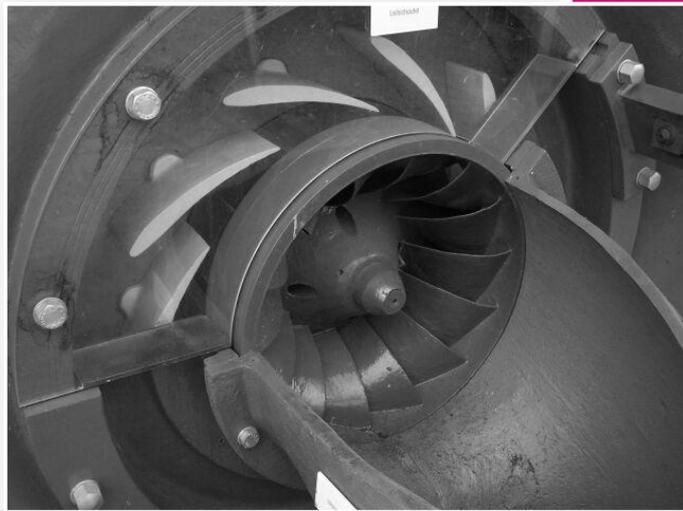
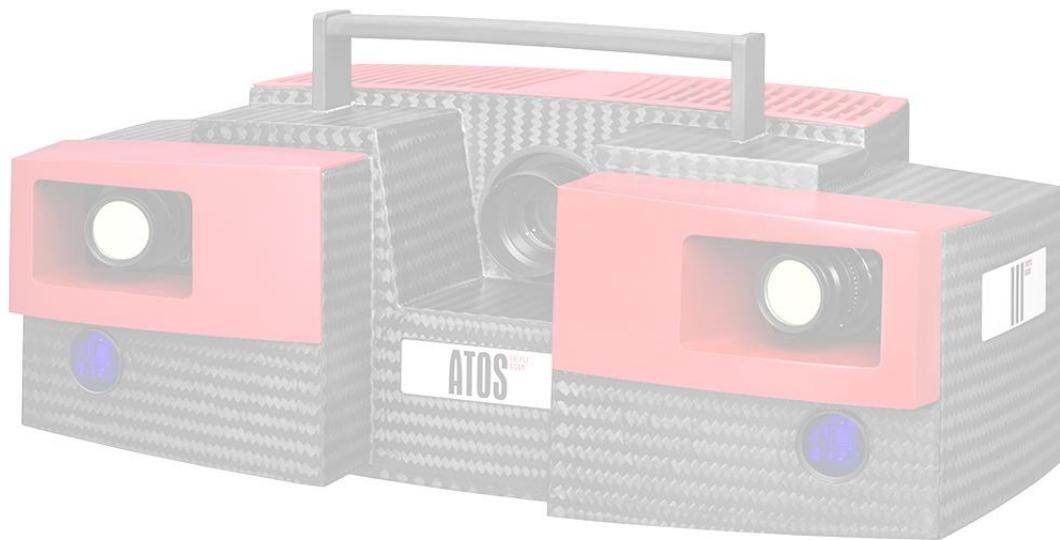


Optische Messtechnik im Turbinenbereich



Das optische 3D-Digitalisiersystem ATOS erlaubt die genaue und detaillierte Erfassung der Form komplexer Objekte. Zusammen mit dem Photogrammetriesystem TRITOP können auch über zehn Meter große Objekte und, bei Verwendung größerer Referenzpunkte, sogar noch deutlich größere Messobjekte genau digitalisiert werden. Beide Messsysteme lassen sich leicht transportieren, sodass das 3D-digitalisieren an Ort und Stelle (z.B. in Fabriken, Werkstätten etc.) erfolgen kann und das Messobjekt nicht in ein Messlabor transportiert werden muss.



