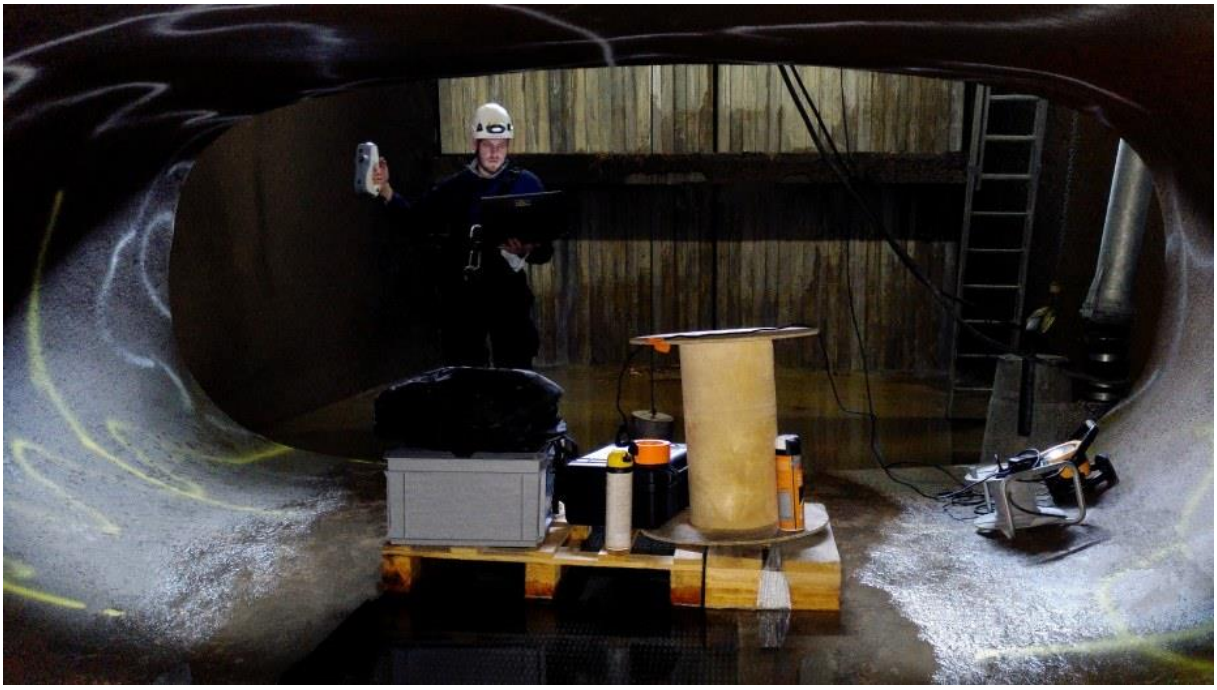
Instandsetzung eines 87 Jahre alten Wasserkraftwerks mit Hilfe des Artec Eva 3D-Scanners



Erfassung eines hydroelektrischen Zugrohrs mit dem Artec Eva 3D-Scanner

Eingesetzte additive Fertigungslösungen:	Artec Eva 3D-Scanner, Artec Studio Software, SOLIDWORKS Software
Problem:	Für zwei massive Wasserkraftwerke müssen physikalische Messungen erstellt und umfassend dokumentiert werden. Dies bildet die Grundlage des zeitlich begrenzten Projekts zur Instandsetzung eines alten Kraftwerks mit zwei neuen Turbinen. Bereits bei geringen Abweichungen kann der Auftraggeber wegen der Nichteinhaltung von Projektvorgaben betraft werden und die fehlerhafte Konstruktion kann zu Unfällen führen.
Resultat:	Die beiden Rohre konnten mit dem Artec Eva 3D-Scanner in nur fünf Stunden gescannt werden, wodurch der ambitionierte Zeitplan des Projekts eingehalten werden konnte. Die 3D-Scans dienten als Grundlage für die Erstellung millimetergenauer CAD-Modelle. Mit diesen war es dem Turbinenproduzent möglich, die neuen Turbinen ideal zu konstruieren und zu fertigen.

