

# Reverse Engineering mittels DAVID

Testatarbeit Produktionstechnik

PT + AUT

Team 3

Kilian Schaller  
Kim Zimmermann

# Inhaltsverzeichnis

<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
<b>KOMPONENTEN DES DAVID LASERSCANNERS</b>	<b>3</b>
SOFTWARE	3
DAVID 3D	3
GEOMAGIC STUDIO	4
KAMERA	4
LASER	4
<b>WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE</b>	<b>5</b>
ANWENDUNGSGEBIETE	5
ANWENDUNGSBEISPIEL 3D QUALITÄTSPRÜFUNG VON TURBINENSCHAUFELN BEI GE	5
ZUSAMMENGEFASSTER ARBEITSABLAUF	6
VOR/NACHTEILE	7
KOSTEN	8
SYSTEM DAVID	8
ZUKUNFT	8
<b>VOM OBJEKT ZUM CAD MODELL</b>	<b>9</b>
VORBEREITUNG	9
ANFORDERUNGEN AN DAS ZU SCANNENDE OBJEKT	10
BESCHREIBUNG DES SCANVORGANGS	11
VON DEN SCANS ZUM CAD MODELL	12
<b>FAZIT</b>	<b>13</b>

# Einleitung

Der DAVID Laserscanner ist ein Paket aus Software und Hardware, mit welchem auf einfache Weise dreidimensionale Modelle von bestehenden Gegenständen erstellt werden kann. Das System wurde im Jahr 2006 von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern der technischen Universität Braunschweig entwickelt.

In diesem Dokument wird das System näher erklärt, welche Komponenten notwendig sind und wie ein solcher Scan abläuft. Es wird aufgezeigt, worauf beim Scannen zu achten ist und wie aus einem gescannten Objekt eine CAD kompatible Datei erstellt werden kann. Es werden Anwendungsgebiete für diese Technologie gesucht und Vor, sowie Nachteile aufgezeigt.

## Komponenten des David Laserscanners

Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Komponenten, welche zum erfolgreichen erstellen eines 3D Modells benötigt werden, beschrieben. Dieses Kapitel beschränkt sich auf die von uns verwendeten Anwendungen.

Zur Verfügung stand das DAVID SLS2 Paket, welches die Software, eine Kamera, ein Stativ sowie diverse Laser enthielt.

### Software

Um ein Bauteil einzuscannen und in ein CAD Modell exportieren werden zwei unterschiedliche Softwares benötigt. Zum einen die DAVID Software, welche für den eigentlichen Scan benötigt wird, sowie ein weiteres Programm, um das von DAVID erstellte 3D Modell in einen Flächenkörper umzuwandeln.

### DAVID 3D

Die Software welche verwendet wurde war die DAVID-Laserscanner Version 3.10.4. Diese ist einfach anzuwenden und erste bescheidene Erfolge liessen nicht lange auf sich warten.

Die DAVID 3D Software erkennt das vom Laser beleuchtete Bauteil und speichert die Oberfläche als Punktwolke. Um ein 3D Modell zu erstellen, muss das Bauteil von mehreren Seiten gescannt werden. Dies ergibt dann schalenähnliche Scans, welche innerhalb der Software zusammengesetzt werden können.

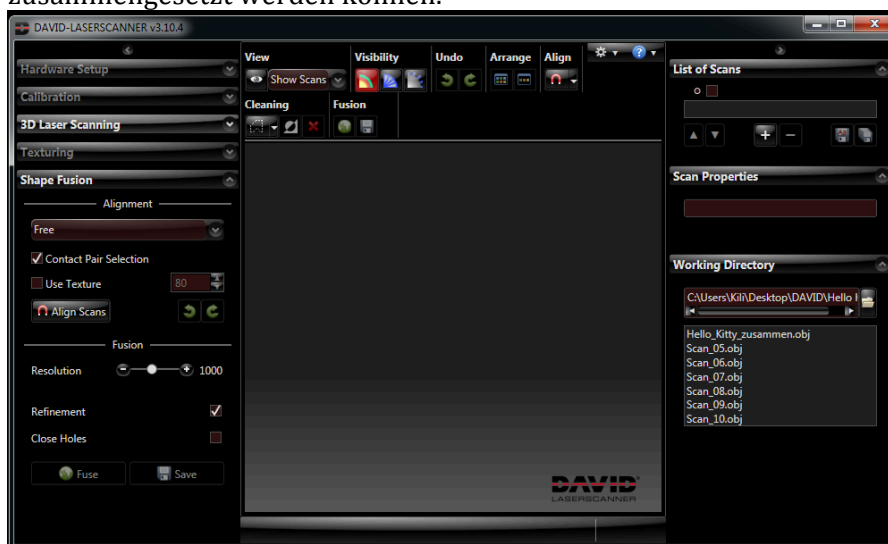


Abbildung 1: DAVID Laserscanner

## Geomagic Studio

Geomagic Studio wurde verwendet, um aus der von DAVID erzeugten Punktwolke einen Flächenkörper zu erstellen. In der importierten Datei werden immer drei Punkte zu einem Dreieck zusammengefügt. So entsteht ein geschlossener Körper. Sind beim Scan durch Reflexionen ungewollte Punkte und somit auch Dreiecke erzeugt worden, können diese in Geomagic Studio gelöscht werden. Wurden Flächen nicht erkannt, werden diese als Löcher im Modell dargestellt. Diese Löcher können mit verschiedenen Tools so gefüllt werden, damit sie sich optimal in die restliche Fläche integrieren.