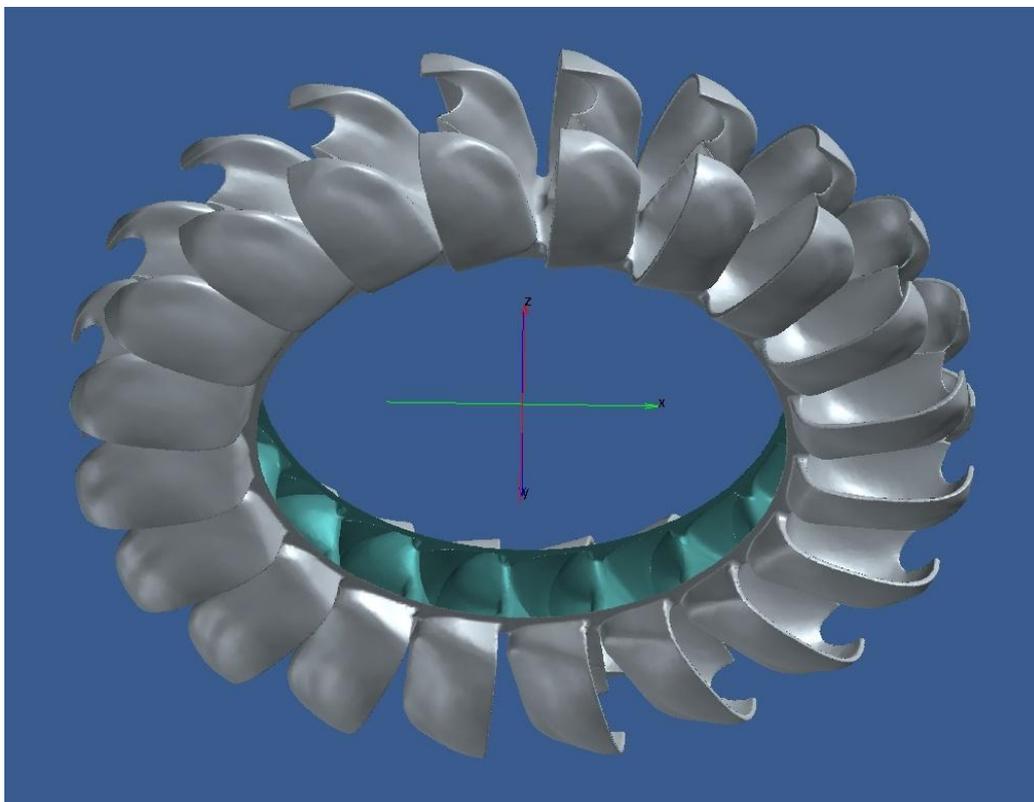
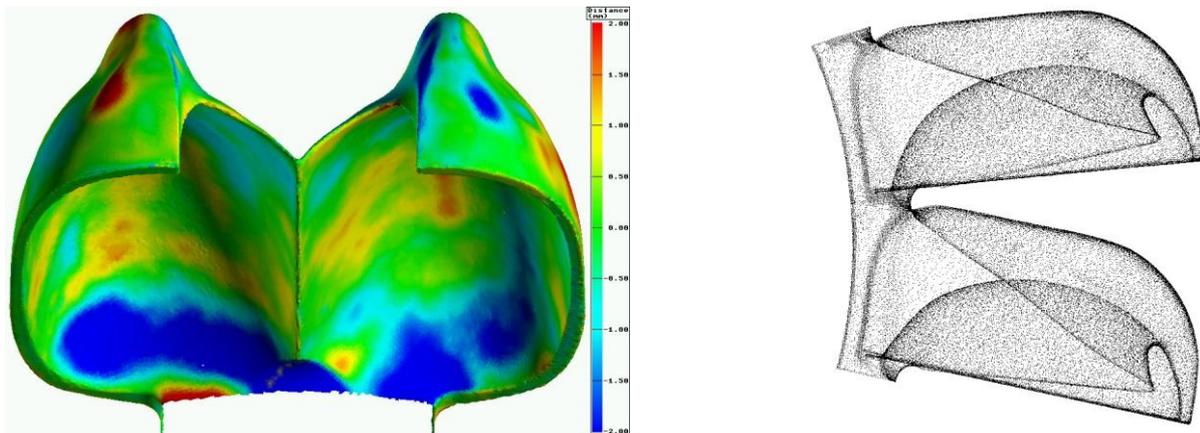
3D-Erfassung des Rotors einer Peltonturbine

Peltonturbinen werden in Wasserkraftwerken mit hohem Wasserdruck und geringer Wassermenge eingesetzt. Diese Wasserturbinen laufen mit hoher Geschwindigkeit, weshalb die Rotorgeometrie und ein gleichmäßiger Lauf von großer Bedeutung sind.

Das Erfassen des Rotors für die 3D-Messung beginnt mit photogrammetrischen Aufnahmen (TRITOP) mit einer professionellen Digitalkamera. Die TRITOP Software verarbeitet dann diese Bilder und berechnet daraus die exakte Position der auf den Rotor und die Schaufeln aufgeklebten Referenzpunkte.

