

## Anwendungsbeispiel: Qualitätskontrolle

### Einsatz mobiler optischer Koordinatenmesstechnik beim Aufbau von Offshore-Windenergieanlagen

Messsysteme: TRITOP<sup>CMM</sup>

Keywords: Inspektion von Anschluss- und Montageflächen, Offshore-Windkraftanlagen, großformatige CMM Messung, Turbinen, Qualitätskontrolle

Windenergieanlagen werden für den Offshore-Aufbau wegen ihrer Größe in Einzelteilen zum Zielort transportiert. Aufgrund verschiedener Produktionsstandorte treffen die einzelnen Bauelemente mitunter erst bei der Montage auf hoher See das erste Mal aufeinander. Eine Kontrolle der Montageflächen von Turm und Fundament muss daher im Vorfeld räumlich und zeitlich unabhängig voneinander durchgeführt werden.

Um einen reibungslosen Aufbau der Offshore-Windenergieanlagen zu gewährleisten, wird das optische TRITOP<sup>CMM</sup> Messsystem zur Überprüfung der Montageflächen und Befestigungsbolzen eingesetzt.



**GOM mbH**  
Mittelweg 7-8  
38106 Braunschweig  
Deutschland  
Phone +49 531 390 29 0  
Fax +49 531 390 29 15  
[info@gom.com](mailto:info@gom.com)

**GOM International AG**  
Bremgartnerstrasse 89B  
8967 Widen  
Schweiz  
Phone +41 5 66 31 04 04  
Fax +41 5 66 31 04 07  
[international@gom.com](mailto:international@gom.com)

**GOM France SAS**  
10 Quai de la Borde - Bât A2  
91130 Ris Orangis  
Frankreich  
Phone +33 1 60 47 90 50  
Fax +33 1 69 06 63 60  
[info-france@gom.com](mailto:info-france@gom.com)

**GOM UK Ltd**  
Business Innovation Centre  
Coventry, CV3 2TX  
Großbritannien  
Phone +44 2476 430 230  
Fax +44 2476 430 001  
[info-uk@gom.com](mailto:info-uk@gom.com)

**GOM Branch Benelux**  
Interleuvenlaan 15 E  
3001 Leuven  
Belgien  
Phone +32 16 408 034  
Fax +32 16 408 734  
[info-benelux@gom.com](mailto:info-benelux@gom.com)

## Qualitätskontrolle

### Einsatz mobiler optischer Koordinatenmesstechnik beim Aufbau von Offshore-Windenergieanlagen

#### Optisches 3D-Koordinatenmesssystem

TRITOP<sup>CMM</sup> ist ein transportables optisches Messsystem, welches die 3D-Koordinaten markierter Objektpunkte präzise bestimmt (Abb. 1). Die zu messenden Stellen auf dem Objekt werden vor dem Messvorgang mit selbstklebenden oder magnetischen Messmarken gekennzeichnet (Abb. 2).



Abb. 1: TRITOP<sup>CMM</sup> Messsystem, Photogrammetriekamera mit Zubehör



Abb. 2: TRITOP<sup>CMM</sup> Verbrauchsmaterial, selbstklebende und magnetische Messmarken

Mit der TRITOP<sup>CMM</sup>-Photogrammetriekamera wird das Messobjekt aus verschiedenen Richtungen aufgenommen. Anhand der aufgenommenen Bilder werden umgehend im Rechner über den Bündelausgleich aller aufgenommenen 2D-Bilder die 3D-Koordinaten für die Messmarken automatisch berechnet (Abb. 3, 4).

Dabei gewährleisten zwei zertifizierte Maßstäbe die Genauigkeit und Prozesssicherheit der durchgeführten Messung.

