

Ferngesteuerte Unterwasserfahrzeuge (ROV)

Definition



Ein ROV (Remotely Operate Vehicle) ist ein miniaturisiertes, unbemanntes Unterseeboot, das mit verschiedenen Sensoren (Kamera, Sonar etc.) ausgerüstet ist und über ein schwimmfähiges Kabel gesteuert (und in der Regel auch angetrieben) wird. Das ROV ist üblicherweise mit einem oder mehreren menschlichen Bedienern an der Oberfläche verbunden, die sich entweder an der Küste oder auf einem Überwasserschiff oder Ponton befinden.

Anwendungsfall

Anwendungsbereich



- Visuelle Inspektion von Unterwasserobjekten
- Sonarinspektion von Unterwasserobjekten
- Unterwasser-Wartungsarbeiten

(Christ & Michel 2011)

Rahmenbedingungen



- Vor Ort sind möglichst kurze Messzeiten gewünscht oder erforderlich (zum Beispiel Wasserbauwerke mit Zugangsbeschränkungen aufgrund hochfrequenten Betriebes).
- Die Wasserströmung muss geringer sein als die Höchstgeschwindigkeit des ROVs.
- Motoren/Rotoren des ROV können je nach Art und Menge der Wasserverschmutzungen oder des Bewuchses verstopfen.
- Je nach Art der durchzuführenden Inspektion oder zerstörungsfreien Prüfung und der Umgebung (Hindernisse usw.) sollte das Wasser möglichst wenig getrübt sein, damit der menschliche Operateur die Situation über das Kamerabild überwachen kann und die Person, die die Inspektion durchführt, den Zustand des zu inspizierenden Objekts ausreichend gut erkennen kann.
- Unterwasserobjekte sollten vor der Inspektion mit Werkzeugen wie mechanischen Schabern, Bürsten und Hochdruckwasserstrahlern von Bewuchs befreit werden.

Technischer Hintergrund

Erläuterung der Funktionsweise



Das ROV wird in der Nähe des zu inspizierenden Objekts ins Wasser abgelassen. Anhand einer vorhandenen Karte oder lokaler Kenntnisse weist der Betriebsleiter dem ROV-Operator den Weg zu dem zu inspizierenden Bereich. Während der Messfahrt steuert der menschliche Operateur das ROV anhand des Kamera- und ggf. Sonarbildes, das auf die Fernsteuerung übertragen wird. Neben der visuellen Inspektion können auch sonargestützte Technologien wie bildgebende Sonare ein-

gesetzt werden. Zerstörungsfreie Prüfungen wie *Phased Array Corrosion Mapping*, Ultraschall-Dickenprüfung und Flugzeitbeugung sind ebenso möglich. ROVs haben üblicherweise keinen Ballast und verfügen über einen positiven Auftrieb mit nach oben gerichteten Triebwerken, die es ihnen ermöglichen, zu tauchen und Unterwasser zu bleiben. ROVs werden entweder durch Batterien an Bord des Fahrzeugs (z. B. Lithium-Ionen-Batterien) oder durch eine Stromquelle an der Oberfläche mit Energie versorgt. Die Energie wird im Letztgenannten Fall über ein Kabel übertragen. Die Datenverbindung ist entweder Netzwerk-basiert (*Homeplug AV* ermöglicht eine Verbindung über große Entfernungen) oder über Glasfaserkabel. Die Positionierung von ROVs kann mit einem *USBL*-Unterwasser-Positionierungssystem (Ultra-Short-Baseline) erfolgen. In der Praxis werden die ROVs jedoch zumeist manuell und visuell durch den menschlichen Bediener anhand des Kamerabildes gesteuert.

(Christ & Michel 2011, Choi et al. 2017, Yang & Xing 2021)

Mehrwert

Erreichbarkeit / Arbeitssicherheit



- ROVs können für ausgewählte Inspektionsaufgaben (z.B. visuelle Inspektion) den Einsatz von Tauchern oder das Trockenlegen des Bauwerks mit anschließender konventioneller Inspektion ersetzen. Hierdurch werden die Gefahren, die bei Tauchgängen mit menschlichen Tauchern existieren, vermieden.
- ROVs können je nach Größe und Ausprägung in Bereiche gesteuert werden, die für Taucher unzugänglich oder zu gefährlich sind bzw. in denen die Gefahrensituation nicht ausreichend abgeschätzt werden kann.

Zeitersparnis Inspektion



- Das Trockenlegen von Wasserbauwerken für eine konventionelle Inspektion ist zeitaufwendig und kostspielig und behindert oftmals den Schiffsverkehr. ROVs können daher für ausgewählte Arbeiten zu einer deutlichen Zeit- und Kostenersparnis führen.
- Der Zeitaufwand für die Einweisung und Nachbesprechung von Tauchern ist nicht erforderlich, da die Bauwerksinspektoren die Inspektion am Bildschirm „begleiten“ können.