Das ATOS-System projiziert ein dichtes Streifenmuster auf die Oberfläche der Schaufeln und erfasst die sichtbare Ansicht mit Hilfe von zwei kalibrierten und in Stereoanordnung montierten Digitalkameras. Dabei werden auch die im Messbereich sichtbaren Referenzmarken exakt vermessen. Basierend auf den erfassten Referenzmarken werden die Scandaten automatisch in das Netz der vordefinierten Referenzpunkte (Objektkoordinatensystem) eingeschwenkt. Jeder Scanvorgang dauert etwa wenige Sekunden und erzeugt, je nach ATOS System bis zu vier Millionen 3D-Messpunkte. Dadurch kann die

Form des gescannten Schaufelsegments sehr präzise bestimmt werden. Der Scanvorgang wird so oft wiederholt, bis die Turbinenschaufeln von allen Seiten erfasst sind. Das gemeinsame Koordinatensystem der einzelnen Scans wird durch die TRITOP Messung definiert, kann aber jederzeit den aktuellen Anforderungen angepasst werden.



Mit einem derart detaillierten 3D-Modell lassen sich kleinste Abweichungen von der idealen Rotorgeometrie feststellen. Die gescannten Daten der Turbinenschaufeln lassen sich mit dem CAD-Modell (falls vorhanden), den Daten anderer Schaufeln oder den gespiegelten Daten der gleichen Schaufel (zur Symmetriekontrolle) vergleichen.

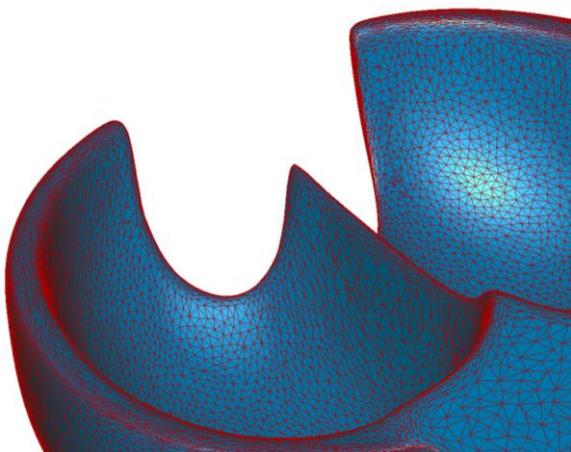
Die Formabweichungen werden mit verschiedenen Farben dargestellt, die der Skala am rechten Bildrand entsprechen. Die Bereiche, in denen die Form der Turbinenschaufeln bis zu 2 mm abweicht, sind deutlich sichtbar (rot und blau).

Das Ergebnis lässt sich auch mit weniger Messpunkten (ausgedünnter Datensatz) oder als Schnittdaten darstellen und exportieren, sodass die Messdaten je nach Aufgabenstellung auch in wenig leistungsfähige CAD-Systeme eingelesen werden können.

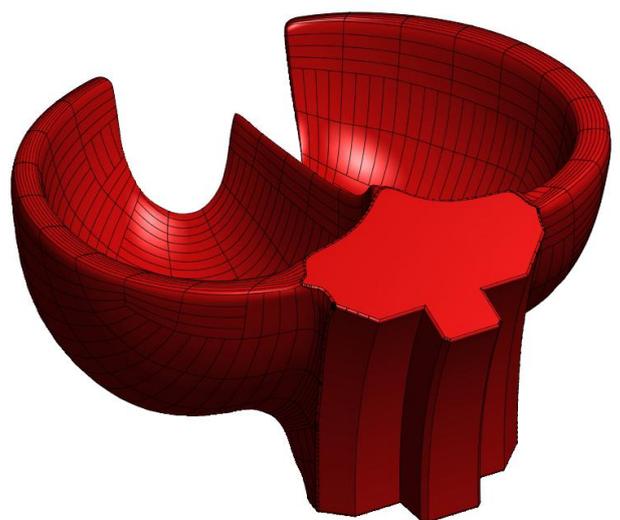
Flächenrückführung von Peltonbechern:

Ausgehend von der vollständig erfassten Bechergeometrie, besteht die Möglichkeit hochgenaue CAD-Daten zu erstellen. Man spricht hierbei vom Reverse Engineering d.h. vom Erstellen einer digitalen Kopie eines bestehenden Modells.