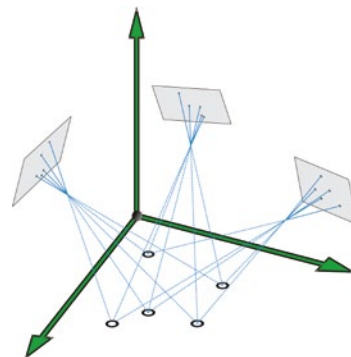


Abb. 3: Darstellung Bündelausgleich von drei Kamerapositionen

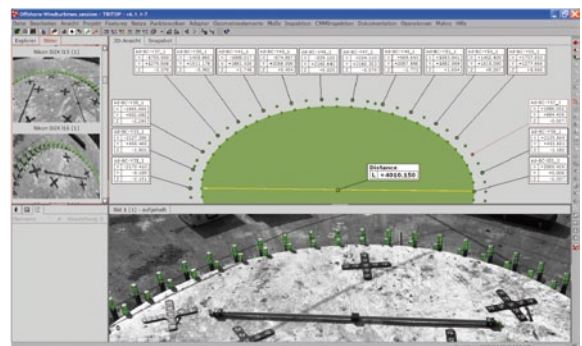


Abb. 4: Aus dem 2D-Bildverband gemessene 3D-Koordinaten in der TRITOP<sup>CMM</sup> Software

Geometrielemente wie z.B. Zylinder, Bohrungen, Kugeln, Randkanten, etc. können mit entsprechenden Adaptern vermessen werden (Abb. 5, 6, 7). Für spezielle Anforderungen kann der Anwender benutzerdefinierte Adapter auch selber herstellen.

Kamerakoffer, Laptop sowie Maßstabskoffer können problemlos von einer Person transportiert werden. Für den Messvorgang ist ebenfalls nur eine Person erforderlich. Eine externe Stromversorgung ist dabei weder für die Messung noch für die anschließende Auswertung nötig.



Abb. 5: GOM Adapter zur Messung von Geometrie-elementen



Abb. 6: TRITOP<sup>CMM</sup> Zylinder-Adapter

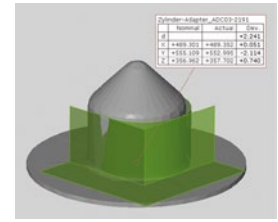


Abb. 7: Mit GOM Adapter gemessenes Geometrie-element (Zylinder)

### Inspektion von Montagebolzen auf Offshore-Fundamenten

Für den Aufbau von Offshore-Windenergieanlagen werden an Land spezielle Betonfundamente gefertigt. Diese haben eine Höhe von über 20 Metern und einen Durchmesser von etwa 10 Metern auf der oberen Plattform. Nach Fertigstellung werden die Fundamente mit einem Schiff zur Zielposition geschleppt und dort im Meeresboden verankert, so dass die Plattformoberkante etwa 2-4 Meter aus dem Wasser ragt (Abb. 8). Der Turm wird aufgrund der Höhe von Windenergieanlagen aus mehreren Teilen gefertigt. Auch diese Teile werden mit Schiffen zum Zielort transportiert und vor Ort auf dem Meer mit einem speziellen Schwimmkran für große Lasten zu einem Turm aufgebaut. Für die Montage des untersten Turmsegmentes sind 120 Stahlbolzen in das Betonfundament eingelassen. Diese Montagebolzen sind in zwei Kreisen mit ca. 4 Meter Durchmesser angeordnet (Abb. 9).

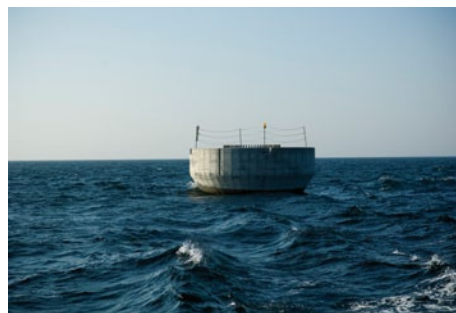


Abb. 8: Offshore verankertes Betonfundament



Abb. 9: Anordnung der Montagebolzen im Betonfundament und Messvorbereitung

Da Fundamente und Turmelemente an verschiedenen Orten gefertigt werden, ist ein Testaufbau an Land nicht möglich. Passt die Position der Montagebolzen im Fundament nicht zu dem Lochbild im untersten Turmsegment, müssen vor Ort zeitintensive Anpassungen vorgenommen werden. Eventuell ist eine Montage auf hoher See auch gar nicht möglich. Durch den Einsatz des sehr teuren Schwimmkrans können hierbei extreme Zusatzkosten und große zeitliche Verzögerungen entstehen.