Ist das Ergebnis zufriedenstellend, wird die Punktwolke zu Splines und Nurbs umgewandelt und die Flächen erzeugt werden. Dieses kann dann in verschiedene Formate wie IGS oder STP exportiert werden.

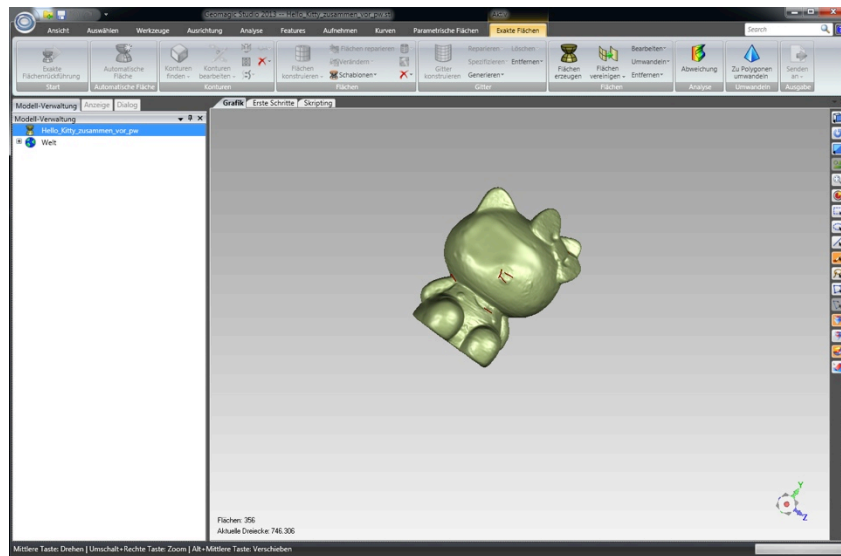


Abbildung 2: Geomagic Studio

## Kamera

Bei der verwendeten Kamera handelt es sich um die im Paket enthaltene Kamera. Diese ermöglicht ein manuelles Einstellen der Belichtungszeit und hat einen grossen Fokusbereich. Es können aber auch Webcams verwendet werden. Diese sollten jedoch eine genügend hohe Auflösung aufweisen.

## Laser

Zum Scannen werden fokussierbare Linienlaser benötigt. Es wurden vier verschiedene Laser getestet, zwei grüne, zwei rote und ein UV Laser. Die grünen und roten Laser eignen sich praktisch für alle Oberflächen, welche nicht stark spiegeln, der UV Laser hat sich bei stark spiegelnden Oberflächen bewährt.

# Wirtschaftliche Aspekte

## Anwendungsgebiete

Im Maschinenbau werden hauptsächlich Teile mit Freiformflächen einem Reverse Engineering unterzogen. Das Reverse Engineering kommt am meisten in der Fahrzeugindustrie, Urformtechnik, Umformtechnik und im Energiemaschinenbereich vor. Das Ziel ist die Rückführung von einem Bauteil zu einem 3D-Modell. Beispielsweise Designstudien von Fahrzeugkarosserien welche nun einer FEM-Simulation zugänglich gemacht werden sollen. Werkzeuge welche im System archiviert oder modifiziert werden sollen. Knochendaten welche für die Fertigung einer Prothese benötigt werden. In der Ur- und Umformtechnik wird Reverse Engineering auch für den Vergleich von Soll und Ist Werten verwendet. Somit kann die Qualität zwischen CAD-Modell und der Fertigung verglichen werden. In der Zahntechnik sind häufige Anwendungen individuell angepasste Zahnprothesen. Aber auch in der Plastischen Chirurgie kommen individuell angepasste Implantate vor. Reverse Engineering ist auch ein Werkzeug für die Produktsplionage und Konkurrenzanalyse.

## Anwendungsbeispiel 3D Qualitätsprüfung von Turbinenschaufeln bei GE

Turbinenschaufeln werden in grossen Stückzahlen hergestellt. Dabei sind sie sehr engen Form- und Masstoleranzen unterstellt. Pro Triebwerk werden mehr als 1000 Turbinenschaufeln verbaut. Um die Qualität der Freiformfläche sicherzustellen muss jede Schaufel genau geprüft werden. Die Schaufelgrösse beträgt zwischen wenigen Zentimetern und einem Meter. Das verwendete Material ist meistens Titan, wobei die Oberflächen meistens geschmiedet, gewalzt oder geschliffen sind. Eine taktile Messmaschine benötigt zwischen 30-60 min um eine Schaufel auszumessen.