Der Ingenieur Damien Delmont setzte den Artec Eva 3D-Scanner zur Erfassung von den Anlagen in einem Wasserkraftwerk in Frankreich ein. Dafür begab er sich mit dem tragbaren 3D-Scanner in das Innere eines langen Betonzugrohres. Dort befand sich in vier Metern Höhe die unbewegliche Turbine. Zusammen mit dem Projektpartner Guillaume Demarche scannte Delmont das komplette massive Saugrohr quadratmillimetergenau bis oben hin zur Turbine in nur wenigen Stunden. Um das Rohr vollständig bis hin zur Turbine in vier Metern Höhe zu erfassen, stieg das Team auf ein Gerüst. Das Team stand unter außerordentlichem Zeitdruck, da das Kraftwerk durch den notwendigen Stillstand der Turbine Verluste einbüßen muss. Pro Stunde verliert das Kraftwerk durch den Stillstand der Turbine über 10 Megawatt Strom, womit circa 5.000 Haushalte versorgt werden könnten. Des Weiteren stand das Kraftwerk zum Zeitpunkt des 3D-Scanningprojekts kurz vor der Evakuierung, weil der angrenzende Fluss zur Hochwassergrenze gestiegen ist. Dies war ein zusätzlicher Faktor, der das Projekt erschwerte.

Instandsetzung benötigt nach 87 Jahren Betrieb

Das Wasserkraftwerk wurde im Jahr 1934 von Ingenieuren aus Deutschland erbaut und gehörte zu einen der Reparationsleistungen, die Deutschland nach dem Ersten Weltkrieg leisten musste. Seitdem ist das Wasserkraftwerk in Betrieb. Für die Ersetzung von zwei der vier Francis-Turbinen wurde ein Bauunternehmer beauftragt. Beim Angehen der Ersetzung der ersten Turbine wurde dem Projektteam die Schwierigkeit der Aufgabe klar.

Überprüfung des Wasserstandes abseits des Wasserkraftwerks

Für das Entwerfen von ideal funktionierenden Komponenten für die Anlage waren sehr exakte Messungen der großen, unregelmäßig geformten Saugrohre notwendig. Diese Saugrohre funktionieren wie Abgasrohre, die das Wasser aus der Turbine wieder zurück in den Fluss leitet. Wenn die Messungen der Rohre nicht genau genug sind, könnten die daraus gefertigten Turbinen selbst im besten Szenario nicht die erforderliche elektrische Leistung erzielen, wodurch die Leistungsstandards des Wasserkraftwerks nicht erfüllt werden könnten. Ebenso bestehen durch fehlerhafte Messungen weitere Risiken wie Leistungsverluste, Kavitation und hohe Turbinenvibrationen. Dadurch könnte es zu tragischen Unfällen wie in dem Wasserkraftwerk Sayano-Shushenskaya im Jahr 2009 kommen.

Die Relevanz von exakten Dokumentationen

Die Originalpläne der Saugrohre können nach nahezu 90 Jahren in Betrieb nicht mehr als verlässliche technische Dokumente benutzt werden. Über die Zeit haben sich die Maße der Rohre durch die Benutzung verändert und entsprechen daher nicht mehr ihren originalen Maßen.

Wenn der Turbinenproduzent die speziellen Besonderheiten nicht berücksichtigt, können physische Schäden entstehen und der Turbinenproduzent sowie der Projektträger könnten erhebliche Strafen, Geldbußen und Rufschädigung erleiden.

Der Auftragnehmer wusste, dass das Messen der Rohre in der benötigten Genauigkeit und in dem engen Zeitrahmen des Projekts nicht mit traditionellen Messmethoden umgesetzt werden kann. Um die Herausforderung optimal zu lösen, kontaktierte der Ingenieur Delmont einen Experten für 3D-Scanning wie 3D-MODEL.