Zur Vermeidung dieses Problems müssen die Positionen der Montagebolzen auf dem Betonfundament überprüft werden, die geforderte Genauigkeit beträgt hier 1/10 Millimeter. Mit dem TRITOP<sup>CMM</sup> Messsystem ist dies sowohl direkt nach der Fertigung des Fundamentes an Land als auch nach der Verankerung auf hoher See möglich (Abb. 10).



Abb. 10: Messung und Inspektion von 120 Montagebolzen mit dem TRITOP<sup>CMM</sup> System auf hoher See

Dabei stellen auch die kritischen Rahmenbedingungen wie z.B. der eingeschränkte Raum und Messabstand auf den Betonfundamenten, der kräftige Wind oder die fehlende Stromversorgung kein Hindernis für die Messung mit dem mobilen und kompakten TRITOP<sup>CMM</sup> System dar. Fehlerhaft positionierte oder schräg stehende Montagebolzen auf den Fundamenten können dadurch schnell, eindeutig und mit der geforderten Genauigkeit identifiziert werden. Somit ist bereits vor der Montage die Möglichkeit gegeben, eventuelle Probleme zu beheben.

### **Messablauf**

Für die Messung wird der Messbereich auf dem Fundament mit Messmarken und Maßstäben ausgestattet. Zur Erfassung der über 120 Bolzen werden Adapter benutzt, die speziell für diese Anwendung aus einfachen Winkelprofilen hergestellt wurden (Abb. 11).

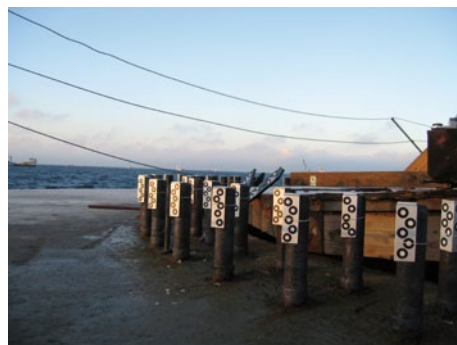


Abb. 11: Benutzerdefinierte TRITOP<sup>CMM</sup> Adapter zur Vermessung der Montagebolzen

Anschließend wird der Messbereich mit mehreren überlappenden Aufnahmen aus verschiedenen Richtungen aufgenommen (Abb. 12). Noch während des Messvorganges werden die Bilder automatisch auf den Laptop übertragen. Sofort nach der Bildübertragung erfolgt die Berechnung der 3D-Koordinaten aller 120 Montagebolzen anhand des eindeutigen Punktmusters auf den Adaptern innerhalb weniger Minuten. Durch die Auswertung noch vor Ort kann die Messung auf Vollständigkeit geprüft werden (Abb. 13).



Abb. 12: Messdatenerfassung mit der TRITOP<sup>CMM</sup> Photogrammetriekamera

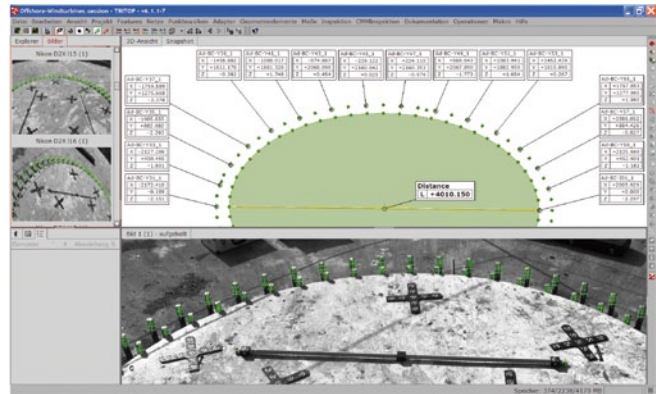


Abb. 13: Messbericht der gemessenen Positionen der Montagebolzen in der TRITOP<sup>CMM</sup> Software

Je nach Definition der Adapter können z.B. einzelne Punkte oder die Achse der Montagebolzen berechnet werden, so dass die Position oder auch die Ausrichtung jedes einzelnen Montagebolzens bestimmt werden kann. Die TRITOP<sup>CMM</sup> Software ermöglicht auch die Erstellung von Messberichten und den Export der Messdaten in Tabellen (Abb. 14, 15).