Dazu werde die STL-Daten vom opt. Messgerät in eine spezielle Auswertesoftware übertragen und CAD-Daten erstellt. Dieser Vorgang kann zu einem gewissen Teil automatisch durchgeführt werden. Teilweise muss noch manuell nachkorrigiert werden. Das Ergebnis ist ein vollständig „wasserdichtes“ Modell, das in beliebigen CAD-Systemen weiter verwendbar ist.



STL-Daten

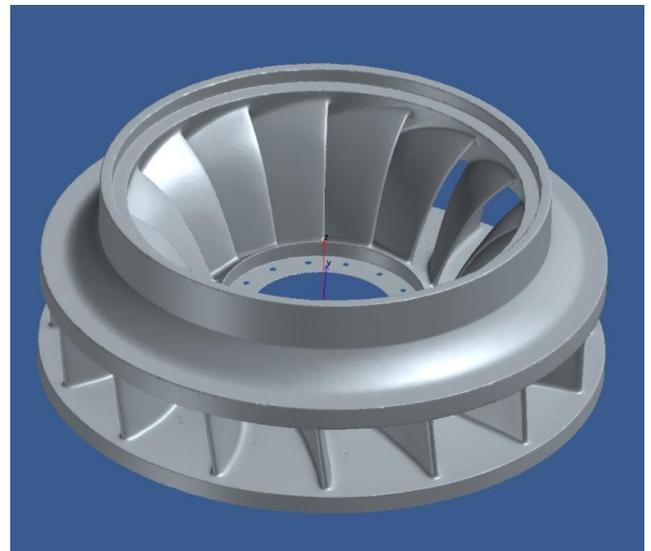


CAD-Modell

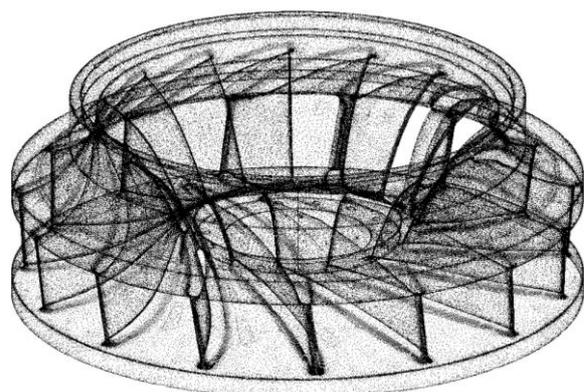
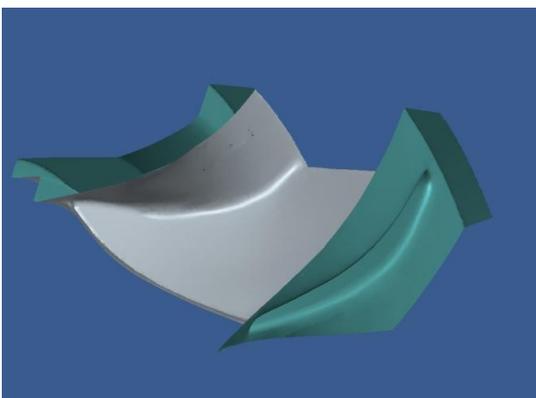
3D-Erfassung des Rotors einer Francisturbine

Francisturbinen sind in Wasserkraftwerken weit verbreitet. Sie werden für mittleren Wasserdruck (Fallhöhe) und Wassermengen eingesetzt und zeichnen sich durch ihre große Effizienz in verschiedenen Betriebszuständen aus.

Die Schaufeln der Francisturbine sind stark gekrümmt und recht dicht eingebaut. Sie werden am Ende des Produktionsprozesses manuell geschliffen und poliert. Die Wasserzufuhrkanäle sind nur sehr schwer zugänglich. Deshalb sind diese Turbinen aufwändig und teuer in der Herstellung und es ist sehr schwierig und zeitraubend, die Form der Schaufeln mit klassischen Messmethoden zu erfassen und zu bewerten. Der Rotor der Francisturbine wurde mit ATOS und TRITOP in der gleichen Weise dreidimensional erfasst wie bei der Peltonturbine. Das Ergebnis ist ein gescanntes 3D-Modell mit Millionen von Messpunkten.



Wo herkömmliche Messverfahren wegen Unzugänglichkeit nur schwer eingesetzt werden können, kann mit ATOS die komplette Oberfläche der Schaufeln effizient und genau dreidimensional vermessen werden, wie in den Abbildungen dargestellt.