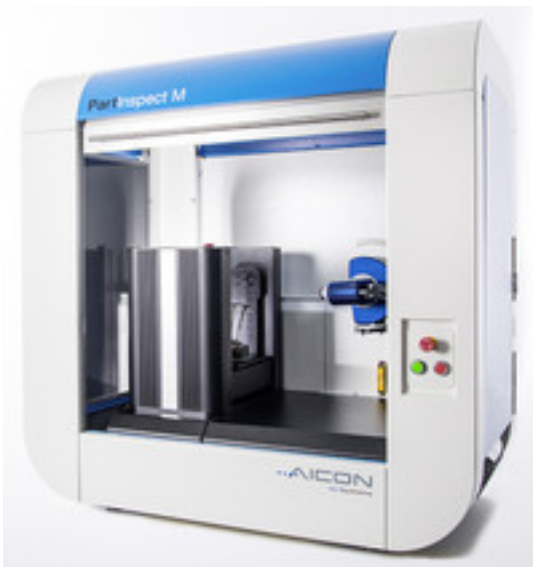


Abbildung 3 3D optische Messmaschine

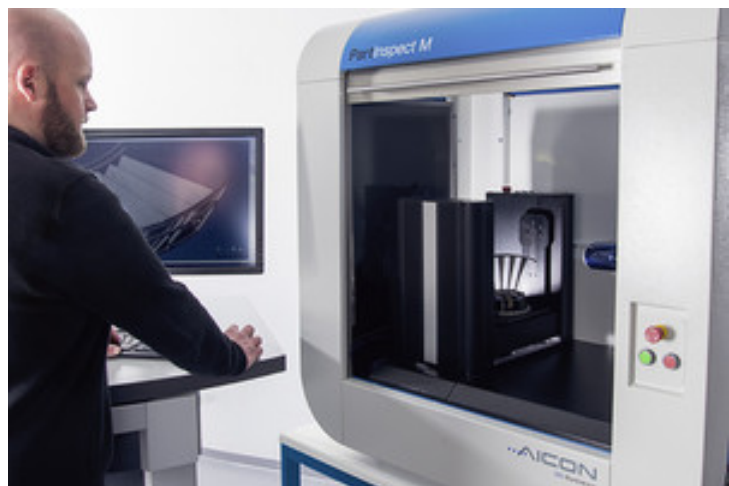


Abbildung 4 3D optische Messmaschine

Bei General Electric kommt eine Messmaschine der Firma Aicon zum Einsatz. Diese Maschine arbeitet mit einem Streifenprojektor. Die Dreh-Schwenkeinheit ermöglicht auch bei komplexen Geometrien eine vollständige Datenerfassung.

Das Be- und Entladen kann mit einem Schwenkarmroboter automatisiert werden.

Die Vermessung eines Werkstücks erfolgt in zwei Arbeitsschritten. Als erstes erfasst das Messsystem die Oberfläche des Werkstücks. Diese Messdaten werden dann in einem Inspektionsmodul mit den CAD Daten verglichen und ausgewertet. Gegebenenfalls gibt dieses Modul die Messresultate als Prüfberichte aus.