Delmont entschied sich für das 3D-Scanning als Messmethode aufgrund der Komplexität der Zugrohre. Er betonte, dass es bei einfachen geometrischen Formen einfach wäre die Rohre mit traditionellen Werkzeugen zu messen. Bei solch komplexen Formen wie der des Zugrohrs war jedoch eine genaue Erfassung mit traditionellen Werkzeugen kaum möglich. Der Artec Eva 3D-Scanner schafft es selbst noch so komplizierte Formen in höchster Präzision zu erfassen und bietet damit die Grundlage für millimetergenaue CAD-Modelle.

Der ideale 3D-Scanner

Vor wenigen Jahren gründete Delmont sein Ingenieursbüro. Bereits damals suchte er nach einem 3D-Scanner, der seinen hohen Ansprüchen gerecht werden konnte. Delmont fand in dem professionellen, tragbaren Artec Eva 3D-Scanner des Herstellers Artec3D den idealen 3D-Scanner mit submillimetergenauer Präzision. Der Artec Eva 3D-Scanner ist bei Ingenieuren auf der ganzen Welt gefragt.

Der professionelle 3D-Scanner Artec Eva

Delmont erklärte, dass das Projekt einen sehr ambitionierten Zeitplan verfolgte. Auch für diese Herausforderung war der Artec Eva 3D-Scanner ideal ausgerüstet. Mit ihm gelang es Delmont und dem Team bereits in wenigen Stunden die kompletten zwölf Meter des Saugrohrs in außerordentlicher Genauigkeit zu erfassen. Das aus diesen präzisen 3D-Scans erstellte CAD-Modell konnte anschließend für Analysen und CFD (Computational Fluid Dynamics) -Simulationen genutzt werden, welche zur Fertigung der Turbine durchgeführt werden müssen. Hätte Delmont die Resultate in der benötigten Genauigkeit nicht innerhalb der vorgesehenen Zeit erzielt, wäre dies schlecht für alle Projektbeteiligten und könnte ebenso negative Auswirkungen auf die Beauftragung von Projekten in der Zukunft haben.

Das 3D-Scannen von außerordentlich großen Objekten

Da das Projekt sowohl einen großen Umfang als auch einen hohen Grad an Komplexität hatte, bat der Ingenieur Delmont Herrn Demarche, ein Experte im Bereich 3D-Scanning, um Hilfe. Zusammen planten sie das Projekt sorgfältig und bestimmten vor Ort im Wasserkraftwerk ihr Vorgehen der kommenden Arbeitsschritte. Beim 3D-Scannen mit dem Artec Eva 3D-Scanner besprühte das Team die Innenwand des Saugrohrs mit Sprühfarben, sodass sie zehn einzelne Abschnitte für das 3D-Scannen abgrenzen konnten. Dies hatte den Effekt, dass die Ausrichtung der 3D-Scans im anschließenden Verarbeitungsprozess in der Artec Studio Software schneller vollzogen wird.

Herr Demarche scannt das Zugrohrs mit dem Artec Eva 3D-Scanner

Die Aufteilung des zu scannenden Bereichs in einzelne Abschnitte diente ebenso zur Vorbereitung auf einen Notfall. Während des Projekts mussten sie nämlich stets darauf gefasst sein, im Ernstfall das Zugrohr auf der Stelle zu verlassen zu können. Das Hochwasser war zum Zeitpunkt des 3D-Scannings der Rohre so hoch, dass der Wasserstand nur 10 cm unter der Dammkrone stand, welche sich hinter dem Team befand.

Aufgrund des Risikos wurde das Team von weiteren Sicherheitsingenieuren unterstützt, die auf dem Damm fortlaufend den Wasserstand im Blick behielten. Bereits ein Wetterumschwung in Flussnähe könnte ausreichen, um eine kritische

Höhe des Wasserstands zu erreichen. Unter solchen Bedingungen hätte das Team das Zugrohr binnen einer Minute mit seiner ganzen Ausrüstung verlassen müssen.

