadurch eine Nutzwertsteigerung im laufenden Betrieb zu erreichen.

Andererseits sind unbemannte und autonome Servicemissionen insbesondere deshalb attraktiv, weil bemannte Missionen, trotz

erfolgreich durchgeführter Einzelmissionen, weiterhin sehr gefährlich und kostenintensiv im Vergleich zu unbemannten Missionen sind. Darüber hinaus sind bemannte Missionen in ihrer Reichweite begrenzt und für Kommunikationssatelliten im GEO (35.786 km Höhe) nicht realisierbar. Zudem ist bemanntes OOS auch aufgrund der physischen Beanspruchungen und Belastungen der Astronauten im Orbit nicht dauerhaft möglich. OOS mithilfe von Manipulatoren wird grundsätzlich schon heute durchgeführt. Die Steuerung der Systeme erfolgt dabei über Teleoperation (Fernsteuerung). Autonome Systeme hingegen befinden sich derzeit noch in der Grundlagenforschung. Hier wird insbesondere an der Beherrschung von RvD-Manövern gearbeitet, die die Basis für unbemanntes und autonomes OOS stellen. Besondere Herausforderungen gibt es dabei im Hinblick auf die Kopplung des jeweiligen Manipulators mit der spezifischen Flugbewegung und -lage des Chasers, also die kinematischen und dynamischen Interdependenzen des Systems. Daher bedarf es spezifischer Komponenten (z. B. Sensoren und Algorithmen), die solche Interdependenzen sowohl erfassen und auswerten als auch in geeignete Steuerungsbefehle umsetzen. Weitere Forschungsaktivitäten betreffen beispielsweise die Entwicklung von robotischen Manipulatoren oder orbitalen Betankungstechnologien. Die Forschungen umfassen insbesondere die Prüfung der Funktionstüchtigkeit einzelner OOS-Komponenten in Laborumgebungen, aber auch die Untersuchung der Funktionstüchtigkeit der OOS-Systeme in ihrer zukünftigen Betriebsumgebung, vorrangig dem GEO. Konkrete Demonstrationen von einzelnen Komponenten oder Funktionen erfolgten bislang lediglich an kooperativen Targets im Low-Earth-Orbit (LEO). Eine Realisierung des OOS im GEO wird grundsätzlich als realistisch eingeschätzt, da die für OOS erforderlichen Teilsystemtechnologien (z.B. in den Bereichen Satellitentechnologien, Robotik, Sensorik) bereits einen hohen technologischen Reifegrad aufweisen.

Peter Sturm