Kosten



- Eine ROV-Inspektion kostet ca. 1500 – 4000 EUR pro Tag.

Datenqualität



- Die Qualität der Daten hängt von mehreren Faktoren ab. Im Falle der zumeist verwendeten bild- und videobasierten Datenerfassung sind dies die Wassertrübung, die am ROV adaptierte Beleuchtung, Aufnahmeentfernung und die Qualität der Sensoren (Optik, Bildauflösung).
- Die von bildgebenden Sonaren erzeugten Bilder können genutzt werden, um Gegenstände/Objekte/Hindernisse auch in stark getrüben Gewässern zu orten und je nach Anwendung und Typ auch Schäden zu erkennen.
- Die auf ROVs mitgeführten Sensoren erfassen die Daten in der Regel digital, so dass eine nachträgliche Auswertung und Analyse jederzeit möglich ist.

(Choi et al. 2017)

Voraussetzungen

Hardware



- Ein ROV mit zugehöriger Steuerungs- und Stromversorgungsausrüstung
- ROV-Sensoren, z.B. bildgebendes Sonar, RGB-Kamera
- Ggf. ein *USBL*-Ortungssystem.

Vorbereitung Untersuchungsobjekt



- Keine oder nur geringe Wasserströmung (Strömungsgeschwindigkeit sollte deutlich kleiner als die maximale Geschwindigkeit des ROVs sein)
- Möglichst geringe Wassertrübung. Vor der Inspektion sollte das Wasser nicht aufgewühlt werden
- Reinigung der zu inspizierenden Flächen von Bewuchs (z.B. Algen, Muscheln)

Vorbereitung Datenerhebung



- Bestandpläne des zu inspizierenden Objektes mit den Abmessungen, Hindernissen etc. sollten vorliegen.
- Vorüberlegungen zu der Art von Schäden bzw. zu erfassenden Daten, da hiervon die Auswahl der Sensoren abhängt.
- Prüfen, ob und wo das ROV zu Wasser gelassen werden kann und wo der ideale Standort des Bedieners sein sollte. Davonsind auch die benötigte Kabellänge sowie die Länge der Sicherungsleine abhängig.

Umweltbedingungen



- Eisfreiheit
- Nicht zu stark getrübbtes Wasser

- Der Betrieb ist (mit aktiver Beleuchtung am ROV) grundsätzlich auch in der Nacht möglich.

Erforderliche Genehmigungen



- Im Europäischen Binnenschiffahrtskodex heißt es: "Das Tauchen unter Wasser ist in Gebieten, in denen die Schifffahrt behindert werden könnte, ohne besondere Erlaubnis verboten." Der Kodex schreibt eine besondere Kennzeichnung für Schiffe vor, die Tauchgänge durchführen (siehe Artikel 3.36). Eine gelbe Boje kennzeichnet in der Regel das Gebiet, in dem Unterwasserarbeiten durchgeführt werden (UN 2022)

Umsetzung

Datenerhebung



- Kamera-Videos und Daten von bildgebenden Sonaren und anderen Sensoren/Instrumenten sollten mit Zeitstempel und ggf. Positions- und Orientierungsdaten des ROV digital aufgezeichnet werden.

Datenprozessierung



- Bildgebende Sonare verarbeiten die Daten in Echtzeit, eine zusätzliche Datenverarbeitung ist in der Regel nicht erforderlich.
- Die Kamera- bzw. Videoinspektion erfordert ebenfalls keine spezielle Datenverarbeitung. Im Postprocessing können die Bilddaten mit Hilfe von Bildoperationen (z.B. Filter) und Bildanalysen (Objektdetektion) weiterverarbeitet werden, um bspw. Schäden teilautomatisiert zu erkennen. Ebenso können 3D-Punktwolken aus den Videosequenzen im Postprozess erstellt werden.

Kompatibilität mit anderen innovativen Methoden



- ROVs können grundsätzlich mit anderen Inspektionsmethoden kombiniert werden z.B. mit Fächerecholoten und sedimentechographischer Vermessung (*sub-bottom profilers*). Sinnvoll erscheint vor allem der komplementäre Einsatz, z.B. in Bereichen, in denen eine Trockenlegung nicht möglich oder die Begehung durch einen Taucher zu gefährlich ist. Auf ROVs kann eine Vielzahl von Instrumenten montiert werden, darunter Wechselstromfeldmessung, Computertomografie, Ultraschall-Dickensensoren und *Phased Array Corrosion Mapping*.