3D-Scannen bei Dunkelheit und Nässe

Während der 3D-Scanningarbeiten liefen weiterhin circa zehn Liter pro Minute durch das Saugrohr, wodurch der Boden manchmal bis zu 2cm tief unter Wasser stand. Dieses Wasser floss durch die Ventile über dem Saugrohr. Im Vergleich zu den heutigen Ventilen und Wasserhähnen in Wohnhäusern sind die älteren Ventile so entworfen, dass sie nur wenig Wasser auf einmal durchleiten. Die Ingenieure benutzten daher einen Holztisch, um die technischen Geräte wie den Artec Eva 3D-Scanner und den Computer ablegen zu können. Der 3D-Scanningprozess an sich wurde durch die Nässe kein bisschen negativ beeinflusst. Der Ingenieur Delmont erzählte vom 3D-Scanningprozess folgendes: *„Obwohl der Boden des Zugrohrs an einigen Stellen bis zu 2 cm hoch mit Wasser bedeckt war, hat der Artec Eva diese Bereiche perfekt gescannt.“*

Guillaume Demarche beim 3D-Scannen des oberen Bereichs des Saugrohrs mit dem Artec Eva 3D-Scanner

Delmont war bekannt, dass andere 3D-Scanner bereits bei einer geringen Wasserschicht fehlerhafte Messungen erzeugen können. Dies war jedoch nicht der Fall beim Artec Eva 3D-Scanner. Delmont erzählte, dass er die durchnässten Abschnitte mit Lasertelemetrie kontrollierte, um sicherzustellen, dass die Aufzeichnungen des Artec Eva 3D-Scanners auch durch 2cm tiefes Wasser nicht an Präzision verlieren. Das Ergebnis dieser Kontrolle ergab, dass die Messungen des Artec Eva 3D-Scanners äußerst exakt waren. Dem Team gelang es die einzelnen Bereiche innerhalb einer halben Stunde mit dem Artec Eva zu erfassen, womit sie die vollständige Röhre in nur circa fünf Stunden 3D-Scannen konnten.

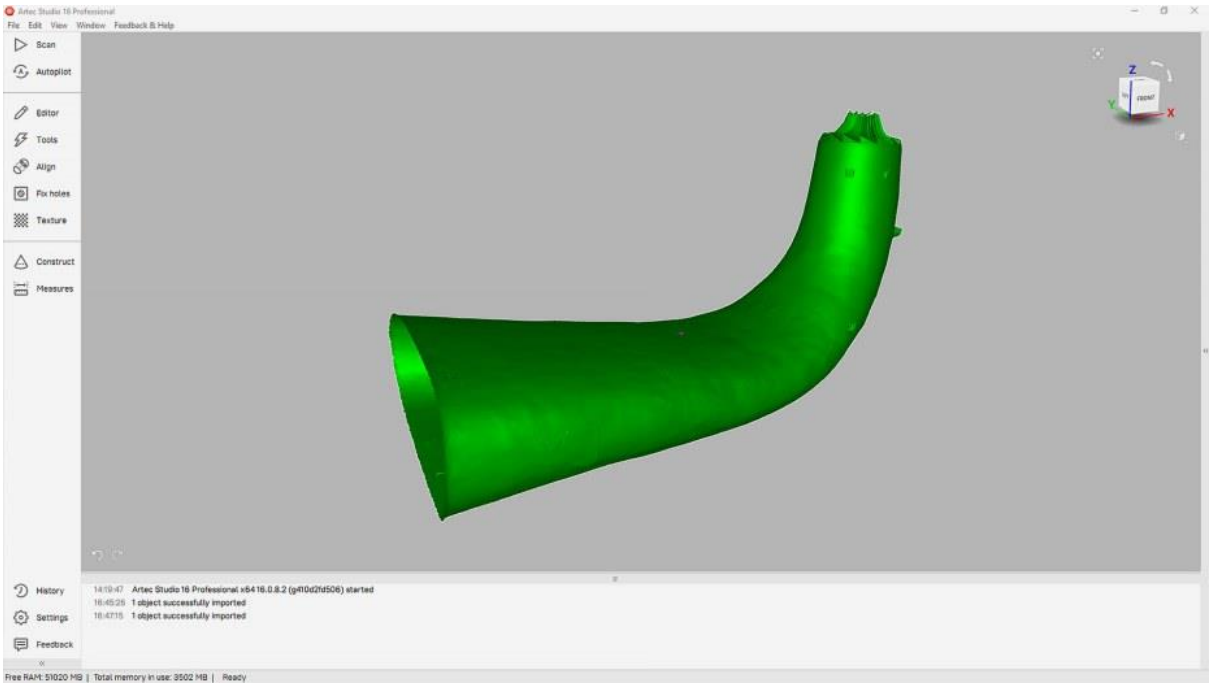
Delmont sagt beeindruckt über die Leistung des Artec Eva 3D-Scanners: „*Der Eva-Scanner erwies sich als ideal für diese Art von Arbeit, da er ausreichend präzise ist und es uns ermöglicht, in einer feuchten, ja sogar nassen Umgebung, die relativ technikfeindlich ist, in völliger Dunkelheit und ohne Steckdosen zu scannen."*