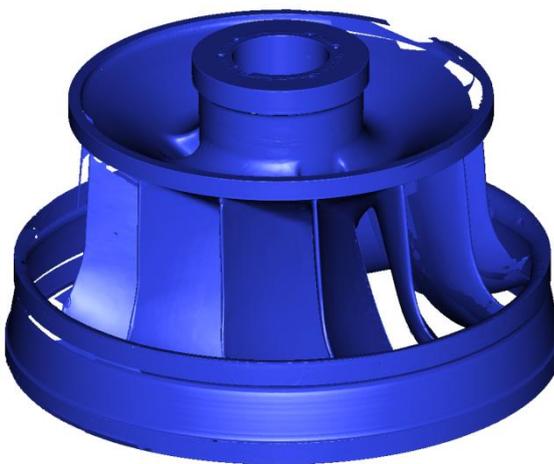


Durch das 3D-Scannen können z.B. die Form des Rotors kontrolliert, die für eine Rekonstruktion der Turbine notwendigen Abmessungen bewertet, ein Ersatzrotor oder kleinere Kopien für Testzwecke gefertigt, ein CAD-Modell erstellt werden und vieles mehr.

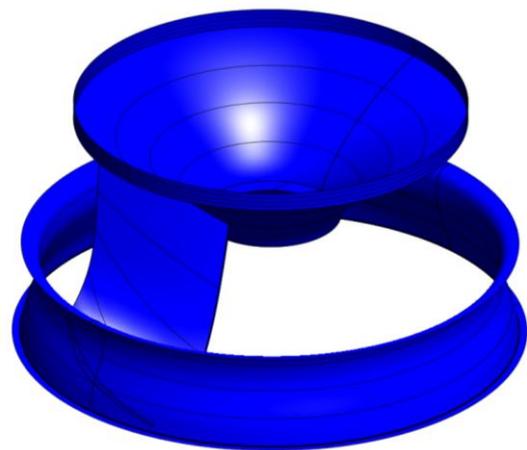
Falls erforderlich, lässt sich die Form auch mit reduzierter Punktezahl darstellen.

Flächenrückführung von Francis-Turbinen

Auch wie bei den Pelton-Laufrädern besteht bei den Francisturbinen die Möglichkeit CAD-Daten ausgehend von erzeugten STL-Daten zu erstellen. Die Standard-Vorgehensweise sieht vor, dass von einer Schaufel CAD-Daten über den Reverse Engineering Prozess erstellt werden und danach diese eine Schaufel über die „Mustern“ Anordnung, rotationssymmetrisch, kopiert wird. Dadurch können optimale Ergebnisse erzielt werden.