Output

Informationen



- Dies hängt von den Sensoren an Bord des ROV ab und kann Folgendes umfassen:
- Videosequenzen
- Hochauflösende RGB-Bilder
- Sonarbilder
- 3D-Punktwolken (Postprocessing)
- Erscheinungsbild von Objekten, wenn sie visuell zu erkennen und frei von Bewuchs sind
- Erkennung und Größenbestimmung von Oberflächenrissen auf Metalloberflächen (Wechselstromfeldmessung)
- Hochauflösende tomografische Bilder von Rohrleitungsinhalt und Wanddicke (für Computertomografie)
- Dicke von Metallteilen (für Ultraschall-Dickensensoren und *Phased Array Corrosion Mapping*.)

(Shi et al. 2017)

Dateiformate



- Verschiedene gängige Video- und Bilddateiformate

Referenzen

Beispielanbieter



- <https://www.rovco.com/industries/civils-inshore/>
- <https://www.geooceans.com/>

Beispielanwendungen



- https://www.researchgate.net/publication/315321632_Inspection-Class_Remotely_Operated_Vehicles-A_Review

Quellen



- Shi, P.; Fan, X.; Ni, J.; Khan, Z.; Li, M. (2017): A novel underwater dam crack detection and classification approach based on sonar images. PLoS ONE 12(6): e0179627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179627><https://www.gep.com/blog/mind/mini-rovs-are-making-underwater-inspections-cost-effective>
- UN (2022): United Nations Economic Commission for Europe - CEVNI European Code for Inland Waterways. DOI 9789210058650, URL: https://unece.org/DAM/trans/doc/finaldocs/sc3/ECE-TRANS-SC3-115-Rev.5e_WEB.pdf
- Yang, X. and Xing, Y. (2021): Tuning for robust and optimal dynamic positioning control in BlueROV2. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1201 012015
- Choi et al. (2017): Development of a ROV for visual inspection of harbor structures. 2017 IEEE Underwater Technology (UT), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/UT.2017.7890285.

- Christ, B.; Michel, D. (2011): The Inspection and Light Work Class ROV Explosion. ON&T, Volume 17, Issue 1, Jan./Feb. 2011, <http://digital.oceannews.com/publication/?m=9767&i=60148&p=62&ver=html5>
- Netzwerk Mini ROVs (2022): Homepage, <https://www.mini-rov.de/de>, zuletzt besucht:09/22

Glossar:

ROV:	Ein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug (Tauchroboter), in der Fachliteratur auch als ROUV (Remotely Operated Underwater Vehicle) oder kurz als ROV bezeichnet, ist ein kabelgeführtes Tauchboot für unterschiedliche Anwendungen in Wissenschaft, Industrie und beim Militär.
HomePlug AV:	HomePlug AV ist eine eingeführte Spezifikation für ein Computernetzwerk via Stromleitung (Trägerfrequenzanlage), also so genannte Powerline Communication. Dabei ist eine Datenübertragungsrate von bis zu 200 Mbit/s möglich. Es ist die Nachfolgerspezifikation zu HomePlug.
USBL:	Ultra Short Baseline (USBL) ist ein Unterwasserpositionierungssystem, das auf der Messung von Laufzeiten von Wasserschallimpulsen zwischen dem Objekt und mehreren Bezugspunkten basiert. USBL-Systeme werden benutzt, um die Position von Objekten oder Geräten unter Wasser zu bestimmen.
PACM	Phased Array Corrosion Mapping (PACM) ist eine zerstörungsfreie Inspektionstechnik zur Materialstärkemessung auf Grundlage von Ultraschall. Es können Unterschiede in der Materialstärke aufgrund von Korrosion detektiert und grafisch dargestellt werden.
UTM	Ultrasonic Thickness Measurement (UTM) ist eine zerstörungsfreie Methode, um die Materialstärke von Schiffshüllen, Metallröhren und Baustahl zu bestimmen. UTM wird in der Industrie zur Überwachung von Korrosion, Erosion und Schäden eingesetzt.
TOFD	Das TOFD-Verfahren (Time of Flight Diffraction) ist ein Ultraschall-Prüfverfahren, welches vor allem bei der Prüfung von Schweißnähten eingesetzt wird. Während üblicherweise Fehlstellen im Material durch die Analyse von reflektierten Signalen aufgespürt werden, nutzt TOFD vor allem die Beugungssignale, die von Ungängen herrühren.
Sub-Bottom Profiler:	Sub-Bottom Profiler sind eine besondere Art von Einstrahlecholoten, die mit sehr niedrigen Frequenzen arbeiten und es ermöglichen, die oberen Schichten des Meeresbodens zu durchdringen und abzutasten.