CAD-Modelle erzeugen für Inspektionen, Nachrüstungen und weiteres

Während des Scanvorgangs fiel Delmont auf, dass sich an den Innenseiten der Saugrohre eine 5 – 10 Millimeter dicke Mineralschicht gebildet hat. Diese hat sich aus Ablagerungen von den mehreren Millionen Litern Wasser angesammelt, die in den vergangenen Jahrzehnten durch die Rohre geflossen sind.

Diese Ablagerungen wirken sich negativ auf die Strömungseigenschaften im Rohr aus. Es war äußerst relevant die Ablagerungen präzise in dem 3D-Modell abzubilden, da sonst in den CFD-Simulationen nicht die realen Durchflussraten des Wassers ermittelt werden könnten.

Als der 3D-Scanningprozess vor Ort beendet war, galt es im nächsten Schritt die gewonnenen 3D-Scans zu einem CAD-Modell zu verarbeiten. Die Verarbeitung der 3D-Scans in der Artec Studio Software fiel dem Team besonders leicht und nahm daher auch wenig Zeit in Anspruch. Delmont berichtete über den Vorgang der Verarbeitung der 3D-Scans zu einem 3D-Modell: *"Im Grunde habe ich nach einigen kleineren Bereinigungen die zehn gescannten Abschnitte ausgerichtet und ein einziges 3D-Modell erstellt, das alle Oberflächen des gesamten Saugrohrs umfasst."*



Vollständiges 3D-Modell des Wasserkraftwerkszugrohrs aus den 3D-Scans des Artec Eva 3D-Scanners

Benutzung der Scan-to-CAD Werkzeuge für einzigartige Resultate

Im nächsten Schritt benutzte Delmont die Scan-to-CAD Werkzeuge der Artec Studio Software. Mit diesen gelang es ihm dem 3D-Modell des Saugrohrs CAD-Primitivformen hinzuzufügen. Daraufhin erfolgte der Export der Formen im STP-Dateiformat in die SOLIDWORKS Software. In SOLIDWORKS konnte Delmont die Formen als Referenz für das Skizzieren, Zeichnen und Extrudieren des CAD-Modells des Zugrohrs benutzen.

Laut Delmont sorgen Verzögerungen im zeitlichen Ablauf der Projektphasen dafür, dass die Effizienz sinkt, die Projektkosten steigen, die Möglichkeit neue Projekte zu ergattern sinkt und damit auch die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens bedroht ist. Daher ist die Scan-to-CAD Funktionalität besonders bedeutend.