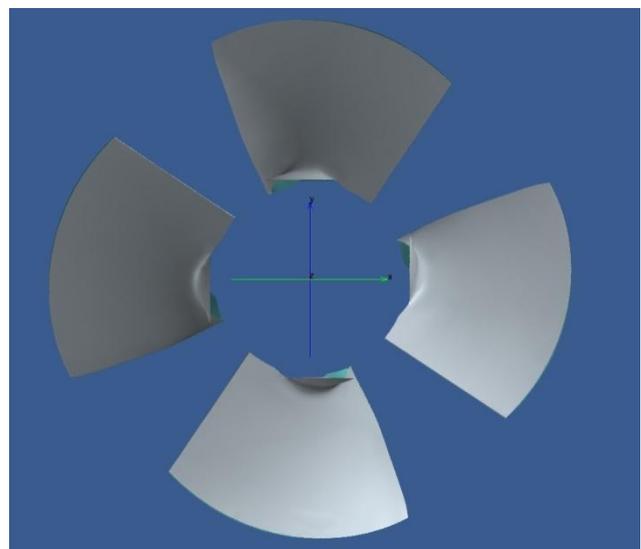
STL-Daten



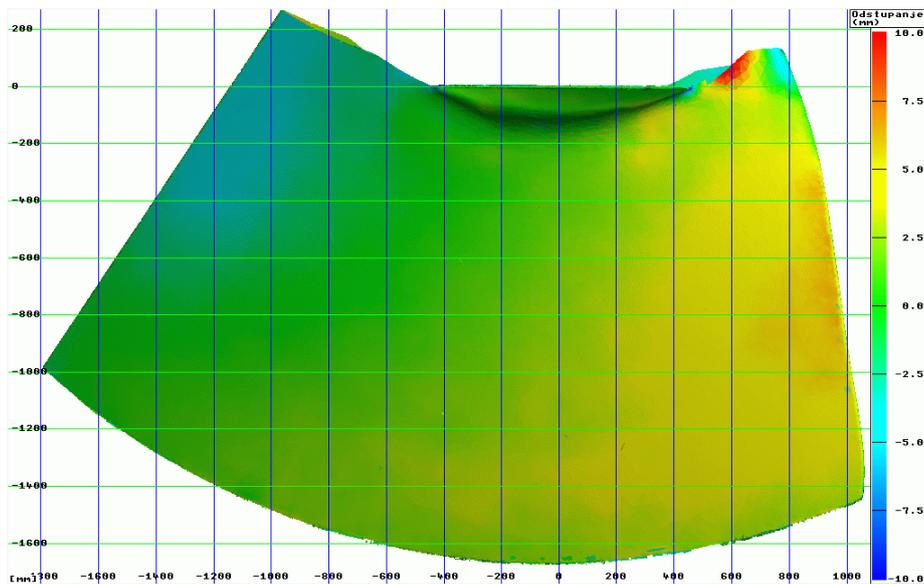
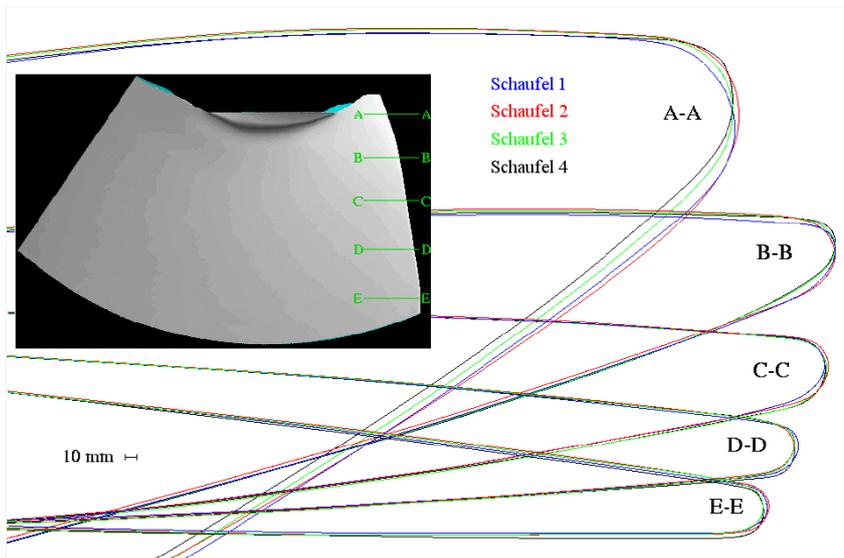
CAD-Modell (vor Rotation der Schaufel)

Prüfung der Geometrie einer Kaplan-Rohrturbine

Zwei Kaplan-Rohrturbinen im Wasserkraftwerk Dubrava am Fluss Drava erzeugten im Betrieb schädliche zyklische Vibrationen. Diese Vibrationen sind besonders im Generator A1 zu spüren, während der Generator A2 deutlich ruhiger läuft. Um diesen Zustand zu verstehen und wenn möglich zu beheben, wird die Form und Position der Schaufeln beider Räder erfasst und bewertet. Dazu ist es erforderlich, den genauen Abstand zu Nachbarschaufeln (die Winkellage), die Formtoleranz der Schaufeln sowie die Ausrichtung der Schaufel zur Nabe des Turbinenrotors zu bestimmen. Mit den GOM-Systemen ATOS und TRITOP wurde ein detailliertes 3D-Scannen der Schaufeln beider Rotoren in unterschiedlichen Positionen und Drehwinkeln durchgeführt.



Die 3D-Scanergebnisse ermöglichen einen detaillierten Vergleich der Schaufelformen. Die Abbildung zeigt den Querschnitt der Vorderkante der vier Schaufeln des Rotors A1. Eine beträchtliche Abweichung ist besonders im Bereich A-A, an der Radnabe, zu erkennen. Durch Drehen des Rotors war es möglich, alle Schaufeln in derselben Position zu scannen und die Unregelmäßigkeiten der Montage der Schaufeln am Schaft zu bestimmen.



Trotz der schwierigen Messbedingungen im Flusskanal der Turbine betrug die Zuverlässigkeit der Positionsbewertung ca. 0,1 mm und die der Winkelbewertung 0,01°. Diese Werte wurden durch punktuelle Vergleichsmessungen mit konventionellen Messsystemen und mehrmaliges Scannen einer Schaufel verifiziert.