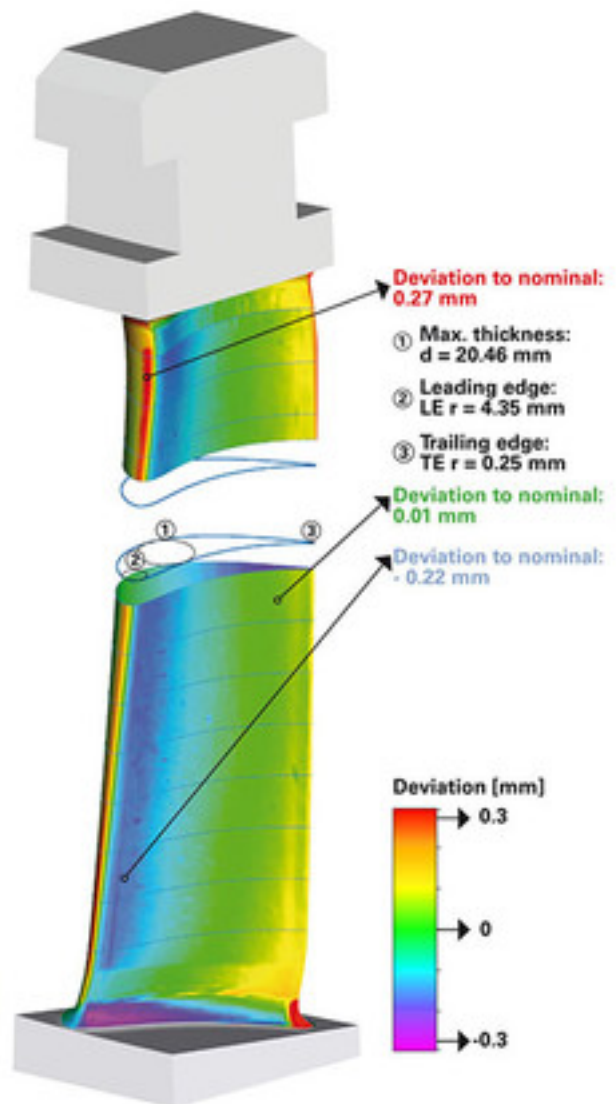


Abbildung 5 Messergebniss einer Turbinenschaufel

## Zusammengefasster Arbeitsablauf

### Vermessung und Datenberechnung

Einrichten der Messmaschine, des Messobjekts und des Roboters

Automatische Vermessung

Berechnung der dreidimensionalen Objektgeometrie und Visualisierung

Übergabe der 3D Daten in STL oder PLY Format an die Inspektionssoftware

### Qualitätsprüfung

Importieren des CAD Referenzmodells

Bestimmung der Prüfkriterien

Laden der dreidimensionalen Scandaten

Automatisierter Inspektionsablauf inklusive Reporting durch Erstellen von Messprotokollen und Archivierung

Die Visualisierung der Resultate lässt sich beliebig gestalten, z. B. mit einer zwei- bzw. dreidimensionalen Falschfarbendarstellung, Tabellen mit Nominalwerten oder Toleranzen.

## Vor/Nachteile

Reverse Engineering hat viele Facetten, es kann von der Entwicklung eines Produktes über die Kontrolle bis zum Ersetzen des Produktes eine Hilfe sein. Umso vielseitiger ein Produkt ist desto mehr muss man wissen, wofür man es verwenden möchte.

### Entwicklung

In der Entwicklung ist der Hauptvorteil beim Erfassen von handgearbeiteten Oberflächen. Dank dem 3D-Scannen können höchst komplexe und nicht einfach zu beschreibende Oberflächen qualitativ hochstehend erfasst werden. Somit können Designstudien direkt ins CAD eingespielt werden und danach an die konstruktiven Richtlinien angepasst werden. Auch ist Reverse Engineering in einem frühen Prototypenstadium, wenn manche Teile direkt von den Prototypenbauer überarbeitet werden, von Nutzen. In einem solchen Fall können Anpassungen zurück zum CAD geführt, auf Festigkeit und andere wichtige Konstruktionsmerkmale überprüft werden.

### Kontrolle

Bei der Kontrolle von Werkstücken ist die 3D-Scanmethode besonders effizient. Die Datenerfassung geht extrem schnell. Somit ist sie bei einer 100% Kontrolle besonders Wirtschaftlich. Doch sind bei der optischen Messmethode einige Probleme zu lösen. Die Werkstücke müssen absolut sauber vorbehandelt werden. Falls Schmutzpartikel oder andere Verunreinigungen mitgemessen werden, wird das Messergebnis Verfälscht. Dafür können mit der 3D-Messmethode die Messergebnisse in einer Messsoftware direkt mit dem 3D-Cadmodell verglichen werden. Dadurch bekommt man zeitnah detaillierte Informationen über die Qualität in der Fertigung und auch die Fehlerkette wird verkürzt. Dadurch können Qualitätsprobleme rasch detektiert werden und auch Gegenmassnahmen getroffen werden. Diese optische Messmethode prüft ein Werkstück ganzheitlich. Das heisst es muss nicht mehr auf unterschiedlichen Messmaschinen die unterschiedlichen Messgeparameter gemessen werden. Dadurch kann man die Massabweichungen, Geometriefehler so wie auch die Oberflächenbeschaffenheit in einem Messvorgang mit den Solldaten vergleichen.

### Ersatzteilbeschaffung

Sehr Interessant wird die Ersatzteilbeschaffung mittels 3D-Scanner. Dadurch können alte Teile welche keine Zeichnungen oder nur schwer zu beschaffende Zeichnungen vorhanden sind in kürzester Zeit dreidimensional erfasst werden. Danach muss nur noch eine Werkstattzeichnung abgeleitet werden und das Ersatzteil kann bestellt werden. Die Firma Sulzer bietet einen solchen Service für Ihre Kunden an. Im Einsatz stehen viele alte Pumpen für welche die Ersatzteilbeschaffung sehr schwierig ist. Solche Ersatzteile besitzen häufig langen Lieferzeiten oder sind sonst wirtschaftlich unattraktiv. Durch eine Ersatzteilbeschaffung mittel Reverse Engineering können auch häufig gerade noch Materialverbesserungen, Gewichtsoptimierungen oder andere Konstruktive Verbesserungen einfließen.

## Kosten

### System David

Hardware:	
SLS-2	2800 Fr.
Standard PC	2000 Fr.
Div. Laser	10-500Fr.
Software:	
CAD System	1500-50000 Fr.
Geomagic	10000-40000 Fr.