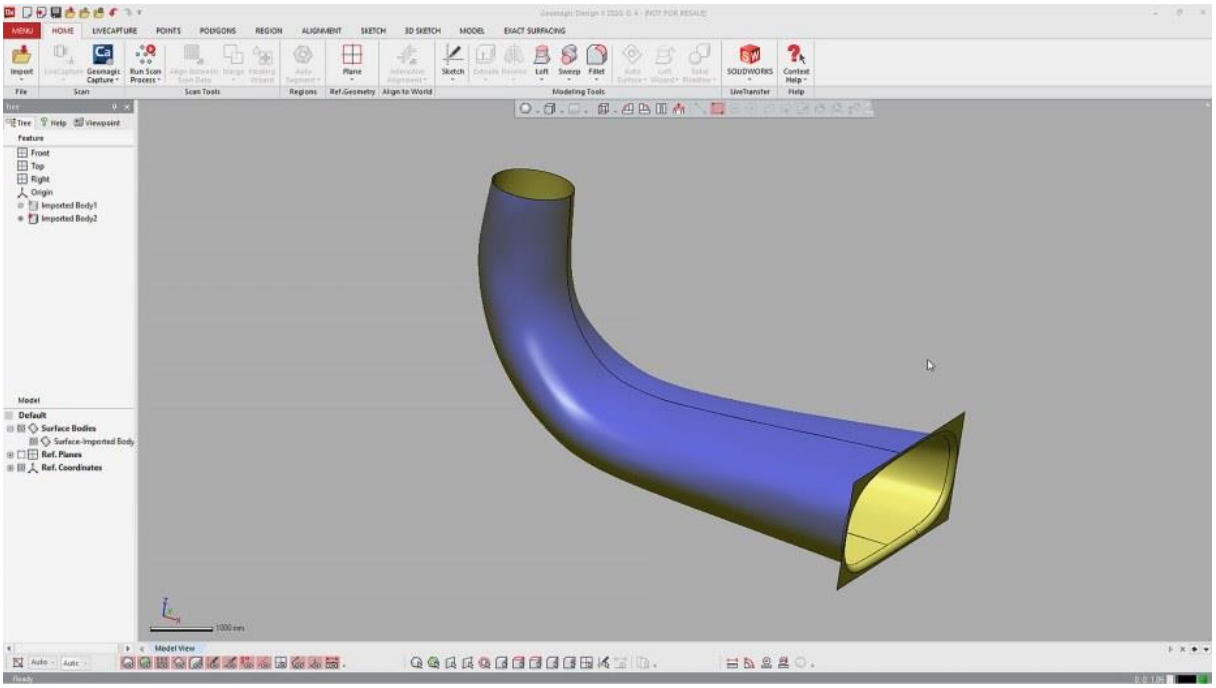
Auch hier bietet die Softwarelösung Artec Studio daher für Delmont die optimale Alternative: *„Indem wir in der Lage sind, CAD-Primitive direkt aus dem Scan in Artec Studio zu erstellen, nur wenige Augenblicke nach dem Scannen eines Objekts, verkürzen wir den Arbeitsablauf um unschätzbare Zeit, ohne dabei Abstriche bei der Qualität zu machen."*

Bereits beim ersten 3D-Scan alle Details ideal aufzeichnen

Dem Ingenieur Delmont gelang es mit dem Artec Eva 3D-Scanner bereits bei der ersten Aufnahme Resultate in bester Qualität zu erzielen. Er meint: „*Mit Eva ist es möglich, alle Dimensionen eines Objekts, selbst eines so massiven und uneinheitlichen wie ein Wasserkraftwerk, beim ersten Mal zu erfassen.*“

Dies bietet den Ingenieuren den unglaublichen Vorteil, dass ein zweiter 3D-Scanningdurchlauf überflüssig wird und das Wasserkraftwerk nicht erneut gestoppt werden muss. Beim Einsatz eines 3D-Scanners, der weniger verlässlich als der Artec Eva 3D-Scanner ist, könnte es passieren, dass erst bei der Verarbeitung der 3D-Scans festgestellt wird, dass die Daten mancher Oberflächen nicht vollständig sind. Die fehlenden Daten würden es erfordern, die Anlage erneut zu stoppen und zu scannen, was für den Kunden hohe Verluste nach sich ziehen würde. Dieses Fehlerpotential schloss Delmont ebenso aus, als er sich für den zuverlässigen Artec Eva 3D-Scanner entschied. Der Artec Eva 3D-Scanner erfasst nämlich sämtliche Daten der Scanaufträge in millimetergenauer Präzision.

Das fertige CAD-Modell teilte Delmont bereits lang vor der Deadline mit dem Kunden, welcher das CAD-Modell anschließend an den Turbinenproduzent weiterleitete. Das CAD-Modell konnte sämtlichen Anforderungen gerecht werden und konnte direkt für CFD-Simulationen und weitere Analysen genutzt werden.