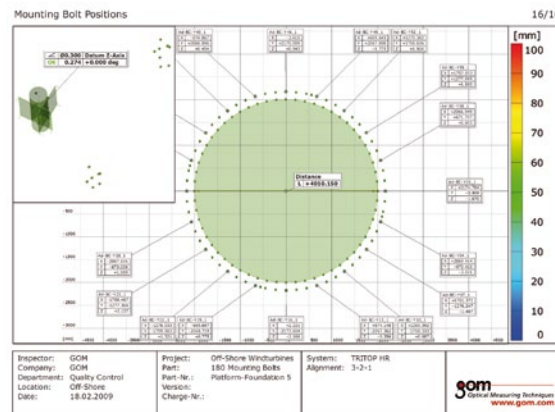


Abb. 14: TRITOP<sup>CMM</sup> Messbericht mit Positionen der Montagebolzen und Form/Lage-Detail (Geometric Dimensioning and Tolerancing, GD&T)

Name	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Ad-BC-001_1	+2008.929	+9.000	-2.297
Ad-BC-002_1	+1993.970	-289.878	-6.684
Ad-BC-003_1	+1961.179	-431.037	-7.424
Ad-BC-004_1	+1906.110	-627.187	-6.687
Ad-BC-005_1	+1836.827	-824.120	-1.152
Ad-BC-006_1	+1737.600	-1065.710	+0.075
Ad-BC-007_1	+1624.200	-1319.930	+0.380
Ad-BC-008_1	+1491.101	-1519.080	+0.413
Ad-BC-009_1	+1343.719	-1647.540	+1.710
Ad-BC-010_1	+1188.436	-1819.497	-0.264
Ad-BC-011_1	+1004.699	-1734.421	+0.899
Ad-BC-012_1	+1818.020	-1839.620	+0.430
Ad-BC-013_1	+1622.646	-1968.762	-0.312
Ad-BC-014_1	+1418.056	-1968.382	-0.489
Ad-BC-015_1	+1212.024	-1962.318	-2.805
Ad-BC-016_1	+1766.200	-1801.418	-1.370
Ad-BC-017_1	+207.376	-1991.960	-1.213
Ad-BC-018_1	-16.512	-1960.480	-0.778
Ad-BC-019_1	-617.707	-1966.061	+2.004
Ad-BC-020_1	-813.245	-1831.734	+1.714
Ad-BC-021_1	-999.762	-1736.172	+1.141
Ad-BC-022_1	-1176.120	-1621.190	-1.871
Ad-BC-023_1	-1379.699	-1462.240	+1.480
Ad-BC-024_1	-1488.211	-1341.097	+1.721
Ad-BC-025_1	-1620.139	-1178.001	+1.081

Abb. 15: Tabellenexport eines Reports (Excel, HTML)



Die Vorbereitung der TRITOP<sup>CMM</sup> Messung dauert weniger als 30 Minuten, für die Messung selbst werden etwa 10 Minuten benötigt. Somit kann, inklusive dem Übersetzen per Schiff zum nächsten Standort, für jedes Fundament etwa eine Stunde einkalkuliert werden.

### **Fazit**

Das leicht transportable optische TRITOP<sup>CMM</sup> Messsystem ermöglicht die präzise Vermessung und Kontrolle von Montagebolzen und –flächen mittels CMM-Inspektion. Dadurch können mögliche Probleme durch falsch positionierte oder schräg stehende Montagebolzen bereits vor dem Aufbau identifiziert und behoben werden.

Aufgrund des einfachen Messablaufes kann die Vermessung von über 120 Montagebolzen durch eine einzelne Person erfolgen. Die Messdatenauswertung direkt vor Ort garantiert, dass alle Merkmale erfasst wurden.

Durch die Kontrolle von Montageflächen mittels optischer Messtechnik kann somit ein reibungsloser Aufbau von Offshore-Windenergieanlagen ohne die Gefahr hoher Zusatzkosten und zeitlichen Mehraufwand gewährleistet werden.

Wir danken der Firma Zebicon, Dänemark und ITA, Polen für das Vertrauen in unsere Messtechnik und die professionelle Durchführung dieses Projektes.