Anhand dieser groben Kostenaufstellung sieht man, dass das System David sehr Preisgünstig ist. Es bietet für einen Einsteiger alles was es für das 3D-Scannen braucht. Man sieht aber anhand der Kostenaufstellung auch, dass die Software ein erheblicher Kostenpunkt darstellt. Für professionelle Anwender gibt es eine Vielzahl an 3D-Scanner zur Auswahl

### Zukunft

Die Zukunft sieht für Reverse Engineering vielversprechend aus. Grosse Industriebetriebe wie zum Beispiel einige deutsche Autobauer, Sulzer oder auch General Electric setzen auf diese Innovation. Diese Technik ist jetzt schon sehr vielseitig anwendbar und es werden bestimmt noch einige Anwendungen hinzukommen. Man könnte sich Anwendungen in der Zerspantechnik vorstellen, indem das Werkstück permanent überprüft und die Messdaten mit der Werkzeugmaschine abgeglichen werden. Oder komplett neue Konstruktionsmethoden werden mittels Reverse Engineering denkbar. Auch Biometrische Formen oder Ergonomische Produkte können mittels Reverse Engineering besser entwickelt werden. Auch Individuelle Produktlösungen wie eine Tastatur welche an die Abmasse und Form der Hände und Handgelenke angepasst ist. In solchen individuellen Produkten ist ein grosses Potenzial vorhanden. Für die Umsetzung müsste aber die Software zuverlässiger und vor allem autonom arbeiten. Denn in den Versuchen zeigte sich, dass die meiste Zeit für die Nachbearbeitung benötigt wurde. Die weitere Zukunft sieht man angepasste Abläufe in der Konstruktionsbüros und Prototypenwerkstatt. Diese können dank Reverse Engineering effizienter arbeiten und kostengünstiger ihre Produkte anbieten. Auch wird sich der Ersatzteilmarkt und deren Zulieferer komplett an die neue Technologie anpassen müssen. Dies ermöglicht für das Produktdesign neue Lebenszeiten und für die Kunden kostengünstigere Produkte.



## Vom Objekt zum CAD Modell

In der Anfangsphase wurden verschiedene Objekte vor der Kamera platziert und gescannt, um herauszufinden wie der Laser geführt werden muss, welche Kameraeinstellungen die besten Resultate liefern und welche Laser für welche Oberflächen geeignet sind. Nach dieser Testphase wurde eine Hello Kitty Sparkasse aus Porzellan als Testobjekt gewählt. Dieses wurde mit dem UV Laser gescannt. In den folgenden Abschnitten werden der Scanvorgang und allfällige Schwierigkeiten erläutert.

### Vorbereitung

Um zu scannen muss in einem ersten Schritt die Kamera kalibriert werden. Dies geschieht mit der Kalibrierungswand. Diese besteht aus zwei weissen Flächen, mit 70 aufgedruckten schwarzen Punkten. Diese Flächen müssen zusammen einen 90° Winkel bilden. Die Kalibrierung geschieht nach Auslösung automatisch. Während des Kalibriervorgangs werden die Lage und die Ausrichtung, sowie die inneren Parameter (Brennweite) eingestellt.

Es werden verschieden grosse Kalibriermuster zur Verfügung gestellt. Hier gilt es zu beachten, dass das Kalibriermuster zur Grösse des zu scannenden Objektes passt.

Die Kamera sollte so positioniert werden, dass das Kalibriermuster vollständig erfasst wird und der Winkel in der Mitte der Kamera liegt. Die Beleuchtungszeit der Kamera sollte so eingestellt werden, dass das zu scannende Objekt auf dem Bildschirm nicht mehr, oder nur knapp erkennbar ist. Erst durch einschalten des Lasers sollte eine schmale Linie sichtbar werden.

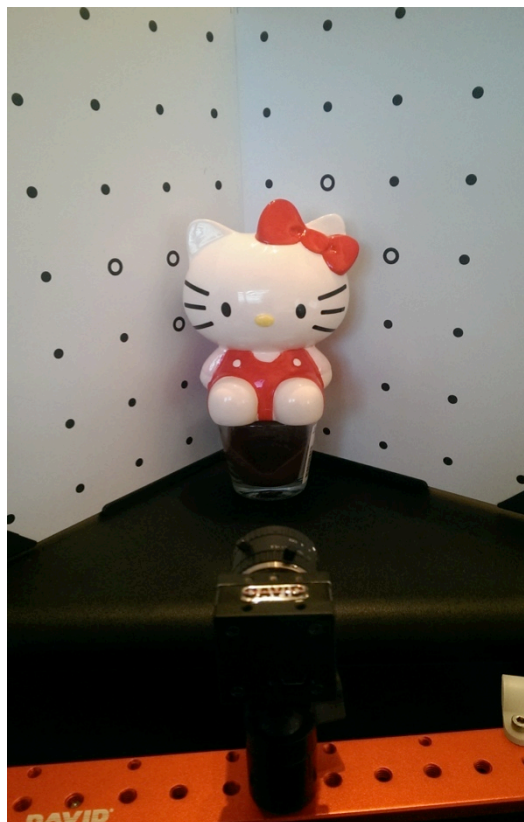


Abbildung 6: Scan Aufbau mit Kalibriermuster

## Anforderungen an das zu scannende Objekt

Es wurden unterschiedliche Objekte getestet, um zu ermitteln wo die Grenzen des Systems sind, ob und wie diese umgangen werden können und welche Objekte oder Oberflächen sich besonders eignen.