Aus den 3D-Scans des Artec Evas erzeugtes CAD-Modell des Saugrohrs

Nachdem das erste Saugrohr für die Auswechslung der ersten von zwei Turbinen mit dem Artec Eva erfasst werden konnte, scannte das Team ein paar Wochen später auch das zweite Saugrohr. Auch hier gelang es dem Team mit demselben Arbeitsprozess ein exaktes CAD-Modell aus den 3D-Scans des Artec Eva 3D-Scanners zu erstellen.

Exakte CAD-Modelle für die Nachrüstung und weitere Anwendungen

Es konnten innerhalb des Projektes genaue CAD-Modelle von den zwei Saugrohren erzeugt werden. Diese können ab sofort von dem Wasserkraftwerk auch als Referenzmodelle für Inspektionen der Rohre genutzt werden. Bei Inspektionen mittels 3D-Scanning können durch die Oberflächenabstands-Mapping-Werkzeuge in der Artec Studio Software Abweichungen erkenntlich gemacht werden. Die Unterschiede von dem CAD-Modell zum 3D-Scan werden in einer einfach zu lesenden, farbreichen Heatmap dargestellt.

Nicht nur in Frankreich existieren bereits dutzende ältere Wasserkraftwerke, bei denen in naher Zukunft eine Nachrüstung von Nöten sein wird. Diese gibt es ebenso in vielen anderen Ländern auf der gesamten Welt.

Delmont meint, dass das benötigte technische Fachwissen für solche Projekte auf die tatsächlich benötigte Präzision ankommt. Lediglich einfache Objekte würden nur eine einzige Ebene benötigen. Einige Firmen verlassen sich auf niedrige Genauigkeitstoleranzen bei kleinen, relevanten Details eines Teils, wobei sich andere Betriebe auf größtmögliche Toleranzen für ein gesamtes Bauteil setzen, auch bei Bereichen, wo dies nicht zwingend nötig ist. Diese Herangehensweisen sind lückenhaft und führen dazu, dass sich die Projektdauer und die Kosten erhöhen, Ressourcen verschwendet werden und schlechtere Resultate erzeugt werden.

Die Annahme von Projekten mit hoher Komplexität und fehlenden Originaldokumenten

Delmont berichtet, dass es das Schwierigste bei der Nachrüstung von enorm großen Objekten wie dem Zugrohr war, ein einheitliches Maß an Genauigkeit zu erzielen. Innerhalb des Zugrohrs gab es nämlich unterschiedliche Abschnitte, bei denen sich die Komplexität unterschied. Neben dem Ziel ein möglichst optimales Maß an

Präzision zu erreichen, musste ebenso die eigene Arbeitsweise des Retro-Engineerings individuell auf die einzelnen Objekte abgestimmt werden.

Über den Einsatz des Artec Eva 3D-Scanners in seinen Projekten sagt Delmont außerdem: *"Bei jedem Projekt, das ich mit meiner Artec Eva durchgeführt habe, hat sie sich als entscheidende Lösung erwiesen, um die Lücke zu schließen.“*

Bei rund 70% der Retrofit-Projekte muss Delmont ohne Originaldokumente arbeiten. Bei diesen Projekten ist daher die Nutzung des Artec Eva 3D-Scanners essentiell, um eine präzise Datengrundlage für die Weiterverarbeitung der 3D-Scans bis hin zu fertigen CAD-Modellen zu erlangen. Mit dem Artec Eva ist es Delmont möglich exakte Messungen und CAD-Modelle von Objekten verschiedener Größe zu erzeugen. Dabei kann die Objektgröße von nur wenigen Zentimetern bis hin zu mehreren Metern Größe variieren.

Abschließend meint Delmont: *„Ich glaube, das ist eine der größten Stärken von Eva, seine Vielseitigkeit. Die daraus resultierenden CAD-Modelle sind unverzichtbar für alles, von der Nachrüstung bis zur Inspektion, Wartung und vieles mehr."*