Hervorragend gescannt werden können alle matten Oberflächen welche nicht spiegeln. Spiegelnde Oberflächen reflektieren die farbigen Laser zu stark. Dadurch generiert die Software viele Punkte welche mit dem Objekt nichts zu tun haben und meist einfach irgendwo im Raum liegen. Solche Objekte konnten jedoch mit dem UV Laser erfolgreich gescannt werden.

Schwarze Oberflächen gestalten sich am schwierigsten zum scannen, da diese zu wenig Licht zurückwerfen und deshalb vom System nicht erkannt werden. Die Software erkennt nur die anderen Flächen und hinterlässt an den Schwarzen Stellen Löcher. Diese Problematik kann umgangen werden, wenn die schwarzen Flächen beispielsweise mit einem matten Spray überdeckt werden. Dieser sollte jedoch abwaschbar sein.

Bauteile mit grossen Flächen welche nicht klar getrennt sind stellen eine gewisse Schwierigkeit dar. So wurde ein Apfel gescannt. Dieser wurde mit einem grünen Linienlaser beleuchtet. Das System hat die Kontur bestens erkannt. Beim zusammensetzen der einzelnen Scans stellte sich jedoch heraus, dass es ziemlich schwierig ist, zu bestimmen welche Flächen wie zusammengesetzt werden müssen, da sich diese sehr ähnlich waren. Diese Probleme könnten umgangen werden, wenn an einigen Stellen schwarze Punkte aufgeklebt werden. Diese können dann beim zusammenführen als Referenz gewählt und zusammengefügt werden, da diese dann Löcher in der Fläche bilden.

Gemäss dem Hersteller gibt es keine Beschränkungen wie gross ein Objekt sein darf, damit es erfolgreich gescannt werden kann. So sind auf der Homepage Scans von Autostossstangen als Beispiel aufgeführt.

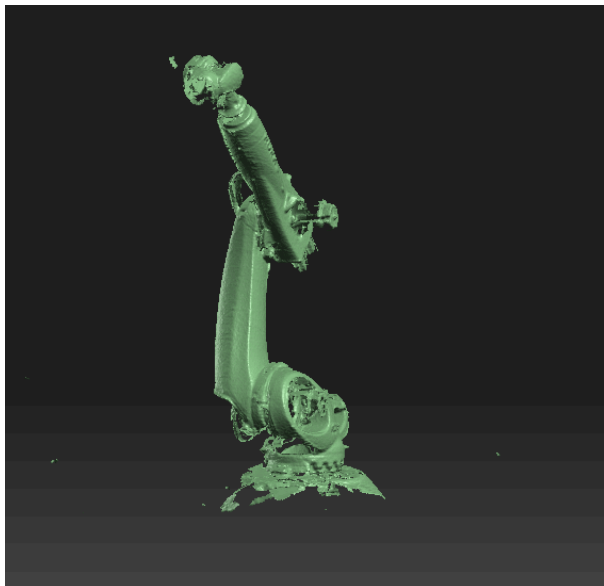


Abbildung 8: KUKA Scan



Abbildung 7: KUKA Modell

Beim Scannen eines Modells eines KUKA Industrieroboters stellte sich heraus, dass die orangen, eher matten Flächen gut erkannt wurden. Die schwarzen Flächen wurden nicht oder nur mangelhaft erkannt.

## Beschreibung des Scanvorgangs

Nach erfolgreicher Kalibrierung der Kamera wird die Software in den Scan-Modus geschaltet. Der Laser wird mit der Hand, von oben nach unten über das Objekt geführt. Es ist darauf zu achten, dass der Laser mittig über der Kamera liegt in etwa 40cm Abstand zu der Kamera. Ansonsten kann nicht gescannt werden und die Software gibt eine Fehlermeldung heraus.

Das folgende Bild zeigt einen Aufbau eines Scans. Auf der linken Seite ist ein Modell eines KUKA Roboters zu sehen, welches mit einem grünen Laser beleuchtet wird. Auf dem Bildschirm des Laptops sieht man das Ergebnis des Scans. Die weiße Linie in der Bildschirmmitte ist das erfasste Laserlicht. Das Scanergebnis wird Farbig dargestellt, wobei Flächen welche näher zur Kamera stehen in dunkleren Farben dargestellt werden als weiter entfernte Flächen.

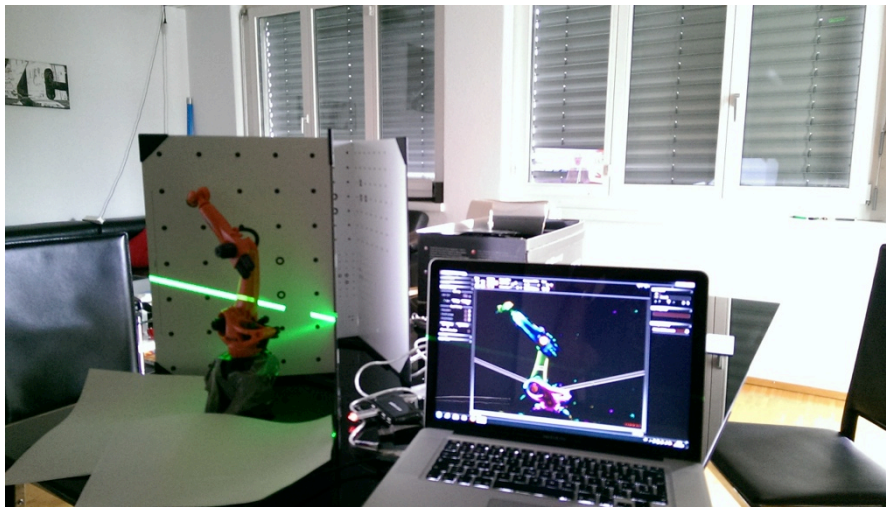


Abbildung 9: Scanvorgang

Beim Scanvorgang wird eine Punktwolke generiert. Da die Kamera nur die Flächen erfassen kann welche ihr zugewandt sind, wird pro Scan eine Halbschale generiert. Deshalb muss ein Objekt mehrmals gedreht und gescannt werden, damit ein 3D Modell erstellt werden kann. Um ein gutes Ergebnis zu erhalten, sollte der Drehwinkel rund  $30^\circ$  betragen und die einzelnen Scans sollten sich überlappen. Dadurch wird das Zusammensetzen der Scans erleichtert. Die generierten Flächen können dann in der DAVID Software zu einer dreidimensionalen Punktwolke zusammengesetzt werden.

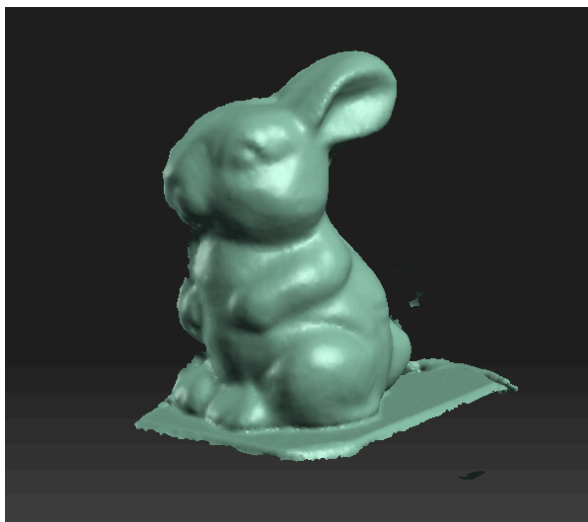


Abbildung 10: Einzelner Scan

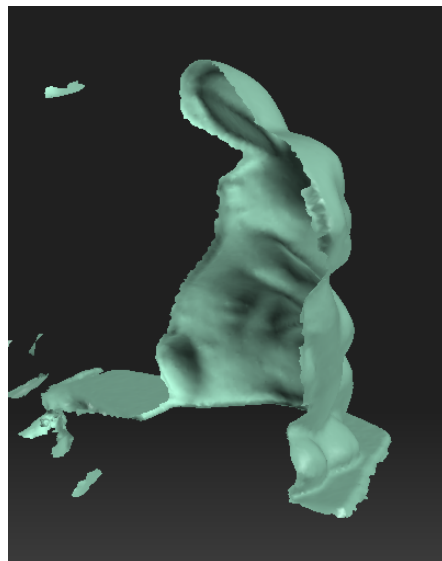


Abbildung 8: Halbschale

## Von den Scans zum CAD Modell

Sind die einzelnen Scans erstellt und zufriedenstellend, können diese im Menu Punkt Shape Fusion zusammengesetzt werden. Hierzu werden per Mausklick Flächen ausgewählt, welche zusammengehören. Die Software legt diese dann selbstständig übereinander. Punkte welche durch Reflexionen erzeugt wurden, können schon hier gelöscht werden. Dadurch bleibt der Rechenaufwand tief.

Das folgende Bild zeigt die Scans einer Turbinenschaufel. Gut erkennbar ist hier, dass diese in einem ersten Schritt willkürlich im Raum positioniert werden und manuell zusammengefügt werden müssen.

Im zweiten Bild ist der zusammengesetzte Scan zu sehen.

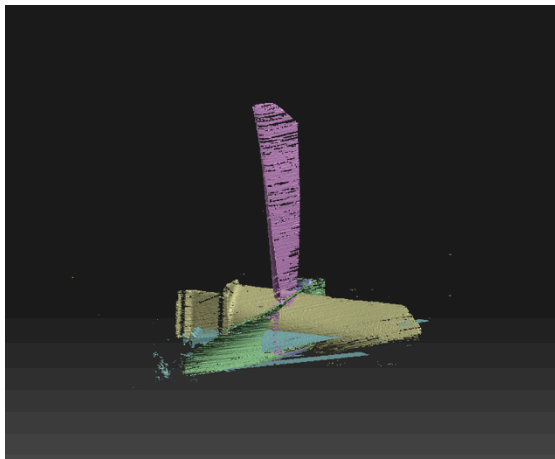


Abbildung 9: Ansammlung von Scans

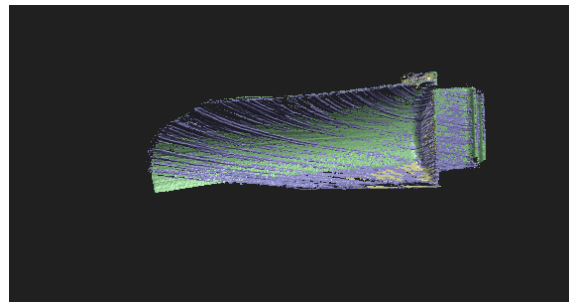


Abbildung 10: Zusammengesetzte Scans

Ist das Ergebnis zufriedenstellend, wird die Punktwolke erzeugt und geglättet. Daraus Resultiert eine dreidimensionale Darstellung des Teils. Löcher können automatisch geschlossen werden. Dies jedoch mit mässigem Erfolg. Hier Empfiehlt es sich, diese erst im nächsten Schritt zu schliessen.

Nach zufriedenstellender Bearbeitung in der DAVID Software, hat man zwar eine dreidimensionale Darstellung des gescannten Objekts. Diese besteht lediglich aus einer Punktwolke. Das heisst, es sind nur einzelne Punkte, welche zu Flächen zusammengefügt wurden. Mit diesen Informationen kann jedoch nicht gefertigt, gemessen oder anderweitig umgegangen werden.

Aus diesem Grund ist eine zweite Software erforderlich. Hier Wurde Geomagic Studio verwendet. Diese Software bietet umfangreichere Möglichkeiten, aus den Scans eine brauchbare Datei zu generieren.

Nach dem Import des Files kann das Objekt mittels der Funktion Mesh Doctor einfach und schnell optimiert werden. So werden vorhandene Löcher automatisch gefüllt und Spikes, (ungewollte Spitzen auf dem Objekt welche durch fehlerhafte Punkte generiert wurden) werden entfernt. Die Löcher werden analog zu der umgebenden Oberfläche gefüllt.

Die einzelnen Punkte wurden automatisch zu Dreiecken zusammengefügt und diese wiederum bilden die sichtbaren Flächen.



Abbildung 12: Einzelne Dreiecke

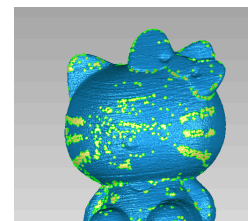
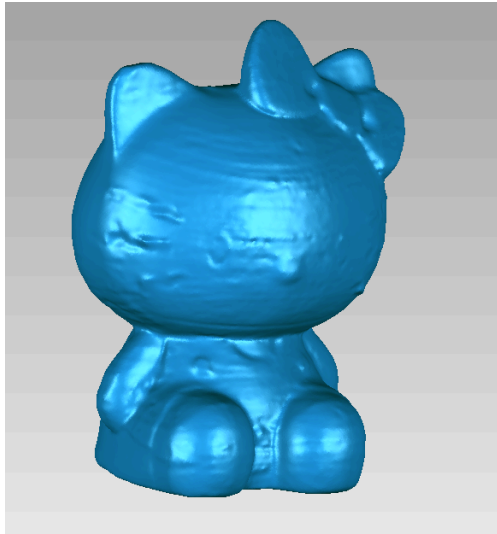


Abbildung 11: Beseitigung der Spikes

Im nächsten Arbeitsschritt werden die Dreiecke zu Flächen umgewandelt, welche exakt den Vorgaben entspricht. Dies kann manuell oder automatisch gemacht werden.



**Abbildung 13: Objekt mit gefüllten Löchern**

Nun wurden die Dreiecke zu Freiformflächen umgewandelt und somit ein Flächenkörper generiert. Dieser kann in gängigen CAD Programmen geöffnet werden und dann dort weiterverarbeitet werden.

## Fazit

Reverse Engineering mittels DAVID Laserscanner ist eine einfache Methode, aus einem vorhandenen Objekt ein CAD Modell zu erstellen. Nach etwas Eingewöhnungszeit und Übung können schnell erste Erfolge erzielt werden. Wenn man dann herausgefunden hat, wie stark man das Teil beim Scanvorgang drehen kann und wie die Flächen am einfachsten zusammengesetzt werden, kommt man zügig voran. Das herauslöschten von Reflexionen oder ungewollt erzeugter Punkte ist sehr zeitintensiv. Es lohnt sich jedoch, diesen Schritt seriös zu machen, da sich der Aufwand in Form eines besseren Modells rechnet.

Reverse Engineering ist gerade da sinnvoll, wo beispielsweise alte Bauteile digitalisiert werden sollen, oder ein Objekt vorhanden ist, jedoch keine technische Zeichnung dazu. Dies ist beispielsweise in der Medizinaltechnik der Fall.